

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

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

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст»
для виявлення надзвичайних ситуацій

Виконав: студент IV курсу, групи СТс-41

спеціальності 126 Інформаційні системи та технології

(шифр і назва спеціальності)

Кондра Р.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дуда О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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

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

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 24 » червня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Кондрі Руслану Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій

Керівник роботи Дуда Олексій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » квітня 2024 року № 4/7-471

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо міської інфраструктури та геопросторових даних в середовищі «розумних міст»

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

Вступ. 1. Реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах». Стан та перспективи досліджень. 1.1 Реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT. 1.2. Використання геопросторових даних для позиціонування IoT-пристроїв у «розумних містах». 1.3. Стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах». 2. Аналіз геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій. 2.1. Управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах». 2.2. Аналіз процесу виявлення надзвичайних ситуацій на основі даних у «розумних містах». 2.3. Методика визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста». 2.4. Рівень пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті». 2.5. Рівень підключення комунікаційних мереж в «розумному місті». 3. Апробація процесів аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій. 3.1. Алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури. 3.2. Алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Титульний слайд. 2. Тема та мета. 3. Завдання роботи.

4. Актуальність роботи. 5. Практичне значення. 6. Розумні міста. 7. Геопросторові дані.

8. Концептуальне представлення позиціонування IoT-пристроїв. 9. Методика визначення зон позиціонування. 10. Приклад зон після розрахунку. 11. Приклад зон. 12. Потік даних.

13. Алгоритм. 14. Результати обчислень. 15. Висновки. 16. Завершальний слайд.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання 29 січня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	30.01.2024	Виконано
2.	Підбір джерел про міську інфраструктуру, геопросторові дані в середовищі «розумних міст»	31.01.2024-03.02.2024	Виконано
3.	Опрацювання джерел про міську інфраструктуру, геопросторові дані в середовищі «розумних міст»	04.02.2024-06.02.2024	Виконано
4.	Виконання дослідження щодо аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій	07.02.2024-11.02.2024	Виконано
5.	Оформлення розділу «Реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах». Стан та перспективи досліджень	03.06.2024-05.06.2024	Виконано
6.	Оформлення розділу «Аналіз геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій	06.06.2024-08.06.2024	Виконано
7.	Оформлення розділу «Апробація процесів аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій	09.06.2024-11.06.2024	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	12.06.2024-13.06.2024	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	14.06.2024-15.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	16.06.2024-17.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	20.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2024	

Студент

(підпис)

Кондра Р.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Аналіз геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Кондра Руслан Ігорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СТс-41 // Тернопіль, 2024 // С. 59, рис. – 10, табл. – 1, кресл. – 16, додат. – 0, бібліогр. – 39.

Ключові слова: бездротова мережа, виявлення аварій, обробка геопросторових даних, розгортання давачів, розумне місто, міські обчислення.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій. В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» розглянуто реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT. Висвітлено використання геопросторових даних для позиціонування IoT-пристроїв у «розумних містах». Проаналізовано стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах». В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» описано управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах». Проаналізовано процеси виявлення надзвичайних ситуацій на основі давачів у «розумних містах». Розглянуто методику визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста». Описано процес визначення рівня пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті». Описано процес визначення рівня підключення комунікаційних мереж в «розумному місті». В третьому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» описано алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст» та проаналізовано експериментальні результати аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій.

ANNOTATION

Analysis of Geospatial Data of Urban Infrastructure of "Smart Cities" for Emergency Detection // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Kondra Ruslan Ihorovych // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group STs-41 // Ternopil, 2024 // P. 59, fig. - 10, tabl. - 1, chair. - 16, annexes. – 0, references - 39.

Keywords: wireless network, accident detection, geospatial data processing, sensor deployment, smart city, urban computing.

The qualification work is devoted to the analysis of geospatial data of urban infrastructure of "smart cities" to identify emergency situations. In the first section of the qualifying work of the "bachelor" educational level, the response to emergency situations in "smart cities" with the help of data and IoT is considered. The use of geospatial data for the positioning of IoT devices in "smart cities" is highlighted. The state and prospects of research in the field of response to emergency situations in "smart cities" are analyzed. The second chapter of the qualifying work of the "bachelor" educational level describes the management of emergency situations in "smart cities". The processes of emergency detection based on sensors in "smart cities" were analyzed. The method of determining the positioning zones of IoT devices of the "smart city" was considered. The process of determining the level of mitigation of the zone of influence of emergency situations in the "smart city" is described. The process of determining the level of connection of communication networks in the "smart city" is described. In the third section of the qualification work of the "bachelor" educational level, the algorithm for positioning IoT devices of the urban infrastructure of "smart cities" is described and the experimental results of the analysis of geospatial data of the urban infrastructure of "smart cities" for the detection of emergency situations are analyzed.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Екосистема даних – це складна система, що складається з взаємопов'язаних людей, організацій, процесів та технологій, які збирають, обмінюються, аналізують та використовують дані.

НС – Надзвичайна ситуація.

ШІ – Штучний інтелект.

GPS (англ. Global Positioning System) – система глобального позиціонування.

LPWAN (англ. Low Power Wide Area Network) – Глобальна мережа низької потужності.

QoS (англ. Quality of service) – якість обслуговування.

QoE (англ. Quality of Experience) – якість досвіду.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ В «РОЗУМНИХ МІСТАХ». СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT.....	10
1.2 Використання геопросторових даних для позиціонування IoT- пристроїв у «розумних містах»	12
1.3 Стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах»	15
1.4 Висновок до першого розділу	15
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	20
2.1 Управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах»	20
2.2 Аналіз процесу виявлення надзвичайних ситуацій на основі давачів у «розумних містах»	21
2.3 Методика визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста».....	23
2.4 Рівень пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті»	27
2.5 Рівень підключення комунікаційних мереж в «розумному місті».....	31
2.6 Висновок до другого розділу	35
РОЗДІЛ 3. АПРОБАЦІЯ ПРОЦЕСІВ АНАЛІЗУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	36
3.1 Алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст».....	36

3.2 Експериментальні результати аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій.....	41
3.3 Висновок до третього розділу	47
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування».....	48
4.2 Контроль за станом охорони праці.....	51
4.3 Висновок до четвертого розділу	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Актуальність теми. Виявлення критичних ситуацій завдяки застосуванню мультисенсорних блоків виявлення надзвичайних ситуацій (IoT-пристрої) може значно скоротити час між початковими стадіями міських надзвичайних ситуацій і фактичними реакціями на пом'якшення негативних наслідків. Це полегшує порятунок людей, які знаходяться під загрозою, процедури попередження потенційних жертв і пом'якшення причин надзвичайних ситуацій в середовищі «розумних міст». Однак, незважаючи на те, що переваги таких IoT-пристроїв добре відомі, їх належне розміщення в місті є складним, якщо враховувати обмежений набір апаратно-програмних засобів. У цьому сенсі підходи, керовані даними «розумного міста», можуть бути використані для забезпечення кращого сприйняття міського середовища, що дає змогу адаптувати системи управління надзвичайними ситуаціями до особливостей «розумного міста». Таким чином покращуючи позиціонування IoT-пристроїв. У цій кваліфікаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» пропонується обробка геопросторових даних міської інфраструктури, пов'язаної з надзвичайними ситуаціями, для підтримки визначення небезпечних зон ризику в «розумному місті», які видобуваються з бази даних разом із геопросторовою картою вулиць у визначеній локації. Актуальність даної теми дослідження обумовлена наступними факторами:

- Зростання кількості та складності надзвичайних ситуацій у сучасному світі. Зміна клімату, урбанізація, зростання населення та інші фактори призводять до збільшення частоти та масштабності надзвичайних ситуацій, таких як повені, землетруси, пожежі, терористичні атаки тощо.

- Впровадження та розвиток концепції «розумних міст». «Розумні міста» використовують інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) для збору та аналізу даних про різні аспекти міського життя, включаючи транспорт, енергетику, охорону здоров'я та безпеку.

– Розвиток технологій аналізу геопросторових даних. Геопросторові дані, такі як дані GPS, супутникових знімків та датчиків, містять цінну інформацію про місцезнаходження та стан об'єктів міської інфраструктури.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є формування підходу до аналізу геопросторових даних міської інфраструктури "розумних міст" для оптимізації позиціонування IoT-пристроїв та покращення систем управління надзвичайними ситуаціями. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

– Проаналізувати теоретичні засади та сучасні тенденції реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» з акцентом на використання даних та IoT-пристроїв.

– Дослідити методики та алгоритми аналізу геопросторових даних для виявлення та прогнозування надзвичайних ситуацій.

– Розробити підхід для визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста» з урахуванням факторів ризику надзвичайних ситуацій та можливостей реагування.

Практичне значення одержаних результатів.

Систематизовані знання про теоретичні засади та сучасні тенденції реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах».

Розроблена підхід для аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення та прогнозування надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 1. РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ В «РОЗУМНИХ МІСТАХ». СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT

«Розумні міста» використовують «розумні» міські цифрові послуги на базі керованих даними підходів [1] для:

- підвищення безпеки міського середовища;
- забезпечення мобільності громадян;
- підвищення стійкості міських систем.

Загалом, інформаційно-технологічні досягнення є ключем для покращення процесів міського планування, управління та надання послуг [2], з прямим впливом на показники якості життя громадян. Завдяки інтеграції цифрових технологій і систем підтримки прийняття рішень [3] на основі даних «розумні міста» можуть:

- підвищити ефективність споживання ресурсів;
- покращити та забезпечити доступний транспорт;
- оптимізувати громадську безпеку;
- надавати ефективніші послуги.

При цьому дані, що отримані в режимі реального часу, від давачів і пристроїв Інтернету речей (IoT) стають все більш поширеними як основні джерела даних, що підтримують множину застосунків [4]. Серед них набули розвитку системи управління надзвичайними ситуаціями, даючи змогу автоматично реагувати на критичні ситуації, а також підтримуючи процеси «розумного» міського планування, коли відбувається передбачення міських надзвичайних ситуацій та стихійних лих.

Стійкі «розумні міста» розроблені таким чином, щоб протистояти потрясінням і надзвичайним ситуаціям, таким як:

- природні пожежі;
- повені;
- пандемії.

Та ефективно відновлюватися після них [5]. Хоча інтеграція нових технологій і підходів, що керуються даними, у міському середовищі є складною з багатьох аспектів, вона може забезпечити достатні ресурси для кращого вирішення критичних ситуацій. Зокрема, належна обробка даних може дати важливі підказки щодо найкращих цифрових послуг, які слід задіяти, а також параметрів їх конфігурації [6]. У цьому сенсі відкриті бази даних можна використовувати, щоб надати цінну інформацію про важливі фактори, такі як щільність населення та «розумна» міська інфраструктура [7]. Водночас інші стратегії, орієнтовані на дані, зокрема, краудсенсинг і аналітика великих даних також можуть бути корисними. Використання відкритих баз даних для підтримки ініціатив «розумного міста», особливо коли розглядається геопросторова інформація, отримана з відкритих географічних баз даних, дійсно є важливою тенденцією, яка останнім часом розглядається для багатьох програм «розумного міста» [8].

Геопросторові дані про міську динаміку та існуючу інфраструктуру корисні для підтримки планування та функціонування систем управління надзвичайними ситуаціями. Покладаючись на моніторинг на основі датчиків для виявлення надзвичайних ситуацій, «розумні міста» можуть використовувати набір мультисенсорних блоків на базі IoT-пристроїв для виявлення надзвичайних ситуацій, збору точної інформації для сповіщення громадян про надзвичайні ситуації та пом'якшення їхніх наслідків [9]. Ці польові підрозділи збирають, обробляють і виявляють зміни в навколишньому середовищі та міських даних і передають їх через бездротові сенсорні мережі в центр екстрених операцій «розумного міста», іноді також виконуючи деяку оперативну обробку інформації для підвищення ефективності [10]. Наприклад, коли виявляється надзвичайна ситуація, IoT-пристрої ініціює негайну реакцію:

- активація тривоги;

- сповіщення екстрених служб;
- впровадження протоколів безпеки.

IoT-пристрої повинні бути стратегічно розташовані, враховуючи не лише вимірний міський ризик над містом, але й постійно підключене інформаційне та комунікаційне середовище, оскільки для ефективного виявлення надзвичайних ситуацій у режимі реального часу та реагування на них потрібна надійна система бездротового зв'язку.

Ефективне розміщення та розгортання IoT-пристроїв може безпосередньо сприяти підвищенню ефективності систем управління надзвичайними ситуаціями кількома способами [11]. Хоча навколо цієї загальної ідеї можуть бути різні концепції, загалом вважається, що «позиціонування» – це процедура вказівки ефективних позицій для підрозділів, тоді як «розгортання» – це дія виконання фізичного розміщення на місці. Таким чином, позиціонування є необхідним кроком до фактичного розгортання. Загалом, стратегічно розташувавши IoT-пристрої у вибраних локаціях «розумного міста», потенційно можна досягти кращої конфігурації розгортання, яка могла б мінімізувати час виявлення та покращити швидкість реагування на надзвичайні ситуації [10]. Оскільки позиціонування IoT-пристроїв можна покращити, розуміючи складну взаємодію між:

- мешканцями «розумного міста»;
- факторами навколишнього середовища;
- міською інфраструктурою;
- елементами зв'язку.

