

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Впровадження інтернет речей (IoT) в промислове
підприємство»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

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

(підпис)

Максим ЖОВТУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач(ка) вищої освіти гр. КІД-41

Максим ЖОВТУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: Борис КОНДРАТЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
науковий ступінь,
вчене звання

Рецензент: _____
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
науковий ступінь,
вчене звання

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Наталія ЛАЩЕВСЬКА

Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

«_____» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Жовтун Максим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Впровадження інтернет речей (IoT) в промислове підприємство

керівник кваліфікаційної роботи _____ Борис КОНДРАТЮК,

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від
«__» _____ 2024р. № _____

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «_____» _____ 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: _____

Доступ до Node-RED та Factory IO

Опис інтерфейсів Node-RED та Factory IO

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

1. Аналіз інтерфейсів Node-RED та Factory IO

2. Виконання базового налаштування Node-RED та Factory IO

3. _____

5. Дата видачі завдання «_____» _____ 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	26.02-22.03.2024	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2024	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2024	Виконано
4	Розробка практичної частини	11.04-30.04.2024	Виконано
5	Висновки за результатами аналізу	01.05-03.05.2024	Виконано
6	Оформлення документу	04.05-08.05.2024	Виконано
7	Розробка презентації	09.05-11.05.2024	Виконано
8	Здача в деканат	27.05-31.05.2024	Виконано

Здобувач(ка) вищої освіти

(підпис)

Максим ЖОВТУН
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Борис КОНДРАТЮК
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 48 стор., 21 рис., 2 табл., 30 джерел.

Мета роботи – дослідження та аналіз процесів впровадження Інтернету речей (IoT) на промисловому підприємстві з метою визначення оптимальних стратегій ефективного інтегрування цих технологій для підвищення продуктивності та безпеки виробничих процесів.

Об'єкт дослідження – інтегрування системи IoT в промислове підприємство для оптимізації своїх виробничих і управлінських процесів.

Предмет дослідження – системи IoT як інструмент для модернізації промислових підприємств, включно з технологіями збору даних, протоколами передачі даних, стратегіями безпеки та методами інтеграції в існуючу інфраструктуру.

Короткий зміст роботи: робота складається з трьох основних розділів. Перший розділ присвячений теоретичним основам IoT, включаючи розуміння, розвиток, архітектуру та категорії IoT. Другий розділ охоплює аналіз протоколів та технологій для передачі даних у мережах IoT, від коротких до довгих дистанцій. Третій розділ фокусується на практичному впровадженні IoT на промислових підприємствах, розглядаючи ініціальне планування, вибір обладнання, а також стратегії і практики забезпечення безпеки пристроїв IoT.

ABSTRACT

The text part of the qualifying work for obtaining a bachelor's degree: 48 pages, 21 figures, 2 tables, 30 sources.

The purpose of the work is to research and analyze the processes of implementing the Internet of Things (IoT) at an industrial enterprise in order to determine the optimal strategies for the effective integration of these technologies to increase the productivity and safety of production processes.

The object of research is the integration of the IoT system into an industrial enterprise to optimize its production and management processes.

The subject of research is IoT systems as a tool for modernizing industrial enterprises, including data collection technologies, data transfer protocols, security strategies and methods of integration into existing infrastructure.

Summary of the work: the work consists of three main sections. The first chapter deals with the theoretical foundations of IoT, including the understanding, development, architecture and categories of IoT. The second section covers the analysis of protocols and technologies for data transmission in IoT networks, from short to long distances. The third chapter focuses on the practical implementation of IoT in industrial enterprises, considering the initial planning, equipment selection, and strategies and practices for securing IoT devices.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ІОТ	10
1.1 Розуміння ІоТ	11
1.2 Поступовий розвиток ІоТ	12
1.3 Архітектура ІоТ	14
1.4 Категорії ІоТ	17
1.4.1 Комерційний ІоТ	17
1.4.2 Промисловий ІоТ	19
1.4.3 Споживчий ІоТ	20
2 ПРОТОКОЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ ІОТ	23
2.1 Протоколи для передачі даних на довгі відстані в мережах ІоТ	24
2.1.1 LoRa та LoRaWAN	25
2.1.2 NB-IoT	30
2.1.3 Weightless	33
2.1.4 SIGFOX	34
2.2 Протоколи для передачі даних на короткі відстані в мережах ІоТ	37
2.2.1 Z-Wave	38
2.2.2 NFC	39
2.2.3 RFID	40
2.2.3 Bluetooth Low Energy	43
2.2.3 Wi-Fi HaLow	44
3 РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ІОТ В ПІДПРИЄМСТВО	47
3.1 Початкове розуміння використання	48
3.2 Практичне застосування ІоТ в підприємстві	50
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60
Додаток А	62

ВСТУП

Термін "Інтернет речей" (IoT) визначає систему взаємозалежних пристроїв та технологій, які спрощують спілкування між пристроями та хмарними сервісами, а також взаємодію пристроїв один з одним. Розвиток економічно доступних мікрочіпів та телекомунікаційних технологій з високою пропускнуою спроможністю призвело до виникнення мільярдів підключених до Інтернету пристроїв. Тепер навіть такі звичайні речі, як зубні щітки, пілососи, автомобілі та промислове обладнання, оснащені датчиками, що збирають дані та реагують на події користувачів у реальному часі.

Інтернет речей перетворює звичайні об'єкти на частину глобальної мережі. Починаючи з 1990-х років, інженери стали впроваджувати датчики та процесори у побутові предмети. На початку процес був загальмований через великі розміри та незручності мікросхем. Наприклад, RFID-мітки, які спочатку використовувалися для стеження цінним обладнанням, були одними з перших кроків у цьому напрямку. З часом, у міру того, як технології ставали більш компактними і потужними, мікросхеми стали меншими, ефективнішими і розумнішими.

Сьогодні інтеграція обчислювальної потужності у маленькі предмети стала значно дешевшою. Як приклад, тепер можна додати функції голосового керування, такі як Alexa, до мікроконтролерів з обмеженим об'ємом пам'яті, наприклад, вимикачів світла. Це сприяло виникненню нової промисловості, спрямованої на обладнання наших будинків, робочих місць та офісів пристроями IoT. Ці розумні пристрої можуть автоматично обмінюватися даними через інтернет, створюючи складну та всебічну екосистему, відому як Інтернет речей.

Інтернет речей продовжує розширювати свій вплив, ведучи до появи нових моделей взаємодії між людиною та технологією. Це відкриває двері для нових можливостей в автоматизації, ефективності та розумному управлінні ресурсами, пропонуючи перспективні рішення для сталого розвитку.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ІОТ

ІоТ відомо як концепція, що охоплює всесвітню присутність з'єднаних дротових і бездротових пристроїв з унікальними адресними схемами, які здатні взаємодіяти між собою для створення нових програм і сервісів. Реалізація цієї концепції стикається зі значними викликами в сфері досліджень і розробок. Люди працюють над створенням світу, де фізичні об'єкти і віртуальні послуги об'єднуються в інтелектуальні екосистеми, покликані оптимізувати споживання енергії, управління транспортом, міські сервіси та багато інших аспектів.

Інший підхід до ІоТ базується на концепції повсякденних об'єктів, які можуть бути ідентифіковані, адресовані та керовані через сенсорні пристрої і управляються за допомогою смартфонів чи інтернету, використовуючи різноманітні засоби зв'язку, такі як RFID, WiFi та глобальні мережі (WAN). Ці предмети включають електронні пристрої, продукцію високотехнологічних галузей, таких як автомобільна промисловість і машинобудування, а також неелектронні речі, наприклад їжу, воду, одяг, меблі, рослини та худобу.

Бездротовий зв'язок, досягнення і виклики, де пристрої визначаються і отримують інформацію, здатні приймати рішення з урахуванням контексту. Вони також можуть формулювати власні критерії та аналізувати дані, отримані з інших джерел. Ця трансформація в області зв'язку відбувається паралельно з переходом від Інтернету до IPv6, що надає необмежену адресну ємність, а також з розвитком хмарних обчислень. ІоТ прагне забезпечити зв'язок між пристроями та їх інтеграцію з будь-якими особами і в будь-якому місці, за бажанням через будь-який сервіс або мережу.

1.1 Розуміння IoT

Концептуальна ідея з'єднувати фізичні системи та машини завжди привертала увагу технологічних інноваторів, і з часом ця сфера зазнала значних розробок. RFID (radio frequency identification – радіочастотна ідентифікація) використовувався вже довгий час виробниками споживчих товарів та роздрібними продавцями для маркування вартісних товарів та піддонів для ефективного контролю запасів, довго до того, як було введено термін «Інтернет речей» (IoT). Основна ідея взаємодії машин між собою на відстані для збільшення продуктивності завжди вважалася ідеальною. Однак, революційним стало введення професором Кевіном Аштом з Массачусетського технологічного інституту концепції інтеграції RFID з мережевими технологіями, яка призвела до створення терміна «Інтернет речей». З того моменту, як IoT почав інтегрувати методи підключення та віддаленого моніторингу в одну систему, прогрес у цій галузі не знає зупинки. [1]

Концепція IoT не є новинкою і в даний час вона є одним з найефективніших двигунів бізнес-успіху. Важливо зрозуміти, як Інтернет речей розвивався протягом останніх двох десятиліть і став важливим елементом сучасного бізнесу.

IoT сприяє поліпшенню якості життя та роботи людей, роблячи їх розумнішими та продуктивнішими. Ці розумні пристрої не лише полегшують повсякденні домашні завдання, але й відіграють критичну роль у бізнесі. IoT забезпечує компаніям доступ до інформації в режимі реального часу про оперативні процеси, допомагаючи зрозуміти ефективність роботи обладнання і ланцюгів поставок. Використання IoT також дозволяє компаніям оптимізувати процеси і скоротити витрати на робочу силу, що сприяє підвищенню якості обслуговування, зниженню відходів, скороченню витрат на виробництво та дистрибуцію товарів, а також підвищенню прозорості для споживачів. На аграрних підприємствах IoT допомагає збільшити урожайність і підвищити ефективність. Безсумнівно, IoT є однією з ключових технологічних інновацій нашого часу.

1.2 Поступовий розвиток IoT

Хоча Кевін Ештон ввів термін IoT для опису підключення фізичних об'єктів через RFID, ідея з'єднання фізичних структур існувала задовго до цього. У 1999 році Ештон, співзасновник Центру автоматичної ідентифікації MIT, сформулював поняття "Інтернет речей", базуючись на інтеграції RFID з мережевими технологіями для підключення пристроїв до Інтернету. Він прагнув створити систему, де комп'ютери зможуть самостійно збирати інформацію та перетворювати її в корисні дані за допомогою датчиків та RFID, дозволяючи комп'ютерам взаємодіяти з реальним світом. [2]

У 1999 році також було розроблено концепцію зв'язку між пристроями (D2D) Біллом Джоєм для його системи "Шість мереж" на Всесвітньому економічному форумі. Наступного року було представлено перший у світі холодильник з Інтернет-підключенням, LG Wireless Digital DIOS, і в 2001 році Девід Брок з MIT запропонував систему електронного коду продукту (EPC) замість стандартних штрих-кодів для трекінгу товарів.

У 2003 році проект JXTA-C був представлений на щорічній міжнародній конференції, маючи на меті створення загальних протоколів для пірингових мереж, що стало основою для майбутньої "Мережі речей". Цього ж року McCormick Place створив мережу для зв'язку мільйонів етикеток, що дало початок реальній імплементації "Інтернету речей".

У 2005 році Інститут дизайну взаємодії в Івреа, Італія, розробив одноплатний мікроконтролер для застосування в імерсивних проектах. Того ж року MCE випустив документ, який назвали «Інтернет речей». До 2008 року різні представники індустрії об'єднали зусилля для підтримки підключених пристроїв, що стало значним кроком у реалізації IoT на великих виробничих підприємствах.

Після 2016 року IoT поширив своє застосування на численні сфери, включаючи підключені будинки, транспортні засоби, фабрики та офіси, а також системи сонячних трекерів. Тоді ж було запроваджено термін «Промисловий IoT (IIoT)», який описує використання IoT у промисловості. Прогнозувалося, що до

2020 року кількість підключених пристроїв досягне приблизно 50 мільярдів. Ці технологічні інновації змінили первісне уявлення про IoT, запропоноване Ештоном. Основна ідея IoT, яка полягає в мережевій взаємодії пристроїв для аналізу даних через Інтернет, залишилася сталою.

Система на основі RFID, яка була однією з перших моделей для реалізації IoT, не здобула широкого розповсюдження через обмежені мережеві можливості та високі витрати на апаратне забезпечення та інфраструктуру. Окрім того, RFID не виявилася ідеальною для великомасштабної промислової автоматизації. Проте, розвиток бездротових мереж на основі IP та інші технологічні досягнення сприяли подальшому розвитку IoT у різних застосуваннях.

IoT не могло швидко впроваджуватись без розвитку людства, яке тягнуло за собою такі чинники:

— *розвиток мережевих технологій.* На сьогоднішній день, бездротові технології, такі як WiFi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, DECT і Thread, забезпечують надійне з'єднання між користувачами. До цих технологій додаються також однорангові мережеві технології, включаючи AllSeen, DLNA та UPnP, які розширюють можливості підключення;

— *розвиток хмарних технологій.* Бурхливий розвиток хмарних обчислень сприяв доступності IoT. Хмарні платформи пропонують доступне рішення для зберігання та обробки даних, що дозволяє оптимізувати навантаження в мережах Інтернету речей. Це спростило багатьом компаніям процес інтеграції технологій IoT. Тепер Інтернет речей і хмарні обчислення тісно пов'язані та використовуються для вирішення складних бізнес-задач;

— *зниження витрат.* Доступність датчиків і підключених пристроїв знизила витрати, зокрема для середнього та малого бізнесу, дозволяючи їм використовувати переваги IoT без значних інвестицій;

— *покращення в обробці та аналізі даних.* Протягом останнього десятиліття значно зросли можливості обробки даних. Інтерпретація даних стала ключовою характеристикою пристроїв IoT. Завдяки прогресу в аналітиці даних відкриваються нові можливості для застосування IoT. Велика кількість даних, що

генеруються численними вбудованими пристроями, обробляється за допомогою розгалуженого програмного забезпечення, перетворюючи сирий потік інформації в цінні знання і прибуток.

