

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи і програмно-апаратні засоби оцінювання кількості людей
у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору

Виконав: студент 6 курсу, групи СІм-61
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Михайлишин Р.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Приймак М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Луцик Н.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Марценко С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«17» листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Михайлишину Роману Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи і програмно-апаратні засоби оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору

Керівник роботи Приймак Микола Володимирович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-987

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові літературні джерела, мова програмування Python

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз наукових досліджень у сфері оцінювання кількості людей у відеопотоці

2. Методи та засоби дистанційного визначення кількості людей у громадських місцях

3. Реалізація системи оцінювання кількості людей у відеопотоці

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Тема кваліфікаційної роботи, актуальність і мета дослідження

2. Завдання, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження

3. Метод оцінювання кількості людей у відеопотоці

4. Архітектура системи

5. Схема з'єднань

6. Алгоритм роботи системи

7. Результати

8. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., зав.каф. КС</i>	<i>04.12.2025</i>	
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання 17.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Огляд літературних джерел. Постановка завдання на кваліфікаційну роботу</i>	<i>17.11.2025 р. – 23.11.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
2	<i>Методи та засоби оцінювання кількості людей у громадських місцях</i>	<i>24.11.2025 р. – 02.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
3	<i>Реалізація апаратно-програмної системи для оцінювання кількості людей у громадських місцях</i>	<i>03.12.2025 р. – 10.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>04.12.2025 р. – 10.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	<i>11.12.2025 р. – 19.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
6	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>16.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>
7	<i>Захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>22.12.2025 р.</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)*Михайлишин Р.С.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Приймак М.В.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Михайлишин Р.С. Методи і програмно-апаратні засоби оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія / наук.кер. Приймак М.В. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютерний зір, оцінювання кількості людей, Raspberry Pi, відеомоніторинг, IoT-система, ThingSpeak, підрахунок об'єктів.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методів та засобів оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору та IoT-платформ. У роботі проаналізовано сучасні підходи до підрахунку людей, сфери застосування таких систем і їхні обмеження в умовах змінного освітлення, перекриття об'єктів та високої щільності потоку. На основі проведеного аналізу сформовано математичну модель процесу оцінювання кількості людей та розроблено метод, що поєднує етапи попередньої обробки зображень, детекції, відстеження та підрахунку об'єктів.

Запропоновано структурну модель комп'ютеризованої системи, яка реалізована на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi з використанням камери та програмних засобів комп'ютерного зору. Для зберігання, передавання та візуалізації результатів підрахунку застосовано хмарну IoT-платформу ThingSpeak. У роботі описано алгоритм функціонування програмного забезпечення, методи підвищення точності оцінювання, зокрема фільтрацію шумів, компенсацію перспективних спотворень та згладжування результатів. Проведено тестування прототипу системи, яке підтвердило її працездатність і ефективність у реальних умовах.

ANNOTATION

Mykhailyshyn R.S. Methods and hardware–software tools for estimating the number of people in public places using computer vision technology. Master's Graduation Thesis: speciality 123 – Computer engineering / supervisor Pryjmak M.V. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: computer vision, people counting, Raspberry Pi, video monitoring, IoT system, ThingSpeak, object counting.

The qualification thesis is devoted to the development of methods and tools for estimating the number of people in public places using computer vision technology and IoT platforms. The paper analyzes modern approaches to people counting, areas of application of such systems, and their limitations under variable lighting conditions, object occlusions, and high crowd density. Based on the conducted analysis, a mathematical model of the people counting process is formulated, and a method combining image preprocessing, detection, tracking, and counting stages is developed.

A structural model of the computerized system is proposed and implemented using a Raspberry Pi microcomputer with a camera and computer vision software tools. The ThingSpeak cloud IoT platform is used for data transmission, storage, and visualization of counting results. The thesis describes the software operation algorithm and methods for improving estimation accuracy, including noise filtering, perspective correction, and result smoothing. The prototype system was tested, confirming its functionality and effectiveness in real operating conditions.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ВІДЕОПОТОЦІ	10
1.1. Аналіз сфери застосування систем оцінювання кількості людей у громадських місцях	10
1.2. Постановка задачі оцінювання кількості людей у громадських місцях.....	12
1.3. Огляд існуючих програмно-апаратних засобів для оцінювання кількості людей	14
1.4. Огляд наукових досліджень у сфері оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору	17
1.5. Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ	23
2.1. Загальні принципи побудови систем визначення кількості людей	23
2.2. Огляд методів комп'ютерного зору для відстеження та підрахунку людей.....	24
2.3. Алгоритмічні підходи до аналізу щільності натовпу та підрахунку людей	27
2.4. Математична модель процесу оцінювання кількості людей.....	29
2.5. Метод оцінювання кількості людей у громадських місцях	32
2.6. Модель функціонування системи оцінювання кількості людей.....	35
2.7. Висновки до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ.....	40
3.1. Апаратна реалізація системи оцінювання кількості людей у громадських місцях.....	40
3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи	47
3.3. Реалізація передачі та зберігання результатів оцінювання кількості людей	54

	6
3.4. Тестування розробленої системи.....	56
3.5. Висновки до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1. Охорона праці	60
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	62
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
Додаток А Тези конференцій	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

КЗ комп'ютерний зір

ШІ штучний інтелект

ШНМ штучна нейронна мережа

API (англ. Application Programming Interface) інтерфейс прикладного програмування

CNN (англ. Convolutional Neural Network) згорткова нейронна мережа

DNN (англ. Deep Neural Network) глибока нейронна мережа

FPS (англ. Frames Per Second) кількість кадрів за секунду

IoT (англ. Internet of Things) Інтернет речей

MSE (англ. Mean Squared Error) середньоквадратична похибка

RAM (англ. Random Access Memory) оперативна пам'ять

YOLO (англ. You Only Look Once) метод швидкої детекції об'єктів

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний розвиток інтелектуальних систем відеоспостереження та мережевих сервісів зумовлює зростання потреби в автоматизованих засобах моніторингу публічних просторів. Однією з актуальних прикладних задач є оцінювання кількості людей у громадських місцях. Розв'язання цієї задачі є важливим з точки зору оптимізації потоків відвідувачів, дотримання санітарних норм, а також підтримки управлінських рішень у реальному часі. Традиційні методи підрахунку людей, засновані на ручному контролі або використанні простих сенсорів, характеризуються обмеженою точністю та низькою адаптивністю до складних умов спостереження. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки методів і засобів оцінювання кількості людей на основі технологій комп'ютерного зору (КЗ), які дозволяють здійснювати автоматичний аналіз відеопотоку з урахуванням динаміки сцени, перекриття об'єктів і змін освітлення.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження методів і засобів оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору та їх реалізація у вигляді комп'ютеризованої системи моніторингу.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати сучасні методи та алгоритми комп'ютерного зору для виявлення, відстеження та підрахунку людей;
- сформулювати математичну модель процесу оцінювання кількості людей;
- розробити метод оцінювання кількості людей у відеопотоці з урахуванням складних умов спостереження;
- спроектувати структурну та інформаційну модель системи;
- реалізувати програмно-апаратний прототип на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi з камерою;
- забезпечити передавання та візуалізацію результатів за допомогою

хмарної IoT-платформи;

- провести тестування розробленої системи.

Об'єкт дослідження: процес оцінювання кількості людей у громадських місцях на основі відеоданих.

Предмет дослідження: методи, моделі та програмно-апаратні засоби комп'ютерного зору для автоматизованого підрахунку людей.

Методи дослідження: аналіз і узагальнення наукових джерел, методи комп'ютерного зору, математичне моделювання, алгоритмічний аналіз, програмна реалізація, експериментальні дослідження, статистична обробка результатів.

Наукова новизна дослідження:

1) Удосконалено математичну модель процесу оцінювання кількості людей шляхом урахування параметрів сцени та часової динаміки відеопотоку, що дозволяє зменшити похибку підрахунку в реальному часі.

2) Удосконалено метод оцінювання кількості людей у громадських місцях, що поєднує детекцію та відстеження об'єктів у відеопотоці з адаптивною фільтрацією результатів для підвищення точності підрахунку в умовах перекриття і змінного освітлення.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи полягає у можливості використання розробленої комп'ютеризованої системи для моніторингу заповненості громадських місць, підвищення рівня безпеки та підтримки прийняття управлінських рішень на основі даних відеоаналітики.

Публікації. Результати дослідження апробовано на XIV міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», у вигляді тез конференцій.

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку [1-3].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ВІДЕОПОТОЦІ

1.1. Аналіз сфери застосування систем оцінювання кількості людей у громадських місцях

Системи оцінювання кількості людей у громадських місцях застосовуються у різних сферах, де необхідно отримувати інформацію про щільність натовпу, динаміку переміщення або кількість присутніх осіб. З розвитком технологій комп'ютерного зору, машинного навчання та Інтернету речей (IoT) такі системи стали значно точнішими, гнучкішими й доступнішими для інтеграції в існуючу інфраструктуру [4].

Одним із основних сфер застосування є забезпечення громадської безпеки. У великих транспортних вузлах, на стадіонах, під час масових заходів або в місцях потенційного скупчення людей автоматичне оцінювання кількості осіб дає змогу запобігати перевищенню допустимої місткості, виявляти небезпечні зони надмірної концентрації людей та забезпечувати ефективне управління потоками. Такі системи часто інтегруються з відеоспостереженням, аналітичними платформами та системами оповіщення, що дозволяє реагувати на позаштатні ситуації [5].

Важливою сферою є транспортна інфраструктура, де системи підрахунку пасажирів використовуються для контролю заповнюваності автобусів, вагонів метро, зупинок, аеропортів чи вокзалів (рис. 1.1). Ці дані допомагають оптимізувати розклад руху, підвищити комфорт пасажирів і ефективність транспортних компаній [6]. У міських центрах такі системи інтегрують із “розумними” світлофорами та системами управління рухом, що дає змогу зменшити затори та покращити пішохідну логістику.

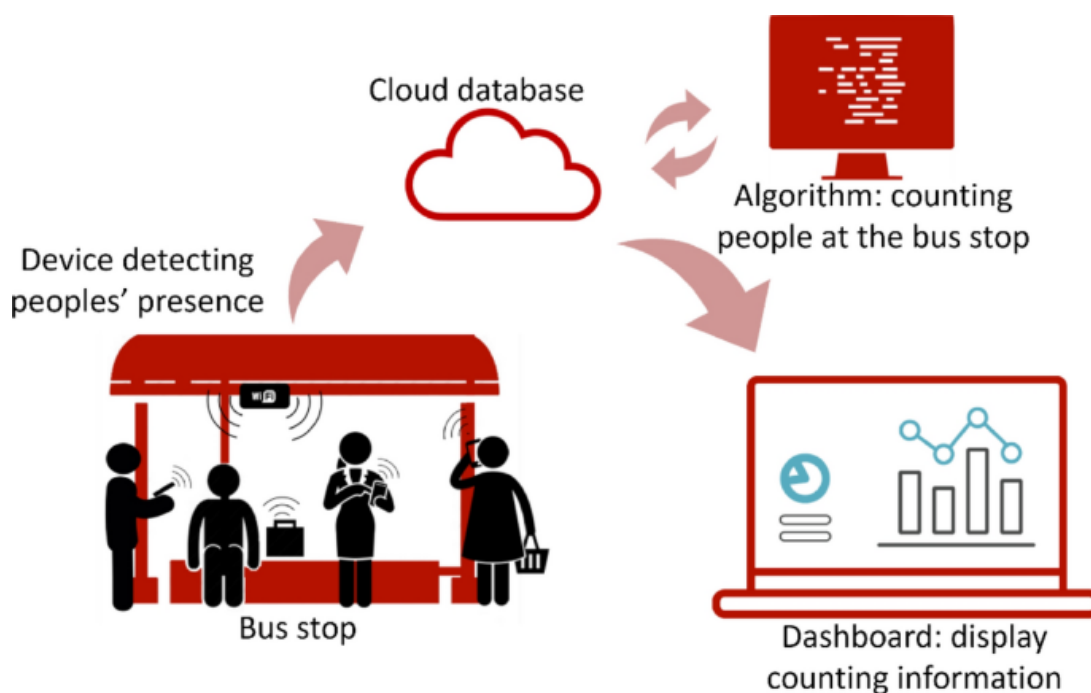


Рис. 1.1. Система для підрахунку кількості людей, що чекають на автобусних зупинках [6]

У сфері роздрібної торгівлі технології оцінювання кількості людей застосовуються для аналізу поведінки відвідувачів у магазинах та торговельно-розважальних центрах. Вони дозволяють оцінювати кількість клієнтів у різних зонах, розраховувати коефіцієнт конверсії продажів, визначати пікові години відвідуваності та оптимізувати розміщення товарів чи персоналу. На основі цих даних розробляються маркетингові стратегії, спрямовані на підвищення ефективності комерційної діяльності.

Ще одним напрямом є туризм та культурна спадщина. У музеях, виставкових залах та історичних об'єктах системи підрахунку людей допомагають контролювати кількість відвідувачів, регулювати потік туристів і дотримуватись норм безпеки. Окрім того, такі системи сприяють аналізу популярності експозицій і плануванню майбутніх заходів на основі реальних статистичних даних.

В епідеміологічних умовах, зокрема під час пандемії COVID-19, технології підрахунку людей набули нового значення для контролю соціальної дистанції та забезпечення санітарних норм. Автоматичні системи моніторингу допомагали відстежувати кількість відвідувачів у магазинах, лікарнях і громадських установах,

попереджаючи перевищення ліміту. Це дозволило мінімізувати людський фактор і забезпечити об'єктивність контролю.

Не менш важливим є застосування в освітніх закладах і на підприємствах, де такі системи можуть вести облік відвідуваності, забезпечувати контроль доступу та планувати використання ресурсів. Наприклад, у навчальних корпусах можна автоматично реєструвати кількість студентів на лекціях, що полегшує адміністрування й аналіз ефективності навчального процесу.

Окрему нішу займають системи для “розумних міст” (Smart City), які забезпечують моніторинг людських потоків у громадських місцях, парках і на вулицях. Отримані дані використовуються для планування міської інфраструктури, розвитку громадського транспорту, благоустрою територій і розміщення соціально важливих об'єктів.

Загалом, сфера застосування систем оцінювання кількості людей є надзвичайно широкою та динамічною. Вона охоплює як комерційні, так і соціально важливі напрямки, а використання комп'ютерного зору забезпечує глибоку аналітику й адаптацію до різних умов спостереження. Подальший розвиток таких систем спрямований на підвищення точності, стійкості до зовнішніх факторів і інтеграцію з інтелектуальними аналітичними платформами, що створює підґрунтя для ефективного управління людськими потоками у сучасних містах.

1.2. Постановка задачі оцінювання кількості людей у громадських місцях

Оцінювання кількості людей у громадських місцях є важливою складовою сучасних систем безпеки, управління міською інфраструктурою та організації масових заходів. Зростання урбанізації, інтенсифікація транспортних потоків і підвищені вимоги до безпеки громадян зумовлюють потребу у створенні автоматизованих систем, здатних у реальному часі визначати кількість присутніх осіб у певній зоні. Такі системи корисні у сфері громадського порядку, контролю доступу, планування інфраструктури, а також у комерційних застосуваннях –

наприклад, у сфері ритейлу або розважальних заходів, де важливо оцінювати відвідуваність і поведінкові особливості натовпу.

Суспільна значущість задачі оцінювання кількості людей полягає у забезпеченні безпечних умов перебування громадян у публічних просторах, таких як вокзали, аеропорти, торгові центри, стадіони чи транспортні вузли. Своєчасне виявлення надмірного скупчення людей може запобігти аварійним або небезпечним ситуаціям, пов'язаним із панікою, тиснявою чи порушенням громадського порядку. З іншого боку, точна оцінка людських потоків дозволяє оптимізувати логістику, планувати рух транспортних засобів, підвищувати ефективність систем відеонагляду та автоматизованого управління освітленням або кондиціонуванням залежно від присутності людей.

Технічна значущість задачі визначається тим, що системи підрахунку людей мають працювати в реальному часі, бути надійними, енергоефективними та придатними до використання на вбудованих платформах із обмеженими обчислювальними ресурсами. Для досягнення цього потрібні ефективні алгоритми комп'ютерного зору, здатні забезпечити високу точність при низьких затратах процесорного часу. Крім того, важливою є здатність системи до самонавчання або адаптації до нових умов спостереження, що дозволяє підвищити стабільність її роботи у змінних середовищах.

Основними вимогами до систем оцінювання кількості людей є: висока точність визначення осіб у кадрі навіть за умов часткових перекриттів; стійкість до змін освітлення, погодних умов і тіней; здатність працювати з різних кутів огляду; підтримка реального часу (частота обробки відео не нижче 15–25 кадрів за секунду); а також мінімізація помилок подвійного підрахунку однієї й тієї ж особи. Системи повинні бути здатні ефективно обробляти відео з камер різної роздільної здатності, забезпечувати корекцію перспективи та мати гнучкий інтерфейс для інтеграції з іншими підсистемами моніторингу або IoT-платформами.

