

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО – НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра комп'ютерної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методика побудови IoT-рішення для сенсорних мереж із
застосуванням ШІ»

на здобуття освітнього ступеня магістр
за спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерні системи та мережі
(назва)

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

(підпис)

Давид Подуран
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Виконав: здобувач вищої освіти гр.КСДМ-61

Подуран Давид
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: Наталія ЛАЩЕВСЬКА
к.т.н., доцент, (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент: _____
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Напрямок підготовки 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру Комп'ютерної інженерії

Наталія ЛАЩЕВСЬКА

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

“ ” 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Подурану Давиду Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Методика побудови IoT-рішення для сенсорних мереж із застосуванням III»

Керівник роботи Лашевська Наталія Олександрівна – доцент кафедри комп'ютерної інженерії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 15.10.24 року № 320.

2.

Строк подання студентом роботи 29.12.2024 року

3.

Вхідні дані до роботи:

3.1. Вимоги до кваліфікаційної роботи магістра з актуальних завдань.

3.2. Нормативні матеріали (стандарти).

3.3. Технічні вимоги.

3.4. Науково-технічна література з питань, пов'язаних з темою роботи.

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

4.1 Аналіз підходів до побудови iot рішення для високопродуктивних сенсорних мереж;

4.2 Аналіз технологій побудови iot рішення в високопродуктивних сенсорних мережах;

4.3 Метод побудови iot рішення для високопродуктивних сенсорних мереж

із застосуванням bigdata технологій;
4.4 Теоретичне створення іот рішення за допомогою ІІІ ;
4.6 Висновки

5. Графічні матеріали.

1. Презентація

6. Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	10.10-12.10.2024	Виконано
2	Аналіз підходів до побудови іот рішення для високопродуктивних сенсорних мереж	12.10-16.10.2024	Виконано
3	Аналіз технологій побудови іот рішення в високопродуктивних сенсорних мережах	16.10-22.10.2024	Виконано
4	Метод побудови іот рішення для високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням bigdata технологій	22.10-27.10.2024	Виконано
5	Теоретичне створення іот рішення за допомогою ІІІ	27.10-31.10.2024	Виконано
7	Вступ, висновки, реферат	31.10-10.12.2024	Виконано
8	Попередній захист роботи	10.12-20.12.2024	Виконано
9	Подання роботи в деканат	20.12-29.12.2024	Виконано

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Подуран Д.В. _____
(прізвище та ініціали)

Лащевська. Н.О. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня магістр: 88 стор., 34 рис., 21 табл., 24 джерел.

Мета роботи: розробка методу побудови IoT рішення для високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням Big Data та III , дослідження енергетичної ефективності.

Об'єкт дослідження: процес побудови високопродуктивної сенсорної мережі з застосування великих даних.

Предмет дослідження: БСМ з застосуванням великих даних на основі концепції Інтернету Речей.

В представлений роботи розглянуто концепцію Інтернету Речей, наведено основні сфери застосування та представлений розвиток технології. Показана актуальність застосування великих даних в безпроводових сенсорних мережах, наведені особливості застосування Big Data та III в високопродуктивних сенсорних мережах. Розроблено структурну схему безпроводової сенсорної мережі з застосування великих даних на основі концепції Інтернету Речей та досліджено питання енергетичної ефективності розробленого рішення.

Ключові слова: безпроводові сенсорні мережі, великі дані, Інтернет Речей, енергетична ефективність, електроенергія.

ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 88 pages, 34 figures, 21 tables, 24 sources.

Purpose: to develop a method of building IoT solutions for high-performance sensor networks using Big Data technologies and AI , energy efficiency research.

Object of research: the process of building a high-performance sensor network using big data.

Subject of research: BSM with the use of big data based on the concept of the Internet of Things.

In this paper, the concept of the Internet of Things is considered, the basic spheres of application are resulted and development of technology is presented. The relevance of the use of big data in wireless sensor networks is shown, the peculiarities of Big Data application in high-performance sensor networks are given. The structural scheme of the wireless sensor network on application of big data on the basis of the concept of the Internet of Things is developed and questions of energy efficiency of the developed decision are investigated.

Keywords: wireless sensor networks, big data, Internet of Things, energy efficiency, electricity.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ ДЛЯ	
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	12
1.1 Поняття інтернету речей. Особливості високопродуктивних сенсорних	
мереж.....	12
1.2 Поняття ІоТ рішення. Підходи до побудови архітектури ІоТ.....	22
Висновки до 1 розділу.....	29
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ В	
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ.....	31
2.1 Мультиагентна технологія побудови ІоТ рішення та особливості її	
застосування в високопродуктивних сенсорних мережах.....	31
2.2 Застосування технологій BigData в ІоТ для побудови високопродуктивних	
сенсорних мереж.....	34
2.3 Порівняльний аналіз технологій. Методика порівняльного аналізу.....	52
Висновки до 2 розділу.....	61
РОЗДІЛ 3 МЕТОД ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ	
СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ BIGDATA ТЕХНОЛОГІЙ.....	63
3.1 Розробка структурної схеми ІоТ рішення	63
3.2 Особливості ІоТ рішення із застосуванням BigData технологій.....	64
3.3 Математична модель ІоТ рішення	66
3.4 Математична постановка задачі енергоефективності ІоТ рішення та її	
розв’язання	68
3.5 Комп’ютерна математична модель ІоТ рішення	81
3.6 Порівняльний аналіз результатів моделювання	88
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	90
4.1 Можливості запуску проекту.....	90

4.2 Технологічний аудит	91
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту	93
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	99
4.5 Висновки до розділу.....	101
ВИСНОВКИ	102
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	103
Додаток А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT – Internet of Things (Інтернет Речей)

БСМ – безпроводова сенсорна мережа

UID – user identifier

ШІ – штучний інтелект

WPAN - Wireless personal area network

IETF - Internet Engineering Task Force

BLE - Bluetooth Low Energy

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

ОС – операційна система

AMQP - Advanced Message Queuing Protocol

CoAP - Constrained Application Protocol

WAN - Wide Area Network

LoRaWAN - Long Range Wide Area Network

AWS - Amazon Web Services

IIoT - Industrial Internet of Things,

ЖКГ – житлово-комунальне господарство

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

MAS - Multi-agent system

ТБ - терабайти

ПБ - гетабайти

ЕБ - ексабайти

SQL - Structured Query Language

EMR - Elastic MapReduce

HDFS - Hadoop Distributed File System

HPE - Hewlett Packard Enterprise

DBA - Database administrator

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ЦОД – центр обробки даних

ВСТУП

Інтернет речей (IoT) є глобальною мережею взаємопов'язаних систем, яку активно використовують у різних галузях для автоматизації процесів, збору та аналізу даних. Це стало можливим завдяки впровадженню цифрових технологій, які змінюють як бізнес, так і суспільну діяльність. Зі зростанням кількості пристроїв, підключених до Інтернету, розвивається ділове життя, а проривні інновації в IoT допомагають боротися з глобальними викликами, такими як зміна клімату, економія ресурсів та розвиток автономного транспорту.

Технологічні досягнення, зокрема збільшення обчислювальної потужності, здешевлення сховищ даних, мініатюризація та підвищення точності сенсорів, а також зростання пропускної здатності мережі сприяють подальшому розвитку IoT. Важливу роль у цьому відіграють також технології штучного інтелекту (ШІ), які використовуються для автоматизації процесів прийняття рішень та аналізу великих обсягів даних у режимі реального часу. Однак для повного розкриття потенціалу цих технологій необхідно подолати кілька важливих проблем, включаючи складність впровадження рішень, питання безпеки та проблеми зв'язку в різних умовах експлуатації. Одним із актуальних напрямків досліджень є використання технологій Big Data та ШІ в системах IoT.

Завдяки розвитку інформаційних технологій та мікроелектроніки з'явилися нові можливості для створення надійних та недорогих мініатюрних сенсорів, які використовуються в сенсорних мережах. Ці мережі забезпечують постійний і точний аналіз параметрів об'єктів. Раніше передача даних у сенсорних мережах відбувалася через провідні системи, але з часом з'явилася необхідність у більш компактних і гнучких рішеннях.

Отже, актуальність теми дослідження обумовлена швидким розвитком інформаційних технологій, IoT, сенсорних мереж, а також інтеграцією технологій

штучного інтелекту. Основною метою роботи є розробка методу створення IoT-рішення для високопродуктивних сенсорних мереж із використанням технологій Big Data та ШІ. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання: огляд літератури з тематики IoT, аналіз методів застосування технологій Big Data і ШІ у сенсорних мережах та розробка структурної схеми IoT-рішення з урахуванням енергоефективності.

Об'єктом дослідження є процес створення високопродуктивної сенсорної мережі з використанням великих даних та штучного інтелекту, а предметом дослідження – безпроводові сенсорні мережі на базі IoT, Big Data та ШІ. Робота ґрунтується на методах аналізу, статистичних даних і порівняння. Науковою новизною є розробка алгоритму розрахунку енергоефективності, структурної схеми IoT-рішення та інтеграції ШІ для покращення продуктивності.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

1.1 Поняття інтернету речей. Особливості високопродуктивних сенсорних мереж

У цьому розділі розглянемо концепцію Інтернету речей (IoT) та проведемо аналіз основних методів його впровадження.

Інтернет речей представляє собою мережу взаємопов'язаних пристроїв, механічних систем, цифрових об'єктів, тварин або людей, які мають унікальні ідентифікатори (UID) та здатні обмінюватися даними через мережу без участі людини [1].

Ця екосистема складається з розумних пристроїв, підключених до Інтернету, які використовують вбудовані процесори, датчики та комунікаційні модулі для збору, передачі та обробки інформації. Пристрої взаємодіють один з одним, збираючи дані та надсилаючи їх через шлюзи або інші пристрої до хмарних сервісів для подальшого аналізу. Більшість операцій виконується автоматично, хоча користувачі можуть взаємодіяти з пристроями для їх налаштування або доступу до даних .

Типи підключення і протоколи, що використовуються для зв'язку між пристроями IoT, залежать від конкретного застосування. IoT також може використовувати штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання для підвищення ефективності збору даних і адаптації процесів до змінних умов.

Ця технологія полегшує повсякденне життя та роботу, дозволяючи більш ефективно управляти процесами як у бізнесі, так і в побуті. Вона дає змогу підприємствам в режимі реального часу спостерігати за роботою систем, відстежувати продуктивність обладнання, керувати логістичними операціями та підвищувати якість послуг. IoT допомагає автоматизувати процеси, знижувати

витрати та покращувати прозорість операцій.

Таким чином, IoT є однією з провідних технологій сучасності, яка продовжує активно розвиватися. Все більше компаній усвідомлюють її потенціал для підвищення конкурентоспроможності.

IoT пропонує організаціям численні переваги, які можуть варіюватися залежно від галузі, проте є й загальні переваги, такі як:

- контроль бізнес-процесів;
- підвищення продуктивності праці;
- покращення якості обслуговування клієнтів;
- інтеграція нових бізнес-моделей;
- економія ресурсів та часу;
- збільшення доходів;
- покращене прийняття бізнес-рішень.

Додаткові переваги включають доступ до даних у будь-який час з будь-якого пристрою, покращену комунікацію між підключеними пристроями, автоматизацію задач і економію ресурсів.

Деякі недоліки Інтернету речей (IoT) полягають у наступному:

- Зі зростанням кількості підключених пристроїв і обміну даними між ними збільшується ризик кібератак. Існує ймовірність, що зловмисники можуть отримати доступ до конфіденційної інформації.
- У майбутньому компанії можуть зіткнутися з необхідністю управління величезною кількістю пристроїв, що створює складнощі в зборі та обробці даних, оскільки кількість таких пристроїв може досягати мільйонів.
- Якщо в системі виникне помилка, це може призвести до збоїв у роботі всіх підключених пристроїв.
- Через відсутність єдиного міжнародного стандарту сумісності різні пристрої від різних виробників часто не можуть взаємодіяти один з одним належним чином. Це ускладнює інтеграцію IoT у різних середовищах.

Система IoT спонукає компанії переглядати свої бізнес-процеси та надає їм інструменти для вдосконалення стратегій. Найбільш поширене використання IoT спостерігається у виробничих, транспортних і комунальних галузях, де використовуються датчики та інші пристрої. Однак технологія знаходить застосування і в сільському господарстві, інфраструктурі та домашній автоматизації, що сприяє цифровій трансформації.

Наприклад, у сільському господарстві IoT допомагає фермерам автоматизувати робочі процеси. Датчики збирають інформацію про погодні умови, рівень вологості та температуру, що дозволяє оптимізувати методи ведення господарства.

Щодо інфраструктури, IoT дає можливість контролювати стан об'єктів, таких як будівлі чи мости. Це дозволяє економити ресурси, час і підвищувати ефективність робочих процесів, зокрема завдяки переходу на так звані “безпаперові” технології.

Бізнес у сфері домашньої автоматизації може активно використовувати Інтернет речей (IoT) для моніторингу та управління механічними й електричними системами в будинку. Ця технологія допомагає оптимізувати витрати енергії та ресурси, забезпечуючи власникам житла ефективний контроль над своїми системами. У більш глобальному контексті розумні міста можуть використовувати IoT для скорочення споживання енергії та зменшення відходів, що робить управління інфраструктурою більш ефективним. IoT впливає на різні галузі, включаючи охорону здоров'я, фінанси, роздрібну торгівлю та виробництво. Серед новітніх стандартів IoT варто виділити [2]:

- IPv6 для бездротових мереж низького енергоспоживання (**6LoWPAN**) – відкритий стандарт, розроблений Інженерною групою Інтернету (IETF), який дозволяє малопотужним пристроям з'єднуватися з Інтернетом за допомогою таких технологій, як 804.15.4, Bluetooth Low Energy (BLE) і Z-Wave, що особливо корисно для домашньої автоматизації.

- **ZigBee** – бездротова мережа з низьким енергоспоживанням, що підходить для промислових застосувань. Вона заснована на стандарті IEEE 802.15.4 і використовується для комунікації між різними пристроями. ZigBee Alliance також створила Dotdot – універсальну мову для IoT, що дозволяє пристроям взаємодіяти у будь-якій мережі.
- **LiteOS** – операційна система на базі Unix для бездротових сенсорних мереж. Вона підтримує смартфони, інтелектуальні виробничі системи, розумні будинки та автомобільні IoT рішення.
- **OneM2M** – стандарт обміну даними між пристроями, створений для забезпечення сумісності між різними системами IoT. Цей рівень «машина-машина» дозволяє підключеним пристроям взаємодіяти незалежно від вертикалі застосування.

Крім того, існують інші важливі стандарти та протоколи, що забезпечують розвиток IoT:

- **DDS** (Data Distribution Service) – розроблений Object Management Group (OMG), забезпечує високопродуктивний обмін даними між пристроями в реальному часі.
- **AMQP** (Advanced Message Queuing Protocol) – це відкритий стандарт для асинхронного обміну повідомленнями, що дозволяє безпечно передавати інформацію між організаціями та IoT-пристроями.
- **CoAP** (Constrained Application Protocol) – протокол для малопотужних пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами, який дозволяє їм працювати в межах IoT.
- **LoRaWAN** (Long Range Wide Area Network) – це протокол для великих мереж з мільйонами пристроїв, що підходить для розумних міст з низьким енергоспоживанням.

Фреймворки для розвитку IoT включають:

- **Amazon Web Services (AWS) IoT** – хмарна платформа для підключення та

управління пристроями через Інтернет.

- **Arm Mbed IoT** – платформа для розробки додатків IoT, що забезпечує безпечне середовище для пристроїв на основі мікроконтролерів ARM.
- **Microsoft Azure IoT Suite** – набір сервісів, що дозволяє користувачам взаємодіяти зі своїми IoT-пристроями, обробляти й аналізувати дані.
- **Brillo/Weave** від Google – платформа для швидкого впровадження IoT-рішень, що складається з ОС Brillo для вбудованих пристроїв і протоколу Weave для комунікації між пристроями та хмарою.
- **Calvin** – платформа з відкритим кодом від Ericsson для створення розподілених додатків, які дозволяють пристроям взаємодіяти між собою.

Ці платформи та стандарти забезпечують розвиток і впровадження IoT у різні сфери, дозволяючи бізнесам та урядам використовувати потенціал технології для підвищення ефективності та інновацій. Calvin включає середовище розробки для розробників додатків, а також середовище виконання для обробки запущеного додатку.

Існує багато реальних застосувань Інтернету речей (IoT) у різних галузях, від споживчого та корпоративного до промислового секторів (IIoT). Ці рішення охоплюють такі сфери, як автомобілебудування, телекомунікації та енергетика.

Пристрої з вбудованими датчиками та програмним забезпеченням збирають і аналізують дані користувачів, надаючи іншим системам інформацію для спрощення життя та підвищення комфорту. Наприклад, переносні пристрої можуть використовуватися для забезпечення громадської безпеки, скорочуючи час реагування екстрених служб під час надзвичайних ситуацій через оптимізацію маршрутів. Також вони можуть відстежувати життєво важливі показники працівників на небезпечних об'єктах, як-от будівельників чи пожежних.

В охороні здоров'я IoT надає можливість ретельніше стежити за станом пацієнтів за допомогою аналізу даних. Лікарні можуть використовувати IoT для управління запасами медикаментів і медичних інструментів, що підвищує

ефективність їх використання.

У розумних будинках IoT допомагає зменшити витрати на електроенергію завдяки датчикам, які фіксують присутність людей у приміщенні. Наприклад, системи автоматично регулюють температуру, вмикаючи кондиціонер або обігрівач, залежно від того, скільки людей перебуває в кімнаті, або відключають систему, якщо нікого немає в будинку.

У сільському господарстві IoT використовується для впровадження інтелектуальних систем управління освітленням, температурою та вологістю ґрунту на полях за допомогою підключених датчиків. Це також включає автоматизацію систем іригації, що підвищує ефективність управління ресурсами.

У споживчому сегменті розумні будинки, оснащені термостатами, приладами та підключеними системами опалення, освітлення та електроніки, можуть управлятися віддалено за допомогою смартфонів або комп'ютерів.

У «розумних» містах датчики та IoT-пристрої, такі як вуличні ліхтарі та лічильники, допомагають зменшити навантаження на транспортні системи, заощаджувати енергію, покращувати санітарні умови та вирішувати екологічні проблеми.

Наприклад, концепція «розумного міста» передбачає використання інноваційних технологій для оптимального використання енергії та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. До таких рішень належать інтелектуальні енергетичні мережі, системи водопостачання, транспортні системи та розумні будинки. Першим «розумним містом» у світі став Боулдер у штаті Колорадо, США, з населенням приблизно 100 тисяч людей, де жителі відомі своєю турботою про довкілля [3].

Мешканці Боулдера демонструють свою турботу про навколишнє середовище через використання сучасних технологій, які раніше здавалися фантастикою. Близько 50 тисяч будинків у цьому місті обладнані екологічними та енергоефективними рішеннями, такими як сонячні панелі, електромобілі та

спеціалізовані системи для обігріву, охолодження та освітлення. Ці пристрої об'єднані в єдину систему моніторингу, яка дозволяє власникам відстежувати вуглецевий слід свого будинку – кількість викидів CO₂.

Як каже один із місцевих фахівців: «Розумні електромережі – це поєднання спадщини Томаса Едісона з інноваціями Білла Гейтса». Компанія Xcel разом із низкою технологічних партнерів інвестувала 100 мільйонів доларів у перетворення Боулдера на енергетичну лабораторію, де деякі будинки самостійно керують своїми енергозберігаючими технологіями. За допомогою сучасних лічильників споживачі можуть контролювати споживання енергії і обирати, чи використовувати відновлювані джерела енергії чи традиційні.

Завдяки Інтернету мешканці можуть дистанційно управляти своїми будинками з будь-якої точки світу, наприклад, вимикати електроприлади або регулювати температуру. Такі системи представляють майбутнє енергетики, і їх впровадження стане стандартом для всіх нових будинків. Мета полягає у створенні будинків з нульовим споживанням енергії.

Подібні проекти вже впроваджуються в Амстердамі, де до 2025 року планується збільшити частку відновлюваної енергії до 20% і скоротити викиди CO₂ на 40% у порівнянні з 1990 роком. В Україні місцева влада також інвестує в оновлення міської інфраструктури, але поки що якість життя істотно не змінюється. Важливо змінити підхід до будівництва, створюючи міста для людей, а не лише для підприємств.

Сучасні «розумні» технології, які з'явилися за останні 10-15 років, пропонують рішення для реалізації соціальних проектів, покращуючи доступ до послуг та підвищуючи конкурентоспроможність міст. Впровадження системи «Розумного міста» дозволить знизити тарифи на комунальні послуги, покращити їх якість і підвищити ефективність міських служб, що матиме позитивний вплив на всі аспекти життя.

Розглянемо технічне забезпечення «розумних міст».

Розумні дороги – це автоматизовані системи управління дорожнім рухом, які складаються з мережі радіоелектронних датчиків, що в режимі реального часу передають дані на сервер. Ці датчики аналізують транспортний потік, визначаючи швидкість, зайнятість дороги і кількість транспортних засобів. Крім світлофорів, управлінням руху займаються спеціальні динамічні дорожні знаки, які автоматично коригують напрямки руху при виявленні заторів, тим самим зменшуючи навантаження на дороги. У деяких містах планується використовувати великі екрани для інформування водіїв про затори, а також радіотрансляцію цієї інформації.

Компанія Solar Roadways уклала угоду з Федеральним дорожнім агентством США на будівництво доріг нового покоління, що здатні розтоплювати сніг завдяки вбудованим нагрівачам. Також "розумні" сонячні панелі оснащені світлодіодами, які можуть відображати дорожні знаки або переходи. Крім того, панелі чутливі до навантаження, тому система здатна попереджати водіїв про пішоходів на дорозі.

Скотт Брюсо, засновник Solar Roadways, має на меті створити світову дорожню інфраструктуру нового покоління, що працюватиме на сонячній енергії. У більшості індустріальних країн існує стара інфраструктура, яка потребує оновлення. Завдання полягає в тому, щоб перетворити її на розподілену мережу, яка зможе ефективно взаємодіяти зі споживачами, виявляти і усувати власні недоліки, а також інтегрувати джерела відновлюваної енергії, як сонячна або вітрова.

Одними з перших країн, що почали впроваджувати розумні енергомережі, стали держави Західної Європи, зокрема Данія. У 1970-х роках країна відчувала нестачу електроенергії через залежність від централізованих електростанцій. Щоб вирішити цю проблему, Данія перейшла до використання розподіленої енергосистеми, поєднавши вітряні установки з комбінованими теплоелектроцентралями (ТЕЦ). Завдяки цьому вони змогли збалансувати виробництво електроенергії та опалення навіть за відсутності вітру.

Сучасні тенденції в енергетиці також включають концепцію V2G (Vehicle-to-Grid), яка дозволяє електромобілям накопичувати електроенергію під час низьких цін і віддавати її назад у мережу під час пікових навантажень [4].

Комплексна модернізація енергомереж перетворює їх на комп'ютеризовані системи реального часу, здатні автоматично приймати рішення на основі даних із мільйонів сенсорів. Це усуває потребу в ручному зчитуванні показників лічильників, що значно підвищує ефективність.

Концепцію «Розумного міста» можна схематично представити у вигляді рисунка 1.1.

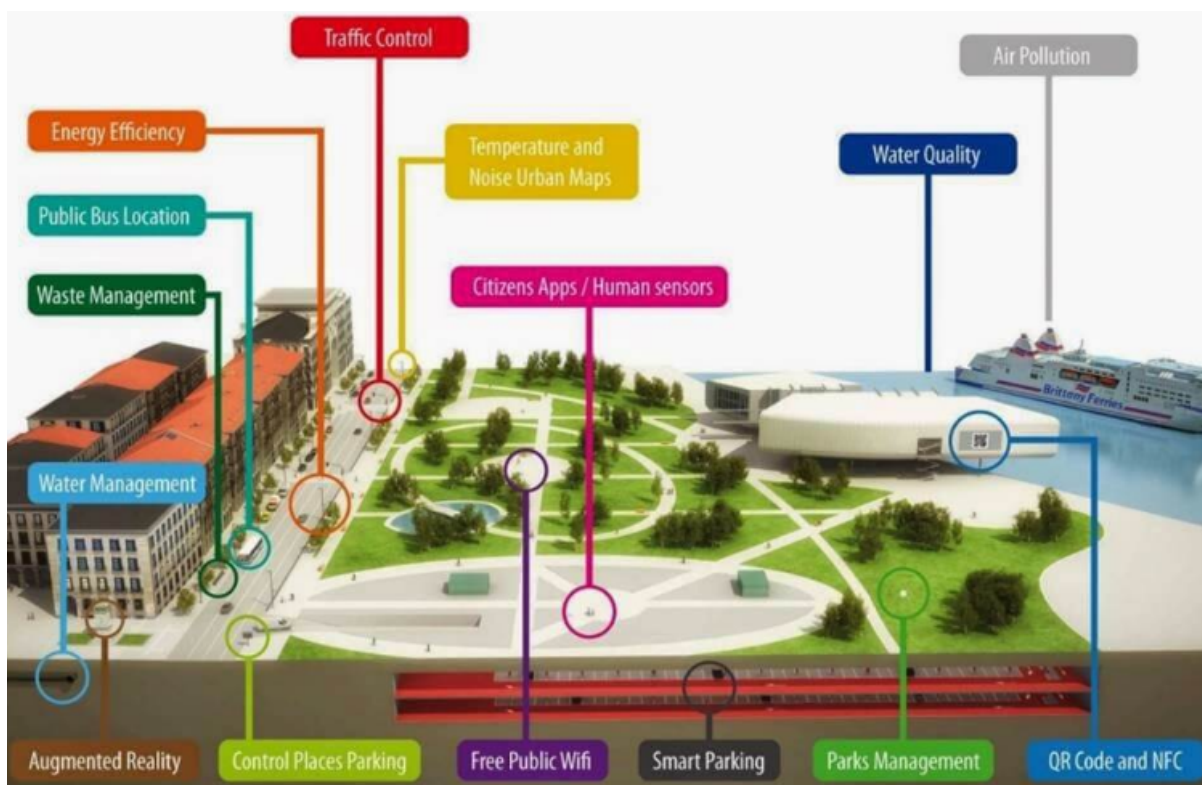


Рисунок 1.1 – Концепція «Розумного міста»

Потенціал "розумних" мереж значно перевищує поточні можливості. Системи вже сьогодні можуть реагувати на інформацію, отриману від мільйонів індивідуальних лічильників, автоматично підвищуючи або знижуючи тарифи щогодини залежно від наявних енергоресурсів. У деяких випадках лічильники можуть навіть виявляти дефіцит енергії і давати команди побутовій техніці, такій

як сушарки чи посудомийні машини, тимчасово припинити роботу, поки енергоресурси не будуть відновлені.

Ці технології значно підвищують рівень інтелектуальної автоматизації та ефективності енергомереж, але водночас підвищують вразливість таких систем до кібератак.

Подальшим кроком у розвитку мереж стало впровадження бездротових технологій для передачі даних у сенсорних мережах, що отримали назву бездротові сенсорні мережі (БСМ). Ці мережі здатні розгортати велику кількість малих вузлів, що можуть налаштовуватися для виконання спільних завдань і динамічно адаптуватися до змін у середовищі.

Основними компонентами бездротової сенсорної мережі є:

- Сенсорний модуль;
- Модуль процесора;
- Джерело живлення;
- Трансивер.

Додаткові компоненти, такі як приводи, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) або монітори, можуть бути додані залежно від конкретного застосування .

