

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

Радіотехнічних пристроїв та систем

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.І. Мук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«12» вересня 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю
за спеціалізацією
технології

172 Телекомунікації та радіотехніка

Радіотехнічні інформаційні

(код і назва спеціальності)

на тему: Система передачі даних на основі протокола LoRaWAN

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-81мп

Гнатюк Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник к.т.н. доц. Могильний Сергій Борисович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант ох. праці
(назва розділу)

к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент

доцент каф. РОС, к.т.н., Мокішук В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Гнатюк Дмитро
(підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет (інститут)

Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра

Радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність
спеціалізація

172 Телекомунікації та радіотехніка
Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.В.

С.В. Мук

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«10» Вересня 2019 р.

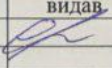
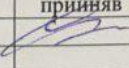
ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Гнатиюку Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема дисертації: Система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN
науковий керівник дисертації Могильний Сергій Борисович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3884-с
- Строк подання студентом дисертації 12 грудня 2019
- Об'єкт дослідження система передачі даних на основі
технології LoRaWAN
- Предмет дослідження змінення швидкості передачі інформації
різними методами передачі інформації
- Перелік завдань, які потрібно розробити
 - Провести огляд існуючих технологій бездротової передачі даних;
 - Розробити пристрій систему передачі даних;
 - Реалізувати систему передачі даних;
 - Проаналізувати

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу презентація на тему майстерської дисертаційної роботи "Система передачі даних на втеві кроковому двигуні"

7. Орієнтовний перелік публікацій Ткачук Д.О. Передача інформації на великій відстані з незначною енергоспоживаністю за допомогою технічної ГОДА VAV/Міністерської науково-технічної конференції. 2019, 01.11

8. Консультанти розділів дисертації*

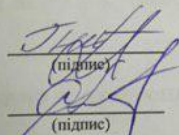
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 10 вересня 2019

Календарний план

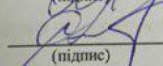
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз бездротової мережі	01.09.2019 - 17.09.2019	виконано
2.	Вибір ради-модуля	17.09.2019 - 20.09.2019	виконано
3.	Вибір архітектури мережі	20.09.2019 - 24.09.2019	виконано
4.	Вибір адресової мережі	24.09.2019 - 01.10.2019	виконано
5.	Модуль передачі даних	02.10.2019 - 24.10.2019	виконано
6.	Розробка коду для впрограмування	28.10.2019 - 04.11.2019	виконано
7.	Розробка розділу стандарту	11.11.2019 - 22.11.2019	виконано
8.	Впрограмування драйверу до захищеної	12.12.2019	виконано

Студент


(підпис)

Д.О. Ткачук
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

С.Б. Мозгаров
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської дисертації

на тему: «Система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN»

Київ — 2019 року

АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації (МД) становить 87 сторінок, які включають в себе 5 розділів, 18 ілюстрацій, 14 таблиць, 1 додаток і 34 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: LoRa, ESP-NOW, IoT, RSS.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні Інтернет речей (IoT) — одне із найбільш цитованих тем. IoT захоплююча ідея в наявності якої мільярд Smart пристроїв для сканування навколишнього середовища та передачі даних до онлайн сховища перетворюється в телекомунікаційне дослідження. Крім того, підтримувати безпечну передачу інформації в режимі реального часу з низьким енергоживленням. Такі технології можуть привести до вирішення багатьох питань пов'язаних із Smart – містами, моніторингом забруднення, транспорту, пошуку людей, охороною здоров'я. Це можливо за допомогою використання бездротових систем зв'язку LoRa та ESP-NOW. LoRa – велика дистанція, низька потужність, використання Chirp Spread Spectrum (CSS). ESP-NOW – невелика відстань, низька потужність, більший канал передачі даних.

Мета та завдання. Метою є створення системи на базі технології LoRaWAN, а також збільшити пропускну здатність системи.

Об'єкт та предмет роботи. Об'єктом виступає система передачі на базі технології LoRaWAN. Предметом виступає зменшення споживання системи різними методами передачі інформації.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна підтверджена наявністю в МД отриманих результатів, графіків, які доводять працездатність системи. Використання існуючих технологій LoRaWAN зменшує енергоживлення системи та швидкість передачі інформації.

ANNOTATION

The volume of the Master's Thesis Explanatory Note (MD) is 85 pages, which includes 9 sections, 38 illustrations, 25 tables, 1 appendix, and 7 bibliographic titles by reference list.

Keywords: LoRa, ESP-NOW, IoT, RSS.

Relevance of the research topic. Today Internet of things (IoT) – one of the most quoted topics. IoT is an exciting idea, with one billion Smart devices for environmental scanning and data transfer to online storage being transformed into telecommunications research. It also supports secure real-time transmission of information. That kind of technologies can lead to solution of many questions related to Smart cities, pollution monitoring, transport, people search and health care. This is possible through the use of wireless systems such as LoRa and ESP-NOW. The characteristic of LoRa is long distance, low power, use of Chirp Spread Spectrum (CSS). The characteristic of ESP-NOW is short distance, low power, a larger data transmission channel.

Purpose and tasks. The purpose is to create a system based on LoRaWAN technology, as well as to increase the system throughput.

Object and object of work. Transmission system is the object based on technologie LoRaWAN. The subject is to reduce the consumption of the system by different methods of information transmission.

Scientific novelty of the obtained results. Scientific novelty is confirmed by the presence in MD of the obtained results, graphs that prove the system's efficiency. The use of existing LoRaWAN technologies reduces system power and information transfer speeds.

АННОТАЦИЯ

Объем пояснительной записки магистерской диссертации (МД) составляет 87 страниц, которые включают в себя 5 разделов, 18 иллюстраций, 14 таблиц, 1 приложение и 34 библиографических наименований по перечню источников ссылок.

Ключевые слова: LoRa, ESP-NOW, IoT, RSS.

Актуальность темы исследования. Сегодня Интернет вещей (IoT) - один из самых цитируемых тем. IoT захватывающая идея в наличии которой миллиард Smart устройств для сканирования окружающей среды и передачи данных в онлайн хранилище превращается в телекоммуникационное исследование. Кроме того, поддерживать безопасную передачу информации в режиме реального времени с низким энергопитанием. Такие технологии могут привести к решению многих вопросов, связанных с Smart - городами, мониторингом загрязнения, транспорта, поиска людей, здравоохранением. Это возможно с помощью использования беспроводных систем связи LoRa и ESP-NOW. LoRa - большая дистанция, низкая мощность, использование Chirp Spread Spectrum (CSS). ESP-NOW - небольшое расстояние, низкая мощность, широкий канал передачи данных.

Цель и задачи. Целью является создание системы на базе технологии LoRaWAN, а также увеличить пропускную способность системы.

Объект и предмет работы. Объектом выступает система передачи на базе технологии LoRaWAN. Предметом выступает уменьшение потребления системы различными методами передачи информации.

Научная новизна полученных результатов. Научная новизна подтверждена наличием в МД полученных результатов, графиков, доказывающих работоспособность системы. Использование существующих технологий LoRaWAN уменьшает энергопитания системы и скорость передачи информации.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	14
1.1 Огляд мережі WPAN	14
1.1.1 Bluetooth.....	14
1.1.2 HomeRF (SWAP)	16
1.1.3 Wireless USB.....	17
1.1.4 IEEE 802.15.3.....	18
1.1.5 Ultra Wideband (IEEE 802.15.4 a/b)	19
1.2 Огляд мережі WLAN	20
1.2.1 Wi-Fi (IEEE 802.11).....	21
1.3 Огляд мережі WMAN	22
1.3.1 WIMAX	22
1.4 Огляд мережі LPWAN.....	24
1.4.1 NB-IoT.....	25
1.4.2 SigFox.....	27
1.4.3 LoRaWAN	28
1.5 Висновки.....	35
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОЗРОБКИ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛА LORAWAN	36
2.1 Вибір базового радіомодему для кінцевого пристрою	37
2.2 Вибір базового радіомодему для шлюза мережі	40
2.3 Вибір мікроком'ютера.....	41
2.4 Реалізація функціоналу збору даних кінцевого пристрою	42
2.5 Тестування системи	44
2.6 Висновки.....	45
3 ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ	46
3.1 Робоча послідовність кінцевого пристрою	46
3.2 Енергетична модель кінцевого пристрою	49
3.3 Структура пакету мережі LoRaWAN	52
3.4 Дальність зв'язку	55
4 ПОБУДОВА СИСТЕМИ В УМОВАХ МІСТА.....	57
4.1 Оцінка отриманих результатів	59
4.2 Висновки.....	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
5.1Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.	60

5.2	Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.	61
5.2.1	Електробезпека	61
5.2.2	Правила безпеки під час експлуатації електронно обчислювальних машин	63
5.2.3	Організація робочого місця	63
5.2.4	Відповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам	65
5.2.5	Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.....	67
5.2.6	Виробничий шум	67
5.2.7	Безпека в надзвичайних ситуаціях	69
5.2.8	Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.....	69
5.2.9	Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.	70
5.2.10	Пожежна безпека.....	72
6	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	75
6.1	Опис ідеї стартап-проекту.....	78
6.2	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	79
6.3	Розроблення ринкової стратегії проекту	82
6.4	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
6.5	Висновки.....	86
7	ВИСНОВКИ.....	87
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
	ДОДАТОК А	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT (Internet of Things) – інтернет речей;

WPAN (Wireless personal area network) – бездротова приватна мережа;

WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа;

WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – бездротова мережа в межах міста;

LPWAN (Low-power Wide-area Network) – енергоефективна мережа дальнього зв'язку;

Li-Po (lithium-ion polymer battery) – літіо-полімерний акумулятор

SF (Spreading factor) – коефіцієнт розширення спектру;

BW (Band Width) – полоса частот;

SNR (signal-to-noise ratio) – відношення сигнал/шум;

CR (Code Rating) – коефіцієнт кодування;

ВСТУП

Сьогодні стає дедалі більшим інтерес до атоматизації, контролю та моніторингу систем різних об'єктів. Головне питання при проектуванні автоматизованої системи – яку технологію обміну даними слід використовувати, щоб воно якнайбільше повно відповідала функціоналу, швидкому налагоджуванню та подальшому обслуговуванню. Основна роль системи - швидке реагування на зміни об'єкта керування або спостереження в реальному часі.

Бездротові радіомережі забезпечують обмін інформацією між локальними пристроями. Часто використання провідних систем комунікації малоефективне через високу вартість як самих дротів, їх монтаж та пристроїв, терміналів для кодування інформації, невелику дальність передачі даних. Тому використання бездротових технологій є найбільш доцільне.

Особливо використання бездротових мереж привабливо для аграріїв, моніторингу полів, тепличних систем, управління промисловими пристроями з швидкою обробкою інформації. Мережа датчиків, що надає працівникам дані в режимі реального часу є потужним інструментом, який може впливати на всі аспекти виробничого процесу. В пристроях медичної діагностики та моніторингу пацієнтів.

Основні сфери використання системи далекого зв'язку:

- Віддалений збір даних з пристроїв обліку (вода, світло, газ, тепло).
- Управління системами розумного дому.
- Моніторинг оточуючого середовища.
- Моніторинг транспорту, управління пробками.
- Контроль пожежних та охоронних систем.
- Контроль світлофорами та вуличним освітленням.

- Система - аналог системи GPS.
- Система екстреного зв'язку короткими повідомленнями.

Для сучасних систем автоматизації та моніторингу однією з актуальних проблем є передача даних на велику дистанцію з невеликим енергоспоживанням, скорочення часу на розгортання системи, невеликими розмірами самого пристрою.

Основна проблема при проектуванні системи моніторингу полягає в підтримці балансу між вартістю системи та її можливістю. У певних випадках система моніторингу може коштувати дорожче, ніж саме обладнання контролю, або буде зовсім недоцільною в місцевості, де буде розгорнута система.

Таким чином, все більш актуальна та приваблива система далекого зв'язку, яка децентралізована, має низьке енергоспоживання, довгий час роботи від акумуляторного живлення, швидке розгортання системи, невелику вартість.

Одним із виходів може бути розробка, яка представлена в даній магістерській роботі – «Система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN».

Актуальність системи обумовлена потребами світового ринку в дешевій та енергонезалежній системі далекого зв'язку, яка забезпечує швидке реагування на зміни параметрів, легке обслуговування системи та зрозумілий інтерфейс для роботи з системою.

Науковою задачею дослідження магістерської дисертації є розробка системи далекого зв'язку з використанням мікрокомп'ютера та визначення оптимальних параметрів радіомодему для передачі інформації на великі відстані.

Завдання, що вирішуються: визначення оптимальних параметрів роботи системи далекого зв'язку з оптимальним енергоспоживанням та часом автономності системи. Вирішення науково-технічних завдань реалізується шляхом розв'язання таких завдань:

- Огляд існуючих технологій бездротової передачі інформації.

- Аналіз протоколу передачі даних.
- Вибір оптимальних параметрів системи, які задовольняють таким параметрам, як час автономності та дальність передачі.
- Розробка системи та її тестування в режимі реального часу.
- Аналіз отриманих результатів.

Прикладною задачею досліджень магістреської роботи є застосування системи далекоого зв'язку для моніторингу та контролю якості посіву пшениці. При використанні даної моделі можемо отримати наступні позитивні результати:

- Контроль вживаних нітратів.
- Контроль вологості ґрунту.
- Контроль вологості середовища вирощування.
- Контроль температури ґрунту та середовища вирощування.

1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Огляд мережі WPAN

WPAN – бездротова персональна мережа, розгорнута на робочому місці або вдома. Дальність дії мереж WPAN зазвичай не перевищує 10 м, хоча іноді може збільшуватися до 100 м. До бездротових мереж WPAN можна віднести мережі, побудовані за технологіями:

- Bluetooth IEEE 802.15.1.
- HomeRF (SWAP).
- Wireless USB (WUSB).

Нижче стисло розглянемо дані мережі. Вказані протоколи вибрані з аналізу їх використання в сучасних бездротових мережах.

1.1.1 *Bluetooth*

Технологія використовує неліцензований в ряді країн діапазон частот 2,45 ГГц (2400 - 2483,5 МГц). Це, так званий, діапазон ISM - Industry Science and Medicine, тобто діапазон, призначений для промисловості, наукових досліджень і медицини. Стандарт Bluetooth описує пакетний спосіб передачі інформації з тимчасовим мультиплексуванням. У радіотракті використаний метод розширення спектра за допомогою частотних стрибків (FHSS - frequency hopping spread spectrum). Спосіб модуляції - дворівнева частотна маніпуляція з фільтром Гауса GFSK.

