

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

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

БЕРЕЗЬКОГО Олега Миколайовича

на дисертаційну роботу **ПОБЕРЕЙКА Петра Богдановича**

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

представлену в разову спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора
філософії в галузі 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Стрімке зростання обсягів відеоінформації у різних сферах – від систем відеоспостереження та медіа до наукових досліджень і розважальних платформ – зумовлює гостру потребу в ефективних засобах аналізу, пошуку та організації відеоданих. Особливо актуальним це є за умов обмежених обчислювальних ресурсів, що характерно для багатьох реальних систем, де необхідно забезпечити швидкий і точний пошук відеоматеріалів за змістом.

Існуючі підходи класичного комп'ютерного зору часто недостатньо ефективні для розпізнавання та класифікації динамічних сцен через їх обмежену адаптивність до змінних умов (освітлення, рух тощо). Натомість сучасні глибокі нейронні мережі (DCNN, LSTM, SlowFast та ін.) відкривають нові можливості для просторово-часового аналізу відеопотоків, але потребують подальшого вдосконалення для забезпечення високої точності та швидкодії в умовах динамічного контенту.

Дисертаційна робота Поберейка П.Б. присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності контентного аналізу та пошуку відео в контентно-орієнтованих системах відеоінформації (CBVIR) шляхом

розробки нових моделей і методів, адаптованих до обмежених обчислювальних ресурсів. Запропоновані підходи інтегрують механізми адаптивного аналізу просторових і часових характеристик відео (детекцію та екстракцію сцен, динамічні еталони, сегментацію) з глибокими нейромережевими моделями, що робить системи CBVIR більш точними та продуктивними. Таким чином, дисертаційна робота є актуальною як у теоретичному, так і у практичному аспектах, оскільки відповідає нагальним потребам галузі інтелектуальної обробки відеоданих.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету “Львівська політехніка”, відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України. Зокрема, використано у науково-дослідній роботі, що виконувалась на кафедрі систем штучного інтелекту і включено до звіту за договором «Комплексний догляд для наступного покоління» (С2020/1-8, iCare4Next) виконаної за договором № М/100-2024 від 19.07.2024 р.

Оцінка наукових результатів дисертації. Наукова новизна одержаних результатів є такою:

1. Удосконалено алгоритм визначення меж сцен у відео шляхом комбінування градієнтного аналізу та часових характеристик кадрів, що суттєво підвищує точність сегментації в умовах швидкоплинного контенту та покращує роботу CBVIR-систем.
2. Вдосконалено метод індексування відеоданих, який інтегрує сцено-орієнтовану сегментацію з глибокими нейромережами (CNN, Transformer) і розрідженими представленнями, завдяки чому знижуються обчислювальні витрати під час обробки відеопотоків.
3. Створено модель класифікації й кластеризації відеооб'єктів на базі CNN із використанням геометричних дескрипторів та гістограм градієнтів, а також запропоновано модульну архітектуру індексування, що динамічно адаптується

до змін сцени та забезпечує багаторівневу обробку відеопотоків у реальному часі, підвищуючи швидкодію й точність пошуку у CBVIR-системах.

4. Розроблено метод моніторингу продуктивності та адаптивного налаштування DCNN + LSTM-моделі, який оцінює ключові метрики (точність, FPS, споживання ресурсів), прогнозує ефективність і автоматично коригує ваги та гіперпараметри при зміні формату чи якості відео, гарантуючи стабільну роботу системи в реальних умовах.

Одержані результати включають як удосконалення існуючих методів, так і розробку нових підходів для аналізу відеопотоків. Вони роблять значний внесок у розвиток методології контентного пошуку та інтелектуальної обробки відео, розширюючи можливості сучасних інформаційних технологій.

Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження.

Комплексне впровадження отриманих результатів сприяє підвищенню ефективності функціонування контентно-орієнтованих систем відеоінформації. Запропоновані в дисертації методи та засоби дозволяють значно прискорити і підвищити точність пошуку та аналізу відеоданих, що має важливе значення для практичних застосувань (систем відеоспостереження, медіа архівів, відеоаналітики тощо). Застосування розроблених методів на практиці забезпечує більш адаптивну роботу відеосистем в умовах реального часу та обмежених ресурсів.

