

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 архітектури Edge-обчислень в "розумних" міських середовищах

Виконав: студент IV курсу, групи СНС-42

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кіптик Д.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценко С.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(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)

« 27 » червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Кіптику Дмитру Тарасовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз архітектури Edge-обчислень в "розумних" міських середовищах

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 № 4/7-472

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо Edge-обчислень та інформаційно-технологічних середовищ «розумних міст»

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

Вступ. 1 Аналіз предметної області периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах. 1.1 Актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст». 1.2 Інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст». 1.3 «Розумні» міські ініціативи. 2 Проектування локального центру периферійної обробки даних в «розумних» міських середовищах. 2.1 Аналіз інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». 2.2 Використання периферійних обчислень для опрацювання даних «розумних» міських середовищ. 2.3 Вимоги до інформаційно-технологічної та архітектури «розумних» міських середовищ. 2.4 Гібридна архітектура «розумних» міських середовищ. 2.5 Інформаційно-технологічна архітектура EMDC. 2.6 Структура інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах. 3. Практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах. 3.1 Практична реалізація Edge-обчислень. 3.2 Аніліз результатів. 3.3 Обговорення результатів практичної. 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел.

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

1. Титульний слайд. 2. Тема та мета. 3. Завдання. 4. Актуальність. 5.Розумні застосунки.

6. Периферійні обчислення. 7. Елементи концепту «розумне місто». 8. Огляд інформаційно-технологічних архітектур. 9. Гібридне обчислювальне середовище. 10. архітектура EMDC.

11. Структура платформи. 12. Ключові етапи. 13. Спостереження CO2. 14. Висновки.

15. Завершальний слайд

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		12.06.2024	15.06.2024

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	
2.	Підбір джерел про Edge-обчислення та інформаційно-технологічні середовища «розумних міст»	31.01.2024-03.02.2024	
3.	Опрацювання джерел про Edge-обчислення та інформаційно-технологічні середовища «розумних міст»	04.02.2024-06.02.2024	
4.	Виконання дослідження щодо аналізу архітектури Edge-обчислень в "розумних" міських середовищах	07.02.2024-11.02.2024	
5.	Оформлення розділу «Аналіз предметної області периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах»	03.06.2024-05.06.2024	
6.	Оформлення розділу «Проектування локального центру периферійної обробки даних в «розумних» міських середовищах»	06.06.2024-08.06.2024	
7.	Оформлення розділу «Практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах»	09.06.2024-11.06.2024	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	12.06.2024-13.06.2024	
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	14.06.2024-15.06.2024	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	16.06.2024-17.06.2024	
11.	Нормоконтроль	18.06.2024-19.06.2024	
12.	Перевірка на плагіат	20.06.2024	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	29.06.2024	

Студент

(підпис)

Кіптик Д.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Аналіз архітектури Edge-обчислень в "розумних" міських середовищах // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Кіптик Дмитро Тарасович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНс-42 // Тернопіль, 2024 // С. 59, рис. – 10, табл. – 2, кресл. – 15, додат. – 0, бібліогр. – 67.

Ключові слова: аналіз даних, великі дані, хмарні обчислення, периферійні обчислення, прийняття рішень, розумні будівлі, розумні міста.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу архітектури Edge-обчислень в "розумних" міських середовищах. В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» висвітлено актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст». Описано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст». Розглянуто прогресивні «Розумні» міські ініціативи.

В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» виконано аналіз інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». Описано концепцію виявлення та адаптації периферійних обчислень для потреб «розумних» міських середовищах. Розглянуто вимоги до інформаційно-технологічної та обчислювальної архітектури «розумних» міських середовищ. Сформовано гібридну обчислювальна архітектура «розумних» міських середовищ. Запропоновано інформаційно-технологічну архітектуру локальних центрів периферійної обробки даних. Описано структуру інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах. В третьому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня бакалавр описана практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах. Проаналізовано аніліз результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах. Подано обговорення результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

ANNOTATION

Analysis of the Architecture of Edge Computing in "Smart" Urban Environments//
Qualification work of the educational level "Bachelor" // Kipyk Dmytro Tarasovych
// Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information
Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group
SNs-42 // Ternopil, 2024 // P. 59, fig. - 10, tabl. - 2, chair. - 15, annexes. – 0,
references - 67.

Keywords: data analytics, big data, cloud computing, edge computing, decision making, smart buildings, smart cities.

The qualification work is devoted to the analysis of the architecture of Edge computing in "smart" urban environments. In the first section of the qualifying work of the "bachelor" educational level, the relevance of the research of innovative computational approaches in the field of "smart cities" is highlighted. Information and communication technologies of "smart cities" are described. Progressive "Smart" city initiatives are considered. In the second section of the qualification work of the "bachelor" educational level, the analysis of information technology platforms of "smart cities" was performed. The concept of detection and adaptation of peripheral computing for the needs of "smart" urban environments is described. The requirements for the information technology and computing architecture of "smart" urban environments are considered. A hybrid computing architecture of "smart" urban environments has been formed. The information technology architecture of local peripheral data processing centers is proposed. The structure of the information technology platform of peripheral computing in "smart" urban environments is described. The third section of the bachelor's qualification work describes the practical implementation of Edge computing in "smart" urban environments. The analysis of the results of the practical implementation of Edge-calculations in "smart" urban environments is analyzed.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

VM – віртуальна машина.

ЄС – Європейський Союз.

ІКТ – інформаційні та комунікаційні технології.

ЦП – центральний процесор.

ШІ – штучний інтелект.

CPaaS (англ. Communication Platform-as-a-Service) – комунікаційна платформа як послуга.

CCaaS (англ. Contact Center as a Service) – контакт-центр як послуга [1].

EMDC (англ. Edge Micro Data Center) – локальний центр периферійної обробки даних.

LSTM (англ. Long Short-Term Memory) – Довга короткочасна пам'ять.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання.

PHT (англ. Paige Hinckley Test) – Тест Пейджа Хінклі.

UCaaS (англ. Unified Communications as a Service) уніфіковані комунікації як послуга.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	10
1.1 Актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст».....	10
1.2 Інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст»	14
1.3 «Розумні» міські ініціативи.....	18
1.4 Висновок до першого розділу	20
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ПЕРИФЕРІЙНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ...	21
2.1 Аналіз інформаційно-технологічних платформ «розумних міст»	21
2.2 Використання периферійних обчислень для опрацювання даних «розумних» міських середовищ	24
2.3 Вимоги до інформаційно-технологічної та обчислювальної архітектури «розумних» міських середовищ.....	26
2.4 Гібридна обчислювальна архітектура «розумних» міських середовищ	28
2.5 Інформаційно-технологічна архітектура EMDC.....	30
2.6 Структура інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах.....	33
2.7 Висновок до другого розділу	37
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ EDGE-ОБЧИСЛЕНЬ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	38
3.1 Практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах	38
3.2 Аніліз результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах	42

3.3 Обговорення результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах	45
3.4 Висновок до третього розділу	46
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1 Медичні профілактичні заходи щодо збереження здоров'я та працездатності користувачів комп'ютерів та відеодисплейних терміналів	47
4.2 Заходи електробезпеки на підприємствах	48
4.3 Висновок до четвертого розділу	51
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Актуальність теми. Розповсюдження Інтернету речей (IoT) [2], штучного інтелекту (ШІ), впровадження 5G і розвиток технології 6G призвели до накопичення величезних обсягів реальних даних. Однак значна частина даних, отриманих «розумними містами» та «розумними» будівлями, залишається невикористаною [3]. Помітною складністю є зміна статистичних властивостей у потоковій передачі в реальному світі з часом, викликана неочікуваними факторами, що називається дрейфом концепції, що призводить до зменшення ефективності традиційних прогностичних моделей [4]. Щоб вирішити цю проблему, провідні наукові дослідження використовують обчислювальні парадигми хмарних та периферійних обчислень для розгортання штучного інтелекту та програмно-алгоритмічних засобів «розумних міст», оптимально використовуючи доступні обчислювальні ресурси [5]. Потоки даних реального світу використовуються для прогнозування з різних дачивів навколишнього середовища, встановлених у «розумних» локаціях. Периферійні мікроцентри обробки даних у гібридному «хмарно-периферійному» обчислювальному середовищі використовуються для підтримки робочих обчислювальних навантажень ШІ. Тому аналіз інноваційних концептів периферійних обчислень та обчислювальних архітектур для різнотипових цифрових застосунків «розумних міст» є актуальним напрямком досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є покращення процесів опрацювання даних «розумних міст» завдяки розширенню процесів периферійних обчислень. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати інноваційні інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» на основі парадигми периферійних обчислень.
- Дослідити використання периферійних обчислень для опрацювання даних «розумних» міських середовищ

– Розробити інформаційно-технологічну архітектуру локальних центрів периферійної обробки даних.

– Розробити структуру локальних центрів периферійної обробки даних.

Практичне значення одержаних результатів. Описано процес практичного використання Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ

1.1 Актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст»

«Розумне місто» постхмарної ери часто уявляють як світ, у якому віртуалізовані ресурси надають обчислювальні потужності та послуги на вимогу [6]. Ці ресурси управляються через декілька рівнів абстракції та розподіляються між географічно розрідженими та децентралізованими обчислювальними мережами [7]. Завдяки інноваціям у галузі периферійних обчисленнях і гібридних хмарно-граничних обчисленнях покращиться інтеграція технологій, забезпечуючи повсюдне мережеве підключення та обчислювальні ресурси на місці навіть у віддалених міських і сільських районах. Однак це бачення не помічає один ключовий аспект «розумних міст» – їх фізична інфраструктура та поліцентрична структура не статичні [8]. Міста майбутнього, в яких, за прогнозами, до 2050 року проживатиме понад шістьдесят вісім відсотків населення світу, стикаються з багатьма руйнівними природними та антропогенними викликами та загрозами [9]. Як нещодавно спостерігалось під час спалаху глобальної пандемії Covid-19, ці виклики можуть різко змінити спосіб використання громадських і приватних просторів та локацій. Це може викликати нетипову соціально-економічну поведінку, яка може послабити моделі прийняття рішень [10].

На даний час «розумні міста» в усьому світі автоматизують типові процеси в громадських місцях та локаціях, використовуючи IoT-давачі для:

- моніторингу транспортних потоків;
- водопостачання;
- керування вуличним освітленням;
- управління розкладом руху громадського транспорту;

– збирання даних з різних джерел для підвищення ефективності міських послуг.

Попит на «розумні» локації та житлові простори підвищується. Прогнозується, що ринок розумних будівель зросте до понад триста двадцяти восьми мільярдів доларів США до 2029 року [11]. Очікується, що ринок розумних будинків досягне двохсот шестидесяти двох мільярдів доларів США до 2025 року. «Розумні» локації та простори спричиняють цифрову трансформацію, використовуючи множину повсюдних пристроїв, «речей» і програм, що генерують дані, які міцно вкорінюються в наше повсякденне життя [12]. Прогрес у ключових базових технологіях, таких як штучний інтелект і мережі 5G, є каталізаторами для реалізації інноваційних прототипів «розумних міст» в постхмарну еру, коли виробництво даних відбувається на дальній межі комунікаційних мереж поблизу користувача. Їх обробка може бути розподілена між різними обчислювальними блоками периферійних комунікаційних та обчислювальних мереж.

Тим не менш, «розумні міста» – це складні системи, що складаються з багатьох фізичних елементів, наприклад:

- парків;
- «розумних» вулиць;
- «розумних» будівель;
- «розумних» просторів, локацій та місць.

Ці елементи не є просто статичними структурами, функціональність яких залишається незмінною з часом. Водночас «периферійні мережі» інтегрують поняття значну динаміку швидкоплинних та динамічних периферійних обчислювальних сутностей.

Екосистеми розумних міст будуються з використанням комбінації різних інформаційно-технологічних альтернатив:

- «розумні» давачі;
- IoT-пристрої;
- хмарні обчислення;

- туманні обчислення;
- периферійні обчислення;
- кіберфізичні системи.

Ці та інші інформаційні та комунікаційні технології створюють велику за обсягами множину даних [13]. Доступність великомасштабних даних приносить свої складнощі:

- управління даними;
- обчислювальні вимоги;
- якість даних;
- інтеграція з методами машинного навчання для розуміння, забезпечення достовірності тощо.

Попередні дослідження підкреслювали необхідність периферійних обчислень для вирішення критичних географічних залежностей, спричинених мінливістю та швидкоплинністю «розумних» локацій, просторів та місць, корисність яких може змінюватися з часом з різною швидкістю [14]. З'являється консенсус, що периферія не є середовищем, позначеним стаціонарними процесами в тому сенсі, що історичні моделі та поведінка не обов'язково повторюватимуться в майбутньому [15]. Це припущення підтверджується тим фактом, що дані, створені та споживані на периферії мереж, і моделі машинного навчання (ML), які забезпечують граничний інтелект, сприйнятливі до відхилення концепції, що може спричинити серйозні розбіжності моделі та неефективні рішення.

В широкому спектрі областей застосування «розумних міст» під час прогнозування дані можуть з часом застаріти через статистичні варіації або зміни в контексті даних [16]. Наприклад, прогнозовані вимірювання показників навколишнього середовища, такі як надлишок CO₂, якість або вологість повітря, можуть застаріти через різницю в калібруванні та несправність IoT-пристроїв. Такий зсув відомий як дрейф концепції, і його швидке виявлення має вирішальне значення для функціонування «розумних» послуг із необхідною якістю. Незважаючи на те, що дрейф концепції можна побачити в багатьох

сценаріях реального світу, доступно небагато результатів досліджень, у яких вчені використовують методи виявлення дрейфу концепції для даних часових рядів. [17]. Більшість наукової та популярної літератури про дрейф понять зосереджено на задачах класифікації, тоді як проблеми регресії все ще потребують дослідження [18]. Крім того, сценарії використання, схожі на застосунки «розумного міста» з великими наборами даних, рідко містять виявлення та адаптацію концепції дрейфу, що вимагає більше досліджень та експериментів [19].

