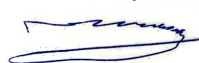


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

 С. А. Найда
(ініціали, прізвище)

« 10 » 06 2022 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка «Електронні системи
мультимедіа та засоби Інтернету речей»
(код та назва спеціальності)

на тему: Системи моніторингу сніжного покриву з використанням
радіочастотних технологій інтернету речей

Виконала: студентка IV курсу, групи ДВ-81
(шифр групи)

Тимощук Антоніна Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доцент каф.АМЕС, к.т.н., доцент Швайченко В.Б.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

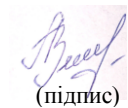
Консультант _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доцент каф.ЕПС, к.т.н., доцент Клен К.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій
дипломній роботі немає
запозичень з праць інших
авторів без відповідних
посилань.

Студентка


(підпис)

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

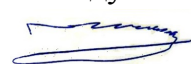
Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка “Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей”
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

 С. А. Найда
(ініціали, прізвище)

« 02 » 05 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Тимошук Антоніні Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій інтернету речей

керівник роботи Швайченко Володимир Борисович, к.т.н., доцент ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «6» червня 2022 р. №911-С

2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2022 р.
3. Вихідні дані до роботи: Модуль LoRaWAN ESP32 CAM з камерою OV2640, модуль передачі даних RFM95, RFM95W 868 МГц LORA SX1276, шлюз UG65 LoRaWAN, LTE NB-IoT-модуль SIM7020E, програмне забезпечення Things Board.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки : 1) Порівняння та аналіз технологій передачі даних для IoT (LoRa та NB-IoT); 2) Аналіз існуючих систем визначення рівня снігу; 3) Опис запропонованої дослідної системи визначення рівня снігу.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 1 презентація
-
6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.05.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	22.04.2022-02.05.2022	Виконано
2.	Написання перших двох розділів	02.05.2022-29.05.2022	Виконано
3.	Аналіз існуючих систем визначення рівня снігу	30.05.2022-02.06.2022	Виконано
4.	Опис запропонованої системи визначення рівня снігу	03.06.2022-10.06.2022	Виконано
5.	Оформлення розділів, висновків та переліку посилань на літературу.	10.06.2022	Виконано
6.	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	11.06.2022-14.06.2022	Виконано

Студентка



А.В. Тимошук

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи



В. Б. Швайченко

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

РЕФЕРАТ

Тимошук, А. В. Системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій інтернету речей : 171 Електроніка / Тимошук Антоніна.Володимирівна. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 78 с.

Дипломна робота: 78 с., 6 табл., 24 рис., 26 джерел.

Актуальність теми. У зимову пору року особливо актуально постає проблема своєчасного прибирання снігу, замети серйозно ускладнюють рух транспорту і пішоходів, з'являється потреба оповіщення віддалених ділянок. Тому тема системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій інтернету речей є актуальною.

Обґрунтування необхідності проведення дослідження. Існуючі системи визначення рівня снігу не задовольняють всім вимогам через завищену ціну, існуючі датчики можуть мати перешкоди і видавати не зовсім коректні значення, а використання камери допоможе відразу по зображенню визначити наявність такої перешкоди.

Об'єктом дослідження є процеси, що визначають глибину снігу.

Метою роботи є створення прототипу моделі системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій інтернету речей, а саме LoRaWAN та NB-IoT, з використанням камери, навченої розпізнавати кількість снігових опадів за допомогою штучного інтелекту.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нової моделі системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій інтернету речей з застосуванням простої відеокамери.

Результатом дипломної роботи є створена дослідна системи моніторингу сніжного покриву на із застосуванням відеокамери.

Практичним значенням результату є можливість використання створеного прототипу у моніторингу снігових заметів.

Структура та обсяг. Дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів та висновків.

У першому розділі проаналізовано системи інтернету речей, наведено принцип побудови, переваги та недоліки. Досліджено приклади застосування IoT в різних сферах життя людей, зокрема, в сільському господарстві та промисловості.

У другому розділі розглянуто дві технології передачі даних для Інтернету речей: LoRa та NB-IoT. Наведено їх принципи роботи, переваги та недоліки і зроблено порівняльний аналіз розглянутих технологій.

У третьому розділі описано існуючі системи визначення рівня снігу, а саме лазерна та ультразвукова.

У четвертому розділі запропоновано власну дослідну систему визначення рівня снігу з використанням радіочастотних технологій інтернету речей на основі камери. Описано структури систем, їх складові та принцип роботи, програмне забезпечення та програми штучного інтелекту.

У висновках описано аналіз отриманих результатів дипломної роботи.

Ключові слова: LoRa, NB-IoT, відеокамера, глибина снігу, датчики передавання даних, інтернет речей.

ABSTRACT

Tymoschuk, A. V. Snow cover monitoring systems using radio frequency Internet of Things technology : 171 Electronics / Tymoschuk Antonina. – Kyiv, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. – 86 p.

The volume of the thesis is 78 pages, 6 tables, 24 figures and 26 references.

Theme urgency. In the winter season, the problem of timely snow removal is especially relevant, snowdrifts seriously complicate the movement of vehicles and pedestrians, there is a need to warn remote areas. Therefore, the topic of snow cover monitoring system using radio frequency technologies of the Internet of Things is relevant.

Justification of the need for research. Existing snow level detection systems do not meet all the requirements due to the inflated price, existing sensors may have interference and give incorrect values, and the use of the camera will help to see immediately from the image whether there are any obstacles.

The object of research is systems that measure the depth of snow.

The aim of the work is creation of a prototype of a theoretical model of the snow cover monitoring system using radio frequency technologies of the Internet of Things, namely LoRaWAN and NB-IoT, using a camera.

The scientific novelty of the work is to develop a new system for monitoring snow cover using radio frequency technologies of the Internet of Things using a simple camera.

The result of the thesis is an experimental system of snow cover monitoring based on the camera.

The practical significance of the result is the possibility of using the created prototype in the monitoring of snow drifts.

Structure and volume. Thesis consists of an introduction, four chapters and conclusions.

The first section analyzes the Internet of Things, the principle of construction, advantages and disadvantages. Examples of the use of IoT in various spheres of human life, in particular, in agriculture and industry, have been studied.

The second section discusses two data technologies for the Internet of Things: LoRa and NB-IoT. Their principles of work, advantages and disadvantages are given and the comparative analysis of the considered technologies is made.

The third section describes the existing snow level detection systems, namely laser and ultrasonic.

The fourth section proposes its own research system for determining the level of snow using radio frequency technologies of the Internet of Things based on the camera. The structures of systems, their components and the principle of operation, software and artificial intelligence programs are described.

The conclusions describe the analysis of the results of the thesis.

Keywords: LoRa, NB-IoT, camcorder, snow depth, data sensors, internet of things.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
1. СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	11
1.1 Принципи побудови. Переваги та недоліки	11
1.2 Приклади використання.....	15
1.3 Використання систем IoT в сільському господарстві	19
1.4 Використання систем IoT в промисловості	23
Висновки до 1 розділу.....	27
2. ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ІОТ	29
2.1 LoRa. Принципи побудови. Переваги та недоліки	29
2.2 NB-IoT. Принципи побудови. Переваги та недоліки	37
2.3 Порівняльний аналіз розглянутих технологій	43
Висновки до 2 розділу.....	48
3. ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СНІГУ	49
3.1 Лазерна система вимірювання глибини снігу	49
3.2 Ультразвукова система вимірювання глибини снігу	52
Висновки до 3 розділу.....	57
4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СНІГУ	59
4.1 Вимоги до системи.....	59
4.2 Структура систем	59
4.3 Опис складових систем та принцип роботи	61
Висновки до 4 розділу.....	73
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ADR	–	Adaptive Data Rate
AES	–	Advanced Encryption Standard
ARM	–	Advanced Reduced instruction set computing Machine
FAO	–	The Food and Agriculture Organization
FSK	–	Frequency Shift Keying
GSM	–	Global System for Mobile Communications
IIoT	–	Industrial Internet of Things
IORT	–	Internet of robotic things
IoT	–	Internet of thing
LoRa	–	Long Range
LTE	–	Long Term Evolution
M2M	–	Machine-to-Machine
NB-IoT	–	Narrow Band Internet of Things
NFC	–	Near Field Communication
OSD	–	On-screen display
PHY	–	Physical layer
RFID	–	Radio Frequency IDentification
V2V	–	Vehicle-to-Vehicle

ВСТУП

Інтернет речей відноситься до мільярдів фізичних пристроїв по всьому світу, які прямо зараз підключені до Інтернету, збираючи та обмінюючись даними. Завдяки появі дешевих комп'ютерних чіпів і швидкому розповсюдженню безпроводових мереж навіть щось маленьке, як скріпка, або щось велике, як будинок, можна перетворити в частину Інтернету речей. Якщо з'єднати всі ці об'єкти і додати до них датчики - це додасть рівень цифрового інтелекту пристроям і дозволить передавати дані в режимі реального часу без залучення до цього процесу людини.

Одними з основних протоколів IoT є LoRaWAN та NB-IoT. Ці протоколи працюють на великих відстанях до 15 кілометрів, але не зовсім швидкі. Проте для більшості застосувань Інтернету речей саме це і потрібно. Чипи є недорогими, а термін служби пристрою IoT із чипом становить до 10 років від однієї батареї.

В даний час є досить серйозні труднощі з оцінкою сезонних снігових ресурсів у містах чи у горах. Необхідно вчасно повідомляти служби про проблеми заметілей, тому що це спричиняє труднощі мешканцям. У горах, де немає стільникового зв'язку, буває важко сповістити про насув лавин, а у містах чи селах з кращим рельєфами, де працює зв'язок, передавати дані потрібно на великі відстані, тому для цього і застосовують відповідні системи на основі протоколів LoRa та NB-IoT. Існуючі системи моніторингу снігу також мають свої недоліки у використанні, тому запропонована система є доречною.

1. СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

1.1 Принципи побудови. Переваги та недоліки

Термін Інтернет речей (Internet of things - IoT) був відомий останні кілька років. Останнім часом йому привертають більше уваги до розвитку безпроводних технологій. Основна ідея через різноманітність об'єктів, таких як RFID, NFC, розумні датчики, виконавчі механізми, мобільні телефони тощо, які можуть взаємодіяти, маючи окрему адресу.

Інтернет речей — це мережа фізичних об'єктів, оснащених датчиками, програмним забезпеченням та іншими технологіями. Підключені до Інтернету, ці «речі» можуть обмінюватися даними та інформацією в реальному часі з іншими підключеними пристроями та системами через мережі. Ці підключені пристрої поєднуються з автоматизованими системами для збору даних IoT, які можна проаналізувати, щоб допомогти у виконанні завдань або дізнатися, як покращити процес, з метою підвищення продуктивності, ефективності обслуговування тощо.

Головний фактор концепції IoT – це інтеграція різних технологій. Основна гіпотеза полягає в тому, щоб мати справу з розумним сенсором безпосередньо для доставки класу додатків без будь-яких зовнішніх факторів або участі людини.

У найближчі роки очікується, що IoT стане одним з основних вузлів між різними технологіями шляхом з'єднання розумних фізичних об'єктів разом і дозволяти різні програми для підтримки розумного рішення виготовлення.

Існують різні технології, схожі на RFID, зв'язок ближнього поля (NFC), міжмашинний зв'язок (M2M) і автомобільний зв'язок (V2V), які можуть бути використані для реалізації сучасної ідеї IoT.

Все більше об'єктів приєднується до Інтернету речей з метою надання інформації, підвищення промислової ефективності додатків, економії часу та викидів, покращення надання послуг населенню.

Життя потенційного користувача може стати легшим і комфортнішим, завдяки впровадженню різноманітних технологій на основі IoT. Технологію IoT можна знайти в дедалі більшій кількості місць, включаючи промисловість, що дозволяє концепції розумного будинку стати реальністю і навіть допомагати інфраструктурі цілого розумного міста. У бізнес-секторі, IoT має помітний прогрес у виробництві та галузі обслуговування, такі як кращі послуги, більше виробництва та вища якості. Незважаючи на численні позитивні сторони Інтернету речей, існують також побоювання щодо конфіденційності та безпеки наборів даних, IP-адрес тощо. Промисловість та уряди працюють над вирішенням цих проблем шляхом розробки міжнародних стандартів Інтернету речей [1].

Різні технології передбачають реалізацію ідеї IoT:

- радіочастотна ідентифікація (RFID);
- зв'язок ближнього поля (NFC);
- міжмашинний зв'язок (M2M);
- зв'язок між транспортним засобом (V2V).

1. Радіочастотна ідентифікація (RFID)

RFID є ключовим компонентом підключення IoT. Система RFID складається з одного або кількох зчитувачів і кілька RFID-міток. Він використовує радіочастотні електромагнітні поля для постачання вкладених до нього даних. Теги, до яких прикріплено дані, що зберігаються в електронному вигляді, можна зчитувати за допомогою RFID, коли справа доходить до читацьких коментарів. RFID дозволяє контролювати об'єкти в режимі реального часу, без RFID-мітки або етикетки з дуже маленьким мікрочіпом, приєднаним до антени в компактному пакеті. Ці мітки антени отримують сигнал від RFID і повертають його з додатковою інформацією. Hitachi має розроблений тег із розміром. Приходить RFID-мітка три конфігурації, пасивний активний тег зчитувача (PRAT), Пасивні теги Active

Reader (ARPT) і Активні теги Active Reader (ARAT). У ARAT зчитувач пасивний і отримує сигнал від мітки, що працює від батареї, та її дальність передачі залежить від 1-2000 футів архітектури. Найбільш часто використовувана конфігурація, ARPT не має бортових витратних матеріалів, тому енергія, яка споживається, необхідна для відправки даних із сигналу запиту, надісланого зчитувача RFID. Останній, ARAT, має обидва зчитувачі і теги активні, і теги, які пробуджуються читачем лише тоді, коли він відноситься до сфери читання. Передача може з'являтися в різних діапазонах частот, що охоплюють низькі частоти (НЧ) на 124-135 кГц до надвисокої частоти (НВЧ) при 860 -960 МГц. Електронний код продукту (EPC) – це один із них загальний наборів даних, що зберігаються в тегу. Об'єкти можуть бути відстеженими унікально, оскільки EPC закодовані на мітках RFID. Це містить 96-бітовий рядок даних. Перші біти цього рядка ідентифікують версію протоколу. Наступні 28 біт фіксуються для ідентифікації організацій обробки цього тега та ідентифікатор організації призначається EPC глобальний консорціум. Наступні 24 біти є об'єктним класом, визначає вид продукту. Далі останні 36 біт є а унікальний серійний номер певного тега. Порівняно з URL-адресою, весь електронний код продукту можна використовувати як ключ у глобальну базу даних, щоб однозначно ідентифікувати певний код.

2. Зв'язок ближнього поля (Near Field Communication)

Це схоже на конфігурацію RFID. NFC можна зробити орієнтовану на клієнта завдяки інтеграції зчитувача RFID в мобільних телефонах. Крім того, це тип радіозв'язку між мобільними пристроями NFC, з'єднавши їх разом домен іншого телефону має короткий радіус дії, мала потужність безпроводний зв'язок, який може передавати невеликі обсяги даних між ними два пристрої в межах діапазону, що лежать у певному домені. Перед фактичною відправкою даних не потрібно обробляти дані порівняння з Bluetooth. NFC працює в межах неліцензованих діапазонів радіочастот

13,56 МГц. Типовий діапазон NFC становить 20 метрів і в основному залежить від розміру антени в пристрої. Технологія NFC може відігравати важливу роль у майбутньому прогресі IoT. Це дозволить забезпечити необхідний інструмент для безпроводного підключення до іншого розумного об'єкту.

