

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ
КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності Ф6 Інформаційні системи і технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

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

_____ Назарій КОЛОМІЄЦЬ

Виконав:
здобувач вищої освіти
група ІСДМ-61

Назарій КОЛОМІЄЦЬ

Керівник:
науковий ступінь,
вчене звання

Оксана ТКАЛЕНКО
к.т.н., доцент

Рецензент:
науковий ступінь,
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність F6 Інформаційні системи і технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ СТУДЕНТУ**

Коломійцю Назарію Володимировичу
(*прізвище, ім'я, по батькові здобувача*)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи оптимізації системи Інтернету речей для клімат-контролю»

керівник кваліфікаційної роботи Оксана ТКАЛЕНКО, к.т.н., доцент
(*ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання*)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» жовтня 2025 року
№ 467.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи: 26 грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- WSN;

- OSI;

- API;

- Науково-технічна література з питань, пов'язаних з стандартами мережевих технологій.

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

1. Аналіз стандартів мережі для IoT систем клімат-контролю теплиць.

2. Дослідження кластерно-сегментованого розподілу мережі для тепличних комплексів на базі IoT-системи.

3. Дослідження роботи кластерно-сегментованої мережі шляхом моделювання.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання: 30 жовтня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	30.10 – 05.11.25	
2	Аналіз бездротових мережевих технологій для IoT-систем	06.11 – 14.11.25	
3	Аналіз IoT-пристроїв та сфер для їхнього застосування для систем клімат-контролю	15.11 – 20.11.25	
4	Дослідження особливостей побудови сенсорних мереж	21.11 – 28.11.25	
5	Створення моделі кластерно-сегментованої мережі	29.11 – 05.12.25	
6	Оцінка роботи кластерно-сегментованої мережі в модельованому просторі	06.12 – 12.12.25	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	13.12 – 17.12.25	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	18.12 – 23.12.25	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Назарій КОЛОМІЄЦЬ

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

кваліфікаційної роботи

(підпис)

Оксана ТКАЛЕНКО

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 69 стор., 31 рис., 5 табл., 31 джерело.

Мета роботи – побудова та оцінка використання кластерно-сегментованої мережі для системи клімат-контролю теплиць.

Об'єкт дослідження – кластерно-сегментована мережа IoT-системи клімат-контролю.

Предмет дослідження – ефективність впровадження кластерно-сегментованої мережі для комплексу з чотирьох теплиць.

Короткий зміст роботи: Проаналізовані мережеві технології та компоненти для розгортання реальних IoT-систем для клімат-контролю. Досліджені переваги вбудови кластерної мережі в проект мережевої архітектури IoT-систем для клімат контролю. Проведено розгляд даної концепції кластерно-сегментованого розподілу мережі під різними методиками, такими як архітектура сенсорної мережі, діаграма послідовності, Mind Map, контекстна діаграма та багатовимірна діаграма.

Підкріплення дослідження можливостей та ефективності щодо впровадження кластерно-сегментованої мережі було підкреслено моделями систем клімат-контролю: перша являла собою візуальну модель, в програмному середовищі Cisco Packet Tracer, друга модель була створена на основі коду з показниками кліматичних відхилень, що дало змогу розглянути принцип роботи такої системи під різними кутами з врахуванням кластеризовано-сегментованої мережі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: IOT, IIOT, WI-FI, BLUETOOTH, БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ (БСМ), КЛАСТЕРИЗАЦІЯ, СЕГМЕНТОВАНІСТЬ, CISCO PACKET TRACER, API, PYTHON.

ABSTRACT

Text part of the master`s qualification work: 69 pages, 31 pictures, 5 table, 31 sources.

The purpose of the work is to construction and evaluation of the use of a cluster-segmented network for greenhouse climate control systems.

Object of research is the cluster-segmented network of the IoT climate control system.

Subject of research is the effectiveness of implementing a cluster-segmented network for a complex of four greenhouses.

Summary of the work: Network technologies and components for deploying real IoT systems for climate control were analysed. The advantages of embedding a cluster network into the network architecture design of IoT systems for climate control were investigated. This concept of cluster-segmented network distribution was examined using various methods, such as sensor network architecture, sequence diagram, Mind Map, context diagram, and multidimensional diagram.

The research on the possibilities and effectiveness of implementing a cluster-segmented network was supported by climate control system models: the first was a visual model in the Cisco Packet Tracer software environment, and the second model was created based on code with climate deviation indicators, which made it possible to consider the principle of operation of such a system from different angles, taking into account the clustered-segmented network.

KEYWORDS: IOT, IIOT, WI-FI, BLUETOOTH, WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN), CLUSTERING, SEGMENTATION, CISCO PACKET TRACER, API, PYTHON.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ СИСТЕМ НА БАЗІ ІОТ-ПРИСТРОЇВ В ТЕПЛИЦЯХ.....	12
1.1 Концепції Інтернету речей та Промислового Інтернету речей.....	12
1.2 Аналіз основних методів та технологій для комунікації в ІоТ.....	18
1.2.1 Технологія Wi-Fi, Wi-Fi HaLow та LoRaWAN для ІоТ-пристроїв.....	18
1.2.2 Bluetooth Low Energy (BLE) для використання в промисловому Інтернеті речей.....	25
1.3 Методи моніторингу та керування мікрокліматом в приміщеннях.....	29
1.3.1 Плата Arduino UNO.....	29
1.3.2 Датчик гігрометр для визначення рівню вологості ґрунту.....	32
1.3.3 Розумний бездротовий контролер вентиляційного керування Easy Connect e16.....	33
1.3.4 Розумний контролер для керування поливом газонів Pihode.....	34
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СЕГМЕНТАЦІЇ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ.....	36
2.1 Концепція сегментованості на базі бездротових сенсорних мереж.....	36
2.2 Побудова та визначення розподілень мережевих структур для системи клімат-контролю в теплицях.....	44
2.2.1 Побудова архітектури кластерної мережі.....	44
2.2.2 Моделювання процесів комунікації між об'єктами системи кластерної мережі на діаграмі послідовності.....	46
3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПОБУДОВА ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ І КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СИМУЛЯТОРІ.....	51
3.1 Огляд існуючих рішень для контролю кліматом.....	51
3.2 Опис системи на основі Mind Map.....	53
3.3 Розробка контекстної діаграми.....	55
3.4 Розробка системи на основі багатовимірної моделі даних.....	58
4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ТЕПЛИЦІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	62

4.1	Визначення програмного середовища для моделювання системи.....	62
4.2	Вибір компонентів для побудови системи клімат-контролю в Cisco Packet Tracer.....	63
4.3	Розгортання системи клімат-контролю в теплиці та службовому приміщенні..	66
5	СТВОРЕННЯ МОДЕЛЬОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ API.....	72
5.1	Визначення щодо використання технології API та мови програмування Python.....	72
5.2	Побудова запиту для створення модельованих показників клімату на основі технологій API з використанням мови програмування Python.....	74
	ВИСНОВКИ.....	77
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
	ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	83

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні аграрні системи все частіше переходять до інтенсивного використання цифрових технологій, серед яких провідне місце займають IoT-платформи для моніторингу клімату. Контрольованість показників температури, вологості, рівня освітлення, залишку запасів а також вмісту CO₂ – стають дедалі критично важливими через бажання досягати найбільш ідеальних умов для підвищення врожайності та зменшення зайвих витрат ресурсів. Саме це зумовлює в побудові кластерної моделі IoT-мережі для тепличних комплексів.

Мета роботи – побудувати кластерну мережу на основі використання декількох теплиць та оцінити можливості кластерно-сегментованого підходу.

Для досягнення мети, у магістерській роботі успішно виконано наступні завдання:

- аналіз концепцій IoT та IIoT для розрізнення та оцінки їхніх специфік при визначенні масштабів описуваної моделі для розробки в даній роботі;
- аналіз мережевих технологій Wi-Fi HaLow, LoRaWAN, Bluetooth LE для вибору більш значущої для даної розробки;
- дослідження основних компонентів для розгортання системи кліматичного контролю теплиці;
- дослідження існуючих рішень щодо кліматичних систем;
- аналіз різноманітних діаграм, для їхнього використання при описі розроблюваної моделі;
- дослідження штучно заданих показників шляхом програмованої моделі на основі синтетично мінливих показників кожної із теплиць.

Об'єкт дослідження – кластерно-сегментованої мережа.

Предмет дослідження – ефективність впровадження кластерно-сегментованої мережі для комплексу з чотирьох теплиць.

Методи дослідження.

- аналітичний метод. Пошук та аналіз теоретичної про існуючі технології, компоненти для впровадження кліматичних систем а також огляд існуючих систем, стосовно мережевих технологій про кластеризацію та сегментацію, ознайомлення

з способами представлень розробки в вигляді діаграм.

– моделювання. Розробка діаграм моделей системи згідно існуючих методологій, для розуміння впровадженної системи а також втілення її оцінки на основі моделей, в тому числі програмованої моделі з мінливими кліматичними показниками на основі мови Python.

Наукова новизна одержаних результатів. В магістерській роботі представлені власні макети діаграм, що допомагають побачити суть використання кластерно-сегментованого способу застосування мережі, для оцінки її ефективності. Також, використання штучного модельованого середовища, в тому числі написаного на мові програмування Python, допомагає визначити новим способом як показники вимірювань клімату, так і працездатність кластеризації на основі мінливих показників для кожної із теплиць.

Практична значущість одержаних результатів. Побудовані діаграми та отримані показники можуть сприяти більш детальним дослідженням ефективності впроваджень кластерно-сегментованої мережі в аграрній промисловості.

Апробація результатів магістерської роботи.

Коломієць Н. В. «Різноманітність сучасних методів керування поливом ґрунту для систем мікроклімату». Тези доповіді на VI Науково-технічна конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT». – Київ, 15 квітня 2025 [1].

Коломієць Н. В. «Огляд засобів електричного живлення систем IoT для мікроклімату». Тези доповіді III всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу». – Київ, 18 листопада 2025 [2].

Коломієць Н. В. «Технології BLE та ZigBee в IoT-системах керування кліматом: порівняльний огляд і перспективи застосування». Стаття в науковому журналі «Зв'язок». – випуск номер 3, травень-червень, 2025 [3].

1 ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ СИСТЕМ НА БАЗІ ІОТ-ПРИСТРОЇВ В ТЕПЛИЦЯХ

1.1 Концепції Інтернету речей та Промислового Інтернету речей

Інтернет речей (IoT) – це опис мережевого з'єднання пристроїв до Інтернету, що в свою чергу дає змогу збирати дані, обмінюватись інформацією та автоматизовано реагувати виконавчим пристроям на певні події.

Мета IoT полягає в автоматизованості процесів і шляхом впровадження можливостей – забезпеченості пристроїв необхідними технологіями для керування та спостереження за ними через програмні застосунки.

Робота системи на основі технології Інтернету речей реалізується наступним чином:

1. Датчики збирають дані з навколишнього середовища.
2. Отримані дані передаються через мережі в застосунки, звідки здійснюється моніторинг та керування пристроями, а також відносно автоматизованих сценаріїв – обробка та аналіз отриманих даних.
3. На основі автоматизованого виконання процесу або ручного керування з додатку – запускаються дії, наприклад ввімкнення виконавчого пристрою або видача сповіщення [4].

Розробка даної системи мікроклімату відноситься більше до Промислового інтернету речей (IIoT), саме тому пропонується розглянути поняття IIoT, а також різницю між Промисловим інтернетом речей та Інтернетом речей.

Через те, що галузь на рівні з всесвітньою цифровізацією переживає значну трансформацію, оскільки нові технологічні рішення, датчики та системи стають все більш взаємопов'язаними та взаємо-інтегрованими. Дані, отримані датчиками, стають цінним активом в залежності від критичності та складності зібраної інформації про процеси, що в свою чергу дозволяє проводити прогнозоване обслуговування та підвищувати ефективність.

Датчики, контролери та пристрої Промислового інтернету речей збирають

дані в режимі реального часу, передають ці дані по мережах а потім аналізуються та виконуються, аналогічно будучи схожим на технологію IoT. Також, система IIoT є взаємопов'язаною, адаптивною і гнучкою, має реакцію на зміни, виклики та потреби в світі шляхом вдосконалення. Саме тому впровадження IoT у промисловості підвищує ефективність виробництва та інтелект, закладаючи основу для майбутнього вдосконаленого й керованого даними промислового середовища.

В умовах промисловості різниця між Інтернетом речей (IoT) та IIoT існує і являється вдосталь очевидною, що візуально продемонстровано на рис. 1.1 Традиційний Інтернет речей в основному націлений на обслуговування споживачів через споживчі пристрої: системи розумного будинку або підключені фітнес-трекери, в той час як Промисловий інтернет речей зосереджений на автомобілях, обладнанні та логістичних процесах.

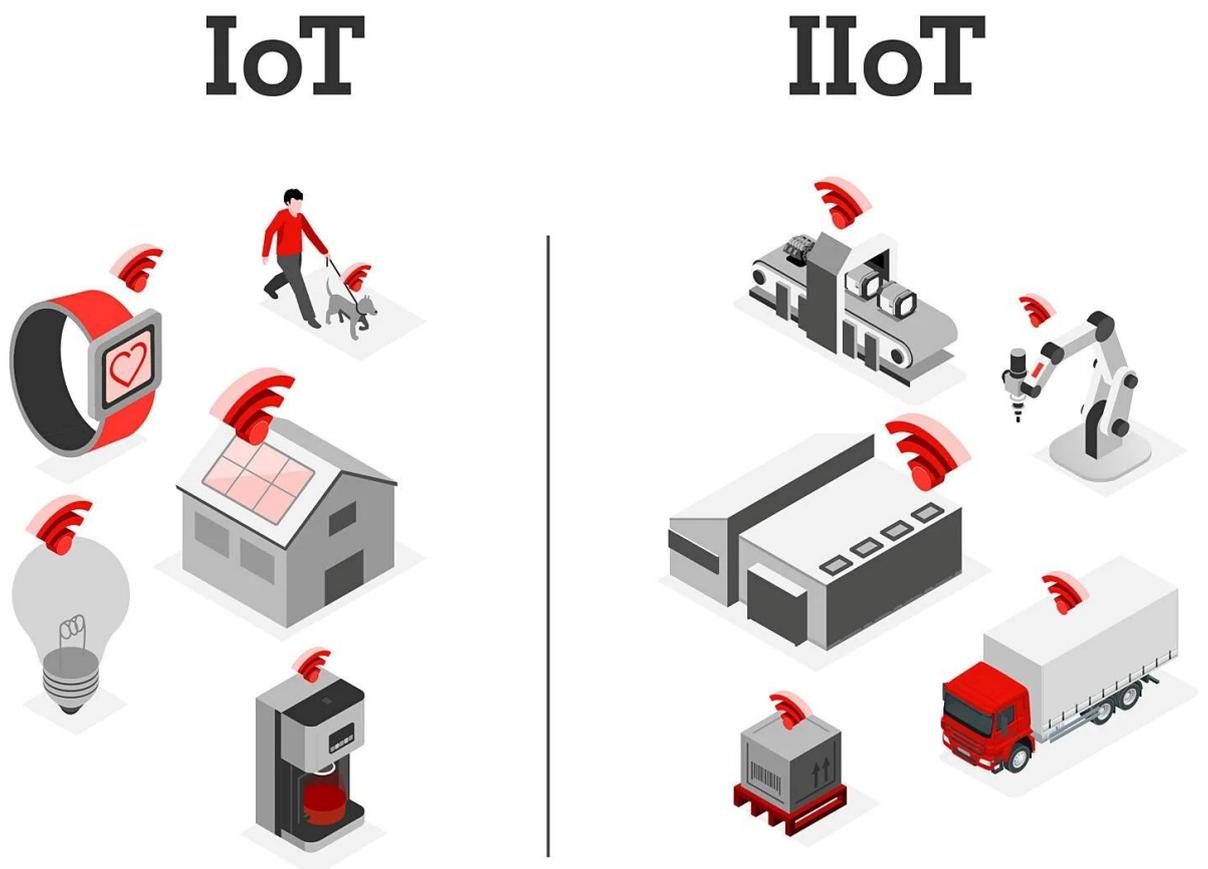


Рис. 1.1 Візуальне порівняння сфер застосування та використовуваних пристроїв для виокремлення різниці між технологіями IoT та IIoT

Технології IIoT зіщтовхуються з набагато більшими вимогами щодо надійності, безпеки, масштабованості та безвідмовності. Крім того, обсяг збору

даних та вимоги до їхньої обробки в режимі реального часу є більш складнішими. До прикладу, в той час як IoT притаманний процес автоматичного керування освітленням, для IIoT притаманний аналіз автомобіля, щоб заздалегіть спрогнозувати потребу в обслуговуванні. Це ілюструє, що хоча IoT та IIoT мають спільні фундаментальні концепції, проте вони суттєво відрізняються в областях застосування, цільовою аудиторією а також технічними складнощами.

Для більшого занурення в поняття Промислового інтернету речей, розглянемо як саме працює система IIoT, від збору даних до впровадження:

1. *Датчики для збору фізичних даних.* Машини та інструменти мають оснащеність датчиками, які в свою чергу безперервно вимірюють різні умови, такі як температура, тиск або вібрації, та надають ці не опрацьовані дані.

2. *Периферійні прилади для виконання локальної обробки даних.* По мережі передаються отримані дані з датчиків безпосередньо на периферійні пристрої. Ці пристрої проводять аналіз інформації в режимі реального часу та приймають початкові рішення у разі потенційних відхилень або збоїв, що в свою чергу також дає змогу швидко реагувати на зміни в даних без залежності від хмарних систем.

3. *Шлюзи.* Для з'єднання між собою виконавчих пристроїв (машин) а також ІТ-системи IIoT використовуються шлюзи. Вони отримують попередньо оброблені дані та безпечно передають їх до ІТ-систем вищого рівня. Стають своєрідним інтерфейсом між операційними технологіями (OT) та інформаційними технологіями (IT).

4. *Хмара для виконання централізованого аналізу та зберігання.* В хмарі проводиться збереження та аналіз великих обсягів даних. Інтелектуальні алгоритми допомагають у виявленні закономірностей, а також генерують прогнози і визначають можливості для оптимізації.

5. *Системи ERP/MES для інтеграції в бізнес-процеси.* Результати оброблених даних у вигляді аналізу, виконані на попередньому кроці в хмарі, інтегруються в системи ERP та MES. В цих системах за рахунок проведеного аналізу проводиться підтримка рішень щодо планування виробництва, технічного обслуговування та забезпечення контрольованої якості.

6. *Виконавчі механізми для виконання управлінських команд.* За рахунок отриманих даних та прийнятих рішень вище згаданими системами – виконавчі механізми проводять цілеспрямовані дії, такі як коригування параметрів виробничої машини або зупинка процесу.

Для закріплення переліченого послідовного процесу пропонується розглянути рис. 1.2.

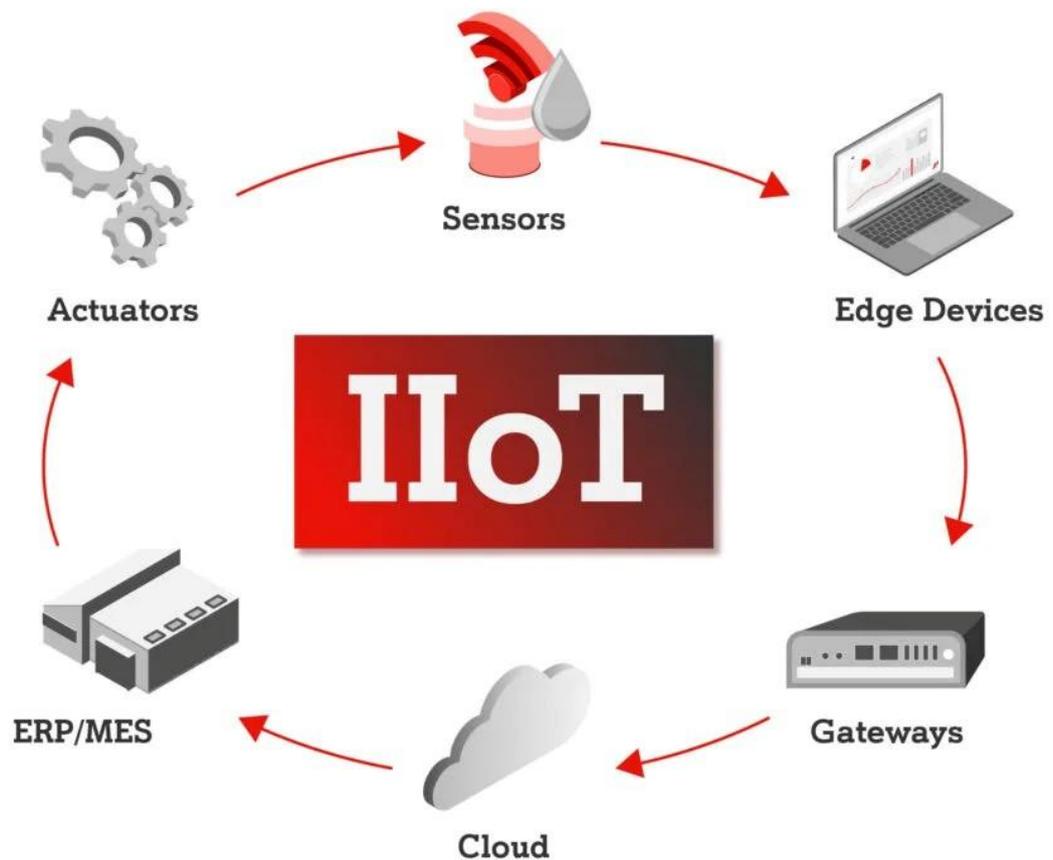


Рис. 1.2 Візуальне порівняння послідовності взаємодії шести процесів IIoT від збору даних до впровадження

Для безпечної та ефективної моделі зв'язку важливими для Промислового інтернету речей є використання стандартів. Найпоширеніші з них MQTT та OPC UA.

MQTT – являється простим протоколом щодо підтримуваних вимог, за рахунок чого підходить для пристроїв з обмеженою обчислювальною потужністю. Даний протокол забезпечує швидке та стабільне передавання даних в тому числі при умовах низької пропускної здатності. Також протокол чудово підходить для

масштабного застосування, яке включає систему з великої кількості датчиків або мобільних пристроїв.

OPC UA – використовується в системах ІоТ забезпечуючи високі промислові вимоги. Цей протокол підтримує незалежний від платформ, стандартизований зв'язок між машинами та ІТ-системами. Налічує в собі функції безпеки, такі як шифрування, контроль доступу та автентифікація.

Разом перелічені протоколи утворюють міцну основу, за рахунок чого системи ІоТ стають безпечними, надійними та масштабованими.

Технологія ІоТ відкриває компаніям чисельні можливості для оптимізацій процесів та підвищення конкурентоспроможності. Виокремимо можливості та складнощі системи ІоТ [5].

Таблиця 1.1

Перелік можливостей та складнощів щодо впровадження ІоТ

Якими можливостями забезпечує ІоТ	Які складнощі на шляху до впровадження ІоТ
1. Під'єднання машин та систем відкривають нові можливості для оптимізацій процесів.	1. При спробах інтеграції в існуючі ІТ-середовища та виробничі середовища часті технічні складнощі.
2. Отримані дані про виробничі процеси в режимі реального часу – дають змогу швидко та цілеспрямовано реагувати на зміни.	2. Часті складнощі при підключенні старого обладнання.
3. Високий рівень прозорості у всіх сферах, від виробництва до логістики.	3. Технічні бар'єри, а саме проблеми з інтерфейсом та відсутність стандартів – як чинник ускладнення впровадження.
4. Зменшення витрат та краща адаптація до змін на ринку а також до технологічних змін.	4. Необхідність в забезпеченні безпеки зберігання та передавання даних, а також забезпечення надійного зв'язку.

