

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення рівня громадської безпеки в Smart City за рахунок  
використання технологій штучного інтелекту»

на здобуття освітнього ступеня магістр  
за спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код, найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело*

\_\_\_\_\_

(підпис)

Юлія БОЙКО  
\_\_\_\_\_

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Виконав: здобувачка вищої освіти гр.ІСД-41  
Юлія БОЙКО  
\_\_\_\_\_

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: К.т.н., доцент Ольга ПОЛОНЕВИЧ  
\_\_\_\_\_

Науковий ступінь,  
вчене звання (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент: \_\_\_\_\_

Науковий ступінь,  
вчене звання (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2024

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем  
Ступінь вищої освіти бакалавр  
Спеціальність Інформаційні системи та технології  
Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедру ІПЗАС

Каміла СТОРЧАК

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**Бойко Юлії Євгенівни**

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Підвищення рівня громадської безпеки в Smart City за рахунок використання технологій штучного інтелекту

керівник роботи Ольга ПОЛОНЕВИЧ к.т.н., доцент

*(ім'я, ПРИЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від “27” лютого 2024 р. № 36

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «31» травня 2024 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:

Розумне місто;

Штучний інтелект;

Система безпеки дорожнього руху;

Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз концепції розумного міста, основні поняття та особливості розвитку.

2. Дослідження особливостей впровадження штучного інтелекту в Smart city.

3. Дослідження ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення для інтелектуальної системи безпеки Smart city.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання “27” лютого 2024р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір технічної літератури	27.02- 05.03.2024	Виконано
2.	Дослідження концепція розумного міста, основні поняття та особливості розвитку	06.03- 11.03.2024	Виконано
3.	Комплексний огляд впровадження штучного інтелекту в розумних містах	12.03- 27.03.2024	Виконано
4.	Вилучення та аналіз ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення для інтелектуальної системи безпеки Smart city	28.03- 10.04.2024	Виконано
5.	Висновки по роботі	11.04- 15.05.2024	Виконано
6.	Розробка демонстраційних матеріалів, доповідь.	16.05- 22.05.2024	Виконано
7.	Оформлення магістерської роботи	27.02- 05.03.2024	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Юлія БОЙКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступня бакалавр: 85 стор., 40 рис., 7 табл., 33 джерел.

*Мета роботи* – підвищення рівня громадської безпеки в Smart city із застосуванням технологій штучного інтелекту.

*Об'єкт дослідження* – процес забезпечення громадської безпеки в Smart city.

*Предмет дослідження* – інтелектуальні системи громадської безпеки Smart city.

*Короткий зміст роботи:* У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано дослідження поточного стану розумних міст, їх застосування та проблеми, пов'язані з їх впровадженням.

Проаналізовано особливості впровадження штучного інтелекту в основних сферах розумних міст. Описано принципи проектування системи та моделювання системи нагляду за придорожньою обстановкою на основі комп'ютерного бачення

У практичній частині виконано дослідження вилучення та аналіз ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення для інтелектуальної системи безпеки Smart City

БЕЗПЕКА, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, РИЗИК, НЕЙРОН, ІНТЕЛЕКТ, СИСТЕМА, РОЗУМНЕ МІСТО, ШТУЧНА МЕРЕЖА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ.

## ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 85 pp., 40 fig., 7 tables, 33 sources.

The purpose of the work is to increase the level of public safety in the Smart city with the use of artificial intelligence technologies.

The object of the study is the process of ensuring public safety in the Smart city.

The subject of the study is Smart city intelligent public security systems.

Brief content of the work: In the bachelor's qualification work, a study of the current state of smart cities, their application and problems related to their implementation was carried out.

The peculiarities of the implementation of artificial intelligence in the main areas of smart cities are analyzed. The principles of system design and modeling of the roadside monitoring system based on computer vision are described

In the practical part, the study of extraction and analysis of the risky behavior of road users based on vision for the Smart City intelligent security system was performed.

SECURITY, COMPUTER VISION, RISK, NEURON, INTELLIGENCE, SYSTEM, SMART CITY, ARTIFICIAL NETWORK, SOFTWARE, COMPUTER VISION, VIDEO SURVEILLANCE.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЯ РОЗУМНОГО МІСТА, ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ.....	12
1.1 Визначення розумного міста.....	12
1.2 Аналіз фінансових аспектів реалізації проектів Smart City.....	14
1.3 Програми Smart City.....	15
1.4 Кількісні методи аналізу вигод і витрат у розумних містах.....	20
1.5 Пріоритезація проектів Smart City.....	22
1.6 Пропаговані та досягнуті вигоди та витрати. Переваги та недоліки розумних міст.....	24
1.7 Аналіз застосування розумних міських рішень в міжнародних контекстах.....	28
РОЗДІЛ 2 КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗУМНИХ МІСТАХ.....	35
2.1 Нові розумні міста із застосуванням штучного інтелекту.....	35
2.2 Дослідження особливостей використання штучного інтелекту в сучасному розумному місті.....	39
2.3 Аналіз результатів дослідження застосування штучного інтелекту та майбутні напрями розвитку.....	46
2.4 Система спостереження за придорожніми умовами на основі комп'ютерного зору для інтелектуального транспорту в розумних містах..	51
РОЗДІЛ 3 ВИЛУЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ РИЗИКОВАНОЇ ПОВЕДІНКИ УЧАСНИКІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ОСНОВІ БАЧЕННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ SMART CITY.....	64
3.1 Візуальна система безпеки дорожнього руху.....	64
3.2 Розташування даних.....	65
3.3 Аналіз особливості поведінки та автоматизація процесу.....	73
3.4 Оцінка ефективності та аналіз потенційно ризикованої поведінки	



зіткнення.....	81
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	95
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	98

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Останнім часом щільність населення в містах зростає більш високими темпами. До 2050 року близько 5 мільярдів людей (68%) проживатимуть у містах. Щоб зробити спосіб життя в містах більш комфортним і економічно ефективним, місто має бути розумним, що досягається в основному шляхом інтелектуального процесу прийняття рішень з використанням технологій на основі обчислювального інтелекту.

Міста кардинально змінилися завдяки винаходу та реалізації багатьох концепцій, таких як стійкі міста, стійкі міста та інклюзивні міста, щоб назвати декілька. Штучний інтелект та IoT є двома важливими технологіями, які можуть перетворити міста на стійкі розумні міста.

Дані технології широко застосовуються у таких напрямках розумного міста як: охорона здоров'я, освіта, навколишнє середовище та управління відходами, сільське господарство, мобільність і розумний транспорт, управління ризиками та безпека.

Незважаючи на прогрес у технологіях безпеки транспортних засобів, дорожньо-транспортні пригоди в усьому світі все ще становлять серйозну загрозу для життя людей і стали основною причиною передчасної смерті. Серед різних типів дорожньо-транспортних пригод, у разі зіткнення транспортного засобу з пішоходом, пішоходи особливо наражаються на різні небезпеки, наприклад, водії не поступаються їм на пішохідних переходах.

Одним із проривів є аналіз потенційно ризикованої поведінки учасників дорожнього руху, що може дати підказки для вжиття заходів, таких як розгортання додаткових камер контролю швидкості, лежачих поліцейських та інших заходів для заспокоєння руху. Дослідження ризикованої поведінки, на яку значною мірою впливають емоції учасників дорожнього руху, допоможе підвищити безпеку дорожнього руху.

*Мета роботи* – підвищення рівня громадської безпеки в Smart city із застосуванням технологій штучного інтелекту.

Для виконання поставленої мети, у магістрській роботі розроблено та виконано наступні завдання:

- аналіз концепції розумного міста, основні поняття та особливості розвитку;
- дослідження особливостей впровадження штучного інтелекту в Smart city;
- дослідження ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення для інтелектуальної системи безпеки Smart city.

*Об'єкт дослідження* – процес забезпечення громадської безпеки в Smart city.

*Предмет дослідження* – інтелектуальні системи громадської безпеки Smart city.

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувалися методи штучного інтелекту, методи вилучення поведінки об'єкта, методи попередньої обробки, метод дисперсійного аналізу, метод відстеження об'єктів, метод глибокого навчання.

*Джерела дослідження:*

- <https://www.bbc.com/ukrainian/features-65728291>;
- <https://www.ukrinform.ua/tag-stucnij-intelekt>;
- <https://ecoaction.org.ua/iak-ai-vplyvaie-na-dovkillia.html>;
- <https://suspilne.media/tag/stucnij-intelekt>;
- [https://logika.ua/smart\\_city](https://logika.ua/smart_city).

*Наукова новизна одержаних результатів.* Наукова новизна полягає у тому, що було досліджено новий підхід до визначення потенційно ризикованої поведінки транспортних засобів і пішоходів із застосуванням інтелектуальної системи безпеки Smart city.

*Практична значущість одержаних результатів.* Отримані результати можливо використовувати для підвищення збору об'єктивної інформації про поведінку водіїв у місцях, де пішоходи стикаються з найбільшим ризиком.

*Апробація результатів бакалаврської кваліфікаційної роботи.* Основні положення і результати бакалаврської кваліфікаційної роботи доповідались і обговорювались на двох науково-практичних конференціях.

# РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЯ РОЗУМНОГО МІСТА, ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ

## 1.1 Визначення розумного міста

Розумні міста останнім часом викликають значний інтерес і викликають інвестиції, оскільки в різних частинах світу реалізуються численні ініціативи та проекти. Однак, незважаючи на цей інтерес та інвестиції, не існує загальновизнаного визначення розумного міста [4, 5, 6, 7]. Відсутність чіткого визначення може створити проблеми для політиків, містобудівників і зацікавлених сторін, які прагнуть розробити та впровадити ініціативи розумного міста.

Наше комплексне дослідження визначень розумного міста шляхом структурованого огляду літератури виявило багато визначень із різними концептуальними інтерпретаціями, які часто замінюють термін «розумний» альтернативними дескрипторами, такими як «розумний» або «цифровий» [2]. У результаті термін «розумне місто» залишається розпливчастим і неоднозначним поняттям із непослідовним використанням у різних контекстах. У той час як багато ініціатив «розумного міста» віддають пріоритет питанням сталості, ефективності та якості життя [8], відсутність універсального визначення пов'язана з широким спектром ідей та ініціатив, охоплених цим терміном. Ці ідеї та ініціативи відрізняються в різних географічних і соціально-економічних контекстах [9, 10].

Наш аналіз хмари слів, проведений із визначеннями розумних міст, показав, що основний акцент у визначеннях розумних міст зосереджено на покращенні якості життя мешканців, як показано на рис.1.1 і рис.1.2. Популярність терміна «технологія» свідчить про те, що це основний інструмент, який використовується для реалізації проектів розумного міста. Однак важливо зазначити, що, незважаючи на поширеність цих тем, розумним містам бракує універсального визначення.



Рис.1.1 Світова хмара, створена за допомогою складеного списку визначень розумного міста

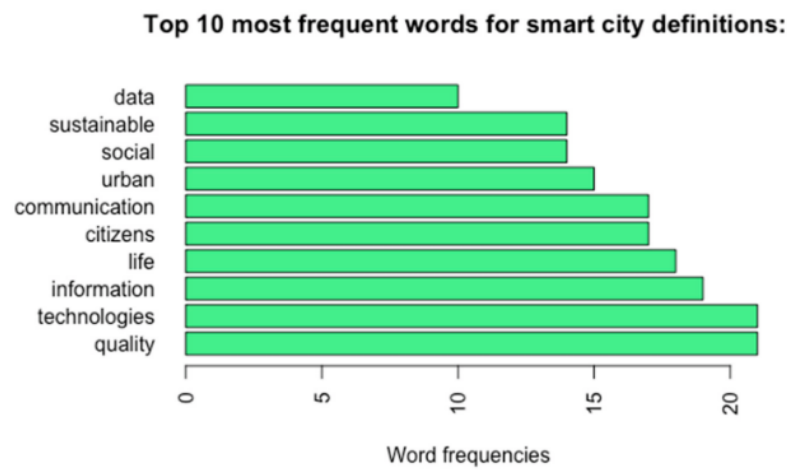


Рис.1.2 Діаграма частоти слів, створена за допомогою складеного списку визначень розумного міста

Хоча список не має на меті охопити всі можливі визначення розумних міст, він виходить за рамки загальнопоширених джерел, таких як Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), Міжнародна рада з системної інженерії (INCOSE), Міжнародна організація стандартизації (ISO), а також Європейська комісія, включивши 30 додаткових визначень з літератури. Численні інші статті досліджували та надавали численні визначення [6, 10]. Ми пропонуємо наступне

визначення для визначення ключових технологій, фокусу на послугах і чітких цілей розумних міст:

«Розумні міста використовують цифрові технології, комунікаційні технології та аналітику даних, щоб створити ефективне та дієве середовище обслуговування, яке покращує якість міського життя та сприяє стійкості».

Визначення в таблиці вище не містять усіх цих трьох компонентів. Наше визначення охоплює ключові елементи того, що таке розумне місто, включаючи використання цифрових технологій, комунікаційних технологій і аналітику даних для покращення міського життя, одночасно сприяючи стійкості. Надаючи чітке визначення розумного міста, це дослідження може допомогти розробникам політики, містобудівникам і зацікавленим сторонам розробляти та впроваджувати ініціативи розумного міста, які відповідають цілям покращення міського життя та сприяння стійкості. У той час як відсутність загальновизнаного визначення розумних міст створює проблеми для зацікавлених сторін, які прагнуть розробляти та впроваджувати ініціативи розумних міст, визначення, запропоноване в цьому дослідженні, може забезпечити чітку основу для розуміння того, що таке розумне місто та якими мають бути його цілі. Це дослідження може мати значний вплив на розвиток ініціатив розумного міста, скеровуючи зацікавлені сторони до спільного розуміння розумного міста.

## **1.2 Аналіз фінансових аспектів реалізації проектів Smart City**

У структурованому огляді літератури ми не змогли знайти жодної конкретної інформації про виділення бюджету на дослідження, розробку та закупівлі «розумних міст». Хоча існує багато досліджень, які обговорюють потенційні переваги та проблеми розумних міст [2, 10], лише деякі з них надають детальну інформацію про фінансові аспекти реалізації цих ініціатив.

Однією з можливих причин такого браку інформації є те, що розподіл бюджету може не бути головним пріоритетом для дослідників або практиків у цій галузі, або дані про бюджет можуть бути конфіденційними. Натомість багато

досліджень зосереджені на технічних аспектах розумних міст, таких як розробка нових технологій та інтеграція існуючої інфраструктури. Іншим можливим поясненням відсутності інформації про розподіл бюджету є те, що її може бути важко отримати. Ініціативи розумного міста часто є складними та включають багато зацікавлених сторін, включаючи державні установи, приватні компанії та громадські організації [11]. Відстеження фінансових ресурсів, які виділяються на ці ініціативи, може бути складним, особливо якщо фінансування надходить із кількох джерел.

Незважаючи на відсутність бюджетних даних, важливо визнати важливість розподілу бюджетних коштів для успіху ініціатив розумного міста. Без відповідних фінансових ресурсів може бути важко запровадити необхідну інфраструктуру та технології, щоб зробити міста розумнішими, ефективнішими та стійкішими. Щоб усунути цю прогалину в знаннях, у майбутніх дослідженнях можна було б більш чітко вивчити розподіл бюджету на дослідження, розробку та закупівлі «розумних міст». Це може включати опитування чи інтерв'ю з ключовими зацікавленими сторонами в цій галузі, а також тематичні дослідження успішних ініціатив розумного міста, які отримали значну фінансову підтримку.

Хоча наш огляд літератури не зміг надати конкретної інформації про розподіл бюджету для розумних міст, важливо визнати важливість цього питання для успіху цих ініціатив. Визнаючи обмеження нашого дослідження та пропонуючи напрямки майбутніх досліджень, ми сподіваємося зробити внесок у краще розуміння фінансових аспектів розумних міст та їх потенційного впливу.

### **1.3 Програми Smart City**

Останніми роками поширення розумних додатків революціонізувало наш спосіб життя та роботи. Ці програми базуються на нових технологіях, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) і великі дані. Вони були розгорнуті в різних областях, включаючи охорону здоров'я, управління, навколишнє середовище, транспорт, енергетику, безпеку, інфраструктуру та освіту, для

вирішення складних завдань і покращення якості життя окремих людей і громад

рис.1.3. Наш структурований огляд літератури має на меті надати огляд типів додатків розумного міста, які розгортаються в цих областях, і їхнього впливу на суспільство.

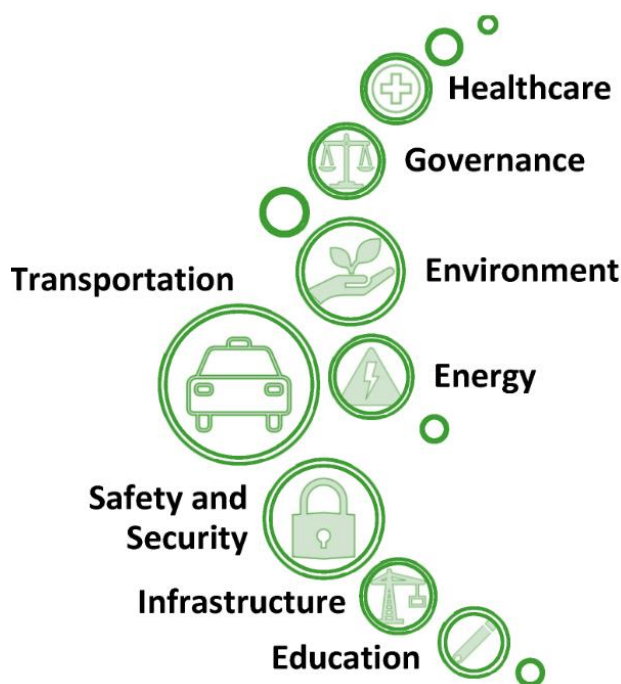


Рис.1.3 Домени програми Smart City

**Охорона здоров'я.** Інтелектуальні програми в охороні здоров'я показали величезний потенціал у покращенні результатів лікування пацієнтів, зниженні витрат і підвищенні ефективності. Приклади включають дистанційний моніторинг пацієнтів за допомогою пристроїв Інтернету речей і прогностичну аналітику [2, 12]. Пристрої дистанційного моніторингу дозволяють пацієнтам відстежувати стан свого здоров'я та отримувати своєчасні сповіщення, коли потрібне втручання. Прогностична аналітика використовує штучний інтелект і алгоритми машинного навчання для аналізу великих наборів даних і визначення закономірностей, які можуть допомогти передбачити спалахи захворювань і інформувати політику охорони здоров'я.

**Управління.** Додатки «розумного міста» в управлінні мають потенціал змінити спосіб роботи міст, забезпечуючи більшу прозорість, підзвітність та участь



громадян. Використовуючи пристрої та датчики Інтернету речей (IoT), розумні міста можуть збирати й аналізувати великі обсяги даних у режимі реального часу, надаючи цінну інформацію, яку можна використовувати для оптимізації використання міської інфраструктури та ресурсів.

Наприклад, в управлінні дорожнім рухом технологія розумного міста може допомогти зменшити затори та підвищити безпеку дорожнього руху за допомогою датчиків для моніторингу транспортного потоку та коригування сигналів світлофора в режимі реального часу [2]. Аналізуючи дані датчиків дорожнього руху та GPS-пристроїв, програми «розумного міста» також можуть надавати водіям інформацію в режимі реального часу про умови дорожнього руху, пропонуючи альтернативні маршрути та види транспорту, щоб уникнути заторів.

Окрім підвищення ефективності та результативності державних послуг, технологія розумного міста також може збільшити участь громадян, забезпечуючи нові канали взаємодії та спілкування між громадянами та урядом. Це може допомогти зміцнити довіру та покращити співпрацю між громадянами та урядом, покращуючи загальну якість життя в місті.

**Навколишнє середовище.** Інтелектуальні програми в навколишньому середовищі спрямовані на вирішення нагальних викликів зміни клімату та погіршення стану навколишнього середовища. Приклади включають інтелектуальні електромережі, точне землеробство, прогноз погоди та розумне управління відходами [13]. Інтелектуальні мережі використовують пристрої та датчики IoT для моніторингу та керування споживанням енергії, зменшення відходів та підвищення ефективності. Точне землеробство використовує датчики, дрони та штучний інтелект для оптимізації врожайності та зменшення використання пестицидів і добрив. Інтелектуальне управління відходами використовує пристрої та датчики Інтернету речей для моніторингу та управління збором і утилізацією відходів, зменшуючи вплив відходів на навколишнє середовище.

**Транспорт.** Інтелектуальні програми в транспорті спрямовані на підвищення мобільності, безпеки та ефективності. Приклади включають інтелектуальні

транспортні системи (ITS), автономні транспортні засоби та платформи спільного використання [12]. ITS використовує пристрої та датчики IoT для моніторингу трафіку та керування його потоком, зменшуючи затори та підвищуючи безпеку. Автономні транспортні засоби використовують штучний інтелект і алгоритми машинного навчання для навігації дорогами та зниження ризику аварій. Платформи спільного використання поїздок використовують цифрові платформи для зв'язку пасажирів із водіями, зменшуючи кількість автомобілів на дорозі та підвищуючи ефективність.

**Енергія.** Інтелектуальні програми в енергетиці спрямовані на зменшення викидів вуглецю, підвищення енергоефективності та збільшення використання відновлюваних джерел енергії. Приклади включають інтелектуальні мережі, системи накопичення енергії та системи управління відновлюваною енергією [13]. Інтелектуальні мережі використовують пристрої та датчики IoT для моніторингу та керування споживанням енергії, зменшення відходів та підвищення ефективності. Системи зберігання енергії використовують батареї та інші технології для накопичення енергії та її вивільнення за потреби, зменшуючи потребу у викопному паливі. Системи управління відновлюваною енергією використовують ШІ та алгоритми машинного навчання для оптимізації використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія.

**Безпека та захист.** Інтелектуальні додатки для безпеки й безпеки спрямовані на запобігання злочинам, реагування на надзвичайні ситуації та підвищення громадської безпеки. Приклади включають розумні системи спостереження, системи реагування на надзвичайні ситуації, розумні системи освітлення та програми громадської безпеки [14]. Розумні системи спостереження використовують штучний інтелект і алгоритми машинного навчання для моніторингу громадських місць і виявлення підозрілої поведінки, зниження рівня злочинності та підвищення безпеки. Системи реагування на надзвичайні ситуації використовують пристрої та датчики Інтернету речей для виявлення надзвичайних ситуацій і сповіщення тих, хто першими реагує, скорочуючи час реагування та покращуючи результати. Мобільні додатки громадської безпеки дозволяють

громадянам повідомляти про інциденти та отримувати сповіщення від органів влади, підвищуючи прозорість і підзвітність.

**Інфраструктура.** Інтелектуальні програми в інфраструктурі спрямовані на покращення управління та обслуговування фізичних активів, таких як будівлі, мости та дороги. Приклади включають системи розумних будівель, системи моніторингу мостів і системи моніторингу стану доріг [14]. Системи розумних будівель використовують пристрої та датчики Інтернету речей для моніторингу та керування споживанням енергії, якістю повітря в приміщенні та іншими факторами, таким чином зменшуючи витрати та покращуючи досвід мешканців. Системи моніторингу мостів використовують датчики та інші технології для моніторингу стану конструкції мостів, виявляючи потенційні проблеми до того, як вони стануть катастрофічними. Системи моніторингу стану доріг використовують пристрої та датчики Інтернету речей для моніторингу стану доріг, таких як вибоїни та тріщини, що дозволяє владі визначати пріоритетність технічного обслуговування та ремонту.

**Освіта.** Розумні програми в освіті спрямовані на покращення результатів навчання, розширення доступу до освіти та покращення досвіду студентів. Приклади включають персоналізовані навчальні платформи та навчальну аналітику [13]. Персоналізовані навчальні платформи використовують штучний інтелект і алгоритми машинного навчання, щоб адаптувати навчальні матеріали для окремих студентів, покращуючи їх взаємодію та розуміння. Аналітика навчання використовує методи аналізу даних, щоб виявити закономірності в успішності учнів і надати вчителям розуміння, покращуючи їх здатність надавати цільову підтримку.

**Розумні програми.** Розумні програми змінюють наш спосіб життя та роботи завдяки їх розгортанню в різних сферах, включаючи охорону здоров'я, управління, навколишнє середовище, транспорт, енергетику, безпеку, інфраструктуру та освіту. Ці програми використовують новітні технології, такі як IoT, великі дані та штучний інтелект, щоб вирішувати складні завдання та покращувати якість життя окремих людей і спільнот. Незважаючи на те, що пов'язані з конфіденційністю, безпекою та

етичними проблемами проблеми та проблеми, потенційні переваги інтелектуальних програм значні, що робить їх важливою сферою досліджень і розробок у майбутньому.

#### 1.4 Кількісні методи аналізу вигод і витрат у розумних містах

Розумні міста розроблені таким чином, щоб використовувати технології та дані для покращення якості життя своїх громадян, одночасно вирішуючи такі проблеми, як стійкість та економічне зростання. Щоб досягти цих цілей, розумні міста часто використовують кількісні методи для аналізу вигод і витрат від різних проектів та ініціатив. Мною виконано дослідження деяких з цих методів та їх застосування в розумних містах. На рис.1.4. представлено огляд переважаючих методів, визначених у літературі, включаючи широко використовувані методології, такі як аналіз витрат і вигод (CBA), аналіз життєвого циклу (LCCA), аналіз рентабельності інвестицій (ROI), багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA), оцінки ризиків, алгоритми машинного навчання та аналітика великих даних.



Рис.1.4 Поширені кількісні методи аналізу вигод і витрат у розумних містах

Одним із поширених методів є аналіз витрат і вигод [15]. CBA використовується для оцінки вигод і витрат проектів, що дозволяє політикам приймати обґрунтовані рішення шляхом порівняння очікуваних вигод і витрат різних проектів. Розуміючи економічний вплив різних ініціатив, особи, які

приймають рішення, можуть визначати пріоритети проектів із найкращим поверненням інвестицій.

Інша техніка, яка використовується в розумних містах, — багатокритеріальний аналіз рішень. MCDA оцінює проекти за багатьма критеріями, такими як соціальні, екологічні, економічні та технічні фактори. Цей підхід гарантує, що проекти розумних міст є не тільки економічно життєздатними, але й соціально та екологічно стійкими. MCDA допомагає визначити компроміси між різними цілями та визначити пріоритетність проектів, які мають найбільшу загальну користь.

Аналітика великих даних також використовується в розумних містах для аналізу вигод і витрат. Цей підхід передбачає збір великої кількості даних з різних джерел (наприклад, датчиків) і їх обробку за допомогою різних алгоритмів для отримання значущої інформації про конкретну проблему чи ситуацію [15]. Аналітика великих даних може визначати закономірності та тенденції, прогнозувати результати та оптимізувати розподіл ресурсів.

