

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента

Орловського Дмитра Леонідовича

на дисертаційну роботу Даниленка Станіслава Дмитровича на тему

**«Моделі та методи пошуку зображень у сховищах даних за векторним
представленням ознак»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

галузі знань 12 Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

Стрімке зростання обсягів цифрової інформації зумовлює потребу у створенні ефективних засобів пошуку даних у великих сховищах. Особливої актуальності ця проблема набуває для графічної інформації, яка широко використовується в різних прикладних сферах. Традиційні підходи до пошуку не завжди забезпечують достатню ефективність і точність, що обумовлює необхідність розвитку сучасних методів обробки та аналізу зображень.

Перспективним напрямом є пошук зображень на основі їхнього вмісту, який використовує числові представлення ознак для визначення подібності між зображеннями. Проте зі зростанням обсягів даних виникають певні проблеми.

У дисертаційній роботі розглянуто саме ці проблеми: низьку швидкість пошуку, тривале формування або оновлення пошукових індексів, обмежену адаптивність існуючих рішень до прикладних задач та складність ефективної організації векторних представлень ознак у великих сховищах даних. Тому обрана тема є сучасною та практично значущою для розвитку програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту.

З огляду на це, дисертаційна робота Даниленка С. Д. є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки спрямована на розроблення моделей і методів, що забезпечують підвищення швидкодії програмного

забезпечення CBIR-систем, скорочення часу формування пошукових індексів та адаптацію пошуку до характеристик дескрипторів і вимог прикладної задачі.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

У дисертації чітко визначено мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження. Обґрунтованість наукових положень забезпечується послідовною логікою дослідження: від аналізу сучасного стану предметної галузі до формулювання гіпотез, побудови моделей і методів, їх математичної формалізації, програмної реалізації та експериментальної перевірки. У роботі використано методи системного аналізу, декомпозиції, теоретико-множинні та математичні методи, методи чисельної оптимізації, описової статистики, аналізу даних, а також експериментальні й порівняльні методи.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується коректною постановкою задачі, використанням сучасного методичного апарату, математичною формалізацією запропонованих моделей і методів, застосуванням різних наборів даних (COCO2017, Various Tagged Images, Amazon Bin Images, штучно згенеровані дескриптори), а також порівняльною експериментальною перевіркою. Для перевірки адаптивності запропонованих рішень застосовано типи дескрипторів: IBH, Wavelet hash, CLIP та ORB-VLAD.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження є наступною:

1. Вперше запропоновано модель розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту у сховищах даних у вигляді багатовимірного куба, яка реалізує організацію векторних представлень ознак зображень шляхом розбиття простору ознак на підпростори з дискретизацією їх значень. Це зменшує обчислювальні витрати на етапі формування внутрішньої структури кластерів і пошукових індексів за рахунок уникнення складних ітеративних процесів та дозволяє, залежно від кількості та розмірності дескрипторів, пришвидшити цей процес від 4 до 22 разів порівняно з існуючими рішеннями у зіставних умовах.

2. Вперше запропоновано метод розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту, що ґрунтується на хвильовому пошуку та реалізує поступове розширення області пошуку шляхом аналізу сусідніх підпросторів. Використання структурної організації моделі зменшує потребу в додаткових обчисленнях для визначення належності елемента до кластера та дозволяє скоротити час виконання пошуку від 1,27 до 32 разів порівняно з існуючими методами у зіставних умовах із можливістю адаптації параметрів пошуку до характеристик дескрипторів та вимог якості за F1-мірою.

3. Отримав подальший розвиток метод розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту завдяки введенню механізму, що поєднує статистично обґрунтоване коригування меж підпросторів та чисельну оптимізацію параметрів моделі. Це забезпечує формування кластерів з квазірівномірною наповненістю і, порівнюючи з рівномірно визначеними межами підпросторів, дозволяє збільшити кількість наповнених кластерів від 4,4 до 6,6 разів, кількість кластерів з очікуваною наповненістю – від 4,8 до 9,5 разів, підвищує рівномірність розподілу дескрипторів між кластерами та створює передумови для стабілізації трудомісткості ітерацій пошуку й показників якості пошуку.

4. Удосконалено уніфіковану модель проектування та оцінки якості програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту у сховищах даних, яка базується на компонентно-орієнтованому підході та формалізованому описі конфігурацій системи. На відміну від відомих рішень, запропонована модель описує систему як простір типізованих компонентів із визначеними контрактами взаємодії. Це забезпечує ширше покриття операцій адаптації системи до прикладних задач, дає змогу формувати працездатні конфігурації без модифікації архітектурного ядра та порівнювати вплив компонентів на показники функціонування системи за вибраними метриками на ранніх етапах розроблення.

Сильною стороною дисертаційної роботи є математичний апарат, який використано для формалізації простору ознак, опису моделі багатовимірною

куба, аналізу підпросторів, визначення параметрів моделі, оцінювання складності алгоритмів та обґрунтування методу хвильового пошуку. Це підвищує наукову переконливість отриманих результатів і відрізняє роботу від суто інженерних реалізацій пошуку.

Отже, у дисертаційній роботі поставлене науково-практичне завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності, а отримані результати є новими, достовірними та такими, що відповідають спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота Даниленка С. Д. відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у розвиток моделей і методів розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту. Сформульовані у роботі висновки узгоджуються з поставленими завданнями, підтверджуються результатами теоретичного аналізу, програмної реалізації та експериментальних досліджень.