На рисунку 1.2 наведено архітектуру одного з вузлів цієї мережі.

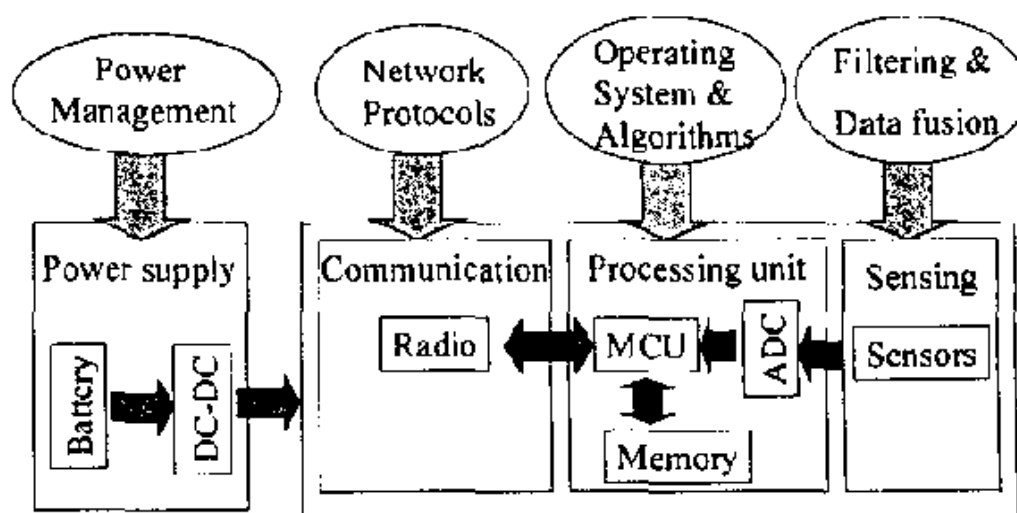


Рисунок 1.2 – Архітектура вузла мережі високопродуктивної сенсорної мережі

Бездротова мережа створюється таким чином, що сенсорні вузли можуть самостійно організовуватися без централізованої координації, що є типовим для більшості застосувань WSN.

Джерелом живлення для сенсорних вузлів є батарея, яка часто не підлягає перезарядженню або заміні, особливо якщо передбачається, що вузли працюватимуть автономно протягом тривалого часу без втручання людини .

Одним із ключових завдань під час проектування бездротових сенсорних мереж є ефективне управління ресурсами. Це можна забезпечити за допомогою різних енергозберігаючих технологій, таких як оптимізація роботи радіо, зменшення обсягу переданих даних, використання режимів сну та пробудження, енергоефективних протоколів маршрутизації та технологій збору енергії.

1.2 Поняття IoT рішення. Підходи до побудови архітектури IoT

Хоча кожна система IoT має свої особливості, загальна архітектура та процес обробки даних в таких системах мають схожі принципи [5].

Архітектура IoT зазвичай включає такі основні компоненти (див. рисунок 1.3):

- **Гранична область** – це перший рівень архітектури, що відповідає за збір даних через різні сенсори, пристрої та інтерфейси. Цей компонент забезпечує початкову обробку даних і часто є місцем, де відбувається первинна фільтрація та передача інформації.
- **Обробка подій і аналітика** – центральна частина системи, де дані з граничної області обробляються, аналізуються та перетворюються на корисну інформацію за допомогою алгоритмів, машинного навчання та аналітичних інструментів.
- **Кінцеві застосунки** – нижній сегмент архітектури, де користувачі

взаємодіють із системою через різні інтерфейси для прийняття рішень, моніторингу та керування процесами. Це можуть бути як мобільні застосунки, так і веб-інтерфейси або панелі керування.

Доповнюючи цю архітектуру, можна зазначити, що вона також може включати технології штучного інтелекту, хмарні обчислення для зберігання даних, а також механізми для зворотного зв'язку між системою та користувачами для поліпшення продуктивності та адаптації до нових умов [6].

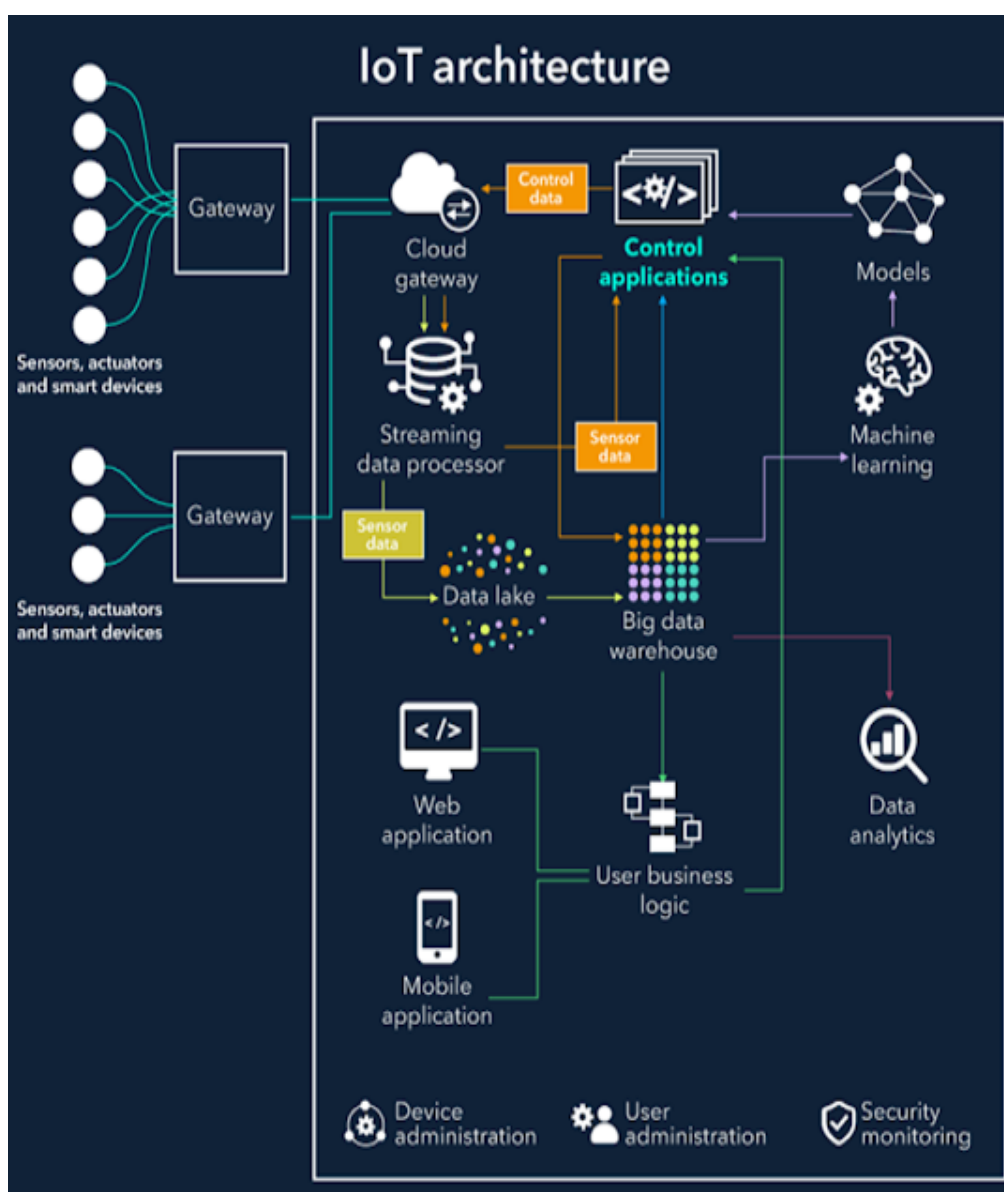


Рисунок 1.3 – Архітектура IoT

Основою кожної системи IoT є підключені пристрої, які відповідають за забезпечення основної функції Інтернету речей — збору й передачі даних. Для того, щоб фіксувати фізичні параметри навколишнього середовища або самого об'єкта, ці пристрої використовують датчики. Датчики можуть бути вбудованими в пристрої або функціонувати як окремі об'єкти, що займаються вимірюванням і збором телеметричних даних. Наприклад, сільськогосподарські датчики можуть вимірювати температуру, вологість повітря і ґрунту, рівень рН ґрунту та ступінь впливу сонячного світла на рослини.

Ще одним важливим елементом є виконавчі механізми, які, у взаємодії з датчиками, здатні перетворювати отримані дані в конкретні фізичні дії. Наприклад, у системі розумного поливу датчики збирають інформацію про стан ґрунту, а виконавчі механізми на основі цих даних відкривають водяні клапани в тих місцях, де рівень вологості є нижчим за встановлений поріг. Клапани залишаються відкритими до моменту, поки датчики не зафіксують досягнення необхідного рівня вологості. Все це відбувається автоматично, без втручання людини [7].

Важливою вимогою до таких підключених пристроїв є здатність не лише здійснювати двосторонній обмін даними зі своїми шлюзами або системами збору даних, але й розпізнавати та взаємодіяти один з одним для координації дій у реальному часі. Для пристроїв із обмеженими ресурсами, що працюють на батареях, це завдання ускладнюється через високу вимогу до обчислювальних потужностей та енергоспоживання. Тому надійна архітектура IoT повинна використовувати безпечні, енергоефективні та легкі протоколи зв'язку, які мінімізують витрати енергії.

Отже, датчики (Sensors) виконують функцію фіксації змін — приймають вхідні дані. Вони використовуються в різних пристроях і охоплюють широкий спектр застосувань, які представлені на рисунку 1.4.

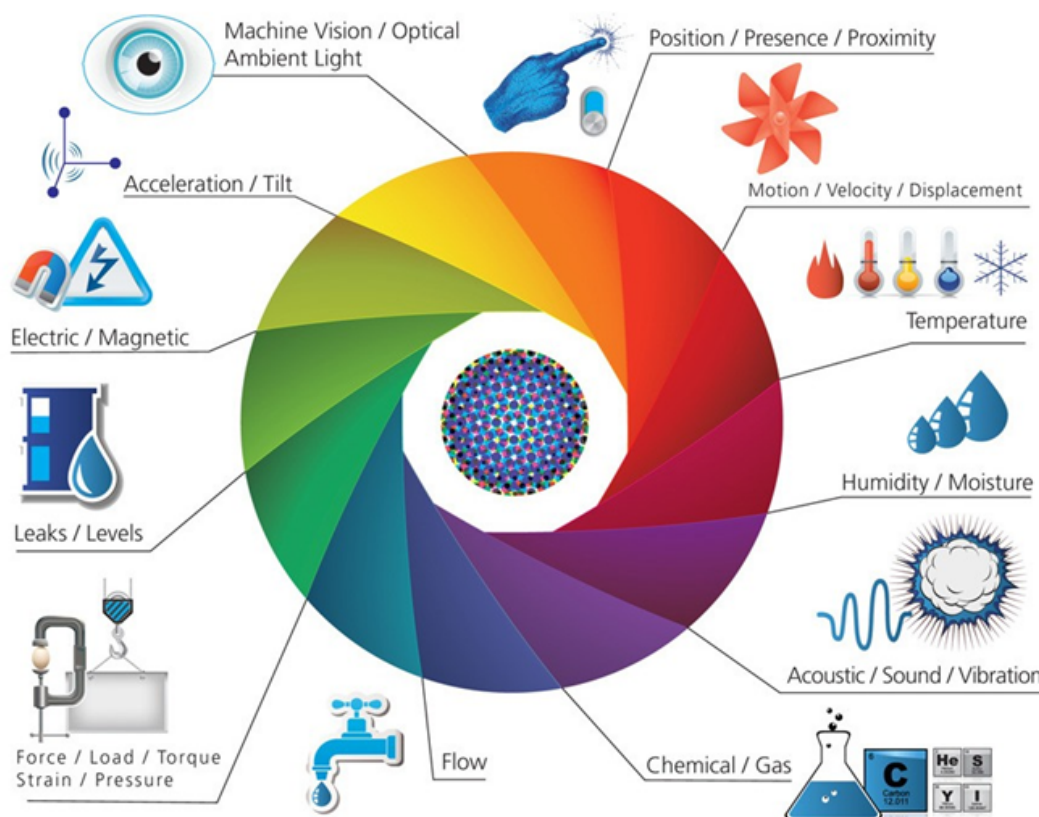


Рисунок 1.4 – Сфери застосування датчиків

Будь-які датчики збирають аналогові дані, які характеризуються безперервністю, тобто ці дані можна уявити у вигляді безперервної лінії або потоку інформації. Однак такі аналогові сигнали не можуть бути передані через кабель або бездротове з'єднання в початковому вигляді, оскільки їх необхідно спочатку перетворити в цифрову форму для подальшої обробки та передачі. Цей процес включає перетворення аналогового сигналу в цифровий (ADC — аналого-цифрове перетворення), що дозволяє передати і обробити сигнал. Принцип цього процесу наведений на рисунку 1.5.

Щоб доповнити цей процес, аналоговий сигнал зчитується датчиком і потім оцифровується шляхом вибірки та квантування [8]. Вибірка перетворює безперервний сигнал у дискретну форму, а квантування переводить його у визначений числовий формат. Після цього цифровий сигнал може передаватися

через мережі для подальшої обробки та аналізу в системі Інтернету речей.

Цей перехід від аналогових даних до цифрових є важливим для точності та ефективності передачі даних, оскільки цифрова форма більш стійка до перешкод і дозволяє зберігати та передавати великі обсяги інформації на відстань з меншими втратами.

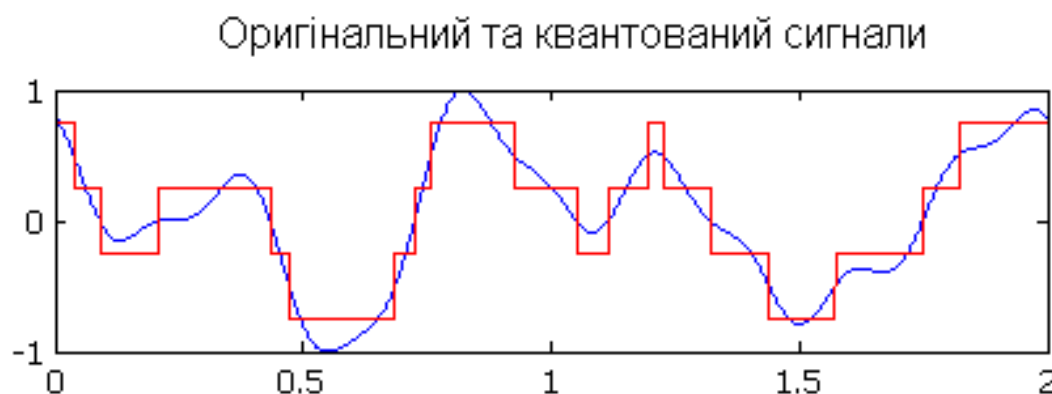


Рисунок 1.5 – Принцип обробки цифрових даних

Цифрові дані представляють собою послідовність нулів і одиниць. Для того, щоб перетворити аналоговий сигнал на цифровий, необхідно поділити безперервну аналогову хвилю на окремі ділянки та призначити кожній ділянці певне значення. Це значення потім кодується у вигляді комбінації нулів і одиниць.

Безперервна хвилеподібна лінія представляє аналоговий сигнал, тоді як червона переривчаста лінія – це його цифровий еквівалент. Кожній "сходинці" цифрового сигналу надається відповідне значення у вигляді двійкового коду (послідовності нулів і одиниць), що дозволяє передавати цей сигнал через кабель або бездротову мережу.

Для ілюстрації, зовнішній вигляд датчика IoT представлений на рисунку 1.6. Такий датчик виконує функції збору та передачі даних після їх оцифровки, що забезпечує можливість роботи пристроїв IoT у різних середовищах.

Додатково можна зазначити, що якість перетворення аналогових даних у цифрові залежить від частоти вибірки та точності квантування, які впливають на

точність відтворення вихідного сигналу в цифровому вигляді. Чим більша частота вибірки та точність, тим ближчим до оригіналу буде цифровий сигнал.



Рисунок 1.6 – Приклад зовнішнього вигляду датчику (датчик наявності людей)

Актuatorи (Actuators) отримують вихідні дані і виконують дії на їх основі. Хорошим прикладом функціонування датчиків та актуаторів є людське тіло: мозок виступає як мікроконтролер, що об'єднує інформацію, зібрану різноманітними датчиками, для формування точних відповідей.

Шлюзи (Gateways), хоча й функціонують поблизу датчиків та актуаторів, є важливим окремим елементом архітектури IoT. Вони відповідають за збір, фільтрацію та передачу даних в прикордонну інфраструктуру або хмарні платформи. Оскільки система IoT може залучати мільйони пристроїв, можливості

для агрегування, фільтрації та транспортування даних є ключовими[8].

Як посередники між підключеними пристроями, хмарними сервісами та аналітичними системами, шлюзи забезпечують важливу точку підключення, яка з'єднує основні рівні архітектури. Вони не тільки допомагають у передачі даних між датчиками та іншими компонентами системи, але й перетворюють дані у формат, придатний для подальшого використання. Крім того, шлюзи контролюють і фільтрують інформацію, мінімізуючи обсяг даних, що надсилаються в хмару, що знижує витрати на передачу інформації.

Шлюзи також відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки. Вони керують потоком даних в обох напрямках і можуть запобігати витоку даних із хмари IoT завдяки використанню інструментів шифрування. Це також зменшує ризик зовнішніх атак на IoT-пристрої.

IoT шлюзи виконують різні завдання: обробку, фільтрацію даних, забезпечення безпеки, підключення до пристроїв, а також їх оновлення. Вони можуть діяти як платформи для прикладних програм, що робить систему більш "інтелектуальною."

Хоча периферійні обчислення не є обов'язковою частиною архітектури IoT, вони можуть значно підвищити продуктивність, особливо в масштабних IoT проектах. У випадках, коли хмарні платформи мають обмежену пропускну здатність або швидкість, периферійні обчислення дозволяють швидше обробляти та аналізувати дані. Це особливо важливо для промислових додатків IoT, де швидкість обробки є критичною. Останнім часом популярність периферійних обчислень у промислових IoT рішеннях значно зросла[8].

Оскільки периферійна інфраструктура фізично ближче до джерела даних, вона може швидше реагувати на події в системах Інтернету речей (IoT) і забезпечувати миттєвий зворотний зв'язок у вигляді корисної інформації. Лише великі обсяги даних, для обробки яких потрібна потужність хмарних технологій, надсилаються на подальший аналіз у хмару.

Це підвищує ефективність мережі, оскільки знижуються енергоспоживання

та потреба в широкій смузі пропускання, що, в свою чергу, оптимізує використання бізнес-ресурсів і підвищує рівень безпеки.

Якщо порівняти компоненти IoT з людським організмом, то датчики виконують роль нейронів, шлюз є основою системи, а хмара — це «мозок» IoT. На відміну від периферійних рішень, хмара виконує функції зберігання, обробки та глибокого аналізу величезних обсягів даних, використовуючи потужні механізми аналітики та машинного навчання, які недоступні для периферійних систем.

За останні роки хмарні обчислення, особливо в промислових системах IoT, стали сприяти підвищенню продуктивності, скороченню непередбачених простоїв і зниженню енергоспоживання [7,8]. Завдяки хмарним рішенням для бізнес-аналітики та управління, користувачі можуть легко взаємодіяти із системою, контролювати її, приймати обґрунтовані рішення, використовуючи інформаційні панелі та звіти в реальному часі.

Висновки до 1 розділу

Усе вищезазначене свідчить про те, що технології Інтернету речей (IoT) розвиваються надзвичайно швидкими темпами, що сприяє розширенню їх сфери застосування. Однією з важливих галузей, де IoT знаходить своє застосування, є сенсорні мережі, які активно використовують технології Big Data для аналізу великих обсягів інформації. Особливості інтеграції цих технологій будуть детально розглянуті в наступному розділі роботи.

Платформи IoT виконують роль сполучної ланки між мережею передачі даних та сенсорами пристроїв. У сучасних умовах багато IoT-платформ пропонують широкий спектр корпоративних рішень для підключення пристроїв. Для успішного функціонування IoT, важливими є надійна оперативна сумісність між пристроями, відмовостійкість платформи та стабільна робота оболонок, що базуються на цій платформі.

Паралельно, стрімко розвиваються високопродуктивні сенсорні мережі, які використовують великі масиви даних для підвищення ефективності та точності роботи.

Основні компоненти таких мереж:

- **Мережа датчиків.** Датчик — це базова одиниця мережі, яка реагує на зовнішні фактори, як-от світло, тепло, звук, рух або дотик. Коли датчик об'єднаний із мікропроцесором для обробки даних, його називають інтелектуальним датчиком.
- **Мережа доступу** — це вузли та шлюзи, які збирають дані від групи датчиків і полегшують їх подальшу передачу в центри керування або інші зовнішні системи.
- **Мережева інфраструктура** включає як активне, так і пасивне обладнання, що забезпечує роботу існуючих мереж.
- **Програмне забезпечення** забезпечує збір і обробку великих обсягів даних, використовуючи хмарні платформи, IoT-платформи тощо.

Ключовими умовами для організації високопродуктивних сенсорних мереж є:

- **Низьке енергоспоживання** пристроїв для забезпечення тривалого автономного функціонування.
- **Самоорганізація мережі**, що дозволяє ефективно адаптуватися до змін у середовищі та забезпечувати надійне функціонування без постійного втручання людини.

Додатково, інтеграція цих систем із технологіями Big Data та машинного навчання дозволяє отримувати глибший аналіз і прогнозування, що підвищує загальну ефективність систем IoT.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

2.1 Мультиагентна технологія побудови ІоТ рішення та особливості її застосування в високопродуктивних мережах

Мультиагентні технології є новим підходом до вирішення складних завдань, заснованим на принципах самоорганізації та еволюції, що знаходить широке застосування в концепції Інтернету речей (ІоТ). Їх суть полягає в тому, що замість використання класичних математичних методів для вирішення складних проблем, застосовуються агентні системи, які дозволяють вирішувати завдання іншими, більш гнучкими методами[9].

Основні функції агентів у мультиагентних системах в ІоТ:

- **Формування мети:** агент визначає ціль, наприклад, зміну параметрів системи.
- **Формування функцій:** агент створює запити та отримує їх, визначаючи основні та допоміжні дії.
- **Визначення можливих дій:** це може включати шифрування запиту, його дешифрування та досягнення кінцевої мети.
- **Аналіз зовнішнього середовища:** агенти здійснюють аналіз поточних або передбачуваних змін у навколишньому середовищі.

Збір параметрів відбувається за допомогою датчиків, а результати вимірювань передаються на мікроконтролери, які взаємодіють з регулюючими пристроями та виконавчими механізмами для виконання дій. У концепції ІоТ дані також можуть передаватися на віддалені веб-сервіси через мережу, де відбувається взаємодія з клієнтом, наприклад, через голосові команди.

Таким чином, мультиагентні системи (MAS) стають перспективною областю для ІоТ. Вони складаються з автономних та інтелектуальних агентів, які можуть

самостійно приймати рішення і взаємодіяти між собою для досягнення спільних цілей.

У [10] агент визначається як комп'ютерна система (на основі апаратного або, частіше, програмного забезпечення), яка має такі властивості:

- **Автономність:** агенти діють без прямого втручання людей чи інших агентів, маючи певний контроль над своїми діями та внутрішнім станом.
- **Соціальна здатність:** агенти взаємодіють із іншими агентами (або людьми) через спеціальну мову агентного спілкування.
- **Реактивність:** агенти сприймають своє середовище (будь то фізичний світ, користувач через графічний інтерфейс, інші агенти, Інтернет або їх комбінація) та реагують на зміни в реальному часі.
- **Проактивність:** агенти не тільки реагують на зовнішні фактори, але й виявляють ініціативу, виконуючи цілеспрямовані дії.

Це визначення не обмежує розмір агентів: вони можуть бути великими, як експертна система, або маленькими, як частина інтерфейсу програми. Агенти можуть бути статичними (постійно розміщені на одному комп'ютері) або мобільними (переміщуються мережею).

В контексті IoT агенти — це автономні й адаптивні програмні модулі, які здатні сприймати своє середовище через сенсори, на основі яких вони приймають рішення. Завдяки допоміжному навчанню агенти накопичують знання про середовище — як позитивні, так і негативні — та застосовують їх для прийняття кращих рішень у майбутньому.

Допоміжне навчання — це процес, при якому агенти отримують зворотний зв'язок від користувачів або системи, що дозволяє їм приймати правильні рішення у невідомих ситуаціях. З часом, коли агент накопичує базу знань, він здатен швидше й ефективніше реагувати на повторювані ситуації. Більше того, цей процес є динамічним: агент постійно вдосконалює свої алгоритми і рішення [9].

Приклад системи IoT з вбудованим агентом представлений на рисунку 2.1.

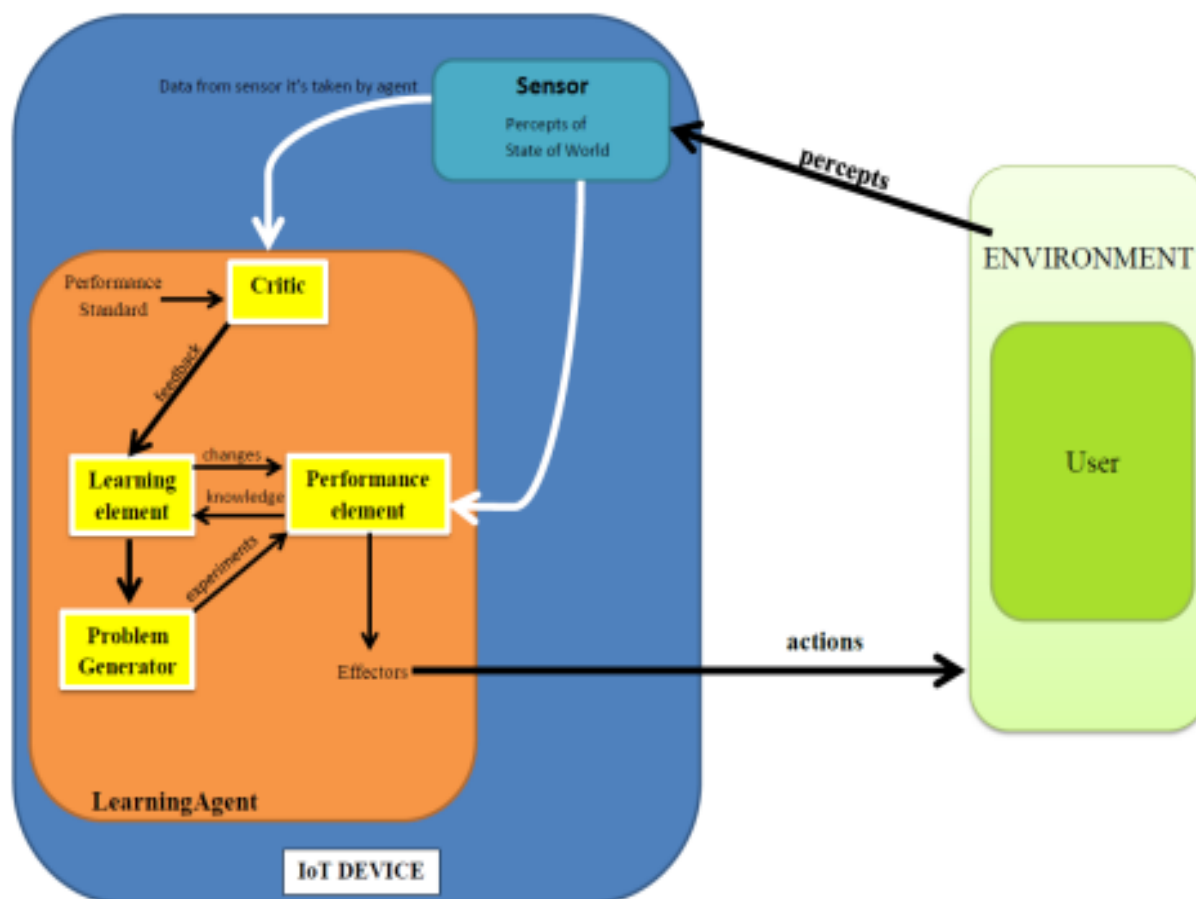


Рисунок 2.1 – Приклад системи IoT з вбудованим агентом

Елемент навчання (Learning Element) відповідає за вдосконалення методів навчання агента, щоб забезпечити максимальну ефективність його роботи. У цьому процесі важливу роль відіграє "Критичний елемент" (Critic), який оцінює рішення агента і визначає, чи було воно правильним. Цей компонент надає зворотний зв'язок, який надсилається до елемента навчання для подальшого коригування.

