

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Технології IoT при розробці
концепцій розумного міста

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМзм-19-1
Карцев А.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність

123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Лебедєв О.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ навчально-науковий центр заочної форми навчання
Кафедра _____ електронних обчислювальних машин
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Карцеву Антону Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Технології IoT при розробці концепцій розумного міста

затверджена наказом по університету від “ 23 ” жовтня 2020 р. № 168Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 14 грудня 2020 р.

3. Вхідні дані до роботи _____ стандарти і протоколи передачі даних в IoT, концепції IoT.

Можливість роботи з інтерфейсом Wi-Fi.

Операційна система - RTOS.

Технічне забезпечення: MCU – AVR.

Представлення вихідних даних: згідно нормативних документів.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1) огляд літератури за темою роботи

2) аналіз предметної області

3) вибір та обґрунтування методики дослідження

4) проведення експериментальних досліджень

5) висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Демонстраційні матеріали. Плакати – № 22 - арк. ф. А4

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	27.10.20. - 09.11.20	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	10.11.20 - 17.11.20	
3	Вибір інструментальних засобів	18.11.20 - 23.11.20	
4	Проведення експериментів	24.11.20 - 01.12.20	
5	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	02.12.20 - 07.12.20	
6	Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист	08.12.20 - 09.12.20	
7	Подання атестаційної роботи на рецензування	10.12.20 - 11.12.20	

Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Лебедєв О.Г. _____
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 81 с., 24 рис., 2 табл.,
1 дод., 15 джерел.

БЕЗДРОТОВА МЕРЕЖА, ПРОТОКОЛ, В.А.Т.М.А.Н., GPS, M2M, WI-FI, WLAN, WSN.

Метою атестаційної роботи є застосування технології IoT при розробці концепцій розумного міста.

У ході виконання атестаційної роботи були розглянуті питання, пов'язані з терміном "Internet of Things" і його застосуванням для розвитку "Smart city". "Smart city" – це нова концепція по впровадженню технологій (інформаційних і комунікаційних) для управління життям сучасного міста. Технології покликані поліпшити життя населення міст, підвищити рівень комфорту:

- знизити витрати електрики і води, підвищити якість обслуговування, оптимізувати роботу всіх служб міста.

У атестаційній роботі показано практичне використання IoT в "Smart city", застосування технології LoRaWAN, принцип роботи мережі. Вивчено та проаналізовано досвід застосування протоколу мережі LoRaWAN.

ABSTRACT

Master's thesis: 81 pages, 24 figures, 2 tables, 1 appendices, 15 sources.

INTERNET, GPS, M2M, PROTOCOL, WI-FI, WIRELESS NETWORK, WLAN, WSN.

The purpose of certification work is the use of IoT technology in the development of smart city concepts.

During the certification work, issues related to the term "Internet of Things" and its application for the development of a "Smart city" were considered. "Smart city" is a new concept for the implementation of technologies (information and communication) to manage the life of a modern city. Technologies are designed to improve the life of the population of cities, increase the level of comfort:

- to reduce the consumption of electricity and water, improve the quality of service, optimize the work of all city services.

The attestation work shows the practical use of IoT in the Smart City, the application of LoRaWAN technology, the principle of the network. The experience of using the LoRaWAN network protocol has been studied and analyzed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРИ INTERNET OF THING	10
1.1 Рівень - мережа датчиків	11
1.2 Рівень шлюзів і мереж	12
1.3 Рівень додатків	13
1.4 Когнітивний інтернет речей CIoT	14
1.5 Взаємодія IoT з перспективними інфокомунікаційними технологіями	20
2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ «ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ»	28
2.1 Основні представники вендорів в області базового обладнання «Інтернету речей».....	32
2.2 Імпульси розвитку інтернету речей в розумному місті	35
2.3 Протокол LoRaWAN	37
2.4 Ключові особливості застосування технології LoRaWAN	39
2.5 Сенсори і датчики	45
2.6 Сфери застосування LoRaWAN	49
3 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОТОКОЛУ МЕРЕЖІ LORAWAN В УКРАЇНІ.....	51
3.1 Аналіз ситуації в системі ЖКГ України	52
4 ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ LORAWAN	58
4.1 Розрахунок ємності мережі LoRaWAN	59
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67
ДОДАТОК А Графічний матеріал атестаційної роботи	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ІТС – інтелектуальні транспортні системи

ЦОД – центр обробки даних

ADR – адаптивна зміна швидкості передачі (англ., Adaptive Data Rate)

Cellular Network – технології, засновані на використанні стандартів стільникових мереж в ліцензованому діапазоні

Cisco – американська транснаціональна компанія, що розробляє і продає мережеве обладнання

CC – хмарні обчислення (англ., Cloud Computing)

D2D – технологія прямого зв'язку між пристроями (англ., Device-to-Device) стандарта LTE

IP-адреса – адреса Internet-протокола

IoT - Інтернет речей (англ., Internet of Things)

LPSRN – енергоефективні мережі малого радіусу дії (англ., Low Power Short Range Networks)

LPWAN – енергоефективні мережі великого радіусу дії (англ., Low Power Wide Area Networks)

LoRaWAN – один зі стандартів технології енергоефективної мережі LPWAN (англ., Long Range Wide Area Networks)

LTE – стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів і інших терміналів, що працюють з даними (англ. Long-Term Evolution)

M2M – міжмашинна комунікація (англ. Machine-to-Machine)

Smart City – концепція «ідеального міста»

WSN – бездротова сенсорна мережа (англ., Wireless Sensor Network)

ZRP – протокол зональної маршрутизації (англ., Zone Routing Protocol)

ВСТУП

Концепція Internet of Things (IoT) – одна з тих нових ідей, які здатні не тільки радикально змінити вигляд телекомунікаційної та інформаційної системи, а й істотно вплинути на спосіб життя людей. З кожним роком збільшується кількість пристроїв, підключених до мережі. Впровадження IoT сприяє розвитку економіки і підвищенню рівня життя країни з мінімальними інвестиціями. Технології IoT несуть в собі величезний потенціал, який, на жаль, використовується не повною мірою. Розвиток Smart cities засноване на застосуванні цих технологій. Ми бачимо наскільки ефективніше і вигідніше застосування IoT в повсякденному житті, а також в масштабі держави, наскільки це допоможе оптимізувати всі процеси і отримувати вигоду, як в побутовому, так і в промисловому плані. Якщо IoT стане непомітною, але невід'ємною частиною життя суспільства, що не буде ускладнювати життєві процеси, то можна буде говорити про повне і успішне його впровадження. IoT прискорить розвиток Smart cities. Зараз в деяких містах ми спостерігаємо тільки початок цих процесів, але вже позитивно оцінюємо нововведення в сфері транспорту, комунікацій, медицині та інших сферах життя, хоча на початкових етапах було багато скептицизму і недовіри.

IoT стане великим бізнес-майданчиком. Постачальники послуг за невелику оплату можуть продавати свої послуги і отримувати прибуток. Це може стати статтею доходу бюджету держави.

Інтернет речей проникає в самі різні пристрої і додатки, які можуть використовуватися у всіх галузях промисловості і таким чином з'єднає велику кількість пристроїв.

Як тільки IoT стане повсякденним, легко уявити цілі категорії споживчих додатків і бізнес-додатків, задіяних в цій новій системі, яку можна описати поняттям "підключене життя". Це включає будівельну і побутову автоматизацію, системи опалення та кондиціонування повітря,

управління дорожнім рухом (наприклад, розумний світлофор), організацію турботи про літніх людей, системи безпеки, а також підключені до інтернету автомобілі і зовнішня реклама. В розвитку технологій IoT задіяні не тільки виробники пристроїв, але і оператори стільникового зв'язку, які спрямовані в першу чергу на розробку і впровадження найбільш затребуваних послуг IoT.

1 АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРИ INTERNET OF THINGS

Internet of Things концептуально належить до мереж наступного покоління, тому його архітектура багато в чому схожа з архітектурою NGN. IoT складається з набору різних інфокомунікаційних технологій, що забезпечують функціонування Internet of Things, і його архітектура показує, як ці технології пов'язані одна з одною. Архітектура IoT включає чотири функціональних рівня (рисунок 1.1).

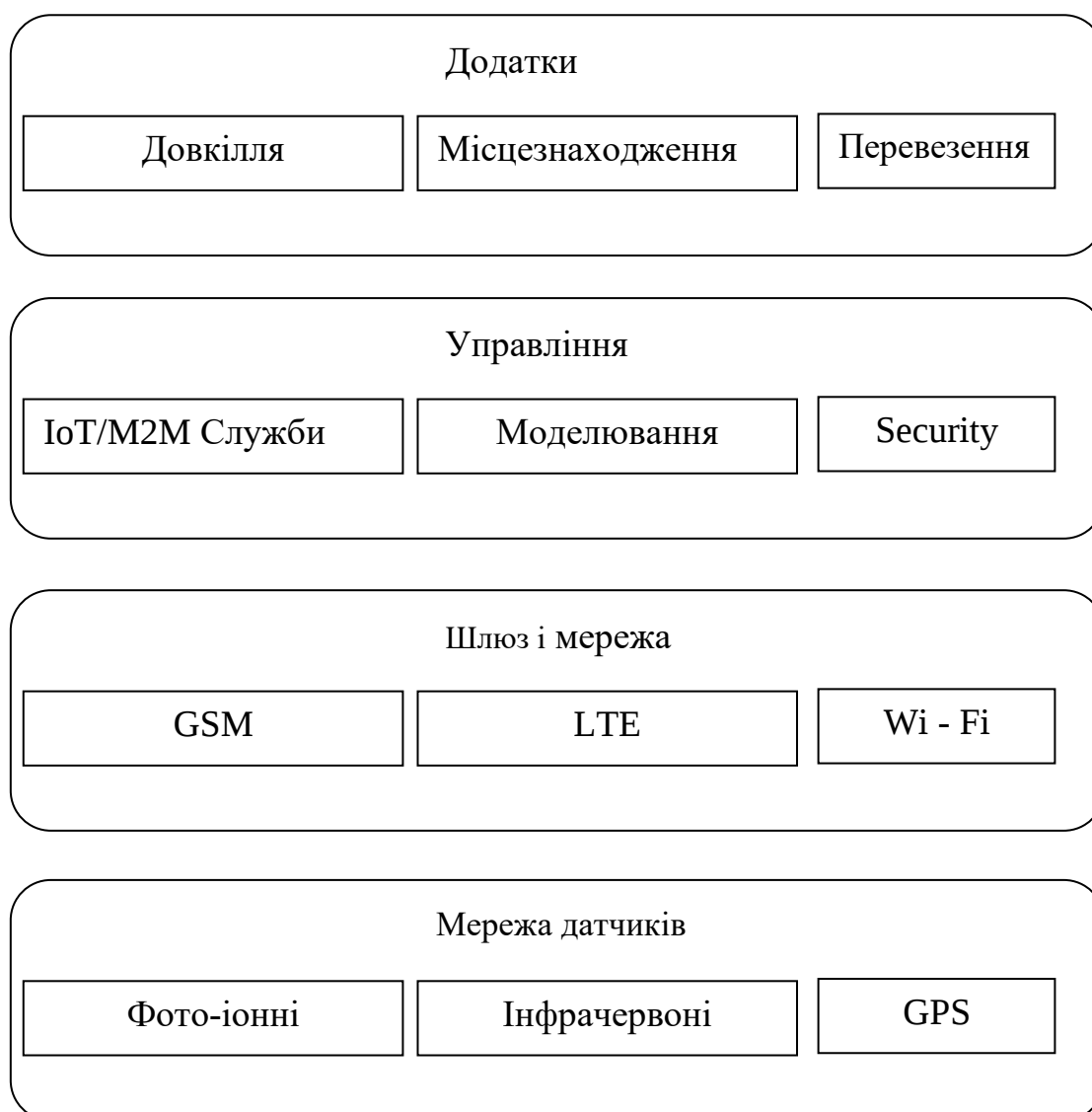


Рисунок 1.1 – Архітектура Internet of Things

1.1 Рівень - мережа датчиків

Найнижчий рівень архітектури IoT складається з «розумних» (смарт) об'єктів, з інтегрованими сенсорами (датчиками). Сенсори реалізують з'єднання фізичного і віртуального (цифрового) світів (рисунок 1.2), забезпечуючи збір та обробку інформації в реальному масштабі часу.



Рисунок 1.2 – Приклад з'єднання фізичного і віртуального (цифрового) світів

Мініатюризація, яка призвела до скорочення фізичних розмірів апаратних сенсорів, дозволила інтегрувати їх безпосередньо в об'єкти фізичного світу.

Більшість сенсорів вимагають з'єднання з агрегатором сенсорів (шлюзом), які можуть бути реалізовані з використанням локальної обчислювальної мережі (LAN, Local Area Network), такі як Ethernet, Wi-Fi або персональної мережі (PAN, Personal Area Network).

Для сенсорів, які не вимагають підключення до агрегатору, їх зв'язок з серверами/додатками може надаватися з використанням глобальних бездротових мереж WAN, таких як GSM, GPRS і LTE.

Сенсори, які характеризуються низьким споживанням енергії і низькою швидкістю передачі даних, утворюють широко відомі бездротові сенсорні мережі WSN.

1.2 Рівень шлюзів і мереж

Великий обсяг даних, що накопичуються на першому рівні IoT численними сенсорами, вимагає надійної та високопродуктивної дротової або бездротової інфраструктури в якості транспортного середовища. Даний рівень складається з конвергентної мережевої інфраструктури (рисунок 1.3), яка створюється шляхом інтеграції різномірних мереж в єдину мережеву платформу.