1.2 Використання геопросторових даних для позиціонування IoT-пристроїв у «розумних містах»

Геопросторові дані можна було б використовувати для оптимізації позиціонування. Таким чином, багатофакторний аналіз, заснований на геопросторових даних з багатьох джерел, що включає інформацію як про

інфраструктуру пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій, так і про бездротові мережі, виступає як контрольна точка для визначення високо адаптивної концепції зони позиціонування (PZ) [12]. Такі концептуальні зони є ключовим елементом при оптимізації позиціонування IoT-пристроїв.

Оскільки група зон позиціонування з гіршою підтримкою міської інфраструктури, пов'язаної з надзвичайними ситуаціями – лікарні, пожежні бригади та поліцейські дільниці, може забезпечувати гірші послуги реагування під час надзвичайної ситуації, у середньому ця інформація повинна використовуватися для вказівки, де найбільше потрібні IoT-пристрої, збалансування можливостей реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» у більш ефективний спосіб.

Незважаючи на те, що початкові розробки, засновані на цих концепціях, уже були представлені в [13], дотримуючись різних підходів, задача позиціонування IoT-пристроїв відповідно до існуючої інфраструктури бездротового зв'язку була в подальшому розвинута, вимагаючи нової моделі для досягнення більш реалістичних результатів.

Описану в [13] концепцію зон реагування було розширено, щоб представити інформацію про пов'язану здатність реагування на надзвичайні ситуації зони позиціонування у формі параметра «рівень пом'якшення». Крім того, дослідники запропонували параметр «рівень підключення», який базується на ключових компонентах:

- дальність зв'язку;
- технологія бездротового зв'язку.

Розглядаючи дальність, рівень з'єднання може вказати, чи надійна мережа адекватно покриває будь-яку невелику територію в межах «розумного міста». Це передбачає оцінку діапазону та потужності сигналу «розумної» мережевої інфраструктури в цій локації за допомогою актуальних баз даних бездротових сенсорних мереж. Інформація про підключення до мережі також допомагає визначити протокол, який забезпечить найкраще покриття для певної міської зони. Поєднання параметрів пом'якшення наслідків і зв'язку в одній

макроперспективі зон позиціонування може призвести до ефективного позиціонування IoT-пристроїв, потенційно підвищуючи ефективність «розумних» систем управління надзвичайними ситуаціями.

Базуючись на регульованій концепції зон позиціонування, доцільно дослідити інтеграцію «розумних» систем міського реагування на надзвичайні ситуації та бездротової мережевої інфраструктури для оптимізації позиціонування IoT-пристроїв в «розумних містах». У цьому контексті на рисунку 1.1 зображено загальний підхід до позиціонування IoT-пристроїв на основі двох розглянутих джерел геопросторових даних:

- інфраструктури, пов'язаної з надзвичайними ситуаціями – для обчислення рівнів реагування;
- бездротової мережі – щоб дозволити детальне позиціонування IoT-пристроїв на основі рівнів підключення.

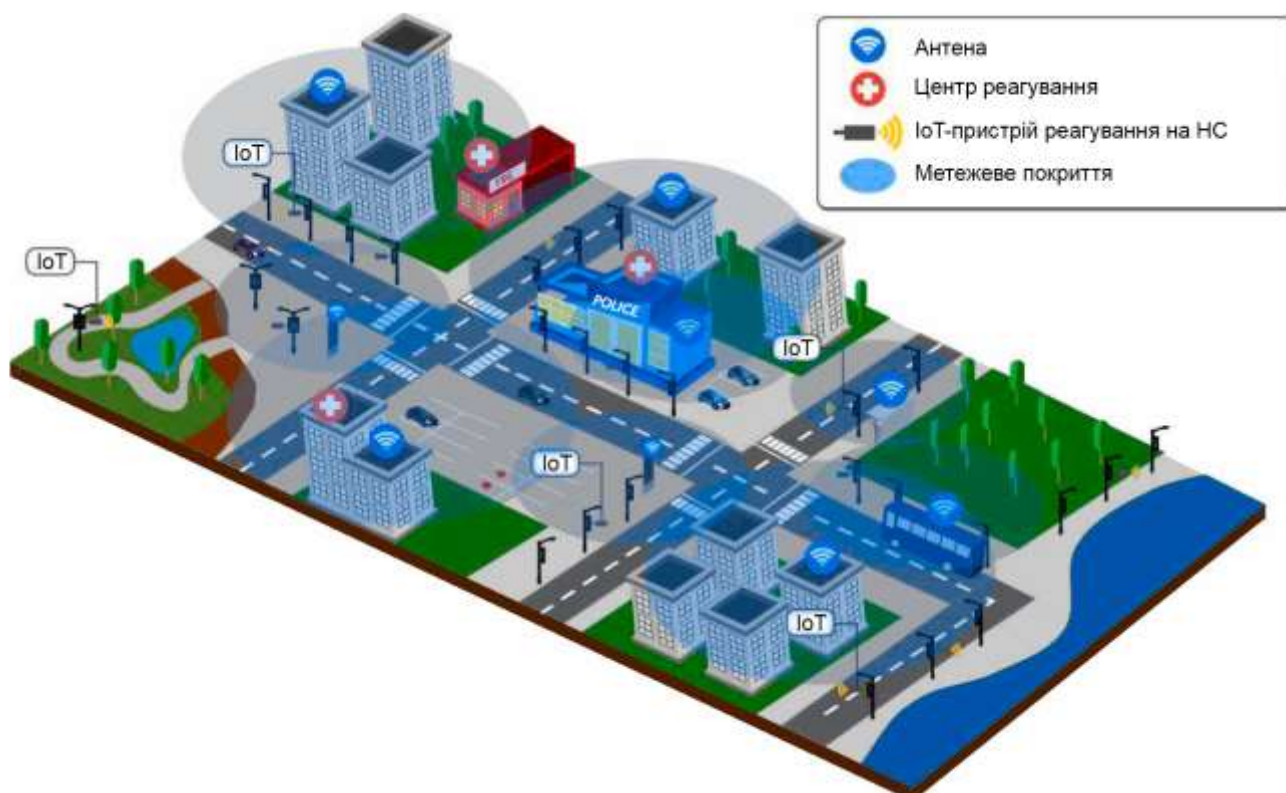


Рисунок 1.1 – Концептуальне представлення позиціонування IoT-пристроїв на основі центрів екстреного реагування та існуючих мереж [13]

Основною задачею кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» є стратегічне позиціонування IoT-пристроїв на основі оптимізації даних. Для цього слід взяти до уваги переважаючу міську інфраструктуру та математично обчислену стійкість міст до надзвичайних ситуацій, що дасть змогу скоротити час виявлення надзвичайних ситуацій і покращити реагування на надзвичайні ситуації, особливо в районах високого ризику.

Таким чином можна підвищити загальну ефективність міських «розумних» систем управління надзвичайними ситуаціями. Такого вдосконалення можна досягти за допомогою різноманітних методів, керованих даними, на основі відкритих баз даних, що полегшує застосування в будь-якому «розумному місті». Основними задачами цієї кваліфікаційної роботи є обробка необхідних наборів даних і розробка гнучкої та всеосяжної моделі, яка б давала змогу проводити заплановані обчислення на реальних наборах даних, зібраних із публічних баз даних – геопросторові та мережеві дані.

1.3 Стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах»

Ефективне збирання та обробка даних має першочергове значення для запобігання стихійним лихам і пом'якшення небезпечних для життя ситуацій [14]. Скалярні давачі, які є основними джерелами даних в середовищі «розумних міст», надають цінну інформацію про поточний стан навколишнього середовища, полегшуючи виявлення раптових змін, які можуть спровокувати надзвичайні ситуації, такі як забруднення повітря, пожежі, повені та землетруси. Наукова література пропонує різноманітні рішення, які використовують давачі, смартфони, соціальні мережі та відкриті бази даних як важливі джерела даних [15]. Ці різноманітні джерела підвищують ефективність «розумних» систем управління надзвичайними ситуаціями, пропонуючи вичерпні дані в режимі реального часу для ситуаційної обізнаності та

планування реагування. Серед цих рішень IoT-давачі стали економічно ефективним і універсальним інструментом для збору даних параметри:

- температура;
- вологість;
- освітленість;
- концентрація газів.

Це дає змогу розподілено виявляти несприятливі умови в «розумному місті» [16]. Крім того, включення мультимедійних даних з камер і мікрофонів ще більше збагачує сприйняття сенсорного середовища. Ці технологічні досягнення в мультисенсорних системах виявлення надзвичайних ситуацій проклали шлях до розробки більш комплексних систем управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах». Проте задача ефективного розміщення цих підрозділів, враховуючи унікальні характеристики та вимоги кожного «розумного міста», залишається.

Геопросторові дані надають значні переваги «розумним містам», зокрема у вдосконаленні систем управління надзвичайними ситуаціями. Інтеграція метаданих про місцезнаходження з іншими критично важливими джерелами даних, такими як скалярні давачі, дає змогу міським агентствам з управління надзвичайними ситуаціями отримати повне розуміння міської ситуації [17]. Ця інтеграція дає змогу їм приймати обґрунтовані рішення та швидко й ефективно реагувати під час криз. Переважаючою стратегією вдосконалення систем управління надзвичайними ситуаціями є розгортання блоків на основі IoT-давачів, оснащених пристроями глобальної системи позиціонування) [9]. Ці пристрої використовують координати GPS, щоб зв'язати метадані про місцезнаходження з інформацією моніторингу перед передачею її на сервер зберігання та обробки.

Програми «розумного міста» виграють від використання геолокованих джерел даних, які дають уявлення про критичні фактори, такі як щільність населення, інфраструктура та минулі події. Інтеграція державних державних баз даних збагачує екосистему даних, надаючи актуальну інформацію про:

- демографію;
- інфраструктуру;
- «розумні» послуги;
- безпеку.

Ця інтеграція дає змогу агентствам з управління надзвичайними ситуаціями приймати обґрунтовані рішення на основі вичерпних даних у режимі реального часу, покращуючи обізнаність про ситуацію та підвищуючи ефективність реагування на надзвичайні ситуації.

Дослідження [12] підкреслюють важливість структур геопросторових даних у боротьбі з катастрофами в «розумних містах», демонструючи інтеграцію різних джерел даних, таких як соціальні медіа, прогнози погоди та мережі давачів, для покращення картографування небезпек і сприйняття ризиків. Методи просторового аналізу, включаючи кластеризацію [18] і аналіз гарячих точок, також допомагають визначити зони високого ризику. В таблиці 1.1 підсумовано джерела даних «розумних міст» і використані методи [12].

Таблиця 1.1 – Геопросторові дані та сенсорний моніторинг у «розумних містах» [12]

Дані	Джерело	Доступність	Застосування
1	2	3	4
Частково географічний район	OpenStreetMap	Відкрите	Розпізнавання застосунків
Краудсорсинг	Доменні експерти	Обмежений	Міська жива лабораторія
Краудсорсинг	Громадяни	Обмежений	Моніторинг якості повітря
Карти вулиць	Географічна база даних	Відкрите	Моніторинг доріг
Інформація про громадський транспорт Розташування автобусної зупинки	Дані міського громадського транспорту	Відкрите	Розпізнавання застосунків

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Дорожньо-транспортна пригода	Громадська база даних ДТП міста	Відкрите	Виявлення та попередження дорожньо-транспортних пригод
3-D міський ландшафт	Симуляція	Невідомо	Загальне розгортання давача
Базові станції та давачі	Симуляція	Невідомо	Поліпшення підключення
Карти вулиць, Рівень загрози	Географічна база даних	Відкрите	Виявлення міських НС
Карти вулиць. Рівень загрози. Бездротові мережі Геопросторові та пов'язані метадані	Набір даних про бездротове підключення OpenStreetMap	Відкрите	Оптимізація позиціонування IoT-пристроїв

Прийняття геопросторових рамок надає особам, які займаються ліквідацією наслідків стихійних лих, цінну інформацію та методи для аналізу, оцінки та картографування моделей небезпеки, що, зрештою, сприяє виробленню проактивних та ефективних стратегій боротьби зі стихійними лихами. Застосунки «розумного міста» виграють від використання геолокованих джерел даних, які дають уявлення про критичні фактори, такі як щільність населення, інфраструктура та минулі події [19].