Для вирішення проблеми дрейфу даних було розроблено різні обчислювальні інфраструктури з урахуванням обчислювальних складнощів та і проблем, пов'язаних із даними. У цьому контексті інформаційні та комунікаційні технології швидко розвиваються. Для вирішення цієї проблеми були запропоновані різні рішення на основі хмарних обчислень [20]. Хоча мінливість даних протягом тривалого періоду часу вважалася критичною проблемою в аналітиці великих даних, раніше були спроби краще зрозуміти проблему дрейфу концепції на периферії обчислювальних мереж [21]. Парадигма хмарних обчислень значно допомогла задовольнити високі обчислювальні потреби «розумних міст». Однак хмарні обчислення викликають труднощі, пов'язані з високою затримкою та значними накладними витратами на мережу для даних, зібраних давачами розумного міста або розгортанням Інтернету речей [22]. Навпаки, периферійні обчислення обіцяють:

- меншу часову затримку ніж хмарні обчислення;
- менші обчислювальні витрати;
- більшу масштабованість;
- підвищену відмовостійкість;
- демонструють кращі набори характеристик [21].

Як наслідок, існує очевидна потреба в більш адаптивних гібридних системах «розумних міст» на основі хмарних, туманних та периферійних обчислень, щоб створювати більш надійні та точні муніципальні послуги.

Тому доцільно провести аналіз периферійних обчислювальних архітектур для роботи з гібридним обчислювальним середовищем «пристрій-периферія-хмара» для потреб «розумних міст». Це потребує розробки керованих даними цифрових служб «розумного міста», включаючи збір, обробку та аналіз даних.

1.2 Інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст»

Впродовж останніх десятиліть спостерігається розвиток технологій, які роблять міста та будівлі розумнішими [23]. Згідно з поточними прогнозами, до 2030 року населення світу зросте на 30%. При цьому понад 60% людей житимуть у містах, а в сорока трьох мегаполісах проживатиме понад десять мільйонів людей [24]. Внутрішні приміщення, де люди проводять у середньому 90% свого часу [25], мають вирішальне значення для екосистеми «розумного міста». Отже, ідея «розумних» локацій та приміщень є природним розвитком парадигми «розумного міста» (див. рисунок 1.1), яка виникла в результаті майже трьох десятиліть спільної роботи між дослідниками та фахівцями в царині інформаційних технологій [26].

Мета полягає в тому, щоб підвищити ефективність, стабільність і залученість для всіх членів «розумної» спільноти чи локації, незалежно від їх фізичної присутності чи участі в Інтернеті. Впродовж останніх десятиліть ці зусилля були зосереджені на впровадженні в міське середовище найсучасніших технологій, зокрема:

- визначення місця розташування в приміщеннях;
- навігація;
- виявлення людей;
- моніторинг навколишнього середовища.

Зокрема, у нещодавньому систематичному дослідженні [27] було досліджено понад сорок інформаційних систем, що пов'язані з «розумними» локаціями, що охоплюють різноманітний набір елементів фізичної інфраструктури, включаючи:

- розумний транспорт;
- автономні транспортні засоби;
- «розумні» будівлі;
- «розумні» навчальні класи;
- «розумні» дослідницькі лабораторії;
- «розумні» громадські місця»
- «розумні» паркування;
- «розумне» освітлення тощо.

Розумний транспорт можна далі розділити на «розумну» транспортну інфраструктуру та «розумні» електромобілі, тоді як автономні транспортні засоби можна охарактеризувати як безпілотні літальні апарати (БПЛА) і підключені та автономні транспортні засоби (CAV) [31].

Загальновідомо, що дані «розумного міста» неоднорідні та походять із різних джерел, що вимагає надійних методів управління даними для дослідження та прийняття рішень [28].

Очевидно, що послуги, розроблені на основі IoT, і множина давачів з економічно ефективними обчислювальними ресурсами зробили «розумними» міські території, локації та будівлі, що постійно зростають. Ці розробки зараз активно впроваджуються в [23]:

- державних установах;
- «розумних» будівлях;
- комунальних програмах;
- транспортній сфері;
- земельній галузі;
- будівництві;
- гірничодобувній сфері;
- охороні здоров'я;
- економічних платформах тощо.

Крім того, такі технологічні зміни не тільки роблять міста та будівлі розумнішими, але й допомагають покращити добробут і рівень життя людей за допомогою «розумних» застосунків [19]:

- портали охорони здоров'я;
- онлайн-платформи електронного навчання;
- застосунки для планування процесів та подій;
- застосунки для прогнозу погоди та інші.

Прогнозується, що кількість програмно-алгоритмічних рішень і цифрових послуг, створених для «розумних міст», у всьому світі зросте більш ніж на два трильйони доларів США [29]. Незважаючи на те, що концепція «розумних міст» залишається недосяжною, сучасні міста все більше покладаються на нові технології:

- 5G;
- IoT-пристрої;
- розподілені хмарні інфраструктури;
- туманні обчислення;
- периферійні обчислення;
- смартфони;
- штучний інтелект тощо.

Щоб допомогти оптимізувати рішення для управління та запровадити нові політики, використовуючи доступні дані [28].

Сучасне «розумне місто» складається з декількох вимірів, кожен з яких однаково відіграє ключову роль у розвитку «розумнішого» суспільства. На рисунку 1.1 показано множину вимірів, які формують загальну екосистему «розумного міста» [30]:

- «розумна» промисловість;
- «розумна» безпека;
- «розумна» енергетика;
- «розумні» люди;
- «розумна» охорона здоров'я;

- «розумна» роздрібна торгівля;
- «розумне» управління;
- «розумний» будинок;
- «розумна» мобільність.

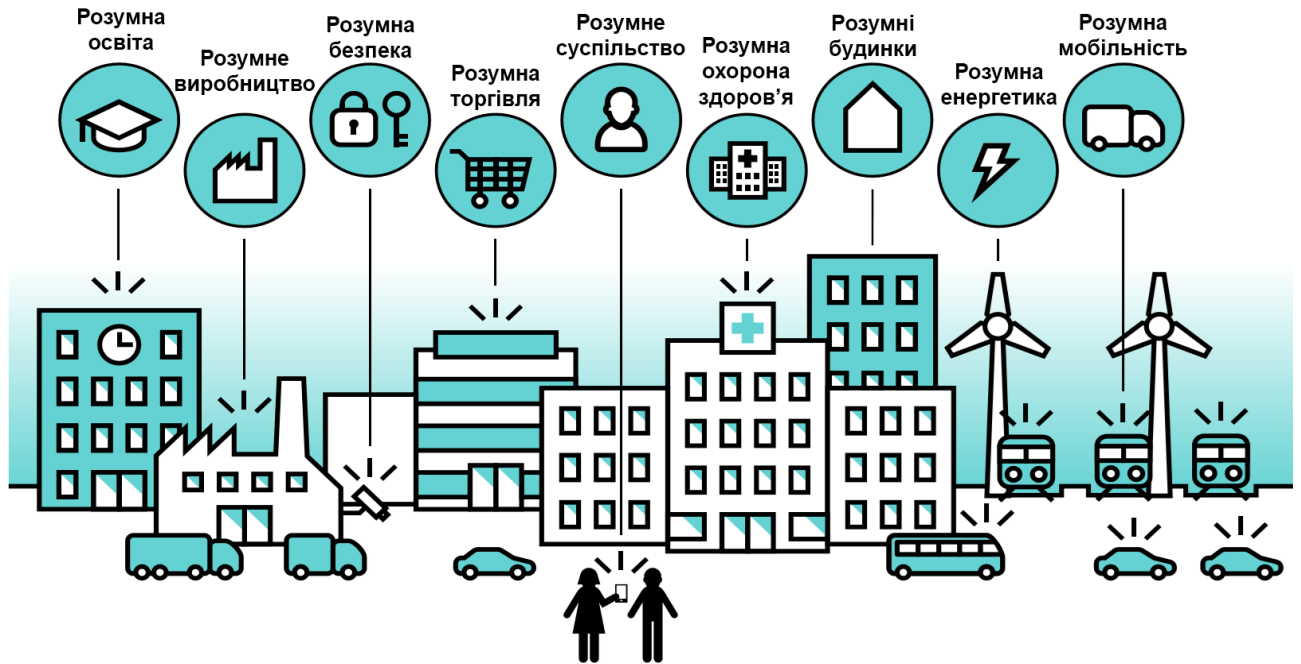


Рисунок 1.1 – Елементи концепту «розумне місто» [27]

Основна частина цих інноваційних зусиль підтримується урядами, які хочуть зробити «розумні міста» доступними та безпечними як для нових, так і для досвідчених мешканців [31]. Така швидка інноваційна екосистема потребує глибокої підтримки за допомогою:

- IoT-пристроїв;
- хмарних обчислень;
- великих даних;
- периферійних обчислень;
- кіберфізичних систем.

Перспективи цифровізації «розумних міст» вимагають додаткового розгортання IoT-пристроїв або множини вищезгаданих технологій, що створює рад додаткових задач, зокрема:

забезпечення безпеки та конфіденційності інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» [32];

- проблеми неоднорідності даних, дачивів та їх підключення;
- аналітика великих даних;
- масштабованість;
- надійність;
- відмовостійкості послуг [24].

В [33] описано декілька громадських опитувань на ці теми.

1.3 «Розумні» міські ініціативи

У поєднанні зазначені вище технології відкривають обширні перспективи створення різноманітних застосунків для кращого управління «розумними містами» та формування нових правил міського урядування та управління, використовуючи дані з «розумних міст». Зараз багато ініціатив «розумних міст» використовують дані з різних джерел у «розумних містах» для покращення якості життя та суспільства загалом [19]. Незважаючи на перераховані вище перешкоди, численні ініціативи «розумного міста» намагалися інтегрувати різні компоненти окремо або разом, наприклад:

- розумна мобільність;
- розумний транспорт;
- розумна енергетика тощо.

Наприклад, у дослідженні [33] розглядалися методи, що дають змогу зменшити:

- кількість відходів;
- небезпеку забруднення навколишнього середовища;
- споживання енергії;
- транспортний трафік тощо.

Щоб зробити «розумне місто» безпечнішим, стійкішим та екологічнішим. Наприклад, муніципальна влада Токіо оголосила про плани стати найбільш

екологічно чистим містом в Азії до 2025 року з метою ефективного управління транспортом, скорочення використання енергії та інших сфер [34]. Більшість твердих побутових відходів у Токіо тепер перепрофільовано, житла побудовані таким чином, щоб вони були вогнестійкими та сейсмостійкими, а також триває створення парків і громадських доріжок як частина боротьби зі стихійними лихами. Подібні ініціативи наступного покоління, такі як «U-city», спрямовані на впровадження передової обчислювальної інфраструктури та повсюдних послуг у п'ятнадцяти корейських містах. Частина ініціативи «Hwaseong-Dong taп U-city» була завершена з акцентом на запобігання злочинності, інтелектуальні транспортних потоки та автоматизації інфраструктури міського середовища [35]. Китай, з його вибуховим зростанням населення, планує інвестувати мільярди в приблизно п'ятсот «розумних міст» для впровадження до 2020 року [36]:

- «розумних» послуг;
- покращеної інфраструктури;
- ШІ;
- великих даних;
- цифрового управління процесами регулювання.

Подібним чином США завершили роботу над планом «розумного міста», маючи намір інвестувати близько сорока одного трильйона доларів США до 2035 року для створення інфраструктури «розумного міста» на основі Інтернету речей для забезпечення:

- покращеної якості повітря;
- підвищення ефективності транспорту;
- стійкого навколишнього середовища та інших ініціатив.

У Європі в рамках ініціативи Європейського інноваційного партнерства щодо «розумних міст» і спільнот (EIP-SCC) близько трьохсот проектів «розумних міст» отримали підтримку до одного мільярда євро для вирішення проблем [37]:

- енергоефективних будівель;

- розумної мобільності;
- цифрової інфраструктури;
- вдосконалення рівня життя;
- стійкості до кліматичних змін та інші.

У дослідженні [38] було описано процес розгортання IoT-інфраструктури, щоб уможливити процес моніторингу навколишнього середовища, управління транспортуванням, спостереження тощо.

«Розумні» локації та простори, історично відомі як каталізатори розвитку нових технологій, зазнали суттєвих змін на ринку освіти за останні роки. Ці зміни були спричинені подвійними силами зеленого переходу та пандемії Covid-19, що спонукало до впровадження IoT та хмарних технологій:

- уніфіковані комунікації як послуга (UCaaS);
- комунікаційна платформа як послуга (CPaaS);
- контакт-центр як послуга (CCaaS) [1].

Інформаційно-технологічну платформу «розумного міста» було розроблено за кошти ЄС – проект під назвою CUTLER для забезпечення розробки політики на основі фактичних даних, зосередженої на розвитку прибережних міст, використовуючи великі дані з п'яти різних пілотних європейських проектів «розумних міст» [39]. Проект включав численні варіанти використання, однаково сприяючи покращенню політики міського управління, наприклад, системи «розумного» паркування та зниження ризику повеней [40].

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» висвітлено актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст». Описано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст». Розглянуто прогресивні «Розумні» міські ініціативи.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ПЕРИФЕРІЙНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ

2.1 Аналіз інформаційно-технологічних платформ «розумних міст»

Концепція «розумних міст» призначена для покращення рівня життя громадян та забезпечення кращого державного управління за допомогою ІКТ [41]. Тому для «розумних міст» важливо вживати запобіжних заходів для захисту громадських активів, які можуть бути під загрозою. Це потребує впровадження обширного спектру систем, які використовувалися впродовж тривалого періоду часу, але не оновлювалися, наприклад, використовуються урядовими установами, навчальними закладами, правовими структурами, електростанціями, транспортними системами, системами охорони здоров'я, громадою, платформами та системами спостереження навколишнього середовища. [42].