Алгоритми машинного навчання, такі як аналіз дерева рішень (DTA), штучні нейронні мережі (ANM) і кластеризація, використовуються для виявлення шаблонів і зв'язків у великих наборах даних [14]. Це допомагає приймати рішення та визначати можливості для оптимізації.

Кількісні методи, такі як оцінка життєвого циклу (LCA) і оцінка ризиків, також можуть бути використані для аналізу переваг і витрат, пов'язаних з різними проектами чи ініціативами в розумних містах [15]. LCA допомагає оцінити вплив різних проектів на навколишнє середовище протягом їх життєвого циклу, тоді як оцінка ризиків допомагає визначити потенційні небезпеки та визначити пріоритетність заходів із зменшення ризиків.

Інші кількісні методи, які використовуються в розумних містах для аналізу переваг і витрат, включають алгоритми кластеризації k-середніх, які можуть аналізувати великі набори даних і перетворювати їх на графік із трьома сезонами. Імовірнісні методи, мультимодальні дії/реакції та конструкти, що досліджують посилення тепла в місті, використовуються для аналізу очікуваного впливу

екологічних небезпек на окремих осіб або населення. Hadoop із Spark, VoltDB або Storm використовується для обробки даних IoT у режимі реального часу, програмування MapReduce використовується для аналізу історичних наборів даних в автономному режимі, а алгоритми машинного навчання, такі як регресійні моделі та дерева рішень, для виявлення шаблонів у великих обсягах зібраних даних [16].

Кількісні методи необхідні для аналізу вигод і витрат, пов'язаних з різними проектами та ініціативами в розумних містах. Використовуючи комбінацію цих методів, розумні міста можуть досягти своїх цілей щодо покращення якості життя, сприяння стійкості та стимулювання економічного зростання.

### 1.5 Пріоритезація проектів Smart City

Оскільки міста продовжують рости, потреба в ефективному та сталому управлінні стає дедалі гострішою. Розумні міста пропонують потенційне вирішення цієї проблеми шляхом використання технологій для покращення якості життя, стійкості, економічної конкурентоспроможності та ефективності уряду. Однак, маючи обмежені ресурси, як керівництво міста може визначити пріоритети та вибрати проекти розумного міста, які матимуть найбільший вплив? У цьому розділі розглядаються показники, які використовуються для оцінки та визначення пріоритетів проектів розумного міста. На рис.1.5. наведено більшість показників коментарів, які знайдено в літературі.



Рис.1.5 Показники розумного міста, які зазвичай використовуються для визначення пріоритетів ініціатив розумного міста

Метрики: у нашому дослідженні літератури наступні показники виявилися ключовими факторами при визначенні пріоритетів і виборі проектів розумного міста:

Якість життя (QoL): цей показник вимірює добробут громадян з точки зору здоров'я, безпеки, освіти та інших факторів, які впливають на загальну якість життя. Проекти розумних міст, які надають пріоритет QoL, можуть включати ініціативи щодо покращення доступу до медичних послуг, зниження злочинності або сприяння громадському транспорту [2, 16].

Стійкість: Стійкість вимірює здатність міста задовольняти потреби сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Це включає екологічну стійкість і управління ресурсами. Проекти розумних міст, які віддають пріоритет стійкості, можуть включати ініціативи щодо зменшення викидів вуглецю, підвищення енергоефективності або сприяння переробці [15].

Економічна конкурентоспроможність: цей показник вимірює здатність міста залучати й утримувати бізнес і таланти, сприяти інноваціям і створювати економічні можливості для жителів. Проекти розумних міст, які віддають перевагу економічній конкурентоспроможності, можуть включати ініціативи щодо покращення транспортної інфраструктури, розширення широкопasmового доступу або сприяння підприємництву.

Діяльність уряду: цей показник вимірює ефективність та дієвість міської влади в наданні послуг і задоволенні потреб громадян. Проекти розумних міст, які віддають пріоритет діяльності уряду, можуть включати ініціативи щодо спрощення процесів отримання дозволів, зменшення бюрократії або підвищення прозорості та підзвітності [2].

Залучення громадян: цей показник вимірює рівень участі громадян і залученість у процеси прийняття рішень, а також здатність міста сприяти внесенню та зворотному зв'язку громадян. Проекти розумного міста, які віддають пріоритет громадянській участі, можуть включати ініціативи щодо розширення громадських форумів, створення онлайн-порталів зворотного зв'язку або впровадження процесів бюджетування за участю [2].

Цифрова готовність: цифрова готовність вимірює рівень технологічного прогресу міста, включаючи інфраструктуру, цифрові послуги та можливості керування даними. Проекти розумних міст, які віддають перевагу цифровій готовності, можуть включати ініціативи з розширення громадського Wi-Fi, розгортання розумних датчиків для моніторингу трафіку чи якості повітря або впровадження аналізу даних для покращення прийняття рішень.

Пріоритезація та вибір проектів розумного міста залежать від багатьох факторів, включаючи конкретні потреби міста, наявні ресурси та політичні пріоритети. Однак, використовуючи такі показники, як якість життя, стійкість, економічна конкурентоспроможність, готовність до цифрових технологій, результативність уряду та громадська участь, керівники міст можуть краще оцінювати та визначати пріоритети проектів розумного міста, які матимуть найбільший вплив на їхніх громадян і громади.

## **1.6 Пропаговані та досягнуті вигоди та витрати. Переваги та недоліки розумних міст**

Ініціативи «розумного міста» просуваються як засіб досягнення цілого ряду переваг, включаючи підвищення ефективності, посилення економічного зростання, підвищення сталості, підвищення громадської безпеки та покращення якості життя громадян [17]. Однак існують також витрати, пов'язані з впровадженням цих ініціатив, включаючи фінансові інвестиції, потенційну втрату конфіденційності та занепокоєння щодо безпеки даних [18]. Питання про те, як пропаговані вигоди та витрати від ініціатив розумного міста співвідносяться з досягнутими вигодами та вартістю, є важливим для розгляду при оцінці цих проектів. На рис. 1.6. узагальнено рекомендовані переваги та витрати проектів розумного міста.

Незважаючи на важливість цього питання, існує нестача літератури, яка конкретно стосується порівняння пропонованих і досягнутих переваг/вартості ініціатив розумного міста.



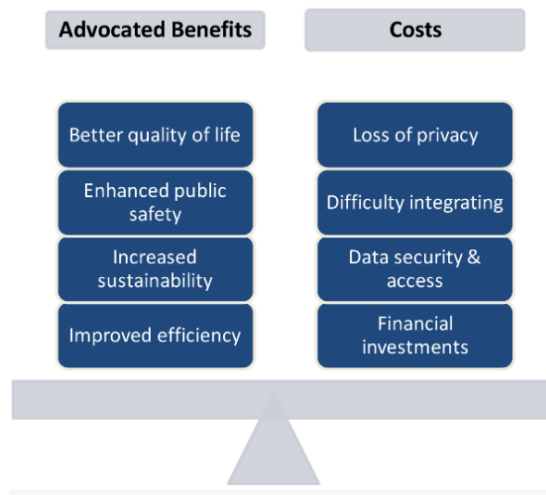


Рис.1.6 Переваги та витрати розумних міст

Переваги ініціатив розумного міста включають підвищення ефективності, підвищення стійкості, підвищення громадської безпеки та кращу якість життя. Підвищення ефективності може бути досягнуто завдяки використанню таких технологій, як моніторинг руху в реальному часі, розумні енергетичні мережі та автоматизовані системи управління відходами. Підвищеної стійкості можна досягти за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, зелених будівель і розумних транспортних систем. Покращення громадської безпеки може бути досягнуто завдяки використанню таких технологій, як розумні системи спостереження та системи реагування на надзвичайні ситуації. Кращої якості життя можна досягти за рахунок надання кращої медичної допомоги, освіти та соціальних послуг.

Однак існують також витрати, пов'язані з проектами розумного міста, включаючи фінансові інвестиції, потенційну втрату конфіденційності, проблеми з безпекою даних і доступом, а також потенційні непередбачені наслідки, такі як посилення соціальної нерівності.

Досягнуті переваги та витрати ініціатив розумного міста сильно залежать від конкретного контексту. Наприклад, сінгапурська ініціатива «Розумна нація» досягла покращень у сфері охорони здоров'я, транспорту, освіти та впливу на навколишнє середовище [12]. Однак ці досягнення дорого коштують і викликають потенційні проблеми з конфіденційністю.

**Переваги та недоліки.** Ініціативи «розумного міста» привернули значну увагу як засіб підвищення якості життя мешканців, сприяння економічному зростанню та вирішення екологічних проблем. Однак ці ініціативи мають як переваги, так і недоліки, які необхідно ретельно розглянути та керувати ними, щоб забезпечити максимальну користь і мінімізувати негативний вплив. У цьому розділі досліджуються деякі потенційні переваги та недоліки ініціатив розумного міста, підкреслюючи компроміси, якими необхідно керувати, щоб гарантувати максимізацію переваг і мінімізацію негативних наслідків. Табл. 1.1. показує основні переваги та недоліки розумних міст.

Однією з головних переваг ініціатив розумного міста є покращення якості життя [5, 13]. Використовуючи технології, міста можуть підвищити громадську безпеку, покращити транспортні системи та забезпечити кращий доступ до державних послуг, таких як охорона здоров'я та освіта. Це може призвести до більшої зручності, скорочення часу поїздок і покращення загального добробуту жителів.

Таблиця 1.1.

Переваги та недоліки розумних міст

Переваги	Недоліки
Поліпшення якості життя	Високі витрати на впровадження
Прискорене економічне зростання	Підвищення конфіденційності і безпеки
Підвищена стійкість	Відсутність стандартизації
Підвищена ефективність	
Підвищена сумісність між різними системами	Нерівномірний розподіл благ між різними соціально-економічними групами є вірогідним сценарієм
Сприяє інноваціям	Потенційні ефекти переміщення через джентрифікацію
Покращене управління	Потенційне переміщення роботи

Окрім покращення якості життя, проекти розумних міст також можуть сприяти економічному зростанню [2, 6]. Вони можуть залучати нові підприємства, створювати робочі місця та стимулювати інновації. Крім того, підвищення

ефективності міських послуг може призвести до економії коштів як для підприємств, так і для мешканців, що може сприяти більшому економічному зростанню.

Сприяння стійкості також є потенційною перевагою проектів розумних міст [2]. Сприяючи використанню відновлюваних джерел енергії, зменшуючи відходи та покращуючи транспортні системи, міста можуть зменшити свій вплив на навколишнє середовище та сприяти більш стійкому майбутньому.

Ініціативи розумного міста також можуть підвищити ефективність шляхом використання технологій для оптимізації процесів та оптимізації використання ресурсів [8]. Це може призвести до швидшого часу відповіді, зменшення заторів і підвищення загальної ефективності.

Крім того, ініціативи розумного міста можуть покращити взаємодію між різними системами [14]. Інтегруючи різні технології та системи, міста можуть створити більш згуртовану та взаємопов'язану інфраструктуру, підвищуючи свою здатність реагувати на різноманітні виклики та забезпечуючи більш бездоганний досвід для жителів.

Незважаючи на ці потенційні переваги, ініціативи розумного міста також мають кілька недоліків. Високі витрати на впровадження є однією з найбільш серйозних проблем, оскільки розробка та впровадження нових технологій та інфраструктури може бути дорогим і трудомістким. Підвищена конфіденційність і безпека є ще одним потенційним недоліком ініціатив розумного міста [6]. Оскільки міста збирають і використовують більше даних для оптимізації послуг і підвищення ефективності, існує ризик витоку даних і порушення конфіденційності, що може підірвати довіру громадськості та призвести до негативної реакції на ініціативи розумного міста.

Відсутність стандартизації є ще однією потенційною проблемою [2], оскільки різні технології та системи можуть бути несумісними одна з одною. Це може призвести до неефективності та обмежити ефективність ініціатив розумного міста.

Труднощі з інтеграцією в існуючу інфраструктуру також є потенційним недоліком [4], оскільки нові технології не можуть бути легко інтегровані в існуючі

системи. Це може призвести до затримок і збільшення витрат, а також потенційних збоїв у роботі існуючих послуг.

Крім того, вигоди від ініціатив розумного міста можуть нерівномірно розподілятися між різними соціально-економічними групами, що призводить до подальшої нерівності [4]. Усунення цих потенційних недоліків вимагає ретельного планування, залучення зацікавлених сторін, а також постійної оцінки та моніторингу. Наприклад, високі витрати на впровадження можуть бути врівноважені потенціалом посиленого економічного зростання, тоді як підвищені проблеми конфіденційності та безпеки можуть бути збалансовані підвищенням ефективності. Подібним чином труднощі з інтеграцією в існуючу інфраструктуру можуть бути врівноважені потенціалом підвищення сумісності між різними системами. Потенціал для компромісів підкреслює важливість ретельного планування, залучення зацікавлених сторін, а також постійної оцінки та моніторингу, щоб гарантувати максимізацію переваг ініціатив розумного міста та мінімізацію негативних наслідків.

Хоча ініціативи «розумного міста» пропонують значні потенційні переваги, вони також мають кілька потенційних недоліків. Усунення цих потенційних недоліків вимагає ретельного планування, залучення зацікавлених сторін, а також постійної оцінки та моніторингу, щоб гарантувати максимізацію переваг і мінімізацію негативних впливів.

### **1.7 Аналіз застосування розумних міських рішень в міжнародних контекстах**

Впровадження рішень розумного міста в різних міжнародних контекстах стало глобальним явищем, що розвивається. Розумні міські рішення створені для задоволення конкретних вимог і потреб місцевих громад, одночасно сприяючи сталому розвитку та покращуючи якість життя мешканців. У цьому розділі огляду літератури досліджується впровадження рішень розумного міста в міжнародному

контексті, підкреслюючи важливість урахування культурного, політичного та економічного ландшафту кожної країни.

**Впровадження рішень Smart City.** Розумні міські рішення впроваджуються в усьому світі з урахуванням різноманітних культурних, політичних та економічних факторів. У різних країнах прийнято різні рішення для розумних міст, такі як інтелектуальні транспортні системи, камери безпеки, датчики якості повітря та розумне освітлення. Ці рішення адаптовані для задоволення унікальних потреб кожного регіону.

Наприклад, проект «Розумне здоров'я 2.0» в Італії спрямований на розвиток корисних послуг, які задовольняють потреби громадян у сфері охорони здоров'я [14], тоді як ініціатива «Розумна нація» Сінгапуру використовується для моніторингу та управління транспортними потоками [12]. Сантандер (Іспанія) розгорнув тисячі датчиків якості повітря для збору даних про рівні забруднення повітря, тоді як Сеул (Корея) розробив інтегровану платформу для підключення транспортних мереж і систем автоматизації будівель [6].

**Розробка рішень Smart City для задоволення місцевих потреб.** Розумні міські рішення адаптовані до конкретних потреб і потреб місцевих громад. Наприклад, амстердамська платформа Connected Mobility Platform була впроваджена для задоволення потреб густонаселеного міського району з обмеженим паркувальним простором. Подібним чином Бхубанешвар (Індія) запровадив камеру та відеосистему для забезпечення безпеки для всіх жителів, особливо жінок і дітей [14].

Крім того, ці рішення призначені для вирішення конкретних проблем, таких як затори, забруднення повітря та проблеми громадської безпеки. Наприклад, у Катарі були впроваджені розумні системи паркування та інтелектуальні транспортні системи для покращення транспортного потоку та зменшення забруднення повітря [5]. Розумна система освітлення Барселони зменшує споживання енергії та світлове забруднення [8], тоді як розумна система освітлення та мобільний додаток Оулу надають інформацію про громадський транспорт у режимі реального часу [9].

**Сприяння сталому розвитку та покращенню якості життя.** Розумні міські рішення сприяють сталому розвитку та покращують якість життя мешканців. Впровадження цих рішень може призвести до зменшення викидів вуглекислого газу, покращення якості повітря та підвищення громадської безпеки. У Катарі розумне паркування та інтелектуальні транспортні системи сприяли покращенню транспортного потоку та зменшенню забруднення повітря [5], тоді як Платформа підключеної мобільності в Амстердамі зменшила кількість автомобілів на дорогах, що призвело до зниження викидів вуглецю та покращення якості повітря [12].

Подібним чином система моніторингу якості повітря Сантандера сприяє екологічній стійкості, тоді як розумна система освітлення Барселони зменшує споживання енергії та світлове забруднення [8]. Камера та відеосистема Бхубанешвара покращили громадську безпеку, а інтелектуальна система освітлення та мобільний додаток Оулу покращили якість життя мешканців, надаючи інформацію в режимі реального часу про громадський транспорт [9].

Впровадження рішень розумного міста в міжнародному контексті є явищем, що швидко зростає. Ці рішення створені для задоволення конкретних вимог і потреб місцевих громад, сприяють сталому розвитку та покращують якість життя мешканців. Розумні міські рішення можуть вирішити різні проблеми, такі як затори, забруднення повітря та проблеми громадської безпеки. Беручи до уваги культурний, політичний та економічний ландшафт кожної країни, рішення «розумного міста» можуть бути ефективно реалізовані, що призведе до більш сталого та покращеного середовища життя.

**Розкриття першопричин: виклики впровадження рішень Smart City.** Впровадження «розумного міста» — це нове та складне явище, яке передбачає інтеграцію різних технологій, зацікавлених сторін і сфер для покращення якості життя громадян, підвищення стійкості та сприяння економічному зростанню. Однак впровадження розумних міст не позбавлене проблем. Мета цього розділу полягає в тому, щоб вивчити глибинні причини проблем впровадження «розумного міста» з акцентом на технічні, фінансові, юридичні, соціальні та культурні проблеми. Рис.1.7. визначає три основні проблеми.

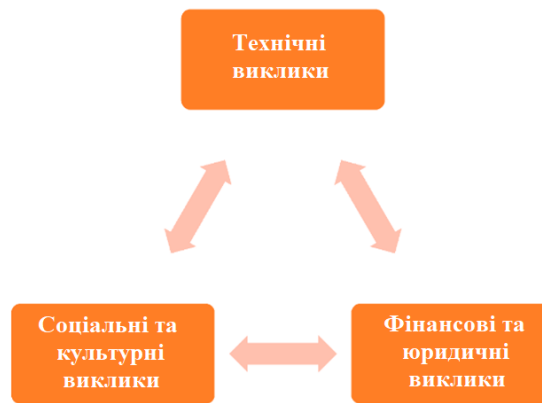


Рис.1.7 Проблеми у впровадженні рішень Smart City, розділених на три категорії

Технічні проблеми є одними з найпомітніших факторів, які перешкоджають впровадженню розумних міст. Відсутність стандартизації та взаємодії є двома основними технічними проблемами, з якими стикаються міста [2, 8]. Технології розумного міста зазвичай розробляються різними постачальниками та організаціями, що може призвести до фрагментації, складності та проблем із сумісністю. Це може ускладнити безперервну роботу різних технологій, що призведе до збільшення витрат і затримок у реалізації. Тому розробка стандартизованих інтерфейсів, протоколів і моделей даних є важливою для створення безперервної екосистеми розумного міста.

Фінансові та юридичні труднощі також є основними факторами, які перешкоджають реалізації розумного міста. Фінансування та фінансування є двома найбільш значними проблемами, з якими стикаються міста під час реалізації проектів розумного міста [2]. Хоча терміни «фінансування» та «фінансування» іноді використовуються як синоніми, між ними є тонка різниця. «Фінансування» загалом означає гроші або ресурси, надані із зовнішнього джерела, наприклад державний грант або приватний інвестор, тоді як «фінансування» означає засоби, за допомогою яких фінансується проект, наприклад позики. Ініціативи «розумного міста» часто коштують дорого, а міські бюджети зазвичай обмежені. Крім того, проекти розумних міст часто вимагають довгострокових інвестицій, через що містам може бути важко отримати фінансування. Крім того, правові та регуляторні

проблеми, такі як конфіденційність даних і право власності, можуть створювати перешкоди для впровадження та впровадження технологій розумного міста. Тому міста повинні розробити інноваційні моделі фінансування та тісно співпрацювати з юридичними експертами, щоб подолати ці виклики.

Соціальні та культурні виклики є ще одним набором факторів, які можуть перешкоджати реалізації розумного міста. Опір змінам є загальною проблемою, з якою міста стикаються під час впровадження проектів розумного міста [6]. Громадяни можуть вагатися щодо впровадження нових технологій або зміни своєї поведінки, що призводить до повільного впровадження та затримок у впровадженні. Крім того, проблеми з конфіденційністю та безпекою є поширеними серед громадян, які можуть бути стурбовані тим, як збираються, зберігаються та використовуються їхні дані [14]. Вирішення цих проблем має вирішальне значення для зміцнення громадської довіри та підтримки проектів розумного міста.

Впровадження розумного міста – це складний процес, який потребує інтеграції різних технологій, зацікавлених сторін і областей рішень. Технічні, фінансові, правові, соціальні та культурні проблеми є одними з найпомітніших факторів, які перешкоджають реалізації розумного міста. Вирішення цих проблем вимагає спільного та інноваційного підходу, який залучає всіх зацікавлених сторін. Роблячи це, міста можуть подолати ці виклики та створити більш стійке та придатне для життя майбутнє для всіх громадян.

### **Стратегії та рішення, які використовують міста для вирішення проблем.**

Реалізація ініціатив розумного міста часто сповнена проблем, які можуть перешкодити прогресу. Однак для подолання цих проблем можна застосувати різні стратегії, і ці стратегії можна згрупувати в три категорії: політика та управління, партнерство та співпраця, а також технології та інфраструктура.

У категорії «Політика та управління» міста можуть прийняти міцну структуру управління, яка сприяє прозорості, підзвітності та участі всіх зацікавлених сторін [1, 10]. Розробка гнучкої політики, адаптованої до конкретних цілей розумного міста, і створення чіткої правової бази для збору та обміну даними також може допомогти пом'якшити проблеми. Крім того, протоколи стандартизації



та нормативні рамки, які сприяють взаємодії, масштабованості та стійкості рішень для розумних міст, можуть сприяти прогресу [2].

Партнерство та співпраця також є критично важливими стратегіями, які можна використовувати для подолання труднощів у реалізації ініціатив розумного міста. Заохочення участі громадян за допомогою інноваційних підходів, таких як процеси спільного планування або інші форми взаємодії з громадою [17], пропонування бізнесу стимулів для участі в ініціативі розумного міста [18], а також сприяння співпраці між уряди, установи та компанії через державно-приватне партнерство (ДПП) можуть підтримувати розробку та впровадження рішень розумного міста [12]. Інвестиції в програми розвитку потенціалу, спрямовані на підвищення кваліфікації місцевої робочої сили та надання їм можливості брати участь у розробці та впровадженні рішень для розумних міст, також можуть сприяти прогресу.

Нарешті, категорія технологій та інфраструктури має вирішальне значення для успіху ініціатив розумного міста. Розробка платформ відкритих даних (ODP) [5, 14] та цифрової інфраструктури, які сприяють обміну даними та уможливають розробку інноваційних рішень різними зацікавленими сторонами, інвестування в існуючу і розробку нової інфраструктури, використання нових методів, таких як алгоритми машинного навчання [8], аналітика великих даних, IoT або технології хмарних обчислень, застосування інтегрованого, гнучкого, цілісного та адаптивного підходу до планування розумного міста та використання пілотних проектів для тестування та вдосконалення рішень розумного міста всі можуть підтримати успішну реалізацію ініціатив розумного міста.

Ці стратегії можуть призвести до покращення якості життя, підвищення ефективності, стійкості та економічного розвитку громад. Майбутні проекти, спрямовані на реалізацію ініціатив розумного міста, можуть отримати вигоду від цих стратегій шляхом прийняття цілісного та адаптивного підходу, заохочення участі громадян і державно-приватного партнерства, а також використання інноваційних технологій та інфраструктури для досягнення своїх цілей.

Реалізація ініціатив розумного міста вимагає комплексного підходу, який враховує різноманітні потреби та перспективи всіх зацікавлених сторін. Застосування стратегій політики та управління, партнерства та співпраці, технологій та інфраструктури може допомогти подолати труднощі та привести до успішної реалізації. Переваги ініціатив розумного міста величезні, і, використовуючи ці стратегії, міста можуть досягти своїх цілей розумного міста та покращити життя своїх громадян.

## РОЗДІЛ 2 КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗУМНИХ МІСТАХ

### 2.1 Нові розумні міста із застосуванням штучного інтелекту

У сфері інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) немає єдиного розуміння того, що буквально означає «розумний». Незважаючи на свою популярність, ця фраза зараз широко використовується як синонім майже всього, що вважається сучасним і розумним. Проникливий, кмітливий, кмітливий і швидкий — це лише кілька синонімів слова «розумний» у простих визначеннях. На рис. 2.1 показано тенденції ключових слів «Розумне місто» та «Штучний інтелект». На ілюстрації видно, що інтерес до штучного інтелекту та розумних міст з часом зріс.

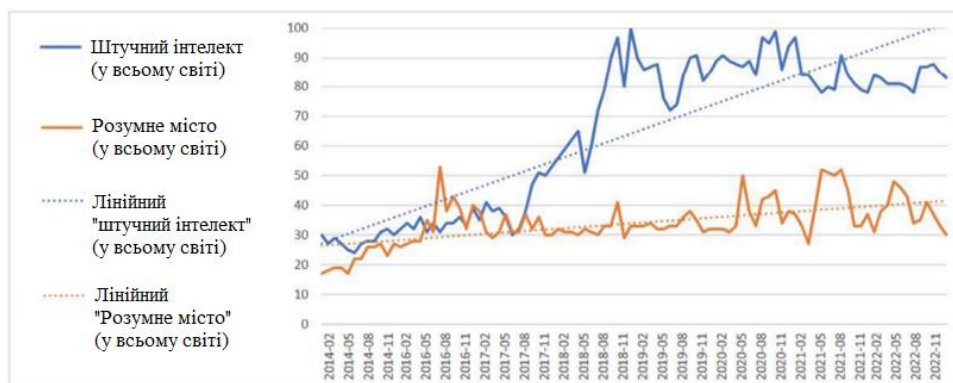


Рис.2.1 Популярність ключових слів «Розумне місто» та «Штучний інтелект»

Слід зазначити, що технології відіграють вирішальну роль у розумних містах, а креативні технологічні методи ефективно допомагають містам ставати розумнішими. Розумні міста використовують ІКТ для автоматизації процесів і покращення якості життя людей у міських регіонах. Крім того, він використовує інтегровані інтелектуальні технології для покращення муніципальної інфраструктури та надання можливості оперативного управління, яке залучає мешканців до управління містом. Різноманітні сучасні технології та підходи

дозволяють інтелектуальним моделям обслуговування підвищувати ефективність і роботу в охороні здоров'я, транспорті, енергетиці, освіті та багатьох інших сферах. Загальновідомо, що міста можна класифікувати як «розумні», якщо вони відповідають критеріям, наведеним на рис. 2.2.