Доступ до відкритих баз даних із узгодженою інформацією про бездротову інфраструктуру та параметри мережі має вирішальне значення для подолання проблем з підключенням і максимального підключення середовища «розумного міста». У дослідженні [20] використовувалися вузли мережі громадського транспорту, такі як автобусні зупинки та автобуси, для покращення зв'язку за допомогою спільних розкладів і географічної інформації. Крім того, автори використовували загальнодоступні набори даних краудсорсингових вимірювань потужності отриманого сигналу (RSS), щоб підвищити точність вимірювань бездротового сигналу для визначення місцезнаходження базової станції. Автори [21] провели експеримент

профілювання великомасштабної муніципальної бездротової мережі, оцінивши її якість обслуговування (QoS), якість досвіду (QoE) та загальне використання на основі даних щодо безкоштовного доступу до Wi-Fi. Відсутність комплексних джерел даних для публічних мереж, таких як Wi-Fi і LPWAN, залишається проблемою для оптимізації підключення давачів у «розумних містах». Новий доступ до реальних даних з різних типів підключених і сенсорних пристроїв дає змогу здійснювати ефективний моніторинг і управління «розумними містами» на основі часто оновлюваних джерел даних, а не синтетичних моделей або тестових середовищ [2]. Використовуючи бездротові давачі разом із доступними джерелами даних, «розумні міста» можуть подолати розрив і ефективно використовувати інфраструктуру загальнодоступної мережі, що призводить до покращеного підключення та ефективного управління міським середовищем.

Дані можна використовувати для розуміння «розумного міста» шляхом аналізу кореляції між атрибутами, зібраними з різних джерел, що допомагає точно зрозуміти міські умови. Системи візуалізації можуть бути розроблені для полегшення інтуїтивно зрозумілого розуміння результатів аналізу даних, таких як відображення розташування давачів на картах і візуалізація змін у вимірюваннях та оцінках ризиків з часом [2]

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» розглянуто реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT. Висвітлено використання геопросторових даних для позиціонування IoT-пристроїв у «розумних містах». Проаналізовано стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах».

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

2.1 Управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах»

У контексті управління надзвичайними ситуаціями в сценарії «розумного міста» своєчасне та ефективне виявлення та врегулювання критичних ситуацій має першорядне значення, що вимагає доступу до величезних обсягів різноманітної інформації. Два аспекти є центральними для цього процесу:

- ідентифікація аномальних подій;
- всебічне розуміння їхнього просторового контексту в міському середовищі.

Отже, точне моделювання міст з використанням геопросторових даних є важливою передумовою для досягнення цих цілей.

Серед можливостей під час розгляду джерел даних для виявлення надзвичайних ситуацій мультисенсорні електронні IoT-пристрої можна розглядати як основне джерело даних у багатьох сценаріях або навіть як важливе джерело в наборі різнорідних джерел [22]. Насправді мережі сенсорних вузлів зіграли важливу роль у розвитку більшості проектів «розумних міст», і існує багато досліджень, які покладаються на багатосенсорні IoT-вузли для множини функцій. Однак проблема полягає в тому, щоб знайти правильну апаратну та програмну конфігурацію для IoT-давачів, а також відповідні позиції для них. Оскільки конфігурація давачів виходить за рамки цієї кваліфікаційної роботи, опубліковано обширний перелік наукової та популярної літератури на цю тему [9], позиціонування та подальше розгортання блоків виявлення надзвичайних ситуацій все ще вимагають достатнього дослідження для оптимізації їх ефективності при виявленні критичних ситуацій.

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «бакалавр» зосереджена насамперед на визначенні комплексної моделі, яка охоплює мультисенсорні IoT-вузли, націлені на виявлення надзвичайних ситуацій у «розумних містах», включаючи їх вимоги до підключення, а також пов'язану з надзвичайними ситуаціями міську інфраструктуру та допоміжні елементи моделювання. За допомогою такої моделі відповідні алгоритми можна розробити та оцінити в реальних містах, потенційно надаючи цінні знання.

2.2 Аналіз процесу виявлення надзвичайних ситуацій на основі давачів у «розумних містах»

У цій кваліфікаційній роботі основним елементом є блок виявлення аварійних ситуацій. IoT-пристрої $u \in U$ – це мультисенсорний IoT-пристрій із достатньою пам'яттю та ресурсами обробки для завдання виявлення надзвичайних ситуацій, який може живитися від батарей або будь-якого зовнішнього джерела живлення.

На даний момент використання давачів як основного джерела даних під час виявлення однієї чи кількох надзвичайних ситуацій, підтверджено [10]. Потім давачі надаватимуть дані про різні типи змінних, які можуть бути пов'язані з надзвичайними ситуаціями, серед яких:

- загальні змінні включають токсичні елементи;
- геологічні та вібраційні події;
- акустичні та візуальні комплексні дані;
- моделі навколишнього середовища тощо.

На основі наданої інформації алгоритми використовуватимуться для визначення того, чи представляє комбінація змінних, що визначаються, надзвичайну ситуацію. Насправді для цього можна прийняти кілька різних рішень, наприклад, використовуючи евристичні алгоритми або моделі висновків на основі ШІ [23], щоб визначити поточну ситуацію як критичну. У цьому сенсі, оскільки зондування є основним джерелом інформації для

виявлення надзвичайних ситуацій, незалежно від використовуваних алгоритмів виявлення, ефективне позиціонування IoT-пристрою є основною інформацією.

Краще позиціонування може призвести до того, що давачі отримують більш відповідні дані для більш оптимізоване виявлення надзвичайних ситуацій.

Фактична робота IoT-пристрою може суттєво відрізнятися залежно від багатьох факторів. У той час як деякі підходи можуть покладатися на рішення, які виконуються на межі [24], іншим системам потрібно буде передавати дані на зовнішні пристрої або периферійні сервери для подальшої обробки, окремо або комбінуючи дані з кількох джерел.

Таким чином, запропонований підхід має на меті рекомендувати позицію розгортання для кожного IoT-пристрою, беручи до уваги мережеві обмеження IoT-пристроїв та обчислене сприйняття ризику «розумного міста». Це робиться шляхом позиціонування IoT-пристрою $u \in U$ для декількох $|U|$ IoT-пристроїв за $(x(u), y(u))$ координатою GPS, яка обчислюється за допомогою алгоритмів позиціонування.

Припускається, що лише один IoT-пристрої може бути розміщений в одній позиції, і, таким чином, $(x(u_1), y(u_1)) \neq (x(u_2), y(u_2))$ для $u_1, u_2 \in U$ та $u_1 \neq u_2$. Процес позиціонування враховує кількість доступних IoT-пристроїв у кожній категорії комунікаційних обмежень (слабкі та жорсткі). Давайте визначимо два набори: U_1 , що представляє IoT-пристрої із слабкими вимогами до зв'язку, та U_2 , що представляє IoT-пристрої із жорсткими вимогами до зв'язку. Ці набори роз'єднані, тобто вони не мають спільних елементів. Отже, об'єднання U_1 і U_2 охоплює всі IoT-пристрої ($U_1 \cup U_2 = U$), а їх перетин є порожнім ($U_1 \cap U_2 = \emptyset$). Підсумовуючи кількість IoT-пристроїв в кожній категорії, визначаємо загальну кількість IoT-пристроїв в системі ($|U| = |U_1| + |U_2|$).

2.3 Методика визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста»

Позиціонування IoT-пристроїв базується на новій концепції зон позиціонування («PZ»). «PZ» – це абстрактна концепція, яка визначає невелику територію в цільовому місті, де можна розмістити IoT-пристрої, охоплюючи набір параметрів конфігурації. Роблячи це, ми очікуємо, що зможемо змодельовати множину локацій у «розумному місті», відкриваючи багато можливостей для оптимізації.

Спочатку нам потрібно змодельовати цільове місто для позиціонування IoT-пристроїв. Зона впливу («AoI») визначається як регіон, який ми зацікавлені в оцінці оптимального позиціонування набору IoT-пристроїв «розумного міста», і такою територією може бути окреме ціле місто або локація, що складається з різних районів. Це забезпечує більшу гнучкість. «AoI» – це багатокутне представлення довільної форми, яке приблизно окреслює географічні межі розглянутої локації [12].

Концепція «AoI» використовується як макрорепрезентація області, що складається з суміжних і роз'єднаних зон позиціонування, кожна з яких має точні розміри квадрата. Комбінація цих зон утворює сітчасту область [12], як показано на рисунку 2.2.

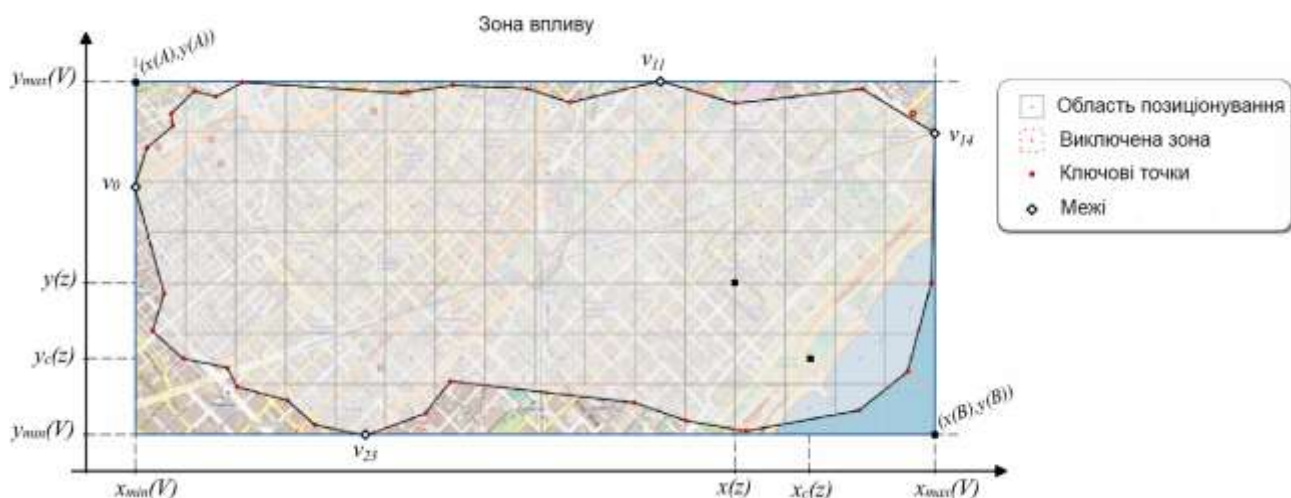


Рисунок 2.1 – Зона впливу на основі багатокутної географічної межі [12]

Це сітчасте представлення пропонує переваги з точки зору моделювання та продуктивності обчислень, оскільки характеристики всієї зони можна спроектувати на одну точку центр площі «PZ».

Отже, задача моделювання безперервної області може бути апроксимована проблемою цільового моделювання, яку можна розглядати дискретно, таким чином зменшуючи кількість даних, які потрібно обробити. Насправді це наближення забезпечує високу точність, якщо зона досить мала [25], що призводить до того, що визначення фактичних розмірів «PZ» залежить від доступних обчислювальних ресурсів і очікуваної точності моделі.

Формально багатокутник «AoI» визначається набором відрізків L , побудованих шляхом з'єднання впорядкованого набору вершин V . Вершини $v \in V$ використовуються для формування набору відрізків:

$$L = \{v_0 \bar{v}_1, v_1 \bar{v}_2, \dots, v_{|V|-1} \bar{v}_{|V|}, v_{|V|} \bar{v}_0\} \quad (2.1)$$

Разом вони утворюють фактичний багатокутник, що оточує «AoI». Хоча «AoI» представлено у вигляді багатокутника, його подібна до сітки форма передбачає абстракцію прямокутного шаблону, який точно визначає положення кожної зони.

Припустімо, що багатокутник, який визначає «AoI», ідеально замкнутий обмежувальним прямокутником. У цьому сценарії крайня ліва вершина (v_0 , у випадку рис. 2.1) «AoI» належить лівому краю прямокутника, найвища вершина (v_{11}) належить верхньому краю, крайня права вершина (v_{14}) належить до правий край, а найнижча вершина (v_{23}) належить нижньому краю, як показано на рис. 2.1.

Використовуючи цей підхід моделювання, ми можемо легко визначити мінімальні та максимальні координати x і y ($x_{min}(V)$, $x_{max}(V)$, $y_{min}(V)$, $y_{max}(V)$) серед усіх вершин $v \in V$. Ці значення, у свою чергу, дають можливість обчислити позицію та розміри

прямокутника, що містить зони позиціонування, ребра яких визначаються вершинами A та B з їх відповідними координатами:

$$\begin{aligned} (x(A), y(A)) &= (x_{\min}(V), y_{\max}(V)) \\ (x(B), y(B)) &= (x_{\max}(V), y_{\min}(V)) \end{aligned} \quad (2.2)$$

На основі обчисленого охоплюючого прямокутника «AoI» можна визначити розташування кожної «PZ» [12]. Позначимо зону позиціонування через $z \in Z$, де Z є множиною всіх «PZ» всередині прямокутника, що охоплює полігональний «AoI». Загальну кількість зон позиціонування в цьому прямокутнику, позначену $|Z|$, можна розрахувати за допомогою рівняння (2.3).

$$\begin{aligned} zw &= \left\lfloor \frac{\text{dist}(x(A), x(B))}{l} \right\rfloor, \quad zh = \left\lfloor \frac{\text{dist}(y(A), y(B))}{l} \right\rfloor \\ |Z| &= zw \cdot zh \end{aligned} \quad (2.3)$$

де zw і zh представляють кількість «PZ», які складають прямокутник, що охоплює «AoI» по горизонталі та вертикалі відповідно.