5. Сприйнятливість сталому розвитку технології шляхом контролю, аналізу та вивчення щодо габаритів витрат енергії та розхідних матеріалів.	5. Організаційні зміни вимагають навчання персоналу компанії новим знанням та навичкам.
--	---

В якості додаткових технологій для IoT використовуються машинне навчання (AI), інтелектуальні датчики, великі дані (Big Data) а також міжмашинний зв'язок Machine to Machine (M2M). Всі перелічені додаткові технології використовуються для покращення промислових процесів.

Machine to Machine (M2M) – це технологія задля прямого зв'язку між пристроями. Зв'язок між пристроями існує за наявності будь-якого каналу зв'язку, дротовим та бездротовим шляхом. Завдяки комунікації M2M може виникати ввімкнення приладдя та його процесів, в тому числі від отриманих даних від датчиків або лічильників. До прикладу інформація про температурний режим або рівень заповненості складського приміщення, і при отриманні цих даних через прикладне програмне забезпечення виконується програмований аналіз отриманої інформації для коригування процесів, в наслідок чого як на основі температури - коригування виконавчими пристроями (кондиціонер або вентиляційна система), а на основі заповненого складського приміщення – розміщення інформації про кількість та місцезнаходження доступних полиць [6].

В підсумку слід зазначити, що IoT технологія є батьківською технології IoT, а також попри це вони різняться і мають свої напрямки, масштаби, вимоги та потреби.

Детальний розгляд обох технологій навів на визначення більш відповідної технології для даного проєкту, чим стала технологія IoT. Огляд Промислового інтернету речей надав розуміння до повного циклу виконуваних процесів щодо обробки, трансформації та передаванням даних на різних рівнях. Порівняння двох розповсюджених стандартів моделей зв'язку для IoT дало визначити їхню велику різницю а також можливості при використанні того або іншого стандарту.

1.2 Аналіз основних методів та технологій для комунікацій в IoT

1.2.1 Технологія Wi-Fi, Wi-Fi HaLow та LoRaWAN для IoT-пристроїв

Wi-Fi – найпоширеніша бездротова мережева технологія невеликого радіусу дії, яка слугує основним засобом для глобального інтернет-трафіку. Дана технологія наразі дає змогу проводити обмін даними і підключення до Інтернету через неліцензійні діапазони 2,4 ГГц, 5 ГГц та 6 ГГц.

Технологія Wi-Fi має версії, серед яких найвища версія відповідає кращій технологічній якості. Версії Wi-Fi до 4 та 5 версій надавали пріоритет більшій швидкості та пропускній здатності, втім, щоб збільшити ємність мережі, було необхідним відкриття більшої кількості точок доступу (AP), що додавало зайвих перешкод стосовно не тільки економічних ресурсів, а також більш навантаженим каналам для мережі Wi-Fi. З виходом технології Wi-Fi 6 було врахована дана проблема, тож перевантаження значно зменшились за рахунок інновація та доступності діапазону 6 ГГц.

Одна з ключових переваг Wi-Fi 6 є висока спектральна ефективність, яку ще називають досяжною швидкістю передавання даних на одиницю використаного спектру. Саме тому ефективність Wi-Fi 6 може бути до чотирьох разів вищою, ніж у попередніх стандартах Wi-Fi. Найважливішою новою здатністю для промислових застосувань Інтернету речей став ортогональний частотний поділ множинних даних (OFDMA), який додає можливість проводити обслуговування більшої кількості окремих клієнтів саме тими ресурсами, які їм необхідні. Розподіл ресурсів проводиться по одиницях у часі та застою.

Також завдяки даній можливості OFDMA мають змогу підтримувати випадки використання з високими швидкостями передавання даних, таких як потокові відео надвисокої чіткості. Стандарт мав на меті за рахунок ефективною працездатності з кількома клієнтськими пристроями покривати випадки перевантаженості та забезпечувати краще покриття, ніж попередні версії.

Wi-Fi 6 разом з OFDMA створені для кращого обслуговування клієнтських пристроїв, які хочуть надсилати та отримувати малогабаритні порції даних. Дана

потреба забезпечується передбаченою можливістю використання, а саме використання Wi-Fi 6 та OFDMA для створення низько-енергетичних та легких рішень на базі Wi-Fi для користувацьких пристроїв та екосистем Інтернету речей.

Як представлено на рис. 1.3, Wi-Fi 5 разом з OFDMA (ортогональне частотне мультиплексування) виділяє один пакет в одному потоці для єдиного пристрою. В той час як Wi-Fi 6 зі спільним використанням каналів OFDMA, де пакет може містити дані для декількох клієнтів у кількох інформаційних потоках одночасно.

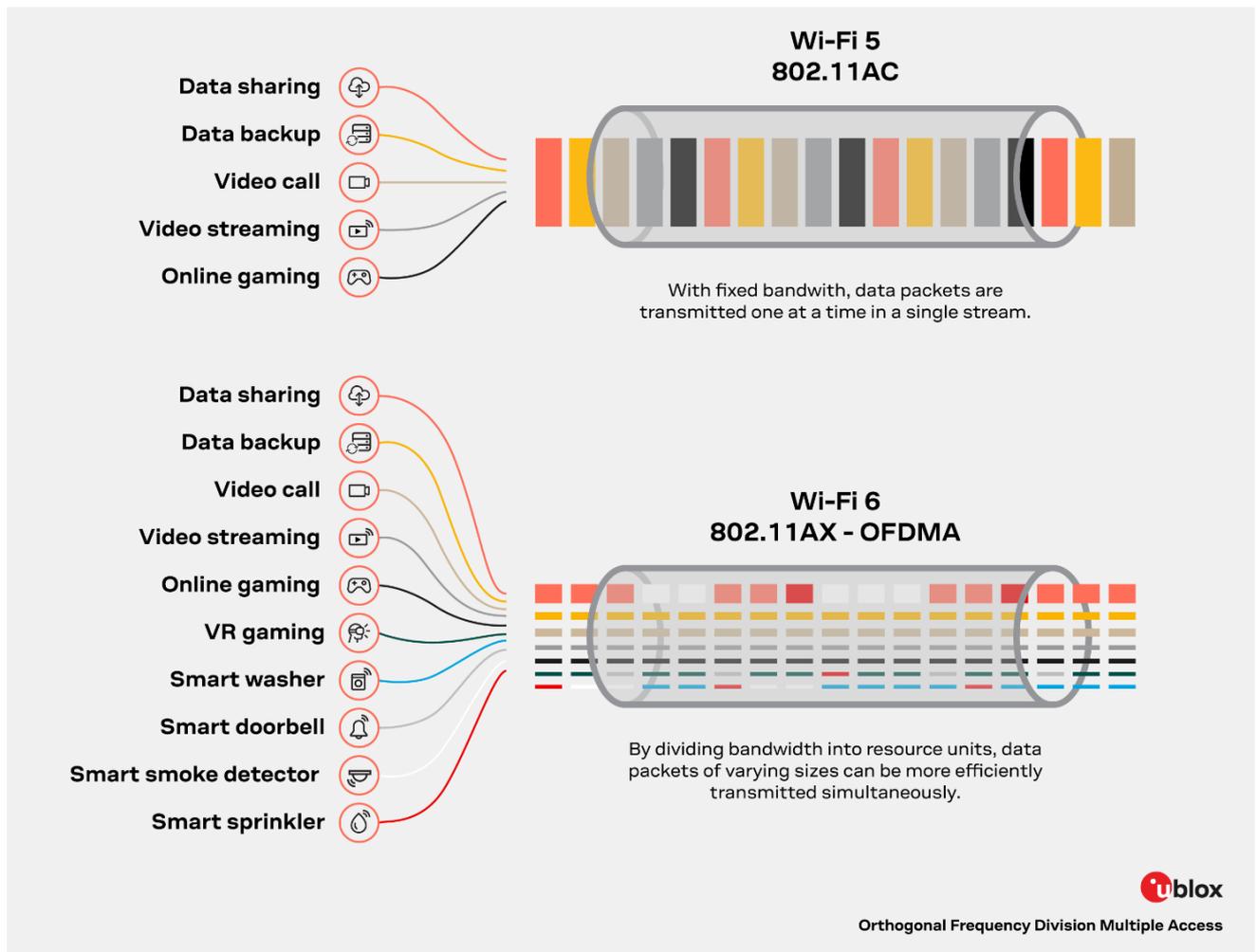


Рис. 1.3 Порівняння поточкових можливостей двох версії технології Wi-Fi 5 та Wi-Fi 6 із використанням OFDMA

Невід’ємною частиною від попередньо згаданих покращених якостей технології Wi-Fi 6, також є функція MU-MIMO. Дана функція являє собою багатокористувацький множинний вхід та вихід. В версії Wi-Fi 5 дана функція була представлена вперше, з підтримуваною розмірністю в 4 потоки, проте її вдосконалення в Wi-Fi 6, дало змогу точкам доступу (AP) передавати потоки аж до

8 унікальних потоків даних. В слід покращення цієї функції мережа може обробляти більше пристроїв та забезпечувати значно вищу швидкість передавання даних.

Функція TWT трактується як цільовий час продовження, яка стала доступною при виході Wi-Fi 6. Вона виконує своєрідну роль будильника для мережевих модулів пристроїв, за рахунок вимкнення активної фази роботи модулю для прослуховування кожного маячка від точки доступу, що значно заощаджує енергоспоживання пристроїв та зменшує їхнє перевантаження, що є двома критично важливими атрибутами для багатьох застосувань Інтернету речей. Завдяки TWT точки доступу мають змогу планування для переходів пристроїв в режим низького енергоспоживання або тривалості сну, а вже після – планування їхнього пробудження, що суттєво відтерміновує термін роботи батарейок та акумуляторів [7].

Окрім стандартного Wi-Fi також запроваджений похідний від нього Wi-Fi HaLow – технологію, розроблену спеціально для подолання недоліків для систем IoT при роботі зі стандартним Wi-Fi. Wi-Fi HaLow вирішує потреби Інтернету речей в забезпеченні великоому радіусу дії, низькому енергоспоживанню, а також збільшеній ємності пристроїв. Даний стандарт працює на частотах менше 1 ГГц, близько 900 МГц. Радіохвиля низьких частот можуть поширюватись на великі відстані й краще проникати крізь тверді об'єкти та долати інші перешкоди з меншими втратами сигналу, тож це є цінним фундаментом для використання даної технології в габаритних приміщеннях та на великих відкритих територіях.

Серед основного переліку переваг технології Wi-Fi HaLow:

1. *Великий радіус дії.* Wi-Fi за замовчуванням покриває площу в кілька десятків метрів, в той час як одна точка доступу Wi-Fi HaLow здатна покрити радіус понад 1 кілометр. Ця перевага робить Wi-Fi HaLow кращим вибором для великих об'єктів та сільськогосподарських територій.

2. *Наднизьке енергоспоживання.* Wi-Fi HaLow гарантує довгу тривалість роботи IoT пристроїв на протязі місяців та навіть років від однієї батарейки.

3. *Високий ступінь проникнення.* Сигнал Wi-Fi HaLow розмірністю близько

900 МГц легко проходить крізь бетонні та цегляні стіни, і інші щільні об'єкти, маючи кращу завадостійкість в порівнянні з стандартним Wi-Fi, з традиційним сигналом в 2.4, 5 та 6 ГГц. Також це додає нові можливості мережевого планування для IoT пристроїв, розташовуючи їх в підвалах або дальніх точках будівель чи на відкритих місцевостях.

4. Габаритна місткість підключених пристроїв. Одна точка Wi-Fi HaLow здатна забезпечити підтримку понад 8000 тисяч IoT пристроїв, що робить дану технологію ще більш ціннішою для великих проєктів. Також це стосується чудового використання даної технології в будівлях з високою щільністю встановлених IoT пристроїв, що каже про стабільність їхньої паралельно пов'язаної роботи щодо передавання та отримання даних.

5. Підтримка IP-адрес та надійний протокол безпеки. Через те, що Wi-Fi HaLow походить із сімейства Wi-Fi, він також забезпечений підтримкою IP-адрес, що в свою чергу спрощує інтегрованість з вже існуючими мережами та хмарним середовищем. Також протокол Wi-Fi HaLow забезпечений найновішим протоколом безпеки мережі WPA3, що надає гарантію на безпечне середовище для прямуючих по мережі даних [8].

До порівняння з новою технологією Wi-Fi HaLow пропонується популярне технологічне рішення LoRaWan це технологія глобальної мережі дальнього радіусу дії, яка надає ефективне та економічне рішення для під'єднання великої кількості пристроїв на далекі відстані.

Дана технологія охоплює діапазони частот: 433 МГц, 868 МГц та 915 МГц, де відповідно чим нижчий діапазон, тим менша передаюча швидкість проте більша дальність охоплення території. На швидкість передавання впливає потужність сигналу, але оскільки це досить тонке налаштування, його слід розраховувати з енергоживленням IoT-пристроїв, оскільки від більшої потужності сигналу вони здатні значно швидше розряджатись, через що під кожен проєкт має бути своя оптимізація відповідно характеристик IoT-пристроїв та величини зони покриття.

Одним із чинників великої дальності сигналу технології LoRaWan є антена, яка чутлива щодо її розміщення. Для оптимізації продуктивності роботи мережі в

цілому, враховуються наступні параметри:

– *Підсилення антени.* Збільшений коефіцієнт посилення антен може частіше фокусувати енергію радіохвиль в певному напрямку, що паралельно розширить радіус дії для підключення пристроїв.

– *Висота розміщення антени.* Розміщенні антен на високих або низьких висотах відповідно може зменшити кількість перешкод на шляху радіосигналу, коли антена знаходиться на більшій висоті.

– *Положення антени.* Оскільки антеною охоплюються кілометрові відстані, дуже важливим є її орієнтація, саме тому необхідно правильно вирівнювати положення антени відповідно до необхідної зони покриття для зв'язку із IoT-пристроями.

Щільність та розміщення шлюзів LoRaWan впливають на рівень оптимізації та величини покриття зони радіозв'язку. Шлюзи являються посередниками між пристроями та мережевим сервером, завдяки чому виконується обмін пакетами даних. В зонах розміщення де кількість шлюзів велика, покриття є кращим та надійнішим [9].

Задля визначення кращого вибору серед згаданих вище технологій, пропонується виокремити дві, орієнтовані на роботу з IoT-пристроями, а саме Wi-Fi HaLow та LoRaWan.

1. *Швидкість передавання даних:*

— Wi-Fi HaLow: від 150 Кбіт/с до 347 Мбіт/с.

— LoRaWan: від 0,3 Кбіт/с до 50 Кбіт/с.

Таким чином Wi-Fi HaLow дає змогу відтворювати потокові відео в режимі реального часу а також високошвидкісне передавання даних та вибагливі щодо Інтернет-трафіку IoT-додатки, які LoRaWan через дуже низьку швидкість – не здатна підтримувати.

2. *Тривалість затримки передачі даних:*

– Wi-Fi HaLow: завдяки високій швидкості передавання даних підтримує програми з низькою затримкою, що дуже чудово для промислового застосування через можливість мати в мережі камери безпеки зі зв'язком в реальному часі.

– LoRaWan: висока затримка, яка в залежності від налаштувань потужності та дальності радіусу дії, починаючи від секунди до однієї хвилини.

Отже Wi-Fi HaLow має перевагу над LoRaWan через свою більшу затребуваність в промисловості щодо затримок передавання даних.

3. Сумісність з IP-адресацією:

– Wi-Fi HaLow: має повну вбудовану підтримку мереж на основі IP, що позбавляє перешкод щодо інтеграцій в вже існуючих мережах та роботі з хмарними сервісами.

– LoRaWan: має потребу в забезпеченні певного шлюзу LoRaWan та налаштувань згідно власних протоколів, що ускладнює способи інтеграції.

Таким чином дане порівняння відображає, що Wi-Fi HaLow завдяки вбудованій сумісності з IP-адресами забезпечує легшу та доступнішу можливість інтеграцій та роботи із хмарними сервісами.

4. Гнучкість протоколів безпеки:

– Wi-Fi HaLow: оснащений новітнім стандартом шифрування Wi-Fi WPA3, який забезпечує надійний захист від кіберзагроз.

– LoRaWan: використовує давній алгоритм шифрування AES-128, який гарантує захищеність мережі, проте є обмеженим в можливостях, в порівнянні з стандартом WPA3.

Тому Wi-Fi HaLow надає надійніший та гнучкіший щодо застосування стандарт безпеки для IoT-додатків.

5. Рівень масштабованості мережі та кількості підключених пристроїв:

– Wi-Fi HaLow: може підтримувати близько восьми тисяч пристроїв, працюючи з дальністю до 1 кілометра.

– LoRaWan: пропонує роботу на дальності від 2 до 15 кілометрів з коригуванням щодо кількості під'єднаних пристроїв в залежності від налаштованих показників дальності та потужністю, оскільки також має тривалу затримку мережі - близько декількох тисяч пристроїв.

Отже, в даному випадку технологія HaLow також переважає над LoRaWan, оскільки значно краще масштабується в щільному середовищі IoT-пристроїв.

6. Рівень споживання енергії для під'єднаних IoT-пристроїв середнього класу:

– Wi-Fi HaLow: Має слабшу енергоефективність для пристроїв в порівнянні з LoRaWan, проте все одно являється оптимізованішим щодо енергоспоживання IoT-пристроїв, в порівнянні зі стандартним Wi-Fi.

– LoRaWan: дана технологія розрахована для наднизького енергоспоживання, внаслідок низької швидкості передавання даних та високої затримки сигналу.

В даному випадку обидві технології майже протилежно одна одній, оскільки LoRaWan є значно кращою в енергоефективності IoT-пристроїв, проте не може забезпечити високу швидкість передавання даних та низьку затримку сигналу, як це робить оптимізований до енергоспоживання IoT-пристроїв Wi-Fi HaLow [10].

Для підсумування всіх розглянутих мережевих технологій, в таблиці нижче викоремлені основні дані про функції, найбільш необхідні при виборі тієї або іншої мережевої технології.

Таблиця 1.2

Порівняння основних характеристик розглянутих мережевих технологій

Функція	Wi-Fi HaLow (802.11ah)	Wi-Fi (802.11n/ac/ax)	LoRaWAN
Діапазон	Близько 1 км	Від 50 до 100 м	Від 2 до 15 км
Швидкість передавання даних	Від 150 Кбіт/с до 347 Мбіт/с	Від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с	Від 0,3 до 50 Кбіт/с
Потужність сигналу	Близько 900 МГц	Від 2.4 до 6 ГГц	Від 433 до 868, 915 МГц
Місткість підключених пристроїв	Близько 8000	До 225, рекомендовано не більше 50	Декілька тисяч пристроїв
Підтримка IP-адрес	Вбудована	Вбудована	Відсутня (через шлюз)
Захищеність	WPA3	WPA3	AES-128

Завершуючи даний огляд мережевих технологій, слід зазначити що новітня мережева технологія цьогорічного випуску Wi-Fi HaLow, яка орієнтована на

роботу саме з IoT-пристроями, окрім свого потенціалу щодо популярності та удосконалень, також найбільш підходить до розробки проєкту системи мікроклімату в теплиці з використанням IoT-пристроїв. Поміж двома іншими розглянутими технологіями, а саме стандартного Wi-Fi та LoRaWan – саме Wi-Fi HaLow є більш оптимізованішим за критеріями пропускну здатності, низької затримки, можливостей щодо інтеграцій а також в забезпеченості покриття на велику відстань й великої кількості одночасно під'єднаних IoT-пристроїв. Окрім цього, Wi-Fi HaLow рекомендується в застосуванні в високопродуктивних системах а також в системах з необхідністю обміну даними в режимі реального часу.

1.2.2 Bluetooth Low Energy (BLE) для використання в промисловому Інтернеті речей

Серед різноманітного вибору мережевих технологій для систем IoT-пристроїв, також популярною є технологія Bluetooth Low Energy (BLE), яка є розрахованою для використання пристроями задля доступного мережевого доступу разом з оптимальною економією енергоживлення пристроїв, в порівнянні зі стандартною технологією Bluetooth.

Bluetooth Low Energy – являє собою протокол для бездротового зв'язку, спеціалізовано-орієнтований для пристроїв з низьким енергоспоживання, яким необхідна тривала робота від їхнього акумулятору. Основні переваги BLE в порівнянні зі стандартним Bluetooth полягають в швидшому часу з'єднання з пристроєм, зменшене енергоспоживання антени а також покращення сумісність щодо інтеграцій з іншими протоколами бездротових мереж.

Технологія BLE використовується для відстежень та визначень місцезнаходження приладів, в тому числі обладнання а також транспортні засоби або окремі мітки, завдяки яким можуть відстежувати місцезнаходження особи.

BLE використовується в різних сферах, як це представлено на рис. 1.4

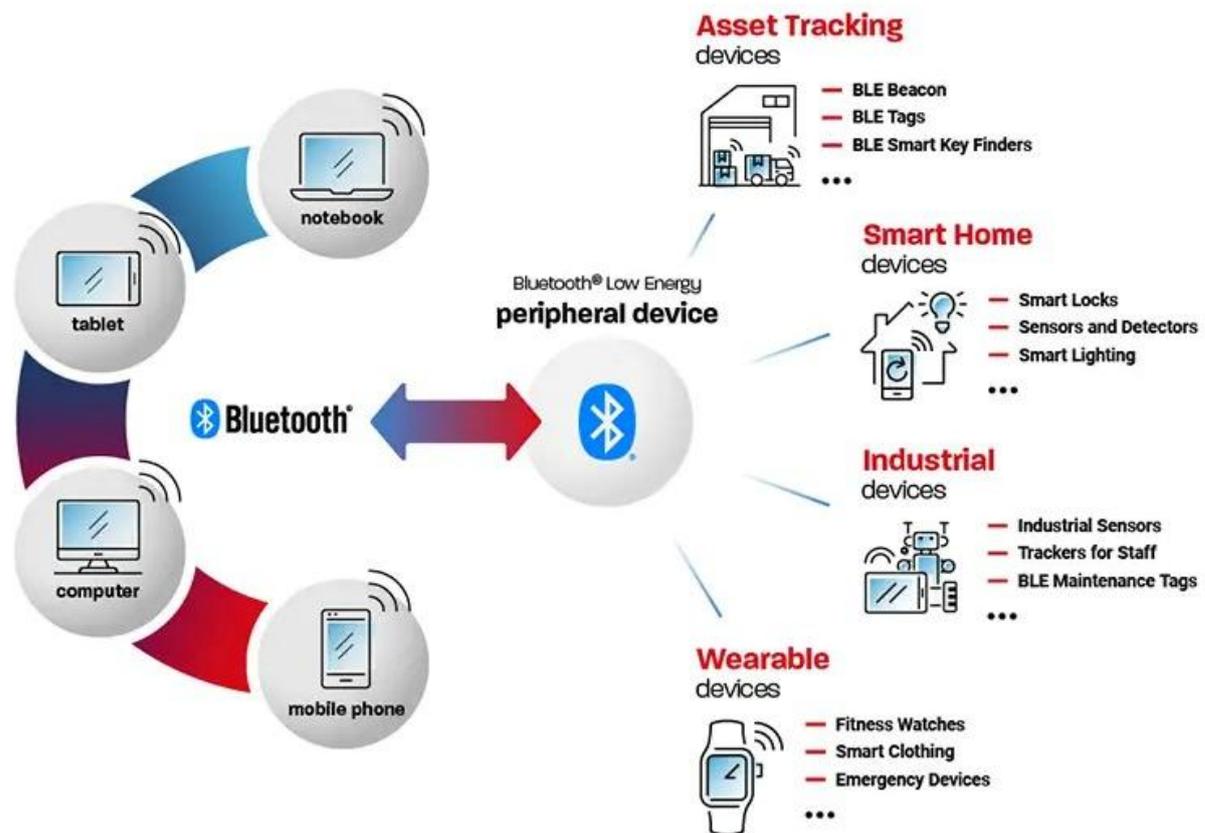


Рис. 1.4 Ілюстрація щодо основних сфер та способів використання технології Bluetooth Low Energy

Серед найпоширеніших методів застосування Bluetooth Low Energy, можемо перелічити наступні:

– *BLE-маячки*. Являють собою маленькі пристрої, які випромінюють сигнал в наслідок чого він може фіксуватися спеціальними мобільними додатками або шлюзами для відстеження їхнього місцезнаходження. Зазвичай використовуються для відстеження медичного обладнання а також у сферах пов'язаних з торгівлею, для відстеження переміщень товарів.