1.3 Архітектура IoT

Інтернет речей концептуально є частиною мереж нового покоління, тому його архітектура має багато спільного з відомою чотиришаровою архітектурою NGN. IoT використовує різноманітні інфокомунікаційні технології, які забезпечують його функціонування, і його архітектура демонструє взаємозв'язки між цими технологіями. [3] Архітектура IoT містить чотири основні функціональні шари:

— *рівень сенсорів та сенсорних мереж* є найнижчим в архітектурі IoT, включаючи «розумні» об'єкти, оснащені датчиками. Ці сенсори інтегрують фізичний та цифровий світи, дозволяючи збір та обробку даних в реальному часі. Завдяки мініатюризації, яка зменшує фізичні розміри апаратних сенсорів, їх можна інтегрувати безпосередньо в об'єкти реального світу. Сенсори бувають різних типів, включаючи екологічні сенсори, тілесні сенсори, сенсори для побутової техніки, транспортні сенсори та інші. Ці пристрої можуть мати обмежену пам'ять для запису результатів вимірювань. Сенсори вимірюють фізичні параметри об'єктів або явищ і перетворюють їх на сигнали, які можуть бути оброблені відповідними пристроями. Більшість сенсорів потребують з'єднання з шлюзом через місцеві мережі, такі як Ethernet і Wi-Fi, або через персональні мережі, такі як ZigBee, Bluetooth і UWB для короткодистанційного зв'язку. Для сенсорів, які не потребують прямого з'єднання з шлюзом, можливе з'єднання з серверами або додатками через глобальні бездротові мережі, як-от GSM, GPRS та LTE. Сенсорні мережі з низьким споживанням енергії та низькою швидкістю передачі даних, відомі як WSN (Wireless Sensor Network), стають все більш популярними, оскільки вони можуть підтримувати велику кількість сенсорів, що працюють на батареях і охоплюють великі площі;

— *рівень шлюзів та мереж.* Об'єми даних, генеровані численними мініатюрними сенсорами на початковому рівні IoT, потребують створення надійного та високопродуктивного механізму передачі даних, який може бути забезпечений як через дротову, так і через бездротову мережеву інфраструктуру. Сучасні комунікаційні мережі, що підтримують різні протоколи, можуть бути адаптовані для здійснення міжмашинних комунікацій (M2M) та їх застосувань. Цей рівень включає в себе мережеву інфраструктуру, створену шляхом інтеграції мереж різних технологій і протоколів доступу в єдину мережеву платформу, що дозволяє реалізувати широкий спектр послуг і додатків у сфері IoT. Такі мережі повинні забезпечувати високі показники якості передачі даних, включаючи мінімальну затримку, високу пропускну спроможність і надійність безпеки;

— *сервісний рівень* включає набір інформаційних послуг, що мають на меті автоматизацію технологічних та бізнес-операцій у сфері IoT. Це включає підтримку операційних та бізнес-систем (OSS/BSS, Operation Support System/Business Support System), різноманітну обробку аналітичної інформації, таку як статистичний аналіз, інтелектуальний аналіз даних і текстів, прогностична аналітика та інші. Також до сервісного рівня належать зберігання даних, забезпечення інформаційної безпеки, управління бізнес-правилами (BRM, Business Rule Management) та управління бізнес-процесами (BPM, Business Process Management);

— *рівень додатків.* Четвертий рівень архітектури IoT включає різноманітні додатки, призначені для специфічних промислових секторів та сфер діяльності, таких як енергетика, транспорт, торгівля, медицина, освіта та інші.

Екосистема Інтернету речей (IoT) включає в себе вузли, оснащені датчиками та розумними крайовими пристроями з можливістю підключення до Інтернету, які інтегровані з вбудованими системами, такими як датчики, процесори та комунікаційні модулі. Ці пристрої здатні передавати, отримувати та обробляти дані, отримані від вузлів. Пристрої IoT обмінюються даними, зібраними датчиками, і відправляють їх на шлюз або крайовий пристрій через бездротові зв'язкові протоколи. Дані можуть бути відправлені в хмару для подальшого аналізу або

оброблятися локально. Ці пристрої також можуть взаємодіяти з іншими пристроями в мережевій сітчастій топології та обробляти інформацію, отриману один від одного. Вони підключаються до хмари автономно, без людського втручання, хоча користувачі мають можливість налаштовувати та доступати до зібраних даних, що вимагає двостороннього зв'язку між датчиками IoT та аналітичними пристроями. [4]

Мережеве підключення і протоколи зв'язку, використовувані периферійними пристроями, залежать від конкретних сценаріїв використання IoT. IoT також може інтегрувати машинне навчання (ML) та штучний інтелект (AI), що сприяє більш динамічному та ефективному процесу збору даних. На прикладі рисунку 1.1 демонструється, як стандартна система IoT функціонує від моменту збору даних до їх використання.

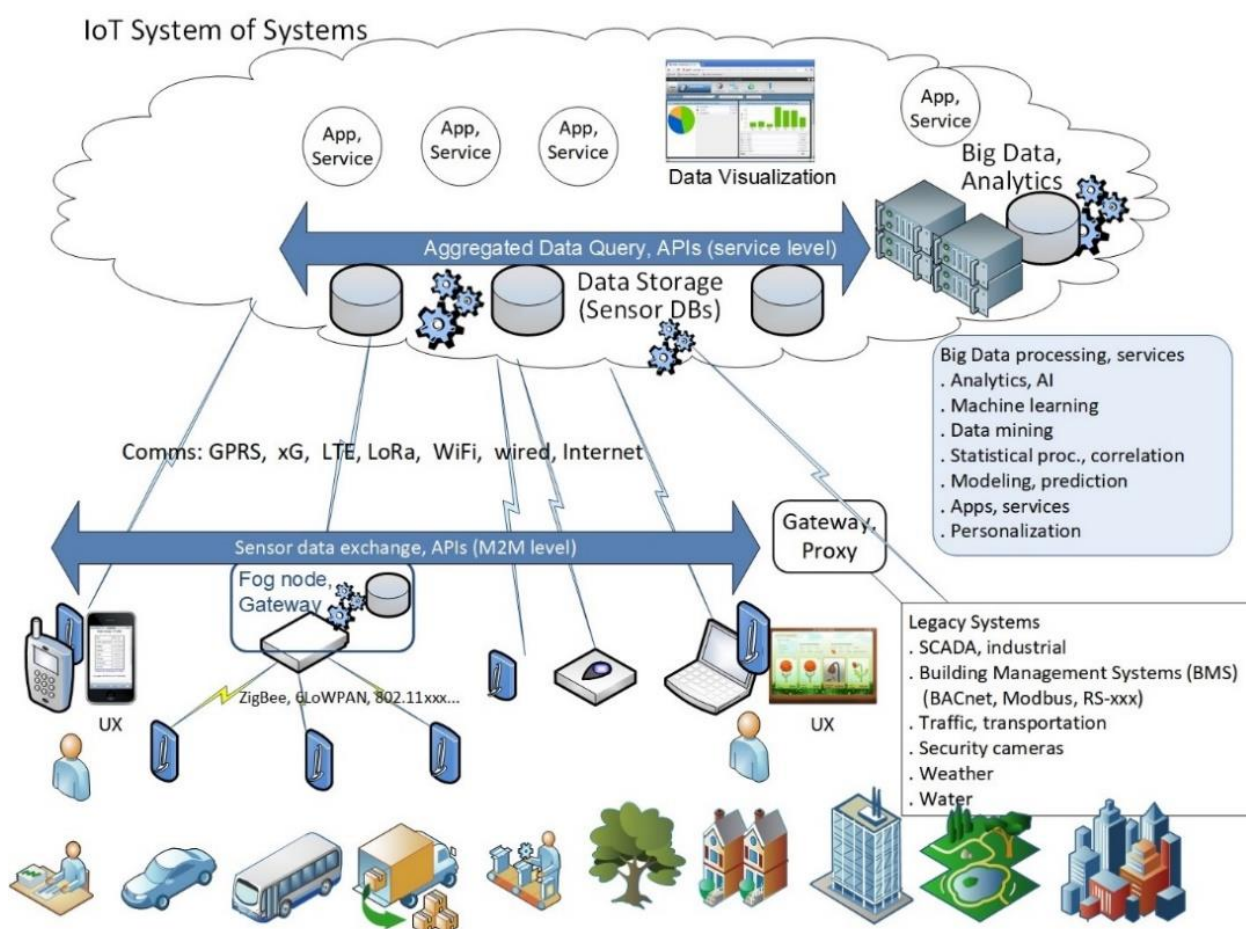


Рисунок 1.1 – Функціонування системи IoT

1.4 Категорії IoT

Визначення IoT включає, як споживчий сектор промисловий чи бізнес-сегмент. Спочатку стало прийнято розрізняти споживчий IoT від промисловий IoT, щоб відокремити різноманітні застосування та додатки цієї технології. Однак, як це часто буває з термінологією, виникли деякі перекриття в означеннях цих двох форм IoT.

Тому деякі організації та особи воліють використовувати термін " IoT " для опису цілісності цієї концепції, тоді як інші вибирають уникнути загальної назви IoT і замість цього використовувати терміни, які вказують на конкретні випадки використання та контексти. Це включає такі поняття, як «Споживчий IoT», «Комерційний IoT», «Промисловий IoT», кожен з яких має своє особливе значення і далі поділяється на більш деталізовані категорії.

1.4.1 Комерційний IoT

Інтернет речей пропонує багато стимулів для бізнесу, деякі з яких є універсальними для різних галузей, а інші - специфічними для конкретних секторів. Очікувані переваги для компаній, які використовують Інтернет речей, включають:

- економію часу та коштів;
- контроль над основними бізнес-процесами;
- підвищення якості прийняття бізнес-рішень;
- збільшення продуктивності співробітників;
- покращення досвіду клієнтів;
- адаптацію та інтеграцію бізнес-моделей;
- збільшення доходів.

IoT може відігравати ключову роль у моніторингу інфраструктури, такий як виявлення структурних змін у будівлях, мостах та інших об'єктах завдяки використанню спеціалізованих датчиків. Його переваги включають зниження витрат, економію часу, підвищення якості життя, оптимізацію бізнес-процесів та

впровадження безпаперових технологій.

У сфері домашньої автоматизації IoT допомагає керувати електричним та механічним обладнанням, а розумні міста за допомогою IoT спрямовані на зменшення забруднення довкілля та енергоспоживання, підвищення якості життя. IoT охоплює всі галузі, включаючи охорону здоров'я, фінанси, роздрібну торгівлю та виробничі підприємства.

Інтернет речей знаходить застосування у всіх сферах і ринках. Ця технологія актуальна як для приватних осіб, які прагнуть до енергоефективності власних домівок, так і для великих організацій, що прагнуть оптимізувати свої процеси та підвищити продуктивність. Використання IoT стає невід'ємною і критично важливою частиною багатьох галузей. IoT відіграє ключову роль на виробничих підприємствах, у транспорті, логістиці та комунальних службах. Крім того, IoT знаходить застосування в управлінні інфраструктурою, сільському господарстві та домашній автоматизації, сприяючи цифровій трансформації багатьох організацій. [5]

IoT відкриває доступ до майбутнього медицини, пропонуючи комплексно інтегровану мережу передових медичних інструментів. Сьогодні IoT революціонізує медичну науку, методи лікування, медичне обладнання та невідкладну медичну допомогу. Завдяки інтеграції всіх цих складових, лікарні можуть досягати вищої точності, швидше реагувати на невідкладні випадки, звертати більшу увагу на деталі і впроваджувати неперервні покращення, одночасно зменшуючи загальні витрати на медичні дослідження та експлуатацію.

IoT також відіграє ключову роль у допомозі важко травмованим пацієнтам, швидко доставляючи їх до відділень невідкладної допомоги. Системи IoT можуть ідентифікувати пацієнта та реєструвати його при прибутті, збираючи життєво важливі дані через медичне обладнання. Ця інформація передається до лікарні, де дані аналізуються в режимі реального часу разом із попередньою медичною історією для забезпечення оптимального лікування. Статус пацієнта оновлюється щосекунди під час транспортування. Система надає рекомендації медичному персоналу щодо необхідних процедур, підготовки ліків та медичних матеріалів. Це

демонструє вплив IoT на сектор охорони здоров'я рисунок 1.2.

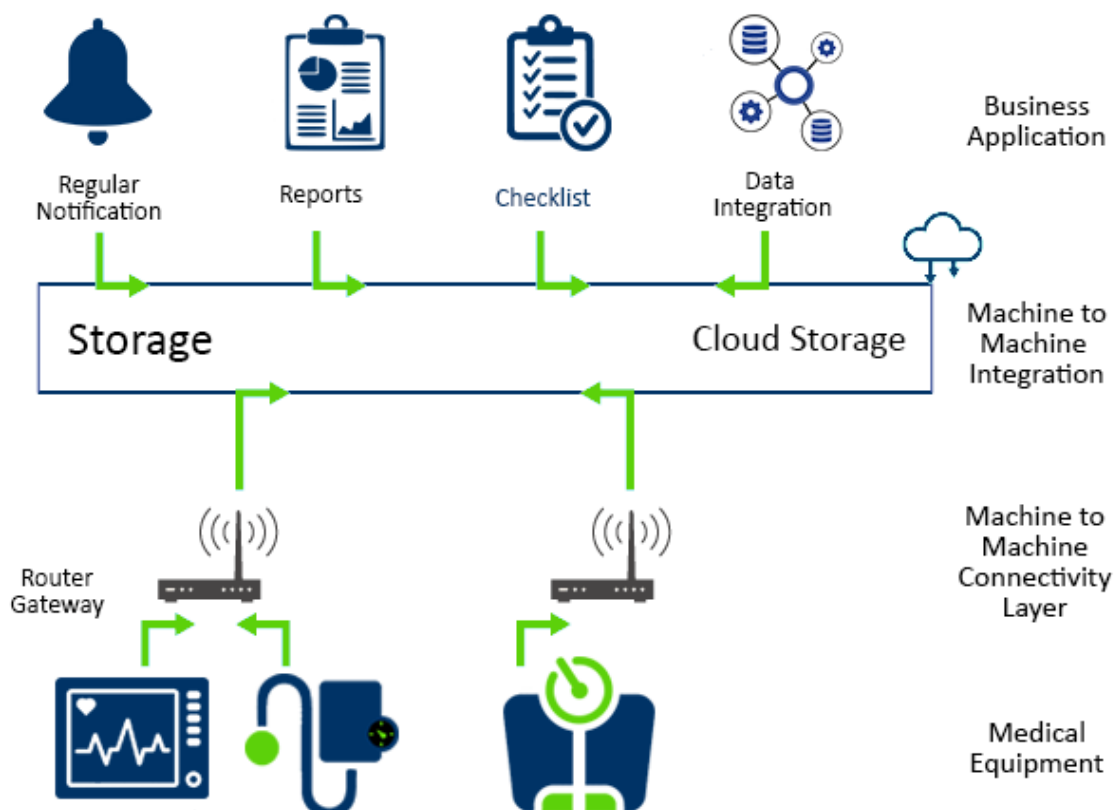


Рисунок 1.2 – IoT в медичній сфері

1.4.2 Промисловий IoT

Промисловий Інтернет речей (IIoT) включає застосування розумних датчиків, приводів та інших пристроїв, таких як RFID-мітки, для оптимізації виробничих та промислових процесів. Ці пристрої інтегровані у мережі для забезпечення збору, обміну та аналізу даних, що допомагає збільшити ефективність та надійність процесів. Відомий також як промисловий Інтернет, IIoT застосовується у багатьох галузях, включно з виробництвом, енергетикою, комунальними послугами та нафтогазовою промисловістю.

IIoT використовує потенціал розумних машин та аналітики в реальному часі для використання даних, які раніше генерувалися в промислових умовах. Ключова ідея IIoT полягає в тому, що розумні машини здатні не тільки збирати та аналізувати дані швидше та точніше, ніж люди, але й передавати критично важливу

інформацію, яка може бути використана для більш ефективного прийняття рішень.
[6]

Завдяки підключеним датчикам та виконавчим пристроям, компанії можуть швидше ідентифікувати неефективність та проблеми, економлячи час та ресурси та підтримуючи бізнес-аналітику. В області виробництва ПоТ відіграє важливу роль у забезпеченні контролю якості, сталості та екологічності, відстеженні ланцюгів постачання та підвищенні їхньої загальної ефективності. В промисловому середовищі ПоТ є ключовим для прогнозного обслуговування, покращення обслуговування на місцях, управління енергоспоживанням та відстеження активів.

Багато галузей промисловості використовують ПоТ, зокрема такі:

— *автомобільна промисловість*. Ця галузь використовує промислових роботів, і ПоТ може допомогти завчасно підтримувати ці системи та виявляти потенційні проблеми, перш ніж вони зможуть порушити виробництво. Автомобільна промисловість також використовує пристрої ПоТ для збору даних із систем клієнтів і надсилання їх до систем компанії. Потім ці дані використовуються для виявлення потенційних проблем з обслуговуванням;

— *сільське господарство*. Промислові датчики збирають дані про поживні речовини ґрунту, вологість та інші змінні, що дозволяє фермерам отримувати оптимальний урожай;

— *нафтогазова промисловість*. Деякі нафтові компанії мають флот автономних літальних апаратів, які використовують візуальні та тепловізори для виявлення потенційних проблем у трубопроводах. Ця інформація поєднується з даними інших типів датчиків для забезпечення безпечної роботи;

— *комунальні послуги*. ПоТ використовується для обліку електроенергії, води та газу, а також для віддаленого моніторингу промислового комунального обладнання, такого як трансформатори.