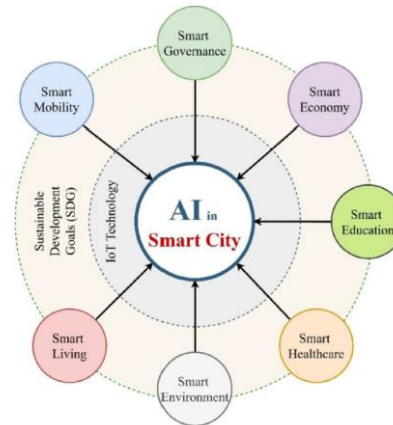


Рис.2.2 Основні сфери розумного міста.

Індекс розумних міст 2021 був представлений Інститутом розвитку менеджменту (IMD) у співпраці з Сінгапурським університетом технологій та дизайну (SUTD), включаючи важливі висновки про те, як швидке поширення COVID-19 у всьому світі міське населення змусило керівників міст взяти на себе нові обов'язки. У липні 2021 року сотні людей зі 118 міст були опитані щодо технологічних пропозицій їхніх міст у п'яти основних сферах: здоров'я та безпека; діяльність; мобільність; можливості; управління. Протягом останніх десятиліть глобальні користувачі Інтернету поступово збільшувалися рис.2.3.

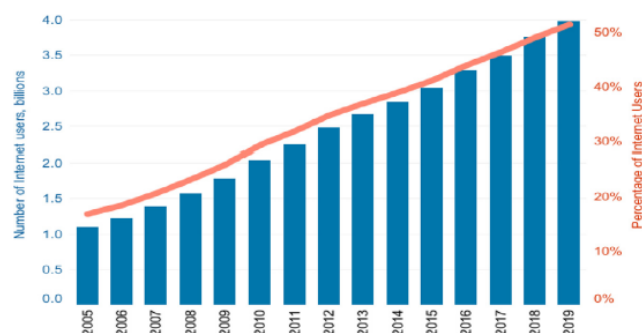


Рис.2.3 Глобальна кількість користувачів Інтернету з 2009 року

З розвитком інтернет-технологій та багатьох інших типів мереж і комунікаційних стратегій Інтернет речей (IoT) став однією з найважливіших форм інфраструктури в розумних містах. Крім того, технологія IoT вважається найважливішим і критичним компонентом сучасних ініціатив розумного міста, які генерують велику кількість даних. Термін «Інтернет речей» можна описати як набір технологій, які дозволяють користувачам отримувати доступ до даних, створених різними пристроями, через бездротові та дротові мережі Інтернет.

Може бути важко визначити найбільш точні та ефективні дії, коли ви маєте справу з величезною кількістю складних даних. AI, DRL і ML є прикладами складних методологій, які можна використовувати для аналізу масивних даних, щоб отримати найкращі висновки.

Штучний інтелект можна визначити як навчання комп'ютерів імітувати процеси мислення та навіть моделювати поведінку людини. Крім того, це галузь інформатики, присвячена моделюванню процесів людського інтелекту та системі, керованій даними, яка дозволяє комп'ютеру чи програмному забезпеченню виконувати завдання або приймати рішення. В результаті значних удосконалень штучного інтелекту та машинного навчання сучасна цивілізація більше не зможе підтримувати нічого схожого на повну зайнятість. На рис.2.4 зображено шість основних технологій ШІ, які використовуються в сучасних розумних містах.

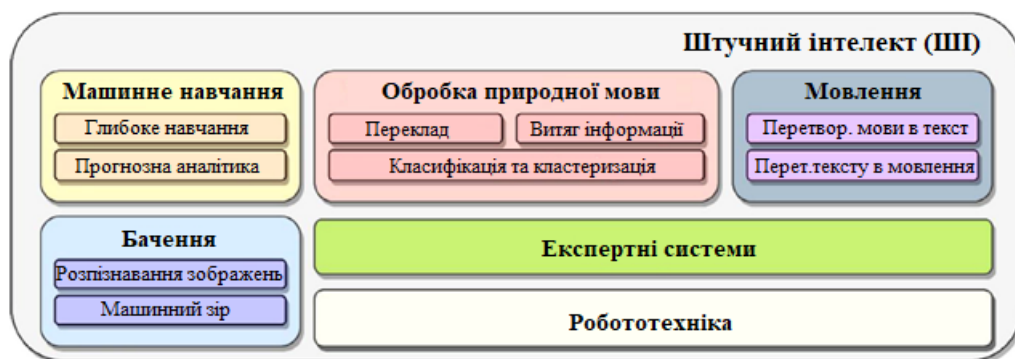


Рис.2.4 Категоризація технологій ШІ в сучасних розумних містах

Ініціативи «розумного міста» у великих країнах зараз зосереджені на штучному інтелекті. Згідно зі статистичними даними, до 2025 року індустрія

штучного інтелекту становитиме 190 мільярдів доларів США. До 2021 року глобальні інвестиції в когнітивні системи та системи штучного інтелекту становитимуть 57,6 мільярда доларів США, причому штучний інтелект буде розгорнуто в 75% корпоративних програм. Китай володіє найбільшою кількістю розумних міст у світі, які керують своїми містами та громадськими просторами за допомогою вимірювальних пристроїв, камер, вбудованих датчиків та інших технологій моніторингу, а також інтелектуального аналізу даних, обробки та штучного інтелекту. методи аналізу.

Останніми роками штучний інтелект використовується в дослідженнях і практиках розумних міст, а вчені спостерігають, як він стає все більш важливим аспектом розумного урбанізму. AI може підвищити ефективність і покращити якість життя в розумних містах майбутнього, залучаючи величезні ресурси та поєднуючи сучасне машинне бачення, NLP, ML, робототехніку та інші технології. Успішні алгоритми ШІ покладаються на великі обсяги даних для виконання корисних завдань. Цю інформацію можна отримати за допомогою цифрових і механічних технологій, які передають і зберігають важливі дані та обробляють їх для отримання задовільного вирішення проблеми.

Як показано на рис.2.4, технології штучного інтелекту розумного міста можна класифікувати на машинне навчання (ML), обробку природної мови (NLP), мову, зір, експертні системи та робототехніку. Машинне навчання (ML) є підмножиною штучного інтелекту, який дозволяє програмам ставати все ефективнішими у прогнозуванні результатів без явного програмування їх для цього. Алгоритми машинного навчання оцінюють нові вихідні значення, використовуючи попередні дані як вхідні дані. Обробка природної мови (NLP) — це розділ ШІ, який вивчає, як комп'ютери взаємодіють із людськими мовами. Мета полягає в тому, щоб створити комп'ютерну програму або алгоритм, які можуть розуміти зміст документів, включаючи нюанси мови в контексті. Розпізнавання мовлення — це міждисциплінарна тема інформатики та комп'ютерної лінгвістики, яка використовує ШІ для отримання результатів.

Розпізнавання мовлення, розпізнавання голосу, перетворення мовлення в текст і перетворення тексту в мовлення – це деякі інші назви. НЛП і автоматичне розпізнавання мовлення — це дві пов’язані, але різні сфери ШІ. Комп’ютерний зір - це гілка штучного інтелекту, яка дозволяє комп’ютерам і системам отримувати корисну інформацію з цифрових фотографій, відео та інших візуальних вхідних даних, а потім діяти або робити пропозиції на основі цих даних.

Експертна система — це комп’ютерна програма, яка використовує підходи штучного інтелекту для вирішення проблем у певному предметі, які зазвичай потребують людських навичок. Робототехніка — це виробництво роботів, які можуть виконувати завдання без участі людини, тоді як штучний інтелект — це процес систем, що імітують людський розум з точки зору прийняття рішень і навчання.

## 2.2 Дослідження особливостей використання штучного інтелекту в сучасному розумному місті

У даному підрозділі виконано аналіз особливостей, як штучний інтелект використовується в сучасному розумному місті. На рис.2.5 зображено концептуальну основу ШІ, що використовується в розумних містах. Як показано на ілюстрації, для дослідження ми вибрали загальні програми «розумного міста».

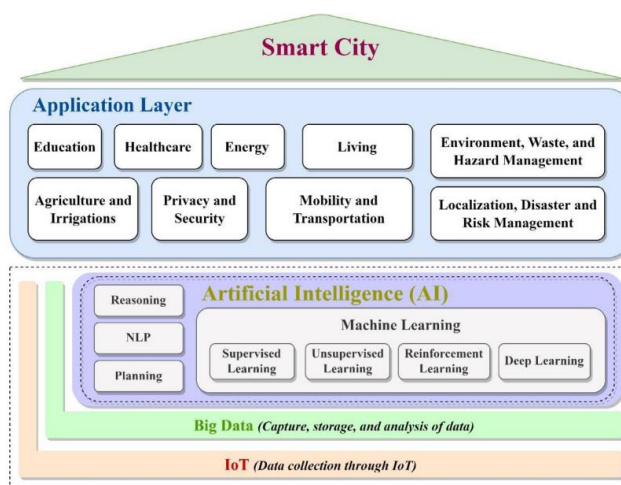


Рис.2.5 Концептуальний фреймворк smart city ШІ

**ШІ в розумній освіті.** Останніми роками освітній сектор приділяв багато уваги, оскільки програми штучного інтелекту відіграли важливу роль у різноманітних галузях освіти. Одним із ключових досягнень інтелектуальної освіти є використання ІТ-технологій та додатків на основі ШІ.

Розумні школи були прийняті, щоб зміцнити освітню систему для подолання труднощів 21 століття. У 2006 році Сінгапур запустив свій генеральний план розумної країни, який включав розумне навчання на основі передових технологій, зокрема IoT та AI. Концепція передбачала створення восьми розумних шкіл, які б зосереджувалися на створенні різних умов навчання. У 2011 році Фінляндія запустила ініціативу розумної освіти, яка включала систему безперервного навчання (SysTech).

Використовуючи керовані користувачами мотиваційні навчальні рішення, ініціатива мала на меті покращити освіту для двадцять першого століття. Австралія співпрацювала з IBM у 2012 році для розробки та впровадження інтелектуальної мультидисциплінарної системи освіти, яка об'єднає всі навчальні заклади країни.

Поява розумних пристроїв на основі інтелектуальних технологій пов'язана з розвитком розумного навчання. Науковці [19] займалися довгостроковою робототехнікою ШІ. Зокрема, було представлено освітній фреймворк Robobo SmartCity. Він побудований навколо двох основних компонентів: 1. Robobo, робота, керованого смартфоном; 2. Реальної моделі розумного міста.

Технологія не просто пов'язана з іншими елементами життя, його також можна використовувати в розумних класах, щоб допомогти учням навчатися.

Однією з найважливіших частин будь-якого навчального середовища є стиль навчання, який зосереджується на індивідуальному навчанні. Bajaj & Sharma [20] запропонували структуру для освітнього інструменту, який розглядає численні моделі навчання та підходи ШІ для оцінки стилів навчання учнів. Запропонований інструмент дозволить користувачам порівнювати моделі навчання, щоб визначити, яка найкраща для певної ситуації. Цей інструмент рекомендовано використовувати в хмарних умовах, щоб забезпечити масштабований підхід для швидкого та легкого визначення стилів навчання. Виходячи зі стилю навчання, кожен учень має власний



спосіб розуміння, збереження, обробки та інтерпретації нових знань. Здатність системи електронного навчання оцінювати стиль навчання студента стала більш важливою.

**ШІ в розумній енергетиці.** Сучасні суспільства покладаються на енергію для функціонування. У зв'язку зі зростанням населення та зростаючими вимогами до комфорту споживання енергії та супутні викиди CO<sub>2</sub> у світі значно зросли.

Включення штучного інтелекту в традиційну енергетику призвело до розробки розумних енергетичних моделей. Розробка повністю автоматизованих інтелектуальних енергетичних мереж потребує точної системи прогнозування електричного навантаження. Для оцінки невизначеності в короткострокових оцінках попиту на електроенергію було надано підходи як DL, так і градієнтного дерева. У [21] автори навчили моделі байєсівського глибокого навчання (BDL) і градієнтного посилення, які використовують реальні дані попиту на електроенергію, демонструючи, що оцінку невизначеності можна надати разом із прогнозом із мінімальною втратою точності. Значення енергетичної ефективності будівлі зростає разом зі ступенем викидів парникових газів.

Автори [19] дослідили підходи до прогнозування споживання електроенергії в будівлях, включаючи традиційні методології та методології ШІ. Новий векторний SVR на основі поля для прогнозування енергоспоживання будівлі запропоновано [19]. Висновки показали, що запропонована методика працює краще, ніж зазвичай використовувані методи з точки зору точності, стійкості та здатності до узагальнення. Автори [18] досліджували різні моделі (прогноз споживання енергії), перш ніж зупинитися на машинному навчанні. Вони досягли цього шляхом інтеграції ШНМ із генетичними алгоритмами (GA).

Крім того, підходи до енергетичного прогнозування на основі штучного інтелекту мають вирішальне значення, оскільки більшість видів використання розумних міст вимагає більшого споживання енергії. Для навчання моделі прогнозування споживання енергії потрібен метод машинного навчання.

Кінцеві користувачі з інтелектуальними лічильниками та контролерами тепер можуть оптимізувати свої портфелі витрат на споживання, вибираючи з

різноманітних цінових планів, які пропонують різні системи оцінки роздрібною енергії, завдяки зростанню технологій ШІ.

Деякі автори інтегрували методології ШІ з технологіями Blockchain в контексті енергетичної парадигми розумного міста. У [22] автори визнали дві основні проблеми електричних транспортних засобів (EV):

1. Вразливі зарядні станції та електромобілі; 2. Неоптимальні графіки зарядки.

**ШІ в мобільності та розумному транспорті.** Проблеми транспорту, дорожнього руху та логістики стосуються більшості великих міст світу. Це пов'язано зі швидким зростанням населення та збільшенням кількості автомобілів на дорогах. У проектуванні та управлінні стійкою транспортною системою технологія може бути надзвичайно корисною.

Інтелектуальна транспортна система, також відома як ITS, являє собою конвергенцію систем управління, датчиків, виконавчих механізмів та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), які генерують величезні обсяги даних і суттєво впливають на наступне покоління транспорту в сучасному розумному місті. Для ефективного моніторингу та оцінки даних у реальному часі, пов'язаних із потоком дорожнього руху в міських умовах, що є життєво важливим компонентом майбутнього розумних транспортних систем, важливі методи ML, AI та DRL.

Аналіз інтенсивного трафіку відео з відеоспостереження транспортних засобів є однією з найважливіших і складних тем дослідження сучасної інтелектуальної транспортної системи. Зі стрімким розвитком транспортних мереж тривале зростання об'єктів відеоспостереження на вулицях створює величезну кількість даних про дорожній рух і є важливим для досягнення цілей аналізу.

Використання штучного інтелекту для прийняття рішень або маршрутизації для мобільності зросло за останні десятиліття. Дослідники оцінили автомобільні та велосипедні наміри на виїзді з дороги, використовуючи реальні траєкторії, використовуючи такі методи ШІ, як MLP, SVM і RF. У [23] дослідники запропонували вдосконалений підхід до прийняття рішень щодо поведінки водіння

на основі DRL у неоднорідному середовищі руху. Автори дослідили, як ефективно використовувати дані траєкторій GPS від таксі в певному регіоні для пошуку пасажирів

Деякі дослідники розробили моделі на основі штучного інтелекту для виявлення проблем безпеки, таких як відволікання водіїв на мобільний телефон, ризиковані події на пішоходах, загрози, орієнтовані на людину, тощо. Автори [22] запропонували нову методологію для аналізу потенційних ризикованих подій для пішоходів (PPRE) на основі відеоданих, зібраних камерами безпеки дорожнього руху, які раніше були встановлені на таких переходах. Їхня технологія виявляє автомобілі та людей шляхом автоматичного обчислення траєкторій і вилучення інформації про поведінку на рівні кадру. У роботі [24] розробили орієнтовану на людину оцінку ризику для використання в автономних транспортних засобах.

**III в розумному сільському господарстві та зрошенні.** Ми стали свідками того, що сільське господарство має великий економічний вплив на міста та країни. Автоматизація сільського господарства є джерелом великого занепокоєння та модною темою в усьому світі. Із зростанням населення світу зростає попит на їжу та робочі місця. Традиційної практики фермерів було недостатньо для досягнення цих цілей. Завдяки підтримці штучного інтелекту були розроблені нові автоматизовані технології, які зробили революцію в сільському господарстві. Ці методи захистили врожайність сільського господарства від різних факторів, таких як трудові труднощі, зміни клімату, проблеми продовольчої безпеки та збільшення населення.

Розумне сільське господарство революціонує сільськогосподарську галузь з точки зору соціальної, економічної та екологічної стійкості. Деякі дослідники досліджували способи поєднання цифрових технологій із сільським господарством та штучним інтелектом для розробки розумних, довгострокових сільськогосподарських систем.

Розробки інтелектуальної іригаційної системи на основі штучного інтелекту обговорюються в [24] представили систему зрошення розумного домашнього саду, яку можна зв'язати з існуючими системами керування розумним будинком.

Головна станція містить вбудований алгоритм зрошення з нечіткою логікою (FL), який дотримується правил зрошення трави та дерев. Автори [25] застосували нейронні мережі для оптимізації споживання води на розумних фермах, інтегрувавши їх у запропоновану автоматизовану систему поливу та створивши експертну систему. Крапельне зрошення, мобільна мережа та нечітка техніка були використані. Нечіткий контролер аналізував дані в реальному часі та розраховував необхідну кількість води.

Завдяки швидкому зростанню бездротових сенсорних мереж (WSN) Інтернет речей (IoT) зарекомендував себе як життєздатний метод автоматизації сільського господарства та прийняття рішень. Крім того, дослідниками досліджено технології штучного інтелекту на основі сенсорів у розумному сільському господарстві. Для визначення відповідності сільськогосподарських угідь, запропоновано експертну систему, яка об'єднує сенсорні мережі з алгоритмами ШІ, такими як ANN та MLP. Ця оцінка базується на даних, зібраних з різних сенсорних пристроїв, які використовуються для навчання системи. Шадрін та ін. запропонували вбудовану сенсорну систему, розширену штучним інтелектом, яка дозволяє безперервно аналізувати та прогнозувати на місці динаміку росту листя рослин. У запропонованій методології вони використали RNN під назвою LSTM як ядро ШІ. Агроботів можна використовувати, висаджуючи природне насіння в ґрунт, підвищуючи загальну продуктивність сільського господарства.

**ШІ в розумній охороні здоров'я.** Багато традиційних міст намагаються імітувати ідею охорони здоров'я розумного міста, впроваджуючи традиційні технології та пристрої, об'єднуючи медичні ресурси з інтегрованими рішеннями ШІ. Оскільки розумне здоров'я пов'язане з ІКТ-інфраструктурою розумного міста, його можна класифікувати як підмножину електронного здоров'я. IoT, інтегрований зі штучним інтелектом, приніс значну користь системам охорони здоров'я. Надійність, затримка мережі та пропускна здатність – це лише деякі з проблем, які заважають охороні здоров'я нового покоління стати реальністю

Інтеграція штучного інтелекту в індустрію охорони здоров'я зображена на рис.2.6. ML – це гілка штучного інтелекту, яка використовує статистичні підходи

для навчання з чи без явного програмування. Із запровадженням штучного інтелекту в системі охорони здоров'я в розумних містах різні дослідники зробили нові розробки.

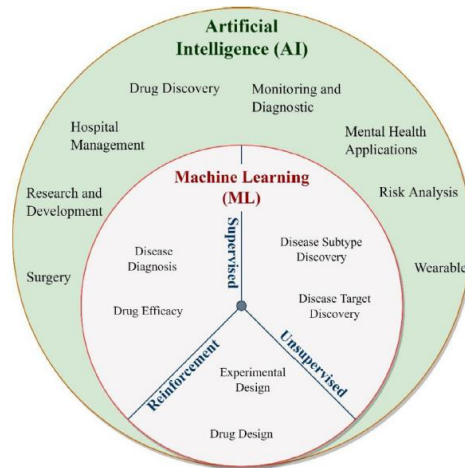


Рис.2.6 Інтеграція ШІ в інтелектуальну охорону здоров'я

Штучний інтелект в охороні здоров'я повинен надавати пацієнтам і клініцистам інформацію в реальному часі, актуальну та адаптовану для прийняття рішень щодо лікування. Прогнозний аналіз із використанням телемедицини допомагає лікарням або медичним установам швидше відстежувати та виписувати пацієнтів, особливо під час пандемій.

**ШІ для безпеки, порятунку та навколишнього середовища в розумних містах.** Проблеми безпеки можуть стати більш поширеними, оскільки населення розумного міста зростає. Завдяки впровадженню штучного інтелекту в розумних містах громадяни отримали захист.

У [26] автори запропонували розумну систему ідентифікації злочинів у місті на основі DRL та ANN для точного розпізнавання та розслідування будь-якої незаконної поведінки. Подібним чином автори представили архітектуру на основі машинного навчання для прогнозування інцидентів і реагування до їх виникнення.

Із зростанням небезпек для навколишнього середовища ШІ все частіше використовується для раннього виявлення загроз у розумних містах. Для розумних міст системи раннього попередження про небезпеку пожежі на основі великих

даних та штучного інтелекту були описані [26]. Автори розробили та обчислили кількісний потенційний ризик пожежі за допомогою нечіткого висновку та запропонували нову концептуальну основу для інтелектуальних систем управління стихійними лихами (IDMS), зосереджену на лісових пожежах і хвилях холоду/спеки, щоб допомогти тим, хто приймає рішення, приймати більш точні рішення використовує величезні дані, зібрані за допомогою штучного інтелекту з відкритим програмним інтерфейсом (API), прогнозування відвідуваності пляжу є важливим інструментом спостереження для прибережних менеджерів для надання послуг безпеки, порятунку, охорони здоров'я та охорони навколишнього середовища.

**Впровадження ШІ для навколишнього середовища та управління відходами.** Здатність розумних міст вирішувати проблеми навколишнього середовища в широкому масштабі та управління відходами зокрема є важливою темою, яку необхідно розглянути. Посилення урбанізації, зростання чисельності населення та економічне зростання сприяють утворенню сміття в країнах по всьому світу.

### **2.3 Аналіз результатів дослідження застосування штучного інтелекту та та майбутні напрями розвитку**

**Обговорення.** Відповідальна ініціатива ШІ майбутнього суспільства спрямована на надання знань, навичок і практичних інструментів. Крім того, це дозволить політикам і ключовим зацікавленим сторонам стимулювати впровадження штучного інтелекту для інклюзивного та сталого соціального та економічного розвитку. Сьогодні міста стикаються з різними труднощами, такими як транспорт, старіння інфраструктури, забруднення навколишнього середовища, охорона здоров'я, конфіденційність і безпека, споживання енергії тощо. Після ретельного перегляду вибраних документів ми підсумували різні алгоритми штучного інтелекту та їх використання з основними інтелектуальними системами.

На рис.2.7. показано розгортання штучного інтелекту в основних доменах розумного міста.

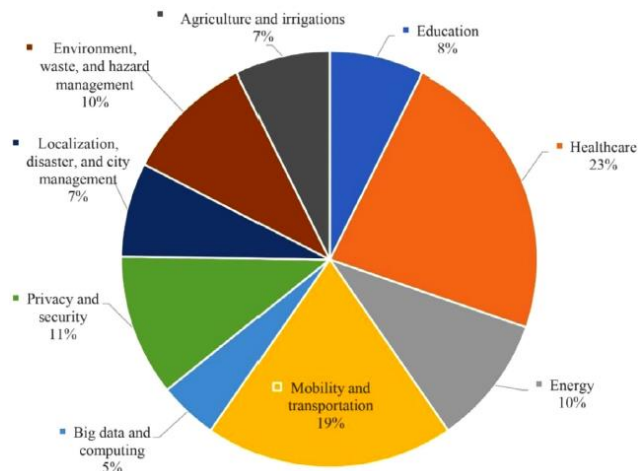


Рис. 2.7 Аналіз розгортань на основі штучного інтелекту в основних доменах розумного міста

Як описано, сфери охорони здоров'я, мобільності та транспорту, конфіденційності та безпеки мають більший вплив на розгортання на основі ШІ в розумних містах. Крім того, 23% ( $n = 25$ ) розробок на основі ШІ вторглися в сектор охорони здоров'я, тоді як 19% ( $n = 21$ ) увійшли в сектор мобільності. Розумне управління енергією становить 10% ( $n = 11$ ) розробок на основі ШІ в розумних містах. Аналіз показує, що навколишнє середовище, відходи та управління небезпекою становлять лише 10% ( $n = 11$ ) розгортань ШІ в містах. Зі збільшенням населення міста можуть виникнути проблеми з безпекою. 11% ( $n = 12$ ) підходів на основі штучного інтелекту було впроваджено для забезпечення конфіденційності та безпеки в сучасних розумних містах.

Крім того, на розумну освіту припадає 8% ( $n = 8$ ) залучення ШІ в розумні міста. ШІ зараз використовується для сільського господарства в розумних містах у 7% ( $n = 8$ ). Останнім часом 5% систем штучного інтелекту використовувалися для великих даних і обчислень у розумних містах.

Після проведення огляду було помічено, що такі алгоритми ШІ, як ANN (20%), RNN/LSTM (15%), CNN/R-CNN (17%), DNN (13%) і SVM/LS SVM (11%)

більш популярні в розумних містах. На основі даних узагальнено алгоритми штучного інтелекту, які використовуються в різних доменах розумного міста. На рис.2.8. зображено різні алгоритми штучного інтелекту, які використовуються в основних доменах розумного міста.

Застосування ШІ дає точні оцінки для розробки енергетичних карт, які можна використовувати для енергетичного моделювання та планування. 27% SVM/LS-SVM і 28% розробок на базі ANN вплинули на енергетичний сектор.

Інтелектуальні методи навчання, комунікації, аналізу, оцінювання та оцінювання учня чи учня, а також моніторинг, контроль процесів і оптимізація відіграють важливу роль у функції ШІ в освіті. Останнім часом завдання викладача та студента виконують системи на основі ШІ. Ми зауважили, що ці технології повинні мати можливість спілкуватися зі студентами, щоб мова та інші елементи були зрозумілими та мали сенс. Очікується, що після 2018 року впровадження інтелектуальних систем освіти в містах (переважно густонаселених) збільшиться. Імовірність більшої участі в освіті на основі ШІ може бути пов'язана зі світовою пандемією. Системи дистанційної освіти були вдосконалені інтелектуальними системами на основі ШІ, оскільки дистанційне навчання є життєво важливим компонентом під час пандемії. Концепція масових відкритих онлайн-курсів (MOOCs), яка виникла з відкритих навчальних матеріалів та електронного навчання, зараз є однією з найновіших і останніх тенденцій в онлайн-навчанні. Різні дослідники часто використовували методології ANN, RNN/LSTM, CNN/R-CNN, DNN, MLP у відповідь на проблеми освіти в понятті розумного міста. 43% рішень на основі CNN/RCNN було виявлено в секторі розумної освіти.