– *Мітки BLE*. Це компактні мітки, які можна прикріпити до цінних предметів або упаковок. По принципу випромінювання сигналу, як і BLE-маячки можуть фіксуватися та передавати своє місцезнаходження через мобільний додаток або інший приймач BLE.

– *Розумні пошукові пристрої BLE*. Мають також компактний розмір, але на відміну від двох попередніх – являються пристроями, які кріплять до ключів або

інших дрібних предметів. За допомогою мобільного додатку в таких пристроях можна вмикати звуковий сигнал, що полегшує їхній пошук.

– Система керування запасами BLE. На основі BLE існують системи для відстежень запасів в режимах реального часу. Такі системи можуть автоматизовано визначати рух товарів на складі, мати доступ до їхнього місцезнаходження, а також інформувати про стан запасів.

Розглянемо варіанти використання технології BLE в промисловому секторі. Зазвичай вони поділяються на промислові бірки, промислові датчики а також трекери для співробітників.

– Промислові бірки BLE. Такі бірки кріпляться до промислових машин та іншого супутнього обладнання для контролю їхнього технічного обслуговування, оскільки записують дані про роботу обладнання, його знос а також проведене технічне обслуговування.

– Промислові датчики. Супутні але все ж інші щодо попередньо згаданих бірок, оскільки являються пристроями та виконують моніторинг стану машин, їхньої температури, рівню вологості, тиску та вібрацій промислового середовища. Дані, які передають такі датчики, допомагають в прогнозуванні зносу а також допомагають в розрахунку оптимізації роботи машин.

– Трекери для співробітників. Пристрої для носіння, які в залежності від політики компанії можуть бути необхідними для визначення місцезнаходження співробітників, в тому числі в деяких промислових сферах – задля безпеки їхніх працівників [11].

Таблиця 1.3

Порівняння ключових характеристик стандартної технології Bluetooth та спеціалізованої технології для IoT пристроїв Bluetooth Low Energy

Характеристика	Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Частота сигналу	2,4 ГГц	2,4 ГГц
Кількість каналів	79 каналів	40 каналів по два МГц

Швидкість передавання даних	Від 1 до 3 Мбіт/с	1 Мбіт/с
Затримка сигналу	Близько 100 мс	Приблизно 6 мс
Радіус дії сигналу	До 30 метрів	Близько 100 метрів
Топологія побудови мережі	Однорангова	Однорангова, зіркова, ширококомвна
Захищеність мережі	64 або 128 біт	128-бітний AES [12]

BLE має значну роль в оптимізації в праному використанні з технологією Wi-Fi, що надає додаткові рішення для підключень а також покращують загальну продуктивність роботи мережі:

1. *Розвантаження мережі від пристроїв.* BLE може розвантажити навантажену підключену мережу Wi-Fi, шляхом виконання через себе простих передавань даних де потребується низька швидкість передачі даних, вслід чого Wi-Fi паралельно забезпечуватиме більш вибагливіші в швидкості передачі пристрої та програми.

2. *Послуги BLE для визначення розташування.* Часто технологію BLE використовують в парі з Wi-Fi для послуг визначення місцезнаходження, де маячки та пристрої BLE надають точне їхнє розташування.

3. *Енергоефективність IoT-пристроїв.* Для виконання певних дрібних задач, за наявності у пристроїв антен для BLE та Wi-Fi, пристрої використовують антену BLE, що в свою чергу економить заряд елементів живлення пристроїв.

4. *Інтегрованість Інтернету речей.* Як в перелічених вище випадках, завдяки співпраці двох мережевих технологій, зменшується навантаження на мережу Wi-Fi, що робить таку взаємодію Інтернету речей ефективною в розумних будинках та середовищах пов'язаних з промисловістю.

Технологія BLE працює по принципу коротких радіохвильових сигналів для передавання невеликих обсягів даних, а працездатність мережі BLE забезпечується певними робочими процесами даної технології:

1. *Рекламування.* Пристрої, які оснащення антенами для BLE, періодично

вмикають трансляцію для малих пакетів даних, які містять певну інформацію, наприклад доступність пристрою в мережі або дані про нього, які «випромінюються» як реклама.

2. *Сканування реклами.* Пристрої BLE сканують «рекламу», про яку згадано в попередньому кроці, для виявлення пристроїв поблизу, для взаємодії з ними або підключення до них.

3. *Виконання з'єднання.* Після процедури з'єднання, пристрої BLE виконують обмін даними через певні проміжки часу, при цьому підтримуючи стан низького енергоспоживання, оскільки дана процедура не здійснюється активним обміном з високим енергоспоживанням пристроїв.

4. *GATT (загальний профіль атрибутів).* GATT в BLE-технології застосовується для визначення того, як дані організуються а також обмінюються між пристроями. GATT-профілі виконують функцію визначення структури інформації, включаючи наступні характеристики: дії читання запису та сповіщення [13].

Таким чином, на основі опрацьованого матеріалу було визначено, що технологія Bluetooth Low Energy може виявитись не тільки альтернативою технології Wi-Fi, відносно цілей проєктів та підтримки антен пристроїв цієї технології, а також як допоміжна мережева технологія, яка буде працювати в парі з Wi-Fi, беручи на себе дрібні оброки та передачі запитів пристроїв BLE, що дає пристроям працювати енергозаощадливіше, а для Wi-Fi це означатиме легше визначення пріоритетності, для забезпечення необхідних пристроїв швидшою та безперебійнішою передачею даних.

1.3 Методи моніторингу та керування мікрокліматом в приміщеннях

1.3.1 Плата Arduino UNO

Arduino UNO – являє собою мікроконтролер на базі плати, що є електроплатформою з відкритим кодом і зазвичай поставляється з стандартним мікроконтролером Atmega 328P. На рис. 1.5 представлений перелік характеристик плати.

мікроконтролер	ATmega38P – 8-розрядний мікроконтролер сімейства AVR
Робоча напруга	5В
Рекомендована вхідна напруга	7-12В
Обмеження вхідної напруги	6-20В
Аналогові входи	6 (А0-А5)
Цифрові контакти введення/виведення	14 (з яких 6 забезпечують вихід ШІМ)
Постійний струм на контактах введення/виведення	40 мА
Постійний струм на контакті 3,3 В	50 мА
Флеш-пам'ять	32 КБ (0,5 КБ використовується для завантажувача)
SRAM	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Частота (тактова частота)	16 МГц

Рис. 1.5 Перелік основних характеристик плати Arduino UNO

На платі Arduino UNO знаходиться вихідний інтерфейс USB а також шість аналогових вхідних контактів та чотирнадцять цифрових портів введення та виведення, що застосовуються для з'єднання з сторонніми електронними компонентами. Детальніший перелік контактів плати Arduino UNO на рис. 1.6.

Дана плата має всі необхідні функції для роботи мікроконтролера. З'єднання для завантаження в неї коду та обміну даними виконується з комп'ютером за допомогою USB-кабелю. Створення, редагування та завантаження коду на плату зазвичай рекомендується здійснювати через застосунок Arduino IDE.

Плата Arduino UNO виділяється наступними особливостями:

- відносно висока ємність флеш-пам'яті;
- можливість конфігурувати клеми контактів;
- низький рівень енергоспоживання;
- вбудований регулятор напруги;
- альтернативність енергоживлення;
- велика частота роботи мікроконтролеру. Мікроконтролер Atmega328, розміщений на платі Arduino UNO, має перелік функціоналу, серед якого є таймери,

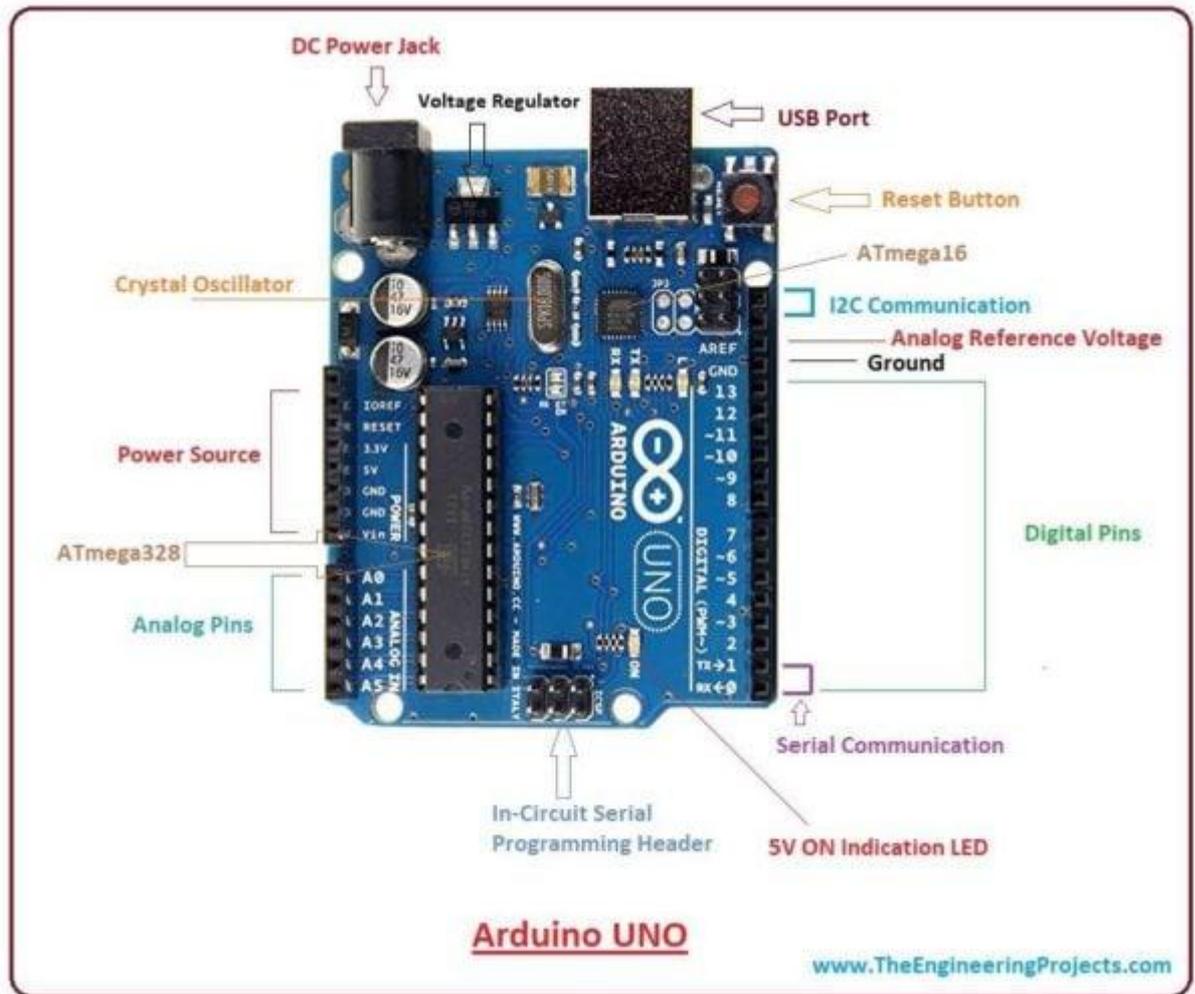


Рис. 1.6 Візуальний матеріал щодо розташування різних контактів клем плати Arduino UNO

лічильники реле, ШІМ, ЦП, контакти для входу і виходу. Сам мікроконтролер має велику частоту в 16 МГц, за рахунок чого виконується більше інструкцій в межах кожного циклу;

– скидання або перезавантаження контролера завдяки кнопці на платі. Кнопка скидання роботи контролера, розміщена на платі, застосовується в випадках збою в роботі, а також при необхідності виправити збій. Саме тому при натисненні даної кнопки здійснюється скидання завантаженої програми (коду) в плату Arduino UNO і здійснюється рестарт плати в її стандартному робочому режимі [14].

1.3.2 Датчик гігрометр для визначення рівню вологості ґрунту

Завдяки датчику гігрометра можна визначати рівень вологості ґрунту для спостережень та автоматизованого поливу. Зонди датчику гігрометра застосовуються як резистори, на основі електропровідності та малого опору води, оскільки вода є провідником. Тому при великій кількості води утворюється краща електропровідність датчику а менший опір, відносно яких йде визначення відсотку вологості ґрунту.

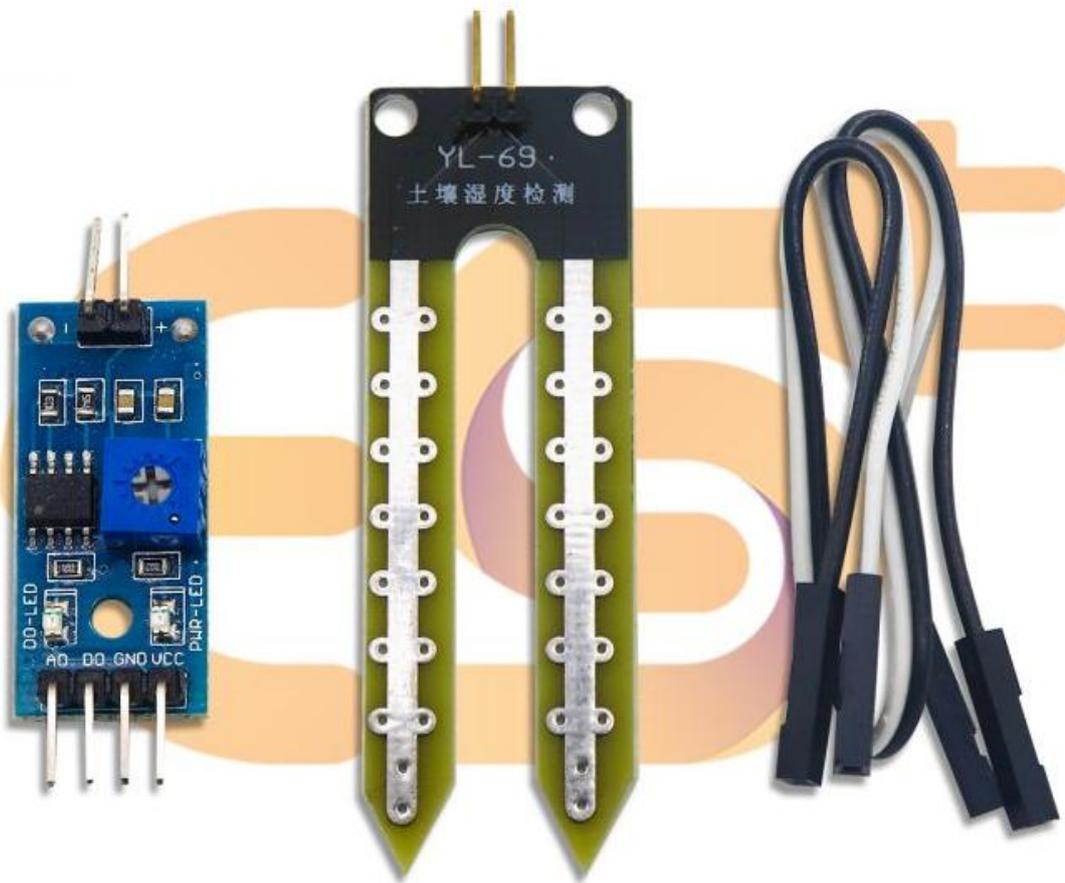


Рис. 1.7 Комплектація датчику гігрометра разом з мікросхемою компресору LM393

Потреби моніторингу рівню вологості ґрунту зазвичай виникають в сферах сільського господарства та садівництва, оскільки завдяки такому датчику виконується збір інформації про вологість ґрунту в режимі реального часу, де за рахунок отриманих даних користувачі або автоматизована система можуть

оптимізувати зрошення та догляд за рослинами.

Записи про отримані дані вологості а також автоматизація є можливими завдяки використанню датчиком для вимірювань його простою конструкцією та аналоговому виходу, де останнє спрощує інтерфейс взаємодії з мікроконтролером, та інтерпретації отриманих даних в середовищі розробки.

Пропонується розглянути перелік технічних характеристик датчику гігрометру, представленого на рис. 1.7:

- робочі напруги 3,3-5 В;
- датчик оснащений режимом подвійного виходу, в якому аналоговий вихід видає більш точні результати вимірювань;
- має два ідентифікатори: червоний про індикацію живлення датчику та зелений, щодо цифрового комутаційного виходу;
- оснащений в комплектації мікросхемою компресором LM393 [15].

1.3.3 Розумний бездротовий контролер вентиляційного керування Easy Connect e16

Для комфортного керування децентралізованих вентиляційних житлових приміщень пропонується бездротовий контролер Easy Connect e16, представлений на рис. 1.8. Даний контролер здатен керувати шістнадцятьма приладами або датчиками з контролем до чотирьох зон. Завдяки під'єднаним датчикам він відображає якість повітря, температуру та вологість на своєму дисплеї, а також може налаштовуватись з мобільного додатку по мережі Bluetooth. Завдяки додатковому виносному зовнішньому датчику може забезпечувати контроль точки роси а також літній режим для систем вентиляції.

Бездротовий контролер вентиляції Easy Connect e16 здатний працювати в різних технологічно передбачуваних розміщенях вентиляційних шахт, в тому числі в підвалах. Автоматизовані профілі здатні без додаткових налаштувань підтримувати високоякісне повітря, а завдяки користувацьким налаштуванням, можна задати роботу вентиляцію відповідно потреб а також по розкладу. Щодо роботи в підвальних приміщеннях – основна потреба це радонова вентиляція, яку

даний контролер утворює просто, ефективно та індивідуально підібрано щодо вимірювань показників. Тому, завдяки децентралізованим системам вентиляції радону – користувач може знизити рівень радону в підвальних приміщеннях а також на перших поверхах, завдяки постійному обміну повітря хорошої якості та детальному вимірюванню атмосферного тиску [16].



Рис. 1.8 inVENTer Easy Connect e16 – бездротовий розумний контролер вентиляції

1.3.4 Розумний контролер для керування поливом газонів Pihode

Контролер для спринклерів Pihode PI-SSC-003W-4, представлений на рис. 1.9, надає інтелектуальні плани щодо поливу відносно потреб газону. Система контролеру отримує кліматичні та погодні умови в режимі реального часу, якщо задати відповідне налаштування регіону. На основі отриманої інформації про клімат та погоду, система контролеру для спринклерів розробляє для них графік тривалості а також частоти поливу газону. Завдяки синхронізації щодо даних про погодні умови, контролер коригує полив відносно рівню дощу, і відповідно може

пропустити полив у разі коли це буде надмірним зволоженням газону.

Також, контролер здатний враховувати користувацькі налаштування, якщо полив встановлений на схилах або щільних ґрунтах, завдяки чому він здатний додатково індивідуально під потреби газону та саду регулювати ефективність поливу способом чергування поливу для уникнення стоку води.

Керування контролером відбувається двома способами: на панелі блоку контролеру а також з мобільного додатку завдяки з'єднанню по мережі Wi-Fi. Також, можливе керування даним контролером завдяки інтеграції з голосовими помічниками в телефонах, такими як Google Home та Alexa [17].

Таким чином, були розглянуті деякі з основних компонентів та пристроїв, які можуть бути використаними для побудови системи керування та моніторингу мікроклімату в теплицях.

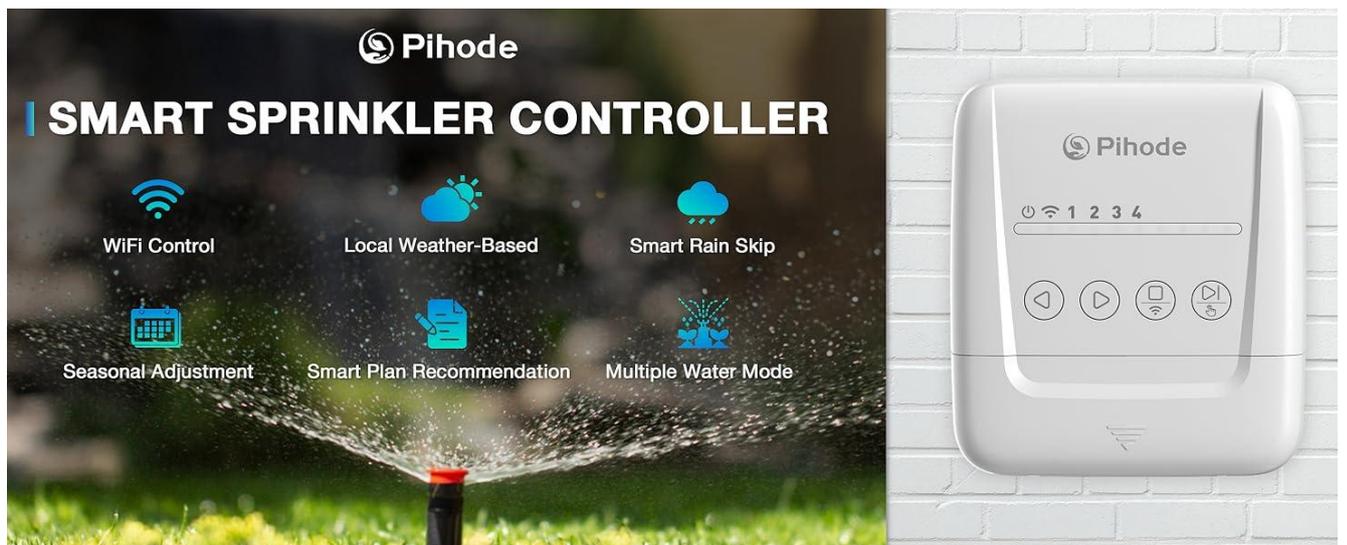


Рис. 1.9 Чотирьох-зонний розумний контролер спринклерів для поливу води і перелік його основних функцій

2 ПРОЄКТУВАННЯ СЕГМЕНТАЦІЇ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ

2.1 Концепція сегментованості на базі бездротових сенсорних мереж

Під час побудови мережевих моделей систем Промислового інтернету речей, популярно використовувати сегментування мереж. При правильному сегментуванні підключені пристрої автоматизовано працюють, вирішують різної складності логістичні проблеми, а також забезпечують більшою захищеністю всю систему.

Сегментація мережі – це підхід, який передбачає розбиття мережі на менші, більш доступні для керування сегменти, де кожен сегмент має власні специфічні вимоги щодо безпеки та прав доступу. Така стратегія підтримує стабільність периметрів та ефективність для контролювання доступом, водночас захищаючи доступ від несанкціонованого сполучення з мережевими пристроями, такими як шлюз або сервер бази даних.

Зазвичай архітектура ІоТ поділена на чотири основні рівні: периферійні прилади, шлюзи, інтерфейс керування даним а також хмарне середовище. Процес кожного рівня, які виконують свої унікальні функції в системі, такі як обмін та обробка даними, представлено як приклад в вигляді спрощеної діаграми на рис. 2.1 [18].