$\text{dist}(c1, c2)$ представляє гаверсинусну відстань від точок $c1$ і $c2$, оскільки GPS-координати розглядаються як еталон моделі [26].

Кожна зона z має набір параметрів, визначених таким чином:

- Верхнє ліве положення: $(x(z), y(z))$, як обчислено за рівнянням (2.4);

$$x(z_i) = x(A) + l \cdot (i(z) \bmod zw), \quad y(z_i) = y(A) + l \cdot \left(\left\lfloor \frac{i(z)}{zw} \right\rfloor \right) \quad (2.4)$$

- Довжина: l метрів.
- Центр: $(x_c(z), y_c(z))$, як обчислено за рівнянням (2.5).

$$x_c(z) = x(z) + \frac{l}{2}, \quad y_c(z) = y(z) + \frac{l}{2} \quad (2.5)$$

– Індекс $i(z)$, що представляє послідовну позицію «PZ» z в межах, що охоплюють прямокутник «AoI» зліва направо, зверху вниз, починаючи з 0.

– Рівень пом'якшення $ML(z)$, обчислене сприйняття міського ризику відповідно до відстаней до об'єктів пом'якшення, пов'язаних із надзвичайними ситуаціями [12].

– Рівень зв'язку $CL(z)$, асоціація різних характеристик зв'язку, визначена запропонованою метрикою.

$$x_c(z) = x(z) + \frac{l}{2}, \quad y_c(z) = y(z) + \frac{l}{2} \quad (2.6)$$

Початкові параметри кожної зони позиціонування використовуються для просторових обчислень.

На цьому етапі нам потрібно знайти набір Z' , який містить лише зони позиціонування, які знаходяться всередині полігональної області «AoI», для $Z' \subset Z$. Це зони, які фактично розглядатимуться для розміщення IoT-пристроїв. Більш детальне пояснення процедури геометричної перевірки, щоб перевірити, чи дана зона – її центр знаходиться всередині багатокутної області «AoI», можна знайти в [27].

Загалом, внутрішня та зовнішня позиція кожної зони перевіряється шляхом підрахунку того, скільки разів уявна лінія, що тягнеться від позиції зони праворуч, перетинає лінію багатокутника в наборі L . Якщо уявна лінія перетинає непарну кількість ліній багатокутника, зона знаходиться всередині багатокутника, інакше вона вважається зовні. Приклад такого підходу [26] можна побачити на рисунку 2.2.

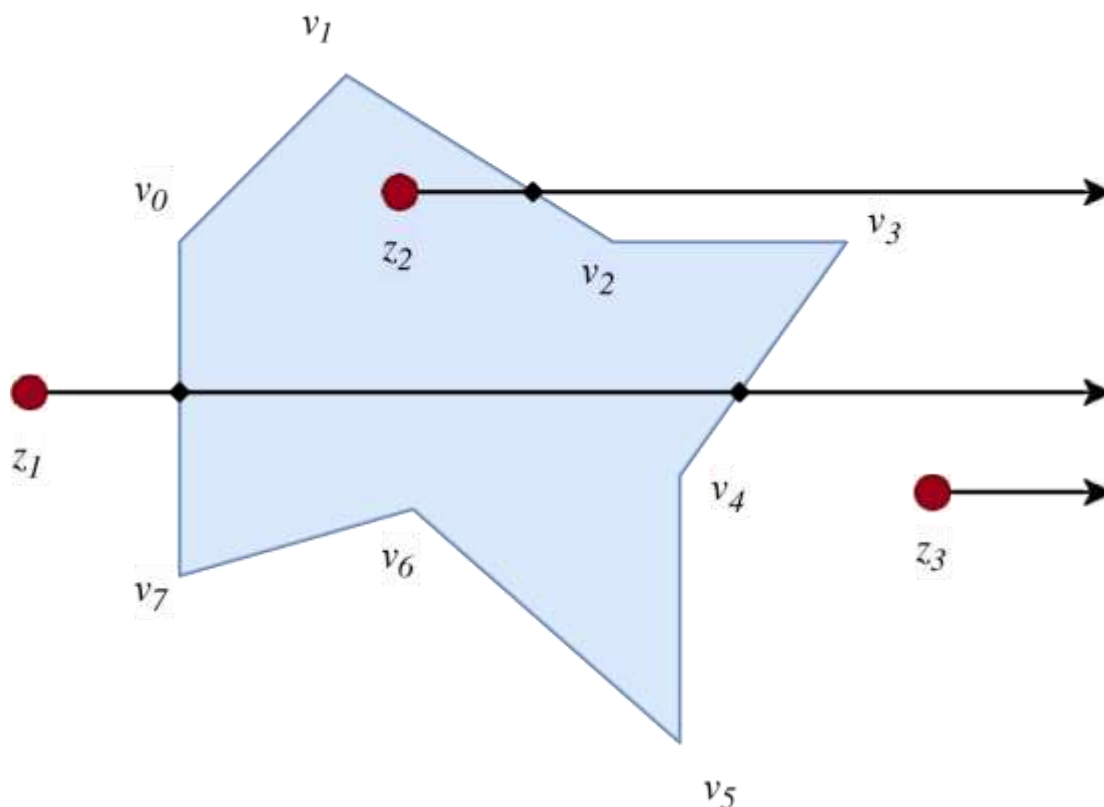


Рисунок 2.2 – Уявні лінії від центральних точок різних зон позиціонування $(x_c(z), y_c(z))$, що перетинають визначений полігональний «AoI» [26]

При цьому точки z_1 і z_3 знаходяться поза багатокутником, тоді як z_2 знаходиться всередині, враховуючи кількість разів, коли уявні лінії, що починаються із зон, перетинають будь-яку лінію багатокутника.

2.4 Рівень пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті»

У разі надзвичайної ситуації існуюча «розумна» міська інфраструктура може надати послуги для надання допомоги постраждалим, зокрема:

- медичну допомогу;
- інтенсивну терапію;
- порятунок постраждалих;
- перенаправлення транспорту;
- створення шляхів евакуації;

- відправка карет швидкої допомоги для негайної допомоги та транспортування до лікарень;

- усунення причини надзвичайної ситуації – направлення пожежних автомобілів і спеціалізованого персоналу для гасіння пожежі або контролю небезпечної ситуації після аварії.

Наявність міської інфраструктури, що надає такі послуги, як правило, у формі лікарень, пожежних бригад і поліцейських дільниць, поширена в більшості «розумних міст» світу. Таким чином, це може бути використано як вирішальна інформація для конфігурації зон позиціонування, причому кращі зони збалансовано обслуговуються більш пов'язаною з пом'якшенням інфраструктурою.

Хоча ціле місто потребуватиме заходів пом'якшення, сприйнятий рівень «здатності пом'якшити» може відрізнятися в різних місцях залежно від наявності центрів реагування в кожній локації. Фактично середня поведінка розглядається у тому сенсі, що припускається загальна ймовірність того, що певна територія обслуговується краще, ніж інші. Наприклад, хоча кількість і поточне розташування машин швидкої допомоги, а також поточна наявність медичного персоналу та лікарняних ліжок є доречними при обліку фактичного ризику впродовж часу в сусідньому районі, така інформація має тимчасовий характер, що важко оцінити за допомогою стандартизованої обчислювальної процедури.

Таким чином, для прийняття рішення, яке можна легко застосувати до будь-якого міста світу, саме існування «розумної» міської інфраструктури, пов'язаної зі зменшенням наслідків, вважається вирішальним фактором у обчисленні сприйняття ризику, незалежно від того, як така «розумна» інфраструктура наразі налаштована. Хоча механізм на основі ваги прийнято, щоб надати більшій актуальності деяким об'єктам «розумного міста», опосередковано моделюючи їхню середню актуальність під час реагування на надзвичайні ситуації.

Щоб полегшити кількісну оцінку та порівняння різних зон позиціонування, кожній зоні «розумного міста» призначається рівень пом'якшення, представлений числовим індексом у попередньо визначеному діапазоні.

Рівень пом'якшення визначається шляхом оцінки стійкості зони до критичних надзвичайних ситуацій відповідно до наявної «розумної» міської інфраструктури, що сприяє математичній обробці в більш загальному сенсі [28]. Кожна така «розумна» міська інфраструктура, пов'язана з надзвичайними ситуаціями, називається точкою інтересу («PoI») з чітко визначеним положенням GPS у $(x(p), y(p))$ для даної точки інтересу $p \in P$, де P – множина «PoI», а $|P|$ – кількість «PoI» у місті.

Таким чином, стійкість вимірюється опосередковано, враховуючи наявність «PoI» в зоні впливу. Чим вища ймовірність того, що «розумний» регіон і його мешканці зможуть отримати допомогу після надзвичайної ситуації за допомогою існуючих точок інформації, тим він стійкіший. Отже, зважена близькість зони до об'єктів, пов'язаних зі зменшенням наслідків, таких як лікарні чи пожежні частини, визначатиме рівень пом'якшення. Тим не менш, важливо зазначити, що різні типи «POI» можна визначити для міської території, якщо відомі їхні GPS-координати.

Щоб оцінити рівень ризику кожної зони по відношенню до «POI» в межах «розумного» міського району, спочатку обчислюємо суму обернених квадратів відстаней між кожною зоною та кожною «POI» P , зважених за коефіцієнтом $f(p)$, призначеним для кожної «POI» [12]. Вищезгадане зважене сприйняття актуальності конкретної POI для надзвичайних ситуацій. Коефіцієнт ваги можна обчислити різними способами, наприклад, надавши більше значення краще оснащеним пожежним бригадам.

Визначення вагових коефіцієнтів, які будуть призначені для кожного «PoI» у цьому процесі оцінювання, не є детермінованим. У разі різних надзвичайних ситуацій деякі «POI» можуть мати більше значення, ніж інші,

наприклад, під час пожежі об'єкти пожежної служби можуть бути важливішими за лікарні, тому в цьому випадку їм потрібна більша вага. Але інші види надзвичайних ситуацій можуть мати іншу поведінку. У цьому сенсі, оскільки запропонований авторами [12] підхід призначений для будь-якого типу надзвичайних ситуацій у міському сценарії, фіксоване значення для кожного об'єкта не може бути раніше визначене як сильна посилення. У більшості випадків очікується проведення консультацій з експертами з надзвичайних ситуацій та зацікавленими сторонами, щоб визначити належну вагу деяких параметрів у класифікаціях, пов'язаних із надзвичайними ситуаціями [12]. Наприклад, в [29] надано перевагу висоті та відстані від річки над іншими параметрами, тоді як інші автори надають більшої ваги щільності населення. Обидва підходи пов'язані з ризиками затоплення, однак вони мають різну вагу та різні параметри, які слід враховувати. Отже, не існує детерміністичного підходу для встановлення вагових коефіцієнтів для параметрів, які використовуються в такій оцінці, тому кваліфікаційна робота не має на меті визначити вагові коефіцієнти для будь-якої «POI» заздалегідь, залишаючи визначення вагових коефіцієнтів експертам і зацікавленим сторонам.

Рівняння (2.7) обчислює таку непряму релевантність, де $E(z)$ позначає комбіноване сприйняття ризику зони позиціонування z .

$$E(z) = \frac{1}{\sum_{p \in P} \left(\frac{1}{\text{dist}^2(z, p)} f(p) \right)} \quad (2.7)$$

Після розрахунку сприйняття ризику для кожної зони наступним кроком є визначення $ML(z)$, який є рівнем пом'якшення для даної зони z .

Цей процес визначається як $ML(z) \in L_M$, де $L_M \subset \mathbb{N}^d$, $L_M = \{1, \dots, ml\}$, а ml – кількість різних рівнів пом'якшення, які можна налаштувати. Розрахунок рівня пом'якшення описується рівнянням (2.8).

$$ML(z) = ml - \min(ml - 1, \lceil \ln \hat{E}(z) \rceil) \quad (2.8)$$

де $ML(z) = 1$ представляє найнижчий рівень пом'якшення – найнижчий ризик), а $ML(z) = ml$ представляє максимальний рівень – найвищий ризик. Функція $ML : Z \rightarrow \mathbb{N}^d$ визначається як функція класифікації для зони позиціонування та використовує нормалізовану функцію сприйняття ризику (\hat{E}) , отриману з $E(z)$. Застосовуючи цю функцію класифікації, кожній зоні призначається певний рівень пом'якшення, забезпечуючи систематичний спосіб категоризації та пріоритетності зон на основі їхніх рівнів ризику.

Як важливе зауваження, слід зазначити, що класифікація зон впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті» за різними рівнями пом'якшення залежить від конкретного «розумної локації», які розглядаються. Іншими словами, зони в межах того самого «AoI» та віднесені до того самого рівня пом'якшення вважаються однаково ризикованими. Таким чином, недоцільно порівнювати рівні ризику зон в межах різних «AoI», оскільки сприйняття ризику відноситься до визначених областей.

