

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора, професора кафедри штучного інтелекту навчально-наукового Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Литвиненка Володимира Івановича**

на дисертаційну роботу **Добришева Руслана Євгеновича** на тему  
**«МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ НАТОВПУ В СИСТЕМАХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю  
122 – Комп'ютерні науки, галузь знань 12 – Інформаційні технології

### **1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ**

Сучасні міста стикаються із постійним зростанням інтенсивності людських потоків у транспортних вузлах, на інфраструктурних об'єктах, під час масових заходів. У таких умовах завдання забезпечення громадської безпеки, превентивного виявлення критичних ситуацій та оперативного реагування безпосередньо пов'язане з використанням інтелектуальних систем відеоспостереження, здатних не лише фіксувати події, а й автоматично аналізувати поведінку натовпу.

Особливо складними є сцени з високою щільністю людей, де традиційні методи комп'ютерного зору (детектування та відстеження окремих об'єктів) виявляються малоефективними через сильні оклюзії, варіації масштабу, перспективні спотворення та низьку роздільну здатність фрагментів зображення. Це породжує суперечність між потребою практики у надійних засобах автоматизованого аналізу натовпу та обмеженими можливостями наявних моделей і методів.

У дисертаційній роботі Добришева Руслана Євгеновича ця суперечність розв'язується шляхом розробки і удосконалення моделей та методів оцінки щільності натовпу, сегментації потоків та виявлення аномальної поведінки із

використанням сучасних засобів глибинного навчання, аналізу траєкторій та просторово-часових дескрипторів.

З огляду на зростання вимог до систем громадської безпеки, критичної інфраструктури та «розумних» міст, тематика роботи є безперечно актуальною як у науковому, так і в прикладному вимірах.

Вважаю, що дисертаційна робота Добришева Руслана Євгеновича на тему «Моделі та методи візуального аналізу натовпу в системах інтелектуального відеоспостереження» є актуальною і своєчасною.

## **2 ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ**

Дисертацію виконано згідно тематичних планів НДР Національного університету «Одеська політехніка» за період 2024 – 2025 рр. в рамках держбюджетної теми № 237-177 – «Програмні системи машинного навчання та їх застосування в галузі інтелектуального аналізу даних».

## **3 ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНОСТІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ**

При розв'язанні поставлених у дисертації задач здобувач використав широкий спектр сучасного математичного та алгоритмічного апарату: методи глибинного навчання (згорткові нейронні мережі з механізмом просторової уваги), підходи до оцінки карти глибини сцени, методи сегментації на основі активних контурів, кластеризацію траєкторій, ентропійний аналіз напрямлених міні-треків та метрики часової зайнятості сцени.

Обґрунтованість наукових положень підтверджується:

– чіткою постановкою задач і формальним описом розроблених моделей та методів;

– логічними виведеннями та коректною побудовою ознакових просторів для опису траєкторій і полів руху;

– проведенням серії експериментів на відомих відкритих наборах даних (ShanghaiTech-B, WorldExpo, UCF\_CC\_50, Mall, UCF Crowd Segmentation Dataset, Collective Motion, UMN, Violent Flows Crowd тощо);

– порівнянням із відомими аналогами за загальноприйнятими кількісними метриками (MAE, міра Жаккара, F-міра, AUC) та аналізом отриманих результатів.

Висновки та рекомендації дисертації логічно впливають із проведеного аналізу, постановки задач, запропонованих методів та результатів експериментальних досліджень, а отже можуть вважатися достатньо обґрунтованими.

#### **4 ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ВИСНОВКІВ**

Достовірність отриманих результатів забезпечено:

– використанням загальноновизнаних тестових наборів даних для завдань підрахунку натовпу, сегментації потоків та виявлення аномалій;

– застосуванням стандартних метрик оцінювання якості моделей;

– порівнянням розроблених рішень із сучасними аналогами, що належать до провідних підходів у відповідних підзадачах;

– узгодженістю експериментальних даних: покращення показників досягається на кількох незалежних наборах даних, а не лише на одному наборі даних;

– практичними впровадженнями результатів у діяльність ТОВ «Провектус ІТ», ТОВ «СФ ІНВЕСТ» та використанням у навчальному процесі й НДР Національного університету «Одеська політехніка».

Це дозволяє вважати наукові положення, рекомендації та висновки дисертаційної роботи достовірними.

## 5 НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ, ВИКЛАДЕНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої науково-практичної задачі підвищення ефективності систем візуального аналізу натовпу в інтелектуальних системах відеоспостереження шляхом удосконалення моделей та методів оцінки щільності натовпу, сегментації потоків та виявлення аномалій у сценах з високою щільністю.