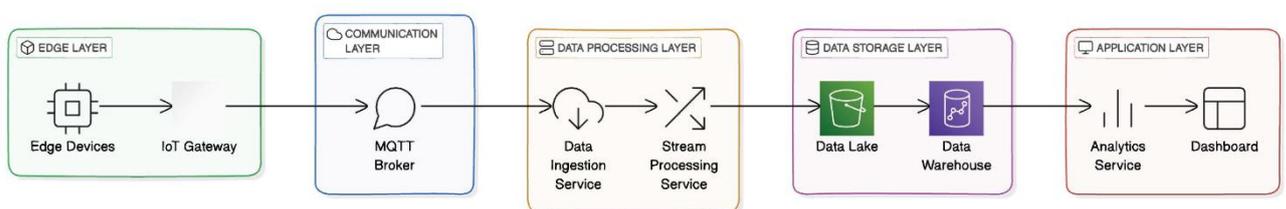


Рис. 2.1 Спрощена діаграма шарів рівнів архітектури системи ІоТ та їхньої послідовності процесів

Розділення мережі Промислового інтернету речей на певну кількість сегментів, де кожен містить перевірені пристрої відповідно по розташуванню в сегментах по більш захищеним розділам. До прикладу, на рис. 2.2

продемонстрована схема, в якій системи хмарних обчислень та супутнє й організаційне обладнання чітко поділені на сегменти. Такий підхід покращує інформаційні потоки а також організованість безпеки всієї мережі та приладів.

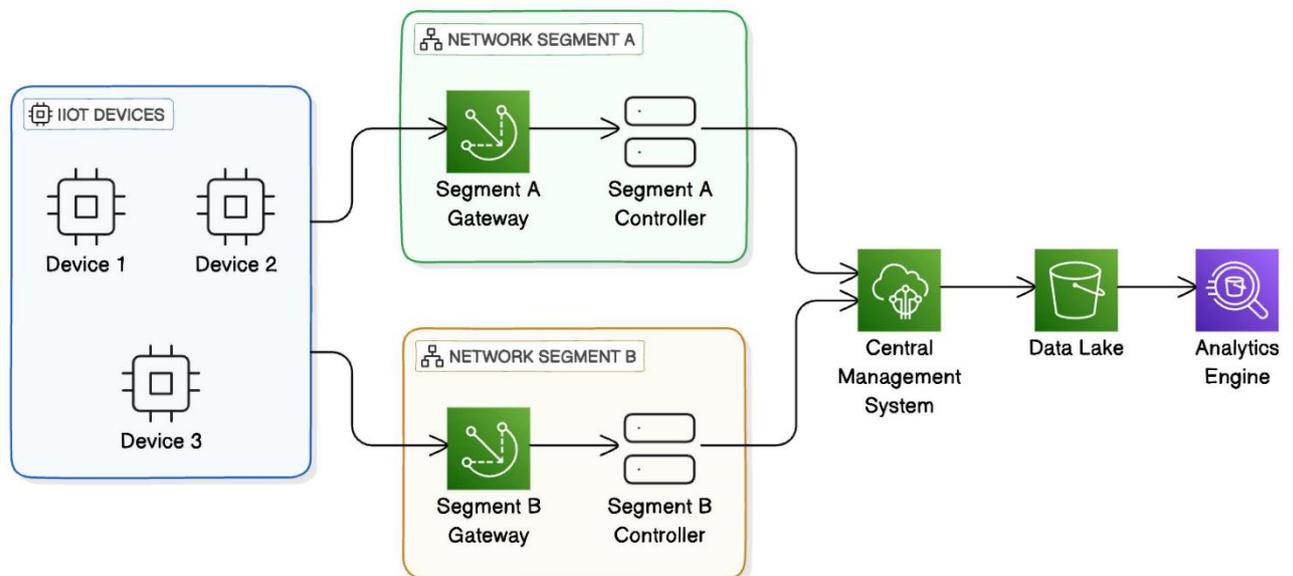


Рис. 2.2 Приклад розподіленої по сегментам мережі, від сегменту підключених пристроїв до хмарного середовища

Сегментація IoT має перелік основних факторів, які впливають на її якість:

– *гетерогенність*. Мережі IoT зазвичай складаються з великого переліку різноманітних пристроїв, де кожен має різні вимоги щодо безпеки. Тому підбір та контроль відповідності тих або інших пристроїв до певного сегменту або в цілому до мережі є надзвичайно важливим;

– *управління ідентифікацією*. Оскільки найчастіше в мережі є велика кількість приладів – для таких систем притаманна необхідність забезпечення надійних систем ідентифікації та управління, а також необхідність в забезпеченні належного моніторингу та контролю кожного пристрою в мережі;

– *стандартизованість*. Для підтримки безпечного та безперебійного середовища мереж IoT, необхідно встановлювати узгоджені стандарти безпеки, як для хмари, так і для периферійних пристроїв;

– *зменшення впливу від можливої атаки*. Завдяки існуючим профілям ризику, можна передбачати деякі деталі щодо побудови надійних сегментів мережі, тим самим зменшити наслідки в разі імовірних атак на мережу IoT;

– *повторювана відповідність налаштувань.* Завдяки забезпеченню однакових політик захисту до різних типів приладів та сегментів мережі – дотримання правил стає легшим за рахунок стабільності та передбачуваність щодо налаштувань поточних та майбутніх пристроїв в межах мережі IoT;

– *керування потенційними загрозами.* Ефективність поділу сегментів мережі з врахуванням критичності та вразливості кожної системи є важливим фактором для ефективного керування потенційними загрозами безпеці та їхньому усуненню.

При будь-якому впровадженні системи IoT мережевої сегментації, варто враховувати наступні можливі обмеження щодо впровадження безпеки за рівнями, через можливі обмеження IoT-пристроїв:

– *апаратні обмеження.* Зазвичай пристрої IoT мають обмежену потужність та пам'ять для проведення обчислень, що ускладнюватиме застосування складних правил безпеки та складних шифрувань мережі, що може уповільнювати та перевантажувати роботу IoT-пристроїв;

– *фрагментованість екосистеми.* Через різноманітність щодо широти та неоднорідності проєктів для систем IoT, інколи узгодження приладів для роботи в сегментах поруч із налаштуванням безпеки мережі буває складним завданням. Пристрої відмінні в величезній кількості різноманітних характеристик та функціональних складових;

– *втрата продуктивності.* Через масове розгортання вузлів з великою кількістю пристроїв в мережі можуть утворитися проблеми в продуктивності, що стосується також обраної мережевої технології, наприклад Bluetooth, Wi-Fi та інших технологій. Тому стратегії керування ресурсами та оптимізаціями стануть в випадках перевантажених вузлів ефективнішими за умови їхнього підсилення.

– *концептуальні обмеження.* Інколи виникають окремі унікальні операційні вимоги для систем IoT, що може посприяти встановленню безпечних з'єднань та додаткових каналів зв'язку.

Сегментація мережі включає в себе логічну або фізичну сегментованість мережі на ізольовані елементи. При впровадженні сегментації вітається вдосконалена форма забезпечення дотримання політик та моніторингу потенційних загроз безпеці. Нижче, на рис. 2.3 проведена діаграма послідовності, з наведенням кількох методів для виконання сегментації.

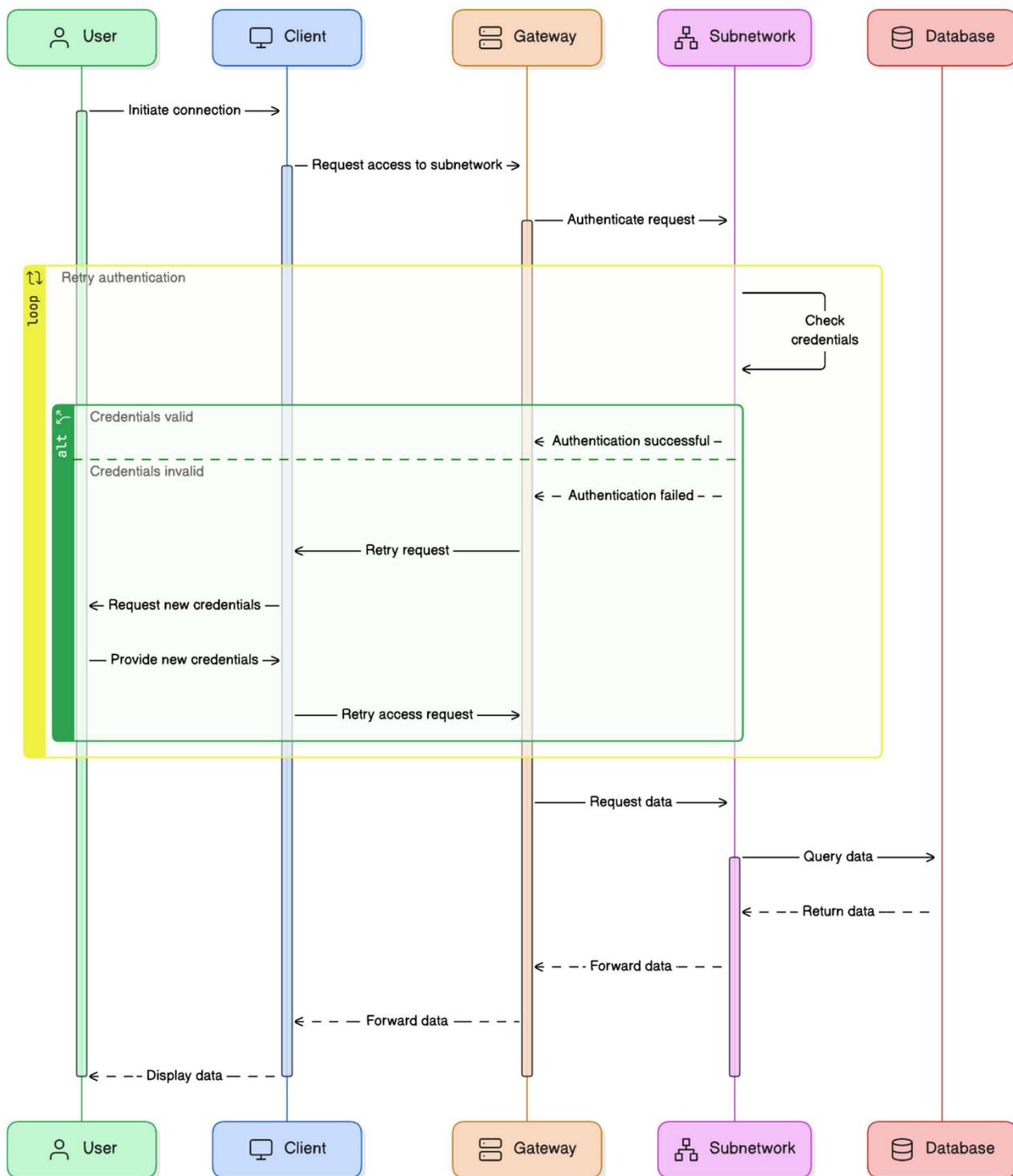


Рис. 2.3 Приклад діаграми послідовності щодо виконання кількох методів з огляду доступу до сегментованої підмережі

На основі пройденої інформації щодо сегментації мереж для IoT систем, чудово буде підкреслити основні переваги, виклики та механізми, які задіюються при розгортанні системи на базі мережі IoT з сегментованою мережею будь-якої розмірності [18].

Основні переваги, виклики та механізми безпеки при сегментації

Тип	Елемент	Опис
Переваги	Посилена безпека	Захищеність конфіденційних даних шляхом ізоляції критично важливих точок систем
	Зменшення впливу від потенційних атак	Мінімізація кількості відкритих кінцевих точок, що в свою чергу зменшує шанс на успішність атаки
	Спрощене дотримання вимог	Допомога в дотриманні нормативних вимог шляхом обмеження доступу
	Покращене керування пристроями	Уточнення ідентифікацій та ролі пристроїв, що в цілому покращує загальний моніторинг та контрольованість системи
Виклики	Підвищена складність	Сегментованість вимагає ретельного планування та постійного управління
	Операційні затримки системи	Потенційно можливі проблеми з затримкою та продуктивністю в разі некоректного управління
	Збільшення вартості впровадження	При розробці може виникнути необхідність в додатковому обладнанні або програмному забезпеченні
Механізми безпеки	Ідентифікатор посвідчення особи	Забезпеченість безпечного управління ідентифікацією у всіх сегментах мережі
	Мікросегментація	Покращення контролю трафіку а також обмеження векторів атак шляхом мікросегментації
	Брандмауер та NAC	Забезпечення політик безпеки та ефективнішого контролю доступом шляхом налаштувань Брандмауеру та NAC

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) – являє собою один із різновидів бездротової мережі, в який входять велика кількість циклічних, самокеруючих, мініатюрних, слабо-потужних приладів, що називаються сенсорними вузлами, й подалі мають назву – точки. Такі мережі можуть мати охоплення великої кількості просторово-розподілених, малогабаритних вбудованих пристроїв, які працюють від елементів живлення а також об'єднані в мережу для точнішого збору, обробки та передавання даних на хмарні сервіси або операторам, а також тримають контроль можливостей обчислювальних та оброблювальних [19].

Вузли – являють собою елемент або точку, яка є підключеною до мережі будучи таким чином частиною більшої структури. Також вузлом у мережі може бути пристрій [20].

Сенсорний вузол – це окремий вузол сенсорної мережі, який здатен виконати потрібну дію, серед яких є збір даних, обробка даних а також передавання даних іншим вузлам в мережі [21].

Гнучкість та простота розгортання мережі з надійністю та цілісністю даних – саме це дає перевагу при виборі бездротової сенсорної мережі, замість дротової. Обидва підходи мають свої переваги та складнощі, при цьому це вказує на можливості, а саме придатність однієї або іншої технології для різних застосувань, де їм більше підходить бути.

Бездротові сенсорні мережі надають певні переваги в гнучкості, простоті розгортання а також масштабованості в порівнянні з системою дротової технології. Прибираючи потребу в прокладені кабельних мереж, бездротові сенсорні мережі (БСМ) значно скорочують час при монтажу пристроїв а також витрати, що чудово для великих та складних для підключення середовищ. БСМ є легко-розширюваною мережею та чудово підходить для проведення моніторингу мобільних та розподілених активів. Проте, бездротові мережі стикаються з обмеженнями, наприклад термін служби а також залежність від акумулятору, нижчою пропускнуою здатністю та вразливістю перешкод для сигналу, що може зробити передавання даних ненадійним та небезпечним.

Дротові мережі в свою чергу забезпечують більше надійності, вищу

пропускну здатність та стабільне енергоживлення. Такі мережі менше схильні до перешкод і краще імпонують для критично-важливих застосувань, яким необхідна висока цілісність та вища безпека даних. Недоліком є вища вартість впровадження а також менше гнучкості та більше складнощів щодо змін всередині мережі.

Отже, вибір між бездротовим та дротовим варіантом сенсорної мережі залежить від пріоритетів використання. Наприклад, чи є перевага для проєкту в перевазі гнучкості та швидшого розгортання мережі, в порівнянні з більшою надійністю та кращою продуктивністю.

Фреймворки на основі штучного інтелекту здатні покращити роботу бездротових сенсорних мереж, завдяки забезпеченню інтелектуальної маршрутизації, прогнозованого керування енергією а також прийняттям обґрунтованих рішень. Також алгоритми навчання з підкріпленням та машинного навчання покращують сенсорні мережі шляхом допомоги динамічною адаптацією до змінних умов, шляхом оптимізації використання живлення а також зменшенням затримки. За рахунок штучного інтелекту, Бездротові сенсорні мережі (БСМ) здатні оброблювати та інтерпретувати великі обсяги даних датчиків локально, що в свою чергу призводить до проактивного керування мережею та сприянню її розвитку.

Периферійні обчислення доповнюють штучний інтелект, наближаючи обчислювальні потужності до джерел даних, тим самим зменшуючи затримку, а також зменшуючи потребу в централізованих хмарних центрах обробки даних. Обробка даних на межі мережі надає підтримку в прийнятті рішень у режимі реального часу, а також, за потреби, скорочує використання пропускну потужності [22].

Найпоширеніша архітектура БСМ відповідає моделі архітектури OSI. Архітектура бездротової сенсорної мережі включає в собі п'ять рівнів та три перехрестні рівні. Зазвичай в сенсорних мережах є необхідність в п'яти рівнях, а саме: прикладний, транспортний, каналний та фізичний. Три перехрестні рівні являють собою керування живленням, керування мобільністю а також керування завданнями. Перелічені рівні БСМ використовуються для виконання сенсорних мереж та забезпечення спільно поєднаної роботи датчиків з метою збільшення

загальної ефективності мережі.

Архітектура, яка використовується в бездротових сенсорних мережах називається архітектура сенсорної мережі. Такий тип архітектури застосовується в місцях, наприклад лікарнях, школах, дорогах, будинках, а також використовується в різних додатках, наприклад керування безпекою, керування стихійними лихами, керування кризовими ситуаціями, тощо. Існують два типи архітектур сенсорної мережі, які використовуються в бездротових сенсорних мережах:

- багаторівнева архітектурна мережа;
- архітектура кластерної мережі.

Для опису системи клімат-контролю для теплиць буде використана архітектура кластерної мережі. Архітектура кластерної мережі, яка представлена на рис. 2.4, містить окремі, об'єднані в групи сенсорні вузли, які називаються кластерами, що походять від протоколу LEACH. Протокол LEACH розшифровується «Ієрархія адаптивної кластеризації з низьким енергоспоживанням».

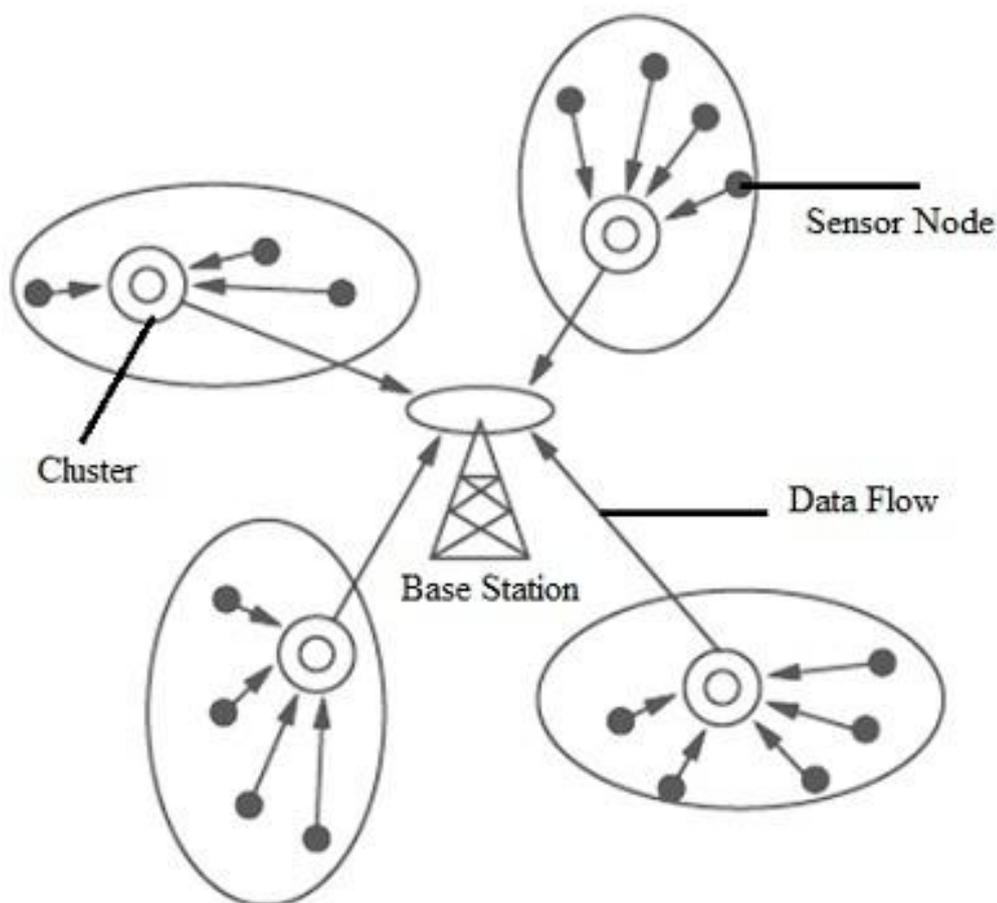


Рис. 2.4 Приклад архітектури кластерної мережі

Основні властивості протоколу LEACH наступні:

- це є дворівневою ієрархічною архітектурою кластеризації;
- це є розподіленим алгоритмом, який використовується для впорядкування вузлів датчиків в групи, які називаються кластерами;
- в кожному окремо сформованому кластері головні вузли кластеру створюють TDMA (множинний доступ з часовим поділом);
- використовується концепція злиття даних в одне ціле, що робить мережу енергоефективною.

Такий тип мережевої архітектури надзвичайно потрібний в використанні там, де необхідна властивість об'єднання даних. У кожному кластері всі вузли можуть взаємодіяти завдяки головному вузлу кластеру для відправлення або отримання даних. Всі кластери здатні обмінюватися зібраними даними з базовою станцією. Формування кластеру а також вибір його головного вузла для кожного кластеру являється незалежним та автономним розподіленим процесом [19].

2.2 Побудова та визначення розподілень мережевих структур для системи клімат-контролю в теплицях

2.2.1 Побудова архітектури кластерної мережі

Архітектура системи моніторингу мікроклімату ґрунтується на кластерному принципі організації бездротової сенсорної мережі, у якій кожна теплиця є окремим кластером мережі. Кластер об'єднує логічну групу сенсорних вузлів, що контролюють мікрокліматичні параметри, такі як температура, вологість повітря, вологість ґрунту, CO₂ (вуглекислий газ) тощо.

У кожному кластері передбачена наявність таких компонентів:

- сенсорні вузли (датчики);
- голова кластеру (СН) – являє собою логічний вузол, зазвичай комутатор, який відповідає за агрегацію а також обмін даними між кластером та базовою станцією.

– локальна підмережа, що об'єднує сенсори (датчики) та передає дані на головний кластер.

На рис. 2.5 наведена модель архітектури кластеризації сенсорної мережі, згідно з кваліфікаційним завданням. Всього призначено 4 кластери, але їх може бути значно більше в реальних умовах. Шлях отримання даних на сервер відбувається наступним чином:

1. Сенсори (датчики) проводять вимірювання.

2. Локальна мережа отримує бездротовим шляхом на радіоприймачі пул вимірювань з сенсорів і відповідно назначеного шляху передає їх голові кластеру (комутатору).

3. Комутатор через підмережу з'єднується з іншим комутатором проводимим шляхом, який є частиною базової станції.

4. Всередині базової станції через шлюз йде обробка даних, і завершується записом на сервері в базу даних (БД).