1.4.3 Споживчий IoT

В нашому повсякденному житті Інтернет речей (IoT) значно підвищує наше

задоволення, продуктивність, здоров'я та безпеку. IoT допомагає оптимізувати робоче середовище для максимальної продуктивності. Розумні будинки оснащені пристроями, такими як термостати, освітлення, підключене опалення та електроприлади, які можна контролювати віддалено через комп'ютери та смартфони. У розумних будівлях сенсори виявляють кількість людей у приміщенні, допомагаючи знижувати витрати на енергію. Наприклад, якщо сенсори виявляють, що конференц-зал повний або порожній, вони можуть автоматично регулювати температуру, вмикати або вимикати кондиціонер та знижувати тепло, коли офіс порожній. [7]

Інтернет речей також інтегрує керування освітленням у масштабні надійні бездротові системи освітлення для домівок через сітчасті мережі. Вбудовані сенсори можуть виявляти присутність людей і автоматично вимикати світло, коли нікого немає, знижуючи таким чином споживання енергії. Ці системи освітлення призначені для ефективного використання як у домашніх умовах, так і в бізнесі.

Програмні рішення IoT включають прилади, які забезпечують інтелектуальне управління завдяки сенсорам і пристроям, розташованим локально в домі. Ці пристрої підключаються до локального агрегатора, а потім до хмари через WiFi-маршрутизатор рисунок 1.3.

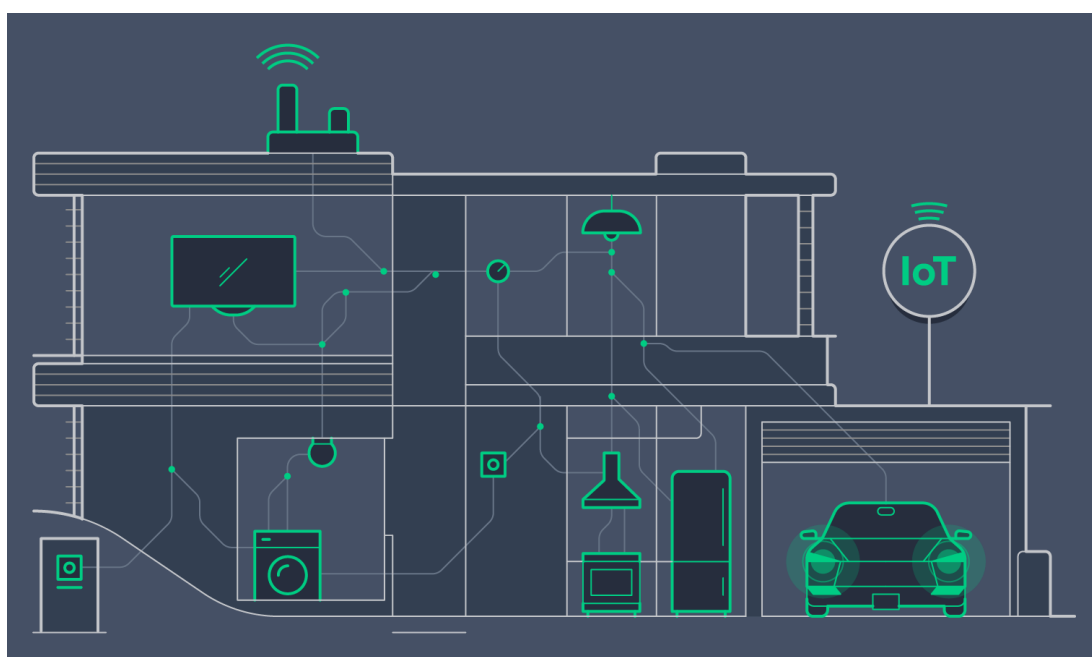


Рисунок 1.3 - Розумний дім

Від потокових пристроїв, переносних пристроїв, систем голосових команд, пристроїв управління будинком, систем охорони здоров'я та моніторингу активів до розумних пристроїв у магазинах і підключених автомобілів CІoT тепер є скрізь. [8] Нижче наведено кілька випадків використання Consumer IoT у програмі:

— *домашня автоматизація та безпека* - провідний варіант використання Consumer IoT все більше закріплюється в цьому сегменті. Комплексні рішення для домашньої безпеки, прилади з підключенням до Інтернету, пристрої керування енергоспоживанням, інноваційні додатки для віддаленого дому, такі як контроль кімнат, розважальні системи тощо, з'являються на ринку щодня. Фактично очікується, що до 2023 року пристрої домашньої автоматизації з інтелектуальним управлінням енергією та додатками безпеки займатимуть найбільшу частку споживчого ринку IoT;

— *відстеження активів* - споживацький IoT робить можливим і зручним відстеження від смартфонів, камер, ключів тощо до відстеження домашніх тварин, навіть відстеження вразливих членів сім'ї, таких як діти та люди похилого віку. Це дозволяє контролювати все, що підключено до Інтернету речей, навіть на великих відстанях;

— *розумні носії* - носимі технології швидко стають популярними серед звичайних розумних годинників і фітнес-трекерів. Орієнтовані на споживача носимі пристрої з багатофункціональними інтуїтивно зрозумілими програмами зараз розробляються, щоб змінити спосіб життя споживачів. Завдяки проривам наступного покоління в CІoT щодня, дуже скоро з'являться розумні переносні пристрої, які не будуть залежати від смартфонів, як сьогодні;

— *охорона здоров'я* - ще один відомий приклад використання, коли споживчий IoT швидко просувається та покращує досвід пацієнтів і опікунів. Від моніторингу пацієнтів, розумних слухових апаратів, відстеження медичного обладнання до догляду за людьми похилого віку, існує все більша конвергенція між особистим охороною здоров'я та Інтернетом речей у сфері охорони здоров'я.

2 ПРОТОКОЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ ІОТ

Кількість підключених пристроїв IoT стрімко зростає, і у 2020 році вперше число таких підключень перевищило кількість не-IoT підключень, таких як смартфони і комп'ютери. За даними аналітичної компанії IoT Analytics, у 2020 році було зареєстровано 11,7 мільярдів IoT підключень порівняно з 10 мільярдами інших підключень. Передбачається, що до 2025 року кількість IoT підключень сягне 30,9 мільярдів. Розвиток та поширення IoT протоколів, включно з 5G та малопотужними глобальними мережами, є основними чинниками такого зростання. [9]

Переваги та цінність IoT полягають у можливості компонентів спілкуватися, що дозволяє даним переходити від кінцевих пристроїв до центральних серверів через IoT систему. Це зв'язування відбувається через спеціалізовані IoT протоколи, які забезпечують передачу та правильне розуміння даних на кожному етапі підключеного середовища, незалежно від того, куди спрямовуються дані - на інший кінцевий пристрій, шлюз, чи додаток.

За словами Білла Рея, аналітика з Gartner, хоча протоколи IoT мають критичне значення для функціонування IoT, не всі протоколи універсальні. Деякі протоколи ефективні для внутрішньобудинкового використання IoT, інші - для розгортання між будівлями, тоді як деякі найкраще підходять для національних або глобальних застосувань IoT. [10]

Кожен IoT протокол може підтримувати зв'язок між пристроями, пристроєм та шлюзом, або пристроєм та хмарними/центральними дата-центрами, включаючи різні комбінації цих видів комунікацій.

Існує безліч протоколів IoT, кожен з яких надає унікальні можливості або комбінації функцій, що роблять їх ідеальними для певних сценаріїв використання IoT. Їх можна розділити на протоколи для передачі даних на довгі та короткі відстані в IoT мережі.

2.1 Протоколи для передачі даних на довгі відстані в мережах IoT

Рішення про вибір протоколу часто залежать від таких факторів, як географічне розташування, специфікації щодо споживання енергії, можливість роботи на батареях, наявність фізичних перешкод та вартість впровадження. Мережеві системи розглядаються як набір технологій і часто представляються в стандартних моделях, таких як модель OSI, яка включає сім шарів: фізичний, канальний, мережевий, транспортний, сеансовий, рівень представлення та додатків. [11]

Моделювання IoT може варіюватися від трирівневої моделі (рівень представлення, мережевий та додатків) до більш складних п'ятирівневих моделей, які включають (рівень представлення, транспортний, обробку, додатків та сеансовий). Протоколи IoT, використовувані на кожному рівні, можуть відрізнятися, забезпечуючи зв'язок на відповідних шарах, а в деяких випадках взаємодію між рівнями, як зазначив Скотт Янг, провідний науковий радник Info-Tech Research Group.

У найближчому майбутньому очікується значне збільшення кількості пристроїв, підключених до Інтернету речей (IoT). Однією з ключових характеристик багатьох з цих пристроїв буде їх здатність працювати автономно, зокрема за рахунок живлення від батарей. Така залежність від батарей ставить перед розробниками важливе завдання – максимізація тривалості роботи пристроїв без потреби в обслуговуванні або заміні живлення, що особливо важливо для важкодоступних або ізольованих локацій. [12]

Для адресації цього виклику була розроблена концепція мереж Long Range Wide Area Network (LPWAN), спеціально призначених для потреб IoT. LPWAN вирізняється низьким споживанням енергії та великим радіусом дії, що робить їх ідеальними для підключення великої кількості датчиків та пристроїв, які передають невеликі об'єми даних на значні відстані. Основними технологіями цих мереж є NB-IoT, Weightless, LoRa, SIGFOX та інші

2.1.1 LoRa та LoRaWAN

LoRa — це протокол комунікації, що використовує низьке енергоспоживання, розроблений для передачі даних на далекі відстані через неліцензований спектр, зокрема через радіодіапазони, які призначені для промислових, наукових та медичних (ISM) застосувань.

Пристрої LoRa використовують частоти, що знаходяться нижче одного гігагерца, що сприяє довготривалій передачі даних, хоча діапазони, що використовуються, є досить вузькими, і урядові нормативи в деяких країнах накладають строгі обмеження на частоту передачі даних у цих діапазонах. В контексті мережевих взаємодій відкритих систем (OSI), як показано на рисунку 2.1, мікрочіпів LoRa представляє фізичний рівень, що становить основу для вищестоящих шарів і дозволяє апаратним пристроям використовувати неліцензований спектр для мереж LPWAN. Таким чином, LoRa визначає спектр і протоколи, які застосовуються для радіозв'язку. [13]

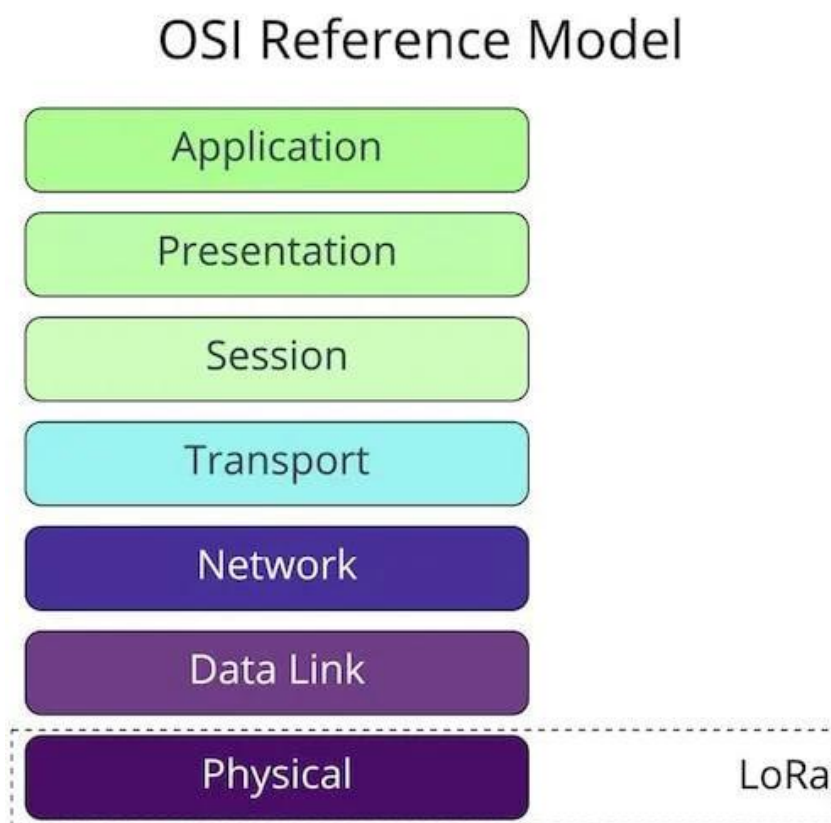


Рисунок 2.1 – Місце пристроїв LoRa в системі OSI

Хоча LoRa функціонує в субгігагерцевому спектрі, специфічні діапазони, які використовуються мікросхемами LoRa, залежать від регіону. Наприклад, в Європі радіостанції LoRa оперують на частотах 863-870/873 МГц, у Азії та Південній Америці використовуються частоти 915-928 МГц, тоді як у Північній Америці діапазон становить 902-928 МГц. При придбанні чіпів LoRa для конкретного застосування, багато з них вже будуть налаштовані на певний спектр, який відповідає вимогам діапазону конкретного регіону. Переглянути спектральний діапазон LoRa можна на рисунок 2.2. Окрім частотного спектру, LoRa також визначає протокол, який використовується для здійснення радіозв'язку, відомий як LoRa PHY.

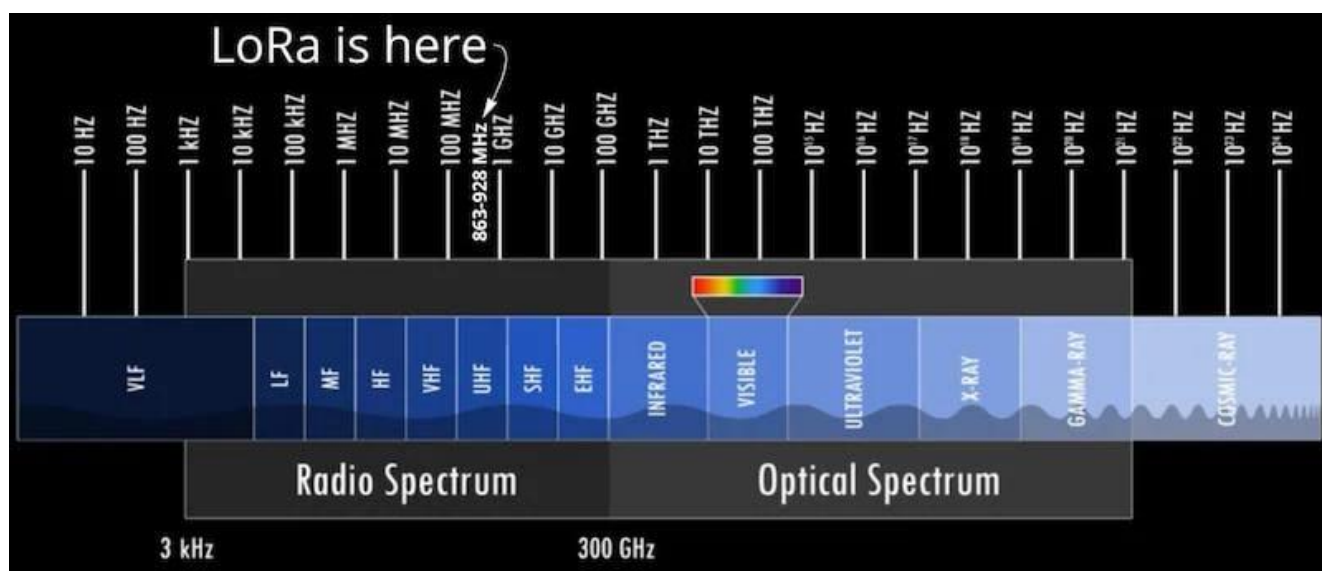


Рисунок 2.2 - Спектральний діапазон LoRa

LoRa застосовує запатентовану техніку бездротової модуляції, яка базується на технології розширеного спектру з використанням імпульсів "чирп". "Чирп" представляє собою синусоїдальний сигнал, частота якого з часом зростає або зменшується, як ілюструється на рисунок 2.3. Ця техніка дозволяє кодувати інформацію за допомогою зміни частоти сигналів. [14]