Елемент продуктивності (Performance Element) взаємодіє з генератором проблем (Problem Generator), який вивчає можливості для вирішення завдань, що ще не виникли під час роботи або навчання агента. Критик і генератор проблем є ключовими компонентами в процесі навчання агента.

Інформація, отримана елементом навчання, передається до елемента продуктивності, який визначає, які дії є ефективними, а які повинні бути передані

до ефекторів для реалізації. Ефектори виконують дії на основі прийнятих рішень. Після цього елемент продуктивності оцінює результати дій і надає відгук до елемента навчання для оновлення бази знань і покращення процесу прийняття рішень у майбутньому.

2.2 Застосування технології BigData в IoT для побудови високопродуктивних сенсорних мереж

У цьому розділі буде розглянуто застосування технологій Big Data у високопродуктивних сенсорних мережах, а також їхнє значення в ширшому контексті. Big Data (великі дані) — це поєднання структурованих, напівструктурованих та неструктурованих даних, які збираються організаціями й можуть бути використані для аналізу, машинного навчання, прогнозування та інших аналітичних завдань [10].

Системи, що обробляють і зберігають великі обсяги даних, стали ключовими компонентами управління інформацією в багатьох організаціях. Великі дані зазвичай характеризуються трьома основними аспектами:

- Обсяг: величезна кількість даних, які зберігаються у різних середовищах;
- Різноманітність: широкий спектр типів даних, що включають структуровані та неструктуровані дані;
- Швидкість: швидкість, з якою генеруються, збираються та обробляються дані.

Останнім часом також стали актуальними інші характеристики великих даних, такі як вірогідність, цінність і мінливість [11]. Хоча великі дані не обмежені певним обсягом, їх обробка часто стосується терабайтів (ТБ), петабайтів (ПБ) або навіть ексабайтів (ЕБ) даних, які накопичуються з часом.

Важливість великих даних полягає в тому, що організації використовують їх для підвищення ефективності операцій, поліпшення обслуговування клієнтів,

створення персоналізованих маркетингових кампаній та загального підвищення прибутковості. Компанії, які впроваджують великі дані, отримують конкурентні переваги, оскільки можуть швидко приймати обґрунтовані рішення за умови ефективного використання даних.

Наприклад, великі дані можуть надавати цінну інформацію про клієнтів, що дозволяє оптимізувати маркетингові стратегії для підвищення залученості та коефіцієнта конверсії. Історичні та поточні дані допомагають організаціям оцінювати мінливі вподобання споживачів, що сприяє адаптації їхньої діяльності під потреби клієнтів.

У сфері охорони здоров'я великі дані допомагають дослідникам визначати фактори ризику хвороб, а лікарям — діагностувати захворювання пацієнтів. Крім того, інформація з електронних медичних карток, соціальних мереж та інших джерел надає організаціям та урядовим установам дані для моніторингу інфекційних захворювань.

В енергетиці великі дані допомагають нафтовим і газовим компаніям визначати місця для буріння та контролювати трубопроводи. Комунальні підприємства використовують їх для моніторингу електромереж, а фінансові установи — для управління ризиками та аналізу ринкових даних у реальному часі.

Виробники і транспортні компанії покладаються на великі дані для управління ланцюгами постачання й оптимізації маршрутів доставки. Інше використання урядом включає реагування на надзвичайні ситуації, попередження злочинності та ініціативи розумного міста.

Великі дані надходять із різноманітних джерел, включаючи бізнес-транзакції, бази даних клієнтів, медичні записи, журнали відвідувань сайтів, мобільні додатки, соціальні мережі, наукові дослідження, машинно-генеровані дані та сенсори, що працюють у режимі реального часу в середовищах Інтернету речей (IoT).

Зібрані дані можуть залишатися в необробленому вигляді або попередньо

оброблятися за допомогою інструментів аналізу даних і програмного забезпечення для підготовки до подальшого аналітичного використання.

На прикладі даних про клієнтів, можна розрізнити кілька типів аналізу, які можуть бути виконані на основі великих даних:

- **Порівняльний аналіз:** цей аналіз включає дослідження поведінки користувачів і спостереження за їх взаємодією з продуктами чи послугами компанії в реальному часі. Це дозволяє порівняти продукцію та репутацію бренду з конкурентами.
- **Аналіз соціальних мереж:** вивчення того, що люди говорять у соціальних мережах про конкретний бізнес або продукт. Ці дані можуть допомогти визначити цільову аудиторію для маркетингових кампаній, базуючись на діяльності користувачів навколо певних тем.
- **Маркетинговий аналіз:** дані, які можуть бути використані для інноваційних рішень під час просування нових продуктів чи послуг.
- **Аналіз задоволеності клієнтів:** вивчення зібраної інформації може показати, як клієнти ставляться до компанії, які проблеми можуть виникнути, та як підтримувати їхню лояльність.

Найчастіше серед характеристик великих даних згадується **обсяг**. Хоча великі дані не завжди повинні бути великими за розміром, вони часто накопичуються через постійний потік інформації з таких джерел, як кліки-потoki, системні журнали та потокова обробка даних [14].

Великі дані включають широкий спектр типів, серед яких:

- **Структуровані дані**, збережені в базах даних або сховищах даних на основі SQL (Structured Query Language).
- **Неструктуровані дані**, такі як текстові файли, документи, що зберігаються у кластерах, або в системах баз даних NoSQL.
- **Напівструктуровані дані**, наприклад, журнали веб-серверів або потокові дані з датчиків.

Інтернет речей (IoT) та аналітика великих даних кардинально змінили комп'ютерну індустрію, призвівши до технологічних нововведень, які суттєво впливають на повсякденне життя. Усі ці типи даних можуть зберігатися разом у сховищах даних, найчастіше заснованих на хмарних сервісах зберігання. Додатки для великих даних зазвичай включають кілька джерел, які традиційно важко інтегрувати. Наприклад, аналіз великих даних може поєднувати інформацію про продажі, дані про повернення товарів та відгуки клієнтів для вимірювання успішності продукту та прогнозування майбутніх продажів.

Швидкість у контексті великих даних означає швидкість генерації, обробки та аналізу інформації. Багато наборів даних оновлюються в реальному або майже реальному часі, на відміну від щоденних чи щотижневих оновлень, характерних для традиційних систем. Додатки для аналізу великих даних приймають, аналізують і видають результати в режимі реального часу, що вимагає від аналітиків глибокого розуміння доступних даних та чіткого уявлення про бажані результати, щоб отримана інформація була точною і актуальною.

Керування швидкістю передачі даних є критично важливим, особливо в галузях, що використовують машинне навчання та штучний інтелект. У таких системах аналітичні процеси автоматично знаходять закономірності у даних і використовують їх для створення нових інсайтів.

На рисунку 2.2 представлена динаміка зростання обсягів великих даних, що демонструє постійне збільшення їх кількості.

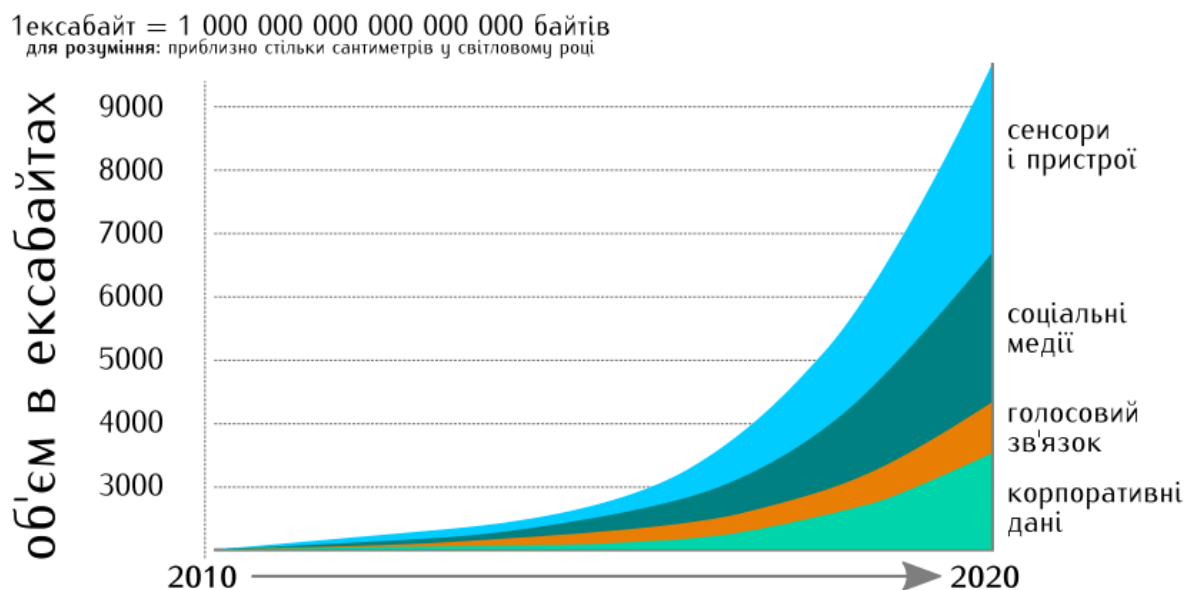


Рисунок 2.2 – Динаміка зростання Big Data

Достовірність даних відноситься до рівня надійності та точності наборів даних. Невизначеність даних, зібраних із різних джерел, наприклад, із соціальних мереж чи веб-сторінок, може спричиняти проблеми з якістю даних, які буває складно виявити. Наприклад, якщо компанія збирає дані з сотень різних джерел, вона може зіткнутися з неточностями, тому аналітикам потрібно знати джерело походження даних, щоб виправити можливі проблеми.

Неточні або погані дані призводять до неправильних висновків і можуть знизити довіру до аналітичних результатів. Щоб уникнути цього, необхідно враховувати рівень неточних даних до початку аналітичних процесів. ІТ-відділи та аналітики повинні переконатися, що в них є достатньо точних даних для отримання достовірних результатів.

Також важливо враховувати цінність даних. Не всі дані, які збирає організація, будуть корисними для конкретних проєктів, і неточні дані можуть спотворити результати аналітики. Тому перед використанням у проєктах з аналізу великих даних слід застосовувати такі методи, як очищення даних, щоб переконатися, що вони відповідають поставленим завданням.

Ще однією характеристикою великих даних є **варіативність**. Дані можуть бути менш послідовними, ніж у традиційних транзакційних системах, і можуть мати кілька форматів або значень залежно від джерела. Це ускладнює процес обробки та аналізу даних.

Крім того, обробка великих обсягів даних вимагає значних обчислювальних ресурсів. Сервери або кластери серверів можуть бути перевантажені через велику кількість і різноманітність даних. Щоб забезпечити необхідну швидкість обробки, організаціям можуть знадобитися сотні або навіть тисячі серверів, які працюють у кластерній архітектурі для розподілу навантаження.

Досягнення необхідної швидкості обробки великих даних за економічно доцільних умов також є викликом. Багато підприємств не готові інвестувати в масштабну серверну інфраструктуру та сховища для підтримки робочих навантажень із великими даними, особливо коли ці системи не функціонують безперервно. Відповідно, **хмарні обчислення** стають основним рішенням для розміщення систем великих даних. Провайдери хмарних послуг можуть зберігати петабайти даних і масштабувати кількість серверів для виконання проекту аналізу на вимогу.

Щоб покращити обслуговування, постачальники хмар пропонують керовані сервіси для роботи з великими даними, такі як:

- **Amazon EMR** (Elastic MapReduce),
- **Microsoft Azure HD Insight**,
- **Google Cloud Dataproc**.

У хмарних середовищах великі дані можуть зберігатися в різних системах, таких як:

- **Розподілена файлова система Hadoop (HDFS)**,
- Недорогі хмарні об'єктні сховища на кшталт **Amazon S3**,
- **NoSQL** бази даних,
- Реляційні бази даних.

Для тих, хто прагне розгорнути локальні системи великих даних, доступні технології з відкритим кодом. Користувачі можуть самостійно інсталювати такі рішення або звертатися до комерційних платформ, як-от **Cloudera**, яка злилася з Hortonworks, та **Hewlett Packard Enterprise (HPE)**, що придбала MapR Technologies. Ці платформи підтримуються також у хмарі.

Проблеми з великими даними включають не лише необхідність великої обчислювальної потужності та витрати, але й складність розробки архітектури. Системи повинні адаптуватися до індивідуальних потреб, що вимагає нових навичок від ІТ-команд, які розгортають та управляють великими даними, відрізняючись від навичок адміністраторів баз даних і розробників реляційних систем.

Обидві згадані проблеми можуть бути вирішені за допомогою керованих хмарних сервісів, проте ІТ-менеджери повинні уважно стежити за використанням хмарних ресурсів, щоб контролювати витрати. Крім того, перенесення локальних наборів даних і робочих процесів у хмару часто є складним завданням для багатьох організацій. Забезпечення доступу до великих даних для аналітиків та фахівців з обробки даних може створити додаткові труднощі, особливо в розподілених середовищах, що включають різні платформи і сховища даних.

Щоб полегшити аналітикам процес пошуку потрібних даних, ІТ-команди активно працюють над створенням каталогів даних, які забезпечують управління метаданими та передачу даних. Одночасно важливо приділяти увагу якості даних і управлінню ними, щоб набори великих даних були чистими, послідовними та використовувалися відповідним чином.

Зрештою, цінність великих даних залежить від співробітників, які здатні коректно інтерпретувати ці дані та ставити правильні запити для управління проектами аналітики. Деякі інструменти з аналітики великих даних забезпечують простіший доступ до даних, дозволяючи менш технічним користувачам використовувати аналітичні програми для прогнозування.

Також існують спеціалізовані рішення, як-от пристрої для роботи з великими даними на базі **Hadoop**, що допомагають підприємствам реалізовувати необхідну обчислювальну інфраструктуру, зменшуючи потребу в апаратних засобах і розподілених програмах.

Крім того, можна виділити термін "малі дані" (small data), який описує дані, обсяги і формати яких легко керувати та використовувати для простих аналітичних задач. Основна мета аналізу великих даних — допомогти підприємствам приймати обґрунтовані рішення, дозволяючи фахівцям аналізувати великі обсяги транзакційних та інших типів даних, що не піддаються традиційним методам обробки.

Інструменти для великих даних інтегруються з технологіями машинного навчання і штучного інтелекту, що дозволяє автоматизувати аналіз даних і виявлення закономірностей.

Основні сфери застосування великий даних представлені у вигляді рисунка 2.3.

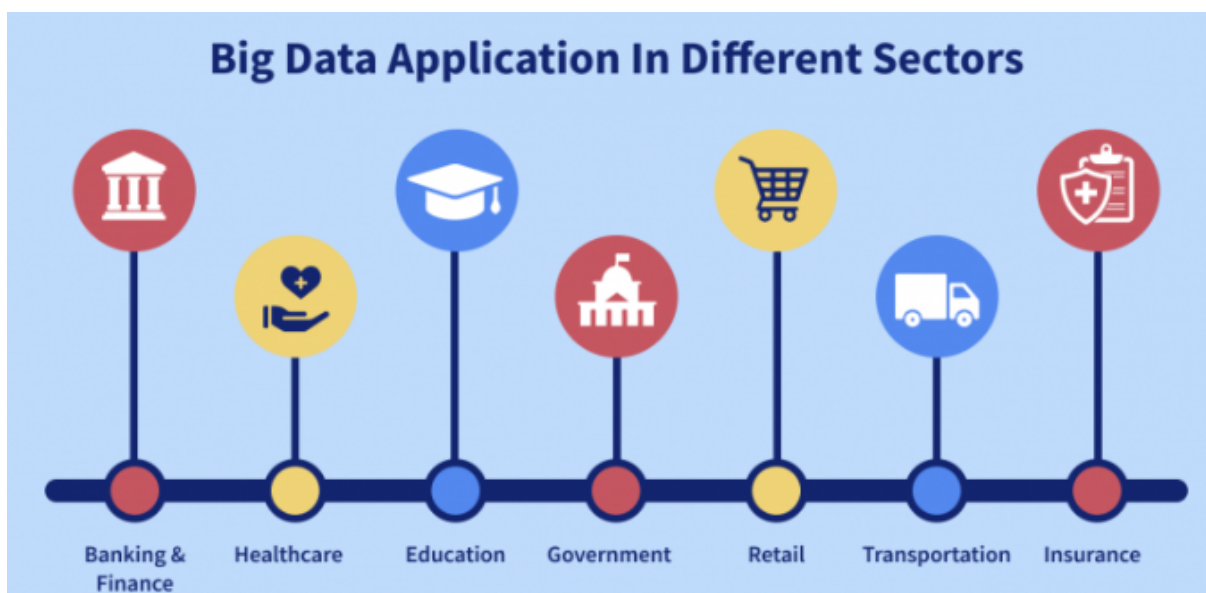


Рисунок 2.3 – Основні сфери застосування великих даних

Сфер застосування великих даних безліч, але в контексті магістерської роботи важливо зосередитися на використанні **Big Data** в **IoT**. Відповідно до досліджень, до 2025 року через Інтернет речей буде створено близько **5.5**

трильйонів ГБ даних . Це не дивно, враховуючи, що вже до 2024 року було підключено понад **4 трильйона датчиків** і пристроїв до Інтернету, і їх кількість продовжує зростати.

Ці пристрої збирають, аналізують, обмінюються та передають дані в реальному часі. Без даних пристрої IoT втратили б свої функції та можливості, які роблять їх важливими у всьому світі. Коли організації збирають дані для аналітики, Інтернет речей є ключовим джерелом. Саме тут стає очевидною роль **великих даних в IoT**.

Аналітика великих даних є критично важливою для обробки даних, які генеруються пристроями IoT. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення та поліпшувати управлінські процеси.

Основна роль великих даних у IoT полягає в обробці величезних обсягів даних у режимі реального часу та їх зберіганні за допомогою відповідних технологій. Процес обробки великих даних в IoT включає чотири етапи:

- **Збір даних:** IoT пристрої генерують великий обсяг неструктурованих даних, який збирається та накопичується в системі великих даних. Ці дані мають три основні характеристики: обсяг, швидкість і різноманітність.
- **Зберігання даних:** Зібрані дані зберігаються в розподілених базах даних або сховищах великих даних, таких як Hadoop.
- **Аналіз даних:** Аналітичні інструменти обробляють та аналізують дані для виявлення закономірностей і забезпечення корисної інформації.
- **Формування звітів:** Після аналізу створюються звіти, які надають результати аналізу для подальшого використання в бізнесі або інших сферах.

Ці етапи допомагають організаціям ефективно використовувати дані IoT для прийняття стратегічних рішень, поліпшення операцій і підвищення конкурентоспроможності [12].

Обробка Big Data в IoT представлена на рисунку 2.4.

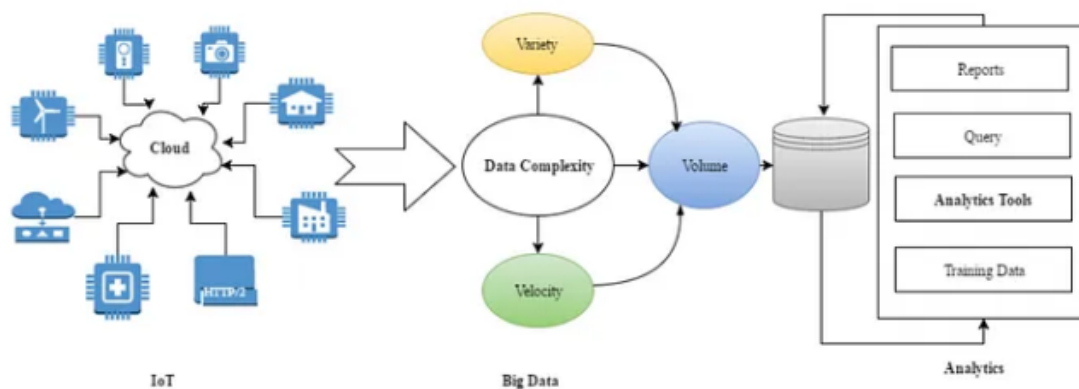


Image Source : IT Chronicles

Рисунок 2.4 – Обробка BigData в IoT

У контексті IoT неструктуровані дані збираються через Інтернет, що означає, що для швидкої обробки великих обсягів даних потрібні інструменти, здатні обробляти складні запити. Це дозволяє швидко отримувати корисну інформацію та приймати оперативні рішення. Отже, роль великих даних в IoT є критичною.

Можна сказати, що великі дані є "паливом", яке підтримує роботу Інтернету речей. Це підкреслює необхідність більш досконалих рішень для зберігання даних, здатних обробляти зростаючі робочі навантаження. Це, в свою чергу, вимагає оновлення інфраструктури сховищ даних у багатьох організаціях.

Також комбіноване використання IoT та великих даних стимулює дослідження в обох галузях. Ці технології взаємозалежні та потребують постійного вдосконалення. Аналітика великих даних в IoT допомагає організаціям:

- Аналізувати дані;
- Виявляти тенденції;
- Шукати закономірності;
- Виявляти приховані кореляції;
- Отримувати нову інформацію.

Завдяки цьому компанії можуть ефективніше керувати своїми бізнес-процесами, отримуючи краще розуміння даних і приймаючи обґрунтовані рішення. Практично всі галузі можуть отримати вигоду від використання великих даних в IoT.

Переваги Інтернету речей (IoT) та великих даних для компаній у різних секторах включають [13]:

- **Підвищення рентабельності інвестицій:** IoT та аналітика великих даних трансформують спосіб, у який компанії збільшують додану вартість, витягуючи максимальну користь із даних для покращення розуміння свого бізнесу. Зі збільшенням попиту на сховища даних, компанії все частіше обирають хмарні рішення, що зрештою знижує витрати на впровадження технологій.
- **Зміни у системі охорони здоров'я:** Поєднання IoT та великих даних матиме значний вплив на нове покоління електронної охорони здоров'я. Великі дані сприятимуть переходу від досліджень, заснованих на гіпотезах, до тих, що базуються на даних. IoT дозволить віддалений моніторинг та аналіз сигналів датчиків, що поліпшить діагностику та відкриє нові шляхи в лікуванні хвороб.
- **Виробничі переваги:** Завдяки впровадженню датчиків IoT, виробничі компанії можуть збирати дані про експлуатацію обладнання, що допомагає попередити поломки і уникнути серйозних витрат, пов'язаних із простоєм або заміною обладнання. Це призводить до економії коштів.
- **Розвиток аналітики самообслуговування:** Нові технології IoT сприятимуть автоматизації та інтеграції IT-функцій, що робить їх самодостатнішими. Інструменти великих даних ставатимуть більш доступними, що сприятиме розвитку аналітики як послуги, наближаючи її до самообслуговування.
- **Переваги в транспортній галузі.** У транспортному секторі впровадження

датчиків IoT в транспортні засоби дозволяє відстежувати їх переміщення та продуктивність в режимі реального часу по всьому світу. Це надає можливість компаніям не лише контролювати стан автопарку, але й отримувати детальні дані щодо споживання палива, поведінки водіїв та оптимізації маршрутів доставки. Така інформація може допомогти компаніям підвищити ефективність управління автопарками та збільшити продуктивність.

- **ПоТ (Індустріальний Інтернет речей)** дозволяє підключати різноманітні пристрої, що допомагають керувати роботою промислового обладнання за допомогою таких процесів, як моніторинг, збір, обмін даними, аналіз та прийняття рішень на основі отриманої інформації. Тому поєднання IoT та аналітики великих даних у ПоТ є ключовим компонентом для вдосконалення промислових процесів.
- **Периферійні обчислення (Edge-Computing).** Сьогодні можливість роботи з даними в реальному часі є критично важливою. Інтернет речей і великі дані забезпечують виконання завдань на запит і в реальному часі, що збільшує значення технологій периферійних обчислень. З цієї причини вони стають надзвичайно популярними для обробки великих обсягів даних IoT на місці.

Загалом, тісна взаємодія між IoT та великими даними відкриває значні можливості для підвищення ефективності підприємств і організацій, що використовують ці технології.

Зміна кількості підключених пристроїв IoT в Україні та деяких країнах-сусідах представлена на рисунку 2.5.

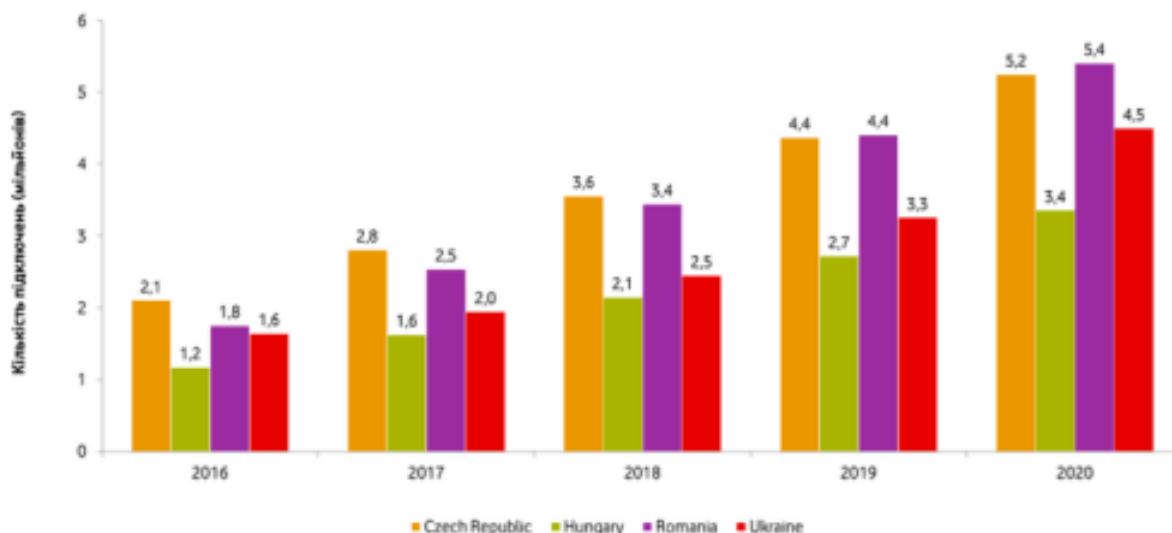


Рисунок 2.5 – Зміна кількості підключених пристроїв IoT

Таким чином, інструменти для аналізу та роботи з великими даними відіграють ключову роль у контролюванні великого потоку даних, що надходять від пристроїв Інтернету речей. Розробники, які працюють з IoT, створюють платформи, програмне забезпечення та додатки для управління пристроями й обробки згенерованих ними даних, що допомагає організаціям ефективно керувати своєю інформаційною інфраструктурою.