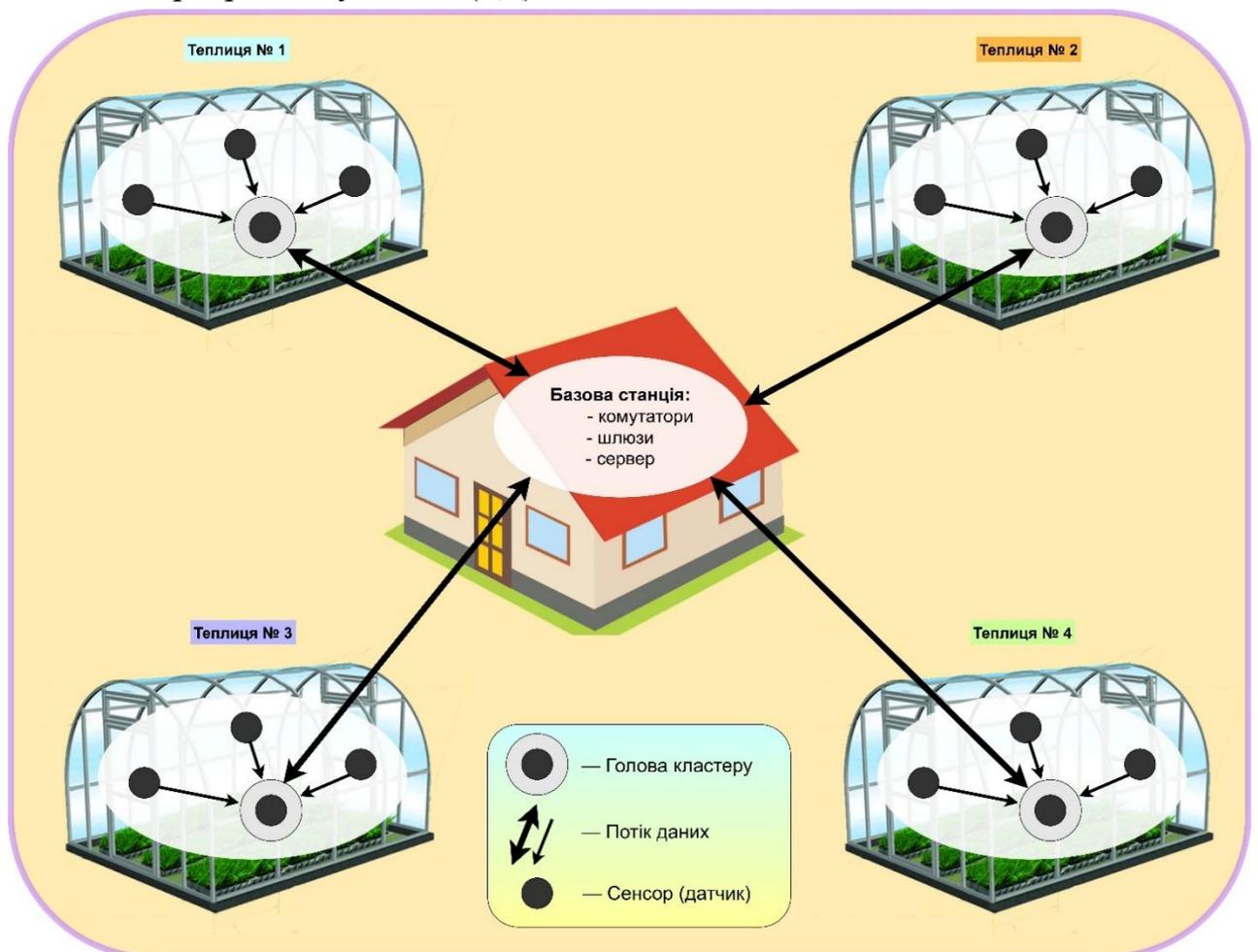


Рис. 2.5 Модель архітектури кластеризації сенсорної мережі: від збору даних сенсорами до передачі та запису даних в базі даних

Таким чином, змодельована архітектура кластеризації сенсорної мережі, завдяки кластеризації надає змогу:

- зменшити навантаження на центральний шлюз при побудові великих IoT-систем з великою кількістю сенсорів та супутніх пристроїв;
- розділити мережу на ізольовані логічні сегменти;
- підвищити надійність захисту систему а також її масштабованість;
- забезпечити незалежне керування кожним кластером мережі (тобто, кожною теплицею).

2.2.2 Моделювання процесів комунікації між об'єктами системи кластерної мережі на діаграмі послідовності

Діаграма послідовності призначення для відображення послідовно-часової особливості передавань та прийомів повідомлень між об'єктами діаграми. Упорядкування за часом в даній діаграмі розуміється як послідовні дії.

Початкова життєва лінія починається з першого об'єкта по верхньому лівому боку діаграми, позначається вертикально пунктирною лінією. За умови постійного існування об'єкта в системі, необхідно життєву лінію продовжувати по всій вертикальній довжині на пунктирній лінії від верху і до низу.

Смуга активації являє собою невеликий прямокутник, розташований на поверхні пунктирної лінії життя об'єкта, протягом якого елемент виконує певний процес. Прямокутник має довжину відносно тривалості активності об'єктів.

Повідомлення з'являються послідовно на лінії життя та між об'єктами в вигляді стрілок. Стрілка на початку торкається лінії життя відправника та прямує до лінії життя іншого об'єкта, який отримує це повідомлення. Біля стрілки повідомлення позначається підпис виконуваної операції (процесу).

Повідомлення поділяються на синхронні, яка очікують відповідь (повністю зафарбована стрілка), а також на асинхронні, які не очікують на відповідь для відправника (пунктирна лінія на всій довжині стрілки). Також існує рекурсивне повідомлення, яке є направленим на ту саму лінію життя, з якої і починається, що

означає внутрішнє виконання процесу в межах одного об'єкту. Наприклад якщо об'єкт ноутбук – виклик перевірки доступних Wi-Fi мереж.

Також для позначень на діаграмі послідовності використовуються фрагменти. Фрагменти використовуються в випадках для позначення процесу циклічного, альтернативного або для закінчення якого необхідно виконання певних умов. Позначається фрагмент як рамка та в межах рамки з верхнього лівого боку назва оператора який позначає один із випадків поверх певної кількості виконуваних процесів. Розрізняють наступні позначення фрагментів:

Діаграма послідовності може бути позначена по всій площині фрагментом sd, що означає саме обтинання всієї діаграми та відображення її назви всередині рамок фрагменту.

Альтернативний (alt) – відображає один або декілька альтернативних сценаріїв для процесів, при цьому в різних умовах виконуватиметься не більше одного з передбачених сценаріїв, який буде найбільш істинним до умов. Коли в альтернативному фрагменті сценаріїв два і більше, для їхнього розділення в межах однієї рамки виконується позначення пунктирною лінією. Таке позначення називається операндом захисту, та має на кожному сценарії прописану умову в квадратних дужках.

Опціональний (opt) – є необов'язковим фрагментом в діаграмах, і виконується лише якщо зазначена умова є істинною. Даний фрагмент складається лише з однієї умови без поділу на операнди захисту. Використовується в діаграмах для позначення не обов'язкового кроку операційного процесу.

Цикл (loop) – позначає задіяні в межах рамки процес або декілька процесів, які повторюються. Також даний фрагмент може мати ітерації в числовому значення біля назви loop, що позначатиме кількість повтору.

Посилання (ref) – застосовується для використання фрагменту процесів для повторного використання в іншій частині діаграми послідовності [23].

Зображена на рис. 2.6 діаграма послідовності моделює логічний порядок взаємодії між об'єктами системи під час запиту користувача на отримання даних про кліматичні показники однієї із теплиць.

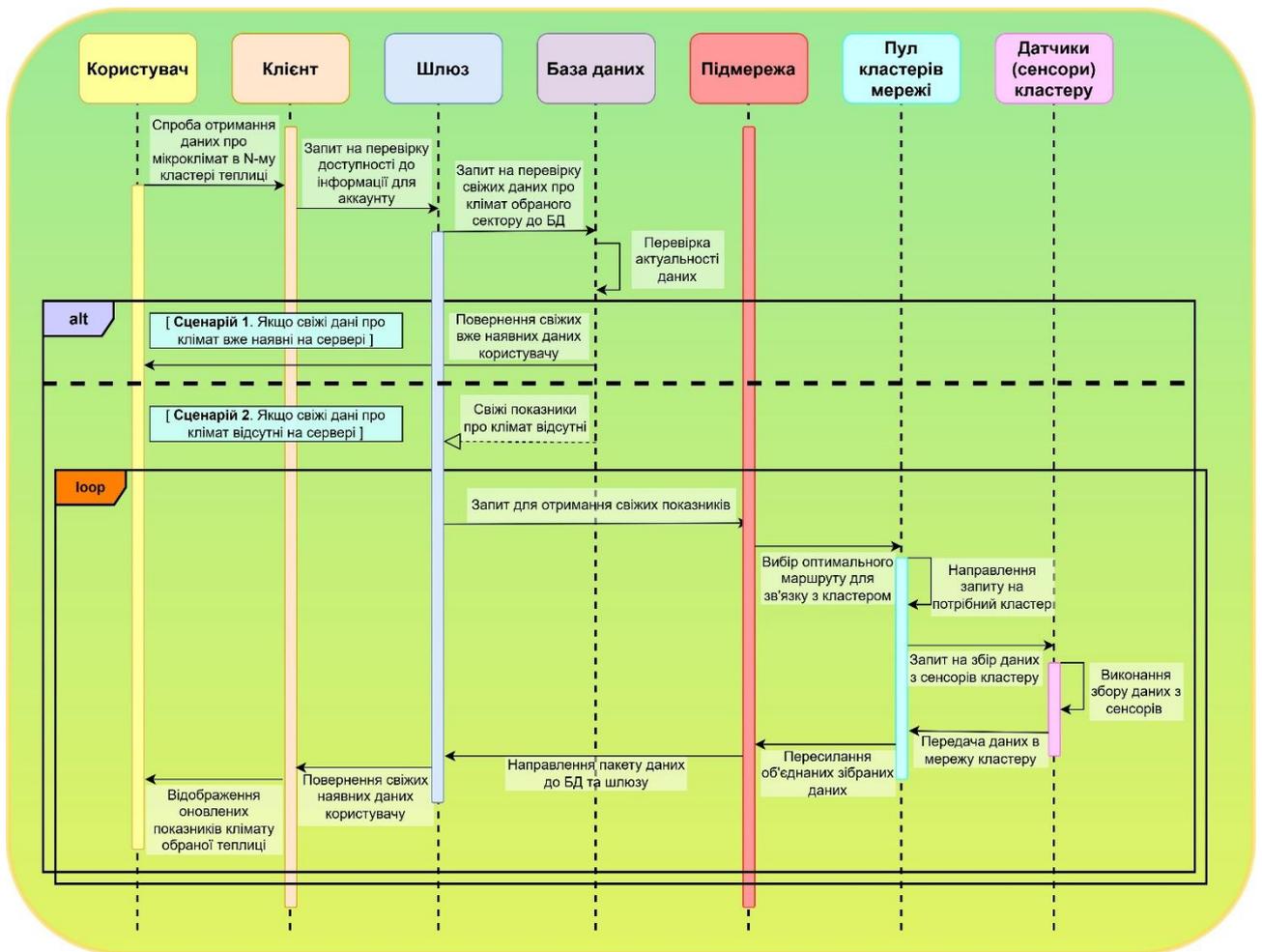


Рис. 2.6 Модельна основі діаграми послідовності, яка відображає шлях виконання запиту користувача на отримання даних про клімат однієї із теплиць із загального пулу кластерів

Дана модель передбачає наступних учасників (об'єктів):

1. *Користувач*. Проводить запит на отримання даних.
2. *Клієнт*. Являє собою інтерфейс або застосунок.
3. *Шлюз*. Проводить прийом та маршрутизацію запитів.
4. *База даних*. Зберігає отримані дані про мікроклімат.
5. *Підмережа*. Транспортування даних, як в пулі кластерів, так і в основній мережі, від датчиків до серверу.
6. *Пул кластерів мережі*. Відображає для кожної системи та кожного користувача доступні іменовані кластери, для моніторингу та керування ними.
7. *Датчики (сенсори) кластеру*. Проводять збір даних в межах одного

кластеру, в якому вони розташовані.

Таким чином, дана діаграма послідовності відображає шлях, по якому рухається запит користувача. Внутрішні процеси системи, як вона по мережі отримує та оновлює інформацію з бази даних, як виконується зв'язок з потрібним пулом та оновлення інформації в реальному часі а також процес, який відображає потрапляння даних із потрібного кластеру до клієнта, звідки користувач отримує відповідь на свій запит.

Під час розробки були використані фрагменти alt та loop. Фрагмент alt дав змогу виокремити два сценарії, стосовно перевірки актуальності інформації в базі даних. При першому сценарії дані в базі даних були нещодавно-отриманими, вслід чого відповідь була моментальною. В іншому сценарії дані були застарілими, тому почався процес, при якому підмережа ініціювала новий збір даних у відповідному кластері (теплиці), а вслід збору датчиками оновленої інформації – підмережа передала ці дані базі даних, яка зберегла їх, а також на клієнт, який представив в своєму інтерфейсі користувачу свіжі дані.

Таким чином дана діаграма разом з використанням фрагментів дає визначити більш зрозуміло поведінку системи а також її більшу реалістичність при впровадженні з реальними IoT-системами.

На основі розглянутих моделей архітектури кластерної сенсорної мережі, а також діаграми послідовності, варто зазначити, що сегментація мережі полягає в застосуванні кластерного принципу, за рахунок якого кожен кластер є окремим сегментом, що в даному випадку відповідає ідеї: одна теплиця являється одним кластером.

Таким чином, наявність окремих сегментів в змодельованій мережі на основі діаграми послідовності та моделі архітектури кластерів в даній системі забезпечує наступними можливостями:

- власна локальна підмережа для сенсорів;
- наявність голови кластеру, яка виконує агрегацію даних;
- можливість роботи кластеру незалежно від інших кластерів;
- з'єднання шлюзу окремо з кожним кластером, задля отримання даних про

клімат або виконання заданих команд виконавчим пристроєм.

До переваг даної кластеризації можна віднести наступне:

- менша локалізація при проблемах з мережею, якщо це трапляється на одному із кластерів;

- масштабованість системи стає легшою та безпечнішою;

- зменшене навантаження на систему, оскільки агрегація трафіку виконується на рівні кластерів, а не на рівні шлюзу. Також це є додатковим показником для більших можливостей масштабування системи за рахунок зекономлених ресурсів мережевого обладнання;

- гнучкість керування кожним окремим кластером, яке може включати в тому числі різні вимірювані показники а також виконання різного роду заданих функцій виконавчими пристроями.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПОБУДОВА ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ І КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СИМУЛЯТОРІ

3.1 Огляд існуючих рішень для контролю кліматом

Полювий моніторинг для ферм від akenza

Корпоративна IoT-платформа akenza надає послуги щодо створення IoT-продукції високої якості. Дана компанія також може впровадити підключення, контроль та керування пристроїв. Зокрема, до їхнього переліку послуг входить впровадження завдяки їхній платформі akenza розумного землеробства, на основі отримання через їхню систему об'єднаних даних про ґрунт, погоду, сільськогосподарські культури та худобу в вигляді інформаційної панелі, зображеної на рис. 3.1. Цим компанія обіцяє збільшення ефективності використання ресурсів та правильніше здійснених сільськогосподарських процесів.

Інформаційна панель akenza налаштовується під впроваджені в систему різні

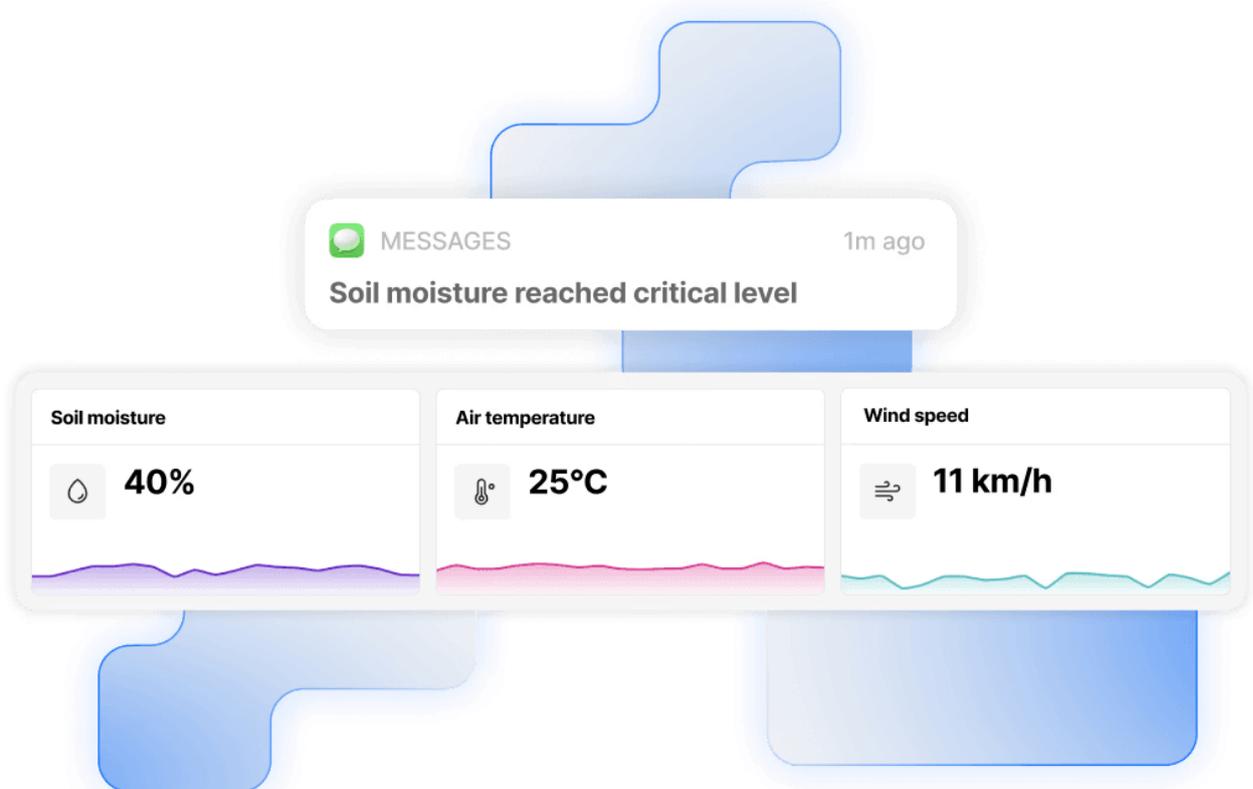


Рис. 3.1 Фрагменти інформаційної панелі akenza а також автоматичного сповіщення для смартфона на основі переданих даних IoT-пристроями

датчики. Щодо систем для землеробства пропонують датчики, які розміщуються на полях і збирають дані про вологість ґрунту, температуру, рівень атмосферного тиску та інші параметри, які можуть впроваджувати на замовлення. Зібрані дані надходять на їхню інформаційну платформу *akenza*, представлену вище на рис 3.1, яка надає на основі даних оперативну аналітику в режимі реального часу, а також надсилає повідомлення в мобільний застосунок.

Система здатна розгортатися на великій площині. Завдяки даному рішенню, з'являється здатність розвантажувати фермерів та автоматизувати деякі процеси, економити ресурси. Система може на основі даних з датчиків автоматично керувати поливом, а також за допомогою інших додаткових датчиків слідкувати за переміщенням та здоров'ям худоби. Також, на основі даних про погоду, враховувати та передбачати графіки спрацювання тих або інших виконавчих пристроїв [24].

Автоматизований клімат-контроль на основі IoT від UNNATI 9 GROUP

Угрупування науковців та любителів UNNATI 9 GROUP відштовхуючись від можливостей Інтернету речей, працюють з впровадженням систем для керування та моніторингу сільського господарства. Їхні системи надають автоматизацію та моніторинг клімат-контролю на основі отриманих даних від IoT-пристроїв. Таким чином система, яку вони надають, на основі аналітики, автоматизації та моніторингу здійснює контроль та оптимізацію сільськогосподарських територій та теплиць. Окрім впровадження технологій для сільськогосподарських ферм та теплиць, дане угрупування також надає послуги впровадження IoT-систем під специфічні проекти, такі як пальмові ферм, ферми з вирощування зерен для кави, вирощування мікрозелені, вирощування ягід, вертикальні ферми, а також інші проекти, які здатні за потреби впровадити. На рис. 3.2 зображені різні параметри, які можуть керуватися їхньою системою, а саме такі як: температура, вологість повітря та ґрунту, інтенсивність світла, величина атмосферного тиску, датчики вітру та інших, які здатні визначати погодні умови. Таким чином, на основі отриманих даних від перелічених до вимірювань показників IoT-пристроями –

виконується аналіз на основі штучного інтелекту (ШІ), вслід чого запускаються виконавчі пристрої а також надходять сповіщення про різні процеси в системі тим, хто має до неї доступ. [25]

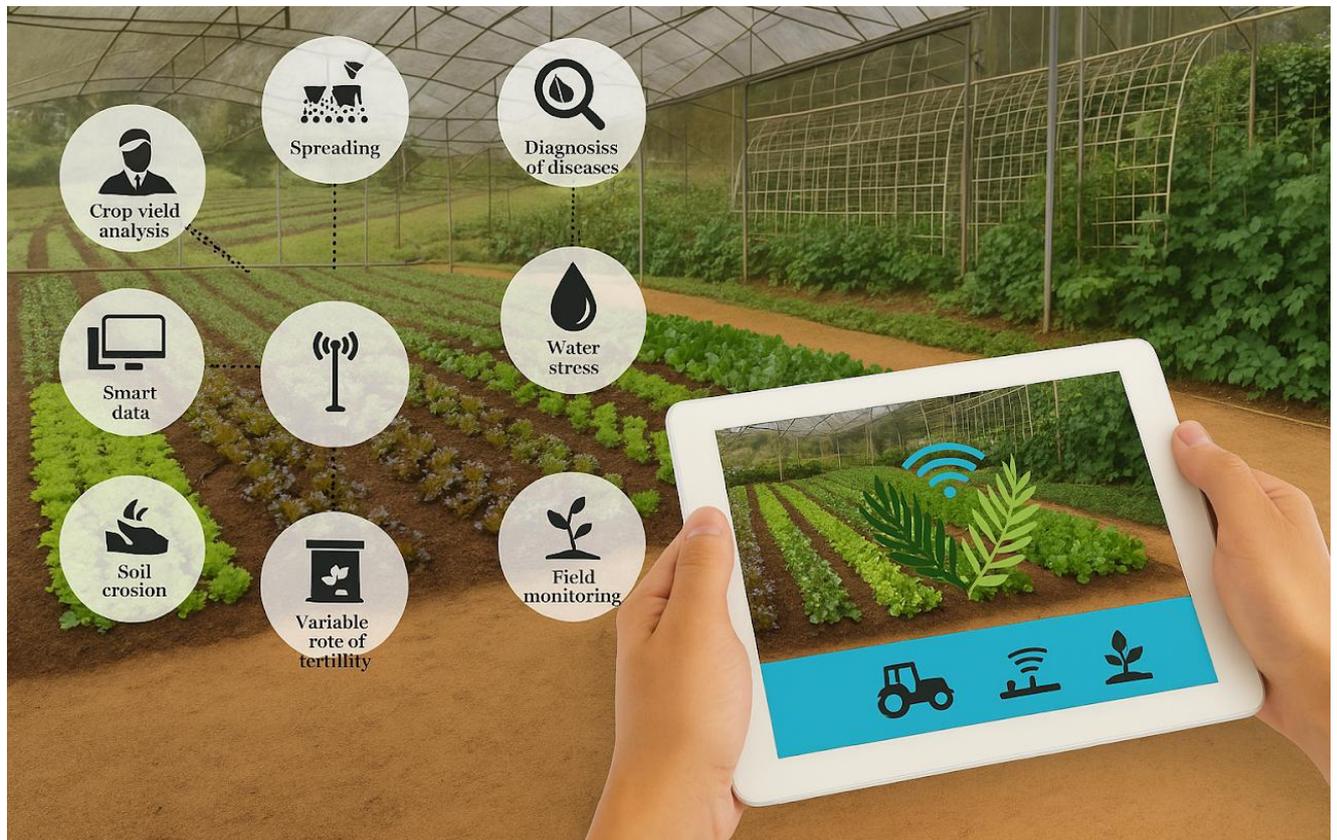


Рис. 3.2 Візуалізація спроможності моніторингу та автоматизації впроваджених систем від угруповання UNNATI 9 GROUP

3.2 Опис системи на основі Mind Map

Mind Map являє собою інтелектуальну мапу, що деревоподібною нелінійною ієрархічною архітектурою, яка поєднує супутні за темою об'єкти мапи в одне угруповання, в слід чого від зібраних угруповань виникає своєрідна система. Ключові об'єкти мапи відгалуджують по горизонталі з обох сторін від центральної концепції, яка складається з назви концепції. Інші об'єкти (ідеї) розташовуються з інших площин, згори або внизу від концепції. Завдяки даній діаграмі, маємо змогу бачити ієрархічно впорядковану інформацію та зв'язки різних об'єктів між собою.