3. Міжмашинний зв'язок (M2M)

Це стосується зв'язку між комп'ютерами, вбудованих процесорів, розумних датчиків, приводів та мобільних пристроїв. Цей вид комунікації в наші дні зростає. M2M складається з п'яти частин, структура якого виглядає наступним чином: пристрій, здатний до відповідей на запит даних, що містяться в цьому пристрої. Обласна мережа M2M (домен пристрою): забезпечує підключення між пристроями M2M та шлюзами M2M. Шлюз M2M: використовує можливості M2M, щоб забезпечити взаємодію пристроїв M2M і підключення до мережі зв'язку. M2M Комунікаційні мережі (мережевий домен): зв'язок між шлюзом(ами) M2M та M2M додаток. Програма M2M містить рівень проміжного програмного забезпечення, де дані проходять через різні послуги прикладних програм і використовуються конкретні механізми обробки бізнесу. Він має застосування в різних галузях, таких як охорона здоров'я, розумні роботи, системи кібертранспорту (CTS), виробничі системи, технології розумного дому, та інтелектуальні мережі. Приклад зональної мережі M2M зазвичай включає технології персональних мереж, наприклад як надширококустовий і Bluetooth або локальні мережі.

4. Зв'язок між транспортними засобами (V2V)

Комунікації V2V включають транспортний засіб, який діє як вузол в мережі і зв'язок здійснюється за допомогою різних датчиків, з'єднаних в мережу ad-hoc. Інфраструктура цієї мережі досить складна, тому що не існує жодної фіксованої топології, якої слід дотримуватися, так як транспортний

засіб весь час переміщується з одного місця в інше. Є чотири ширші категорії цієї мережі, а саме безпека та зіткнення уникнення, управління транспортною інфраструктурою, транспортний засіб телематика, розважальні послуги та Інтернет зв'язність. Транспортні засоби спілкуються один з одним в діапазоні 1000 м. Є два види комунікацій: перший називають транспортним засобом, а інший — це пов'язані з дорожньою інфраструктурою. Інтелектуальна транспортна система (ITS) відноситься до системи автомобільного зв'язку. За архітектурним аспектом вона зосереджена переважно на протоколи маршрутизації, які мають фізичний рівень (PHY), середній Рівень MAC керування доступом і трансляція [3].

1.2 Приклади використання

Застосування IoT дуже різноманітні (рис. 1.1). Додатки Інтернет речей з кожним днем збільшуються в багатьох областях. Кожен день індивідуальний / промисловий змінює наші потреби та відповідно до потреб ми використовуємо Інтернет, а отже, Інтернет речей. Існує велика кількість застосувань IOT. У найближчі роки IOT буде більш революційним завдяки RFID, NFC, M2M та Комунікації V2V.



Рисунок 1.1. – Сфери застосування IoT [2]

Застосування радіочастотної ідентифікації (RFID):

1. Розумна парковка

Останнім часом до них підключаються розумні датчики паркування, паркувальне місце для виявлення прибуття та відбуття транспортних засобів. Це забезпечує ефективне рішення для управління, яке допомагає автомобілісту, щоб заощадити час і паливо. Він забезпечує автолюбителів точною інформацією про паркувальні місця та зберігає плавну систему руху. Це також дозволяє бронювання місця для паркування безпосередньо з автомобіля. Також може допомогти зменшити викиди CO₂ та зменшити рух транспорту.

2. Карти

Туристи доповнили карти з тегами, що дозволяє тегу NFC увімкнути телефони для пошуку інформації про місця підключення до веб-сервісу. Завдяки цьому можна буде шукати необхідну інформацію про готелі, ресторани, пам'ятники, театри і місцеві визначні пам'ятки. Це можна зробити за допомогою наведення ваш мобільний телефон над тегом у межах його діапазону читання, так що додаткова інформація про маркер може бути відображена на екрані.

3. Логістика

Завдяки впровадженню IoT в роздрібна мережу моніторингу має багато переваг: RFIC і NFIC можна використовувати для моніторингу кожної деталі, як-от деталі товару, закупівля сировини матеріалу, виробництво та продаж продукції післяпродажне обслуговування. За допомогою IoT можна відстежувати інвентаризацію в склад, щоб можна було мати інформацію про запаси, задоволеність клієнтів тощо, що призведе до збільшення продажів.

4. Збір даних

Якщо лікар дасть можливість взяти та передати дані, то це допомогло б зменшити їх, мінімізуючи помилка збору даних, автоматизований догляд та рутинний аудит. Це також дозволить передати попередню медичну карту пацієнтів, що призведе до точності лікування, що прописується лікарем.

5. Розумне водопостачання

Безпроводна мережева система дозволить контролювати водопостачання та допоможе забезпечити достатню кількість водопостачання для резидентів і бізнесу. Це також допоможе дізнатися, чи є втрата води. Таким чином, якщо відбувається витік води, то проблему буде виявлено і це допоможе в економії води. Токіо, наприклад, підрахував, що вони заощаджують 170 мільйонів доларів щороку шляхом раннього виявлення проблем витіку води. Система може повідомляти дані вимірювання витрати труби регулярно, а також надсилати автоматичні сповіщення про використання води за межами передбачуваного нормального діапазону. Це дозволяє розум міста, щоб визначити місце протікання труб і визначити пріоритети ремонт на основі кількості втрат води, яку можна запобігти.

6. Розумні будинки та офіси

Останнім часом життя людини оточують тисячі електронних гаджетів, такі як мікрохвильові печі, холодильники, обігрівачі, кондиціонери, вентилятори та освітлення. Шляхом встановлення приводів та датчиків - це допоможе використовувати достатню енергію і додати комфорту в життя. Ці датчики будуть виміряти зовнішню температуру і навіть можуть визначити мешканців у кімнатах і тим самим контролювати кількість нагрівання, охолодження та потоку світла тощо. Така практика б призводять до мінімізації витрат і збільшення енергозбереження .

Застосування доменів зв'язку M2M та V2V:

1. Промислове обслуговування

Необхідно стежити за температурою і вібраціями промислових двигунів і виявляти нерегулярність в ньому. Датчики, встановлені на цих машинах,

залишаються промисловим обслуговуванням, забезпечуючи ефективну роботу обладнання на заводі, чищення, змащення та ремонт. Це профілактичне обслуговування, як правило, є важливою частиною промислового виробничого поля. Компанії витрачають мільярди через неефективність управління технічного обслуговування. Це допоможе компаніям заощадити гроші та час.

2. Розумні автомобілі

Спілкування M2M та розумні автомобілі – найкращий спосіб мінімізувати аварії. Автопілот при керуванні автомобілем з дистанційним керуванням, щоб мінімізувати автомобільну аварію та зменшити людську помилку розроблено Університетом Макгілла. Ці автомобілі без водія забезпечать функціонування більше, ніж просто безпеку, вони може заощадити дорожочінний час, зменшити стрес від водіння тощо. Деякі дослідження, проведені Інститутом електротехніки і Інженери з електроніки (IEEE) показують, що до 2040 року без водія автомобілі становитимуть до 75% автомобілів на дорогах у всьому світі.

3. Розумна мережа

Розумна мережа – це електрична мережа, яка призначена для підвищення ефективності передачі електроенергії та якості обслуговування кінцевого користувача. Усі пристрої в цій мережі є підключений до датчика, який регулярно надсилає дані, пов'язані з енергоспоживання центрального сервера. Центральний сервер визначає схему споживання і кількість електроенергії. Це покращить виробництво для досягнення перехідного процесу енергетичні цілі.

Застосування технології безпроводного зв'язку (NFC):

1. Оплата

NFC переважно використовують для майже миттєвого встановлення з'єднання між двома гаджетами при підключенні їх по Bluetooth, а також для

відправлення невеликих пакетів даних, наприклад, транзакції з оплати чи зчитування міток.

2. Подорожі

NFC значно полегшує подорожі, може звести до мінімуму різні перевірки в ресторанах. Наприклад, якщо людина забронює номер у готелі, секретний цифровий ключ буде надано цій особі. Використовуючи цей секретний цифровий квиток NFC людина може піти в заброньований номер не витрачаючи час у кімнатах відпочинку [3].

1.3 Використання систем IoT в сільському господарстві

Зараз багато компаній зосереджені на питаннях IoT, які бачать у цій сфері потенціал майбутнього зростання. Це призводить до появи нових платформ і фірмових рішень. Сумісність таких пристроїв є проблематичною, що призводить до створення багатьох альянсів, які зосереджені на вирішенні проблем сумісності та намагаються застосувати свої рішення та технології для загального використання (Intel® Internet of Things Solution Alliance). Окрім комерційних рішень, існує багато спільнот, які намагаються скористатися перевагами програмного забезпечення з відкритим кодом та відкритих апаратних засобів.

Одним із прикладів використання відкритого апаратного та програмного забезпечення в Інтернеті речей у сільському господарстві є проєкт Farm Bot, який зосереджений на створенні людської автоматизованої машини точного землеробства з відкритим кодом (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Автоматизована машина точного землеробства

Більшість пристроїв Інтернету речей засновані на концепції комп'ютера з одною материнською платою, який має необхідну обчислювальну потужність, задовільні розміри, легко розширюється, використовує рішення з відкритим кодом та має низькі потреби в енергії. Ці пристрої, як правило, засновані на архітектурі процесора ARM (Advanced Reduced instruction set computing Machine). Для цих пристроїв існують спеціально розроблені версії операційних систем як для платформ Linux, так і для MS Windows.

Підключення до Інтернету є основною необхідністю належної роботи пристрою IoT, у багатьох випадках таке підключення є безпроводним. Технології підключення, які впроваджуються, використовують різні стандарти і можуть бути класифіковані на основі кількох різних параметрів.

Найпоширеніші класифікації безпроводних з'єднань засновані на:

- споживанні енергії;
- швидкості передачі даних висхідної лінії;
- швидкості передачі даних низхідної лінії зв'язку;
- розміру пакета;
- пристроїв на точку доступу;

- топології;
- діапазоні;
- потужності передачі кінцевого вузла;
- ширині каналу;
- смуги частот.

IoT складається з багатьох технологій, які дуже оригінально розроблені для різних цілей, таких як GSM, LTE, Bluetooth, Wi-Fi, але також використовує багато технологій і мереж спеціально призначені для використання в IoT. Це, наприклад, SigFox, LoRa WAN, IEEE P802.11ah (Wi-Fi низької потужності), Dash 7 Alliance Protocol 1.0, RPMA, nWave. Основною характеристикою мереж, спеціально розроблених для використання IoT, є їх низьке споживання енергії. За оцінками, нові технології зможуть працювати протягом багатьох років, а може й десятиліть, використовуючи лише простий акумулятор. Це тому, що на відміну від старих технологій, де передача даних була найбільш енерговитратною, нові пристрої мають набагато менше споживання в цій області, а найбільш енергозатратною частиною пристрою є сам датчик.

На рисунку 1.3 представлена топологія мережі IoT за технологією LoRaWAN. Дані отримуються з пристроїв за допомогою шлюзу, який пересилає їх у хмару, де вони зберігаються, а потім передаються кінцевим користувачам через API. Ця модель зв'язку дозволяє створити безпечну і відносно легко розширювану мережу. Основним недоліком такого типу рішення є затримка в часі, необхідна для збереження даних у хмарі після отримання (наприклад, від теплових датчиків) і кінцевого використання або відображення даних. Ця затримка може бути дуже обмеженою, а в деяких випадках може зробити це рішення повністю непридатним (безпека будівлі тощо).

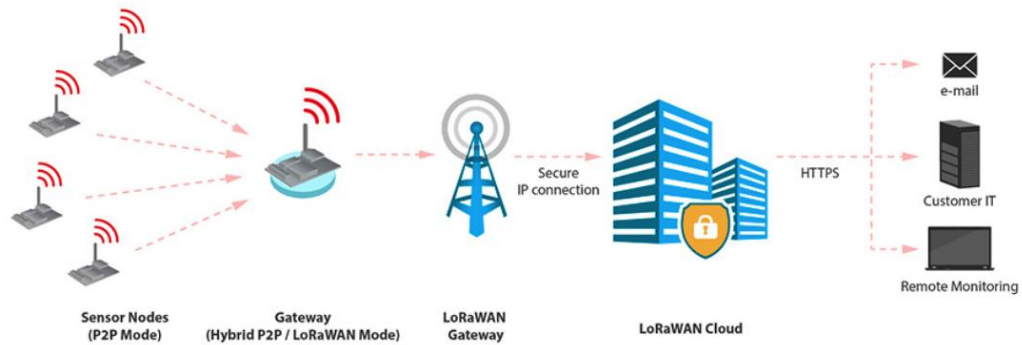


Рисунок 1.3 - Топологія мережі IoT за технологією LoRaWAN

Нинішні тенденції IoT:

- розвиток з мережі технології специфічні для IoT;
- безпеки;
- мінімізація споживання енергії (збільшення довговічності не підключених пристроїв);
- мініатюризація приладів;
- інтеграція пристрою (наприклад, під час потреби усунення виробництво, для переобладнання);
- створення зручних для користувача рішень для IoT керування та налаштування;
- розробка пристроїв на основі відкритих апаратних забезпечень.

Пристрої, які в даний час позначаються як IoT, є реалізованим сільським господарством протягом багатьох років. Існують переважно фірмові рішення, де пристрої інтегровані в сільськогосподарську техніку, і тому їх використання тісно пов'язане з виробником машини. Серйозний розвиток у цій сфері очікується найближчим часом через багато проектів, які зосереджені на відкритих рішеннях, які б усунули проблеми сумісності фірмових пристроїв [4].

1.4 Використання систем IoT в промисловості

Індустріальний Інтернет речей, відомий як IIoT (Industrial IoT) можна визначити як «машини, комп'ютери та люди, які забезпечують інтелектуальні промислові операції з використанням передової аналітики даних для трансформаційних результатів бізнесу»

1. Виробництво: найбільший ринок промислового Інтернету речей.

Це найбільша галузь з точки зору витрат на Інтернет речей (програмне забезпечення, апаратне забезпечення, підключення та послуги).

У 2020 році лише на виробничі операції витратили 10,5 мільярдів доларів США на загальну суму 198 мільярдів доларів, усі випадки використання Інтернету речей у виробництві разом узяті. З загальними витратами в \$198, виробництво в цілому є найбільшою галуззю в Інтернеті речей промислового IoT.

Згідно зі згаданим дослідженням International Data Corporation (IDC) - міжнародна компанія, постачальник маркетингових досліджень, консультаційних послуг, організатор конференцій в області інформаційних технологій, телекомунікацій і споживчої електроніки, опублікованим на початку 2021 року, два інших варіанти використання Інтернету речей, які є важливими у виробництві з точки зору витрат, крім операцій, — це управління виробничими активами, технічне обслуговування та обслуговування на місцях.

2. Промислова ділянка у зв'язаній логістиці та транспортування

Транспорт є другим за величиною ринком з точки зору витрат в Інтернеті речей. Транспортно-логістичні компанії (T&L) прагнуть просунутися вгору по ланцюжку створення вартості за допомогою передових комунікаційних систем і систем моніторингу, що використовуються за допомогою IoT.

Витрати на транспортний ринок склали 78 мільярдів доларів, і він готовий продовжувати швидко зростати, як і у випадку з виробничим ринком IoT.

Основним випадком використання в транспорті є моніторинг вантажів, що підходить для значної більшості загальних витрат на IoT на транспортування на загальну суму 55,9 мільярдів доларів і залишається ключовим фактором на ринку.

3. Промисловий IoT в енергетиці та комунальних послугах

Нафта і газ, розумна мережа та багато інших варіантів розвитку та використання на ринку енергії та комунальних послуг загалом також є основною частиною ринку промислового Інтернету речей.

Лише комунальні послуги є третьою галуззю в контексті витрат на Інтернет речей, яка досягла в 2020 році 69 мільярдів доларів США. Тут також є одна сфера інвестицій, яка чітко виділяється: розумна мережа для електроенергії та газ, який у 2020 році склав колосальні 57,8 мільярдів доларів.

Промисловий Інтернет речей відіграє ключову роль у загальній цифровій трансформації до цифрового ланцюга поставок у багатьох частинах і компонентів ланцюга створення вартості великої екосистеми, яка, очевидно, також торкається аспектів роздрібної торгівлі/споживачів.

Однак, з точки зору чисто промислового Інтернету, розумні мережі є ключовими для постачання та передачі/розподілу мережі. Інші включають можливості підвищення ефективності, технічного обслуговування та керування даними заводу в результаті інтелектуальних мереж та операцій та послуг із підтримкою IoT.

