

Голові спеціалізованої вченої ради ID 1684
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професору
Мельнику Анатолію Олексійовичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професора, професора кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
Західноукраїнського національного університету

Возної Наталії Ярославівни

на дисертаційну роботу Кушніра Дмитра Олександровича на тему:
«Методи та засоби пошуку та розпізнавання об'єктів у відеозображеннях
на мобільній платформі в реальному часі»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12
«Інформаційні технології» зі спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими планами і програмами

Дисертаційна робота присвячена розробленню пошуку та розпізнавання об'єктів у відеозображеннях на мобільній платформі в реальному часі.

В умовах воєнного стану українського суспільства, тематика дослідження аналізу та опрацювання певного класу об'єктів з використанням мобільного пристрою, тобто пристрою з обмеженими апаратними можливостями є надзвичайно актуальною. При цьому важливою проблемою є збереження точності розпізнавання при використанні таких апаратних пристроїв.

Тематика роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні. Робота відповідає науковому напрямку кафедри електронних обчислювальних машин – «Питання теорії, проектування та реалізації комп'ютерних систем та мереж, а також комп'ютерних засобів, вузлів, приладів і пристроїв вимірювальних, інформаційних, керуючих, телекомунікаційних та кіберфізичних систем».

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій базуються на основних методах комп'ютерної інженерії та системного аналізу: побудові моделі системи пошуку і розпізнавання об'єктів на мобільній платформі методами математичного та комп'ютерного моделювання, та аналізу цієї

системи на основі побудованої моделі методами аналізу, декомпозиції, синтезу та концептуального моделювання.

Дисертація є завершеною науковою працею, яка містить анотацію, вступ, 4 розділи, висновки, список літератури та додатки. Логічна структура роботи визначається її метою та сформульованими науковими і практичними завданнями.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, презентовано дані про апробацію та публікацію результатів дисертаційної роботи, із зазначенням особистого внеску автора у праці, що виконувалися у співавторстві.

У **першому розділі** У розділі проаналізовано існуючі типи галузі знань які стосуються пошуку та розпізнавання об'єктів: машинне навчання, глибинне навчання та комп'ютерний зір. Класифіковано задачі розпізнавання об'єктів: розпізнавання локалізацію, та пошук. Проаналізовано алгоритми класифікації для задач розпізнавання: штучні нейронні мережі, логістичну регресію, баєсівський підхід, дерево ухвалення рішень та інші. Визначено, що штучні нейронні мережі показують точніші результати по усім метрикам. Проаналізовано типи штучних нейронних мереж: багатошаровий перцептрон, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі. Розглянуто відомі алгоритми Згорткових нейронних мереж: R-CNN, Faster-R-CNN, SSD, Yolo та інші. Описано різновиди та модифікації моделі Yolo: Yolov3, Yolov4, YoloR, Yolov5 та інші. Описано основні підходи до відстеження об'єктів у реальному часі на відеозображеннях. Визначено чотири типи алгоритмів відстежування з використання штучних нейронних мереж: відстеження шляхом пошуку, кореляційні фільтри, сіамські нейронні мережі та навчання з підкріпленням. Описано імплементації таких алгоритмів, визначення їх переваги та недоліки. Розглянуто основні підходи до інтеграції систем пошуку та розпізнавання на мобільні платформи. Проаналізовано основні види мобільних платформ: мобільні операційні пристрої та вбудовані системи. Описано методи інтеграції методів пошуку та розпізнавання на мобільну операційну систему iOS за допомогою фреймворку CoreML. Проаналізовано інтеграцію систем розпізнавання та відстеження у кіберфізичні системи.

В результаті, сформульовано задачі даного дослідження для створення мобільної платформи для пошуку та розпізнавання об'єктів у реальному часі

Другий розділ присвячений розробці методів пошуку та розпізнавання об'єктів. Обрано метрики для виконання задачі дослідження.

Сформовано та описано загальну структуру згорткової нейронної мережі

(ЗНМ) Yolov4, описано модифікації її хребту (backbone), шиї (neck) та голови (head). Використано модифікований алгоритм навчання без учителя k-середніх++ замість алгоритму k-середніх для генерації якорів розпізнавання ЗНМ на етапі тренування. Розроблено методи фільтрації результатів розпізнавання. Такі фільтри дозволяють точніше відображати результати розпізнавання в багатокласовій системі, зменшуючи надлишковість регіонів розпізнавання. Розроблено 3 методи відстеження об'єктів у реальному часі. Запропоновано методи мемоїзації результатів відстеження об'єктів. Запропоновано метод використання квантизації вагових коефіцієнтів ЗНМ.

У **третьому розділі** запропоновано підходи до масштабування системи пошуку та розпізнавання, з використанням засобів контейнеризації Docker. Масштабування полягає у створенні сервісів автоматизованого завантаження анотованих, масштабованого тренування моделі ЗНМ, конвертування моделі ЗНМ Yolo у CoreML формат для мобільних пристроїв iOS. Запропоновано засіб інтеграції вбудованого модуля для відстеження рухомих об'єктів на мобільну платформу iOS.

У **четвертому розділі** визначено засоби імплементації елементів системи. Виконано аналіз та апробацію результатів роботи такої системи. Спроектовано та імplementовано дві системи на мобільній платформі. Висвітлено, що основними проблемами, які постають перед такими системами є: визначення ефективності моделі ЗНМ для задач розпізнавання об'єктів, визначення продуктивності розробленої моделі ЗНМ на мобільній платформі враховуючи наявні апаратні та програмні засоби та визначення ефективності розроблених методів відстеження об'єктів. Проведено відповідні дослідження.

