

## АНОТАЦІЯ

*Добришев Р.Є.* Моделі та методи візуального аналізу натовпу в системах інтелектуального відеоспостереження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2025.

У **вступі** показана актуальність вирішення задач візуального аналізу натовпу сучасними інтелектуальними системами відеоспостереження. Показана недосконалість існуючих моделей та методів візуального аналізу натовпу за умов великої щільності натовпу. Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача.

В **першому розділі** дисертаційної роботи був проведений аналіз проблеми візуального аналізу натовпу в системах інтелектуального відеоспостереження.

Проведений аналіз призначення та структури інтелектуальних систем відеоспостереження, сформульована задача візуального аналізу натовпу, а також виділені окремі підзадачі в даній області. Для кожної підзадачі проаналізовані наукові роботи, визначені виклики, проблеми та сучасний стан вирішення цієї підзадачі. Крім того, були визначені перспективи подальших досліджень в області візуального аналізу натовпу.

Визначено, що більшість сучасних методів підрахунку людей у натовпі не враховують геометричну структуру сцени, зокрема перспективні спотворення та варіації масштабу, які можуть суттєво впливати на точність оцінки щільності.

Для подолання даного недоліку був запропонований метод інтеграції геометричних ознак сцени, зокрема карти глибини, до глибинної архітектури згорткової нейронної мережі з метою адаптивного масштабування ознак і підвищення точності оцінки щільності натовпу.

Подальший аналіз задачі візуального аналізу натовпу показав, що існуючі методи моделювання руху в щільному натовпі мають низьку стійкість до оклюзій, не враховують довготривалі просторово-часові залежності та включають нерелевантні області сцени, що знижує точність і підвищує обчислювальні витрати. У складних динамічних сценах із невизначеними потоками сегментація ускладнюється ще більше.

Для подолання цього недоліку запропонований представлений метод сегментації потоків натовпу у сценах з високою щільністю. Метод використовує кластеризацію траєкторій на основі активних контурів, яка акцентує увагу на відокремленні популярних патернів руху в локальних регіонах натовпу.

Під час розробки методу сегментації потоків натовпу у сценах з високою щільністю було встановлено, що більшість підходів до моделювання траєкторій руху натовпу не враховують форму, напрямок, положення та щільність руху, ігнорують часову динаміку та локальний контекст, а також застосовують одномасштабний аналіз, що знижує точність у складних умовах.

Для подолання цього недоліку була запропонована модель представлення траєкторій, яка включає багатовимірні ознаки – форму, положення, напрямок і багатомасштабну щільність – з метою забезпечення стійкого та ефективного групування траєкторій і виявлення потоків натовпу у складних сценах.

Аналіз наукових робіт в області вирішення задачі виявлення аномальних ситуацій у сценах з натовпом високої щільності показав, що раннє виявлення аномалій у натовпі є критично важливим для громадської безпеки, проте ця задача ускладнена через оклюзії, змінну щільність та складне тло. Існують два основні підходи: об'єктні, які відстежують окремих осіб, але малоефективні в переповнених сценах; та холістичні, що розглядають натовп як єдине ціле, але часто не помічають локальних порушень. Методи короткочасного аналізу руху не відображають довготривалі просторово-часові закономірності. Підходи на основі частинок частково це компенсують, однак мають проблеми з обробкою щільних областей через перекриття векторів руху.

Для подолання цього недоліку був запропонований метод виявлення аномальних сцен натовпу за допомогою оцінки ентропії спрямованих міні-треків, побудованих з просторово-часових точок інтересу. Запропонований метод відкидає короткі та зашумлені траєкторії для збереження геометричної узгодженості напрямку та інтегрує оцінку ентропії з аналізом часового відхилення заповнюваності, щоб виявити різкі зміни в динаміці сцени.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету та завдання досліджень.