Протокол Bluetooth підтримує логічні з'єднання типу "точка - точка" або "точка - шлюз", два і більше пристроїв, які використовують один і той же канал пристрою, утворюють пікомережу (piconet). Один з пристроїв пікомережі працює як головний (master), а решта - як підлеглі (slaves). В

одній пікомережі може бути до семи активних підлеглих пристроїв, при цьому інші підлеглі пристрої знаходяться в стані сну, залишаючись синхронізованими з основним пристроєм. Всього в одній пікомережі може бути задіяно до 256 окремих пристроїв. Взаємодіючі пікомережі утворюють "розподілену мережу" (scatternet) (рисунк 1.1.1), причому кількість пристроїв, задіяних в ній, не обмежена.

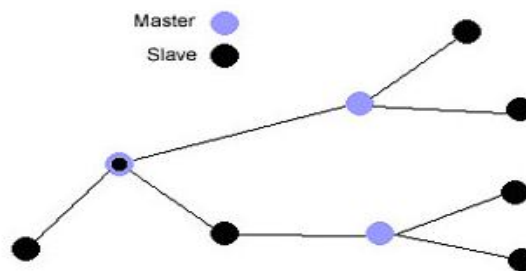


Рисунок 1.1.1 – Мережа пристроїв

Протокол Bluetooth 1.1 може підтримувати асинхронний канал даних, до трьох синхронних (з постійною швидкістю) голосових каналів або канал з одночасною асинхронної передачею даних і синхронної передачею голосу. Швидкість кожного з трьох голосових каналів – 64 кбіт/с в кожному напрямі, асинхронного в асиметричному режимі – до 723,2 кбіт/с в прямому і 57,6 кбіт/с у зворотному напрямках або до 433,9 кбіт/с в кожному напрямі в симетричному режимі. Максимальна теоретична швидкість передачі даних становить 1 Мбіт/с.

Типовий представник Bluetooth - модуль від компанії STMicroelectronics SPBT2632C2A, показаний на рисунку 1.1.2.



Рисунок 1.1.2 – Модуль Bluetooth

1.1.2 HomeRF (SWAP)

Стандарт HomeRF – бездротова домашня персональна мережа, бездротовий аналог відомої провідної Ethernet-подібної мережі HomePNA, яка використовувала в якості середовища передачі вже прокладену телефонну лінію. Для нормальної роботи мережі HomeRF необхідний host-комп'ютер або пристрій, що виконує його функції. Останнє сильно знижує вартісну привабливість і зручність розгортання такої мережі.

Технологія HomeRF використовує пакетний спосіб передачі даних за допомогою шумоподібного сигналу по методу частотного розділення. Потужність передавача приймальної станції становить 100 мВт, швидкість обміну даними 1 або 2 Мбіт/с (може бути збільшена до 10 Мбіт/с), передача ведеться на частоті 2,4 GHz. При передачі застосовується дво- або чотирирівнева частотна модуляція, кількість пристроїв в мережі - до 127. Захист інформації при передачі здійснюється за алгоритмом Blowfish data security, радіус дії приймача - до 50 м.

Необхідність наявності host-комп'ютера є також головною відмінністю цієї технології від Bluetooth. Стандарт HomeRF призначався для вирішення мережевих завдань, в той час як стандарт Bluetooth не вимагає дорогої апаратної підтримки та, крім побудови персональної мережі, може бути використаний для вирішення найширшого спектру завдань.

Оскільки ринок такого роду додатків у багато разів перевищує ринок спеціалізованих мережевих пристроїв, Bluetooth і став першою масовою бездротовою WPAN-технологією. Що ж стосується HomeRF, він поки не знайшов масового застосування. З одного боку, його витісняють Bluetooth-пристрої, з іншого - системи сімейства стандартів IEEE 802.11, які за останні кілька років стали суттєво дешевшими (позбавивши тим самим HomeRF основної переваги - низької вартості).

На даний час, нажаль, не має виробників, які випускають нові модуль під стандарт HomeRF, але на ринку ще залишаються пристрої, які використовують дану технологію.

1.1.3 Wireless USB

Історія виникнення Wireless USB почалася в 2004 році, коли була створена робоча група Wireless USB Promoter Group, до якої увійшли представники семи найбільших ІТ-компаній: Agere Systems, Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, NEC, Philips і Samsung. Ідеологією стандарту є позбавлення існуючого популярного комп'ютерного інтерфейсу USB з'єднувального кабелю і створення його бездротового аналога.

Існуюча в даний час версія стандарту Wireless USB 1.0 дозволяє домогтися пропускну здатності між USB-пристроями до 480 Мбіт/с на відстані до трьох метрів і 110 Мбіт/с - на дистанції до десяти метрів. Передача ведеться в безліцензійному діапазоні 2,4 ГГц, при цьому створювані для інших бездротових пристроїв перешкоди мінімальні.

Робота WUSB-мережі будується навколо зовнішнього або вбудованого в комп'ютер передавача, до якого можна підключити до 127 бездротових пристроїв. Інші комп'ютери підключаються до мережі аналогічним чином, в периферійні пристрої також може транслятор вбудовуватися WUSB-сигналів, або підключатися через USB-порт.

Таким чином, вже в найпершій версії Wireless USB 1.0 була досягнута швидкість передачі даних до 110 Мбіт/с на відстані до 10 м. Ця технологія має велике майбутнє. Для порівняння, щоб забезпечити передачу сигналу телебачення високої чіткості HDTV в межах приміщення, необхідна швидкість передачі близько 24 Мбіт/с. Таким чином, WUSB реально може забезпечити одночасну передачу кількох високоякісних відеосигналів.

1.1.4 IEEE 802.15.3.

Стандарт IEEE 802.15.3 описує роботу високошвидкісної малої бездротової мережі передачі даних пікомережі. Пікомережа даного стандарту - це так звана ad-hoc – система, в якій кілька незалежних пристроїв можуть безпосередньо взаємодіяти один з одним. Радіус зони дії приймача пристроїв стандарту IEEE 802.15.3, як правило, не перевищує 10 м. Основні вимоги до такої мережі - висока швидкість передачі даних, проста інфраструктура, легкість встановлення з'єднання і входження в мережу, наявність засобів захисту даних і надання для певних типів даних з'єднання з гарантованими параметрами передачі (QoS).

Пікомережа може об'єднувати кілька пристроїв, одне з яких виконує функції управління координатора пікомережі. Крім того, стандарт передбачає можливість формування дочірніх пікомереж і описує порядок взаємодії між незалежними сусідніми пікомережами. Кожен пристрій має глобальну 64-розрядну MAC-адресу, але для прискорення роботи в мережі йому присвоюється і 8-розрядна мережева адреса (ідентифікатор DEVID).

Обмін даними в мережі IEEE 802.15.3 здійснюється за допомогою пакетів. Пакети MAC-рівня включають в себе MAC-заголовок (10 байт) і поле корисних даних (до 2048 байт), яке закінчується контрольною сумою FCS (до 4 байт). За типом кадри можуть бути командними, кадрами даних, управління і підтвердження.

Специфікація фізичного каналу стандарту IEEE 802.15.3 приведена тільки для діапазону 2400 - 2483,5 МГц. Вона передбачає п'ять допустимих швидкостей передачі і, відповідно, п'ять типів квадратурної фазово-амплітудної модуляції:

- QPSK (4-позиційна квадратурна фазово-амплітудна модуляція, англ. Quaternary phase - shift keying) - 11 Мбіт/с.
- DQPSK (диференціальна QPSK) - 22 Мбіт/с.
- 16-QAM (16-позиційна амплітудна модуляція, англ. Quadrature amplitude modulation) - 33 Мбіт/с.
- 32-QAM - 44 Мбіт/с.
- 64-QAM - 55 Мбіт/с.

Швидкість 22 Мбіт/с є базовою, її зобов'язані підтримувати всі пристрої даного стандарту. При роботі на цій швидкості дані не кодуються, на інших швидкостях перед передачею дані кодуються за допомогою згорткового коду з 3-розрядними зсувними регістрами.

1.1.5 Ultra Wideband (IEEE 802.15.4 a/b)

Ключовим моментом у становленні надширокосмугових систем є розробка в 1974 році UWB-радарної системи для дослідження підземних об'єктів. Поява цієї системи стала справжнім поштовхом для нового напрямку - UWB-радарів для геолокації і локації крізь стіни. Важливим етапом у розвитку UWB-технологій стала також поява стробоскопічних осцилографів з частотою сканування вище 10 ГГц.

IEEE 802.15.4a/b - стандарт так званої технології UWB (Ultra Wideband), заснованої на передачі безлічі закодованих імпульсів пілкоподібної форми дуже малої потужності (0,05 мВт) і малої тривалості передачі в широкому діапазоні частот (від 3,1 до 10,6 ГГц). Передача даних на відстанях до 5 метрів

здійснюється з швидкістю від 400 до 500 Мбіт/с. Тип модуляції: OFDM, QPSK.

За допомогою UWB-технології можна створювати спеціальні мережі, в яких кілька надширокосмугових пристроїв зможуть підтримувати зв'язок між будь-якими вузлами. Короткі сигнали UWB порівняно стійкі до багатопроменевого загасання, яке виникає при відбиванні хвилі від стін, стелі, будівель, транспортних засобів. Високошвидкісні UWB-пристрої добре підходять для роботи з відеопотоками і додатками, які вимагають швидкого пересилання даних. Низькошвидкісне UWB обладнання може застосовуватися для відстежування місцеположення на місцевості власників бездротових пристроїв і різних об'єктів.

Головні переваги мереж WPAN:

- Компактні розміри пристроїв.
- Невелике енергоспоживання системи.
- Стійкість до інтермодуляційних перешкод.

Недоліки мереж WPAN:

- Невелика дальність дії мережі.
- Невеликий попит деяких стандартів.
- Немає підтримки з боку виробників радіомодулів.

1.2 Огляд мережі WLAN

WLAN – бездротова локальна мережа. Дальність дії мереж WLAN зазвичай становить близько 100 м, хоча, в разі потреби, такі мережі за допомогою стільникової структури можуть покривати досить значні простори. До бездротових мереж WLAN, в першу чергу, можна віднести групу стандартів, відомих під комерційним найменуванням Wi-Fi. Крім того, WLAN може бути побудована на основі атмосферних оптичних ліній зв'язку АОЛС (FSO), причому в цьому випадку дальність дії бездротової лінії становить до 2500 - 5000

м в залежності від обраного обладнання (повинна бути забезпечена пряма видимість двох станцій).

1.2.1 Wi-Fi (IEEE 802.11)

Даний стандарт IEEE 802.11 був розроблений в 1997 році. Разом з тим, перші реально діючі пристрої з'явилися на ринку ще до появи цього стандарту, на початку-середині 90-х років 20 століття. Ці рішення просувалися низкою компаній під загальною комерційною назвою Radio Ethernet. Після прийняття стандарту IEEE 802.11 цю назву було перенесено на обладнання, випущене відповідно до нього.

Стандарт IEEE 802.11 визначав архітектуру мережі та вимоги до функцій пристроїв, принципи доступу пристроїв до каналів зв'язку, формат пакетів передачі, способи аутентифікації і захисту даних. Хоча спочатку стандарт замислювався як інваріантний по відношенню до будь-якого частотного діапазону, на фізичному рівні він визначав три способи роботи: два радіочастотних (метод модуляції з розширенням спектра методом частотних стрибків FHSS і метод прямої послідовності DSSS в діапазоні 2,400 - 2,4835 ГГц) і оптичний (в інфрачервоному діапазоні методом імпульсно-позиційної модуляції). Швидкості обміну встановлювалися на рівні 1 і 2 Мбіт/с.

З огляду на радіус дії мереж, побудованих за технологією Wi-Fi, на її основі зазвичай будуються WLAN-мережі. Але, якщо використовувати стільниковий принцип побудови мережі, можна покрити Wi-Fi мережею досить значні території. Так, в Парижі в 2007 році запущена загальноміська безкоштовна мережа доступу в Internet з початковою кількістю точок доступу близько 500 і радіусом дії точки 300 - 500 м (на відкритому повітрі). Подібні мережі планується створити і в інших містах Франції.

Основні переваги мереж Wi-Fi:

- Велика швидкість передачі даних.
- Велика кількість пристроїв які підтримують стандарт IEEE 802.16.
- Невеликий розмір шлюзу.

Недоліки мереж Wi-Fi:

- Не елика дальність передачі сигналу.
- Велике споживання енергії: при передачі даних може сягати до 2А.
- Відносна велика ціна на шлюз мережі Wi-Fi, залежно від стандарту, який використовується.

1.3 Огляд мережі WMAN

WMAN – це бездротова мережа масштабу міста. Радіус дії таких мереж кілька кілометрів. Дальність дії WMAN становить близько 50 км. До бездротових мереж WMAN можна віднести мережі, побудовані на основі стандартів WiMAX і його різновидів, надширокосмугові системи UWB, а також мережі на основі стандартів Wi-Fi зі стільниковою структурою.

1.3.1 WiMAX

WiMAX - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN. Назва «WiMAX» було запропоновано WiMAX Forum - організацією, заснованою в червні 2001 року для просування і розвитку WiMAX. WiMAX заснована як технологія, яка надає високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, альтернативно виділеним лініям і DSL. Максимальна швидкість - до 1 Гбіт/с.

Переваги стандарту WiMAX:

- Велика зона покриття.
- Невеликий розмір кінцевого пристрою.
- Велика пропускна здатність.

Недоліки стандарту WiMAX:

- Велика ціна шлюза.
- Відносна велика ціна кінцевого пристрою.
- Велике споживання системи.

1.4 Огляд мережі LPWAN

LPWAN – енергоефективна система далекого радіусу дії. Розроблена для передачі даних від лічильників, датчиків виміру навколишнього середовища, мереж телеметрії та даних місцеположення рухомих пристроїв методом (RSSI). Аналізуючи останні публікації на цю тему, можна зробити висновок, що LPWAN це новий підхід для передачі інформації на великі відстані.