2.5 Рівень підключення комунікаційних мереж в «розумному місті»

У бездротових мережах, які надають послуги зв'язку для електронних пристроїв із підтримкою IoT-давачів, концептуальна основа підключення зазвичай пов'язана з можливістю передавати виявлені події на шлюз або вузол-приймач. Традиційно це поняття оцінювалося виключно на основі наявності зв'язків, що з'єднують різні елементи «розумної» сенсорної мережі, такі як

пристрої, вузли давачів, вузли ретрансляції та точки доступу [30]. Однак цей підхід може надто спростити справжню природу підключення до мережі, нехтуючи якістю цих підключень. Робота зі зв'язком через ненадійні та повільні мережеві з'єднання може створити значні проблеми та спричинити високі витрати на впровадження. Тому вкрай важливо розробити комплексне розуміння мережевих зв'язків «розумного міста», яке охоплює як кількісні, так і якісні аспекти, виходячи за рамки спрощеної оцінки.

Розглядатимемо рівень підключення зони позиціонування як числовий показник, який поєднує продуктивність, надійність і фінансову життєздатність комунікаційних мереж «розумного міста», які охоплюють цю зону. Ця інформація має вирішальне значення для визначення того, чи можуть існуючі параметри мережі відповідати вимогам «розумних» застосунків щодо трафіку даних, цілісності, автентичності та відмовостійкості. Автори [12] запропонували показник якості підключення $(CL(z))$, який використовується для кількісної оцінки підключення до мережі зони позиціонування (z) з урахуванням якісних аспектів. Цей показник враховує рівень безпеки, пропускну спроможність, надійність і відповідну вартість використання вибраної мережі [31]. Забезпечуючи комплексну оцінку підключення до мережі, його можна використовувати для визначення загальної якості комунікаційної інфраструктури в зоні позиціонування.

Давайте розглянемо моделювання зон позиціонування та визначимо концепцію рівня підключення кожної зони, яка залежить від типу та кількості мереж, що її охоплюють. У цьому контексті зважаючи на роботу [31], розглядаємо «розумне місто», що складається з набору N мереж $n \in N$, кожна мережа характеризується кортежем $(pos(n), range(n), type(n))$. Цей кортеж складається з (x, y) координат даної точки доступу $(pos(n))$, її діапазону зв'язку $(range(n))$, і конкретного типу мережі $(type(n) \in N_T)$, визначеного в наборі доступних типів, наприклад, Wi-Fi, 4G, 5G, LoRaWAN, позначених як N_T . Покриття даної мережі n представлено колом із центром у $(pos(n))$, і

радіусом діапазону $range(n)$. Отже, зона позиціонування z вважається охопленою мережею n , якщо її центр $(x_c(z), y_c(z))$ потрапляє у відповідне коло. Математично це визначається шляхом забезпечення того, що відстань від центру охопленої z до положення мережі $(pos(n))$ менше або дорівнює діапазону $range(n)$ (див. рівняння (6)).

$$cov(z, n) = \begin{cases} 1, & dist(z, pos(n)) \leq range(n) \\ 0, & otherwise. \end{cases} \quad (2.9)$$

Нарешті, ми позначаємо покриту зону позиціонування як $z \in n$. У цьому випадку $type(n) \in N_C(z)$, де $N_C(z)$ представляє різні типи мереж, які покривають зону z . Іншими словами, $N_C(z)$ є підмножиною множини мережевих типів N_T ($N_C(z) \subseteq N_T$).

Є три можливі сценарії покриття для «PZ»:

- він може не бути покритий жодною мережею;
- він може бути покритий лише однією мережею;
- він може бути покритий кількома мережами одночасно.

Рівень зв'язку в певній зоні позиціонування в межах міста зростає разом із кількістю мереж, що охоплюють цю «PZ», оскільки це забезпечує більше можливостей зв'язку в цьому місці. Таким чином, розглядаючи загальну кількість $|N|$ мереж, вимірний рівень підключення враховує фактори безпеки, пропускної спроможності, надійності та вартості використання для кожної мережі, зважені та підсумовані відповідно до заданих параметрів.

В ідеальному сценарії підключення до мережі передбачало б розгортання кількох високонадійних, безпечних і ефективних вузлів по всьому місту. Однак такі «розумні» пристрої часто непомірно дорогі, що робить цю конфігурацію непрактичною. Таким чином, запропонована [12] метрика $CL(z)$ служить

цінним інструментом у процесі прийняття рішень для проектування «розумних» мережевих програм. Це полегшує порівняння різних рішень, оцінку їх здійсненності та допомагає вибрати найбільш оптимальне рішення з урахуванням фінансових наслідків. Розрахунок $CL(z)$:

$$CL(z) = \frac{\sum_{n_z \in N_C(z)} [cov(z, n_z) \cdot (S.s(n_z) + T.t(n_z) + R.r(n_z) - C.c(n_z))] }{\sum_{n_T \in N_T} [S.s(n_T) + T.t(n_T) + R.r(n_T) - C.c(n_T)]} \quad (2.10)$$

Рівень зв'язності $CL(z)$ – це нормалізована метрика в діапазоні від 0 до 1, від низького до високого зв'язку відповідно. Для кращого візуального представлення результатів на карті можна прийняти шаблон, подібний до звичайних теплових карт [12]. Визначений шаблон використовуватиме більш темний синій колір для позначення зон із вищим зв'язком і більш світлий блакитний колір для зон із нижчим зв'язком. Приклад цього візуального представлення можна побачити на рисунку 2.3, де показано графічне зображення області «AoI» після розрахунку рівнів пом'якшення за впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті» та зв'язку для зон позиціонування, враховуючи три рівні як для пом'якшення, так і для зв'язку.

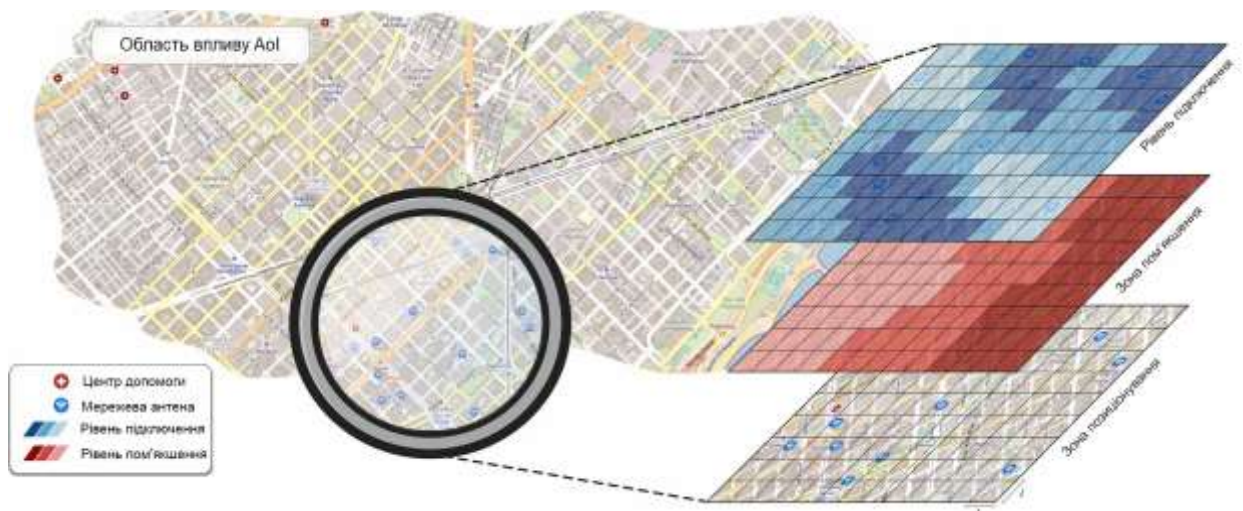


Рисунок 2.3 – Приклад зон після розрахунку рівнів пом'якшення та зв'язку для набору зон позиціонування «розумного міста» [13]

Темніші кольори вказують на вищий рівень пом'якшення – вищі значення – ризикованіші і зв'язку, вищі значення – кращі з'єднання. Таким же чином рівні пом'якшення будуть представлені червоним кольором, а більш високі ризики будуть представлені більш темним червоним кольором.

2.6 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» описано управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах». Проаналізовано процеси виявлення надзвичайних ситуацій на основі дачів у «розумних містах». Розглянуто методику визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста». Описано процес визначення рівня пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті». Описано процес визначення рівня підключення комунікаційних мереж в «розумному місті».

РОЗДІЛ 3. АПРОБАЦІЯ ПРОЦЕСІВ АНАЛІЗУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ» ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

3.1 Алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст»

Позиціонування для IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст» обчислюється на основі мінімальних вимог до підключення до IoT-пристроїв: слабе чи жорстке, залишаючи інші фізичні характеристики для аналізу в майбутніх дослідженнях:

- енергопостачання;
- алгоритми виявлення аварійних ситуацій;
- тип вбудованих давачів тощо.

Крім того, також розглядаються геопросторові дані інфраструктури «розумного міста», пов'язаної з надзвичайними ситуаціями, обчислені як рівні пом'якшення. Поєднуючи всі ці фактори, авторами [12] запропоновано алгоритм «UrbanRiskNet», що забезпечує розміщення та розгортання IoT-пристроїв в зонах з оптимальним підключенням і відповідно до точки зору стійкості міських територій до надзвичайних ситуацій.

На рисунку 3.1 візуалізовано загальний процес обробки на основі запропонованого в [12] підходу, який охоплює всі етапи від первинного вилучення даних до фактичного обчислення позицій IoT-пристроїв.

На рис. 3.1 перша фаза пов'язана з необхідним вилученням даних з усіх розглянутих вихідних наборів даних «розумного міста», що містять як геопросторові дані, так і параметри мережевої інфраструктури. Важливо сказати, що лише значення «OpenStreetMap» визначено як обов'язкове довідкове джерело в описаному підході, здебільшого через його природу з відкритим кодом і високу доступність відповідних даних для переважної більшості міст у всьому світі.

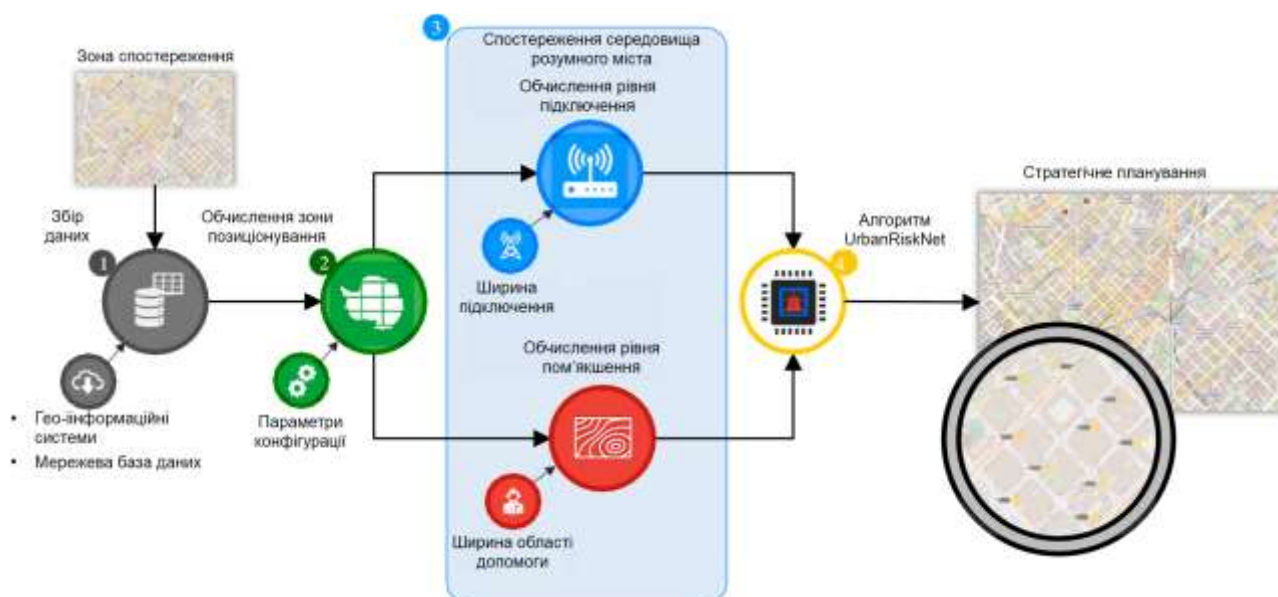


Рисунок 3.1 – Загальний потік даних запропонованого підходу [13]

Однак додаткова база даних, що містить інформацію про існуючу мережеву інфраструктуру, також розглядається на першому етапі. У послідовності другого етапу буде виконуватися на основі визначеної математичної моделі. Потім настає третя фаза, що дає змогу сформувати тонкозернисту конфігурацію вагових коефіцієнтів та інших параметрів під час обчислення рівнів пом'якшення та зв'язності зон позиціонування. Ця фаза також може підтримуватися іншими базами даних або оцінкою спеціалістів, будучи важливим елементом для забезпечення гнучкості запропонованого в [12] підходу. Після всіх цих етапів визначення позиції IoT-пристрої можуть бути остаточно обчислені в інформаційному середовищі «розумного міста».