Аналіз змісту дисертаційної роботи та публікацій здобувача дає підстави стверджувати, що робота є результатом самостійного наукового дослідження Даниленка С. Д. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Ознак фальсифікації, фабрикації, компіляції, академічного плагіату чи некоректних запозичень у дисертаційній роботі не встановлено. Дисертація виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Результати дослідження викладені чітко і послідовно. Стиль викладення відповідає

академічним стандартам, використовується спеціалізована термінологія, яка відображає сутність досліджуваної проблематики. Мова роботи є грамотною і точною, що сприяє ясності та зрозумілості тексту.

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 189 сторінок, з яких 145 сторінок основного тексту. Робота містить 25 рисунків, 21 таблицю, список використаних джерел із 135 найменувань та 5 додатків.

У вступі розкрито актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, обґрунтовано об'єкт і предмет дослідження, описано методологічну основу, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено структуру дисертації.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи та сучасні методи пошуку зображень на основі вмісту. Проведено огляд літератури, визначено основні проблеми і виклики, з якими стикаються дослідники у цій сфері, проаналізовано підходи до формування дескрипторів, побудови пошукових індексів і сховищ дескрипторів, а також наведено порівняльний аналіз існуючих систем і підходів та зазначено їх обмеження.

У другому розділі наведено методику проведення дослідження, обґрунтовано вибір напрямку, сформульовано наукові гіпотези, визначено набори даних, типи дескрипторів, метрики оцінювання та умови експериментальної перевірки запропонованих моделей і методів.

У третьому розділі подано теоретичне обґрунтування запропонованих моделей і методів, зокрема уніфікованої моделі проектування та оцінки якості CBIR-систем, моделі багатовимірного куба, методу оптимізації структури простору ознак та методу пошуку хвилями.

У четвертому розділі наведено практичну реалізацію запропонованих моделей і методів та результати експериментальної перевірки. Проведено оцінювання ефективності уніфікованої моделі, моделі MDC, методу оптимізації

кластеризації дескрипторів та методу хвильового пошуку, а також наведено відомості про практичне впровадження результатів дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких 6 статей у наукових журналах, включених до Переліку наукових фахових видань України, з них 2 статті – у виданнях категорії А, що входять до наукометричної бази Scopus, 4 статті – у виданнях категорії Б, з яких 1 входить до наукометричної бази Scopus. Також опубліковано 2 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, що входять до наукометричної бази Scopus. Результати роботи пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях, зокрема 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T) та MoDaST 2025: Modern Data Science Technologies Doctoral Consortium.

Тематика публікацій відповідає змісту дисертації. У них відображено основні результати щодо моделі багатовимірного куба, оптимізації кластеризації дескрипторів, методу хвильового пошуку, уніфікованої моделі конфігурації CBIR-систем та практичних аспектів реалізації програмного забезпечення. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Визнаючи актуальність, наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи, слід зазначити окремі дискусійні положення та зауваження, які мають уточнювальний характер.

1. Для повнішого інженерного подання, додатково до наявних у роботі діаграм, наведених у тексті та додатку В, доцільно було б також навести UML-

діаграму класів уніфікованої моделі, яка відображала б основні інтерфейси, абстракції, залежності та контракти взаємодії на рівні програмної реалізації.

2. Для реалізації MDC у реляційній базі даних, наведеної у пункті 3.2.3, доцільно було б додатково описати процедуру оновлення схеми та повторної індексації у випадку зміни кількості вимірів або інтервалів моделі.

3. На рисунку 3.1 наведено ядро CBIR-системи. У роботі описано його роль як компонента оркестрації, проте детальніша ілюстрація його внутрішніх функцій могла б покращити інженерну зрозумілість запропонованої моделі.

4. У розділі 4.1 наведено програмний прототип з графічним інтерфейсом, і як альтернативне рішення декларується можливість використання REST API для міжсервісної інтеграції. Було б доцільно навести приклад контракту такого API для типового сценарію пошуку або налаштування системи.

5. У пункті 3.1.1 зазначено, що сховище зображень є зовнішнім ресурсом, а сховище зображень і сховище дескрипторів мають бути синхронізованими. Водночас доцільно було б детальніше описати механізм підтримання такої синхронізації для різних типів сховищ зображень, зокрема при додаванні, видаленні або зміні зображень.

6. У пункті 4.1.4 зазначено, що при створенні сховища зображень використовуються файли формату CSV (Comma-Separated Values). Але це звичайні текстові файли, які не мають якихось засобів контролю доступу та інших безпекових складових. Виходячи з того, що сховище зображень може містити дані з конфіденційними або навіть таємними складовими, було б доцільно описати, як контролюється доступ до сховища зображень.

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

7. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Даниленка Станіслава Дмитровича на тему «Моделі та методи пошуку

зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак» є завершеним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності.

У роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання, що полягає у підвищенні швидкодії програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту та оперативності формування пошукових індексів у сховищах даних різних типів. Отримані результати мають наукову новизну, теоретичне значення та практичну цінність для галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю, достовірністю, практичною значущістю та повнотою викладу отриманих результатів 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.

Здобувач Даниленко Станіслав Дмитрович 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

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

Дмитро ОРЛОВСЬКИЙ

