

ВІДГУК

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора,

в. о. завідуючого кафедри комп'ютерних наук

та інформаційних технологій

Національного аерокосмічного університету

Харківський авіаційний інститут»,

Федоровича Олега Євгеновича

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 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, у відношенні ефективності використання моделей, методів і технологій систем пошуку зображень на основі вмісту, розроблення і супроводу відповідного програмного забезпечення. Виділені основні трендові дослідження. Зокрема проаналізовані методи розв'язання задачі за допомогою виділення фіч згортковими нейронними мережами. Висвітлені основні недоліки існуючих методів, які варто виправити. 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 вмісту. Наведено запропоновану модель розроблення програмного забезпечення для створення нового типу об'єктних дескрипторів за рахунок використання знайдених на зображенні об'єктів за 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 центроїд класів об'єктів для істотного пришвидшення аналізу зображень порівняно з дескрипторами зображень на основі глибокого навчання та 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 зображень 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 realized by Kharkiv National University of Radio Electronics jointly with the University of Warwick (The University of Warwick, m. Coventry, Great Britain) in the period from March 2023 to January 2024 in the framework of the UK-Ukraine University Partnership Initiative»).

) та 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 стандартизовану ієрархічну структуру дескрипторів зображення, 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 видокремлення 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. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Дисертація містить нові теоретичні та практичні результати, але не позбавлена деяких недоліків. До недоліків дисертації слід віднести наступні: Недостатньо обґрунтовано вибір моделі для пошуку об'єктів, не наведено порівняльного аналізу з аналогічними моделями, який би дозволив побачити об'єктивні переваги зробленого вибору.

Експериментальна перевірка виконана на тому самому наборі даних, на якому було навчено модель. Для більш точної оцінки розроблених методів варто було би провести порівняння на додаткових наборах даних.

У роботі не представлено чіткої аргументації, щодо вибору метрики для порівняння схожості зображень, немає математичного доведення коректності обраного методу.

Заявлено роботу з великими сховищами зображень. Перевірка у сховищі зі ста шістдесятьма тисячами зображень не дозволяє в повній мірі оцінити роботу розроблених методів з масштабами великих даних притаманних сучасним програмним системам.

Наведені зауваження мають характер рекомендацій і не знижують загальної наукової та прикладної цінності дисертаційного дослідження.

9. Загальні висновки щодо дисертації.

Дисертаційна робота Прокопенка Олександра Сергійовича на тему пошуку зображень на основі вмісту» за своїм змістом відповідає спеціальності 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:

доктор технічних наук, професор,

в. о. завідуючого кафедри комп'ютерних наук

та інформаційних технологій

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут» _____ Олег ФЕДОРОВИЧ

Підпис доктора технічних наук, професора, в.о. завідувача кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» Олега ФЕДОРОВИЧА засвідчую.

Учений секретар

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут» _____ Тетяна БОНДАРЄВА

«04» _____ 2026 р.