Висновки характеризують результати проведених досліджень, розкривають відповіді на усі поставлені у роботі задачі та завдання.

Список літературних джерел містить 125 найменувань.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів роботи.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У результаті дисертаційного дослідження отримано такі результати, які мають наукову новизну:

1. Удосконалено метод кластеризації при інтеграції у модель згорткової нейронної мережі на мобільній платформі, який полягає у використанні метода k-середніх++ разом з мінімізаційними та згладжуючими фільтрами, який, у порівнянні з методом k-середніх, поліпшує точність розпізнавання у середньому на 5% за метриками mAP, F1 та Recall.

2. Отримав подальший розвиток метод квантизації моделі згорткової

нейронної мережі на основі афінних перетворень для мобільної платформи, який дозволив збільшити продуктивність моделі у середньому на 7% за метриками реального часу у порівнянні з не квантованими моделям при зменшенні показника метрики mAP до 4%.

3. Удосконалено метод збіжності для задач оперативного відстеження завчасно визначеного класу об'єктів, використовуючи Угорський алгоритм, що на відміну від існуючих аналогів, які використовують алгоритм K-вимірне дерево, поліпшує точність розпізнавання та відстеження рухомих об'єктів у середньому на 10% за метриками F1, MOTP та MT, що підтверджено еталонною вибіркою MOT17.

4. Набув подальшого розвитку метод мемоізації відстежених об'єктів з граничною лінією на мобільній платформі, який дозволяє збільшити точність відстеження рухомих об'єктів у реальному часі, що дозволило зменшити кількість перемикань ID на не менше ніж 6% у порівнянні із базовим методом відстеження без використання мемоізації.

5. Вперше розроблено модель масштабованого створення згорткової нейронної мережі для мобільної платформи, яка полягає в автоматизованому анотуванні вхідного класу зображень, тренуванні моделі згорткової нейронної мережі та конвертації у CoreML формат для мобільної операційної системи iOS.

4. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових результатів в опублікованих працях

Оформлення дисертації відповідає наявним вимогам. Зміст, структура та послідовність викладення результатів відповідають як темі роботи, так і чинним вимогам МОН України.

Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату. Результати свідчать про самостійне виконання усіх науково-технічних досліджень.

Дисертаційна робота написана державною мовою, матеріал викладено чітко, стиль викладення результатів досліджень, висновків і рекомендацій забезпечує їх нормальне сприйняття і використання.

Тема роботи розкрита в опублікованих 11 публікаціях, з них 4 статті – у фахових наукових виданнях України та одна стаття опублікована у науковому періодичному виданні інших держав. Ця стаття проіндексована у наукометричній базі Scopus та відноситься до квартилю 1. Здобувач є співавтором 3 доповідей на українських і міжнародних конференціях та 3

статтей, де відображенні практичні результати дисертації. Здобувач Кушнір Дмитро Олександрович брав участь у наукових семінарах кафедри електронних обчислювальних машин за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія протягом 2019-2023 років.

5. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає у розробленні методів та засобів пошуку та розпізнавання об'єктів на мобільній платформі у реальному часі у вигляді масштабованого програмно-алгоритмічного забезпечення, яке може бути застосовано для ідентифікації, відстежування та рахування довільного класу об'єктів на мобільній кіберфізичній системі. У зв'язку з можливістю використовувати розпізнавання власних класів об'єктів, спектр використання системи може бути широкий: від систем розпізнавання руху малих рухомих об'єктів до систем відстежування людини без/з маскою під час пандемії.

Один і запропонованих методів фільтрації результатів розпізнавання об'єктів на зображенні використано у навчальному процесі кафедри «Електронних обчислювальних машин» Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисципліни «Цифрова обробка сигналів» за темою «Опрацювання цифрових зображень» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямком 123 «Комп'ютерна інженерія», спеціалізацією 123.04 «Кіберфізичні системи».

Отримані результати дають можливість зробити висновок про те, що здобувач достатньо мірою оволодів методологією наукової діяльності за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

6. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

1. Поняття «реальний час» є суб'єктивним і бажано, щоб він був конкретизований та визначений кількісно при аналізі метрик точності розпізнавання класів об'єктів.

2. Доцільно було б конкретизувати галузь практичного використання результатів досліджень.

3. У тексті дисертації зустрічається ряд стилістичних неточностей.

Наведені зауваження не применшують наукової цінності роботи. Загальна оцінка дисертаційної роботи є позитивною.

7. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Кушніра Дмитра Олександровича «Методи та засоби пошуку та розпізнавання об'єктів у відеозображеннях на мобільній платформі в реальному часі» є завершеним, цілісним, виконаним на високому рівні науковим дослідженням, яке містить достатню наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів для розв'язання науково-прикладної задачі підвищення точності пошуку та розпізнавання довільного класу об'єктів на мобільній платформі шляхом удосконалення відповідних моделей нейронних мереж та розроблення методів, засобів та алгоритмів ефективного розпізнавання та відстеження у реальному часі.

Зміст дисертаційної роботи відповідає обраній тематиці, забезпечує досягнення поставленої мети і вирішення завдання дослідження та відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «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 автор цієї дисертації, Кушнір Дмитро Олександрович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент – д.т.н., професор,
професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем

Західноукраїнського національного
університету



Наталія ВОЗНА

Підпис

Завіряю:

НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ

А. Семен Шваб