Основні риси даної системи:

- Низьке енергоспоживання (Lower Power) – кінцеві пристрої зазвичай живляться від акумулятора, тому що іноді доступ обмежений. Тому дуже важливо, щоб час роботи був тривалим. Виконують збір даних об'єкта керування або керують самим об'єктом.
- Великий радіус дії (Wide Area). Пристрої знаходяться на великій території і повинні підтримувати зв'язок з будь-якого місця, промислові або сільськогосподарські об'єкти, які віддалені від місця обробки інформації.
- Невеликий розмір кінцевого пристрою (Small devices).

Рисунок 1.3.1 – Типовий пристрій LPWAN

LPWAN відповідає стандарту IEEE 802.15.4- 2003. Не всі стандарти рівноносильні між собою, деякі мають більше переваг, ніж інші. Основні категорії стандарту LPWAN можна поділити на дві категорії:

- Стільникові системи LTE-M, NB-IoT, для яких використовують ліцензовані частоти стільникових систем.
- Не стільникові системи LoRaWAN, SigFox. Використовують не-ліцензовані частоти або діапазон частот (ISM).

В даний час найбільш популярні технології та цікавими у використанні є такі системи LoRa, SigFox, NB-IOT. Система далекого зв'язку SigFox, NB-IOT мають закриту архітектуру, відповідно, це вносить деякі складності або неможливості до розгортання власної бездротової мережі далекого зв'язку.

1.4.1 NB-IoT

NB-IoT (Cat-M2 або Narrow Band Internet of Things) – технологія вузькосмугового доступу до мережі Інтернет. Стандарт NB-IoT- це двосторонній зв'язок, ширина каналу якого дорівнює 200 кГц. Для того, щоб система працювала, оператору мобільного зв'язку треба встановити спеціальне програмне забезпечення, бо ця система є лише програмним проширенням над вже існуючою мережею LTE-M. Стандарт 3GPP пропонує декілька моделей функціонування для ефективного використання спектра пристроями NB-IoT.

Рисунок 1.4.1 – Розміщення NB-IOT в смузї LTE

Перша модель функціонування – NB-IoT Guard Band, цією моделлю обумовлено виділений окремий частотний спектр. Тобто, замінили несучі GSM на несучі NB-IoT.

Друга модель функціонування – In Band, тобто технологія буде розміщена в захисному інтервалі частот мережі LTE. Для постачальників послуг LTE розміщення в захистному інтервалі забезпечує максимально ефективне розгортання NB-IoT. Наприклад, при відсутності трафіку NB-IoT, блок фізичних ресурсів (PRB), доступний для несучої NB-IoT, можна використовувати для інших цілей, оскільки NB-IoT повністю інтегрований в існуючу інфраструктуру LTE. Це дозволяє мультиплексувати трафік LTE і NB-IoT в один і той же спектр.

У ролі засобу, схильного до впливу перешкод, виступає LTE (10 МГц), а в ролі джерела перешкод - пристрій NB-IoT. Дві спектральні криві (зліва) нарисовано розділені і накладені на загальний графік. Для аналізу пропускної спроможності було передано 1000 субфреймів LTE.

Рисунок 1.4.2 – Аналіз мережі в складі LTE

Третя модель функціонування – це Stand Alone, технологія буде працювати в одному частотному діапазоні разом з LTE.

Рисунок 1.4.3 - Аналіз мережі в складі LTE

Аналіз співіснування висхідного каналу в режимі із захисною смугою. У ролі засобу, схильного до впливу перешкод, виступає LTE (10 МГц), а в ролі джерела перешкод - пристрій NB-IoT.

Швидкість передачі даних становить до 200 кБіт/с. Але є декілька нюансів використання цієї мережі, розробка кінцевого пристрою буде залежати від оператора (яку модель розміщення мережі вибере). Треба вибирати модеми тільки ті, що запропонує оператор, або ті, що відповідають вимогам.

1.4.2 SigFox

SigFox – готова мережа далекого зв'язку, розроблена французькою компанією для пристроїв Інтернету речей (Internet of Things). Дана мережа надає готовий єдиний стандарт API для роботи з кінцевими пристроями. Це своя замкнута екосистема зі своїми модемами для роботи в мережі SigFox.

Основні характеристики даної мережі:

- Низьке енергоспоживання (Lower Power). Автономність роботи може сягати більше одного року.
- Стандартний набір команд для роботи за кінцевими пристроями. Дана мережа має стандартні команди спілкування з шлюзом. Але це також накладає свої обмеження в роботі.
- SigFox використовує ультра-вузьку смугу частот UNB (Ultra Narrow Band). Використання UNB забезпечує низький рівень завад.

Мережа також працює в неліцензованих діапазонах ISM. Наприклад, в Європі використовують смугу 868,8 МГц (відповідно директив ETSI та CEPT), в США 915 МГц (відповідно директиві FCC).

На рисунку 1.4.4 зображено топологію мережі для забезпечення масштабування.

Рисунок 1.4.4 – Топологія мережі SigFox

В SigFox вузол може бути в двох режимах:

- Режим P2P – прямий зв'язок між вузлами. В цьому режимі вузли можуть безпосередньо спілкуватися з шлюзом, без використання транзитної мережі або каналу. Такий режим корисний коли можна пообдувати вторинні мережі без зміни в керуючої програми використовувати спеціальні команди ядра системи.
- Гібридний режим – SigFox/P2P. Даний режим використовує поєднання SigFox та P2P, дозволяє тільки відправляти спеціальні повідомлення, які підтримує ядро системи контролю даних. В цьому випадку шлюз працює як P2P+SigFox, а кінцеві пристрої P2P.

В даній технології, як і в NB-IOT, використовують свої пропріетарні модеми зв'язку. Також мають внутрішні команди управління мережі, що зав'язує на використання стандартних команд та унеможлиблює розширення мережі власними командами.

1.4.3 LoRaWAN

LoRaWAN – мережа далекого зв'язку з низьким енергоживленням. Дана мережа має топологію «Зірка» і складається з головного сервера, шлюзу та кінцевого пристрою. Сервер відповідає за збір, зберегання та обробку даних.

Шлюз виконує роль ретранслятору між кінцевим пристроєм та сервером. Кінцевий пристрій збирає дані з керуючого об'єкта або з датчиків, підключених до кінцевого пристрою.

Реалізацію мережі можна представити у вигляді кінцевих пристроїв (точок, нод, вузлів), дані яких передаються на шлюз, далі від шлюзу на сервер та до користувача.

LoRa – це тип модуляції, яка запропонована організацією LoRa Alliance, як єдиного глобального стандарту мереж з низьким енергоспоживанням. Фізичний рівень моделі OSI media layer 1, а LoRaWAN – це MAC-протокол канального рівня (OSI media layer 2).

Для цієї мережі основні характеристики:

- Низьке енергоспоживання (Lower Power). Автономність роботи може сягати більше одного року.
- Невисока швидкість обміну даними.
- Великий радіус зв'язку. В сільській місцевості 15 км та 5 км в міській забудові.
- Низька вартість для кінцевого пристрою. На ринку є дуже багато виробників, які постачають різноманітну кількість радіомодемів для підключення мережі LoRaWAN.

Технологія модуляції LORA™ (від англ. Long Range) являє собою метод модуляції, який дозволяє отримати значно більшу дальність зв'язку (зону покриття), ніж інші конкуруючі з ним способи. Цей тип модуляції ґрунтується на технології модуляції з розширеним спектром і варіації лінійної частотної модуляції (англ. CSS – chirp spread spectrum) з інтегрованою прямою корекцією помилок FEC (англ. FEC – forward error correction).

Технологія LORA значно підвищує чутливість приймача і, аналогічно іншим методам модуляції з розширеним спектром, використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до

канальних шумів і нечутливим до зсувів, викликаних неточностями в налаштуванні частот при використанні недорогих опорних кварцевих резонаторів. Технологія LoRa дозволяє здійснювати демодуляцію сигналів з рівнями на 19,5 дБ нижче рівня шумів.

Архітектура мережі

LoRaWAN end-node - кінцеві пристрої є елементами LoRaWAN мережі, системи LoRa, де вони виконують такі функції, як вимір або управління та контроль. Вони розташовуються віддалено і мають, як правило, батарейне живлення. Використовуючи мережевий протокол LoRaWAN, ці кінцеві пристрої можуть бути налаштовані для зв'язку з шлюзом мережі LoRaWAN. Дані в LoRaWAN мережі можуть передаватися в обидві сторони, як від кінцевих пристроїв до шлюзу, так і назад. Кінцеві пристрої передають дані не постійно, а вмикають передачу лише на деякий проміжок часу (як правило на 1-5 секунд), після закінчення якого відкривається два часових вікна для прийому даних. Решту часу трансивери кінцевого пристрою знаходяться в неактивному стані або в стані прийому, в залежності від класу пристрою (А, В або С).

Клас А

Кінцевий пристрій передає дані на шлюз короткими посилками за заданим графіком. Ініціатором обміну виступає сам кінцевий пристрій, як правило, не вимагає отримання підтвердження свого повідомлення від сервера, але протокол передбачає і повідомлення, на які сервер формує спеціальну відповідь, а сервер вибирає найкращий маршрут для відправки підтвердження (АСК від англ. acknowledgment - підтвердження) в момент відкриття кінцевим пристроєм вікна прийому повідомлення. Кінцевий пристрій переходить в режим прийому відразу після відправки даних на деякий нетривалий час, в інший час, знаходиться в режимі енергозбереження або сну. Сервер накопичує для кінцевого пристрою повідомлення і пересилає їх відразу пачкою, як тільки кінцевий пристрій виходить на зв'язок. Цей клас кінцевих пристроїв

найбільш економічний при використанні енергії та найбільш поширений на практиці. Тому, в подальшому будемо використовувати саме цей клас кінцевих пристроїв.

Клас В

Кінцевий пристрій передає за графіком значення заданому шлюзу. Шлюз відправляє повідомлення кінцевому пристрою відповідно до розкладу. Ініціатором обміну може бути шлюз LoRaWAN мережі. Кінцеві пристрої цього класу синхронізують внутрішній час з часом мережі за допомогою маяків, які пристрій регулярно отримує від шлюзу. Кінцеві пристрої цього класу мають відносно низьку часову затримку при обміні даними і відкривають більш широке часове вікно прийому, в порівнянні з класом А. Кінцеві пристрої класу В також мають всі можливості пристроїв класу А.

Клас С

Кінцевий пристрій цього класу має постійно відкрите вікно прийому і закриває його тільки на період короткочасної передачі даних. Шлюз може ініціювати обмін в будь-який час і передати повідомлення кінцевому пристрою відразу, у міру їх появи. Цей клас пристроїв найбільш енергозатратний (в порівнянні з класами А і В), тому зазвичай не використовує батарейне живлення, але отримує дані від сервера LoRaWAN мережі з найменшими затримками (lowest latency). Пристрої класу С мають всі можливості пристроїв класів А і В.

Кінцеві пристрої можуть проводити обмін як з одним, так і з декількома шлюзами, пристрої можуть працювати в двох режимах: точка-точка (P2P), коли обмін відбувається між кінцевим пристроєм (end-node) і шлюзом (також можна цілком реалізувати обмін тільки між двома пристроями мережі без використання концентраторів і навіть шлюзу), і в гібридному режимі, коли один з вузлів підключений, з одного боку по радіоканалу до інших вузлів, а з

іншого боку, має дротове підключення до мережі за протоколом TCP/IP і виступає в ролі шлюзу.

Такий одноканальний міні-шлюз може обслуговувати від одного до декількох десятків кінцевих пристроїв, які будуть конкурувати між собою за вільні тайм слоти міні-шлюзу для прийому і передачі даних.

Шлюз мережі LoRaWAN

Шлюзи LoRa призначені для використання в радіальних зіркоподібних мережових архітектурах великого радіусу дії в системі LoRaWAN. Через властивості технології LoRa ці шлюзи можуть являтися собою багатоканальні мультімодемні трансивери, які здатні виконувати демодуляцію відразу декількох каналів одночасно, і навіть одночасну демодуляції безлічі сигналів на одному і тому ж каналу. Ці шлюзи використовують інші радіочастотні компоненти, ніж ті, які застосовуються в кінцевій пристрої для забезпечення високої ємності мережі.

Шлюзи служать в якості інтерфейсу у вигляді прозорого моста для передачі повідомлень між кінцевими пристроями і центральним сервером. Зв'язок між концентраторами і центральним сервером LoRaWAN мережі здійснюється за допомогою традиційних технологій (Ethernet, WiFi, GSM) за протоколом TCP/IP. Якщо шлюзи підключаються до мережевого сервера через стандартні IP-з'єднання, то кінцеві пристрої використовують бездротове підключення до одного або кількох шлюзів. Всі кінцеві пристрої як правило, є двонаправленими, але вони також підтримують і функціонують в режимі, що забезпечує можливість здійснення групового оновлення програмного забезпечення через стільникову мережу або передачу інших масових повідомлень (Broadcast), що дозволяє скоротити час на їх передачу.

Залежно від каналної ємності і місць установки, доступні різні версії шлюзів: вони можуть встановлюватися як всередині приміщень, так і на вишках або будівлях. Кінцеві пристрої мережі LoRaWAN можуть бути в зоні

покриття як одного шлюзу так і декількох. Шлюзом в мережах з високою щільністю абонентських пристроїв виступають спеціальні багатоканальні концентратори, які мають можливість приймати дані від декількох вузлів одночасно. Саме ця можливість шлюзу безпосередньо впливає на максимальну щільність абонентських пристроїв на ділянці місцевості, яка обслуговується одним концентратором. Концентратори на базі Semtech SX1301 мають можливість обслуговувати до 5 тисяч абонентських пристроїв на один квадратний кілометр (на борту 2 чіпа SX1257, що забезпечують подвійний RF на 8 незалежних каналів, які можуть працювати одночасно, і одним транспортним backhaul каналом).

Ємність мережі залежить від того числа пакетів, які можуть бути отримані в даний момент часу. Один шлюз на SX1301 з 8 каналами, використовуючи протокол LoRaWAN, здатний отримати близько 1,5 млн. пакетів в день. Так що, якщо ваш вузол відправляє один пакет на годину, то один шлюз на SX1301 може з успіхом обслуговувати до 62500 таких кінцевих пристроїв. Зараз ведеться серйозна боротьба серед прихильників різних технологій і в порівняльних таблицях ви побачите різну кількість пристроїв, що обслуговуються одним шлюзом: від декількох сотень до мільйонів. Такі дані неінформативні і можуть ввести читача в оману, оскільки кожен кінцевий пристрій може відправляти дані з різною періодичністю, обсяг даних і швидкість передачі можуть істотно відрізнятись, тому говорити про теоретичну ємність мережі досить складно і для точних розрахунків потрібно брати до уваги безліч чинників.