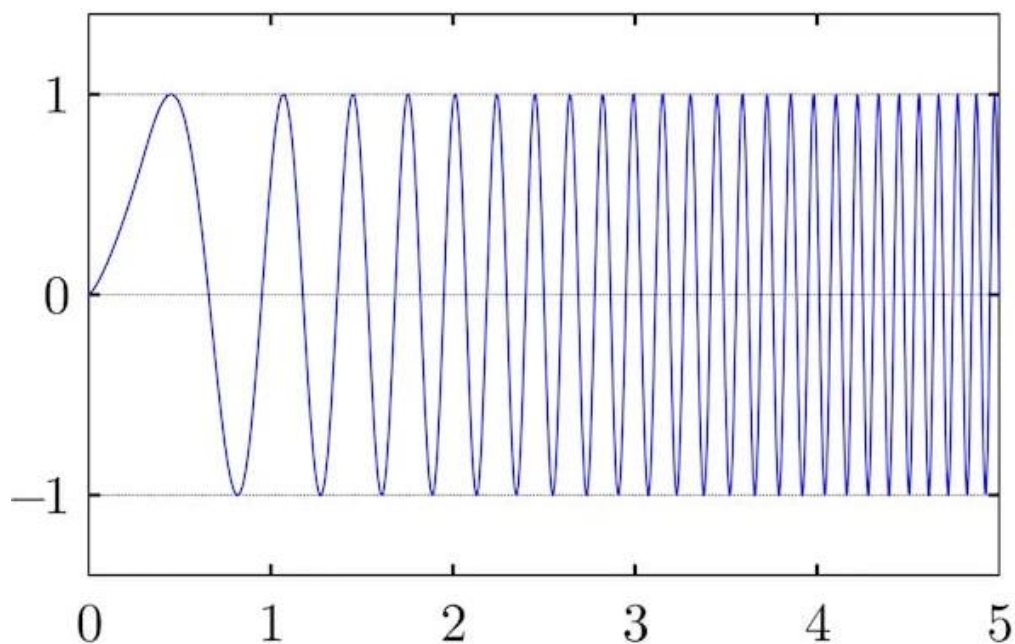


Рисунок 2.3 – Бездротова модуляція LoRa

LoRa використовує запатентовану методу бездротової модуляції, що базується на техніці чирпового спектра, застосовуючи імпульси "чирп" для кодування інформації. "Чирп" — це синусоїда, як показано на малюнку 3, чия частота змінюється з часом. Цей метод дозволяє ефективно передавати дані на значні відстані з використанням неліцензованого спектру, зокрема радіодіапазонів, призначених для промислових, наукових і медичних (ISM) цілей.

LoRa виконує модуляцію, представляючи кожен біт даних через декілька імпульсів інформації. В контексті моделі взаємодії відкритих систем (OSI), мікросхема LoRa виконує роль у фізичному шарі, що дозволяє пристроям використовувати вказаний спектр для створення малопотужних глобальних мереж (LPWAN). Цей протокол є критично важливим для радіозв'язку, визначаючи спектр і методику, що застосовуються для передачі даних. [15]

Настроюючи спред-фактор (SF) радіо та коригуючи потужність передачі модему (яка може варіюватися від 2 дБм до 20 дБм в залежності від регіону), LoRa забезпечує інженерам гнучкі інструменти для адаптації їх програм до потреб у споживанні електроенергії та зони покриття зв'язку.

Як фізичний рівень, LoRa охоплює все необхідне для забезпечення віддаленого зв'язку між пристроями, які використовують однаковий протокол у

спільному спектрі. Однак, цей рівень не враховує процеси, які дозволяють пристроям ідентифікувати один одного, взаємодіяти без взаємних перешкод у мережі, а також безпечно передавати дані з локальних мереж у хмару чи на віддалені сервери. Для цих цілей використовується LoRaWAN та інші подібні технології.

З іншого боку, LoRaWAN є мережевим протоколом, який базується на модуляції LoRa. В той час як LoRa є технологією, що дозволяє безпосереднє з'єднання між пристроями, LoRaWAN організовує мережу у форматі "концентратор-вузол", визначаючи дві основні ролі пристроїв:

- вузол, який зазвичай виступає у ролі датчика;
- концентратор, який служить шлюзом між вузлами та хмарними сервісами.

У контексті моделі взаємодії відкритих систем (OSI), LoRaWAN функціонує на рівні каналу рисунок 2.4, забезпечуючи зв'язок між вузлами, а також на мережевому рівні, керуючи способами, за допомогою яких вузли можуть передавати та отримувати дані через границі локальних мереж. [16]

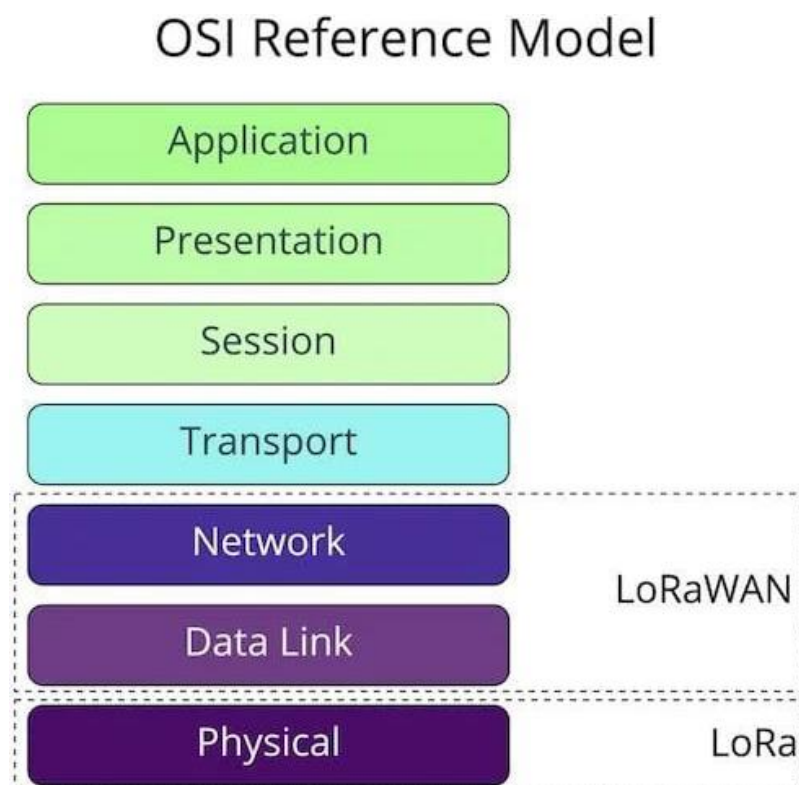


Рисунок 2.4 - Місце пристроїв LoRaWAN в системі OSI

На каналному рівні LoRaWAN встановлює протокол керування доступом до мережі (MAC), який регулює процес ідентифікації вузлів у мережі (через MAC-адреси), а також встановлює вимоги до потужності передачі, частоти та швидкості передачі даних, які використовуються для зв'язку між пристроями LoRa.

На мережевому рівні, LoRaWAN забезпечує взаємодію як з фізичним обладнанням, так і з мережевими службами. Фізичне обладнання включає пристрої, які розміщені на межі мережі для зв'язку з вузлами LoRaWAN. Також до мережевого рівня відносяться хмарні сервіси, які відповідають за прийом, маршрутизацію, обробку і перенаправлення даних в локальній мережі LoRa рисунок 2.5. [17]

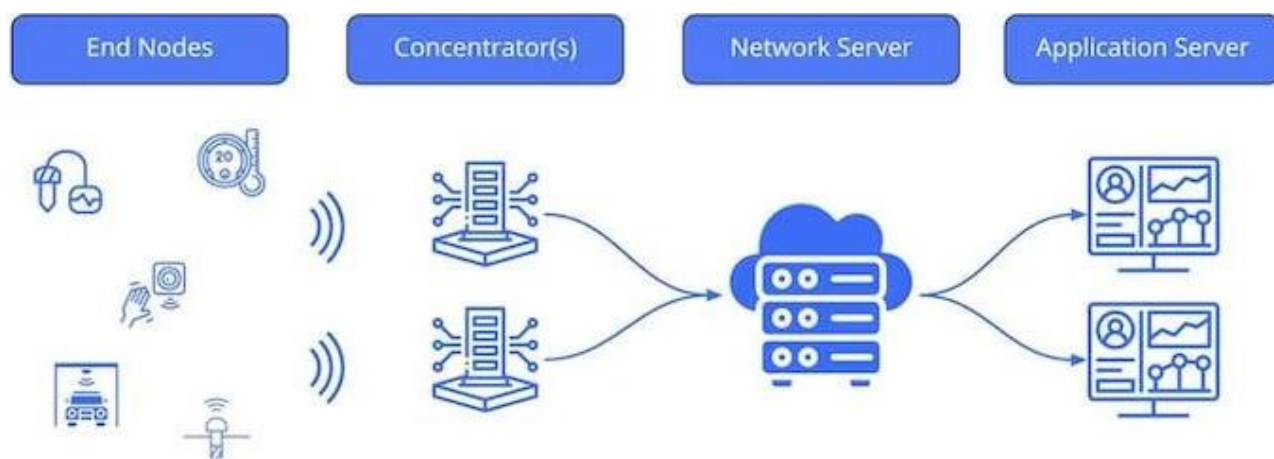


Рисунок 2.5 - Хмарні сервіси LoRa

Концентратор виступає в ролі шлюзу, керуючи з'єднаннями від вузлів LoRaWAN і підключеннями до глобальних серверів через Інтернет. На ринку доступні багато концентраторів, які зазвичай мають вісім каналів для прийому запитів від вузлів LoRaWAN і один канал для відправлення відповідей назад до цих вузлів. Шлюз також взаємодіє з мережевими серверами, щоб координувати підключення пристроїв до мережі LoRaWAN та управляти комунікаціями з хмарними серверами додатків.

LoRaWAN є одним з провідних протоколів доступу до медіа у технології LoRa, який отримав значну підтримку у галузі та має розвинену екосистему. Цей

протокол був розроблений та підтримується LoRa Alliance, асоціацією, створеною в 2015 році для сприяння спільній розробці LoRaWAN і забезпечення сумісності між продуктами та послугами, що використовують цей протокол.

В деяких регіонах, зокрема в Європі, оператори стільникового зв'язку бачать комерційну перспективу в наданні власних мереж LoRaWAN, які часто орієнтовані на застосування у розумних містах та агропромисловості. У інших місцях, мережі LoRaWAN більше сприймаються як можливість для створення власних глобальних приватних мереж, які вимагають самостійного фінансування та впровадження від клієнтів.

2.1.2 NB-IoT

Мережа NB-IoT є частиною технології LPWA (Low Power Wide Area), яка використовує низьку потужність та вузьку смугу пропускання для глобальних зв'язків. Ця мобільна технологія розроблена спеціально для забезпечення зв'язку між пристроями IoT, оптимізована для передачі малих обсягів даних та підтримки довготривалої роботи у важкодоступних локаціях.

Розроблено організацією 3GPP, NB-IoT відповідає вимогам розвитку Інтернету речей через підключення розширеного зв'язку машинного типу (eMTC), що забезпечує надійне покриття мережі з високою щільністю підключень. Технологія також інтегрується безперервно з існуючими мобільними мережами.

З 2016 року NB-IoT стала міжнародним стандартом для бездротового зв'язку, здатним ефективно передавати невеликі пакети даних між пристроями. Вона дозволяє значно зменшити енергоспоживання та розширити діапазон покриття в районах, де традиційні мобільні мережі відсутні.

Мережа NB-IoT використовує існуючу технологію LTE, забезпечуючи з'єднання з мінімальними перешкодами та високим рівнем покриття, оскільки вона оперує на частотах, які не застосовуються у традиційних мережах зв'язку.

Ці системи, які складаються з різноманітних пристроїв і датчиків, призначені для збирання даних з навколишнього середовища та їх передачі до базових станцій

або вузлів NB-IoT. Однією з основних переваг NB-IoT є здатність працювати з дуже низькою потужністю передачі, що забезпечує значно триваліший час роботи пристроїв IoT від батареї, завдяки низькому енергоспоживанню та широкому покриттю, яке, за деякими оцінками, може бути глобальним. [18]

Технологія NB-IoT розглядається як еволюційний крок від стільникового зв'язку до Інтернету речей. Ця бездротова технологія входить у клас глобальних мереж з низьким споживанням енергії та призначена для забезпечення взаємодії в M2M (машина до машини) додатках. NB-IoT може використовувати багато з тих самих частотних діапазонів, що і 2G, 3G, 4G на "низьких" частотах, включно з діапазоном 20 (800МГц), діапазоном 8 (900МГц) та діапазоном 3 (1800МГц), оскільки вищі частоти не ефективні через високе затухання сигналу.

Існує три підходи до розподілу частотного ресурсу для NB-IoT:

— *автономний режим* при цьому підході використовується власний частотний канал шириною 200 кГц, що є найефективнішим варіантом для NB-IoT, але також і найбільш ресурсоємним. У цьому випадку може знадобитися від 300 до 600 кГц цінного спектру, у тому числі захисні інтервали, але такий підхід забезпечує мінімальні інтерференції з іншими технологіями рисунок 2.6;

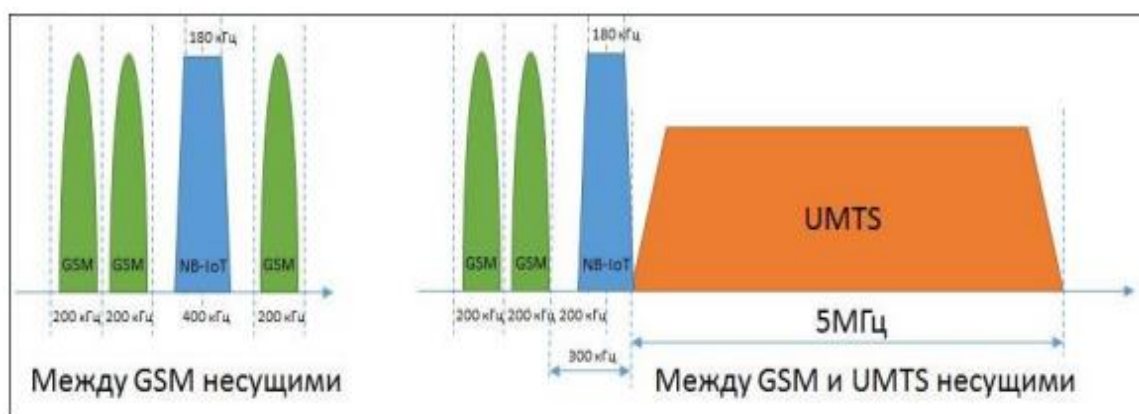


Рисунок 2.6 - автономний режим розподілу частотного ресурсу для NB-IoT

— у режимі *"In-Band"* (всередині полоси) для NB-IoT виділяються ресурси в межах вже існуючої LTE несучої, причому потужність NB-IoT несучої збільшена на 6 дБ у порівнянні зі стандартними ресурсними блоками LTE. Цей

підхід ефективний для збереження частотних ресурсів, але може виникнути проблема перешкод з існуючими LTE з'єднаннями в мережі рисунок 2.7;