4. Промисловий Інтернет речей в інших галузях

Технічне обслуговування та послуги, що надаються за допомогою IIoT, є двома ключовими областями практично у всіх галузях промислового Інтернету.

Прогнозне обслуговування, послуги з підтримкою даних і віддалені можливості в кількох областях, від обслуговування до контролю та

оптимізації операцій, також повертаються в багатьох інших випадках використання ПоТ в таких галузях, як охорона здоров'я (віддалений моніторинг здоров'я, технічне обслуговування обладнання тощо), авіація, робототехніка та роботи, нафта і газ, видобуток, метали тощо.

Залежно від галузевої структури, ширший контекст ПоТ також часто зустрічається використовується для випадків використання в таких сферах, як сільське господарство, розумні міста тощо.

Тобто, початковою метою проектів ПоТ зазвичай є автоматизація, економія витрат та оптимізація, часто досить відокремленими та випадковими способами, і як важливо мати більш цілісне уявлення та стратегію, завдяки чому відбувається зсув у бік інновацій, кращі послуги, орієнтовані на клієнта, використання нових джерел доходів від даних, створення цінних екосистем і цілей трансформації цифрових технологій в масштабах всієї екосистеми.

Як уже згадувалося, промисловий Інтернет речей дає змогу галузям переосмислити бізнес-моделі. Створення корисної інформації та знань із пристроїв ПоТ, наприклад, дозволяє створити екосистему обміну даними з новими потоками доходу та партнерствами.

Навпаки, агреговані дані в режимі реального часу від датчиків та джерел інформації, з якими можна «консультуватися» за допомогою вбудованих можливостей, також призводять до розробки роботів, які можуть виконувати конкретні дії завдяки цим вбудованим можливостям, завдяки яким ПоТ стає драйвером пристроїв для прийняття рішень. Це вже з'являється на деяких складах і називається Інтернетом роботизованих речей (IORT). Він використовується в контексті Інтернету речей, а також у контексті споживчого Інтернету речей.

Використання промислового Інтернету речей у ширшому контексті в кінцевому підсумку веде від конкретних проектів і «розумних» випадків використання ПоТ до підключених екосистем.

Ланцюги поставок стають зв'язаними ланцюгами поставок, фабрики стають пов'язаними мануфактурами тощо. У цьому сенсі зв'язність простягається далеко за межі простої зв'язності та результатів, керованих даними – пристроїв і промислових активів, до більш пов'язаної екосистеми, завдяки чому розширене підприємство набуває нового значення.

Незважаючи на зв'язок із мануфактурами, виробництвом і важкими галузями промисловості, такими як гірничодобувна, авіаційна, нафто-газова, оборонна, енергетика, електроенергетика та енергетика в цілому, як уже згадувалося, IoT часто також використовується для опису кількох програм Інтернету речей за межами споживчого.

Випадки використання IoT та бізнес-контекстів:

- Розумні заводські програми та розумне складування.
- Прогнозне та дистанційне обслуговування.
- Моніторинг вантажів, вантажів і перевезень.
- Підключена логістика.
- Розумні вимірювання та розумна мережа.
- Розумні екологічні рішення.
- Програми для розумного міста.
- Розумне землеробство та моніторинг худоби.
- Системи промислової безпеки.
- Оптимізація споживання енергії.
- Промислове опалення, вентиляція та кондиціонування.
- Моніторинг виробничого обладнання.
- Відстеження активів і розумна логістика.
- Моніторинг озону, газу та температури в промислових середовищах.
- Контроль за безпекою та здоров'ям працівників.
- Управління ефективністю активів.

- Випадки використання дистанційного обслуговування, польового обслуговування, дистанційного обслуговування та контролю.

Головні переваги промислового Інтернету речей:

- Підвищення ефективності роботи.
- Підвищення продуктивності.
- Створення нових можливостей для бізнесу.
- Зменшення часу простою.
- Максимальне використання активів [5].

Висновки до 1 розділу

Технології Інтернет речей можуть обмінювати даними та інформацією з іншими пристроями в режимі реального часу через підключення до мережі Інтернет. Пристрої поєднуються з автоматизованими системами збору даних для подальшого аналізу і виконання відповідних завдань без участі людини. Завдяки впровадження різноманітних технологій на основі Інтернет речей життя користувачів стає легшим і комфортнішим, але існують деякі побоювання щодо конфіденційності, безпеки даних та IP-адрес тощо, але промисловість і уряди працюють над вирішенням цих проблем шляхом розробки міжнародних стандартів.

У наш час технології IoT, такі як RFID, NFC, M2M, V2V, глибоко проникнули в повсякденне життя. Технології IoT можна знайти в дедалі більшій кількості місць, включаючи промисловість, що дозволяє концепції розумного будинку стати реальністю і навіть допомагати інфраструктурі цілого міста. Основні сфери застосування радіочастотної ідентифікації (RFID) це: розумні парковки, карти з тегами, логістика, збір даних, розумне водопостачання, розумні будинки і офіси. Домени зв'язку M2M (міжмашинний) та V2V (між транспортними засобами) необхідні у промисловому обслуговуванні, розумних автомобілях та мережах.

Безпроводний зв'язок NFC найчастіше використовується для миттєвої безконтактної оплати.

Зараз багато компаній зосереджені на питаннях IoT і бачать у сфері сільського господарства потенціал майбутнього зростання. Існують переважно фірмові рішення, де пристрої IoT об'єднані з сільськогосподарською технікою, їх використання є проблематичним. Окрім комерційних рішень, існує багато спільнот, які намагаються скористатися перевагами програмного забезпечення з відкритим кодом, прикладом якого є проєкт Farm Bot, який зосереджений на створенні людської автоматизованої машини точного землеробства з відкритим кодом. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), сільське господарство має збільшити продуктивність на 70% до 2050 року, щоб задовольнити прогнозоване зростання населення.

Промисловий Інтернет речей (IIoT) об'єднує машини, хмарні обчислення, аналітику і співробітників, щоб підвищити ефективність промислових процесів. Завдяки IIoT промислові компанії можуть оцифровувати процеси, модифікувати бізнес-моделі, а також підвищувати продуктивність і ефективність, одночасно скорочуючи витрати.

2. ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ІОТ

2.1 LoRa. Принципи побудови. Переваги та недоліки

LoRa (Long Range) — це нове сімейство безпроводових підключень IoT, яке почало розвиватися нещодавно і набирає популярності у вбудованих системах з низьким рівнем живлення, що працюють від батареї, яким потрібно передавати невелику кількість даних через короткі проміжки часу на великі відстані. Це було стандартизовано та розширено шляхом додавання до нього рівня MAC LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), що визначає архітектуру мережі та протокол зв'язку. Специфікація LoRaWAN стандартизована та розроблена альянсом LoRa підключена до якомога більшої кількості вузлів і співпрацює один з одним для маршрутизації даних. У сітчастій мережі кожен вузол отримує та пересилає дані від іншого вузла, які можуть бути для нього невідповідними. Це значно збільшує діапазон, але також додає складності та зменшує термін служби батареї. З іншого боку, у топології «зірка» міст або комутатори безпосередньо підключені до невеликої підмножини мостів або комутаторів, що знижує складність мережі. Вони забезпечують ієрархічну інфраструктуру. LoRaWAN заснований на топології. Вони значно зменшують енергоспоживання та час автономної роботи в порівнянні зі звичайною сітчастою мережею.

Мережа LoRa складається з чотирьох основних елементів (рис. 2.1):

- вузол LoRa або кінцеві пристрої;
- шлюзи;
- мережевий сервер;
- сервер додатків [6];

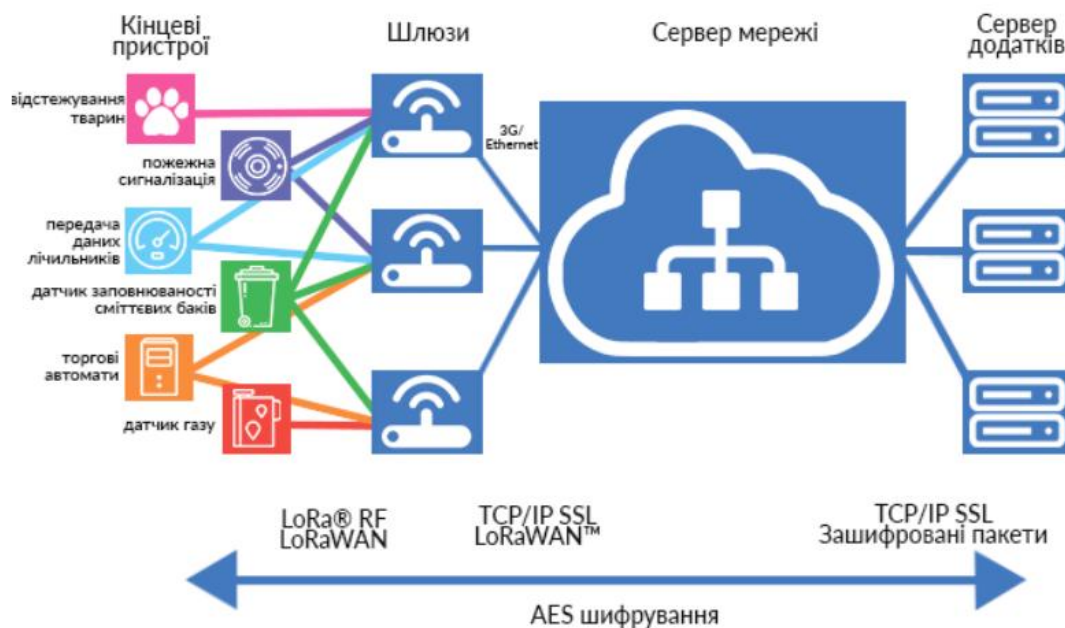


Рисунок 2.1 – Архітектура мережі LoRaWAN [7]

1. Вузол або кінцеві пристрої LoRa.

Кінцеві точки або вузли LoRa включають датчики або програми, в яких відбувається виявлення та керування, наприклад датчики, пристрої відстеження тощо. Це серце вбудованої системи. До них відносяться лічильник води, димовий сигналізатор, моніторинг газу та подібні програми.

2. Шлюзи.

Шлюз містить елемент мережі LoRa. Існує ряд шлюзів. Кожен шлюз підключений до кожного кінцевого вузла. Дані, передані вузлом, надсилаються до всіх шлюзів, і кожен шлюз, який отримує сигнал, передає його на хмарний мережевий сервер через стільниковий зв'язок, Інтернет, супутник або Wi-Fi.

Є 2 види шлюзів: мікро- або піко-. Мікрошлюзи використовуються в загальнодоступних мережах для забезпечення міського або загальнонаціонального покриття, тоді як шлюз піко використовується у важкодоступних місцях з щільністю для покращення якості обслуговування та пропускну здатності мережі. Мікрошлюз забезпечує високе покриття. У

базовій станції LoRa використовуються як всенаправлені, так і багатосекторні антени.

3. Мережевий сервер.

Мережевий сервер володіє всім інтелектом. Дані отримані з різних шлюзів фільтруються, перевіряються на безпеку, виконуються адаптивні швидкості передачі даних тощо, а підтвердження надсилається на шлюзи. Мережевий сервер — це той, хто визначає, чи призначені отримані дані для будь-якого сервера додатків і, таким чином, надсилаються на призначений сервер додатків за допомогою певного зворотного зв'язку.

4. Сервер додатків.

Отримує призначені дані від мережевого сервера [6].

Серед особливостей цієї технології виокремлюється декілька основних характеристик, які заслуговують на окрему увагу.

1. Далека дальність.

Як випливає з назви, LoRa — це протокол великої дії. Він здатний передавати дані на великі відстані. Один шлюз може охопити площу в сто кілометрів. Велика дальність дії технології LoRa пояснюється її бюджетом каналу та модуляцією розширеного спектру лінійної частотної модуляції, яку вона використовує.

- Розширений спектр лінійної частоти модуляції.

LoRa використовує техніку модуляції розширеного спектру. Ця техніка використовується у військових і космічних комунікаціях протягом десятиліть завдяки своїй міцній природі та дальності. Зараз він використовується комерційно в комунікації LoRa. Він також забезпечує імунітет до багатопроменевості та згасання. Розширений спектр лінійної частоти модуляції має низьку потребу в потужності передачі. Лінійна частота модуляції - це сигнал, частота якого з часом збільшується або зменшується. Таким чином, сигнал лінійної частоти модуляції може бути підвищеним і низьким.

Під час модуляції розширеного спектру сигнал бажаних даних помножується на сигнал модуляції. Це розширює смугу пропускання за межі пропускної здатності вихідного сигналу даних. На кінці приймача прийнятий сигнал повторно помножується на локально згенеровану копію сигналу модуляції. Це стискає модульований сигнал назад до вихідної пропускної здатності і зменшує шум і завади.

Швидкість модуляції LoRa може бути виражена як:

$$R_b = SF * \frac{1}{\frac{2SF}{BW}} \text{ bit/sec} , \quad (1)$$

де, R_b - це швидкість передачі, SF - коефіцієнт розповсюдження, BW - пропускна здатність.

Збільшення смуги пропускання сигналу дає безпомилкові дані, які передаються на великі відстані. Це можна візуалізувати, порівнявши чутливість модульованого сигналу LoRa з модуляційним сигналом клавіші зсуву частоти. Чутливість модуляційного сигналу з розширеним спектром лінійної частотної модуляції набагато вища, ніж чутливість модуляції клавіші зсуву частоти.

- Бюджет каналів.

Технологія LoRa має більший бюджет, ніж будь-які інші існуючі технології. Зв'язок бюджету значною мірою враховує його великий діапазон.

Бюджет каналів – це облік усіх прибутків і втрат у системі передачі. Бюджет каналів мережі можна виразити як:

$$R_X(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{SYSTEM}(dB) - L_{SYSTEM}(dB) - L_{CHANNEL}(dB) - M(dB) , \quad (2)$$

де, $P_{RX}(dBm)$ - отримана потужність, $P_{TX}(dBm)$ – передана потужність, $G_{SYSTEM}(dB)$ – посилення системи, такі як ті, що пов'язані з спрямованими антенами тощо, $L_{SYSTEM}(dB)$ – втрати, пов'язані з такою системою, як лінії живлення, антени тощо, $L_{CHANNEL}(dB)$ - втрати через канал поширення, $M(dB)$ - згасаючий запас.

Бюджет каналу - це потужність, що отримується на стороні приймача. Бюджет посилення LoRa є високим, що, у свою чергу, пояснює його високу чутливість. Більшість технологій, що використовуються для підключення в IoT, використовують модуляцію частотного зсуву (FSK). Коли швидкість передачі даних сигналу LoRa еквівалентна чотирикратній швидкості передачі даних сигналу клавiшi зсуву частоти (FSK), сигнал LoRa має подібну або однакову чутливість. Таким чином, LoRa може подолати більшу відстань, ніж будь-яка інша техніка.

2. Термін служби батареї.

Найважливішим критерієм вбудованого пристрою є термін служби акумулятора. Більшості вбудованих пристроїв потрібно зв'язуватися з іншими пристроями поблизу або далеко. Це споживає велику потужність. Усі вбудовані пристрої в основному працюють від акумулятора. Таким чином, суттєвою вимогою до цих вбудованих пристроїв є термін служби батареї. Більшість протоколів або методів, які використовуються для створення вбудованих пристроїв IoT, споживають дуже високу потужність, що скорочує термін служби акумулятора. LoRa оптимізує споживання батареї в пристрої та найбільше підходить для вбудованих пристроїв, які працюють від батареї. LoRa споживає найменшу електроенергію в порівнянні з усіма існуючими технологіями.

Низьке споживання батареї в мережах LoRa пояснюється асинхронним зв'язком вузлів мережі. У мережі LoRa вузли спілкуються лише тоді, коли у них є будь-які дані для надсилання, незалежно від того, чи є вони енергійними чи запланованими. Вони використовують метод ALOHA. У

методі ALOHA кадр надсилається лише тоді, коли є дані для відправки, інакше передача не відбувається. Якщо кадр отримано успішно, надсилається інший кадр або той самий кадр повторно передається. Метод ALOHA заощаджує час роботи акумулятора, оскільки мережа здійснює передачу, коли є дані. Інакше він не здійснює жодної передачі. Крім того, більшість інших технологій мають сітчасту мережу або використовують синхронний зв'язок, при якому вузли повинні час від часу прокидатися та синхронізуватися. Це споживає більше енергії. У недавньому дослідженні було показано, що технологія LoRa в 4-5 разів краща за будь-яку іншу існуючу технологію.