В **другому розділі** дисертаційної роботи запропонований метод підвищення точності оцінки щільності натовпу шляхом інтеграції геометричних ознак сцени. В рамках запропонованого методу, пропонується використовувати інформацію про глибину сцени як допоміжну інформацію для адаптивного формування масштабованих зображень, що дозволяє краще відображати реальні розміри об'єктів у просторі та підвищити точність прогнозу щільності.

Впровадження інформації стосовно глибини сцени у нейромережеву модель відбувається завдяки додаванню спеціального модуля інтеграції інформації про глибину сцени, який додає інформацію про глибину сцени та змінює величини окремих ознак в окремих ділянках зображення для отримання представлення зображення з урахуванням глибини.

Робота запропонованого методу складається з наступних етапів:

1. Блок впровадження глибини в складі модуля модифікує простір ознак за допомогою карти глибини.

2. Блок корекції глибини уточнює карту глибини для генерації ваг з урахуванням масштабу. Генерація ваг відбувається за допомогою механізму просторової уваги, що дозволяє надати дані про розташування об'єктів в певних ділянках зображення.

3. Блок вбудовування застосовує отримані ваги для повторної зміни величини оригінальних ознак у конкретній ділянці зображення. Модифіковані таким чином ознаки демонструватимуть геометричні відмінності в масштабах між об'єктами на

передньому плані в різних положеннях, що безпосередньо сприятиме кращий оцінці значень щільності з урахуванням масштабу.

Таким чином, сформульовано **перший пункт наукової новизни**: *удосконалено* метод інтеграції інформації про геометричні ознаки сцени у глибокі нейронні мережі, які здійснюють оцінку щільності натовпу. Використання запропонованого методу дозволяє краще відображати реальні розміри об'єктів у просторі та підвищити достовірність оцінки щільності.

В **третьому розділі** дисертаційної роботи запропоновані моделі та методи обробки та аналізу сцен з високою щільністю натовпу для виявлення аномалій.

Для **підвищення точності сегментації потоків натовпу в сценах з високою щільністю натовпу** був запропонований метод сегментації потоків натовпу на основі кластеризації траєкторій з використанням активних контурів, що дозволяє ефективно виділяти локальні патерни колективного руху та підвищити якість аналізу складних сцен.

Робота запропонованого методу складається з наступних кроків:

1. Сегментація на основі активних контурів – відокремлення області натовпу від усього кадру.
2. Виділення траєкторій – виявлення точок інтересу в блочній структурі і відстеження цих блоків на кадрах для виділення траєкторій.
3. Кластеризація траєкторій – кластеризація вилучених траєкторій за допомогою алгоритму кластеризації, який використовує форму, розташування, напрямок і щільність сусідства шаблонів траєкторій.
4. Сегментація потоку натовпу – позначення окремих пікселів залежно від їхньої належності до певного патерну потоку для фінальної сегментації потоків натовпу.

Таким чином, сформульовано **другий пункт наукової новизни**: *удосконалено* метод сегментації потоків натовпу з високою щільністю на основі кластеризації траєкторій з використанням методу активних контурів. Використання запропонованого методу дозволяє ефективно виділяти локальні

патерни колективного руху та підвищити точність сегментації потоків натовпу у сценах з високою щільністю натовпу.

**Для забезпечення більш точної та стійкої сегментації потоків натовпу в процесі сегментації потоків натовпу** була запропонована модель представлення траєкторії руху в натовпі, яка включає багатовимірні ознаки – форму, положення, напрямок і багатомасштабну щільність.

Модель представлення траєкторії руху в натовпі описується кортежем:

$$F_j = (f_s, location, f_d, f_u)$$

де  $f_s$  – форма траєкторії (поліном третього порядку);

$location$  – середнє розташування траєкторії;

$f_d$  – напрямок руху;

$f_u$  – щільність сусідніх траєкторій на трьох масштабах.

Отриманий кортеж ознак далі використовується для кластеризації траєкторій.