Інтелектуальна мапа має на меті показати яким чином планується відображе-

ння системи, за рахунок візуальної реалізації власних думок та ідей, без відволікання та турботу щодо їхньої презентабельності, порядку а також структури. Ще одна перевага інтелектуальних мап – її барвистість, яка ліпше запам'ятовується в порівнянні з структурованим описом монотонного потоку інформації. Об'єкти та зв'язки між ними, представленні на такій мапі, допомагають знаходити взаємопов'язаність між іншими різними об'єктами та тематиками, що в подальшому наводить до нових ідей для розглянутої моделі системи.

До переліку основних типів інтелектуальних мап можемо віднести:

– *блок-схеми*. Дані представлення діаграми показують окрему поетапність послідовних процесів. Найчастіше використовується з метою допомогти команді щодо визначення важливого одного або декількох кроків під час процесу, для коригування або створення послідовності порядку розташування всіх процесів;

– *деревоподібні (ієрархічні)*. Відображають уявлення послідовних подій у вигляді деревоподібної мапи;

– *бульбашкоподібні*. Такі мапи містять наступне розташування: в центрі іменник, описаний оточенням із прикметників. Бульбашкоподібні мапи використовуються задля розвинення креативності щодо ідей та думок для втілення нестандартних рішень, що в свою чергу дає змогу створювати цікаві проекти. [26].

Таким чином, Інтелектуальні мапи хорошим чином застосовуються для відображень розташованих по правилам об'єктів та сприянню виникненню бачення нових взаємозв'язків та ідей між об'єктами. Різні типи інтелектуальних мап розширюють можливість користування даного методу. Mind Map можуть бути корисні в використанні наступних напрямках: бізнес-планування, планування розпорядку для проведення зустрічей, а також управління проектами.

Концептуальне представлення системи на інтелектуальній мапі (Mind Map), побудоване на основі тематики роботи, й має вигляд, представлений на рис. 3.3.

Mind Map цієї системи в центральній точці мапи має прописану мету. На основі мети проводиться розгортання системи в підгрупи стосовно функціональної схожості пристроїв, всередині яких розташовані об'єкти (пристрої) даної системи.



Рис. 3.3 Інтелектуальна мапа з моделлю системи клімат-контролю теплиці

3.3 Розробка контекстної діаграми

Метод відображення системи на основі контекстної діаграми надає візуалізовану діаграму представленої системи для її розуміння на високому рівні, що в свою чергу забезпечує можливість провести розгляд системи та взаємодії з нею об'єктів. Такі діаграми використовують для представлення зосередженого взаємозв'язку системи та її оточення.

Одна з головних переваг використання контекстної мапи закладена в її простоті, що полегшує аналіз системи та дає гарантію, що всі учасники проєкту будь якого рівня професійності матимуть спільне розуміння основної ідеї щодо меж системи та її інтерфейсів.

Побудована контекстна діаграма здатна поєднати комунікацію між командою та інших зацікавлених сторін відносно проєкту. Інші причини користування даним методом контекстної діаграми перелічимо наступним чином:

– *позначення межі системи.* За рахунок визначених рамок системи, така діаграма надає порозуміння опису всередині неї, а також ззовні, поза межами роботи проєкту. Це допомагає запобігти змішуванню та певних обсягів інформації а також надає забезпечення гарантії, щодо відображення всього основного, що може бути передбаченим в системі є в межах однієї контекстної діаграми, в тому числі обмеження системи.

– *візуалізованість комунікації об'єктів.* Учасники проєкту на основі контекстної діаграми можуть легше розуміти систему зображену на діаграмі, а також завдяки додатковим інструментам додавати зовнішні сутності для діаграми, наприклад користувачі або інші системи та їхнє джерело даних, що мають взаємовідношення до системи. Таким чином візуалізація представлення проєкту стає більш інтуїтивно-доступною в розумінні для всіх учасників, в тому числі тих, хто має низький рівень технічних знань.

– *ідентифікація інтерфейсу та взаємодії.* Відображення взаємодії системи із зовнішнім середовищем, а саме об'єктами та іншими системами, що надає більше можливостей для розуміння дій користувача а також шляхів для інтегрованості системи.

В сферах застосування контекстних діаграм, індикатори потоків даних є не тільки стрілками, що проводять вказівку від однієї до іншої сутності, а також являють собою лінію життя, що відображає яким чином інформація виконує опрацювання та передачу інформації в системі. Тому ці показники мають важливе значення для підтримки ясності розуміння системи, а також задля забезпечення простого потоку рухів інформації.

До переліку основних компонентів контекстних діаграм відносять:

- межі системи. Межа визначає те, що не виходить за рамки системи;
- сторонні (зовнішні) сутності. Має собою розуміння ідентифікації користувачів, систем та процесів, що мають між собою взаємодію;
- потік даних. Візуальне позначення виконання обміну даних системи з зовнішніми об'єктами.

Переваги контекстної діаграми:

– застосування методу контекстної діаграми допомагає охопити всебічний аналіз завдяки кожній описаній деталі розробки. Також полегшує інтерпретування складних комунікацій та взаємодій в системі завдяки інтуїтивно зрозумілим візуалізованим ефектам. Тому використання контекстних діаграм здатне полегшувати загальне розуміння проєктів для команди;

– при використанні контекстної діаграми зменшується ризик провалу проєкту, під час його втілення;

– оптимізація аналізу завдяки відправній точці зв'язків в діаграмі, що дає змогу виконувати глибокий аналіз систем;

– чудове доповнення щодо опису багатьох проєктів.

Також, слід зазначити ще одну з важливих переваг контекстної діаграми, а саме її відображення детального потоку поміж системою та зовнішніми компонентами, що дає змогу для кращого аналізу. Окрім цього, діаграми може завчасно вберегти від зайвих витрат бюджету і зменшити ймовірність виникнення ситуацій з високими ризиками провалу на етапі розробки проєкту.

Проте, серед переваг, даний метод також має певні недоліки:

– контекстна діаграма не містить опис суті процесів та визначень щодо термінів проєкту;

– складність щодо охоплення побудови системи в межах однієї контекстної діаграми при розгляді великих проєктів [27].

Отже контекстна діаграма може стати хорошим інструментом для учасників проєктів різного професійного напрямку, за рахунок відображення ясності меж системи та потоків даних системи та об'єктів.

Контекстна діаграма, представлена на рис. 3.4, стосується теми дипломної роботи і побудовано на основі системи IoT для клімат-контролю на основі моніторингу та керування. В даній діаграмі стрілки позначають дії, що виконуються без відповідей, які в цій діаграмі відносяться тільки стосовно датчиків, що є об'єктами системи. Пристрої, які виконують певні функції, мають подвійну стрілку, оскільки вони не тільки передають інформацію а також

отримують команди, які здатні виконувати. Ця діаграма позначає відображення дій користувача стрілками, що відправляють користувачу відповідь стосовного його звернень до об'єктів: авторизація, перегляд звітування а також керування приладами IoT. База даних позначена в діаграмі подвійною стрілкою, тому що основним її процесом є передавання та отримання даних.

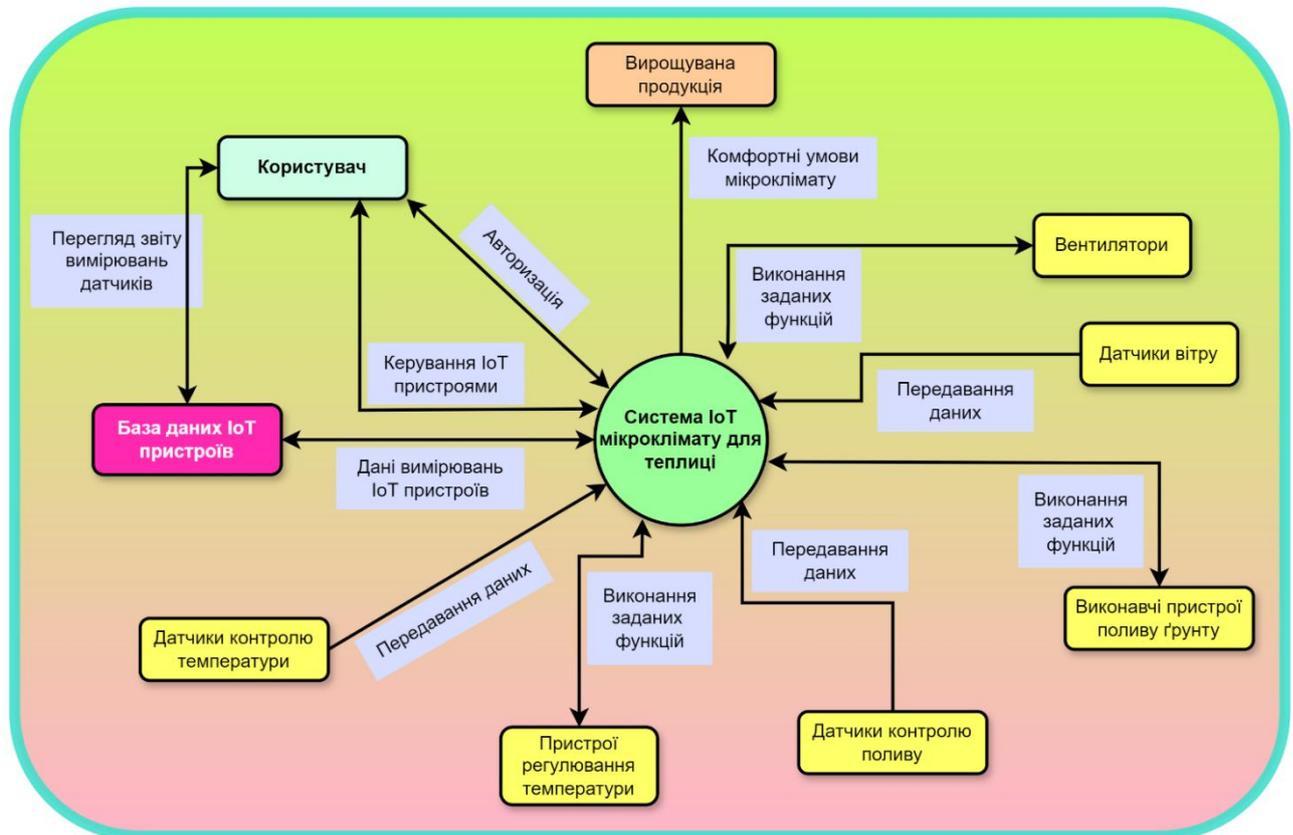


Рис. 3.4 Система клімат-контролю в теплиці на основі контекстної діаграми

3.4 Розробка системи на основі багатовимірної моделі даних

Метод багатовимірної моделі даних застосовується з метою впорядкування даних в базах даних, враховуючи їхнє правильне розташування та збір наповнення інформації в базу даних. Також, ця діаграма впорядковує дані в якусь із категорій під виглядом кубу або в розмірній послідовності під виглядом фігури прямокутника.

Багатовимірна діаграма використовується задля проектувань різної розмірності кубів з використанням механізму OLAP в ряду з іншими фігурами прямокутників з внесеними даними для аналізу.

Бізнес-аналітика використовує бази даних з OLAP для надсилань запитів задля обміну інформацією різних вимірювань, що містяться в базах даних.

В базах даних з використанням OLAP здійснюється заповнення із сховищ даних, а також з вітринних баз даних. Реалізується таке передавання даних на основі реляційних та багатовимірних відображень, при яких сховища даних та вітринні бази даних стають джерелами даних для БД з OLAP. Куби OLAP розроблені з міркувань виконання запитів для багатовимірного аналізу. Таким чином, організація розмірності є та, що визначена користувачем [28]. На рис. 3.5 наведено зображення прикладу одного із типів макетів багатовимірної діаграм.

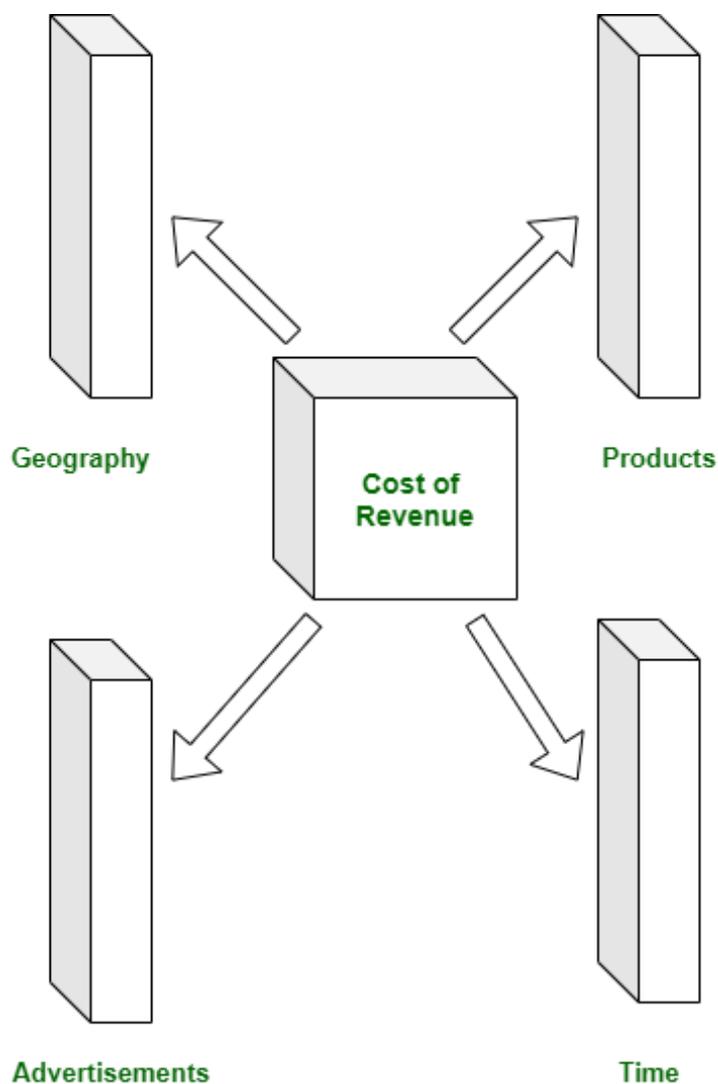


Рис. 3.5 Приклад одного із різновидів багатовимірної діаграми

Згідно з тематикою дипломної роботи розроблено багатовимірну діаграму для системи клімат-контролю для теплиць, яка зображена на рис. 3.6. Згадана

система на діаграмі займає центральну точку, яка є базою даних. Вона складається з множини різних даних, які стосуються різних областей застосування. В цьому випадку застосування, багатомірна діаграма створена з врахуванням до побудови системи в програмному середовищі Cisco Packet Tracer.

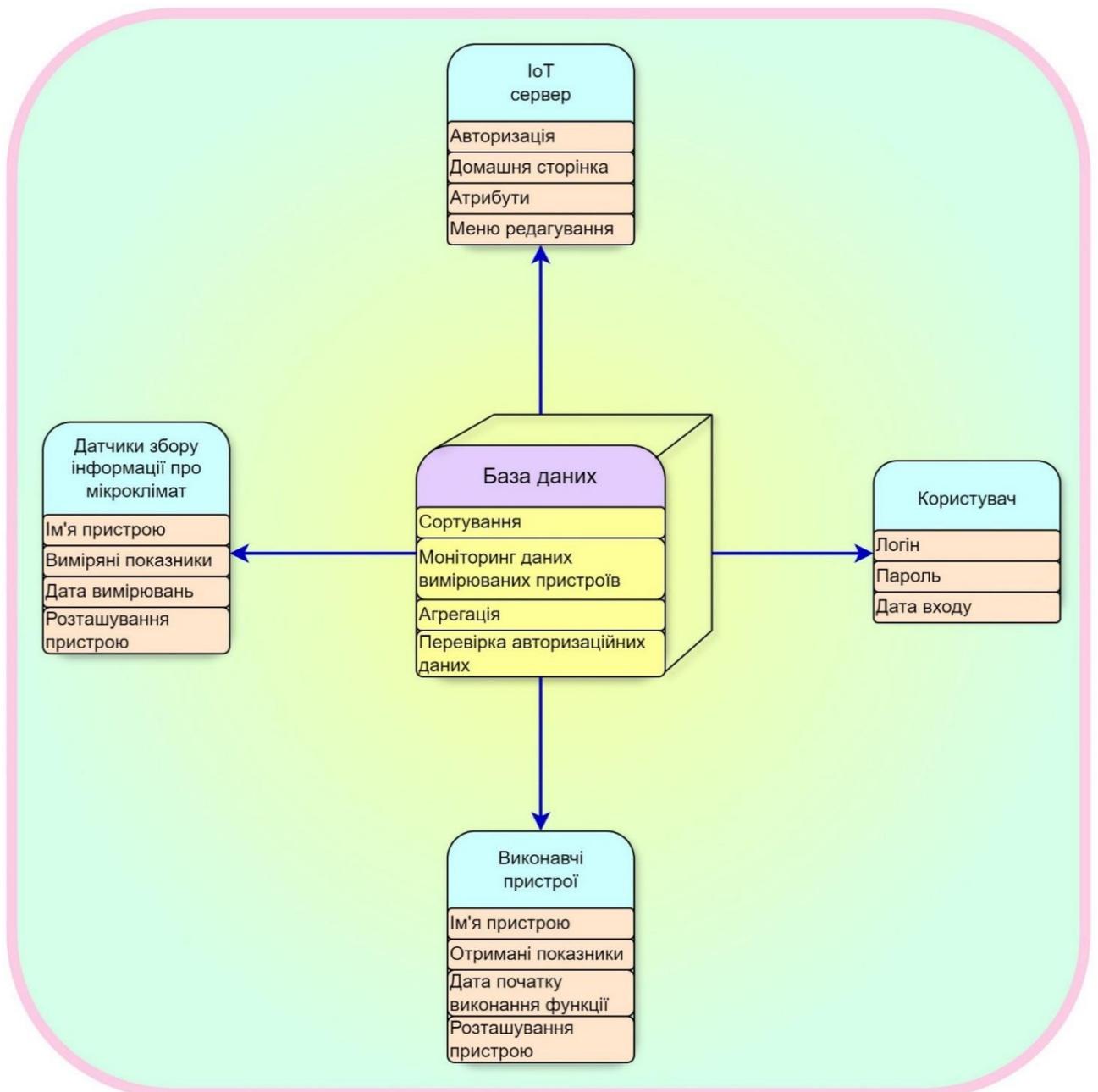


Рис. 3.6 Система клімат-контролю теплиці на основі багатовимірної діаграми

Продовженням опису для побудованої діаграми є згадка про пункт IoT Server, який передбачає авторизацію користувача в системі, головну (домашню) сторінку, для налаштування значень та команд в системі – атрибути, а також меню редагування, додане для задання програм роботи системи.

Щодо кожного датчику в БД є вказівки їхніх назв (імен пристроїв), виміряні показники отримані від датчиків, а також часовий період вимірювань, що в свою чергу відкриває можливість переглядати історію часового моніторингу параметрів. Також є вказівник точки розміщень кожного з пристроїв.

Аналогічно до опису збережень даних про датчики, відноситься також перелік збережень даних про виконавчі пристрої. Проте, для даних пристроїв найчастіше відсутні показники вимірювань, оскільки дані про зміни клімату по яким вони орієнтуються – отримують від системи. Також для виконавчих пристроїв передбачено відслідковування початку та завершення виконання того чи іншого процесу, для відслідковування дії пристрою та його часової шкали, в тому числі для встановлення причин поломок приладу в разі його виходу з ладу.

4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ТЕПЛИЦІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

4.1 Визначення програмного середовища для моделювання системи

Cisco Packet Tracer – представляє собою ПЗ, розроблене компанією Cisco для навчання основам мережевих підключень та дослідів з ними. Така програма забезпечує чудовою можливістю проводити реалістичне моделювання завдяки великій кількості пристроїв та компонентів, які там доступні. Це дає змогу вчитись будувати мережеві схеми, налаштовувати їх, а також дає досвід по розробці плану дій для усунення неполадок при підключеннях.

Дане програмне середовище Packet Tracer налічує наступний перелік переваг:

- розроблене ПЗ наскільки доступно і можливо навчає реальним процесам налаштування мереж, за рахунок моделювання та візуалізації, в тому числі надаючи змогу бачити роботу внутрішніх процесів і з'єднань в режимі реального часу;

- надає змогу проводити досліді різних концепцій підключень пристроїв та мереж, а також надає середовище для проведення власних експериментів або перевірки своїх знань щодо розуміння побудов мереж та інших з'єднань між пристроями;

- можливість ПРОЄКТУВАННЯ, побудови, налаштування та усунення різноманітних щодо складності мережевих несправностей в межах віртуального обладнання програмного середовища;

- підтримка щодо можливостей створення навчального матеріалу: лекцій та лабораторних робіт на основі роботи з даним ПЗ;

- програма підтримує розширений перелік функціоналу для роботи з зовнішніх застосунків за рахунок використання API. Це поліпшує функціональні можливості програмного забезпечення Packet Tracer для розробок навчальних планів, способів оцінювання а також доступність щодо взаємодії з реальним обладнанням [29].

На рис. 4.1 представлено приклад використання програмного забезпечення Cisco Packet Tracer.

