

ВІДГУК

рецензента **Кобиліна Олега Анатолійовича**

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 потребують значних обчислювальних ресурсів. Виявлені обмеження, в 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. 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:

- 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 з пошуку об'єктів і вирішення задачі пошуку зображень за контентом. Створено стандартизовану ієрархічну структуру дескрипторів зображення, класів та об'єктів для управління сховищами зображень;

- 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;

- 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.

3. 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 проведено аналіз сучасного стану досліджень в предметній галузі, у відношенні ефективності використання моделей, методів і технологій систем пошуку зображень на основі змісту, розроблення та супроводу відповідного програмного забезпечення. Виділено основні трендові дослідження, зокрема проаналізовано методи розв'язання задачі за допомогою виділення особливих ознак згортковими нейронними мережами. Висвітлено основні недоліки існуючих методів, які потребують. Сформульовано вимоги до вихідних даних, умови вибору та обмеження на використання даних.

У другому розділі обрано та описано вихідні дані – набори даних, а також моделі, 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 представлені покращені методи створення алгоритмів пошуку зображень на основі змісту, за рахунок використання

розробленого дескриптора зображення та зображених об'єктів у якості відмінних рис. Для того, щоб швидкість порівняння зображень не залежала від кількості об'єктів на зображенні, пропонується використання групових класових ознак таких як кількість, розміри і розташування груп об'єктів одне відносно одного, що дозволяє швидко порівнювати зображення при цьому зберігаючи високу точність завдяки високій дискримінативній властивості зображених об'єктів.

У четвертому розділі наведено покращені моделі і методи розроблення програмного забезпечення для побудови систем пошуку зображень на основі вмісту, за рахунок використання запропонованих дескрипторів зображення та алгоритмів пошуку за ознаками та 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.

4. 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 та адміністративної підтримки Research England (UK Research and Innovation), Universities UK International (UUKi).

5. 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.

6. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає в унікальному поєднанні високорівневих ознак зображень, а саме 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 даних для більш комплексних методів аналізу і порівняння зображень. Результати роботи впроваджено в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки та 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:

- в аналізі сучасного стану досліджень у предметній галузі не згаданий такий дескриптор як HOG, що є важливою частиною сучасних систем комп'ютерного зору в області пошуку та аналізу об'єктів;

- у представленій роботі є неточні формулювання, щодо методики порівняння зображень, наприклад, якщо це метрика дистанції то вона має бути математично доведеною;

- немає математичного доведення швидкості роботи запропонованих методів у великих сховищах даних;

- експериментальна частина виграла б від більшого різноманіття використаних моделей для детекції об'єктів, більшої кількості сучасних аналогів для порівняння та більшої кількості наборів даних для перевірки. Також, у роботі виявлено незначні зауваження щодо технічного оформлення.

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 «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 рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
завідуючий кафедри інформатики
Харківського національного
університету радіоелектроніки

Олег КОБИЛІН