З розвитком інформаційних технологій і мікроелектроніки з'явилася можливість створювати мініатюрні сенсорні датчики, які є одночасно надійними та доступними за ціною. Це сприяло широкому поширенню сенсорних мереж, що дозволяють проводити постійний та точний аналіз важливих параметрів цільових об'єктів.

Раніше інформація в таких сенсорних мережах передавалася за допомогою дротового зв'язку, що створювало певні труднощі, особливо у випадках великої кількості датчиків, розміщених поруч. Однак із запровадженням безпроводових технологій мережі стали більш компактними і гнучкими.

У безпроводових сенсорних мережах важливу роль відіграють сенсорні вузли, які виявляють і збирають інформацію із сенсорного поля, обчислюють її та

передають за допомогою радіомодулів до центральної точки чи пункту призначення.

Середовище сенсорної мережі може бути пов'язане з її архітектурою, фізичним рівнем зв'язку або схемами трафіку. Біологічні мережі, на відміну від запланованих, розвиваються природним чином на основі кооперативних механізмів, тоді як заплановані мережі потребують активізації вузлів для співпраці.

Важливим аспектом є спосіб передачі даних та запитів від джерела до приймача. У минулому дослідження були зосереджені на вивченні того, як забезпечити спільну роботу датчиків, їх координацію, збір даних, їх обробку та передачу до пункту призначення [14].

Модель роботи безпроводової сенсорної мережі, яка використовує великі дані, представлена на рисунку 2.6.

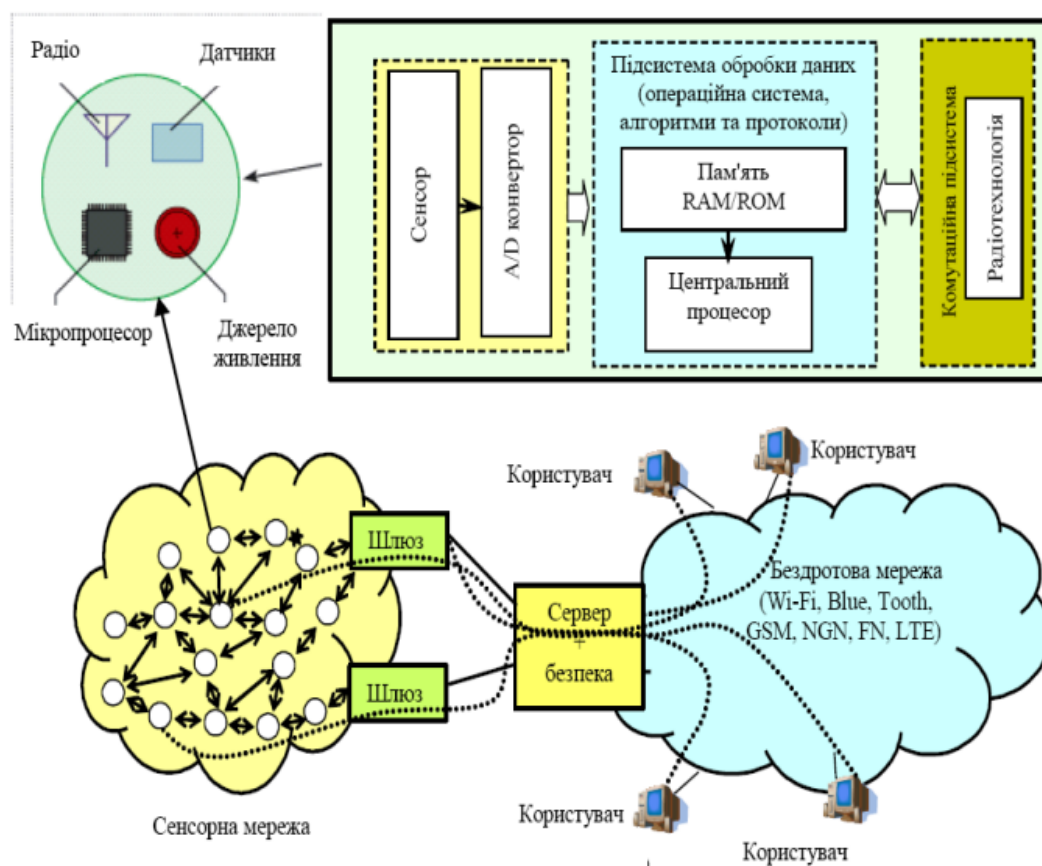


Рисунок 2.6 – Модель роботи безпроводової сенсорної мережі

Приклад безпроводової сенсорної мережі представлений на рисунку 2.7.

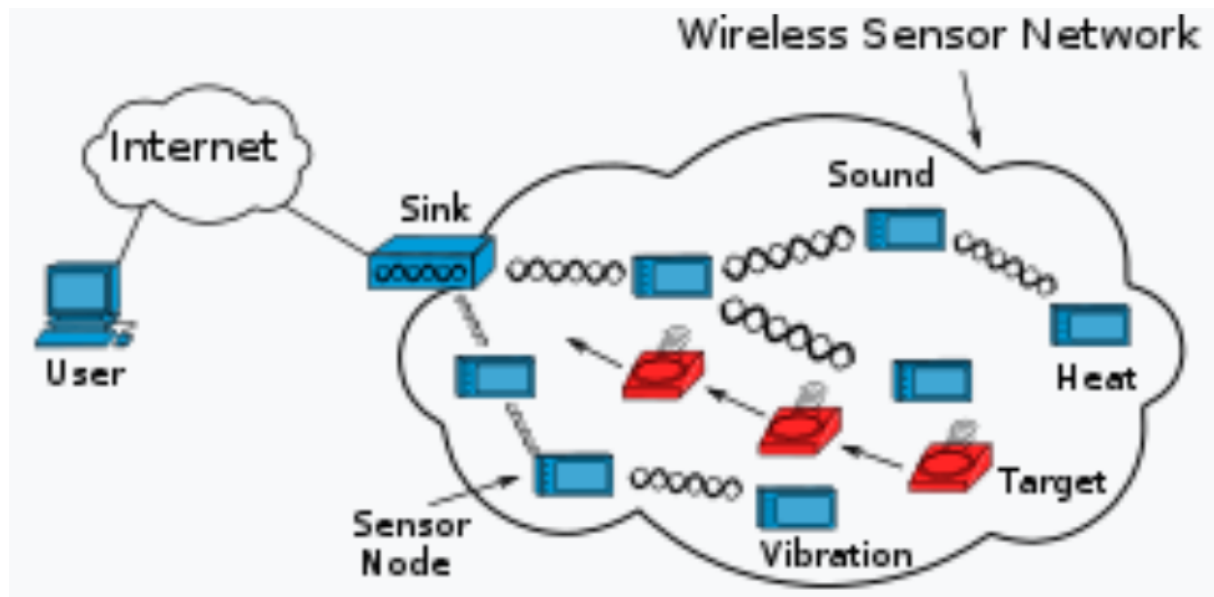


Рисунок 2.7 – Приклад безпроводової сенсорної мережі

Архітектура безпроводової сенсорної мережі представлена на рисунку 2.8.

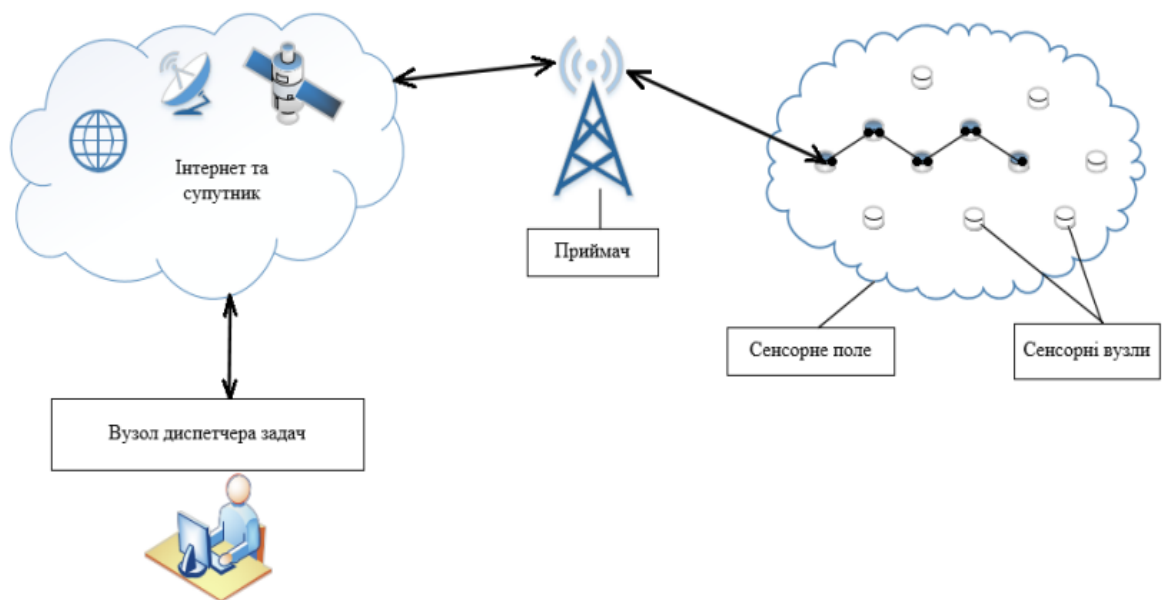


Рисунок 2.8 – Архітектура безпроводної сенсорної мережі

Сенсорні мережі можна класифікувати за типом архітектури на кілька видів: шарувата архітектура, кластерна архітектура та сенсорні вузли з мобільними стоками. Вибір архітектури залежить насамперед від специфіки застосування мережі. Наприклад, у стаціонарній сенсорній мережі, як у випадку з «Розумним будинком», дані передаються через окрему, виділену мережу до центру обробки даних (ЦОД). Основою такої мережі може бути як існуюча телекомунікаційна мережа, так і мережа електропостачання або безпроводовий зв'язок.

Наразі сенсорні мережі тільки починають отримувати активне застосування в цивільних сферах, проте їх здатність працювати в складних умовах, незалежність від дротових комунікацій і мінімальні розміри пристроїв роблять їх надзвичайно гнучкими та практичними.

Гнучкість і стійкість сенсорних мереж, які об'єднують велику кількість інтелектуальних датчиків та інтерфейсів передачі даних, робить їх високоефективними рішеннями для систем збору телеметричних даних і засобів дистанційної діагностики. Управління такою мережею здійснюється через шлюз, встановлений між ключовими компонентами. Інформація збирається та зберігається у базі даних, а система може реагувати на події відповідно до закладених алгоритмів. Наприклад, при виявленні пожежі сенсори надсилають сигнал тривоги, після чого система активує місцеву сигналізацію і передає повідомлення до пожежної служби.

Усі дані в сенсорних мережах передаються порівняно невеликими пакетами, що є ключовою характеристикою для трафіку сигналів управління і моніторингу. Ще однією важливою особливістю є вимога обов'язкового підтвердження успішної доставки повідомлень.

Існує два основні типи мереж. Перший тип базується на підтримуваний фізичній інфраструктурі, яка забезпечує необхідні послуги для комунікації клієнтів, наприклад маршрутизацію. Приклади таких мереж — традиційна телефонна система, мобільний зв'язок, інтернет, поштові системи та телевізійні

мережі. В основі сенсорної мережі такого типу використовуються базові станції, які забезпечують інфраструктуру для вузлів датчиків. Кожен вузол безпосередньо підключається до базової станції, і прямого зв'язку між вузлами немає.

Другий тип мереж функціонує без підтримки фізичної інфраструктури. Усі послуги забезпечуються самими клієнтами, і їхня взаємодія необхідна для спільного використання ресурсів. Приклади таких мереж — однорангові мережі, безпроводові спеціальні мережі та радіозв'язок.

Топологія сенсорної мережі може будуватися за двома основними моделями: "зірка" або "точка-точка". У топології "зірка" мережа розбивається на сегменти, де пристрої з повнофункціональними можливостями (координатори) спілкуються як між собою, так і з вузлами зі зменшеною функціональністю, тоді як останні можуть обмінюватися даними тільки з координаторами. Така топологія передбачає, що повнофункціональні пристрої можуть бути стаціонарними та живитися від зовнішніх джерел через підвищене навантаження.

Ця структура дозволяє побудувати надійні та ефективні мережі для збору та передачі даних у складних умовах, надаючи переваги гнучкості та стійкості до відмов, що є важливим для забезпечення телеметричних систем або систем безпеки.

Приклад організації безпроводових сенсорних мереж з застосуванням великих даних представлений на рисунку 2.9.

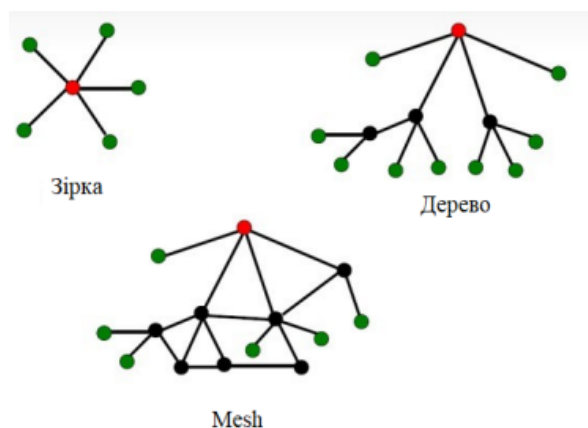


Рисунок 2.9 – Приклад організації безпроводових сенсорних мереж

Такий підхід до організації мережі може бути затребуваним для вирішення обмеженого кола завдань, наприклад, у промисловості. Однак інший варіант організації — це "однорідна" топологія, де розбиття на сегменти не є необхідним, і всі об'єкти можуть взаємодіяти між собою в межах видимості. Це дозволяє створювати більш складні конфігурації мережі, що робить її гнучкою для вирішення різних завдань.

Переваги безпроводових сенсорних мереж із застосуванням технологій Big Data включають [15]:

- **Самовідновлення та самоорганізація:** мережі здатні адаптуватися до змін середовища, автоматично відновлюючи свою працездатність.
- **Передача на великі відстані:** від кількох метрів до кількох кілометрів при мінімальній потужності передавачів.
- **Низька вартість і компактність вузлів:** дозволяє легко інтегрувати такі мережі в різні середовища.
- **Низьке енергоспоживання:** завдяки можливості живлення від автономних джерел.
- **Простота встановлення:** без потреби в прокладанні кабелів.
- **Можливість встановлення на існуючих об'єктах:** без проведення додаткових робіт.
- **Низька вартість обслуговування:** що зменшує витрати на технічну підтримку.

Інтелектуальні сенсорні мережі також відіграють важливу роль у системах Big Data для керування енергоспоживанням. Ці системи допомагають у моніторингу потужності, управлінні споживанням енергії та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Методики, що використовуються для обробки великих даних, генерованих датчиками, забезпечують ефективне управління та витягування релевантної інформації.

Надійність і низька затримка є основними вимогами до інтелектуальних

мереж, тому використання архітектури туманних обчислень є актуальним для додатків реального часу на добре розробленій платформі. Наприклад, **моніторинг стану людського організму через безпроводові мережі тіла (WBAN)** є важливим напрямком. Збір великого обсягу даних про здоров'я через ці мережі є основою для аналізу великих даних. Для реалізації мереж сенсорів, що контролюють тіло, необхідно програмне забезпечення для розпізнавання активності, яке виконує такі функції, як витяг і вибір функцій, класифікація, підтримка платформ, а також аутентифікація датчиків і користувачів.

Великий обсяг даних, що генерується датчиками, зростає геометрично. Традиційні методи зберігання і обробки (сервери та реляційні бази даних) є занадто дорогими та недостатньо швидкими для цих завдань, особливо коли потрібна обробка даних в реальному часі. Крім того, значна частина подій, що фіксуються через сенсори, є або надлишковою, або незначною, що призводить до зайвого використання ресурсів для зберігання і передачі даних.

Таким чином, **в системах на базі безпроводових сенсорних мереж (WSN)** важливо оптимізувати процес збору та передачі великих обсягів даних, мінімізуючи затримку та витрати на зберігання і обробку інформації.

2.3 Порівняльний аналіз технологій. Методика порівняльного аналізу

Однією з важливих характеристик IoT є здатність пристроїв працювати під високим навантаженням. У зв'язку з цим, виникає необхідність у використанні технологій великих даних, що дозволяють ефективно вирішувати завдання, мінімізуючи енергоспоживання. З 2015-2016 років з'явилися нові типи мереж, розроблені спеціально для підключення автономних пристроїв до глобальної мережі. Найбільш популярні з цих технологій: **LoRa**, **SIGFOX**, **NB-IoT**, **Weightless P** та інші [16]. Вони стали відповіддю на потребу підключення великої кількості приладів для централізованого збору даних на хмарних серверах.

LoRa є прикладом розвитку технологій LPWAN (Low Power Wide Area Network), розробленої корпорацією Semtech. Основний принцип технології полягає в **Chirp Spread Spectrum (CSS)** — широкосмуговій частотній модуляції, що використовує імпульси з частотами, які змінюються в часі. Це дозволяє приймачу залишатися стійким до змін частоти та зменшує вимоги до тактового генератора, що, у свою чергу, дає можливість використовувати більш доступні компоненти.

LoRa працює в **субгігагерцовому діапазоні частот**, зокрема 169, 433, 868 МГц в Європі та 915 МГц в США. Вибір частоти залежить від умов середовища та специфічних вимог кожного регіону. В окремих випадках використовується також діапазон **2.4 ГГц**, хоча через високий рівень зовнішніх впливів його застосування обмежене.

LoRa дозволяє управляти **швидкістю передачі даних**, яка варіюється від **0,3 до 50 Кбіт/с**. Щоб забезпечити максимальний час автономної роботи кінцевих пристроїв і оптимізувати загальну пропускну здатність, мережева інфраструктура LoRa здатна автоматично коригувати швидкість передачі даних для кожного пристрою за допомогою **адаптивної швидкості передачі даних (ADR)**.

LoRa підтримує три класи пристроїв, кожен з яких адаптований до певних типів завдань:

- **Клас А** — базовий клас, який підтримують всі пристрої. Він забезпечує найнижче енергоспоживання, оскільки передачі даних ініціюються самим пристроєм, коли це необхідно.
- **Клас В** — включає додаткові планові часові проміжки для прийому даних, що дозволяє пристроям отримувати інформацію в чітко визначені моменти часу.
- **Клас С** — забезпечує постійний режим прийому, що дозволяє пристроям отримувати дані майже миттєво, але за рахунок вищого енергоспоживання.

LoRa дозволяє балансувати між дальністю зв'язку та швидкістю передачі

даних, що робить її привабливою для різних застосувань, таких як **облік споживання енергії, моніторинг навколишнього середовища, або логістика**. Проте використання низьких частот і компроміси в швидкості передачі даних можуть обмежувати LoRa у високошвидкісних застосуваннях.

Такі технології як LoRa продовжують набирати популярність завдяки можливості оптимізувати енергоспоживання при високій продуктивності та надійності.

На рис. 2.10 відображені класи пристроїв: клас А (для всіх), класу В і клас С.

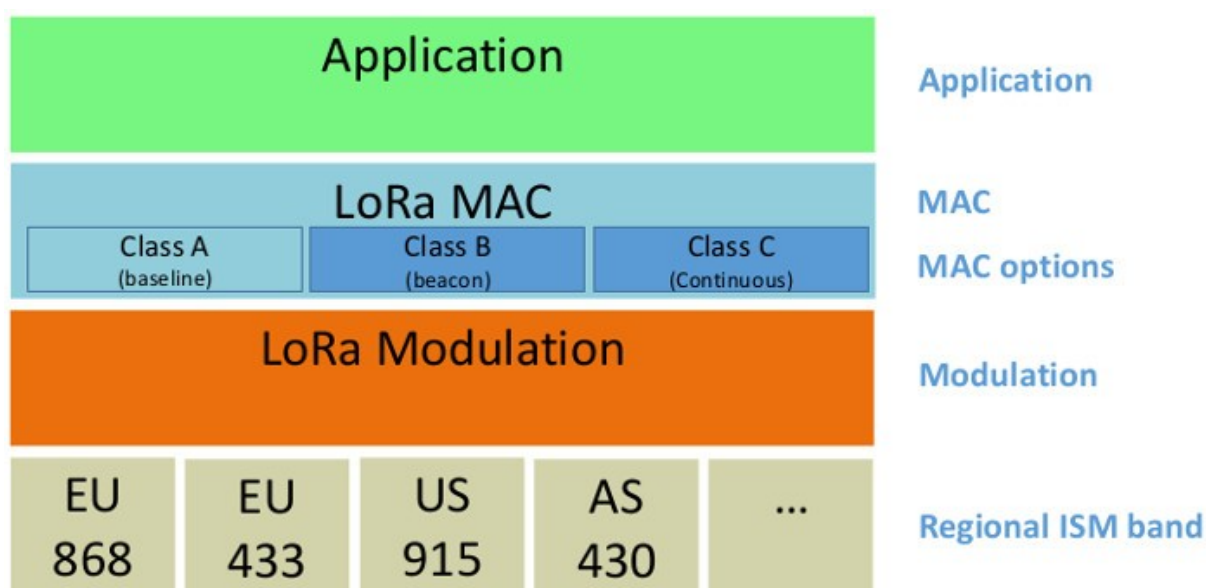


Рисунок 2.10 – Класи пристроїв в мережах LoRa

У «**класі А**» мереж LoRa функціональний режим за замовчуванням забезпечує, що ініціатором сеансу зв'язку є кінцевий пристрій. Пристрій передає дані у вигляді коротких пакетів на шлюз за попередньо визначеним розкладом. Після кожної передачі даних термінал відкриває приймальне вікно на певний час, очікуючи команду від сервера.

У «**класі В**» передбачено додаткове приймальне вікно, яке відкривається за розкладом. Це вікно синхронізується за допомогою спеціальних сигналів-маяків, які надходять від шлюзу. Завдяки цьому сервер може ініціювати передачу даних у чітко визначений момент часу.

«Клас С» пристроїв характеризується майже постійним прийомом, що закривається тільки під час передачі даних. Такий режим дозволяє використовувати пристрої для задач, які потребують великого обсягу даних.

Мережа LoRa зазвичай має топологію "зірка", де кінцеві пристрої підключаються через шлюзи LoRa до загального серверу мережі (NetServer) через стандартні IP-протоколи (Рис. 2.11). У LoRaWAN мережеві вузли не закріплені за конкретним шлюзом, що дозволяє гнучко керувати з'єднаннями та оптимізувати роботу мережі.

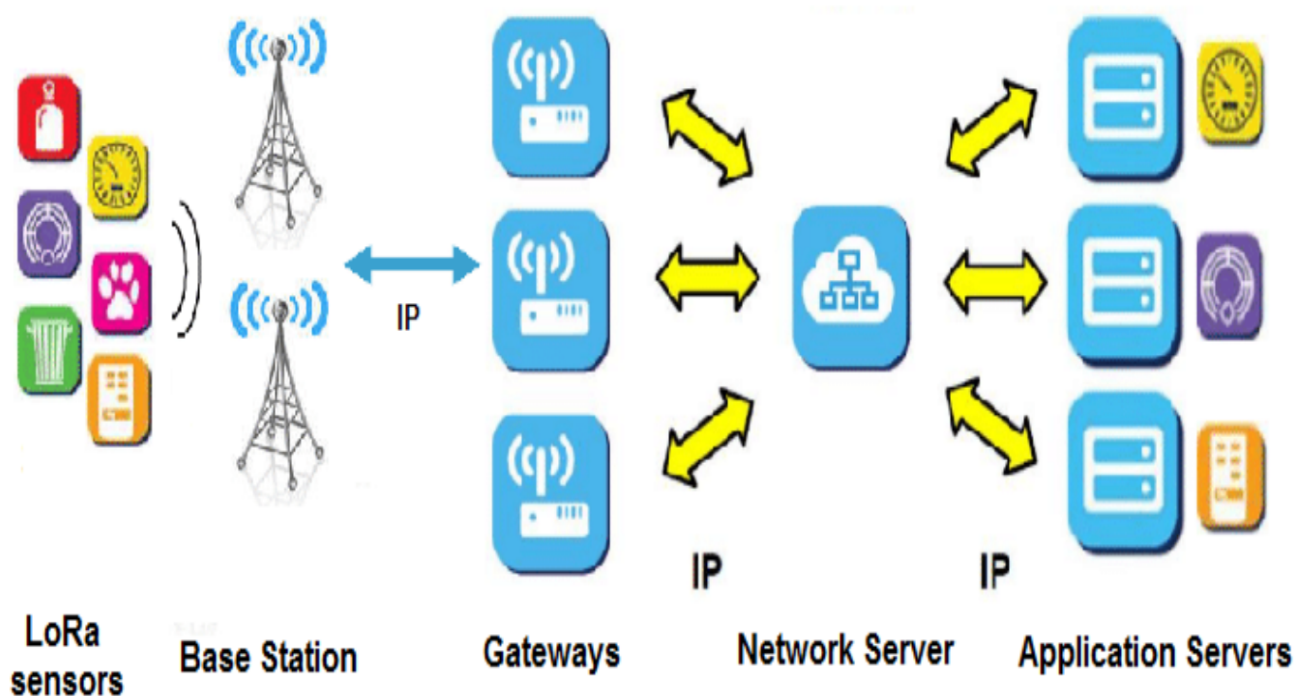


Рисунок 2.11 – Архітектура системи LoRa

Шлюзи передають повідомлення між кінцевими пристроями і сервером по архітектурі протоколу, яка подана на рис. 2.12.

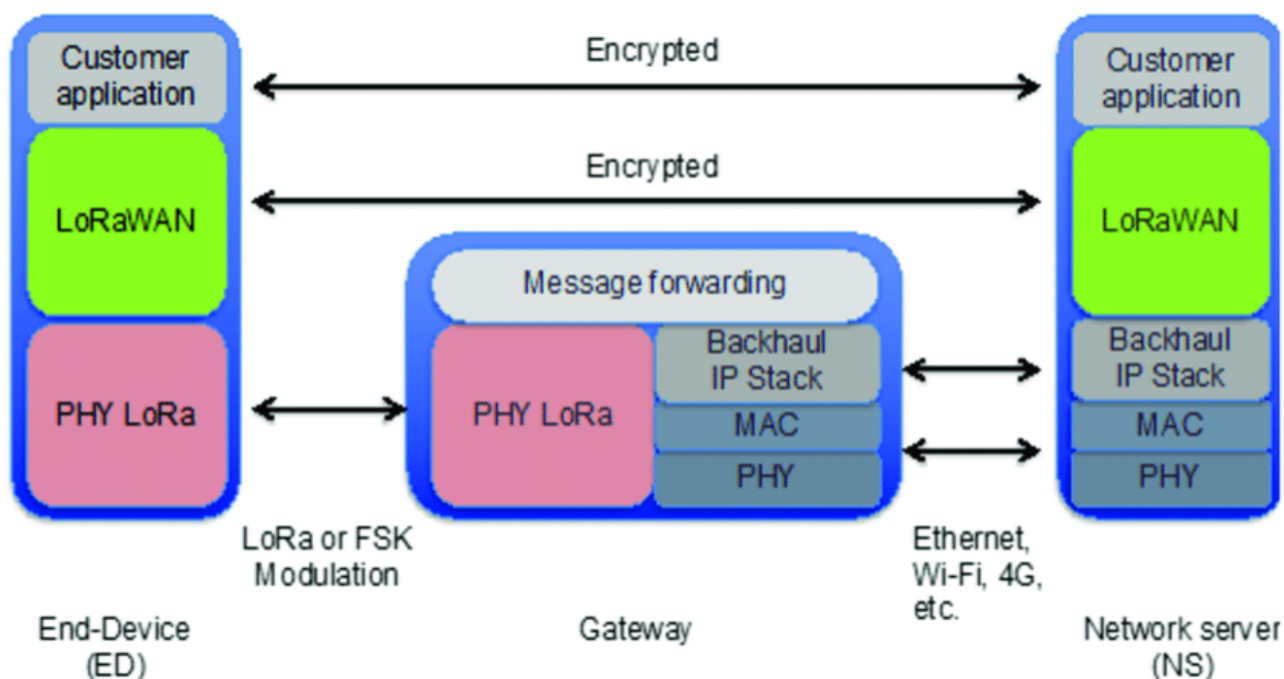


Рисунок 2.12 – Архітектура відкритого протоколу LoRaWAN

SIGFOX — це приватна компанія, яка фокусується на створенні глобальної мережі, спеціально розробленої для пристроїв Інтернету речей (IoT). Її технологія дозволяє передавати дані на значні відстані при низькій потужності передавача і мінімальному споживанні енергії, що робить її ідеальною для простих автономних пристроїв, які передають невелику кількість даних.