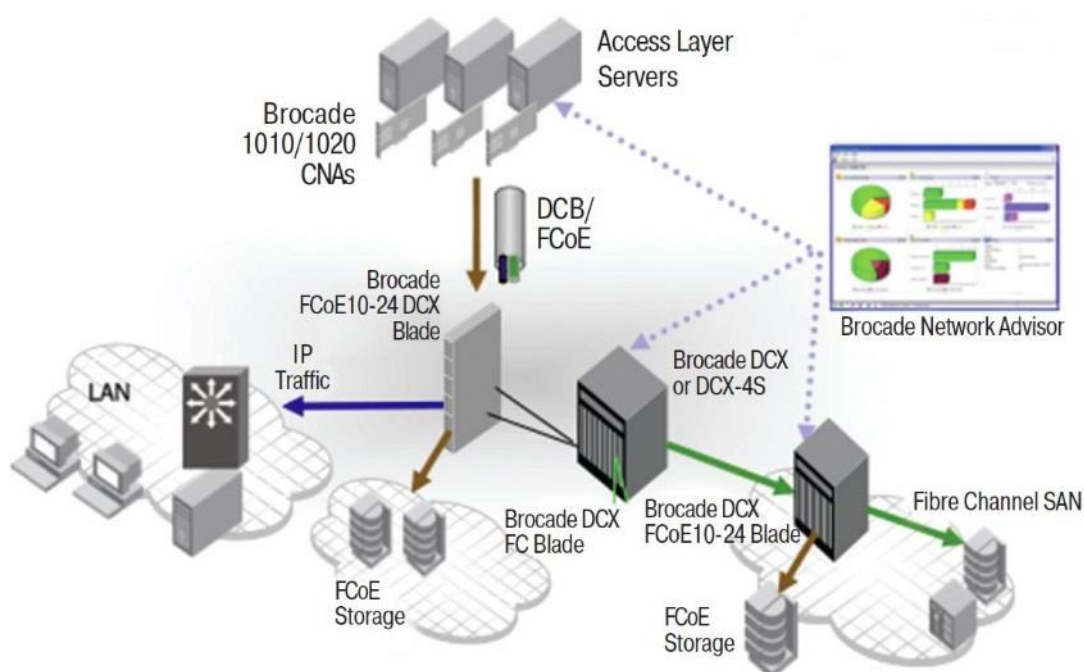


Рисунок 1.3 – Приклад конвергентної мережевої інфраструктури

Сервісний рівень містить набір інформаційних послуг, які автоматизують технологічні бізнес операції в IoT:

- підтримки операційної і бізнес діяльності (OSS/BSS Operation Support System/Business Support System);
- різної аналітичної обробки інформації;
- зберігання даних;

- забезпечення інформаційної безпеки;
 - управління бізнес правилами (BRM, Business Rule Management);
 - управління бізнес процесами (BPM, Business Proccess Management)
- та ін.

1.3 Рівень додатків

На даному рівні існують різні типи додатків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності (енергетика, транспорт, торгівля, медицина, освіта та ін.). Додатки можуть бути «вертикальними», коли вони є «специфічними» для конкретної галузі промисловості, а також «горизонтальними», які можуть використовуватися в різних секторах економіки. Складовою частиною інтернету речей є web речей (WEB of Things, WoT) (рисунок 1.4).

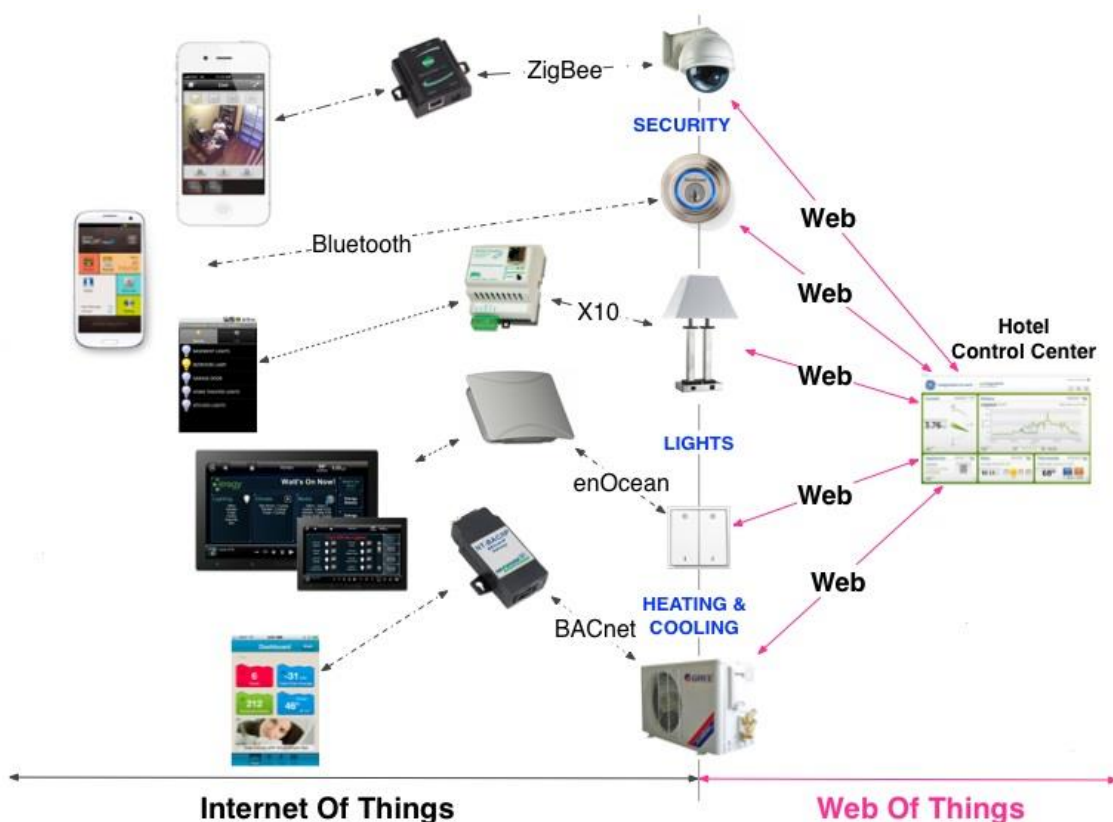


Рисунок 1.4 – Приклад Web of Things

WoT забезпечує взаємодію різних інтелектуальних об'єктів («речей») з використанням стандартів і механізмів Internet, таких як уніфікований одноманітний ідентифікатор ресурсу URI (Uniform Resource Identifier), протокол передачі гіпертексту HTTP (HyperText Transfer Protocol), стиль побудови архітектури розподіленого додатка REST (Representational State Transfer) та ін.

Фактично WoT передбачає реалізацію концепції IoT на прикладному рівні з використанням вже існуючих архітектурних рішень, орієнтованих на розробку web-додатків.

1.4 Когнітивний інтернет речей CIoT

Інтернет речей є відкритою парадигмою, яка надзвичайно сприйнятлива і адаптивна для нових принципів і архітектур, що відносяться до різних напрямів розвитку науки і техніки. У зв'язку з цим, надзвичайно плідним може виявитися використання в IoT принципів і методів когнітивності (лат. *Cognitio*, «пізнання, вивчення, усвідомлення») (рисунок 1.5).

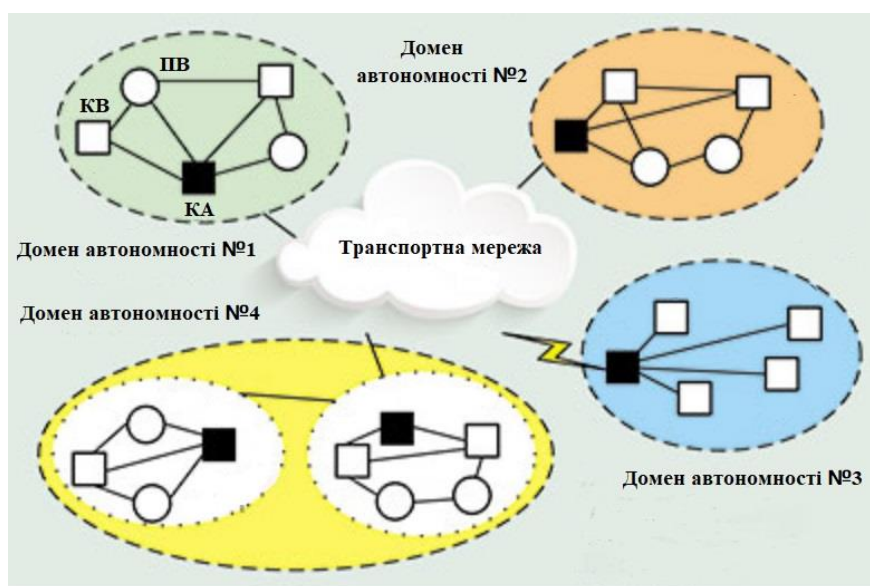


Рисунок 1.5 – Приклад архітектури когнітивного IoT

На рисунку 1.5 прийняті наступні позначення:

- когнітивний агент –КА;
- когнітивний вузол – КВ;
- простий вузол – ПВ.

Когнітивність означає наявність у об'єкта IoT наступних загальних властивостей:

- здатність до самоаналізу і реконфігурації з урахуванням наявного оточення, а також маючи на меті досягнення цілей, обумовлених виконуваними завданнями;
- здатність адаптувати свій стан відповідно до існуючих умов або подій, на основі певних критеріїв і знань про попередні стани;
- можливість динамічно змінювати свою топологію і / або експлуатаційні параметри відповідно до вимог конкретного користувача, коли це необхідно в рамках поточної політики обслуговування, оптимізації пропускної здатності мережі або інших показників;
- самоконфігурація з наявністю розподіленого управління на основі правил;
- можливість самостійного визначення свого поточного стану і, з урахуванням цього стану – планування своєї роботи, приймаючи певні рішення, у відповідь на ситуацію, що склалася.

Якщо розглядати архітектуру CІoT, вона повинна містити когнітивні вузли CN (cognitive node) або когнітивні елементи CE (cognitive element), які здатні автономно оптимізувати, наприклад, технічні характеристики мережі відповідно до визначених умов. У свою чергу CN або CE об'єднуються в домени автономності AD (Autonomous Domain), де ці пристрої відносно тісно пов'язані між собою, в тому числі на певній території і можуть поєднувати свою поведінку. При цьому кожний CE або CN зберігає властивість автономності. У свою чергу чимало доменів можуть транскордонно взаємодіяти і кооперуватися через мультидоменну кооперацію MDC (Multi-Domain Cooperation). Для організації такої взаємодії в кожному автономному

домені використовується когнітивний агент СА (Cognitive Agent), який взаємодіє з СЕ або СN в своєму домені.

Таким чином, взаємодія можлива як в цілому, так і на рівні окремого когнітивного елемента. При цьому в кожному домені AD існують і прості, не когнітивні вузли, які знаходяться під контролем когнітивних вузлів. В процесі роботи об'єктів СІоТ потрібно враховувати різноманітну інформацію про стан інших об'єктів, перш за все мереж, до яких підключені когнітивні речі. Далі інформація про стани зовнішніх об'єктів повинна аналізуватися і узагальнюватися згідно з правилами обробки даних. У підсумку, прийняття рішень здійснюється на основі результатів об'єднання даних з урахуванням досягнення мети функціонування ІоТ. Тут використовується теорія машинного навчання, щоб у майбутньому приймати оптимальні рішення. Нарешті, можуть виконуватися певні коригування відповідно до стратегій, зумовленими прийняттям відповідних рішень, може застосовуватися база знань. В цілому, для реалізації архітектури СІоТ, пропонується поєднання регулювання когнітивності і протоколів взаємодії, причому для протоколів виділяють чотири рівні:

- сприйняття інформації (Information Perception Layer);
- міжмережевої взаємодії (Network Interconnection Layer);
- об'єднання інформації (Informatin Fusion Layer);
- інтелектуальних послуг (Intelligent Service Layer).

Основою для розвитку схеми когнітивного управління є концепція віртуального об'єкта VO (Virtual Object), який є представленням фізичного об'єкта або об'єкта реального світу (Real-World Object). Віртуальний об'єкт динамічно створюється або видаляється, створюючи тим самим уявлення динаміки змін RWO. Для опису можливостей автоматичної агрегації VO, щоб забезпечити умови для виконання додатків в запропонованій схемі когнітивного управління, вводиться поняття концепції композитних (складені) віртуальних об'єктів - CVO (Composite VO). Композитні VO є когнітивний «колаж» (mashup), тобто поєднання семантично сумісних,

взаємодіючих VO і пропонованих ними послуг, що дозволяє пропонувати додаткам IoT-послуги згідно заявлених додатками вимог. CVO можуть повторно використовувати існуючі VO поза їх «рідного» контексту створення або домену. CVO дозволяє підтримувати характеристики і забезпечувати самоконфігурацію VO в умовах, що змінюються, або в контексті застосування VO. Завершальною частиною передбачуваної схеми є введення, так званої, логіки сервісу («service logic»), яка дозволяє транслювати вимоги додатків IoT або користувачів IoT в послуги, які надаватимуться на рівні CVO.

При цьому кожна запитувана послуга супроводжується вимогами по QoS. В результаті, в схемі когнітивного управління пропонується три загальносистемних рівня:

- рівень VO;
- рівень CVO і рівень послуг.

На рівні VO когнітивність використовується для самоврядування і самоконфігурації, щоб забезпечити постійну взаємодію з необхідним або релевантним RWO і для управління відповідними інформаційними потоками. На рівні CVO когнітивність використовується для прийняття рішень про використання або повторного використання VO або CVO. Для цього здійснюється моніторинг або пошук VO і пов'язаних з ними RWO. В обох випадках використовується технологія машинного навчання і оцінки того, чи може ідентифікований VO використовуватися для цього додатка. На цьому ж рівні застосовується оптимізація для пріоритезації CVO і VO для подальшого використання. Для автоматичної трансляції запиту користувача в формалізований запит послуги, зрозумілий системі, використовується семантичний аналіз. Система може діяти від «імені користувача» на підставі результатів машинного навчання і бази знань про переваги користувача. Нарешті, на рівні послуг виробляється певний висновок щодо безпеки, авторизації, області допустимих VO, пріоритетів використання певних VO.

Способи взаємодії з інтернет-речами. Використовують три способи

взаємодії з інтернет-речами:

- прямий доступ;
- доступ через шлюз;
- доступ через сервер.

У разі прямого доступу все інтернет-речі повинні мати власну IP адресу або мережевий псевдонім, за яким до них можна звернутися з будь-якого клієнтського додатка і вони повинні виконувати функції веб-сервера. Інтерфейс з такими речами зазвичай виконаний у вигляді web-ресурсу з графічним інтерфейсом для управління за допомогою веб-браузера. Можливе використання спеціалізованого програмного забезпечення. У такі веб-пристрої повинен бути інтегрований прикладний програмний інтерфейс REST ful API, для прямого доступу до них через Internet (рисунок 1.6).