Водночас реалізація таких систем супроводжується низкою проблем. Однією з найсерйозніших є зміна умов освітлення протягом дня, яка ускладнює процеси детекції. Крім того, значний вплив має динаміка сцени – постійний рух об'єктів,

часткове перекриття людей у натовпі, змінні ракурси та масштабування. Проблеми виникають і через різноманітність зовнішнього вигляду людей, варіативність одягу, тіні, відблиски, атмосферні ефекти тощо. Усі ці фактори потребують розробки адаптивних методів комп'ютерного зору, здатних підтримувати стабільну якість аналізу в складних реальних умовах.

Крім технічних і фізичних обмежень, важливим аспектом є також питання конфіденційності даних. Системи, що використовують відеоаналіз, повинні забезпечувати анонімність користувачів. Тому сучасні підходи дедалі частіше орієнтовані не на ідентифікацію особистості, а на оцінювання кількості та розподілу людей у просторі з використанням узагальнених ознак руху або щільності натовпу.

Отже, постановка задачі оцінювання кількості людей у громадських місцях полягає у розробленні методів і засобів, які забезпечують точне, надійне та енергоефективне визначення кількості осіб у сцені за умов змінного освітлення, часткового перекриття і динамічних змін середовища. Розв'язання цієї задачі є важливим етапом розвитку інтелектуальних систем відеомоніторингу, орієнтованих на практичне застосування в системах безпеки, управління міською інфраструктурою та смарт-технологіях нового покоління.

1.3. Огляд існуючих програмно-апаратних засобів для оцінювання кількості людей

Реалізація системи оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології КЗ потребує комплексного підходу, який поєднує ефективні алгоритми обробки відео з оптимально підібраними апаратними платформами та програмними засобами. Вибір компонентів залежить від вимог до продуктивності, енергоспоживання, вартості, умов експлуатації та масштабу системи. Для ефективної роботи таких систем важливо забезпечити достатню обчислювальну потужність для обробки відеопотоків у реальному часі,

стабільність передачі даних і можливість інтеграції з хмарними платформами або локальними аналітичними сервісами.

Серед поширених апаратних платформ для побудови систем відеоаналізу можна виділити NVIDIA Jetson, Raspberry Pi, Intel NUC і ESP32-CAM.

Raspberry Pi є популярним одноплатним комп'ютером, який забезпечує баланс між ціною, споживанням енергії та функціональністю. Він підтримує роботу з модулями камери, має розвинену екосистему програмного забезпечення і може виконувати базові задачі комп'ютерного зору з використанням бібліотеки OpenCV або легких моделей глибокого навчання (наприклад, MobileNet). Однак його обчислювальна потужність обмежена, що робить його більш придатним для систем з невисокою частотою кадрів або для попередньої обробки відеопотоку.

NVIDIA Jetson (моделі Nano, Xavier, Orin) – це спеціалізовані платформи для глибокого навчання на периферії (edge AI), які мають вбудовані графічні процесори (GPU). Вони дозволяють розгортати складні нейронні мережі, такі як YOLOv8 або EfficientDet, і виконувати обробку відео без необхідності передавання даних у хмару. Це робить Jetson ідеальним вибором для розумних камер спостереження, систем моніторингу натовпів у громадських місцях або транспортних вузлах.

Intel NUC – це міні-комп'ютери, які можуть використовуватися в більш потужних системах з розширеними можливостями аналізу. Вони підтримують апаратне прискорення обчислень за допомогою технологій Intel OpenVINO, що дозволяє оптимізувати виконання моделей машинного навчання для процесорів і вбудованих графічних модулів. Такі рішення застосовуються у централізованих системах відеоаналітики, де важливими є стабільність роботи, масштабованість і підтримка декількох відеопотоків одночасно.

Для задач, що потребують мінімальних витрат та автономності, застосовують ESP32-CAM – мікроконтролер із вбудованим Wi-Fi і камерним модулем. Попри обмежені ресурси, він дозволяє реалізовувати базові алгоритми детекції руху, передачу зображень або відео на сервер і навіть спрощені моделі машинного навчання, оптимізовані для мікроконтролерів (наприклад, з використанням

TensorFlow Lite). Такі пристрої можуть бути корисними у децентралізованих системах або як периферійні вузли збору даних для потужніших серверів обробки.

З програмної точки зору, основою для реалізації подібних систем є бібліотеки та фреймворки комп'ютерного зору й глибокого навчання (рис. 1.2).

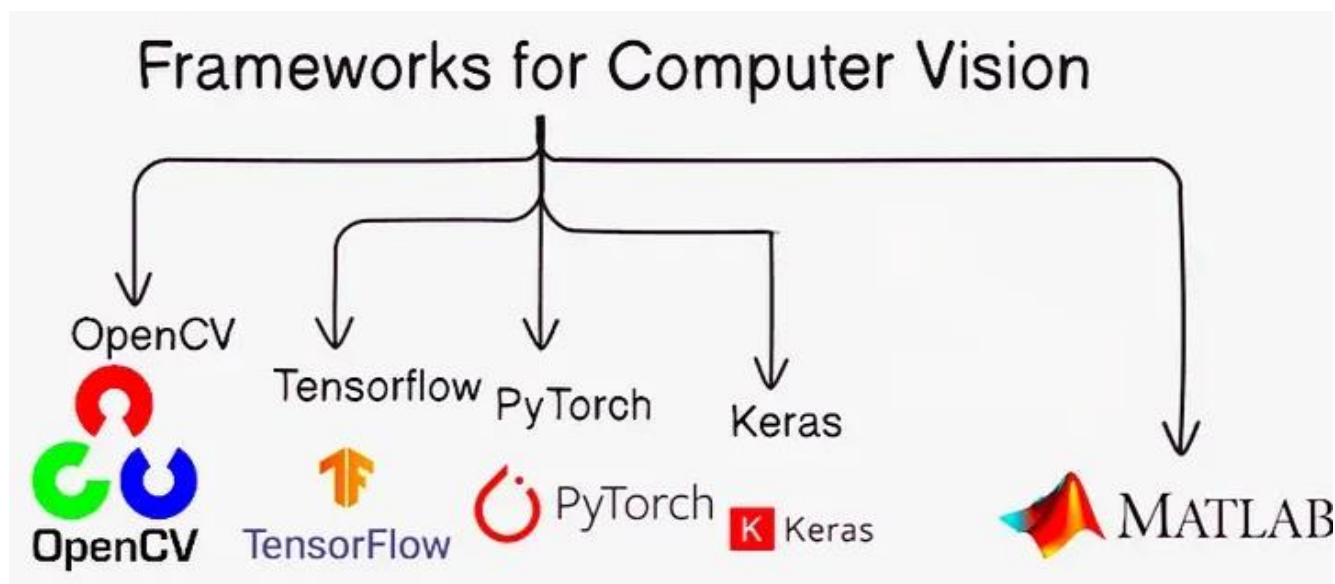


Рис. 1.2. Бібліотеки та фреймворки комп'ютерного зору

Найбільш універсальною є бібліотека OpenCV, яка надає інструменти для обробки зображень, відео, сегментації, трекінгу об'єктів і візуалізації результатів. Вона сумісна з багатьма мовами програмування (Python, C++, Java) і має підтримку апаратного прискорення.

Для побудови та навчання нейронних мереж застосовуються фреймворки TensorFlow і PyTorch, які підтримують розгортання як у хмарних сервісах, так і на периферійних пристроях. TensorFlow має спрощену версію TensorFlow Lite, оптимізовану для малопотужних пристроїв, тоді як PyTorch відзначається зручністю експериментів і широким набором попередньо навчених моделей.

Для оптимізації глибоких моделей на пристроях Intel широко використовується OpenVINO Toolkit, який дозволяє перетворювати нейронні мережі з TensorFlow або PyTorch у формат, адаптований для прискореного виконання на CPU, GPU або FPGA.

Інша корисна технологія – MediaPipe від Google, яка забезпечує модульну обробку мультимедійних потоків у реальному часі. Вона дозволяє будувати гнучкі конвеєри для задач виявлення облич, поз людини, рук, об'єктів і може бути використана для створення легких систем підрахунку людей на мобільних або вбудованих пристроях.

Важливим аспектом розробки є оптимізація обчислень для забезпечення роботи в реальному часі, включаючи зменшення розміру моделей, використання апаратних прискорювачів (GPU, TPU, NPU), паралельну обробку кадрів, а також попередню фільтрацію даних для зниження навантаження на процесор. Для досягнення максимальної швидкодії часто застосовують багатопотокову обробку відео, буферизацію кадрів та розподіл задач між пристроями на різних рівнях.

Сучасні системи оцінювання кількості людей у громадських місцях базуються на тісній інтеграції апаратного забезпечення, оптимізованих алгоритмів комп'ютерного зору та ефективних фреймворків машинного навчання. Вибір конкретної комбінації засобів залежить від цілей проєкту, обмежень середовища та вимог до швидкодії. Поєднання продуктивних апаратних платформ і гнучких програмних рішень відкриває можливості для створення високоефективних, масштабованих і енергоефективних систем моніторингу в умовах реального часу.

1.4. Огляд наукових досліджень у сфері оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору

З розвитком технологій ШІ та КЗ проблема автоматичного оцінювання кількості людей у громадських місцях стала однією з центральних у сфері інтелектуальних систем моніторингу. Традиційні засоби підрахунку відвідувачів – механічні лічильники, інфрачервоні давачі або системи на основі Wi-Fi-трекінгу – не завжди забезпечують точність та гнучкість у мінливих умовах відкритого простору. Натомість системи, що використовують аналіз відеопотоку, дозволяють не лише підраховувати кількість осіб, а й виявляти напрям руху, щільність натовпу, час перебування людей у певній зоні, а також прогнозувати тенденції поведінки.

Перші дослідження у цій сфері базувалися на класичних методах комп'ютерного зору, які передбачали аналіз руху пікселів, виділення фону та пошук контурів об'єктів. Наприклад, методи на основі віднімання фону (Background Subtraction) дозволяли виявляти рухомі об'єкти шляхом порівняння поточного кадру з еталонним зображенням сцени. Серед найбільш відомих алгоритмів можна відзначити MOG (Mixture of Gaussians), KNN (K-Nearest Neighbors) та GMG (Geometric Multigrid). Вони забезпечували задовільну роботу в контрольованих умовах, однак виявляли значні недоліки у реальних відкритих середовищах, де існує велика варіативність освітлення, погодних умов та фонових рухів, таких як коливання рослинності чи тіней.

Подальший розвиток отримали методи оптичного потоку. Класичні алгоритми Лукаса-Канаде (Lucas–Kanade) або Хорна-Шанка (Horn–Schunck) забезпечували можливість відстеження руху навіть у густих потоках людей. Однак висока обчислювальна складність таких методів обмежувала їх використання на малопотужних пристроях, зокрема на мікрокомп'ютерах типу Raspberry Pi, що є популярною апаратною платформою для розгортання систем моніторингу у польових умовах.

З появою методів машинного навчання підхід до аналізу відеопотоку суттєво змінився. Було розроблено алгоритми, які дозволяли виявляти людей не лише за рухом, а й за візуальними ознаками. Одними з перших ефективних рішень стали методи, засновані на дескрипторах ознак. Вони дозволяли з досить високою точністю визначати присутність людини на зображенні. Наприклад, метод HOG+SVM був широко застосований для задач pedestrian detection, де потрібно було виявляти людей на вулицях, у торгових центрах або на вокзалах.

Подальший прорив у галузі стався із впровадженням глибоких нейронних мереж, які забезпечили значно вищу точність і стійкість систем підрахунку людей у складних умовах. Сучасні архітектури, такі як CNN, дозволили системам навчатися на великих наборах інформації і розпізнавати людей навіть за часткової видимості чи перекриття об'єктів. Зокрема, архітектури YOLO, SSD та Faster R-CNN стали стандартами де-факто у задачах об'єктної детекції.

У багатьох наукових дослідженнях, таких як [7, 8], розглянуто адаптацію зазначених моделей до завдань підрахунку людей у натовпі. Одним із напрямів стала розробка Density Map Estimation – підходу, при якому замість детекції кожної людини створюється карта щільності натовпу (рис. 1.3). Такий підхід особливо ефективний у випадках, коли об'єкти перекривають один одного, і точне визначення меж кожної людини є неможливим. Архітектури типу MCNN та CSRNet дозволяють отримувати карти щільності з високою точністю навіть на переповнених площах.

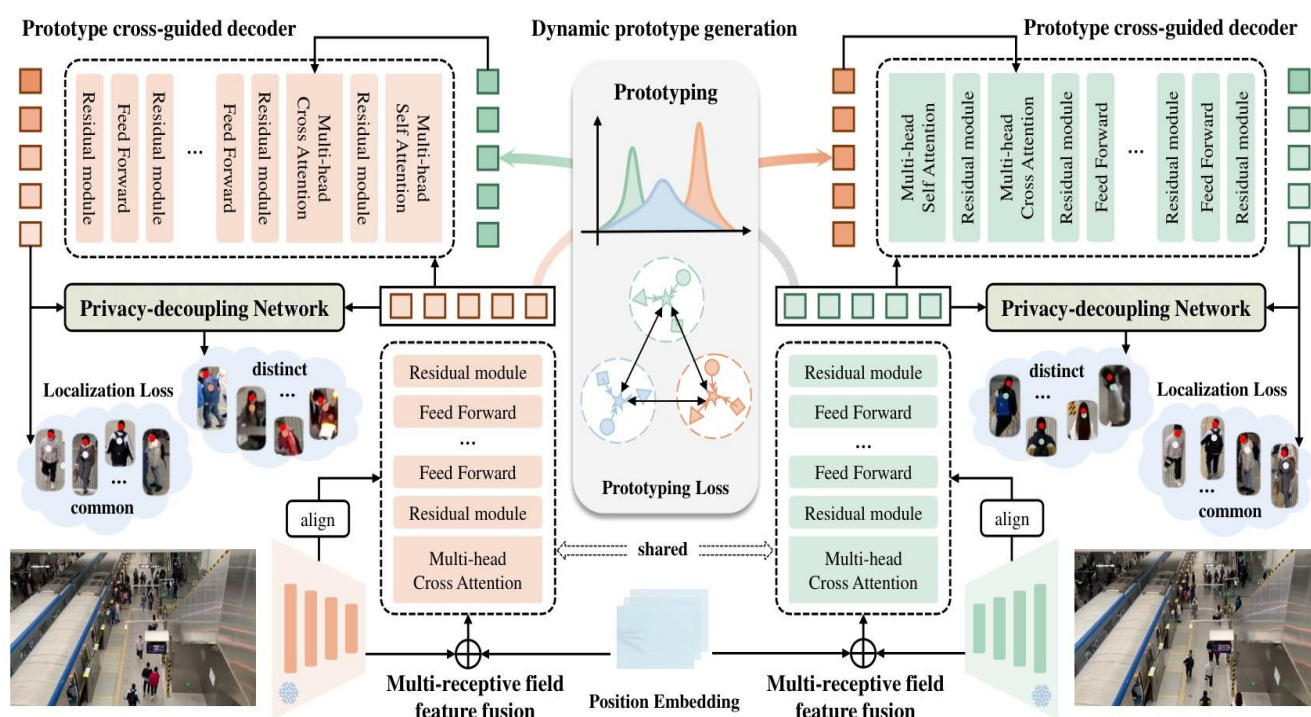


Рис. 1.3. Моделі та методи для підрахунку людей у натовпі [8]

Іншим важливим напрямом досліджень є комбінування методів детекції та трекінгу. Наприклад, алгоритми SORT і DeepSORT поєднують виявлення об'єктів за допомогою CNN із відстеженням їхнього руху через послідовні кадри [9]. Це дозволяє уникнути повторного підрахунку однієї й тієї ж особи при її переміщенні в межах кадру. Схожі підходи застосовуються в системах керування потоками людей на вокзалах, стадіонах, у торгових центрах і на вуличних перехрестях.

Особливу увагу дослідники приділяють оптимізації нейронних моделей для роботи на малопотужних пристроях. Такі пристрої мають обмежені ресурси, тому

використовуються полегшені архітектури – наприклад, MobileNet, EfficientDet або Tiny-YOLO. Вони забезпечують компроміс між швидкістю обробки та точністю детекції. Наприклад, у роботі [10] продемонстровано використання Tiny-YOLOv4 на Raspberry Pi 4 для підрахунку пішоходів у реальному часі.

Серед інших підходів, що активно досліджуються, варто відзначити використання глибоких рекурентних нейронних мереж (RNN) і трансформерів, що враховують часову залежність між кадрами. Це відкриває можливості не лише для підрахунку, а й для прогнозування руху натовпу та аналізу його динаміки. Наприклад, системи на основі ConvLSTM або Vision Transformer (ViT) здатні виявляти закономірності у зміні густоти потоку людей протягом часу, що особливо корисно для аналітики безпеки та управління потоками під час масових подій [11].

Слід також відзначити розвиток методів мультимодального аналізу, де відеодані поєднуються з інформацією від інших сенсорів – акустичних, теплових або радіолокаційних. Такий підхід дозволяє компенсувати недоліки зору, наприклад у нічний час або при поганій видимості. У роботі [12] показано, що поєднання інфрачервоного та звичайного відеопотоку підвищує точність підрахунку людей у нічних умовах на 18–25%.