Обширний перелік робіт було виконано для розробки специфічних компонентів «розумних міст», наприклад, «розумних» систем управління паркуванням та «розумної» утилізації відходів. Однак досліджень щодо інтеграції таких програмно-алгоритмічних рішень у цілісні інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» набагато менше [43].

Реалізація екосистем «розумних міст» пов'язана з різними задачами, особливо з управлінням і обробкою великої кількості даних [28], наприклад:

- збором даних;
- керуванням;
- зберіганням;
- обробкою;
- аналізом;
- візуалізацією.

Вбудовування технологій великих даних і розподіленої обчислювальної парадигми в інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» ідеально

підходить для таких випадків. Ефективні та інноваційні інформаційно-технологічні платформи «розумного міста» користуються попитом через уповільнення прогресу окремих аспектів спостереження навколишнього середовища, управління енергією тощо. Крім того, швидке зростання обсягів даних у «розумних містах» знижує продуктивність складних аналітичних платформ обробки даних. Наприклад, хмарні обчислення змінили традиційні обчислення, і тепер із впровадженням 5G у контексті «розумних міст» потрібні надійні аналітичні платформи обробки даних на основі парадигми периферійних обчислень. У таблиці 2.1 подано огляд існуючих програмно-алгоритмічних архітектур для «розумних міст» [27].

Таблиця 2.1 – Огляд інформаційно-технологічних архітектур розумних міст [27]

Назва проекту	Мета	Технології
«Smart Santander»	Запропоновано тестовий IoT-стенд для інтеграції гетерогенного набору пристроїв з використанням різних мережевих технологій для забезпечення моніторингу служб і застосувань розумного міста.	Було реалізовано трирівневу серверну архітектуру з рівнем сервера, рівнем IoT-шлюзу і рівнем IoT-пристроїв.
«Sii-Mobility SmartCity»	Платформа проекту спрямована на надання передових рішень для стійкої мобільності та транспорту за допомогою хмарних технологій.	Запропонована багаторівнева архітектура для аналізу великих даних за допомогою Hbase, HDFS, Apache Zeppelin та інші.
«CiDAP»	Щоб вирішити задачі зберігання і обробки даних від «SmartSantander», була створена платформа великих даних, яка підтримує історичну обробку та обробку в режимі реального часу.	Хмарна платформа «CiDAP» була розроблена за допомогою HDFS, Apache Spark, CouchDB тощо.
«Snap4City»	Платформа, яка надає гнучкі можливості для створення застосувань для розумних міст, використовуючи різноманітні дані за допомогою IoT та аналітики даних великих даних.	Хмарна інфраструктура була реалізована за допомогою комбінації різних наборів інструментів MQTT, NodeRED, Hbase, Apache Nifi, Apache Spark тощо.

Хоча на даний час впроваджено декілька платформ «розумних міст», жодна ще не завершена повністю [44].

З розвитком парадигми периферійних обчислень виникає потреба в гібридних хмарних і периферійних «розумних» інфраструктурах, які можуть підтримувати розподілену обробку та аналіз даних. Ідея периферійних обчислень відрізняється від хмарних обчислень, де дані переміщуються в централізований об'єкт для аналізу. У периферійних обчисленнях процес обчислення відбувається поблизу джерела даних, що забезпечує енергоефективність і низьку затримку [7]. Як показано в табл. 1, більшість запропонованих рішень засновані на хмарі, що створює попит на архітектуру «розумних міст» на основі периферійних обчислень, щоб вирішити задачі:

- низької затримки;
- забезпечення інтелектуальних засобів на периферії;
- менше переміщення даних у хмару;
- надання обчислювальних ресурсів на периферії.

Крім того, наскільки на даний час відомо, запропоновані архітектури на основі периферійних обчислень не здатні виконувати аналіз за допомогою вимогливих до ресурсів обчислювальних засобів на периферії обчислювальних мереж та не підтримують оперативну міграцію робочих навантажень, враховуючи ефективне використання ресурсів.

У цьому відношенні концепція EMDC може бути використана для майбутніх «розумних» інфраструктур у «розумних» містах, які оснащені достатньою кількістю обчислювальних ресурсів та інформаційно-технологічних рішень [27]. Тому доцільно проаналізувати інформаційно-технологічну архітектуру на основі EMDC для розробки цифрових застосунків «розумного міста», яка створює обчислювальне та ресурсне середовище на основі далекої та ближньої периферії для обробки даних чутливих до часу застосунків і перенесення менш критичних завдань в хмару.

2.2 Використання периферійних обчислень для опрацювання даних «розумних» міських середовищ

Зміщення потоку даних є добре відомою складністю потокових даних під час виконання прогнозного моделювання для потреб «розумних» міських середовищ. Це явище виникає через динамічну поведінку потокових даних, тобто раптові або поступові зміни статистичних властивостей даних «розумного міста» з непередбачених причин. Наприклад, дрейф потоку даних може виникнути в даних через несправність, по-іншому відкалібрований сенсорний пристрій або зміну контексту даних [45]. Існують різні типи дрейфу потоку даних, наприклад раптовий (див. рисунок 2.1), поступовий і повторюваний дрейф потоку даних [46].

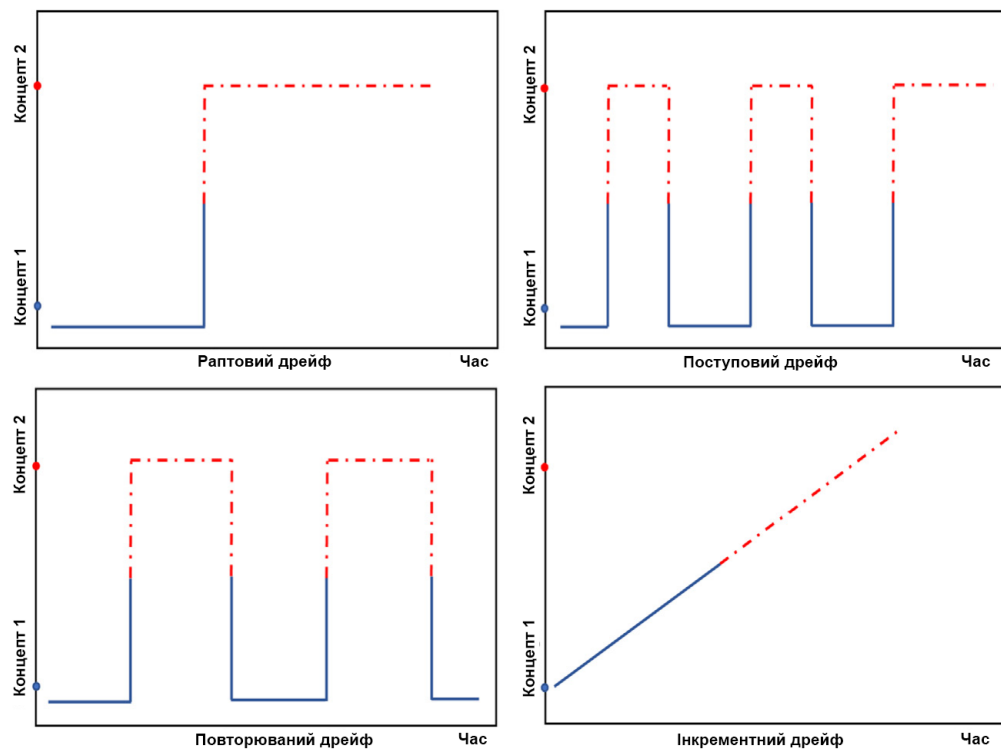


Рисунок 2.1 – Характеристики типів дрейфу потоку даних [27]

У сценаріях раптового дрейфу зміни можуть статися раптово, тоді як при поступових або повторюваних дрейфах зміни в даних відбуваються повільно з додатковими змінами розподілу класів при поступовому дрейфі, тоді як при

повторюваному дрейфі зміна в даних може зникати і повертатися через певний період [47].

Сучасний стан обчислювальної техніки забезпечує численні концептуальні методи виявлення дрейфу та адаптації, засновані на активних і пасивних підходах. В активних підходах потрібне чітке виявлення дрейфу даних перед застосуванням підходу адаптації. Тим часом, у пасивних підходах інтелектуальні алгоритми можуть постійно оновлюватись, не потребуючи знань, який вид дрейфу відбувся і коли. Однак пошук оптимальної частоти оновлень навчальної вибірки може потребувати багато зусиль [19].

Опублікована значна кількість наукової та популярної літератури щодо активних і пасивних підходів до виявлення та адаптації дрейфу концепту даних. Активні підходи зазвичай поділяють на основні категорії:

- методи на основі послідовного аналізу;
- методи на основі вікон;
- методи на основі результатів навчання.

Методи пасивного підходу складаються в основному з окремих класифікаторів і групового навчання [48]. Детальнішу інформацію опубліковано в [49].

Методи на основі послідовного аналізу послідовно досліджують потік даних для аналізу змін. Коли перевищено визначене порогове значення через виявлення змін із розподілу даних, генерується сигнал тривоги про те, що було виявлено дрейф потоку даних. Приклади алгоритмів на основі послідовного аналізу включають «Тест Пейджа Хінклі» (PHT) і «Кумулятивну суму» (CUSUM) [66]. Зокрема, PHT використовувався як еталон у [50]. PHT працює шляхом обчислення різниці між спостережуваними значеннями та їх середнім значенням, якщо спостережуване середнє перевищує визначений поріг, було виявлено дрейф потоку даних [51].

Методи, засновані на результатах навчання, працюють шляхом відстеження рівня помилок у результатах навчання. Прогнозовані значення аналізуються, щоб виявити дрейф потоку даних в потокових даних шляхом

моніторингу їх стандартного та середнього відхилення [49]. Деякі приклади описують:

- метод виявлення дрейфу (DDM);
- метод раннього виявлення дрейфу;
- метод реактивного виявлення дрейфу (RDDM) [52];
- EWMA для концептуального виявлення дрейфу (ECDD), який використовує діаграми EWMA для концепції виявлення дрейфу [53].

Віконні методи виявляють дрейф потоку даних шляхом моніторингу зміни розподілу прогнозованих значень. У таких методах використовуються дві підмножини вікон, де одне вікно містить початковий розподіл даних, а ковзне вікно містить прогнозовані значення для вказівки на статистичні відмінності [19]. До цієї групи належать:

- Adapting Windowing (ADWIN);
- Drift Detection Method;
- засновані на нерівності Хефдінга HDDMA–Test та HDDMW–Test;
- Fast Hoeffding Drift Detection Method (FHDDM) [54].

Крім згаданих підходів до виявлення дрейфу потоку даних, також використовуються пасивні підходи, переважно для вирішення проблем дрейфу потоку даних в нестационарних середовищах «розумних міст». Однак пасивні підходи не вимагають явного виявлення дрейфу потоку даних. Замість цього методи навчання постійно перенавчаються на основі попередньо визначених частот.

2.3 Вимоги до інформаційно-технологічної та обчислювальної архітектури «розумних» міських середовищ

Більшість із поданих в табл. 2.1. інформаційно-технологічних архітектур «розумних міст» створює обчислювальні платформи розумного міста за допомогою віртуальних машин VM [55]. Це є більш гнучким, ніж фізичні обчислювальні машини. Коли створюється хмарна інфраструктура, VM

обмежують переміщення користувацьких або системних програм у різні локації. Крім того, деякі обчислювальні архітектури виконують вимогливу до обчислювальних ресурсів обробку або за межами таких систем, або через хмарне проміжне програмне забезпечення [7]. Дослідження [56] надає контейнерну узагальнену архітектуру «розумного міста» для різних програм, керованих сценарієм «розумного міста». Незважаючи на цілісний характер запропонованої авторами інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста», вона демонструє обмежені можливості для журналів системного рівня та не має компонентів телеметрії, які є важливими для визначення вимог до ресурсів для обчислювальних навантажень у довгостроковій перспективі.

Доцільно побудувати портативну архітектуру «розумного міста», яка:

- дасть змогу оперативно інтегрувати різні сценарії «розумного міста»;
- підтримує виявлення відхилення потоку даних, полегшує безперервний моніторинг журналів;
- забезпечує живу міграцію робочих навантажень ІІІ, ML і загальні обчислювальні навантаження на вимогу у обчислювальному середовищі «хмара-периферія» на основі вимог до ресурсів.

Зокрема, потрібно сформувати інформаційно-технологічну архітектуру з такими характеристиками:

- Підтримка периферійного аналізу та опрацювання даних, прогнозне моделювання, виявлення дрейфу потоку даних у налаштуваннях EMDC.
- Полегшення процесів інтеграції різнотипових сценаріїв «розумного міста» та процесів прийняття рішень.
- Підтримка активної міграції на вимогу обчислювальних навантажень між кластерами та обчислювальними вузлами на основі вимог до обчислювальних ресурсів «розумного міста».
- Впровадження інструментів моніторингу та телеметрії для безперервного спостереження використання обчислювальних ресурсів «розумного міста» і включення аналітичних вимог до ресурсів для балансування робочих навантажень.

2.4 Гібридна обчислювальна архітектура «розумних» міських середовищ

Щоб побудувати гнучку обчислювальну архітектуру «розумних» міських середовищ та організацію ресурсів, які забезпечують швидкий доступ до оперативної аналітичної інформації та обробки великих за обсягом даних, визначаємо гібридне обчислювальне середовище «пристрій-периферія-хмара». Як показано на рисунку 2.2, замість того, щоб розглядати периферію і хмару як дві окремі обчислювальні парадигми, згідно [27] доцільно створити потужну множину обчислювальних ресурсів, сховищ даних і мережевих ресурсів, яка починається з джерела генерації даних і закінчується надзвичайно високопродуктивними концентраторами обчислювальних ресурсів у хмарах.