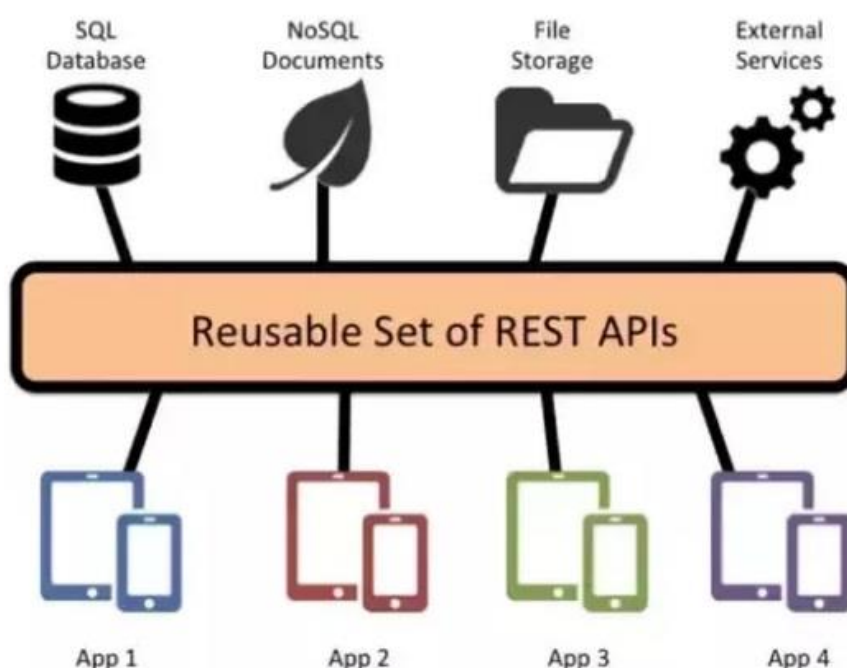


Рисунок 1.6 – Прикладний програмний інтерфейс REST ful API

Доступ до інтернет-речей через шлюз є більш раціональним способом організації взаємодії і повністю витісняє метод прямого доступу в разі потреби організації зв'язку бездротових сенсорних мереж або мережі

інтернет-речей з мережею глобальною мережею Інтернет.

Більшість стандартів бездротових сенсорних мереж не підтримують протокол IP, використовуючи власні протоколи взаємодії. Така особливість викликає необхідність наявності пристрою для ретрансляції повідомлень з сенсорної мережі в мережу Інтернет для сумісності протоколів.

Третя форма взаємодії пристроїв в IoT через сервер має на увазі наявність посередника між інтернет-речами і користувачем і може бути реалізована за допомогою посередницької платформи даних. Даний підхід передбачає наявність централізованого сервера або групи серверів, в основні функції яких входить:

- прийом повідомлень від інтернет-речей і передача їх користувачам;
- зберігання прийнятої інформації і її обробка;
- забезпечення призначеного для користувача інтерфейсу з можливістю двостороннього обміну між користувачем і інтернет-річчю.

Основною метою посередницьких платформ даних є спрощення пошуку, контролю, візуалізації обміну даними з різними «речами». В основі даного підходу лежить централізоване сховище даних. Кожен пристрій, що має доступ в мережу Інтернет (прямий або через інтернет-шлюз), має бути зареєстроване в системі, перш ніж він зможе почати передачу даних.

Така мережа доступу є найбільш раціональною, часто використовуваною і дозволяє перенести навантаження обробки запитів користувачів з інтернет-речей на централізований сервер, тим самим розвантажуючи слабкий радіоканал зв'язку інтернет-речей, переносячи навантаження на провідні канали зв'язку між сервером і користувачем. Метод централізованого сервера також надає надійні засоби зберігання і обробки інформації, дозволяє інтернет-речам взаємодіяти один з одним і користуватися хмарними обчисленнями.

Даний підхід також може використовувати метод шлюзу для з'єднання локальних бездротових мереж з сервером. В інтернет-речах шлюз використовується не тільки для прямого зв'язку, але і при використанні

централізованого сервера.

Шлюзи служать засобом для об'єднання локальних мереж інтернет-речей з глобальним зв'язком з сервером управління і кінцевим користувачем.

1.5 Взаємодія IoT з перспективними інфокомунікаційними технологіями

Великі дані (Big Data). Інтернет речей радикальним чином збільшує обсяг зібраних даних, що є наслідком величезної кількості джерел інформації. Гігантські сенсорні мережі вже зараз виробляють величезні потоки даних, які треба вміти не тільки зберігати, але й обробляти, робити по ним висновки, приймати рішення – і все це з урахуванням неточності як оригінальних даних, так і процедур обробки. В кінці 2000-х років для обробки великого обсягу даних сформувався підхід, який називається «великі дані» – це серія інструментів і методів обробки структурованих і неструктурованих даних величезних обсягів значного різноманіття для отримання необхідних результатів обробки.

Основна відмінність великих даних від «звичайних» полягає в тому, що ці дані неможливо обробити традиційними системами управління базами даних (СУБД) і рішеннями класу Business Intelligence через їх великий обсяг і різноманітний склад. Інша важлива їх властивість – феноменальне прискорення накопичення даних і постійна зміна. Такі популярні завдання, як зведення даних, отриманих з різних джерел, вимагають особливих методів аналізу в разі неточних даних, особливо даних величезних розмірів. У зв'язку з цим і був розроблений набір інструментів, які отримали назву «великі дані», що дозволяють працювати з даними незалежно від їх типу і обсягу.

Методи і техніки аналізу великих даних:

- методи класу видобутку даних Data Mining – навчання асоціативним правилам, класифікація, кластерний аналіз, регресивний аналіз;
- краудсорсінг – категоризація та збагачення даних силами широкого,

невизначеного кола осіб, залучених на підставі публічної оферти, без вступу в трудові відносини;

- змішування і інтеграція даних – набір технік, що дозволяють інтегрувати різноманітні дані з різноманітних джерел для можливості глибинного аналізу;

- машинне навчання – використання моделей, побудованих на базі статичного аналізу або машинного навчання для отримання комплексних прогнозів на основі базових моделей;

- штучні нейронні мережі, мережевий аналіз, оптимізація, в тому числі генетичний алгоритм;

- розпізнавання образів;

- прогнозована аналітика;

- імітаційне моделювання;

- просторовий аналіз – клас методів, які використовують топологічну, геометричну і географічну інформацію в даних;

- статистичний аналіз (наприклад, А/В-тестування, аналіз часових рядів);

- візуалізація аналітичних даних - подання інформації у вигляді малюнків діаграм, з використанням інтерактивних можливостей та анімації, як для отримання результатів, так і при використанні в якості вихідних даних для подальшого аналізу.

Хмарні обчислення (Cloud Computing). Так як інтернет речей породжує «великі дані», тому виникає закономірне питання: де їх зберігати і чим обробляти? Відповіддю на це питання є перспективна інфокомунікаційних технологій – хмарні обчислення (СС, Cloud Computing).

Хмарні обчислення мають на увазі оренду послуг і ресурсів для зберігання і обробки даних в глобальній мережі замість власної інфраструктури. У систем СС повинні бути п'ять основних характеристик:

- самообслуговування на вимогу;

- широкосмуговий мережевий доступ;

- пул ресурсів;
- можливість швидкого перенастроювання або розширення;
- вимірюване обслуговування.



Рисунок 1.7 – Приклад Cloud Computing

Існують чотири моделі розгортання хмарної інфраструктури (так званих «хмар»):

- приватна хмара (англ. private cloud) – інфраструктура, призначена для використання однією організацією, що включає кілька споживачів (наприклад, підрозділ однієї організації), можливо також клієнтами і підрядниками даної організації, так і третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і воно може існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника;

- публічна хмара (англ. public cloud) – інфраструктура, призначена для вільного використання широкою публікою. Публічна хмара може перебувати у власності, управлінні експлуатації комерційних, наукових і урядових організацій (або будь-якої їх комбінації). Публічна хмара фізично існує в юрисдикції власника – постачальника послуг;

- гібридна хмара (англ. hybrid cloud) – це комбінація з двох або більше різних інфраструктур (приватних, публічних або суспільних), що залишаються унікальними об'єктами, але пов'язаних між собою стандартизованими або приватними технологіями передачі даних і додатків;

- громадська хмара (англ. community cloud) – вид інфраструктури, яка призначена для використання конкретною спільнотою споживачів організацій, що мають спільні завдання (наприклад, місії, вимоги безпеки, політики, і відповідності різним вимогам). Громадська хмара може перебувати в корпоративній (спільній) власності, управлінні в експлуатації однієї або більше організацій спільноти або третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і вона може фізично існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника.

Різні послуги СС, що позначаються в загальному випадку як ХaaS (Xas a Service), можна віднести до трьох основних класів:

- «інфраструктура, як послуга» (IaaS, Infrastructure as a service) – оренда потужності серверів і ємності систем зберігання центрів обробки даних (ЦОД);

- «програмне забезпечення, як послуга» (SaaS, Software as a Service) – оренда програмного забезпечення (ПЗ), яке запускається з «хмари»;

- «платформа, як послуга» (PaaS, Platform as a Service) – оренда платформи розробки ПЗ колективними або індивідуальними розробниками.

Всі інші послуги систем СС (наприклад, BPaaS – «бізнес-процесів, як послуга або VSaaS – «відеоспостереження, як послуга»), можна, так чи інакше, віднести до трьох вищевказаних класів звичайних послуг.

Для роботи технологій інтернету речей можна використовувати і туманні обчислення (Fog Computing).

Під туманом мається на увазі наближення «хмари до землі», в даному випадку «туман» - це різновид хмарних сервісів, розташованих не десь на

недоступних висотах, а в навколишньому середовищі. Інакше кажучи, Fog computing не альтернатива, а доповнення до Cloud Computing, і можуть виникнути ситуації їх спільної дії (наприклад, виконання аналітичного додатку), і в такому випадку Cloud надасть послугу Fog (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Приклад Fog Computing

Туманні обчислення доповнюють хмарні обчислення і забезпечують взаємодію розумних речей між собою і хмарними ЦОД у вигляді трирівневої ієрархічної структури. Верхній рівень займають тисячі хмарних ЦОД, що надають ресурси, необхідні для виконання серйозних, наприклад аналітичних, програмних додатків IoT. Рівнем нижче розташовуються десятки тисяч розподілених керуючих ЦОД, в яких міститься «інтелект» Fog Computing, а на нижньому рівні знаходяться мільйони обчислювальних пристроїв розумних речей Fog Computing. Можна визначити як в максимальному ступені віртуалізувати платформу, що підтримує три основних типи сервісів, що утворюють межмашинні комунікації M2M: обчислення, зберігання та мережу. Задача Fog Computing полягає в забезпеченні взаємодії мільярдів пристроїв між собою і з хмарними ЦОД.

Парадигма Fog Computing відрізняється від Cloud Computing за цілою низкою параметрів:

- розподіл обчислювальної потужності і реальний час. Значні обчислювальні ресурси можуть бути розміщені на периферії мережі, причому не повинно бути залежності від координат того місця, де знаходиться пристрій, і при тому робота в режимі реального часу передбачає низький рівень затримок при обміні даними. До того ж, може статися конвергенція двох існуючих, довгий час автономно одна від одної систем – управління бізнесом і технологічними системами;

- географічний розподіл компонентів. Модель розподілу сервісів в Fog Computing менш централізована, ніж для хмар, а окремі пристрої можуть бути пов'язані між собою потоками даних і надавати один одному «важкі» сервіси;

- великий обсяг зовнішніх даних. Пристрої, екіпіровані численними сенсорами, можуть в реальному часі генерувати гігантські обсяги даних;

- складна топологія. Мільйони географічно розподілених вузлів можуть створювати різноманітні і недетерменовані заздалегідь зв'язки;

- мобільність і гетерогенність. Мобільність пристроїв зажадає використання альтернативних протоколів, наприклад протоколу маршрутизації LISP (Locator / ID Separation Protocol), який дозволяє розділити функціональність IP-адрес на 2 частини:

- ідентифікатори хостів;
- локатори маршрутизації. Концепція передбачає установку тунельних маршрутизаторів, які будуть додавати LISP заголовки в інформаційні пакети по мірі їх руху по мережі.

Повсюдний комп'ютинг означає створення інтелектуальних інформаційних систем. Тотальний комп'ютинг ставить на чільне місце кінцевого користувача, який повинен отримувати обчислювальне обслуговування безперервно, 24 години на добу, 7 днів на тиждень, причому обслуговування самого різного роду – від наукових обчислень до управління

кухонними агрегатами.

Так, наприклад, система персональної допомоги (Personal Assistance System, PAS) допомагає людям похилого віку в самообслуговуванні з використання бездротової мережі, що об'єднує RFID-рідери, медтехніку з Bluetooth-інтерфейсом, програмне забезпечення та апаратуру, які відстежують переміщення людини в оселі, датчики падіння, систем безпеки і т.п.

Можна виділити чотири основні характеристики тотального комп'ютингу:

- ефективне використання персонального розумного простору, маючи на увазі, оточуючі нас на роботі, в транспорті, вдома пристрої з комп'ютерним управлінням, необхідними датчиками і виконавчими механізмами;
- невидимість (розумного простору) – мінімальне відволікання уваги користувача на управління оточуючими речами;
- місцева масштабованість – будь-яка точка персонального розумного простору повинна бути настільки обчислювально «потужною», наскільки це необхідно користувачу;
- маскування неоднорідностей - під неоднорідністю розуміється відмінності як в технічному плані (звані, зазвичай, гетерогенністю), так і не технічні – організаційні структури, бізнес-процеси, економічні фактори.

До цього списку можна віднести знання контексту, тобто користувач існує в персональному розумному просторі не «наосліп», а уявляючи собі, усвідомлюючи контекст. В деякому відношенні це суперечить властивості невидимості, однак, насправді, повинен існувати розумний баланс між невидимістю і знанням контексту.

Взаємодію Інтернету речей та зазначених вище трьох перспективних інфокомунікаційних технологій якщо розглядати на прикладі транспортних додатків, то дані, зібрані за допомогою різних датчиків і сенсорів, розташованих як на транспортних засобах, так і в дорожній інфраструктурі

(елементи інфраструктури повсюдної комп'ютеризації), обробляються з використанням спеціалізованого хмарного транспортного додатку в реальному часі, який для своєї роботи задіює ресурси систем великих даних. Таким чином, користувач, який звернувся за відповідною послугою до хмари «транспорт», отримає всю необхідну інформацію про транспортне обслуговування швидко і ефективно.

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ «ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ»

Мережа фізичних предметів («речей»), підключених до інтернету і взаємодіючих з зовнішнім середовищем або між собою означає термін «Інтернет речей». Походить термін від англійського Internet of Things, скорочено IoT (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Приклад Internet of Things

Одним з перших IoT-пристроїв став апарат з продажу прохолодних напоїв з використанням автоматизованих систем, модернізований студентами з Америки в 1982 році. Його наповнюваність, а так само охолодження напоїв стало можливим перевіряти віддалено. Трохи пізніше, в 90-і роки закладена теоретична база IoT, яка заснована на використанні штучного інтелекту, мобільності і бездротовій передачі даних. Стрімкий розвиток технологій в нульових, спровокувало появу реалізованих IoT проектів, виникли масштабні плани та ідеї по створенню розумних міст та вдосконаленню і автоматизації рутинних виробничих процесів.