SIGFOX використовує ультравузьку смугу частот (Ultra Narrow Band, UNB), яка забезпечує значне зниження енергоспоживання та дозволяє тривале використання батареї. Така мережа схожа на стільникову інфраструктуру (GSM- та GPRS-3G-4G), однак вона значно ефективніша в плані енергозбереження та економічніша в експлуатації.

Основою SIGFOX є проста топологія "зірка" на базі комірчастої інфраструктури. Ця мережа є масштабованою та забезпечує високу продуктивність, підтримуючи при цьому дуже низьке споживання енергії.

Топологія мережі SIGFOX, представлена на рисунку 2.13, відображає масштабовану мережеву структуру, яка дозволяє надійно підтримувати передачу

даних з мінімальними витратами ресурсів.



Рисунок 2.13 – Топологія мережі SIGFOX

В системі SIGFOX вузли можуть працювати в двох основних конфігураціях:

- **Режим P2P (Point-to-Point)** – це режим прямого зв'язку між вузлами через інтерфейс LAN. У цьому випадку вузли підключаються один до одного безпосередньо та можуть відразу передавати повідомлення. Однією з переваг цього підходу є відсутність плати за передачу даних, оскільки зв'язок здійснюється без використання транзитного каналу.
- **Гібридний режим (SIGFOX / P2P)** – це комбінація режимів SIGFOX і P2P, яка дозволяє вузлам надсилати лише певні повідомлення через мережу SIGFOX. У цьому випадку один із вузлів виступає в ролі шлюзу (Gateway), поєднуючи вузли в режимі P2P із мережею SIGFOX. Вузли в цьому режимі можуть працювати одночасно у двох режимах — безпосередньо один з одним через P2P та передавати повідомлення через SIGFOX за потреби.

Такий підхід дозволяє з легкістю налаштовувати додаткові мережі та використовувати існуючі бібліотеки команд без необхідності оновлення прошивки.

Weightless є відкритим стандартом для мереж LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), який розроблений для забезпечення високої продуктивності мережі. Спеціальна група інтересів Weightless (Special Interest Group, SIG)

пропонує три різних протоколи: **Weightless-H**, **Weightless-W** та **Weightless-P**, кожен з яких призначений для різних типів використання.

- **Weightless-W** працює в частотах телевізійного діапазону (TV White Space, TVWS) і є ідеальним для застосування в нафтогазовій промисловості, де є необхідність у великій зоні покриття.
- **Weightless-N** фокусується на надзвичайно широкому покритті та низькому енергоспоживанні, однак обмежується одностороннім зв'язком. Цей протокол чудово підходить для сенсорних мереж, які збирають дані, наприклад, про температуру чи рівень рідини в резервуарах.
- **Weightless-P** є вузькосмуговою технологією для IoT-рішень, що потребують великої щільності пристроїв, двостороннього зв'язку та тривалого терміну служби батарей. Цей протокол відзначається високою масштабованістю, оптимізацією зв'язку та широкою зоною покриття.

Weightless-P є найбільш масштабованою субгігагерцовою технологією LPWAN, яка підтримує більше пристроїв на одній базовій станції, ніж інші технології в цьому діапазоні, що знижує витрати на розгортання мережі.

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things), також відомий як LTE-Cat.M2, має низку переваг, серед яких широке покриття, низьке енергоспоживання, яке дозволяє пристроям працювати до 10 років від однієї батареї, низька вартість обладнання, висока надійність і захист даних на рівні операторських мереж. NB-IoT ідеально відповідає вимогам ринку LPWAN, що дозволяє операторам розширити покриття і розвивати нові послуги на основі Інтернету речей.

Технологія дозволяє операторам працювати з уже існуючими напрямками IoT, такими як інтелектуальні лічильники для обліку електрики, води і газу, а також системи відстеження об'єктів. Окрім цього, NB-IoT відкриває нові можливості для розвитку «розумних міст», інфраструктур і промислових рішень.

NB-IoT, як вузькосмуговий бездротовий стандарт для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням, є частиною еволюції стільникових технологій у напрямку Інтернету речей. Основною метою є підтримка додатків

«машина-машина» (M2M). Цей стандарт був введений у рамках Release 13 від 3GPP (LTE Advanced Pro) і активно тестується з 2016 року.

Серед основних сфер застосування NB-IoT можна виділити:

- інтелектуальні лічильники (вода, газ, електрика);
- системи пожежної та охоронної сигналізації;
- пристрої для медичного моніторингу;
- відстеження людей, тварин та речей;
- інфраструктура розумних міст, наприклад, вуличне освітлення або системи обліку транспорту;
- підключення промислових пристроїв, таких як зварювальні апарати або компресори.

NB-IoT технологія орієнтована на сервіси, що потребують широкого покриття і мінімального енергоспоживання, що є ключовими факторами для близько 80% випадків використання LPWAN. Технологія також демонструє високі показники надійності та захисту даних, що робить її привабливою для багатьох галузей.

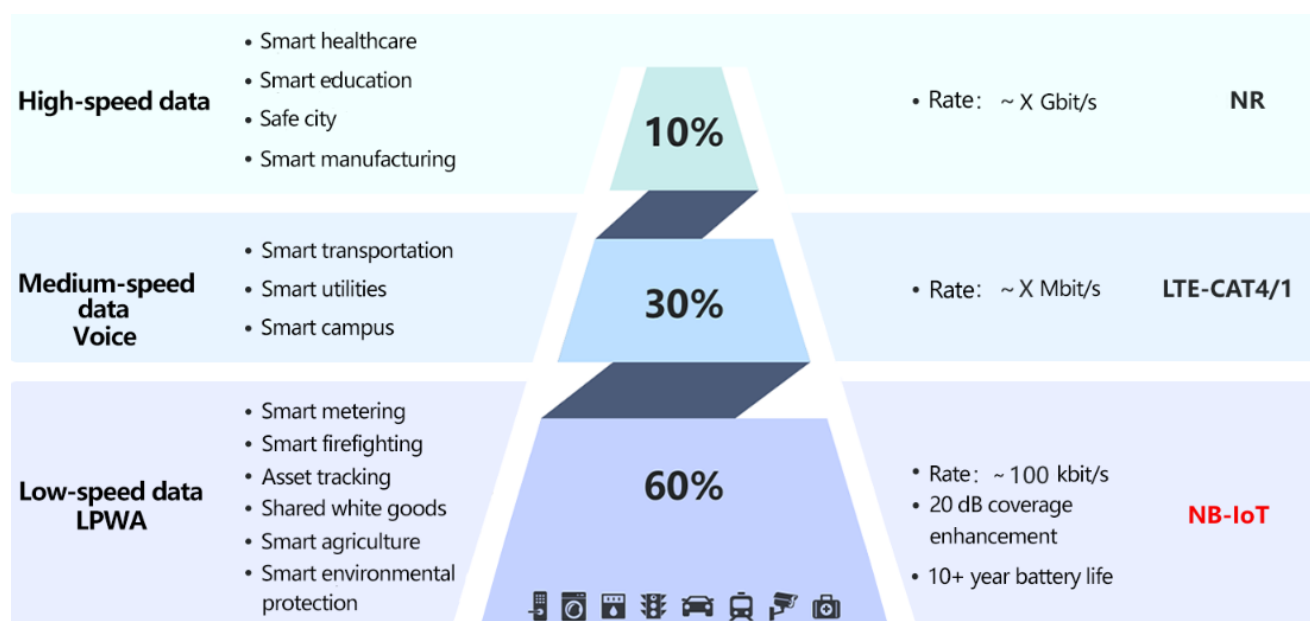


Рисунок 2.14 – Функціональні можливості NB-IoT

Порівняння технологій високопродуктивних мереж дальнього радіусу дії представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння технологій високопродуктивних сенсорних мереж IoT, які використовують BigData

Технічні характеристики	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	Weightless P
Метод модуляції	CSS	–	OFDMA/DSSS	FDMA / TDMA
Діапазон	ISM	ISM	Ліцензований	ISM
Швидкість	0,3–50 кбіт/сек	100 кбіт/сек	UL: 1–144 кбіт/сек DL: 1–200 кбіт/сек	0,2–100 кбіт/сек (адаптивна)
Смуга	Широко- смуговий до 500 кГц	Вузько- смуговий 100 кГц	Вузько- смуговий 200 кГц	Вузько- смуговий 12,5 кГц
Час автономії	> 10 років	–	До 10 років	3–5 років
Частота	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США) 433 МГц (Азія)	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США)	700 / 800 / 900 МГц	169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц

Безпека	AES-64 и 128 б	AES с HMACs	–	AES-128 / 256
Дальність	До 2,5 км в місті, до 45 км поза містом	До 10 км в місті, до 50 км поза містом	–	До 2 км в місті
Підтримка	LoRa Alliance, IBM, Cisco, Actility, Semtech...	SigFox, Samsung	3GPP, Ericson, Nokia, Huawei, Intel...	Ubiik Weightless SIG

Відомо, що кілька операторів по всьому світу використовують смугу частот 900 МГц для GSM через його великі можливості покриття. Це можливо тому, що такі низькі смуги частот мають відмінні характеристики поширення, і це, як правило, покращує проникнення в приміщенні.

Висновки до 2 розділу

Порівнюючи можливості NB-IoT з іншими технологіями LPWAN, такими як e-MTC, SIGFOX і LoRa, можна відзначити, що NB-IoT демонструє вищу продуктивність у багатьох аспектах. Зокрема, з точки зору мережеских інвестицій, покриття, трафіку на вхідній і вихідній лінії зв'язку, а також надійності мережі, NB-IoT забезпечує найбільш оптимальне рішення для сучасних потреб Інтернету речей.

Частоти в діапазонах 700, 800 та 900 МГц є ідеальними для розгортання NB-IoT, оскільки цей частотний спектр підтримується багатьма світовими операторами зв'язку. Сьогодні багато комерційних мереж UMTS і LTE працюють на частотах 900 МГц, що спрощує інтеграцію та підтримку NB-IoT, особливо у

вже наявних мережах.

Пристрої IoT на периферії мережі або кінцевих вузлах підключаються для подальшої обробки даних та аналітики. Деякі з них підключаються напряду, інші — через шлюзи. Шлюзи відіграють важливу роль, об'єднуючи трафік від енергоефективних мереж з великим покриттям у локальні або глобальні мережі з високою пропускною здатністю. Вони зазвичай мають потужніші джерела живлення та обчислювальні ресурси порівняно з кінцевими вузлами.

Пристрої IoT часто розраховані на тривалий час автономної роботи, що вимагає ефективного управління енергоспоживанням. Наприклад, інтелектуальні порогові тригери в шлюзах допомагають ефективно керувати трафіком, передаючи тільки необхідну інформацію на центральні хмарні сервери.

Шлюзи використовують різні бездротові технології для передачі даних, як стільникові (наприклад, NB-IoT, LTE), так і нестільникові (LoRa, SIGFOX). Такий підхід забезпечує гнучкість у залежності від вимог до покриття, часу затримки, пропускної здатності, енергоефективності та вартості. Однак масштабування таких гетерогенних мереж може створювати виклики, зокрема функціональну несумісність і перешкоди, які необхідно враховувати при проектуванні пристроїв IoT.

Крім того, проектування пристроїв повинно враховувати низьке енергоспоживання і тривалий термін служби батарей, адже від таких пристроїв часто очікують безперервної роботи протягом кількох років без втручання людини. Тому вибір технології, що підтримує ефективну роботу на малих потужностях, таких як NB-IoT, є критичним для багатьох галузей, зокрема для «розумних міст», промислових додатків і домашньої автоматизації.

РОЗДІЛ 3 МЕТОД ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ BIGDATA ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Розробка структурної схеми IoT рішення

В межах даного розділу розглянемо структурну схему IoT рішення для сенсорної мережі із застосування технології великих даних [17].

На рисунку 3.1 показана базова структура системи великих даних на основі WSN як фундаментальна системна архітектура.

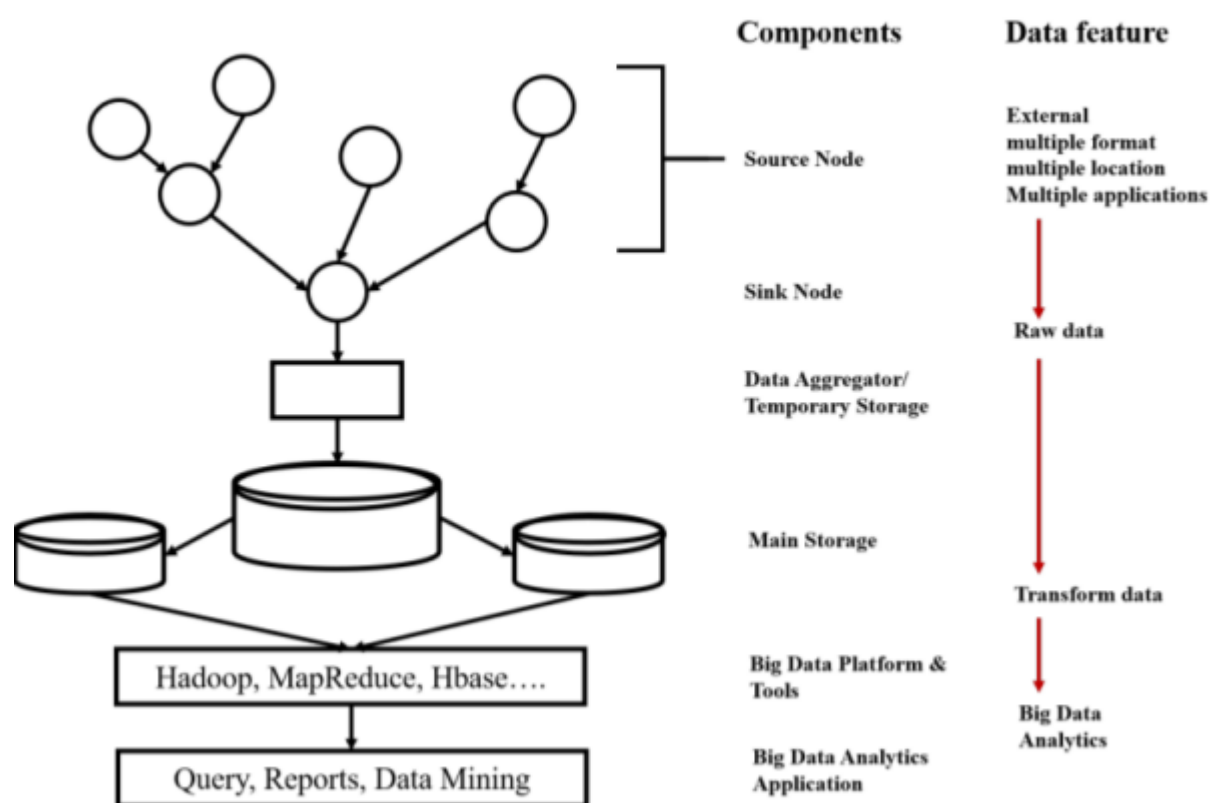


Рисунок 3.1 – Фундаментальна системна архітектура IoT рішення

Як показано на рисунку 3.1, вузол-приймач спочатку збирає дані від датчиків, після чого ці дані передаються у тимчасове сховище для подальшого

агрегування. Наступний етап — це управління агрегованими даними через інфраструктуру великих даних, що використовує основне сховище для їх збереження та обробки. Після цього оброблені та перетворені дані аналізуються за допомогою платформ і додатків великих даних.

У контексті розумних мереж, інтелектуальні сенсорні мережі інтегруються в системи великих даних для управління енергетичними ресурсами. Такі системи дозволяють запускати програми, що включають моніторинг потужності, управління споживанням енергії на стороні попиту, координацію розподіленого зберігання енергії, а також інтеграцію відновлюваних джерел енергії.

3.2 Особливості IoT рішення із застосуванням BigData технологій

Зростаюча потреба у високопродуктивній та ефективній системі NB-IoT є наслідком стрімкого збільшення обсягів даних, що вимагає постійного моніторингу та інтелектуальної обробки отриманих вимірювань і досліджень (завдань, що реалізуються за допомогою IoT-рішень). Наприклад, в останні роки нові технології у сфері сільського господарства, зокрема точного землеробства, були застосовані для підвищення продуктивності та оптимізації використання ресурсів [18].

Найважливіше те, що в таких системах користувачам необхідно мати точні та своєчасні дані про стан об'єктів. Ці відомості, отримані в результаті вимірювань, стають вхідними даними для спеціалізованих систем управління процесами. Приклади таких систем можуть включати контроль зрошення, точне дозування пестицидів і боротьбу зі шкідниками. Для ефективного збору та комплексної обробки даних інтеграція IoT із безпроводовими високопродуктивними сенсорними мережами (WSN) у нових структурах сприяє значному підвищенню ефективності, зокрема збільшенню врожайності сільськогосподарських культур.

Для таких систем недостатньо просто аналізувати звичайні дані, тому необхідно використовувати технології Big Data. Ці передові системи зазвичай проєктуються як агентно-орієнтовані рішення з використанням датчиків для підвищення точності та ефективності процесів.

Хоча внесок IoT, Big Data та WSN окремо добре відомий і відіграє значну роль у підвищенні ефективності, інтеграція цих компонентів в рамках IoT обіцяє ще більші досягнення в області моніторингу, моделювання виробництва, прогнозування та прийняття рішень. Сенсорні мережі (WSN) виконують кілька ключових функцій, таких як збір даних про параметри середовища (температура, вологість, освітленість, поживні речовини), розподілена обробка даних з метою досягнення консенсусу, зберігання та злиття даних нижчого рівня, а також передача цих даних.

Існує тісний взаємозв'язок між великими даними та IoT. Вони не тільки допомагають один одному, але й активно впливають на розвиток один одного. Оскільки обсяги даних, генеровані IoT-пристроями, продовжують швидко зростати, традиційні технології зберігання даних вичерпують свої можливості, що вимагає більш сучасних рішень для їх зберігання та обробки. Зокрема, використання традиційних методів збору даних для таких завдань, як моніторинг чи енергетика, стає менш ефективним.

У багатьох сферах застосування, таких як моніторинг великих територій, датчики об'єднуються у високопродуктивні сенсорні мережі, що включають вузли для збору, обробки та передачі даних. Для таких завдань важливо забезпечити енергоефективність кінцевих пристроїв IoT, оскільки їх тривалий автономний режим роботи є необхідністю. Таким чином, дослідження і оптимізація параметрів енергоспоживання стають пріоритетними для таких рішень.

Все це підтверджує, що для IoT-рішень важливо використовувати Big Data і забезпечувати високу енергоефективність пристроїв.

3.3 Математична модель IoT рішення

Розглянемо математичну модель IoT рішення.

Представимо спрощену структурну схему взаємодії компонентів. Загальна схема прив'язки математичних виразів і рівнянь моделі до функціональних елементів наведена на рисунку 3.2.

Представимо структурну схему IoT як систему, яка має N входів і M виходів, всього $N + M = P$ функціональних виводів.

При цьому N і M є змінними параметрами, в математичному вигляді їх можна записати як вираження [19]:

$$N_t = f(SR_t) \leq P, \quad (3.1)$$

$$M_t = f(SR_t, PR_t, N_t) \leq P, \quad (3.2)$$

де N_t - число входів;

M_t - число виходів;

P - загальна кількість виводів;

SR_t - поточні значення масиву даних;

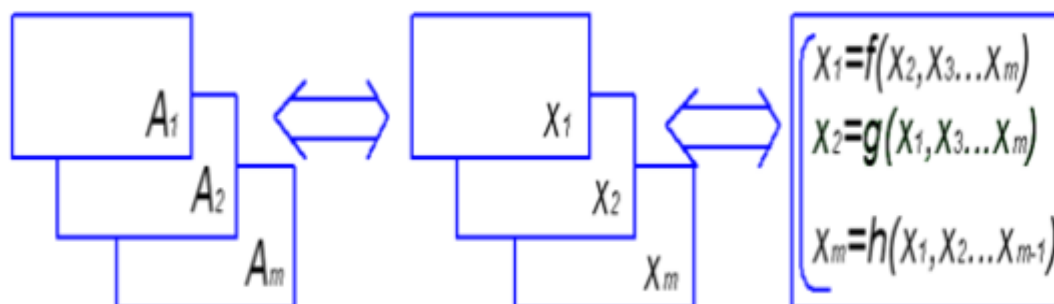


Рисунок 3.2 – Взаємодія математичних виразів і рівнянь моделі з функціональними елементами

Функції (3.1) і (3.2) можна описати для кожного окремого рішення, вказавши, які

стани може приймати рішення:

$$Pri = \{\text{Тільки вхід, тільки вихід, двонаправлений}\} \quad (3.3)$$

Графічно модель IoT рішення можна проілюструвати у вигляді рисунку 3.3.

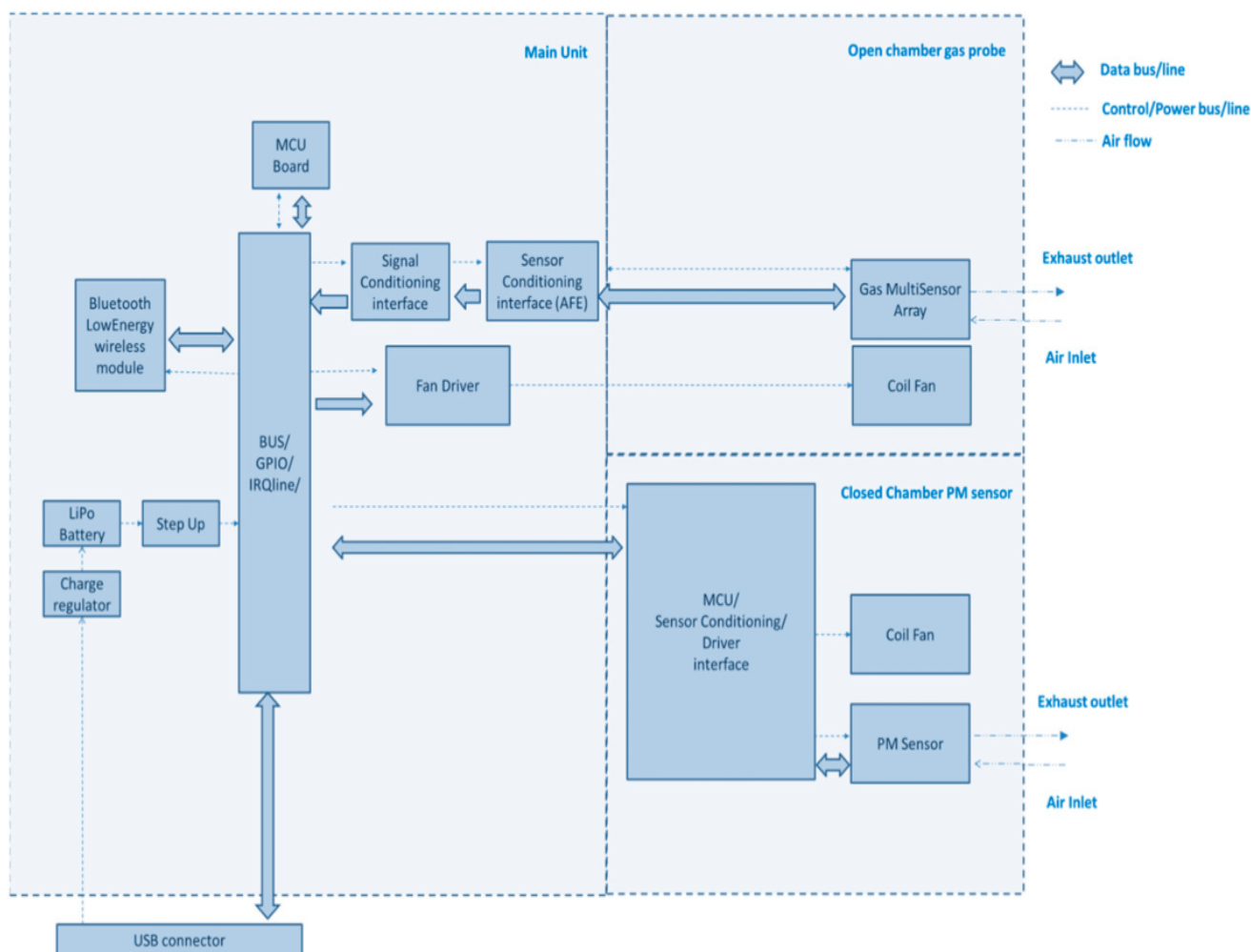


Рисунок 3.3 – Графічна модель NB-IoT рішення

Блок PR1-PRB в даній моделі позначають кінцеві пристрої IoT, для яких важливо розгнати енергоспоживання і їх час роботи, що буде представлено у наступному розділі магістерської дисертації.

3.4 Математична постановка задачі енергоефективності IoT рішення та її розв'язання

Кожен пристрій, що підключається до мережі, зобов'язаний пройти сертифіковану процедуру підключення між базовою станцією оператора і кінцевим пристроєм, будь то смартфон чи датчик. Ця процедура називається процесом випадкового доступу (див. рис. 3.4). Щоб краще зрозуміти можливі проблеми, цей механізм варто спочатку узагальнити.