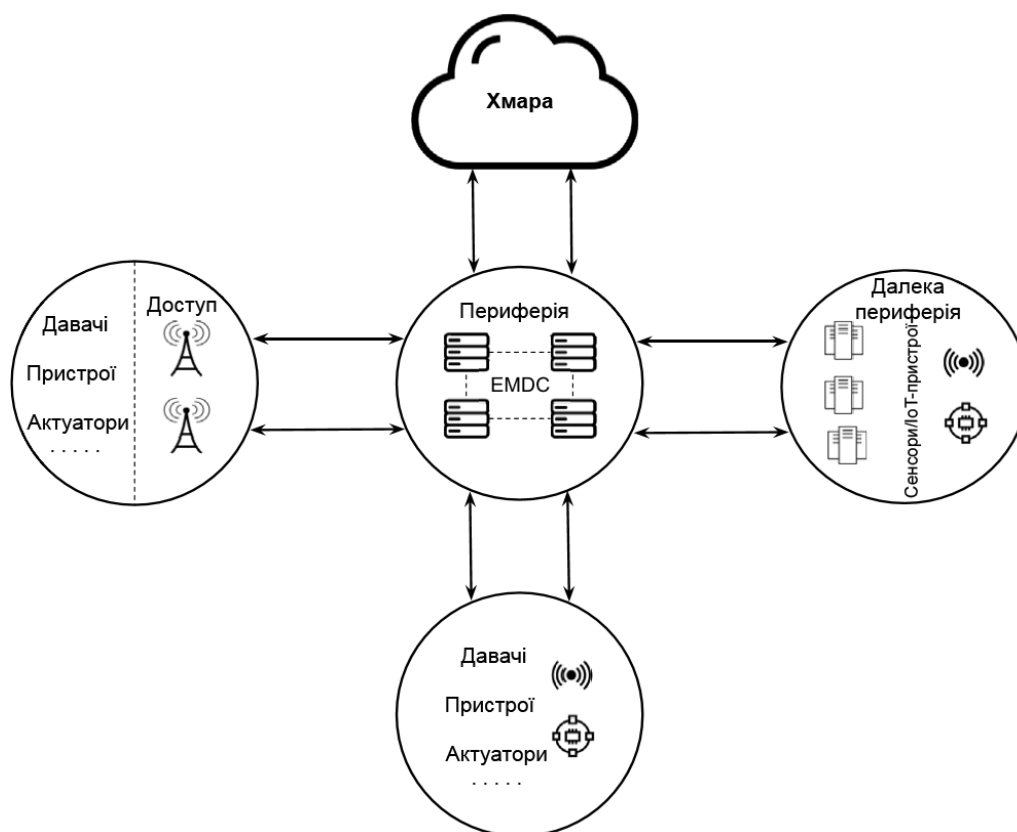


Рисунок 2.2 – Гібридне обчислювальне середовище «пристрій-периферія-хмара» для «розумних» інфраструктур і «розумних» міст [27]

Робочі навантаження ІІІ та МL заплановано для виконання в різних середовищах на основі типу, властивостей і вимог робочого обчислювального

навантаження. Водночас доцільно надати короткий огляд різних об'єктів у «розумній» інформаційно-технологічній інфраструктурі, включаючи пристрої користувачів, межові сервери та хмарні обчислювальні засоби.

Загалом дослідники [27] вважають пристрої локальними обчислювальними об'єктами, які продукують дані, наприклад:

- IoT-давачі, які вимірюють параметри навколишнього середовища;
- сервоприводи актуаторів кіберфізичних систем;
- відеокамери, які записують відеопотоки;
- «розумні» транспортні засоби;
- сигнали «розумних» світлофорів та «розумної» транспортної інфраструктури;
- «розумні» детектори руху тощо.

Сучасні «розумні» пристрої також можуть бути обладнані мінімальними обчислювальними ресурсами або ресурсами зберігання даних та можливостями початкового мінімального опрацювання даних [57], наприклад, для:

- фільтрації даних;
- агрегування вимірювань;
- відкидання недійсних записів.

Периферійні (Edge) обчислення охоплюють широкий спектр місць безпосереднього виконання, але зазвичай поділяється на ближній і дальній периферійний край, залежно від кількості або продуктивності доступних обчислювальних ресурсів. Близький периферійний край дещо нагадує традиційний центр обробки даних, розташований ближче до кінцевого користувача, але з меншими обчислювальною потужністю та сховищем, або складається з потужних периферійних мікроцентрів периферійної обробки даних (EMDC) з декількома обчислювальними засобами і слотами для зберігання даних, обладнаних графічними процесорами та апаратними прискорювачами [58].

Користувацькі пристрої можуть підключатися до ближнього периферійного краю через мережу доступу, наприклад 5G. Дальній

периферійний край, як правило, розташований локально або дуже близько до пристроїв користувачів і має додаткові обмеження обчислювальних ресурсів. Дальній периферійний край може складатися з традиційних серверів або EMDC з обмеженими ресурсами як автономних пристроїв, які можна підключити до декількох пристроїв користувача.

Хмарні обчислення складаються з останнього потужного покоління швидкого й ефективного обладнання для обчислень і зберігання даних. Використовуючи можливості парадигми розподілених обчислень, хмарні обчислення використовуються для вирішення багатьох задач, де потрібні програмно-алгоритмічні рішення з великими за обсягом наборами та колекціями даних. Наприклад [19], програми хмарних обчислень, що використовуються в:

- аналітиці великих даних;
- охороні здоров'я;
- економічних платформах;
- політичному прогнозуванні тощо.

Однак, хмарні обчислення можуть додати високу затримку та мережеві складнощі, оскільки дані стають більш реальними за своєю природою та в системах прийняття рішень у режимі реального часу, де запити генеруються в режимі реального часу. Тому потрібні передові програмно-алгоритмічні рішення на основі периферійних обчислень або гібридних хмарних архітектур, де можна вирішити такі задачі.

2.5 Інформаційно-технологічна архітектура EMDC

«Розумна» екосистема складається з периферійних мікроцентрів опрацювання даних (EMDC), здатних обробляти дані поблизу джерела. Щоб відповідати вимогам масштабованості, різноманітності та надійності, EMDC повинно працювати в контейнерному середовищі. Традиційні середовища використовують VM для розподілу фізичних ресурсів між різними

компонентами та службами, необхідними для обробки даних. Такий підхід призводить до значних накладних витрат, необхідних для керування ВМ, а також зменшує гнучкість процесів розподілу ресурсів між робочими обчислювальними завданнями та уповільнює створення машин і процесів. Порівняно з традиційним підходом ВМ, контейнери більш легкі, портативні, гранульовані та прості в розгортанні та керуванні [27]. Таким чином, розробляючи «розумну» інформаційно-технологічну архітектуру для роботи в повністю контейнеризованому середовищі, з усіма робочими обчислювальними завданнями та ШІ, що працюють як мікросервіси в EMDC.

EMDC складається з множини слотів для підтримки декількох карт зберігання та обробки. Для цього доцільно використати Kubernetes, щоб оркеструвати ресурси, доступні в цих слотах, і керувати ними [27]. Кожен слот налаштовано з ОС Linux. Один слот налаштовано як головний вузол kubernetes, також відомий як площина керування. Цей вузол діє як центральний вузол керування та виконує всі завдання оркестровки, планування та керування. Решта слотів налаштовано як робочі вузли kubernetes і використовуються для виконання робочих обчислювальних завдань. Планувальник доповнюється результатами виявлення відхилення концепції, щоб визначити потреби робочого завдання ШІ та ML. Коли робоче завдання потрібно перемістити з периферії в хмару або на більш потужні периферійні сервери. При цьому інформаційно-технологічна архітектура виконує оперативну міграцію в режимі реального часу та обробляє більш витратні обчислювальні операції в хмарі [27]. Після завершення обчислювально-витратного перенавчання робоче обчислювальне завдання повертається до периферії, і робота продовжується без перерв та затримок.

При цьому доцільно використовувати Docker для роботи та віртуалізації програм. Робочі обчислювальні завдання ШІ та ML упаковуються в образи Docker разом із усіма залежностями та завантажуються в сховище зображень ВМ. Потім ці робочі обчислювальні завдання плануються як мікросервіси шляхом визначення та розгортання їх як об'єктів Kubernetes [27]. Kubernetes

керує оркестровкою та розміщенням робочих обчислювальних завдань на одному або декількох робочих вузлах на основі вимог, специфікацій і обмежень кожного робочого обчислювального завдання. На відміну від традиційного підходу ВМ, це розгортання є більш динамічним і не потребує попереднього планування та статичного розподілу ресурсів ЦП, пам'ять або сховище. Робоче обчислювальне завдання споживатиме лише ті ресурси, які йому потрібні, а решта ресурсів на цьому робочому вузлі можна динамічно розподіляти для інших робочих обчислювальних завдань за потреби [27]. Інформаційно-технологічну архітектуру контейнерної платформи можна побачити на рисунку 2.3.

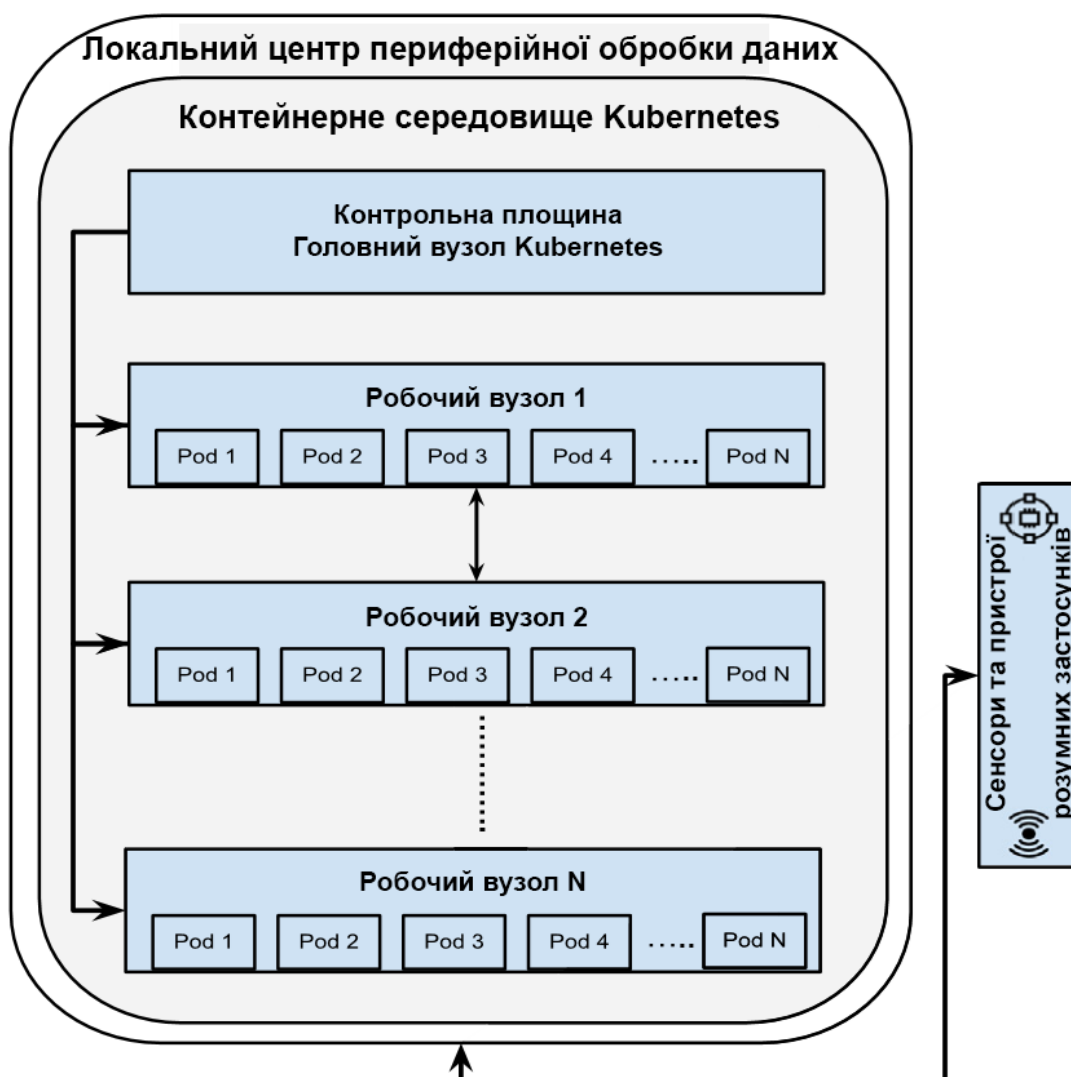


Рисунок 2.3 – Інформаційно-технологічна архітектура контейнерної платформи для «розумних» міських середовищ

У Kubernetes робочі обчислювальні завдання плануються як об'єкти, які називаються контейнерами. Він зазвичай складається з одного контейнера, який запускає певну програму. Однак, залежно від структури програми, за потреби декілька контейнерів можуть бути упаковані в один. Планується, що модуль буде працювати на одному робочому вузлі. Однак для підвищення відмовостійкості коефіцієнт реплікації, більший за одиницю, можна використовувати для створення копій модулів і планування їх розміщення на декількох вузлах, щоб уникнути єдиної точки відмови. Щоб досягти цього для системних компонентів і програм, які потребують більших вимог відмовостійкості використовується об'єкт Kubernetes Deployment [27].

Щоб увімкнути зв'язок між робочими обчислювальними завданнями, доцільно використати об'єкти-служби Kubernetes. Служби Kubernetes надають програму, що працює на наборі модулів, як мережеву службу для інших внутрішніх або зовнішніх програм. Ці служби абстрагують мережеві функції та витягують їх із програм, роблячи програми динамічними та легшими для керування. Для програм, які вимагають постійного зберігання, потрібно використовувати постійні томи Kubernetes (PV) та монтувати ці PV у модулі, на яких працюють програми [27].