Вперше концепція і термін для бездротової передачі даних були сформульовані Кевіном Ештоном – засновником дослідницької групи Auto-ID при Масачусетському технологічному університеті в 1999 році. Суть концепції була представлена в презентації для керівництва компанії Procter & Gamble. Пропонувалося використати впровадження радіочастотних міток для видозмінення системи управління логістичними ланцюгами для оптимізації роботи корпорації.

Наочні можливості концепції в побутовому застосуванні були показані в статті в Scientific American в 2004 році. У цій статті наочно показано як побутові прилади (кондиціонери, будильники, комп'ютери), домашні системи (протипожежна система, система освітлення, система садового поливу), теплові датчики, датчики руху і «речі», забезпечені ідентифікаційною міткою, взаємодіють один з одним за допомогою інфрачервоних, бездротових, силових і слабкострумівих мереж. Все це дозволяє зберігати енергію і керувати її споживанням. Прилади нагадають про своєчасний прийом ліків, забезпечать своєчасний полив, змінять освітленість і т.п. Ідеї домашньої автоматизації були не нові, а ось об'єднання пристроїв і «речей» в єдину мережу, яка обслуговується інтернет протоколами, набуло широкої популярності. По аналізу корпорації Cisco 2008-2009 рік вважається «справжнім народженням» Інтернету речей», так як в цей часовий період кількість пристроїв, підключених до глобальної мережі, перевищила чисельність населення землі. «Інтернет людей» став «інтернетом речей». Починаючи з 2011 року Gartner розміщує «інтернет речей» в загальний цикл зрілості нових технологій на етап «технологічного тригера» із зазначенням терміну становлення більше 10 років, а в 2012 році випущений спеціальний цикл зрілості для технологій «інтернету речей». На сьогоднішній день технології інтернету речей швидко впроваджуються в усі сфери життя суспільства. Активно використовуючи різні пристрої, ми полегшуємо своє життя. Удосконалення пристроїв роблять можливим їх здатними чути, бачити, думати, а іноді і діяти. Для скоординованої та ефективної роботи

пристрої повинні максимально коректно взаємодіяти один з одним, щоб швидко приймати рішення, від яких може залежати життя людей або безпека будівель. Сучасні бездротові технології, різні вбудовані датчики, новітні технології дозволяють «Інтернету речей» швидко вирішувати поставлені завдання. Сьогодні, при існуванні величезної кількості виробників, технологій і пристроїв, виникає багато проблем. Тому виникає необхідність створення та прийняття спеціальних стандартів і протоколів зв'язку. Успішно розроблений додаток IoT включає в себе завдання по забезпеченню мобільності:

- потрібна налагоджена робота протоколів маршрутизації, так як при переміщенні IoT пристрою змінюється IP-адреса;
- система повинна бути надійною і швидко реагувати при зборі, передачі даних і прийнятті рішень;
- володіти широкою можливістю розширення користувачів мережі.

Сама концепція «Інтернету речей» передбачає, що до мережі будуть підключені мільйони пристроїв. Серед основних завдань необхідно забезпечити оптимальне управління і доступність: швидко відстежувати збої, конфігурації і продуктивність такої величезної кількості пристроїв за допомогою протоколів управління. Крім цього, необхідно забезпечити сумісність в мережі: неоднорідні пристрої та протоколи повинні працювати один з одним з урахуванням збереження конфіденційності та безпеки. У мережі «Інтернету речей» прийнята така модель:

- кінцеві пристрої, датчики, сенсори спілкуються один з одним (взаємодія D2D - Device to Device) (рисунок 2.2);
- дані, зібрані пристроями, відправляються на сервер для подальшого аналізу і обробки (взаємодія D2S – Device to Server) (рисунок 2.3);
- цей сервер може включати в себе кілька обчислювальних машин або об'єктів, яким також необхідно спілкуватися між собою (взаємодія S2S - Server to Server);
- для виконання різних завдань необхідно використання різних

протоколів.

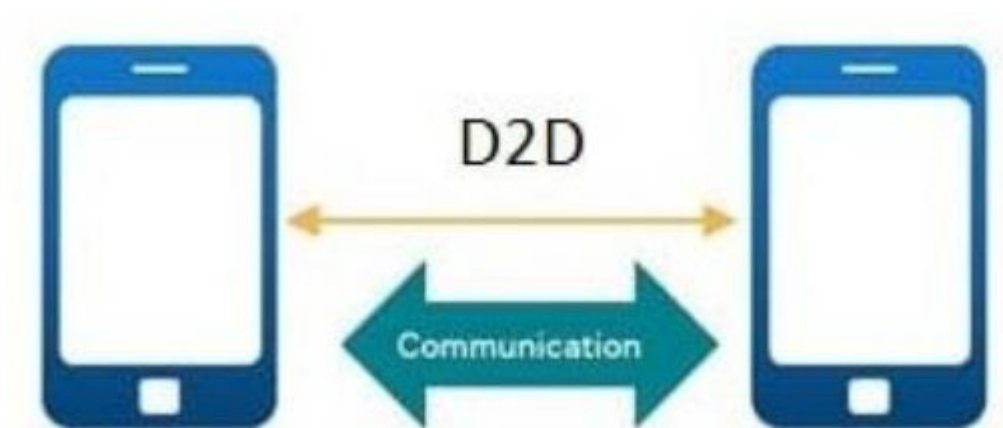


Рисунок 2.2 – Приклад Device to Device

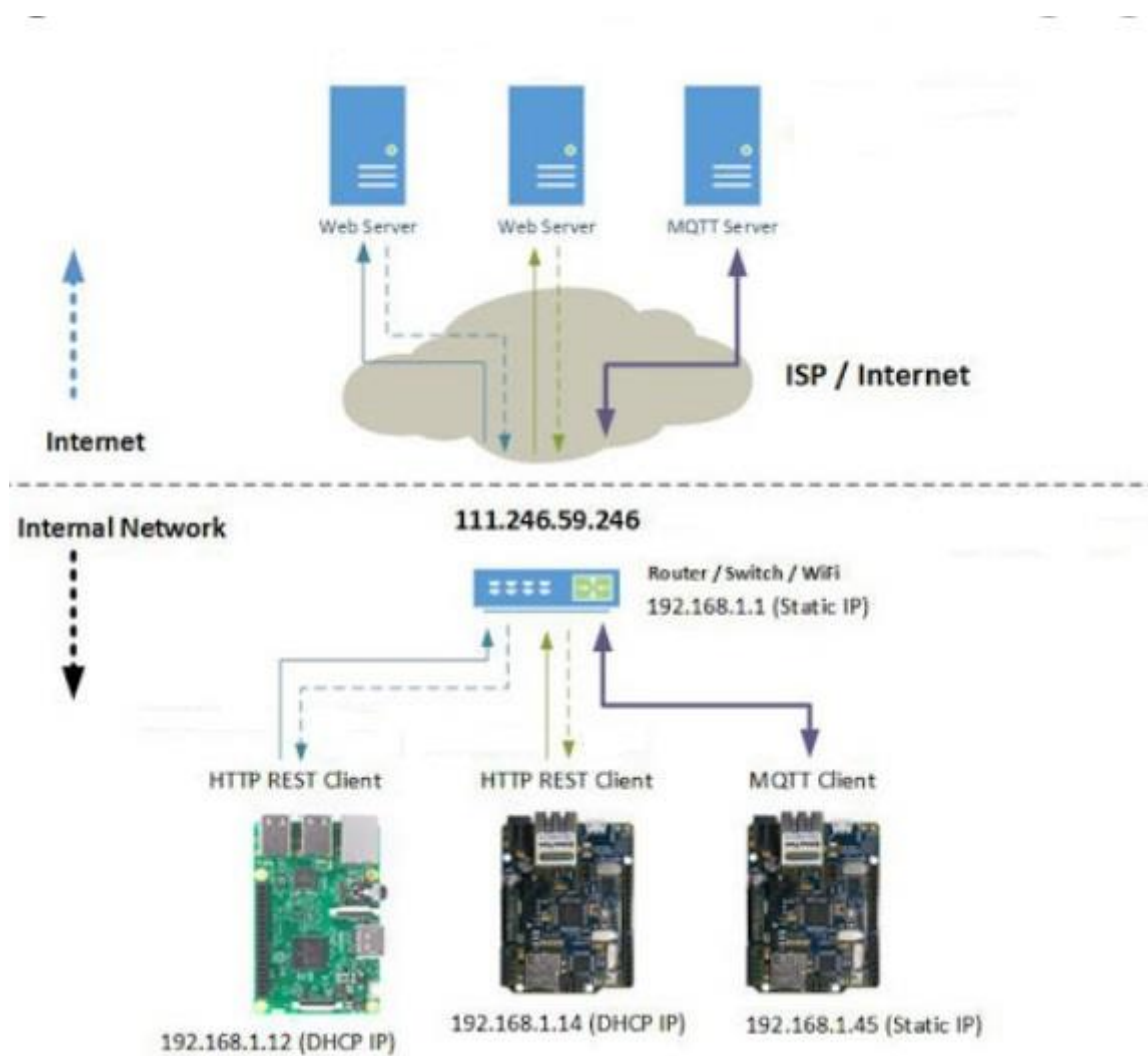


Рисунок 2.3 – Приклад Device to Server

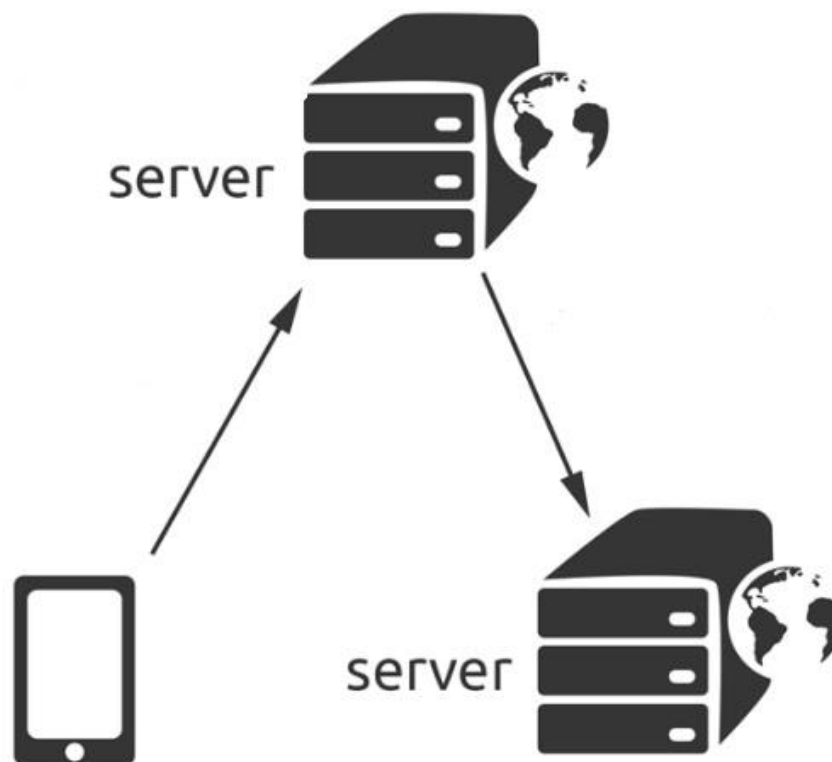


Рисунок 2.4 – Приклад Server to Server

2.1 Основні представники вендорів в області базового обладнання «Інтернету речей»

Розуміючи важливість розвитку цієї сфери, держава взяла під свій контроль кілька проектів під егідою розвитку IoT. В даний час впроваджуються системи IoT в громадському транспорті та в системі житлово-комунального господарства. Запускаються пілотні проекти під назвою Smart City. IoT дуже затребуваний ринок на сьогоднішній день і велика кількість вендорів поспішають закріпитися на передньому краї, намагаючись випускати все нові продукти. Для забезпечення працездатності та взаємодії всіх складових Інтернету речей необхідні компоненти, що знаходяться на тому кінці IoT-рішень. Це вбудовані шлюзи, модеми, роутери, датчики і процесори. Всі найбільші компанії по виробництву IoT обладнання створюють цілі системи навколо свого продукту.

Ринок обладнання IoT великий. Значні інвестиції в розробку таких продуктів роблять великі компанії, такі як Samsara і безліч інших. Не поступаються їм на ринку й інші вендори – Cisco Systems, Dell Technologies, Hewlett Packard Enterprise, Intel, ARM. У 2016 році компанія ARM була куплена японським телекомунікаційним концерном Softbank, але це не стало на заваді в подальшому просуванні на ринок Інтернету речей. Її лінійки економічних процесорів Cortex-R і Cortex-M прекрасно підходять для малих IoT-пристроїв. Google лінійка «розумних» термостатів Nest, що поставляються компанією Google, допомогла ідеї IoT отримати визнання в споживчому сегменті.

На сьогоднішній день лінійка Nest включає термостати, пожежні сповіщувачі і камери відеоспостереження. Крім того, компанія пропонує хмарну IoT-платформу Google Cloud. Cisco Systems поставляє цілий спектр обладнання для мереж зв'язку IoT, допомагаючи партнерам забезпечити належну безпеку і будувати додатки, використовуючи прикладну середу IOx, і «периферійні» (fog) додатки. Пропозиція Cisco включає шлюзи, комутатори промислового класу і вбудовані роутери для IoT. Intel хоче знайти позиції лідера в так званому всесвіті підключених пристроїв, поставляючи спеціалізовані IoT-процесори в лінійках Quark, Atom і Xeon, і пропонує також комплекти розробника і інший інструментарій для IoT. У рейтинг найбільших постачальників включено 15 компаній, що пропонують найважливіші компоненти оснащення IoT.

Всі провідні фірми стимулюють розвиток «Інтернету речей» і проникнення його в життя кожної людини.

Розумне місто (smart city) – це тісно взаємопов'язана система новітніх інформаційних і комунікативних технологій з інтернетом речей (IoT), для спрощення та оптимізації управління процесів всередині міста і поліпшення якості життя населення. Розумне місто виконує два найважливіших завдання:

- збирає і передає всі дані представникам управління;
- налагоджує взаємозв'язок між городянами і управлінням міста, а

також благоустрій середовища.

Перевага розумного міста полягає в підвищенні рівня життя всіх громадян і в зменшенні витрат всіх процесів, завдяки автоматизації. Термін «Розумне місто» з'явився недавно і стандартного визначення цього поняття немає. Але експерти сходяться в тому, що головне джерело управління – це дані про населення.