Водночас дослідники відзначають низку проблем і викликів, які залишаються відкритими. По-перше, більшість моделей потребують великих обсягів навчальних даних, а їх збирання в умовах реальних відкритих просторів часто ускладнене з етичних і правових причин. По-друге, існує проблема адаптації алгоритмів до різних кутів огляду, погодних умов, змін освітлення та роздільної здатності камер. По-третє, питання енергоефективності та автономності систем залишається актуальним, особливо при розгортанні у віддалених або мобільних точках спостереження.

Останні тенденції свідчать про інтеграцію систем підрахунку людей із хмарними та периферійними обчисленнями (edge computing). Це дозволяє обробляти частину даних безпосередньо на пристрої, зменшуючи затримки передачі інформації та навантаження на мережу. Наприклад, у роботі [13] описано архітектури, де детекція виконується на рівні камери, а статистичні дані

передаються на сервер для довгострокового аналізу (рис. 1.4). Це відкриває перспективи створення розподілених інтелектуальних систем відеомоніторингу, здатних функціонувати автономно та масштабовано.

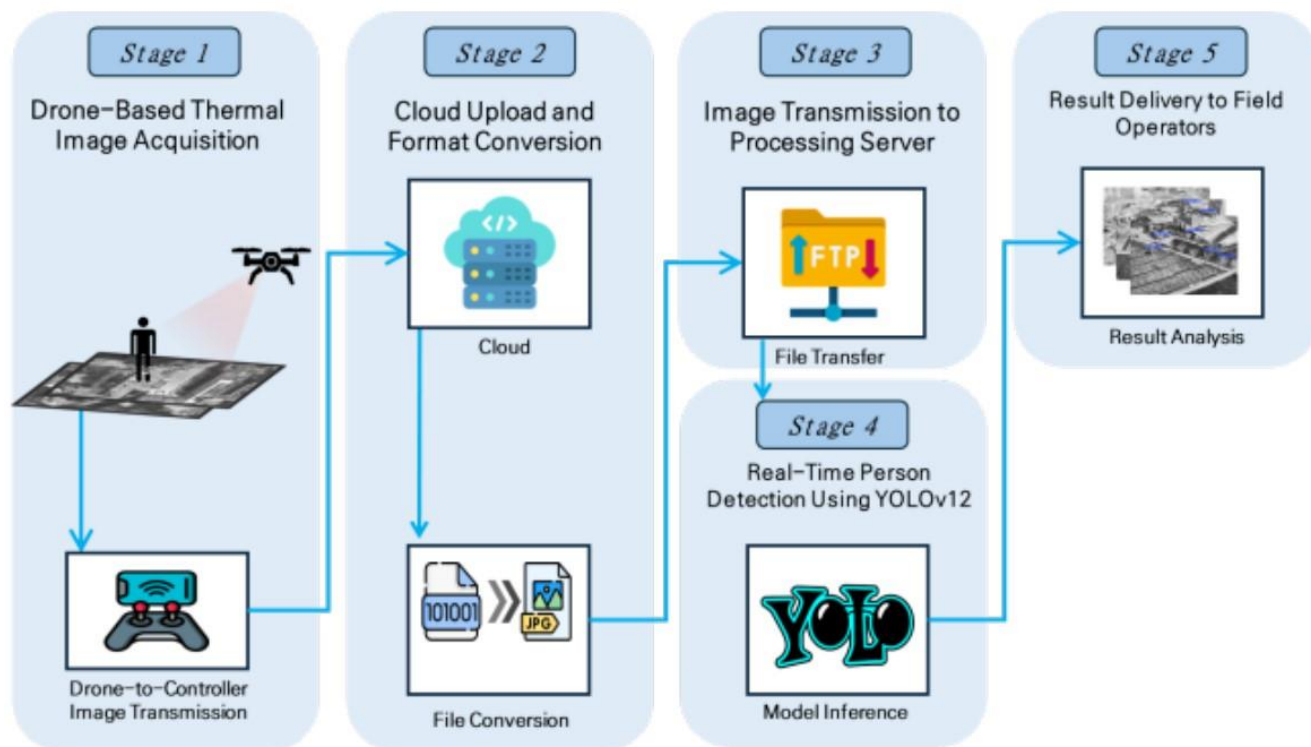


Рис. 1.4. Моделі та методи для підрахунку людей у натовпі [13]

Сучасні дослідження у сфері оцінювання кількості людей у громадських місцях орієнтуються на поєднання методів глибокого навчання, оптимізації алгоритмів для малопотужних платформ і забезпечення реального часу обробки даних. Проте залишається актуальною потреба у розробленні адаптивних методів, здатних підлаштовувати параметри обробки під змінні умови відкритого середовища. Такі рішення забезпечать більшу стійкість систем до зовнішніх впливів та підвищать ефективність практичного використання у сфері безпеки, транспортної аналітики та управління масовими заходами.

Отже, подальший розвиток систем інтелектуального відеомоніторингу має відбуватися у напрямі інтеграції оптимізованих нейронних архітектур із адаптивними моделями обробки відеопотоку. Це створює підґрунтя для розроблення нових методів, здатних ефективно аналізувати потоки людей у

відкритих просторах із високою точністю, мінімальними обчислювальними витратами та можливістю автономного функціонування.

1.5. Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану наукових досліджень у сфері оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технологій комп'ютерного зору. Встановлено, що актуальність цієї проблематики обумовлена потребою у забезпеченні безпеки, оптимізації потоків людей, плануванні інфраструктури та покращенні сервісного обслуговування у місцях масового скупчення.

Проаналізовано основні методи комп'ютерного зору, які застосовуються для виявлення, відстеження та підрахунку людей. Розглянуто класичні підходи, що базуються на оптичному потоці та контурному аналізі, а також сучасні методи, що використовують глибокі нейронні мережі.

Досліджено програмно-апаратні засоби реалізації систем підрахунку людей. На основі аналізу літературних джерел і практичних рішень сформульовано основні вимоги до таких систем – висока точність, стабільність роботи у реальному часі та здатність до адаптації в різних умовах спостереження.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ

2.1. Загальні принципи побудови систем визначення кількості людей

Системи визначення кількості людей у відкритих просторах є ключовим інструментом для аналізу пішохідних потоків, оптимізації громадської інфраструктури, управління подіями та забезпечення безпеки. Їх функціонування базується на використанні методів КЗ, ШІ та обробки відеопотоків, що дозволяє автоматично визначати кількість осіб у кадрі, їх рух та напрямок переміщення. Загальна архітектура таких систем, як правило, складається з трьох основних компонентів: підсистеми збору відеоданих, підсистеми обробки та аналізу зображень і підсистеми відображення результатів. Перша відповідає за зйомку відео за допомогою камер спостереження, друга – за інтелектуальну обробку даних, а третя – за представлення результатів користувачам у вигляді статистичних звітів, графіків чи візуалізації потоків людей на карті.

Процес аналізу відеоданих у системах підрахунку людей зазвичай включає кілька послідовних етапів (рис. 2.1). Попередня фільтрація зображень спрямована на зменшення шумів, стабілізацію відео та покращення контрасту для полегшення подальшої обробки. Наступний етап – виявлення об'єктів, на якому система ідентифікує людей на основі контурів, руху або характерних ознак, використовуючи методи глибинного навчання (наприклад, YOLO, SSD, Faster R-CNN). Після цього виконується відстеження об'єктів, яке дозволяє системі розпізнавати, що один і той самий об'єкт переміщується між кадрами, забезпечуючи коректність підрахунку навіть за наявності перекриттів або перехрещення траєкторій. Завершальним етапом є безпосередній підрахунок, який може базуватися як на детектуванні кожної особи, так і на статистичному оцінюванні щільності натовпу у разі великої кількості людей [14].

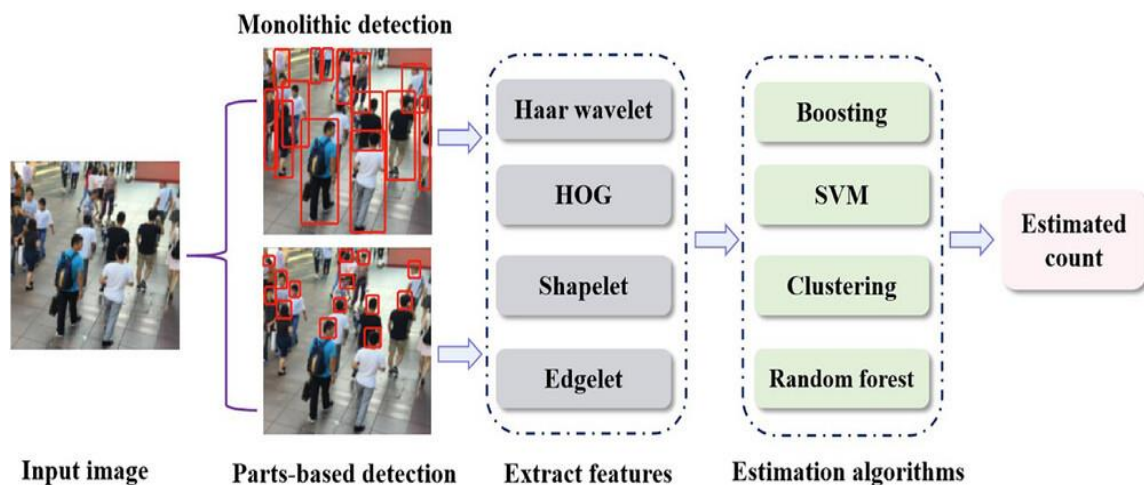


Рис. 2.1. Процес аналізу відеоданих у системах підрахунку кількості людей

Для ефективної роботи системи оцінювання кількості людей необхідно дотримуватись низки вимог до точності, швидкодії та стабільності. Точність визначення кількості осіб є критичним параметром, особливо у випадках, коли результати використовуються для безпекових чи управлінських рішень. Висока швидкодія потрібна для обробки відео в реальному часі. Стабільність роботи системи визначається її здатністю зберігати точність у різних умовах освітлення, погодних впливів, змін фону та варіацій положення камер. Відповідно, під час розроблення таких систем важливо враховувати оптимальний баланс між продуктивністю алгоритмів, обчислювальними ресурсами та якістю результатів.

Системи оцінювання кількості людей у відкритих просторах ґрунтуються на комплексі взаємопов'язаних технологій, що забезпечують автоматизований аналіз відеопотоків. Від ефективності архітектури, точності методів виявлення та стабільності алгоритмів залежить здатність системи надавати достовірну інформацію для підтримки рішень у сфері безпеки, транспорту, міського планування та управління масовими заходами.

2.2. Огляд методів комп'ютерного зору для відстеження та підрахунку людей

Розвиток систем автоматизованого підрахунку людей у громадських місцях значною мірою базується на досягненнях у сфері комп'ютерного зору. Основна

мета таких систем полягає у виявленні об'єктів, що належать до класу «людина», їхньому відстеженні у відеопотоці та визначенні кількості у заданій зоні.

Класичні методи комп'ютерного зору базуються на аналізі послідовностей зображень без використання навчальних вибірок. Одним із найпоширеніших підходів є фонове віднімання (background subtraction), яке передбачає формування моделі фону сцени та виявлення рухомих об'єктів шляхом порівняння поточного кадру з еталонним. Цей метод є ефективним для статичних камер і відносно стабільного освітлення, але втрачає точність у разі динамічних змін середовища (наприклад, коливання дерев, тіней або змін погоди). Для покращення результатів застосовуються моделі адаптивного фону, які враховують часові варіації пікселів.

Іншим підходом є аналіз оптичного потоку (optical flow), який визначає напрямки і швидкості руху об'єктів на основі зміни яскравості між сусідніми кадрами. Оптичний потік дозволяє не лише виявляти об'єкти, але й оцінювати динаміку їхнього руху, що є корисним для підрахунку людей у русі, наприклад, у транспортних вузлах або пішохідних переходах. Проте цей метод є обчислювально складним, що ускладнює його використання на малопотужних платформах, а також чутливим до змін освітлення та шумів зображення.

До класичних підходів також належать контурні методи (edge-based methods), які ґрунтуються на пошуку характерних контурів або силуетів людей у кадрі. Для їх реалізації часто використовуються оператори Собеля, Кенні або Лапласа. Ці методи забезпечують високу швидкодію та простоту реалізації, проте мають обмежену точність у складних сценах із частковими перекриттями, низькою контрастністю або неоднорідним фоном.

З появою великих обчислювальних потужностей і розвитком технологій глибокого навчання значного поширення набули сучасні методи на основі ШНМ (рис. 2.2). Зокрема, у системах детекції людей широко використовуються згорткові нейронні мережі, які навчаються розпізнавати складні візуальні патерни, притаманні людині, незалежно від ракурсу, масштабу чи освітлення [15].

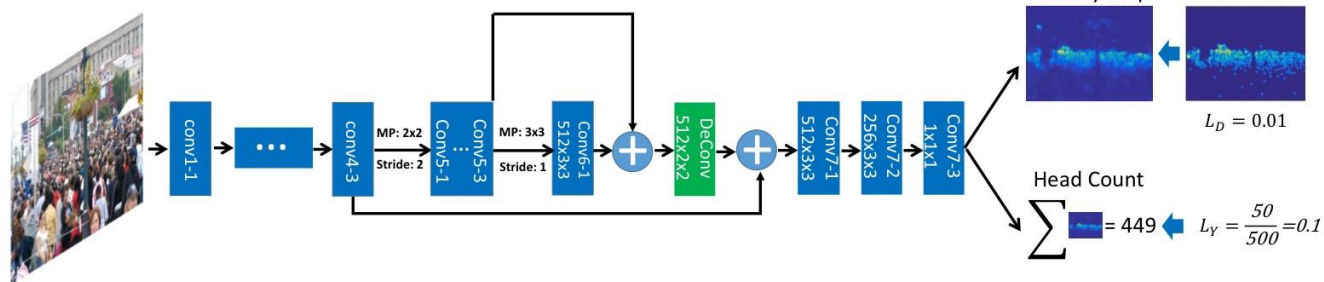


Рис. 2.2. Структура адаптивної до масштабу згорткової нейронної мережі для підрахунку кількості людей

Одними з найуспішніших архітектур є YOLO, SSD та Faster R-CNN. Мережа YOLO здійснює детекцію об'єктів завдяки одноетапній обробці зображення, розділяючи його на сітку та прогножуючи ймовірність наявності об'єкта в кожній комірці. Ця модель відзначається високою швидкістю, що робить її придатною для вбудованих систем, однак іноді вона поступається точністю у складних умовах. Метод SSD має схожу структуру, але використовує кілька рівнів просторової роздільності, забезпечуючи кращий баланс між швидкістю та точністю. Faster R-CNN, у свою чергу, демонструє найвищу точність завдяки двоетапній архітектурі, де спочатку формуються регіони можливих об'єктів, а потім виконується їх класифікація.

Для задач підрахунку людей у великих натовпах активно застосовуються регресійні та щільнісні (density-based) методи, які оцінюють кількість осіб не за кількістю виявлених об'єктів, а через аналіз щільності пікселів, що відповідають людям. Серед таких підходів відомими є CSRNet, MCNN та CAN – моделі, що використовують багатошарові згорткові мережі для прогнозування карти щільності натовпу. Вони особливо ефективні у випадках, коли пряме розпізнавання окремих людей у кадрі неможливе через сильне перекриття чи малу роздільну здатність. Недоліком таких моделей є необхідність великих навчальних наборів даних із розміткою щільності, що ускладнює їхню адаптацію до нових середовищ.

Окремо варто виділити гібридні методи, які поєднують детекцію та аналіз щільності для підвищення точності. Наприклад, на початковому етапі мережа виявляє окремі об'єкти, а в зонах з високою щільністю – переходить до оцінювання

на основі карти густоти. Такий підхід є компромісом між швидкістю та точністю, дозволяючи зменшити похибки при зміні масштабів або неповному огляді сцени.

Порівняльний аналіз різних підходів свідчить, що класичні методи доцільно застосовувати для простих сцен із контрольованими умовами освітлення та малою кількістю об'єктів, де пріоритетом є швидкість і простота реалізації. Нейронні мережі, натомість, мають вищу стійкість до зовнішніх факторів і забезпечують кращі результати при роботі в реальному середовищі, хоча потребують більших ресурсів і ретельного навчання.

У результаті можна зробити висновок, що сучасна тенденція розвитку систем комп'ютерного зору для підрахунку людей полягає у використанні адаптивних, багаторівневих моделей глибокого навчання, здатних поєднувати переваги детекційних і регресійних методів. Вибір конкретного підходу визначається балансом між продуктивністю, точністю та можливістю реалізації на доступних апаратних засобах, що є ключовим чинником при створенні системи оцінювання кількості людей у громадських місцях.