Якщо ємності сегмента мережі недостатньо, то LoRaWAN мережа масштабується: більш висока щільність пристроїв, що досягається шляхом установки додаткових шлюзів. При появі нового шлюзу, центральний сервер мережі перерозподіляє навантаження, відправляючи кінцевим пристроям новий графік режиму передачі.

Центральний сервер LoRaWAN мережі

Проблему можливих колізій при одночасній передачі даних декількома пристроями вирішує центральний сервер LoRaWAN мережі, який адресно відправляє кінцевим пристроями мережі керуючі команди через шлюзи, виділяючи тайм-слоти для передачі і прийому індивідуально для кожного кінцевого пристрою. Адресація відбувається по унікальній 32-бітній DevAddr адресі для кожного центрального пристрою. Центральний сервер LoRaWAN мережі приймає рішення про необхідність зміни швидкості передачі даних пристроя, потужності передавача, виборі каналу передачі, її початку і тривалості за часом, контролює заряд батарей кінцевих пристроїв, тобто повністю контролює всю мережу і управляє кожним абонентським пристроєм окремо.

Кожен LoRaWAN пакет даних, що відправляються кінцевим пристроям, має в своєму складі унікальний ідентифікатор додатки AppEUI, що належить додатком на сервері сервіс-провайдера, для якого він призначений і цей ідентифікатор використовується центральним сервером LoRaWAN мережі для подальшої маршрутизації пакета і його обробки додатком на сервері. На практиці, як правило, послуги сервіс-провайдера надає виробник кінцевих пристроїв, який підтримує сервіс для обробки даних, куди маршрутизуються пакети з сервера LoRaWAN мережі для роботи.

Як окремий випадок, сервер додатків, сервер мережі і єдиний шлюз мережі (у вигляді одноканального LoRa трансивера) можуть бути об'єднані для побудови спрощеної моделі мережі в лабораторних умовах. Програмне забезпечення ядра мережевого сервера вільно не поширюється, але може бути отримано після укладення угоди з Lora Alliance, в загальному доступі знаходиться демонстраційна документація.

Протокол LoRaWAN визначає конкретний набір швидкостей передачі даних, але крайовий чіп або так званий фізичний шар (PHY, OSI media layer 1), тобто сама інтегральна схема, призначена для виконання функцій фізич-

ного рівня мережевої моделі OSI, здатна дати більше варіантів. Наприклад, Semtech SX1272 підтримує швидкості передачі даних від 0,3 до 37,5 кбіт/с, а SX1276 від 0,018 до 37,5 кбіт/с.

1.5 Висновки

В даному розділі магістерської роботи проведений огляд сучасних бездротових систем. Визначені їх основні характеристики, переваги та недоліки. Метою розділу було визначити, чому саме було обрано бездротову систему LoRaWAN з типом модуляції LoRa. В подальшому буде використано модулі, які підтримують тип модуляції LoRa. На базі цих модулів буде розроблена система далекого зв'язку.

2 ТЕХНОЛІГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОЗРОБКИ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛА LORAWAN

Даний розділ присвячено повному опису кожного із етапів розробки власного кінцевого пристрою, шлюзу та серверу, які використовують радіо-модулі стандарту LoRaWAN.

Основною метою розділу є підбір елементної бази пристроїв, які будуть відповідати наступним вимогам:

- Елементарна база повина забезпечити низьке енергоспоживання.
- Елементарна база повина визначати масогабаритні характеристики виробу.
- Теплові режими роботи не повині впливати на електричні характеристики пристроїв.
- Елементна технологічна база визначає його вартість.
- Електромагнітне випромінювання повино відповідати міжнародним стандартам.
- Мережа не повина вносити перешкоди в роботу інших бездротових мереж.

В проектуванні кінцевого пристрою та шлюзу використовувалися наступні складові:

- Радіо-модем з підтримкою модуляція LoRa.
- Мікрокомп'ютер.
- Датчик температури.
- Датчик вологості.

2.1 Вибір базового радіомодему для кінцевого пристрою

В якості радіо-модему для кінцевого пристрою використано бездротовий трансивер LoRa RA-02 рисунок 2.1 на базі чіпа SX1278 виробника Al-Thinker. Радіомодуль побудований за технологією LoRa. Трансівер може працювати в діапазоні частот від 410 МГц до 525 МГц, вибір робочої частоти здійснюється програмно. Ra-02 може працювати і як приймач, і як передавач даних, можливе об'єднання кількох модулів в загальну мережу. На платі модему розташований роз'єм IPEX під зовнішню антену.

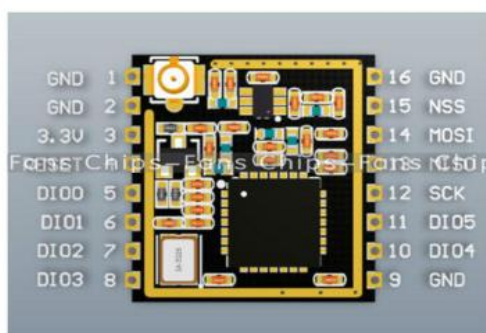


Рисунок 2.1.1 — Радіо модем RA-02

Основні параметри радіомодему:

- Модуляція LoRaTM.
- Постійна вихідна потужність зі зміною напруги + 20 дБм - 100 мВт.
- Висока чутливість: до -148dBm.
- Напівдуплексний зв'язок SPI.
- Програмована швидкість передачі даних до 300 Кбіт/с.
- Підтримка таких видів модуляції FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM і OOK.
- Динамічний діапазон RSSI до 127дБ.
- Автоматичне детектування радіочастотного сигналу.

Модем LoRa™ має незалежний буфер даних входу/виходу в буфер обміну FIFO, доступ до якого здійснюється через інтерфейс SPI, загальний для всіх режимів. Щоб можна було оптимізувати модуляцію LoRa™ надається доступ до трьох критичні параметрів конструкції. Кожен з них дозволяє здійснювати вплив на якість зв'язку, спектральне заповнення та номінальну швидкість передачі даних. Ці параметри - коефіцієнт поширення, пропускна здатність модуляції та швидкість кодування.

Модуляція LoRa™ з розширеним спектром виконується шляхом представлення кожного біта інформації декількома чіпами інформації. Швидкість, з якою надсилається інформація, називається символьною швидкістю (R_s), відношенням між номінальною швидкістю символу та частоти чіпів - це коефіцієнт розповсюдження, який являє собою кількість символів, що надсилаються на біт інформації. Діапазон значень, доступних за допомогою модему LoRa™, показаний у наступній таблиці .

Таблиця 2.1.1 Розширення спектру

<i>SpreadingFactor</i> (RegModulationCfg)	Spreading Factor (Chips / symbol)	LoRa Demodulator SNR
6	64	-5 dB
7	128	-7.5 dB
8	256	-10 dB
9	512	-12.5 dB
10	1024	-15 dB
11	2048	-17.5 dB
12	4096	-20 dB

Зауважимо, що коефіцієнт розповсюдження (SF) повинен бути відомий заздалегідь на обох сторонах передачі та прийому оскільки різні фактори розповсюдження є ортогональними один для одного.

Також отримане співвідношення сигнал/шум (SNR), необхідне на вході приймача. Саме можливість прийому сигналів з негативним SNR збільшує чутливість, тому зв'язуйте бюджет і діапазон приймача LoRa.

Збільшення пропускної здатності сигналу дозволяє використовувати більш високу ефективну швидкість передачі даних, тим самим скорочуючи час передачі за рахунок зниження чутливості приймача. Звичайно, у більшості країн Європейського Союзу є нормативні обмеження допустимо зайнятої смуги пропускання. На відміну від модему FSK, який описаний в рамках єдиної бічної смуги, пропускна здатність модему LoRa™ відноситься до подвійної пропускної здатності бічної смуги (або загальної пропускної здатності каналу). Діапазон пропускної здатності, що відповідає більшості ситуацій роботи модему, наведено в таблиці 2.2.2.

Таблиця 2.2.2 Бітова швидкість

Bandwidth (kHz)	Spreading Factor	Coding rate	Nominal Rb (bps)
7.8	12	4/5	18
10.4	12	4/5	24
15.6	12	4/5	37
20.8	12	4/5	49
31.2	12	4/5	73
41.7	12	4/5	98
62.5	12	4/5	146
125	12	4/5	293
250	12	4/5	586
500	12	4/5	1172

Даний модуль змонтований на тестовій платі для проведення тестування в режимі реального часу. Даний модуль підключений за наступною розпіновкою модуля до мікроконтролера (таблиця 2.2.3):

Таблиця 2.2.3 Підключення

VCC	3.3V
GND	GND
SCK	SCK
MISO	MISO
MOSI	MOSI
NSS	10
NRESET	9
DIO0	2

Отже визначили модуль, який буде використаний в кінцевому пристрої, коротко розкриті його характеристики та структурна схема роботи пристрою. Визначили схему підключення радіомодуля до мікрокомп'ютера.

2.2 Вибір базового радіомодему для шлюза мережі

У якості трансиверу шлюзу мережі LoRaWAN використовуємо модуль RA-01 рисунок 2.2.1 на базі чіпу SX1301.

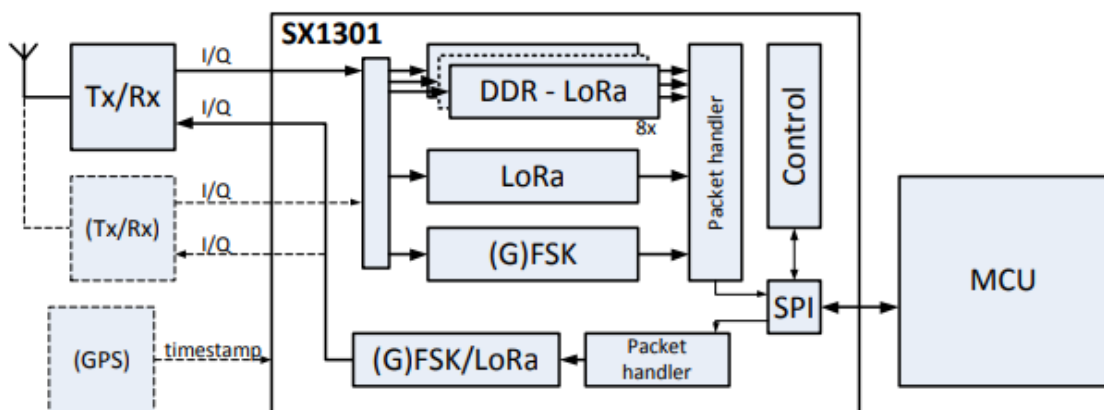


Рис. 2.2.1 Структурна схема модему шлюзу

Цифровий чіп SX1301 є масовим цифровим механізмом обробки сигналів і спеціально розроблений, щоб запропонувати шлюз, який може працювати в діапазоні групи ISM по всьому світу. Завдяки цього можлива

інтеграція шлюза LoRaWAN. Концентратор LoRaWAN – це багатоканальний передавач/приймач, який призначений для одночасного отримання декількох пакетів LoRa за допомогою використання випадкових факторів розповсюдження сигналу. Його мета - забезпечити надійне з'єднання між центральним ядром мережі і величезною кількістю кінцевих пристроїв на дуже великій відстані.

Основні характеристики:

- Чутливість до -142дБм.
- Відхилення CW інтерференції до 70 дБ при зсуві 1 МГц.
- Можливо до 49х LoRa демодуляцій.
- Двонаправлений інтерфейс прийому та передачі.
- 10 програмованих паралельних демодуляторів.
- Динамічна адаптація до прийнятого сигналу.

Отже визначили основні параметри трансивера для шлюзу мережі LoRaWAN. Розглянуто структурну схему роботи трансивера та структурну схему буферу обміну між мережою та сервером обробки, збереження даних.

2.3 Вибір мікроком'ютера

Для реалізації обробки, зберігання та відображення інформації вибрано мікрокомп'ютер Orange Pi Lite рисунок 2.3.1. Данна модель – це одноплатний міні-комп'ютер з відкритим вихідним кодом. Він використовує процесор Allwinner H3 SOC і має оперативну пам'ять 512 МБ DDR3 SDRAM. Він може працювати під управлінням Android 4.4, Ubuntu, Debian, Rasbian. Відмінною особливістю комп'ютера є те, що при збереженні функціональності і сумісності запропонований комп'ютер дуже малих розмірів.

Основні характеристики мікрокомп'ютера:

- H3 чотирьохядерний процесор Cortex-A7 H.265.
- Пам'ять (SDRAM): 512 МБ DDR3.

- Зовнішня Wi-Fi антена.
- USB: 2 порти USB 2.0 і один USB 2.0 OTG.
- GPIO: 40 контактів.
- Живлення 5В 1А.
- Розмір: 69 x 48 мм;

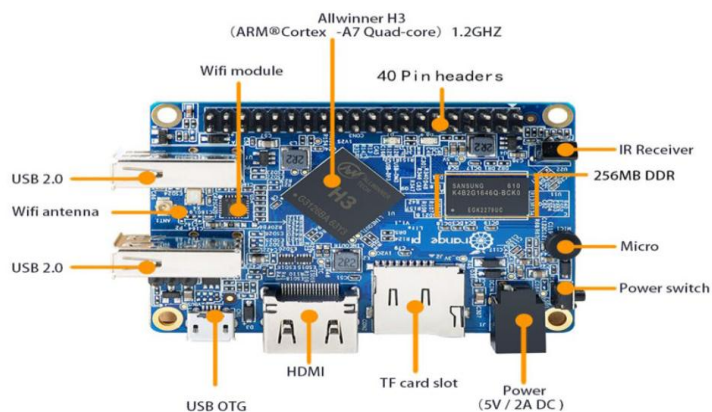


Рисунок 2.3.1 – Мікрокомп'ютер Orange Pi Lite

Даний мікрокомп'ютер задовольняє наші умови, а саме чотирьох ядерний процесор зможе опробляти велику кількість даних. На платі змонтований роз'єм MicroSD для встановлення картки до 64 ГБ. На даній картці встановлена система та основна програма для обробки мережі LoRaWAN. Ще великим плюсом є те, що плата живиться від 5 В. В даному випадку не важливе енергоспоживання системи, тому що шлюз буде встановлений в місці з постійним підведенням напруги.