Починаючи з 2019 року, нації постраждали від нової епідемії COVID-19, а міста окрім поточних проблем зіткнулися з новою проблемою. Це також змінило кілька аспектів інтелектуального здоров'я, логістики, моніторингу населення, безпеки даних, управління кризовими ситуаціями тощо. Епідемія лише посилила й виправдала потребу в розумних містах. Багато додатків для розумних міст використовували технології ШІ для додатків машинного бачення у відповідь на нинішню пандемію. 21% RNN/LSTM і 17% розгортань на основі ANN, DNN і



CNN/R-CNN мали найбільший вплив на місто в інтелектуальному секторі охорони здоров'я. Деякі дослідження використовували ШІ для прийняття рішень за допомогою даних, зібраних датчиками та пристроями.

Попередні дослідження, проведені Herath, Karunasena & Herath (2021a), показали, що розумні міста мали нижчий рівень впливу (рівень впливу COVID-19 < 2%), але звичайні міста мали більший рівень смертності. Він також заявив, що використання штучного інтелекту в розумних містах призвело до зменшення взаємодії між людьми, оскільки послуги на основі ШІ роблять життя громадян безпечнішим.

Більшість розумних міст зараз мають справу зі зростанням транспортних потоків, і контроль цих потоків потребує фізичної інфраструктури, а також нових способів мислення та сучасних технологій. У відповідь на такі проблеми було розроблено багато систем управління трафіком. Прогнозуйте дані, щоб мінімізувати кількість викликів, зокрема проблеми з паркуванням, затори, і забезпечити інтелектуальне прокладення маршруту за допомогою передбачення планування поїздки. Алгоритми ANN (16%), CNN/R-CNN (16%) і DNN (16%) використовуються в секторі інтелектуальної мобільності на 48%, тоді як реалізації на основі RNN/LSTM проникли в розумне місто в 26% випадків.

Оскільки технології можуть легко вторгтися в життя людей, тема управління ризиками, конфіденційності та безпеки в розумних містах стає все більш популярною. На сектор розумної безпеки припадає 22% реалізацій на основі CNN/RCNN і 22% реалізацій на основі DNN, тоді як 40% реалізацій на основі нечіткої логіки було використано для розробки розумних систем управління ризиками.

Міста можуть отримати користь від розумного сільського господарства, замінивши обмежену робочу силу та знизивши ризик у процесі виробництва та розподілу.

Виробництво та розподіл, які керуються попитом, також можливі завдяки розумному сільському господарству. За допомогою дистанційного зондування розумні сільськогосподарські системи зменшують кількість відходів, підвищують

продуктивність і забезпечують управління більшою кількістю ресурсів. У секторі сільського господарства та іригації було виявлено 33% розробок на основі ШНМ та 33% розробок на основі нечіткої логіки. Крім того, ми помітили, що 17% MLP і 17% RNN/LSTM були дуже популярні в розумному сільському господарстві та зрошенні.

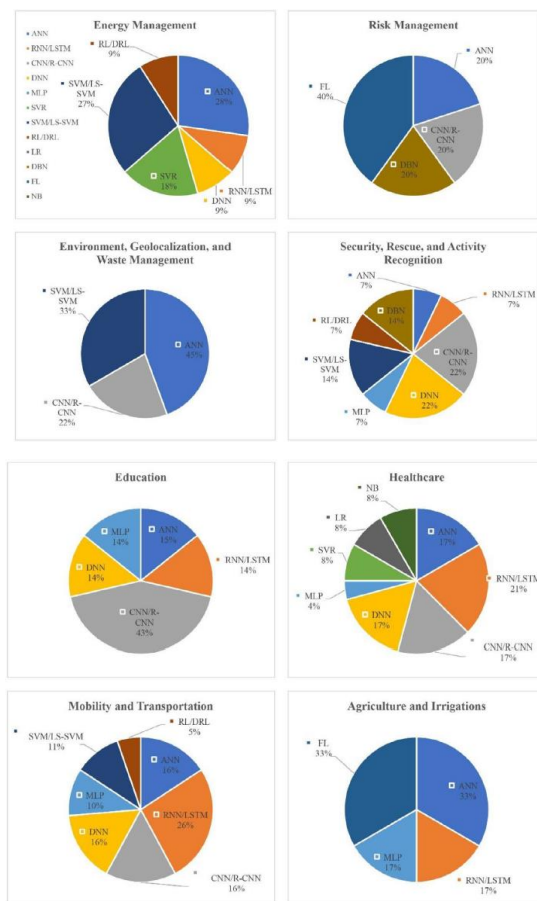


Рис.2.8 Аналіз різних алгоритмів штучного інтелекту, які використовуються в основних доменах розумного міста.

Незважаючи на те, що штучний інтелект має багато переваг у багатьох службах розумного міста, він також має кілька недоліків, включаючи бар'єри збору та обміну даними, етичну основу для пояснення можливостей ШІ, складність алгоритмів, поганий дизайн систем ШІ. Через крихкість систем Інтернету речей і потенційний вплив їх злому на міську інфраструктуру та послуги, безпека та конфіденційність є критично важливими міркуваннями при розгортанні Інтернету речей у програмах розумного міста. Щоб гарантувати природний прогрес,

громадяни повинні бути проінформовані про переваги та недоліки використання ІКТ. Необхідно провести дослідження психологічного ефекту та встановити відповідальність як для розробників, так і для користувачів ІКТ.

**Майбутній напрямок.** Технологія ШІ використовується для розвитку розумних міст, щоб зменшити навантаження на місцеві ресурси та покращити управління та послуги. Зовсім недавно сучасна освітня система перейшла на платформи електронного навчання, які тепер кожен може навчатися через Інтернет. Мобільність і транспортні системи також еволюціонували, і дослідники все ще проводять численні дослідження для управління дорожнім рухом у містах. Штучний інтелект зараз проникає в сектор безпеки, щоб захистити громадян завдяки вдосконаленню багатьох систем на основі Інтернету речей. З появою платформ на основі Інтернету речей інтелектуальні системи для кібербезпеки стрімко розвиваються. Країни по всьому світу зіткнулися з безпрецедентною кризою охорони здоров'я з початку спалаху, що породило складні соціальні, економічні та етичні проблеми.

#### **2.4 Система спостереження за придорожніми умовами на основі комп'ютерного зору для інтелектуального транспорту в розумних містах**

Системи нагляду за придорожньою ситуацією на основі комп'ютерного бачення (CVROSS). У даному підрозділі описано принципи проектування системи та моделювання CVROSS. На рис. 2.9. показано ілюстративний огляд системи спостереження за дорожньою обстановкою на основі комп'ютерного зору (CVROSS), розміщеного на узбіччі дороги. Дизайн CVROSS складається з чотирьох основних компонентів: технологія придорожного спостереження з використанням IoT; попередня обробка даних у CVROSS; підтримка прийняття рішень щодо паркування на узбіччі; оцінка запропонованої системи.

Він спрямований на зменшення проблем подвійного паркування в системах міського транспорту та покращення видимості ситуацій на узбіччях. Прозорість зайнятості та вакансій на узбіччях можна ще більше підвищити.

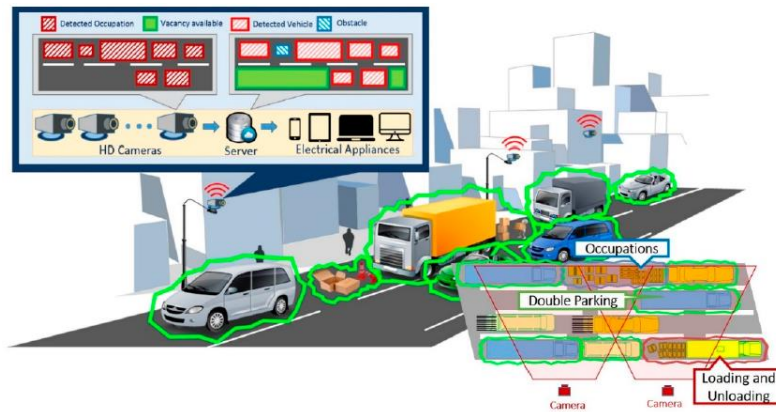


Рис.2.9 Огляд CVROSS

**Технологія придорожного спостереження за допомогою ІоТ.** Щоб ефективно та результативно збирати дані, була розроблена система придорожного спостереження на основі Інтернету речей (CVROSS), щоб вирішити проблему вантажно-розвантажувальних майданчиків. Як показано на рис.2.9., CVROSS був оснащений набором бездротових пристроїв високої чіткості з підтримкою сонячної енергії, які дозволяють системі знімати зображення з узбіччя. Щоб зменшити витрати на електроенергію та уникнути ризиків, пов'язаних із сильною залежністю від зовнішнього джерела живлення або сонячної енергії, пристрої під'єднуються до хмарної платформи бездротовим способом, забезпечуючи безперервну передачу даних до CVROSS і моніторинг даних про зайнятість і вакантність у реальному часі, зберігаючи до датовати інформацію про дороги 24 години на добу, сім днів на тиждень. Використовуючи інтерфейси прикладних програм (API), зібрані дані можна перевірити на етапі попередньої обробки запропонованою моделлю підтримки прийняття рішень; Таким чином, інформацію про дорожній рух можна спостерігати в режимі реального часу. Завдяки модулю зору та машинному навчанню користувачам надаються сотні функцій для отримання зображень із безлічі пристроїв зору для подальшої обробки шляхом визначення місцезнаходження елементів, ідентифікації об'єктів і вимірювання частин. Крім того, машини можуть навчатися на емпіричних даних, роблячи прогнози щодо майбутніх даних. Очікується, що для забезпечення найкращого компромісу між максимальною точністю спостереження та мінімальним полем зору, що

перекривається, для створення найкращої точки огляду будуть використовуватися пристрої HD-огляду. Потім дані зображення обробляються шляхом усунення шумів і налаштування зображення, що призводить до виявлення цільового об'єкта, розпізнавання, ідентифікації, класифікації та розрахунку доступних паркувальних місць. У результаті учасникам дорожнього руху можна надавати корисну та легкодоступну інформацію про завантаженість узбіччя та вільні місця в реальному часі. Крім того, за допомогою методів машинного навчання, що застосовуються в динамічній системі у часовій області, підвищується як точність, так і ефективність системи. Для учасників дорожнього руху, логістичних компаній і громадськості можна створювати різні звіти для прийняття рішень за допомогою аналізу великих даних.

Після встановлення бездротових пристроїв HD vision, підключених до CVROSS, можна використовувати хмарні сервери з протоколами зв'язку IoT. Модулі аналітики даних і обчислень функціонують як внутрішній хмарний сервер, а результати отримуються та відображаються у зовнішніх програмах для кінцевих користувачів. Хід процесу запропонованої системи показано на рис.2.10. Прозорість придорожньої діяльності та інформації можна покращити, а звіти можна створювати в кінці кожного циклу часу після обробки зображення.

Датчики перешкод, таких як дорожній знак, дорожній конус і жовта розмітка. Усе це було перешкодою для розпізнавання та зіставлення транспортного засобу та об'єктів. Зменшення шуму було досягнуто за допомогою «маски зображення» для виключення нерелевантних областей зображення, «вилучення кольорової площини» для перетворення кольорового зображення на двійкове лише чорно-біле зображення та «базової морфології» для зміни форми бінарних об'єктів. на зображенні, а також для налаштування яскравості. Після зменшення шуму покажчик, дорожній конус і позначки жовтого поля були видалені (затемнені), і на екрані залишився лише приватний автомобіль із зображенням білого кольору.

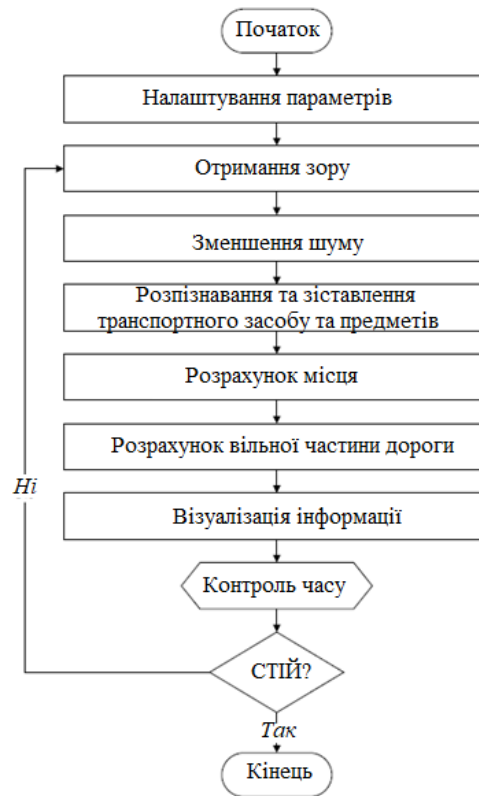


Рис.2.10 Потік процесу CVROSS

**Попередня обробка даних у CVROSS.** Перед запуском CVROSS необхідно налаштувати параметри, зокрема типи транспортних засобів, правила паркування транспортних засобів і мінімальну ширину смуг руху. Вони відповідають положенням, виданим Департаментом планування спеціального адміністративного району Гонконгу [26]. Таким чином, система може порівнювати отримані зображення з шаблонами в базі даних, щоб точніше обробляти зображення та дані на наступних етапах. Щоб полегшити обчислення місць для паркування та доступних місць для паркування, у процесі обчислень ігноруються відмінності в розмірах усіх предметів, спричинені неідентичними відстанями до пристрою огляду. Іншими словами, передбачається, що кожен із предметів, представлених у футлярі, має однакові розміри в міліметрах або пікселях, незалежно від його положення (з точки зору відстані) щодо пристрою зору. У процесі розрахунку попередні параметри включають:

- 640 480 пікселів для всього охоплення пристрою зору
- 11 м регульованої стоянки на вантажівку

- 7 м регульованого паркувального місця на вантажний мікроавтобус
- 5 м регульованого паркомісця на 1 особисте авто
- 6,75 м для мінімальної ширини смуг руху
- шаблони всіх можливих транспортних засобів і об'єктів
- оцінка достовірності, яка вказує на достовірність невідповідності для кожного пікселя для кожного шаблону (оцінки зображення повертають значення від 0 до 1000, де 1000 означає найвищу достовірність).

Після того, як параметри введені в CVROSS, програма починає перший етап циклу часу, тобто отримання зору. Бездротові пристрої високої чіткості, підключені до CVROSS, можуть безперервно автоматично знімати зображення узбіччя. Після цього зібрані дані використовуються для: зменшення шуму та розпізнавання та зіставлення транспортних засобів і об'єктів.

**Зменшення шуму.** Одним з найважливіших етапів у всій системі є шумозаглушення. Це процес видалення шуму із зображення, оскільки шум може погіршити як візуальну якість, так і ефективність наступних завдань обробки [27]. У цьому випадку (згідно з імітаційною моделлю) на узбіччі та в смугах руху є різні об'єкти та сигнали, наприклад покажчики та вказівки на смугах руху. Однак вони, ймовірно, не будуть пов'язані з розпізнаванням і зіставленням транспортного засобу та об'єкта, тому можуть негативно вплинути на результати зіставлення та ефективність подальшого обчислення доступних місць для паркування. Крім того, навіть схожі транспортні засоби, наприклад два приватні автомобілі в цьому випадку, можуть бути однієї моделі, але різного кольору. Таким чином, шумозаглушення може забезпечити видалення непов'язаних об'єктів, індикаторів і сигналів перед подальшою обробкою зображень. Це також запобігає проблемам із класифікацією кольорів. На рис.2.11. показано приклад зменшення шуму. До зменшення шуму зображення, отримане в результаті отримання зору, було сповнене перешкод, таких як дорожній знак, конус трафіку та розмітка жовтого прямокутника. Усе це було перешкодою для розпізнавання транспортних засобів та предметів. Зменшення шуму було досягнуто за допомогою «маски зображення» для виключення нерелевантних областей зображення, «вилучення кольорової

площини» для перетворення кольорового зображення на двійкове лише чорно-біле зображення та «базової морфології» для зміни форми бінарних об'єктів. на зображенні, а також для налаштування яскравості. Після зменшення шуму позначки індикатора, конуса трафіка та жовтого поля були видалені (затемнені), і на екрані залишився лише приватний автомобіль із зображенням білої форми.



Рис.2.11 Приклад шумозаглушення

### **Розпізнавання та зіставлення транспортного засобу та предметів.**

CVROSS пропонує два поширені методи зіставлення: зіставлення за зразком і геометричне зіставлення. Якщо всі елементи, які потрібно виявити та зіставити, мають однакові характеристики, зіставлення за шаблоном є найкращим методом, оскільки він порівнює всі функції та кольори елемента з шаблоном та знятого зображення. Однак не всі транспортні засоби та предмети однакові. Наприклад, деякі власники можуть пофарбувати дах або кузов автомобіля. Тому не всі предмети мають однакові візерунки або однакові кольори. Це може негативно вплинути на ефективність розпізнавання та зіставлення транспортного засобу та об'єкта. Як наслідок, разом із зменшенням шуму (перетворенням захопленого зображення на бінарне зображення лише чорно-біле), геометричне зіставлення здається більш придатним для використання в CVROSS для виявлення, розпізнавання та зіставлення різних типів транспортних засобів і об'єктів на основі їх форми, довжини та інших важливих характеристик, а також для визначення згаданих значень оцінки зображення. Це може запобігти невдалому розпізнаванню та підбору предмета через різні візерунки та кольори. У цьому випадку, коли зображення отримано належним чином і шум зменшено, можна виконати процес



розпізнавання та зіставлення. Розпізнавання транспортного засобу та об'єкта та зіставлення базуються на шаблонах, вставлених під час процесу налаштування параметрів системи. Коли в зоні огляду пристроїв HD-виділення з'являється об'єкт, проїжджає або паркується транспортний засіб, пристрої знімають зображення та автоматично порівнюють їх із шаблонами в базі даних. Таким чином, транспортні засоби та об'єкти можуть бути віднесені до категорії після розпізнавання.

**Підтримка прийняття рішень щодо придорожнього паркування. Оцінка місць паркування.** Далі мною виконано огляд та оцінка обчислення дорожнього простору, оцінка дорожнього місця та підтримка прийняття рішень під час руху, як показано на рис. 2.12.

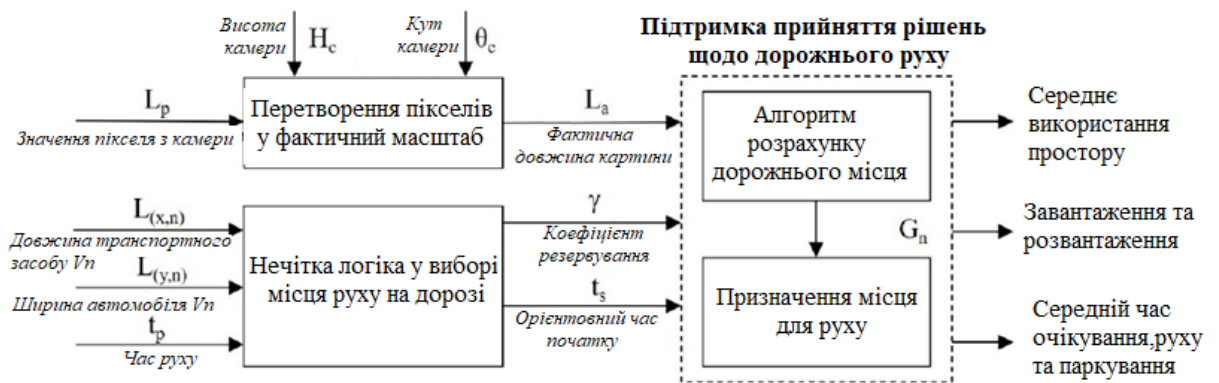


Рис.2.12 Огляд обчислень у CVROSS

Блок-схема показує, що всі обчислення включає три компоненти: перетворення між піксельними значеннями та фактичний масштаб для дорожнього руху; нечітка логіка для резервування паркування транспортних засобів; підтримка прийняття рішень щодо руху.

Після того, як транспортні засоби та об'єкти розпізнано та зіставлено, CVROSS розраховує місця паркування для кожної окремої смуги руху. По-перше, слід здійснити перетворення між значеннями пікселів, зібраним із зображення, і фактичним масштабом за допомогою експериментальних досліджень. Фактичний масштаб дорожнього руху залежить від висоти камери ( $H_c$ ) від рівня землі та кута огляду камери ( $\theta_c$ ). Коефіцієнт перерахунку є важливим для оцінки фактичної кількості паркувальних місць і використовується в наступному аналізі. Як показано

на рис.2.13, на першій смузі руху, показаній у верхній частині зображення, є три транспортні засоби, і кожен з них має чотири кутові точки, тобто  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\} \subseteq \{X_1, Y_1\}$  для першого автомобіля  $V_1$ . Загалом, чотири кутові точки автомобіля  $V_n$  можна представити у вигляді  $\{(x_{4n-3}, y_{4n-3}), (x_{4n-2}, y_{4n-2}), (x_{4n-1}, y_{4n-1}), (x_{4n}, y_{4n})\} \subseteq \{X_n, Y_n\}$ , де  $n$  – кількість транспортних засобів, знятих на зображенні.

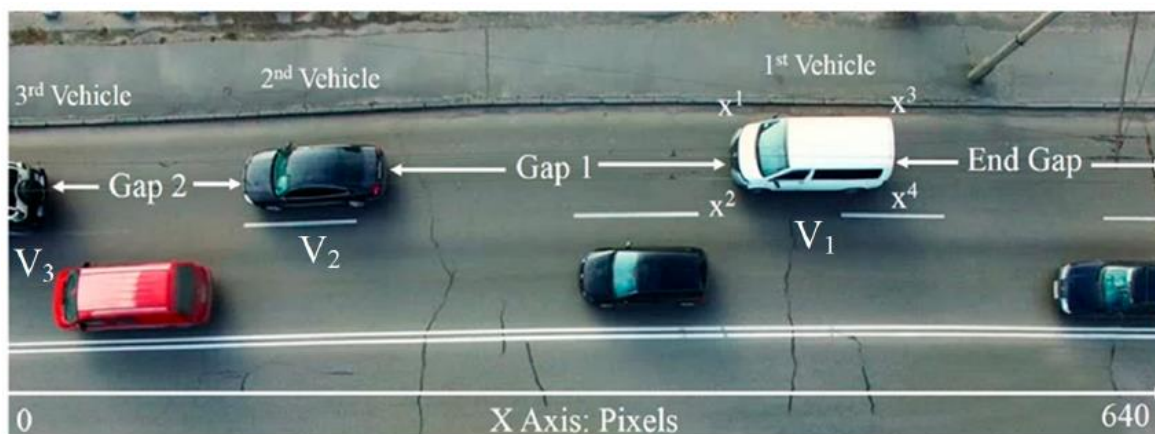


Рис.2.13 Ілюстрація розрахунку місця на дорозі

У цьому дослідженні передбачається, що камери встановлені на вуличних ліхтарях та прилеглих об'єктах, тому висота та кути огляду камер можуть бути різними. Таким чином, необхідне коригування зображень, зроблених камерами, які не встановлені на вуличних ліхтарях, щоб стандартизувати зображення для перетворення. Посилаючись на урядове проектування вуличного освітлення [26] та іншу роботу [27], можна встановити відображення коефіцієнта перетворення для роботи з різними заздалегідь визначеними висотами та кутами камер, щоб стандартизувати їх поле зору (FOV). . Рис.2.14. ілюструє сценарій встановлення камер на різній висоті з різними кутами огляду. За замовчуванням камери, встановлені на вуличних ліхтарях, встановлені вертикально, щоб покривати певний кут зору. Для інших налаштувань камери з іншою висотою та кутами огляду зображення та поле зору повертаються до стандартних налаштувань.

Для досягнення вищезазначеної мети встановлюється профіль відображення перетворення за допомогою експериментальних досліджень для кількох

попередньо визначених конфігурацій, і, таким чином, визначається співвідношення  $L_a/L_p$  для перетворення між піксельними значеннями та фактичними масштабами дорожнього руху. Отже, коефіцієнт перерахунку можна застосувати для розрахунку фактичної довжини та ширини транспортних засобів.

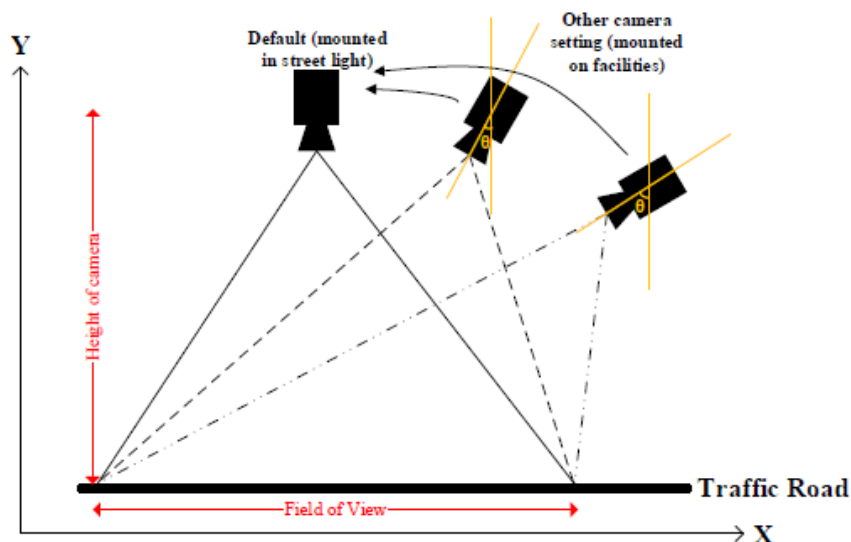


Рис.2.14 Ілюстрація різних положень камери

Після отримання чотирьох кутових точок кожного транспортного засобу CVROSS обчислює максимальні та мінімальні значення  $x$  і  $y$ , тобто  $L(x,n)$  і  $L(y,n)$ , щоб представити фактичну довжину та ширину транспортного засобу.  $V_n$  відповідно, відповідно до рівнянь (2.1) і (2.2). Використовуючи наведену вище інформацію, відомий розмір транспортного засобу, знятого камерою, і місця для паркування транспортного засобу обчислюються за допомогою нечіткої логіки:

$$L_{(x,n)} = [\max(X_n) - \min(X_n)] \cdot \frac{L_a}{L_p} \quad (2.1)$$

$$L_{(y,n)} = [\max(Y_n) - \min(Y_n)] \cdot \frac{L_a}{L_p} \quad (2.2)$$

У нечіткій логіці є три процеси: фазифікація, механізм логічного висновку та дефазифікація.