2.6 Структура інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах

Інформаційно-технологічні платформи «розумних» міських середовищ потребують різноманітних компонентів для отримання даних із різних джерел у великому масштабі, послуг для зберігання, керування, обробки та аналізу цих даних, а також програмно-алгоритмічних інтерфейсів для доступу та перегляду даних і результатів аналізу. Наприклад, IoT-пристрої обладнані датчиками для вимірювання характеристик навколишнього середовища, детекторами руху та рівнями шуму, які продукують дані в режимі реального часу. На рисунку 2.4 подано компоненти інформаційної системи класу «розумне місто» [27].

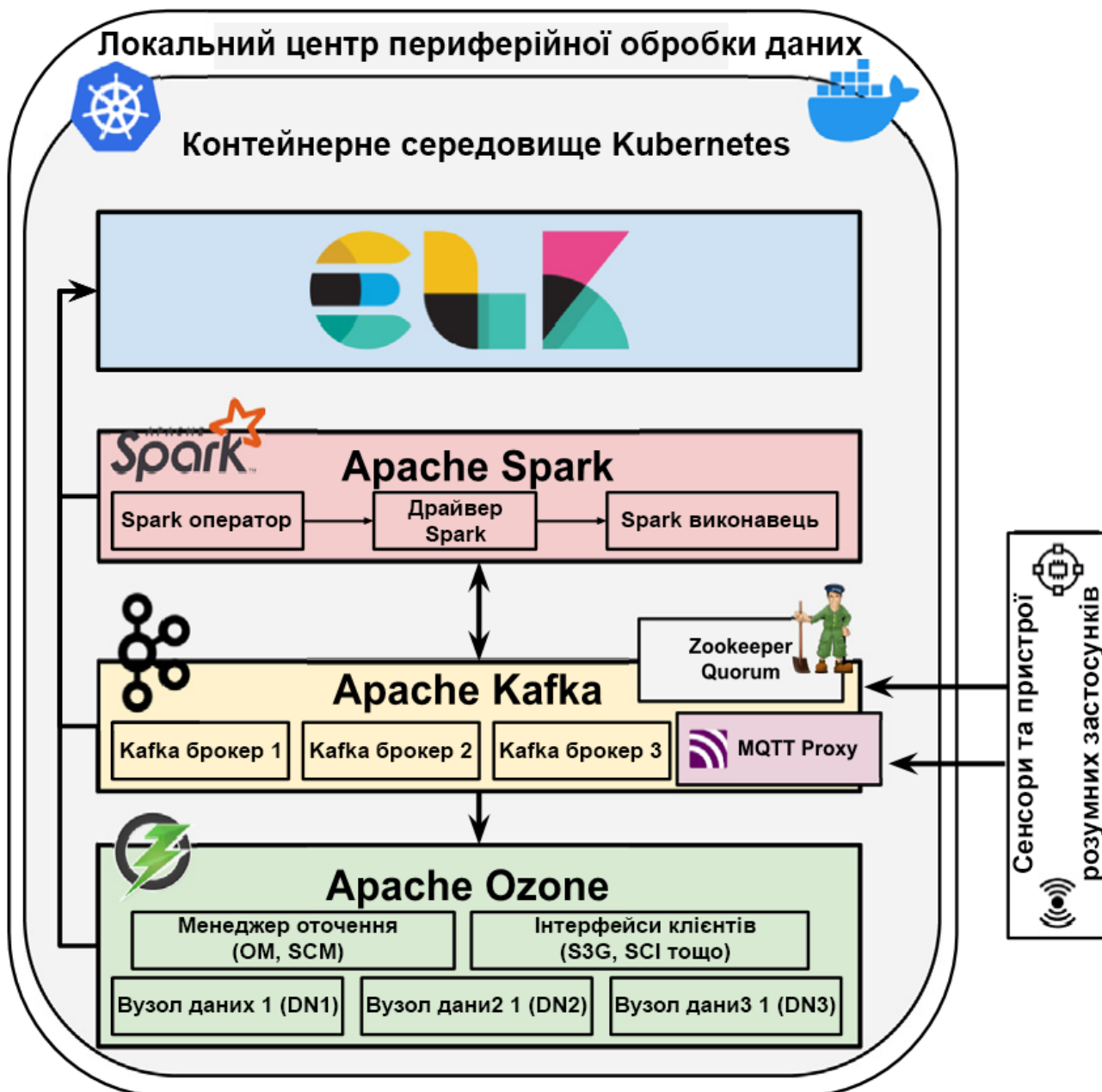


Рисунок 2.4 – Структура інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах [27]

Система зберігання інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах (EMDC) складається з декількох робочих вузлів. Кожен робочий вузол має певний простір для зберігання, доступний для програм із збереженням стану, які потребують постійного зберігання. Щоб дати можливість робочим навантаженням і програмам динамічно та прозоро отримувати доступ до сховища, потрібна система зберігання, яка абстрагує простір для зберігання та

функції від програм і дає змогу використовувати через Kubernetes API. Щоб відповідати цим вимогам, було обрано Apache Ozone [59] як систему зберігання. Ozone – це масштабоване, резервне та розподілене сховище об'єктів, яке має на меті забезпечити стійке економічно ефективне рішення, одночасно вирішуючи різноманітні задачі, з якими стикається Apache Hadoop, такі як незмінність і обмеження продуктивності малих файлів і масштабованості [60]. Доцільно розгорнути компоненти керування Ozone, зокрема, Ozone Manager, Storage Container Manager, Container Storage Interface (CSI) і S3 Gateway, як контейнери на робочих вузлах EMDC. Вузли даних Ozone також розгортаються як контейнери, з одним контейнером вузлів даних, що працює на кожному робочому вузлі. Ці вузли даних споживають простір для зберігання, доступний на відповідних робочих вузлах, і роблять його доступним через Ozone Manager для клієнтських програм користувача. Зовнішні клієнти можуть взаємодіяти з Ozone через інтерфейс S3, тоді як клієнти та програми зі збереженням стану, що працюють у середовищі Kubernetes EMDC, можуть взаємодіяти з Ozone за допомогою CSI. CSI – це інтерфейс між робочими навантаженнями контейнера та зовнішнім сховищем, який підтримує створення та налаштування постійного сховища на зовнішній системі зберігання, у даному випадку Ozone. Використання рефератів CSI спрощує використання пам'яті «розумними» застосунками. Коли застосунок запитує постійний том, Ozone легко створює та монтує його в модуль програми, і програма може використовувати його як стандартний том, оскільки керування абстрагується й обробляється Ozone.

Шина обміну повідомленнями у реальних розгортаннях, зокрема, у випадку використання, дані «розумних» застосунків надходять у вигляді потоків із різноманітних джерел із різною частотою вибірки. Ці дані повинні надходити на платформу надійно та безвідмовно. Крім того, моделі ІІІ та МL вимагають висококонкурентного програмно-алгоритмічного рішення з низькою затримкою для ефективної обробки та обробки великих обсягів даних у режимі реального часу.

Apache Kafka – це розподілена потокова платформа з відкритим кодом, яка відповідає вимогам локальних центрів периферійної обробки даних для потреб «розумних» міських середовищ. Це широко використовуваний і перевірений інструмент, який здатний створювати високопродуктивні та надійні канали даних для критично важливих «розумних» застосунків, таких як «розумний» транспорт, «розумна» охорона здоров'я, «розумний» банкінг та інші [61].

У кластері Kubernetes було розгорнуто три брокери Kafka на трьох різних робочих вузлах, щоб покращити відмовостійкість. Ці брокери налаштовані на два типи слухачів. Внутрішній слухач налаштований для служб і компонентів всередині того самого EMDC. Ці компоненти можуть отримати доступ до тем і повідомлень Kafka, використовуючи повне ім'я будь-якого з брокерів, що відповідає ESO. Зовнішній слухач налаштовується для споживачів за межами EMDC, напр. для інших EMDC у периферійному середовищі. Ці споживачі можуть отримати доступ до повідомлень Kafka, використовуючи IP-адресу та номер порту будь-якого з брокерів. Ці слухачі доступні до мережі за допомогою служб Kubernetes, які обробляють різні мережеві аспекти. Слід зауважити, що Zookeeper Quorum потрібен для функціонування Kafka, його також інстальовано як модулі Kubernetes із коефіцієнтом реплікації три та налаштовано за допомогою служб Kubernetes для доступу брокерів Kafka.

Оскільки декілька пристроїв і давачів спочатку використовують протокол MQTT для передачі повідомлень і показань, налаштовано проксі-сервер MQTT, який забезпечує масштабований і легкий інтерфейс, щоб дати змогу MQTT-клієнтам створювати повідомлення безпосередньо для Kafka. MQTT Proxy використовує просту схему відображення тем MQTT у теми Kafka, які базуються на регулярних виразах. Цей підхід дає змогу уникнути непотрібного дублювання даних, створених «розумними» пристроями, які використовують клієнти MQTT, і забезпечує уніфіковані кінцеві точки для прийому та споживання даних.

2.7 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «бакалавр» виконано аналіз інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». Описано концепцію виявлення та адаптації периферійних обчислень для потреб «розумних» міських середовищах. Розглянуто вимоги до інформаційно-технологічної та обчислювальної архітектури «розумних» міських середовищ. Сформовано гібридну обчислювальна архітектура «розумних» міських середовищ. Запропоновано інформаційно-технологічну архітектуру локальних центрів периферійної обробки даних. Описано структуру інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ EDGE-ОБЧИСЛЕНЬ В «РОЗУМНИХ» МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ

3.1 Практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах

Аналіз розподіленого часового ряду навчаючого, інтегрованого з методами визначення дрейфу потоку даних, здійснено з використанням поточкових даних реального світу з «розумної» локації [12]. Для цього використано набори даних понад чотирьохсот давачів, які вимірюють різні параметри середовища «розумних» приміщень, такі як CO₂, температура та вологість повітря, шум, рухи, тощо. У дослідженні [27] використано поточкові дані, що містять вимірювання CO₂ з п'яти різних «розумних» локацій. П'ять давачів, виділених на рисунку 3.1, були обрані через просторово-часові залежності вимірювань (кожна область може мати власні шаблони).

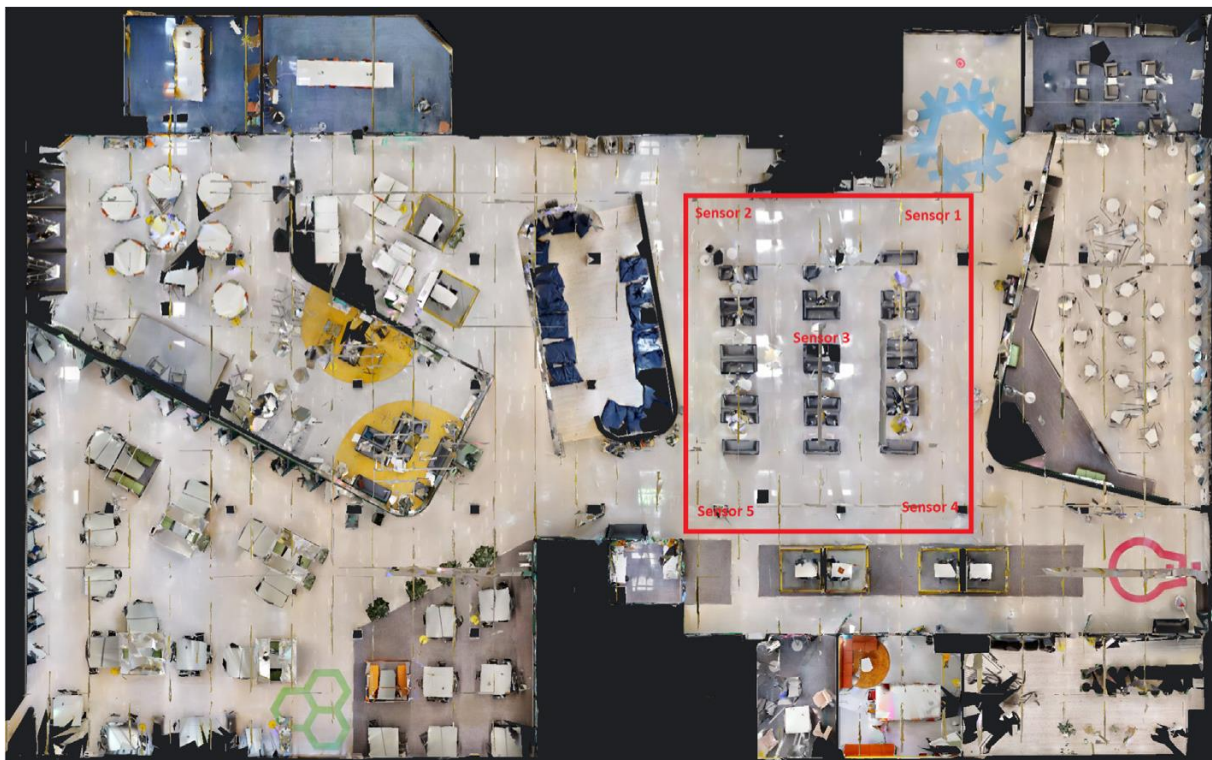


Рисунок 3.1 – Карта давачів Tellus, які використовуються для вимірювання CO₂ [62].

Вибрані давачі були розташовані поблизу входів із доступом до головної «розумної» зони. Ці давачі були розташовані близько, утворюючи сітку, що призвело до меншої кількості відхилень у вимірюваннях і ближчих тенденцій, що призвело до відповідної установки для прогнозного моделювання. Для цього було використано історичні дані з 2020 року по 2022 рік в потоковому режимі. Дані містять географічні координати місцезнаходження давачів, позначку часу, ідентифікатор пристрою та показники CO₂. Приклад спостереження концентрації CO₂ в університетському містечку в певний момент часу подано у виді теплової карти на рисунку 3.2.

