РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професора Леонова Сергія Юрійовича

на дисертаційну роботу **Філатова Валерія Володимировича**

«Автоматизована система швидкого пошуку схожих цифрових зображень на основі нечіткої логіки»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Філатова Валерія Володимировича на тему «Автоматизована система швидкого пошуку схожих цифрових зображень на основі нечіткої логіки», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

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

У сучасних умовах цифрової трансформації, зокрема в інформаційно-аналітичній, медіа- та безпековій сферах, спостерігається стрімке зростання обсягів візуального контенту, який потребує оперативної обробки, аналізу та структуризації. Водночас традиційні підходи на основі глибоких нейронних мереж, незважаючи на свою поширеність, мають низку істотних обмежень, пов'язаних із високою обчислювальною складністю, потребою в значних обсягах навчальних даних та слабкою інтерпретованістю результатів. Тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки охоплює перспективний напрям розробки моделей, методів та алгоритмічного забезпечення для класифікації й групування зображень за умов невизначеності, спотворень та високої частоти оновлення інформації. Тематична спрямованість роботи повною мірою відповідає пріоритетним напрямам науково-технічного розвитку України,

зокрема в частині розвитку цифрових технологій, інтелектуальних інформаційних систем і засобів обробки великих масивів даних.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри «Комп'ютерна інженерія та програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за темою К6003 «Розробка пропозицій щодо оптимального розміщення даних та управління ресурсами в розподілених інформаційно-управляючих системах» (№д/р 0124U001391), в якій здобувач брав участь як виконавець окремих розділів.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну, а саме:

– одержали подальший розвиток методи аналізу спектральних ознак зображень, які полягають у встановленні узагальненої леми щодо інваріантності амплітудного спектра двовимірного дискретного косинусного перетворення до ортогональних поворотів (на 90°, 180°, 270°) та дзеркальних відображень зображення по горизонтальній і вертикальній осях, що дало змогу обґрунтувати використання модуля ДКП-коефіцієнтів як стійкої ознаки для формування сигнатур в задачах кластеризації та ідентифікації зображень при симетричних афінних спотвореннях;

– вперше розроблений метод побудови спектральної сигнатури зображення, що заснований на агрегації амплітудних коефіцієнтів двовимірного дискретного косинусного перетворення у чотирьох спектральних каналах (градації сірого, червоний, зелений, синій) з використанням L1-, зваженої L1- та L2-норм, а також на доведеній лемі про інваріантність модуля спектра ДКП до ортогональних поворотів і дзеркальних відображень, що дало змогу сформувати компактну, стійку до афінних симетрій сигнатуру для класифікації зображень без необхідності виявлення ключових точок;

– вперше розроблений комбінований метод класифікації зображень, який заснований на формуванні підкласу потенційно схожих зображень на основі прямокутної функції належності до спектральної сигнатури з

урахуванням метрики міських кварталів та нечіткого критерію подібності на основі гауссових функцій належності, що дало змогу підвищити точність класифікації, зменшити кількість помилкових відмов і об’єднувати надлишкові кластери без повторного обчислення сигнатур при динамічному оновленні бази даних.

Вважаю, що дисертаційна робота є вагомим внеском у розвиток науково-методичних засад автоматизованої класифікації та кластеризації зображень, зокрема в умовах великих динамічних баз даних. Запропоновані моделі, методи та програмні рішення становлять інтерес для подальших досліджень у сфері інтелектуального аналізу візуального контенту, розробки високопродуктивних інформаційно-пошукових систем та верифікації цифрових зображень в інформаційних системах нового покоління.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Отримані результати мають вагоме практичне значення, що підтверджується як прикладним характером запропонованих рішень, так і їх апробацією в реальних умовах. Зокрема:

– запропоновано узагальнену модель комбінованого класифікатора, яка може бути ефективно використана в задачах цифрового моніторингу, виявлення фейкових та дублікатних зображень;

– розроблено програмний прототип автоматизованої системи, що пройшов апробацію як у середовищі новинного онлайн-порталу ТОВ «Мета ЮЕЙ», так і в освітньому процесі на кафедрі комп’ютерної інженерії та програмування НТУ «ХПІ»;

– реалізовані методи забезпечують можливість ефективного пошуку схожих зображень без необхідності попереднього навчання моделей, що особливо важливо в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором. За результатами дослідження дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, з них в наукових виданнях України, що індексуються в наукометричній базі Scopus (Q3) – 2, в науковому фаховому

виданні України – 1, публікацій у матеріалах міжнародних наукових конференцій – 8.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають велике значення для розвитку методів автоматизованої обробки візуального контенту, зокрема в задачах класифікації та кластеризації зображень у великих динамічних базах даних, а також можуть бути використані при створенні високопродуктивних інформаційно-пошукових систем, медіааналітичних платформ та систем моніторингу цифрового контенту.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Робота Філатова В.В. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і додатки.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі розробки автоматизованої системи класифікації та кластеризації зображень новинного контенту в умовах великих динамічних баз даних, які постійно оновлюються та містять спотворені візуальні об’єкти.

Об’єктом дослідження є процес кластеризації візуального новинного контенту в умовах великих динамічних баз даних.

У першому розділі здійснено ґрунтовний аналітичний огляд сучасних підходів до класифікації та кластеризації зображень, зокрема методів на основі дескрипторів ключових точок, перцептивного хешування, глибоких згорткових нейронних мереж та мультимодальних моделей. Проаналізовано їхні переваги та обмеження для застосування в умовах великих динамічних баз даних. На основі критичного аналізу сучасних методів встановлено недостатню ефективність у забезпеченні високої швидкодії, стійкості до типових спотворень та належного рівня інтерпретованості результатів. Отримані висновки дали змогу сформулювати мету роботи та задачі дослідження.