Вони оцінюють коефіцієнт резервування  $\gamma \in [0,1]$  та розрахунковий час перебування  $t_s$  за трьома входами, наприклад, час паркування  $t_p$ ,  $L(x,n)$  і  $L(y,n)$ . У фазифікації вхідні та вихідні параметри фазифікуються за допомогою набору

визначених нечітких класів, таких як «маленький», «середній» і «високий», і ступінь приналежності  $\mu$ , усі приймають значення від нуля до одиниці. Наприклад, час паркування  $t_p$  фазифікується за допомогою відповідних функцій належності, щоб показати ступінь належності, як у рівнянні (2.3), де  $x_i$  представляє всі елементи в  $t_p$ ,  $\mu_A(x_i)$  є функцією належності нечіткого класу  $A$  in  $x_i$  і  $n$  – загальна кількість елементів  $x$ . У системі логічного висновку набір правил  $R = (R_1, R_2, R_3, \dots, R_m)$  використовується для оцінки агрегованих виходів із вхідних параметрів, де  $m$  — загальна кількість правил, зібраних під час опитування експертів предметної області. Механізм механізму логічного висновку називається методом Мамдані [27], де наслідки правил виражаються нечіткими наборами, а не лінійними математичними виразами. Рівняння (2.4) показує процес висновку для отримання сукупних результатів. Оператор "OR" використовується для об'єднання всіх значень функції належності, що призводить до обмеженої області у вихідних функціях належності. Під час дефазифікації вихідні дані в нечітких наборах потім перетворюються назад у чіткі значення  $x'$  за допомогою методу центроїда, який вимірює центр ваги обмеженої області, як показано в рівнянні (2.5). У додатку, коли на зображенні розпізнається регіон транспортного засобу, можна виміряти час паркування, коефіцієнт резервування та очікуваний час перебування транспортного засобу, щоб справді відобразити зайняті місця для паркування автомобіля.

Функції приналежності, які використовуються в нечіткій логіці, попередньо визначені інтуїтивно під час опитування експертів у галузі та промисловців, як показано:

$$t_p = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.3)$$

$$\mu_B(Y_i) = \max\{\min_i[\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_j}(x_j)]\} \quad (2.4)$$

$$x' = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x dx}{\int \mu_A(x) dx} \quad (2.5)$$

Щоб обчислити паркувальний проміжок між транспортними засобами, слід взяти до уваги чотири ситуації, як показано на малюнку 8. Щоб запобігти помилкам необмеженого значення, для обчислення використовується найбільше значення

пікселя для довжини (640-й піксель, а не перший піксель). перший розрив, а саме кінцевий проміжок ( $G_0$ ). Тенше, відповідно до рівняння (2.6), кінцевий зазор ( $G_0$ ) може бути обчислений шляхом віднімання максимального а $r$ -значення першого транспортного засобу  $V_{1i}$  від максимального значення пікселя для довжини, тобто 640 пікселів. Для випадків 1 і 2 на рис.8 розрахунок кінцевого зазору виконується за допомогою рівняння (2.6), а кінцевий зазор є частковим паркувальним зазором між двома транспортними засобами, таким чином, інформація з правої камери повинна розглядатися для вимірювання повний паркувальний проміжок між двома автомобілями (як у випадку 1 або 3). Для випадків 3 і 4 на рис.2.15, оскільки максимальне значення  $x$  першого транспортного засобу  $V_1$  дорівнює максимальному значенню пікселя, це означає, що кінцевий зазор дорівнює нулю, а довжина першого транспортного засобу, зафіксованого камерою, не відповідає фактичній довжині транспортного засобу. Інформацію з правої камери слід зібрати та поєднати з частковою довжиною  $V_1$ , щоб підтвердити фактичну довжину  $V_1$ , тоді як ситуація з лівою камерою має бути подібною до випадку 2 або 4. В алгоритмі паркувальний проміжок  $G_n$  між транспортними засобами  $n$  і  $n+1$  можна узагальнити для однієї конкретної смуги руху, як показано в рівнянні (2.7).

Паркувальний проміжок (у піксельних значеннях) можна отримати та перетворити назад у фактичний масштаб за допомогою коефіцієнта перетворення пікселів у фактичний масштаб. Розглядаючи випадки 1 і 3,  $X_{n+1}$  не можна спостерігати для обчислення  $G_n$ , так що  $\max(X_{n+1})$  визначається як нуль, що визначає край захопленого зображення.

Усі вищезазначені ситуації були враховані в запропонованій системі, а потім було проведено розподіл паркувальних місць для трьох типів транспортних засобів: приватного автомобіля, вантажного мікроавтобуса та вантажівки, з нормативними паркувальними місцями 5 м, 7 м та 11 м відповідно [28].

$$G_0 = Pixel_{max} - \max(X_1) \quad (2.6)$$

$$G_n = Pixel_{max} - \max(X_{n+1}) - \sum_{i=0}^{n-1} G_i - \sum_{j=1}^n \left[ L_{(x,j)} \cdot y_j \cdot \frac{L_p}{L_a} \right], \text{ де } n \neq 0 \quad (2.7)$$

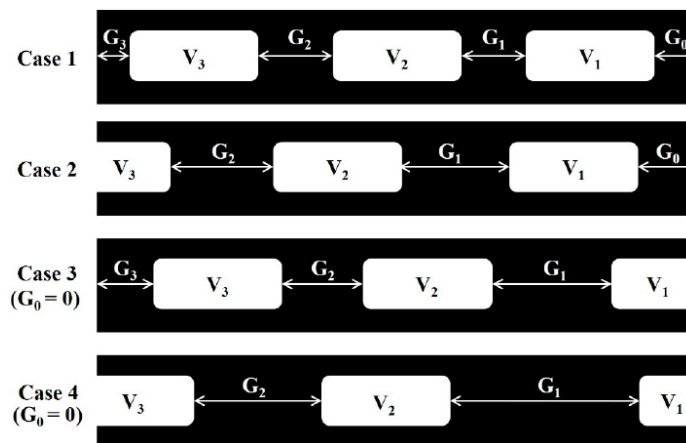


Рис.2.15 Чотири можливі випадки захоплення зображень

**Місце на дорозі та функції підтримки прийняття рішень.** Розрахунок паркувальних місць корисний для обчислення доступних паркувальних місць. Після збору даних про паркувальні місця на смугах руху CVROSS може виконувати подальшу обробку шляхом ділення довжини кожного проміжку на довжину різних типів транспортних засобів  $\omega$  (вводиться як один із параметрів), через рівняння (2.8) для вантажівки, фургона та приватного автомобіля. Якщо довжина менша за довжину приватного автомобіля, об'єкти класифікуються як «інші», наприклад, перешкоди на дорозі. Таким чином, інформація про доступні місця для паркування ( $S_{truck}$ ,  $S_{van}$  і  $S_{private\ car}$ ) для трьох типів транспортних засобів на кожній окремій смузі руху або навіть на всій дорозі створюється, щоб інформувати учасників дорожнього руху про зайнятість узбіччя в реальному часі та вакансія. Отже, запропонована система може забезпечити три функції підтримки прийняття рішень: оцінка середнього використання простору, вимірювання активності завантаження та розвантаження та середнього часу очікування паркування. Враховуючи, що на всій смузі руху є  $p$  камер, середнє використання простору ( $U$ ) обчислюється шляхом ділення загальної кількості доступних паркувальних місць на максимальну довжину зображення ( $u$  пікселях), як показано в рівнянні (2.9), де  $G_{ij}$  представляє доступний паркувальний простір  $i$ , визначений камерою), а  $Pixel_{(j, max)}$  представляє максимальне значення пікселів камери  $j$ . Якщо простір для руху зайнятий вантажівками та вантажними мікроавтобусами замість приватних автомобілів, вони вважаються такими, що займаються вантажно-

розвантажувальними роботами. Показник виконання вантажно-розвантажувальних робіт (LUA) розраховується шляхом ділення суми довжини транспортних засобів, для  $L(x,n) \geq 5$ , на фактичну загальну довжину смуги руху ( $L_{traffic}$ ), що знаходиться під спостереженням камери  $p$ , як у рівнянні (2.10).

Передбачається, що індикація вантажно-розвантажувальних робіт у запропонованій системі оновлюється щогодини, щоб зручно відстежувати дорожню ситуацію. Для середнього часу очікування для паркування запропонована система визначатиме час очікування для всієї смуги руху, коли будь-яке доступне місце для паркування  $G_n$ , менше, ніж необхідне місце для паркування приватного автомобіля (що представляє найменше місце для паркування для трьох типів транспортних засобів). Тому користувачі можуть прийняти відповідне рішення за трьома вищезазначеними показниками:

$$S_k = \frac{1}{w} \cdot \left[ G_n \cdot \frac{L_a}{L_p} \right], \text{ де } k = \textit{truck, van or private car}; w = 5,7 \text{ or } 11 \quad (2.8)$$

$$U = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^n G_{ij}}{\sum_{j=1}^p j \cdot \textit{Pixel}_{(j,\max)}} \quad (2.9)$$

$$LUA = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^n L_{(x,i)}^j}{L_{traffic}}, \text{ for } L_{(x,i)}^j \geq 5 \quad (2.10)$$

Крім того, CVROSS було запущено з керуванням міткою часу. Часте оновлення інформації в режимі реального часу дозволяє учасникам дорожнього руху отримувати корисну інформацію про завантаженість і вакантність узбіччя в реальному часі. Таким чином, учасники дорожнього руху можуть ефективно використовувати інформацію для прийняття рішень у режимі реального часу, таких як паркування транспортних засобів на дорозі або пошук інших доріг. Крім того, запуск програми із затримкою може запобігти перевантаженню та перевантаженню сервера, таким чином зберігаючи високий рівень стабільності та точності обчислень.

## **РОЗДІЛ 3 ВИЛУЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ РИЗИКОВАНОЇ ПОВЕДІНКИ УЧАСНИКІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ОСНОВІ БАЧЕННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ SMART CITY**

Пішохідні переходи становлять серйозну загрозу для пішоходів, але нам бракує щільних даних про поведінку, щоб дослідити ризики, з якими вони стикаються. Одним із проривів є аналіз потенційно ризикованої поведінки учасників дорожнього руху (наприклад, зіткнення, яке мало не сталося), що може надати підказки для вжиття заходів, таких як розгортання додаткових інфраструктур безпеки. Щоб зафіксувати ці тонкі потенційно ризиковані ситуації та поведінку, використання датчиків зору полегшує вивчення та аналіз потенційних ризиків дорожнього руху. У цьому дослідженні пропонується новий підхід до визначення потенційно ризикованої поведінки транспортних засобів і пішоходів за допомогою камер відеоспостереження, встановлених на дорогах. Це дослідження має три нові внески: переробка камер відеоспостереження для спостереження, щоб сприяти вивченню середовища переходу; створення одного послідовного процесу від розділення відео до вилучення їх поведінкових особливостей; аналіз вилучених поведінкових особливостей та уточнення інтерактивних моделей переміщення в середовищі перетину.

Такі дані є основою для розуміння ризикованої поведінки учасників дорожнього руху та додатково допомагають особам, які приймають рішення, приймати ефективні рішення щодо покращення та підвищення безпеки дорожнього середовища.

### **3.1 Візуальна система безпеки дорожнього руху**

Було докладено багато зусиль для створення транспортної системи, що базується на баченні, особливо зосереджуючись на безпеці. Наприклад, автори в [11] запропонували вбудовану структуру на основі монокулярного зору для автоматизації виявлення даних про випадкові події. Перевагами бортової



монокулярної камери є велика зона покриття та численні джерела даних. У дослідженні час до зіткнення (TTC) і відстань до безпеки (DTS) використовуються для виявлення майже промаху. Подібним чином автори в [20] зосередилися на інцидентах, які майже не відбулися, використовуючи записи водіння, встановлені в пасажирських транспортних засобах. Зокрема, TTC було розраховано для аналізу потенційного ризику між пішоходами та транспортними засобами на основі відеокадрів, знятих записами водіїв. Результати показують, що середній TTC коротший, коли пішоходи не користуються пішохідним переходом і вийшли з-за перешкод. Автори в [21] запропонували нову аналітичну систему для потенційних сцен ризику для пішоходів на основі відеоматеріалів, отриманих камерами дорожнього спостереження, які вже розміщені на неувімкнених пішохідних переходах. Подібним чином автори в [22] запропонували нову структуру для системи попередження про зіткнення з пішоходами на перехресті (IPCWS) на основі датчиків зору, яка попереджає про зіткнення водіїв, які наближаються до перехрестя, передбачаючи намір пішохода переходити на основі різних алгоритмів машинного навчання. Крім того, автори в [22] розглянули фактор оцінки 3D-пози в режимі реального часу, щоб прояснити намір пішохода переходити дорогу.

У цьому дослідженні ми також зосереджуємось на вилученні поведінкових особливостей об'єктів, особливо ризикованої поведінки, з відеоматеріалу та їх аналізі. Насправді існує багато видів вимірювань ризикованої поведінки, особливо сурогатних вимірювань, таких як швидкість TTC і DTS, а також швидкості та відстані транспортного засобу та пішохода. У нашому експерименті ми обробляємо загальні характеристики поведінки, такі як швидкість, відстань і запас безпеки пішоходів (PSM), зосереджуючись на їх автоматичному виділенні, а потім оцінюємо продуктивність витягнутих характеристик із відео.

### **3.2 Розташування даних**

У цьому підрозділі виконано опис набору відеоданих, який використовувався в експерименті, і те, як виділити особливості поведінки транспортних засобів і

пішоходів, які можуть вплинути на ймовірність потенційного ризику зіткнення між ними у візуальному середовищі. Спочатку обробляється заданий вхідний відеопотік від камер відеоспостереження, що називається попередньою обробкою, що складається з трьох кроків: розділення рухомої сцени; виявлення об'єкта на вид зверху; відстеження об'єктів. На виході ми можемо отримати траєкторії об'єктів, а потім з цих траєкторій витягти особливості поведінки об'єктів.

**Джерела даних.** У експериментах використовуємо відеодані з камер відеоспостереження, розміщених на дев'яти дорогах міста. Інформація для кожного місця впорядкована в табл.3.1, включаючи характеристики дороги та метадані запису. Ці камери встановлюються на пішохідних переходах і призначені для фіксації та запобігання вуличним злочинам. Деякі з них розгортаються в шкільних зонах, які є певними дорогами поблизу закладів для дітей, наприклад, початкових шкіл, дитячих садків, коледжів та університетів.

Таблиця 3.1.

## Інформація про отримані плями

Spot код	Сам. Ім'я	Довжина піш. перех. (м)	Шкільна зона	Камера шв.	Кіл-ть смуг	Сигн. світло	Обм.шв. (км/год)	Розмір рами	Кадр за с. (FPS)
A	Початкова школа №2	близько 8 м	+	×	2	×	30 км/год	1920 × 1080	25
B	Початкова школа №1	близько 11 м	+	×	3	×	30 км/год	1920 × 1080	25
C	Початкова школа, задні ворота №2	близько 20 м	+	×	4	×	30 км/год	1920 × 1080	25
D	Муніципальний південний дитячий садок №3	близько 7 м	+	×	2	+	30 км/год	1280 × 720	30
E	Дитячий садок №2	близько 8 м	+	×	2	+	30 км/год	1280 × 720	30
F	Початкова школа навпроти №3	близько 23 м	+	+	4	×	30 км/год	1280 × 720	30
G	Комплекс №9 задні ворота №2	близько 8 м	×	×	2	+	30 км/год	1280 × 720	15
H	Дитячий садок №2	близько 8 м	+	×	2	+	30 км/год	1280 × 720	11
I	Дитячий садок №3	близько 7 м	+	×	2	+	30 км/год	1920 × 1080	25

Усі відеокадри оброблялися локально на комп'ютерному сервері, які розгорнуті в інтегрованому операційному центрі Osan Smart City, і отримали оброблені дані траєкторії лише після видалення оригінальних відеоданих. Це було зроблено для захисту конфіденційності всіх, хто фігурує на кадрах. У майбутніх системах можуть використовуватися підключені до Інтернету камери, які обробляють зображення на пристрої в режимі реального часу та передають лише інформацію про траєкторію назад на сервери.

На рис.3.1*a–i* показано зображення відеоспостереження, які фактично записуються в точках А–І відповідно. Оскільки ці місця мають високу «плаваючу кількість населення» під час поїздок через їх близькість до шкіл і житлових комплексів, використано відео, зняте в робочі дні, з 8:00 до 10:00 та з 18:00 до 8:00 вечора.

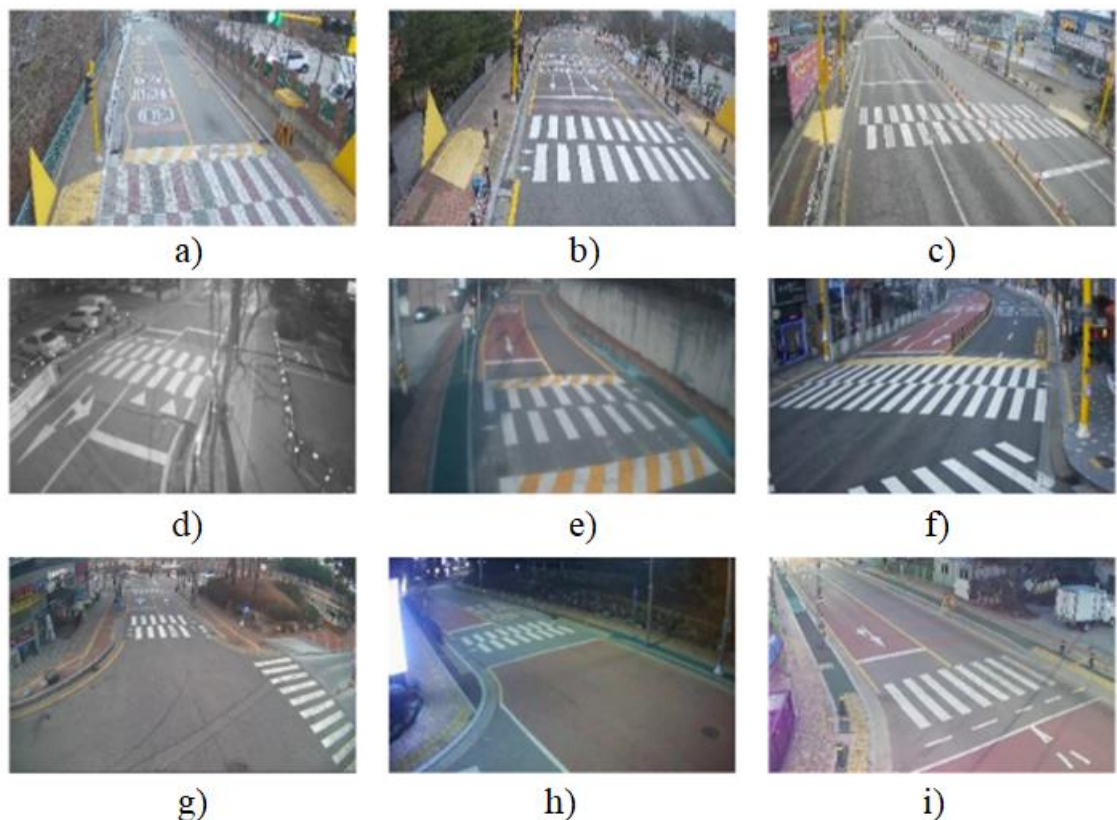


Рис.3.1 Фактичні види камер відеоспостереження в (а) точці А; (b) пляма В; (с) Пляма С; (d) пляма D; (e) Пляма Е; (f) Пляма F; (g) Пляма G; (h) Пляма Н; (i) Точка І

**Попередня обробка.** Розбиття рухомої сцени. На першому етапі попередньої обробки ми розділяємо відеопотік лише на відеоролики з рухомим транспортним засобом або пішоходами, які вважаються «сценою з рухом». Метою цього кроку є ефективна обробка відеозапису. Загалом, час від часу з'являються сцени з рухом ,рис.3.2., але камери відеоспостереження на дорозі постійно записують протягом 24 годин, тому більшість кадрів є неактивними. Таким чином, необхідно вирішити, обробляти вхідний кадр чи ні. Таким чином, для обробки відеоматеріалів потрібен метод із простою та низькою обчислювальною складністю.

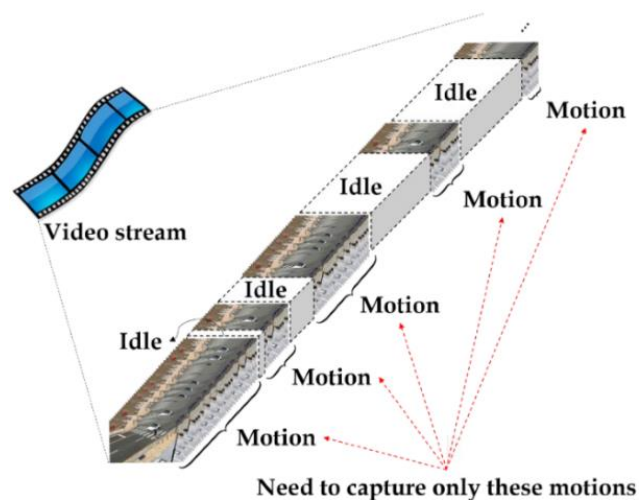


Рис.3.2 Склад фактичного відеопотоку

Для цього ми застосовуємо метод кадрової різниці, широко використовуваний підхід для виявлення рухомих об'єктів зі стаціонарних камер [25, 26]. Цей метод просто обчислює різницю на основі пікселів між двома кадрами, як зображення, отримане в момент часу  $t$ , позначене  $I(t)$ , і фонове зображення, позначене  $B$ :

$$P[F(t)] = P[I(t)] - P[B] \quad (3.1)$$

де значення пікселя в  $I(t)$  позначається  $P[I(t)]$ , а  $P[B]$  означає відповідні пікселі в тій же позиції на фоновому кадрі. У результаті ми можемо спостерігати за інтенсивністю позицій пікселів, які змінилися в двох кадрах, а потім виявити «рух», порівнюючи його з порогом таким чином:

$$|P[I(t)] - P[I(t + 1)]| > Threshold \quad (3.2)$$

Приклад різниці кадрів показано на 3.3. На практиці метод різниці кадрів застосовується до всіх кадрів, і якщо в даних двох послідовних кадрах розпізнається рух, працюють наступні алгоритми.

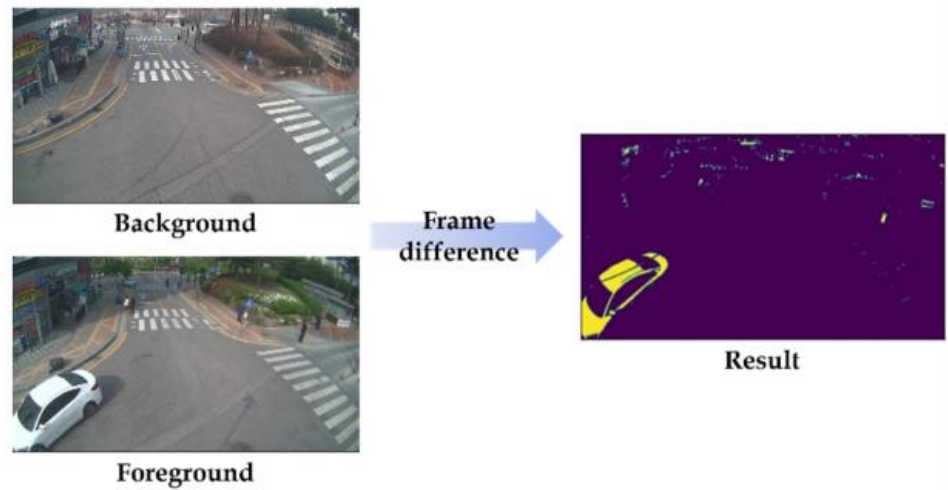


Рис.3.3. Приклад різниці кадрів

**Виявлення об'єктів у вигляді зверху.** Далі об'єкти в рухомій сцені виявляються за допомогою моделей виявлення об'єктів на основі глибокого навчання. Ми використали маскову модель R-CNN (регіональна згорточна нейронна мережа), розширення швидшої R-CNN, яка була попередньо навченою моделлю з ResNet-101-FPN набором даних зображень Microsoft common objects in context (MS COCO). У нашому експерименті ми використовуємо платформу Detectron 2, реалізовану Facebook AI Research (FAIR). Оскільки точність була близькою до ідеальної для цих об'єктів у нашому відеоматеріалі, ця попередньо підготовлена модель не потребувала подальшого навчання для наших цілей. Як результат виявлення об'єкта ми можемо отримати інформацію обмежувальної рамки з чотирма координатами пікселів  $xu$  для кожного об'єкта.

Як правило, камери відеоспостереження, встановлені на дорозі, записують з похилих ракурсів, тому важко точно виділити їх поведінкові характеристики, такі як швидкість і положення. Щоб вирішити цю проблему, ми розпізнаємо точки «кінця землі» транспортного засобу та пішохода, які розташовані безпосередньо під переднім бампером і на землі між ногами відповідно. Кінцева точка

транспортного засобу на землі фіксується за допомогою матриці маски об'єкта, виведеної з моделі маски R-CNN, і лінії центральної осі смуги транспортного засобу, а один із пішоходів вважається середньою точкою від його точок навшипінках. в межах маски. Потім перспективи отриманих кінчиків наземних точок перетворюються на вид зверху. Більш детальні процедури для цього перетворення пояснюються в наших попередніх дослідженнях [29].

**Відстеження об'єктів.** Нарешті, ідентифікуємо кожен об'єкт у послідовному кадрі за допомогою алгоритму відстеження об'єктів. Цей алгоритм враховує відстань під час постулювання місця, куди може переміститися об'єкт у наступному кадрі, віддаючи пріоритет найближчому об'єкту, а не найімовірнішому. Однак це призводить до деяких помилок. Інші об'єкти вважаються такими, що зникли з кадру, якщо їх відстань до решти позицій перевищує порогове значення. Крім того, у процесі обробки об'єктів на основі зору є шум у позиціях виявлених об'єктів, тому попередньому алгоритму відстеження об'єктів важко впоратися з цією проблемою, як показано на рис.3.4. Припустимо, що є два об'єкти, А і В , у кількох послідовних кадрах, а траєкторії А і В з кадрів 1–3 наразі вже з'єднані та намагаються правильно призначити А4 іВ4.

Кругові позиції означають фактичні позиції кожного об'єкта, а трикутні означають визначені позиції на відео за допомогою моделі виявлення об'єктів. На практиці точки контакту об'єкта мають шум через модель виявлення об'єкта або процес розпізнавання точки контакту, тому існує невелика різниця між фактичним положенням об'єкта та виявленим положенням, що впливає на ефективність відстеження об'єкта. Таким чином, необхідно підвищити точність алгоритму відстеження шляхом регулювання цього шуму.

Щоб усунути ці помилки, ми застосували модифікований метод фільтра Калмана для більш точного відстеження об'єктів від кадру до кадру. Було проведено багато досліджень щодо відстеження та індексації об'єктів у різних галузях інформатики та транспорту [30].