Робота містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме::

1) *удосконалено* метод інтеграції інформації про геометричні ознаки сцени у глибинні нейронні мережі для задачі оцінки щільності натовпу. Запропоновано модуль інтеграції карти глибини у архітектуру типу SAWNet, що включає блок впровадження глибини, блок корекції глибини з механізмом просторової уваги та блок вбудовування. Це дозволяє формувати масштабно-чутливі ознаки, краще відображати реальні розміри об'єктів у просторі та підвищувати точність оцінки щільності;

2) *удосконалено* метод сегментації потоків натовпу з високою щільністю на основі кластеризації траєкторій з використанням активних контурів. Запропоноване поєднання сегментації переднього плану активним контуром, побудови траєкторій у блочній структурі та кластеризації у просторі ознак (форма, положення, напрямок, локальна щільність) дає змогу ефективно виділяти локальні патерни колективного руху в складних сценах;

3) *набула подальшого розвитку* модель представлення траєкторії руху в натовпі. Траєкторія описується як упорядкований набір ознак, що включає дескриптор форми, середнє просторове положення, напрямок руху та багатомасштабну оцінку щільності сусідніх траєкторій. Такий багатовимірний опис підвищує стійкість і точність сегментації потоків натовпу;

4) *удосконалено* метод виявлення аномальних ситуацій у сценах з високою щільністю натовпу. Метод ґрунтується на аналізі ентропії орієнтованих міні-

треків, сформованих із просторово-часових точок інтересу, та оцінці часового відхилення заповнюваності сцени. Це підвищує чутливість системи до нетипової поведінки та дозволяє точніше розпізнавати аномальні ситуації у складних динамічних сценах.

Отримані результати в сукупності є новими для спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та доповнюють наявні підходи до візуального аналізу натовпу в інтелектуальних системах відеоспостереження.

## **6 ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблені моделі та методи:

- підвищують точність підрахунку людей та оцінки щільності натовпу в умовах складного фону і значних перспективних спотворень;
- забезпечують більш адекватну сегментацію потоків руху у високощільних сценах, що важливо для аналізу маршрутів евакуації, виявлення конфліктних потоків та вузьких місць;
- дозволяють на ранніх етапах виявляти аномальні ситуації (раптове прискорення, паніка, нетипові патерни руху), що критично для систем безпеки.

Розроблені моделі та програмні інструментальні засоби впроваджено у діяльність комерційних структур («Провектус ІТ», «СФ ІНВЕСТ») та використано в освітній і науково-дослідницькій діяльності Національного університету «Одеська політехніка», що підтверджено відповідними актами і довідками. Це свідчить про реальну прикладну цінність отриманих результатів.

## **7 ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ У ПУБЛІКАЦІЯХ ТА ДОТРИМАННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ**

Основні результати дисертації опубліковано в 11 наукових працях, серед яких:

- 5 статей у фахових виданнях України з технічних наук;

– з них 1 стаття у фаховому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus;

– 6 публікацій у матеріалах міжнародних наукових і науково-практичних конференцій.

Тематика та зміст зазначених праць корелюють із основними науковими положеннями дисертації, що забезпечує належний рівень апробації результатів.

Ознак порушення академічної доброчесності (плагіат, фальсифікація результатів тощо) в дисертаційній роботі не виявлено.

## **8 АНАЛІЗ ФОРМИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Дисертація має традиційну структуру і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту, кількість ілюстрацій та таблиць відповідають вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії.

У **вступі** сформульовано актуальність теми, мету та завдання дослідження, об'єкт, предмет, наведено наукову новизну, практичне значення, відомості про апробацію та публікації, а також особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проведено ґрунтовний аналіз інтелектуальних систем відеоспостереження, сформульовано задачу візуального аналізу натовпу та виділено основні підзадачі: підрахунок та оцінка щільності, виявлення й відстеження об'єктів, аналіз руху, розпізнавання поведінки, виявлення аномалій та прогнозування. Показано відкриті проблеми й виклики для кожної з них та сформульовано постановку задач дисертаційного дослідження.

**Другий розділ** присвячено розробці методу підвищення точності оцінки щільності натовпу шляхом інтеграції геометричних ознак сцени. Детально описано модуль інтеграції глибини в архітектуру нейромережі (блоки впровадження, корекції та вбудовування), наведено схеми роботи та результати експериментів, що демонструють зменшення MAE на низці датасетів.

У **третьому розділі** описано метод сегментації потоків натовпу в сценах з високою щільністю на основі активних контурів та кластеризації траєкторій, а

також метод виявлення аномалій із використанням ентропії орієнтованих міні-треків і часової заповнюваності сцени. Подано формалізацію моделі траєкторії, алгоритмічні схеми та підзадачі.

**Четвертий розділ** містить опис розробленої підсистеми візуального аналізу натовпу у складі системи інтелектуального відеоспостереження: сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги, наведено моделі потоків інформації, архітектурні UML-діаграми, схему розгортання, принципи організації вихідного коду та результати функціонального тестування.

У **п'ятому розділі** представлено результати експериментальних досліджень компонентів підсистеми на різних наборах даних для задач підрахунку, сегментації потоків та виявлення аномалій. Наведено порівняння з відомими аналогами, проведено інтерпретацію отриманих вирашів у точності та обговорено обмеження.