Таким чином, сформульовано **третій пункт наукової новизни**: *набула подальшого розвитку* модель представлення траєкторії руху в натовпі, що враховує комплексні ознаки руху. Використання даної моделі забезпечує більш точну і стійку сегментацію потоків натовпу.

**Для підвищення точності виявлення аномальних ситуацій у сценах з натовпом високої щільності** був запропонований метод виявлення аномальних сцен натовпу за допомогою оцінки ентропії спрямованих міні-треків, побудованих з просторово-часових точок інтересу, а також аналізу часового відхилення заповнюваності, щоб виявити різкі зміни в динаміці сцени.

Використання запропонованого методу забезпечує підвищену чутливість до нетипової поведінки в складних сценах спостереження та, таким чином, сприяє підвищенню точності виявлення аномальних ситуацій.

Робота запропонованого методу складається з наступних кроків:

1. Сегментація області активного контуру – відокремлення області переднього плану від усієї відеосцени.

2. Генерація міні-треків – виявлення просторово-часових блоків точок інтересу та відстеження їх на кадрах.

3. Обчислення напрямку потоку – обчислення напрямків руху міні-треків та генерація гістограми орієнтованих міні-треків.

4. Виявлення аномальних сцен – обчислення ентропії та часової зайнятості для орієнтованих міні-треків.

Таким чином, сформульовано **четвертий пункт наукової новизни**: *удосконалено* метод виявлення аномальних ситуацій у сценах з натовпом високої щільності, що ґрунтується на аналізі ентропії напрямлених міні-треків, сформованих із просторово-часових точок інтересу та оцінки часового відхилення заповнюваності сцени. Використання запропонованого методу дозволяє збільшити чутливість систем візуального аналізу натовпу до нетипової поведінки людей в складних сценах, що дозволяє підвищити точність розпізнавання аномальних подій в сценах з високою щільністю натовпу.

В **четвертому розділі** дисертаційної роботи розроблено підсистему візуального аналізу натовпу у складі системи інтелектуального відеоспостереження.

Сформульовано мету, задачі та визначено роль цієї підсистеми у контексті забезпечення громадської безпеки, оперативного виявлення та реагування на критичні ситуації в місцях масового скупчення людей. Побудовано модель інформаційних потоків, що деталізує вхідні та вихідні дані, а також взаємодію з іншими компонентами системи і зовнішніми користувачами.

Визначено чіткий перелік функціональних і нефункціональних вимог, які включають аспекти продуктивності, безпеки, надійності та сумісності. Розроблено структурні моделі, такі як діаграми логічного уявлення, розгортання, пакетів і класів, що дозволило формалізувати архітектуру підсистеми. Проведено комплексне функціональне тестування підсистеми, за результатами якого підтверджено коректність її роботи та готовність до практичного використання.

В п'ятому розділі дисертаційної роботи проведено дослідження компонентів підсистеми візуального аналізу натовпу в складі системи інтелектуального відеоспостереження.

В процесі дослідження методу сегментації потоків натовпу в сценах з високою щільністю натовпу, було проведено тестування на чотирьох наборах даних: ShanghaiTech-B, WorldExpo, UCF\_CC\_50 та Mall. На більшості з них запропонований метод показав покращення. Зокрема, на наборі ShanghaiTech-B MAE зменшився з 8,9 до 8,1 (покращення на 8,99%), на WorldExpo –, з 8,86 до 7,84 (на 11,54%), а на UCF\_CC\_50 –, з 271,8 до 253,5 (на 6,73%). Лише на наборі Mall модель трохи поступалася TAFNet: MAE становив 2,10 проти 2,06 (зниження точності на 1,94%). Результати підтверджують ефективність урахування глибини сцени для покращення точності підрахунку в умовах складного фону та варіативної щільності.