2.3. Алгоритмічні підходи до аналізу щільності натовпу та підрахунку людей

Оцінювання кількості людей у громадських місцях є складною задачею, яка залежить від динаміки сцени, змін освітлення, масштабів натовпу, часткового перекриття тощо. Дослідники запропонували низку алгоритмічних підходів до вирішення проблеми: методи на основі детекції об'єктів, методи регресії щільності та комбіновані (гібридні) підходи. Вони мають свої переваги, обмеження та сфери застосування залежно від цільової задачі та умов спостереження.

Першу групу становлять методи підрахунку на основі детекції об'єктів, що передбачають виявлення кожної людини в кадрі за допомогою класичних алгоритмів комп'ютерного зору або сучасних нейронних мереж. У ранніх роботах використовували методи фонові сегментації, каскади Гаара, гістограми орієнтованих градієнтів (HOG) або детектори на основі SVM. У сучасних системах основну роль відіграють глибокі нейронні архітектури, такі як Faster R-CNN,

YOLO, SSD, RetinaNet тощо, які дозволяють виконувати детекцію людей. Проте такі підходи ефективні лише тоді, коли натовп не є надто густим, і між об'єктами зберігається достатня відстань. При високій щільності натовпу, коли люди частково або повністю перекривають один одного, точність виявлення різко знижується через обмежену видимість та втрату індивідуальних ознак.

Другий напрям – методи підрахунку на основі регресійних моделей щільності – використовуються для аналізу густих натовпів, де детекція окремих осіб практично неможлива. Ідея полягає у тому, щоб оцінити щільність розподілу людей на зображенні, не виконуючи явного розпізнавання кожного об'єкта. У таких методах система навчається встановлювати залежність між локальними ознаками зображення (наприклад, текстура, контраст, розмір об'єктів) та кількістю людей у певній області кадру. Ранні підходи базувалися на використанні лінійної або нелінійної регресії, проте з розвитком глибокого навчання широкого поширення набули CNN-регресійні мережі. Ці архітектури формують карту щільності, інтегрування якої дозволяє отримати оцінку загальної кількості людей. Цей підхід показує високу точність у складних сценах з великою кількістю об'єктів і різним масштабом людей у різних частинах кадру, проте має високу обчислювальну складність і вимагає великого набору розмічених даних для навчання.

Окрему категорію становлять комбіновані або гібридні підходи, які поєднують елементи детекції та регресії щільності. Такі системи зазвичай працюють у двох режимах: при низькій щільності натовпу застосовується детектор об'єктів, а при високій – регресійна модель щільності. Наприклад, алгоритми Switch-CNN або Hybrid-CNN використовують спеціальний класифікатор, який динамічно обирає оптимальний підхід залежно від локальних характеристик сцени. Це дозволяє забезпечити гнучкість системи та підвищити точність оцінювання в умовах змінної густоти натовпу. Інші роботи пропонують інтегрувати результати обох методів для підвищення стабільності системи – детекція використовується для калібрування карти щільності або валідації результатів регресійної моделі.

Значний розвиток у цьому напрямі отримали також адаптивні моделі оцінювання, здатні враховувати зміни освітлення, погодних умов або перспективи

камери. Такі системи використовують механізми самонавчання або оновлення вагових коефіцієнтів у процесі експлуатації, що забезпечує стійкість до зовнішніх впливів. Наприклад, застосування рекурентних нейронних мереж (RNN) або трансформерів дозволяє враховувати часові залежності між кадрами відеопотоку та підвищувати точність підрахунку за рахунок аналізу руху.

Отже, сучасні алгоритмічні підходи до аналізу щільності натовпу та підрахунку людей демонструють суттєвий прогрес у напрямі підвищення точності, швидкодії та адаптивності систем відеомоніторингу. Вибір конкретного підходу залежить від умов зйомки, типу сцени, доступних ресурсів та цілей застосування. Для систем реального часу найбільш ефективними є комбіновані рішення, які поєднують детекцію об'єктів, аналіз щільності та адаптивне оновлення моделі. Саме такі підходи становлять основу для подальшого вдосконалення методів оцінювання кількості людей у громадських місцях.

2.4. Математична модель процесу оцінювання кількості людей

Для формалізації процесу оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технологій комп'ютерного зору розглянемо загальну математичну постановку задачі. Нехай у певний момент часу t камера формує відеокадр $I_t(x, y)$, де (x, y) – координати пікселя у просторі зображення, а $I_t(x, y) \in [0, 255]$ – значення його яскравості (для одноканального зображення) або вектор яскравостей для трьох колірних каналів (для RGB-зображення). Сукупність послідовних кадрів утворює відеопотік

$$\mathcal{V} = \{I_t(x, y) \mid t = 1, 2, \dots, T\}.$$

Мета оцінювання полягає у визначенні кількості людей N_t на сцені у момент часу t , тобто

$$N_t = f(I_t(x, y), \theta),$$

де $f(\cdot)$ – функція оцінювання, яка залежить від параметрів моделі θ (коефіцієнтів нейронної мережі, ваг регресії, порогів сегментації тощо).

Основною вихідною величиною є оцінка $\hat{N}_t$, що наближено відповідає реальній кількості людей N_t^{real} . Якість оцінювання характеризується похибкою

$$E_t = | \hat{N}_t - N_t^{\text{real}} |.$$

Для мінімізації похибки формується цільова функція оптимізації, наприклад середньоквадратична помилка:

$$J(\theta) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{N}_t - N_t^{\text{real}})^2 \rightarrow \min_{\theta}.$$

Ця функція використовується під час навчання моделі для підбору параметрів θ , які забезпечують найкращу відповідність між прогнозованою та реальною кількістю людей.

Оцінювання кількості людей може базуватися на двох основних підходах:
(1) детекції окремих об'єктів (людей) і підрахунку кількості виявлених фігур, або
(2) аналізі щільності натовпу за допомогою регресійних або глибинних моделей.

У першому випадку, якщо алгоритм детекції повертає набір обмежувальних прямокутників (bounding boxes)

$$B_t = \{b_i = (x_i, y_i, w_i, h_i) \mid i = 1, \dots, n_t\},$$

то кількість людей у кадрі визначається як

$$\hat{N}_t = | B_t | = n_t,$$

де n_t – кількість виявлених об'єктів, які класифіковані як «людина».

Такий підхід є ефективним при невеликій щільності натовпу, коли об'єкти добре розділені та не перекриваються.

У другому випадку, коли спостерігається значне перекриття об'єктів або часткове закриття фігур, ефективніше використовувати модель щільності натовпу, яка будує карту густини $D_t(x, y)$, що характеризує ймовірність присутності людини в кожній точці зображення. Формально це записується як:

$$\hat{N}_t = \iint_{\Omega} D_t(x, y) dx dy,$$

де Ω – область спостереження.

У дискретній формі це можна представити як:

$$\hat{N}_t = \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H D_t(x, y),$$

де W, H – розміри кадру.

Карта щільності може бути отримана за допомогою згорткової нейронної мережі, що апроксимує функцію $D_t(x, y) = g(I_t(x, y), \theta)$.

Для опису залежності кількості людей від параметрів сцени (розмір області спостереження, відстань до камери, перспектива, освітлення) введемо коригувальний коефіцієнт $k(x, y)$, який враховує ефект перспективного спотворення. Таким чином:

$$\hat{N}_t = \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H k(x, y) \cdot D_t(x, y),$$

де $k(x, y) \in (0, 1]$ зменшується для областей, віддалених від камери.

У спрощеній моделі $k(x, y)$ може бути лінійною функцією від висоти пікселя:

$$k(x, y) = 1 - \alpha \cdot \frac{y}{H},$$

де α – емпіричний коефіцієнт масштабування, який визначається експериментально.

Математична модель оцінювання кількості людей у відеопотоці описує процес перетворення просторово-часових даних у числову оцінку, що відображає поточну заповненість сцени. Вона дозволяє поєднати методи комп'ютерного зору, машинного навчання та аналітичні залежності між параметрами сцени, що забезпечує побудову адаптивних і стійких систем підрахунку людей навіть за наявності шумів, змін освітлення чи складних ракурсів зйомки.

2.5. Метод оцінювання кількості людей у громадських місцях

Запропонований у кваліфікаційній роботі метод оцінювання кількості людей у громадських місцях базується на інтеграції технологій комп'ютерного зору, детекції об'єктів за допомогою згорткових нейронних мереж і алгоритмів фільтрації траєкторій руху. Основна концепція методу полягає у тому, щоб об'єднати детекцію людей у кожному кадрі з їх подальшим відстеженням у часі для усунення дублювання підрахунку та підвищення стабільності результатів у динамічних сценах.

Метод реалізує поетапну обробку відеопотоку, що надходить від камери спостереження, і включає наступні основні блоки:

- попередня обробка кадрів – усунення шумів, нормалізація яскравості, адаптивна зміна контрасту;
- детекція об'єктів – виявлення людей за допомогою моделі YOLOv5, навченої на наборі даних COCO;
- відстеження руху – асоціація детекцій у суміжних кадрах на основі просторової близькості та схожості ознак;

- фільтрація траєкторій – усунення хибних або короткочасних детекцій за допомогою статистичних критеріїв;
- підрахунок унікальних осіб – обчислення кількості людей, які з'явилися у зоні спостереження за певний період часу.

Формально, нехай $I_t(x, y)$ – кадр відеопотоку у момент часу t . На етапі детекції формується множина об'єктів:

$$B_t = b_i^t = (x_i^t, y_i^t, w_i^t, h_i^t, s_i^t) \mid i = 1, \dots, n_t,$$

де (x_i^t, y_i^t) – координати центру детектованого об'єкта;

(w_i^t, h_i^t) – розміри обмежувального прямокутника;

s_i^t – ймовірність того, що об'єкт належить до класу «людина».

Для зменшення кількості хибних спрацьовувань використовується порогова фільтрація:

$$B'_t = \{b_i^t \in B_t \mid s_i^t \geq s_{\min}\},$$

де $s_{\min}$ – порогове значення, зазвичай у межах $0,5 \leq s_{\min} \leq 0,7$.

Далі здійснюється відстеження об'єктів між кадрами. Для кожної пари послідовних кадрів $(t-1, t)$ обчислюється матриця відстаней між детекціями:

$$d_{ij}^t = \|c_i^{t-1} - c_j^t\|_2 = \sqrt{(x_i^{t-1} - x_j^t)^2 + (y_i^{t-1} - y_j^t)^2},$$

де $c_i^t = (x_i^t, y_i^t)$ – центр прямокутника.

На основі цих відстаней виконується оптимальне призначення об'єктів за критерієм мінімальної сумарної відстані, наприклад методом Hungarian algorithm:

$$\min_{\pi} \sum_{i=1}^{n_{t-1}} d_{i,\pi(i)}^t,$$

де π – перестановка, що визначає відповідність між об'єктами у двох сусідніх кадрах.

Щоб враховувати можливі пропуски детекцій і шумові зміни положення, траєкторії відстежуваних об'єктів згладжуються фільтром Калмана, який описується системою рівнянь стану:

$$\begin{cases} x_t = Ax_{t-1} + w_t, \\ z_t = Hx_t + v_t, \end{cases}$$

де $x_t = [x, y, \dot{x}, \dot{y}]^T$ – вектор стану (положення і швидкості);

z_t – вектор вимірювань (координати центру об'єкта);

A – матриця переходу стану;

H – матриця спостереження;

w_t, v_t – шум процесу та шум вимірювань відповідно.

Після оновлення траєкторій проводиться фільтрація коротких траєкторій:

$$T' = \{\tau_i \in T \mid L(\tau_i) \geq L_{\min}\},$$

де $L(\tau_i)$ – довжина траєкторії (кількість кадрів, у яких об'єкт відстежений);

$L_{\min}$ – поріг для відсікання хибних детекцій.

Кількість людей на поточному кадрі визначається як

$$\hat{N}_t = |T'_t|,$$

а загальна кількість унікальних осіб, що з'явилися у зоні спостереження протягом часу T , – як

$$\hat{N}_{\text{total}} = \left| \bigcup_{t=1}^T T'_t \right|.$$

Основна перевага розробленого методу полягає у поєднанні швидкодії моделей реального часу із точністю фільтрації на основі динамічних моделей руху. Це дозволяє досягти стабільних результатів навіть у складних умовах освітлення, при часткових перекриттях людей та зміні напрямку руху. Крім того, метод оптимізований для виконання на малопотужних пристроях, таких як Raspberry Pi 3 або NVIDIA Jetson Nano, завдяки використанню спрощених архітектур моделей і обмеження області інтересу.

Запропонований метод забезпечує зменшення коливань оцінки кількості людей, а також дозволяє виконувати аналіз потоків у реальному часі при обробці відео на вбудованих системах. Отже, розроблений метод є ефективною теоретичною основою для побудови інтелектуальних систем відеоаналітики.

2.6. Модель функціонування системи оцінювання кількості людей

Функціонування системи оцінювання кількості людей у громадських місцях базується на взаємодії кількох основних модулів, кожен з яких виконує специфічну роль у процесі аналізу відеопотоку. До складу системи входять модулі: отримання відеоданих, попередньої обробки кадрів, детекції об'єктів, відстеження траєкторій, підрахунку людей та передавання результатів на сервер або локальний інтерфейс користувача. Інформаційна модель системи може бути подана у вигляді множини взаємопов'язаних функцій:

$$S = \{M_c, M_p, M_d, M_t, M_f, M_o\},$$

де M_c – модуль захоплення відеопотоку;

M_p – модуль попередньої обробки;

M_d – модуль детекції;

M_t – модуль відстеження;

M_f – модуль фільтрації;

M_o – модуль оцінювання та візуалізації результатів.

Кожен модуль отримує на вхід дані з попереднього етапу та передає результати наступному, утворюючи цілісний конвеєр обробки.

На рівні обміну інформацією між модулями формалізацію потоку даних можна записати як функціональну залежність:

$$D_{i+1} = F_i(D_i, P_i),$$

де D_i – дані на вході i -го модуля;

$F_i(\cdot)$ – функція перетворення (наприклад, фільтрація, нормалізація, сегментація);

P_i – набір параметрів, що визначає поведінку модуля (пороги, коефіцієнти масштабування, часові константи тощо).

Така структура дозволяє реалізувати адаптивну архітектуру, коли кожен модуль може змінювати свої параметри залежно від зовнішніх умов.

Загальна логіка функціонування системи описується наступною послідовністю операцій:

1) Отримання відеопотоку з камери у вигляді послідовності кадрів $\{I_t\}$, де t – індекс часу.

2) Попередня обробка кадрів включає нормалізацію освітлення, усунення шумів і стабілізацію зображення. Наприклад, нормалізація яскравості представлена як:

$$I'_t(x, y) = \frac{I_t(x, y) - \mu_t}{\sigma_t},$$

де μ_t і σ_t – середнє значення та стандартне відхилення яскравості в кадрі.

3) Детекція об'єктів (людей) виконується за допомогою попередньо навченої моделі f_d , яка для кожного кадру формує множину областей:

$$B_t = f_d(I'_t),$$

де $B_t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ – набір прямокутних рамок із координатами виявлених людей.

4) Відстеження руху здійснюється через асоціацію об'єктів між кадрами за допомогою функції:

$$T_t = f_t(B_t, B_{t-1}),$$

де T_t – множина траєкторій, побудованих для кожного об'єкта.

5) Підрахунок кількості людей базується на фільтрації траєкторій, щоб уникнути повторного обліку. Кількість людей у зоні інтересу визначається як:

$$N_t = \sum_{i=1}^{|T_t|} \delta_i,$$

де $\delta_i = 1$, якщо траєкторія об'єкта перетнула межу підрахунку, і 0 – інакше.

Структурна взаємодія між модулями системи представлена як граф інформаційного потоку:

$$M_c \rightarrow M_p \rightarrow M_d \rightarrow M_t \rightarrow M_f \rightarrow M_o.$$

Така послідовність забезпечує послідовну передачу та узгодження даних, що підвищує надійність оцінювання кількості людей навіть у складних умовах.

Для забезпечення адаптивності система має механізм самооновлення параметрів. Наприклад, зміна коефіцієнтів фільтрації при зміні освітлення виконується за правилом:

$$\alpha_{t+1} = \alpha_t + k(L_t - L_{ref}),$$

де L_t – поточний рівень освітлення сцени;

L_{ref} – еталонне значення;

k – коефіцієнт чутливості.

Це дозволяє зберігати стабільність роботи системи навіть при різких змінах освітленості або частковому затемненні сцени.

Коли система функціонує в умовах динамічного середовища (зміщення камери, збільшення щільності натовпу, варіації ракурсу), її архітектура має реалізовувати механізм зворотного зв'язку. Нехай Q_t позначає якість детекції (наприклад, частку правильно виявлених об'єктів), тоді система адаптації коригує параметри детектора за правилом:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \eta(Q_{ref} - Q_t),$$

де η – швидкість навчання;

Q_{ref} – бажаний рівень якості.

Такий підхід дозволяє підтримувати стабільність точності оцінки навіть за наявності шумів або спотворень.

Запропонована модель функціонування системи є комплексом взаємопов'язаних модулів, що забезпечують послідовну обробку відеопотоку від захоплення кадрів до формування результатів оцінювання. Вона враховує адаптацію до змінних зовнішніх умов, що особливо важливо для використання в реальних громадських місцях із високою динамікою середовища. Математична формалізація потоків даних та механізмів адаптації створює підґрунтя для ефективної реалізації системи у програмному середовищі на базі мікроконтролерів або вбудованих платформ.