3. Пропускна здатність мережі.

Мережа «зірка» використовується в мережі LoRa. LoRa мережевий шлюз отримує дані від великої кількості вузлів. Для цього шлюз повинен мати високу пропускну здатність. Це досягається за рахунок адаптивної швидкості передачі даних і багатоканального трансивера на шлюзі.

Адаптивна швидкість передачі (Adaptive Data Rate) - це механізм оптимізації швидкості передачі даних, ефірного часу та споживання енергії в мережі. Статичні вузли використовують ADR (Adaptive Data Rate). Чи використовувати ADR чи ні, вирішує сам вузол. У ADR швидкість передачі даних вузла керується мережею. Коли вузол вирішує, що він хоче використовувати ADR, він встановлює біт ADR в 1 в передачі висхідної лінії. Коли мережа отримує сигнал про те, що вузол хоче використовувати ADR, він збирає співвідношення сигнал/шум, швидкість передачі даних, кількість шлюзів, які отримують дані, і силу сигналу 20-річної передачі від конкретного вузла. На основі цих даних мережа вирішує, наскільки вона може збільшити швидкість передачі даних або зменшити потужність передачі. Це зменшує час ефіру та оптимізує потужність передачі. Можна також сказати, що це допомагає зменшити споживання батареї. Все це робиться за допомогою алгоритму ADR. Вузол, який в один момент є

статичним, а в інший — мобільним. Отже, алгоритм ADR також може використовуватися мобільним вузлом, який припаркований у фіксованому місці в даний момент часу.

Багатоканальний багатомодемний трансивер дозволяє одночасно отримувати повідомлення від кількох шлюзів [6].

4. Безпека.

Сучасна мережева технологія забезпечує повну безпеку та захист переданих користувачами даних, що забезпечуються шифруванням AES на декількох рівнях:

- на мережевому рівні з використанням унікального ключа мережі (Unique Network key, EUI64);
- наскрізну безпеку на рівні додатків за допомогою унікального ключа додатки (Unique Application key, EUI64);
- спеціального ключа пристрою (Device specific key, EUI128).

Алгоритми AES використовуються для забезпечення аутентифікації та цілісності пакетів на мережевому сервері та наскрізного шифрування на сервері додатків. Надаючи ці два рівня, стає можливим реалізувати «розраховані на багато користувачів» загальні мережі без того, щоб оператор мережі мав видимість даних корисного навантаження користувачів [7].

5. Три класи пристроїв.

Розрізняються три основні класи кінцевих пристроїв, які обслуговують різні додатки. Кожен із них має певні відмінності й особливості, а також пред'являє різні вимоги.

КЛАС А

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу А» (Bi-directional end-devices, Class A). Пристрої цього класу застосовуються, коли необхідна мінімальна споживана потужність із перевагою передачі даних до сервера. Ініціатором сеансу зв'язку виступає кінцевий вузол, відправляючи пакет із необхідними

даними, а потім виділяє два вікна, у перебігу яких чекає даних від сервера. Таким чином, передача даних від сервера можлива тільки після виходу на зв'язок кінцевого пристрою.

КЛАС В

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу В» (Bi-directional end-devices, Class B). Основна відмінність від пристроїв «класу А» полягає у виділенні додаткового вікна прийому, яке пристрій відкриває за розкладом. Для складання розкладу кінцевий пристрій здійснює синхронізацію за спеціальним сигналом від шлюзу. Завдяки цьому вікну сервер має можливість почати передачу даних у заздалегідь певний час.

КЛАС С

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу С» з максимальним вікном для прийому даних (Bi-directional end-devices, Class C). Пристрої цього класу мають майже безперервне вікно прийому даних і закривають його лише на час передачі даних. Це дозволяє їх застосовувати для вирішення завдань, що вимагають одержання великого обсягу даних [7].

Слід зазначити, що LoRaWAN не забезпечує зв'язок між пристроєм: пакети можуть передаватися лише з кінцевого пристрою на мережевий сервер або навпаки. Таким чином, зв'язок між пристроєм, якщо потрібно, має здійснюватися через мережевий сервер (і, отже, за допомогою двох шлюзів). У специфікації LoRaWAN зазначено, що мережі LoRaWAN повинні використовувати діапазони частот ISM. Ці діапазони підлягають нормам щодо максимальної потужності передачі та робочого циклу. Ці обмеження робочого циклу перетворюються на затримки між послідовними кадрами, надісланими пристроєм. Якщо обмеження становить 1%, пристрій повинен буде чекати в 100 разів більше тривалості останнього кадру, перш ніж знову відправити в тому ж каналі [10].

На фоні всього вищесказаного бачимо, що прогресивна технологія LoRaWAN має такі переваги:

- відсутність необхідності ліцензувати частоти (868,0 – 868,6 МГц), у діапазоні яких розгортаються мережі LoRaWAN;
- обслуговування до декількох тисяч пристроїв за допомогою однієї базової станції;
- низькі витрати на підключення;
- великий радіус дії сигналу;
- висока стійкість до завад;
- безпроводна, проста у налаштуванні та швидке розгортання;
- низька потужність означає тривалий термін служби акумулятора для пристроїв, який може сягати 10 років;
- безпека: рівень безпеки для мережі та один для програми з шифруванням AES, а не розкіш, знати проблеми та ризики безпеки, пов'язані з IoT;
- повністю двостороннє спілкування.
- відкритість: відкритий союз і відкритий стандарт;
- автономна робота пристрою в разі застосування сонячних батарей до моменту закінчення його ресурсу [9].

Недоліком є те, що технологія LoRa вибирає неліцензійну смугу частот і загальнодоступний протокол, який створює вразливість у мережі. Зловмисник може прослуховувати адресу легального термінала і генерувати підроблені пакети на шлюз, щоб викликати перевантаження ланки мережі [8].

2.2 NB-IoT. Принципи побудови. Переваги та недоліки

Інноваційною технологією Інтернету є рішення вузькосмугового IoT (Narrow-Band IoT або NB-IoT). Це безпроводний вузькосмуговий різновид глобальних мереж з низьким енергоспоживанням (Low Power Wide Area,

LPWA), який насамперед призначений для додатків міжмашинної взаємодії (M2M). Стандарт NB-IoT відкриє компанії, що спеціалізуються на наданні телекомунікаційних послуг. Зокрема, суттєво збільшить доходність операторів від одного абонента. Технологія NB-IoT займе свою низькошвидкісну нішу у класі рішень, де пріоритетне значення має безперебійна передача даних та низьке енергоспоживання [12].

Технологія NB-IoT (або LTE-M2) є ще однією технологією 3GPP, розробка якої була завершена порівняно недавно. Оскільки вона не є технічною складовою частиною протоколу LTE (наприклад, LTE-M1), то може бути розгорнута в маскованих LTE блоках ресурсів або в захисних полосах. Основна ідея розробки полягала в тому, щоб робоча полоса спектру сигналу помістилася в старих блоках полос GSM спектру 200 кГц [13].

Основні характеристики Nb-IoT:

- достатня пропускна здатність для більшості IoT-пристроїв;
- передавання та приймання даних рознесені у часі;
- можливість роботи на більш віддаленій території, ніж 4G на тій самій частоті;
- стійкість до шумів;
- неймовірно низьке енергоспоживання (датчики можуть житись від однієї батареї близько 10 років);
- знижені вимоги до процесора.

Принцип роботи технології NB-IoT.

Nb-IoT базується на LTE. Якщо говорити максимально простими словами, то смугу 4G складено з окремих каналів (піднесених) по 15 кГц. Частоту носія в LTE ділять на ресурсні блоки (РБ), кожен із яких складено з 12 піднесених по 15 кГц. Разом виходить 180 кГц. Кожен ресурсний блок містить 84 ресурсні елементи (сітка 12 на 7). Смуга 5 МГц, де може працювати LTE, охоплює 25 ресурсних блоків (рис. 2.2).

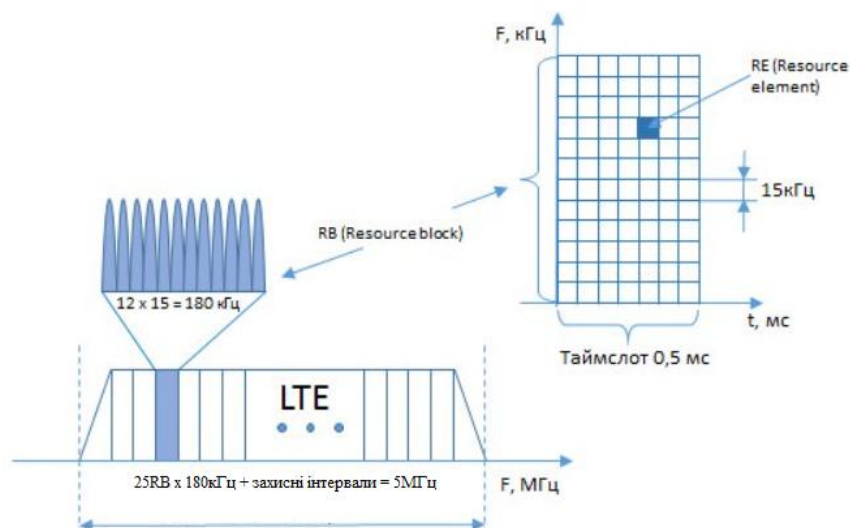


Рисунок 2.2 – Принцип роботи технології NB-IoT

Для запуску Nb-IoT задіюють лише один ресурсний блок 180 кГц. Для дальності сигналу його підсилюють на 6 дБ. Це пояснює, чому мережа Інтернету речей має ширший охоплення території, ніж LTE, хоча частоту використовують однакову.

Запуск мережі може здійснюватися трьома способами (рис. 2.3):

1. На виділеному каналі 200 кГц, який також включає захисний спектр 300-600 кГц, щоб уникнути завад. Такий спосіб не є актуальним для України, оскільки частотного ресурсу недостатньо, плюс, потрібно більше витрат;
2. На захисній смузі частот: кожна смуга, де оператори розгортають зв'язок, має захисний інтервал по 500 кГц кожного боку. Цей варіант підходить, якщо потрібно заощадити частотний ресурс та знизити взаємний вплив на LTE-мережу;
3. Усередині смуги (актуально для України).

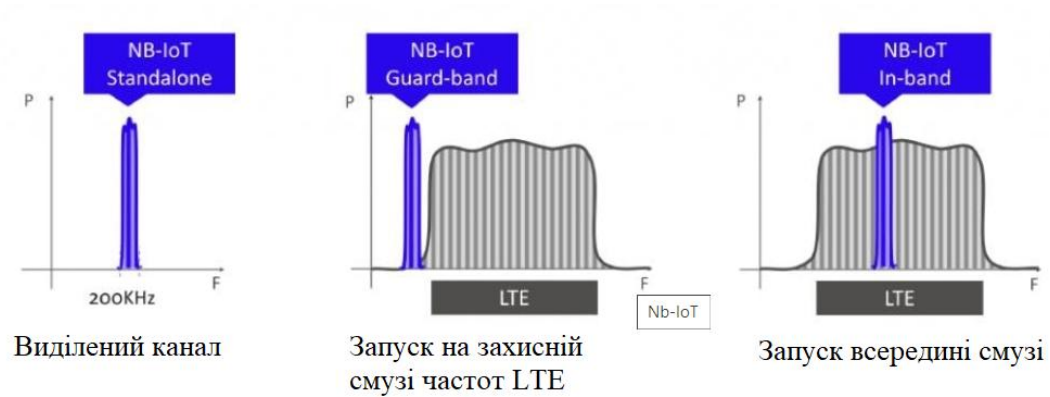


Рисунок 2.3 – Способи запуску мережі

Зазвичай, мережа Інтернету речей виходить з «низьких» спектрів частот (800 МГц, 900 МГц, 1800 МГц). Vodafone зробив запуск Nb-IoT на 1800 МГц. Надалі з великою часткою ймовірності також використовуватимуть діапазон 900 МГц.

Технологія Nb-IoT є переходом до п'ятого покоління зв'язку (рис. 2.4).

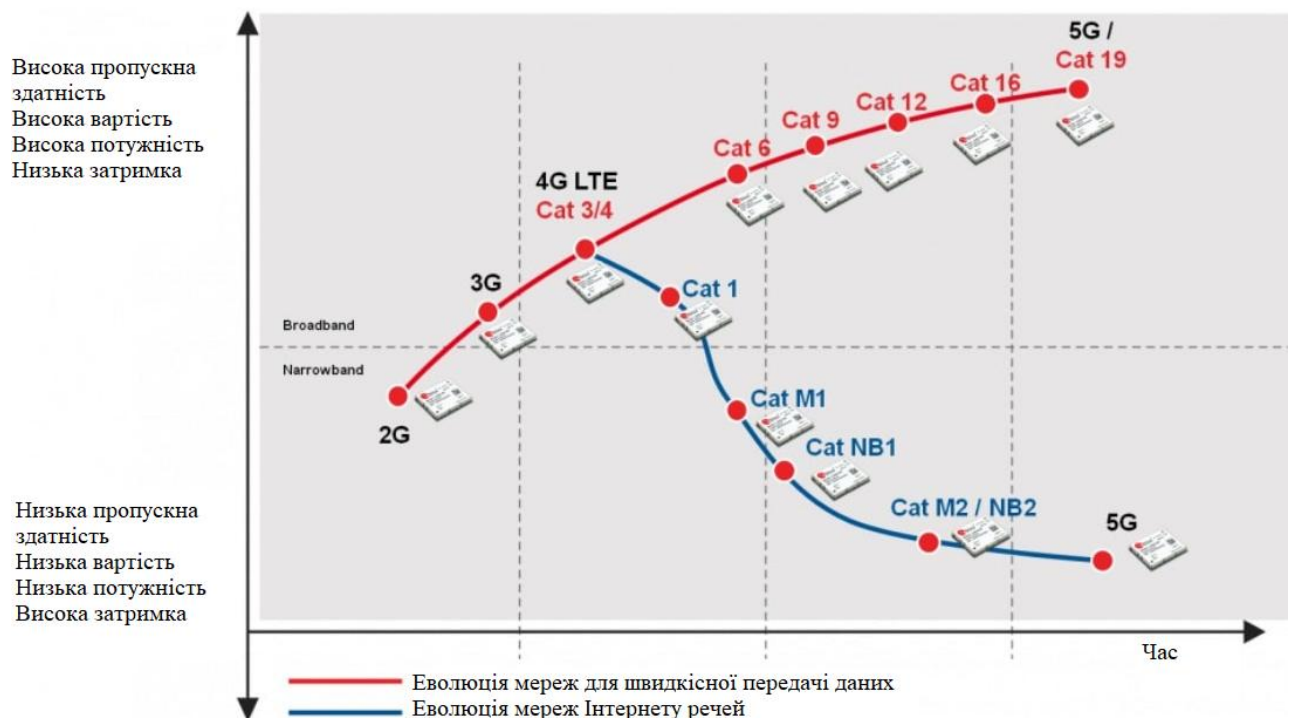


Рисунок 2.4 – Перехід поколінь зв'язку

На наведеному зображенні видно дві гілки розвитку мереж: однією підвищується швидкість інтернету, але в інший – знижується

енергоспоживання клієнтського устаткування. Nb-IoT відноситься саме до другої галузі: інженери з кожним разом вводять нові обмеження для приймача. Смуга зв'язку істотно звужується, це відображено в назві самої мережі: NB — Narrow Band, тобто вузька смуга. Обмеження призводять до зниження швидкості передачі даних, яка вимірюється кілобайтами на секунду або навіть кілобітами.

Особливості енергоспоживання у мережі Nb-IoT.