В процесі дослідження методу сегментації потоків натовпу в сценах з високою щільністю натовпу було вказано, що метод базується на поєднанні сегментації переднього плану та кластеризації траєкторій, що дозволяє виділяти потоки людей у складних динамічних умовах.

Проведено емпіричний підбір параметрів на основі ROC-кривих. На наборі UCF CSD запропонований підхід досяг середнього значення міри Жаккара 0,86, що перевищує результати аналогів на 10,26 – 50,88%, а також F-міри до 1,0. На складнішому наборі Collective Motion отримано MAE = 0,72 (на 15,29 – 59,78% краще), міру Жаккара 0,83 і F-міру 0,86 (покращення на 7,50–120,51%). Результати підтверджують ефективність методу в задачах сегментації руху та виділення групової динаміки в натовпі.

В процесі дослідження методу виявлення аномалій у сценах з високою щільністю натовпу було проведено тестування на наборах UMN, UCF CSD та Violent Flows Crowd, яке показало стабільне покращення результатів. Зокрема, на UMN отримано AUC = 0,995 (+1,53%), на UCF CSD –, 0,850 (+3,66%), на Violent Flows Crowd – 0,950 (+2,70%) порівняно з найкращими з існуючих методів. Таким

чином, запропонований підхід демонструє високу точність і придатність для застосування в системах інтелектуального відеоспостереження.

Таким чином, підтверджено спроможність та правильність технічних рішень, заснованих на результатах дисертаційного дослідження.

Розроблені в роботі методи та інструментальні засоби отримали впровадження у діяльності ТОВ «Провектус ІТ» та ТОВ «СФ ІНВЕСТ» та знайшли відображення у навчальному процесі та науково-дослідницькій діяльності Національного університету «Одеська політехніка».

*Ключові слова:* інтелектуальне відеоспостереження, візуальний аналіз натовпу, комп'ютерний зір, аналіз траєкторій, виявлення аномалій, кластеризація руху, моделювання поведінки натовпу, щільність натовпу, дескриптори траєкторій, громадська безпека.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Добришев Р. Є. Візуальний аналіз натовпу в сучасних системах інтелектуального відеоспостереження // Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»), 2024, Vol. 37, № 9. Р. 639 – 651. (Index Copernicus)

<https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/15110>

2. Dobryshev R. Y. & Maksymov M. V. “Accurate crowd counting for intelligent video surveillance systems”. Herald of Advanced Information Technology. 2024; Vol. 7, No. 3: 253–261. (Index Copernicus)

<https://hait.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/20>

3. Dobryshev R. Y. “Anomaly detection in crowded scenes: technologies, challenges and opportunities”. Applied Aspects of Information Technology. 2024; Vol. 7, No. 3: 219–230. (Index Copernicus)

<https://aait.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/252>

4. Добришев Р. Є. Виявлення аномалій в багатолюдних сценах // Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»), 2025, Vol. 46, № 5. Р. 1437 – 1449. (Index Copernicus)

<https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/24510>

5. Dobryshev R., Purish S., Lobachev M., Hodovychenko M. Crowd counting in intelligent video surveillance systems. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2025, № 2, P. 132–142. (Scopus)

<http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/reks.2025.2.08>

6. Добришев Р.Є., Лобачев М.В. Підрахунок людей у натовпі з урахуванням глибини сцени в задачах оцінки щільності // Proceedings of the 15th International Scientific Conference of students and young researchers «Modern Information Technology», MIT 2025, Odesa, Ukraine. May 15-16, 2025. С. 144–146.

[https://drive.google.com/file/d/1zi1TabIH7isol-SW\\_\\_9ntZ\\_LG0glE4Wa/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1zi1TabIH7isol-SW__9ntZ_LG0glE4Wa/view?usp=drive_link)

7. Добришев Р. Є. Інтелектуальне виявлення аномалій у натовпі: методи, проблеми та перспективи // The 7th International scientific and practical conference

«Future of science: innovations and perspectives». SSPG Publish, Stockholm, Sweden, May 19 – 21, 2025. Pp. 172-176.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/FUTURE-OF-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PERSPECTIVES-19-21.05.25.pdf>

8. Добришев Р. Є. Технології візуального аналізу натовпу в інтелектуальних системах відеоспостереження // Proceedings of the The 20th International scientific and practical conference «Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices». International Science Group, Seville, Spain, May 20 – 23, 2025. Pp. 387-389.