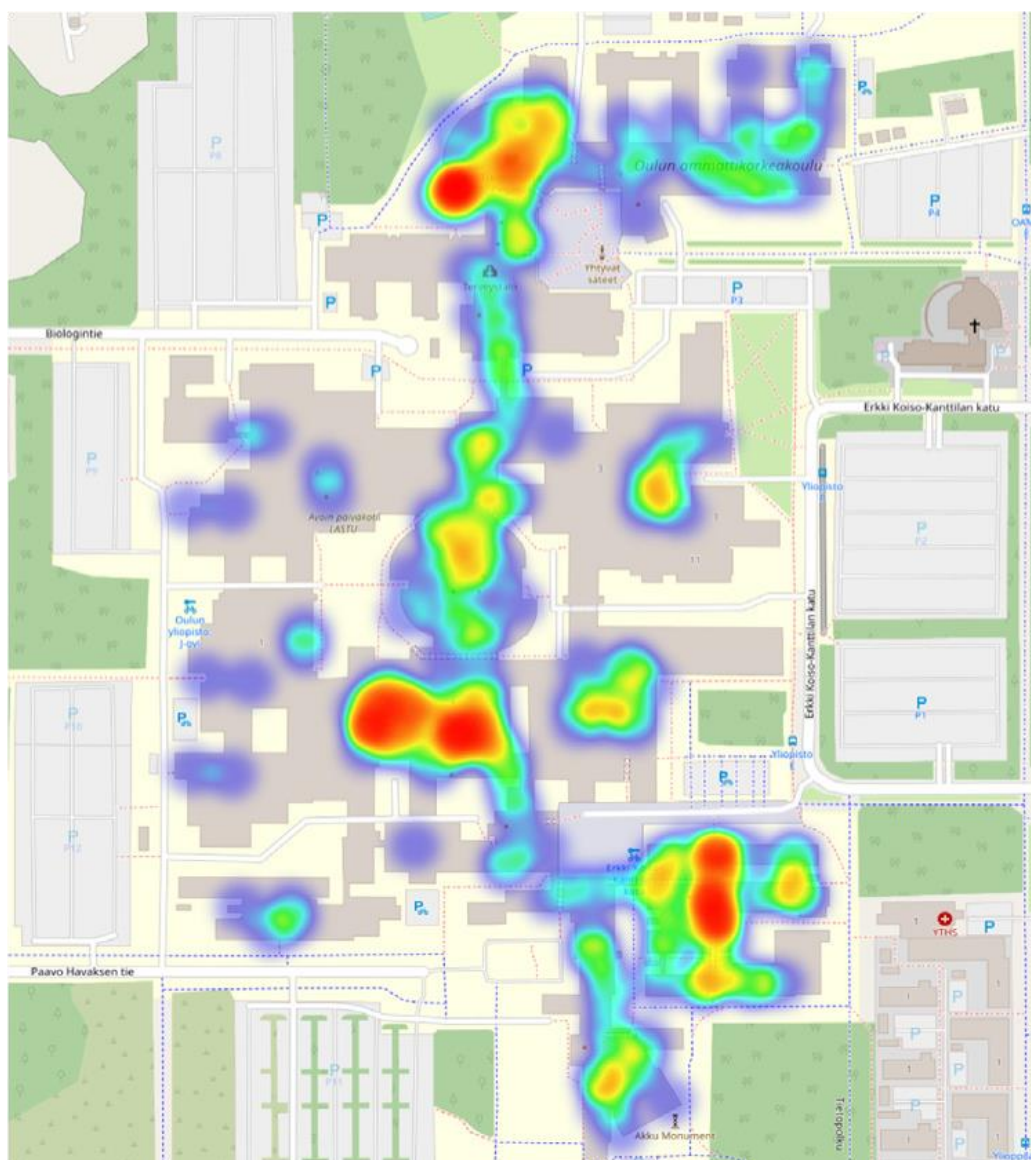


Рисунок 3.2 – Теплова карта викидів вуглекислого газу в різних зонах «розумної» локації [27]

Розподілений LSTM було реалізовано з використанням поданої на рис. 2.4 периферійної обчислювальної інфраструктури. У реалізації використовувався Apache Spark (Pyspark), успадкувавши його функціональні можливості, такі як конвеєри та оцінювачі. Для розподіленої реалізації навчального процесу засобів ШІ налаштований із трьома робочими конвеєрами та одним головним вузлом, який запускає та підтримує навчальні завдання.

Використання LSTM з методами спостереження дрейфу потоку даних. В [27] запропоновано новий алгоритмічний підхід до процесу навчання на основі часового ряду. Тобто LSTM навчається історичними даними за допомогою парадигми розподіленого навчання Apache Spark. Підготовлений навчальний набір спочатку використовує історичні дані, а потім потокові дані для обчислення прогнозів і виявлення відхилення потоку даних за допомогою методів PHT, ADWIN і KSWIN. На базі розглянутого в [27] сформовано поданий в лістингу 3.1 алгоритм виявлення та адаптації дрейфу потоку даних на основі зворотного зв'язку.

Лістингу 3.1 – Алгоритм виявлення та адаптації дрейфу потоку даних на основі зворотного зв'язку [27]

```
//Description: Historical data to train  $hd_T$  Streaming data  $ds_x$ ,
//Target Variable  $ds_t$ , Predictions  $ds_o$ , Learner  $l_n$ , Worker Node  $W_n$ 
//-->Kafka topic for concept drift alert  $qt_1$ , Kafka topic for
//exceptions and messages  $qt_2$ , Kafka consumer for  $qt_1 \leftarrow kc_1$ , Kafka
//consumer to deploy model  $kc_2$ 
//-->Kafka producer for  $qt_1 \leftarrow kp_1$ , Kafka producer to publish model
// $kp_2$ 
1: Initialise  $l_n$ 
2: Train  $l_n \leftarrow hd_T$  with  $W_{n-1}$ 
3: while  $ds_x = True$  do
4:   for each  $ds_x$  do
5:     Compute  $ds_o \leftarrow l_n$ 
6:   end for
7:   if  $len(ds_o) > 0$  then
8:     Call Concept drift detector  $\triangleright$  Kolmogorov Smirnov
9:     Compute Error ( $ds_t, ds_o$ )
10:    if CD is True then
11:       $qt_1 \leftarrow kp_1$ 
12:      Alert is sent
13:      Update model  $\leftarrow kc_1$ 
14:       $kp_2 \leftarrow l_n$ 
```

```

15:      kc2 ← qt2
16:      hdt + dso = hdt
17:    else
18:      kp2 ← ln
19:      kc2 ← qt2
20:      hdt + dso = hdt
21:    end if
22:  else
23:    qt2 ← kp1 (No values available)
24:  end if
25: end while

```

На рисунку 3.3 подано ключові етапи реалізованого обчислювального підходу [27].

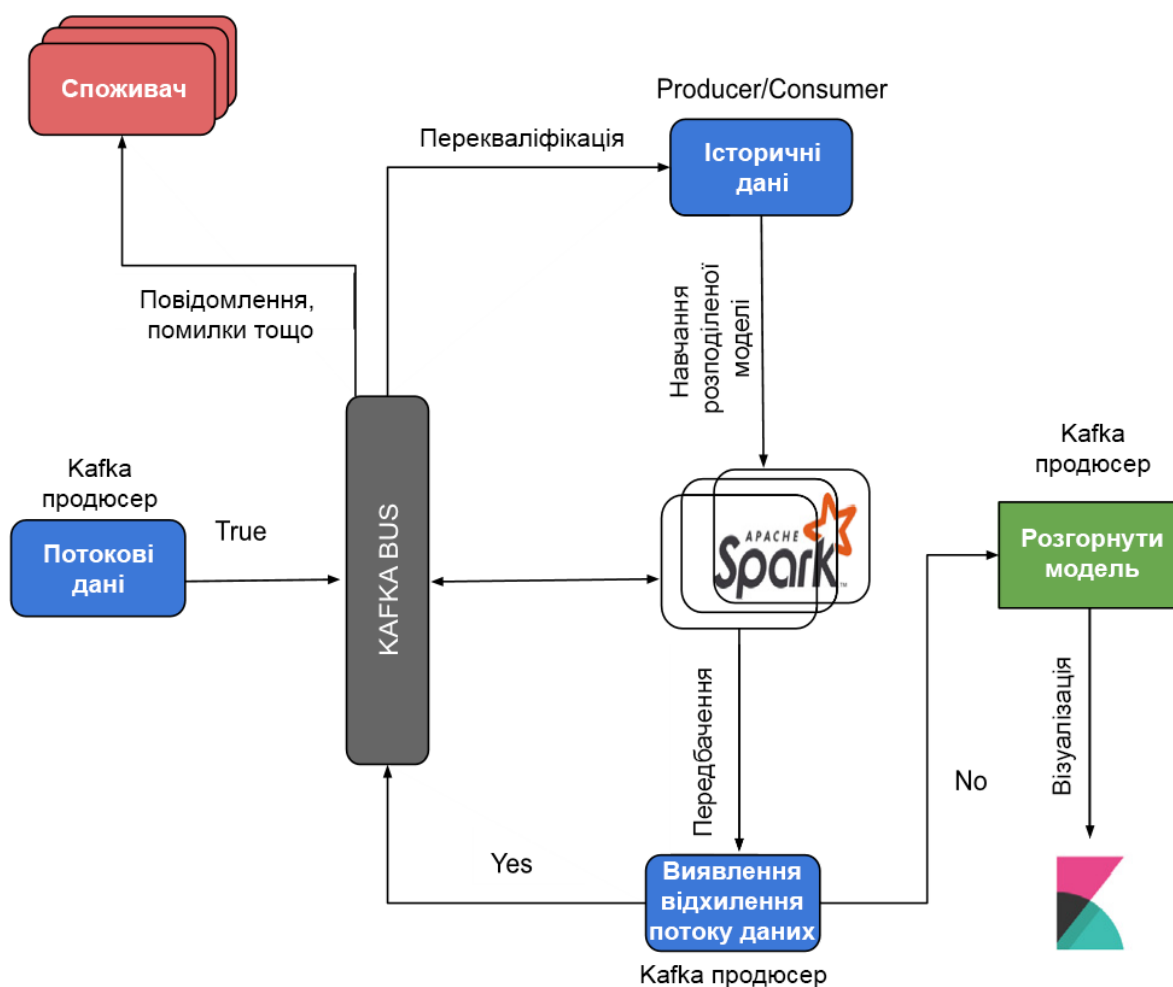


Рисунок 3.3 – Структура алгоритмічного процесу [27]

Повідомлення транслюється за допомогою Apache Kafka як комунікаційної шини для призначених тем «Kafka(qt1,qt2)» для виявленого

відхилення потоку даних, повідомлень про винятки та якщо потік даних не має значень.

Якщо виявлено дрейф потоку даних, «продюсер» «Kafka kp1» генерує відповідне сповіщення, яке надходить до споживача «Kafka kc1» для оновлення моделі та збереження поточного стану навчальної моделі. Крім того, якщо потік даних порожній, «kp1» транслює повідомлення про виняткову ситуацію, і процес запускається знову. Однак, якщо відхилення потоку даних не виявлено, «Kafka producer kp2» транслює повідомлення для розгортання моделі, а «kc2» розгортає модель.

3.2 Аніліз результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах

Результати створення локального центру периферійної обробки даних використані для спостереження та аналізу показників концентрації CO₂ на території «розумної». Після видалення викидів даних зібрану колекцію було розділено на навчальний і тестовий набори.

Локальний центр периферійної обробки даних з лінійним вихідним рівнем з [19] був адаптований для реалізації цього сценарію. Дані спочатку масштабували [6] та трансформували за допомогою послідовностей із ста часових періодів, зміщених на один часовий крок. Навчання проводилося шляхом синхронного вибору оптимізатора Адама з коефіцієнтом навчання 0,001 та епохами, встановленими як 25. На рисунку 3.4 подано вихідні дані навчання, які показують, що інформаційна модель досить добре слідувала початковим спостереженням. однак, з часовим діапазоном з «грудня 2021 р.» до «січня 2022 р.» модель не змогла ефективно та точно працювати через можливу зміну тенденції набору даних.

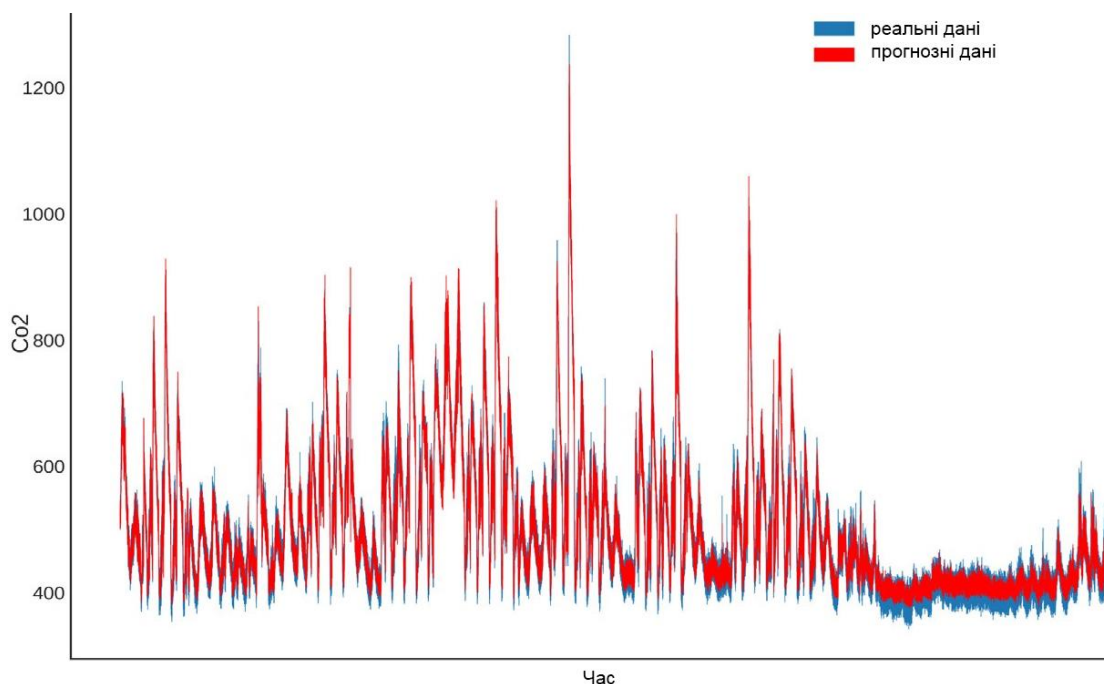


Рисунок 3.4 – Порівняння реальних і прогнозованих спостережень CO₂ [27]

В таблиці 3.1 подано характеристики обчислювальної продуктивності. При цьому мінімальне спостереження становило «341,9 ppm», а максимальне «1283,0 ppm».