2.7. Висновки до розділу 2

У другому розділі розроблено теоретичні основи побудови системи оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору. Проведено систематизацію основних підходів до побудови архітектури таких систем, визначено ключові етапи обробки відеопотоку – попередню фільтрацію, виявлення, класифікацію, відстеження та підрахунок об'єктів.

Досліджено та порівняно відомі методи детекції людей, а також сучасні нейронні мережі. На основі цього аналізу розроблено власний метод оцінювання кількості людей, який поєднує адаптивну попередню обробку кадрів, детекцію за допомогою оптимізованої моделі глибокого навчання та алгоритм фільтрації помилкових спрацьовувань.

Сформульовано математичну модель процесу визначення кількості людей, що описує залежність кількості виявлених об'єктів від параметрів сцени, освітлення та щільності натовпу. Розроблений метод забезпечує стійкість до шумів і динамічних змін сцени, дозволяючи проводити підрахунок людей у реальному часі з підвищеною ефективністю та точністю.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ

3.1. Апаратна реалізація системи оцінювання кількості людей у громадських місцях

Структура запропонованої системи оцінювання кількості людей у громадських місцях (рис. 3.1) побудована на принципі модульної організації, що забезпечує її гнучкість та масштабованість.

Основними компонентами системи є модуль захоплення відеоданих, блок попередньої обробки зображень, модуль детекції об'єктів, модуль відстеження та підрахунку, блок фільтрації та оптимізації результатів, а також комунікаційний та інтерфейсний модулі. Взаємодія між ними відбувається послідовно, утворюючи цілісний конвеєр обробки відеопотоку в реальному часі.

Перший етап функціонування системи реалізується модулем захоплення відеоданих, який використовує камеру, під'єднану до мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Цей модуль відповідає за формування відеопотоку у форматі, придатному для подальшої обробки. Важливо, щоб камера мала достатню роздільну здатність і частоту кадрів, оскільки від цього залежить якість виявлення об'єктів.

Отримане зображення надходить до модуля попередньої обробки, де здійснюється фільтрація шумів, нормалізація яскравості, компенсація освітлення та стабілізація зображення у разі руху камери. На цьому етапі використовуються алгоритми згладжування Гауса, гістограмного вирівнювання та перетворення кольорових просторів. Результатом є очищений кадр, який максимально зберігає контрастність і деталі для подальшого аналізу.

Далі кадри передаються до модуля детекції, який реалізує алгоритми комп'ютерного зору для виявлення людей у сцені. У системі застосовується модель

глибокої нейронної мережі, попередньо навчена на відкритих наборах даних. Цей модуль генерує набір детекційних рамок із координатами, які визначають положення кожної виявленої людини на кадрі.

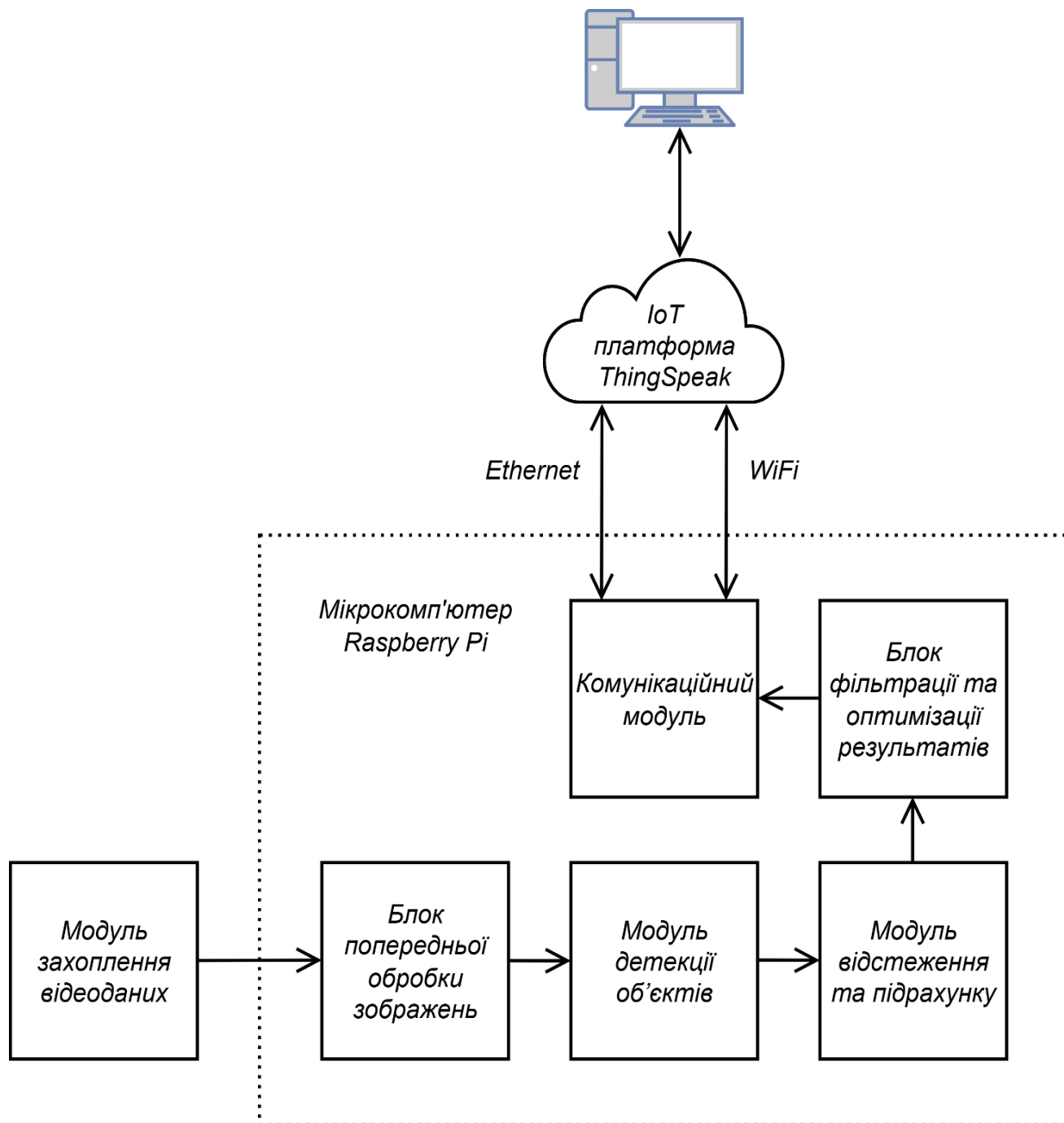


Рис. 3.1. Структура системи оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору

Виявлені об'єкти далі обробляються модулем відстеження, який забезпечує асоціацію детекцій між кадрами для уникнення повторного підрахунку одних і тих самих людей. Для цього застосовуються алгоритми відстеження, що поєднують просторові координати та візуальні ознаки об'єктів. На основі траєкторій руху визначається кількість людей, які входять або виходять із контрольованої зони.

Модуль фільтрації та оптимізації виконує згладжування результатів підрахунку, усуває короточасні помилки детекції, викликані перекриттями або змінами освітлення. Для підвищення стабільності результатів можуть застосовуватись фільтри Калмана або алгоритми ковзного середнього. У випадку різкого зменшення точності система може автоматично змінювати параметри детектора або частоту оновлення кадрів.

Отримані результати надходять до комунікаційного модуля, який забезпечує передавання даних до хмарної платформи або локального інтерфейсу моніторингу. Залежно від конфігурації системи, передача може здійснюватися через Wi-Fi або Ethernet.

Фінальним елементом є інтерфейсний модуль, який візуалізує результати підрахунку у вигляді графіків або відеопотоку з накладеними індикаторами. Користувач може переглядати поточну кількість людей, їхні траєкторії руху та аналітичні показники у реальному часі.

Загалом, структура системи реалізує замкнений цикл обробки – від отримання відеоданих до формування аналітичних результатів, із можливістю адаптації до змін зовнішніх умов. Така архітектура забезпечує надійну роботу системи у відкритому просторі, зокрема на площах, у парках або транспортних вузлах.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi є компактним одноплатним комп'ютером, призначеним для роботи в системах автоматизації, робототехніки та IoT-рішень (рис. 3.2). Його конструкція забезпечує повноцінну роботу, аналогічну до персонального комп'ютера, але в значно компактнішому та енергоефективному форматі.

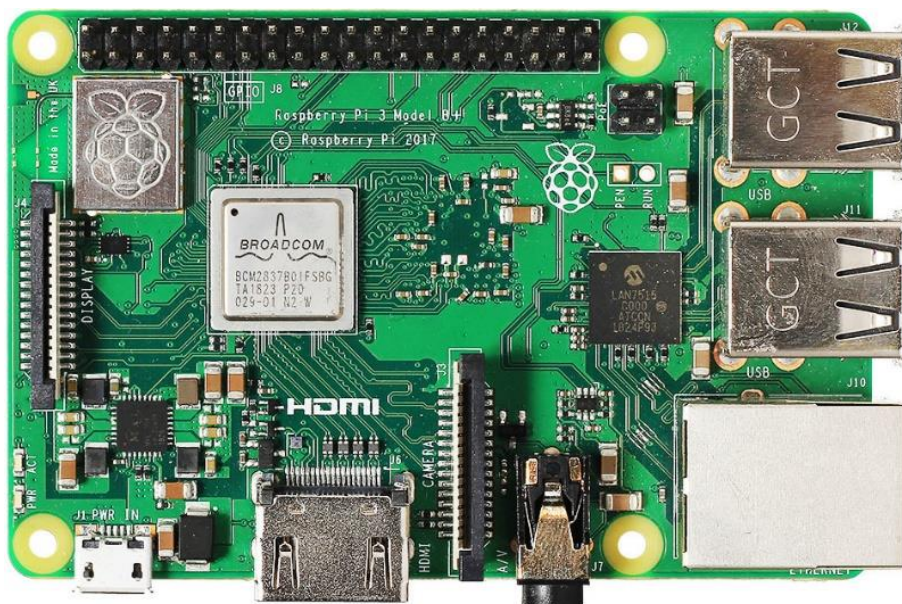


Рис. 3.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 працює на ОС, яка запускається зі microSD-карти та забезпечує доступ до драйверів периферії, бібліотек обробки відео та інструментів програмування. Завдяки підтримці інтерфейсу CSI мікрокомп'ютер може безпосередньо працювати з офіційним модулем камери Raspberry Pi Camera, що забезпечує високу швидкість передавання відеопотоку та мінімальну затримку. Усі компоненти системи – процесор, пам'ять, мережеві модулі – працюють у тісній взаємодії, формуючи виконавче середовище для алгоритмів комп'ютерного зору, включно з Python-бібліотеками OpenCV та TensorFlow Lite.

Технічні характеристики Raspberry Pi 3 роблять його придатним для обробки відео у реальному часі, що є критично важливим для задач оцінювання кількості людей. Процесор з архітектурою ARMv8 забезпечує достатню продуктивність для виконання алгоритмів детекції та трекінгу об'єктів. Наявність вбудованого Wi-Fi та Ethernet дозволяє передавати результати обчислень на хмарні платформи IoT, забезпечуючи оперативність і надійність зв'язку. Інтерфейс GPIO відкриває можливість підключення додаткових сенсорів або сигналізаційних компонентів, що підвищує гнучкість системи.

Вибір Raspberry Pi 3 для реалізації системи оцінювання кількості людей у громадських місцях є обґрунтованим завдяки поєднанню достатньої

обчислювальної потужності, доступності та широкої підтримки інструментів комп'ютерного зору. Його можливість роботи з камерою у високій роздільності, підтримка сучасних IoT-протоколів та стабільна ОС дозволяють забезпечити точний аналіз потоку людей, надійну передачу даних та масштабованість розробленої системи. Це робить Raspberry Pi оптимальним вибором для побудови ефективного прототипу та подальшого впровадження у реальних умовах.

Модуль камери для мікрокомп'ютера Raspberry Pi є спеціалізованим оптичним пристроєм, призначеним для зйомки фото- та відеоматеріалів із високою якістю та мінімальною затримкою (рис. 3.3). Його конструкція включає компактну друковану плату, на якій розміщений CMOS-сенсор, мікролінзи, інтерфейсний роз'єм CSI (Camera Serial Interface) та необхідні електронні компоненти для узгодження сигналів. Камера підключається до Raspberry Pi через шлейф, що забезпечує високошвидкісну передачу даних напряму до процесора, міняючи повільні інтерфейси USB. Завдяки цьому зменшується затримка відеопотоку, що є критичним фактором у системах реального часу.



Рис. 3.3. Камера для Raspberry Pi

Принцип роботи камери ґрунтується на перетворенні світлових променів у електричні сигнали матрицею сенсора. Кожен піксель реєструє інтенсивність

світла, після чого дані передаються до процесора Raspberry Pi, де виконуються операції демозаїки, фільтрації шумів, стабілізації та подальшої комп'ютерної обробки. Камери найчастіше використовують сенсор Sony IMX219, який забезпечує високу світлочутливість та точність передачі кольорів. Завдяки апаратній підтримці формату H.264 стає можливим апаратне кодування відео без суттєвого навантаження на процесор.

Технічні характеристики модуля камери включають роздільну здатність 8 Мп, можливість зйомки фото у форматі до 3280×2464 пікселів та запис відео у режимах 1080p30, 720p60 або 640×480. Невеликі габарити, низьке енергоспоживання та легка інтеграція з операційною системою Raspberry Pi OS роблять камеру універсальним інструментом для систем комп'ютерного зору. Підтримка бібліотеки libcamera та сумісність із Python дозволяє ефективно застосовувати алгоритми детекції людей, маскування фону, сегментації та трекінгу.

Вибір модуля камери Raspberry Pi для реалізації системи оцінювання кількості людей є повністю обґрунтованим. Завдяки високій якості зображення та швидкості передавання кадрів система може працювати в реальному часі, забезпечуючи точність детекції навіть у випадках високої динаміки сцени. Камера має достатню світлочутливість для роботи як у добре освітлених приміщеннях, так і при змінних умовах освітлення – що критично для моніторингу громадських місць. Крім того, тісна інтеграція із Raspberry Pi спрощує апаратно-програмну частину, забезпечує стабільність роботи та відкриває можливість масштабування системи під різні сценарії розгортання. У сукупності це робить модуль камери оптимальним вибором для побудови ефективної системи комп'ютерного бачення, орієнтованої на оцінювання кількості людей.

На рис. 3.4 зображено схему з'єднань розробленої системи оцінювання кількості людей у громадських місцях, яка складається з обчислювального модуля Raspberry Pi 3, модуля камери Raspberry Pi Camera Module, інтерфейсних елементів живлення та мережевих компонентів. Центральним елементом схеми є плата Raspberry Pi, що виконує функції обробки відеопотоку, детекції людей за

допомогою алгоритмів комп'ютерного зору та передачі результатів на IoT платформу ThingSpeak. Живлення Raspberry Pi здійснюється від стабілізованого блока живлення з вихідною напругою 5 В та струмом не менше 2 А, що забезпечує стабільну роботу процесора, інтерфейсних контролерів та підключених периферійних модулів.