Чим точніше і обширніші дані, тим більше можливостей для оптимізації і впровадження технологій. Поліпшення функцій цифрового міста відбуваються за рахунок оновлення та обробки відомостей. Вбудовані датчики збирають інформацію за допомогою електронних пристроїв і від жителів міста. Ця інформація збирається і аналізується, потім приймаються рішення, що усуває проблеми неефективності Компоненти системи інтелектуальних міст:

- відеоспостереження та фотофіксація;
- інтелектуальні транспортні системи (ІТС);
- єдина система екстреного виклику;
- єдина диспетчерська служба та ситуаційні центри;
- інтернет речей (ІоТ);
- п'яте покоління мобільного зв'язку (5G).

Ці компоненти формують модель цифрового міста. Вони використовуються для збору і аналізу інформації, що оптимізує роботу транспорту, зв'язку, медицини, промисловості та інших життєво важливих сфер. Урбанізація характерна для всіх країн світу. Завдання кожної держави забезпечити якість життя, безпеку і комфорт.

Ця тенденція характерна і для нас. В даний час активно ведеться застосування технологій «Інтернету речей» для розвитку Розумного міста:

- основні технології реалізації «Інтернету речей», для Розумного міста;
- застосування архітектури, обладнання та протоколу LoRaWAN для Розумного міста.

2.2 Імпульси розвитку інтернету речей в розумному місті

При аналізі концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT) виявилось, що найбільш затребуваний і популярний напрям розвитку – це концепція «Розумне місто» (Smart City). Головним принципом такого міста буде впровадження нових інформаційних технологій і об'єктів Інтернету речей в міське життя. Всі ці нові технології на сучасному етапі доступні Розумним містам. Основна мета такого міста забезпечити зручності і добробут жителів. Для цього буде потрібно вирішити певний спектр завдань. Населенню потрібно забезпечити безпеку, захищеність, підвищити рівень комфорту, оптимізувати якість міських послуг, підвищити рівень якості навколишнього середовища. Це всього лише мала частина завдань Розумного міста. Основою рішення є впровадження концепції Інтернету речей.

Технології Інтернету речей приваблюють своєю простотою. Пріоритетне завдання – вибрати такі, які найбільш результативні. Необхідно буде також оснастити місто великою кількістю сенсорів і датчиків, а також синхронізувати їх роботу. Це є важливим етапом розвитку міста через Інтернет речей. Розумне місто включає в себе наступні компоненти:

- управління енергозбереженням і водопостачанням (розумне ЖКГ);
- забезпечення якісного зв'язку і цифровізація всіх джерел інформації;
- охорона навколишнього середовища;
- утилізація відходів;
- забезпечення безпеки громадян;
- електронна освіта і охорона здоров'я;
- управління містом.

Ключову роль у розвитку «Інтернету речей» в Розумному місті грають технологічні рішення міжмашинних комунікацій (M2M). Дана технологія – це загальна назва технологій, що дозволяє машинам обмінюватися інформацією між собою. В основі сучасної бездротової технології M2M використовується стандартний GSM-зв'язок і звичайні SIM-карти. Останні 10

років технологія отримала великий розвиток. Ринок M2M знаходиться в постійному зростанні. Найчастіше рішення M2M використовуються в транспортних засобах, електроніці, енергетиці. У деяких країнах кейси M2M успішно застосовуються в медицині. M2M (machine-to-machine) означає «від машини до машини». Це означає, що передача даних здійснюється між пристроями: з датчиків в центри обробки. Система M2M складається з:

- обладнання;
- периферійних вузлів;
- програмного забезпечення.

Периферійні вузли включають в себе різні датчики. Інформація з датчиків перетворюється в цифрові сигнали і передається по мережі за допомогою комунікаційного устаткування. Аналізуються дані за допомогою програмного забезпечення. Головною перевагою M2M є те, що система не вимагає втручання людини (рисунк 2.5).

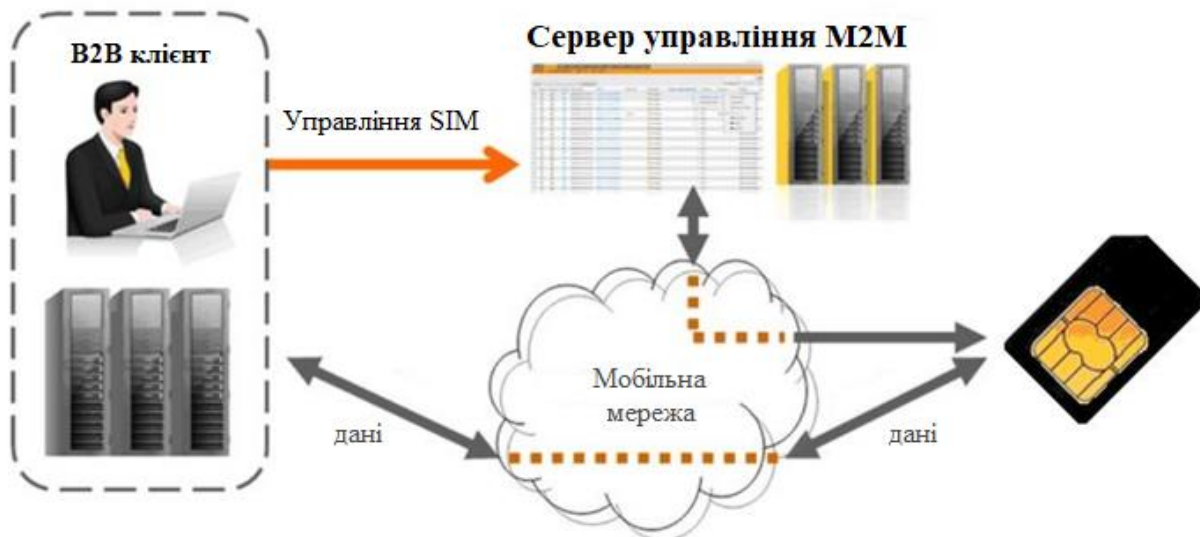


Рисунок 2.5 – M2M схема взаємодії

Технології, які використовуються для передачі трафіку Інтернету речей різноманітні і охоплюють як бездротові так і провідні мережі. Бездротова сенсорна мережа – самоорганізована мережа, що складається з безлічі

сенсорів і виконавчих пристроїв, об'єднаних за допомогою радіоканалу. Бездротові мережі Інтернету речей діляться за типами:

- low power short range networks – енергоефективні мережі малого радіусу дії;
- low power wide area networks (LPWAN) – енергоефективні мережі великого радіусу дії;
- cellular network – технології, засновані на використанні стандартів стільникових мереж в діапазоні, який ліцензується.

З дротових технологій важливу роль в проникненні Інтернету речей грають рішення PLC – технології, використовувані мережею по лініях електропередач, тому що в багатьох різних пристроях існує доступ до електромереж. Це і різні торгові автомати, і банкомати, і лічильники, і датчики освітлення, і підключення до мережі енергозбереження. Більшість технологій в майбутньому будуть використані в реалізації Інтернету речей.

2.3 Протокол LoRaWAN

В березні місяці 2015 року Semtech Corporation зробили заяву про нове і важливе досягнення в сфері технологій бездротової передачі даних. Вони презентували мережевий енергоефективний протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks).

Цей протокол забезпечує масу переваг на відміну від Wi-Fi і стільникових мереж, завдяки застосуванню технологій M2M (межмашинних комунікацій). На ринку бездротового зв'язку технологія викликала величезний інтерес у виробників і вендорів. Для її підтримки, розвитку та стандартизації створений альянс LoRa (LoRa Alliance). В даний час альянс розвивається, кількість його членів постійно збільшується. За останні три роки альянс збільшився більш ніж на 500 компаній. Членами альянсу стали компанії з виробництва пристроїв, технологій і різних сервісів. До складу альянсу увійшли всесвітньо відомі виробники електроніки: Cisco, IBM,

Kerlink, IMST, Semtech, Microchip Technology, а також провідні телекомунікаційні оператори (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom). Була сформульована основна задача альянсу: об'єднати апаратне і програмне забезпечення на базі стандарту LoRaWAN. Це дозволить операторам зв'язку надавати послуги Інтернету речей комерційним організаціям і приватним фірмам. Використання даного стандарту дасть можливість в значній мірі спростити з'єднання зростаючої кількості пристроїв. Технологія LoRa відноситься до класу LPWAN і дає можливість проникати сигналу вглиб приміщень в місті, а також стабільно забезпечувати покриття зони в сільській місцевості. Все це дасть можливість реалізувати на базі LoRa розробляти і вдосконалювати різні додатки для Розумного міста. Semtech Corporation – один із засновників LoRa Alliance, а також виробник своїх пристроїв LoRa і бездротової радіочастотної технології LoRa і мереж LoRaWAN.

LoRa-технологія і метод модуляції. LoRaWAN – це відкритий протокол для мереж, які мають високу ємність (близько 1 мільйона пристроїв), низьке енергоспоживання і великий радіус дії (до 15 км на відкритій місцевості). Даний протокол забезпечує зв'язок між вузлами мережі і використовує особливі методи шифрування, що забезпечує надійність і безпеку системи. Втілення сценарію розвитку Інтернету речей є концепція розвитку Розумного міста. Що ж таке Розумне місто? Це амбітна містобудівна концепція, що передбачає оптимізацію і раціоналізацію управління всіма міськими системами. Основним об'єктом Розумного міста є розумне ЖКГ. Всі елементи цього комплексу пов'язані: це і теплопостачання, газопостачання, електропостачання, бази техобслуговування і т.д. Контроль за всіма системами міста стає можливим завдяки застосуванню нових технологій. Саме технологія LoRa допоможе вирішити безліч завдань з обслуговування Розумного міста. Далі докладно представлений протокол LoRaWAN. Продемонстровані його можливості і переваги в застосуванні в Розумному місті.

2.4 Ключові особливості застосування технології LoRaWAN

Розробляючи мережі бездротових датчиків, велике значення надається максимальній дальності радіозв'язку, щоб обійтися без додаткових ретрансляторів сигналу. Це скоротить витрати і спростить топологію. Тому основним параметром, що характеризує ефективність системи є бюджет каналу зв'язку. Він складається з чутливості приймача і потужності передавача. Висока чутливість (-148 дБм) – одна з найважливіших характеристик LORA-пристроїв, яка досягається завдяки LORAмодуляції.

При такому способі модуляції використовується технологія розширення спектра, при цьому дані будуть кодуватися широкосмуговими ЛЧМ імпульсами з частотою, що збільшується або зменшується на деякому часовому інтервалі. Це рішення дає приймачу стійкість до відхилень частоти від номінального значення і значно спрощує вимоги до тактового генератора. Якщо врахувати максимально дозовану вихідну потужність трансиверів, бюджет каналу буде 168 дБ, і це дозволить утворити лінію зв'язку на великих відстанях. Це складе до 15 км за межами міста і близько 5 км в щільно забудованому міському середовищі. При використанні інтелектуальних приладів обліку з іншим видом модуляції дальність передачі даних становить близько 2 км.

Передавачі LORA з наддалеким радіусом дії забезпечують простоту розгортання мережі. Вони використовують топологію «зірка», і ця найпростіша архітектура не вимагає передачі даних через ретранслятори. У такій мережі можна точно розрахувати тривалість роботи всіх вузлів під час автономної роботи. Це робить її універсальною для застосування в різних приладах обліку. Також трансивери кінцевих вузлів мають дуже низьке енергоспоживання, що робить їх унікальними для пристроїв з батарейним живленням.

При розгортанні такої мережі з величезною кількістю вузлів, важлива також сумісність. Розгортання мережі має низьку вартість, так як відсутні

ретранслятори, використовується неліцензований діапазон, доступний безкоштовний протокол. Це є вирішальним фактором для використання систем на території країни. Таким чином, ключовими особливостями технології LoRa є:

- висока чутливість приймача;
- низьке енергоспоживання;
- високий релейний захист приймача;
- упереджувальна система корекції помилок в умовах імпульсних перешкод.

Стандарт LoRaWAN на ринку мережевих додатків відносно недавно, але вже є маса прикладів його застосування. На рисунку 2.6 показано, як станція LoRa - Інтернет речей проводить збір даних з кінцевих вузлів. Ці вузли за допомогою шлюзів утворюють невидимі мости, вони з'єднуються з центральним сервером. Кінцеві вузли належать абонентам, а центральний сервер і шлюзи контролює оператор.

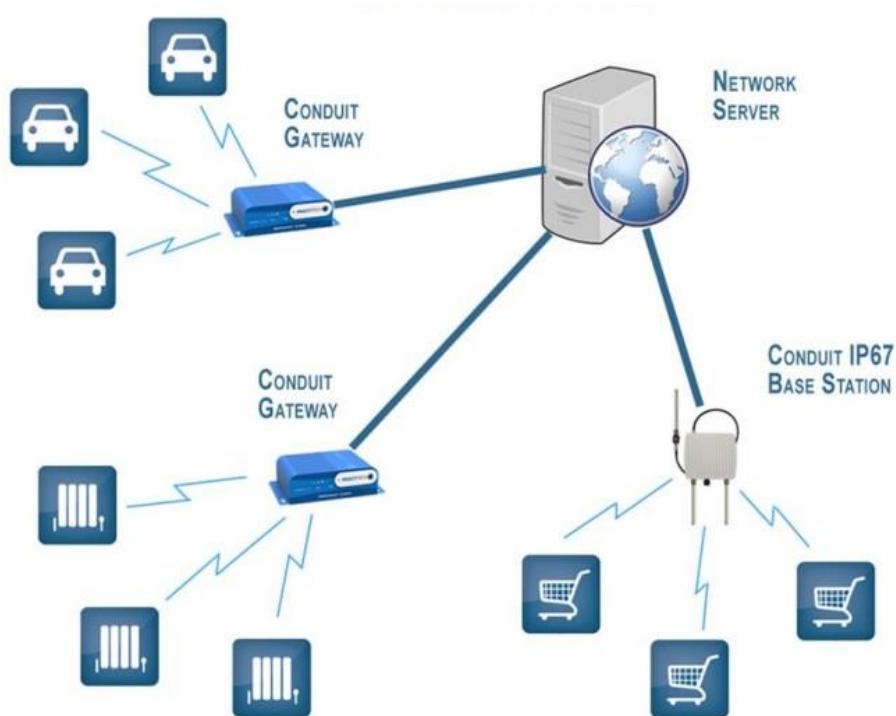


Рисунок 2.6 – Типова бездротова мережа LoRaWAN

LoRaWAN – це глобальна мережа. Тому головне завдання розробників забезпечити захист даних користувачів. Для цього проводиться кодування на декількох рівнях: на мережевому рівні, наскрізна безпека на рівні додатків.