Низьке енергоспоживання досягається не тільки за рахунок низьких швидкостей передачі даних, але й за рахунок зниження кількості енерговитратних процедур реєстрації в мережі. При включенні кожен пристрій зв'язується з базовою станцією, "домовляється" про режим роботи і потім "засинає". У разі пробудження дані можуть бути передані. У режимі сну базова станція є шлюзом і накопичує інформацію для кінцевого пристрою. Це знижує час у радіоефірі. Важливо відзначити, що для такої роботи обладнання має бути в одній точці. Переміщення приладу змушує щоразу знову «обговорювати» з базовою станцією такі параметри, як потужність, чутливість тощо.

Максимальні швидкості мережі Nb-IoT.

Для різних датчиків швидкість не має великого значення: набагато важливіше стабільність підключення. Тут варто відзначити таку особливість, що один пристрій не може зайняти весь доступний радіоресурс, тому клієнти не мають проблем із підключенням.

Швидкість передачі даних Nb-IoT досягає 58,8 Кбіт/с. Є рішення, завдяки яким це значення можна збільшити максимум до 100 Кбіт/с.

Передача даних на піднесі 15 кГц дозволяє в разі збільшити спектральну щільність сигналу, за рахунок чого знижується відношення сигнал/шум. Зменшення шумів особливо важливе для IoT-пристроїв, оскільки вони мають слабкі передавачі [11].

У порівнянні зі звичайними технологіями мобільного підключення 4G/LTE, NB IoT надає кілька значних переваг:

- Покращене покриття всередині приміщень.

У порівнянні з GSM, NB IoT набагато краще підходить для проникнення в промислові будівлі (склади, підвали).

- Низьке споживання енергії.

Виробники обладнання пропонують модуль NB IoT, який може працювати до 10 років лише з однією батареєю розміру «таблетки». Тут передбачається, що обсяг переданих даних обмежений, зв'язок буде відбуватися час від часу, а потужність мобільного сигналу задовільна. У ситуаціях, які вимагають частішого зв'язку (і/або більшого обсягу даних), очікуваний термін служби батареї буде набагато меншим.

- Низька вартість.

Існує два аспекти низької вартості технології NB IoT: по-перше, комунікаційні модулі (часто в поєднанні з датчиками) надаються виробниками приблизно за 10 євро. Очікується, що найближчим часом ця ціна знизиться. По-друге, MNO пропонують багатотехнологічні плани даних IoT за 10 євро, що охоплюють 10-річний період існування.

- Мобільність.

У той час як деякі промислові замовники та постачальники логістики розглядають можливість створення власних приватних мобільних мереж (з використанням, наприклад, технологій LTE, LoRa або SigFox), які забезпечують покриття для фабрик і складів, NB IoT можна використовувати в областях застосування, де комунікаційні модулі потребують переміщатися між різними місцями.

- Висока пропускна здатність мережі.

NB-IoT Standard дозволяє працювати з понад 100 000 мобільних кінцевих точок на одну клітинку.

- Керована мережа з узгодженими угодами про рівень обслуговування.

Використання існуючого ліцензованого радіочастоту є для MNO засобом підвищення якості обслуговування [14].

Недоліки рішення впливають із його переваг:

- багато NB-IoT пристроїв більшу частину часу працюють у режимі енергозбереження і недоступні для сервера. Це може призводити до затримки передачі даних;
- немає підтримки мобільності (хоча у нових версіях специфікації ця проблема вирішується);
- мінімальна швидкість передачі, яка не підходить для трансферу великих обсягів даних. Для мультимедіа технологія не годиться.

Крім того, випущені до 2015 р. базові станції протокол не підтримують і потребують модернізації [19].

2.3 Порівняльний аналіз розглянутих технологій

У сучасному світі існує безліч технологій, які використовуються в додатках IoT. Кожна технологія має свої особливості, переваги і недоліки. Одна технологія не може обслуговувати всі застосування IoT. До різних програм висуватимуть різні вимоги. Жодну технологію не можна назвати найкращою. Кожна технологія відрізняється від іншої різними аспектами. Додатки також відрізняються один від одного своїми вимогами та їх використанням. Виходячи з вимог, ми можемо вибрати з існуючих технологій лише технологію, яка найкраще підходить для конкретного застосування.

NB-IoT, і LoRa є новими технологіями і мають велике значення. Як і кожна технологія, обидві вони мають свої переваги і недоліки. Обидва вони підходять для різних додатків залежно від їх функцій. Технологія LoRa заснована на ALOHA і є асинхронною, тоді як NB-IoT заснований на FDMA.

NB-IoT потребує нечастої синхронізації, що призводить до більшого споживання батареї, ніж технологія LoRa. Але затримка та швидкість передачі даних NB-IoT хороші, на відміну від LoRa [6].

Для безпроводного підключення Internet of Things зазвичай використовується два стандарти Low-power Wide-area Network - NB-IoT і LoRaWAN.

Для порівняння представлених стандартів LPWAN слід розглянути наступні параметри:

- особливості розгортання;
- синхронізація;
- автономність;
- швидкість передачі;
- пропускна смуга;
- покриття мережі;
- сценарій розгортання;
- коефіцієнт витрат;
- екосистема.

Особливості розгортання.

NB-IoT вважається стандартом мобільного зв'язку. Отже, для функціонування базових станцій знадобиться оформлення відповідної ліцензії. Цей нюанс, напевно, відлякує компанії, які раніше не працювали на ринку стільникового зв'язку. Розгортання мережі з нуля змушує інвестувати великі гроші. Не варто забувати і про те, що новачки цього ринку навряд чи зможуть гідно конкурувати з корпораціями, які надають послуги 2G/3G/4G протягом багатьох років. Тому даний стандарт актуальний, перш за все, для «старожилів» ринку стільникового зв'язку, яким для запуску сервісів NB-IoT потрібно лише оновити наявні станції.

LoRaWAN функціонує у середовищі, яке не є мобільним стандартом. Зважаючи на цей факт, для забезпечення роботи LoRaWAN немає потреби отримувати ліцензії на застосування частот.

Синхронізація.

Пристрої, що функціонують NB-IoT, повинні попередньо синхронізуватися. Без синхронізації отримання та надсилання повідомлень буде неможливим. Варто зауважити, що постійна синхронізація сприяє більш швидкому розрядженню акумулятора пристрою.

Мережа LoRaWAN працює інакше. Якщо пристрій не потребує надсилання даних, він «спить» і не вимагає синхронізації. За рахунок цього забезпечується економія заряду. У цій мережі можна встановити передачу інформації незалежно від часу.

Автономність.

З огляду на те, що NB-IoT функціонує виключно в ліцензованому спектрі частот, пристрої доводиться проходити синхронізацію дуже часто. Через це батарея акумулятора витрачається досить швидко.

LoRaWAN не потребує синхронізації. За рахунок цього забезпечується збереження заряду акумулятора. Таким чином, автономність пристроїв, що функціонують на стандарті LoRaWAN, у кілька разів вища, ніж у аналогів, що працюють в інших LPWAN.

Передача інформації.

У NB-IoT інформація передається зі швидкістю 200 кбіт/с.

У LoRaWAN цей показник коливається в діапазоні від 300 біт/с до 50 кбіт/с. Ці показники дозволяють стверджувати, що протокол IoT є актуальним для більш вимогливих додатків. У LoRaWAN середній показник швидкості становить 11 кбіт/с.

Смуга пропускання.

NB-IoT має велику пропускну здатність каналу зв'язку (180 кГц). Для роботи LoRa достатньо 120 кГц.

Покриття.

Вважається, що NB-IoT краще функціонує в умовах великих міст. А ось у приміських районах продуктивність NB-IoT буде надмірною. Покриття LoRaWAN стійкіше до умов місцевості. Враховуючи мінімальні вкладення, необхідні для забезпечення роботи LoRaWAN, цей критерій вибору на користь цієї мережі.

Застосування.

LoRaWAN - це ідеальний варіант для пристроїв, які не залежать від швидкості передачі інформації. При цьому дані пристрою повинні гарантувати максимально тривалий термін експлуатації акумулятора за незначних витрат на техобслуговування.

NB-IoT є оптимальним варіантом для додатків, що передбачають постійний прийом або надсилання повідомлень та потребують мінімального часу затримки.

Розгортання.

LoRa застосовується не тільки у сфері стільникового зв'язку. А ось NB-IoT призначений для використання виключно великими мобільними операторами. Приватні компанії ніколи не використовують цю технологію у своїх мережах. Для цього ідеально підходить LoRa. Великі компанії мають можливість без проблем поєднувати обидві технології реалізації таких проектів, як «розумна фабрика».

Коефіцієнт витрат.

На користь LoRaWAN також говорить той факт, що сумарні витрати на нове розгортання цієї мережі на порядок менші за витрати, необхідні для будівництва NB-IoT з нуля. Наприклад, в Амстердамі, площа якого дорівнює 219 км², було встановлено десять базових станцій. Таким чином, вартість розгортання мережі LoRaWAN склала лише 12 000 доларів.

Екосистема.

Стандарт LoRaWAN сьогодні використовується у більш ніж 40 країнах. Зокрема, цей стандарт прийнято у Сполучених Штатах, Голландії, Австралії та на Тайвані.

LoRa значно ширша за екосистему NB-IoT. Ця екосистема складається з більш ніж 500 корпорацій, що займаються розробкою та виробництвом апаратних засобів. До цього переліку також належать оператори зв'язку. У нашій країні рішення на цьому стандарті надають "Смартіко", "ЛоРа Лінк" та безліч інших компаній.

Згідно з офіційною статистикою асоціації GSM, у 2017 році проводилося тестування більш ніж 40 мереж, що працюють на NB-IoT. При цьому лише чотири мережі продовжили повноцінно працювати після завершення тестування. Такі показники дозволяють стверджувати, що екосистема NB-IoT ще не скоро зможе спіткати LoRaWAN [15].

Таблиця 2.1 - Технічне порівняння технологій NB-IoT та LoRa

Характеристики	LoRaWAN	NB-IoT
Смуга частот	125 кГц	180 кГц
MCL (ліцензований оцінювач сертифікації)	165 дБ	164 дБ
Середній термін роботи пристрою від акумулятора	до 15 років	до 10 років
Пропускна спроможність	50 кбіт/с	60 кбіт/с

Продовження таблиці 2.1 - Технічне порівняння технологій NB-IoT та LoRa

Затримка		< 10 с
Шифрування	AES 128 біт	3GPP 128-256 біт
Вартість інфраструктури для клієнта	висока	середня
Вартість обслуговування	низька	середня

Обидва представлені LPWAN-стандарти мають свої плюси та мінуси. Проте за більшістю параметрів перевагу можна надати стандарту LoRaWAN. При цьому дані стандарти напевно й надалі дружно існуватимуть, обслуговуючи різні сегменти IoT-ринків.

Висновки до 2 розділу

Широкопasmові мережі LoRaWAN та NB-IoT почали розгортатися відносно недавно, але вже спостерігається їхнє швидке зростання у глобальному масштабі. Мережі призначені для пристроїв малої потужності, але вони відповідають різним комерційним та технічним вимогам в екосистемі IoT. Знайдеться місце і для LoRaWAN, і для NB-IoT серед масових застосувань IoT, що ґрунтуються на перерахованих перевагах. LoRaWAN, однак, у найближчій перспективі має явну перевагу перед NB-IoT, зі своєю розвиненою системою постачальників, сертифікованими IoT пристроями та комплексними рішеннями, які вже сьогодні готові до впровадження.

Ті програми, які потребують високої затримки та високої швидкості передачі даних, можуть використовувати NB-IoT, а ті, у яких вимога до швидкості передачі нижче, — LoRa. Технологія LoRa найбільше підходить для індустрії IoT, тоді як NB-IoT підходить для IoT особистого та публічного IoT.

3. ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СНІГУ

3.1 Лазерна система вимірювання глибини снігу

На рисунку 3.1 показано SDMS-10, багатоточковий скануючий снігомір, який сканує лазерний промінь по круговій доріжці на поверхні снігу та вимірює відстань від кожної точки на шляху та надає середнє значення глибин у цих точках. У цій механічній конструкції лазерний далекомір прикріплений до двигуна злегка нахиленим таким чином, що під час обертання двигуна переданий лазерний сигнал від лазерного далекоміра вказує на різні точки на круговій доріжці на поверхні снігу. Ця схема дозволяє простим способом вимірювати глибину снігу в кількох точках, розкиданих уздовж круглої форми на поверхні снігу. Розмір круглої форми на поверхні снігу змінюється в залежності від відстані між лазерним далекоміром і поверхнею снігу та кута між лазерним променем і валом двигуна.



Рисунок 3.1 – Багатоточковий скануючий вимірювач глибини снігу SDMS-10

На рисунку 3.2 показано, як змінюється напрям лазерного сигналу від лазерного далекоміра та відбитого сигналу під час обертання двигуна через нахилене кріплення лазерного далекоміра до валу двигуна.

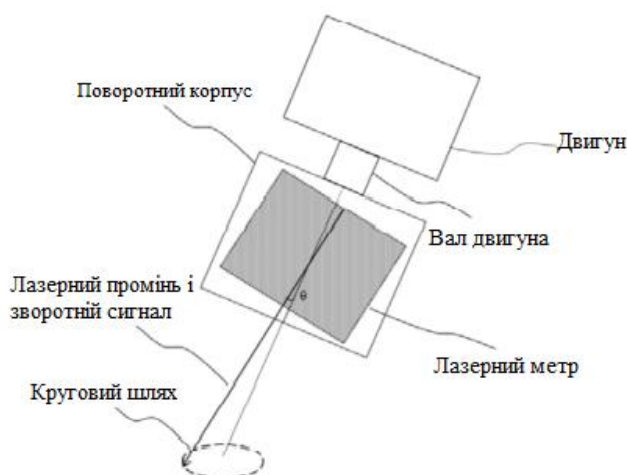


Рисунок 3.2 – Лазерний далекомір, прикріплений до валу двигуна, нахилоного на кут θ

На рисунку 3.3 показана схема, що показує один лазерний промінь, спроектований лазерним далекоміром і відбитий назад від плями на поверхні снігу в даний момент часу t . Якщо вимірювана відстань від лазерної відстані метр до поверхні снігу становить $L_s(t)$ у певний час t , а $L_g(t)$ — відстань до рівня землі, і $\theta(t)$ - це кут нахилу в момент t , то глибина снігу визначається таким чином:

$$d(t) = ((L_g(t) - L_s(t)) * \sin[\theta(t)]) \quad (3)$$

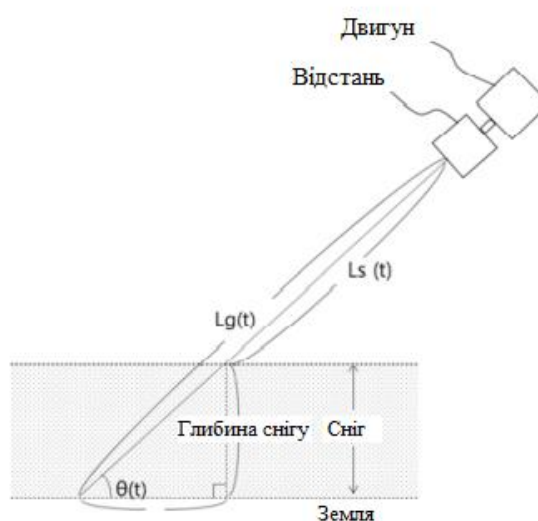


Рисунок 3.3 – Одиночний лазерний промінь і зворотній сигнал для вимірювання відстані в заданий момент часу t

Для вимірювання наступних точок на окружності шлях, як показано на рисунку 3.4, контролер снігу датчик повертає двигун на кут Φ і повторює наведені вище вимірювання та розрахунок. Система повторює той самий крок для $t = 0$ до $t = N = 1$ доки не закінчиться передбачена кількість вимірювань, N , для раунду. Якщо, ступінь повороту між двома сусідніми точками задається Φ , а загальне обертання раунда становить 360 градусів, Φ визначається як $= \frac{360}{N}$ або $\Phi \cdot N = 360^\circ$. На рисунку 3.4 показано, як виміри проводяться для всіх точок для $t = 0$ до $t = N = 1$ ($t(\Phi)$ у круговому куті).