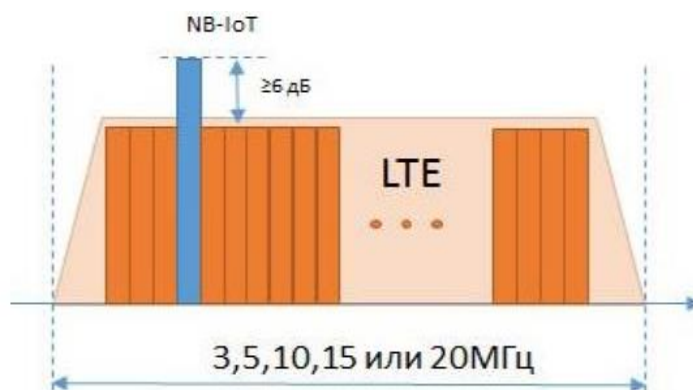


Рисунок 2.7 - In-Band режим розподілу частотного ресурсу для NB-IoT

— у режимі *"Guard Band"* (в захисній полосі частот) NB-IoT запускається у вільному спектрі, призначеному як захисний інтервал. Наприклад, у 10 МГц смузі LTE можуть виділятися 500 кГц вільного спектру, які використовуються як такий захисний інтервал. Подібно до режиму *"In-Band"*, для підвищення дальності передачі, потужність несучої NB-IoT збільшується на 6-9 дБ порівняно з ресурсними блоками LTE. Цей метод дозволяє заощадити частотні ресурси та зменшити перешкоди з LTE мережею, однак може погіршити показники позасмугових випромінювань для LTE рисунок 2.8. [19]

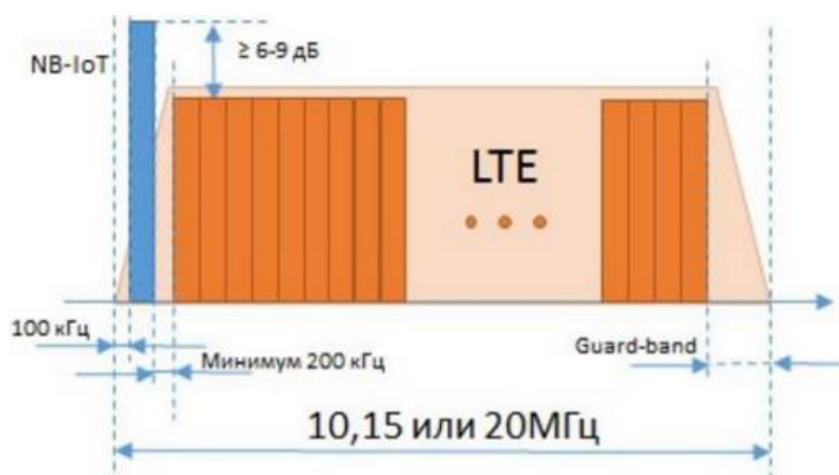


Рисунок 2.8 - Guard Band режим розподілу частотного ресурсу для NB-IoT

Крім того, ця технологія є відносно недорогою, що дозволяє багатьом малим компаніям та громадським організаціям отримати доступ до широкого покриття. Таким чином, навіть сільські та важкодоступні райони можуть бути інтегровані в мережу з великою кількістю IoT-пристроїв, підвищуючи їхню зв'язність і функціональність.

2.1.3 Weightless

Weightless-P — це передова технологія LPWAN, оптимізована для IoT, яка відома своєю енергоефективністю та довготривалим часом роботи батареї від одного заряду. Ця технологія ідеально підходить для застосувань, що вимагають двонаправленого зв'язку та підтримки великої кількості пристроїв у щільних мережах, пропонуючи розширене покриття та масштабованість.

Weightless-P використовує набір модуляцій та підтримує режим двонаправленого зв'язку для забезпечення надійності передачі даних. Базові станції цієї технології можуть обслуговувати значно більшу кількість кінцевих пристроїв у порівнянні з іншими технологіями LPWAN, забезпечуючи високу якість зв'язку. На відміну від інших технологій, базові станції в мережі Weightless-P можуть постійно контролювати та управляти підключеними пристроями.

Weightless-P розглядається як еволюція у сфері LPWAN із здатністю працювати в усіх частотних діапазонах ISM, включно з 163, 433, 470, 780, 915 і 923 МГц, використовуючи широкий спектр ультравузькосмугових каналів (UNB) з шириною 12,5 кГц для ефективнішої передачі даних порівняно з такими системами, як SigFox. Базові станції можуть підтримувати від 0,625 до 100 кбіт/с та мають радіус дії до 2 км у міській місцевості та до 5-10 км у відкритих просторах. Вони також можуть підключати до 2769 користувачів, значно перевершуючи інші технології.

Однією з ключових особливостей Weightless-P є її здатність гарантувати доставку повідомлень без необхідності повторної передачі, що економить енергію пристроїв. Технологія також включає підтримку адаптивної швидкості передачі

даних, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та продуктивність мережі відповідно до потреб користувачів. Залежно від відстані вузлів до базової станції, технологія регулює швидкість передачі даних, що знижує споживану потужність і продовжує термін служби батарей. [20]

Завдяки своєму вдосконаленому та компактному протоколу, Weightless-P пропонує знижену вартість системи та спрощує її експлуатацію порівняно з NB-IoT та іншими стільниковими M2M системами. Ця технологія застосовується у різноманітних сферах, включаючи системи спостереження, моніторинг здоров'я та інтелектуальні пристрої, підтримуючи широкий спектр розумних застосувань.

2.1.4 SIGFOX

SigFox представляє собою технологію, яка відкриває нові горизонти для мережі та інформаційної стратегії в сфері Інтернету речей. Розроблена французькою компанією з Labège, що носить ту ж назву, SigFox є мережевим оператором, спеціалізованим на інтеграції IoT в комерційну індустрію. Ця мережа має архітектуру, яка нагадує ті, що використовуються мобільними операторами на кшталт GSM або GPRS, проте є значно менш витратною та енергоефективнішою.

SigFox забезпечує покриття приблизно 30-50 км у міських та сільських районах, але у високошумових міських умовах радіус дії може скоротитися до 3-10 км. Архітектура мережі, представлена на рисунок 2.9, була розроблена для створення масштабованої, високопродуктивної мережі з мінімальними енерговитратами. [21]

SigFox використовує технологію ультравузькосмугової передачі даних (UNB), що дозволяє підключати пристрої до глобальної мережі за допомогою радіочастот. Основною перевагою використання UNB є здатність до передачі даних з надзвичайно низьким споживанням енергії, що забезпечує надійне з'єднання навіть у стані підтримки зв'язку.

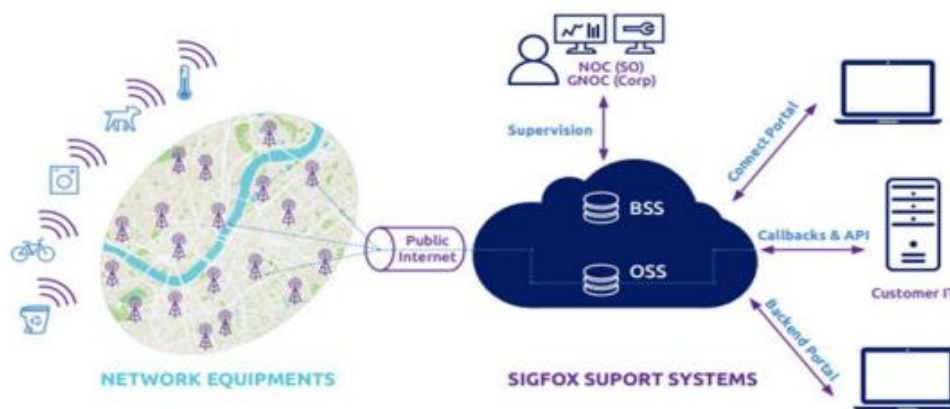


Рисунок 2.9 – Схематична робота SigFox

SigFox пропонує інноваційну мережу та стратегію для інформаційних систем Інтернету речей (IoT). Розроблена компанією з однойменною назвою в Labège, Франція, SigFox є мережевим оператором, який спеціалізується на впровадженні IoT у комерційну сферу. Архітектура мережі SigFox подібна до тих, що використовуються мобільними операторами зв'язку, наприклад GSM та GPRS, але є менш витратною і більш енергоефективною.

Мережа SigFox забезпечує глобальне покриття, з базовими станціями, які обслуговуються різними операторами по всьому світу. Завдяки тому, що всі базові станції підключені до єдиної хмари, доступ до будь-яких пристроїв, розгорнутих у будь-якій точці світу, можливий через єдиний інтерфейс.

SigFox використовує технологію надвузькосмугової радіомодуляції UNB (Ultra Narrow Band), базуючись на безліцензійному ISM-діапазоні (від 868 до 869 МГц і від 902 до 928 МГц, залежно від регіону). Ця низька швидкість передачі даних дозволяє технології не тільки уникати перешкод, але й покривати значні відстані, з використанням методів цифрової модуляції DBPSK і GFSK для висхідних та низхідних каналів відповідно.

SigFox спрощує передачу даних, з корисним навантаженням 12 байтів для висхідних і лише 8 байтів для низхідних повідомлень, забезпечуючи мінімальне споживання енергії і тривалу роботу акумулятора. Використовується простий протокол для пакетної передачі даних, що додає мінімальні витрати до пакетів даних. [22]

SigFox також сумісний з такими технологіями як Bluetooth, GPS, 2G/3G/4G, і Wi-Fi, і використовує зіркоподібну топологію мережі, де базові станції, що збирають дані з кінцевих вузлів, підключаються безпосередньо до хмари SigFox.

Мережа SigFox складається з трьох основних елементів:

Пристрої, готові до SigFox. Ці пристрої оснащені протокольним стеком SigFox, який регулює зв'язок у мережі SigFox і доступний виробникам безкоштовно. Протокольний стек включає три рівні:

- *кадр* - генерує радіокадр з даних програми і додає систематичний порядковий номер;

- *MAC* - додає унікальну ідентифікацію пристрою до кадру і включає код CRC. Він не вимагає сигналізації для контролю доступу до середовища, використовуючи запатентовані методи статистичного радіо доступу;

- *PHY* - забезпечує модуляцію/демодуляцію, регулює потужність передачі, бітрейт і частоту.

Базові станції SigFox - виконують функцію зв'язку між пристроями SigFox і SigFox Cloud, забезпечуючи демодуляцію і перевірку повідомлень перед їх передачею в хмару. Вони підключені до хмари через з'єднання точка-точка і захищені.

SigFox Cloud - забезпечує кінцевий зв'язок мережі через три інтерфейси: веб-інтерфейс для користувачів, API для інтеграції зі сторонніми сервісами, і інтерфейс зворотного виклику для відправки повідомлень на сторонні сервери. SigFox Cloud діє як єдина точка управління всією мережею, дозволяючи користувачам реєструвати нові пристрої, керувати користувацькими налаштуваннями та керувати API та зворотними викликами.

У наведеній нижче таблиці представлено детальне порівняння основних технічних характеристик мереж з високою дальністю дії LPWAN (Low Power Wide Area Network), які забезпечують широкий охоплення з мінімальним споживанням енергії.

Таблиця 2.1 - Порівняння основних технічних характеристик мереж з високою дальністю дії LPWAN

Характеристики	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	Weightless- P
Метод модуляції	CSS	DBPSK/GFSK	GFSK/BPSK/QPSK	GMSK/PSK
Діапазон	ISM	ISM	Ліцензований	ISM
Швидкість	0,3-50 кбіт/с	100 кбіт/с	1-144 кбіт/с	0,2-100 кбіт/с (адаптивна)
			1-200 кбіт/с	
Смуга	Широка смуга	Вузька смуга	Вузька смуга	Вузька смуга
	До 500 кГц	100 кГц	200 кГц	12,5 кГц
Максимальний час автономної роботи	10 років	До 20 років	До 10 років	3-5 років
Частота	868,8 МГц (Європа)	868,8 МГц (Європа)	800/900/1800 МГц	169/ 433/ 470/ 780/ 868/ 915 МГц
	915 МГц (США)	915 МГц (США)		
	433 МГц (Азія)			
Безпека	AES-64/128	AES з HMACs	AES-256	AES-128/256
Дальність	До 2,5 км у місті	До 10 км у місті	До 2 км	До 2 км у місті
	До 45 км за містом	До 50 км за містом		

2.2 Протоколи для передачі даних на короткі відстані в мережах IoT

У сфері Інтернету речей (IoT), ефективність передачі даних визначається не тільки дальністю та потужністю сигналу, а й специфікою застосування, енергоефективністю та безпекою. Особливо важливими стають протоколи для передачі даних на короткі відстані, адже вони забезпечують зв'язок між пристроями в обмежених просторах, таких як домогосподарства, офіси, або промислові установки. Ці протоколи мають бути не тільки швидкими та ефективними, а й мінімізувати споживання енергії для забезпечення тривалої роботи пристроїв IoT.

[23]

Серед основних протоколів, які використовуються для цих цілей, можна виділити Z-Wave, NFC, RFID, Bluetooth Low Energy та Wi-Fi HaLow. Кожен із цих протоколів має унікальні характеристики, що роблять їх ідеальними для конкретних типів застосувань та викликів, з якими можуть зустрічатися розробники IoT систем. Вони допомагають не тільки в передачі даних, але й у забезпеченні надійності, безпеки, та інтеграції різноманітних пристроїв у єдину мережу.

2.2.1 Z-Wave

Z-Wave є технологією бездротового зв'язку, яка працює на частоті до 1 ГГц, оптимізованою для ефективної передачі команд з мінімальними затримками, що ідеально підходить для домашньої автоматизації, таких як управління освітленням, побутовою технікою та системами безпеки. Цей вибір частоти обумовлений потребою уникнути перешкод від інших популярних технологій, як-от Wi-Fi, які перевантажені на 2,4 ГГц і тепер переходять на 5 ГГц.

Технологія Z-Wave, розроблена з високим ступенем енергоефективності та простоти в експлуатації, дозволяє користувачам створити свою власну систему автоматизації дому, що включає управління освітленням, опаленням, вентиляцією та системами безпеки. Ця система працює з дистанційним керуванням за допомогою радіохвиль малої потужності, які можуть проникати через стіни та інші перешкоди, забезпечуючи стабільне з'єднання в усіх частинах будинку.

Крім того, Z-Wave підтримується компанією Intel через стратегічні інвестиції в Zensys, розробника технології. Протокол працює з радіозв'язком FSK у мережі типу mesh, що забезпечує дуплексний зв'язок із пропускнуою спроможністю 40 кбіт/с. Діапазон частот, який використовується в США, становить 908.42 МГц, та 868.42 МГц у Європі, що дозволяє уникнути перешкод з іншими бездротовими пристроями на 2.4 ГГц. Завдяки цьому, Z-Wave споживає менше енергії та забезпечує дальніший радіус дії сигналу порівняно з іншими технологіями, що

працюють на вищих частотах.

Ці особливості роблять Z-Wave відмінним вибором для домашніх користувачів, що потребують надійної та економічно вигідної системи автоматизації, з відносно простою інтеграцією та низькою вартістю експлуатації.

2.2.2 NFC

NFC (Near Field Communication) розроблена компаніями, такими як Sony та NXP Semiconductors, є технологією, яка об'єднує можливості радіочастотної ідентифікації (RFID) та безконтактного зв'язку для простого обміну даними, такими як медіафайли, контактна інформація та авторизаційні ключі між пристроями, що знаходяться на близькій відстані один від одного.

Ця технологія оптимізована для короткого діапазону до 10 см, ідеально підходить для безпечних фінансових транзакцій та особистісної ідентифікації, оскільки її короткий радіус дії мінімізує ризик несанкціонованого перехоплення даних. Завдяки використанню індуктивного зв'язку, NFC здатна здійснювати обмін інформацією між двома активними пристроями, роблячи її унікальною серед інших технологій безконтактного зв'язку, які підтримують лише взаємодію від активного до пасивного.

При використанні NFC в пристроях, які використовують енергію від активного пристрою, застосовується амплітудна маніпуляція сигналу (ASK). Це сприяє двосторонньому обміну даними, де обидва пристрої виступають як рівноправні учасники зв'язку. Зміни в імпедансі пасивного пристрою можуть впливати на амплітуду або фазу напруги активного пристрою, що сприяє передачі даних між ними.