2.4 Реалізація функціоналу збору даних кінцевого пристрою

З вище наведеного зрозуміло, що модем Ra-02 є лише трансирвером для передачі інформації на шлюз. Для того, щоб керувати устаткуванням або збирати інформацію треба використати додатковий мікроконтролер, який виконує ці всі задачі. Для тестування системи кінцевий пристрій буде представлений такими складовими:

- Мікроконтролер ESP-32.

- Датчик температури DS18B20.
- Годинник DS3231.
- Радіомодем RA-02.

Рисунок 2.4.1 - Тестовий кінцевий пристрій

Шлюз представлений як мікрокомп'ютер Orange Pi Lite з трансівером на базі чіпу SX1301:

- На мікрокомп'ютері встановлена Armbian.
- Ядро системи LoRaWAN.
- Трансівер.

Рисунок 2.4.2 – Тестовий шлюз радіомережі LoRaWAN

2.5 Тестування системи

Для перевірки системи встановимо попередньо написаний програмний код (Долаток А). В цьому коді реалізовано детектування радіомодему на шині даних мікрокомп'ютера. Нижче зображено (рисунок 2.5.1), що модем виходить на зв'язок та вже надсилає тестові дані:

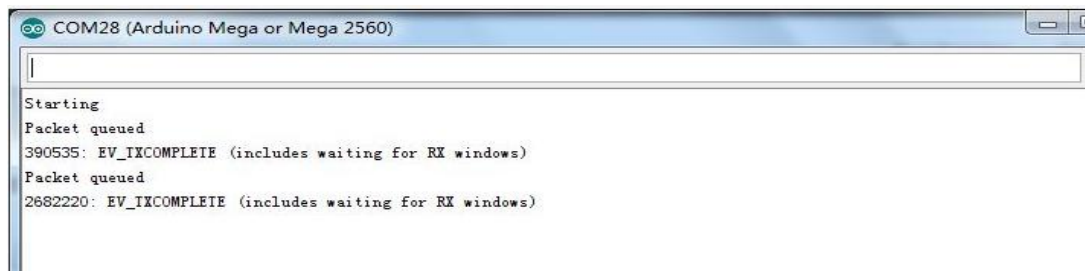


Рисунок 2.5.1 – Відповідь від радіомодему та відправка тестових даних

На мікрокомп'ютер встановлено ядро мережі LoRaWAN. Дане ядро приймає інформацію від кінцевого пристрою та зберігає їх на карті пам'яті. Для перевірки того, що сервер отримує показники від кінцевого пристрою, можемо побачити в терміналі рисунок 2.5.2.

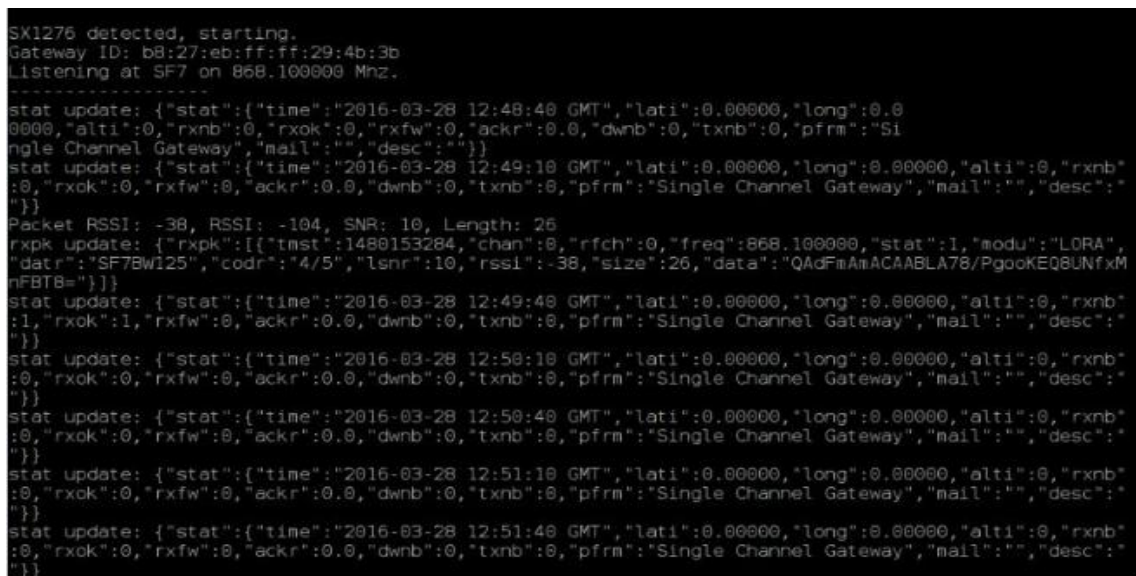


Рисунок 2.5.2 – Отримання даних з кінцевого пристрою

2.6 Висновки

В даному розділі описаний технологічний процес розробки кінцевого пристрою та шлюзу мережі LoRaWAN. Також наведений опис процесу вибору елементної бази пристрою. Проведене попереднє налаштування для подальшого тестування мережі. Представлений вид кінцевого пристрою та шлюзу мережі. Наведений програмний код, який використовували для попереднього тестування мережі. Виконана перевірка того, що кінцевий пристрій передає інформацію на шлюз та шлюз отримує ці дані і коректно їх обробляє.

3 ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Робоча послідовність кінцевого пристрою

Для того, щоб зменшити енергоспоживання системи в цілому, необхідно змодюлювати роботу кінцевого пристрою. В цьому розділі представимо різні режими роботи кінцевого пристрою. Обчислимо споживання системи в різні проміжки часу та побудуємо енергетичну модель споживання пристрою рисунок 3.1.1.

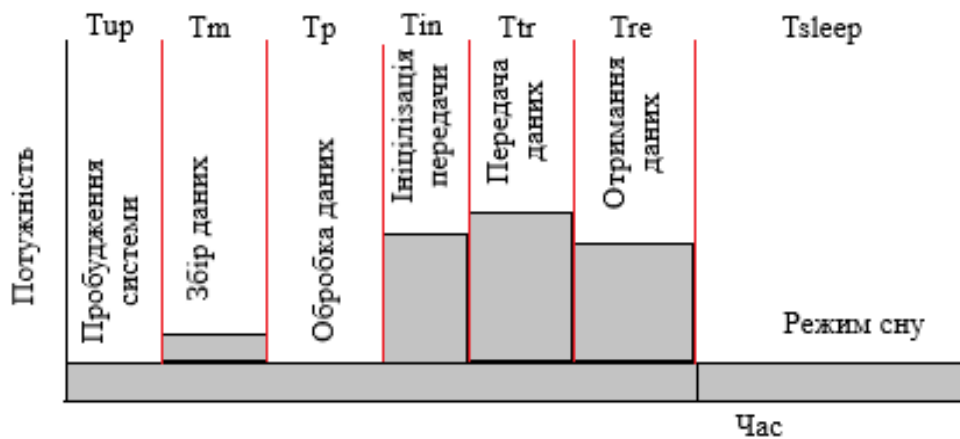


Рисунок 3.1.1 – Часова діаграма роботи пристрою

На рисунку 3.1.1 зображені можливі робочі послідовності кінцевого пристрою. За допомогою діаграми можна визначити енергоспоживання енергії в різних проміжках часу.

Робоча модель споживання енергії базується на таких висновках:

- Кінцевий пристрій знаходиться в активному режимі впродовж часової діаграми роботи пристрою.
- Кожен крок роботи пристрою характеризується постійним часом.
- Радіомодуль (трансівер) працює на заданому рівні потужності передачі.

Більшість свого часу, кінцевий пристрій знаходиться в сплячому режимі. Споживана енергія в цьому режимі може вплинути на автономність пристрою. Тому, саме в цьому проміжку часу треба забезпечити мінімальну втрату енергії та її споживання. Кінцевий пристрій живиться від акумулятора типу 18650 Li-ION з напругою 3.3 В, отже вся периферія буде під'єднана до джерела живлення 3.3 В (рисунок 3.1.2).



Рисунок 3.1.2 – Структурна схема кінцевого пристрою

Загальна споживана енергія кінцевого пристрою характеризується наступним рівнянням:

$$E_{total} = E_{sleep} + E_{active} \quad (3.1)$$

де E – сумарно споживана енергія;

E – енергія, споживана в режимі сну;

E – енергія, споживана в режимі роботи.

З вище зазначеної формули E дорівнює:

$$E_{sleep} = P_{sleep} \cdot T_{sleep} \quad (3.2)$$

де P – споживана потужність;

T – час в режимі сну.

Енергія споживана в режими роботи передавача та зчитування даних:

$$E_{active} = E_{up} + E_m + E_p + E_{in} + E_{tr} + E_{re} \quad (3.3)$$

де E – споживана енергія в процесі виходу з режиму сну;

E – в режимі виміру показників або контролю об'єкта;

E – режим обробки даних;

E – ініціалізація передачі;

E – передача даних;

E – отримання даних.

Перед тим, як почати зчитувати дані або робити якісь дії сторожовий таймер згідно розкладу, пробуджує головне ядро кінцевого пристрою:

$$E_{up} = P_{up}(f_{msu}) \cdot T_{up} \quad (3.4)$$

де P – споживана потужність в період виходу з режиму сну (яка залежить від частоти процесора);

T – час виходу з режиму сну.

Після того, як сторожовий таймер вивів систему з режиму сну, ініціалізував процесор та зовнішню периферію, процесор переходить в режим зчитування даних з периферії, яка в свою чергу теж споживає енергію:

$$E_m = (P_m(f_{msu}) + P_s) \cdot T_m \quad (3.5)$$

де P – споживана потужність в період виміру (яка залежить від частоти процесора);

P – потужність зовнішньої периферії;

T – час режиму роботи вимірювання.

Після опису робочої послідовності кінцевого пристрою перейдемо до енергетичному типу класу кінцевого пристрою. Раніше було вибрано, що в нашій системі буде використовуватися клас «А» трансівера.

3.2 Енергетична модель кінцевого пристрою

Енергетична модель існуючих типів роботи трансівера LoRaWAN залежить від класу роботи. Від класу роботи буде залежати кількість споживаної енергії, яка буде затрачена згідно формули (3.6),(3.7),(3.8). Це найдовші проміжки часу роботи кінцевого пристрою. Тому, вибрали найекономічніший клас роботи трансівера (рисунок 3.2.1).

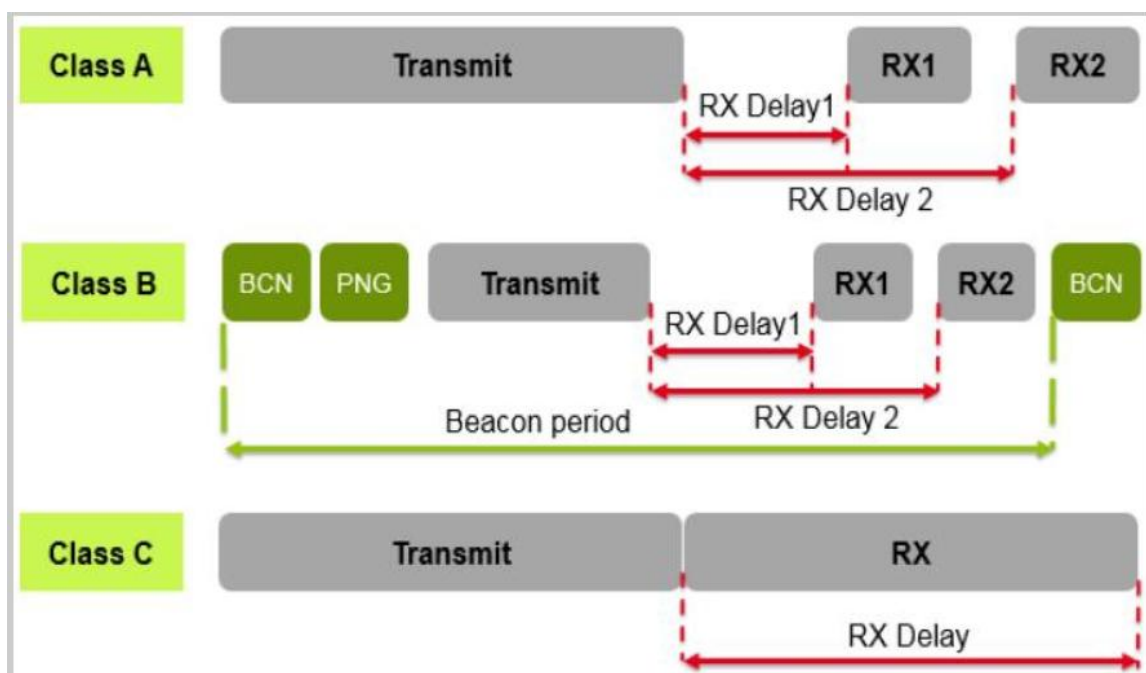


Рисунок 3.2.1 – Типи класів роботи трансівера

Коротка характеристика класів трансівера:

- Клас «А» - кінцевий пристрій ініціює передачу інформації на сервер. Самий економний режим роботи пристрою.
- Клас «В» - передачу даних синхронізовано кадрами синхронізації. Ефективно контролювати канал передачі даних.
- Клас «С» - кінцеві пристрою знаходяться в активному режимі та чекають вільне вікно передачі даних. Високе енергоспоживання.

На енергоефективність в системі LoRaWAN відіграють значну роль такі параметри, як несуча частота, коефіцієнт розповсюдження, пропускна здатність та швидкість кодування. Поєднання цих параметрів забезпечує різні енергетичні значення та діапазони передачі:

- Несуча частота (CF), яка використовується для смуги передачі. Для модулів на базі чипу SX1272 несуча частота знаходиться в діапазоні від 425 МГц до 440 МГц.
- Коефіцієнт розповсюдження (SF) – кількість чипів на символ інформації. Його значення – знаходиться в діапазоні від 6 до 12. Чим більше значення SF, тим слабший сигнал можна приймати відносно шуму (до – 30Дбм) .
- Ширина смуги частот (BW). Діапазон частот в смузі частот передавача. Його можна вибрати лише з трьох значень 125 кГц, 250 кГц та 500 кГц. Якщо потрібна велика швидкість то 500 кГц, якщо необхідний великий радіус дії то 125 кГц.
- Швидкість кодування (CR). Вираз, що задає швидкість

$$CR = \frac{4}{4+n} \quad (3.2.1)$$

де $n \in 1..4$. Це означає, що кожен чотири біти даних кодуються 5, 6, 7 або 8 бітами. Чим менша швидкість кодування, тим менший час передачі інформації.

