

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., професору Віталію ЯКОВИНІ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

СУББОТІНА Сергія Олександровича

на дисертаційну роботу **ПОБЕРЕЙКА Петра Богдановича**

**«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ВІДЕОПОТОКІВ
ТА ПОШУКУ ПОДІБНОСТЕЙ У КОНТЕНТНО-ОРІЄНТОВАНИХ
СИСТЕМАХ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ»,**

подану до разової спеціалізованої вченої ради

на здобуття ступеня доктора філософії в галузі 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Стрімке зростання обсягів відеоконтенту — від розподілених систем відеоспостереження, OTT-платформ і соціальних мереж до наукових експериментів і медичних досліджень — формує новий клас завдань, де швидкість і точність автоматизованого аналізу визначають не лише якість сервісів, а й безпеку чи життєздатність критичних процесів. Очевидно, що класичні алгоритми комп'ютерного зору вже не задовольняють вимоги до масштабованості та адаптивності: вони вразливі до зміни освітлення, раптового руху камери, варіацій сцени та потребують трудомісткого підбирання гіперпараметрів. Саме тому сучасні глибокі архітектури DCNN, LSTM, SlowFast, Trans-based Video

Encoder тощо виходять на перший план, забезпечуючи інтегрований просторово-часовий аналіз відеопотоків. Проте їх застосування вимагає розв'язання низки невідкладних проблем: зниження обчислювальної складності, підвищення енергоефективності на граничних (edge) пристроях та гарантованого часу відгуку в умовах великого потоку запитів.

Дисертаційне дослідження **Поберейка П.Б.** пропонує комплексну відповідь на зазначені виклики та спрямоване на вирішення завдань системного поєднання методів багаторівневої сегментації сцен з малоглибокими CNN-модулями для екстракції об'єктних та текстурних ознак і формування стислих векторних подань без втрати семантичної повноти, створення двошарової моделі індексації, запровадження ресурсно-обмеженого режиму обробки. Усе це робить дисертаційне дослідження актуальним і значимим для низки прикладних доменів — від оперативного моніторингу інфраструктури Smart-City до контент-модерації й мультимедійних пошукових систем. Таким чином, тема дисертації має високу наукову й практичну значущість, оскільки відповідає глобальній тенденції переходу від пасивного зберігання відео до когнітивних CBVIR-сервісів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження тісно пов'язане з пріоритетними напрямками науково-дослідної діяльності, що реалізуються у Національному університеті “Львівська політехніка”, та відповідає координаційним планам наукових досліджень, затвердженим Міністерством освіти і науки України. Робота виконувалася в межах наукової тематики кафедри систем штучного інтелекту Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій. Основні результати дослідження впроваджено в межах науково-дослідної роботи за темою «Комплексний догляд для наступного покоління» (iCare4Next), яка виконувалась відповідно до договору № М/100-2024 від 19.07.2024 р. (шифр

C2020/1-8) і включена до відповідного звіту про виконання держбюджетної тематики. Це засвідчує прикладне спрямування роботи, її відповідність сучасним науковим запитам і значущість для розробки інтелектуальних систем підтримки рішень.

Оцінка наукових результатів дисертації. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено метод моніторингу ефективності та адаптивного налаштування параметрів глибокої моделі DCNN + LSTM, який забезпечує автоматичне регулювання ваг та гіперпараметрів залежно від характеристик вхідного відеопотоку. Метод дозволяє в реальному часі відстежувати ключові метрики продуктивності (точність, швидкодія, споживання ресурсів), прогнозувати зміну ефективності при варіаціях формату або якості відео та підтримувати стабільну роботу системи в динамічних умовах.

2. Удосконалено алгоритм виявлення меж сцен у відео, який інтегрує градієнтний аналіз із часовими характеристиками міжкадрової динаміки. Такий підхід забезпечує підвищену точність сегментації відео в умовах складного або швидкоплинного контенту, що сприяє підвищенню якості попередньої обробки даних для систем контентно-орієнтованого пошуку (CBVIR).