Запропонований авторами [12] алгоритм позиціонування «UrbanRiskNet» у четвертій фазі побудований на методі, описаному в [27], із значними вдосконаленнями. «UrbanRiskNet» визначає можливе розміщення IoT-пристроїв в межах «AoI» «розумного міста», розглядаючи список зон позиціонування, в яких може бути розташований IoT-пристрій. Методологія обмежує ці зони дорогами та вулицями загального користування, здебільшого через практичні обмеження фактичного розгортання IoT-пристроїв у сценаріях реального світу,

коли права приватної власності перешкоджають установці обладнання без явного дозволу. Підхід використовує існуючу інфраструктуру живлення та підключення на дорогах загального користування та вулицях «розумного міста» для стратегічного позиціонування IoT-пристроїв.

Щоб визначити відстань між будь-якою парою IoT-пристроїв, алгоритм «UrbanRiskNet» обчислює доступну площу, придатну для розміщення IoT-пристроїв. Ця доступна область містить кількість зон у радіусі навколо доріг і вулиць, визначену як довжина зони позиціонування, яку алгоритм визначає як зони, охоплені для виявлення IoT-пристрої [12]. Цей крок є вирішальним у запропонованому алгоритмі, оскільки значення мінімальної відстані між IoT-пристрої є необхідним введенням для рівномірного розташування блоків і уникнення надмірного перекриття. Розрахунок мінімальної відстані виконується для кожного рівня пом'якшення, який використовується в процесі класифікації. Враховуючи рівень пом'якшення ml , доступну область на рівні $D(ml)$ і кількість IoT-пристрої, які будуть розгорнуті на цьому рівні $X(ml)$, надається мінімальна відстань між IoT-пристрої на рівні $(min_dist(ml))$ за рівнянням:

$$min_dist(ml) = \sqrt{\frac{D(ml)}{X(ml)}} + 1 \quad (3.1)$$

Алгоритм «UrbanRiskNet» використовує метрику рівня підключення ($CL(z)$) для підтримки роботи алгоритму позиціонування. Коли IoT-пристрої розміщено в дозволений зоні позиціонування (в межах дороги чи вулиці), алгоритм оцінює підключення зони. Якщо вона не має підключення, тобто $CL(z) = 0$, це означає, що така зона не може отримати IoT-пристрої через відсутність підключення до мережі для передачі даних [12]. Припускається, що офлайн IoT-пристрої не дозволено, оскільки вони повинні передавати певний вид тривоги для подальшої обробки при виявленні надзвичайної ситуації в

«розумному місті». Ця умова має бути перевірена апіорі, щоб уникнути розгортання IoT-пристрої в офлайн-зонах, що зробить їх марними у визначеному сценарії [9]. Алгоритм також оцінює рівень підключення, який визначається порогом підключення, представленим CL_{min} . Цей параметр визначає мінімальне значення рівня підключення в зоні для розміщення IoT-пристрої. Оскільки пристрої з жорсткими вимогами до підключення вказують на потребу в надійному та безпечному підключенні, а також мають переваги від високої пропускної здатності мережі для надсилання великих обсягів даних, для розгортання таких пристроїв потрібен вищий рівень підключення [12]. У цьому сенсі алгоритм потрібно запустити двічі, щоб позиціонувати вільні та туті IoT-пристрої. По-перше, він використовує мінімальний поріг рівня підключення для позиціонування тісних IoT-пристрої. У цьому першому прогоні лише зони з $CL(z) > CL_{min}$ отримають IoT-пристрої, гарантуючи, що всі тісні IoT-пристрої розташовані в зонах із високим зв'язком. Після цього позиціонування виконується другий прогін із $CL(z) > 0$, розміщуючи всі вільні IoT-пристрої. Ці обмеження, дозволені зони та поріг з'єднання, дають змогу алгоритму позиціонування створити можливу та добре продуману схему розподілу для IoT-пристроїв у реальному сценарії «розумного міста».

Нарешті, щоб визначити положення кожного IoT-пристрою, алгоритм «UrbanRiskNet» сканує весь «AoI» на предмет дозволених і мережевих зон. Щоб уникнути перекривання, після визначення зони, де слід розмістити IoT-пристрої, алгоритм пропускає k наступних зон, доки не досягне наступної зони для отримання IoT-пристроїв. Значення k розраховується подібно до мінімальної відстані (рівняння 3.1), але динамічно [12]. Оскільки мінімальна відстань змінюється відповідно до рівня пом'якшення зони, а розподіл цих рівнів нерівномірний у класифікованому «AoI», алгоритм може проходити через різні рівні пом'якшення кілька разів під час ітерації. Подібно до того, як нам потрібно уникати надмірного перекриття, нам потрібно уникати занадто

великої відстані один від одного IoT-пристрої, що потенційно може створити неохоплені зони (мертві зони).

Запропонований в [12] алгоритм позиціонування подано в лістингу 3.1.

Лістинг 3.1 – Алгоритм позиціонування «UrbanRiskNet» [12]

Data: $edus \leftarrow \text{urbanrisknet}(\text{grid}, CL_{min}, U)$

Input: AoI grid data, Connectivity threshold for tight network constraint EDU, Number of EDUs.

Output: List of zones that will receive an EDU.

```

1   $edus\_remaining \leftarrow U$ 
2   $edu\_positioned \leftarrow True$ 
3   $edus \leftarrow []$ 
4   $step \leftarrow 0$ 
5  while  $edus\_remaining > 0$  AND  $edu\_positioned = True$  do
6       $step \leftarrow step + 1$ 
7      compute  $min\_dist$  for each mitigation level considering  $(U * step)$  EDUs
8       $edu\_positioned \leftarrow False$ 
9       $y \leftarrow 0$ 
10     while  $edus\_remaining > 0$  AND  $y < grid_y$  do
11          $x \leftarrow 0$ 
12         while  $edus\_remaining > 0$  AND  $x < grid_x$  do
13              $z \leftarrow \text{zone in position } (x, y)$ 
14             if  $z$  is inside AoI AND  $z$  is a road AND  $CL(z) > CL_{min}$  then
15                 if  $z$  has an EDU OR  $dist(z, \text{nearest EDU}) < min\_dist(ML(z))$  then
16                      $x \leftarrow x + 1$ 
17                 end
18             else
19                 add an EDU in  $z$ 
20                  $edus\_remaining \leftarrow edus\_remaining - 1$ 
21                  $edus.append(z)$ 
22                  $x \leftarrow x + min\_dist(ML(z))$ 
23                  $edu\_positioned \leftarrow True$ 
24             end
25         end
26          $x \leftarrow x + 1$ 
27     end
28      $y \leftarrow y + 1$ 
29 end
30 end

```

Щоб мінімізувати ефект мертвої зони, алгоритм пропускає необхідну кількість зон. Тобто мінімальну відстань у межах найщільнішого рівня пом'якшення. У наборі всіх рівнів пом'якшення «LM» вищий є найбільш

ризикованим рівнем у процесі пом'якшення, тому це рівень з найвищою щільністю IoT-пристроїв на зону позиціонування [13].

«Алгоритм UrbanRiskNet пропускає k зон:

$$k = \min(\min_dist(ml)), \forall ml \in L_M \quad (3.2)$$

Після сканування всього «AoI» не всі IoT-пристрої могли бути розміщені. Поки залишаються IoT-пристрої, алгоритм повторює процес сканування, доки кожен блок не буде розміщено в «AoI» «розумного міста» відповідно до обмежень підключення або доки більше IoT-пристроїв не буде розміщено через визначені обмеження.

3.2 Експериментальні результати аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій

Впровадження блоків виявлення надзвичайних ситуацій у «розумних містах» є складним завданням, яке потребує ретельного розгляду кількох критичних факторів. По-перше, важливе рішення пов'язане з типом критичних подій, які необхідно відстежувати. Хоча потрібно, щоб системи управління надзвичайними ситуаціями охоплювали якомога більше критичних подій [9], фактична кількість і типи скалярних і мультимедійних датчиків, які будуть прикріплені до «розумних» IoT-пристроїв, вкажуть на очікуваний характер роботи блоків. У цьому питанні є велика гнучкість, тому не будемо заглиблюватися в деталі моніторингу датчиків за допомогою IoT-пристроїв, просто очікуючи, що IoT-пристрої матимуть достатні можливості обробки та вимірювання для виявлення найбільш критичних надзвичайних ситуацій у цільовому «розумному місті».

В [32] опублікована значна кількість наукової літератури з цього питання для подальшого розгляду. З іншого боку, друга група визначальних факторів для IoT-пристроїв пов'язана з їхніми вимогами до зв'язку, які можуть включати:

- безпеку;
- надійність;
- пропускну здатність;
- витрати на зв'язок тощо.

Оскільки не слід нехтувати цими вимогами, розроблена математична модель є достатньо всеосяжною, щоб охопити різні складності кількох конфігурацій «розумного міста», даючи можливість практичного застосування в багатьох контекстах. Насправді експериментальні результати стосуються практичного використання запропонованої моделі в реалістичному сценарії з певними конфігураціями для типових IoT-пристроїв «розумного міста», що підключаються до звичайних мережевих технологій, демонструючи, як потенційно краще орієнтоване на дані сприйняття надзвичайних ситуацій «розумних міст» створюють більш стійке міське середовище.

Наприклад, оскільки використовуються загальнодоступні мережі Wi-Fi, деякі протоколи безпеки зазвичай не реалізуються, що вказує на низький рівень безпеки, відмінний від мобільних мереж, які призначені для вищих рівнів. Тому що інфраструктура, необхідна для впровадження та підтримки мереж Wi-Fi, точки доступу, маршрутизаторів, обладнання тощо, є дуже доступною, особливо якщо використовуються існуючі загальнодоступні мережі.

З іншого боку, впровадження програми «розумного міста» через мобільну мережу вимагає більших інвестицій в антени та ліцензії на спектр, особливо у випадку мереж 5G. Важливо відзначити, що в системах управління надзвичайними ситуаціями основна увага приділяється не передачі великих обсягів даних зондування, а скоріше обміну метаінформацією, пов'язаною з надзвичайними ситуаціями. Через цю різницю в пріоритеті присвоєно меншу вагу фактору пропускну здатності, підкресливши, що його важливість відносно менш заслуговує на увагу в цьому контексті.

Отримані зони позиціонування, що підкреслюють обчислені рівні підключення, можна побачити на рисунку 3.2. Де зони з підключенням як 4G, так і загальнодоступного Wi-Fi представлені темно-синім кольором.



Рисунок 3.2 – Зони підключення сенсорних мереж «розумного міста» [13]

З усіма обчисленими рівнями для зон позиціонування можна було обчислити позиціонування для загалом для понад двохсот п'ятидесяти IoT-пристроїв [13] у визначеному «AoI». Цей загальний набір IoT-пристроїв складається з ста п'ятидесяти IoT-пристроїв з вимогами до вільного підключення, що означає, що буде достатньо лише з'єднання 4G, і ста пристроїв із жорсткими вимогами до підключення, які вимагають з'єднання як 4G, так і Wi-Fi, потенційно досягаючи вищої пропускної здатності та резервування [13]. Хоча це не правило, здається доцільним очікувати більшої кількості IoT-пристроїв із слабкими вимогами до зв'язку через обмеження бюджету та мережевої інфраструктури.

Як і очікувалося, у першому експерименті [13] «розумні» локації з вищими ризиками пом'якшення наслідків отримають більше IoT-пристроїв, ніж «розумні» локації з меншими ризиками, що врівноважує сприйняття стійкості

міста, коли надзвичайні ситуації потенційно виявляються швидше в цих локаціях, припускаючи, що більше IoT-пристроїв призведе до швидшого та в середньому кращого виявлення надзвичайних ситуацій [33].

З іншого боку, IoT-пристрої з жорсткими вимогами до зв'язку будуть розташовані ближче до центру міста, де публічні мережі Wi-Fi доступні за розглянутим сценарієм, потенційно досягаючи кращої якості мережі та відповідаючи вимогам IoT-пристроїв, які потребують вищої пропускної здатності та кращого резервування для відмовостійкості [13]. Очевидно, що для розглянутого сценарію невід'ємним негативним ефектом є розміщення більш надійних IoT-пристроїв, принаймні у схемах зв'язку, у районах із меншим ризиком, здебільшого через нерівномірний розподіл міської інфраструктури внаслідок загальної урбанізації. процес за останні сотні років [34]. Міські центри зазвичай мають кращу інфраструктуру. Тим не менш, досягнуті результати все ще є дуже реалістичними та корисними при фактичному розгортанні IoT-пристроїв у цільовому «розумному місті» [13].