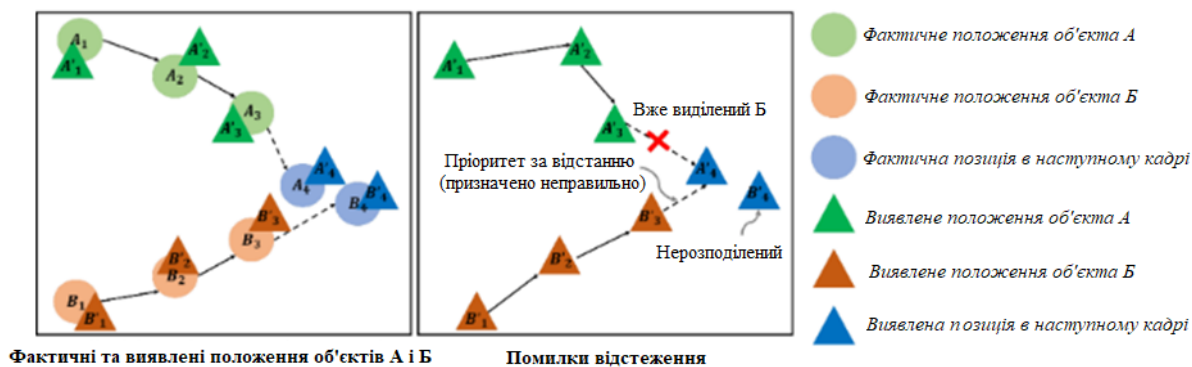


Рис.3.4 Приклад фактичних рухів двох об'єктів ( ліворуч ); помилки відстеження ( праворуч ).

Зокрема, фільтри Калмана використовуються в широкому діапазоні інженерних застосувань, таких як комп'ютерне бачення та робототехніка. Вони можуть ефективно обчислювати процес оцінки стану і можуть бути застосовані для оцінки невідомих поточних або майбутніх станів об'єктів у відео. Фільтр Калмана обчислює наступне положення об'єкта, багаторазово виконуючи два кроки: передбачення стану; оновлення вимірювань.

На етапі прогнозування стану значення параметрів поточного об'єкта прогнозуються з використанням попередніх значень, таких як положення та швидкості. На етапі оновлення вимірювань значення параметрів поточного об'єкта оновлюються з використанням попередніх прогнозованих значень та отриманої інформації про поточне положення об'єкта.

Алгоритм відстеження та індексації, який використовується в цьому дослідженні, складається з двох частин: оцінка балів-кандидатів на основі згладжування; призначення об'єктів у наступному кадрі шляхом обчислення та порівняння відстаней.

По-перше, згладжуються існуючі точки траєкторії за допомогою фільтра Калмана, щоб зробити позиції та швидкості більш узгодженими. Потім виконується прогноз наступного розташування траєкторії та обчислюємо всі відстані між цим і потенційними місцями в наступному кадрі, вибираючи найближче збіг. На відміну від методу відстеження об'єктів (без фільтра Калмана), модифікований метод відстеження об'єктів на основі фільтра Калмана має крок згладжування, тому він



може регулювати положення об'єктів із шумом. Як показано на рис.3.5, згладжуються траєкторії в кадрах 1–3 і прогнозуємо положення об'єкта в кадрі 4. Згладжені точки представлено у вигляді прямокутників, позначених подвоєними апострофами, наприклад  $A''_1$ ,  $A''_2$ ,  $B''_3$  а оцінювані цільові об'єкти позначені C, D, E і F. Далі ми обчислюємо відстані між початковими цільовими об'єктами та оцінюваними цільовими об'єктами, позначені  $Dist( origin\ targetob\ jet, estimated\ target\ object)$ .

Нарешті, цільовий об'єкт з найменшою відстанню від свого передбачення призначається траєкторії, і цей процес повторюється до останнього кадру в сцені.

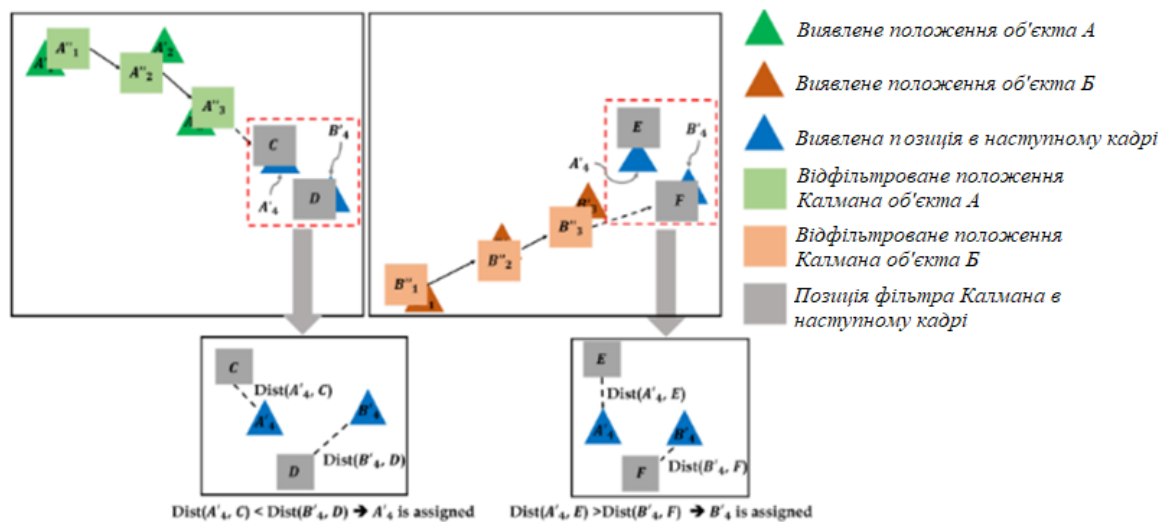


Рис. 3.5 Процес відстеження об'єктів та алгоритм індексації для об'єктів А ( ліворуч ) і Б ( праворуч ).

У результаті вилучено близько 50 000 сцен із усього набору відеоданих і використано 45 890 сцен із об'єктами, пов'язаними з дорожнім рухом, як показано в таблиці 2. Кожна сцена охоплювала приблизно 38 кадрів, або 1,38 с. Більшість сцен захоплювали лише автомобілі, що проїжджали повз, тоді як «інтерактивні сцени» залучали як транспортні засоби, так і пішоходів у сцені одночасно. Нарешті отримано сцени з траєкторіями руху транспортних засобів і пішоходів на відеозаписі, і підготовка до виділення особливостей їх поведінки завершена.



Таблиця 3.2.

## Кількість витягнутих сцен після попередньої обробки

Spot код	Кількість сцен (після попередньої обробки)		Загальна кількість кадрів	Середнє Кадри в одній сцені (діапазони)
	Сцени лише в автомобілі	Інтерактивні сцени		
A	4221		136,189	32,26 кадрів (1,29 с)
	681	1540		
B	2908		86,249	29,66 кадрів (1,18 с)
	1721	1187		
C	4111		382 980	93,16 кадрів (3,72 с)
	2321	1790		
D	6955		219,240	31,52 кадрів (1,05 с)
	4633	2322		
E	3876		125 935	32,49 кадрів (1,08 с)
	2481	1395		
F	7587		377,752	44,51 кадрів (1,48 с)
	6494	1093		
G	5612		175,247	31,22 кадру (2,08 с)
	3533	2079		
H	2845		47,468	16,68 кадрів (1,11 с)
	1843	1002		
I	7775		260,260	33,47 кадрів (1,34 с)
	4572	3203		

### 3.3 Аналіз особливості поведінки та автоматизація процесу

У цьому підрозділі виконано опис, які особливості поведінки було вилучено та як автоматизувати ці процеси. Насправді існує багато видів індикаторів для вимірювання потенційних ризиків зіткнень, але практично важко впоратися з усіма ними. Таким чином, у експерименті виконано виділення близько 10 ознак серед великої кількості таких ознак, які можуть бути пов'язані з потенційно ризикованою поведінкою зіткнення, як показано в табл. 3.3. , і методи вилучення детально описані нижче.

Швидкість транспортних засобів і пішоходів : загалом швидкість об'єкта є основним показником, який може сигналізувати про потенційно небезпечні ситуації. Швидкість автомобіля є значним фактором ризику загибелі пішоходів і має тісний зв'язок із тяжкістю аварії під час зіткнення транспортного засобу з пішоходом [31].

Таблиця 3.3.

## Витягнуті ознаки в нашому експерименті

Цільовий об'єкт	Назва функції	Опис	Приклад
Транспортний засіб	Швидкість	- Швидкість автомобіля змінюється кадрами - Одиниця: км/год	[14.3, 12.0, 9.8, 4.3, 7.8, 12.1...]
	Позиція	- Положення транспортних засобів змінюються на основі пішохідного переходу кадрами - Позначається як «до пішохідного переходу», «на пішохідному переході» або «після пішохідного переходу»	- [перед пішохідним переходом, на пішохідному переході] [до пішохідного переходу, на пішохідному переході, після пішохідного переходу]
	Прискорення	- Прискорення автомобіля змінюються кадрами - Представлено як «прискорення (acc)», «уповільнення (dec)» або «без змін (nc)»	- [acc, nc] - [nc] - [acc, nc, acc]
	Відстань до пішохідного переходу	- Зміни відстані між транспортними засобами та пішохідними переходами за кадром - Одиниця: м	[4.1, 3.3, 1.9, ...]
	Автомобіль зупиняється перед пішохідним переходом	- Чи зупинилися транспортні засоби перед проїздом пішохідного переходу в одній сцені - Позначається як «стоп» або «без зупинки»	- СТІЙ - немає зупинки
Пішохідний	швидкість	- Швидкість пішоходів змінюється за кадром - Одиниця: км/год	- [2.3, 2.0, 1.9, ...]
	Позиція	- По кадрах змінюються положення пішоходів - Позначається як «тротуар», «пішохідний доріжок» або «СІА (територія, де впливають пішохідні переходи)»	- [тротуар, ЦРУ, тротуар] - [пішохідний перехід]
Взаємодія транспортного засобу з пішоходом	Відстань	- Відстань між автомобілем і пішоходом змінюється кадром - Одиниця: м	- [4.1, 3.3, 1.9, ...]
	Відносне положення	- Список відносних позицій між транспортним засобом і пішоходом за кадром - «Спереду» означає, що пішохід знаходиться спереду автомобіля, а «Позаду» означає, що пішохід знаходиться ззаду автомобіля	- [Спереду, спереду, спереду, позаду, позаду] - [Ззаду, позаду, спереду]
	Запас безпеки пішоходів	- Запас безпеки пішоходів в одній сцені - Одиниця: сек.	- 3.2 - -1,5

Обмеження швидкості на всіх наших тестових стендах становили 30 км/год. Велика кількість виявлених транспортних засобів, які перевищують ліміт у будь-якій точці, особливо в районі шкіл, сприяє високому потенційному ризику в цьому місці. Тим часом сама по собі швидкість пішохода не є прямим показником таких ризиків, але ми можемо виявити важливі кореляції та взаємодії з іншими характеристиками, такими як швидкість транспортного засобу та відстань між транспортним засобом і пішоходом.

Швидкість об'єкта можна отримати зі складеної траєкторії шляхом поділу відстані між його положенням у двох послідовних кадрах на інтервал часу. У цьому випадку відстань у пікселях між точками  $i$  в  $j$  тис  $i(j+1)$  тис кадри в площині  $x, y$ ,  $D_{pixel}(point\ j_i, point\ (j+1)_i)$ , обчислюється за методом евклідової відстані та перетворюється на реальні одиниці відстані, такі як метри. Отримуємо постійну кількість пікселів на метр, позначену як  $P$ , шляхом ділення довжини пікселя пішохідного переходу ( $l_{pixel}$ ) за його фактичною довжиною ( $l_{world}$ ); виміряно фактичну довжину пішохідних переходів під час виїзних візитів. Наприклад, якщо довжина пішохідного переходу становить 15 м, а довжина пікселя — 960 пікселів, 1 м — це приблизно 46 пікселів ( $=960/15$ ).

Тим часом інтервали кадрів між точками траєкторії повинні бути перетворені в секунди реального світу. Константа перетворення часу ( $F$ ) обчислюється шляхом ділення пропущених кадрів на FPS. Наприклад, якщо відео записується зі швидкістю 11 кадрів/с, і ми відбираємо кожен п'ятий кадр, часовий інтервал  $F$  дорівнює  $5/11$ . нарешті,  $i$ th швидкість об'єкта в  $j$ th( $j+1$ )th кадри можна розрахувати наступним чином:

$$Speed_i^{j,(j-1)} = \frac{D_{pixel}(point_i^j, point_i^{(j+1)})}{F * P} \left( \frac{m}{s} \right) \quad (3.3)$$

Нарешті, перетворюємо ці вимірювання в км/год і застосовуємо їх до всіх кадрів у сцені, щоб отримати миттєву швидкість об'єкта в кожному кадрі. У результаті список швидкостей об'єкта  $i$  в сцені  $k$ , що складається з  $j$  кадрів, представлений у вигляді:

$$speedList_{k,i} = [speed_i^{1,2}, speed_i^{2,3}, speed_i^{3,4} \dots speed_i^{(j-1)}]^j \quad (3.4)$$

Розташування транспортних засобів і пішоходів: розташування об'єктів на дорозі також важливо для дослідження потенційних ризиків руху. Пішохід на дорозі, навіть коли автомобілі рухаються на повільній швидкості, може бути більш ризикований, ніж пішохід на тротуарі, коли автомобілі рухаються на великій швидкості. У цьому дослідженні положення транспортного засобу класифікується на три зони: «перед пішохідним переходом», «на пішохідному переході» та «після пішохідного переходу», а положення пішохода класифікується на чотири зони за допомогою їх координат: «тротуар», «пішохідний перехід», «зона впливу пішохідного переходу (СІА)» і «дорога». СІА стосується ділянки дороги, прилеглої до пішохідного переходу, куди часто потрапляють пішоходи під час переходу дороги [ 37 , 38 , 39 ]. Детальні області проілюстровано на рис.3.6 *a,b* відповідно. У цьому дослідженні охоплено СІА буфером  $\sim 3$  м з обох боків пішохідного переходу.

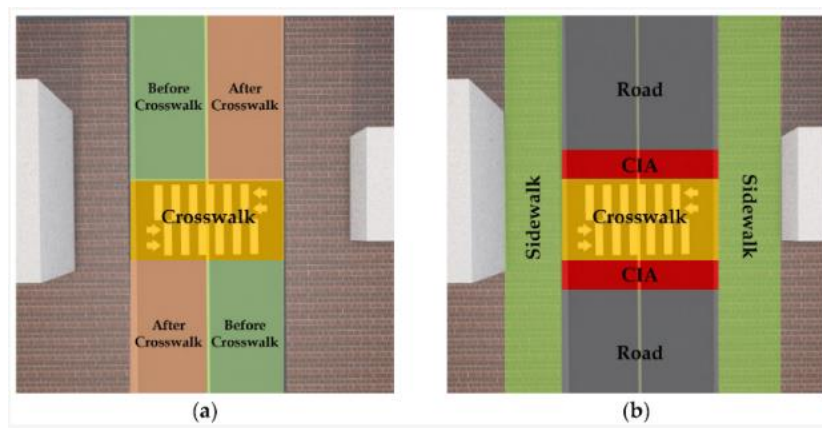


Рис.3.6 Категорії посад для: (а) транспортного засобу та (б) пішохода

Прискорення транспортного засобу: прискорення транспортного засобу та його зміни під час сцени є важливими факторами, які слід враховувати; якщо багато транспортних засобів зберігають швидкість або прискорюються під час наближення до пішохідного переходу, це збільшує ризик для пішоходів. В ідеалі ми очікуємо, що автомобілі гальмують біля пішохідних переходів, особливо коли є пішоходи. У експерименті виконано класифікацію прискорення автомобіля як «ас», «дс» і «пс», враховуючи лише зміни швидкості. По-перше, згладжуємо послідовність швидкості рис.3.7., використовуючи метод фільтра низьких частот,

який зазвичай використовується для зменшення швидких коливань сигналу, які можуть бути результатом неточності позиціонування об'єкта за допомогою алгоритму обробки зображення [12]. Це призводить до відфільтрованого списку швидкостей,  $F(vellistk, i)$ , з відфільтрованими значеннями,  $f(vellistj, (j + 1) i)$ , де нижні індекси  $k$  і  $i$  номер сцени та номер об'єкта в цій сцені відповідно.

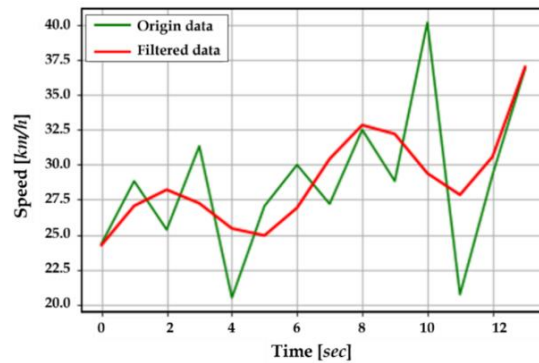


Рис. 3.7 Початкова швидкість (зелена лінія) та відфільтровані дані (червона лінія)

Далі виконано обчислення зміни нахилу на графіку (означає прискорення транспортного засобу на графіку час–швидкість) від моменту, коли транспортний засіб виїжджає на сцену, до моменту, коли він досягає пішохідного переходу. Класифіковано їх як послідовність станів прискорення, з додатними нахилами, що дають «прискорення», від'ємними — «уповільнення», а близькими до нуля — «без змін». Цю процедуру можна записати математичними рівняннями так:

$$Acc_i^j = \begin{cases} "acc", & f(speed_i^{(j+1), (j+1)^2}) - f(speed_i^j, (j+1)) > \epsilon \\ "dec", & f(speed_i^{(j+1), (j+1)^2}) - f(speed_i^j, (j+1)) < -\epsilon \\ "nc", & otherwise \end{cases} \quad (3.5)$$

Зупинка автомобіля перед пішохідним переходом: ця функція вказує, чи зупинилися транспортні засоби перед проїздом пішохідного переходу. Транспортні засоби в цих місцях повинні були зупинятися один раз перед проїздом пішохідного переходу, незалежно від наявності пішоходів або без них. На практиці, оскільки значення витягнутих швидкостей мають шум, ми використали концепцію «допуску швидкості» для виявлення зупинок. Опис толерантності до швидкості буде

отримано в експериментальній частині, а деталі щодо толерантності до швидкості описано в нашому попередньому дослідженні [19].

Відстань на пішохідному переході та відстань між транспортним засобом і пішоходом : список відстаней на пішохідному переході означає зміну відстані між транспортними засобами та пішохідним переходом за рамками, а список відстаней між транспортним засобом і пішоходом вимірює послідовність відстаней між транспортним засобом і найближчим пішоходом за рамками. Відстані між транспортним засобом і та пішоходом  $p$  упорядковуються за рамкою таким чином:

$$dist_{i,p}^j = \frac{D_{pixel}(vehicle_i^j, pedestrian_p^j)}{p} \quad (m) \quad (3.6)$$

$$distChng_{k,i,p} = [dist_{i,p}^1, dist_{i,p}^2, dist_{i,p}^3, \dots, dist_{i,p}^j] \quad (3.7)$$

де нижні індекси  $k$  і  $j$  — номер сцени та порядок кадрів відповідно.

Ці послідовності відстані самі по собі не є факторами потенційного ризику, але, порівнюючи їх з іншими функціями, ми можемо визначити небезпечні ситуації. Наприклад, на рис. 3.8 а,б показано дві сцени, коли швидкість автомобіля залежить від відстані між транспортним засобом і пішоходом, коли пішохід був на пішохідному переході. У цих прикладах припустимо, що швидкість транспортного засобу не враховується, якщо вона не перевищує обмеження швидкості, і досліджуйте лише її зміни залежно від відстані між транспортним засобом і пішоходом.

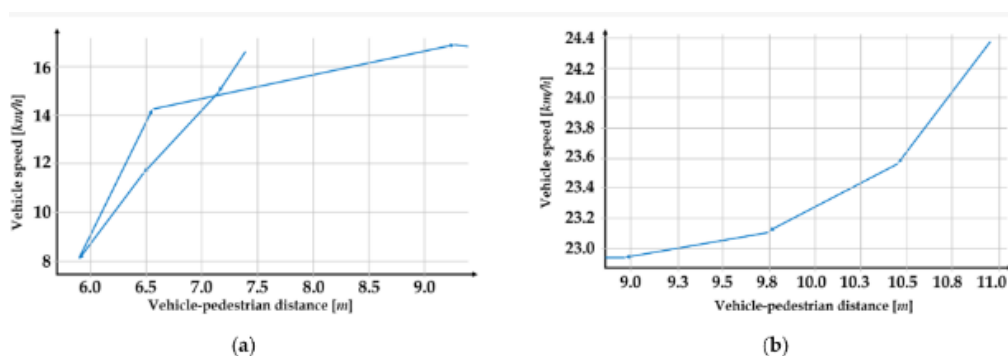


Рис. 3.8 Приклади аналізу відстані транспортний засіб – пішохід та інших характеристик; (а) уповільнення та різке прискорення; та (б) нормальне уповільнення при наближенні до пішохода.

На рис. 3.8а можливо спостерігати, що коли транспортний засіб наближався до пішохода, його швидкість швидко зменшувалася, а потім знову прискорювалася одразу після того, як пішохід пройшов повз. Незважаючи на те, що транспортний засіб уповільнив швидкість, коли було потрібно, він також досить швидко прискорився навіть до того, як пішохід безпечно вийшов на тротуар. На рис.3.8б транспортний засіб сповільнюється, наближаючись до пішохода, і швидкість нижче допустимої (майже 30 км/год). Тепер можемо визначити, що є більш небезпечним, але якщо розглядати лише шаблони швидкостей транспортного засобу, рис.3.8а є шаблоном повторного прискорення після уповільнення, а рис.3.8б є шаблоном постійного уповільнення. Ці фігури є лише прикладами, які мають можливість ідентифікувати небезпечні ситуації, використовуючи форми цих елементів разом з іншими.

Відносна зміна положення транспортних засобів і пішоходів: це описує відношення розташування транспортних засобів і пішоходів. Якщо пішохід знаходиться попереду автомобіля, він піддається більшому ризику, ніж якщо б він їхав позаду автомобіля. Ми визначаємо відносне розташування між ними, порівнюючи їхні точки контакту разом із положенням і напрямком транспортних засобів.

Саме по собі це не є очевидним сигналом ризику, але, аналізуючи разом з іншими характеристиками, такими як швидкість транспортного засобу та положення пішохода, ми можемо виявити важливі кореляції та взаємодії між ними. Наприклад, пішохід, який знаходиться позаду транспортного засобу і на тротуарі, знаходиться у відносно безпечному положенні.

Запас безпеки пішоходів (PSM) : Існують різні способи визначення понять PSM [12]. У цьому дослідженні ми визначили PSM як різницю в часі між моментом, коли пішохід перетнув конфліктну точку, і моментом, коли наступний транспортний засіб прибув до тієї ж конфліктної точки [13]. Припустимо, що пішохід досягає конфліктної точки в певний час  $T_1$ , і транспортний засіб прибуває в ту саму конфліктну точку в певний час  $T_2$ , то PSM є  $T_2 - T_1$ .

Менші значення PSM означають, що є менший запас помилок, щоб уникнути зіткнення в точці конфлікту.

Оскільки метою цього дослідження є автоматичне виділення цих поведінкових особливостей, важливо визначити точку конфлікту, як показано на рис.3.9. У цьому дослідженні застосовано віртуальні лінії, що з'єднують ті самі об'єкти між послідовними кадрами, і використали теорему проміжного значення (IVT).

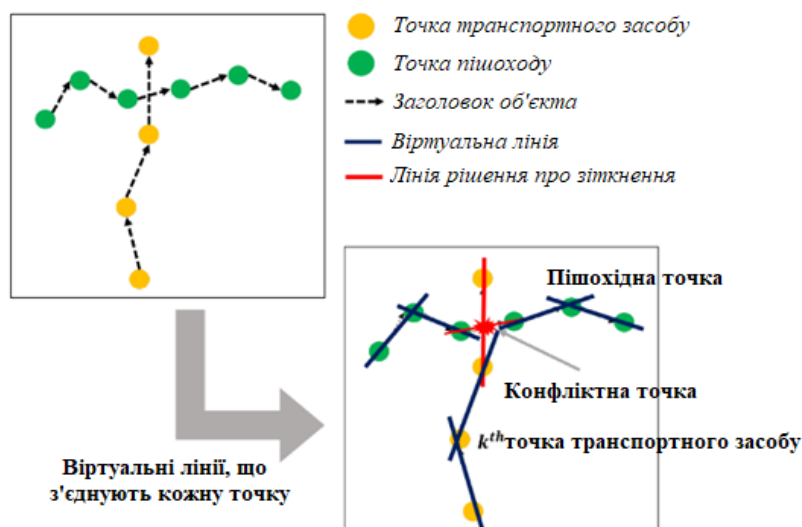


Рис. 3.9 Очікувана конфліктна точка в траєкторіях об'єкти

Як показано на рис.3.10, процес вилучення значення PSM включає три кроки: малювання віртуальних ліній, що з'єднують точки пішохода в  $i^{th}$  і  $(i+1)^{th}$  кадри, функціональні як лінійна функція  $f_{i,(i+1)}(x)$ ; значення функції множення,  $f_{i,(i+1)}(C_k)$  і  $f_{i,(i+1)}(C_{k+1})$

Де  $C_k$  і  $C_{k+1}$  — точки транспортних засобів відповідно; і (3.3) повторення кроків 1 і 2 для всіх точок на траєкторіях до тих пір, поки  $f_{i,(i+1)}(C_k) \times f_{i,(i+1)}(C_{k+1})$  є негативним.