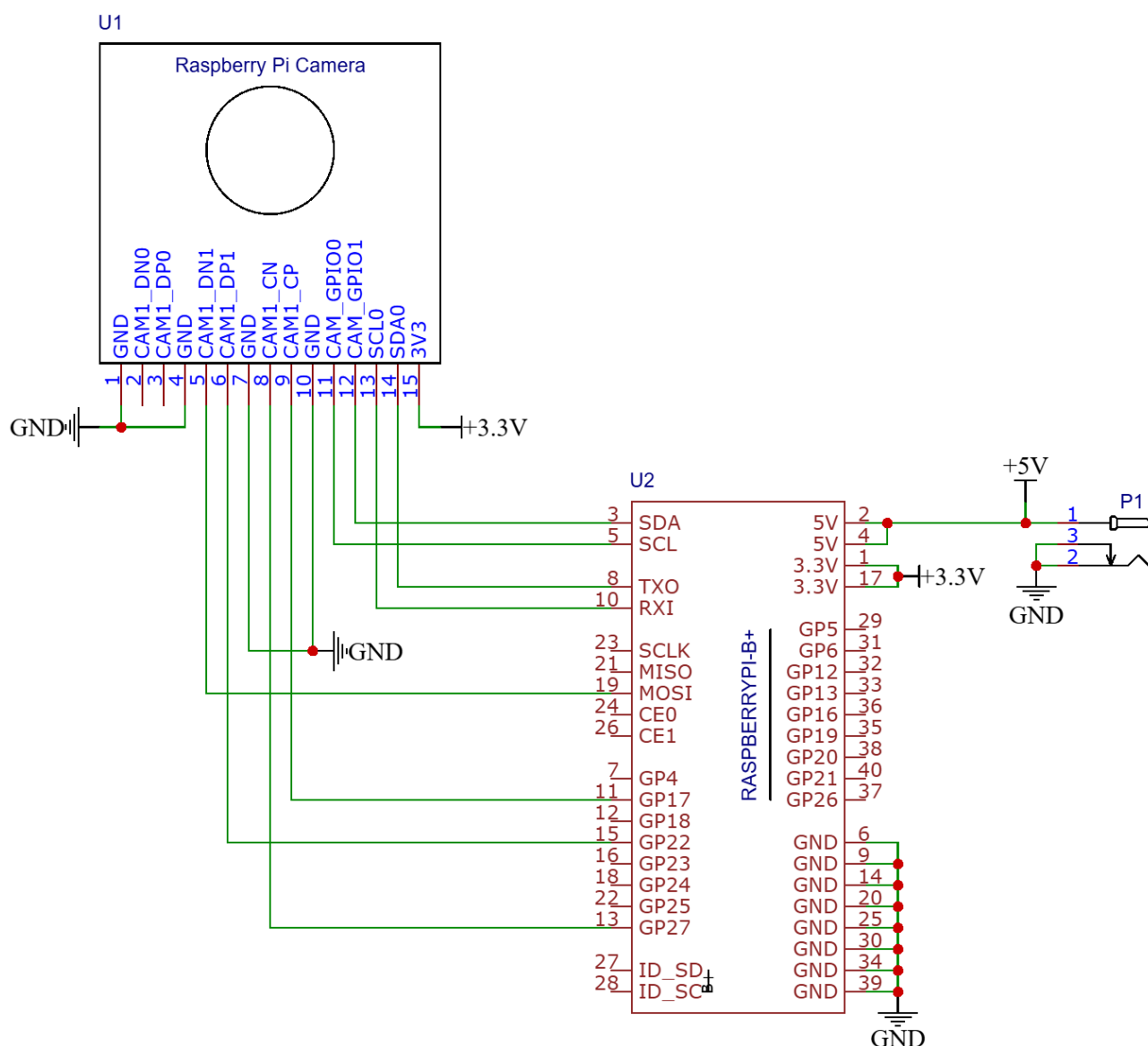


Рис. 3.4. Схема з'єднань пристрою для оцінювання кількості людей у громадських місцях

До роз'єму CSI на платі Raspberry Pi підключено модуль камери, який передає відеодані у реальному часі. Передавання здійснюється через високошвидкісний шлейф. Камера орієнтована на контрольовану зону та

забезпечує зйомку в умовах зміненого освітлення завдяки автоматичній корекції експозиції та балансу білого.

Представлена схема демонструє взаємодію апаратних компонентів системи, забезпечує узгодженість роботи всіх модулів та дозволяє реалізувати алгоритми КЗ для оцінювання кількості людей у реальному часі з подальшою передачею аналітичних даних на IoT платформу.

3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи

Алгоритм роботи програми, реалізованої на мікрокомп'ютері Raspberry Pi (рис. 3.5), починається зі ініціалізації компонентів. Після запуску операційної системи виконується завантаження необхідних бібліотек для роботи з камерою, обробки зображень та передачі даних на IoT платформу ThingSpeak. Далі програма перевіряє підключення модуля камери та доступність мережевого з'єднання. У разі виявлення проблем формується відповідне повідомлення в журналі системи, що дозволяє спростити діагностику. Після успішної ініціалізації виконується налаштування параметрів камери, таких як роздільна здатність і частота кадрів.

Основний цикл роботи системи полягає у безперервному отриманні кадрів з камери та їх обробці методом комп'ютерного зору. Кожен кадр попередньо перетворюється в однорідний формат, коригується за яскравістю та контрастом, що дозволяє покращити якість подальшої детекції. На підготовлене зображення накладається алгоритм виявлення людей. Алгоритм аналізує сцену та визначає наявність і кількість людей, формуючи координати об'єктів на кадрі.

Після детекції здійснюється фільтрація результатів для усунення помилкових спрацьовувань, зокрема відбитків, тіней або рухомих об'єктів не людського типу. Для цього використовуються фільтри, які аналізують динаміку появи об'єктів у кількох послідовних кадрах. Обчислена кількість людей зберігається у змінній системи та додатково може відображатися на локальному моніторі.

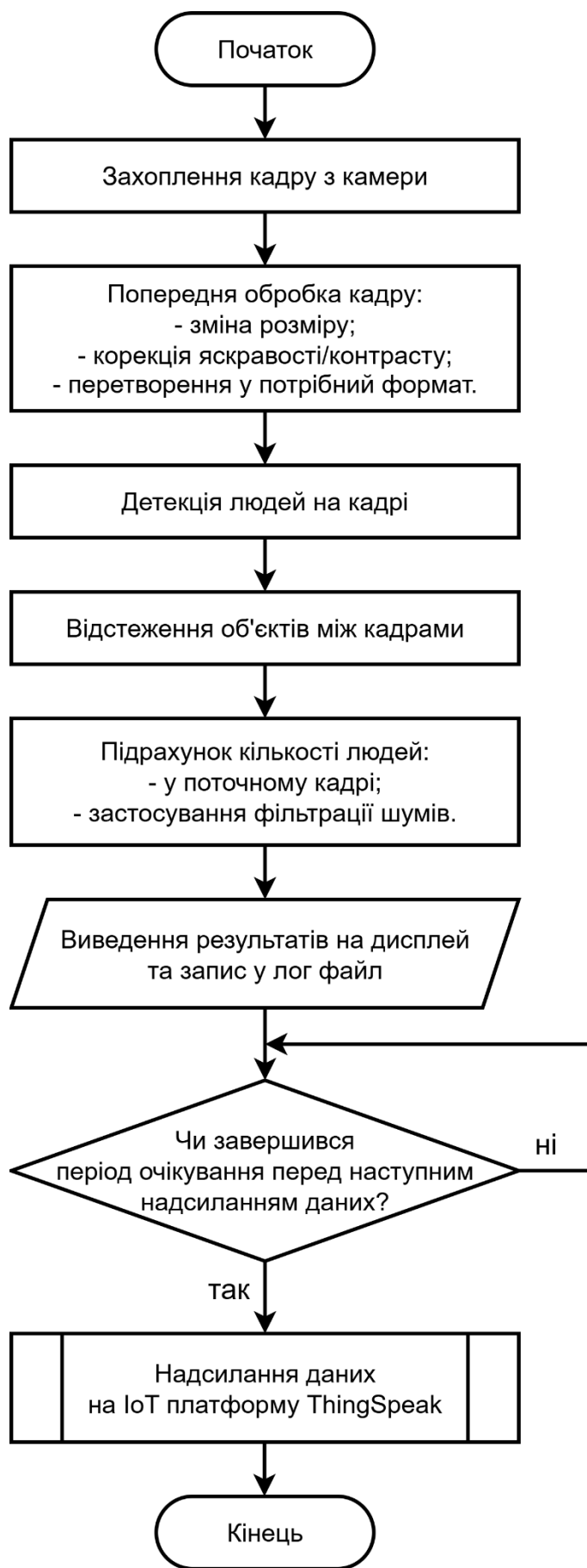


Рис. 3.5. Блок-схема алгоритму головного циклу програми для Raspberry Pi

На наступному етапі результати передаються на IoT платформу ThingSpeak. Програма формує HTTP-запит або використовує API-модуль для надсилання числових значень на відповідний канал. Передавання здійснюється періодично з інтервалом, визначеним у налаштуваннях, щоб зменшити навантаження на мережу та сервер. Такий алгоритм забезпечує безперервну роботу системи оцінювання кількості людей у реальному часі.

У початковій частині програми (рис. 3.6) здійснюється підключення необхідних бібліотек: OpenCV для роботи з відеопотоком, NumPy для математичних операцій, torch для завантаження моделі YOLOv5, а також модулів для роботи з мережею, логуванням та потоками. Тут же визначаються глобальні параметри системи – роздільна здатність кадру, частота обробки, пороги детекції та інтервали надсилання даних на платформу ThingSpeak.

```
import cv2
import time
import threading
import numpy as np
import requests
import logging
from collections import deque, OrderedDict
from datetime import datetime
# Залежності: torch, torchvision, (ultralytics yolov5)
import torch
```

Рис. 3.6. Імпорт бібліотек та модулів

У наступному фрагменті реалізовано дві ключові допоміжні структури – класи Track та CentroidTracker, що відповідають за збереження інформації про окремий трек та за алгоритм зіставлення детекцій між кадрами відповідно. Клас Track (рис. 3.7) накопичує центроїди та межі рамок об'єкта, а також відстежує його зникнення. Клас CentroidTracker реалізує логіку призначення детекцій на основі мінімальної евклідової відстані, створення нових треків та видалення застарілих. Саме цей компонент забезпечує плавний та коректний підрахунок у реальному часі.

```

class Track:
    """Зберігає інформацію по одному треку."""
    def __init__(self, track_id, centroid, bbox, start_frame):
        self.id = track_id
        self.centroids = deque([centroid], maxlen=1000)
        self.bboxes = deque([bbox], maxlen=1000)
        self.start_frame = start_frame
        self.last_frame = start_frame
        self.disappeared = 0
        self.counted = False # якщо потрібно рахувати проходження через лінію
    def update(self, centroid, bbox, frame_idx):
        self.centroids.append(centroid)
        self.bboxes.append(bbox)
        self.last_frame = frame_idx
        self.disappeared = 0
    def mark_disappeared(self):
        self.disappeared += 1
    def length(self):
        return len(self.centroids)

```

Рис. 3.7. Клас Track

Далі подано реалізацію класу YOLOv5Detector (рис. 3.8), який завантажує модель YOLOv5 через torch.hub та виконує функцію детекції на одному кадрі.

```

class YOLOv5Detector:
    """Обгортка детектора на базі yolov5 (torch.hub або ultralytics)."""
    def __init__(self, device='cpu', model_name='yolov5s', classes=[0]):
        """
        classes: list of class indices (COCO) - 0 is 'person'
        """
        logging.info("Loading YOLO model...")
        self.device = device
        # Використовуємо torch.hub для yolov5 (ultralytics). Якщо у вас локальна модель
        self.model = torch.hub.load('ultralytics/yolov5', model_name, pretrained=True)
        self.model.to(self.device)
        self.model.eval()
        self.classes = classes
        # встановимо роздільну здатність inference
        self.model.conf = CONF_THRESH
        logging.info("YOLO model loaded.")

```

Рис. 3.8. Клас YOLOv5Detector

Окремим логічним блоком (рис. 3.9) представлено функцію send_to_thingspeak(), яка здійснює відправку даних – поточної кількості людей та загального унікального підрахунку – на хмарну платформу ThingSpeak. Функція

використовує протокол HTTP POST, перевіряє статус відповіді сервера та веде журнал подій для діагностики можливих помилок.

```
def send_to_thingspeak(api_key, field1_value, field2_value=None):
    """
    Надсилає значення в ThingSpeak (одне поле або два).
    Повертає True якщо успішно.
    """
    payload = {'api_key': api_key, 'field1': field1_value}
    if field2_value is not None:
        payload['field2'] = field2_value
    try:
        r = requests.post(THINGSPEAK_URL, data=payload, timeout=10)
        if r.status_code == 200 and r.text.strip() != '0':
            logging.debug(f"ThingSpeak update success: {r.text.strip()}")
            return True
        else:
            logging.warning(f"ThingSpeak update failed: {r.status_code} {r.text.strip()}")
            return False
    except Exception as e:
        logging.exception("ThingSpeak request failed")
        return False
```

Рис. 3.9. Функція send_to_thingspeak()

Основна частина програми зосереджена в класі PeopleCountingSystem, який відповідає за ініціалізацію детектора, відкриття відеопотоку, обробку кожного кадру та координацію всіх компонентів. Метод process() (рис. 3.10) є фактичним циклом роботи системи. У ньому виконується захоплення кадру, його попередня обробка (згладжування, корекція), періодичний виклик детектора та оновлення трекера. На основі стану треків обчислюється поточна кількість активних об'єктів та оновлюється множина унікальних ідентифікаторів, що використовується для загального підрахунку.

```

def process(self):
    try:
        self.open_camera()
        self.init_detector()
    except Exception as e:
        logging.exception("Initialization error")
        return

    last_time = time.time()
    detect_counter = 0

    while self.running:
        ret, frame = self.vs.read()
        if not ret:
            logging.warning("Frame read failed, retrying...")
            time.sleep(0.5)
            continue

        self.frame_idx += 1
        frame_proc = self.preprocess(frame)

        detections = []
        # Виконуємо детекцію не на кожному кадрі, а з інтервалом DETECT_INTERVAL
        if detect_counter % DETECT_INTERVAL == 0:
            try:
                detections = self.detector.detect(frame_proc)
            except Exception as e:
                logging.exception("Detection error")
                detections = []
        detect_counter += 1

```

Рис. 3.10. Фрагмент коду методу process()

У завершальній частині (рис. 3.11) реалізовано графічну візуалізацію роботи системи: на кадрі відображається рамка навколо людини, підпис з ID, а також текстові індикатори активної та загальної кількості. Передбачено механізм завершення роботи за натисненням клавіші q. Після зупинки системи виконується коректне звільнення ресурсів – закриття відеопотоку та вікон OpenCV.

```

# Візуалізація (прямо на кадрі)
for tid, tr in tracks.items():
    bbox = tr.bboxes[-1]
    x1,y1,x2,y2 = bbox
    cv2.rectangle(frame, (x1,y1), (x2,y2), (0,255,0), 2)
    cv2.putText(frame, f"ID {tid}", (x1, y1-6), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0,255,0), 2)

cv2.putText(frame, f"Active: {self.current_count}", (10,20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (0,255,0), 2)
cv2.putText(frame, f"Unique total: {self.total_count}", (10,50), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (0,255,0), 2)

# Показувати або зберігати кадри
if ENABLE_DISPLAY:
    cv2.imshow("People Counting", frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        logging.info("Quit requested by user.")
        self.running = False
        break

```

Рис. 3.11. Фрагмент коду для графічної візуалізації роботи системи

Фінальний блок програми (рис. 3.12) містить функцію `main()`, яка створює об'єкт системи та викликає головний цикл обробки. Передбачено обробку винятків та коректне завершення роботи у разі натискання `Ctrl+C` або виникнення помилки.

```

def main():
    system = PeopleCountingSystem(camera_index=CAMERA_INDEX)
    try:
        system.process()
    except KeyboardInterrupt:
        logging.info("Interrupted by user.")
        system.running = False
    except Exception as e:
        logging.exception("Fatal error in main")
    finally:
        try:
            system.close_camera()
        except:
            pass
        logging.info("Exit.")

```

Рис. 3.12. Лістинг коду функції `main()`

Розроблена програма реалізує повний конвеєр детекції, трекінгу, підрахунку та передавання даних, забезпечуючи стабільну роботу на Raspberry Pi в реальному часі.

3.3. Реалізація передачі та зберігання результатів оцінювання кількості людей

Платформа ThingSpeak є хмарним сервісом для збирання, обробки, зберігання та візуалізації даних із пристроїв Інтернету речей. Вона забезпечує можливість прийому даних з мікроконтролерів, одноплатних комп'ютерів та сенсорних систем у реальному часі, використовуючи стандартні протоколи передачі, такі як HTTP або MQTT. Основою роботи платформи є канали (channels), кожен з яких містить поля для зберігання даних, візуалізації у вигляді графіків, а також можливість налаштування тригерів або логічних подій. Таким чином, ThingSpeak виступає проміжною ланкою між системою збору інформації та користувачем або іншими аналітичними інструментами.

Однією з ключових переваг ThingSpeak є підтримка інтеграції з MATLAB, що дозволяє виконувати математичну обробку даних, фільтрацію, прогнозування або класифікацію без необхідності розгортання власної аналітичної інфраструктури. Це особливо важливо під час аналізу потоків даних, що надходять від системи підрахунку людей, де можуть бути потрібні згладжування, усунення шумів, компенсація перекриттів або побудова аналітичних моделей для оцінки динаміки пішохідних потоків. Крім того, ThingSpeak дозволяє автоматизувати процеси реагування, наприклад, надсилання сповіщень при перевищенні граничної кількості людей у зоні спостереження.

Важливим фактором є простота використання та відсутність потреби у власному серверному обладнанні. Платформа надає інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс, а також готові бібліотеки для таких пристроїв, як Raspberry Pi, що значно полегшує інтеграцію. Передача даних може здійснюватися з високою частотою та мінімальними затримками, що робить ThingSpeak придатним для систем, що працюють у реальному часі.

Вибір ThingSpeak для реалізації системи оцінювання кількості людей у громадських місцях є обґрунтованим, оскільки платформа забезпечує стабільність передавання даних, зручність їх візуалізації, можливість подальшого аналітичного опрацювання та масштабованість без додаткових витрат на інфраструктуру.

(рис. 3.13). Це дозволяє отримувати оперативну інформацію про стан пішохідного потоку та приймати керуючі або організаційні рішення на основі актуальних даних.



Рис. 3.13. Взаємодія компонентів системи з ThingSpeak

Процес налаштування IoT платформи ThingSpeak для відображення результатів оцінювання кількості людей у громадських місцях починається зі створення облікового запису на офіційному веб-сайті сервісу. Після авторизації в розділі керування каналами був створений новий канал, який буде використовуватися для приймання та зберігання даних. У межах каналу визначені поля, де кожне з них може відповідати певному параметру системи, таких як: кількість людей та час виявлення. Кожне поле отримує назву та опис, що забезпечує зручність подальшої інтерпретації даних під час візуалізації.