<https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2025/05/INNOVATIVE-SCIENTIFIC-RESEARCH-LATEST-THEORIES-MODERN-METHODS-AND-PRACTICES.pdf>

9. Добришев Р. Є. Сучасні методи підрахунку людей у натовпі в системах інтелектуального відеоспостереження // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Science and Information Technologies in the Modern World». International Scientific Unity, Athens, Greece, May 21 – 23, 2025. Pp. 694 –698.

[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/05/Athens\\_Greece\\_21.05.25.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/05/Athens_Greece_21.05.25.pdf)

10. Добришев Р. Є. Автоматизоване виявлення глобальних аномалій у динаміці натовпу // Proceedings of the 11th International scientific and practical conference «Scientific achievements of contemporary society». Cognum Publishing House. London, United Kingdom, May 29 – 31, 2025. Pp. 255–259.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/SCIENTIFIC-ACHIEVEMENTS-OF-CONTEMPORARY-SOCIETY-29-31.05.25.pdf>

11. Добришев Р. Є. Сегментація потоків у високощільних натовпах за допомогою активного контуру та кластеризації траєкторій // Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Perspectives on Science and Economic Progress». International Scientific Unity, Vilnius, Lithuania, June 4 – 6 , 2025. Pp. 510 – 513.

*[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/06/Vilnius\\_Lithuania\\_4.06.25.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/06/Vilnius_Lithuania_4.06.25.pdf)*

## ABSTRACT

*Dobryshev R. Ye.* Models and methods of visual crowd analysis in intelligent video surveillance systems. – Qualification scientific work in the form of manuscript.

Thesis for the PhD degree in specialty 122 Computer science. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2025.

The **introduction** emphasizes the importance of addressing the challenges faced in applying visual crowd analysis in existing intelligent video surveillance. It demonstrates how current theories and methods are inadequate, particularly when there are many people in a small space. The study object and subject, goals, objectives, methods are formulated explicitly. The section also addresses scientific contribution, practical applicability of results as well as the author's own contribution.

**Chapter one** of the thesis presents in detail the issues that arise working with visually analysis of crowds in a smart surveillance environment.

The chapter discusses the components and the roles of intelligent video surveillance systems, defines the fundamental problem of crowd analysis and provides an overview of its most prominent tasks. We scrutinize each of these sub-tasks in their respective academia in order to discover what the ongoing research challenges are, what problems have yet to be solved, and what the status of the art is in the discipline. The section also includes interesting topics that future works on the topic of visual crowd analytics should address.

The study found that the majority of modern crowd counting methods do not factor in the geometric structure of the scene being observed, for example perspective distortion and variations in size. These conditions can allow for density estimates that are significantly in error.

The remedy to this problem according to the research, is to incorporate depth maps, which are geometric scene features, in the deep structure of the CNNs. This approach allows you to adjust the size of features, which improve crowd density estimation.

To mitigate this, a new manner for the discovery of the intricate crowd scene in unusual scenes was developed using the entropy measurement of directed mini-tracklets

that are composed of spatio-temporal interest points. This method also removes short and noisy trajectories to ensure the directionality, and utilizes entropy analysis as well as the variance of temporal occupancy to detect sudden change in crowd behaviors. This analysis illuminated what the research questions were.

**Chapter two** of the dissertation discusses a method in which geometric information inside the scene is utilized in order to improve crowd density estimates. The approach leverages depth as an additional input in order to build scale-aware representations, which better represent the actual size of the objects leading to more plausible density predictions.