Технологія NFC є природним розвитком традиційної технології RFID, але з розширеними можливостями, такими як двосторонній зв'язок та здатність зчитувати інформацію з пасивних міток та ініціювати зв'язок між активними пристроями. Завдяки цьому NFC відкриває широкий спектр застосувань, включаючи, але не обмежуючись, смарт-картками, системами доступу, мобільними

платежами та персоналізованими користувацькими взаємодіями в роздрібній торгівлі та публічних службах.

2.2.3 RFID

Радіочастотна ідентифікація (RFID) представляє собою технологію бездротового зв'язку, яка застосовує радіохвилі з метою ідентифікації та відстеження об'єктів, тварин, або людей. Вона включає в себе використання радіочастот в електромагнітному спектрі для передачі даних між RFID-міткою і зчитувачем. Така мітка може містити цифрово закодовану інформацію, яка потім зчитується і обробляється відповідними пристроями.

Відмінною особливістю RFID є здатність зчитування даних без прямого візуального контакту, на відміну від традиційних штрих-кодів або QR-кодів, які вимагають прямої видимості зчитувача. RFID технологія може бути імплементована у двох варіантах пасивні мітки, які не мають власного джерела живлення і активуються сигналом від зчитувача, та активні мітки, які оснащені батареєю і можуть самостійно відсилати сигнал на більшу відстань рисунок 2.10.

Ця технологія широко застосовується в логістиці, управлінні запасами, контролі доступу, забезпеченні безпеки та багатьох інших сферах, де необхідна швидка і ефективна ідентифікація та відстеження об'єктів.

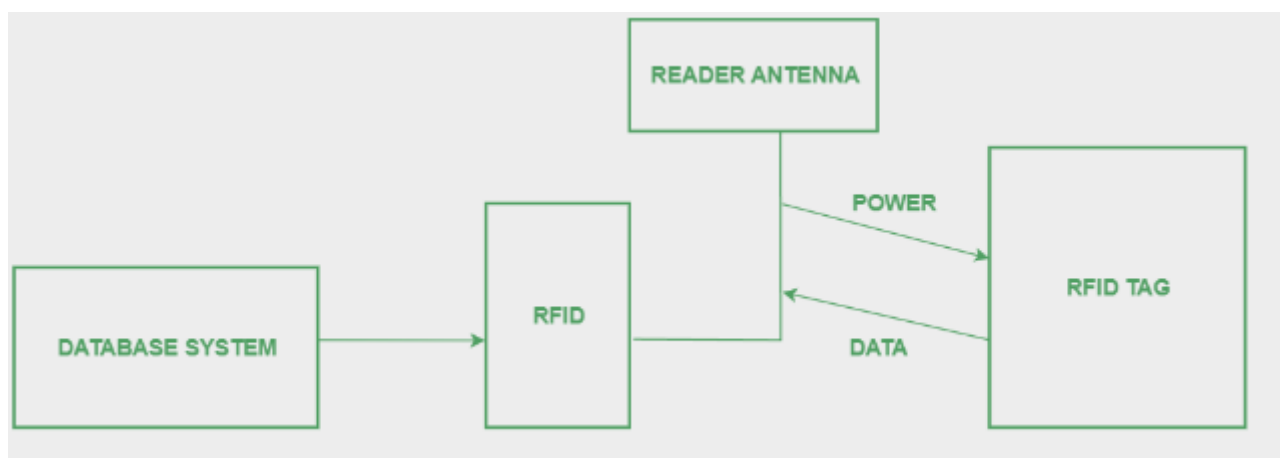


Рисунок 2.10 – RFID

RFID технологія існує у багатьох формах, кожна з яких має унікальні характеристики. Особливо примітно, що більшість RFID міток не потребують зовнішнього джерела живлення, такого як батареї чи електричні вилки. Замість цього, вони отримують енергію через радіохвилі, які випромінюються зчитувачами. Це пасивні RFID мітки, які відрізняються від активних RFID міток, що мають вбудоване джерело живлення.

UHF RFID (надвисокочастотний RFID) використовує частотний діапазон 902-928 МГц і часто застосовується для маркування транспортувальних піддонів або водійських прав. Зчитувачі відправляють сигнали, а мітки відповідають, змінюючи спосіб, яким сигнали відображаються зчитувачем через техніку зворотного розсіювання.

HF RFID (високочастотний RFID) працює на частоті 13,56 МГц і часто зустрічається в паспортах, кредитних картках та системах безконтактних платежів. Завдяки роботі на принципі індукції, HF RFID має невеликий радіус дії — зазвичай менше метра.

Також існують LF RFID (низькочастотний RFID), який розроблений до HF RFID і використовується переважно для відстеження та ідентифікації у системах, де не потрібно великої дальності передачі сигналів. LF RFID зазвичай використовують у системах контролю доступу та ідентифікації тварин.

Існує два типи RFID:

— *пасивний RFID-мітки* не оснащені власними джерелами живлення. Вони отримують енергію від сигналів, які випромінюються RFID-зчитувачами. Ці мітки використовують частоти, такі як 125-134 КГц (низька частота), 13,56 МГц (висока частота) та 856-960 МГц (надвисока частота), і є залежними від активних антен для отримання енергії. Вони ефективні для відстеження запасів, мають унікальний ідентифікаційний номер, але чутливі до перешкод від інших сигналів;

— *активний RFID* відміну від пасивних міток, активні RFID-мітки оснащені власними джерелами живлення, які дозволяють їм випромінювати сигнали з більшою потужністю і на більші відстані. Вони ідеально підходять для складних середовищ, де присутні металічні або рідкісні матеріали, що можуть

перешкоджати сигналу. Крім того, активні мітки можуть включати додаткові датчики для збору даних про стан навколишнього середовища. Вони також мають унікальний ідентифікатор, що дозволяє їх легко відрізнити в системах відстеження та управління активами. [24]

RFID використовує радіохвилі для автоматичної ідентифікації та збору даних (AIDC) рисунок 2.11, що дозволяє ідентифікувати об'єкти, збирати дані про них та відображати цю інформацію. Антена перетворює енергію на радіохвилі, що використовуються для комунікації між зчитувальним пристроєм та RFID-міткою. Зчитувачі RFID виявляють мітки, а також читають та записують дані на них. Цей процес можливий завдяки інтеграції процесора, корпусу, пам'яті, передавача і приймача в одному пристрої.

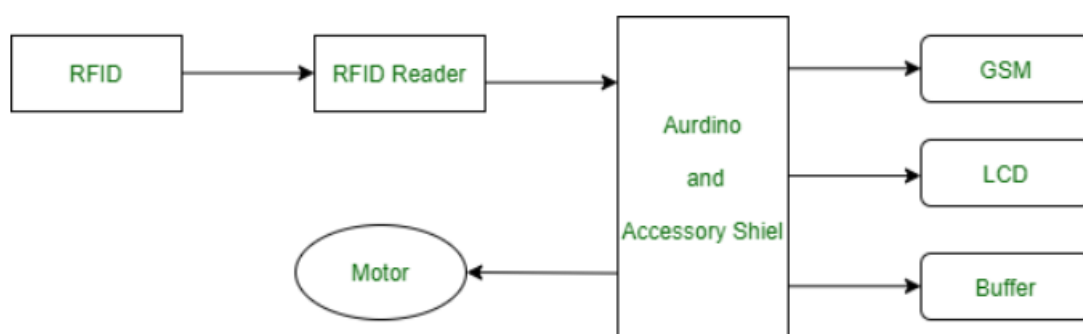


Рисунок 2.11 – AIDC

RFID-система складається з трьох основних елементів: скануючої антени, трансивера, і транспондера (RFID-мітки). Скануюча антена разом з трансивером утворюють зчитувач RFID, який може бути як стаціонарним, так і мобільним. Зчитувач, який може бути підключеним до мережі, використовує радіохвилі для надсилання сигналів, що активують мітку. Активована мітка відсилає відгук назад до антени, де радіохвилі перетворюються на дані.

Транспондер розташований у самій RFID-мітці. Діапазон зчитування міток залежить від багатьох факторів, включаючи тип мітки, частоту RFID, зчитувач та наявність перешкод у навколишньому середовищі. Мітки з потужнішими джерелами живлення зазвичай мають більший радіус дії.

2.2.3 Bluetooth Low Energy

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) є частиною стандарту Bluetooth, що почав впроваджуватися з версії 4.0 і продовжується у версії 5.0. Протягом свого існування BLE відрізняється зниженим енергоспоживанням порівняно з попередніми версіями Bluetooth, дозволяючи пристроям функціонувати понад рік на одному маленькому батарейному елементі без необхідності перезарядки. Це робить можливим використання малогабаритних датчиків, які можуть постійно працювати та інтегруватися з іншими пристроями.

Структура BLE організована на кількох основних рівнях:

Рівень додатків - реалізує логіку, яка корисна для кінцевого користувача.

Рівень хоста - включає вищі рівні стеку протоколів Bluetooth, з такими підрівнями:

- *GAP* (Generic Access Profile) – профіль для загального доступу;
- *GATT* (Generic Attribute Profile) – профіль для управління атрибутами;
- *ATT* (Attribute Protocol) – протокол для роботи з атрибутами;
- *SM* (Security Manager) – модуль управління безпекою;
- *L2CAP* (Logical Link Control and Adaptation Protocol) – протокол для логічного управління зв'язками та їх адаптації;
- *HCI* (Host Controller Interface) – інтерфейс між хостом та контролером.
- Контролер - відповідає за нижні рівні стеку протоколів Bluetooth.

Bluetooth Low Energy (BLE) є ідеальним варіантом для пристроїв з обмеженим простором, де не можна розмістити велику батарею. Ця технологія, що з'явилася у специфікації Bluetooth 4.0 і продовжена в Bluetooth 5.0, забезпечує значне зниження енергоспоживання — у 10-20 разів менше, порівняно з традиційними Bluetooth-рішеннями. BLE може передавати дані значно швидше — у 50 і більше разів, на відстані понад 100 метрів.

Окрім енергоефективності, BLE відзначається високою безпекою, надійністю, низькою затримкою з'єднань та мінімальним споживанням енергії. Особливістю цього стандарту є адаптивне переналаштування частоти для

мінімізації помилок у передачі, захисту від перешкод та зниження ризику інтерференції.

Специфікація Bluetooth 5.0, орієнтована на Інтернет речей, показує намагання домінувати на ринку пристроїв IoT. З цією версією швидкість передачі даних була збільшена до рівнів, порівнянних з ранніми версіями HSPA і LTE, тоді як рівень енергоспоживання залишився незмінним.

Хоча Bluetooth 5.0 ще не широко поширений через свою новизну, його зворотна сумісність з попередніми версіями гарантує, що з часом майже кожен мобільний пристрій зможе підтримувати цю версію, що стане ключовою перевагою для розвитку мереж IoT.

2.2.3 Wi-Fi HaLow

Wi-Fi HaLow — це доповнення до стандарту IEEE 802.11, введене у 2017 році, що функціонує на неліцензованій частоті 900 МГц. Цей протокол забезпечує більший діапазон дії порівняно з традиційними Wi-Fi мережами, які працюють на 2,4 та 5 ГГц рисунок 2.11. Завдяки своїм характеристикам низького енергоспоживання, Wi-Fi HaLow ідеально підходить для створення великих мереж станцій або датчиків, що взаємодіють між собою, сприяючи розширенню екосистеми Інтернету речей (IoT). Протокол не тільки забезпечує конкуренцію Bluetooth завдяки своїй енергоефективності, але й пропонує вищі швидкості передачі даних та ширший радіус покриття.

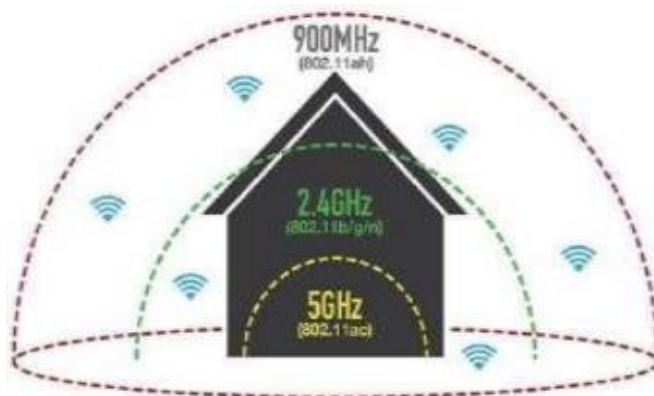


Рисунок 2.11 - Діапазон дії 2,4 та 5 ГГц

Wi-Fi HaLow покликаний розширити енергоефективне використання в таких сферах як розумний дім, автомобілі, торгівля, промисловість і сільське господарство. Працюючи в діапазоні 900 МГц, Wi-Fi HaLow забезпечує підключення низькопотужних пристроїв, включно з датчиками та портативними комп'ютерами. Він зберігає переваги попередніх протоколів, такі як міцний захист даних, широка сумісність обладнання та легкість установки.

Пристрої, сумісні з Wi-Fi HaLow, також здатні працювати в діапазонах 2,4 та 5 ГГц, що дозволяє їм інтегруватися в існуючу екосистему, яка вже налічує понад 7 мільярдів пристроїв. Wi-Fi HaLow підтримує IP-з'єднання, що є ключовим для інтеграції з хмарними сервісами, важливими для IoT. Окрім того, одна точка доступу може обслуговувати до 1000 пристроїв, що підвищує її вартість у масштабних мережах. [25]

У наведеній нижче таблиці представлено детальне порівняння основних технічних характеристик мереж з низькою дальністю дії LPWAN (Low Power Wide Area Network), які забезпечують широкий охоплення з мінімальним споживанням енергії.

Таблиця 2.2 Порівняння основних технічних характеристик мереж з низькою дальністю дії

Характеристик и	RFID	NFC	BLE	Z- Wave	WiFi HaLow
Смуга частот	6/13.5/433/863 -870/902-928 МГц	13.56 МГц	2.4 МГц	868/915 МГц	Піддіапазо н 1 ГГц
	2.4/5-27 МГц				
Швидкість передачі даних	500 кбіт/с	106/212/424/848 кбіт/с	1 Мбіт/ с	96,40 та 100 кбіт/с	До 4 Мбіт/с
Радіус дії	0.1 – 5 м	0.1 м	70 м	100 м	100-1000 м

Продовження таблиці 2.2 Порівняння основних технічних характеристик мереж з низькою дальністю дії

Пропускна здатність на канал	10 МГц для 6 МГц	Змінна	40 каналів з шириною в 2 МГц	300, 400 кГц	1/2/4/8/16 МГц
	14 МГц для 13.5 МГц				
	1.74 МГц для 433 МГц				
	7 МГц для 800 МГц				
	8 МГц для 2.4 МГц				
	5-27 ГГц				
Модуляція	-	ASK, BPSK	GFSK	FSK/GFSK	BPSK, QPSK, 16-/64-/256-QAM, OFDM
Топологія	Point to Point	Peer-to-peer	Single-hop	Mesh	Star
	Point to Multipoint				
Безпека	Шифрування	Шифрування	AES-128	AES-128	WPA

З РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ІОТ В ПІДПРИЄМСТВО

У сучасному динамічному бізнес-середовищі, де технологічні інновації відіграють ключову роль у формуванні конкурентоспроможності компаній, Інтернет речей (ІоТ) виступає як вирішальний фактор у трансформації промислових підприємств. ІоТ дозволяє підприємствам значно підвищити ефективність їхніх операцій, забезпечуючи максимальну автоматизацію процесів, покращення управління ресурсами та оптимізацію витрат. Розуміння того, як правильно розробити та впровадити системи ІоТ, може відкрити нові можливості для зростання та інновацій.