Запропонований в [13] алгоритм «UrbanRiskNet» розглядав два набори IoT-пристроїв послідовно, спочатку намагаючись позиціонувати всі IoT-пристрої з жорсткими вимогами до зв'язку, оскільки вони мають більше обмежень для обробки. Потім алгоритм спробував позиціонувати всі IoT-пристрої в наборі «U1», уникаючи розгляду зон позиціонування, для яких уже виділено IoT-пристрої. У цій загальній обробці, яка також повинна розглядати лише зони на вулицях як дійсні позиції розгортання, деякі IoT-пристрої можуть не розташовуватися, якщо задані вимоги зв'язку не виконуються. Вузькі IoT-пристрої не будуть розташовані в зонах з обчисленим рівнем підключення нижче визначеного порогу. Тоді як вільні IoT-пристрої потребують принаймні однієї комунікаційної мережі, тому вони не будуть розгорнуті в відключених зонах. У результаті одна й та сама точка доступу Wi-Fi зможе підключити більше ніж один IoT-пристрій, оскільки алгоритм дотримується основного обмеження щодо розміщення максимум одного блоку в одній зоні.

На рисунку 3.3 подано обчислені рівні пом'якшення та підключення для зон позиціонування в цьому новому «AoI» «розумного міста» [13].



(a) Рівні пом'якшення.

(b) Рівні підключення.

Рисунок 3.3 – Обчислені рівні пом'якшення та підключення «розумного міста» [13]

Як і очікувалося, оскільки рівні пом'якшення та зв'язку представляють два різні виміри, більш ризиковані території можуть мати різні рівні зв'язку, оскільки вони не є пов'язаними концепціями.

Для цих конфігурацій було розглянуто чотири різні налаштування [13] для типів IoT-пристрої у вхідному наборі, як показано на рисунку 3.4.

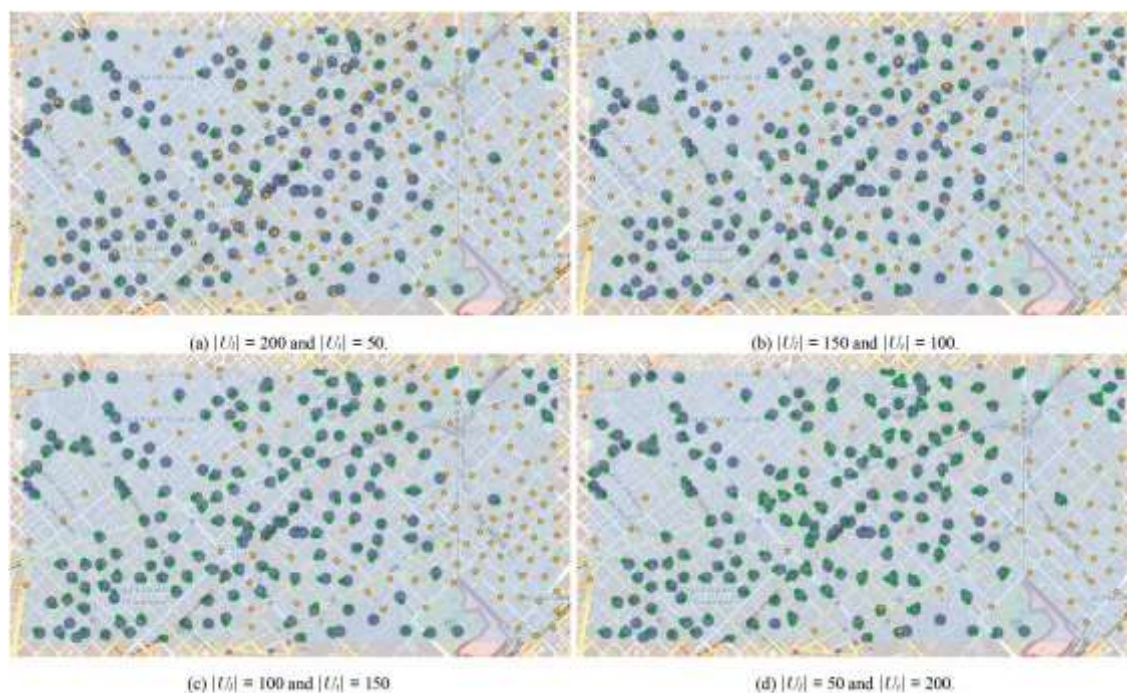


Рисунок 3.4 – Розташування для різних наборів IoT-пристрої із слабкими та вузькими вимогами до зв'язку [13]

Загалом, як видно, права сторона «AoI» є більш ризикованою, потенційно отримує більше IoT-пристроїв, але підключення у цій області має дещо іншу поведінку. Очевидно, оскільки ми враховуємо рівень зв'язку і вимоги до зв'язку електронних блоків, доступна мережева інфраструктура «розумного міста» та вимоги до електронних блоків – слабкі чи жорсткі безпосередньо впливатимуть на досягнуті результати [13]. Це особливо вірно, якщо помітити, що існує багато зон позиціонування з підключенням Wi-Fi і 4G які «приваблюють» вузькі IoT-пристрої. Таким чином, з точки зору зацікавлених сторін, було б варто просувати кращі послуги загальнодоступних «розумних» мереж у більш ризикованих районах, даючи змогу IoT-пристроєм з жорсткими вимогами до зв'язку краще відповідати сприйняттю «AoI», орієнтованому на зменшення ризику.

Кількість IoT-пристроїв з вільними та вузькими вимогами до зв'язку впливатиме на фактичне розташування блоків. У [13] описано експерименти, які позиціонували 100% доступних IoT-пристроїв, розглянуті конфігурації зрештою призвели до «кластерів» IoT-пристроїв з жорсткими мережевими вимогами в регіонах із підключенням як Wi-Fi, так і 4G. Це дуже відповідний результат, який може керувати фізичною конфігурацією IoT-пристроїв, коли належним чином відомі мережева інфраструктура «розумного міста» та бюджет створюваної системи управління надзвичайними ситуаціями.

Оскільки вузькі IoT-пристрої вимагатимуть кращої мережевої інфраструктури, розумно очікувати їх розміщення в районах ближче до центру «розумного міста». Таким чином, для великого «AoI» варто було б покладатися на більше IoT-пристроїв з вільними вимогами, які справді дешевші. Отриманий сценарій буде гетерогенною системою виявлення надзвичайних ситуацій, добре адаптованою до особливостей цільового «розумного міста». Опубліковані в [13] результати експериментів продемонстрували, що геопросторова мережева інфраструктура оптимізує поточні підходи до позиціонування IoT-пристроїв, забезпечуючи їх стратегічне розміщення в районах з відповідною міською інфраструктурою та оптимальним рівнем підключення.

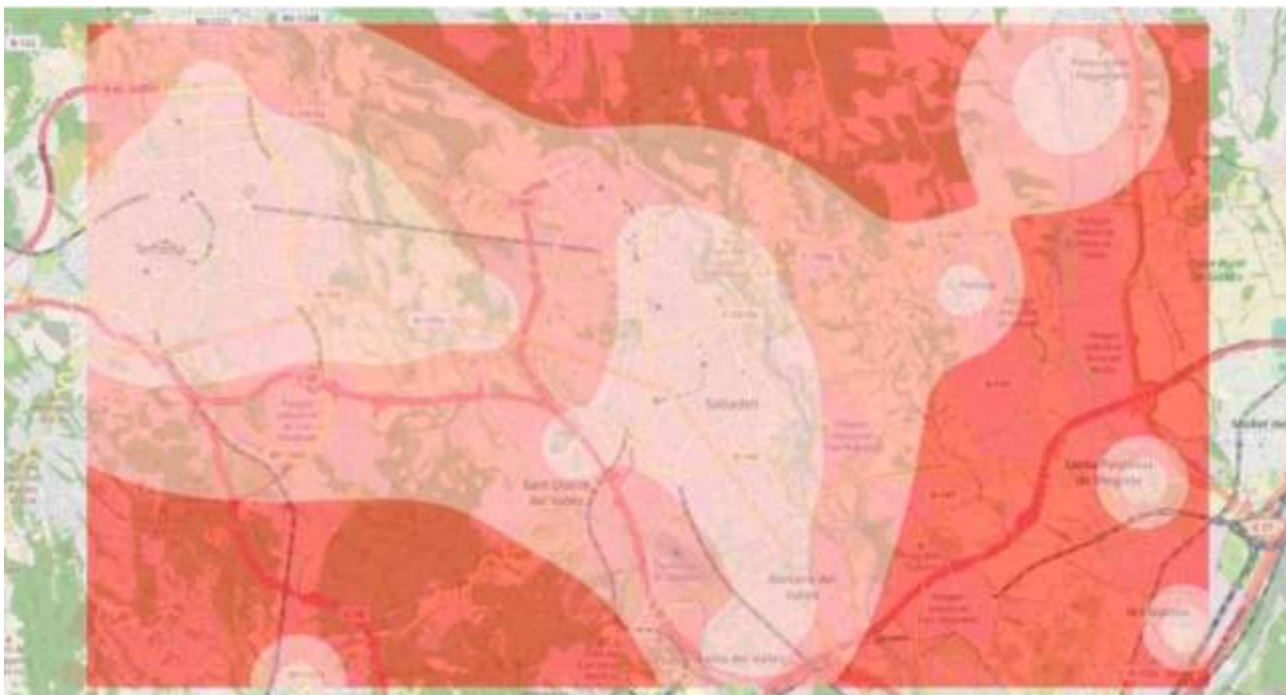


Рисунок 3.5 – Обчислені рівні пом’якшення для невеликого «розумного міста» [13]

Результати показали, що, враховуючи такі фактори, як відстань до центрів реагування на пом’якшення впливу надзвичайних ситуацій, надійність підключення, мережеве перекриття та вимоги IoT-пристроїв, запропонований у [13] метод визначає найбільш підходящі місця для розгортання визначеного набору IoT-пристроїв. Цього можна досягти, не вимагаючи статистичних даних або додаткових даних із цільового «розумного міста», хоча така інформація може бути цінною для зважування списку «POI».

3.3 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» описано алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст» та проаналізовано експериментальні результати аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування»

Сучасні міста є складними системами, створеними завдяки людській діяльності, що базується на складній багатогранній взаємодії між людиною, машинами та навколишнім середовищем. Тому, для підвищення стійкості міських систем та безпеки життєдіяльності, важливо розглянути характеристики життєдіяльності людини в контексті системи «людина – машина – середовище існування».

З історичної точки зору, розвиток трудової діяльності людини можна поділити на три основні етапи: ручний, механізований та автоматизований. Протягом довгого часу, майже до початку нашого століття, основні функції людини в керуванні технікою залишалися енергетичними, тобто людина використовувала свою м'язову силу для роботи з технікою. Така праця вимагала складних рухових процесів, значних фізичних зусиль, високої координації рухів та спритності. Узгодження людини з технікою зводилося до врахування її анатомічних та фізіологічних особливостей.

Сучасний етап розвитку міст та технічних систем потребує нових підходів до взаємодії людини з машинами та середовищем. Це включає не тільки фізичні аспекти, але й когнітивні та психосоціальні фактори, які впливають на ефективність і безпеку життєдіяльності в умовах сучасного міста [35].

З появою на початку ХХ ст. нових видів діяльності, автомобіль, літак тощо, виникла потреба врахування психологічних можливостей людини, зокрема, швидкість реакції, особливості пам'яті та уваги, емоційний стан та ін. З широким впровадженням автоматичних систем керування, комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів з'явилися зміни у фаховій структурі праці, пов'язані з появою операторської діяльності.

Людина, яка керує елементами автоматики та обчислювальної техніки, а також іншими технічними системами, називається оператором. В ергономіці під терміном "людина-оператор" розуміють людину, яка виконує трудові обов'язки через взаємодію з предметом праці, машиною та навколишнім середовищем, використовуючи інформаційну модель та органи керування.

Робота оператора суттєво змінила характер людської праці. Зросла напруга в роботі, оскільки оператору потрібно керувати все більшою кількістю об'єктів та параметрів. Людина працює не з прямим спостереженням, а з інформаційним відображенням процесів, що підвищує вимоги до точності, швидкості та надійності її дій. Це також вимагає більшої швидкості психологічних процесів. Трудова діяльність оператора супроводжується значними витратами нервово-емоційної та розумової енергії, оскільки зростають вимоги до його уваги, концентрації та здатності швидко приймати рішення.

Це підвищує важливість психофізіологічної підтримки працівників, що працюють в умовах високого навантаження, оскільки помилки в операторській діяльності можуть мати серйозні наслідки. Тому, розробка ергономічних робочих місць і систем підтримки оператора стає ключовим завданням для підвищення ефективності та безпеки їхньої праці.

Комп'ютеризація та роботизація, з одного боку, розширили можливості людини, а з іншого – значним чином змінили вимоги до її діяльності [36]. Вже не потрібна примітивна праця з виконанням монотонних фізичних операцій, з шаблонною розумовою діяльністю. Збільшилась потреба у творчій висококваліфікованій праці. Ускладнилась проблема узгодження умов праці, конструкції машин з психологічними та фізіологічними можливостями людини. Людина стала невід'ємною і найважливішою складовою частиною системи ЛМС.

Щоб керувати технологічним процесом, спостерігати та контролювати роботу, оператору необхідно мати дані, які відображають хід процесу і доступ до відповідних органів керування. У процесі управління оператор повинен

обробляти великий обсяг інформації, що викликає нервові перенапруження. Для вирішення психологічних проблем конструктори намагаються адаптувати машину до людини, забезпечуючи максимально сприятливий режим роботи.