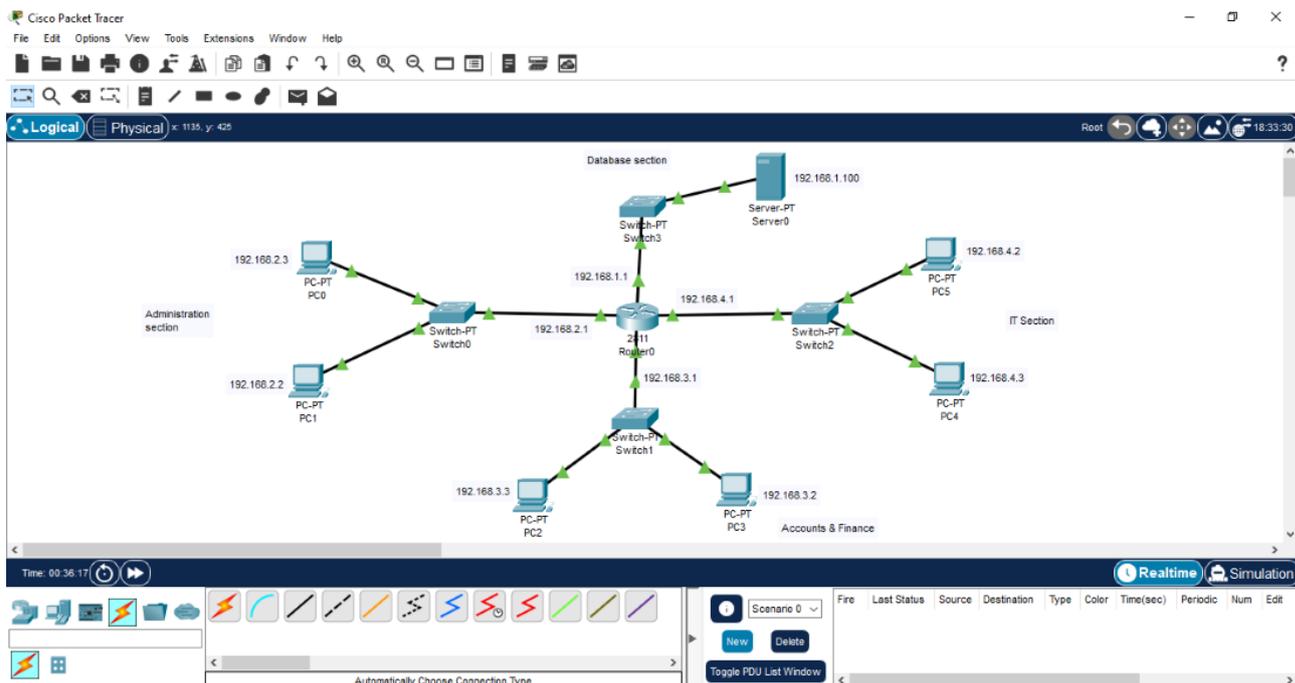
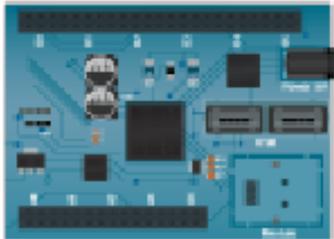
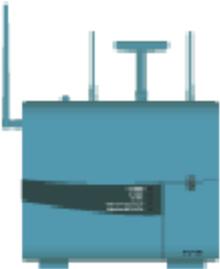


Рис. 4.1 Інтерфейс програмного середовища ПЗ Cisco Packet Tracer

4.2 Вибір компонентів для побудови системи клімат-контролю в Cisco Packet Tracer

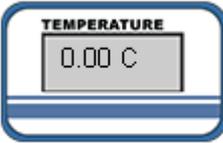
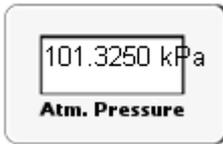
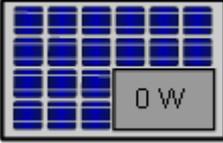
Таблиця 4.1

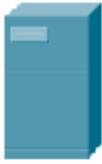
Перелік використаних компонентів при розробці моделі в Packet Tracer

Назва	Компонент з застосунку	Значення компоненту в програмному застосунку
Мікроконтролер (MCU-PT)		Плата MCU. В реальності має подібність до плати Arduino
Home Gateway (DLC100)		Має дротове підключення Ethernet та бездротову точку доступу

Продовження таблиці 4.1

<p>Смартфон</p>		<p>З'єднується з мережею бездротовим способом. За його допомогою можна прокодити керування та моніторинг IoT-пристроїв</p>
<p>Ноутбук</p>		<p>З'єднується з мережею дротовим та бездротовим способом. За його допомогою можна прокодити керування та моніторинг IoT-пристроїв</p>
<p>Температурний сенсор</p>		<p>Зчитує числові значення температури програмного простору</p>
<p>Радіаторна батарея, з нагрівачим компонентом</p>		<p>Впливає на збільшення температури в програмованому просторі зі швидкістю 10°C на годину</p>
<p>Кондиціонер, з охолоджуючим компонентом</p>		<p>Впливає на зменшення температури в програмованому просторі зі швидкістю -10°C на годину</p>

Температурний монітор		Відображає числові значення визначеної температури навколишнього середовища
Вимірювач атмосферного тиску		Відображає числові значення визначеного атмосферного тиску
Сприклер		Впливає на підвищення рівню води в програмованому просторі зі швидкістю 0,1 см на секунду
Вимірювач рівню води		Виводить на монітор числові значення визначеного рівня води
Вимірювач вологості повітря		Виводить на монітор числові значення відсотку вологості навколишнього середовища
Детектор вітру		За рахунок здійсненні руху вітрозахоплюючих елементів показує наявність протягу вітру
Вентилятор		Впливає на підвищення швидкості вітру, зниження рівню вологості і зменшення температури навколишнього середовища
Сонячна панель		Поглинає виявлені в програмованому просторі сонячні промені, які перетворює на електроенергії

Акумулятор		Резервне живлення пристроїв. Може заряджатися від сонячної панелі
Сервер		Має роль IoT Server в даній системі. Потрібен для обробки запитів та передачі даних на інші пристрої в межах локальної мережі або через глобальну мережу Інтернет
Комутатор		Виконує з'єднання кількох вузлів мережі в межах одного сегменту

4.3 Розгортання системи клімат-контролю в теплиці та службовому приміщенні

Розпочинається шлях синхронізації даних, завдяки яким здійснюються обробка даних для подальшого моніторингу й керування IoT-пристроями з хмарного середовища з налаштованого серверу і комутатора, які знаходяться як представлено на рис. 4.2 в віддаленому дата-центрі.



Рис. 4.2 Побудована мережа для серверу та комутатору в віддаленому серверному приміщенні

Наступним є необхідність з'єднання інших пристроїв на території теплиці. Таким чином, як зображено на рис. 4.3, вже встановлені в службовому приміщенні пристрої мають мережеве підключення, принцип роботи якого можна пояснити наступним чином: з'єднання з віддаленим сервером надходить через домашній шлюз. Звідти, завдяки налаштуванню бездротової мережі здійснюється мережеве з'єднання з пристроями, в тому числі з тими, які знаходяться поблизу в теплицях. Додатково в домашньому шлюзі було налаштовано під'єднання пристроїв з теплиці поблизу для транслявання їм бездротової мережі для зв'язку з ними до IoT Server по IP-адресі.

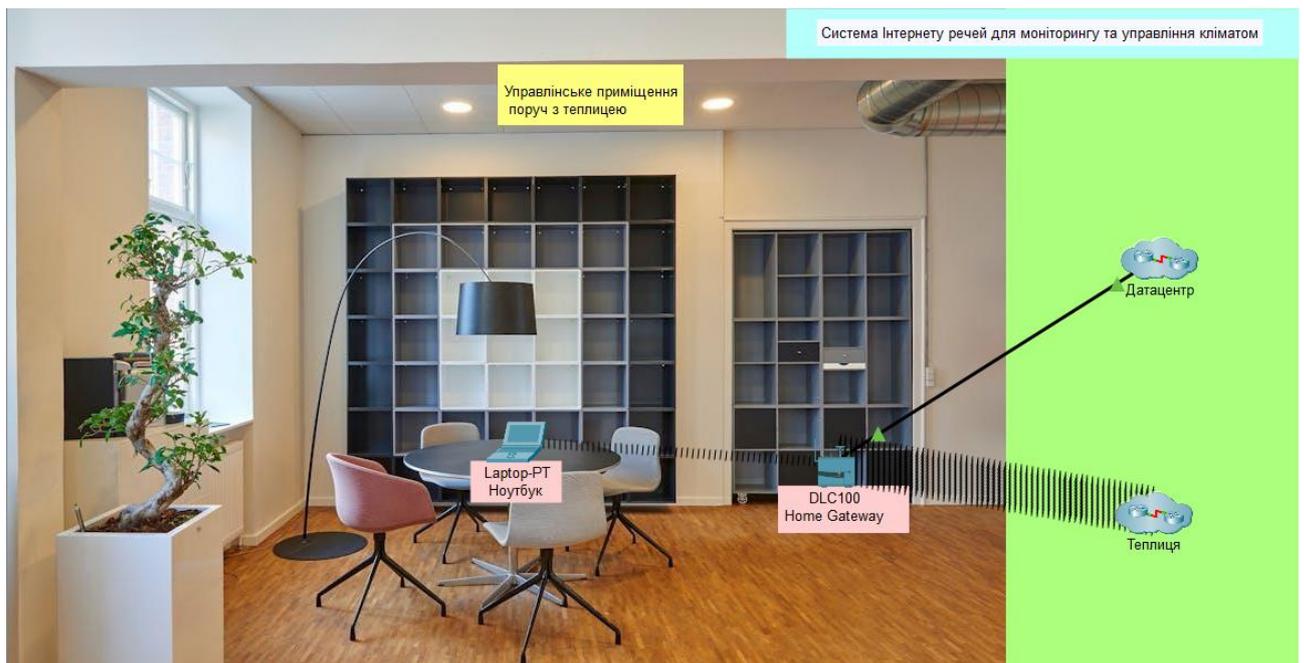


Рис. 4.3 Управлінське приміщення на території поруч з теплицями, в якому розташований шлюз, як передатчик мережі з дата-центру та ноутбук

Датчики та приладу, розташовані в теплиці на рис. 4.4, датчики проводять вимірювання різних параметрів клімату, в той час як виконавчі прилади вносять вплив в зміну параметрів клімату, а саме вологість повітря та ґрунту, швидкість вітру та температуру.

Рис. 4.4 та 4.5 відображають протилежні стани працездатності IoT-системи, за яких спрацьовують ті або інші виконавчі пристрої. Тому, на рис. 4.4 позначено наступним чином: в теплиці відсутній протяг, через що вентилятор увімкнено, а через нижню від комфортної норми температуру – в цей же час джерело тепла забезпечує підігрів, полив ґрунту триває до відповідного дозволеного рівня води в ґрунті, вслід чого спрацює датчик рівня води та вимкне полив ґрунту. На рис. 4.5

триває протилежний сценарій, де в теплиці вже є протяг вітру, через що вентилятор вимкнений, температура в теплиці перевищила норму, тому підігрів вимкнено і ввімкнено охолодження кондиціонером, а також через досягнення міри рівню поливу води – спринклер для поливу вимкнено.

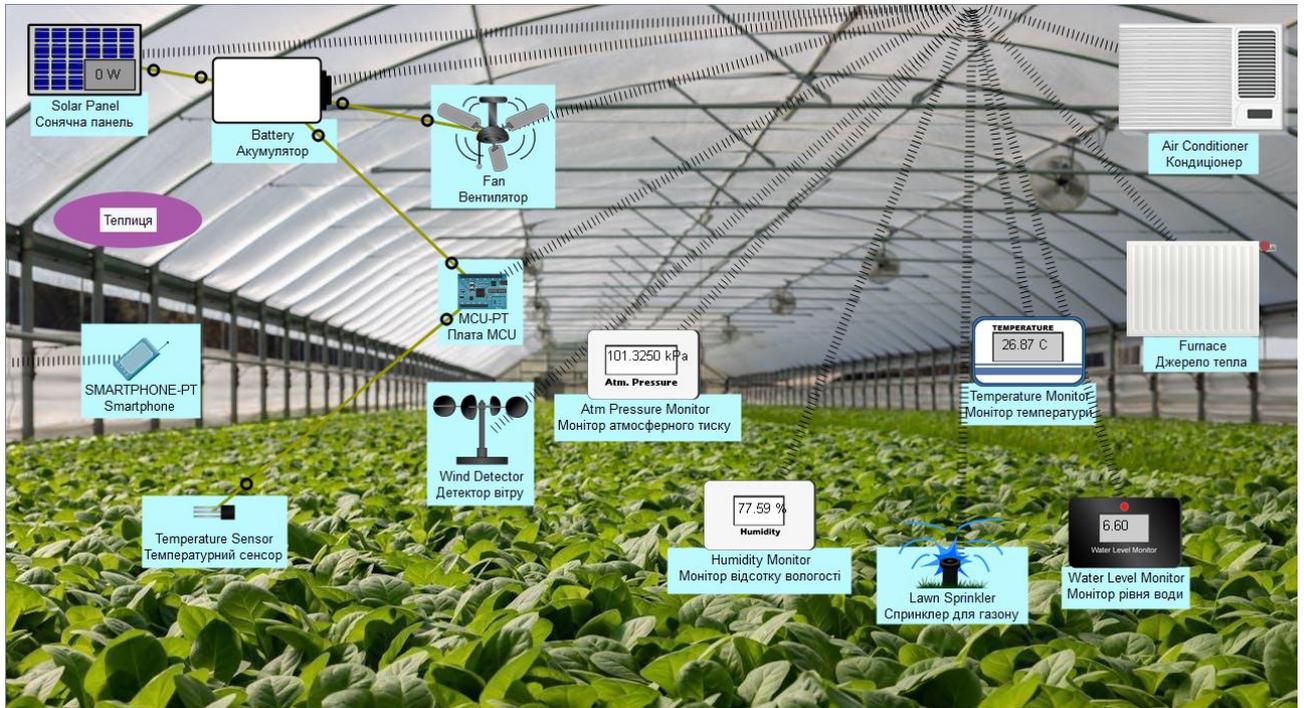


Рис. 4.4 Перший сценарій роботи IoT системи в теплиці

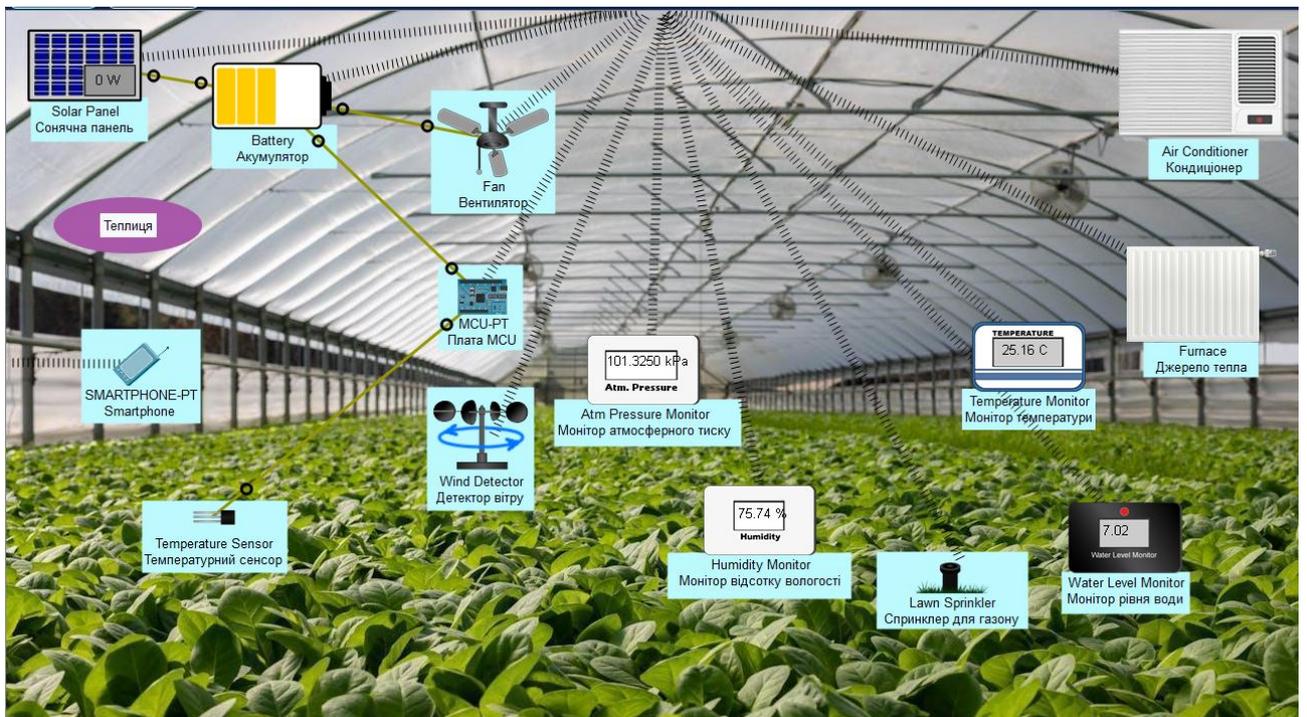


Рис. 4.5 Другий сценарій роботи IoT системи в теплиці

Задля виконання необхідних певних функцій виконавчими пристроями, виконано задання деяких вказівок в веб-ресурсі на таблиці керування пристроями в межах ПЗ Cisco Packet Tracer. В таблиці на рис. 4.6 зазначено, що дані, які отримують пристрої, використовуються як умова для початку роботи, зміни режиму або завершення роботи виконавчих пристроїв, згідно їх відповідності до отримуваних даних з датчиків.

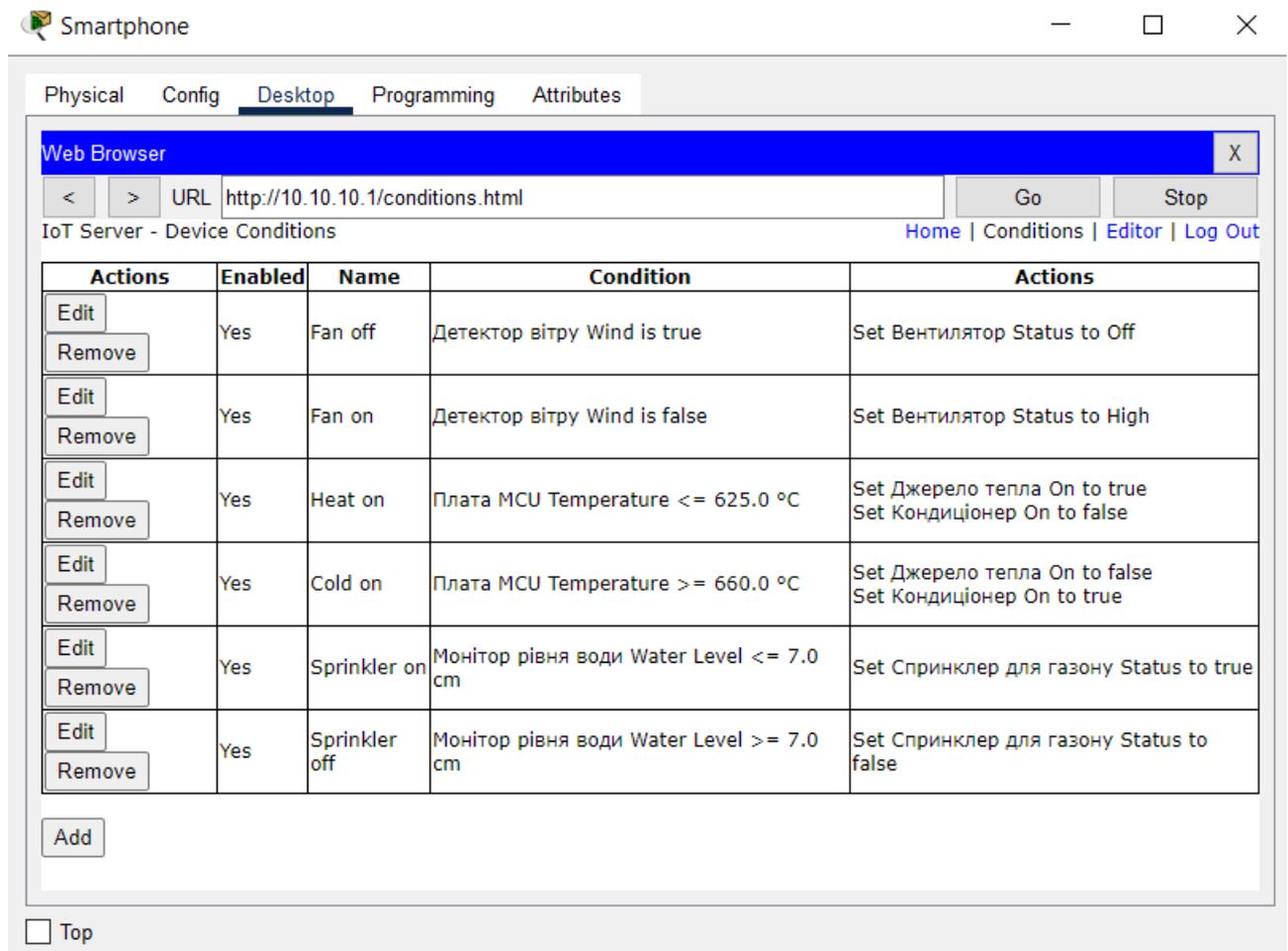


Рис. 4.6 Таблиця керування з заданими умовами для виконавчих приладів

Моніторинг а також ручне керування функціоналом приладів в Cisco Packet Tracer доступно на домашній сторінці сайту IoT Server, де відображено всі наявні прилади та IoT-датчики, як можна побачити на рис. 4.7. Також, на даній, окрім можливості перегляду показників від вимірювань з IoT-датчиків, є можливість безпосередньо в цьому ж інтерфейсі здійснювати ручне ввімкнення або вимкнення виконавчих пристроїв, а випадку з вентиляцією – задати швидкість обертання вентиляторів.

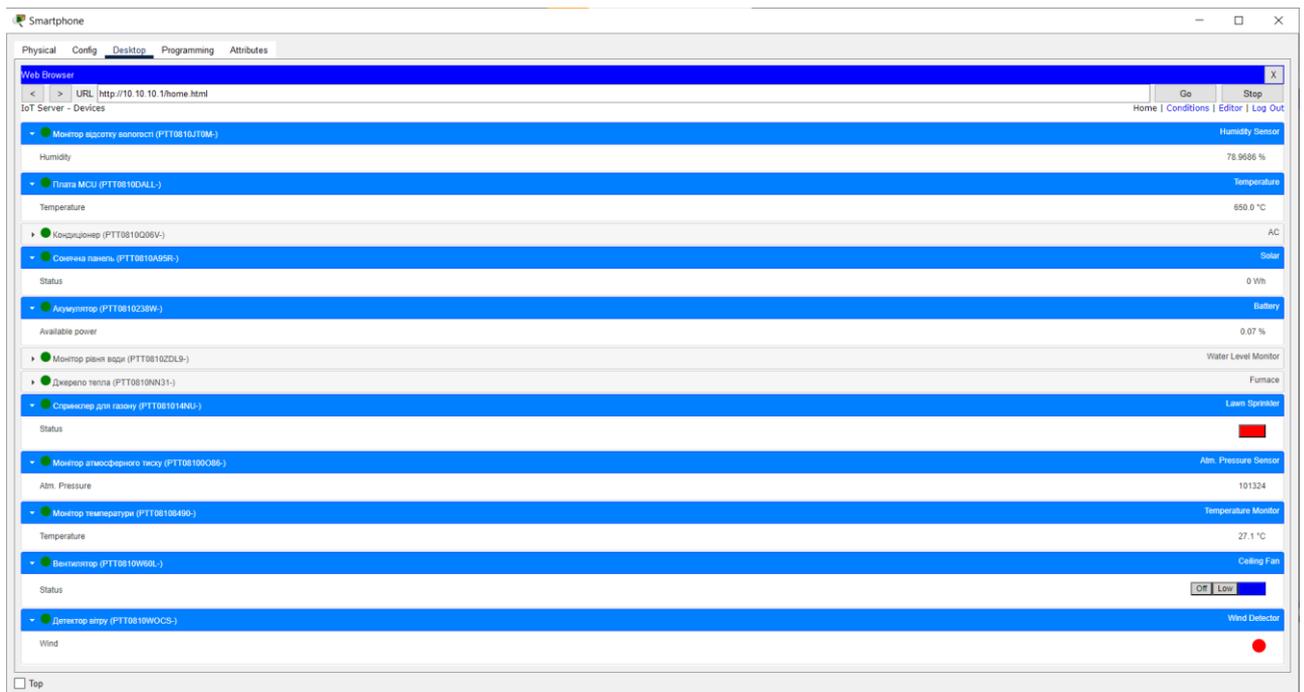


Рис. 4.7 Веб-сторінка для моніторингу кліматичних показників та ручного керування виконавчими приладами, що розміщені в теплиці

Вхід на веб-сторінку IoT Server виконується за вказаною IP-адресою може бути виконаним як з телефону та ноутбуку, так і по дротовому з'єднанню з домашнім шлюзом до настільного комп'ютеру, а також при під'єднанні безпосередньо до серверу в дата-центрі програмного середовища Cisco Packet Tracer.

Вимірювання температури в даній системі були здійснені завдяки датчику температури, що був під'єднаний до контролеру MCU. Плата контролеру забезпечувала живлення датчику та обробку отриманих від датчика даних, які передавались в подальшому на IoT Server, за рахунок використання в контролері наступного заданого коду:

```
function setup() {
  IoEClient.setup({
    type: "Temperature",
    states: [
      {
        name: "Temperature",
        type: "number",
        unit: "°C",
```

```
    imperialUnit: "°F",
    toImperialConversion: "x*1.8+32",
    toMetricConversion: "(x-32)/1.8",
    decimalDigits: 1
  }
});
}

function loop() {
  var Temperature = analogRead(A1);

  IoEClient.reportStates([Temperature]);
  delay(500);
}
```

5 СТВОРЕННЯ МОДЕЛЬОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ API

5.1 Визначення щодо використання технології API та мови програмування Python

Інтерфейс прикладного програмування (API) – являє собою набір правил й протоколів, які дають змогу різноманітним програмним застосункам комунікувати та виконувати взаємодію між собою. API працюють над визначенням методів та форматів даних, стосовного того які із застосунків здатні користуватися ним для запиту та обміну даними. Логіка роботи, яка представлена на рис. 5.1, полягає в тому, що для отримання даних з веб-серверу, клієнтському застосунку необхідно ініціювати запит, на що сервер відповість даними на цей запит. API працює по принципу мостів, оскільки забезпечують безперебійність обміну даними та функціоналу, паралельно покращуючи сумісність між різними програми.