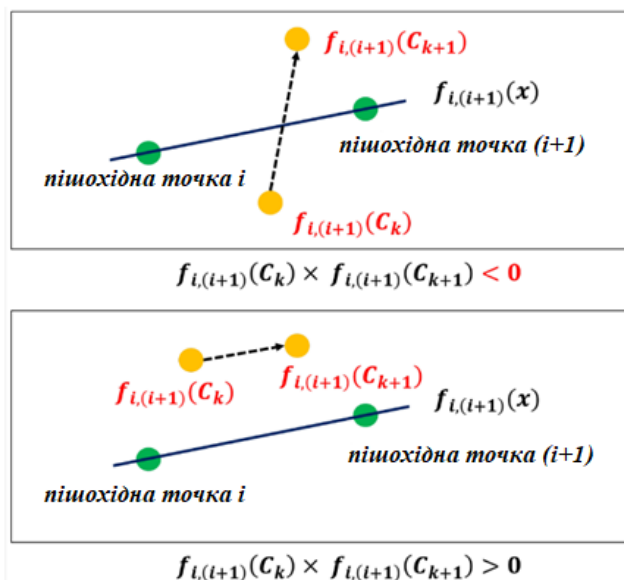


Рис. 3.10 Процес пошуку конфліктних точок за допомогою IVT

Застосування IVT таким чином призводить до позитивного або негативного значення; якщо результат позитивний, точки  $i$  і  $k$  не конфліктують. Якщо воно негативне, між цими точками існує точка конфлікту, і ми можемо отримати значення PSM шляхом обчислення різниці між  $i$  і  $k$  та налаштування одиниць вимірювання часу з кадрів у секунди таким чином:

$$find\ i, k \quad s.t. \quad f_{i(i+1)}(C_k) \times f_{i(i+1)}(C_{k+1}) < 0 \quad (3.8)$$

$$PSM = \frac{(i+k)}{F} \text{ (sec)} \quad (3.9)$$

### 3.4 Оцінка ефективності та аналіз потенційно ризикованої поведінки зіткнення

Експериментальний дизайн. Перед аналізом потенційного ризику зіткнення перевіряємо результати попередньої обробки даних на основі зору: відстеження об'єктів; вилучення поведінки. По-перше, щоб перевірити алгоритм відстеження об'єктів, визначено критерії успіху та вручну підраховували всі сцени з траєкторіями об'єктів, які порушили ці критерії. На рис.3.11 а показані траєкторії для правильно відстежуваних об'єктів. Як видно на цих рисунках, траєкторії об'єктів повинні бути безперервними, і два або більше об'єктів не повинні перетинатися. Крім того,

оскільки цей алгоритм застосовував пороговий метод, якщо в межах порогового діапазону є нерозподілені об'єкти, вони можуть бути відстежені неправильно.

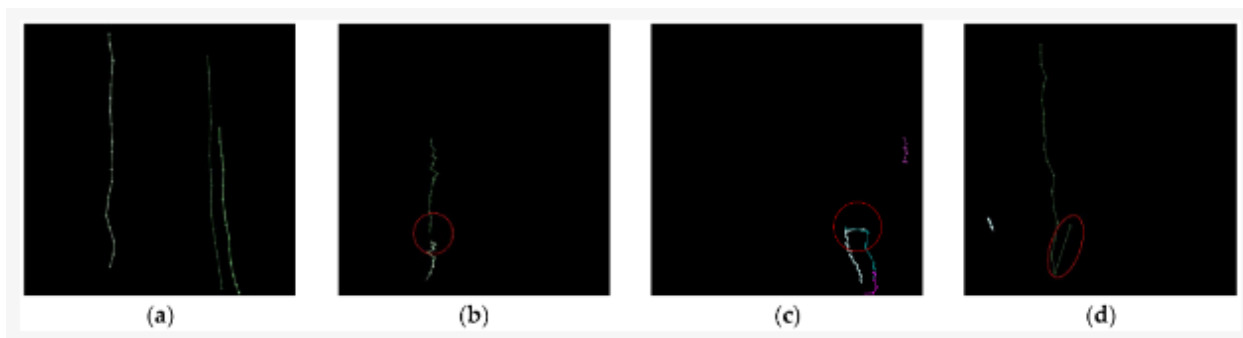


Рис.3.11 Траєкторії ( а ) правильно відстежуваних об'єктів у сценах та з порушенням трьох критеріїв; ( б ) зв'язність; ( с ) перетин; та ( д ) спрямованість

Таким чином, визначено три критерії:

- зв'язність: чи всі об'єкти з'єднані в послідовних кадрах без розривів;
- перетин: два чи більше об'єктів, що рухаються паралельно, простежуються окремо, не переплітаючись;
- спрямованість: чи об'єкти йдуть своїм шляхом, не вторгаючись у траєкторії інших. Це явище може виникати частіше під час налаштування порогу.

На рис.3.11b-d зображено сцени, які порушують три вищевказані критерії відповідно.

В якості базової лінії порівнюємо алгоритм відстеження об'єктів без фільтра Калмана.

Далі оцінюємо метод вилучення поведінки. Оскільки продуктивність вилучених дій, особливо швидкість і прискорення об'єкта, залежить від точності координат об'єкта, обчислених на «етапі виявлення об'єкта» під час попередньої обробки. Це означає, що відстань має певний рівень похибки, а швидкість і прискорення також мають певний рівень похибки. Таким чином, необхідно отримати точні точки контакту, а потім вивести помилки швидкості/прискорення. Насправді важко визначити точку, яка точно представляє точку контакту транспортного засобу чи пішохода в моновізійному датчику, тому ми приймаємо

концепцію «допустимої відстані», що позначається як  $ed\ i\ st$ , який допускає деякі помилки, припускаючи, що якщо в межах помилки є обчислені точки контакту, ці точки розпізнаються належним чином.

**Результат. Оцінка алгоритму відстеження об'єктів.** Результат перевірки наведено в табл.3.4. Виконано порівняння досліджуваного алгоритму відстеження та індексування з попереднім простим алгоритмом. В результаті загальна точність становить приблизно 0,9, а середня точність приблизно на три відсотки вища, ніж у існуючого методу. Зокрема, завдяки використанню фільтра Калмана точність спрямованості зростає приблизно на два відсотки.

Таблиця 3.4.

## Результати перевірки траєкторії за трьома критеріями

Результат траєкторії без фільтра Калмана (порог автомобіля = 100, порог пешехода = 50)					
Spot-код	Кількість сцен	Кількість кадрів помилок			
		Підключення	Перетин	Спрямованість	Точність
Пляма А	4789	45	98	305	0.91
Пляма В	3195	35	75	285	0.88
Пляма С	5311	32	112	401	0.90
Пляма D	7304	49	155	491	0.90
Пляма Е	4261	54	98	358	0.88
Пляма F	8036	61	187	652	0.89
Пляма G	6259	55	138	499	0.89
Пляма H	3295	25	59	441	0.84
Пляма I	7940	35	90	595	0.91
Середній		<b>291</b>	<b>1012</b>	<b>4027</b>	<b>0.89</b>
Результат траєкторії без фільтра Калмана (порог автомобіля = 100, порог пешехода = 50)					
Spot-код	Кількість сцен	Кількість кадрів помилок			
		Підключення	Перетин	Спрямованість	Точність
Пляма А	4789	25	66	194	0.94
Пляма В	3195	21	58	201	0.91
Пляма С	5311	22	74	298	0.93
Пляма D	7304	40	101	347	0.93
Пляма Е	4261	41	59	256	0.91
Пляма F	8036	45	111	515	0.92
Пляма G	6259	35	77	398	0.92
Пляма H	3295	14	32	387	0.86
Пляма I	7940	28	47	457	0.93
Середній		<b>271</b>	<b>635</b>	<b>3053</b>	<b>0.92</b>

**Оцінка методу вилучення поведінки.** У табл.3.5 наведено середню точність розпізнавання точки контакту в кожній точці за об'єктами. У результаті порівняння середня точність як для транспортного засобу, так і для пішохода перевищує приблизно 0,89, коли допуск на відстань перевищує 50 см. Хоча допуск на відстань із найкращими показниками становить 70 см (точність приблизно 0,95 і 0,93 для транспортного засобу та пішохода відповідно), допуск у 50 см є найкращим варіантом, коли розглядається допуск швидкості,  $\varepsilon_v$

Таблиця 3.5.

Результати точності з використанням допуску для транспортного засобу та пішохода в кожній точці

Spot-код	Допуск (см)											
	Цільовий об'єкт											
	В		П		В		П		В		П	
	10		20		35		50		60		70	
A	0.18	0.10	0.36	0.23	0.69	0.51	0.93	0.89	0.95	0.90	0.95	0.91
B	0.17	0.09	0.31	0.23	0.70	0.48	0.88	0.87	0.97	0.88	0.98	0.97
C	0.10	0.10	0.24	0.19	0.64	0.52	0.90	0.90	0.95	0.87	0.96	0.88
D	0.25	0.11	0.32	0.14	0.72	0.53	0.90	0.90	0.95	0.91	0.97	0.91
E	0.17	0.14	0.28	0.11	0.71	0.49	0.89	0.87	0.96	0.95	0.97	0.95
F	0.12	0.12	0.29	0.17	0.69	0.56	0.90	0.93	0.94	0.90	0.96	0.94
G	0.17	0.12	0.37	0.21	0.72	0.51	0.89	0.91	0.90	0.94	0.92	0.93
H	0.14	0.13	0.25	0.20	0.70	0.46	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.92
I	0.11	0.10	0.23	0.17	0.68	0.45	0.89	0.84	0.94	0.92	0.96	0.94
Середній	0.16	0.11	0.30	0.18	0.69	0.50	0.90	0.89	0.94	0.91	0.95	0.93

Для кожного допуску відстані ми можемо отримати допуск швидкості. Як показано на рис.3.12,  $\varepsilon_v$  можна розрахувати за допомогою максимальної потенційної допустимої відстані між двома послідовними кадрами та розділити на часовий інтервал між цими кадрами таким чином:

$$\varepsilon_v = 2 \times \frac{\varepsilon_{dist}}{\left(\frac{R}{FPS}\right)} \quad (3.10)$$

Де  $R$  це кількість пропущених кадрів у відеозаписі,  $FPS$  це кадр за секунду, і  $R/FPS$  означає інтервал часу. Як видно з рівняння (10),  $\varepsilon_v$  зростає лінійно пропорційно  $\varepsilon_{dist}$ . Таким чином, оптимальний  $\varepsilon_{dist}$  становить 50 см при розгляді  $\varepsilon_v$  і

точність, як показано на рис.3.13 . У нашому експерименті ми встановили часовий інтервал,  $R/FPS$  , приблизно на 0,4 незалежно від  $FPS$ .

Згідно з наведеною вище формулою, допустиме відхилення швидкості становить близько 2,5 м/с, або 9,0 км/год, коли допустиме відхилення відстані становить 50 см.

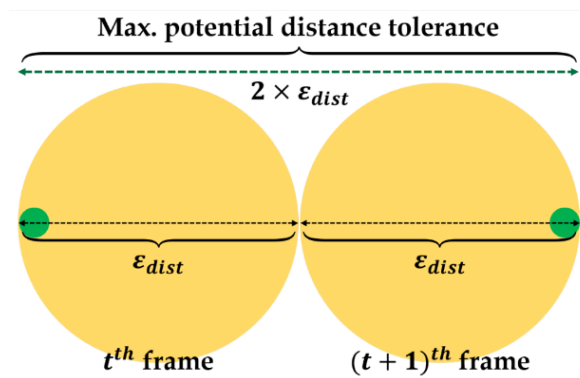


Рис.3.12 Допуск швидкості на основі максимального потенційного допуску відстані

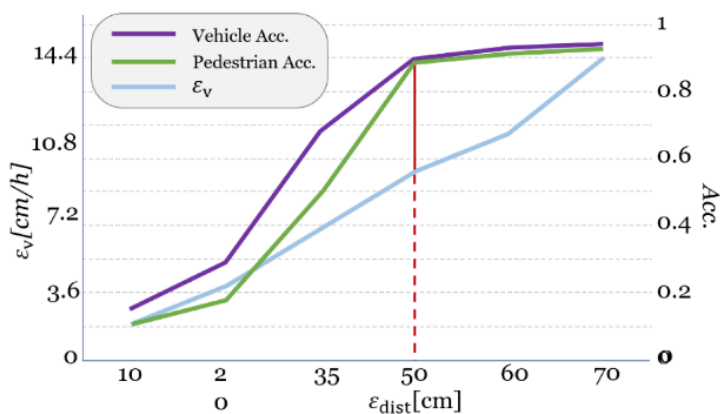


Рис.3.13 Графіки для точності і  $\epsilon_v$  за  $\epsilon_{dist}$

**Аналіз потенційно ризикованої поведінки зіткнення.** Далі виконано аналіз потенційних ризиків зіткнень на основі виділених поведінкових особливостей за трьома сценаріями: використання розподілу швидкостей транспортних засобів і PSM за місцями; вивчення поведінки водія, який зупиняється, коли на пішохідному переході є пішоходи; розгляд PSM разом із поведінкою зупинки.

**Аналіз швидкості транспортних засобів і PSM по місцях.** У табл.3.6 наведені статистичні значення середніх швидкостей автомобіля в кожній точці.

Таблиця 3.6.

Інформація про середню швидкість автомобіля в усіх місцях за типами сцен.

Spot-код	Усі сцени			Тип сцен	
	Мах (км/год)	Хв (км/год)	Середнє (км/год)	Середнє. Лише авто. знач.(км/год)	Середнє. Інтерактивна сцена (км/год)
A	71.3	3.6	18.2	20.5	12.2
B	87.5	4.4	24.5	25.9	16.2
C	75.4	6.5	36.5	41.7	21.7
D	79.7	4.1	18.1	18.4	14.6
E	68.1	2.2	22.3	22.3	17.6
F	51.3	3.9	20.9	21.2	11.3
G	63.9	9.4	14.0	14.2	9.4
H	59.2	3.3	21.4	21.5	14.7
I	70.2	7.4	33.8	34	19.8

Максимальні середні швидкості знаходяться в діапазоні приблизно від 51,3 до 87,5 км/год, а мінімальні значення коливаються від 2,2 до 9,4 км/год. Загальний розподіл спотворений, оскільки багато автомобілів у цих областях рухаються повільно. Обмеження швидкості на всіх ділянках зі шкільними зонами – 30 км/год. Якщо врахувати, що середні значення в усіх точках є близькими або нижчими за швидкість регулювання, то це розумні значення.

Загалом, автомобілі, як правило, рухаються швидше, коли немає пішоходів, і сповільнюються, коли є пішоходи. Ми можемо спостерігати за цими тенденціями, розділяючи середні швидкості транспортних засобів на сцени лише автомобіля та інтерактивні сцени, як показано в табл.3.6. У всіх місцях швидкість в інтерактивних сценах нижча, ніж у сценах лише автомобіля.

Точка С – єдине місце, де середня швидкість перевищила обмеження (30 км/год). Це може бути пов'язано з кількістю смуг і чи встановлено камеру контролю швидкості. По-перше, точка С має чотири смуги, більше смуг, ніж будь-яка інша точка, крім точки F; зазвичай застосовуються вищі обмеження швидкості, коли є більше смуг, але обмеження швидкості в точці С залишається 30 км/год, оскільки вона позначена як шкільна зона. По-друге, точка F збігається з точкою С

за кількістю смуг, обмеженням швидкості, сигналізованим пішохідним переходом і позначенням шкільної зони, але точка F має камеру контролю швидкості, якої немає в точці С. З цього прикладу можливо припустити, що коли кількість смуг збільшується, швидкість транспортних засобів зростає, але камера контролю може придушити таку тенденцію.

Далі проаналізовано витягнуті розподіли PSM. Варто зауважити, що PSM підраховує, скільки секунд потрібно автомобілю, щоб проїхати через ту саму точку після того, як її промине пішохід, таким чином кількісно оцінюючи потенційний ризик зіткнення автомобіля з пішоходом. У експерименті відфільтровано від'ємні значення та аналізували лише автомобілі, що проїжджали позаду пішоходів. Далі розрізнили пішохідні переходи з сигналізацією (точки А, В, С і F) і несигналізовані пішохідні переходи (точки D, E, G, H і I).

На рис.3.14 показано розподіл позитивних PSM у всіх сигналізованих і несигналізованих точках. Він представляє діапазони та середні значення PSM; PSM були в середньому вищі на пішохідних переходах із сигналізацією, ніж на переходах без сигналів. Крім того, пік розподілу по всіх сигналізованих місцях вище, оскільки сигнал світлофора змушує пройти деякий час, перш ніж автомобілі зможуть перетнути пішохідну доріжку. Без сигналу піки розподілу наближаються до нуля, що вказує на те, що автомобілі не бажають чекати та дають пішоходам запас безпеки перед проїздом.

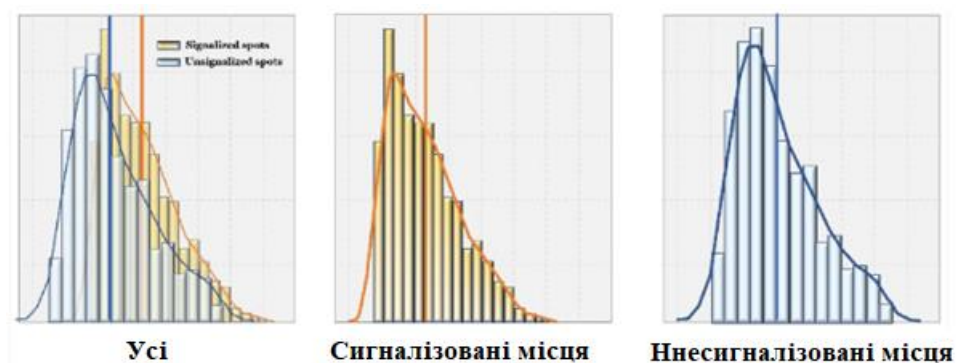


Рис.3.14 Розподіл PSM в сигналізованих і несигналізованих точках

На рис.3.15a,b показано розподіл PSM у кожній точці. На рис.3.15a ми можемо спостерігати, що в місцях із сигналізацією ширші дороги призводять до вищого PSM, можливо, через довший цикл сигналу для пішохідного переходу. Кожна з точок C і D має по чотири смуги, ширші за точку A (дві смуги) і B (три смуги), а їхні розподіли PSM розташовані далі праворуч.

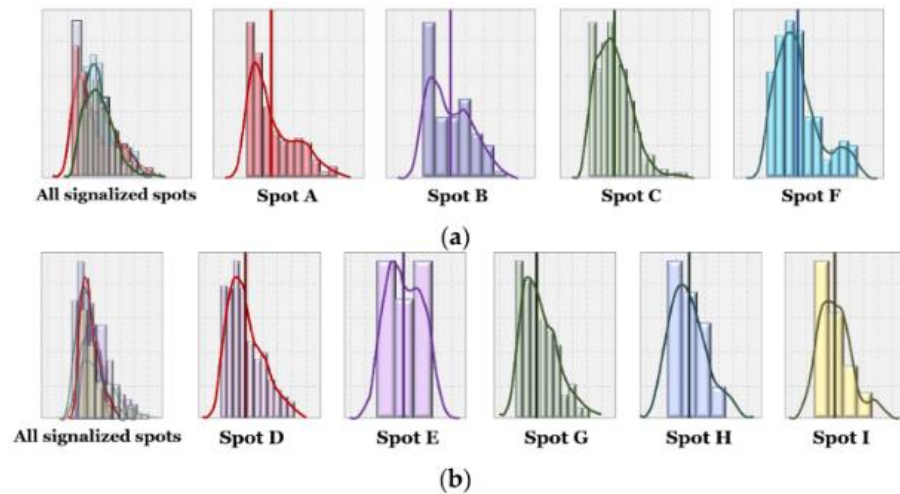


Рис. 3.15 Розподіл PSM в ( а ) сигналізованих точках і ( б ) несигналізованих точках

У той же час на неувімкнених пішохідних переходах загальні розподіли подібні один до одного, і не спостерігається зв'язок між шириною дороги та розподілом PSM. Точка G виділялася з розподілом PSM далі праворуч від інших; однією з причин може бути нижча загальна швидкість автомобіля. Оскільки він розташований у житловому районі, у годину пік у ньому особливо багато плаваючого населення (особливо студентів). Крім того, поруч з обома сторонами пішохідного переходу є перехрестя доріг рис.3.2g, що змушує транспортні засоби рухатися повільніше та обережніше маневрувати, що, у свою чергу, дає пішоходам багато часу для переходу.

#### **Аналіз потенційної небезпеки для пішоходів біля пішохідних переходів на основі поведінки щодо зупинки автомобіля**

Далі виконано аналіз, чи зупинялися транспортні засоби перед проїздом пішохода, коли там був пішохід, і на якій відстані вони зупинилися від переходу.



Як правило, транспортні засоби можуть зупинятися з різних причин, як-от паркування на узбіччі, очікування сигналу світлофора або надання переваги пішоходам. Щоб точно підрахувати сцени, коли водій зупинявся, щоб забезпечити безпеку пішоходів, ми обрали 10 м як базову відстань; якщо автомобіль зупинився в межах 10 м від пішохідного переходу з пішоходом на переході або СІА, ми припустили, що вони реагують на присутність пішохода.

На рис.3.16 показано відсоток транспортних засобів, які зупинилися за 10 м до проїзду пішохідних переходів, коли пішоходи переходили вулиці відповідно в позначених і не позначених місцях. По-перше, серед сигналізованих місць у місці А найменший відсоток зупинок водіїв. Причиною може бути ширина смуг. Точка А має лише дві смуги, але інші сигналізовані місця мають три або більше смуг. Можна витлумачити, що водії на вузькій дорозі не бажають чекати сигналу, тому порушують сигнал. Пляма F має більший відсоток, ніж ті, що знаходяться в інших місцях. Видно, що установка камери має стримуючу силу, яка змушує водіїв слухатися сигналу. У цьому експерименті ми аналізували лише поведінку транспортних засобів і пішоходів, не враховуючи разом фази сигналу. Зазначимо, що співіснування транспортного засобу, що проїжджає, і пішохода, що перетинає дорогу, означає, що один із учасників руху порушує сигнал світлофора, що загрожує безпеці руху незалежно від сигналу.

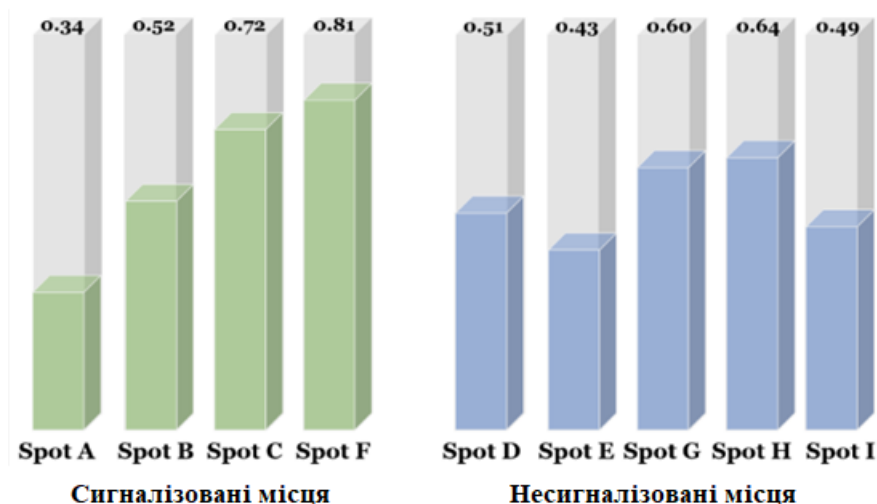


Рис. 3.16 Відсоток водіїв, які зупиняються в межах 10 м від пішохідних переходів для сцен із пішоходами на пішохідних переходах

Водночас у місцях без сигналів, особливо в точках G і H, більшість водіїв не зупинялися перед проїздом пішохідного переходу. Точка H мала відносно високий відсоток зупинок, можливо, завдяки таким елементам безпеки, як червоний уретановий тротуар і напис «шкільна зона» на дорозі, а також захисні огорожі з обох боків дороги. Точка G також мала високий відсоток зупинки. Однак через відсутність світлових сигналів водії мали меншу ймовірність дотримуватися необхідної безпечної поведінки (зупинитися перед пішохідним переходом, поки пішоходи не звільнять територію). Зокрема, половина або більше водіїв у точках D, E та I не зупинилися, коли на дорозі були пішоходи, незважаючи на позначення шкільних зон. У цих місцях подальша проактивна реакція здається необхідною, щоб заохотити зупинитися для пішоходів і запобігти аваріям, перш ніж вони відбудуться.

### **Аналіз поведінки автомобіля за допомогою PSM та зупинки автомобіля біля неувімкненого пішохідного переходу**

Наступним кроком проаналізовано поведінку водіїв, які зупиняються за допомогою значень PSM на неувімкнених пішохідних переходах. PSM — це проста функція, яка може надавати важливу інформацію про поведінку транспортних засобів і пішоходів. Оскільки PSM — це різниця в часі між моментом, коли пішохід пройшов певну точку, і моментом, коли транспортний засіб прибув у ту саму точку, додатне значення PSM означає, що пішохід перетнув першим, а від'ємне значення означає, що транспортний засіб проїхав першим. Оскільки останнє означає, що транспортний засіб не поступився пішоходу на пішохідному переході, від'ємні значення PSM зазвичай представляють більший ризик, ніж додатні значення. У будь-якому випадку ризик зіткнення зростає, коли PSM наближається до нуля. У цьому підрозділі ми розглядали лише сцени в неувімкнених місцях, оскільки поведінка поступки та PSM на увімкнених пішохідних переходах значною мірою залежать від сигналу світлофора під час зіткнення.

У експерименті вивчено сцени, що відбуваються в різних діапазонах PSM, і вимірювали ймовірність зупинки автомобіля перед пішохідним переходом із присутністю пішохода (використовуючи 10 м як базову відстань). По-перше,

виконано класифікацію безперервних значень PSM у вісім груп за знаками та квантилями, використовуючи комбінований розподіл, що враховує всі сцени на п'яти непередбачених пішохідних переходах.

Однак просте об'єднання цих розподілів призвело б до зміщення результату в бік розподілу областей з більшим трафіком. Наприклад, якби було 100 і 800 сцен у двох регіонах А і В відповідно, на об'єднаний розподіл у цих двох регіонах більше вплинули б сцени, що відбуваються в В. Таким чином, обчислено вагу кожного розподілу відносно цілого:

$$W_i = 1 - \frac{|D_i|}{|D|} \quad (3.11)$$

де  $|D|$  це загальна кількість сцен у незазначених точках (плями D, E, G, H та I) і  $|D_i|$  це кількість сцен у кожній точці. Потім ми помножили на  $W_i$  щоб нормалізувати частоти сцени в місці. У результаті рис.3.17а,б представляє комбінований, зважений розподіл значень PSM на всіх сценах у непередбачених пішохідних переходах.

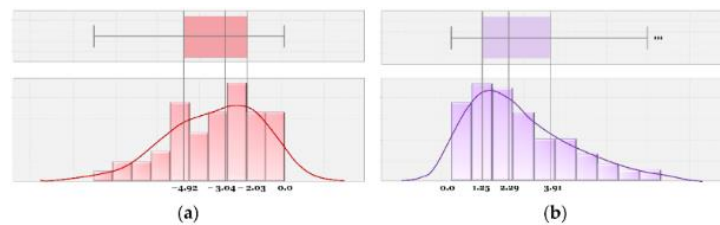


Рис. 3.17 Розподіл PSM в ( а ) сигналізованих і ( б ) несигналізованих точках

З цих розподілів виконано розділення додатніх та негативних значень PSM і всередині кожного на квантиль, щоб отримати наступні діапазони PSM: нижче  $-4,92$ ; від  $-4,92$  до  $-3,04$ ; від  $-3,04$  до  $-2,03$ ; від  $-2,03$  до  $0$ ; від  $0$  до  $1,25$ ; від  $1,25$  до  $2,29$ ; від  $2,29$  до  $3,91$ ; понад  $3,91$ . Позначені діапазонами від 1 до 8 відповідно. Потім виконано порівняння відсотку зупинок у кожному діапазоні PSM.