Типова бездротова мережа LoRaWAN являє собою сукупність шлюзів (gateways), які пересилають повідомлення між кінцевими пристроями (end-devices) і центральним сервером (Network Server, NS), і характеризується «зоряною» топологією «star-of-stars» е додатків.

Шлюзи іноді називають концентраторами і базовими станціями, а кінцеві пристрої називаються – *nodes*. Зв'язок шлюзів з центральним сервером відбувається через стандартні IP-з'єднання і між шлюзами і кінцевими пристроями через бездротові з'єднання.

Весь процес призначений для низькошвидкісної бездротової передачі даних в неліцензійних діапазонах частот на великі відстані. Зв'язок є двостороннім, але основний обсяг даних передається від кінцевих пристроїв до шлюзів.

У мережі LoRaWAN передбачено використання трьох класів пристроїв. Вони використовуються для вирішення різних завдань в залежності від області застосування.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу А» (Bi-directional enddevices, Class A). Ці кінцеві пристрої застосовуються, коли потрібна мінімальна споживана потужність при передачі даних на сервер.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу Б» (Bi-directional enddevices, Class B). Відмітна особливість від класу А – додаткове вікно прийому. Його пристрій відкривається за розкладом. Це означає, що передача даних з сервера буде здійснюватися тільки тоді, коли кінцевий пристрій вийде на зв'язок. Складання розкладу для кінцевого пристрою здійснить синхронізацію по сигналу від шлюзу.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу С» (Bi-directional enddevices, Class C). У цих пристроїв максимальне вікно прийому. Вони призначені для отримання великого обсягу даних і мають майже безперервне вікно прийому

даних.

Таким чином, шлюз мережі обслуговує близько 5 тисяч кінцевих пристроїв.

Мережі LoRaWAN працюють в діапазоні частот, які не потребують ліцензування. Вони володіють високою завадостійкістю. Термін служби акумулятора близько 10 років. Одна базова станція обслуговує десятки тисяч пристроїв. У мережі багато переваг.

Термін служби батареї. Обмін даними відбувається асинхронно і тільки тоді коли є необхідність. У звичайних мережах пристрої «прокидаються», синхронізуються з мережею, перевіряють повідомлення. Весь процес призводить до витрати електроенергії і зносу акумулятора. Термін служби батареї в 3-5 разів вище, ніж в інших технологіях.

Ємність мережі. Для того щоб забезпечити оптимальну роботу мережі шлюз повинен мати дуже високу пропускну здатність або отримувати інформацію з величезного числа кінцевих пристроїв.

Велика ємність мережі LoRaWAN досягається за рахунок використання самоналаштовуваної швидкості передачі даних, а також за рахунок використання багатоканального передавача в шлюзі. Це забезпечує одночасне отримання повідомлень на кількох каналах. Шлюзи дають можливість по одному каналу одночасно отримувати інформацію з пристроїв з різною швидкістю передачі даних.

Адаптивна швидкість передачі даних також збільшує час роботи акумулятора. Мережі LoRaWAN розгортаються з мінімальною кількістю інфраструктури.

При збільшенні кількості пристроїв в мережі, можлива зміна швидкості передачі даних, а також збільшення кількості шлюзів.

Стійкість до радіоперешкод. Мережа має велику проникаючу здатність сигналу. Вона забезпечить стабільний зв'язок, де іншим технологіям не впоратися.

Модеми LoRa можуть пригнічувати перешкоди до 19, 5 дБ (Гаусова

фільтрація). Ця можливість придушення перешкод дозволить використовувати систему в сучасному великому місті (рисунок 2.7).

Сам термін «топология мережі» позначає спосіб з'єднання пристроїв в мережу. Інакше ще її називають структурою або конфігурацією мережі. Вона визначає місця розміщення пристроїв, спосіб прокладки кабелів, обладнання.

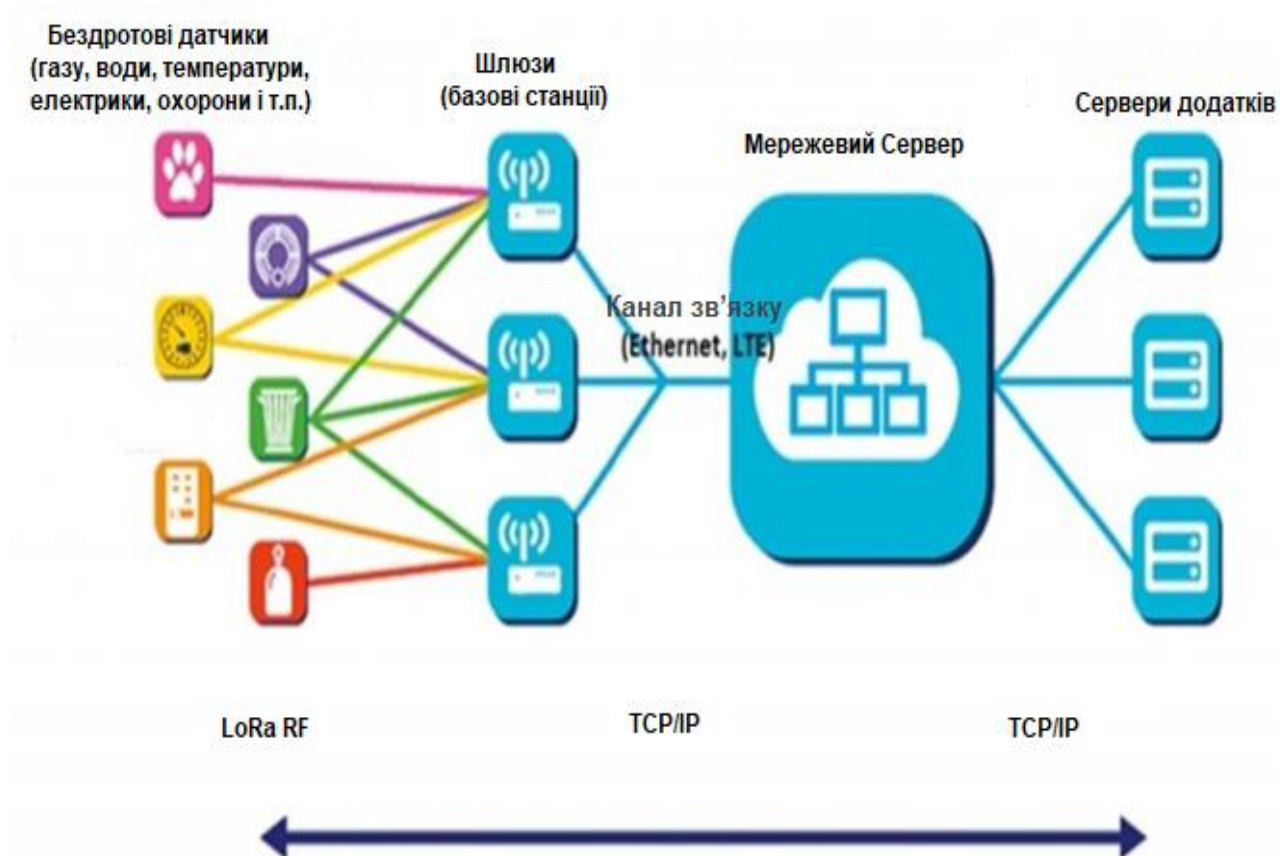


Рисунок 2.7 – Архітектура мереж LoRaWAN

На сучасному етапі використовують кілька топологій. Найбільш часто «шина», «кільце», «зірка». В архітектурі мереж LoRaWAN використовується топологія «зірка». Це топологія для локальної мережі, в якій кожен пристрій приєднано до центрального пристрою. При побудові мереж LoRaWAN ця топологія стала основною. Це сталося через те що дана топологія має багато переваг: якщо одна робоча станція виходить з ладу, то це не відіб'ється на роботі мережі; прекрасна масштабованість; досить легко вбудовується нове

обладнання.

У LoRaWAN-мережі шлюзи передають дані, які отримані з кінцевих пристроїв, на центральний сервер (мережну службу). Всі дані зашифровані. Кінцеві пристрої містять набір датчиків. Далі дані йдуть на сервер додатків, а звідти до кінцевого користувача. Кінцеві пристрої виконують функції вимірювання, управління і контролю.

Шлюз LoRaWAN або базова станція приймає дані від кінцевих пристроїв по радіоканалу. Кілька таких базових станцій забезпечать більшу зону покриття, а також передачу даних між сервером і кінцевими вузлами.

Сервер мережі потрібен для управління всією мережею. Він задає розклад, відповідає за прийом, зберігання і обробку даних, займається адаптацією швидкості. Сервер додатків зайнятий збором даних з кінцевих вузлів і веде віддалений контроль за їх роботою.

З розвитком технологій «Інтернету речей» ми все більше стикаємося з необхідністю впровадження найбільш ефективної бездротової мережі.

Існуючі технології не можуть забезпечити зростаючі потреби. Мета такої технології надання якісного зв'язку з передачі інформації. Важливим моментом є вибір обладнання. Чим правильніше підбір, тим надійніше функціонування мережі.

Так само важливий момент полягає в тому що потрібно передбачити подальшу модернізацію. Цей напрямок дуже популярний серед виробників технологій Інтернету речей.

Ринок пропозицій великий, про що вже говорилося вище. У нашій країні представником виробництва обладнання LoRaWAN є компанія «Оріон Система». Компанія виробляє радіомодулі, базові станції, а також розробляє програмне забезпечення Orion Network Server.

У роботі представлено обладнання, вироблене цією компанією і яке вже зарекомендувало себе.

Також представлено обладнання, вироблене іншими виробниками. Базові станції, виробництва ORION призначаються для передачі різних даних

по каналу радіозв'язку від датчиків, приладів обліку, вуличного і домашнього освітлення, приладів навігації, систем сигналізацій по протоколу LoRaWAN.

Інформація передається на центральний сервер. За допомогою налаштованої базової станції дуже легко наростити мережу. Потрібно просто налаштовану базову станцію підключити через інтернет.

Станція повинна займати домінуючу висоту. Якщо ще одна базова станція буде розташована вище, то станція буде простоювати і займати місце в ефірі. Так що встановлюючи базові станції необхідно розрахувати їх кількість на територію.

2.5 Сенсори і датчики

У сучасних пристроях датчики є невід'ємною частиною. З їх допомогою регулюються, управляються і вимірюються всі процеси. Датчики перетворюють будь-яку величину в потрібний сигнал. Величина може визначати:

- тиск;
- рух;
- швидкість;
- струм;
- витрату і ін.
- Вона перетворюється:
 - в оптичний;
 - електричний;
 - або ін сигнал, який зручний для вимірювання, перетворення і зберігання інформації.

Тобто датчик - це пристрій, який перетворює вхідну дію фізичної величини в сигнал, який зручний для подальшого використання.

Далі на рисунках 2.8 - 2.11 представлені датчики, які використовують для обслуговування мереж LoRaWAN.



Рисунок 2.8 – Датчик парковки



Рисунок 2.9 – Датчик вуличної освітленості



Рисунок 2.10 – Датчик обліку води



Рисунок 2.11 – Датчик передачі тиску

Сенсори LoRaWAN мають можливість передавати інформацію на великі відстані. Дальність в сприятливому середовищі досягає 100 кілометрів. Якщо ж це сільська місцевість або невелике місто, то до 15 км, а в сучасному мегаполісі – 2-3 км. Швидкість обміну даними від 300 біт/с до 100 Кбіт/с. Сенсори найбільш підходять для передачі малих обсягів інформації. До того ж вони споживають дуже мало енергії і це дає їм безперебійно працювати до 10 років, заживлюючись від 1 акумулятора.

Сенсори є пристроями для вимірювання фізичного або хімічного параметра. Вони перетворюють потрібний параметр в зручний для використання сигнал, частіше електричний. На рисунку 2.12 представлений принцип роботи GPS трекера. Це пристрій займає особливе місце серед способів отримання інформації. Прилад використовується в різних сферах. GPS трекер (маячок, мітка) легко визначить місце розташування і передасть координати на сайт сервера. За допомогою повідомлення на ваш телефон або додатку для смартфона можна без проблем дізнатися розташування об'єкта, якщо на ньому встановлений маячок. Трекер може виконувати і охоронну функцію. За його командою можна заблокувати двигун автомобіля в разі спроби викрадення.



Рисунок 2.12 – Принцип роботи GPS трекера

За сигналом з супутника пристрій визначить місце розташування об'єкта, передасть географічні координати з точністю до 10 метрів.

Пристрої для тестування мереж LoRaWAN™. Тестери здійснюють перевірку параметрів мереж. Як правило в них вбудований акумулятор. Тому вони можуть працювати без підживлення кілька годин. Тестер відправляє по мережі сигнал і мережа відповість скільки базових станцій прийняло цей сигнал, а так само відзвітує про якість сигналу. З його допомогою оптимально розміщуються базові станції при розгортанні мережі, здійснюється їх налаштування. Тестер швидко аналізує дані про роботу мережі, радіопакет в мережах, роботу датчиків. Вся інформація відображається на його екрані. Тестери можуть працювати в умовах вкрай високих і вкрай низьких температур.

2.6 Сфери застосування LoRaWAN

Вже зазначалося раніше, що мережі LoRaWAN вигідно виглядають на тлі інших мереж. Їх перевага: великий радіус дії і тривалий термін роботи вузлів без обслуговування. Застосування таких економічних мереж робить їх досить привабливими в багатьох сферах життя. На сучасному етапі LPWAN-мережі, що базуються на LoRa, стали досить поширеними в багатьох країнах світу. Їх використовують уже більш ніж в 40 країнах. Спектр застосування LoRaWAN досить великий. Найперспективнішим напрямком вважається «Розумне місто». З огляду на особливості технології, простір для застосування неосяжний. Урбанізація йде швидкими темпами, і проблеми міст збільшуються. Застосування технології в системі ЖКГ саме затребуване і перспективне. Бездротові інтелектуальні лічильники допоможуть організувати облік і допоможуть заощадити ресурси. З їх допомогою можна організувати моніторинг витоків води, газу, електроенергії, а також контролювати їх витрати. За допомогою мереж LoRaWAN можна управляти системою «Розумний будинок». За допомогою програми на смартфоні

власники і екстрені служби будуть моментально повідомлені про задимлення, пожежі та інші екстрені ситуації. Крім цього, технологія дозволяє подбас і про комфорт людей. Додаток «Розумний транспорт» дозволить заощадити масу часу, датчики встановлять сприятливу температуру повітря і вологість приміщень. LoRaWAN попередить про стан погоди і атмосферний тиск, камери відеоспостереження зроблять життя городян безпечнішим. Перспективно використовувати такі мережі і в промисловості. Мережі LoRaWAN можуть працювати в ізольованих умовах, тому вони можуть бути розгорнуті у віддалених районах, в морі. LoRaWAN - супутниковий зв'язок допоможе стежити за станом робочих систем і механізмів підприємства. Це допоможе уникнути простоїв через поломки і матеріальних втрат. У сільському господарстві датчики відслідковують стан ґрунту, вологість повітря і ґрунту, кількість застосовуваних добрив. Система сама займеться зрошенням висихаючої ділянки, причому уникне і перезволоження, що значно заощадить витрату води.