У другому розділі представлено формалізовану модель класифікації зображень для великих динамічних баз даних, яка враховує інваріантність спектральних ознак до афінних симетричних перетворень. Обґрунтовано вибір двовимірного дискретного косинусного перетворення як основи для побудови спектральної сигнатури зображень. Запропоновано метод її формування з урахуванням інформації з кількох кольорових каналів і використанням різних норм агрегації. Розроблено комбінований метод класифікації, що поєднує жорсткий пороговий контроль з гнучкими механізмами оцінки подібності на основі функцій належності, що дало змогу досягти балансу між точністю та обчислювальною ефективністю. Представлені в розділі підходи стали теоретичною основою для подальшої реалізації програмного прототипу системи.

В третьому розділі розроблено архітектуру та реалізовано програмний прототип автоматизованої системи кластеризації зображень на основі нечіткої логіки. Визначено функціональні вимоги до системи, побудовано модульну структуру та реалізовано ключові компоненти на мові програмування Python. Особливу увагу приділено інтеграції з реляційною базою даних, що забезпечує ефективне зберігання та обробку зображень і результатів класифікації. Продемонстровано функціонування системи в умовах динамічного оновлення інформаційного потоку. Запропоновано підхід до мовно-незалежної кластеризації на основі візуальних ознак, а також окреслено можливості підвищення точності за рахунок урахування часових і контекстуальних залежностей. Створений прототип підтвердив працездатність і прикладну цінність розроблених теоретичних положень.

У четвертому розділі проведено експериментальну перевірку ефективності запропонованого методу класифікації зображень на основі спектральної сигнатури. Оцінено точність, швидкодію та стійкість системи до поширених типів спотворень, характерних для новинного візуального контенту. Експериментальні результати підтверджують, що комбінований класифікатор забезпечує високі показники точності (до 95,65 %) та пропускної здатності (понад 300 зображень/с), зберігаючи стабільний час обробки завдяки

попередньому групуванню зображень за індексованими компонентами сигнатури.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють результати дослідження та відповідають поставленим задачам. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури досить широко охоплює предметне поле дослідження, що є свідоцтвом глибокого опрацювання автором значної кількості джерел як вітчизняних так і іноземних авторів, та всебічного вивчення різних аспектів поставленої задачі.

Додатки містять інформацію про практичне впровадження результатів дисертації, програмний код розроблених модулів, а також юніт-тести, що свідчить про завершеність науково-практичної частини роботи та її орієнтованість на реальне застосування.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих результатів обумовлена використанням комплексного підходу до вирішення поставленої наукової задачі, що включає систематичний аналіз предметної області, обґрунтування математичних моделей та алгоритмів, а також їх практичну реалізацію і верифікацію. Послідовне застосування відповідних методів дослідження, зокрема методів спектрального аналізу, теорії нечітких множин, машинного навчання, а також інструментів експериментальної оцінки точності, чутливості та продуктивності, забезпечило об’єктивність і надійність отриманих висновків. Висока узгодженість теоретичних результатів із практичними експериментами підтверджує внутрішню логічну цілісність дослідження.

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

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У

тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у трьох фахових статтях, дві з яких в журналах, що індексуються в наукометричній базі Scopus, а також дисертант активно приймав участь в міжнародних конференціях, де була проведена апробація ідей, що викладено у дисертаційному дослідженні.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі, присвяченому аналізу існуючих методів, наведено лише загальний опис глибоких моделей, але не представлено кількісного або якісного порівняння запропонованого методу з популярними DCNN- або Vision Transformer-архітектурами, зокрема в умовах обмежених ресурсів.

2. Не повністю обґрунтовано вибір саме дискретного косинусного перетворення. Автор подає DCT як основу побудови спектральної сигнатури, проте не розглядаються інші потенційні варіанти (наприклад, DFT, wavelet-перетворення), які також мають відомі властивості інваріантності та використовуються в задачах CBIR.

3. У підрозділі 2.3 варто було більш детально описати процедуру квантування спектральних коефіцієнтів та формування матриці квантування коефіцієнтів ДКП Q_c.

4. Недостатня формалізація нечіткого компонента класифікації в частині обґрунтування параметрів функцій належності. Було б доцільно більш детально викласти мотивацію вибору типу функцій належності (наприклад, гауссових), а також пояснити спосіб вибору параметрів ширини та центра функцій у динамічних умовах.

5. Не деталізовано механізм масштабування розробленої системи для великих обсягів даних у хмарних середовищах. Було б доцільно хоча б у висновках окреслити потенціал інтеграції з сучасними розподіленими платформами (наприклад, Apache Spark, Hadoop або Dask).

Однак зазначені зауваження не носять принциповий характер і не знижують цінності проведеного здобувачем дослідження, актуальності, новизни та практичної значущості дисертаційної роботи.

10. Висновки

Дисертаційна робота Філатова В.В. є завершеною науково-дослідною роботою, яка є актуальною, має як наукову новизну, так і практичне значення, містить науково-обґрунтовані результати, а також дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає спеціальності 123 – «Комп'ютерна інженерія».

Отже, враховуючи все вищесказане, вважаю, що дисертаційна робота Філатова Валерія Володимировича «Автоматизована система швидкого пошуку схожих цифрових зображень на основі нечіткої логіки» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Філатов Валерій Володимирович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Рецензент – доктор технічних наук,
професор кафедри комп'ютерної інженерії
та програмування
Національного технічного університету
«Харківський Політехнічний Інститут Сергій ЛЕОНОВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ * Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" * код 02071180 *

Підпис Сергія Леонова
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
"28" 07 2025 р.