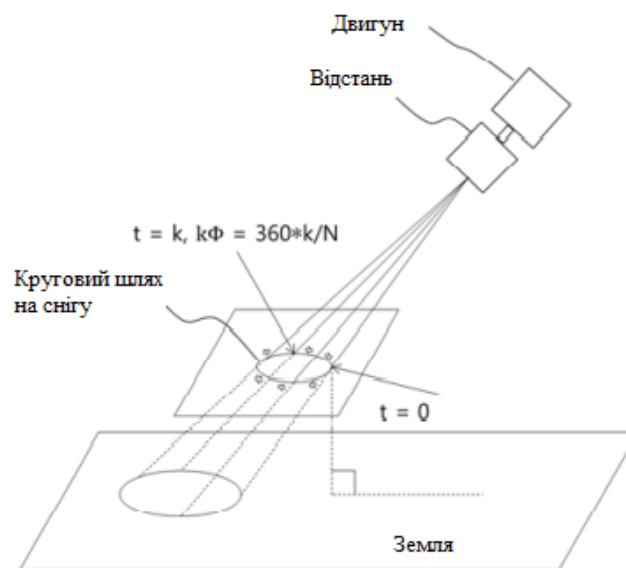


Рисунок 3.4 – Раунд вимірювань уздовж круга

У кожен момент часу t (круговий кут $t(\Phi)$),

$$d(t) = ((Lg(t)) * \sin[\theta(t)]), \text{ коли } t=0 \text{ до } N=1,$$

де N - кількість зразків по круговій доріжці на цільовій поверхні, і $Lg(t)$ для $t=0$ до $N=1$ (круговий кут $t(\Phi)=0$ до 360°) і $\theta(t)$ вже визначаються процедурою калібрування.

Після завершення раунду вимірювань модуль обробки відфільтровує ненормальні дані, приймає середнє значення та визначення поточної глибини снігу на основі набору правил та даних історії. Система може повторювати кроки кілька разів, щоб підвищити надійність кінцевих даних, і система

зберігає дані вимірювань у своєму локальному сховищі та/або завантажує їх на віддалений сервер для подальшого аналізу та представлення на своєму веб-сайті.

SDMS-20

Менша і легша версія SDMS-10 з додатковими функціями.

У системі використовується спеціально розроблений лазерний далекомір, спеціальний механізм та інше обладнання, щоб зробити кінцевий продукт невеликим і легким, зберігаючи при цьому загальну економічність рішень навіть зі складною можливістю багатоточкового сканування. На рисунку 3.5 показана остання версія снігової головки розміром 8 см x 8 см x 15 см і вагою 1,5 кг.



Рисунок 3.5 - SDMS-20

Схема багатоточкового сканування є ідеальним рішенням для лазерного вимірювання глибини снігу [16].

3.2 Ультразвукова система вимірювання глибини снігу

Ультразвукові датчики глибини розробляються з початку 1980-х років. Ці датчики посилають ультразвуковий (50 кГц) звуковий імпульс і вимірюють час, необхідний для досягнення поверхні землі або снігу та відображення назад до датчика [18].

Ультразвуковий датчик глибини снігу – надає безперервні дані про поточну глибину снігу.

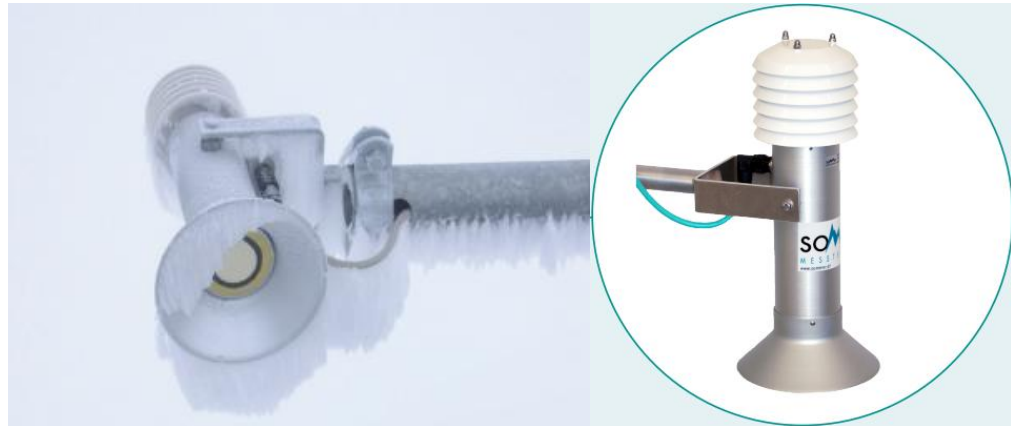


Рисунок 3.6 – Вигляд ультразвукового датчика вимірювання снігу USH-8

Властивості та переваги:

- Постійне та безконтактне ультразвукове вимірювання глибини снігу;
- Надійний датчик для екстремальних умов: міцна герметична керамічна мембрана;
- правильне вимірювання під час снігопаду та заметілей; захисний щит від льоду та снігових нависів; вбудований захист від блискавки;
- Висока точність вимірювання (± 1 см), роздільна здатність (3 мм) вимірювань, значний діапазон вимірювань товщини снігу (0,5-10 м).
- Вбудована температурна компенсація;
- Енергозберігаюча робота датчика: «режим очікування» між фазами вимірювання; оптимально для сонячних станцій;
- Проста інтеграція датчиків: аналоговий і цифровий інтерфейс.

1. Принцип і точність вимірювання

Принцип вимірювання датчика стосується вимірювання часу проходження ультразвукового імпульсу. Датчик передає кілька заряджених енергією імпульсів на сніговий покрив і згодом отримує його відбиті сигнали (рис. 3.7). На основі необхідного часу проходження ультразвукових сигналів датчик USH-8 розраховує поточну глибину снігу. На час обробки

ультразвукових імпульсів тут величезний вплив має температура повітря. З цієї причини датчик глибини снігу також має вбудовану температурну компенсацію. При цьому враховується вплив температури повітря на час обробки ультразвукових сигналів при розрахунку глибини снігу. Розрахунок відбувається в датчику, так що вихідний сигнал забезпечує вже перераховану глибину снігу. Таким чином досягаються оптимальні результати вимірювання з точністю 0,1% (FS).

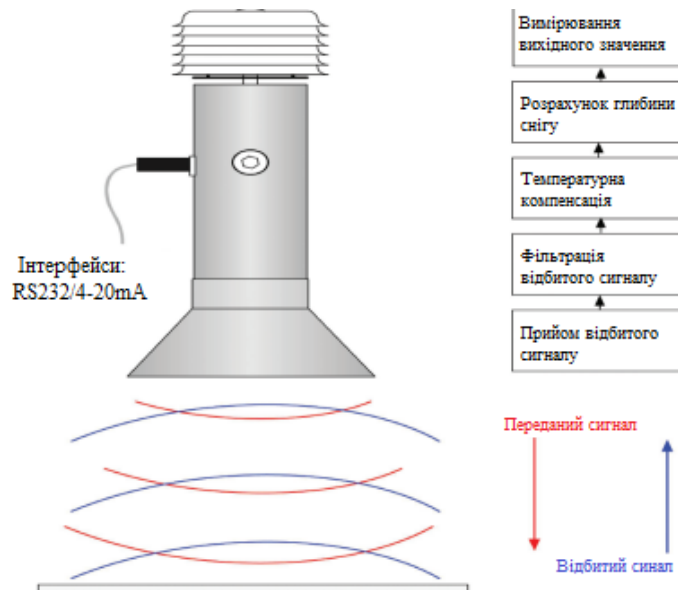


Рисунок 3.7 – Обробка сигналу датчиком снігу USH-8

2. Надійний датчик для екстремальних умов

Датчик USH-8 також дуже надійний в екстремальних умовах навколишнього середовища, що також забезпечують дуже високу довгострокову надійність вимірювань даних. Це відбувається за допомогою заряджених ультразвукових імпульсів 50 кГц, а також забезпечує надійні результати в найскладніших умовах відображення. За допомогою заряджених енергією ультразвукових імпульсів відбувається перешкоджання замерзання ультразвукової мембрани та сенсорної головки, і здійснюється автоматичне видалення обмерзання. Крім того, інтелектуальне перетворення вимірюваного сигналу компенсується за допомогою фільтрації снігових і дощових опадів, що виникають на шляху ультразвукових сигналів під час

вимірювання. Таким чином забезпечується правильне вимірювання під час опадів, і немає негативного впливу на результати вимірювання.

3. Енергозберігаюча робота датчика

Датчик USH-8 автоматично перемикається між вимірюванням і режимом очікування. Реєстратор даних не повинен вмикати та вимикати датчик, і таким чином досягається високе енергозбереження. Для передачі вимірюваних даних USH-8 активується реєстратором даних через «передавальний штифт». Для вимірювання протягом доби потрібно всього 0,5 Ач за хвилину. Між фазами вимірювання датчик автоматично перемикається в режим очікування зі споживанням <1 мА. Завдяки цій властивості економії енергії датчик оптимально підходить для самодостатніх вимірювальних станцій, які використовують із сонячними джерелами живлення.

4. Вибір місця вимірювання

Дуже велике значення має правильний вибір і розташування місця для вимірювання. Поле вимірювання, яке підлягає запису, має бути переважно плоским, захищеним від вітру та захищеним від лавин. Слід уникати крутих схилів, западин, країв місцевості або великих скель у безпосередній близькості від місця вимірювання. Снігові поля з крутим схилом приховують в собі небезпеку того, що сніговий покрив може почати сповзати, тим самим фальсифікуючи результати вимірювань. Щоб забезпечити безпроблемне вимірювання, датчик повинен бути вирівняний паралельно землі. Невеликий нахил землі можна компенсувати правильним вирівнюванням датчика за допомогою фіксатора. Крім того, слід оцінити очікувану глибину снігу на місці, щоб забезпечити відповідну висоту монтажу для датчика.

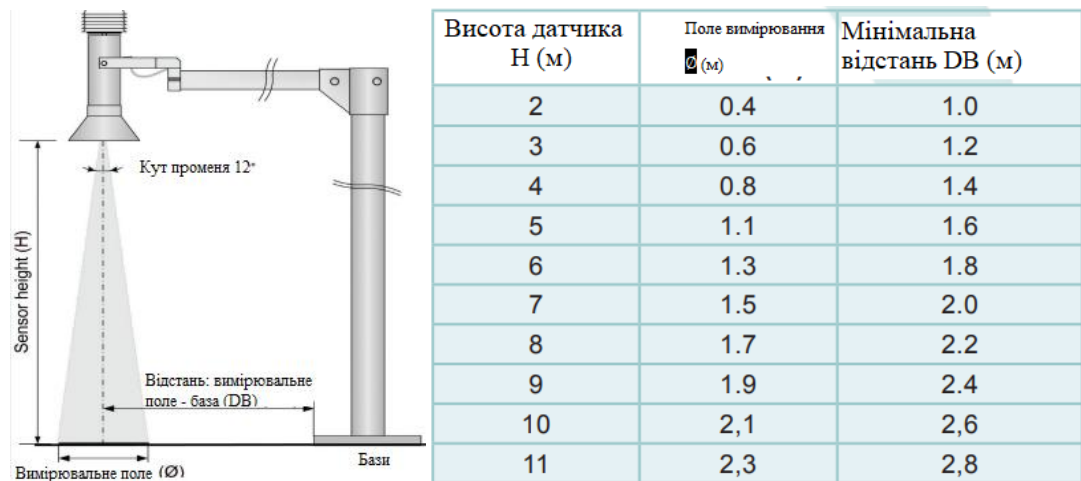


Рисунок 3.8 – Огляд монтажних розмірів датчика USH-8

Оптимальна висота монтажу датчика становить 3 м і більше. Максимально допустима висота монтажу становить 11 м. Тут важливо врахувати, що діаметр поля вимірювання збільшується з застосованою вимірювальною висотою (рис. 3.8). Щоб поле вимірювання не було порушено, при налаштуванні станції необхідно враховувати дві відстані. По-перше, є відстань між датчиком і полем вимірювання, а по-друге, є відстань між датчиком і підставою полюса/полюса. Якщо поле вимірювання порушується, це може призвести до небажаних відображень, а отже, до неправильно вимірянних даних. Об'єкти поблизу поля вимірювання (тобто краї місцевості, будівлі, ...) також створюють снігові замети, тим самим викликаючи небажані порушення поля вимірювання. Матеріал поверхні поля вимірювання повинен бути типовим для досліджуваної області, оскільки різні матеріали виробляють різну здатність до розморожування і, таким чином, можуть призвести до небажаних порушень поля вимірювання. Для вимірювання в природних умовах рекомендовані дрібний гравій або щебінь для підготовки поверхні вимірювального поля [17].

Таблиця 3.1 - Технічні дані датчика USH-8

Робоча температура (діапазон вимірювань)	-40...60°C
Захист від блискавки	Вбудований блискавкозахисник (потужність розряду 0,6 кВт)
Діапазон вимірювання	0,10 м
Мінімальна відстань до максимального очікуваного випадку снігу	1 м
Принцип вимірювання	Ультразвуковий (частота 50 кГц; кут відбитого променя 12°)
Температурний сенсор	Вбудований датчик температури повітря в самовентеляційний радіаційний екран
Роздільна здатність	0,1°C

Висновки до 3 розділу

Глибина снігу є важливим параметром для оцінки снігового покриву. Його необхідно вимірювати регулярно, оскільки розвиток снігового покриву піддається сильним регіональним і тимчасовим коливанням також істотно впливають погодні умови (сніг або дощ, температура повітря, вітер тощо).

У даному розділі дипломної роботи розглянуто 2 існуючі системи вимірювання глибини снігу: ультразвукову та лазерну. Принцип роботи ультразвукової системи заснований на вимірюванні часу, необхідного для того, щоб ультразвуковий імпульс частотою 50 кГц пройшов через товщу снігу, він надає безперервні дані про поточну глибину снігу. Перевагами ультразвукового методу є висока точність (± 1 см) та роздільна здатність (3 мм) вимірювань, значний діапазон вимірювань товщини снігу (0,5-10 м).

Однак через складність і високу вартість впровадження та експлуатації таких систем дуже мало було впроваджено в реальні галузі.

Лазерною системою глибина снігу визначається шляхом вимірювання часового інтервалу між сигналами, отриманими при реєстрації лазерних імпульсів, відбитих від поверхні снігу та ґрунту. Типові лазерні сенсори характеризуються діапазоном вимірювань товщини снігу до 15 метрів та точною роздільною здатністю 5 мм. Але лазерна система має мале поле сканування і об'єкти поблизу поля вимірювання можуть створювати снігові замети, чим викликають небажані порушення поля вимірювання.

Тому враховуючи дані мінуси лазерної та ультразвукової систем вимірювання глибини снігу для моніторингу сніжного покриву також можна використати просту дешеву камеру, яка буде не складна в застосуванні. Система буде передавати фото на сервер декілька разів на день, на якому буде видно рівень снігу. Площа на фото буде великою і дозволить уникнути порушення поля вимірювання.

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СНІГУ

4.1 Вимоги до системи

Для забезпечення належного функціонування системи вона повинна відповідати таким вимогам:

- Передавати інформацію (зображення) кількості снігових опадів на сервер, для оцінки оператором;
- Передача даних має відбуватися за допомогою безпроводових технологій LoRaWAN та NB-IoT.

4.2 Структура систем

1. Система LoRaWAN

Якщо дані потрібно передавати в місцевості з рельєфом землі, який включає в себе низовини і височини, наприклад гори, з поганим стільниковим зв'язком або взагалі відсутнім, то краще застосовувати систему LoRaWAN, архітектура якої наведена на рисунку 4.1.