Безліч перспективних проєктів ще тільки чекають свого впровадження. Сфери застосування не обмежуються перерахованими. Зараз йде впровадження протоколу в медицині, транспорті, управлінні відходами, управлінні вуличним освітленням і в багатьох інших сферах життя.

З ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОТОКОЛУ МЕРЕЖІ LORAWAN В УКРАЇНІ

На сьогоднішній день в Україні активно йде формування ринку Інтернету речей. У всьому світі цей ринок буде великою статтею доходу в бюджеті країн. Експерти прогнозують, що до 2025 року в Україні кількість пристроїв, підключених до Інтернету речей, досягне 100 мільйонів штук.

З огляду на всі основні світові тренди, в нашій країні найактивнішим учасником формування ринку Internet речей є компанія АТ «Укртелеком». Компанія реалізує амбіційний проект з будівництва енергоефективної мережі LoRa. Для України це оптимальна технологія створення Розумних міст.

Чому вибрали саме цю технологію? LoRa є доступною, відкритою технологією. На ринку виробників мережевого устаткування досить багато економічних, просунутих пропозицій. Основні оператори зв'язку віддали їй свою перевагу. Впровадження даної технології не потребують великих інвестицій, виділення і перерозподілу додаткових частот, розбудови мережі мобільного зв'язку. Всі провідні виробники підтримують цей тренд, так що дефіциту обладнання або програмного забезпечення немає. Для нашої країни головна проблема – слабка цифровізація муніципального господарства.

Хоча останнім часом цій проблемі приділяють більше уваги. Для вирішення цього завдання запущений проект хмарного відеоспостереження. Проект передбачає розгортання мережі з підключенням 19 тисяч камер.

Це дасть можливість окремим людям отримати доступ до певних камер через мобільний додаток, а також правоохоронним органам для забезпечення безпеки міст. Далі планується впровадження відеоаналітики. Це програмна платформа буде розпізнавати обличчя в автоматичному режимі. Таке рішення можна вживати в освіті, медицині та інших областях. В рамках першого етапу ведеться будівництво найбільш масштабної в Україні енергоефективної мережі LPWAN на базі технології LORA в місті Києві.

Просування проекту відбувається досить успішно. На кінець 2019 року встановлено більше 400 базових станцій LORA в 9 містах країни (Львів, Вінниця, Київ, Дніпропетровськ, Харків, Одеса, Миколаїв, Чернігів, Суми).

Дія станцій охопила близько 7 тис. квадратних кілометрів міської території, а це 1.5 млн. квартир. Нова мережа закладена як основа для реалізації рішень «Розумного міста». На даному етапі передбачено автоматичне зняття показань з приладів обліку ресурсів і по «розумному освітленню».

Другий етап проекту буде спрямований на розвиток платформи Smart Connectivity з функціоналом SIM-management, connection-management, devicemanagement і іншим. На ринку вже доступні послуги M2M на базі мереж GSM / LTE. До цієї платформи можливе підключення різних пристроїв. Найбільш швидко відбувається впровадження розумних рішень в сфері транспорту. У 2018 році в Словенії, в місті Люблянні пройшов Європейський форум розумних міст Smart city-2018. За реалізацію транспортної реформи в Україні проголосувало більшість учасників форуму. У перерахованих вище містах України розгорнута система фото і відеофіксації. Всі порушники правил дорожнього руху знаходяться під контролем поліції. Система контролює 109 смуг руху, а в планах – збільшення кількості в 2 рази.

Формуючи підходи транспортної реформи, міська влада спиралися на передовий світовий досвід щодо проекту "Стійкий транспорт".

На сьогоднішній день в Україні запущено багато пілотних проектів із застосуванням технологій «Розумного міста».

3.1 Аналіз ситуації в системі ЖКГ України

Аналізуючи ситуацію в системі ЖКГ України, приходиш до невтішних висновків: за минулий рік борги населення нашої країни за комунальні послуги становлять близько 1.5 мільярда гривень. На сьогоднішній день

великі міста є основними боржниками. Величезні борги населення тягнуть за собою сумні наслідки. Неплатежі призводять до того, що одні постачальники послуг заборгували іншим (наприклад, електромереж), і ті не можуть виконати зобов'язання на увазі дефіциту бюджету. Стягування боргів в судовому порядку не призводить до покращення ситуації. Близько 33% теплових мереж країни знаходяться в комунальній власності і 67% в приватній. При цьому 63% мереж потребують ремонту або повної заміни. Що тягне за собою знос системи теплопостачання? Це збільшення втрат теплової енергії і як наслідок збільшення вартості послуг. Зростає невдоволення населення якістю послуг, що надаються. За даними статистичного комітету тільки 3% громадян задоволені якістю послуг, що надаються. Незважаючи на масову установку приладів обліку тепла (як правило на 1 будинок - 1 лічильник) проблема не вирішилася. Система погано забезпечена приладами обліку. Тому неможливо визначити фактичні витрати теплової енергії. Відсутність приладів обліку в кожній квартирі зрівняло всіх громадян в оплаті за послугу, незалежно від температури повітря в приміщенні. Третина теплової енергії виробляється малими котельнями. А такі теплоджерела виробляють ККД близько 60%. У них витрачається дуже багато палива, а також вони роблять шкідливі викиди в навколишнє середовище. Про наявність очисних споруд навіть не йдеться.

Про електропостачання: в електропостачанні найвищий відсоток мереж з усього комунального сектора, які потребують заміни та ремонту. Вимагають ремонту 73% мереж. Це 145 тисяч кілометрів ліній електропередач. Але ж крім цього зношені внутрішньобудинкові розподільні пристрої й підстанції. Рівень забезпеченості приладами обліку електроенергії досить високий, але через відсталість технологій та обладнання - великий рівень втрат електроенергії. Похибка приладів обліку допускається 20%, в той же час як нові цифрові прилади обліку мають похибку не більш ніж 3%. Звідси формуються втрати і висока вартість електроенергії.

У сфері газопостачання ситуація трохи краща. 34% протяжності мереж

в комунальній власності, 66% - у приватній. При цьому половина потребує заміни чи ремонту. Багато населених пунктів охоплені проектом по газифікації. Облік споживаних ресурсів ведеться не в повному обсязі. Лічильники застаріли, не сертифіковані і не точні. Слабо ведеться процес інспектування. У багатоквартирних будинках не можуть присікти користування природним газом у балонах. Це створює загрозу пожеж і тягне за собою людські жертви.

Вивчивши матеріал можна виділити основні проблеми комунальних служб:

- досить високий рівень зносу мереж і супутніх споруд;
- недостатнє забезпечення приладами обліку;
- технічна відсталість галузі;
- низькі обсяги фінансування, непривабливість для інвестицій.

В результаті компанії, що надають послуги, намагаються вирішити свої фінансові труднощі за рахунок справних платників, безперервно підвищуючи тарифи на послуги. Вартість послуг зросла приблизно на 7% за рік. Не можна сказати, що держава не переймається цією ситуацією і не надає підтримку підприємствам в сфері поставок послуг. За минулий рік обсяг інвестицій тільки комунальникам склав 391 млрд. грн. Але без модернізації та інвестицій неможливо змінити дану ситуацію. Так за останні роки зростання інвестицій в житлово-комунальний сектор знаходиться в постійному зростанні, в середньому на 24% в рік.

З впровадженням технологій «Інтернету речей» з'явився вихід із ситуації. Варіантом вирішення стала цифровізація всіх систем обліку споживання газу, води, електроенергії, тепла. За останній час в Україні провели колосальний обсяг робіт. Здійснено повне покриття міст 4G і LoraWan мережами. Замінили велику кількість лічильників обліку витрати води і передбачили можливість в подальшому підключити їх до автоматичної передачі даних. Проведена заміна лічильників обліку електроенергії також з можливістю підключення до мережі. Замінили точки вуличного освітлення з

системою автоматичного включення-виключення, що дозволить економно витрачати електроенергію. Цим не обмежилися і провели ремонт і модернізацію інфраструктури. Повністю замінено сотні кілометрів електричних кабелів, на вулицях і будинках міст встановили камери відеоспостереження, підключили систему контролю доступу, в тому числі ідентифікації осіб. Діє система екологічного контролю, система виявлення задимлення, система моніторингу громадського транспорту. Розробляється цифрова карта міст, на якій будуть відображатися всі свідчення з датчиків. Для зручності людей встановлюють теплі зупинки з автоматами підзарядки для гаджетів від сонячних батарей. Всі події фіксуються датчиками і сенсорами і виводяться на спеціальну відеостіну в ситуаційному центрі. Дана система не є системою тотального стеження, а є механізмом аналізу і вирішення ситуацій. Наприклад, якщо виникають проблеми з опаленням, значить різко зросте споживання електроенергії або збільшиться кількість тих хто звернувся в медичні заклади з простудними захворюваннями. Вся інформація надійде в цей центр, і будуть знайдені рішення щодо усунення збоїв.

Тепер контролери будуть рідше ходити по домівках і вручну збирати дані. Система сама буде все зчитувати. У багатоквартирних будинках і приватному секторі встановлять розумні лічильники для мешканців. Використовувана платформа володіє аналітикою на основі штучного інтелекту і визначає взаємозв'язок і взаємозалежність між самими різними сферами.

Центр збору та обробки інформації може зберігати і обробляти інформацію в режимі реального часу незалежно від виробника і типу пристроїв. Система також має можливість відключати боржників від споживання послуг. Система має багато переваг:

- не треба платити абонентську плату;
- помірна ціна;
- сумісність з усіма приладами обліку.



Рисунок 3.1 – Архітектури мережі LoRaWAN

В даний час до системи підключено десятки тисяч точок обліку. Лічильники з радіомодулями передають всі дані дистанційно (рисунок 3.2). Це хороша можливість відстежити витoki і аварії на лініях, так як надмірна витрата відразу фіксується системою. Система працює в будинках будь-якої конфігурації.

На прикладі міст України застосування технологій LoRa і використання протоколу LoRaWAN виявилось ефективним. Незважаючи на деякі труднощі впровадження проекту, проект зарекомендував себе з позитивного боку.



Рисунок 3.2 – Лічильники з радіомодулями

Має бути велика робота по розширенню спектру інновацій. Уже в даний час процес запущений. Показовим прикладом розвитку технологій IoT є поява вітчизняної компанії з виробництва обладнання та програмного забезпечення мереж LoRaWAN.

4 ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ LORAWAN

Технології бездротового зв'язку за пропускнуою спроможністю і дальністю передачі даних значно відрізняються один від одного (рисунок 4.1).

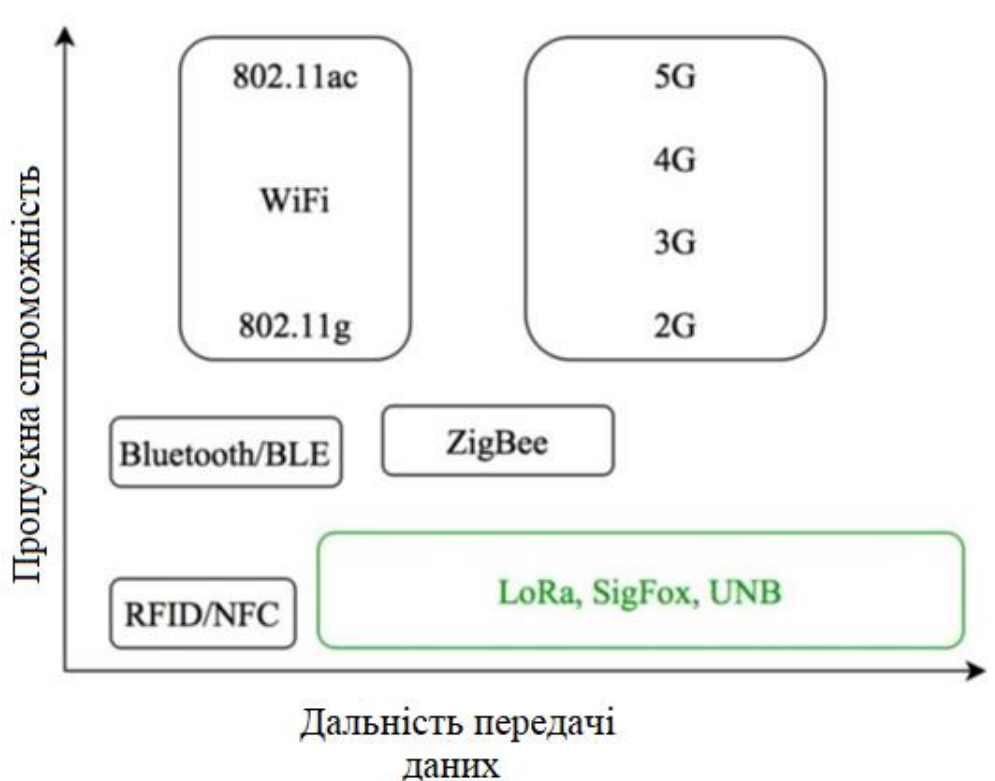


Рисунок 4.1 – Порівняння технологій бездротового зв'язку

Малою пропускнуою здатністю володіють технології RFID і NFC. Вони призначені для роботи на дуже близьких відстанях і передають мінімальну кількість даних. Технології засновані на застосуванні радіочастотної ідентифікації. В основному застосовуються в області контролю доступу та як спосіб безконтактних платежів через мобільні пристрої. Діапазон читання радіотега становить 10 метрів і швидкість передачі даних близько 400 кбіт / сек.

Технології Bluetooth і BTLE (Bluetooth Low Energy - Bluetooth з низьким споживанням енергії) володіють вже помітно більшою дальністю (до 20 метрів пристроїв класу A) і пропускнуною спроможністю (до 1 Мбіт / с).

Ще вище за шкалою пропускнуої здатності знаходиться технологія Wi-Fi. Принцип роботи бездротової мережі побудований на використанні радіохвиль, а сам обмін даними багато в чому нагадує переговори з використанням радіозв'язку. Пристрої Wi-Fi використовують частоти 2,4 ГГц або 5 ГГц, які істотно вище, що створює враження більшого числа даних.