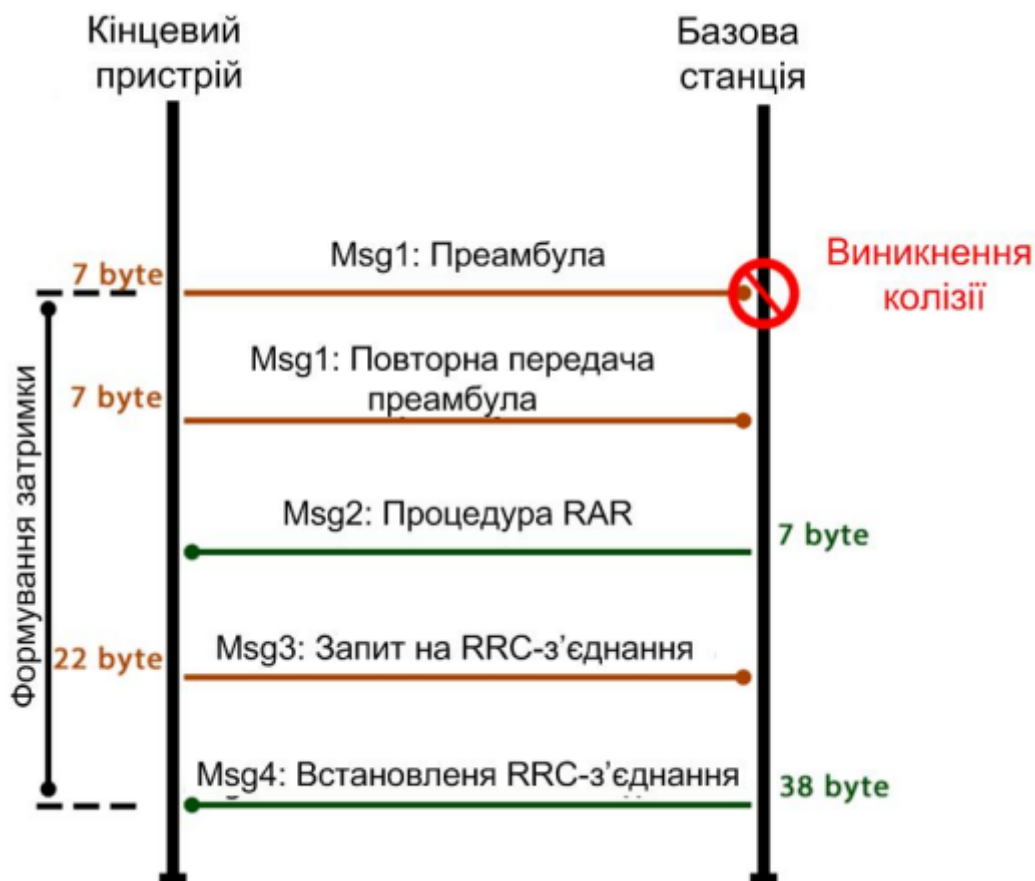


Рисунок 3.4 – Процедури випадкового доступу

Процедура підключення кінцевого пристрою до мережі починається з передачі преамбули (Msg1) на станцію через фізичний канал випадкового доступу

(PRACH). Пристрій випадковим чином обирає одну з 64 доступних послідовностей преамбули, що і стає джерелом проблем. Зі зростанням кількості пристроїв, які одночасно підключаються, з'являються колізії при встановленні з'єднання, що може призводити до затримок у мережі.

Якщо преамбула успішно прийнята, станція відповідає повідомленням RAR (Msg2) у межах певного часу очікування. Після отримання цієї відповіді, пристрій переходить до етапу встановлення підключення (Msg3) через PUSCH, використовуючи ресурси, виділені в Msg2. Процедура вважається успішною, коли пристрій отримує Msg4 від eNB, що підтверджує встановлення RRC підключення.

Кінцеві пристрої IoT підключаються до мережі періодично, передаючи інформацію лише в моменти необхідності. Це означає, що проблема колізій під час з'єднання виникає через обмежену кількість доступних преамбул. Якщо два пристрої обирають одну й ту саму преамбулу для підключення одночасно, один із них буде відключений і спробує підключитися знову, поки не досягне успіху або не закінчиться таймер.

Ця проблема не була б настільки значною, якби кількість пристроїв, підключених до однієї базової станції, залишалася на низькому рівні. Однак, із розвитком Інтернету речей кількість кінцевих пристроїв постійно зростає. У критичних ситуаціях, коли одночасно активуються великі групи датчиків, виникнення колізій при підключенні може призвести до серйозних затримок або навіть перевантаження мережі.

Автономність кінцевих пристроїв Інтернету речей також є ключовим аспектом їх функціонування. Це передбачає тривалу роботу пристроїв без втручання людини. У рамках цього дослідження буде розроблена модель для розрахунку енергоспоживання таких пристроїв. Ця модель дозволить передбачити тривалість служби акумулятора з урахуванням можливих затримок у процесі з'єднання.

Розрахунки показників затримок при встановленні з'єднання, а також

ймовірності колізій, будуть базуватися на методології з джерела [21]. Вихідні дані для цих розрахунків складатимуться з стандартизованих параметрів сигналу стандарту IoT. Крім того, ця модель також дозволить проводити розрахунки параметрів для стандартів безпроводових сенсорних мереж (БСМ). Основні вихідні дані, необхідні для проведення розрахунків, подано у таблиці 3.1, відповідно до специфікацій стандартів.

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку

Позначення	Параметр	Значення
-	Ширина смуги	200 кГц
s	Повне число преамбул	64
L1	Максимальне число передач преамбули	10
-	Розмір вікна очікування преамбули	5 мс
-	Таймер ContentionResolution	(у 48мс)
Wmax	Індикатор Backoff	(у 200 м)
π_1	Імовірність успішної доставки Msg3	0.9
π_2	Імовірність успішної доставки Msg4	0.9
L3	Максимальна кількість повідомлень HARQ Tx для повідомлень Msg3 та Msg4	5
M	Кількість кінцевих пристроїв у мережі	100 150 200

b	Частота PRACH	5 мс
K	Вікно очікування RAR	5 мс
K1	Час передачі преамбули	1 мс
K0	Час обробки преамбули на eNB	2 мс
tpr	Час обробки перед передачею Msg3	5 мс
tx	Час обробки Msg3 і прийом Msg4	6 мс

Під час виконання розрахунків особливе значення має індекс конфігурації PRACH, який впливає на низку системних параметрів повідомлення Msg1, таких як кількість субкадрів, у яких UE може спробувати передати преамбулу, а також довжина самої преамбули. Подібним чином таймер **ContentionResolution** визначає максимальну кількість субкадрів, відведених для очікування передачі Msg3, після чого система оголошує про невдачу під час встановлення з'єднання. Коли пристрій готовий передати дані, він починає конкурувати з іншими пристроями за ресурси каналу PRACH. Ймовірність успішної передачі преамбули визначається за формулою $1 - e^{-1}$, де i — індекс кількості спроб передачі, а L_i — максимальна кількість таких спроб. Після K_0 субкадрів відбувається пауза, щоб уникнути конфлікту з попередньою передачею Msg2 (ця пауза є "response window"). Після цього відбувається запуск нового вікна відповідей із таймером для повторної передачі преамбули.

У новому вікні відповідей eNB (базова станція) надсилає повідомлення Msg2, яке рівномірно розподіляється по субкадрах. Якщо пристрій IoT не отримав Msg2 через колізію або недостатню потужність, процедура RA перезапускається після випадкового таймера **W**, який визначається як відстрочка передачі, вибрана в межах вікна відстрочки **W_{max}**.

Після успішного прийому повідомлення RAR, пристрій NB-IoT починає

обробку *Msg3* для передачі в межах *tpr*. Потім він передає *MSG3* і чекає *ttx* – *l* для передачі *Msg4*. Повідомлення *Msg3* і *Msg4* успішно доставлені з імовірністю π_3 і π_4 . Максимальна кількість спроб передачі - *L3*.

Згідно зі звітом [24], загальна затримка встановлення підключення обчислюється як кількість *затримок* у *Msg1*, *Msg2* і *RRC Msg3*:

$$E[\tau] = E[\tau^{(1)}] + E[\tau^{(2)}], \quad (3.3)$$

де $E[\tau^{(1)}]$ – час очікування від активації кінцевого пристрою до кінця процедури передачі преамбули *Msg1* та відповідь на неї *Msg2* на неї, і $E[\tau^{(2)}]$ - час очікування, доки не буде встановлено з'єднання *RRC*.

У свою чергу, ці компоненти обчислюються як:

Очікувана затримка *Msg3/Msg4*.

Очікувана затримка розраховується за формулою:

$$E[\tau^{(2)}] = t_{pr} + t_{tx} \cdot n_3!, \quad (3.4)$$

де $n_3!$ - середня кількість передач між *Msg3* та *Msg4* і підраховується:

$$n_3! = \pi_{tx} + \sum_{n=1}^{L_3} n(1 - \pi_{tx})^{n-1}, \quad \pi_{tx} = 1/\pi_{tx}[1 - (1 - \pi_{tx})^{L_3}] \quad (3.5)$$

Очікувана затримка *Msg1/Msg2*.

При розрахунку цієї затримки можна розрахувати, нехтуючи зіткненнями при створенні з'єднання, тоді:

$$E[\tau^{(1)}] = c_1(K_s + K_0 + K + w!), \quad (3.6)$$

де *w* - середній час очікування перед повторною преамбулою і він дорівнює:

$$w! = c_1(c_2 + 1) + (c_2 + b + bc_3)(W - bc_3 - c_2) + bc_3c_2$$

Якщо розрахунок враховує вплив колізій на затримку, то формула:

$$E[\tau^{(1)}] = \sum_{j=1}^M \theta_j 1/\pi + w_j!$$

де θ_1 - ймовірність знаходження пристрою в стані зіткнення:

$$\theta_1 = \frac{(m-1)!}{(j-1)!(m-j)!} \rho^{j-1} (1-\rho)^{m-j}. \quad (3.8)$$

Цей алгоритм допомагає визначити середній час перебування пристрою в різних станах, що дозволяє точно оцінити енергоспоживання пристрою.

Аналіз енергоспоживання пристроїв у разі колізій базується на цих затримках. Числові результати аналізу затримок з'єднання, наведені в таблиці 3.2, демонструють, що зі зростанням кількості пристроїв у мережі ймовірність колізій збільшується, що, у свою чергу, призводить до збільшення затримок підключення.

Таблиця 3.2 Затримка Msg3/Msg4

Параметр	Позначення	Значення
Затримка Msg3/Msg4		
Середня кількість спроб передачі	n	1,233
преамбули		
Середня затримка	$E[\tau^{(2)}]$, мс	12,398
Очікувана затримка Msg1/Msg2 без колізій		
Середня затримка передачі преамбули з n спроби	$E[\tau^{(1)}, \text{спроба}]$, мс	8,5
Очікувана затримка Msg1/Msg2 з колізіями		
		Число пристроїв M2M

		100	150	200
Ймовірність колізії	π_{kol}	0,0025%	0,006%	0,008%
Середнє число передачі преамбули	n	1,026	1,035	1,038
Середня затримка	$E[\tau^{(2)}]$, мс	15,87	16,71	17,42

У новому вікні відповідей eNB (базова станція) надсилає повідомлення Msg2, яке рівномірно розподіляється по субкадрах. Якщо пристрій IoT не отримав Msg2 через колізію або недостатню потужність, процедура RA перезапускається після випадкового таймера **W**, який визначається як відстрочка передачі, вибрана в межах вікна відстрочки **W_{max}**.

Кінцевий пристрій, незалежно від того, чи це датчик, смартфон або інший пристрій, може перебувати в двох станах:

- **RRC_IDLE** — стан, коли пристрій не отримує ресурсів від мережі. У цьому стані споживання енергії пристроєм є мінімальним, оскільки приймач більшу частину часу вимкнений.
- **RRC_CONNECTED** — стан, коли пристрій отримує ресурси для передачі даних. У цьому стані активність пристрою вища, і відповідно збільшується енергоспоживання.

Щоб продовжити термін автономної роботи, IoT-пристрої використовують спеціальний режим економії енергії — **Power Save Mode (PSM)**. Процедура його активації включає використання двох таймерів:

- Перший таймер визначає час, протягом якого пристрій може перебувати в режимі очікування в стані **RRC_IDLE** або режимі **DRX** (Discontinuous Reception).
- Другий таймер встановлює загальний час, коли пристрій працює в режимах

DRX і PSM.

Коли мережа звільняє з'єднання RRC після отримання TAU (Tracking Area Update), таймери активуються, і пристрій переходить у режим очікування. Після завершення активного часу пристрій переходить у **PSM**, де працює з мінімальним енергоспоживанням до закінчення другого таймера [20].

Аналіз енергоспоживання пристроїв IoT буде здійснюватися для двох режимів: один з використанням **PSM**, інший — без нього (рис. 3.5).

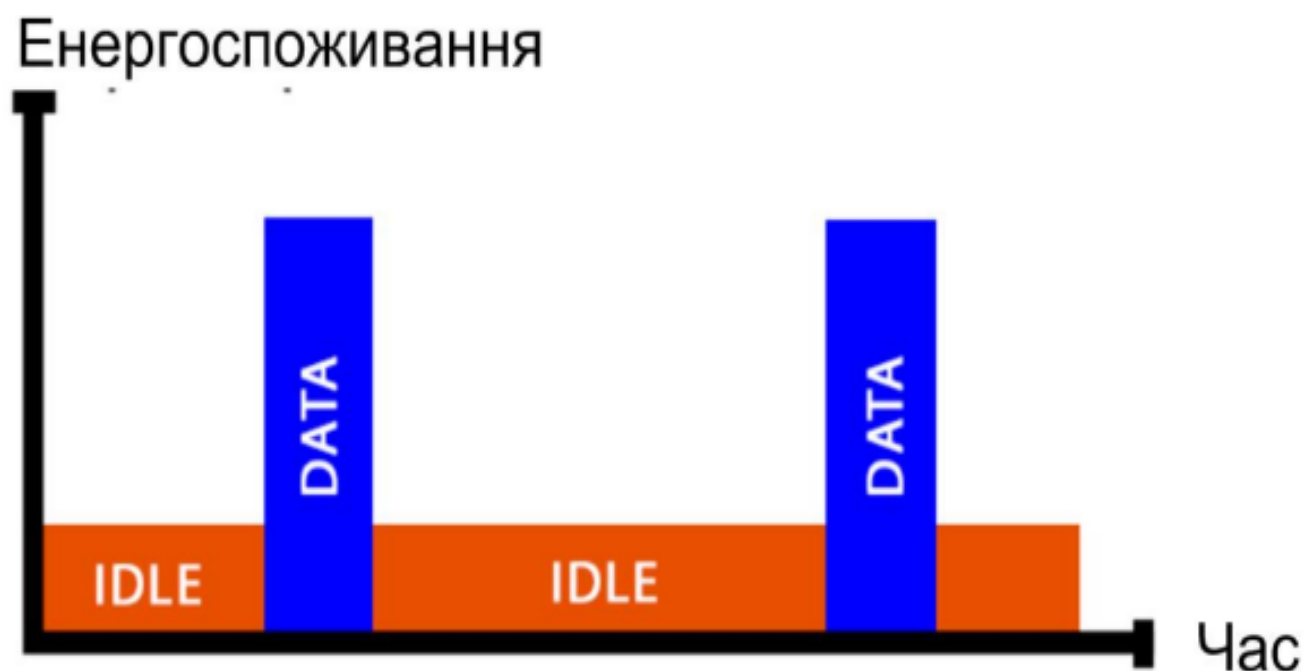


Рисунок 3.5 – Аналіз енергоспоживання кінцевих приладів без використання режиму PSM
- з використанням режиму PSM (рис. 3.6).

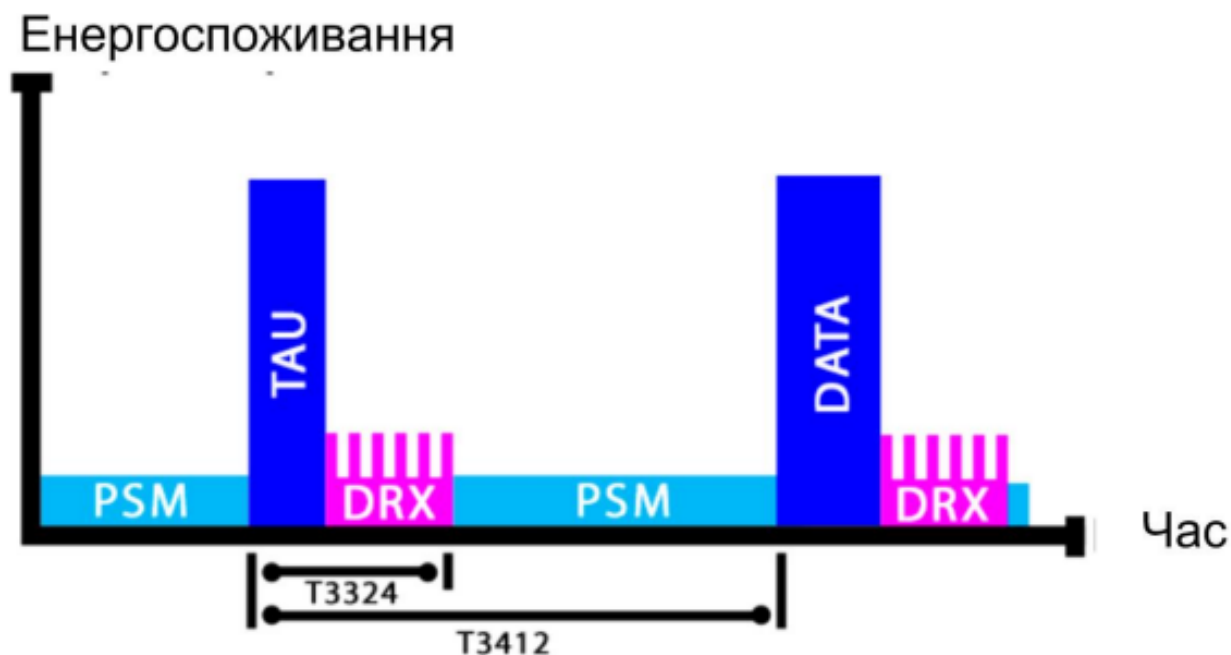


Рисунок 3.6 – Аналіз енергоспоживання кінцевих приладів з використанням режиму PSM

По-перше, потрібно визначити енергетичні вихідні дані про енергоспоживання (табл. 3.3). Необхідна автономність пристрою - 24 години на добу. Розрахунок виконаний відповідно до сценаріїв, що відображаються на рис. 3.4 і 3.5, і з урахуванням розрахованих раніше затримок.

Таблиця 3.3 Енергетичні вихідні дані про енергоспоживання

Символ	Варіант	Значення
P0	Витрати потужності в режимі PSM	0 мВт
P1	Витрати потужності в режимі без PSM	0,05 мВт
P2	Витрати потужності на обробку та прийом	50 мВт
P3	Витрати потужності на передачу	50 мВт

Розглянемо алгоритм розрахунку:

- Обчислення відсотка часу, витраченого в кожному стані.
 - Визначення загальної потужності навантаження і постійного струму розряду.
 - Розрахунок необхідного терміну автономної служби роботи пристрою.
- Виходячи з алгоритму, запропонованого вище, необхідно розрахувати час, який пристрій провів у різних станах:

Час, витрачений на передачу Msg1/Msg3:

$$q_3 = \frac{1}{T} \left(K_1 \bar{n} + \frac{1}{\pi_{tx}} (1 - (1 - \pi_{tx})^{L_3} (1 + \pi_{tx} L_3)) \right) \quad (3.9)$$

Час, витрачений на прийом Msg2/Msg4:

$$q_3 = \frac{1}{T} \left(K_1 (\bar{n} - 1) + \frac{K+1}{2} + t_{pr} + \frac{t_{tx}-1}{\pi_{tx}} (1 - (1 - \pi_{tx})^{L_3} (1 + \pi_{tx} L_3)) \right) \quad (3.10)$$

Час, витрачений на стан DRX:

$$q_1 = \frac{1}{T} \left(\frac{b}{2} + K_0 \bar{n} + (\bar{n} - 1) \bar{w} \right) \quad (3.11)$$

Отже, беручи до уваги вище перераховане, загальний обсяг енергії, витрачений IoT пристроєм, може бути обчислений:

$$\epsilon = P_0(1 - q_3 - q_2 - q_1) + P_1 q_1 + P_2 q_2 + P_3 q_3 \quad (3.12)$$

Розглянемо алгоритм розрахунку терміну служби акумулятора кінцевого пристрою з урахуванням ймовірності зіткнення в зв'язку, отриманого вище, і пов'язаного з цією затримкою.

$$Q = q_3 + q_2 + q_1$$

Для розрахунку енергоспоживання за передачу одного блоку інформації необхідно розрахувати час передачі одного пакета даних:

$$T_{\text{пер}} = \frac{\theta_1}{R_{\text{M2M}}}$$

де: $\theta_1 = 100$ байт - блок даних від пристрою M2M до Enb;

R_{M2M} - 200 КБІТ/С - швидкість передачі даних, описана в специфікації IoT. Крім самого блоку даних, необхідно передбачити передачу/прийом сигнальних повідомлень (за винятком процедур безпеки). Звідси і передача сигнального зв'язку:

$$T_{\text{сиг}} = \frac{\theta_{\text{сиг}}}{R_{\text{M2M}}}$$

Звідси випливає, що загальний час, витрачений на сигналізацію та блок даних, дорівнює:

$$T_{\text{пакету}} = T_{\text{пер}} + 2 \cdot T_{\text{сиг}}$$

В результаті ми розраховуємо енергоспоживання для передачі блоку даних і сигнальних повідомлень:

$$\epsilon_{\text{пакету}} = T_{\text{пакету}} \cdot P_t + t_{\text{обр}} \cdot P_s$$

де: $t_{\text{обр}} \sim 10$ мс - час обробки запиту в планувальнику eNB.

Тому, знаючи енергоспоживання для процесу підключення і передачі блоку даних в 100 байтах, ми розраховуємо енергоспоживання за всю операцію:

$$\epsilon_{\text{FULL}} [1 \text{ передача}] = \epsilon_{\text{пакету}} + \epsilon$$

Розрахуємо енергоспоживання пристрою протягом року:

$$\epsilon_{\text{FULL}} [\text{рік}] = 365[\text{днів}] \cdot 24[\text{годин}] \cdot k \cdot \epsilon_{\text{FULL}} [1 \text{ передача}]$$

де: k - кількість передач на добу.

У стані Idle пристрій буде знаходитися після кожної передачі пакету інформації, тоді енергоспоживання в цьому стані дорівнюватиме:

$$\epsilon_{\text{IDLE}} [\text{рік}] = 365[\text{днів}] \cdot 24[\text{годин}] \cdot 60[[\text{хвилин}]] \cdot 60[[\text{сек}]] \cdot P_i$$

Виходить, що загальне енергоспоживання можна розрахувати як:

$$\epsilon_{\text{FULL}}[\text{IDLE}] = \epsilon_{\text{FULL}}[\text{рік}] + \epsilon_{\text{IDLE}}[\text{рік}]$$

Таким чином, термін служби акумулятора пристрою в режимі очікування буде:

$$T_{\text{work}}[\text{IDLE}] = \frac{P_{\text{bat}}}{\epsilon_{\text{full}}[\text{IDLE}]}$$

Де: P_{bat} - ємність акумулятора.

Однак з використанням режиму PSM в момент знаходження пристрою в режимі PSM, воно практично не витрачає енергію.

Час автономної роботи складе:

$$T_{\text{work}}[\text{PSM}] = \frac{P_{\text{bat}}}{\epsilon_{\text{full}}[\text{PSM}]}$$

Зробимо чисельний аналіз автономного часу роботи кінцевого пристрою при наступних умовах. Сигнальні повідомлення займають 59 байт для передачі повідомлення по лінії вгору і 136 байт для прийому повідомлень по лінії вниз без урахування переданих 100 байт по лінії вгору. Розрахунок буде виконано за умови, що всі кінцеві пристрої використовують три батареї AAA 1,25В з ємністю 1000 мА. Пристрій передає інформацію три рази на день по 100 байт інформації. Отримані результати винесемо в табл. 3.4.

Виходячи з таблиці, можна зробити висновок, що при зростанні кількості пристроїв в мережі і зростанні пакету даних енергоспоживання приладу буде рости лінійно, особливо якщо обсяг пакета даних збільшується до 1 кілобайту і при кількості пристроїв в мережі, яка дорівнює 150. Згідно з результатами, можна передбачити приблизні часові рамки терміну автономної роботи кінцевого пристрою з більшим числом підключених пристроїв до мережі.

Таблиця 3.4 Чисельний аналіз автономного часу роботи кінцевого пристрою

Параметр	Число NB-IoT пристроїв	Розмір блоку даних		
		100 байт	500 байт	1 кбайт
Енергоспоживання процедуру RA, Вт*с	100	$0,827 \cdot 10^{-3}$		
	150	$0,828 \cdot 10^{-3}$		
	200	$0,829 \cdot 10^{-3}$		
Енергоспоживання передачу блоку даних, Вт*с	100	$0,20 \cdot 10^{-3}$		
	150	$0,99 \cdot 10^{-3}$		
	200	$2,0 \cdot 10^{-3}$		
Енергоспоживання за рік, Вт*с	100	2719,28	4772,39	7461,99
	150	2721,34	4774,46	7464,05
	200	2722,88	4775,94	7465,53
Час роботи пристрою в режимі IDLE, років	100	2,095	1,418	0,996
	150	2,094	1,417	0,995
	200	2,093	1,417	0,995
Час роботи пристрою в режимі PSM, років	100	3,310	1,886	1,206
	150	3,307	1,885	1,206
	200	3,305	1,884	1,205

Також слід провести порівняння часу роботи кінцевих пристроїв, що використовують режим PSM, з традиційним алгоритмом роботи пристрою. Візуалізуємо результат у вигляді графіка, зображеного на рис. 3.7. Графік відображає витрату ємності акумулятору пристрою від часу в днях.

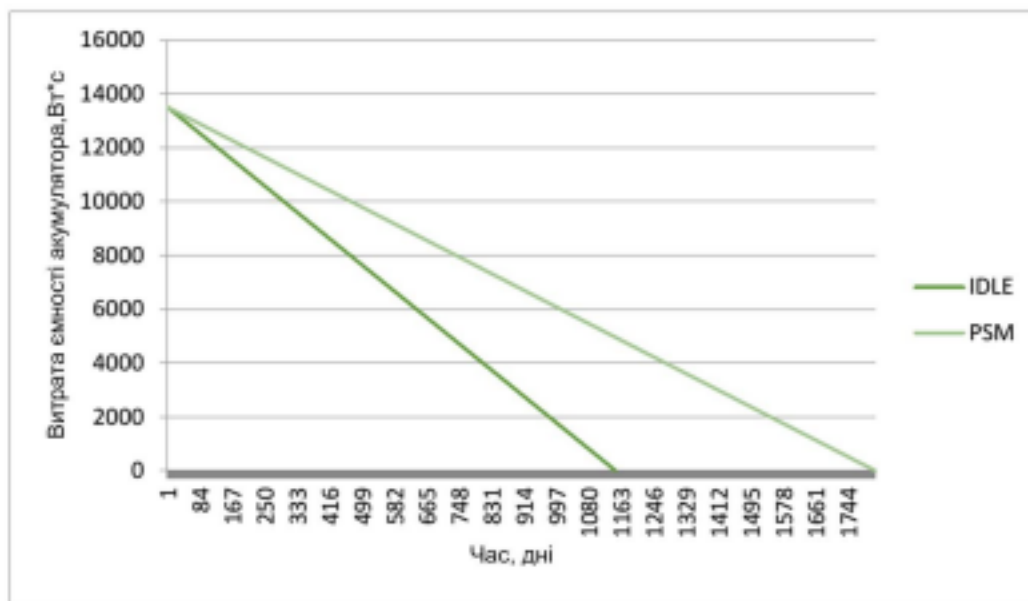


Рис. 3.7 – Витрата ємності акумулятору пристрою від часу в днях

Виходячи з наданого графіка можна зробити наступний висновок: використання режиму PSM в кінцевих пристроях дозволить виграти в часі автономної роботи на 49% по відношенню до традиційних режимів роботи пристроїв IoT в роботі BCM.

3.5 Комп'ютерна математична модель IoT рішення

При розробці комп'ютерної математичної моделі пропонується використати нейронні мережі та середовище моделювання **Matlab/Simulink**. Нейронна мережа є методом прогнозової аналітики, що використовується для класифікації або передбачення змінних. Це форма машинного навчання, де система намагається прогнозувати результати так, як це робить людський мозок.