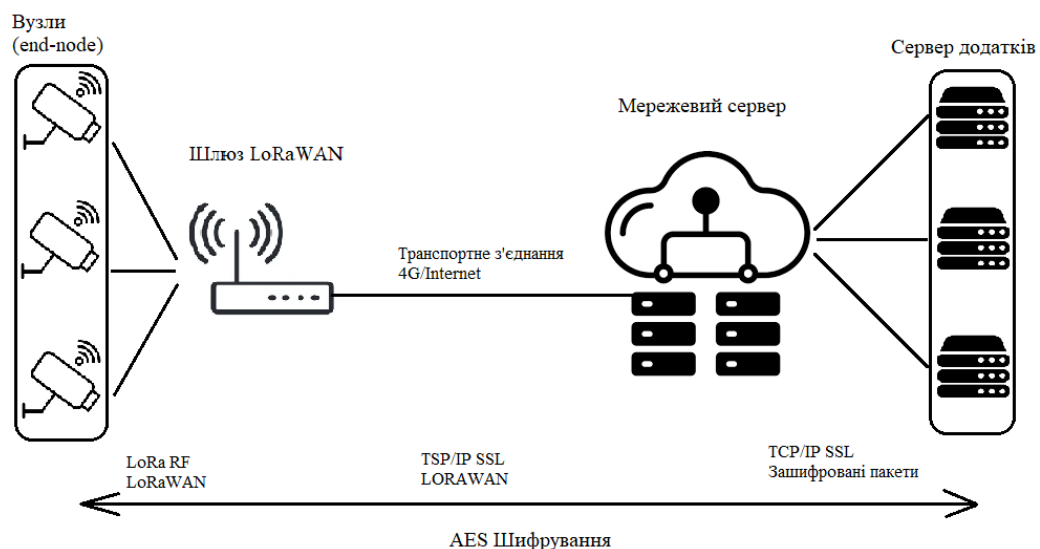


Рисунок 4.1 – Архітектура системи LoRaWAN

Алгоритм роботи запропонованої системи складається з наступних етапів:

1. Камера, двічі на день надсилає зображення місцевості, на якій встановлений рівень, на шлюз LoRaWAN для визначення оператором кількості снігових опадів;
2. Багатоканальний шлюз LoRa призначений для використання великого радіуса дії в системі, він може виконувати демодуляцію відразу з декількох каналів одночасно. Шлюз служить в якості інтерфейсу, як прозорого мосту передачі повідомлень між кінцевими вузлами і мережевим сервером. Зв'язок здійснюється за допомогою традиційних технологій (Ethernet, WiFi, GSM) за протоколом TCP/IP.
3. Мережевий сервер за параметрами про якість сигналу, віддаленість до пристрою та іншими метаданими вирішує, яка базова станція повинна відповісти пристрою. Дані отримані з різних шлюзів фільтруються, перевіряються на безпеку, виконуються адаптивні швидкості передачі даних тощо, а підтвердження надсилається на шлюзи. Далі дані відправляються на сервери додатків.
4. Сервер додатків отримує дані передані від мережевого сервера.

Ця технологія є надійною для передачі інформації на великі відстані 10-15 км. Одна базова станція може обслуговувати близько тисячі пристроїв, причому з'єднання використовується двостороннє. Ця технологія забезпечує швидкість передачі в бездротовому каналі від 0,3 до 50 Кбіт/с.

2. Система NB-IoT

Якщо ж дані потрібно передавати наприклад десь в сільській місцевості, де наявний хороший мобільний стільниковий зв'язок, швидкість передачі не грає великої ролі і затримка не критична, тоді можна застосовувати систему NB-IoT, архітектура якої наведена нижче на рисунку 4.2.

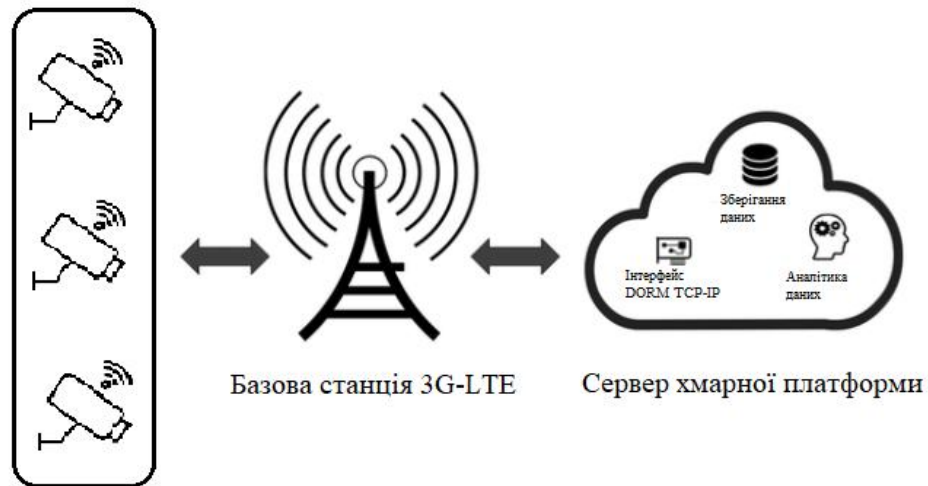


Рисунок 4.2 – Архітектура системи NB-IoT

Стандарт NB-IoT є двостороннім зв'язком, що діє в частотному каналі шириною 200 кГц. Для того, щоб запустити мережу в експлуатацію, оператору лише необхідно встановити на базовій станції спеціальне програмне забезпечення.

Швидкість трансляції даних між елементами мережі – до 250 Кбіт/с, дальність – до 3 км та вище.

Принцип роботи системи:

1. Для кожного вузла з камерою використовується звичайна сім-карта. Як і в варіанті з системою LoRa, камера, яка за допомогою штучного інтелекту навчена розпізнавати наявність снігових опадів, розпізнає і передає дані за допомогою базової станції 3G-LTE на сервер хмарної платформи.
2. Сервер хмарної платформи робить ресурси доступними для користувачів.

4.3 Опис складових систем та принцип роботи

Насамперед для системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій Інтернету речей необхідно застосувати камеру,

для цього ми використаємо модуль ESP-32 CAM від Espressif, яка має хороший функціонал і широкі можливості.

Модуль ESP-32 CAM буде знаходитися в обігрівачому боксі задля функціонування нормальної роботи при низьких температурах, обігрівачий бокс також повинен мати навіс від обмерзання (рис. 4.3).

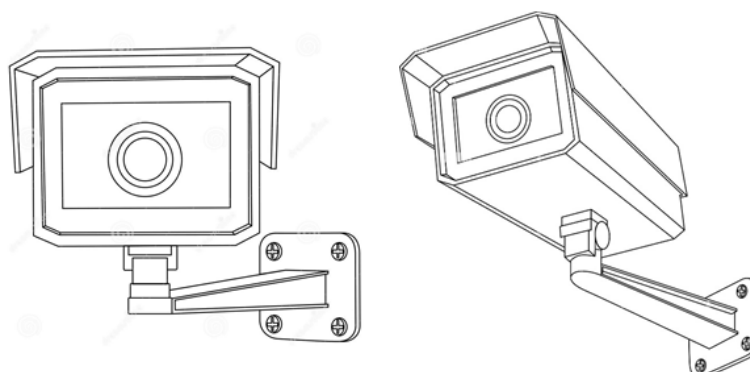


Рисунок 4.3 - Вигляд обігрівачого боксу

Модуль ESP32 CAM

Контролер ESP32-CAM з камерою OV2640 – це сучасний мікроконтролер камерою, за допомогою якого можна створювати пристрої машинного зору, розумний будинок та роботів [20].

На даний момент вартість даного модуля в ціні сягає 252 гривень, що є дуже дешевим рішенням, але з хорошим функціоналом.

ESP32 CAM, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 4.4, вміщує в себе плату для розробки ESP32 та мікро камеру OV2640 з вбудованим спалахом. Цей модуль відрізняється малим поглинанням електроенергії та компактними розмірами. Плата підтримує зв'язок через Bluetooth та WiFi. Дозвіл матриці камери – 2 MP.

ESP32 CAM має 2 ядра, тактова частота яких по 160 МГц кожний. Одне ядро може працювати з завданнями по роботі з графікою або управління двигунами в режимі реального часу, інше – відповідає за зв'язок. Живлення відбувається через контактний роз'єм.

ESP32 може взаємодіяти з іншими системами для забезпечення функціональності Wi-Fi та Bluetooth через свої інтерфейси SPI / SDIO або I2C / UART.

ESP32 CAM підтримує кілька режимів сну: глибокий сон (deep-sleep), режим сну модему (modem-sleep) та легкий сон (light-sleep).

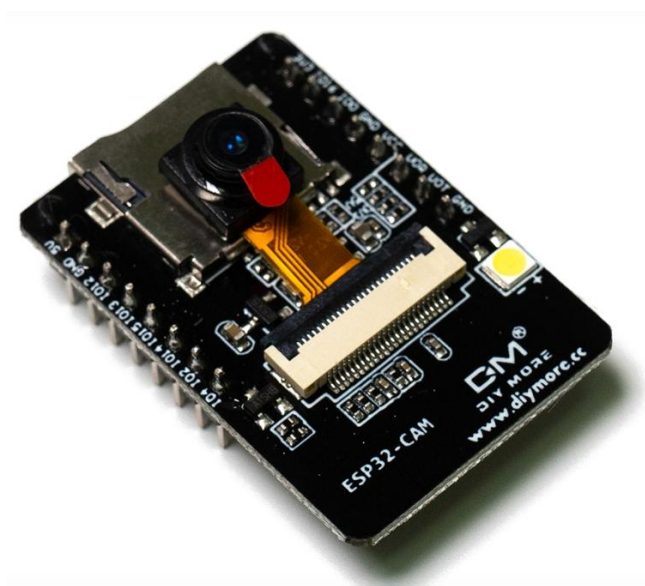


Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд модуля ESP32 CAM [20]

Таблиця 4.1 - Характеристики модуля ESP32 CAM

Безпроводний зв'язок	Bluetooth 4.2 BR/EDR, Wi-Fi 802.11 b/g/n
Ядро	2
Продуктивність	до 600 DMIPS
Процесор	32-розрядний Tensilica Xtensa LX6
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, PWM
Максимальна частота мікроконтролера	240 МГц
Обсяг оперативної пам'яті	520 КБ вбудованої + 4М зовнішньої PSRAM

Продовження таблиці 4.1 - Характеристики модуля ESP32 CAM

Об'єм ПЗУ (у складі чипа ESP32)	448 кБ
Об'єм ПЗУ (зовнішній чип на платі)	32 Мбіт
Напруга живлення	5 В
Енергоспоживання	Світлодіодний спалах вимкнено – 180 мА Світлодіодний спалах включено — 310 мА Під час передачі Wi-Fi 160-260 мА Deep-sleep – 6 мА, 5 В мінімум Modem-sleep – 20 мА, 5 В мінімум Light-sleep – 6.7 мА, 5 В мінімум
Діапазон робочих температур	-40°C до +90°C
Розмір плати, вага	40.5 x 27 мм, 10 г

Навчання мікроконтролера проходить наприклад в таких програмах, як Amazon Alexa – це хмарний сервіс, який можна підключати до таких пристроїв, як камера, світло та розважальні системи, чи Edge Impulse.

Алгоритм навчання побудований так, як показано на рисунку 4.5.

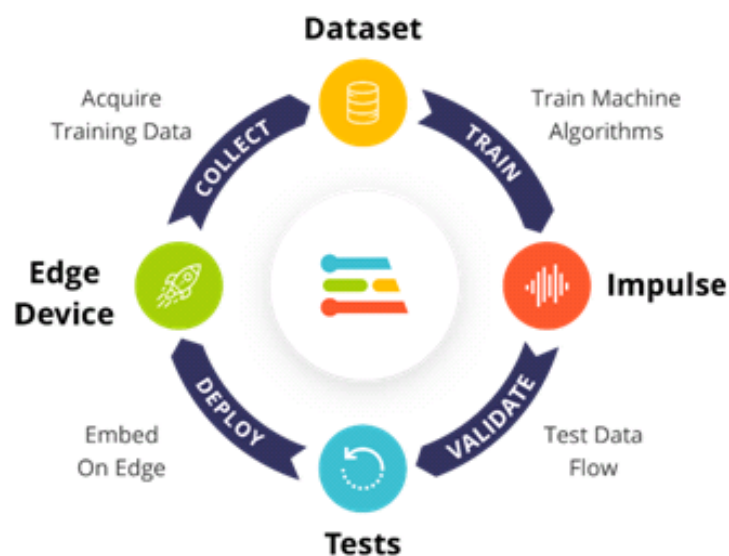


Рисунок 4.5 – Алгоритм навчання штучним інтелектом

В одній з програм створюється модель, яку тренують, перевіряють і завантажують в мікроконтролер.

Важливо, що чим краще модель навчена, тим більше пам'яті мікроконтролера вона потребує.

На землі встановлено рівень (лінійку), за допомогою штучного інтелекту, мікроконтролер розпізнає наявність і кількість снігових опадів і 2-чі на день камера вмикається і передає дані через шлюз та мережевий сервер на сервер додатків (LoRaWAN) або через базову станцію – на сервер хмарної платформи (NB-IoT).

1. Система LoRaWAN

Камера передає інформацію через інтерфейс SPI end-node модулем передачі даних LoRa. Для цього використаємо модуль LORA RFM95.

Модуль передачі даних LORA RFM95

Модуль RFM95, RFM95W 868 МГц LORA SX1276 (рис. 4.5) є дуже компактним, він працює в діапазоні 868 МГц і заснований на чипі SX1276.

Цей модуль дозволяє передавати дані на великі відстані, він є стійким до перешкод та має низьке енергоспоживання. Завдяки характеристикам великої відстані і високої чутливості цей модуль працює краще, ніж модулі FSK та GFSK [21].

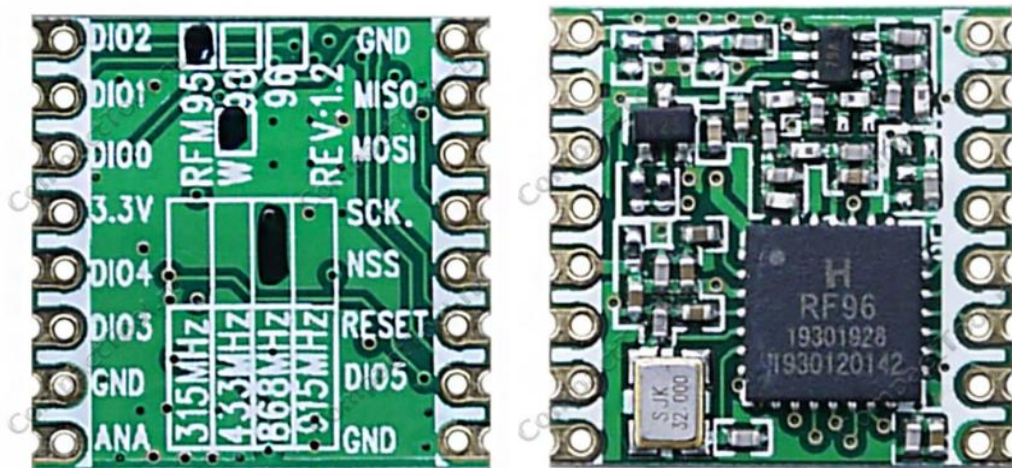


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд модуля передачі даних LORA RFM95

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики модуля передачі даних LORA RFM95

Модель	RFM95, RFM95W
Діапазон частот	868 МГц
Чутливість	до -148дБм @Lora
Потужність передачі	20 дБм
Споживання в режимі передачі	10,3 мА
Швидкість передачі даних в ефірі	1,2-300 кбит/с
Модуляція	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa и OOK
Динамічний діапазон RSSI:	127 дБ
Пакетний двигун до 256 байтів з FIFO та CRC	+
Робоча температура	-40° + 85°C
Розмір модуля	16 x 16 мм
Вага	2 г

Особливостями цього модуля є :

- Вбудований захист від електростатичного розряду;
- Вбудований датчик температури та індикатор розряду батареї;
- Чудовий блокуючий імунітет [21].

End-node модуль LoRa передає інформацію шлюзу. Для цього використовуємо шлюз UG65 LoRaWAN від Milestone IoT.

Шлюз UG65 LoRaWAN

Шлюз UG65 LoRaWAN був запущений наприкінці 2020 року, це нове покоління напівпромислових шлюзів LoRaWAN.

Milesight IoT не продає шлюз безпосередньо, натомість покладаючись на таких дистриб'юторів, як ICP Germany або MCCI, останній з яких пропонує шлюз UG65 за 370 доларів або 460 доларів зі стільниковим зв'язком LTE.