Технології LoRa, SigFox (дуже схожа технологія з LoRa) та інші UNB технології (Ultra Narrow Band – понад вузькі смуги пропускання) володіють екстремально великою дальністю – до декількох десятків кілометрів, але пропускнуна здатність у них достатня мала.

Між далекобійними технологіями типу LoRa і високошвидкісною технологією Wi-Fi знаходяться всі технології мобільного зв'язку, які мають середню дальність і пристойну пропускну здатність.

Всі існуючі на сьогоднішній день технології зв'язку надають певний баланс з трьох бажаних властивостей:

- велика дальність зв'язку, висока пропускнуна здатність і низьке енергоспоживання. Мобільні телефони виявляють хорошу дальність і швидкість передачі даних, але споживають значну енергію;
- у LoRaWAN є чудова дальність і низьке енергоспоживання, але вона має малу пропускну здатність;
- у Wi-Fi пропускнуна здатність більше і споживає небагато енергії, але дальність у неї через це не велика.

4.1 Розрахунок ємності мережі LoRaWAN

Кожен пакет, що передається по мережі LoRaWAN, включає в себе преамбулу і блок даних фізичного рівня. Кількість символів в преамбулі n_{preamble} - є конфігурованим в діапазоні 6..65535.

Кількість символів в блоці даних фізичного рівня визначається наступною формулою:

$$\text{payloadSymbNb} = 8 + \text{ceil}\left(\frac{8 \cdot \text{PL} - 4 \cdot \text{SF} + 28 + 16 \cdot \text{CRC} - 20 \cdot \text{H}}{4 \cdot (\text{SF} - 2 \cdot \text{DE})}\right) \cdot (\text{CR} + 4),$$

де PL – кількість байт корисних даних в блоці фізичного рівня;

SF – коефіцієнт розширення спектру;

CRC – блок корисного навантаження, (CRC = 1 коли передача поля блоку корисного навантаження включена і CRC = 0 – коли вимкнена);

H – заголовок (H = 0, коли передача заголовку включена і H = 1 – коли заголовок відсутній);

DE – оптимізація для низьких швидкостей передачі (DE = 1, коли оптимізація для низьких швидкостей передачі включена і DE = 0, коли вимкнена);

ceil – операція округлення до найближчого більшого цілого числа.

Тривалість передачі преамбули визначається наступною формулою:

$$T_{\text{preamble}} = (n_{\text{preamble}} + 4.25) \cdot T_{\text{sym}},$$

Тривалість передачі блоку даних фізичного рівня визначається наступною формулою:

$$T_{\text{payload}} = \text{payloadSymbNb} \cdot T_{\text{sym}},$$

Тривалість передачі всього пакету по мережі LoRaWAN визначається наступною формулою:

$$T_{\text{packet}} = T_{\text{preamble}} + T_{\text{payload}},$$

Тривалість передачі одного символу визначається наступною формулою:

$$T_{\text{sym}} = \frac{2^{\text{SF}}}{W},$$

де W – смуга одного радіоканалу - 125кГц.

Розрахункові дані тривалості передачі одного символу зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахункові дані тривалості передачі одного символу

Найменування параметру	Розрахункові значення					
SF	7	8	8	10	11	12
$W, \text{кГц.}$	125	125	125	125	125	125
T_{sym}	1.024	2.048	4.096	8.192	16.384	32.768

Розрахункові дані передачі кінцевим пристроєм в UL - каналі пакета з корисним навантаженням представлені в таблиці 4.2. У таблиці 4.2 наведені результати розрахунку часу, необхідного для передачі одного UL-пакета (з корисним навантаженням 10 байт) між кінцевим пристроєм (End Node) і сервером додатків (Application Server).

Максимально можлива зміна потужності сигналу для успішного прийому приймачем називається енергетичним потенціалом лінії зв'язку (Link Budget). Це величина, яка визначає скільки енергії є у сигналу для подолання деякої відстані або проникнення крізь перешкоду на шляху поширення радіохвиль від передавача до приймача.

Таблиця 4.2 – Розрахункові дані передачі кінцевим пристроєм в UL - каналі пакета з корисним навантаженням

Найменування параметру	Розрахункові значення					
1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт розширення спектра, SF	7	8	8	10	11	12
Смуга радіоканалу, W, кГц.	125	125	125	125	125	125
Тривалість передачі 1-го символу, T_{sym}	1.024	2.048	4.096	8.192	16.384	32.768
Кількість символів в преамбулі, (6-65535)	6	6	6	6	6	6
Корисні дані, (FRMPayload)	0	0	0	0	0	0
Фізичний блок даних, (PHYPayload)	12	12	12	12	12	12
Прапор включення заголовка в пакет, H	1	1	1	1	1	1
Прапор включення оптимізації швидкостей, DE	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
Прапор включення CRC в пакет	1	1	1	1	1	1
Кількість символів в блоці даних, payloadSymNb	28	23	23	18	23	18
Тривалість передачі преамбули, Tpreamble,	10.50	20.99	41.98	83.97	167.94	335.87
Тривалість передачі блоку даних, Tpayload	28.67	47.10	94.21	147.46	294.91	589.82

Розглянемо процес поширення радіохвиль в просторі. Втрати на шляху поширення (FSPL - Free Space Path Loss) визначається формулою:

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi d f}{c}\right)^2, \quad (4.1)$$

де d – відстань в, м;

f – частота, Гц.

Основний висновок, який можна зробити з цієї формули, це те, що втрати на шляху поширення змінюються в залежності від відстані між передавачем і приймачем, причому залежність – квадратична.

Вищенаведена формула схожа з формулою для знаходження площі поверхні сфери, так як сигнал поширюється сферично. На рисунку 4.2 видно, що щільність сигналу, що проходить через фіксовану площу A , зменшується по

квадратичній залежності від відстані. На відстані r – площа поверхні даної частина сфери дорівнює A , але при відстані $3r$ – площа стає рівною $9A$, через що щільність сигналу зменшується в 9 разів.

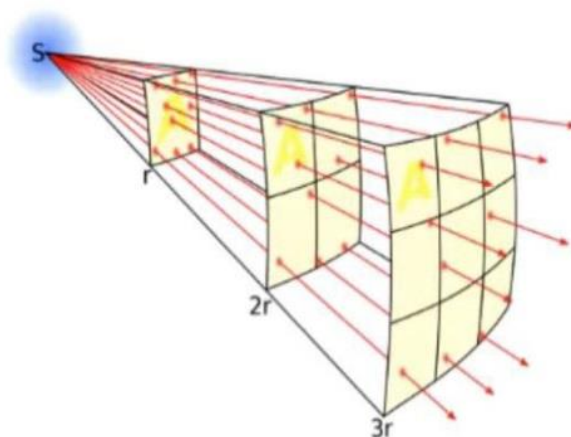


Рисунок 4.2 – Принцип розсіювання сигналу в постійній площі з збільшенням відстані

У формулі (4.1) втрати на шляху поширення залежать не тільки від відстані, але ще і від частоти. Дана залежність тільки побічно пов'язана з частотою сигналу. Зі збільшенням частоти, прилад змушений використовувати антену меншого розміру, так як довжина антени залежить від довжини хвилі, яка обернено пропорційна частоті. Але зменшуючи розмір антени, зменшується площа приймача, яка умовно позначена як A на рисунку 4.2.

Формула (4.2) зручна для асоціації геометричної форми хвилі з математичним представленням, але для розрахунку втрат на шляху поширення часті використовують її логарифмічну версію (dB - децибел), зважаючи на великі значення, одержуваних в мега- і гігагерцових діапазонах.

$$FSPL_{db} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 147.55,$$

З цієї формули випливають два цікавих висновків. Перше – подвоєння відстані призводить до зменшення потужності в 6dB. Друге – різниця у втратах на шляху поширення між 868МГц (LoRa) і 2.4ГГц (Wi-Fi) становить близько 9dB. Іншими словами – LoRa, використовуючи частоту 868 МГц, може покрити в півтора рази більше відстані в порівнянні з WiFi, яка використовує 2.4ГГц.

Відповідно до формули (4.1) – максимально можлива відстань передачі, при частоті 868 МГц і втрати на шляху поширення рівних 150dB, становить 800 км. Це означає, що в умовах, наближених до ідеальних, де відсутні шуми і перешкоди LoRa передавач може передавати дані на відстань до 800 км! На практиці такі відстані для технології неможливі з огляду на те, що на шляху від передавача до приймача завжди є перепони і об'єкти, які відображають, поглинають і заломлюють сигнал. Радіолінії в мережі LoRa забезпечують енергетичний бюджет для наведених вище швидкостей передачі даних з рівнем більш 160 дБ. Споживаний струм у абонентських пристроїв мережі LoRa становить 40 мА при передачі сигналу і 10 мА при прийомі, при напрузі живлення 3В. Енергоспоживання визначає тривалість роботи цих пристроїв без заміни батарей. LoRa має перевагу над іншими технологіями в сегменті передачі від 1 байта до 10 кбайт на годину. Розробка і впровадження технології LoRa для вузько смугової передачі даних з розширеною зоною покриття суттєво посилила конкуренцію на ринку бездротових технологій IoT для стільникових технологій, які використовують ліцензовані смуги частот і вимагають використання SIM-карт. В даний час LoRa має низку переваг за технічними параметрами, використанню неліцензійного спектра, простоті регулювання, відсутності необхідності отримання ліцензії на надання послуг передачі даних.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської атестаційної роботи був проведений огляд і аналіз технологій «Інтернету речей» і їх використання в «Розумному місті». Вивчаючи і аналізуючи теоретичні джерела, зроблені висновки, що застосування цих технологій надає величезні можливості для поліпшення умов життя людей, оптимізації всіх систем міського життя. Детально проаналізовані і вивчені сучасні технології «Інтернету речей», найбільш детально вивчений протокол LoRaWAN.

Архітектура мережі володіє найкращим співвідношенням між збільшенням терміну служби батареї IoT пристроїв, і забезпеченням дальності зв'язку. Протокол працює в неліцензованому діапазоні і в цьому його унікальність за вартістю і швидкістю впровадження. Детально вивчено досвід впровадження протоколу у великих містах, гідності та проблеми впровадження. Оцінено можливість впровадження технології у великих містах. Також проведено аналіз ефективності LoRa: поширення радіохвиль, чутливості приймача, енергетичного потенціалу лінії зв'язку для технології LoRa, ємності мережі LoRa. Розрахунки з'явилися доказом переваги даної технології в даний час і обґрунтувало застосування протоколу LoRaWAN. Зроблено висновки: для швидкого впровадження нових технологій необхідне нарощування обсягу інвестицій. Економічна ефективність повинна виправдовуватися результативністю і швидкістю впровадження. Також необхідна підготовка високоспеціалізованих кадрів у сфері IoT технологій. Завдяки впровадженню IoT проектів, економіка міста буде успішно розвиватися.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Токарев В.В. Разработка алгоритма мультиагентного управления группой мобильных «s-bot» / В. Н. Ткачев, В. В. Токарев, Г. И. Чурюмов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2019, Т. 21, № 1 – С.46-56.
2. Токарев В.В. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019, Т.3, №2 – С.22-27.
3. Volodymyr Tokariiev. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / Aleksandr Serkov, Valeri Kravets, Igor Yakovenko, Gennady Churyumov, Wang Nannan // The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2019 5-7 June, 2019, Leeds, United Kingdom. - Pp.26 - 29.
4. Tokariiev Volodymyr. Problem of self-organization of s-bot group movement in unorganized physical environment / Churymov Gennadiy, Tokariiev Volodymyr, Tkachov Vitalii // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: тези доповідей третьої міжн. наук. - техн. конф. 23 - 24 квітня 2019 р. - Харків, Україна. - С.16-17.
5. Volodymyr Tokariiev. Method for Ensuring Survivability of Flying Ad-hoc Network Based on Structural and Functional Reconfiguration / Genadiy Churyumov, Vitalii Tkachov, Volodymyr Tokariiev, Vladyslav Diachenko // Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2018) / Kyiv, Ukraine, November 27, 2018. – Pp. 64-76.
6. Volodymyr Tokariiev. Method of Data Collection in Wireless Sensor Networks Using Flying Ad Hoc Network / Vitalii Tkachov, Volodymyr Tokariiev, Yana Dukh, Vadym Volotka // 2018 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology, October 9-

12, 2018 Kharkiv, Ukraine. – Pp.197 - 201.

7. Tokarev, V. Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field / G. Churyumov, V. Tokarev, V. Tkachov, S. Partyka // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – 21-25 Aug. 2018. – Pp. 183-186.

8. Токарев В.В. Темпоральная модель адаптации интегрированной информационной системы путем реконфигурации логической структуры / О.Г. Лебедев, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев, Г.И. Чурюмов // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: тези доповідей другої міжн. наук. - техн. конф. 18 - 19 квітня 2018 р. - Харків, Україна. - С.6-7.

9. Tokarev V.V. Shortest path bridging method for the group of mobile technical objects/ V.M. Tkachov, V.V. Tokarev, G.I. Churyumov//Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали VIII - межд. наук. - техн. конф., 26 - 27 квітня 2018 р. - Харків, 2018р. - С.18.

10. Volodymyr V. Tokarev. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / Igor V. Ruban, Genadiy I. Churyumov, Volodymyr V. Tokarev, Vitaliy M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security (ITS 2017). – CEUR Workshop Processing. – Kyiv, Ukraine, November 30, 2017. – Pp. 105-111.

11. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного нвч випромінювання // Г.И. Чурюмов, В.В. Токарев, И.В. Рубан, В.Н. Ткачев и др. // Звіт про науково-дослідну роботу за договором від 20.09.2017 р. № Ф76/109-2017 (заключний). № держреєстрації 0117U003916. ХИРЭ. - 116с.

12. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією [Текст] : пат.

118921 Україна: МПК 2017.01, H04W 64/00, H04W 84/18 (2009.01), G06F 17/40 (2006.01) / Ткачов В.М., Токарев В.В., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – u2017 04085; заяв. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017, бюл. № 16. – 2017. – 5 с.

13. Токарев В.В. Мобильная подсистема «Мультикоптер-сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения BIG DATA / В.О. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачов, В.В. Токарев // Системи управління, навігації та зв'язку - 2017. - №4(44). – С.102-105.

14. Токарев В.В. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «мультикоптер - сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку - 2017. - №2(42). – С.154-157.

15. Лебедев О.Г., Карцев А.В. Застосування технології IoT для розробки концепцій розумного міста. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: тези доповідей 53 міжн. наук. інтер. конф., м. Тернопіль, 16 листопада 2020р. Тернопіль, С. 48.