З урахуванням наступних параметрів отримуємо наступне рівняння (3.2.2). Номінальна швидкість передачі бітів в секунду.

$$R_{bit} = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot CR \quad (3.2.2)$$

де SF – параметр, від якого залежить довжина пакету передачі інформації.

Зменшення цього параметра забезпечує збільшення відстані зв'язку та зниження швидкості передачі даних. Залежність довжини пакету від параметра SF наведена в таблиці 3.2.1

Таблиця 3.2.1 – Бітова швидкість

SF	Довжина коду чипа (біт)
7	128
8	256
9	512
10	1024
11	2048
12	4096

Споживання енергії від акумулятора при різній вихідній потужності в табл 3.2.2. Програмно було встановлено вихідну потужність радіомодему та були зроблені виміри.

Таблиця 3.2.2 – Струм при різній вихідній потужності

Потужність передавача, dBm	Струм, мА
20	450
17	300
13	90
7	92

3.3 Структура пакету мережі LoRaWAN

Uplink

В цьому розділі визначимо структуру пакету мережі LoRaWAN. Кожен пакет починається з преамбули, яка використовується для синхронізації між приймачем і передавачем. Після преамбули знаходиться заголовок, який містить розмір корисного навантаження та інформацію про конфігурацію LoRa. Даний заголовок опціональний. Заголовок завжди кодується $CR = \frac{4}{8}$. Інформаційне навантаження пакету кодується змінною CR, яку визначили в попередньому розділі (рисунок 3.3.1). Останній блок пакету контрольна сума CRC.



Рисунок 3.3.1 – Структура пакету від кінцевого пристрою до шлюзу

Для визначення тривалості передачі пакету обчислимо символне навантаження. Для заданого корисного навантаження, PL (визначено в байтах), коефіцієнт розширення SF, швидкість кодування CR, кількість символів N корисного навантаження при передачі інформації:

$$N = 8 + \max\left(\text{ceil}\left(\frac{\Theta(PL, SF)}{\Gamma(SF)}\right) \cdot \frac{1}{CR}, 0\right) \quad (3.3.1)$$

де $\Theta(PL, SF) = 8 \cdot PL - 4 \cdot SF + 16 + 28 - 20 \cdot H$;

H = 1, якщо включений заголовок та

H = 0, якщо заголовок не використовується

$$\Gamma(SF) = SF - 2 \cdot DE;$$

DE = 1, якщо включена оптимізація блоку даних

DE = 0, якщо оптимізація не використовується

Тоді, час передачі даних - це сума преамбули та блоку даних:

$$T_p = T_{preamble} + T_{data} \quad (3.3.2)$$

Для визначення часу преамбули блоку пакета:

$$T_{preamble} = (4.25 + N_p) \cdot T_{symbol} \quad (3.3.3)$$

де N – кількість символів;

T – період символу.

Період символу - це відношення 2^{SF} до ширини смуги (BW):

$$T_{symbol} = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (3.3.4)$$

Визначимо час для передачі блоку даних:

$$T_{data} = N_{data} \cdot T_{symbol} \quad (3.3.5)$$

Для того, щоб оцінити споживану енергію на один корисний біт інформації, визначимо наступне:

$$E_{bit} = \frac{E_{total}}{8 \cdot PL} = \frac{P_{total} \cdot T_{data}}{8 \cdot PL} \quad (3.3.6)$$

де P – споживана потужність;

T – час передачі блоку пакета даних;

PL – довжина блоку пакета даних.

Даний вираз є важливою метрикою для оцінки споживаної енергії кінцевого пристрою. Остаточна формула 3.3.7 для розрахунку з урахуванням наступних виразів (3.3.2),(3.3.3),(3.3.6),(3.3.4). Отже, отримали наступний вираз для використання для більшої оцінки енергоспоживання кінцевого пристрою:

$$E_{bit} = \frac{P_{total} \cdot (N + N_p + 4.25) \cdot 2^{SF}}{8 \cdot PL \cdot BW} \quad (3.3.7)$$

Downlink

Структуру пакета даних від шлюза до кінцевого пристрою зображено на рисунку 3.3.3

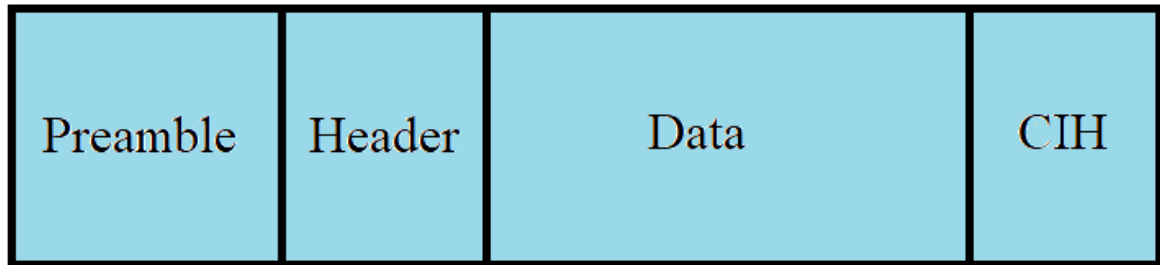


Рисунок 3.3.3 – Структура пакета від шлюза до кінцевого пристрою

Структура пакета така сама, як у повідомленні від кінцевого пристрою до шлюзу та відрізняється тільки CIN. Тому, усі розрахунки можна використати до даного структурного пакету.

Тестована система використовувала акумулятор типу 18650 ємність якого складає 1000 мАч. Кінцевий пристрій тестувався при різних SF та отримав наступні показники (рисунок 3.3.4):

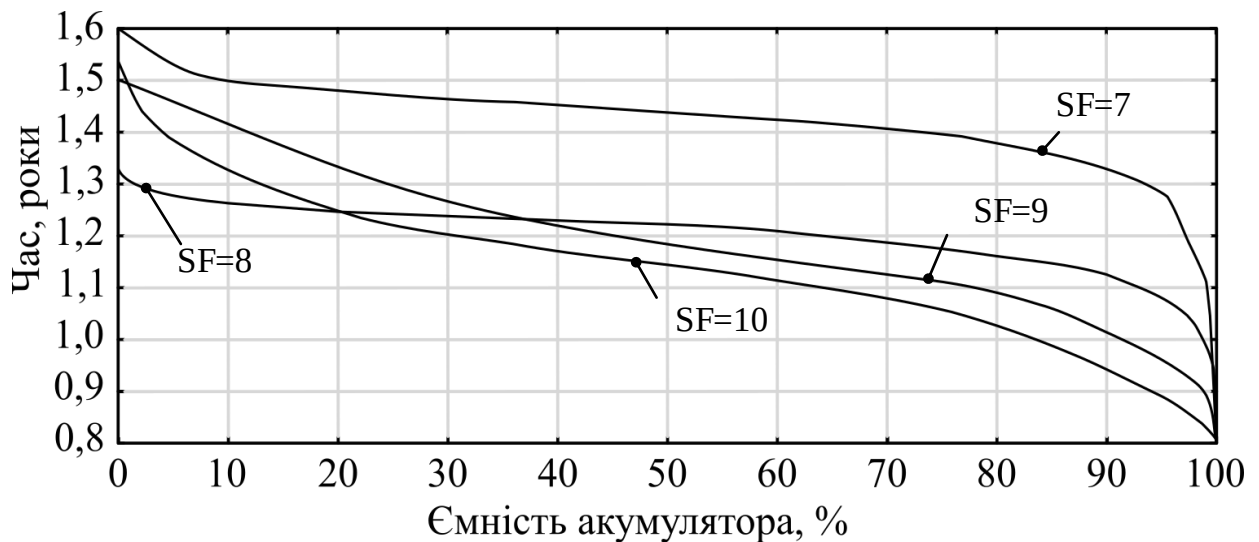


Рисунок 3.3.4 – Графік автономності пристрою

3.4 Дальність зв'язку

Дальність зв'язку в системі LoRaWAN може досягати до 10 км. Для перевірки параметру скористаємось наступною формулою втрати в каналі зв'язку (3.4.1).

$$L = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f}{c} \right)^2 \cdot d^2 \quad (3.4.1)$$

де Φ – центральна частота роботи системи LoRaWAN.

C – швидкість світла.

N - втрати в каналі зв'язку:

2 – вільний простір,

3 – міська забудова,

6 – немає прямої видимості.

Для розрахунку дальності, скористаємось формулою, яка представлена в документації на радіомодем. Наступна формула точно розраховує для прямої видимості між шлюзом та кінцевим пристрійом.

$$d = \left(\frac{L_{path}}{\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f}{c} \right)^2} \right)^{1/n} = \left(\left(\frac{c}{4 \cdot \pi \cdot f} \right)^2 \cdot \frac{P \cdot 2^{SF}}{SNR \cdot NF \cdot k \cdot T \cdot BW} \right)^{1/n} \quad (3.4.1)$$

Отримали наступні результати, які представлені в таблиці 3.4.1. Розрахунки проводили при таких параметрах: SF=7, BW=125kHz

Таблиця 3.4.1 – Дальність зв'язку

Дальність, м	BR, kbit	Lose Packager, %
10	40	0
500	~39	0.1
1000	~39	0.1
2000	~38	0.125

4000	~38	0.2
------	-----	-----

3.5 Перевірка системи в умовах міста

Для перевірки дальності зв'язку в умовах міста, використаємо кінцевий пристрій та шлюз, який був побудований. Для оцінки якості та дальності зв'язку шлюз був встановлений стаціонарно. Кінцевий пристрій буде приймати пачку зі ста пакетів та програмно перевіряти кількість отриманих пакетів, які зміг розкодувати. В тестуванні використовували наступні параметри системи, які попередньо були встановлені в ядрі системи (табл. 3.5.1):

Таблиця 3.5.1 – Встановлені параметри системи

SF	BW, kHz	CR	BR, kbit
7	125	3/4	40

Для оптимальної кількості пристроїв, отримали наступне (рис. 3.5.1).
Оптимальна кількість пристроїв до 300 на один шлюз мережі LoRaWAN.

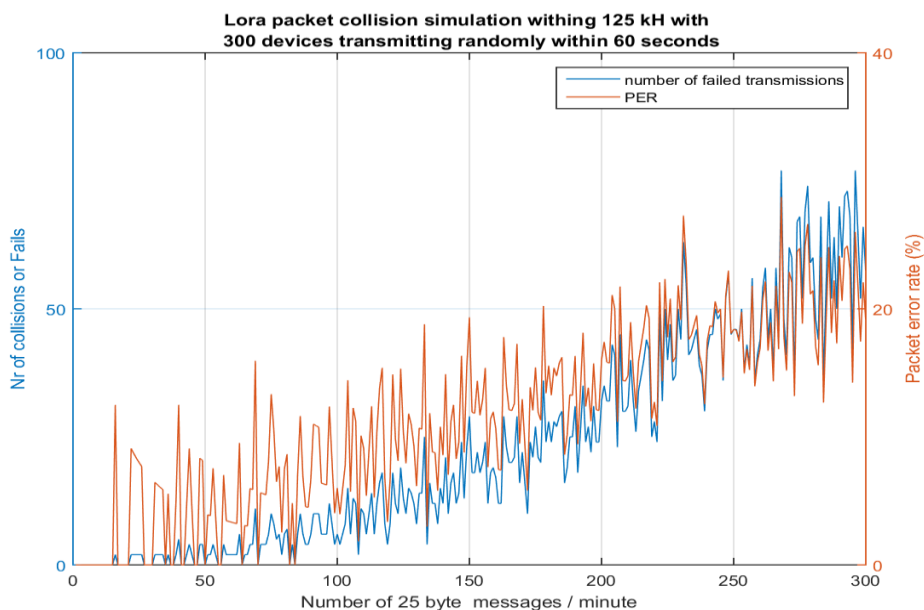


Рисунок 3.5.1 – Втрата інформації

4 ПОБУДОВА СИСТЕМИ В УМОВАХ МІСТА

Для перевірки системи був сконфігурований шлюз, який відравляв пачку з 100 бакетів в секунду. На кінцевому пристрої отримували пачку пакетів та визначали, скільки пакетів отримали, які змогли розкодувати. Отримали метрику відносно дальності та втрати пакетів на даній відстані.

На рис. 4.1 та рис 4.2 зображені точки виміру якості пакетів та замір дальності на карті в міській забудові.

Точка виміру №1.