Зміни керованого об'єкта фіксуються за допомогою датчиків. Сигнали від датчиків перетворюються і передаються на прилади, які відстежує оператор. Оператор сприймає показання приладів, інтерпретує їх, приймає рішення і виконує відповідні дії. Сигнали, що виникають внаслідок дій оператора, перетворюються і передаються до керованого об'єкта, змінюючи його стан.

Таким чином, оператор виконує складну задачу обробки інформації та прийняття рішень, що вимагає високої концентрації та точності. Для підвищення ефективності роботи оператора важливо оптимізувати інтерфейс і забезпечити комфортні умови праці, що знижують стрес і навантаження. Це включає як фізичні аспекти робочого місця, так і програмні рішення, що полегшують взаємодію з технікою.

Основною формою діяльністю людини-оператора є використання та опрацювання інформації [37].

На рисунку 4.1 подано одноконтурні схеми замкненої системи «людина-машина». При простій одноконтурній схемі людина сприймає сигнали органами зору та слуху і зворотною реакцією впливає на машину.



Рисунок 4.1 – Одноконтурні схеми замкненої системи «людина-машина»

При напіваавтоматизованому виробництві сигнали від датчиків у машині передаються на інформаційну панель. Людина сприймає інформацію, переробляє і через пульт керування впливає на машину.

При високоомеханізованому виробництві сигнали від датчиків надходять на пристрій, котрий змінює вихідні параметри, що передаються на регулятор виходу програми. Людина-оператор сприймає сигнали і зворотною реакцією впливає на регулятор виходу програми, котрий через пристрій, що керує вхідними програмами, впливає на машину.

Оскільки сучасне міске середовище є ковергенцією людей, механізмів, машин та навколишнього середовища, було розглянуто характеристики життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування».

4.2 Контроль за станом охорони праці

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» присвячена аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій. Сучасні міста розвиваються завдяки діяльності широкого спектру різноманітних підприємств, установ та організацій. Тому в розділі «Охорона праці» варто розглянути питання контролю за станом охорони праці.

Контроль за станом охорони праці на підприємстві є важливою частиною системи управління охороною праці. Він спрямований на виявлення відхилень від норм в умовах праці та перевірку виконання працівниками їхніх обов'язків у сфері охорони праці. Дізнайтеся про основні види контролю за станом охорони праці на підприємстві, періодичність їх проведення та супровідні документи.

Контроль за станом охорони праці (далі – контроль) є однією з найважливіших і найскладніших функцій процесу управління, від якої залежить ефективність системи управління охороною праці на підприємстві в цілому. Регулярний і об'єктивний контроль дозволяє оперативно виявляти можливі

відхилення від норм безпеки праці та перевіряти виконання запланованих заходів і управлінських рішень [38].

Цей контроль повинні здійснювати керівники всіх рівнів управління виробництвом. Важливу роль у створенні безпечних умов праці також відіграє громадський контроль, який проводять громадські інспектори (представники профспілок) або уповноважені з питань охорони праці (у разі відсутності профспілки).

Організація контролю за станом охорони праці на підприємстві тісно пов'язана з управлінням підприємством. Систему управління підприємством можна умовно поділити на кілька рівнів, кожен з яких має свій відповідний ступінь контролю.

Відповідно до масштабу підприємства розрізняють п'ять рівнів системи управління, причому кількість рівнів залежить від складності структури підприємства:

- однорівнева система – у суб'єктів малого підприємництва і приватних підприємств;
- дворівнева система – на малих підприємствах (приватні підприємства);
- трирівнева система – на великих підприємствах (державні підприємства, акціонерні товариства);
- чотирирівнева система – на підприємствах із розвиненим корпоративним управлінням (дочірні підприємства, відомчі об'єднання підприємств);
- п'ятирівнева система – на підприємствах з розвиненим транснаціональним корпоративним управлінням (характерно для міжнародного співробітництва міністерств, транснаціональних об'єднань, компаній, холдингів).

Залежно від системи управління підприємством та розміру його підрозділів, контроль за станом охорони праці може мати від одного до п'яти рівнів [39].

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи подано характеристику життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування». Розглянуто контроль за станом охорони праці.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Розглянуто реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах» за допомогою даних та IoT.
- Висвітлено використання геопросторових даних для позиціонування IoT-пристроїв у «розумних містах».
- Проаналізовано стан та перспективи досліджень в галузі реагування на надзвичайні ситуації в «розумних містах».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано управління надзвичайними ситуаціями в «розумних містах».
- Проаналізовано процеси виявлення надзвичайних ситуацій на основі даних у «розумних містах».
- Розглянуто методику визначення зон позиціонування IoT-пристроїв «розумного міста».
- Описано процес визначення рівня пом'якшення зони впливу надзвичайних ситуацій в «розумному місті».
- Описано процес визначення рівня підключення комунікаційних мереж в «розумному місті».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано алгоритм позиціонування IoT-пристроїв міської інфраструктури «розумних міст».
- Проаналізовано експериментальні результати аналізу геопросторових даних міської інфраструктури «розумних міст» для виявлення надзвичайних ситуацій.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» подано характеристику життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування». Розглянуто контроль за станом охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Matsiuk, O., Pasichnyk, V., Building secure Urban information systems based on IoT technologies. CEUR Workshop Proceedings 2623, pp. 317-328. 2020.
- 2 Musznicki, B., Piechowiak, M., & Zwierzykowski, P. (2022). Modeling real-life urban sensor networks based on open data. *Sensors*, 22, 9264.
- 3 Duda, O., et al, Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities. CEUR Workshop Proceedings 2631, pp. 68-78. 2020.
- 4 Kozarik, J., Gasperek, K., Zavodnik, T., Cernaj, L., Jagelka, M., & Donoval, M. (2022). ' Multi-sensor modular IoT platform for high-density monitoring of environmental parameters. In *2022 14th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (ASDAM)* (pp. 1–4). [https://doi.org/10.1109/ ASDAM55965.2022.9966783](https://doi.org/10.1109/ASDAM55965.2022.9966783).
- 5 Haggag, M., Ezzeldin, M., El-Dakhakhni, W., & Hassini, E. (2020). Resilient cities critical infrastructure interdependence: A meta-research. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 7, 291–312.
- 6 Bodnarchuk I., Duda O., Kharchenko A., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V. Choice method of analytical information-technology platform for projects associated to the smart city class. ICTERI 2020 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference p.317-330.
- 7 Nunavath, V., & Prinz, A. (2017). Data sources handling for emergency management: Supporting information availability and accessibility for emergency responders. In *Human Interface and the Management of Information: Supporting Learning, Decision- Making and Collaboration* (pp. 240–259). Springer International Publishing. [https:// doi.org/10.1007/978-3-319-58524-6_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58524-6_21).

- 8 Li, W., Batty, M., & Goodchild, M. F. (2020). Real-time GIS for smart cities. *International Journal of Geographical Information Science*, 34, 311–324.
- 9 Costa, D. G., Peixoto, J. P. J., Jesus, T. C., Portugal, P., Vasques, F., Rangel, E., & Peixoto, M. (2022). A survey of emergencies management systems in smart cities. *IEEE Access*, 10, 61843–61872.
- 10 Damaševičius, R., Bacanin, N., & Misra, S. (2023). From sensors to safety: Internet of Emergency Services (IoES) for emergency response and disaster management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12, 41.
- 11 Zaimen, K., Brahmia, M.-E.-A., Moalic, L., Abouaissa, A., & Idoumghar, L. (2022). A survey of artificial intelligence based WSNs deployment techniques and related objectives modeling. *IEEE Access*, 10, 113294–113329.
- 12 Peixoto, João Paulo Just, et al. "Exploiting geospatial data of connectivity and urban infrastructure for efficient positioning of emergency detection units in smart cities." *Computers, Environment and Urban Systems* 107 (2024): 102054.
- 13 Peixoto, J. P. J., Costa, D. G., da Franca Rocha, W. D. J. S., Portugal, P., & Vasques, F. (2023a). On the positioning of emergencies detection units based on geospatial data of urban response centres. *Sustainable Cities and Society*, 97, Article 104713.
- 14 Adeleke, J., Moodley, D., Rens, G., & Adewumi, A. (2017). Integrating statistical machine learning in a semantic sensor web for proactive monitoring and control. *Sensors*, 17, 807.
- 15 Gharaibeh, A., Salahuddin, M. A., Hussini, S. J., Khreishah, A., Khalil, I., Guizani, M., & Al-Fuqaha, A. (2017). Smart cities: A survey on data management, security, and enabling technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2456–2501.
- 16 Fedele, R., & Merenda, M. (2020). An IoT system for social distancing and emergency management in smart cities using multi-sensor data. *Algorithms*, 13.
- 17 Huang, H., Yao, X. A., Krisp, J. M., & Jiang, B. (2021). Analytics of location-based big data for smart cities: Opportunities, challenges, and future directions. *Computers, Environment and Urban Systems*, 90, Article 101712.

- 18 Alablani, I., & Alenazi, M. (2020). EDTD-SC: An IoT sensor deployment strategy for smart cities. *Sensors*, 20, 7191.
- 19 Costa, D., Damasceno, A., & Silva, I. (2019). CitySpeed: A crowdsensing-based integrated platform for general-purpose monitoring of vehicular speeds in smart cities, smart. *Cities*, 2, 46–65.
- 20 Madamori, O., Max-Onakpoya, E., Erhardt, G., & Baker, C. (2021). Enabling opportunistic low-cost smart cities by using tactical edge node placement. In , 2021. *16th Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services, WONS* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.23919/WONS51326.2021.9415579>
- 21 Kamienski, C., Ratusznei, J., Trindade, A., & Cavalcanti, D. (2020). Profiling of a large- scale municipal wireless network. *Wireless Networks*, 26, 5223.
- 22 Yang, T., Lee, S.-H., & Park, S. (2021). AI-aided individual emergency detection system in edge-internet of things environments. *Electronics*, 10, 2374.
- 23 Kyrkou, C., Kolios, P., Theocharides, T., & Polycarpou, M. (2022). Machine learning for emergency management: a survey and future outlook. *Proceedings of the IEEE*, 1–23.
- 24 Zaidi, S. A. R., Hayajneh, A. M., Hafeez, M., & Ahmed, Q. Z. (2022). Unlocking edge intelligence through tiny machine learning (TinyML). *IEEE Access*, 10, 100867–100877.
- 25 Jesus, T. C., Costa, D. G., & Portugal, P. (2018). On the computing of area coverage by visual sensor networks: assessing performance of approximate and precise algorithms. In *16th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 193–198). <https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471997>
- 26 Masatu, E., Sinde, R., & Sam, A. (2022). Development and testing of road signs alert system using a smart mobile phone. *Journal of Advanced Transportation*, 2022.
- 27 Peixoto, J. P. J., Costa, D. G., da Franca Rocha, W. J. S., Portugal, P., & Vasques, F. (2023b). Cityzones: A geospatial multi-tier software tool to compute urban risk zones. *SoftwareX*, 23, Article 101409.

28 Kontokosta, C. E., & Malik, A. (2018). The resilience to emergencies and disasters index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity. *Sustainable Cities and Society*, 36, 272–285.

29 Arvin, M., Beiki, P., Hejazi, S. J., Sharifi, A., & Atashafrooz, N. (2023). Assessment of infrastructure resilience in multi-hazard regions: A case study of Khuzestan province. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, Article 103601.

30 Khoufi, I., Minet, P., Laouiti, A., & Mahfoudh, S. (2017). Survey of deployment algorithms in wireless sensor networks: Coverage and connectivity issues and challenges. *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 10, 341–390.

31 Jesus, T. C., Costa, D. G., Portugal, P., Vasques, F., & Ferreira Júnior, W. A. (2023).

32 Caratù, M., Pigliautile, I., Piselli, C., & Fabiani, C. (2023). A perspective on managing cities and citizens' well-being through smart sensing data. *Environmental Science & Policy*, 147, 169–176.

33 Ang, L.-M., Seng, K. P., Zungeru, A. M., & Ijamaru, G. K. (2017). Big sensor data systems for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 4, 1259–1271.

34 Wang, X., Wang, C., & Shi, J. (2023). Evaluation of urban resilience based on service- connectivity-environment (sce) model: A case study of jinan city, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 95, Article 103828.

35 Бедрій, Я. І. Безпека життєдіяльності [Текст] : навч. посіб. : рек. МОН України як навч. посібник для студ. ВНЗ / Я. І. Бедрій. – К. : Кондор, 2009. – 284, [2] с. : іл., табл. – Бібліогр.: с. 285.

36 Дейнека, Людмила Панасівна. "Безпека життєдіяльності та охорона праці." (2019).

37 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

38 Контроль за станом охорони праці на підприємстві. <https://pro-op.com.ua/article/262-qqq-16-m1-11-01-2016-kontrol-za-stanom-okhoroni-prats-na-pdprimstv>.

39 Як контролювати стан охорони праці на підприємстві: основні кроки у поміч. <https://nov-rada.gov.ua/2021/06/18/iak-kontroliuvaty-stan-okhorony-pratsi-na-pidpryiemstvi-osnovni-kroky-u-pomich/>.