A special module, that processes and encodes the depth information, provides the scene depth to the neural network. This module enhances feature representations by altering some parts of the image according to the local depth values. It makes the scene feel more as it is.

The key components of the proposed method include:

1. The depth injection module fuses the feature map and the depth picture to bring spatial geometry to the feature space.

2. The depth refinement block makes the depth map more complete and learns scale-sensitive weights through a spatial attention mechanism, which reveals where objects exist in different regions of picture.

3. The weights are then used by the embedding unit to alter the original features in some locations. The new features consider the variation of size of foreground objects with depth, enabling the density estimation to be more robust and scale-aware.

It is clear that this constitutes the **first contribution to scientific innovation**: a methodology for incorporating geometric scene features, in the form of depth maps, into deep neural network architectures has been refined. This enhancement now allows accurate display of the size of items in space and contributes to reliable prediction about crowd density.

**Chapter Three.** This work and developed methods and computational tools are presented here in Chapter 3 with the focus on analysis and interpretation of high-density crowd scenarios to detect anomalous behavior.

**For the purpose of improving the accuracy of the motion flows' segmentation in the dense scene**, vertical crowded flows were segmented based on the clustering of motion trajectories by deformable contour model was proposed. This approach further facilitates isolating local motion patterns and increasing the interpretability of challenging dynamic scenes.

The proposed approach's implementation proceeds in the following steps:

1. Contour-based region segmentation – separation of the region covered by the crowd from the context of the rest of the visual stream using flexible boundary models.
2. Pathway identification – finding motion anchors in a grid structure and following the anchors across successive frames to form movement paths.
3. Trajectory grouping – grouping formed motion structures based on its characteristics such as the motion path or the coordinates of the center or also the motion vector as well as the neighborhood density.
4. Flow pattern mapping – pixel-wise labeling according to the proximity to a given motion cluster in order to create the final segmentation of movement streams.

According to this, the **second major scientific contribution** is formulated: a method to refine a method of segmenting densely crowded crowd motion using trajectory aggregation with the help of deformable boundary modeling. This approach can accurately locate local behavior trend patterns and enhances the segmentation performance on crowd scenes.

**To enhance the robustness and the coherence of crowd flow analysis**, a model for individual flow paths of crowds was proposed. This model combines several descriptors such as the curvature of the path, its spatial center, direction vector and multi-scale spatial concentration of neighboring trajectories as follows.

The trajectory is represented by the following set of attributes:

$$F_j = (f_s, \text{location}, f_d, f_u)$$

where:

- $f_s$  denotes form of the movement curve structure (third-polynomial model);

- location represents the midpoint of the motion path;
- fd indicates the current direction of movement;
- fu captures the local density distribution of neighboring trajectories over a range of spatial scales.

The cluster process uses more clusters from each body part, but it is tricky- how to define what movement pattern is "similar" to what.

Thus, **third scientific novelty**: A three-dimensional representation of trajectory based on movement within a crowd scene has been created and updated. The use of this enhanced representation enables a more accurate and robust motion flow demarcation.

**An advanced approach was proposed to identify the anomalous behavioral patterns in crowd scenes with high crowd density** based on entropy analysis of directionally coherent short-term motion segments which are learned from temporal and spatial salient points. Furthermore, it integrates time-based occupancy deviation to consider sudden changes that also appear in scene dynamics.

The proposed approach improves remarkably the sensitivity to on-line unusual activities in crowded surroundings and the precision in detecting anomalous behavioral events.

The fundamental steps of this technique can be summarized as follows:

1. Foreground region isolation - detecting and enclosing the dynamic activity area by means of an elastic contour shaping.
2. Mini-path synthesis – recognizing important spatiotemporal blocks and follow their evolution constructing short, directed movement segments.
3. Motion orientation profiling – computes the principal direction of mini-trajectories and constructs directional distribution profile.
4. Irregularity detection – computing motion entropy as well as checking for spatial occupancy temporal displacement to signal such an abnormal scene state.