**Висновки** підсумовують основні результати роботи та відображають досягнення сформульованої мети й розв'язання поставлених завдань.

Робота написана в цілому на достатньому науковому і мовно-стилістичному рівні, хоча у тексті зустрічаються окремі технічні, стилістичні та термінологічні неточності.

## 9 ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наведені нижче зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, проте, на думку опонента, заслуговують на увагу здобувача:

1) Щодо ролі задач, виділених у першому розділі. У підрозділі 1.2 коректно виокремлено шість задач візуального аналізу натовпу (підрахунок, виявлення, аналіз руху, розпізнавання поведінки, виявлення аномалій, прогнозування). Водночас у подальших розділах дисертації детально розглядаються лише три напрями (оцінка щільності, сегментація потоків, виявлення аномалій). Було б доцільно більш явно підкреслити у вступі та висновках, що саме ці підзадачі є фокусом дослідження, а інші задачі аналізуються лише на оглядовому рівні.

2) Назви та зміст окремих підрозділів п'ятого розділу. У змісті дисертації підрозділи 5.1 та 5.2 мають дуже подібні назви, пов'язані з дослідженням методу сегментації потоків натовпу, тоді як частина викладеного матеріалу фактично стосується оцінки щільності та врахування глибини сцени. Така невідповідність може ускладнювати сприйняття структури роботи; варто чіткіше узгодити назви підрозділів із їх змістом.

3) Деталізація нейромережевої архітектури та базових моделей. Опис методу інтеграції карти глибини сфокусований на модулі глибини (блоки впровадження, корекції та вбудовування), однак базова архітектура нейромережі SAWNet подана досить стисло. Було б корисно детальніше пояснити, які саме відомі моделі (типу CSRNet, CAN, інші) взято за основу та які зміни внесено, щоб полегшити відтворюваність результатів.

4) Формалізація критеріїв та методу вибору порогів у задачі виявлення аномалій. У третьому розділі достатньо детально описано ентропійні ознаки та показник часової зайнятості сцени. Водночас процедура вибору порогових значень для прийняття рішень подана переважно описово. Більш формальний виклад (наприклад, через оптимізацію за ROC-кривою або фіксацію цільового рівня повноти/точності) підвищив би прозорість методики.

5) Аналіз обчислювальної складності та вимог до апаратного забезпечення. З огляду на те, що система орієнтована на застосування у практичних ІСВС, актуальним є питання продуктивності: час обробки кадру/секвенції, використання пам'яті, можливості роботи в реальному часі на типових апаратних платформах. У роботі ці аспекти лише побіжно згадуються; доцільно було б подати бодай орієнтовний аналіз складності та експериментальні оцінки продуктивності.

6) Статистична значущість покращень. У п'ятому розділі подано результати порівняння з аналогами та відсоток покращення за основними метриками. Разом з тим, не розглянуто питання статистичної значущості відмінностей (наприклад, через довірчі інтервали або статистичні тести), що було б бажаним для повнішої валідації отриманих результатів.

7) Окремі стилістичні та технічні неточності. У тексті зустрічаються поодинокі стилістичні огріхи, повтори формулювань у різних частинах роботи, не завжди послідовно використовується термінологія українською та англійською мовами. Усунення цих неточностей зробило б подання матеріалу більш цілісним.

Зазначені зауваження мають переважно дискусійний або редакційний характер і не впливають на наукову цінність дисертаційної роботи.

## **10 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ**

Дисертаційна робота Добришева Руслана Євгеновича є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-практичну задачу підвищення ефективності систем візуального аналізу натовпу в інтелектуальних системах відеоспостереження шляхом удосконалення моделей та методів оцінки щільності натовпу, сегментації потоків і виявлення аномальних ситуацій у сценах з високою щільністю.

Робота відзначається актуальністю, науковою новизною, достатнім рівнем теоретичної обґрунтованості, достовірністю й практичною цінністю отриманих результатів, а також належним рівнем апробації.

Зміст дисертаційної роботи відповідає спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 – «Інформаційні технології», а сама робота – вимогам чинного Порядку присудження ступеня доктора філософії в Україні.

Враховуючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота Добришева Руслана Євгеновича на тему «Моделі та методи візуального аналізу натовпу в системах інтелектуального відеоспостереження» відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у ЗВО (наукових установах), затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами) та вимогам п.п. 5 – 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 12.01.2022 №44 (зі змінами). Автор дисертаційної роботи – Добришев Руслан Євгенович –

заслужує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, галузь знань 12 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент:

Заслужений діяч науки і техніки  
України, доктор технічних наук,  
професор, професор кафедри штучного  
інтелекту навчально-наукового  
Інституту прикладного системного  
аналізу Національного технічного  
університету України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського»

Володимир ЛИТВИНЕНКО