Основними властивостями шлюзу є:

- Пилозахисні властивості та базовий рівень водонепроникності дозволяють використовувати шлюз UG65 LoRaWAN навіть у промислових умовах.
- Висока продуктивність прискорює обробку даних.
- Передача більшого обсягу трафіку за меншого енергоспоживання.
- Покриття до 1500 ² у міських умовах.
- Отримання даних від 8 кінцевих пристроїв з одночасною підтримкою до 2000 кінцевих пристроїв.
- Цілодобова передача зашифрованих даних через Ethernet, стільниковий зв'язок та Wi-Fi.
- Маючи вбудований мережевий сервер, шлюз UG65 LoRaWAN підтримує новітню систему пересилання пакетів Semtech, а сумісність з кількома мережевими серверними платформами, такими як TTN, ChirpStack і Link WAN, надає широкий спектр можливостей для обробки даних [24].

Зовнішній вигляд шлюзу UG65 LoRaWAN можна побачити на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд шлюзу UG65 LoRaWAN

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики шлюзу UG65 LoRaWAN

Апаратне забезпечення	
CPU (центральний процесор)	Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53
Пам'ять	512 MB DDR4 RAM
Флеш-накопичувач	
LoRaWAN®	
Антенa	Повністю інтегрована внутрішня антена (опціонально можлива наявність роз'єму типу N (Female) для підключення зовнішньої антени)
Кількість каналів	8
Діапазон частот	CN470 / IN865 / EU868 / RU864 / US915 / AU915 / KR920 / AS923
Чутливість	140 дБм чутливості до 292 bps
Вихідна потужність	27 дБм максимально
Протокол	V1.0 Class A/Class C and V1.0.2 Class A/Class C
Інтерфейс Ethernet	
Порт	1 × RJ45 (PoE PD support)

Продовження таблиці 4.4 - Технічні характеристики шлюзу UG65 LoRaWAN

Фізичний шар	10/100/1000 Base-T (IEEE 802.3)
Швидкість передачі даних	Rate 10/100/1000 Mbps (Auto-Sensing)
Інтерфейс	Auto MDI/MDIX
Режим	Full or Half Duplex (Auto-Sensing)
Wi-Fi	
Антенa	Повністю інтегрована внутрішня антена
Стандарти	IEEE 802.11 b/g/n
Джерело живлення та споживання енергії	
Джерело живлення	1. Jack-конектор для 9 - 24 В джерела постійного струму 2. 1 × 802.3 af PoE input
Споживання	не більше 4,2 Вт
Фізичні параметри	
Ступінь захисту	IP65
Габарити	180 × 110 × 56,5 мм
Зовнішні умови	
Робоча температура	від -40 до +70 °С. Продуктивність стільникового зв'язку знижується при температурі понад 60 °С
Відносна вологість	від 0 до 95 % (без конденсації) при 25 °С

Ступінь захисту IP65 означає повний захист від піску та пилу і захист від струменів води з усіх боків.

Далі шлюз LoRaWAN передає інформацію мережевому серверу , мережевий сервер у свою чергу – серверу додатків, де за допомогою відповідного програмного забезпечення ведеться моніторинг даних.

2. Система NB-IoT

Для системи моніторингу NB-IoT у кожному вузлі наявна сім-карта, для надсилання даних через стільникову мережу. Трансляції через базову станцію на сервер хмарної платформи використовується модуль передачі даних LTE NB-IoT-модуль SIM7020E.

LTE NB-IoT-модуль SIM7020E

LTE NB-IoT-модуль SIM7020E, зображений на рисунку 4.7, здатний забезпечити рекордно малі показники енергоспоживання. Модуль SIM7020E має високу чутливість і низьке енергоспоживання – як у піковому, так і у енергозберігаючому режимі, він має компактні габарити та багатий функціонал, що дозволяє адаптувати його під будь-яке завдання.

SIM7020E підтримує різні способи обміну інформацією. Стандартні протоколи, такі як HTTP, досить громіздкі з погляду передачі невеликих обсягів даних. Для ефективнішого обміну в мережах NB-IoT у модулі передбачено ряд протоколів: MQTT (реалізований) та LWM2M/CoAP (очікується). MQTT (Message Queue Telemetry Transport) — це відкритий протокол обміну даними, що діє за принципом «видавець/передплатник» (на відміну від HTTP — запит/відповідь). Обмін відбувається на прикладному рівні поверх TCP/IP. Основні переваги цього протоколу: вбудований механізм контролю з'єднання, малий розмір заголовка на транспортному рівні (2 байт), мінімізований протокол обміну [26].



Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд модуля SIM7020E

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики модуля SIM7020E

Напруга живлення модуля	5 В
Робоча напруга / допустима для портів введення-виводу	5 В / 3,3 (3,3 В за замовчуванням)
Споживання струму 3,3 В:	
Режим очікування	5,6 мА
Режим сну	0,4 мА
Режим PSM	5мкА
Режим eDRX	70 мкА (eDRX = 655,36 с)
Робоча температура	-40 ° C ~ 85 ° C
Розміри модуля	30,5 x 65,0 мм
Зв'язок через	LWM2M / COAP / MQTT / TCP / UDP / HTTP / HTTPS
Швидкість передачі	300-3686400 біт/с

4.4 Програмне забезпечення

1. Система LoRaWAN

Для відображення даних на табло використовуємо платформу Things Board.

Things Board — це платформа IoT з відкритим кодом для збору, обробки, візуалізації та керування пристроями. Things Board дозволяє створювати багатофункціональні інформаційні панелі IoT для візуалізації даних та віддаленого керування пристроями в режимі реального часу.

Будучи надійною, масштабованою та зручною для користувачів, платформа Things Board IoT підтримує різні випадки використання Інтернету речей, надаючи гнучкі та потужні готові функції, щоб скоротити час виходу на ринок ваших підключених продуктів і розумних рішень. Платформа не залежить від пристроїв, тому ви можете передавати та аналізувати дані телеметрії з будь-якого датчика, підключеного пристрою чи програми. Комплексні функції Things Board і багаті API платформи дозволяють вам заощадити час і ресурси на рутинних завданнях IoT і зосередитися на конкретних функціях вашого рішення IoT.

Платформа успішно використовується в різних галузях, наприклад таких як:

- Розумна енергія;
- Розумне землеробство;
- Моніторинг навколишнього середовища;
- Розумний замір;
- Облік води та інше.

За допомогою цього програмного забезпечення можна:

- Збирати та візуалізувати дані з пристроїв;
- Передача даних пристрою в інші системи;

- Керувати своїми пристроями за допомогою віддалених викликів процедур (RPC);
- Створювати динамічні та адаптивні інформаційні панелі та презентувати клієнтам телеметрію пристроїв або активів і статистику та інше.

Приклад виведення даних на табло в платформі Things Board зображено на рисунку 4.8.

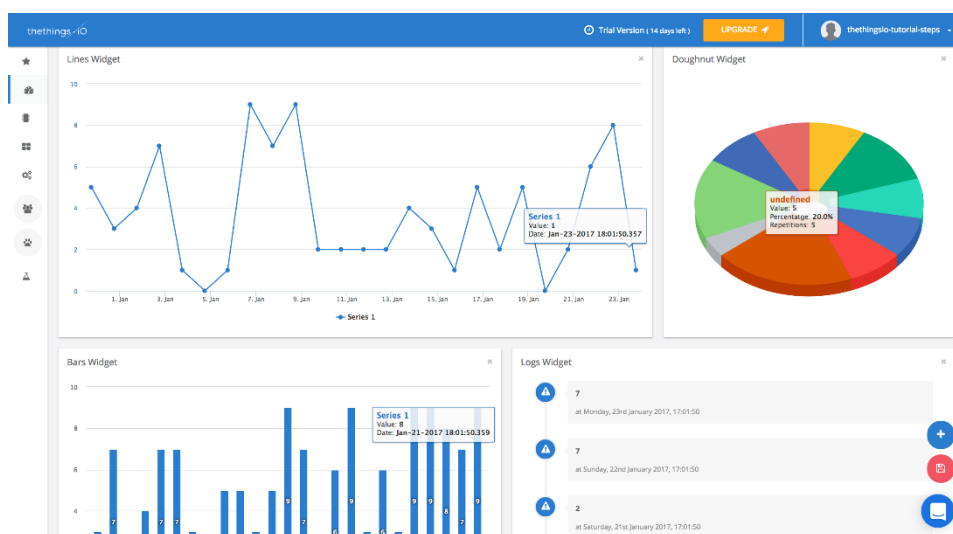


Рисунок 4.8 – Приклад виведення даних на табло в платформі Things Board

Платформа використовує процедури реплікації та резервного копіювання даних, щоб переконатися, що ви не втратите дані [27].

2. Система NB-IoT

Програмним забезпеченням (софтом) для роботи з сервером в системі NB-IoT є телефонний оператор, сімка якого використовується. Дані для моніторингу надходять на мобільний пристрій.

Висновки до 4 розділу

У четвертому розділі дипломної роботи запропоновано теоретичний приклад системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій Інтернету речей, а саме безпроводової системи LoRa на базі протоколу LoRaWAN та безпроводової системи NB-IoT, з застосуванням бюджетного модуля ESP32 CAM, мікроконтролер якої за допомогою штучного інтелекту навчений розпізнавати наявність і кількість снігових опадів.

Описано особливості архітектур систем LoRaWAN та NB-IoT та складові систем з розкритим принципом роботи.

Досягнуто основних завдань систем, а саме:

- передача даних (зображення) кількості снігових опадів на сервер;
- передача відбувається за допомогою технологій LoRa та NB-IoT.

На прикладі створеної власної системи моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій Інтернету речей показана наочна простота використання даної системи.

Так як в лазерній системі є проблеми з небажаним порушенням поля вимірювання, при використанні даної системи площа вимірювання буде великою, що дозволить уникнути порушення поля вимірювання. А сама система, використовуючи модуль ESP32 CAM буде бюджетною і простою у використанні, на відміну від ультразвукової.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі створено прототип систем моніторингу сніжного покриву з використанням радіочастотних технологій Інтернету речей на базі протоколів LoRaWAN та NB-IoT, з використанням модуля ESP32 CAM, мікроконтролер якої за допомогою штучного інтелекту навчений розпізнавати наявність і кількість снігових опадів.

Наведено алгоритм процедури навчання мікроконтролера штучним інтелектом.

Наведено структури архітектур систем, описано їх складові та принцип роботи, а також програмне забезпечення за допомогою якого дані виводять на табло/пристрій.

Під час аналізу існуючих систем вимірювання рівня снігу, на основі лазера та ультразвуку було виявлено такі проблеми, як:

- лазерна система має мале поле сканування і об'єкти поблизу поля вимірювання можуть створювати снігові замети, чим викликають небажані похибки вимірювання;
- ультразвукова через високу складність та вартість впровадження експлуатації таких систем мало застосовується.

Камера має можливість надсилати результати аналізу знімку, де відразу видно ситуацію на місцевості, і є недорогою і простою у використанні всієї системи.

Перевагою такої системи є незначне енергоспоживання, простота використання та бюджетність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. WHAT IS THE INTERNET OF THINGS (IOT)? : веб-сайт. URL: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-the-internet-of-things-iot> (дата звернення: 02.05.2022).
 2. Сфери застосування IoT : веб-сайт. URL: <https://shop-gsm.ua/blog/internet-veschej-iot-perspektiva-v-ukraine> (дата звернення: 02.05.2022).
 3. S. H. Shah and I. Yaqoob, "A survey: Internet of Things (IOT) technologies, applications and challenges," 2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 2016, pp. 381-385, doi: 10.1109/SEGE.2016.7589556.
 4. Internet of Things (IoT) in Agriculture - Selected Aspects March 2016. Agris On-line Papers in Economics and Informatics VIII(1):83-88. DOI:10.7160/aol.2016.080108.
 5. Business guide to Industrial IoT (Industrial Internet of Things): веб-сайт. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/> (дата звернення: 05.05.2022).
 6. S. Devalal and A. Karthikeyan, "LoRa Technology - An Overview," 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 2018, pp. 284-290. DOI: 10.1109/ICECA.2018.8474715.
 7. Каталог продукції Romsat. Технологія LoRaWAN : веб-сайт. URL : <https://romsat.ua/company/news/lorawan-technology/> (дата звернення: 17.05.2022).
 8. Сети LPWAN: история и перспективы : веб-сайт. URL: <http://orion-m2m.com/ru/news/seti-lpwan-istoriia-iperspektivy/> (дата звернення: 18.05.2022).
 9. LoRa and LoRaWAN: the technologies, ecosystems, use cases and market : веб-сайт. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/iot-network-lora-lorawan/> (дата звернення 21.05.2022).
- A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things.
URL:
https://www.researchgate.net/publication/307965130_A_Study_of_LoRa_Long_Range_Low_Power_Networks_for_the_Internet_of_Things

11. Что такое сеть Nb-IoT и каковы ее особенности : веб-сайт. URL : <https://shop-gsm.ua/blog/chto-takoe-set-nb-iot-i-kakovy-ee-osobennosti> (дата звернення 21.05.2022).
12. Технологія вузькосмугового інтернету речей (NB-IoT) у мережі мобільного зв'язку : веб-сайт. URL : <http://1234g.ru/novosti/uzkopolosnyj-internet-veshchej-nb-iot> (дата звернення 22.05.2022).
13. П.М. Райтер, О.М. Григоришин Аналіз переваг та недоліків сучасних технологій передачі даних для розподілених систем технічної діагностики і моніторингу : Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна, 2017. С.79.
14. Narrow Band (NB) IoT – How to reach the next level in the IoT game? : веб-сайт. URL: <https://www.bearingpoint.com/en/insights-events/insights/narrow-band-iot/> (дата звернення 22.05.2022).
15. NB-IoT та LoRaWAN: веб-сайт. URL: <https://www.intelvision.ru/blog/nb-iot-lorawan> (дата звернення 24.05.2022).
16. Byung Moo Kim, Chun Woo Lee, Chang Joo Lee, Jiyoung Choi. A MULTIPOINT SNOW DEPTH MEASUREMENT SYSTEM. P. 1-4.
17. Sommer Messtechnik: Ultrasonic Snow Depth Sensor USH-8. 2015. URL: <https://www.sommer.at/de/> (дата звернення 02.06.2022)
18. Evaluation of Ultrasonic Snow Depth Sensors for U.S. Snow Measurements May 2008. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 25(5). DOI:10.1175/2007JTECHA947.1
19. Технологія NB-IoT для створення розумного дому: веб-сайт. URL: <https://vashumnyidom.ru/upravlenie/tehnologii/nb-iot.html> (дата звернення 06.06.2022)
20. Контролер ESP32-CAM з камерою OV2640: веб-сайт. URL: <https://iarduino.ru/shop/boards/kontroller-esp32-cam-s-kameroy-ov2640.html> (дата звернення 07.06.2022)

21. Модуль передачи данных RFM95, RFM95W 868 МГц LORA SX1276: веб-сайт. URL: <https://compacttool.ru/modul-peredachi-dannykh-rfm95-rfm95w-868-mgts-lora-sx1276> (дата звернення 10.06.2022)
22. Каталог партнерської екосистеми: веб-сайт. URL: <https://www.arm.com/partners/ai-ecosystem-catalog/edge-impulse> (дата звернення 08.06.2022)
23. Що таке крайові обчислення і чому це важливо?: веб-сайт. URL: <https://tebapit.com/> (дата звернення 08.06.2022)
24. НАПІВПРОМИСЛОВИЙ ШЛЮЗ LORAWAN® GATEWAY : веб-сайт. URL: <https://ursalink.com.ua/lorawan-gateway/ug65-lorawan-gateway/#> (дата звернення 10.06.2022)
 Ruslan Kirichek; Van-Dai Pham; Aleksey Kolechkin; Mahmood Al-Bahri;
25. SIM7020E: NB-IoT-модуль: веб-сайт. URL: <https://wireless-e.ru/gsm/nb-iot/sim7020e/> (дата звернення 10.06.2022)
26. Платформа IoT з відкритим кодом: Things Board: веб-сайт. URL: <https://thingsboard.io/> (дата звернення 10.06.2022)