Цей напрямок вимагає всебічного підходу до планування, впровадження та управління технологічними рішеннями. На етапі розробки особлива увага приділяється аналізу потреб підприємства, вибору відповідних технологій, а також інтеграції нових систем з існуючою інфраструктурою. Не менш важливим є врахування питань безпеки даних та приватності, що є критично важливими в аспектах корпоративного управління. [26]

Впровадження ІоТ не є одномоментним проектом, а вимагає неперервного моніторингу та адаптації до змінюваних умов та оптимізації. Також важливим аспектом є підготовка та навчання персоналу, здатного ефективно використовувати та обслуговувати ІоТ-системи. Основна мета цього процесу — максимізувати вигоди від ІоТ, забезпечуючи стає зростання та інноваційний розвиток підприємства. Не зважаючи на багатогранність впровадження ІоТ у промислове підприємство можна виділити такі основні аспекти:

— *інфраструктура ІоТ охоплює фізичний рівень з пристроями ІоТ, мережею та обчислювальними ресурсами для обробки даних. Вона включає різноманіття датчиків, їх кількість і розташування, системи живлення та мережеві інтерфейси, а також інструменти для їх конфігурації та управління. Мережі мають достатню пропускну спроможність і мінімальні затримки, щоб відповідати потребам ІоТ. Важливими є також обчислювальні ресурси для аналізу даних,*

включаючи можливість розгортання нових ресурсів або використання хмарних рішень. Обговорення інфраструктури також включає в себе вибір протоколів і стандартів IoT, таких як Bluetooth, GSM, 4G/5G, Wi-Fi, Zigbee, Narrowband IoT, і LPWAN.;

— *безпека в Інтернеті речей* є критичною, оскільки дані можуть бути чутливими та конфіденційними. Передача таких даних через відкриті мережі ставить їх під загрозу крадіжки, стеження чи хакерських атак. Важливо забезпечити захист даних шифруванням та застосувати додаткові заходи безпеки до IoT пристроїв для запобігання несанкціонованим змінам у конфігураціях. Ефективні засоби безпеки включають різноманітне програмне забезпечення, брандмауери та системи виявлення та запобігання вторгненням.;

— *інтеграція IoT* вимагає безперебійної взаємодії нових пристроїв, інфраструктури та інструментів із існуючими корпоративними системами та програмами, такими як системи керування та ERP. Ефективна інтеграція потребує ретельного планування, перевірки та обрання відповідних IoT інструментів і платформ, наприклад Apache Kafka чи OpenRemote.;

— *аналітика та звітність* в архітектурі IoT включають аналіз та використання даних IoT на прикладному рівні, з використанням аналітичних інструментів, механізмів моделювання, технологій AI і ML, та інструментів для візуалізації даних. Ці інструменти доступні як від сторонніх постачальників, так і через хмарні сервіси, що дозволяє зберігання та обробку даних.

3.1 Початкове розуміння використання

Як і кожен новий проєкт, впровадження IoT вимагає детального розуміння того, де і як його будуть використовувати. Цей процес може зайняти багато часу, оскільки оптимізація роботи є багатограним напрямком, який включає численні аспекти від технологічних рішень до стратегічного планування. Проте, вже існують основні напрямки використання IoT на підприємстві, наприклад:

— *енергоменеджмент*, інтеграція датчиків та розумних метрів для

моніторингу споживання енергії по всьому підприємству. Системи освітлення на базі IoT можуть автоматично регулювати інтенсивність світла в залежності від часу дня та присутності людей, зменшуючи енергоспоживання і витрати. Використання датчиків руху і аналізу присутності дозволяє забезпечувати освітлення тільки там, де це потрібно. Наприклад, автоматичне відключення освітлення або обладнання в неробочий час;

— *управління водними ресурсами*, датчики IoT можуть вимірювати витрату води, тиск і якість в системах водопостачання. Це дозволяє підприємствам швидко виявляти витoki, забезпечувати раціональне використання води та знижувати вартість водопостачання;

— *моніторинг стану обладнання*, використання датчиків для збору даних про стан машин, таких як температура, вібрація, швидкість обертання тощо. Ці дані аналізуються в реальному часі для попередження про можливі збої або необхідність обслуговування. Наприклад, датчики на моторах можуть вказувати на підвищену вібрацію, яка може сигналізувати про потребу заміни підшипників;

— *оптимізація логістики і управління запасами*, IoT може використовуватись для відстеження матеріалів та готової продукції на складах. RFID-мітки та датчики на піддонах і контейнерах дозволяють автоматично відстежувати розташування і статус запасів, забезпечуючи точне планування виробництва та мінімізуючи надлишки;

— *безпека праці*, IoT може бути застосований для підвищення рівня безпеки на робочих місцях. Використання носимих IoT пристроїв для моніторингу стану працівників, вимірювання рівнів втоми, виявлення впливу шкідливих речовин або небезпечних умов на робочому місці. Наприклад, носимі пристрої для співробітників, що сповіщають їх про потенційні небезпеки або спеціалізоване взуття, що відстежує положення, або шоломи з вбудованими датчиками для моніторингу мікроклімату;

— *інтелектуальне виробництво впровадження IoT* у виробничі процеси дозволяє створити повністю автоматизовані та оптимізовані виробничі лінії, що адаптуються до змінних умов роботи та потреб ринку в реальному часі;

— *підтримка віддаленого керування і сервісу*, через IoT підприємства можуть здійснювати віддалене управління машинами та обладнанням, забезпечувати віддалене обслуговування, діагностику та навіть ремонт через інтерфейси, які дозволяють інженерам виконувати необхідні операції на відстані.

3.2 Практичне застосування IoT в підприємстві

Щоб продемонструвати можливості інтернет технологій був зроблений проєкт, який наглядно продемонструє, що можна втілювати за допомогою IoT. Щоб продемонструвати візуалізацію та управління проєктом було використано програму Node-RED рисунок 3.1 – це інструмент для візуального програмування потоком даних, розроблений працівниками компанії IBM для поєднання різноманітних пристроїв, API та онлайн-сервісів як складових частин Інтернету речей.



Рисунок 3.1 - Node-RED

Node-RED дає змогу працювати з браузерним редактором потоків даних як окремими вузлами з різним функціоналом, що уможливлюють створення JavaScript-функцій. Причому можна використовувати як базові вузли, якими одразу забезпечений Node-RED, так і встановлювати вузли з додатковим функціоналом з репозиторію NPM або ж навіть створити свій власний вузол з унікальним функціоналом. Програми або ж їхні частини, розроблені за допомогою Node-RED, можуть бути збережені та поширені для вільного використання. Саме середовище

побудовано на основі Node.js. Потoki, створені за допомогою Node-RED, зберігаються у вигляді JSON. Починаючи з MQTT версії 0.14, вузли можна налаштовувати для TLS-з'єднання.

У якості підприємства було використано віртуальне підприємство Factory I/O (рис. 3.2) - це тривимірна симуляція фабрики для вивчення технологій автоматизації. Простий у використанні він дозволяє швидко побудувати віртуальну фабрику, використовуючи набір звичайних промислових деталей. Factory I/O також включає багато сцен, натхнених типовими промисловими додатками, починаючи від початківців до просунутих рівнів складності.



Рисунок 3.2 - Factory I/O

Найпоширенішим сценарієм є використання Factory I/O як платформи для навчання ПЛК, оскільки ПЛК є найпоширенішими контролерами, які зустрічаються в промислових додатках. Однак його також можна використовувати з мікроконтролерами, SoftPLC, Modbus, серед багатьох інших технологій.

У якості драйвера було використано Modbus TCP/IP Server. Драйвер вводу-виводу — це вбудована функція заводського вводу-виводу, яка відповідає за «розмову» із зовнішнім контролером. Factory I/O містить багато драйверів введення/виведення, кожен з яких призначений для використання з певною технологією. Modbus TCP/IP (також Modbus-TCP) - це протокол Modbus RTU з інтерфейсом TCP, що працює в мережі Ethernet. Структура обміну повідомленнями Modbus — це прикладний протокол, який визначає правила організації та

інтерпретації даних незалежно від середовища передачі даних.

У якості практичного об'єкту був використаний об'єкт Tank рисунок 3.3 або цистерна потрібно зробити віддалене керування заповненості цієї цистерни.



Рисунок 3.3 – практичний об'єкт цистерна

Після обрання практичного об'єкту потрібно обрати драйвер, для цього в верхньому лівому куті потрібно вибрати вкладку FILE а в ній обрати Driver рисунок 3.4.

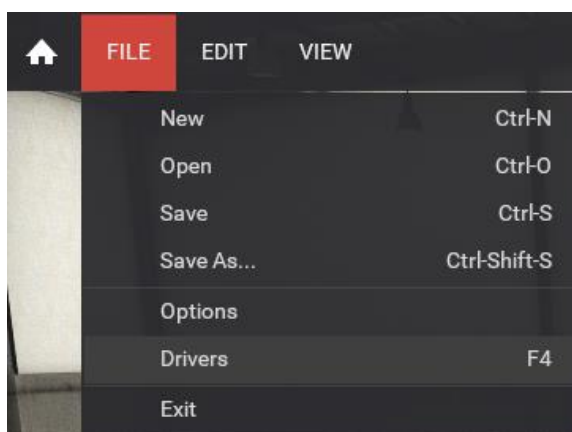


Рисунок 3.4 – перехід до драйверів

У відкритшомуся вікні потрібно обрати сам драйвер, вкладка з драйверами також зверху треба натиснути та обрати. Після вибору потрібно налаштувати потрібні функції, а саме у цій ж вкладці потрібно перейти до вкладки CONFIGURATION знаходиться зправ зверху там потрібно налаштувати такі параметри рисунок 3.5:

- Host – зазвичай це IP комп'ютера;
- Port – Зазвичай він 502;
- I/O Point – тут потрібно налаштувати Digital Inputs 0,0; Digital Outputs 0,0; Register Inputs 100,2; Register Outputs 200,2.

CONFIGURATION

←

Advantech USB 4704 & USB 4750

Allen-Bradley Logix5000

Allen-Bradley Micro800

Allen-Bradley MicroLogix

Allen-Bradley SLC 5/05

Automgen Server

Control I/O

MHJ

Modbus TCP/IP Client

Modbus TCP/IP Server

OPC Client DA/UA

Siemens LOGO!

Siemens S7-200/300/400

Siemens S7-1200/1500

Siemens S7-PLCSIM

Server

☒ Auto start

Host
192.168.56.1

Port
502

Slave ID
1

Network adapter
VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter

I/O Config

Write Digital
Inputs

Read Digital
Coils

Write Register
Input Registers

Read Register
Holding Registers

Scale
100

I/O Points

	Offset	Count
Digital Inputs	0	0
Digital Outputs	0	0
Register Inputs	100	2
Register Outputs	200	2

DEFAULT

Як можна побачити з рисунку 3.7 кожен вузол з'єднаний і відповідає за свої функції. Fill Valve який використовує вузол slider відповідає за регулювання потоком води який входить до цистерни у свою чергу значення регуляції передає і з'єднує Fill Valve connection який використовує вузол Modbus Write. Discharge Valve який використовує вузол slider відповідає за відток води з цистерни у свою чергу значення регуляції передає і з'єднує Discharge Valve connection який використовує вузол Modbus Write. В останньому ланцюгу йде моніторинг об'єму води за що відповідає Level Meter read який моніторить та передає значення об'єму в вузол Level Meter він показує який зараз об'єм.

Усі налаштування Node-RED наглядно демонструє Node-RED Dashboard рисунок 3.8.

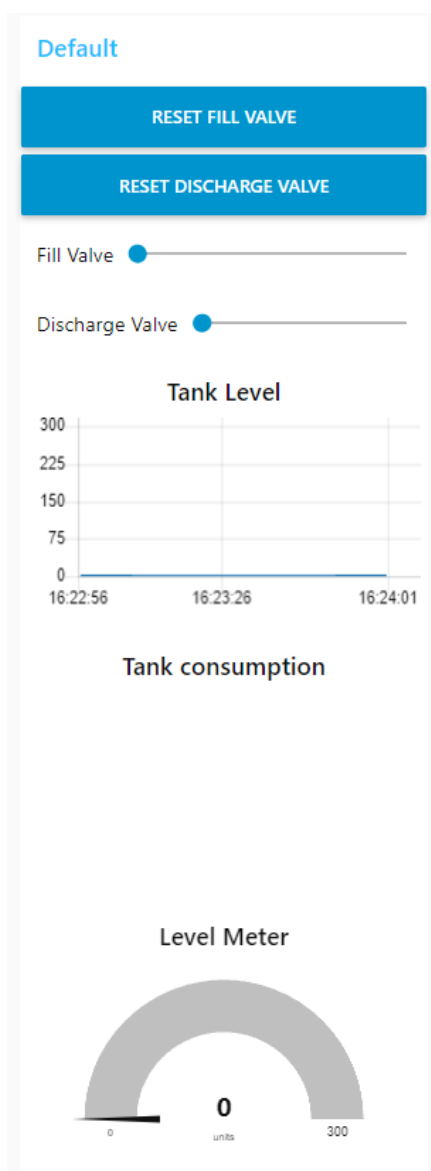


Рисунок 3.8 – зображення налаштувань в Node-RED Dashboard

Після усіх налаштування буде показано наглядне застосування. Спочатку вмикається програма Factory IO де ще нічого не відбувається рисунок 3.9.

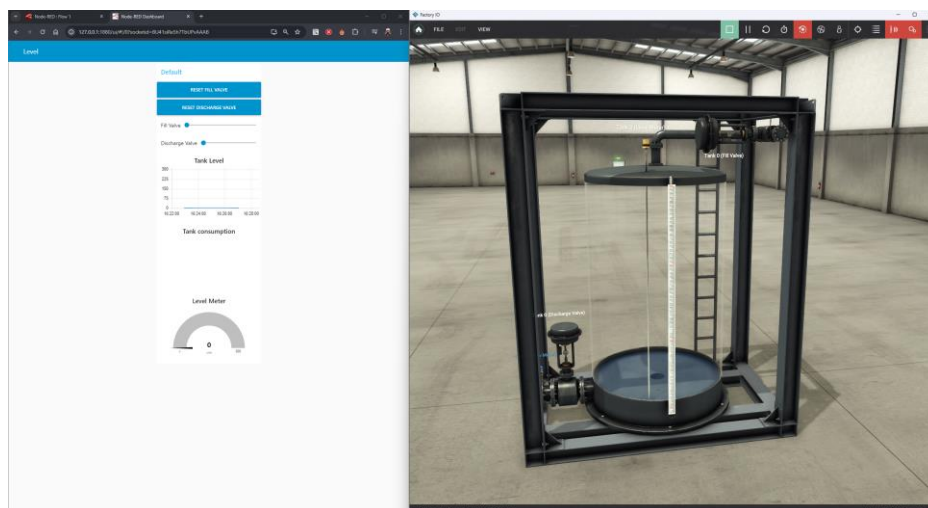


Рисунок 3.9 – Показ практичної сцени

Далі було збільшено параметр Fill Valve на 7 пунктів та залишу на секунд 20. Для того щоб швидко зупинити потік потрібно використати клавішу Reset Fill Valve. Як можна побачити на рисунку 3.10 на 7 пункті і за 20 секунд об'єм піднявся до 132.6 літра про що каже нам Level Meter який показує об'єм який зараз знаходиться в цистерні та Tank Level який показує як мінявся об'єм за останні 10 хвилин.

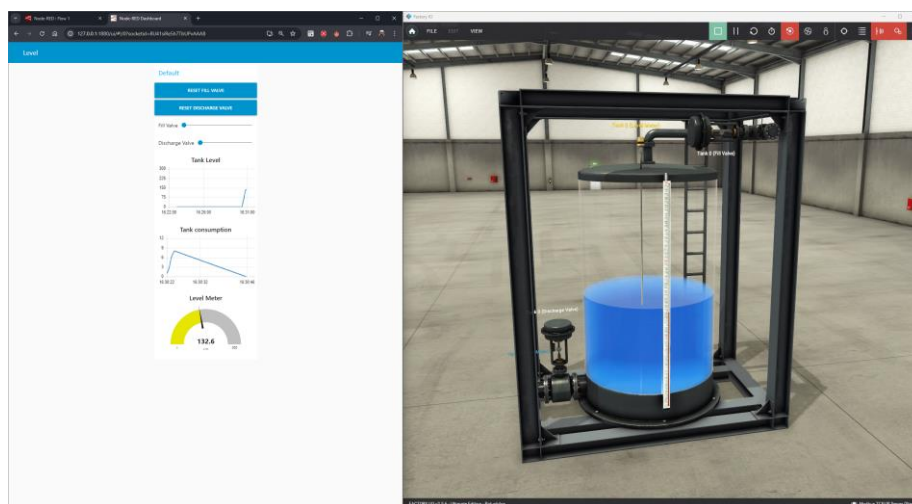


Рисунок 3.10 – Перший експеримент

Тепер було знову піднято Fill Valve але вже на 10 пунктів і також на 20 секунд, а потім вимкну та зілля воду за допомогою Discharge Valve який також підніму на 10 пунктів і залишу на 20 секунд. Як видно з рисунку 3.11 ми можемо побачити як змінювався рівень води за останні 40 секунд завдяки Tank Level графіку.



