

ВІДГУК

офіційного опонента,
кандидата технічних наук, доцента,
професора кафедри програмної інженерії
та інтелектуальних технологій управління імені А. В. Дабагяна
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
Орловського Дмитра Леонідовича
на дисертаційну роботу Прокопенка Олександра Сергійовича
**«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем
швидкого пошуку зображень на основі вмісту»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 – «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

1. Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження.

Для пошуку зображень за вмістом застосовують різні типи дескрипторів. Класичні підходи, зокрема перцептивні хеші та дескриптори критичних точок, забезпечують високу швидкість обробки й компактність представлення, проте переважно враховують колірні характеристики, ігноруючи об'єктний склад зображення. Сучасні CBIR-системи (Content-Based Image Retrieval, пошук зображень на основі вмісту) використовують моделі глибокого навчання для формування високорозмірних векторів ознак, що значно підвищує точність пошуку, але потребує значних обчислювальних ресурсів. Виявлені обмеження у існуючих методах пошуку зображень на основі вмісту роблять актуальним створення компромісного підходу, який поєднує високу швидкодію класичних методів із точністю пошуку, наближеною до моделей глибокого навчання. Отже, тема дисертаційної роботи Прокопенка О.С. є актуальною та своєчасною.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання зі 133 найменувань та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 143 сторінки, у тому числі 113 сторінок основного тексту. Робота містить 16 рисунків та 8 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано завдання, методи, наукову новизну та практичне значення, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію і впровадження результатів.

У першому розділі проведений аналіз сучасного стану досліджень в предметній галузі, щодо ефективності використання моделей, методів і технологій систем пошуку зображень на основі змісту, розроблення і супроводу відповідного програмного забезпечення. Проаналізовані методи розв'язання задачі за допомогою використання згорткових нейронних мережами. Проаналізовано основні недоліки існуючих методів. Сформульовані вимоги до вихідних даних, умови вибору та обмеження на використання даних.

У другому розділі обрані та описані вихідні дані – набори даних, а також моделі та структури даних для їх ефективного представлення і використання при моделюванні та створенні програмного забезпечення для систем пошуку зображень на основі змісту. Наведено запропоновану модель розроблення програмного забезпечення для створення нового типу об'єктних дескрипторів за рахунок використання знайдених на зображенні об'єктів з допомогою моделей для детекції об'єктів на основі згорткових нейронних мереж. У розділі наведено методи збору інформації про об'єкти та побудови дескриптора зображення з використанням координат, розмірів та типів об'єктів зображених на фото, продемонстровано програмне забезпечення для детекції об'єктів на зображенні.

У третьому розділі наведені покращені моделі та методи розроблення програмного забезпечення для створення алгоритмів пошуку зображень на основі вмісту за рахунок використання розробленого дескриптора зображення та використання групових класових ознак, зокрема розмірів та центрів класів об'єктів для істотного пришвидшення порівняння зображень порівняно з дескрипторами зображень на основі глибокого навчання та істотного підвищення точності порівняно з класичними дескрипторами зображень.

У четвертому розділі наведені покращені моделі та методи розроблення програмного забезпечення для побудови систем пошуку зображень на основі вмісту за рахунок використання запропонованих дескрипторів зображення та алгоритмів пошуку за зображенням для істотного покращення швидкості і точності пошуку у порівнянні з відомими аналогами.

У підсумку, дисертація є завершеною науковою працею, що оформлена відповідно до вимог «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, та «Вимог до оформлення дисертації», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

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

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалося відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки та за підтримки міжнародного наукового проєкту «Радіоелектроніка–Ворик: партнерські дослідження і розробки» («Radio Electronics-Warwick Allied Research and Development», REWARD). Проєкт реалізовувався Харківським національним університетом радіоелектроніки спільно з Університетом Ворика (The University of Warwick, м. Ковентрі, Велика Британія) у період з березня 2023 р. по січень 2024 р. в рамках

Ініціативи побратимства університетів Великої Британії та України (UK–Ukraine University Twinning Initiative), запровадженої за фінансової підтримки Research England (UK Research and Innovation) та адміністрованої Universities UK International (UUKi).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертаційній роботі, забезпечено експериментальною перевіркою розроблених моделей та методів у порівнянні з існуючими аналогічними рішеннями, зокрема на основі глибокого навчання в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, публікацією наукових статей, щодо отриманих результатів та впровадженням розробленого програмного забезпечення. Основні положення дисертації обговорено на міжнародних наукових конференціях.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Матеріали дисертації достатньо повно представлені у п'яти наукових працях за темою дисертаційного дослідження, у тому числі чотирьох статтях у наукових виданнях, включених до Переліку фахових видань України, та доповіді у матеріалах міжнародних наукових конференцій. Дві з цих публікацій індексуються у наукометричній базі Scopus.

За результатами виконаних досліджень отримано наступні нові наукові результати.

1. Отримали подальший розвиток моделі та методи розроблення програмного забезпечення для створення дескриптора зображень, що використовує дані про знайдені на зображенні об'єкти з використанням технологій штучного інтелекту, їх вид та розташування в якості відмінних ознак, що дозволяє інтегрувати існуючі рішення у сфері нейронних мереж для пошуку об'єктів для вирішення задачі пошуку зображень за контентом.