Thus, the **fourth scientific novelty** is the improvement of anomaly detection mechanism in dense crowd conditions. This is achieved by performing entropy based analysis over directional mini-trajectories built using motion sensitive points of interest, while monitoring the temporal variation of the occupancy. The introduction of this

framework results in increased sensitivity of the crowd behavior anomalies and better reliability for detecting abnormal events in visually crowded environments.

**Chapter four** of the thesis describes the engineering and deployment of a visual analytics module for crowd monitoring within a generic intelligent surveillance environment.

The overall goal, specific aims, and strategic significance of this module were set in the context of preserving civic security and detecting and mitigating emergencies in public heavily visited spaces. A data flow diagram was designed, in which were defined the semantic structure of incoming and outgoing data and the protocols of communication with edge components and external operators.

A detailed statement of operational and non-operational requirements was provided that covered performance requirements, cybersecurity, system reliability, and interoperability. The subsystem's design was formally documented with a variety of architectural diagrams such as logic diagrams, deployment diagrams, or package and class diagrams. Significant validation tests were performed to ensure functional integrity of the design indicating that the system is ready for deployment and its performance is stable under operational loads.

A focused analysis on the constituting elements Propagation, Aggregation and Global and Local Crowd Description of the visual crowd analysis system are described in **Chapter Five**.

In the process of studying the method of crowd flow segmentation in scenes with high crowd density, we tested it on four datasets: ShanghaiTech-B, WorldExpo, UCF\_CC\_50, and Mall. On most of them, the proposed method showed improvements. In particular, on the ShanghaiTech-B dataset, MAE decreased from 8.9 to 8.1 (an improvement of 8.99%), on WorldExpo - from 8.86 to 7.84 (11.54%), and on UCF\_CC\_50 - from 271.8 to 253.5 (6.73%). Only on the Mall set was the model slightly inferior to TAFNet: MAE was 2.10 vs. 2.06 (a decrease in accuracy of 1.94%). The results confirm the effectiveness of taking into account the depth of the scene to improve the counting accuracy in conditions of complex backgrounds and variable densities.

In the process of studying the method of segmenting crowd flows in scenes with high crowd density, it was indicated that the method is based on a combination of foreground segmentation and trajectory clustering, which allows to distinguish flows of people in complex dynamic conditions.

The empirical selection of parameters based on ROC curves was carried out. On the UCF CSD dataset, the proposed approach achieved an average Jaccard measure of 0.86, which exceeds the results of analogs by 10.26-50.88%, as well as an F-measure of up to 1.0. On the more complex Collective Motion set, we obtained MAE = 0.72 (15.29 - 59.78% better), Jaccard measure 0.83, and F-measure 0.86 (7.50-120.51% improvement). The results confirm the effectiveness of the method in the tasks of motion segmentation and group dynamics detection in a crowd.

In the process of studying the method for detecting anomalies in scenes with high crowd density, testing was conducted on the UMN, UCF CSD and Violent Flows Crowd datasets, which showed a steady improvement in results. In particular, on UMN, we obtained AUC = 0.995 (+1.53%), on UCF CSD - 0.850 (+3.66%), on Violent Flows Crowd - 0.950 (+2.70%) compared to the best existing methods. Thus, the proposed approach demonstrates high accuracy and suitability for use in intelligent video surveillance systems.

Thus, the feasibility and correctness of the technical solutions based on the results of the dissertation research have been confirmed.

The methods and tools developed in this work have been implemented in the activities of Provectus IT LLC and SF INVEST LLC and are reflected in the educational process and research activities of the Odessa National Polytechnic University.

*Keywords:* vision architectures and models for robotics, probabilistic and statistical systems, mobile robotic systems, smart camera networks, dynamic scene analysis, surveillance, localization, tracking, multi-target tracking, motion and tracking segmentation.