Таблиця 3.1 – Оцінка часових рядів навчання з інтегрованою концепцією методів виявлення дрейфу даних [27]

Підхід	MAE	MAPE	RMSE
LSTM	42.8	8.5	59.2
LSTM з PHT	24.02	4.8	33.56
LSTM з ADWIN	23.91	4.78	32.22
LSTM з KSWIN	19.8	3.88	27.9

Завершена інформаційна модель, була потім використана для інтеграції з концептуальними методами виявлення дрейфу даних. Набір даних, використаний при цьому було отримано з реальної «розумної» локації, де було помічено, що на дані можуть впливати різні фактори, наприклад сезон відпусток тощо. Було висунуто гіпотезу, що дані можуть містити відхилення

поток даних через канікули та дистанційне навчання під час Covid-19, що може вплинути на результати прогнозів. Таким чином, інтеграція концептуальних методів виявлення дрейфу даних може потенційно підвищити ефективність прогнозування методів машинного навчання при розгортанні в периферійних обчислювальних середовищах.

Реалізація включає три концептуальні методи виявлення дрейфу даних, інтегровані розподіленням LSTM з Apache Spark. Після експериментів з декількома налаштуваннями концепція виявлення дрейфу були використані методики з параметрами:

- 1) для KSWIN $\alpha = 0,001$, кількість екземплярів рівна сто і початкове число рівне п'ятдесят;
- 2) для ADWIN $\delta = 0,005$;
- 3) для PHT $\alpha = 1$, $\delta = 25,0$, і кількість екземплярів рівна сто.

На рис. 3.4 показано прогнозовані значення без урахування дрейфу концепції. А на рисунку 3.5 показано різні випадки дрейфу потоку даних, виявлені реалізованими алгоритмами.

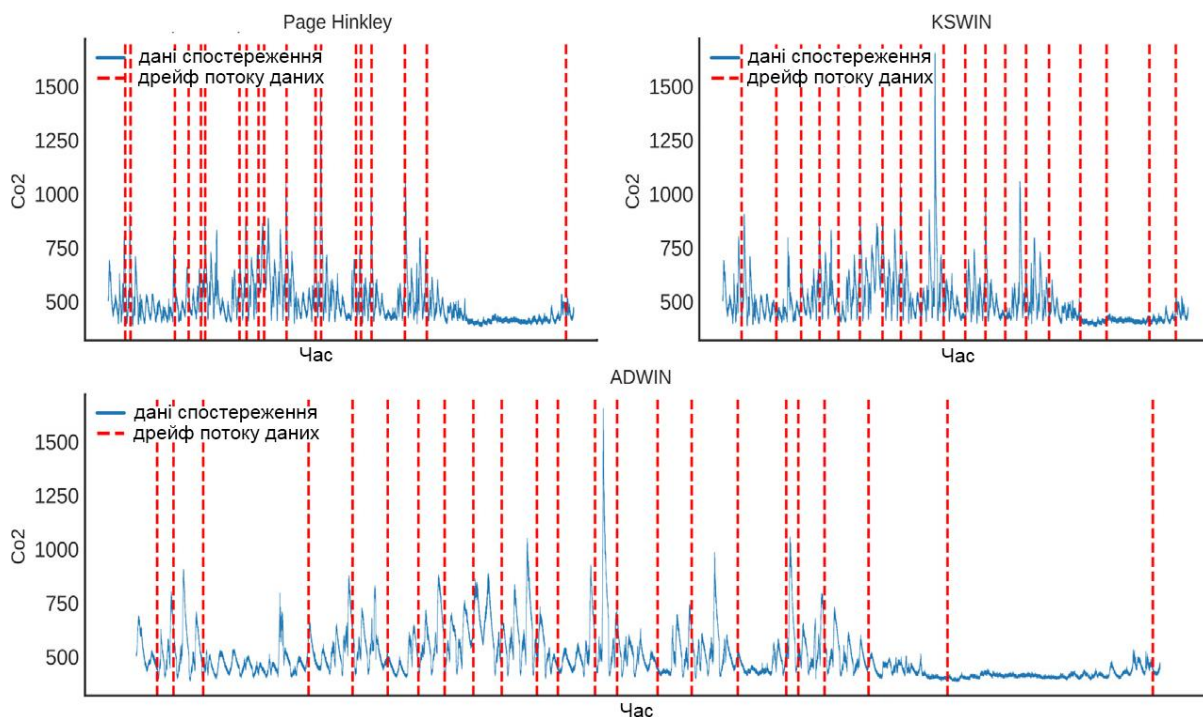


Рисунок 3.5 – Порівняння методів виявлення дрейфу потоку даних спостереження концентрації CO₂ [27]

Табл. 3.1 підтверджує гіпотезу та показує, що ігнорування дрейфу потоку даних призводить до більших помилок, а реалізовані алгоритми покращують продуктивність завдяки виявленню дрейфу потоку даних. Виходячи з оцінки результатів, поданих у табл. 3.1, «KSWIN» показав хороші результати порівняно з іншими [27]. Однак у випадку «KSWIN» виявлення дрейфу потоку даних у згенерованому прогнозі на основі машинного навчання було послідовним. З іншого боку, «PHT» і «ADWIN» змогли виявити відхилення концепції в більшій кількості випадків.

Наразі обсяг тестових даних був невеликим, оскільки облаштування в «розумній» локації було відносно новим і постійно розширювалося. Завдяки наявності більшої кількості шаблонів і тенденцій у великих за обсягом наборах даних, більший набір даних зробить процеси машинного навчання ефективнішими і здатним виявляти різні типи відхилень потоку даних. Тому перед розгортанням інформаційної моделі для використання в реальному світі потрібно більше даних.

3.3 Обговорення результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах

За останні декілька років технологічний прогрес призвів до багатьох інноваційних ініціатив для підвищення стійкості інформаційно-технологічних екосистем у різнотипових локаціях «розумного міста». Поширеність та швидкий розвиток інформаційних та комунікаційних технологій, таких як IoT, 5G і периферійні обчислення, призвела до наявності великих за обсягом наборів та колекцій необроблених даних, переважно в екосистемах «розумних міст». Розробники, аналітики, особи, які приймають рішення, і дослідники намагаються використовувати великі за обсягом дані для покращення суспільства та зробити глобальні екосистеми «розумних міст» стійкішими. Таким чином, у цьому контексті необхідні більш ефективні, рентабельні та стійкі до збоїв інформаційно-технологічні рішення на основі периферійних

обчислень для моделювання та моніторингу даних, які постійно надходять від периферійних пристроїв та мереж.

У цій кваліфікаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» описано реальний приклад використання периферійних обчислень для вирішення задач виявлення дрейфу потоків даних. У поданому прикладі використання описано експериментальні результати з трьома різними методами виявлення дрейфу потоків даних «PHT», «ADWIN» і «KSWIN» [27]. При цьому використано технології обробки великих за обсягом даних Apache Kafka, Apache Spark, Apache Ozone та ELK.

Реалізація концептуальних методів виявлення дрейфу потоків даних в розподілених периферійних обчислювальних середовищах створює багато складнощів. А інтеграція цих методів з методами машинного навчання може бути проблематичною в окремих випадках, коли дані неправильно збалансовані між усіма граничними вузлами. Наприклад, час очікування результатів методів виявлення дрейфу потоків даних може збільшитися через нерівномірний розподіл даних між вузлами.

3.4 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня бакалавр описана практична реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах. Проаналізовано аналіз результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах. Подано обговорення результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Медичні профілактичні заходи щодо збереження здоров'я та працездатності користувачів комп'ютерів та відеодисплейних терміналів

Кваліфікаційна робота освітньо-наукового рівня «бакалавр» присв'ячена аналізу архітектури периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах. Більшість процесів аналітичного опрацювання великих обсягів даних виконується за допомогою персональних комп'ютерів. Тому з погляду охорони праці важливо розглядати медичні профілактичні заходи для збереження здоров'я та працездатності користувачів ПК та відеодисплейних терміналів. Заходи щодо охорони праці користувачів ПК слід розглядати з таких основних аспектів [63]:

- Соціальний аспект включає оптимізацію умов життя, роботи, відпочинку, харчування, побуту, а також розвиток культури і транспорту.

- Психологічний аспект пов'язаний з формуванням раціональних колективів, де відсутня психологічна несумісність, що сприяє зниженню нервово-психічного напруження та підвищенню працездатності і ефективності праці. Особлива увага приділяється психоемоційному стресу, який різною мірою впливає на користувачів відеодисплейних терміналів.

- Особливу увагу серед користувачів відеодисплейних терміналів приділяється психоемоційному стресу, який виявляється у кожного в різному ступені.

Існує комплекс профілактичних заходів для користувачів ПК, який включає елементи первинної профілактики здоров'я, такі як професійний відбір, а також вторинної профілактики, спрямованої на зменшення ймовірності перевтоми та перенапруження. Ці заходи спрямовані на відновлення функціонального стану органів зору та опорно-рухового апарату.

Медичні заходи для підтримки здоров'я та підвищення працездатності користувачів комп'ютерів включають:

- Медичні огляди.
- Раціональне та профілактичне харчування.
- Спеціальні вправи.
- Самомасаж.
- Психофізіологічне розвантаження.

Режим роботи та відпочинку формується з урахуванням специфіки праці робітників. Особливу увагу приділяють створенню оптимальних умов для тих, хто працює в умовах підвищених фізичних і нервово-емоційних навантажень, монотонної роботи або впливу небезпечних і шкідливих факторів виробництва.

Лікувально-профілактичне обслуговування включає профілактичні та регулярні медичні огляди працівників, надання лікувально-профілактичного харчування та проведення заходів для запобігання захворюванням [64]. Санітарно-побутове обслуговування забезпечує працівників санітарно-побутовими приміщеннями та пристроями відповідно до чинних норм і правил. Професійний відбір за конкретними спеціальностями передбачає визначення професійної, фізіологічної та психофізіологічної придатності працівників для безпечного виконання їхніх обов'язків.

В даному розділі було розглянуто медичні профілактичні заходи для збереження здоров'я та підтримки працездатності користувачів комп'ютерів та відеодисплейних терміналів, оскільки кваліфікаційна робота аналізу архітектури периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах.

4.2 Заходи електробезпеки на підприємствах

Дана кваліфікаційна робота присвячена аналізу архітектури периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах. При впровадженні інновацій в галузі «розумних міст» активно використовуються різноманітні електронні та електричні пристрої та обладнання, то доцільно розглянути особливості заходів електробезпеки на підприємствах.

В умовах сучасного виробництва, яке нерозривно пов'язане з використанням електроенергії, особливого значення набуває питання електробезпеки [65].

Електробезпека визначається як комплекс організаційних, технічних заходів і засобів, що гарантують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [66]. Забезпечення електробезпеки на підприємстві визначається додержанням вимог, які викладені у законодавчих актах:

– Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (далі – ПБЕЕС), затверджені наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4, вимоги яких поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220 кВ включно і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії, незалежно від їх відомчої належності і форм власності на засоби виробництва.

– Правила безпечної експлуатації електроустановок, дія яких поширюються на працівників, що виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України (наказ Держнаглядохоронпраці України від 06.10.1997 № 257).

– Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), затверджені наказом Мінпаливенерго України від 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу від 13.02.2012 № 91), якими унормовано організаційні й технічні вимоги щодо експлуатації електроустановок споживачів.

– Правила експлуатації електрозахисних засобів, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 № 253, в яких наведено перелік засобів захисту, вимоги до них, обсяги і норми випробувань, порядок застосування, зберігання їх, а також норми комплектування засобами захисту електроустановок і виробничих бригад.

– Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), які визначають будову, принципи улаштування, особливі вимоги до окремих систем, їх елементів,

вузлів і комунікацій електроустановок. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 24.07.2017 № 476.

– ДСТУ 2843-94 «Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення», який установлює терміни та визначення основних понять в галузі електротехніки.

– Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС від 30.12.2014 № 1417.

Побутові електроприлади в умовах виробництва експлуатують відповідно до експлуатаційної документації підприємств-виробників і ПТЕЕС, п. 1.5 розд. І ПТЕЕС. Відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок ПБЕЕС покладають на роботодавця, який повинен [67]:

– призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок;

– створити і укомплектувати електротехнічну службу з числа осіб, які досягли 18-річного віку, мають відповідну освіту та пройшли медичний огляд і не мають протипоказань;

– розробити і затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, посадові інструкції працівників та інструкції з безпечного виконання робіт;

– забезпечити навчання і перевірку знань працівників, своєчасний огляд електроустановок, проведення профілактичних, протиаварійних та приймально-здавальних випробувань;

– встановити такий порядок, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, вели ретельні спостереження за дорученим їм обладнанням і мережами.

Для прямого виконання завдань з організації функціонування електроустановок призначається особа, яка має відповідальність за управління електроенергетичною системою.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано медичні профілактичні заходи щодо збереження здоров'я та працездатності користувачів комп'ютерів та відеодисплейних терміналів. Окремо розглянуто заходи електробезпеки на підприємствах.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

– Висвітлено актуальність дослідження інноваційних обчислювальних підходів в галузі «розумних міст».

– Описано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст».

– Розглянуто прогресивні «Розумні» міські ініціативи.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

– Виконано аналіз платформ «розумних міст».