3. Запропоновано нову модель класифікації та кластеризації відеооб'єктів на основі глибокої згорткової нейронної мережі (CNN), що враховує геометричні дескриптори, гістограми градієнтів і просторову структуру об'єктів у сцені. Додатково розроблено модульну архітектуру індексації, яка забезпечує адаптацію до змін сцени та підтримку багаторівневої обробки в реальному часі, що істотно підвищує точність і швидкодію пошуку фрагментів.

Наукові положення та висновки, подані в дисертації, мають належний рівень обґрунтованості. Вони спираються на ретельний аналіз актуальних джерел з обраної тематики, чітке формулювання мети й завдань дослідження, застосування сучасних наукових методів, а також на коректне використання математичного апарату при теоретичному опрацюванні ключових аспектів роботи. Якість та логічна аргументованість сформульованих висновків засвідчують глибину опрацювання матеріалу. Достовірність запропонованих підходів і технічних рішень підтверджується результатами експериментальних досліджень і правильним використанням відповідних методологічних інструментів у процесі виконання роботи.

Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження. Результати дисертаційного дослідження мають чітко виражену прикладну спрямованість і можуть бути ефективно використані в контентно-орієнтованих системах відеоінформації. Запропоновані в роботі алгоритми сегментації відеопотоків, методи індексування та моделі класифікації об'єктів дозволяють суттєво підвищити точність та швидкодію пошуку відеофрагментів за змістом, що особливо актуально для систем відеоаналітики, відеоспостереження, цифрових архівів та медіаплатформ.

Практичні результати включають побудову архітектури прикладної інформаційної системи, реалізацію програмних модулів глибокого аналізу, індексування та візуалізації результатів. Розроблено програмне забезпечення з можливістю роботи в реальному часі, що забезпечує адаптивну обробку відеоданих при зміні формату, якості або швидкості потоку. Комплексна система підтримує автоматичне налаштування гіперпараметрів та ефективну роботу в умовах обмежених ресурсів.

Результати дисертації впроваджено в навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» під час викладання дисциплін,

пов'язаних з обробкою мультимедійних даних, штучним інтелектом та комп'ютерним зором. Також наявні підтверджуючі акти впровадження розроблених програмних засобів у рамках співпраці з ІТ-компанією «Резон» (ЄДРПОУ 30203690), що засвідчує реальне застосування запропонованих методів у практичних умовах.

Таким чином, результати дослідження мають високий рівень готовності до впровадження, забезпечують підвищення ефективності функціонування відеосистем, і становлять вагомий практичний внесок у розвиток інтелектуальних технологій аналізу відеопотоків.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні наукові результати, отримані в межах дисертаційного дослідження, викладено у 6 наукових публікаціях. Із них 2 статті опубліковано у фахових наукових виданнях України, 3 статті — у міжнародних наукових журналах, що індексуються в наукометричних базах (зокрема Scopus та Web of Science), та 1 публікація представлена у збірнику матеріалів міжнародної наукової конференції.

Рівень публікацій здобувача повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 — Комп'ютерні науки. Тематика публікацій охоплює всі ключові аспекти роботи — від сегментації відеопотоків до моделей індексації та пошуку. Таким чином, здобувачем забезпечено достатню апробацію, наукову верифікацію та популяризацію результатів дисертаційного дослідження в українському та міжнародному академічному середовищі.

Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації. Основні положення та висновки, сформульовані в дисертації, є обґрунтованими, достовірними та належним чином підтвердженими. Вони базуються на сучасних теоретичних підходах у галузі

глибинного навчання, комп'ютерного зору та контентно-орієнтованого пошуку відео. Здобувачем проведено експериментальні дослідження з використанням відкритих датасетів (UCF101, HMDB51), а також власного набору відеофрагментів, що дозволило оцінити ефективність запропонованих моделей у різних сценаріях.

Отримані результати свідчать про покращення точності та швидкодії пошуку відеофрагментів порівняно з базовими алгоритмами. Зокрема, застосування моделі DCNN + LSTM із адаптивним налаштуванням забезпечило стабільну продуктивність навіть в умовах змін формату та якості відео. Також достовірність підтверджується впровадженням розроблених рішень у навчальний процес і практичну діяльність компанії, що засвідчено відповідними актами.