Нейронна мережа функціонує через побудову структури з вхідних вузлів (які отримують початкові дані), вихідних вузлів (які показують результати або прогнози після обробки даних) і прихованого шару між ними. Прихований шар, що знаходиться між вхідними і вихідними вузлами, є ключовою особливістю

нейронної мережі, яка робить її ефективною та особливою. Коли дані передаються через нейронну мережу, алгоритм змінює «ваги» вузлів у прихованому шарі, що впливає на кінцевий результат у вихідних вузлах, змінюючи прогнози або висновки.

Приклад структури нейронної мережі представлений на рисунку 3.8.

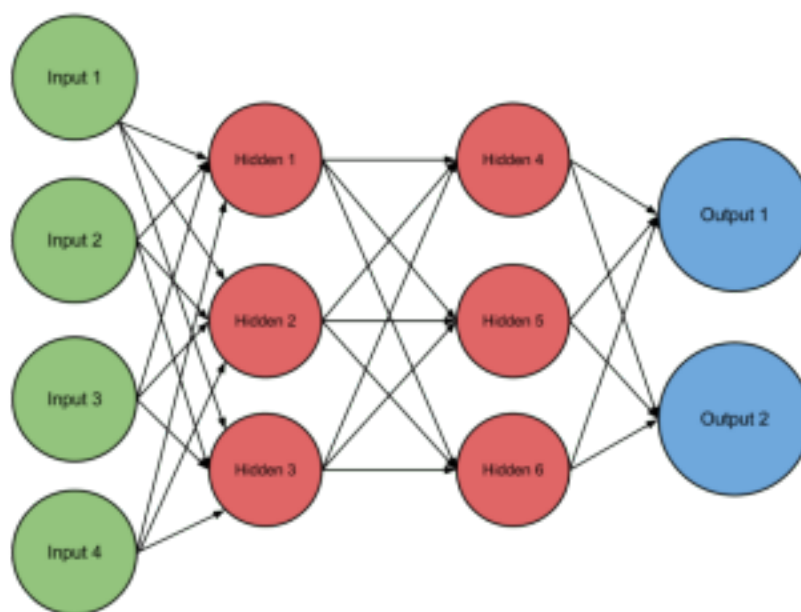


Рисунок 3.8 – Приклад структури нейронної мережі

Прогнозування на основі нейронних мереж відрізняється від, наприклад, лінійної регресії (яка також використовується для аналізу і прогнозування) тим, що нейронні мережі мають складнішу структуру. Лінійні моделі простіші в реалізації. Якщо уявити нейронну мережу з одним вихідним вузлом, вхідними вузлами і прихованими шарами, то при усуненні прихованих шарів залишаються лише вхідні і вихідні вузли. У цьому випадку мережа намагатиметься передбачити вихідні дані, використовуючи тільки вхідні значення, що схоже на роботу лінійної або логістичної регресії.

Приховані шари є ключовою складовою, яка робить нейронну мережу точнішою та "розумнішою", оскільки вона здатна навчатися на основі минулих зв'язків у даних, додаючи цей досвід до своїх алгоритмів. Завдяки цьому нейронні

мережі краще справляються зі складними задачами прогнозування.

Однак, попри їх високу точність, нейронні мережі не використовуються настільки широко через деякі недоліки. По-перше, вони потребують значно більше обчислювальних ресурсів, що робить їх використання дорогим. По-друге, для їх ефективного навчання необхідно багато даних, які не завжди легко отримати.

Нейронні мережі також мають властивість "чорної скриньки", що означає, що можна спостерігати вхідні дані та результати, але неможливо чітко зрозуміти, що відбувається всередині мережі між цими етапами. Це ускладнює налаштування алгоритму та передбачення результатів у нових сценаріях. Однак для прогнозування енергоефективності в системах Інтернету речей ці недоліки не є критичними.

Основною особливістю нейронних мереж є ітеративний процес навчання, де кожен запис (рядок даних) подається в мережу по черзі, і ваги, пов'язані з вхідними даними, коригуються щоразу. Після обробки всіх кейсів, процес часто повторюється знову. Під час навчання мережа поступово адаптує ваги, щоб краще прогнозувати вихідні значення на основі вхідних вибірок.

Перевагами нейронних мереж є їхня стійкість до шуму в даних та здатність класифікувати шаблони, на яких вони не були спеціально навчені. Після структуризації мережі для певного застосування вона готова до навчання, яке починається з випадкового вибору початкових ваг. Після цього мережа обробляє навчальні дані, порівнює результат з бажаним, і коригує ваги, поки не досягає точності.

Кількість шарів і обробних елементів у нейронній мережі є ключовими рішеннями під час її проектування. Для зворотного поширення з прямими зв'язками ці параметри топології вважаються мистецтвом, яке належить до інженерії. Протягом часу сформувалися три загальні правила, яких дотримується більшість дослідників і інженерів, що застосовують цю архітектуру до своїх задач.

Перше правило: із підвищенням складності взаємозв'язків між вхідними даними та бажаним виходом кількість обробних елементів у прихованому шарі

повинна зростати.

Друге правило: якщо задачу можна розбити на кілька етапів, може бути потрібен додатковий прихований шар. Якщо процес не розбивається на етапи, зайві шари можуть призвести до запам'ятовування навчального набору, а не до створення узагальненої моделі.

Третє правило: обсяг доступних навчальних даних визначає верхню межу кількості обробних елементів у прихованому шарі. Цю межу можна розрахувати, поділивши кількість спостережень у навчальному наборі на кількість вузлів у вхідному та вихідному шарах, а потім ще раз на коефіцієнт масштабування (від 5 до 10). Для менш зашумлених даних використовуються більші коефіцієнти масштабування. Якщо кількість нейронів занадто велика, мережа запам'ятає навчальні дані, але не зможе узагальнювати нові.

Метод нейронної мережі використовується для пошуку однієї моделі, яка добре прогнозує нові дані. Статистику та матриці помилок можна використовувати для перевірки точності поточної моделі, проте важко визначити, чи є кращий предиктор.

Методи ансамблю допомагають об'єднати кілька слабких нейронних мереж, створюючи сильніші, точніші моделі. Ці методи працюють за рахунок об'єднання різнорідних мереж через вибір різних зразків вихідних даних. Вихідні дані таких мереж можна комбінувати за допомогою різних методів, таких як більшість голосів для класифікації або усереднення для прогнозування.

Для прогнозування була побудована архітектура мережі, яка враховує основні фактори, що впливають на прогнозування для високопродуктивної мережі з використанням великих даних (BigData)[27].

Дана архітектура представлена на рисунку 3.9.

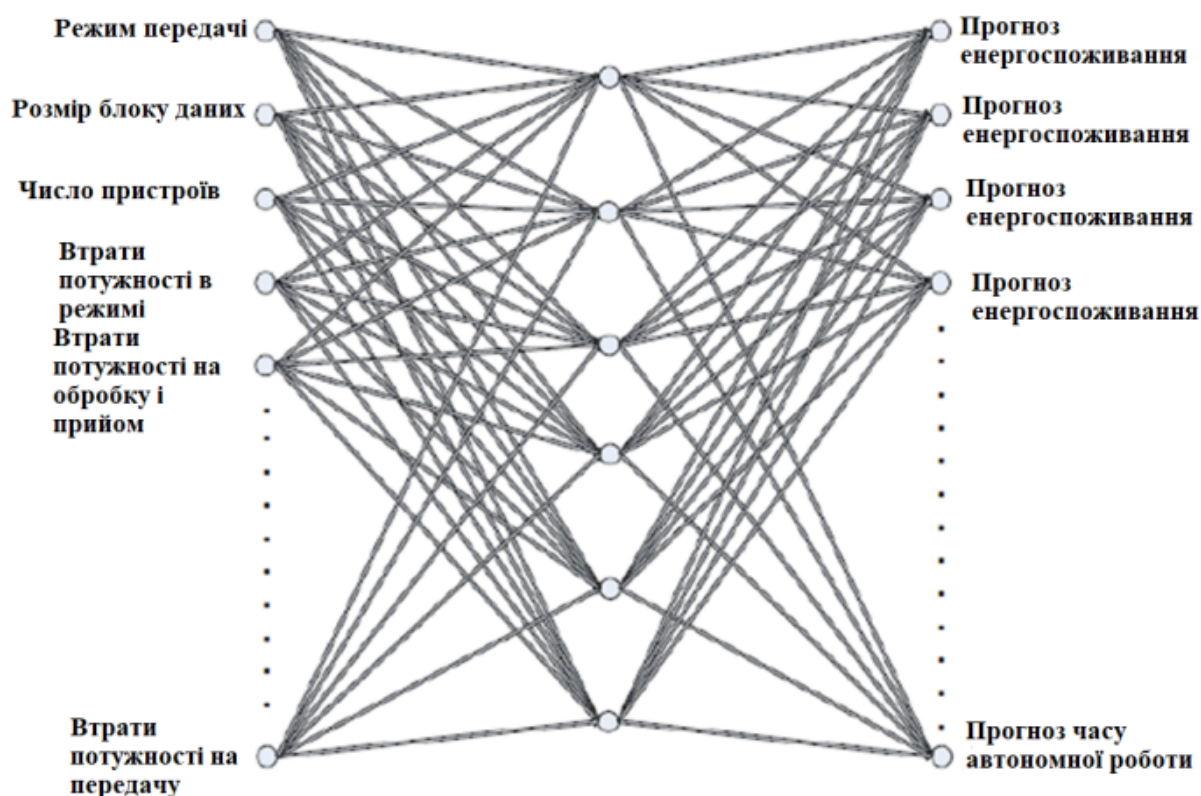


Рисунок 3.9 – Нейронна мережа прогнозування енергоефективності

Навчання нейронної мережі проводиться на основі існуючих даних і експериментів, описаних в рамках роботи в середовищі MatlabSimulink. Основні функції, які будуть задіяні:

$[y1,xf1,xf2] = myNeuralNetworkFunction(x1,x2,xi1,xi2)$ takes these arguments:

$x1 = 8 \times TS$ matrix, input #1

$x2 = 1 \times TS$ matrix, input #2

$xi1 = 8 \times 2$ matrix, initial 2 delay states for input #1.

$xi2 = 1 \times 2$ matrix, initial 2 delay states for input #2.

and returns:

$y1 = 1 \times TS$ matrix, output #1

$xf1 = 8 \times 2$ matrix, final 2 delay states for input #1.

$xf2 = 1 \times 2$ matrix, final 2 delay states for input #2.

where TS is the number of timesteps.

Архітектура ПЗ представлена на рисунку 3.10.

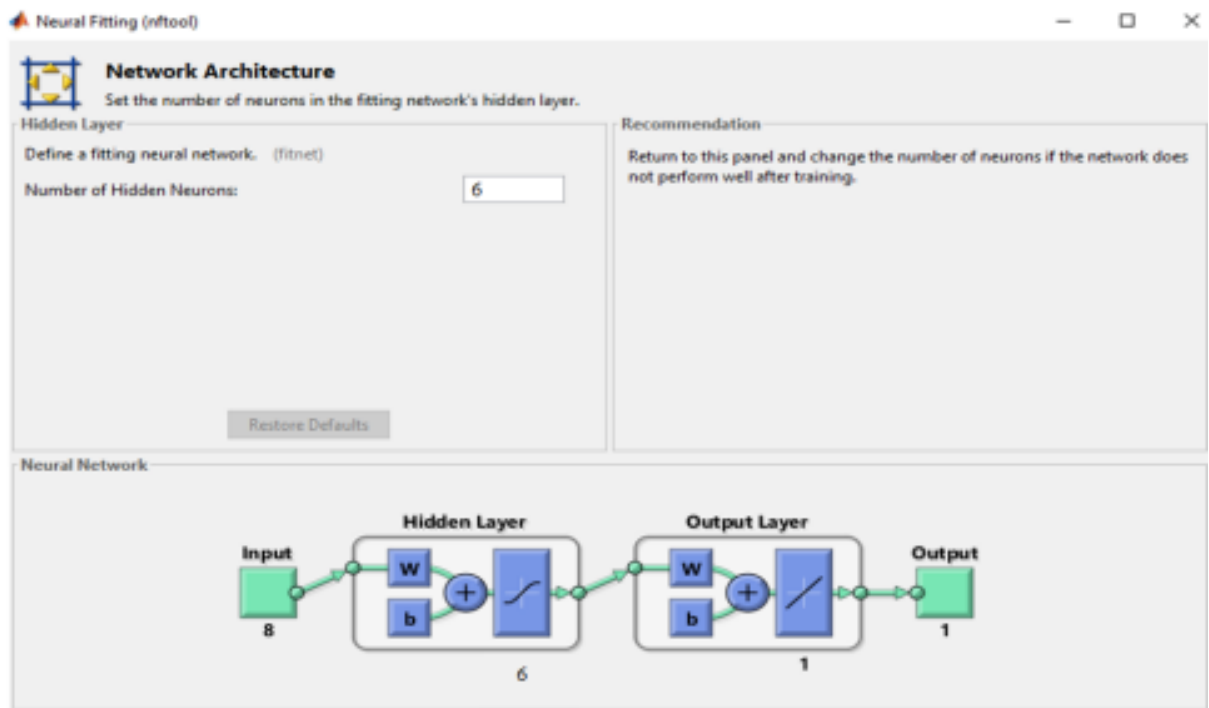


Рисунок 3.10 – Архітектура ПЗ

Діаграма класів представлена на рисунку 3.11.

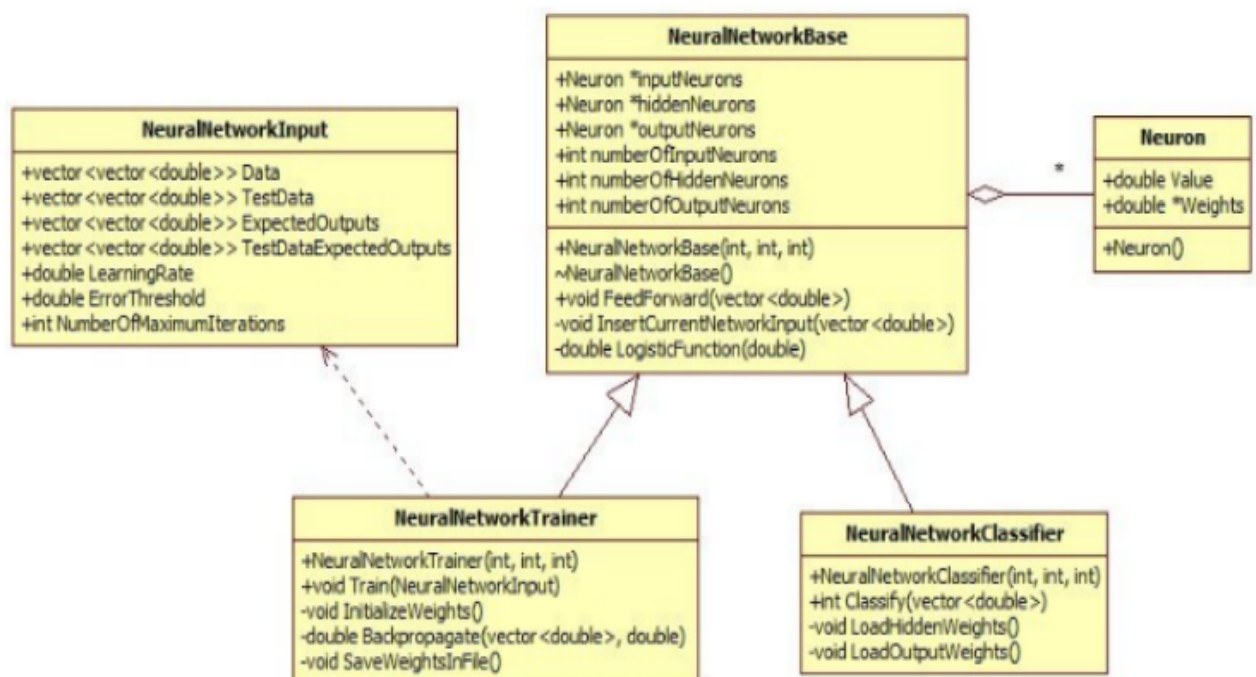


Рисунок 3.11 – Діаграма класів

Прогнозна модель представлена на рисунку 3.12.

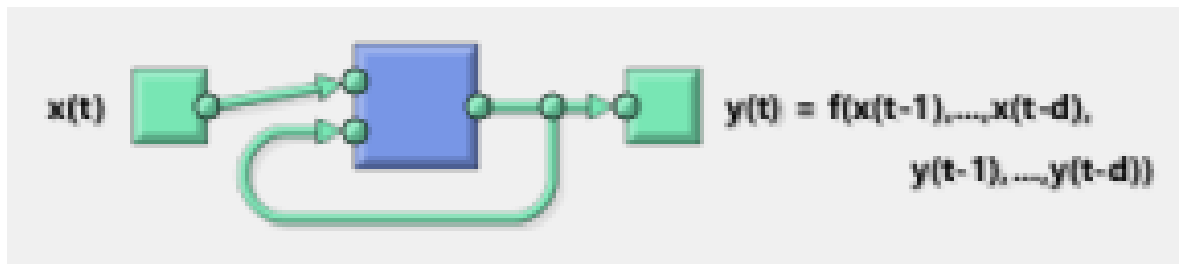


Рисунок 3.12 – Прогнозна модель енергоефективності

Симуляція програмного забезпечення (навчання) представлена на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Симуляція програмного забезпечення

Навчання НМ виконане на рисунку 3.14.

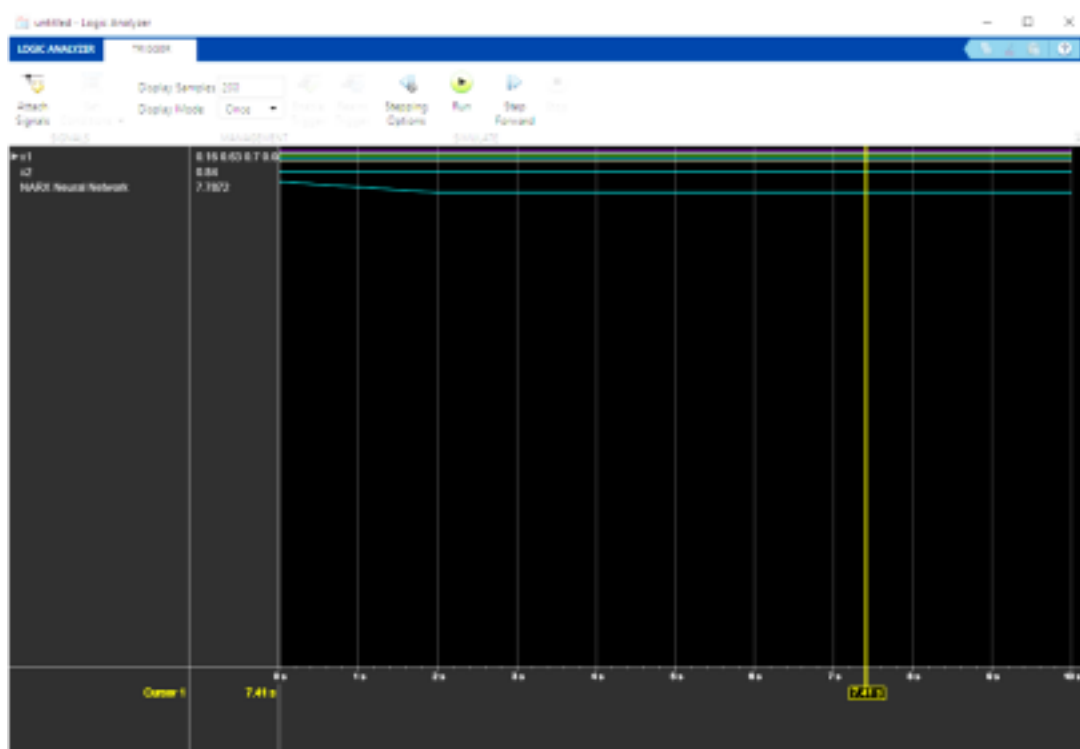


Рисунок 3.14 – Завершення навчання нейронної мережі

В наступному розділі будуть представлені результати прогнозування.

3.6 Порівняльний аналіз результатів моделювання

Виконаємо порівняння результатів, отриманих аналітичним (розрахунковим) методом і за допомогою нейронної мережі для прогнозування часу роботи кінцевих пристроїв IoT високопродуктивної сенсорної мережі з застосуванням BigData (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 Порівняльна характеристика результатів

Параметр	Число NB пристроїв	Аналітичні результати	Прогнозування за допомогою НМ
Енергоспоживання на передачу блоку даних, Вт*с	100	$0,20 \cdot 10^{-3}$	$0,1876 \cdot 10^{-3}$
	150	$0,99 \cdot 10^{-3}$	$0,9789 \cdot 10^{-3}$

	200	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0364 \cdot 10^{-3}$
Енергоспоживання за рік, Вт*с	100	7461,99	7458,3686
	150	7464,05	7460,4859
	200	7465,53	7451,3689
Час роботи пристрою в режимі IDLE, років	100	0,996	0,98891
	150	0,995	0,98997

Порівняльна таблиця показує, що похибка не перевищує 5%, в результаті чого можна говорити про ефективність застосування НМ для прогнозування часу роботи кінцевих пристроїв IoT. Окрім цього, представлену методику розрахунку можна застосовувати для розрахунку енергоефективності високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням BigData. Для досягнення енергоефективності оптимальним є застосування технології NB-IoT в високопродуктивних сенсорних мережах з BigData [28].

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Можливості запуску проекту

Розробка стартап-проекту заснована на побудові безпроводової сенсорної мережі яку можна побачити на рисунку 4.1 з застосуванням ІІІ і концепції Інтернету Речей.



Рисунок 4.1 - Пристрій на базі NB-IoT для вимірювання чистоти повітря

Проаналізовано та подано у вигляді таблиць [29]:

- зміст ідеї;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняють від існуючих аналогів та замінників.

В таблиці 4.1 представлений опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги
Побудова сенсорної мережі з застосування Big Data	1. Використання технології Інтернету Речей	Ефективність
	2. Реконфігурація з'єднань між терміналами	Гнучкість
	3. Широкі можливості	Простота застосування

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведення збору інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів.

В даний момент аналогів майже немає.

4.2 Технологічний аудит

В межах даного підрозділу проведено підбір компонентів, за допомогою ШІ які реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 4.2):

- за яких компонентів буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- чи існують такі технології чи їх потрібно розробити/допрацювати;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Компонент/Модель	Призначення	Характеристики
STM32F103 (ARM Cortex-M3, 72 MHz, 32 GPIO)	Основний контролер, що керує всією системою	Мікроконтролер з GPIO, шинами I2C, SPI; низьке енергоспоживання
Nordic Semiconductor nRF52840	Бездротова передача даних	Підтримка BLE 5.0, радіус дії до 50 м, низьке енергоспоживання
Texas Instruments LM358	Підготовка сигналу для подальшої обробки	Аналоговий вхід, фільтрація шумів
ADXL335 (Analog Devices)	Аналого-цифровий перетворювач для сенсорних сигналів	Висока точність, підтримка багатьох сенсорів
Texas Instruments DRV8833	Управління обертами вентиляторів	Вихід на 12 В, PWM-керування
Adafruit 3.7V 2000mAh LiPo Battery	Живлення системи	Ємність 3.7 В, 2000 мА · год
TP4056 (1A Li-ion Charge Controller)	Зарядка батареї	Захист від перенапруги, стабілізація струму
Pololu U3V12F5 (вихідна напруга 5 В, струм до 1 А)	Підвищення напруги для живлення компонентів	Вихідна напруга 5 В; ККД до 90%
MQ-135 (вимірювання CO ₂ , NH ₃ , бензолу, алкоголю)	Сенсор для вимірювання концентрації газів	Підтримка декількох газів (CO ₂ , CO, CH ₄); висока чутливість

Noctua NF-A4x10 (40 мм, 5 В)	Обдув для циркуляції повітря в сенсорній камері	Напруга живлення 5 В, обертів до 3000 RPM
Honeywell HPMA115S0 (вимірювання PM2.5 та PM10)	Вимірювання часток пилу (PM) в закритій камері	Діапазон 0-500 мкг/м ³ ; висока точність вимірювання
Arduino Nano (як контролер з мінімальним енергоспоживанням)	Контролер для закритої камери	Інтеграція з сенсором пилу і драйверами вентиляторів
Micro USB B-Type (підтримка передачі даних і зарядки з Режимом PSM)	Порт для підключення живлення або передачі даних	USB 2.0, підтримка заряджання і передачі даних

4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дає змогу спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Спочатку проводять аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	2
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	8000000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6.	Середня норма рентабельності в галузі або по ринку, %	200%

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюють із банківським відсотком на вкладення. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Надалі визначають потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формують орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.4).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведений аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Забезпечення ефективності і мінімальних затрат енергії	Різного роду системи IoT	Поведінку клієнта формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації товару	Високий рівень та висока ефективність

Таблиця 4.5 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Наявність кваліфікованих кадрів	Потрібні люди з високим досвідом роботи в розробці систем Інтернету Речей	Пошук кваліфікованого персоналу
2.	Потреба в ресурсах	Необхідні високі умови для технічної реалізації	Укладання договорів з комерційними організаціями

Надалі проведений аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.6)

Таблиця 4.6 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Олігополія	На ринку присутня невелика кількість фірм, які будують телекомунікаційні сенсорні мережі з застосуванням рішень Інтернету Речей та з застосуванням великих даних	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально; офіси розміщено у різних містах	Створювати веб-сайт компанії

3. За галузевою ознакою:внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари та технології, що задовольняють одну й ту саму потребу.	Слідкувати за новітніми технологіями, та розробками конкурентів
--	--	---

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 4.7, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено у вигляді таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Необхідно надати високоефективну систему
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	Швидкодія та стабільність

3	Наявність наукових ресурсів	Необхідна наявність наукових кадрів з високим досвідом роботи
4	Економічний	Середня ціна продукту

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводять аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

п/п	Фактор конкурентоспроможності	1-10	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	10							+
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	10							+
3.	Наявність наукових ресурсів	10							+
4.	Економічний	10							+

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 Вибір цільових груп потенційних споживачів

п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Розробники систем	Готові	Високий	Низька	Середня
2.	Оператори	Готові	Високий	Середня	Середня

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (таблиця 4.10).

Таблиця 4.10 Визначення базової стратегії розвитку

п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	стратегія розвитку
1.	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів	Витрати на виробництво	Стратегія лідерства на витратах
2.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.	Формування попиту якісним покриттям та швидкістю доступу до мережі	Стратегія диференціації

В результаті аналізу обираємо стратегію диференціації. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 4.11)

Таблиця 4.11 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопр охідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Так	Так	Ні	Стратегія «лідер»

Визначаємо стратегію позиціонування (таблиця 4.12)

Таблиця 4.12 Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Технологія БСМ IoT BigData має забезпечувати ефективне функціонування	Диференціації	Середня ціна, висока якість, доступність	Наукоємність, співпраця, ефективність

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару представлено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

п/ п	Потреба	Вигода, яку пропонує технологія	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Перехід до мереж з застосуванням великих даних	Використання технології Інтернету Речей	Підвищення ефективності БСМ

Надалі розробляють трирівневу маркетингову модель товару: уточнюють

ідею продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 4.14).

Таблиця 4.14 Опис трьох рівнів моделі товару

Табл. 4.14. Експрес-трех рівнів моделі товару			
Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Сенсорна мережа з застосування великих даних і концепцією Інтернету Речей		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Низька ціна у порівнянні з конкурентами	М	
	2. Висока надійність	М	
	3. Ефективність	М	
	Якість: стабільна робота та надійне покриття		
	Пакування: -		
	Марка: «БСМ»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу гарантія		
	Після продажу обслуговування, налаштування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності			

Захист розробленого продукту буде регламентуватися як захист інтелектуальної власності товару.