– Описано концепцію виявлення та адаптації периферійних обчислень для потреб «розумних» міських середовищ.

– Розглянуто вимоги до інформаційно-технологічної та обчислювальної архітектури «розумних» міських середовищ.

– Сформовано гібридну обчислювальну архітектура «розумних» міських середовищ.

– Запропоновано інформаційно-технологічну архітектуру локальних центрів периферійної обробки даних.

– Описано структуру інформаційно-технологічної платформи периферійних обчислень в «розумних» міських середовищах.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

– Описано практичну реалізація Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

– Проаналізовано аналіз результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

– Подано обговорення результатів практичної реалізації Edge-обчислень в «розумних» міських середовищах.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано медичні профілактичні заходи щодо збереження здоров'я та працездатності користувачів комп'ютерів та відеодисплейних терміналів. Окремо розглянуто заходи електробезпеки на підприємствах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Frost & Sullivan, Digital Trends in Education–2022 Investment Plans Address Talent Shortage and Remote Learning Adapting to Meet the Needs of Modern Students, in: Voice of Customer, (no. K69E / 00) Frost & Sullivan, 2022.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 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.
- 5 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y., Formation of Hypercubes Based on Data Obtained from Systems of IoT Devices of Urban Resource Networks, International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control (2020) 10: 1. ISSN 2210-3287.
- 6 W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, L. Xu, Edge computing: Vision and challenges, IEEE Internet Things J. 3 (5) (2016) 637–646.
- 7 S.A. Hossain, M.A. Rahman, M.A. Hossain, Edge computing framework for enabling situation awareness in IoT based smart city, J. Parallel Distrib. Comput. 122 (2018) 226–237.
- 8 A. Newman, et al., Covid, cities and climate: historical precedents and potential transitions for the new economy, Urban Sci. 4 (3) (2020) 32.

9 UN, World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, United Nations New York, NY, USA, 2018.

10 D.J. Hill, M. Acuto, Parklets, Traffic-Free Zones and Outdoor Eating: How COVID Is Transforming Our Cities, World Economic Forum, 2022, URL <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/traffic-free-zonesoutdoor-eating-covid-transform-cities/>.

11 Smart Building Market Size, Share and COVID-19 Impact Analysis, Fortune Business Insights, 2021, URL <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-building-market-101198>.

12 E. Gilman, S. Tamminen, R. Yasmin, E. Ristimella, E. Peltonen, M. Harju, L. Loven, J. Riekkki, S. Pirttikangas, Internet of things for smart spaces: A university campus case study, *Sensors* (ISSN: 1424-8220) 20 (13) (2020) <http://dx.doi.org/10.3390/s20133716>, URL <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/13/3716>.

13 A. Mishra, A.V. Jha, B. Appasani, A.K. Ray, D.K. Gupta, A.N. Ghazali, Emerging technologies and design aspects of next generation cyber physical system with a smart city application perspective, *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.* (2022) 123.

14 T. Lähderanta, T. Leppänen, L. Ruha, L. Lovén, E. Harjula, M. Ylianttila, J. Riekkki, M.J. Sillanpää, Edge computing server placement with capacitated location allocation, *J. Parallel Distrib. Comput.* 153 (2021) 130–149.

15 H. Kokkonen, L. Lovén, N.H. Motlagh, J. Partala, A. González-Gil, E. Sola, I. Angulo, M. Liyanage, T. Leppänen, T. Nguyen, et al., Autonomy and intelligence in the computing continuum: Challenges, enablers, and future directions for orchestration, 2022, arXiv preprint arXiv:2205.01423.

16 G. Tancev, Relevance of drift components and unit-to-unit variability in the predictive maintenance of low-cost electrochemical sensor systems in air quality monitoring, *Sensors* 21 (9) (2021) 3298.

17 R. Xu, Y. Cheng, Z. Liu, Y. Xie, Y. Yang, Improved long short-term memory based anomaly detection with concept drift adaptive method for supporting IoT services, *Future Gener. Comput. Syst.* 112 (2020) 228–242.

18 M. Lima, M. Neto, T. Silva Filho, R.A.d.A. Fagundes, Learning under concept drift for regression—A systematic literature review, *IEEE Access* 10 (2022) 45410–45429.

19 H. Mehmood, P. Kostakos, M. Cortes, T. Anagnostopoulos, S. Pirttikangas, E. Gilman, Concept drift adaptation techniques in distributed environment for real-world data streams, *Smart Cities* 4 (1) (2021) 349–371.

20 L. Wang, Y. Zhang, X. Zhu, Concept drift-aware temporal cloud service APIs recommendation for building composite cloud systems, *J. Syst. Softw.* 174 (2021) 110902.

21 Y. Yang, S. Ding, Y. Liu, S. Meng, X. Chi, R. Ma, C. Yan, Fast wireless sensor for anomaly detection based on data stream in an edgecomputing-enabled smart greenhouse, *Digit. Commun. Netw.* 8 (4) (2022) 498–507.

22 L.U. Khan, I. Yaqoob, N.H. Tran, S.A. Kazmi, T.N. Dang, C.S. Hong, Edgecomputing-enabled smart cities: A comprehensive survey, *IEEE Internet Things J.* 7 (10) (2020) 10200–10232.

23 M. Lillstrang, M. Harju, G. del Campo, G. Calderon, J. Röning, S. Tamminen, Implications of properties and quality of indoor sensor data for building machine learning applications: Two case studies in smart campuses, *Build. Environ.* 207 (2022) 108529.

24 J.M. Corchado, P. Chamoso, G. Hernández, A.S.R. Gutierrez, A.R. Camacho, A. González-Briones, F. Pinto-Santos, E. Goyenechea, D. Garcia-Retuerta, M. Alonso-Miguel, et al., Deepint. net: A rapid deployment platform for smart territories, *Sensors* 21 (1) (2021) 236.

25 N.E. Klepeis, W.C. Nelson, W.R. Ott, J.P. Robinson, A.M. Tsang, P. Switzer, J.V. Behar, S.C. Hern, W.H. Engelmann, The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiology* 11 (3) (2001) 231–252.

26 L. Tan, N. Wang, Future internet: The internet of things, in: 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Vol. 5, ICACTE, IEEE, 2010, pp. V5–376.

27 Mehmood, Hassan, et al. "A novel edge architecture and solution for detecting concept drift in smart environments." *Future Generation Computer Systems* 150 (2024): 127-143.

28 H. Mehmood, E. Gilman, M. Cortes, P. Kostakos, A. Byrne, K. Valta, S. Tekes, J. Riekkilä, Implementing big data lake for heterogeneous data sources, in: 2019 Ieee 35th International Conference on Data Engineering Workshops, Icdew, IEEE, 2019, pp. 37–44.

29 Frost & Sullivan. Smart City Adoption Timeline, Global Information, Inc., Frost & Sullivan, 2018, URL <https://www.giiresearch.com/report/fs604427-smart-city-adoption-timeline.html>.

30 B.N. Silva, M. Khan, C. Jung, J. Seo, D. Muhammad, J. Han, Y. Yoon, K. Han, Urban planning and smart city decision management empowered by real-time data processing using big data analytics, *Sensors* 18 (9) (2018) 2994.

31 A.S. Syed, D. Sierra-Sosa, A. Kumar, A. Elmaghraby, IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges, *Smart Cities* 4(2) (2021) 429-475.

32 A. Pandya, P. Kostakos, H. Mehmood, M. Cortes, E. Gilman, M. Oussalah, S. Pirttikangas, Privacy preserving sentiment analysis on multiple edge data streams with apache NiFi, in: 2019 European Intelligence and Security Informatics Conference, EISIC, IEEE, 2019, pp. 130–133.

33 F. Almalki, S.H. Alsamhi, R. Sahal, J. Hassan, A. Hawbani, N. Rajput, A. Saif, J. Morgan, J. Breslin, et al., Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities, *Mob. Netw. Appl.* (2021) 1–25.

34 The action plan for 2020. URL <https://www.seisakukikaku.metro.tokyo.lg.jp/en/basic-plan/actionplan-for-2020/>.

35 M. Jang, S.-T. Suh, U-city: new trends of urban planning in Korea based on pervasive and ubiquitous geotechnology and geoinformation, in: *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Springer, 2010, 262–270.

36 A. Ekman, Smart cities: Chinese ambitions in the time of coronavirus, *Politique Etrangere* (3) (2020) 141–151.

37 General Assembly of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC), European Commission - European Commission, 2021, URL <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/news-and-events/events/2018/eip-scc-general-assembly-2018-0>.

38 L. Sanchez, L. Muñoz, J.A. Galache, P. Sotres, J.R. Santana, V. Gutierrez, R. Ramdhany, A. Gluhak, S. Krco, E. Theodoridis, et al., SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed, *Comput. Netw.* 61 (2014) 217–238.

39 CUTLER. URL <https://www.cutler-h2020.eu/>.

40 G. Pantalona, F. Tsalakanidou, S. Nikolopoulos, I. Kompatsiaris, F. Lombardo, D. Norbiato, M. Ferri, L. Kovats, H. Habershtock, Decision support system for flood risk reduction policies: The case of a flood protection measure in the area of Vicenza, *Data & Policy* 3 (2021).

41 A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, Internet of things for smart cities, *IEEE Internet Things J.* 1 (1) (2014) 22–32.

42 S. Sengan, V. Subramaniaswamy, S.K. Nair, V. Indragandhi, J. Manikandan, L. Ravi, Enhancing cyber–physical systems with hybrid smart city cyber security architecture for secure public data-smart network, *Future Gener. Comput. Syst.* 112 (2020) 724–737.

43 H. Luo, H. Cai, H. Yu, Y. Sun, Z. Bi, L. Jiang, A short-term energy prediction system based on edge computing for smart city, *Future Gener. Comput. Syst.* 101 (2019) 444–457.

44 F. Cicirelli, A. Guerrieri, G. Spezzano, A. Vinci, An edge-based platform for dynamic smart city applications, *Future Gener. Comput. Syst.* 76 (2017) 106–118.

45 A. Abbasi, A.R. Javed, C. Chakraborty, J. Nebhen, W. Zehra, Z. Jalil, ElStream: An ensemble learning approach for concept drift detection in dynamic social big data stream learning, *IEEE Access* 9 (2021) 66408–66419.

46 B. Krawczyk, A. Cano, Online ensemble learning with abstaining classifiers for drifting and noisy data streams, *Appl. Soft Comput.* 68 (2018) 677–692.

- 47 Y. Sun, Z. Wang, Y. Bai, H. Dai, S. Nahavandi, A classifier graph based recurring concept detection and prediction approach, *Comput. Intell. Neurosci.* 2018 (2018).
- 48 A.S. Iwashita, J.P. Papa, An overview on concept drift learning, *IEEE Access* 7 (2018) 1532–1547.
- 49 R. Mohawesh, S. Tran, R. Ollington, S. Xu, Analysis of concept drift in fake reviews detection, *Expert Syst. Appl.* 169 (2021) 114318.
- 50 P. Mulinka, P. Casas, J. Vanerio, Continuous and adaptive learning over big streaming data for network security, in: *2019 IEEE 8th International Conference on Cloud Networking, CloudNet, IEEE, 2019*, pp. 1–4.
- 51 O.A. Mahdi, E. Pardede, N. Ali, J. Cao, Diversity measure as a new drift detection method in data streaming, *Knowl.-Based Syst.* 191 (2020) 105227.
- 52 R.S. Barros, D.R. Cabral, P.M. Gonçalves Jr., S.G. Santos, RDDM: Reactive drift detection method, *Expert Syst. Appl.* 90 (2017) 344–355.
- 53 I. Frias-Blanco, J. del Campo-Ávila, G. Ramos-Jimenez, R. Morales-Bueno, A. Ortiz-Diaz, Y. Caballero-Mota, Online and non-parametric drift detection methods based on Hoeffding's bounds, *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 27 (3) (2014) 810–823.
- 54 A. Pesaranhader, H.L. Viktor, Fast hoeffding drift detection method for evolving data streams, in: *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, Springer, 2016*, pp. 96–111.
- 55 G. Vitor, P. Rito, S. Sargento, F. Pinto, A scalable approach for smart city data platform: Support of real-time processing and data sharing, *Comput. Netw.* 213 (2022) 109027.
- 56 H. Xu, A. Berres, S.B. Yoginath, H. Sorensen, P.J. Nugent, J. Severino, S.A. Tennille, A. Moore, W. Jones, J. Sanyal, Smart mobility in the cloud: Enabling real-time situational awareness and cyber-physical control through a digital twin for traffic, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* (2023).
- 57 B. Milosevic, E. Farella, Wireless MEMS for wearable sensor networks, in: *Wireless MEMS Networks and Applications, Elsevier, 2017*, pp. 101–127.

58 PROJECT–BRAINE. URL <https://www.braine-project.eu/project/>.

59 Apache Hadoop Ozone. URL <https://hadoop.apache.org/ozone/>.

60 N. Alange, A. Mathur, Optimization of small sized file access efficiency in hadoop distributed file system by integrating virtual file system layer, Optimization 13 (6) (2022).

61 R. Ali, Y.A. Qadri, Y.B. Zikria, F. Al-Turjman, B.-S. Kim, S.W. Kim, A blockchain model for trustworthiness in the internet of things (IoT)-based smart-cities, Trends Cloud-Based IoT (2020) 1–19.

62 Tellus | University of Oulu. URL <https://www.oulu.fi/en/cooperation/tellus>.

63 Основні правила дотримання охорони праці при роботі на персональних ЕОМ. URL: <https://www.victorija.ua/dovidnik/osnovni-pravy-la-dotrymannya-ohorony-pratsi-pry-roboti-na-personalnih-eom.html>.

64 КУРС ЛЕКЦІЙ. ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/36621>.

65 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.

66 Електробезпека: охорона праці. URL: <https://www.sop.com.ua/article/745-elektrobezpeka>.

67 Лекція. Заходи електробезпеки на підприємствах галузі. URL: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/09/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-8.pdf>.