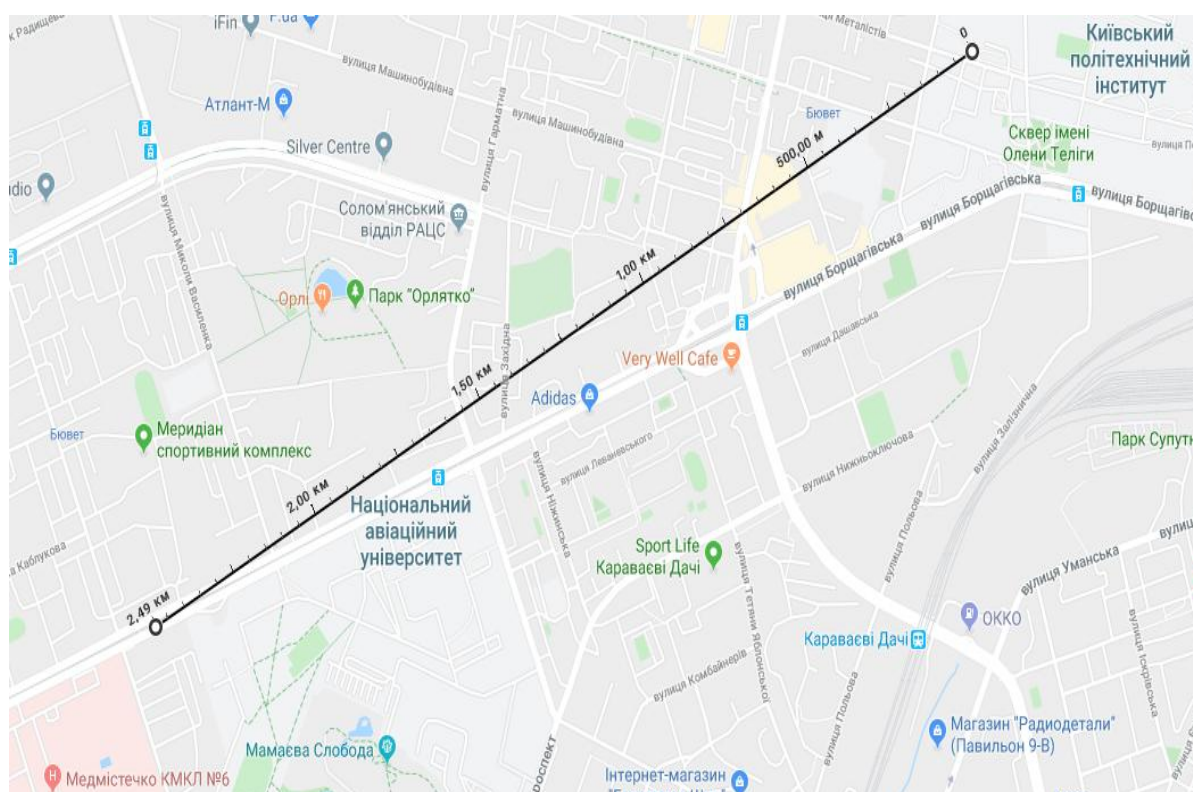


Рисунок 4.1 – Дальність зв'язку

Точка виміру №2

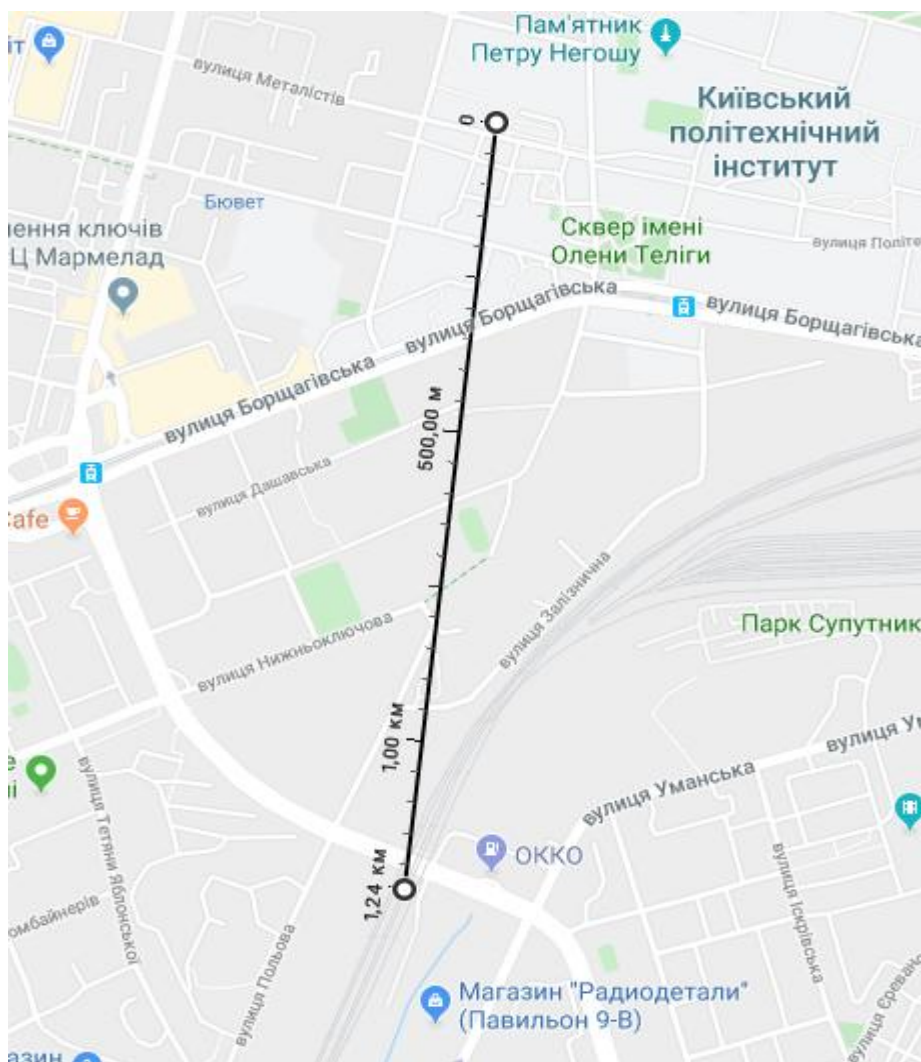


Рисунок 4.2 – Дальність зв'язку

При тестуванні дальності отримали наступні результати

Таблиця 4.1 – Тест мережі в умовах міста

	BW, kHz	SF	CR	Lose package, %
Точка №1	125	7	3/4	0,8
Точка №2	125	7	3/4	0,5

4.1 Оцінка отриманих результатів

Дана система протестована в умовах міської забудови. Отримані результати повністю задовольняють заданим параметрам. В реальній використаній системі, кінцеві пристрої будуть розкидані в зоні радіусом 2 км, в центрі якої знаходиться шлюз мережі. Кількість втрачених пакетів не перевищує 1%, що допускається. В кожному кінцевому пристрої реалізоване логування та накопичення даних за дві доби. Отримали наступні результати (рис. 4.2):

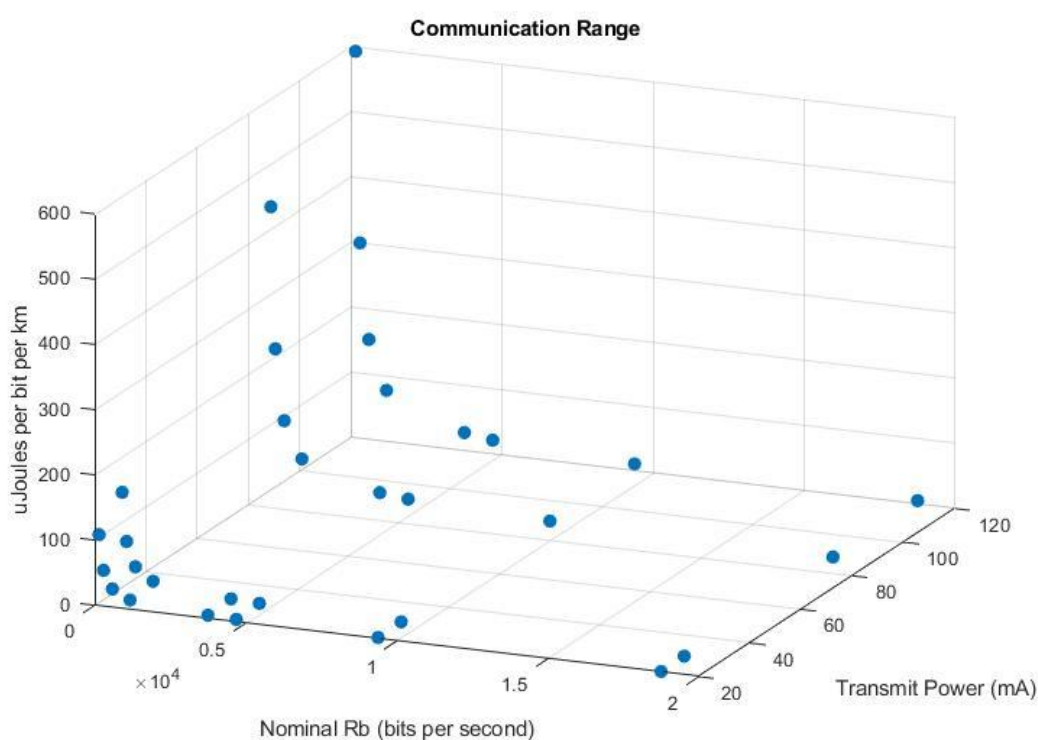


Рисунок 4.2 – Оцінка результатів

4.2 Висновки

В даному розділі проведено тестування системи. Отримані дані про якість зв'язку. Отримане оптимальне розташування кінцевих пристроїв. Розташування пристроїв в радіусі 2км, в центрі, якого знаходиться шлюз мережі.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі визначаємо основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які мають місце при виконанні науково-дослідної роботи. Оскільки робота має дослідницький напрям, пов'язаний, в основному, з використанням ЕОМ, основну увагу було приділено питанням щодо створення комфортних та безпечних умов на робочому місці користувача ЕОМ.

В цьому розділі запропоновано необхідні заходи з безпеки, гігієни та виробничої безпеки, а також визначити необхідні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи.

В роботі досліджується система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN. Основу роботи складають дослідження із використанням електронно – обчислювальних машин (ЕОМ), існує небезпека ураження електричним струмом, можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ.

Небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень:

- незадовільні мікрокліматичні умови;
- недостатня освітленість робочих місць;
- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень шуму;
- наявність шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- можливість виникнення пожежі тощо;

– група психофізичних факторів: перевантаження фізичне та психологічне;

5.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

5.2.1 Електробезпека

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140.2015 електроустаткування в робочому приміщенні (крім ВДТ ПЕОМ - II клас та вимірювальної техніки – 0I клас) відноситься до I класу, так як воно має робочу ізоляцію відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ й ДНАОП 0.00-1.21-98.

Робоче приміщення повинно бути сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналом електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35°C, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ-2017, ПБЕ), а також відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею, та до струмопровідних елементів електроустаткування. Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні застосована схема занулення.

Для зменшення вірогідності ураження електричним струмом аварійно-му режимом роботи електроустаткування необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту.

Розрахунок параметрів вхідного захисного автомату, включає значення струму К.З. і перевірку кратності його стосовно номінального струму підключених пристроїв.

Вихідні дані для розрахунку:

а) $U_{\phi} = 220$ В – фазова напруга;

б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній ($\rho = 0,028$ Ом*мм²/м);

в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 150 м;

г) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{\text{ном}}$) = 20 А.

Струм однофазного К.З. визначається по формулі:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Z_m}{3}} = \frac{220}{2,0 + 2,0 + 0,16} = 47 \text{ А},$$

де:

$R_{\phi} = 2,2$ Ом – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 2,6$ Ом – активний опір нульового проводу;

$Z_m/3 = 0,16$ Ом – розрахунковий опір трансформатора потужністю 300

Вт.

Спрацювання при К.З. однофазному автомату, кратність струму повинна бути:

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ном}}} > 1,45$$

де $I_{\text{к.з.}}$ – струм короткого замикання; $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм спрацювання автомату захисту (номінальний струм вхідного автомату 20А).

$$K_M = 2,35$$

З розрахунків можна визначити, що однофазний автомат буде надійно спрацьовувати.

При однофазному автоматі КЗ. максимальне значення напруги яка появиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацювання становить, $U_{\max.}$ щодо землі: $U_{\max.} = I_{\text{к.з.}} R_0 = 47 \cdot 2,35 = 110,45 \text{ В.}$ Ця напруга менша $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$ ($t_{\text{дії}} < 0,1 \text{ сек.}$) згідно ПУЕ-2017. З метою зниження $U_{\max.}$ як у нормальному, так і у аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

5.2.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно обчислювальних машин

Правила безпеки під час експлуатації ВДТ ЕОМ регламентуються ДСанПН 3.3.2.007–98, які встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, та роботи з застосуванням ЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO).

5.2.3 Організація робочого місця

Облаштування робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно забезпечувати:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;
- оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізації повітря);
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця;

Приміщення та будівлі в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам ДСанПІН 3.3.2.007–98.

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухопожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05-91.

Згідно з ДСанПІН 3.3.2.007–98 площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром $7 \times 5 \text{ м.}$, висотою 4 м. Розмір дверного прорізу $1,5 \text{ м.}$

Площа й об'єм приміщення знаходимо по формулах:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a – довжина, b – ширина, h – висота приміщення.

Маємо:

$$S = 7 \cdot 5 = 35 \text{ м}^2, V = 35 \cdot 4 = 140 \text{ м}^3.$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 — Параметри приміщення

Назва характеристики	Норматив-	Фактичне
Площа приміщення з розрахунку	$>6 \text{ м}^2$	35 м^2
Об'єм приміщення з розрахунку на	$>20 \text{ м}^3$	140 м^3

Висота приміщення	3,5 – 4 м	4 м
Розміри дверей	$\geq 1,1 \times 1,8$ м	1,5x2 м
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	≥ 1 м	1,5 м

На підставі розрахунків можна зробити висновок, що геометричні розміри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

Оздоблення приміщення з матеріалів, які дозволені органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Заборонено застосовувати полімерні матеріали (деревостружкові плити, шпалери, що можна мити, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик, тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. За розміщенням робочих місць з ВДТ, ЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м. Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран ВДТ і клавіатура мають розміщуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Розміщення екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника.

Усі вище перераховані вимоги відповідають робочому приміщенню, де проводяться дослідження.

5.2.4 Відповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042–99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», примі-

щення з ЗОТ обладнане системою опалення, а також системою кондиціювання повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

На робочому місці роботи виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. Таким чином їх можна віднести до категорії Іа, що охоплює види діяльності з витратами енергії до 120 ккал/год.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t, C) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, м/с$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 — Параметри мікроклімату

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t, C	$W, \%$	$V, м/с$	t, C	$W, \%$	$V, м/с$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

5.2.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.

Приміщення де встановлено ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5–28–2018. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта природної освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5–28–2017. Приміщення з ВДТ, ЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5–28–2017. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регулювальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Приміщення повинно мати бічне природне та штучне освітлення, центральне водяне опалення. У приміщенні три вікна розміром 2х2,2 м. Штучне освітлення забезпечує чотири люмінесцентних світильники з лампами ЛБ – 40, розміщених у ряд.

Усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам освітлення приміщення, де проводяться дослідження виконано.

5.2.6 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037– 99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих									Допустимий рівень звуку (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер лабола-торії	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в робочому приміщенні можуть бути наступні вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел:

- рівень звуку, створюваний внутрішніми елементами персонального комп'ютера дорівнює 37 дБ;
- рівень звуку системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 24/29 дБ.

Оскільки одержаний рівень звуку не перевищує допустимих норм, умови робочого приміщення повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

5.2.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.2.8 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення надзвичайної ситуації, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;

- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС ;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

5.2.9 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера

пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС (пожежу), не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС (пожежу).