Загалом висновки дисертації логічно випливають з аналізу поставлених задач, ґрунтуються на результатах чисельних експериментів та демонструють високу практичну значущість і наукову надійність..

Оцінка змісту, оформлення й обсягу дисертації. За своїм змістом дисертаційна робота повністю відповідає Стандарту освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 «Інформаційні технології» та напрямкам досліджень відповідно до третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Комп'ютерні науки». Робота написана на достатньому мовно-стилістичному рівні.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет, методи дослідження, положення наукової новизни, практичну значущість результатів, а також апробацію й публікаційну активність автора.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану проблеми в галузі контентно-орієнтованих систем відеоінформації. Проведено огляд методів сегментації відео, виділення ключових кадрів, опису контенту та засобів пошуку відео за змістом. На основі цього огляду сформульовано наукові завдання дослідження.

У другому розділі запропоновано методи сегментації відеопотоків на сцені та виділення просторово-часових, об'єктних і текстурних ознак відеофрагментів. Описано реалізацію алгоритмів на основі Scene Boundary Detection, а також представлено підхід до обробки ключових кадрів і формування векторних дескрипторів у NoSQL-сховищі. Надано методику клієнтської подачі довільного відеофрагмента для подальшої обробки.

У третьому розділі розглянуто архітектуру глибоких нейронних мереж, що поєднує CNN, LSTM і FNN для визначення схожості між відеофрагментами за допомогою просторово-часових та об'єктних ознак. Запропоновано алгоритм формування списку схожих фрагментів та метод його оптимізації. Експериментальні результати підтверджують ефективність моделі за ключовими метриками.

Четвертий розділ присвячено реалізації програмної системи та її архітектурі. Описано серверну та клієнтську частини, сховище дескрипторів, систему моніторингу на основі FNN, а також діаграми взаємодії та модулі автоматичної оптимізації обробки. Наведено результати тестування, що демонструють високу продуктивність і адаптивність системи.

У загальному висновку підсумовано ключові наукові й прикладні результати дослідження, підтверджено досягнення поставленої мети та виконання всіх завдань, а також окреслено напрями подальших досліджень.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Модель аналізу відеофрагментів позиціонується як нова, але бракує порівняння з останніми методами (наприклад, Vision Transformers).
2. У підрозділі 3.3.1 (с. 106–109) вказано, що моделі DCNN і LSTM були попередньо навчені. Проте не наведено детальної інформації про гіперпараметри, функцію втрат, кількість епох чи стратегію валідації, що важливо для оцінки узагальнюваності рішень.
3. У підрозділі 3.4 (с. 117–118) представлено результати експериментів, але не наведено випадків, де модель помилилась або дала нерелевантний результат. Такі приклади були б корисні для аналізу меж застосування системи та її помилкових сценаріїв.
4. У таблиці 4.2 (с. 121) наведено метрики, проте не подано діапазону змін, похибок або довірчих інтервалів. Відсутність статистичної оцінки точності ускладнює аналіз надійності результатів.
5. Формули і математичні моделі іноді подано без пояснення позначень або обґрунтування вихідних припущень.

Висновки про відповідність дисертації встановленим вимогам.
Дисертаційна робота Поберейка П.Б. є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка містить раніше не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в сфері комп'ютерних наук.

В підсумку, з оглядом на актуальність проблеми, вкладом автора в вирішення поставленого завдання та результати практичного впровадження, вважаю, що дисертаційна робота Поберейка Петра Богдановича «Методи та засоби аналізу відеопотоків та пошуку подібностей у контентно-орієнтованих системах відеоінформації» відповідає вимогам «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 р. № 44, а її автор Поберейко Петро Богданович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 122 Комп'ютерні науки, галузь знань – 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри програмних засобів

Національного університету

"Запорізька політехніка",

доктор технічних наук, професор