**List of publications of the applicant on the topic of the dissertation**

1. Добришев Р. Є. Візуальний аналіз натовпу в сучасних системах інтелектуального відеоспостереження // Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»), 2024, Vol. 37, № 9. Р. 639 – 651. (Index Copernicus)

<https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/15110>

2. Dobryshev R. Y. & Maksymov M. V. “Accurate crowd counting for intelligent video surveillance systems”. Herald of Advanced Information Technology. 2024; Vol. 7, No. 3: 253–261. (Index Copernicus)

<https://hait.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/20>

3. Dobryshev R. Y. “Anomaly detection in crowded scenes: technologies, challenges and opportunities”. Applied Aspects of Information Technology. 2024; Vol. 7, No. 3: 219–230. (Index Copernicus)

<https://aait.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/252>

4. Добришев Р. Є. Виявлення аномалій в багатолюдних сценах // Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»), 2025, Vol. 46, № 5. Р. 1437 – 1449. (Index Copernicus)

<https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/24510>

5. Dobryshev R., Purish S., Lobachev M., Hodovychenko M. Crowd counting in intelligent video surveillance systems. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2025, № 2, P. 132–142. (Scopus)

<http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/reks.2025.2.08>

6. Добришев Р.Є., Лобачев М.В. Підрахунок людей у натовпі з урахуванням глибини сцени в задачах оцінки щільності // Proceedings of the 15th International Scientific Conference of students and young researchers «Modern Information Technology», MIT 2025, Odesa, Ukraine. May 15-16, 2025. С. 144–146.

[https://drive.google.com/file/d/1zi1TabIH7iso1-SW\\_\\_9ntZ\\_LG0glE4Wa/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1zi1TabIH7iso1-SW__9ntZ_LG0glE4Wa/view?usp=drive_link)

7. Добришев Р. Є. Інтелектуальне виявлення аномалій у натовпі: методи, проблеми та перспективи // The 7th International scientific and practical conference

«Future of science: innovations and perspectives». SSPG Publish, Stockholm, Sweden, May 19 – 21, 2025. Pp. 172-176.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/FUTURE-OF-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PERSPECTIVES-19-21.05.25.pdf>

8. Добришев Р. Є. Технології візуального аналізу натовпу в інтелектуальних системах відеоспостереження // Proceedings of the The 20th International scientific and practical conference «Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices». International Science Group, Seville, Spain, May 20 – 23, 2025. Pp. 387-389.

<https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2025/05/INNOVATIVE-SCIENTIFIC-RESEARCH-LATEST-THEORIES-MODERN-METHODS-AND-PRACTICES.pdf>

9. Добришев Р. Є. Сучасні методи підрахунку людей у натовпі в системах інтелектуального відеоспостереження // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Science and Information Technologies in the Modern World». International Scientific Unity, Athens, Greece, May 21 – 23, 2025. Pp. 694 –698.

[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/05/Athens\\_Greece\\_21.05.25.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/05/Athens_Greece_21.05.25.pdf)

10. Добришев Р. Є. Автоматизоване виявлення глобальних аномалій у динаміці натовпу // Proceedings of the 11th International scientific and practical conference «Scientific achievements of contemporary society». Cognum Publishing House. London, United Kingdom, May 29 – 31, 2025. Pp. 255–259.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/SCIENTIFIC-ACHIEVEMENTS-OF-CONTEMPORARY-SOCIETY-29-31.05.25.pdf>

11. Добришев Р. Є. Сегментація потоків у високощільних натовпах за допомогою активного контуру та кластеризації траєкторій // Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Perspectives on Science and Economic Progress». International Scientific Unity, Vilnius, Lithuania, June 4 – 6 , 2025. Pp. 510 – 513.

*[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/06/Vilnius\\_Lithuania\\_4.06.25.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/06/Vilnius_Lithuania_4.06.25.pdf)*