Рис. 3.14. Процес створення нового каналу в IoT платформі ThingSpeak

Наступним кроком було налаштування параметрів доступу та безпеки. ThingSpeak надає два ключі: Write API Key для надсилання даних на сервер та Read API Key для їхнього читання або використання в інших додатках. Ці ключі було вбудовано у програмний код на Raspberry Pi, що реалізовує методи комп'ютерного зору і формує результат підрахунку. Передача даних здійснюється через HTTP-запити або MQTT-протокол, що дозволяє забезпечити стабільну комунікацію навіть за обмеженої пропускної здатності мережі.

Після налаштування передачі даних у каналі ThingSpeak налаштовані інструменти для візуалізації значень. Крім того для детального аналізу можуть бути застосовані вбудовані MATLAB-скрипти. Вони дозволяють виконувати згладжування часових рядів, фільтрацію шумів, виявлення різких змін інтенсивності потоків людей або прогнозування тенденцій. За потреби можна налаштувати тригери у розділі React, які можуть надсилати сповіщення або запускати зовнішні сценарії, наприклад, повідомлення адміністраторам при перевищенні допустимої кількості людей у зоні спостереження.

Отже, в даній системі ThingSpeak виступає централізованим вузлом візуалізації та аналізу інформації, забезпечуючи оперативний доступ до результатів оцінювання кількості людей у громадських місцях та підтримуючи прийняття своєчасних управлінських рішень.

3.4. Тестування розробленої системи

Процес тестування прототипу системи оцінювання кількості людей у громадських місцях відбувався у кілька етапів і був спрямований на перевірку працездатності алгоритмів, стабільності роботи апаратної частини та точності визначення кількості людей у різних умовах (рис. 3.15). На першому етапі тестування виконувалося в контрольованих умовах у приміщенні, де кількість людей та їх розташування були заздалегідь відомі. Камера Raspberry Pi встановлювалася на фіксованій висоті та куті, а учасники експерименту рухалися з різною інтенсивністю та швидкістю. Це дозволило перевірити базову точність

алгоритму детекції та здатність системи коректно розпізнавати людей у кадрі без значних перешкод. Результати показали, що система коректно визначає об'єкти з точністю до 90 % у статичному середовищі.

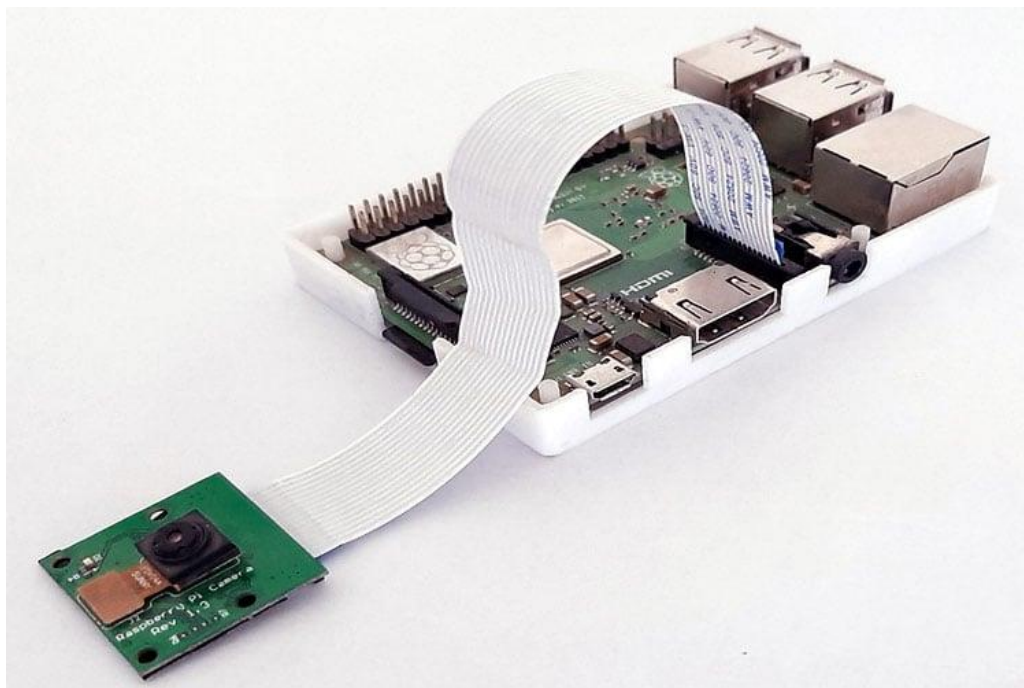


Рис. 3.15. Прототип пристрою оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору

Другий етап передбачав тестування в умовах змінного освітлення. Камера встановлювалася в коридорі та на вулиці, де рівень освітлення змінювався протягом дня. Для компенсації різниці яскравості були скориговані параметри попередньої обробки зображень. У цих умовах точність дещо знижувалася, особливо при прямому сонячному світлі або суттєвих тінях, що призводило до появи хибних детекцій. Для зменшення похибки була активована фільтрація за стабільністю появи об'єкта у кількох послідовних кадрах, що дозволило підвищити точність до 85–88 % на відкритому просторі.

На третьому етапі прототип було протестовано в умовах середньої та високої щільності натовпу – на вході до торгового центру та біля громадської зупинки. У таких ситуаціях система зіткнулася з проблемою перекривання людей один одним. Використання алгоритмів відстеження та побудова траєкторій руху дозволили

мінімізувати повторний підрахунок, однак точність у щільному потоці становила близько 75–82 %, що узгоджується з типовими результатами аналогічних систем у наукових публікаціях.

Оцінка передачі даних на платформу ThingSpeak показала стабільність роботи: значення оновлювалися з інтервалом 15–30 секунд, а відображення графічної статистики дозволило оперативно аналізувати динаміку кількості людей у зоні моніторингу (рис. 3.17).

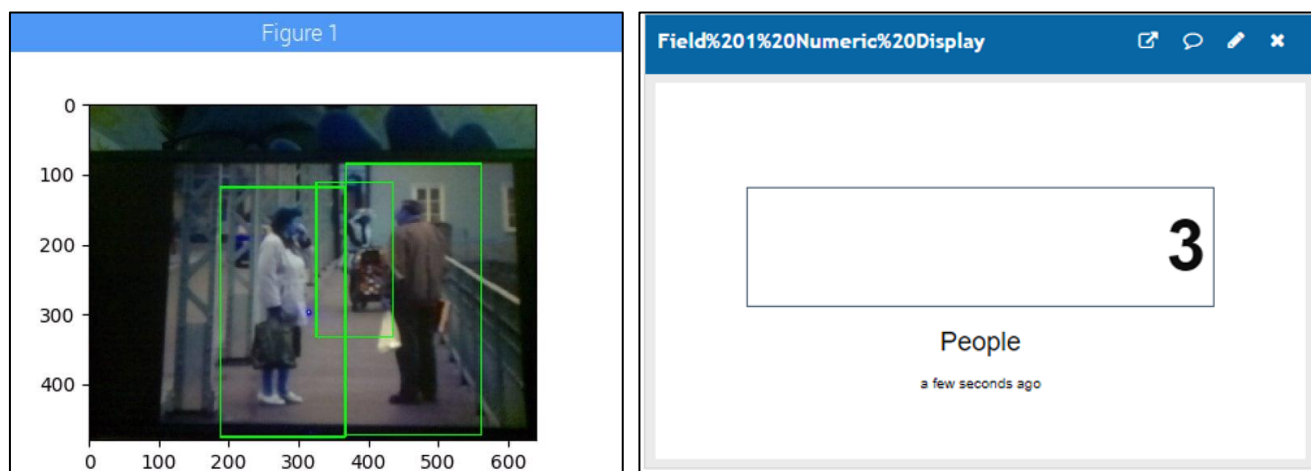


Рис. 3.16. Результати оцінювання кількості людей у громадських місцях з відображенням на платформі ThingSpeak

Загалом результати тестування підтвердили працездатність запропонованого методу та можливість його використання у реальних умовах.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі здійснено реалізацію системи оцінювання кількості людей у громадських місцях із використанням технології комп'ютерного зору. На основі проведеного теоретичного аналізу реалізовано програмно-апаратну платформу на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi з підключеним модулем камери, що забезпечує отримання та обробку відеопотоку.

Створено програму, яка реалізує етапи попередньої обробки зображення, детекції об'єктів за допомогою алгоритму YOLOv5, відстеження їх траєкторій і підрахунку кількості осіб на кадрі. Забезпечено інтеграцію системи з IoT-платформою ThingSpeak для збереження, візуалізації та аналізу даних підрахунку у віддаленому режимі.

Проведено налаштування середовища, оптимізацію параметрів роботи програми та тестування системи в умовах різного освітлення і динаміки сцени. Результати експериментів підтвердили працездатність і ефективність запропонованого рішення: система стабільно розпізнає об'єкти навіть при часткових перекриттях і зміні ракурсу. Отримані результати довели відповідність реалізованої системи вимогам до точності, швидкодії та надійності.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Робота з комп'ютером чи комп'ютерними системами не передбачає зазвичай якого надмірного впливу на здоров'я, оскільки немає шкідливих речовин. Проте є різні фактори ризику, які можуть становити небезпеку для здоров'я та зашкодити правильному функціонуванню деяких органів тіла. Мається на увазі небезпека для зору при тривалій роботі за комп'ютером чи спини. Є також ризики для здоров'я пов'язані із проблемою надмірної ваги, яка з'являється як наслідок сидячої роботи та малорухомості.

Оскільки в даній роботі розроблено програмно-апаратну систему оцінювання кількості людей у громадських місцях, що може становити небезпеку для здоров'я, то загалом потрібно лише дотримуватися правил безпеки при роботі із комп'ютерами. Вони регулюються законодавчими та нормативно-правовими актами, які, зокрема, визначають обов'язки роботодавця щодо забезпечення працівникам комфортних та безпечних умов для виконання поставлених задач. Ці обов'язки, а також права працівників щодо умов праці передбачені частиною 2 ст.2 і частиною 1 ст.21 КЗпП, а також ст.13 Закону України «Про охорону праці», у яких прописані основні положення з реалізації конституційного права працівників [29].

Законодавчі та нормативно-правові акти встановлюють єдиний порядок організації охорони праці в Україні, а також і відносини між роботодавцем та працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. На їх основі розроблені такі документи як правила, інструкції, норми, державні санітарні правила та ін., якими мають керуватись роботодавці та які регламентують вимоги щодо конструкції електронно-обчислювальної техніки та особливості її розміщення.

На сьогодні основними документами, які регламентують питання охорони праці при використанні працівниками персональних комп'ютерів, є такі підзаконні акти:

- НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»;
- ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення»;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

У відповідності з цими документами, необхідно вжити всіх необхідних заходів з охорони праці та розробити відповідні документи. Приміщення, в яких виконується робота за комп'ютером, повинні відповідати проектній документації будинку, яка погоджена з уповноваженими державними органами. Крім того, мають бути дотримані санітарні нормативи освітлення, вимоги до параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість), ступеня і сили вібрації, звукового шуму і вогнестійкості приміщення, а також характеристики електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного полів [30].

Освітлення робочого місця працівника, який виконує роботу з використанням екранних пристроїв має відповідати встановленим вимогам. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 “Природне і штучне освітлення” приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване. Що до штучного освітлення воно поділяється на робоче, аварійне, охоронне і чергове. Мікроклімат приміщень з робочими місцями працівників з екранними пристроями має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42.

Важливим аспектом безпечної роботи з комп'ютерними системами є організація режиму праці та відпочинку. Тривале перебування за екраном без перерви може призвести до зорового стомлення, головного болю та зниження

концентрації уваги. Тому нормативні документи рекомендують впроваджувати регламентовані перерви, під час яких працівники виконують вправи для очей та легку фізичну розминку. Такі заходи сприяють профілактиці професійних захворювань, зменшують ризик розвитку остеохондрозу та інших проблем опорно-рухового апарату, а також підвищують загальну працездатність персоналу. Дотримання цих правил є невід'ємною складовою системи охорони праці та забезпечує збереження здоров'я працівників у сучасних умовах інтенсивного використання комп'ютерних технологій.

Обладнання та організація робочого місця ВДТ ЕОМ повинна відповідати характеру трудової діяльності і задовольняти вимоги ДСТУ 7299:2013 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце оператора. Взаємне розташування елементів робочого місця. Загальні вимоги ергономіки». Дотримання всіх необхідних вимог з охорони праці забезпечує комфортні умови при виконанні поставлених задач під час та відсутність шкоди для здоров'я, що сприяє підвищенню продуктивності праці. При розробці системи оцінювання кількості людей у громадських місцях враховані всі вимоги охорони праці та техніки безпеки [30].

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Захист працівників від впливу іонізуючого випромінювання у разі погіршення радіаційної обстановки. Працівники, які виконують роботи з радіоактивними речовинами, повинні перебувати під постійним медичним наглядом, використовувати засоби індивідуального захисту від радіації та прилади індивідуального дозиметричного контролю (універсальні радіометри) для своєчасного виявлення і вимірювання рівня випромінювання [31].

Захищаючись від зовнішнього іонізуючого опромінювання при роботах із закритими джерелами випромінювання, тобто такими, які виключають можливість потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище, перш за все необхідно не допустити переопромінювання працівників.

Основним способами захисту від цього є:

- зменшення активності джерела, з яким контактують працівники під час конкретного технологічного процесу – досягається шляхом використання речовин із меншою активністю;
- зменшення часу контакту з джерелом випромінювання – досягається шляхом вдосконалення організації робіт і технологічного виробничого процесу та проведення попередніх тренінгів працівників;
- збільшення відстані між людиною і джерелом – використовується, як правило, при контакті з точковим джерелом випромінювання шляхом використання дистанційних універсальних маніпуляторів та інших автоматизованих пристроїв;
- розташування між людиною і джерелом захисного екрану (стаціонарного, пересувного, розбірного, настільного тощо), тобто пристрою, який зменшує інтенсивність випромінювання до безпечного рівня [31].

Для виготовлення екранів, а також для захисту працівників в стаціонарних спорудах, використовується бетон, чавун, сталь, алюміній, скло, свинець та інші матеріали.

Від дії рентгенівських променів застосовують екрани зі сталевого листа товщиною 0,5-1 мм або алюмінію товщиною 3 мм, спеціальної гуми. Оглядові вікна виконують з плексигласу товщиною 30 мм або з покритого оловом скла товщиною 9 мм.

Для захисту шкіри від забруднень радіоактивними речовинами та запобігання їх попаданню всередину організму, захисту від альфа і бета-випромінювання передусім застосовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) від радіації.

Отже, засоби захисту від радіації використовуються у тих випадках, коли інші заходи недостатньо ефективні: при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, при ремонтних та налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення.

З урахуванням зазначеного прогнозу на території області може виникнути складна радіаційна обстановка наслідки якої вимагатимуть від органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, на які покладено виконання завдань щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, оперативного реагування та дій [32].

Місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання здійснюють для забезпечення захисту людей від впливу іонізуючих випромінювань наступні заходи:

- приймають згідно з законодавством України рішення щодо застосування на підвідомчій території заходів втручання у разі радіаційних аварій;
- організовують проведення в установленому порядку щорічні обстеження з метою оцінки стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань та ведення екологічного паспорта підвідомчої території;
- здійснюють організаційне керівництво системою обліку та контролю доз опромінення населення на підвідомчій території;
- організовують контроль за виконанням заходів щодо захисту людини від впливу радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах;
- затверджують відповідні плани щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують постійну готовність засобів оповіщення населення на підвідомчій території про виникнення радіаційної аварії;
- організовують контроль за виконанням заходів щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують населення, в місцях його проживання, інформацією щодо рівнів опромінення людини та заходів захисту від впливу іонізуючих випромінювань, що виконуються на підвідомчій території;
- розробляють та впроваджують програми захисту людей від впливу іонізуючих випромінювання;
- здійснюють оповіщення населення у разі виникнення радіаційної аварії та інформування про рятувальні та профілактичні заходи у зв'язку з цим.

Для виконання вищезазначених заходів залучаються органи управління, сили і засоби обласної територіальної та функціональних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (далі – ЄДС ЦЗ), порядок дій яких визначено Планом реагування на надзвичайні ситуації, пов'язаних з викидом радіоактивних речовин.

Режими захисту робітників і службовців на суб'єктах господарювання вводяться в дію рішенням керівників об'єктів. Незалежно від місця розміщення суб'єкту господарювання (в населеному пункті або за його межами) на його території вводиться в дію свій режим захисту з урахуванням рівнів радіації, вимірюваних на об'єкті, і реального ступеню захисту працівників і службовців.