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових показників "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устрою електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного – від мережі змінного струму, резервного – від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

5.2.10 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ-2017 та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії по

пожежонебезпеці – П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м²), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5-56-2014. Відповідно до ГОСТ 12.4.009-75 й ISO 3941-2017 для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е” – наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ОУБ-3. Вибір вогнегасної речовини ґрунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої, що знаходяться під напругою.

Таким чином, кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ГОСТ 12.4.009-75 й ISO 3941-2017. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 та СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати таким чином.

Етапи розроблення стартап-проекту

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту

В межах цього етапу:

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап-проекту

В межах цього етапу:

- складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;
- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формуються потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

В межах цього етапу:

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможлиблюють розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників.

Відповідно, даний розділ містить реалізації першого стартап-проекту. Висвітлення маркетингових аспектів, а саме ідея, концепція продукту, визначення маркетингової стратегії.

Основним завданням стартап-проекту аналіз перспектив та каналів маркетингового добутку, науково-технічних рішень (13).

6.1 Опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 6.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система передачі даних на основі протокола LoRaWAN	На заводах	Ціна, відносно дротового з'єднання. Простота монтажу і контролю.
	В сільськогосподарських угіддях	Ціна, відносно дротового з'єднання. Простота монтажу і контролю. Контроль посіву.
	Контроль навколишнього середовища	Ціна, відносно дротового з'єднання. Простота монтажу і контролю.
	Приватне використання	Ціна, відносно дротового з'єднання. Простота монтажу і контролю. Можливість модернізації.

Система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN, розроблена в даній магістерській роботі відрізняється аналогами. А саме:

- Ціною готового продукту. Ціна системи, (кінцевого пристрою складає – 10 у.о., шлюз мережі складає – 40 у.о.), яка є набагато меншою від існуючих аналогів на ринку;
- Кінцевий пристрій може працювати 2 роки від однієї батареї 18650;
- Можливість конфігурувати під різні задачі та напрямки, а саме контроль устаткування, кліматичні параметри, ретранслятор коротких повідомлень;

Основним конкурентом розробленої системи може складати стільникова система зв'язку.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних та слабких характеристик ідеї проекту

№ п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Стільникова система зв'язку			
1	Дальність зв'язку	+	+	-	-	+
2	Швидкість передачі даних	+	-	-	-	+
3	Кількість пристроїв в системі	+	+	-	-	+

Визначення слабких та сильних сторін, характеристик та властивостей система передачі даних на основі протоколу LoRaWAN є підґрунтям вважати його конкуренто спроможним не тільки на ринку України, а також на світовому ринку.

6.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В данному розділі проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту

Для реалізації цього проекту треба

Таблиця 6.3. Аналіз ринкових можливостей

№ п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Невідомий
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Не існує

№ n	Показники стану ринку	Характеристика
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Згідно таблиці, робимо висновок щодо привабливості продукту до входження на ринок.

Визначемо потенціальну групу клієнтів.

Таблиця 6.4. — Характеристика потенційних клієнтів

№ n	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Бездротова мережа с великою кількістю абонентів.	Підприємці, держава, ДСНС, сілкогосподарські	Невідомі	Можливість системи міняти конфігурацію та план роботи в залежності від призначення

Проведемо аналіз ринкового середовища, що склався на даний момент. А саме фактори загроз, що сприяють та перешкоджають до впровадження проекту на ринок.

Таблиця 6.5. — Фактори загроз

№ n	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нові системи зв'язку	Вихід на ринок нових гравців в системи зв'язку	Зміна та покращення функціоналу продукту

Таблиця 6.6. — Фактори можливостей

№ n	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Реалізація нового функціоналу та поліпшення старого. Виправлення помилок.	Додавання нових ідей та покращення характеристик у проект, що розробляється	Розроблення цього функціоналу

Проведем аналіз та визначемо загальні риси конкуренції на ринку збиту.

Таблиця 6.7. — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції — олігополія	Домінує стандартні мережі стільникового зв'язку	Використання різних технологій, базування на стільниковій концепції мережі
За рівнем конкурентної боротьби — національна	Стільникова мережа працює в різних країнах світу	
За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Продукт може вироблятися для різних галузей	Незначне зниження попиту
Конкуренція за видами товарів — невідомо	—	Зменшення прибутку, попиту, кількості клієнтів, втрата свого місця на ринку, якщо не вдосконалити свій товар і не бути активним гравцем ринку
За характером конкурентних переваг — нецінова	Перевагою даного товару є його особливість та функціонал, швидкодія використання	
За інтенсивність — невідомо	—	—

Зробимо більш детальний аналіз конкуренції в галузі бездротових мереж.

Таблиця 6.8. — Аналіз конкуренції у галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
------------------	------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

	Невідомо	Розробники систем бездротового зв'язку	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Невідомо	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

За результатами аналізу робимо висновок щодо можливості роботи на ринку можливо. Для поширення продукту, треба зробити більше поліпшеними характеристиками, які є у конкурентів.

Таблиця 6.9. — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ <i>n</i>	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Новизна							+	

Проведемо *SWOT*-аналіз.

Таблиця 6.10. — *SWOT*-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Новизна	Слабкі сторони: Відсутність стартового капіталу
Можливості: Покращення характеристик системи	Загрози: Продукти-замінники

З огляду на *SWOT*-аналіз можна прийти до висновку що немає потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

6.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 6.11. — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ <i>n</i>	Опис профілю цільової групи потенційних	Готовність споживачів сприйняти	Орієнтовний попит в межах цільової	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
---------------	---	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------

	клієнтів	продукт	групи		
1	Приватні підприємці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко

Цільові групи: підприємці, використовувати в систему дальнього зв'язку.

Для роботи в даному сегменту ринку сформуємо базову стратегію розвитку стартап-проекту.

Таблиця 6.12. — Визначення базової стратегії розвитку

№ n	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Новизна	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкуренту поведінку.

Таблиця 6.13. — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Ні	Ні	Заняття конкурентної ніші

Наступний кроком буде вибір стратегії конкурентної поведінки продукту на ринку.

Таблиця 6.14. — Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Відповідно поставлених задач системи	Вдосконалення системи	Нові пропозиції та характеристики системи	—

6.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 6.15. — Визначення ключових переваг концепції Потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
	Впровадження нових інструкцій системи	Додавання нового функціонування для кінцевого пристрою	Новизна

Таблиця 6.16. — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Впровадження нових сучасних рішень у існуючі товари на ринку		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Новизна		
	2. Простота		
	Якість: використання нових моделей кінцевого пристрою		
	Пакування: відсутнє		
	Марка: відсутня		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: відсутня		
	Після продажу: відсутня		
Захист товару від копіювання буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності)			

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 6.17. — Опис трьох рівнів моделі товару

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	70-100 ум. од.	До 10 тис. ум. од.	Високий	Безкоштовно

Визначимо оптимальну систему збуту.

Таблиця 6.18. — Формування системи збуту

№ <i>n</i>	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Цільові клієнти здійснюють свої покупки та встановлюють систему самі або за допомогою технічної підтримки	Власна компанія повністю займається збутом товару	Глибина каналу невелика, адже у збуті продукції не задіяні посередники	Товар вже готовий

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 6.19. — Концепція маркетингових комунікацій

№ <i>n</i>	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Цільові клієнти здійснюють свої покупки та встановлюють систему	Бізнес прямо контактує із потенційними замовниками	Новітні результати даної галузі	Управління та контроль без додаткових дотів	Неагресивне рекламне повідомлення, що містить інформацію про продукт

	самі або за допомогою технічної підтримки				
--	---	--	--	--	--

6.5 Висновки

В даному розділі дослідили ринковий попит на дину розроблену систему. Виявлено перспективність даного продукту. Дана система бездротового зв'язку приваблива для покупки, а також визначені:

- Канали реалізації системи, визначено рівень попиту на продукт, рентабельність товару;
- Визначені потенційні групи клієнтів та конкуренції спроможності проекту;
- Впровадження нового функціоналу для збільшення попиту на дану систему;

Подальшу реалізацію доцільно вважати успішною не тільки на ринку України також на світовому ринку.

7 ВИСНОВКИ

Система передачі даних на основі протокола LoRaWAN допомога зосередитися на виробництві товару. В режимі реального часу вирішувати невідкладні проблеми та миттєво вирішувати проблеми виробництва. У нас все більше приладів, устаткування переходить на цифровий обмін даними де потрібно контролювати, передавати параметри робочим пристроям.

Основним завдання системи передачі даних на основі протоколу LoRaWAN поліпшити виробничу стадію продукту. Контроль виробничих процесів. Використання системи можливо як аварійну систему зв'язку обміну короткими повідомленнями. Також основним використанням системи можна в аграрному секторі, контроль посіву, нітратів або вологості в ґрунті. Варто зазначити, що модель системи на основі розробленого кінцевого пристрою можна використовувати як систему в цілому, а відправну точку для модернізації в симбіотичну мережу або додавання бездротових мереж локального призначення для секторального ділення мережі. Цим самим обумовлено актуальність розробки «Система передачі даних на основі протокола LoRaWAN».

В ході виконання роботи виконано наступні завдання:

1. Здійснено огляд сучасних бездротових систем зв'язку. Визначено основні характеристики, переваги та недоліки, визначили структуру для подальшої розробки системи зв'язку;
2. Описано повний процес розробки системи зв'язку. Опис розробки кінцевого пристрою, які підключені датчики та систему живлення. А також описано шлюз системи зв'язку. Вказано необхідні базові налаштування системи та встановлення необхідного програмного забезпечення.
3. Спроектовано власний кінцевий пристрій та шлюз системи;
4. Розроблено доповнення до ядра мережі LoRaWAN;
5. Розроблена часова діаграма роботи пристрою;

Для виконання вище зазначених завдань побудована реальна система передачі даних на базі протоколу LoRaWAN. Був зроблений драв-тест в умовах міський забудові. На практиці було перевірено результати, які повністю задовільнили. Також підраховали максимальну можливу автономність кінцевого пристрою, яка становить близько двох років.

При виконанні даної роботи автор зіткнувся з рядом таких проблем:

1. Побудова діаграми роботи кінцевого пристрою для забезпечення максимальної;
2. Виявлені перешкоди при драйв-тесті в умовах міської забудови.

Дані проблеми були вирішанні шляхом:

1. Встановлена мікросхеми драйвер, контролю заряду – розряда для передачі інформації на головний сервер для логування та пошук проблем в системи автономності;
2. Встановлення більш чутливої антени для проведення та оцінки системи драйв-тесту.

Тому можна зазначити, ця робота є прикладом для подальшої реалізації в аграрному бізнесі, частому секторі моніторингу, моніторинг навколишнього середовища на предмет забруднення або небезпечних викидів, система сигналізації небезпечних ситуацій.

Також було проведено аналіз виробу у якості стартап проекту, та визначено, що дана система може конкурувати з аналогами в сфері бездротового зв'язку. Є великий попит на ринку України та в світі цілком.

8 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бездротова мережа LoRaWAN URL: <https://loro-alliance.org/>.
2. What is the LoRaWAN™ Specification URL: <https://loro-alliance.org/about-lorawan>.
3. NB-IOT против LTE-M (4G), 5G. URL: <https://itkvariat.com/oraznom/886-nb-iot-protiv-lte-m-4g-5g-kakim-budet-inter-netveschey.html>.
4. С. Гаевский. Чипсеты SX127х с радиоканалом LoRa: архитектура, управление и применение в системах связи // CHIP NEWS Украина. Инженерная микроэлектроника. 2017. № 3.
5. IBM-LMIC: LoRaWAN MAC on embedded systems. IBM, Zurich, 2017. URL: <https://github.com/mcci-catena/ibm-lmic>
6. Orange Pi One: Debian XFCE 2016-12-12. URL: <http://pi-board.io/topic/6/операционные-системы-для-orange-pi>.
7. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
8. Модуль мережі RA-02 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/lora-ra-02>.
9. Orange Pi One URL: <https://www.mini-tech.com.ua/orange-pi-one>.
10. Compact server for private LoRa networks. URL: <https://github.com/gotthardp/lorawan-server>
11. Датчик температури DS18B20 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-ds18b20>.
12. Yoon T. Bit-Error-Rate Performance Analysis of an Overlap-based CSS System / T.Yoon, D.Chong, S.Ahn, S.Yoon / World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol: 3, No: 2, 2009. P. 357 – 361.
13. IEEE 802.15.4 IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks — Specific requirements.
14. ISO/IEC 26907 Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — High-rate ultra-wideband PHY and MAC standard.

15. Кулик В. А., Выборнова А. И. Методы комплексного тестирования Интернет Вещей // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN). 2016. С. 305–312.
16. Моделирование системы NB-IOT. URL: <http://www.unittest.com/>.
17. Journal of Sensors. Volume 2019, Article ID 3502987, 9 pages

ДОДАТОК А

```
#include "SX1272.h"

int e;
char my_packet[100];

void setup()
{
    // Print a start message
    printf("SX1272 module and Raspberry Pi: receive packets with ACK and retries\n");

    // Power ON the module
    e = sx1272.ON();
    printf("Setting power ON: state %d\n", e);

    // Set transmission mode
    e = sx1272.setMode(4);
    printf("Setting Mode: state %d\n", e);

    // Set header
    e = sx1272.setHeaderON();
    printf("Setting Header ON: state %d\n", e);

    // Select frequency channel
    e = sx1272.setChannel(CH_10_868);
    printf("Setting Channel: state %d\n", e);

    // Set CRC
    e = sx1272.setCRC_ON();
    printf("Setting CRC ON: state %d\n", e);

    // Select output power (Max, High or Low)
    e = sx1272.setPower('H');
    printf("Setting Power: state %d\n", e);

    // Set the node address
    e = sx1272.setNodeAddress(8);
    printf("Setting Node address: state %d\n", e);

    // Print a success message
    printf("SX1272 successfully configured\n\n");
}
```

```

    delay(1000);
}

void loop(void)
{
    // Receive message
    e = sx1272.receivePacketTimeoutACK(10000);
    if ( e == 0 )
    {
        printf("Receive packet with ACK and retries, state %d\n",e);

        for (unsigned int i = 0; i < sx1272.packet_received.length; i++)
        {
            my_packet[i] = (char)sx1272.packet_received.data[i];
        }
        printf("Message: %s\n", my_packet);
    }
    else {
        printf("Receive packet with ACK and retries, state %d\n",e);
    }
}

int main (){
    setup();
    while(1){
        loop();
    }
    return (0);
}

```