Практичні досягнення дослідження включають створення архітектури інформаційної системи для аналізу відеопотоків та реалізацію програмних модулів, що інтегрують розроблені алгоритми сегментації, детекції сцен і пошуку подібностей. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» у вигляді представленого електронного курсу з дисципліни «Організація баз даних та знань», що підтверджує прикладну цінність розроблених методик. Крім того, наявні відповідні акти впровадження, які засвідчують використання запропонованих методів і засобів на практиці. Це

свідчить про високий рівень готовності результатів дисертації до практичного застосування та їх значущість для галузі.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 6 наукових працях. З них 2 статті опубліковано у фахових виданнях України, 3 статті – у міжнародних виданнях, 1 публікація – в матеріалах наукової конференції. Така кількість та рівень публікацій повністю відповідають встановленим вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії (спеціальність 122 – Комп'ютерні науки). Таким чином, здобувачем забезпечено належну апробацію та поширення результатів своєї роботи в науковому середовищі.

Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації. Наукові положення і висновки, сформульовані в дисертації, є достовірними та обґрунтованими. Вони спираються на сучасні теоретичні засади в галузі комп'ютерного зору, машинного навчання та обробки зображень, підтверджені посиланнями на авторитетні джерела. Здобувачем проведено експериментальні дослідження для перевірки ефективності запропонованих методів і моделей. Результати експериментів демонструють суттєве підвищення точності пошуку релевантних відеофрагментів та продуктивності аналізу відео порівняно з базовими підходами, що підтверджує обґрунтованість зроблених у роботі висновків. Достовірність результатів також підтверджується їх практичним впровадженням: розроблені алгоритми протестовано на реальних і наближених до реальних даних відеопотоків, де вони показали високі показники якості (точність, повнота) і швидкодії. Наявність актів впровадження та успішне застосування результатів у навчальному процесі є додатковим свідченням того, що висновки дисертації є надійними, добре обґрунтованими і прийнятними для практичного використання.

Оцінка змісту, оформлення й обсягу дисертації. Повний обсяг дисертації становить 172 сторінок, з яких 141 сторінка – основний зміст. Дисертація

складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (включно з 91 найменуванням) та додатків (три додатки, в яких наведено фрагменти програмного коду). У роботі міститься 20 рисунків та 4 таблиці, ілюстративний матеріал належним чином доповнює текст. Дисертаційна робота оформлена згідно з чинними вимогами, усі розділи та структурні елементи (вступ, висновки тощо) є послідовними, логічними і науково аргументованими.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми та зв'язок роботи з науковими програмами, визначено мету і поставлено основні завдання дисертації, окреслено об'єкт, предмет і методи дослідження. Наведено положення наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. Також у вступі відображено відомості про апробацію дослідження і публікації автора за темою дисертації.

У **першому розділі** здійснено аналіз літературних джерел і сучасних технологій у галузі контентно-орієнтованих систем відеоінформації. Розглянуто існуючі підходи до сегментації відеопотоків, виділення ключових кадрів, опису відеоконтенту та методів пошуку відео за змістом. Проаналізовано можливості й обмеження застосування технологій глибокого навчання для контентного аналізу відео, особливо при обробці великомасштабних відеоданих у реальному часі. За підсумками аналізу сформульовано конкретні завдання, які вирішуються у подальших розділах дисертації.

У **другому розділі** розроблено методи сегментації відеопотоків на смислові сцени та виділення інформативних ознак відео. Запропоновано алгоритм визначення меж сцен на основі методу виявлення меж сцени (SBD), що дозволяє розбивати відеопотік на окремі сцени для подальшого контентного аналізу. Розроблено та реалізовано алгоритми сегментації і виділення ознак об'єктів на ключових кадрах, адаптовані до умов обмежених обчислювальних ресурсів. Отримані дескриптори відеовмісту структуровано та збережено у нереляційній базі даних (NoSQL) для забезпечення швидкого пошуку. Додатково представлено клієнтську методику

аналізу відеофрагментів, що передбачає завантаження користувачем довільного фрагмента відео, автоматизоване виявлення меж сцен, багаторівневе виділення ознак та формування комбінованих векторів характеристик відео.

У **третьому розділі** описано методи порівняння та пошуку схожих відеофрагментів на основі аналізу їхнього змісту із застосуванням глибоких нейронних мереж. Запропоновано підхід, який використовує глибоку згорткову нейронну мережу в поєднанні з рекурентною мережею (LSTM) для оцінювання схожості відеофрагментів за їх просторово-часовими характеристиками, враховуючи як часову динаміку, так і об'єктні ознаки відеоряду. На основі отриманих характеристик формується первинний список кандидатів на подібність, який надалі оптимізується за допомогою додаткових критеріїв для отримання фінального списку схожих відео. Для підвищення точності та ефективності пошуку інтегровано допоміжну нейронну мережу прямого поширення (FNN), що моніторить роботу основної моделі та коригує її параметри. Експериментальні дослідження підтвердили високий рівень точності запропонованого підходу при знаходженні релевантних відеофрагментів.