При виникненні комунальної радіаційної аварії окрім термінових робіт щодо стабілізації радіаційного стану (включаючи відновлення контролю над джерелом) місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання одночасно здійснюють заходи, спрямовані на:

- зведення до мінімуму кількості осіб з населення, які зазнають аварійного опромінення;
- запобігання чи зниження індивідуальних і колективних доз опромінення населення;
- запобігання чи зниження рівнів радіоактивного забруднення продуктів харчування, питної води, сільськогосподарської сировини і сільгоспугідь, об'єктів довкілля (повітря, води, ґрунту, рослин тощо), а також будівель і споруд.

Для населення, робітників та службовців суб'єктів господарювання, які можуть потрапити в зону випадіння радіоактивних опадів, доцільно завчасно, виходячи з конкретних місцевих умов, розрахувати варіанти режимів радіаційного захисту [33].

З урахуванням вищезазначеного, режими радіаційного захисту вводяться в дію місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання з метою захисту людей від впливу іонізуючого випромінювання у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з радіаційними аваріями.

ВИСНОВКИ

Основні висновки та наукові результати дослідження:

За допомогою аналізу наукових джерел встановлено, що проблема оцінювання кількості людей у громадських місцях залишається актуальною у зв'язку з потребою підвищення рівня безпеки, ефективного управління потоками людей, організації евакуації та моніторингу завантаженості об'єктів інфраструктури. Показано, що найбільш перспективними підходами для вирішення цього завдання є методи комп'ютерного зору та глибинного навчання, які забезпечують високу точність і швидкодію систем у реальному часі.

Розглянуто та проаналізовано алгоритми детекції людей на основі методів комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж, а також алгоритми трекінгу об'єктів, що дозволяють забезпечити коректний підрахунок людей за умов часткового перекриття та змін освітлення.

Проведено формалізацію процесу оцінювання кількості людей у відеопотоці та побудовано узагальнену математичну модель, яка враховує просторово-часові характеристики сцени, параметри відеозйомки та динаміку руху людей у кадрі.

Розроблено метод оцінювання кількості людей у громадських місцях, що поєднує детекцію та відстеження об'єктів у відеопотоці з адаптивною фільтрацією результатів для підвищення точності підрахунку в реальних умовах експлуатації.

Здійснено обчислювальний експеримент із використанням відеопотоків із камери, підключеної до мікрокомп'ютера Raspberry Pi, що дозволило перевірити працездатність запропонованих методів та оцінити їх точність і продуктивність.

На основі розроблених методів спроектовано структуру комп'ютерної IoT-системи оцінювання кількості людей, яка включає модуль відеозахоплення, блок обробки даних, засоби мережевої взаємодії та хмарний сервіс зберігання і візуалізації даних.

Проведено розробку програмного забезпечення для реалізації алгоритмів детекції та трекінгу людей, а також оптимізацію параметрів системи з урахуванням обмежених обчислювальних ресурсів мікрокомп'ютера.

Проведено підключення системи до хмарної IoT-платформи ThingSpeak, що забезпечило передавання результатів підрахунку в режимі реального часу, їх збереження та подальший аналіз.

Отримані практичні результати підтвердили можливість застосування розробленої системи для моніторингу кількості людей у громадських місцях та підтримки прийняття управлінських рішень на основі об'єктивних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2024. 45 с.
2. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. 2024. 44 с.
3. Варавін А.В., Лещишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 32 с.
4. Михайлишин Р.С., Приймак М.В. Комп'ютерна система моніторингу потоку людей у громадських місцях на основі IoT-технологій. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 11-12 грудня 2025 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 309.
5. Михайлишин Р., Приймак М. Комп'ютеризована IoT-система контролю кількості людей з використанням хмарних технологій. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 17-18 грудня 2025 року), Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 213.
6. Pronello C., Anbarasan D., Spoturno F., Terzolo G. A low-cost automatic people-counting system at bus stops using Wi-Fi probe requests and deep learning. Public Transport, 2025, 17(1). P. 71-100.
7. Li B., Huang H., Zhang A., Liu P., Liu C. Approaches on crowd counting and density estimation: a review. Pattern Analysis and Applications, 2021, 24(3). P. 853-874.

8. Li R., Liu Y., Li H., Li J., Lu G. Prototype-guided dual-transformer reasoning for video individual counting. In Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Multimedia. 2024. P. 10258-10267.
9. Kumar S., Sharma P., Pal N. Object tracking and counting in a zone using YOLOv4, DeepSORT and TensorFlow. In 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS). 2021. P. 1017-1022.
10. Rathour N., Gehlot Y., Gurung A., Kundu S.S., Kumar V., Pandey P.S. Advanced Security with YOLO Object Detection Using Raspberry Pi. In 2024 International Conference on Emerging Technologies and Innovation for Sustainability (EmergIN). 2024. P. 214-218.
11. Huang K., Tian C., Su J., Lin J.C.W. Transformer-based cross reference network for video salient object detection. Pattern Recognition Letters, 2022, 160. P. 122-127.
12. Wang X., Li T., Liu Y., Yao S., Liu Y., Yang N., Zhu P. A Large-Scale Drone based Thermal Infrared Benchmark and Inception Transformer Network for Crowd Counting. Pattern Recognition, 2025. P. 112778.
13. Kim S., Oh J., Oh Y., Lee I. An End-to-End UAV–Cloud–AI Pipeline for Infrared-Based Real-Time Person Detection in SAR Missions. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2025, 10. P. 95-100.
14. Wang M., Zho X., Chen Y. A comprehensive survey of crowd density estimation and counting. IET Image Processing, 2025, 19(1). 13328.
15. Zhang L., Shi M., Chen Q. Crowd counting via scale-adaptive convolutional neural network. In 2018 IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV). 2018. P. 1113-1121.
16. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.
17. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
18. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings,

2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

19. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

20. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

21. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

22. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

23. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

24. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

25. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

26. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

27. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.

28. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

29. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 551 с.

30. Желібо Є. П., Сагайдак І. С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник для аудиторної та практичної роботи. К.: ЕКОМЕН. 2011. 200 с.

31. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2010. 417с.

32. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях». В.С. Стручок. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А. 156 с.

33. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»». Автор-укладач В.С. Стручок. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А. 156 с.

Додаток А

Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Краківський економічний університет (Польща)
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет «Опольська Політехніка» (Польща)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Вінницький національний аграрний університет
Львівський національний університет ім. І. Франка
Головне управління Пенсійного фонду в Тернопільській області
Наукове товариство ім. Шевченка
Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти
Сумський державний педагогічний університет
Запорізький національний університет

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

**XIV Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
11-12 грудня 2025 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2025**

43.	Ю.Б. Максим'як ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАСЦО: ПІДХОДИ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	297
44.	К. П. Марущак, Г. В. Козбур ЕФЕКТИВНІ ПІДХОДИ ДО ВІЗУАЛЬНОГО ПОДАННЯ КАТЕГОРІЙНИХ ДАНИХ	299
45.	Матисюк І.В БІОДРУК. ЖИТТЯ ТА ПРОГРЕС	301
46.	Д.С. Матюк, М.В. Деркач NetScore: ПЕНТЕСТІНГ БЕЗДРОВОТОВИХ МЕРЕЖ	302
47.	А.Г. Микитишин, Д.Р. Максимів, В.І. Федчак ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ: КОНЦЕПЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ VENEFIT	305
48.	О. Мимрик АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ (СОНЯЧНА + ВІТРОВА ЕНЕРГІЯ)	307
49.	Р.С. Михайлишин, М.В. Приймак КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПОТОКУ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ НА ОСНОВІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ	309
50.	Л.Є. Мосій СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ВАЛІДАЦІЇ МОДЕЛІ АМПЛІТУДНОЇ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ	310
51.	А.А. Музичук ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ СОРТУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІА	312
52.	В.В. Невмержицький, Н.Б. Стадник МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ СОНЯЧНИМ ВОДОНАГРІВАЧЕМ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА STM32	313
53.	В.В. Никитюк, І. К. Генсбора ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ МУЗЕЙНИХ ФОНДІВ	314
54.	О.А. Пастух, Х.О. Новицька МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ UML ТА АДАПТОВАНОЇ SEI-МОДЕЛІ	315
55.	С. Орлов, С. Марценко ДОСЛІДЖЕННЯ ІТ ЛОГІСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	317
56.	Г.М. Осухівська, А.В. Коритко, А.М. Паламар КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ У ПРОЦЕСІ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ	318
57.	А.В. Павлик, А.М. Паламар КОМП'ЮТЕРІЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ У РОЗУМНОМУ БУДІНКУ	319

УДК 681.518.3

Р.С. Михайлишин; М.В. Приймак, д.т.н., проф.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПОТОКУ ЛЮДЕЙ У ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЯХ НА ОСНОВІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ

R.S. Mykhailishyn; M.V. Pryimak, Dr., Prof.

COMPUTER SYSTEM FOR MONITORING THE FLOW OF PEOPLE IN PUBLIC PLACES BASED ON IOT TECHNOLOGIES

Сучасні тенденції цифровізації сприяють активному використанню технологій комп'ютерного зору та IoT-рішень для моніторингу стану громадських просторів. Зростання інтенсивності потоків людей у торгових центрах, на транспортних вузлах, у навчальних закладах та інших об'єктах інфраструктури вимагає впровадження автоматизованих систем, що здатні відстежувати кількість відвідувачів у режимі реального часу. Такі системи забезпечують підвищення безпеки, ефективне управління потоками людей та прийняття оперативних організаційних рішень. У зв'язку з цим постає необхідність створення доступних, інтелектуальних і масштабованих рішень на основі технологій комп'ютерного зору.

Проблема полягає у відсутності недорогих та гнучких систем оцінювання кількості людей, що поєднують локальну обробку відео з можливістю віддаленої аналітики. Актуальність дослідження визначається потребою забезпечувати безперервний контроль заповненості об'єктів у реальному часі, що є критичним для сфери безпеки, логістики, оптимізації сервісів і реагування в надзвичайних ситуаціях. Метою дослідження є розроблення архітектури IoT-системи, що на основі комп'ютерного зору забезпечує підрахунок людей та передавання оброблених даних на хмарну платформу для їх подальшої візуалізації й аналізу.

Запропонована система реалізована на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, який виконує локальну обробку відеопотоку за допомогою методів комп'ютерного зору. Для захоплення зображення використано Raspberry Pi Camera Module, що забезпечує достатню якість відео для точного виявлення та підрахунку людей. Алгоритм підрахунку ґрунтується на використанні моделей детекції об'єктів OpenCV, що дозволяє відстежувати переміщення людей у кадрі та формувати статистику відвідуваності. Оброблені дані передаються на IoT-платформу ThingSpeak, де виконується їх зберігання, візуалізація у вигляді графіків, оновлення у режимі реального часу та можливе подальше використання для аналітичних задач.

Однією з важливих переваг розробленої IoT-системи є її доступність, простота розгортання та можливість масштабування під різні умови експлуатації. Вона підтримує автономну роботу, локальну обробку відео та передачу даних у хмару, що забезпечує високу надійність та зменшує навантаження на мережеву інфраструктуру. Завдяки ThingSpeak користувач може аналізувати дані дистанційно та отримувати їх у зручному форматі без додаткової конфігурації серверів.

Розроблена комп'ютерна система моніторингу потоку людей на основі Raspberry Pi та технологій комп'ютерного зору демонструє ефективність і практичність її впровадження у громадських просторах. Проведене дослідження підтверджує доцільність застосування хмарних сервісів та мікрокомп'ютерних платформ для створення недорогих і надійних рішень у сфері моніторингу. Система характеризується гнучкістю, точністю оцінювання та можливістю подальшого розвитку.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2025**

В. Кокайло АНАЛІЗ МЕТААСАМБЛЕВИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ДІАГНОЗІВ V. Kokailo ANALYSIS OF META-ENSEMBLE ALGORITHMS FOR MEDICAL DIAGNOSIS CLASSIFICATION	202
Е. Приймачук ЦИФРОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ (SMART GRID) ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ (SCADA, ADMS) E. Pryimachuk DIGITAL ELECTRICITY GRIDS (SMART GRID) AND INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS (SCADA, ADMS)	203
Н. Луцьк, В. Антонюк, А. Паламар СТРУКТУРА ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ N. Lutsyk, V. Antoniuk, A. Palamar STRUCTURE OF AN IOT SYSTEM FOR MONITORING THE PARAMETERS OF ELECTRICAL NETWORKS IN RESIDENTIAL PREMISES	204
М. Боднар, Г. Вовнянка, В. Дуда ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ У РОЗУМНИХ МІСТАХ M. Bodnar, H. Vovnianka, V. Duda ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGIES IN SMART CITIES	205
І. Вітів, А. Кривецький, М. Боднар БАГАТОВИМІРНЕ АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ I. Vitiv, A. Kryvetskyi, M. Bodnar BIG DATA MULTIDIMENSIONAL ANALYTICAL PROCESSING	206
Г. Вовнянка, Д. Ониськів, А. Кривецький ПЕРСПЕКТИВИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РОЗУМНИХ МІСТ H. Vovnianka, D. Onyskiv, A. Kryvetskyi PROSPECTS OF ANALYTICAL PROCESSING OF SMART CITIES DATA	207
О. Котлінський, І. Вітів, С. Довгалюк РОЗУМНІ МІСТА – КОНЦЕПТИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ O. Kotlinskyi, I. Vitiv, S. Dovhaliuk SMART CITIES – CONCEPTS AND RESEARCH DIRECTIONS	208
В. Лабчук, Р. Захарченко ДЕЗІНФОРМАЦІЯ ВОРОЖИХ СИЛ ЗАСОБАМИ SMALL DATA V. Labchuk, R. Zakharchenko DISINFORMATION OF ENEMY FORCES WITH THE HELP OF SMALL DATA	209
А. Микитишин, С. Гавриць, О. Колеснік РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ A. Mikitishin, S. Havrys, O. Kolesnik DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINES	211
Р. Михайлишин, М. Приймак КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ R. Mykhailishyn, M. Pryimak COMPUTERIZED IOT SYSTEM FOR MONITORING THE NUMBER OF PEOPLE USING CLOUD TECHNOLOGIES	212
Д. Ониськів, С. Довгалюк, О. Котлінський СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВКІЛЛЯ D. Onyskiv, S. Dovhaliuk, O. Kotlinskyi ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING SYSTEMS	213

УДК 681.518.3

Р. Михайлишин; М. Приймак, д. т. н., проф.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

R. Mykhailishyn; M. Pryimak, Dr., Prof.

COMPUTERIZED IOT SYSTEM FOR MONITORING THE NUMBER OF PEOPLE USING CLOUD TECHNOLOGIES

Сучасний розвиток цифрових технологій та швидка урбанізація сприяють зростанню потреби у системах, що дозволяють автоматично контролювати кількість людей у громадських місцях. Такі системи відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки, оптимізації потоків відвідувачів, регулюванні навантаження на інфраструктуру та покращенні управлінських рішень. Технології Інтернету речей (IoT) відкривають широкі можливості для створення доступних та гнучких систем моніторингу, які працюють у режимі реального часу та забезпечують віддалений доступ до даних.

Проблема полягає у відсутності універсальних і водночас економічних рішень для автоматизованого контролю заповненості приміщень, що можуть масштабуватися й адаптуватися до різних типів об'єктів. Умови сучасних викликів, таких як необхідність контролю соціальної дистанції, управління безпекою масових заходів чи оптимізація логістичних процесів, роблять цю задачу надзвичайно актуальною. Мета дослідження – розробити та описати архітектуру комп'ютеризованої IoT-системи, що забезпечує точний підрахунок людей, передавання результатів у хмару та їх аналіз з можливістю оперативного інформування користувачів.

Основою запропонованої системи є використання IoT-пристроїв на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, до якого підключена камера для фіксації руху та присутності людей. Для точного підрахунку застосовуються алгоритми комп'ютерного зору. Після обробки отриманих сигналів система формує дані про кількість людей, що пройшли через контрольовану зону. Raspberry Pi завдяки вбудованим мережевим інтерфейсам передає зібрану інформацію на хмарну IoT-платформу ThingSpeak, яка забезпечує зберігання, аналітику та візуалізацію у вигляді графіків. За потреби система може надсилати попередження на мобільні пристрої або у месенджери у разі перевищення встановленого порогу відвідуваності.

Запропоновану архітектуру можна масштабувати для моніторингу кількох локацій одночасно, завдяки чому вона може бути використана у торгових центрах, навчальних закладах, транспортних вузлах, офісах або музеях. Хмарні технології гарантують цілодобовий доступ до даних, високу надійність зберігання та можливість інтеграції з іншими інформаційними системами.

Перевагами розробленої IoT-системи є низька вартість апаратної частини, простота налаштування, можливість віддаленого доступу, високий рівень масштабованості та підтримка роботи у режимі реального часу. Завдяки використанню хмарних сервісів забезпечується зручна аналітика, централізоване управління та стійкість до відмов.

Розроблена комп'ютеризована IoT-система для контролю кількості людей є ефективним інноваційним рішенням, яке відповідає сучасним вимогам до інтелектуальних технологій моніторингу. Вона демонструє широкі можливості для практичного застосування, забезпечує точність вимірювань і сприяє підвищенню ефективності управління громадськими місцями.