Рисунок 3.11 – Другий експеримент

На цьому прикладі було продемонстровано, як можна інтегрувати систему Інтернету речей (IoT) з промисловими додатками, використовуючи платформи Factory IO та Node-RED. Ця інтеграція дозволяє створити гнучку і керовану систему для моніторингу та управління промисловими процесами в реальному часі.

Ми розглянули конкретний випадок управління об'єктом "Tank" у Factory IO, включаючи керування клапанами заповнення та зливу, а також вимірювання рівня рідини в резервуарі за допомогою протоколу Modbus TCP/IP. Використовуючи Node-RED, ми налаштували інтерфейс з кнопками, слайдерами та індикаторами, які дозволяють користувачам легко взаємодіяти з системою.

У процесі інтеграції довелося:

- Налаштувати Modbus TCP/IP сервер у Factory IO;
- Додати та налаштувати вузли Modbus у Node-RED для зв'язку з Factory IO;
- Створити інтерфейс користувача в Node-RED Dashboard, що включає кнопки для управління клапанами та індикатор для відображення рівня рідини;
- Забезпечити перевірку і обробку даних, отриманих від датчиків, для коректної роботи системи.

Цей приклад показує, як за допомогою доступних інструментів можна створити ефективну систему моніторингу та управління, що дозволяє в реальному часі контролювати процеси на виробництві, підвищуючи їх ефективність та надійність. Такий підхід демонструє потенціал IoT технологій у промислових додатках, сприяючи автоматизації та оптимізації виробничих процесів.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто ключову роль IoT у сучасній індустрії, надаючи всебічний огляд технології, її розвитку та специфікацій, які можуть бути використані для підвищення ефективності та зниження витрат у виробництві. Аналіз різних категорій IoT, зокрема комерційного, промислового та споживчого, демонструє їхній потенціал для оптимізації різних аспектів промислової діяльності.

В роботі детально розглянуті різні протоколи та технології для передачі даних, які є фундаментом для ефективної роботи IoT систем. Велика увага приділяється протоколам для довгодіапазонних та короткодіапазонних передач, включно з LoRaWAN, NB-IoT, Weightless, SIGFOX, Z-Wave, NFC, RFID, Bluetooth Low Energy та Wi-Fi HaLow, які забезпечують широкий спектр можливостей для інтеграції IoT у різні промислові процеси.

Третій розділ присвячений практичному впровадженню IoT технологій на промислових підприємствах, акцентуючи на необхідності всебічного планування, вибору відповідного обладнання та забезпечення безпеки системи. Зокрема, було визначено стратегії протидії різним видам кібератак, включаючи DDoS-атаки, експлойти програмного забезпечення, а також методи фізичного захисту пристроїв IoT.

Робота підкреслює важливість комплексного підходу до інтеграції IoT, який обумовлює не тільки впровадження новітніх технологій, але й потребу адаптації існуючих систем і процедур безпеки. Завдяки цьому підприємства можуть не лише значно підвищити свою продуктивність, але й захистити свої активи від потенційних загроз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IoT Data Interoperability for Big Data: What Exactly? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/iot-data-interoperability-big-what-exactly-milan-milenkovic>
2. Home Smart IoT Home: Domesticating the Internet of Things [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.toptal.com/designers/interactive/smart-home-domestic-internet-of-things>
3. IoT in Healthcare Industry [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://addonwebsolutions.com/iot-in-healthcare-industry>
4. Архітектура і технології IoT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/tnmtu>
5. industrial internet of things (IIoT) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/tnmuh>
6. Consumer IoT – What it is | Prominent Use Cases [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/tnmul>
7. Тренди IIoT – Індустріальний інтернет речей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://smart-eam.com/ua/news/trend-iiot/>
8. IoT: The Internet of Things [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://builtin.com/internet-things>
9. https://sist.sathyabama.ac.in/sist_coursematerial/uploads/SECA4005.pdf [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://sist.sathyabama.ac.in/sist_coursematerial/uploads/SECA4005.pdf
10. Case study on Internet of Things in manufacturing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c4be2088-en/index.html?itemId=/content/component/c4be2088-en>
11. Top 12 most commonly used IoT protocols and standards [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/Top-12-most-commonly-used-IoT-protocols-and-standards>
12. Demystifying LoRa and LoRaWAN Wireless Network Protocols [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/demystifying-lora-network-and-lorawan-network-wireless-network-protocols/>
13. What is NB-IoT and how does it work? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/what-is-nb-iot-and-how-does-it-work/>
14. Tech Spotlight: SigFox -- A Wide Area Network Protocol for IoT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/tnmur>
15. Introduction of Radio Frequency Identification (RFID) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-radio-frequency-identification-rfid/>
16. Основи Інтернету Речей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=228>
17. Ultimate IoT implementation guide for businesses [Електронний ресурс] –

Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/iotagenda/Ultimate-IoT-implementation-guide-for-businesses>

18. Виклики безпеки IoT: нові рішення та кращі практики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://itcluster.lviv.ua/itid/vyklyky-bezpeky-iot-novi-rishennya-ta-krashhi-praktyky/>

19. Поширені атаки на IoT та захист від них [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://corewin.ua/blog/attacks-on-iot-how-protect/>

20. The advantages and disadvantages of Internet Of Things (IoT) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/advantages-disadvantages-internet-things-iot-tommy-quek>

21. A Survey on Sensor-based Threats to

22. Internet-of-Things (IoT) Devices and Applications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/pdf/1802.02041>

23. IoT Explained — How Does an IoT System Actually Work? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/iotforall/iot-explained-how-does-an-iot-system-actually-work-e90e2c435fe7>

24. The advantages and disadvantages of Internet Of Things [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>

25. What Is Industrial IoT (IIoT)? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/what-is-industrial-iiot.html>

26. Top 33 Industrial IoT Devices Examples That are Transforming Industries [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bytebeam.io/blog/top-industrial-iiot-device-examples/>

27. What Is Industrial IoT (IIoT)? Definition, Use Cases and Application Examples [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.digi.com/blog/post/what-is-industrial-iiot-definition-use-cases>

28. INTERNET OF THINGS (IOT) HEALTHCARE EXAMPLES [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ordr.net/article/iiot-healthcare-examples>

29. IoT in healthcare: key benefits and use cases [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.n-ix.com/iiot-healthcare-key-benefits-use-cases/>

30. smart home [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/iiotagenda/definition/smart-home-or-building>

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра: Комп'ютерної інженерії

Презентація бакалаврської роботи на тему:
«Впровадження інтернет речей (IoT) в промислове підприємство»

ВИКОНАВ: СТУДЕНТ ГРУПИ КІД-41
ЖОВТУН МАКСИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ
КЕРІВНИК РОБОТИ:
КОНДРАТЮК БОРИС ОЛЕКСАНДРОВИЧ
АСИСТЕНТ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

1

Мета, об'єкт, предмет та актуальність теми дослідження

Мета роботи – дослідити та проаналізувати процеси впровадження Інтернету речей (IoT) на промисловому підприємстві.

Об'єкт дослідження – інтеграція систем IoT в промислове підприємство для оптимізації виробничих і управлінських процесів.

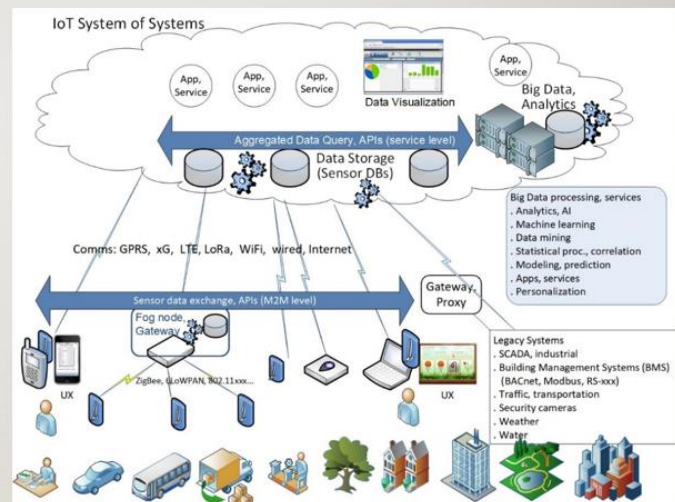
Предмет дослідження – системи IoT як інструмент модернізації промислових підприємств, включно з технологіями збору даних, протоколами передачі даних, стратегіями безпеки.

Актуальність теми - завдяки IoT, підприємства можуть значно поліпшити моніторинг та управління виробничими ланцюгами, оптимізувати використання ресурсів, підвищити безпеку та зменшити витрати. Це забезпечує конкурентоспроможність підприємства на сучасному ринку та сприяє його стійкому розвитку.

2

РОЗУМІННЯ ІОТ

Стандартна система ІоТ від моменту збору даних до їх використання.



3

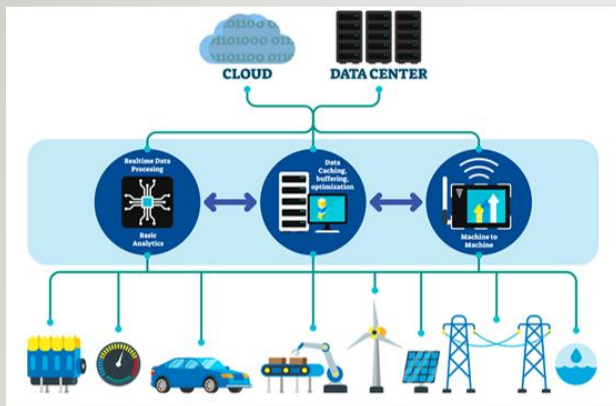
КАТЕГОРІЇ ІОТ



Комерційний ІоТ

Використання ІоТ технологій у бізнесі для покращення операційної ефективності, зменшення витрат, підвищення безпеки та створення нових можливостей для доходів.

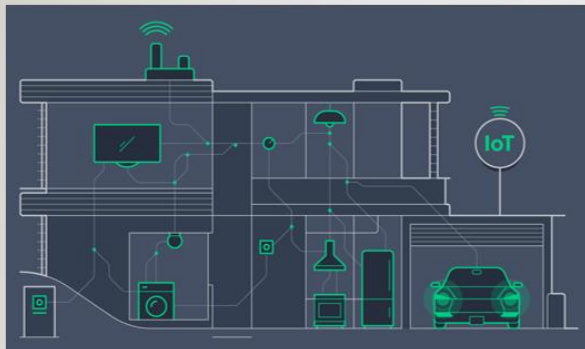
4



Промисловий IoT

IIoT - це підмножина Інтернет речей, яка зосереджується на застосуванні IoT технологій у промислових секторах, таких як виробництво, енергетика, транспорт, сільське господарство та інфраструктура.

5



Споживчий IoT

Охоплює пристрої та системи, які використовуються в повсякденному житті для підвищення комфорту, зручності та безпеки.

6

ПРОТОКОЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ ІОТ НА ВЕЛИКІ ТА МАЛІ ВІДСТАНІ

Протоколи для передачі даних на довгі відстані в мережах IoT



LoRaWan



Weightless



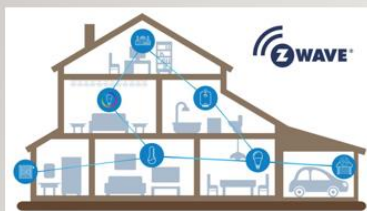
SIGFOX



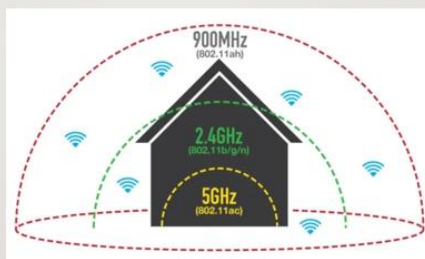
NB-IoT

7

ПРОТОКОЛИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ НА КОРОТКІ ВІДСТАНІ В МЕРЕЖАХ ІОТ



Z-Wave



Wi-Fi HaLow



RFID



Bluetooth Low Energy



NFC

8

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ІОТ В ПІДПРИЄМСТВО

Впровадження IoT не є одномоментним проектом, а вимагає неперервного моніторингу, адаптації до змінюваних умов та оптимізації. Також важливим аспектом є підготовка та навчання персоналу, здатного ефективно використовувати та обслуговувати IoT-системи.

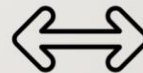
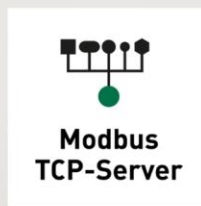
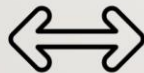


9

ЗАСТОСУНКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОЄКТУ



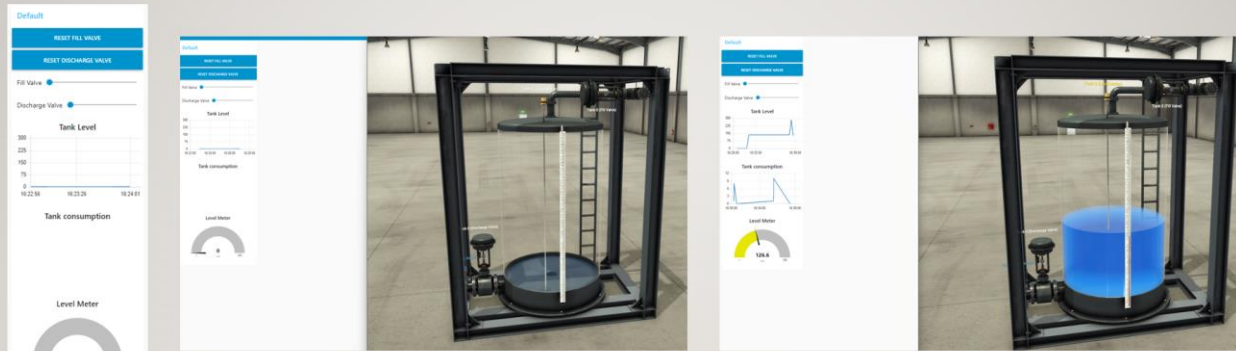
Node-RED



Factory I/O

10

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІОТ В ПІДПРИЄМСТВІ



До та після використання додатку. Відслідковування процесу.

Додаток для користувача

11

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто ключову роль IoT у сучасній індустрії, надаючи всебічний огляд технології, її розвитку та специфікацій, які можуть бути використані для підвищення ефективності та зниження витрат у виробництві. Аналіз різних категорій IoT, зокрема комерційного, промислового та споживчого, демонструє їхній потенціал для оптимізації різних аспектів промислової діяльності.

В роботі детально розглянуті різні протоколи та технології для передачі даних, які є фундаментом для ефективної роботи IoT систем. Велика увага приділяється протоколам для довгодіапазонних та короткодіапазонних передач, включно з LoRaWAN, NB-IoT, Weightless, SIGFOX, Z-Wave, NFC, RFID, Bluetooth Low Energy та Wi-Fi HaLow, які забезпечують широкий спектр можливостей для інтеграції IoT у різні промислові процеси.

Робота підкреслює важливість комплексного підходу до інтеграції IoT, який обумовлює впровадження новітніх технологій.

12