На рис.3.18 діапазони 1, 2, 3, 6, 7 і 8 є відносно віддаленими групами від нуля, а діапазони 4 і 5 представляють найбільший ризик із запасами безпеки в межах 1–2 с. Можемо помітити, що зі збільшенням маржі транспортні засоби рідше зупиняються на пішохідному переході.

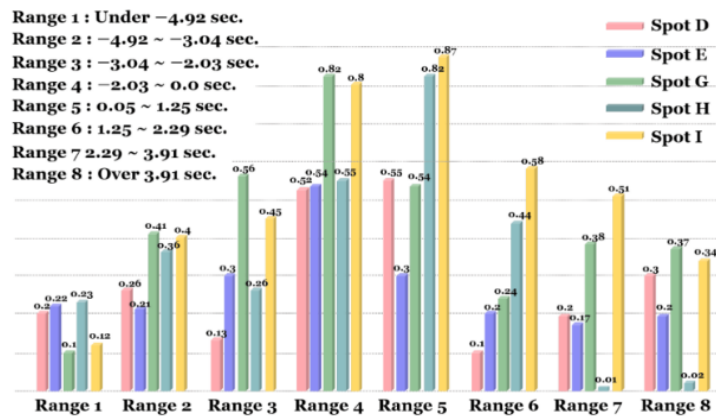


Рис. 3.18 Відсоток водіїв, які зупиняються перед пішохідним переходом за діапазоном PSM

В ідеалі для невеликих, але позитивних сцен PSM хотіли б бачити найвищий відсоток зупинок, щоб мінімізувати ризик зіткнення з пішоходами. Однак у діапазоні 5 (PSM від 0 до 1,25 с) більшість автомобілів у точці E не зупинилися. Це може бути результатом двох можливих дій: водії не зупинилися, а сповільнили швидкість, проїжджаючи попереду пішоходів; водії не зупинялися і не гальмували, і ледве уникли зіткнення з пішоходами. Таким чином, слот E представляє аномалію, оскільки відсоток зупинки для інших спотів у цих діапазонах низької маржі становить принаймні 50%; оскільки це створює більший ризик зіткнення, ми хотіли б зрозуміти, чому, і завчасно вирішити проблему.

У той же час ми бачимо, що при можемо бачити більших запасах PSM, особливо в діапазонах 2, 3, 7 і 8, відсоток зупинок найвищий у точках G і I. Припускаємо, що це тому, що G і I не маємо парканів, які відокремлюють дорогу від тротуару. , на відміну від інших несигналізованих місць. Без парканів водії можуть бути змушені їздити цією територією більш обережно, оскільки пішоходи потенційно можуть вийти на дорогу в будь-якому місці разом із наближенням до пішохідного переходу. У цих областях додавання засобів безпеки, таких як огорожі на тротуарах, може негативно вплинути на поведінку транспортних засобів і пішоходів, усуваючи невизначеність, яка змушує водія бути обережним і частіше зупинятися.

## ВИСНОВКИ

Виконуючи поставлені завдання, мною було виконано дослідження поточного стану розумних міст, їх застосування та проблеми, пов'язані з їх впровадженням. Завдяки аналізу питань дослідження виявлено, що існує зростаюча тенденція до впровадження смарт-технологій у містах, зосереджуючись на покращенні залучення громадян, стійкості та ефективності. Однак існують також значні проблеми, зокрема розподіл бюджету, кількісний аналіз і визначення пріоритетів проектів.

Виконаний огляд літератури підкреслює важливість співпраці, даних, залучення громадян, сталого розвитку, технологій і постійної оцінки в успішних ініціативах розумного міста. Майбутні дослідження можуть бути зосереджені на стратегіях подолання проблем, пов'язаних із запровадженням розумного міста, а також на способах вимірювання та порівняння вигод і витрат від цих ініціатив.

Міста кардинально змінилися завдяки винаходу та реалізації багатьох концепцій, таких як стійкі міста, стійкі міста та інклюзивні міста, щоб назвати декілька. Штучний інтелект та IoT є двома важливими технологіями, які можуть перетворити міста на стійкі розумні міста.

Мною виконано дослідження особливостей впровадження штучного інтелекту в основних сферах розумних міст, таких як охорона здоров'я, освіта, навколишнє середовище та управління відходами, мобільність і розумний транспорт, сільське господарство, управління ризиками та безпека. Аналіз показав, що міста можуть отримати вигоду від впровадження штучного інтелекту в розумні міста шляхом автоматизації операцій, зменшення людських помилок, прийняття ефективних рішень на основі даних, покращення навколишнього середовища за допомогою різних систем, впровадження нових комерційних можливостей та автоматизації ефективного міського управління.

З іншого боку, вони також створюють регулятивні проблеми, такі як дискримінація в наданні послуг, конфіденційність, правові та етичні міркування.

Крім того, доступність даних, відсутність кваліфікованих фахівців, вартість і тривалість ініціатив ІІІ, а також високий рівень безробіття були визнані ризиками та перешкодами для впровадження ІІІ в розумних містах.

За основу дослідження було обрано громадську безпеку дорожнього руху. У розділі описано принципи проектування системи нагляду за придорожньою професією на основі комп'ютерного бачення (CVROSS).

Виконуючи третє поставлене завдання досліджено підхід до визначення потенційно ризикованої поведінки транспортних засобів і пішоходів за допомогою камер відеоспостереження, встановлених на дорогах.

Це дослідження було мотивовано відсутністю підходу до аналізу ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення за допомогою автоматичної обробки відео та методів глибокого навчання. Ці аналізи можуть надати потужну та корисну інформацію для тих, хто приймає рішення, щоб покращити та зробити дорожнє середовище безпечнішим.

Можливо припустити, що це може надати практикам достатньо підказок для підтримки подальшого дослідження за допомогою інших засобів. Крім того, адміністратори безпеки дорожнього руху повинні співпрацювати, використовуючи ці підказки, щоб покращити безпеку просторів. Мета при реалізації та застосуванні таких систем полягає в тому, щоб допомогти цій співпраці, зробивши швидшим, дешевшим і легшим збирати об'єктивну інформацію про поведінку водіїв у місцях, де пішоходи стикаються з найбільшим ризиком.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yin, C.; Xiong, Z.; Chen, H.; Wang, J.; Cooper, D.; David, B. A literature survey on smart cities. *Sci. China Inf. Sci.* 2015, 58, 1–18.
2. Ismagilova, E.; Hughes, L.; Dwivedi, Y.K.; Raman, K.R. Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *Int. J. Inf. Manag.* 2019, 47, 88–100.
3. Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; the PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ* 2009, 339.
4. Wenge, R.; Zhang, X.; Dave, C.; Chao, L.; Hao, S. Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *China Commun.* 2014, 11, 56–69.
5. Tahmasseby, S. The Implementation of Smart Mobility for Smart Cities: A Case Study in Qatar. *Civ. Eng. J.* 2022, 8, 2154–2171.
6. Albino, V.; Berardi, U.; Dangelico, R.M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *J. Urban Technol.* 2015, 22, 3–21.
7. Lazaroiu, G.C.; Roscia, M. Definition methodology for the smart cities model. *Energy* 2012, 47, 326–332.
8. Abadía, J.J.P.; Walther, C.; Osman, A.; Smarsly, K. A systematic survey of Internet of Things frameworks for smart city applications. *Sustain. Cities Soc.* 2022.
9. Raspotnik, A.; Grønning, R.; Herrmann, V. A tale of three cities: The concept of smart sustainable cities for the Arctic. *Polar Geogr.* 2020, 43, 64–87.
10. Ruhlandt, R.W.S. The governance of smart cities: A systematic literature review. *Cities* 2018, 81, 1–23.
11. Joshi, S.; Saxena, S.; Godbole, T. Shreya Developing Smart Cities: An Integrated Framework. *Procedia Comput. Sci.* 2016, 93, 902–90
12. Kothadiya, D.; Chaudhari, A.; Macwan, R.; Patel, K.; Bhatt, C. The Convergence of Deep Learning and Computer Vision: Smart City Applications and Research Challenges. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Integrated*

Intelligent Computing Communication & Security (ICIIC 2021), Bangalore, India, 4–5 June 2021; pp. 14–22.

13. Attaran, H.; Kheibari, N.; Bahrepour, D. Toward integrated smart city: A new model for implementation and design challenges. *GeoJournal* 2022, 87, 511–526.

14. Bibri, S.E.; Krogstie, J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustain. Cities Soc.* 2017, 31, 183–212.

15. Elberzhager, F.; Mennig, P.; Polst, S.; Scherr, S.; Stüpfert, P. Towards a Digital Ecosystem for a Smart City District: Procedure, Results, and Lessons Learned. *Smart Cities* 2021, 4, 686–716.

16. Rathore, M.M.; Ahmad, A.; Paul, A.; Rho, S. Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. *Comput. Networks* 2016, 101, 63–80.

17. Ning, Z.; Huang, J.; Wang, X. Vehicular Fog Computing: Enabling Real-Time Traffic Management for Smart Cities. *IEEE Wirel. Commun.* 2019, 26, 87–93.

18. Akande, A.; Cabral, P.; Casteleyn, S. Understanding the sharing economy and its implication on sustainability in smart cities. *J. Clean. Prod.* 2020, 277.

19. Dameri, R. P., Benevolo, C., Veglianti, E., & Li, Y. Understanding smart cities as a glocal strategy: A comparison between Italy and China. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019 , 26–41 .

20. Allam, Z., & Dhunny, Z. A. . On big data, artificial intelligence and smart cities.2019, 89 , 80–91 .

21. Al-Turjman, F. M. . Information-centric sensor networks for cognitive IoT: An overview. *Annals of Telecommunications*, 2019, 3–18.

22. Bajaj, R., & Sharma, V. Smart Education with artificial intelligence based determination of learning styles. *Procedia computer science*, 2020 , 834–842 .

23. Soomro, S., Miraz, M. H., Prasanth, A., & Abdullah, M. Artificial intelligence enabled IoT: Traffic congestion reduction in smart cities. In *Smart Cities Symposium* 2018, pp. 1-6.



24. Cellary, W. Smart governance for smart industries. In Proceedings of the 7th International Conference on theory and practice of electronic governance, 2020, pp. 91–93.
25. Chatterjee, S., Kar, A. K., & Mustafa, S. Z. Securing IoT devices in smart cities of India: From ethical and enterprise information system management perspective. *Enterprise Information Systems*, 2021, 585–615 .
26. Rosten, E.; Porter, R.; Drummond, T. Faster and better: A machine learning approach to corner detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2019.
27. Brailean, J.C.; Kleihorst, R.P.; Efstratiadis, S.; Katsaggelos, A.K.; Legendijk, R.L. Noise reduction filters for dynamic image sequences: A review. *Proc. IEEE* 2015, 1272–1292.
28. Lin, C.-C.; Wang, M.-S. A Vision Based Top-View Transformation Model for a Vehicle Parking Assistant. *Sensors* 2017, 4431–4446.
29. Noh, B.; No, W.; Lee, J.; Lee, D. Vision-based potential pedestrian risk analysis on unsignalized crosswalk using data mining techniques. *Appl. Sci.* 2020, 10, 1057.
30. Zuo, S.; Jin, L.; Chung, Y.; Park, D. An index algorithm for tracking pigs in pigsty. *Ind. Electron. Eng.* 2014, 1, 797–804.
31. Jeppsson, H.; Östling, M.; Lubbe, N. Real life safety benefits of increasing brake deceleration in car-to-pedestrian accidents: Simulation of Vacuum Emergency Braking. *Accid. Anal. Prev.* 2018, 311–320.
32. Widmann, A.; Schröger, E.; Maess, B. Digital filter design for electrophysiological data—A practical approach. *J. Neurosci. Method.* 2014, 34–46.
33. Avinash, C.; Jiten, S.; Arkatkar, S.; Gaurang, J.; Manoranjan, P. Evaluation of pedestrian safety margin at mid-block crosswalks in India. *Saf. Sci.* 2018, 188–198.

## **ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)**

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ В SMART CITY ЗА  
РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ»

Студентка гр.ІСД-41 Юлія БОЙКО

Слайд 2

### МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

*Мета роботи* – підвищення рівня громадської безпеки в Smart city із застосуванням технологій штучного інтелекту.

*Об'єкт дослідження* – процес забезпечення громадської безпеки в Smart city.

*Предмет дослідження* – інтелектуальні системи громадської безпеки Smart city.

ЗАВДАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ:

1. Аналіз концепцій розумного міста, основні поняття та особливості розвитку.
2. Дослідження особливостей впровадження штучного інтелекту в Smart city.
3. Дослідження ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення для інтелектуальної системи безпеки Smart city.

Слайд 3

### ВИЗНАЧЕННЯ РОЗУМНОГО МІСТА

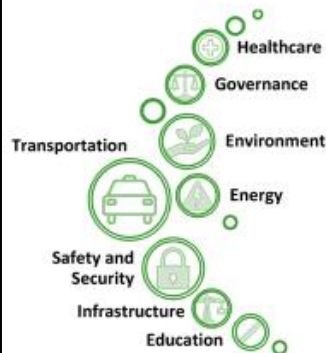


Рис.1.1. Напрямах розумного міста



Рис.1.2. Світова хмара, створена за допомогою складеного списку визначень розумного міста

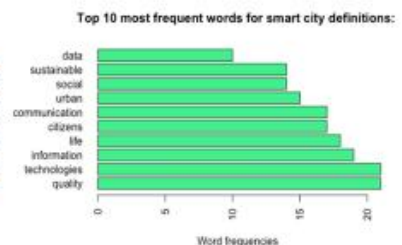


Рис.1.3. Діаграма частоти слів, створена за допомогою складеного списку визначень розумного міста

**Слайд 4 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РОЗУМНИХ МІСТ**

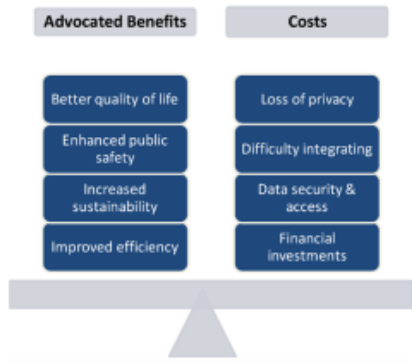


Рис.1.4 Переваги та витрати розумних міст



Рис.1.5 Проблеми у впровадженні рішень Smart City

Табл.1.1. Переваги та недоліки розумних міст

Переваги	Недоліки
Поліпшення якості життя	Високі витрати на впровадження
Прискорене економічне зростання	Питаннями конфідентності і безпеки
Підвищена стійкість	Відсутність стандартів
Підвищена ефективність	Нерівномірний розподіл благ між різними соціально-економічними групами в вірогідних сценаріях
Підвищена сумісність між різними системами	Потенційні ефекти переміщення через дегібрифлізацію
Сприяє інноваціям	Потенційне переміщення роботи
Покращене управління	

**Слайд 5 ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**



Рис.1.6. Популярність ключових слів «Розумне місто» та «Штучний інтелект»



Рис.1.7. Категоризація технологій ШІ в сучасних розумних містах

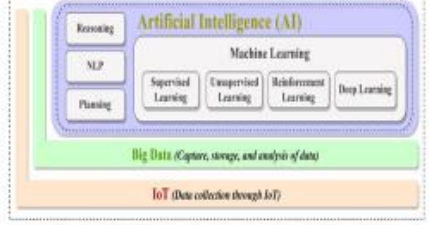
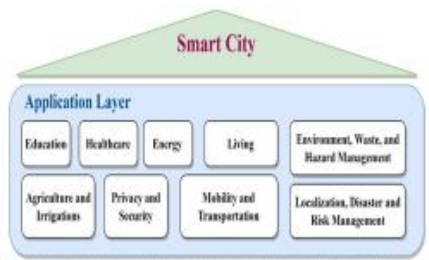


Рис.1.8. Концептуальний фреймворк smart city ШІ

**Слайд 6 СИСТЕМА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПРИДОРОЖНИМИ УМОВАМИ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В РОЗУМНИХ МІСТАХ**



Рис.1.9. Системи спостереження за дорожньою обстановкою на основі комп'ютерного зору



Рис.1.10. Хід процесу системи



Рис.1.11. Обчислення дорожнього простору



Рис.1.12. Ілюстрація розрахунку місця на дорозі

Слайд 7

ВІЗУАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

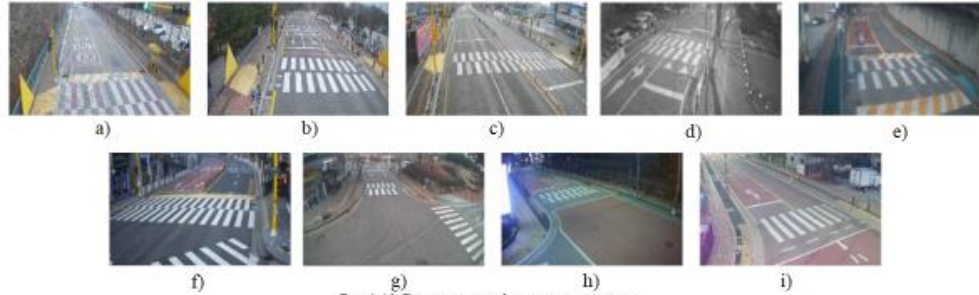


Рис. 1.13. Види з камер відеоспостереження

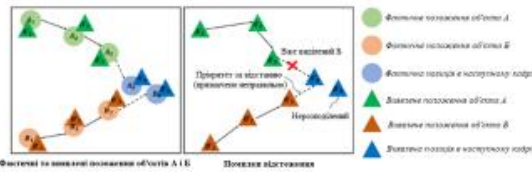


Рис. 1.14. Приклад фактичних рухів двох об'єктів (ліворуч); помилки відстеження (праворуч).

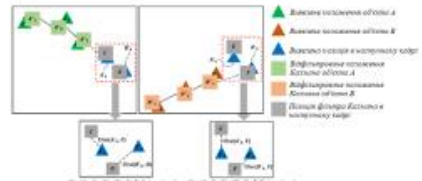


Рис. 1.15. Процес відстеження об'єктів та алгоритм індексації для об'єктів А (ліворуч) і В (праворуч).

Слайд 8

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ

Табл. 1.1. Ознаки з потенційно ризикованою поведінкою зіткнення

Цільовий об'єкт	Назва функції	Опис
Транспортний засіб	Швидкість	- Швидкість автомобіля змінюється карпами - Одиниця км/год
	Позиція	- Положення транспортних засобів змінюються на основі пішохідного переходу карпами - Позначається як «до пішохідного переходу», «на пішохідному переході» або «після пішохідного переходу»
	Прискорення	- Прискорення автомобіля змінюється карпами - Представлено як «прискорення (acc)», «уповільнення (dec)» або «без змін (nc)»
	Відстань до пішохідного переходу	- Зміна відстані між транспортними засобами та пішохідним переходом за карпам - Одиниця м
Пішохідний	Автомобіль зупиняється перед пішохідним переходом	- Чи зупинився транспортні засоби перед пішохідним переходом в одній сцені - Позначається як «стоп» або «без зупинки»
	Швидкість	- Швидкість пішохода змінюється за карпам - Одиниця км/год
Взаємодія транспортного засобу з пішоходом	Позиція	- По карпах змінюється положення пішоходів - Позначається як «тротуар», «пішохідний перехід» або «СІА (територія де являються пішохідні переходи)»
	Відстань	- Відстань між автомобілем і пішоходом змінюється карпам - Одиниця м
	Відносне положення	- Список відносних позицій між транспортним засобом і пішоходом за карпам - «Спереду» означає, що пішохід знаходиться спереду автомобіля, а «Позду» означає, що пішохід знаходиться ззаду автомобіля - Запис безпеки пішохода - Одиниця сек.

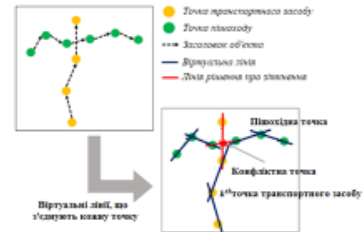


Рис. 1.16. Очікувана конфліктна точка в траєкторіях об'єктів

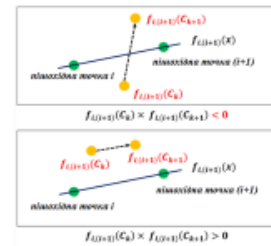


Рис. 1.17. Процес пошуку конфліктних точок за допомогою IVT

Слайд 9

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНО РИЗИКОВАНОЇ ПОВЕДІНКИ ЗІТКНЕННЯ

Табл. 1.2. Результати перевірки траєкторій за трьома критеріями

Спроб-код	Кількість сцен	Результат траєкторії без фактора Кальмана (порог автомобіля = 100, порог пішохода = 20)				Точність
		Пішохідний	Перетин	Спрямованість	Відстань	
Плани А	4789	45	98	305	0.91	
Плани В	3195	35	75	285	0.88	
Плани С	5311	32	112	401	0.90	
Плани D	7364	49	135	491	0.90	
Плани E	4285	54	98	358	0.88	
Плани F	8536	61	117	652	0.89	
Плани G	6259	55	118	499	0.89	
Плани H	3285	35	59	441	0.84	
Плани I	7940	35	90	595	0.91	
Середній		291	1012	4627	0.89	
Спроб-код	Кількість сцен	Результат траєкторії без фактора Кальмана (порог автомобіля = 100, порог пішохода = 20)				Точність
		Пішохідний	Перетин	Спрямованість	Відстань	
Плани А	4789	25	66	194	0.84	
Плани В	3195	21	38	201	0.81	
Плани С	5311	22	74	298	0.93	
Плани D	7364	40	105	347	0.93	
Плани E	4285	41	59	256	0.89	
Плани F	8536	45	111	515	0.92	
Плани G	6259	33	77	398	0.92	
Плани H	3285	14	32	387	0.86	
Плани I	7940	28	47	457	0.93	
Середній		271	635	3953	0.92	

Табл. 1.3. Результати точності з використанням допуску для транспортного засобу та пішохода в кожній точці

Спроб-код	Допуск (см)											
	Пішохідний об'єкт						Транспортний засіб					
	В	П	В	П	В	П	В	П	В	П	В	П
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
A	0.18	0.10	0.36	0.23	0.69	0.51	0.93	0.89	0.91	0.90	0.95	0.91
B	0.17	0.09	0.31	0.23	0.70	0.48	0.88	0.87	0.97	0.88	0.98	0.97
C	0.19	0.10	0.24	0.19	0.64	0.52	0.90	0.90	0.95	0.87	0.96	0.88
D	0.25	0.11	0.22	0.14	0.72	0.55	0.90	0.90	0.95	0.91	0.97	0.91
E	0.17	0.15	0.28	0.11	0.71	0.49	0.88	0.87	0.96	0.95	0.97	0.95
F	0.32	0.12	0.26	0.17	0.69	0.56	0.90	0.93	0.94	0.90	0.96	0.94
G	0.17	0.12	0.27	0.21	0.72	0.51	0.88	0.91	0.90	0.94	0.92	0.93
H	0.14	0.13	0.22	0.20	0.70	0.46	0.86	0.91	0.92	0.92	0.95	0.92
I	0.11	0.10	0.22	0.17	0.68	0.45	0.88	0.84	0.94	0.92	0.96	0.94
Середній	0.18	0.11	0.29	0.18	0.69	0.50	0.89	0.89	0.94	0.91	0.95	0.93

Табл. 1.4 Інформація про середню швидкість автомобіля в усіх місцях за типами сцен

Спроб-код	Усі сцени			Тип сцен	
	Міх (км/год)	Хв (км/год)	Середнє (км/год)	Середнє. Лише авто. знач.(км/год)	Середнє. Інтерактивна сцена (км/год)
A	71.3	5.6	18.2	20.3	12.2
B	87.3	4.4	24.5	25.9	16.2
C	75.4	6.3	36.5	41.7	21.7
D	79.7	4.1	18.1	18.4	14.6
E	68.1	2.3	22.3	23.3	17.6
F	51.3	5.9	20.9	21.2	11.3
G	65.9	9.4	14.0	14.2	9.4
H	59.2	3.3	21.4	21.5	14.7
I	70.2	7.4	33.8	34	19.8

**Слайд 10 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ПІШОХОДІВ БІЛЯ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКИ ЩОДО ЗУПИНКИ АВТОМОБІЛЯ**

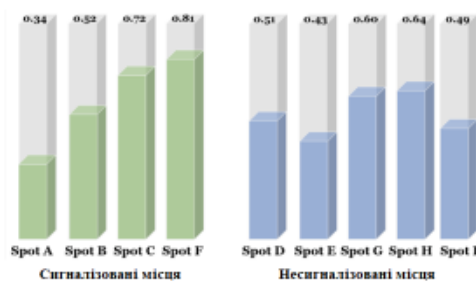


Рис. 1.18. Відсоток водіїв, які зупиняються в межах 10 м від пішохідних переходів для сцен із пішоходами на пішохідних переходах

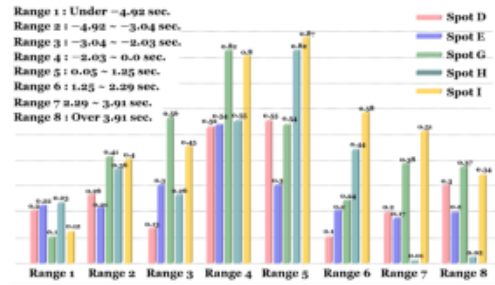


Рис. 1.19. Відсоток водіїв, які зупиняються перед пішохідним переходом за діапазоном PSM

**Слайд 11**

**ВИСНОВКИ**

Виконуючи поставлені завдання, мною було виконано дослідження поточного стану розумних міст, їх застосування та проблеми, пов'язані з їх впровадженням. Завдяки аналізу питань дослідження виявлено, що існує зростаюча тенденція до впровадження смарт-технологій у містах, зосереджуючись на покращенні залучення громадян, стійкості та ефективності. Однак існують також значні проблеми, зокрема розподіл бюджету, кількісний аналіз і визначення пріоритетів проєктів.

Виконано дослідження особливостей впровадження штучного інтелекту в основних сферах розумних міст, таких як охорона здоров'я, освіта, навколишнє середовище та управління відходами, мобільність і розумний транспорт, сільське господарство, управління ризиками та безпека. Аналіз показав, що міста можуть отримати вигоду від впровадження штучного інтелекту в розумні міста шляхом автоматизації операцій, зменшення людських помилок, прийняття ефективних рішень на основі даних, покращення навколишнього середовища за допомогою різних систем, впровадження нових комерційних можливостей та автоматизації ефективного міського управління.

Досліджено підхід до визначення потенційно ризикованої поведінки транспортних засобів і пішоходів за допомогою камер відоспостереження, встановлених на дорогах. Це дослідження було мотивовано відсутністю підходу до аналізу ризикованої поведінки учасників дорожнього руху на основі бачення за допомогою автоматичної обробки відео та методів глибокого навчання.