Визначення меж встановлення ціни представлено у вигляді таблиці 4.15. Таблиця 4.15 Визначення меж встановлення ціни

п/п	Рівень цін на товари \ замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	–	15млн...35млн грн	120млн грн. і вище	3,0млн – 3,8млн грн.

Оскільки налаштування обладнання у кінцевого користувача потребує певних професійних навичок від персоналу, а кожного клієнта обслуговують індивідуально, найбільш доцільно організовувати збут власними силами, без залучення посередників [29].

4.5 Висновки до розділу

- Розроблено стартап-проект для створення високопродуктивної сенсорної мережі з використанням технологій великих даних у м. Київ. Основними напрямками проекту є застосування Інтернету речей, забезпечення високої ефективності, швидкодії, а також мінімізація енергоспоживання.
- Проведено аналіз можливих техніко-економічних переваг у порівнянні з конкурентами. Встановлено, що ця технологія має кращі економічні та технічні показники порівняно з найближчими конкурентами.
- Досліджено ринкові ризики і можливості на основі аналізу маркетингового середовища. Розроблено ринкову стратегію і маркетингову програму для стартап-проекту.

В результаті аналізу визначено, що ціновий діапазон на продукт/послугу складає від 3,0 до 3,8 млн грн

ВИСНОВКИ

Мета роботи – розробити метод побудови IoT-рішення для високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням технологій Big Data та дослідити їх енергоефективність — була досягнута. Було створено структурну схему ефективного IoT-рішення, а також методику розрахунку його енергоефективності за допомогою нейронних мереж, що можна застосовувати для побудови сенсорних мереж високої продуктивності. Верхня і нижня межі ціни на товар або послугу становлять від 3,0 млн до 3,8 млн грн.

У першому розділі досліджено стрімкий розвиток сфери використання IoT. Інтернет речей (IoT) — це система взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, що взаємодіють через унікальні ідентифікатори (UID) і можуть передавати дані без взаємодії між людьми. Екосистема IoT складається з розумних пристроїв, що збирають, відправляють і обробляють дані через підключення до Інтернету та хмарні сервіси.

Другий розділ присвячений тому, як компанії можуть отримати вигоду від аналізу великих обсягів даних IoT. Це допомагає організаціям краще розуміти свої дані та приймати ефективні рішення на їх основі. Кожна галузь може отримати певні переваги від впровадження таких технологій.

У третьому розділі було розроблено структурну схему IoT-рішення та алгоритм розрахунку енергоефективності. Досліджено причини виникнення затримок при підключенні, зокрема обмеженість послідовностей преамбули. Проведено чисельний аналіз затримок та ймовірностей виникнення колізій, на основі якого запропоновано модель для розрахунку енергоспоживання IoT-пристроїв. Ця модель дозволяє прогнозувати час роботи пристроїв в автономному режимі, і було встановлено, що використання режиму енергозбереження PSM суттєво збільшує тривалість роботи пристроїв. Алгоритм підходить для розрахунку параметрів таких пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What is IoT (Internet of Things)? | Definition from TechTarget URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (дата звернення: 10.10.2024)

2. Your Guide to IoT Product Design Standards and Protocols URL: <https://www.bytesnap.com/news-blog/iot-product-design-standards-protocols/> (дата звернення: 10.10.2024)

3. Welcome to Smart Grid City, Colorado - High Country News URL: <https://www.hcn.org/articles/welcome-to-smart-grid-city-colorado/> (дата звернення: 10.10.2024)

4. Smart City Architectures - Dragon1 URL: <https://www.dragon1.com/resources/smart-city-architectures> (дата звернення: 10.10.2024)

5. Internet of Things, IoT URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot> (дата звернення: 10.10.2024)

6. IoT architecture URL: <https://www.drpankajdadhich.com/2022/02/iot-architecture.html> (дата звернення: 13.10.2024)

7. PNN Soft URL: <https://pnn.com.ua/blog/detail/behind-the-curtains-of-iot-magic-iot-architecture-explained> (дата звернення: 13.10.2024)

8. Шум квантування — Вікіпедія URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC_%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F# (дата звернення: 13.10.2024)

9. The Usage of Intelligent Agents in IoT devices URL: <https://www.todaysoftmag.com/article/2581/the-usage-of-intelligent-agents-in-iot-device>

s (дата звернення: 13.10.2024)

10. Big Data in IoT | Role Of Big Data In IoT 2024 - MindMajix URL:
<https://mindmajix.com/big-data-in-iot> (дата звернення: 16.10.2024)

11. Top Applications of Big Data (2023) URL:
<https://www.interviewbit.com/blog/applications-of-big-data/> (дата звернення:
16.10.2024)

12. Unleashing the Power of IoT Analytics and Big Data: Revolutionizing the Digital Landscape URL:
<https://medium.com/@ghodkesankalp/unleashing-the-power-of-iot-analytics-and-big-data-revolutionizing-the-digital-landscape-ed923042a18f> (дата звернення: 16.10.2024)

13. 7 Benefits of the Internet of Things (IoT) for Business | Stfalcon URL:
<https://stfalcon.com/en/blog/post/7-benefits-of-iot-for-business> (дата звернення:
16.10.2024)

14. Бездротова сенсорна мережа — Вікіпедія URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B0 (дата звернення: 16.10.2024)

15. Systems using Wireless Sensor Networks for Big Data URL:
<https://www.slideshare.net/slideshow/systems-using-wireless-sensor-networks-for-big-data-255861556/255861556> (дата звернення: 19.10.2024)

16. Подуран Д.В. Впровадження бездротових мереж LPWAN у сфері інтернет речей Магістерська робота 2023. - 5с. (дата звернення: 19.10.2024)

17. IBM Developer URL:
<https://developer.ibm.com/articles/iot-lp201-iot-architectures/> (дата звернення:
19.10.2024)

18. Big Data and IoT Business Guide | EPAM Startups & SMBs URL:

<https://startups.epam.com/blog/big-data-analytics-and-internet-of-things> (дата звернення: 19.10.2024)

19. Gouri Manoj, Raj Barath S. Internet of Medical Things, Remote Healthcare Systems and Applications 2021. pp.211-233. (дата звернення: 23.10.2024)

20. Foivos Michelinakis, Andrea Zanella , Martina Capuzzo Dissecting Energy Consumption of NB-IoT Devices Empirically 2020. pp 80-99. (дата звернення: 23.10.2024)

21. Подуран Д. В. ІОТ-Рішення для сенсорних мереж // Всеукраїнська науково-технічна конференція "Проблеми комп'ютерної інженерії" . – Київ: ДУІКТ, 2024. (дата звернення: 23.10.2024)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра Комп'ютерної інженерії



Методика побудови IoT-рішення для сенсорних мереж із застосуванням ШІ

Виконав: Подуран Давид Вадимович

Науковий керівник: Лащевська Наталія Олександрівна

2024

Актуальність

Інтернет речей (IoT) є глобальною мережею взаємопов'язаних систем, яку активно використовують у різних галузях для автоматизації процесів, збору та аналізу даних. Це стало можливим завдяки впровадженню цифрових технологій, які змінюють як бізнес, так і суспільну діяльність. Зі зростанням кількості пристроїв, підключених до Інтернету, розвивається ділове життя, а проривні інновації в IoT допомагають боротися з глобальними викликами, такими як зміна клімату, економія ресурсів та розвиток автономного транспорту.

Одним із актуальних напрямків досліджень є використання технологій Big Data та ШІ в системах IoT.

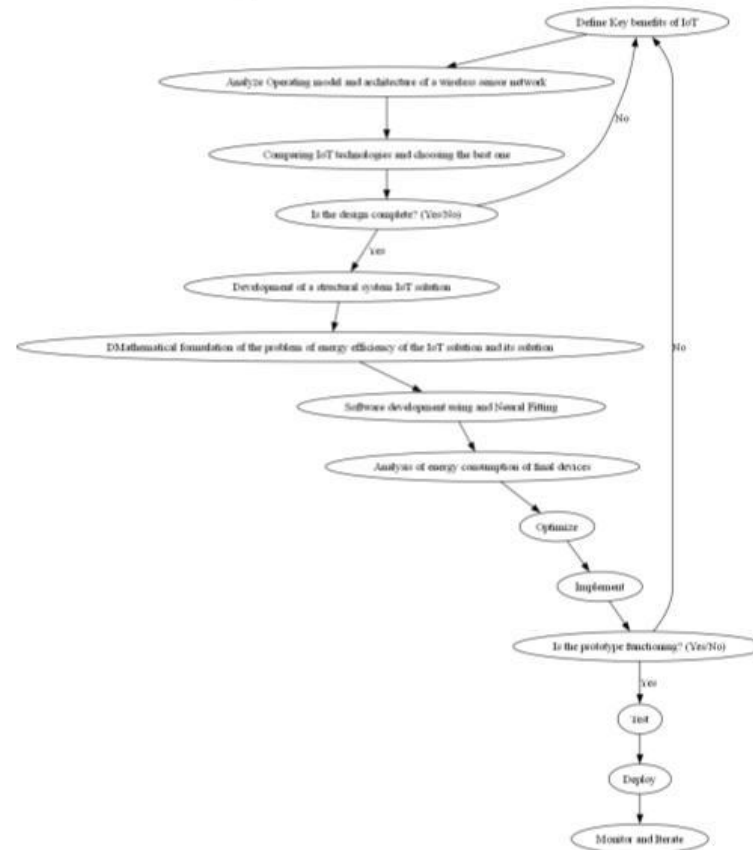
Мета, Об'єкт та Предмет

Мета роботи: розробка методу побудови схеми IoT рішення для високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням ШІ , дослідження енергетичної ефективності.

Об'єкт дослідження: процес побудови високопродуктивної сенсорної мережі з застосуванням ШІ.

Предмет дослідження: БСМ з застосуванням великих даних на основі концепції Інтернету Речей.

Алгоритм побудови високопродуктивної сенсорної мережі з застосування великих даних



Основні переваги IoT

IoT пропонує організаціям численні переваги, які можуть варіюватися залежно від галузі, проте є й загальні переваги, такі як:

- контроль бізнес-процесів;
- підвищення продуктивності праці;
- покращення якості обслуговування клієнтів;
- інтеграція нових бізнес-моделей;
- економія ресурсів та часу;
- збільшення доходів;
- покращене прийняття бізнес-рішень.



Модель роботи та архітектура безпроводової сенсорної мережі

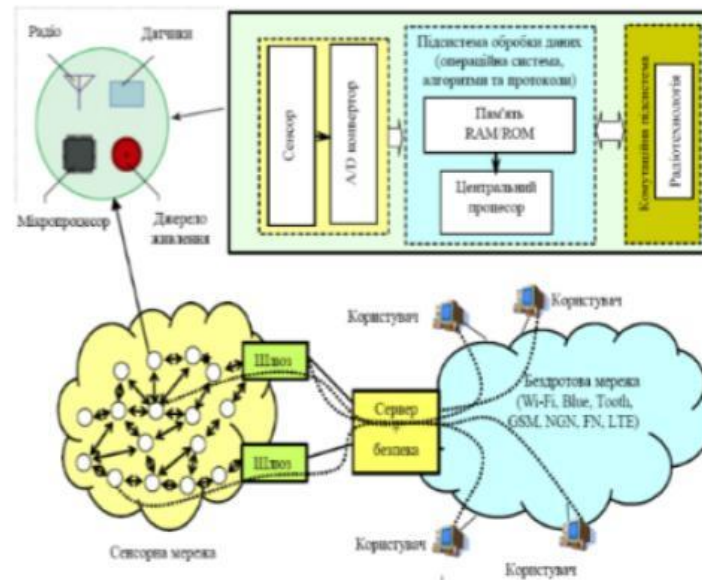


Рисунок 2.1 Модель роботи безпроводової сенсорної мережі

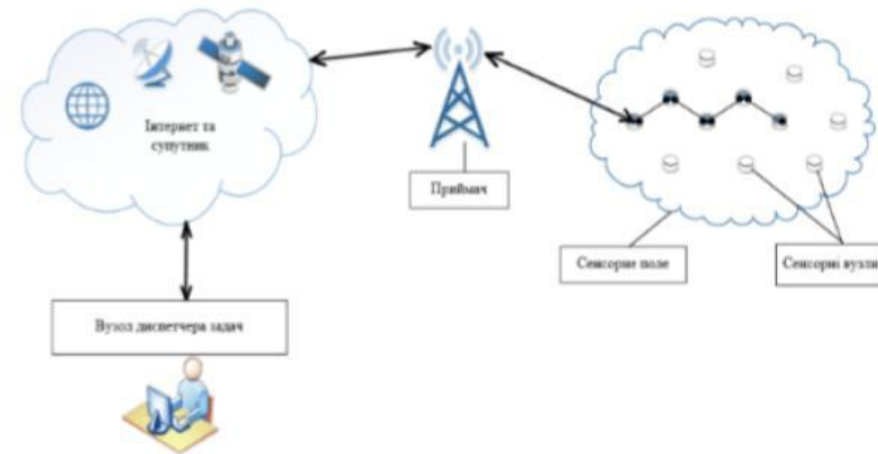


Рисунок 2.2 Архітектура безпроводної сенсорної мережі

Порівняння технологій IoT

Порівнюючи можливості NB-IoT з іншими технологіями LPWAN, такими як e-MTC, SIGFOX і LoRa, можна відзначити, що NB-IoT демонструє вищу продуктивність у багатьох аспектах. Зокрема, з точки зору мережеских інвестицій, покриття, трафіку на вхідній і вихідній лінії зв'язку, а також надійності мережі, NB-IoT забезпечує найбільш оптимальне рішення для сучасних потреб Інтернету речей.

Технічні характеристики	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	Weightless P
Метод модуляції	CSS	–	OFDMA/DSSS	FDMA / TDMA
Діапазон	ISM	ISM	Ліцензований	ISM
Швидкість	0,3–50 кбіт/сек	100 кбіт/сек	UL: 1–144 кбіт/сек DL: 1–200 кбіт/сек	0,2–100 кбіт/сек (адаптивна)
Смуга	Широко-смуговий до 500 кГц	Вузько-смуговий 100 кГц	Вузько-смуговий 200 кГц	Вузько-смуговий 12,5 кГц
Час автономії	> 10 років	–	До 10 років	3–5 років
Частота	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США)	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США)	700 / 800 / 900 МГц	169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц

Таблиця 2.1 – Порівняння технологій високопродуктивних сенсорних мереж IoT, які використовують BigData

Візуалізування схеми IoT рішення за допомогою NB IoT

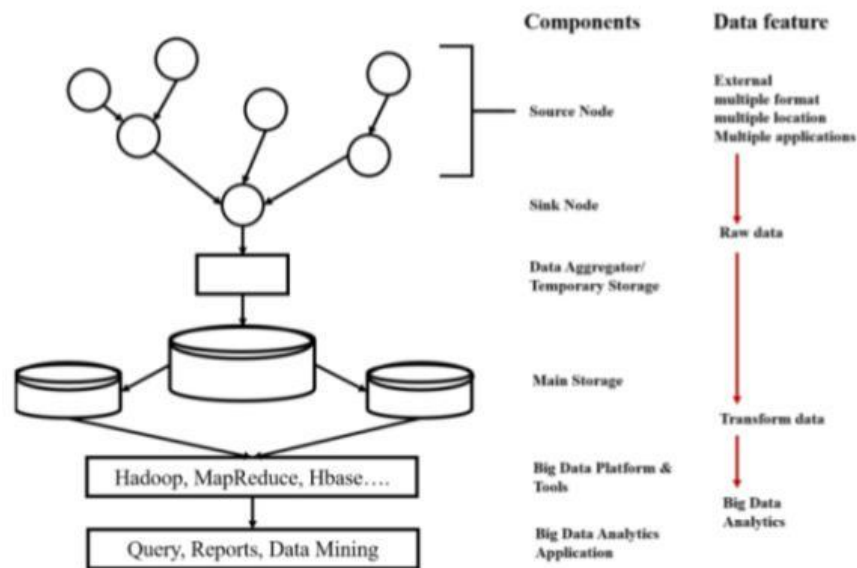


Рисунок 3.1 – Фундаментальна системна архітектура IoT рішення

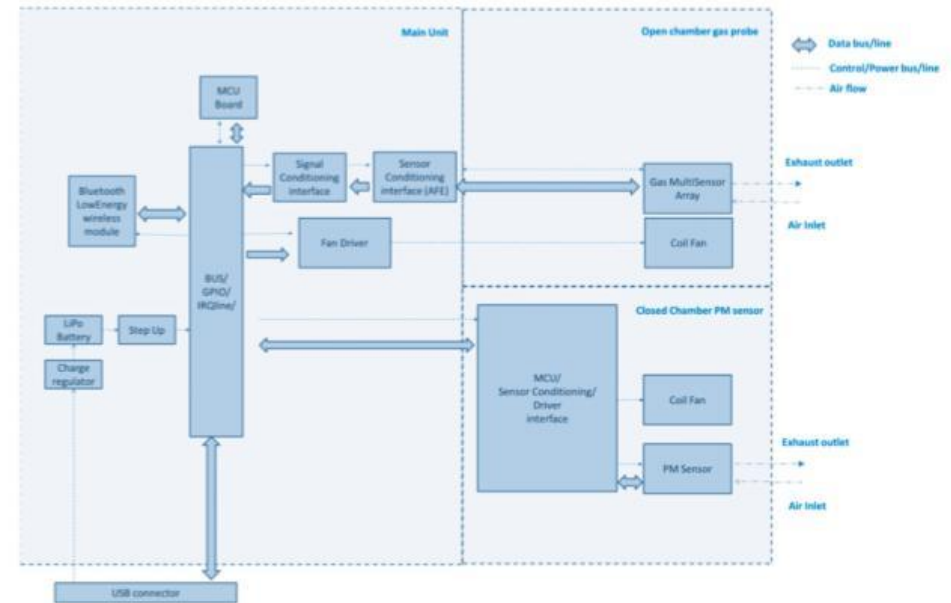


Рисунок 3.2 – Графічна модель NB-IoT рішення

Математична постановка задачі енергоефективності IoT рішення та її розв’язання



Таблиця 3.1 Процедури випадкового доступу

Позначення	Параметр	Значення
-	Ширина смуги	200 кГц
s	Повне число преамбул	64
L_1	Максимальне число передач преамбул	10
-	Розмір вікна очікування преамбул	5 мс
-	Таймер <i>ContentionResolution</i>	(у 4мс)
W_{max}	Індикатор Backoff	(у 200 м)
p	Ймовірність успішної доставки Msg3	0.9
p	Ймовірність успішної доставки Msg4	0.9
L_3	Максимальна кількість повідомлень HARQ Tx для повідомлень Msg3 та Msg4	5
M	Кількість кінцевих пристроїв у мережі	100 150 200
b	Частота PRACH	5 мс
K	Вікно очікування RAR	5 мс
K_1	Час передачі преамбул	1 мс
K_0	Час обробки преамбул на eNB	2 мс
t_{pr}	Час обробки перед передачею Msg3	5 мс
t_k	Час обробки Msg3 і прийому Msg4	6 мс

Таблиця 3.2 Вихідні дані для розрахунку

Розробка оптимальної системи IoT за допомогою Neural Fitting



Рисунок 3.1 Архітектура ПЗ

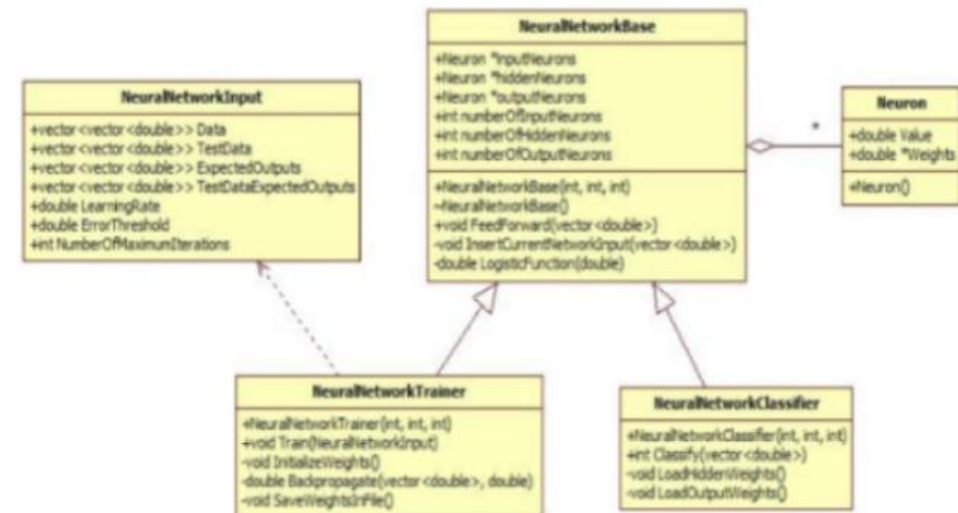


Рисунок 3.2 Діаграма класів

Аналіз енергоспоживання кінцевих приладів без використання режиму PSM

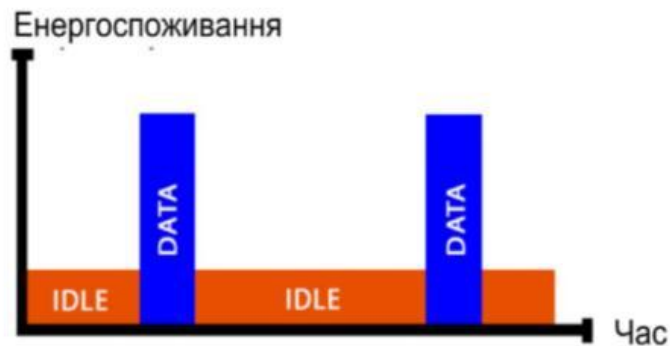


Рисунок 3.1 Аналіз енергоспоживання кінцевих приладів без використання режиму PSM

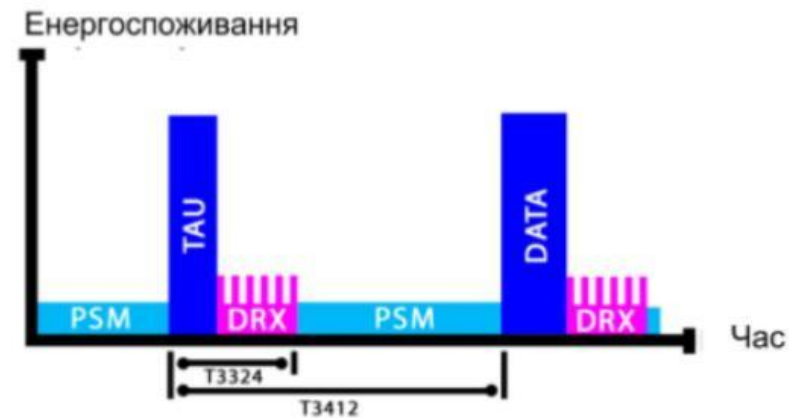


Рисунок 3.2 Аналіз енергоспоживання кінцевих приладів з використання режиму PSM

Реалізація пристрою вимірювання чистоти повітря



Рисунок 4.1 Пристрій на базі NB-IoT для вимірювання чистоти повітря

Компонент/Модель	Призначення	Характеристики
STMicroelectronics STM32L01 (ARM Cortex-M0, 72 MHz, 128 KB)	Основний контролер, що керує всією системою	Мікроконтролер з Cortex-M0, 72 MHz, 128 KB, низьке енергоспоживання
Novosens Technologies nRF7240	Бездротово передає дані	Підтримує BLE 5.0, радіус дії до 50 м, низьке енергоспоживання
Texas Instruments LM4110	Підтримує систему для подальшої обробки	Аналоговий вхід, функція шумів
ADXL335 (Analog Devices)	Аналого-цифровий перетворювач для сенсорних сигналів	Висока точність, мікропотребляемая енергія
Texas Instruments DRV835	Управління обертанням електродвигуна	Висока частота, 12 В, 100% ефективність
Adafruit 1.5V 200mAh LiPo Battery	Живлення системи	Ємність 1.5 В, 200 mAh
TP4056 (1A Li-ion Charge Controller)	Зарядка батареї	Захист від перезарядки, стабілізація струму
Pololu U2V12F5 (модуль напруги 5 В, струм до 1 А)	Підтримує напругу для живлення компонентів	Висока напруга 5 В, ККД до 90%
MQ-135 (модуль сенсорів CO2, NH3, бензолу, ацетону)	Сенсор для вимірювання концентрації газів	Підтримує аналогові сигнали (CO2, CO, CH4), висока чутливість
Sensirion SF-6A01 (40 мм, 5 В)	Об'єкт для вимірювання повітря в сенсорній камері	Напруга живлення 5 В, об'єм до 2000 RPM
Humidity sensor RH44A11 (10 мм, 5 В)	Вимірювання вологості повітря (RH) в камері	Діапазон 0-100% вологості, висока точність
Arduino Nano (8K контролер)	Контролер для системи	Величезна швидкість роботи і надійність
Mico USB B-Type (система передає дані і зарядку в режимі USB)	Порт для підключення до системи або передачі даних	USB 2.0, підтримує передачу даних

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Порівняльний аналіз автономного часу роботи кінцевого пристрою

Порівняльна таблиця показує, що похибка не перевищує 5%, в результаті чого можна говорити про ефективність застосування НМ для прогнозування часу роботи кінцевих пристроїв IoT. Окрім цього, представлену методику розрахунку можна застосовувати для розрахунку енергоефективності високопродуктивних сенсорних мереж із застосуванням BigData. Для досягнення енергоефективності оптимальним є застосування технології NB-IoT в високопродуктивних сенсорних мережах з BigData [28].

Параметр	Число NB пристроїв	Аналітичні результати	Прогнозування за допомогою НМ
Енергоспоживання на передачу блоку даних, Вт*с	100	$0,20 \cdot 10^{-3}$	$0,1876 \cdot 10^{-3}$
	150	$0,99 \cdot 10^{-3}$	$0,9789 \cdot 10^{-3}$
	200	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0364 \cdot 10^{-3}$
Енергоспоживання за рік, Вт*с	100	7461,99	7458,3686
	150	7464,05	7460,4859
	200	7465,53	7451,3689
Час роботи пристрою в режимі IDLE, років	100	0,996	0,98891
	150	0,995	0,98997

Таблиця 3.1 Чисельний аналіз автономного часу за допомогою Neural Fitting та MatlabSimulink роботи кінцевого пристрою

Висновки

У першому розділі сфери використання IoT. Інтернет речей (IoT) — це система взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, що взаємодіють через унікальні ідентифікатори (UID) і можуть передавати дані без взаємодії між людьми.

Другий розділ присвячений тому, як компанії можуть отримати вигоду від аналізу великих обсягів даних IoT. Це допомагає організаціям краще розуміти свої дані та приймати ефективні рішення на їх основі. Кожна галузь може отримати певні переваги від впровадження таких технологій.

У третьому розділі було розроблено структурну схему IoT-рішення та алгоритм розрахунку енергоефективності. Досліджено причини виникнення затримок при підключенні, зокрема обмеженість послідовностей преамбули.

Було створено структурну схему ефективного IoT-рішення, а також методику розрахунку його енергоефективності за допомогою нейронних мереж та MatlabSimulink, що можна застосовувати для побудови сенсорних мереж високої продуктивності.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра Комп'ютерної інженерії



Методика побудови IoT-рішення для сенсорних мереж із застосуванням ШІ

Виконав: Подуран Давид Вадимович

Науковий керівник: Лещевська Наталія Олександрівна

2024