Створено ієрархічну структуру дескрипторів зображень, класів та об'єктів для управління сховищами зображень.

2. Отримали подальший розвиток методи розроблення програмного забезпечення для створення алгоритмів пошуку та порівняння за зображенням з використанням запропонованого об'єктно-орієнтованого дескриптора зображень, що вирішує проблеми швидкого пошуку та фільтрації зображень за об'єктним складом у великих сховищах даних. Запропонована міра відстані дозволяє швидко оцінити схожість зображень на основі класових ознак груп об'єктів. Алгоритми з використанням запропонованих об'єктно-орієнтованих дескрипторів дозволяють на порядок пришвидшити час пошуку за зображенням у великих сховищах у порівнянні з багатовимірними векторами ознак на основі глибокого навчання, зберігаючи високу точність пошуку.

3. Отримали подальший розвиток методи розроблення програмного забезпечення для побудови систем пошуку зображень на основі вмісту за рахунок використання запропонованих дескрипторів зображення, метрик та алгоритмів пошуку за зображенням, що дозволяють на порядок скоротити час пошуку зображень у великих сховищах даних, дозволяють швидко знаходити як повні копії, так і зображення з незначними трансформаціями, будувати пошукові запити з використанням зображень, кількісних та якісних показників об'єктного складу.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в унікальному поєднанні високорівневих ознак зображень таких як об'єкти із використанням їх параметрів у простих в обчислювальному плані алгоритмах, що дозволяє виконувати швидкий пошук за зображенням у великих сховищах даних, що окрім власне пошуку може слугувати як ефективний фільтраційний механізм для виокремлення релевантної вибірки у великому сховищі для більш комплексних методів аналізу і порівняння зображень. Результати роботи

впроваджено в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки, у робочий процес приватного підприємства «РІІТ».

7. Дотримання вимог академічної доброчесності.

За результатами аналізу тексту дисертації та публікацій автора за темою дисертації встановлено відсутність плагіату та запозичень. Таким чином, порушення академічної доброчесності в дисертаційній роботі відсутні.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертація містить нові теоретичні та практичні результати, але не позбавлена деяких недоліків. До недоліків дисертації слід віднести такі.

1. Структура дескриптора зображення описана досить узагальнено (зокрема, таблиці 2.2 та 2.3), немає чіткої моделі даних де були б представлені основні характеристики зображення, що ускладнює застосування, валідацію і верифікацію отриманих наукових результатів.

2. У розділі 4.1 визначаються вимоги до системи пошуку зображень. Ці вимоги треба було б більш чітко класифікувати, наприклад, за класифікацією SWEBOOK (Software Engineering Body of Knowledge).

3. У розділі 4.2 визначені такі елементи архітектури запропонованої системи пошуку зображень як YOLO-сервіс та Бекенд сервіс. Але на діаграмі розгортання системи пошуку зображень (рисунок 4.1) ці елементи чомусь визначені як YOLO-сервер та Бекенд сервер.

4. У розділі 4.1 визначається вимога щодо наявності інтерфейсу репозиторію, але серед елементів системи пошуку зображень та на відповідних діаграмах (розділ 4.2) ані репозиторій, ані інтерфейс до нього не згадуються.

5. Для розробленої системи пошуку зображень на основі вмісту зазначено можливість адаптації збережених даних та зміни структури дескрипторів, проте не описано ролі користувачів у системі, які б мали доступ

для виконання таких операцій. Тому дуже бажаною була б наявність діаграми варіантів використання.

6. Експериментальна перевірка виконана лише на одному наборі даних та трансформованих зображеннях з цього набору, для повноти перевірки та об'єктивної оцінки розроблених методів бажано було б проведення перевірки на більшій кількості наборів даних та порівняння з існуючими аналогами.

7. Заявлено високий ступінь паралелізації та можливості використання розподілених обчислень для порівняння зображень, проте не наведено ані теоретичних оцінок, ані експериментальних результатів перевірок розроблених методів у таких умовах.

8. Архітектура моделі YOLOv8 (рисунок 2.2) посиляється на веб-джерело, яке не має ознак наукової публікації. Це джерело (номер 133 у переліку джерел) бажано було б замінити на наукову публікацію.

Але при цьому вважаю, що зазначені зауваження не є визначальними та не знижують загальної наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Загальні висновки щодо дисертації.

Дисертаційна робота Прокопенка Олександра Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем швидкого пошуку зображень на основі вмісту» за своїм змістом відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання покращення моделей і методів та удосконалення технології розроблення програмного забезпечення систем пошуку зображень на основі вмісту.

Дисертаційна робота Прокопенка Олександра Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем швидкого пошуку зображень на основі вмісту» повністю відповідає пунктам 6, 7, 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення

разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

Здобувач Прокопенко Олександр Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри програмної інженерії
та інтелектуальних технологій
управління імені А. В. Дабагяна
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Дмитро ОРЛОВСЬКИЙ

Підпис *Дмитро Орловський*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Дмитро Орловський
" " 20__ р.