У **четвертому розділі** представлено розроблену програмну архітектуру інформаційної системи для реалізації методів контентного пошуку відео в режимі реального часу та здійснено апробацію отриманих результатів. Спроектовано загальну структуру системи, що включає підсистеми збирання, збереження і обробки відеоданих, а також реалізовано її основні компоненти у вигляді клієнтської веб-частини (інтерфейс для завантаження та перегляду відео) і серверної частини (модуль глибинного аналізу). Розгорнуто сховище даних для зберігання обчислених дескрипторів відео. Розроблено діаграми, які описують основні сценарії використання системи та взаємодію між її компонентами, обґрунтовано вибір технологій реалізації (в тому числі хмарних сервісів) для забезпечення масштабованості та продуктивності. Для адаптивної оптимізації роботи системи в

реальному часі інтегровано модуль моніторингу на основі нейромережі прямого поширення (FNN), що відслідковує ключові показники продуктивності (швидкодію, використання ресурсів, точність розпізнавання) і автоматично коригує параметри обробки. Наведено результати тестування створеної системи на експериментальних даних, які демонструють її високу швидкодію та точність пошуку. Підтверджено, що розроблена система повністю досягає поставленої мети та виконання завдань дослідження.

У **загальному висновку** підсумовано основні результати дисертаційного дослідження та визначено перспективи їх практичного застосування. Дисертація доповнена двома додатками, що містять фрагменти програмного коду реалізації запропонованих алгоритмів і таблиці з експериментальними результатами оцінювання пошуку.

Зауваження до дисертаційної роботи.

Зауваження до роботи такі:

1. У підрозділі 2.3 вказано, що межі сцен можуть бути некоректними, сцени можуть розбиватись на надто дрібні фрагменти. Проте не наведено конкретного прикладу, де б ілюструвались ці помилки або результати їхнього виправлення.
2. У розділі 3 наведено опис мережі прямого поширення (FNN), який відповідає за адаптацію до змін у продуктивності. Проте у цьому описі не обґрунтовано обрану архітектуру, а також не зроблено оцінку її впливу на точність моделі загалом.
3. У дисертації недостатньо обґрунтовано вибір методу виявлення меж сцени (SBD) та глибокої згорткової нейронної мережі (DCNN). Тому частина прийнятих рішень виглядає інтуїтивною.

4. В експериментальній частині відсутнє тестування на складних або нетипових відео. Було б доцільно продемонструвати роботу системи на більш різномірних даних.
5. У дисертації на сторінках 118–120 вказано, що модель демонструє стабільні результати, але не уточнено, які саме формати відео були використані, а також чи тестувалась система на мобільних чи потокових джерелах відео. Це обмежує оцінку адаптивності рішення.
6. У четвертому розділі дисертації описано програмної системи, проте його структура не подана. Варто було б додати блок-схему або стислий опис модулів програмної системи.
7. У дисертації бажано було б привести аббревіатуру та її розшифрування українською мовою із приведенням англійських відповідників. Це покращило читання дисертаційної роботи.
8. У роботі присутні граматичні, стилістичні помилки та термінологічні неточності. Це не впливає на зміст, але потребує редакторського доопрацювання.

Вважаю, що наведені зауваження не є критичними та жодним чином не зменшують наукову новизну й практичну цінність результатів дисертаційного дослідження. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку представленої роботи.

Висновки про відповідність дисертації встановленим вимогам.
Розглянувши звіт про перевірку дисертації Поберейка Петра Богдановича на текстові збіги, а також ознайомившись із науковими публікаціями та основними положеннями дослідження, констатую відсутність порушень академічної доброчесності.

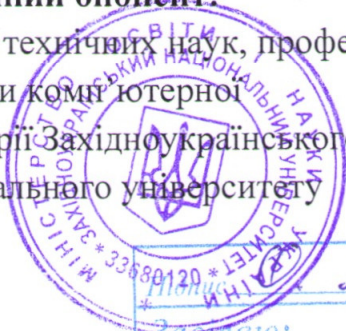
Дисертаційна робота «Методи та засоби аналізу відеопотоків та пошуку подібностей у контентно-орієнтованих системах відеоінформації», подана на здобуття ступеня доктора філософії в галузі 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке спрямоване на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми: підвищення ефективності контентного аналізу та пошуку відеофрагментів у великих масивах відеоданих із використанням сучасних глибоких нейронних мереж, оптимізаційних методів і модульної архітектури обробки відеопотоків.

Отримані теоретичні та практичні результати повністю відповідають вимогам чинного законодавства щодо оформлення та змісту дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії, передбаченим наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Поберейко Петро Богданович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
кафедри комп'ютерної
інженерії Західноукраїнського
національного університету



Олег Березький

Олег БЕРЕЗЬКИЙ

Березького

Завіряю:

НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ

А. Сешин