Для роботи з даними API застосовується також мова JSON, яка є ключовою для даної технології через свою поширеність як формату, який API використовує для обміну даними, таких як заголовки новин, зображення і тексти.

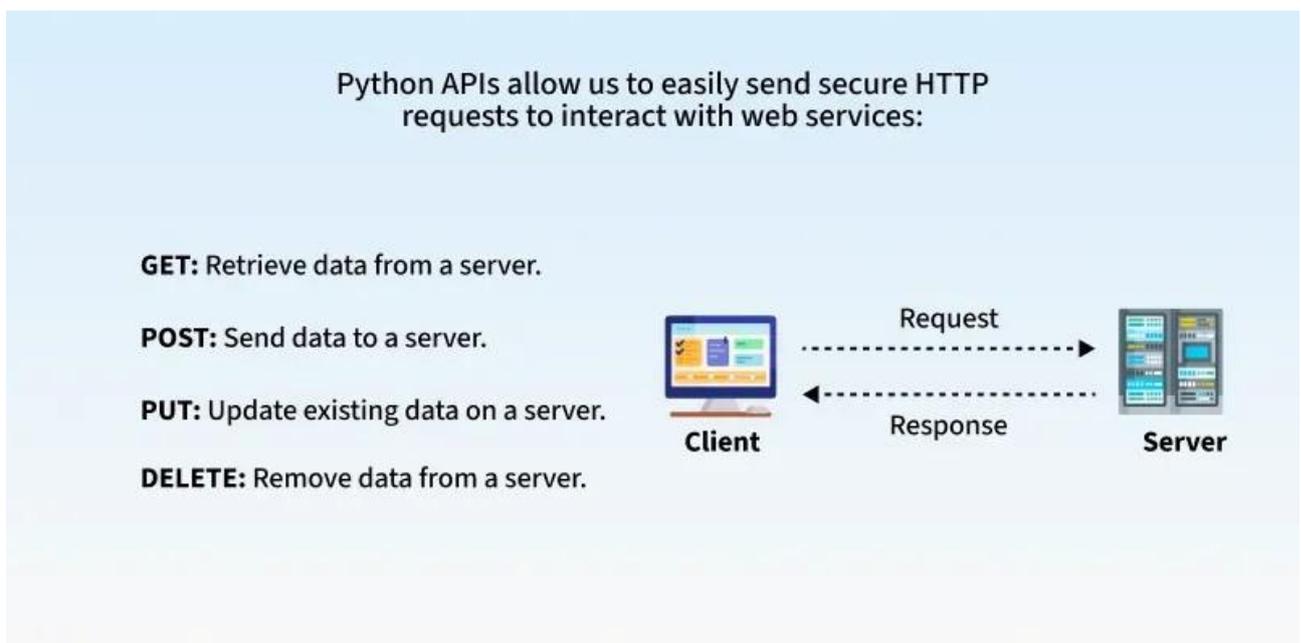


Рис. 5.1 Покрокова схема роботи API по відправленим запитам захищеного HTTP, що в свою чергу являється інтерактивним веб-сервісом

Використання API замість статичних файлів даних, сприяє наступним перевагам:

- *оновлення інформації в режимі реального часу*. API надає інформацію в режимі реального часу, що постійно оновлюється, так як погода, ціни на їжу або скачки валют крипто-бірж;

- *ефективність застосування розмірних даних*. Завдяки API відбувається отримання лише певних необхідних даних, що в свою чергу звільняє від зайвого навантаження для завантаження одразу всіх великих по розмірності даних, наприклад в форматах CSV-файлів;

- *специфікація*. API дають змогу проводити цільові запити, з мінімізацією непотрібного передавання даних [30].

Python – являється інтерпретованою, об'єктно-орієнтованою мовою програмування, високого рівня розуміння із динамічною семантикою. Ця мова застосовується для веб-розробок на боці серверу, в розробках програмного забезпечення а також є популярною для легких застосунків, при розробках із штучним інтелектом, при аналізі даних а також для наукових обчислень.

Особливість щодо гнучкості мови програмування Python полягає в її динамічній типізації, яка будучи особливо гнучкою прибирає жорсткі правила, які недоступні для подолання іншими мовами програмування. Подолання цих правил мовою Python надає більшу гнучкість для вирішення складнощів при розробках завдяки різним методам.

Серед недоліків особливо відмічається непроста підтримка розробок на цій мові програмування. Деякі команди Python можуть мати декілька значень в залежності від контексту, оскільки Python є мовою програмування на основі динамічної типізації. Також, підтримка додатків на мові Python в міру зростання функціоналу та складності зазвичай стає більш складною, особливо під час процедур пошуку коду та виправлення помилок. Тому для користувачів мови Python виникатиме необхідність в більшому досвіді щодо розробок коду.

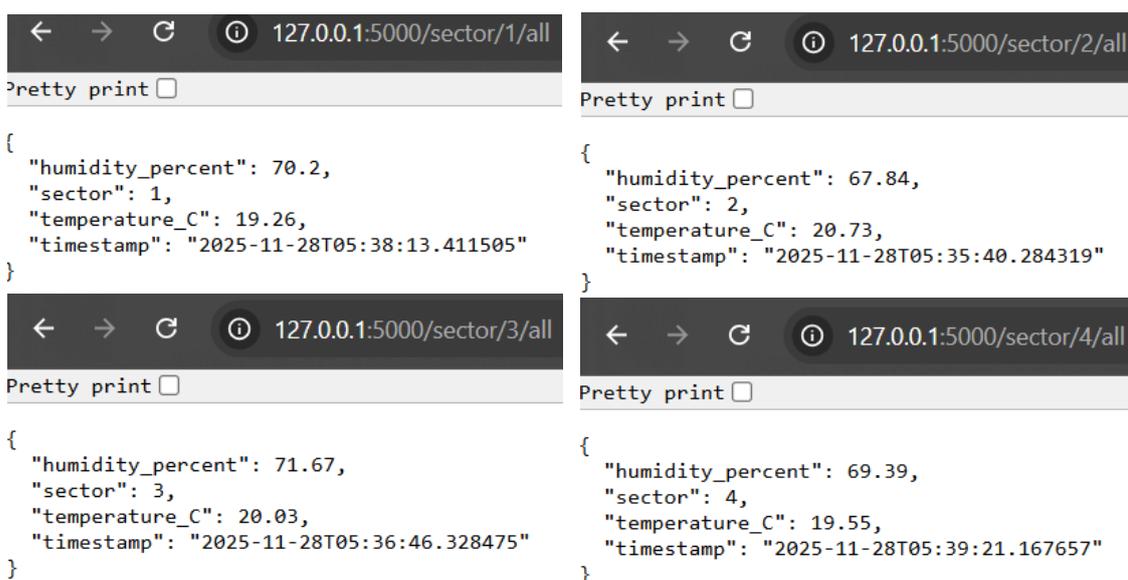
Швидкість роботи коду – ще один недолік мови Python. Гнучкість коду через динамічну типізацію потребує великої кількості посилань, для досягнення правильних значень, через що продуктивність значно уповільнюється [31].

5.2 Побудова запиту для створення модельованих показників клімату на основі технології API з використанням мови програмування Python

В межах дипломної роботи було створено програмний макет IoT-системи моніторингу мікроклімату в теплиці. Його ідея полягає в моделюванні роботи сегментованої інтелектуальної тепличної інфраструктури, де розглядались чотири сектори теплиць.

Дана розробка не потребувала наявності фізичних сенсорів, оскільки вимірювані параметри здобуті мінливим модельованим простором, на основі оптимальних меж температури та вологості в теплицях для більшості згаданих культур, а саме: вологість близько 70%, а температурний показник близько 18-24 градусів по Цельсію [32].

Архітектура даної розробки включає в себе використання моделі секторної структури теплиці, розробка якої проводилась на діаграмах в другому розділі даної дипломної роботи. Дана розробка базується на мові програмування Python з використанням модулю Flask та технології API. Було розроблено шляхом програмування модель генерування мікрокліматичних даних з використанням відхилень показників для кожного сектору як імітації повітряної конвекції всередині модельованої теплиці. Результати отримання показників по чотирьом теплицям поділених на сегментовані сектори, можна побачити на рис. 5.2.



```
127.0.0.1:5000/sector/1/all
Pretty print
{
  "humidity_percent": 70.2,
  "sector": 1,
  "temperature_C": 19.26,
  "timestamp": "2025-11-28T05:38:13.411505"
}

127.0.0.1:5000/sector/2/all
Pretty print
{
  "humidity_percent": 67.84,
  "sector": 2,
  "temperature_C": 20.73,
  "timestamp": "2025-11-28T05:35:40.284319"
}

127.0.0.1:5000/sector/3/all
Pretty print
{
  "humidity_percent": 71.67,
  "sector": 3,
  "temperature_C": 20.03,
  "timestamp": "2025-11-28T05:36:46.328475"
}

127.0.0.1:5000/sector/4/all
Pretty print
{
  "humidity_percent": 69.39,
  "sector": 4,
  "temperature_C": 19.55,
  "timestamp": "2025-11-28T05:39:21.167657"
}
```

Рис. 5.2 Результати кліматичних показників з використанням конвекції для моделювання відхилень показників чотирьох теплиць, поділених на сегменти

Нижче був розроблений код, завдяки якому отримані результати вимірювань вище. Цей код на мові програмування Python створює серверний застосунок з використанням технології Rest API на розширенні Flask, який в свою чергу виконує наступний функціонал: прийом HTTP-запитів відносно виклику власного розробницького серверу, на якому містяться модельовані показники за посиланням в браузері, наприклад <http://127.0.0.1:5000/sector/3/all> , що означає отримання всіх показників змодельованих параметрів про клімат з третьої теплиці в форматі даних JSON.

```
from flask import Flask, jsonify
import math
import random
import datetime

app = Flask(__name__)

BASE_TEMP = 20.0
CONVECTION_RATE = 0.2
TEMP_NOISE = 0.5
HUMIDITY_BASE = 70.0
HUMIDITY_TEMP_FACTOR = 0.5

def simulate_temperature():

    target = BASE_TEMP + random.uniform(-3, 3)

    temp = BASE_TEMP + CONVECTION_RATE * (target - BASE_TEMP)

    temp += random.uniform(-TEMP_NOISE, TEMP_NOISE)
    return round(temp, 2)

def simulate_humidity(temperature):

    delta = (temperature - BASE_TEMP) * HUMIDITY_TEMP_FACTOR
    humidity = HUMIDITY_BASE - delta

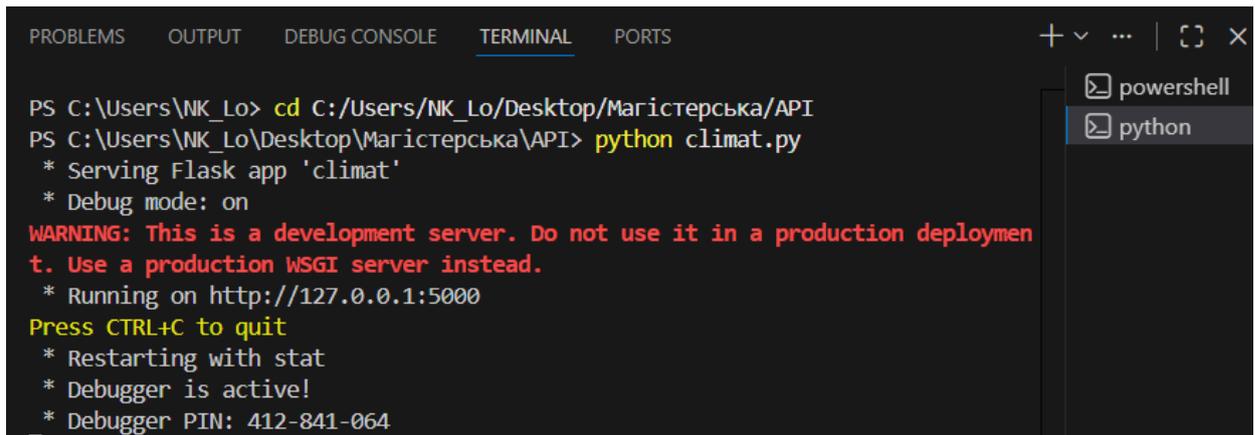
    humidity += random.uniform(-2, 2)

    humidity = max(0, min(100, humidity))
    return round(humidity, 2)

@app.route("/sector/<int:sector_id>/all")
def get_all(sector_id):
    temp = simulate_temperature()
    hum = simulate_humidity(temp)
    return jsonify({
```

```
    "sector": sector_id,  
    "temperature_C": temp,  
    "humidity_percent": hum,  
    "timestamp": datetime.datetime.now().isoformat()  
})  
  
if __name__ == "__main__":  
    app.run(debug=True)
```

Результат в терміналі під час запуску коду можемо розглянути на рис. 5.3.



```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS  
PS C:\Users\NK_Lo> cd C:/Users/NK_Lo/Desktop/Мaгiстерська/API  
PS C:\Users\NK_Lo\Desktop\Мaгiстерська\API> python climat.py  
* Serving Flask app 'climat'  
* Debug mode: on  
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment.  
Use a production WSGI server instead.  
* Running on http://127.0.0.1:5000  
Press CTRL+C to quit  
* Restarting with stat  
* Debugger is active!  
* Debugger PIN: 412-841-064
```

Рис. 5.3 Вивід терміналу при успішному запуску коду, в якому міститься інформація про спосіб звернення до цього серверу: <http://127.0.0.1:5000>

Дана розробка є початковим форматом і може бути покращеною та розширеною під більшу кількість параметрів для проведення модельованих вимірювань показників теплиці, які змінюються при штучній конвекції в кожній із теплиць. Така модель також дала змогу перевірити роботу змодельованої сегментації мережі, шляхом зміни цифр секторів для перевірки їхньої наявності та різниці в показниках.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи було досліджено, обґрунтовано та створено віртуальну кластерно-сегментовану модель IoT-мережі для проведення моніторингу та керування показниками клімату в теплицях. Така модель мережі відображає логіку побудови сучасних розподілених систем збору даних. Дана розроблена архітектура передбачає розділення мережі на окремі кластери, де всередині кожного формується бездротова сенсорна підмережа. Такий підхід дає змогу мінімізувати залежність між сегментами, а також забезпечує стабільне функціонування мережі в разі відмови окремого кластеру мережі.

На основі аналізу були розглянуті бездротові мережеві технології, серед яких Wi-Fi HaLow, LoRaWAN, Bluetooth LE виявились більш доцільними для впровадження їх в мережах IoT систем. Також, слід зазначити, що мережева технологія Bluetooth LE може працювати в поєднанні з технологією Wi-Fi, де дрібні операції бере на себе, цим самим заощаджуючи заряд IoT-пристроїв. Такий підхід дозволяє поєднувати декілька бездротових мереж в межах одного проєкту, що матиме більшу відмово-стійкість в роботі системи.

Також були розглянуті основні компоненти системи, які можна використати для побудови реальної системи клімат-контролю в теплиці, що дає підкреслити істинність модельованої системи.

На основі сучасних підходів щодо опису моделей були сформовані структурні шаблони: клієнтського застосунку, шлюзів, базової станції, бази даних та пулу кластерів. Розробка різноманітних діаграм, надала змогу підкреслити порядок роботи кластерно-сегментованої мережі з її різних ракурсів. Серед них фундамент в розумінні кластеризації мережі було закладено в побудованій архітектурі сенсорної мережі, яка дала змогу виокремити дану ідею в межах дворівневого розуміння мережі, а також в діаграмі послідовності, завдяки якій був описаний процес одного із модельованих випадків щодо виконання запиту користувача на отримання даних із певного кластеру (теплиці) про кліматичні показники.

Було побудовано модель в програмному середовищі Cisco Packet Tracer, що дало вичислити поведінку системи та відобразити можливості її автоматизації, де при роботі з автоматичним регулюванням клімату були задіяні в парі датчики та виконавчі пристрої з відповідними показниками.

Для запропонованої архітектури кластерно-сегментної мережі було створено алгоритм, мовою програмування Python, що з використанням технології API на базі Flask запустив локальний сервер, на якому був поділ на модельовані сегменти. Попередньо було проаналізовано середню оптимальну температуру та вологість для більшості вирощуваних рослинних культур в теплицях, на основі якої був побудований даний алгоритм, який в тому числі генерував ймовірні відхилення через різний потік вітру і різні зони вимірювання в кожній із теплиць, в результаті чого всі 4 теплиці показали приблизно схожі результати показників температури та вологості.

Підсумовуючи, розроблена архітектура та оцінена ефективність IoT-системи з використанням кластерно-сегментованої мережі є результатом досягнення мети даної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коломієць Н. «Різноманітність сучасних методів керування поливом ґрунту для систем мікроклімату». *«Сучасний стан та перспективи розвитку IoT»* : VI Науково-техн. конф., м. Київ, 15 квіт. 2025 р.
2. Коломієць Н. «Огляд засобів електричного живлення систем IoT для мікроклімату». *«Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу»* : III всеукр. науково-техн. конф., м. Київ, 18 листоп. 2025 р.
3. Технології BLE та ZigBee в IoT-системах керування кліматом: порівняльний огляд і перспективи застосування / Н. Коломієць та ін. *Зв'язок*. 2025. № 3. С. 22–28.
URL: <https://con.duikt.edu.ua/index.php/communication/article/view/2873>.
4. IoT: Explanation of the Internet of Things. *AI Digital*.
URL: <https://www.ai.digital/knowledge-hub/iot-explanation-of-the-internet-of-things/>.
5. What is IIoT (Industrial Internet of Things)?. *AI Digital*.
URL: <https://www.ai.digital/knowledge-hub/what-is-iiot-industrial-internet-of-things/#:~:text=The%20abbreviation%20IIoT%20stands%20for%20Industrial%20Internet,considered%20a%20key%20technology%20of%20Industry%204.0.>
6. Contributors to Wikimedia projects. Machine to machine - Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_to_machine.
7. What is Wi-Fi and how does it support IoT?. *u-blox*. URL: <https://www.u-blox.com/en/technologies/wi-fi>.
8. What is Wi-Fi HaLow (802.11ah)? A Guide to the Future of IoT | Halow. *Wi-Fi Modules, Antennas & Communication Solutions / Halow*.
URL: <https://halow.com.ua/en/blog/37/>.
9. Фактори, які впливають на покриття мережі LoRaWAN - Jooby. *Jooby*.
URL: <https://jooby.eu/uk/blog/faktori-yaki-vplivayut-na-pokrittya-merezhi-lorawan/>.

10. Hardesty G. Wi-Fi HaLow Long-Range Wireless IoT OutPerforms LoRa, NB-IoT. *Antennas, Antenna Cables, Antenna Mounts, Enclosures*. URL: <https://www.data-alliance.net/blog/wi-fi-halow-technology-a-game-changer-for-iot-connectivity>.

11. Consilia. What Is Bluetooth® Low Energy (BLE) and Its Applications in 2024. *Consilia: Accelerate your product development. Work with us*. URL: <https://www.consilia-brno.com/what-is/what-is-ble-and-use-cases>.

12. Bluetooth Low Energy (BLE) for IIoT | Technical Guide » Acal BFi. *Acal BFi / Advanced solutions for tomorrows technologies*. URL: <https://www.acalbfi.com/news-and-insights/bluetooth-low-energy-ble-for-industrial-iot/>.

13. BLE (Bluetooth Low Energy): What Is BLE? | 7SIGNAL. *7SIGNAL / The Leader in Enterprise Wi-Fi Optimization*. URL: <https://www.7signal.com/ble-bluetooth-low-energy>.

14. Explore What is Arduino Uno: All details to know about | Robu.in. URL: <https://robu.in/what-is-arduino-uno/>.

15. Buy Soil Hygrometer Humidity Detection Moisture Sensor For Arduino. *India's Electronic Components Stores for all Electronic Hobbyists*. URL: <https://electronicspices.com/product/soil-hygrometer-humidity-detection-moisture-sensor-for-arduino?srsId=AfmBOopFaKB4WhRYCjSYPgw5Fqh7sQGLyv8w2F2LJywGpNRCRgvgdxhK>.

16. inVENTer Easy Connect e16 – Wireless Ventilation Controller (4 Zones). *RADON SHOP*. URL: <https://www.radonshop.com/inventer-easy-connect-e16-wireless-ventilation-controller-en>.

17. Zone Smart Sprinkler Controller with Local Weather Intelligence. *Amazon*. URL: <https://www.amazon.com/Sprinkler-Controller-Intelligence-Atmosphere-Irrigation/dp/B0DPMTMKNY?th=1>.

18. An Overview of Secure Network Segmentation in Connected IoT Environments. *SCIFINITI*. 2024. 2024.0004.

URL: <https://doi.org/10.69709/CAIC.2024.193182>.

19. Wireless Sensor Network Architecture : Types, Working & Its Applications. *ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students*. URL: <https://www.elprocus.com/architecture-of-wireless-sensor-network-and-applications/>.

20. Учасники проєктів Вікімедіа. Вузол (інформатика) – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Вузол_\(інформатика\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вузол_(інформатика)).

21. Contributors to Wikimedia projects. Sensor node. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node#:~:text=A%20sensor%20node%20\(also%20known,architecture%20of%20the%20sensor%20node](https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node#:~:text=A%20sensor%20node%20(also%20known,architecture%20of%20the%20sensor%20node).

22. Yasar K. What Is a Wireless Sensor Network (WSN)?. *Search Networking*. URL: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/What-is-a-wireless-sensor-network-WSN>.

23. Каграманова Ю. Як будувати UML-діаграми. Розбираємо три найпопулярніші варіанти. *DOU*. URL: <https://dou.ua/forums/topic/40575/>.

24. Field Monitoring for Farms - akenza. *IoT For All Solutions Marketplace - IoT Smart Solutions Platform*. URL: <https://marketplace.iotforall.com/solution/akenza-field-monitoring-for-farms>.

25. UNNATI 9 GROUP - IoT- Based Automation and Climate Control. URL: <https://www.unnati9group.com/services/iot-based-automation-and-climate-control>.

26. Mind map template | MindManager. URL: <https://www.mindmanager.com/en/templates/mind-map/>.

27. What is a Context Diagram and How to Create One? | Creately. URL: <https://creately.com/guides/context-diagram-tutorial/>.

28. SyBooks Online (Archive). URL: https://infocenter-archive.sybase.com/help/index.jsp?topic=/com.sybase.stf.powerdesigner.docs_12.1.0/html/daug/daugp158.htm.

29. Cisco Packet Tracer. *Cisco Networking Academy: Learn Cybersecurity, Python & More*. URL:

<https://www.netacad.com/courses/packet-tracer/faq#:~:text=Cisco%20Packet%20Tracer%20is%20a,for%20multiuser%20collaboration%20and%20competition>.

30. Python API Tutorial: Getting Started with APIs - GeeksforGeeks. *GeeksforGeeks*. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/python/python-api-tutorial-getting-started-with-apis/>.

31. Як у теплиці підтримувати правильну вологість. «ОСУШУВАЧІ ПОВІТРЯ». URL: [https://osushuvachi.com.ua/yak-u-teplici-pidtrimuvati-pravilnu-vologist#:~:text=Наслідки%20підвищеної%20вологості%20у%20теплиці,\(особливо%20томатів%20та%20картоплі\)](https://osushuvachi.com.ua/yak-u-teplici-pidtrimuvati-pravilnu-vologist#:~:text=Наслідки%20підвищеної%20вологості%20у%20теплиці,(особливо%20томатів%20та%20картоплі)).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)