

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Сачовський Андрій Мирославович  
Andrii Sachovskyi

УДК 004:681.5

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр та назва спеціальності)

Дипломна робота  
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Розробка базової станції мережі LoRa на основі одноплатного  
комп'ютера Raspberry Pi  
Development of a base station of the LoRa network based on a single-  
board computer Raspberry Pi

Науковий керівник:  
кандидат фіз.-мат. наук,  
доцент Павлюк М.Ф.

Рецензенти:  
Кандидат хім. наук,  
проф. каф. фізики і хімії  
твердого тіла  
Горічок І.В.

Івано-Франківськ  
2021

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть.	Прим.
			123.УДК:004.681.5	Пояснювальна записка	55	

					123.УДК:004.681.5		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розроб.	Сячеський АМ				<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Пров.	Паєлок М.Ф.					2	
Н.контр.					<div data-bbox="782 2072 1037 2139" data-label="Section-Header"> <p>Специфікація</p> </div>		
Утв.							

## АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки магістерської роботи становить 55 сторінки, які включають в себе 5 розділів, 25 ілюстрацій, 11 таблиць, 1 додаток і 13 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

**Ключові слова:** LPWAN, LoRa, Raspberry Pi, Базова станція, RAK2245

**Актуальність теми дослідження:** на сьогоднішній день Інтернет речей (IoT) – одне з перспективних напрямків. Для належного функціонування системи потрібний зв'язок між пристроями та центральними серверами. Такий зв'язок повинен характеризуватись великим радіусом дії та низьким енергоспоживанням. Оскільки пристрої є автономними та переважно живляться від акумулятора чи на джерелі альтернативної енергетики наприклад сонячної панелі, енергоспоживання повинно бути мінімальним. Саме за такими критеріями було створено LPWAN мережі. Це мережі з невеликим енергоспоживанням та великим радіусом дії. Одним з яскравих представників таких мереж є LoRa.

**Мета та завдання:** Метою магістерської дипломної роботи є створення базової станції LoRa, а також моделювання мережі для міста Івано-Франківськ.

					123.УДК:004:681.5		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Анотація		
Розробив		Сачовський А.М.					
Перевірив		Павлюк М.Ф.					
Н. Контр.							
Затвердив					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
						3	1

## ABSTRACT

The volume of the Master's Thesis Explanatory Note (MD) is 54 pages, which include 5 sections, 25 illustrations, 11 tables, 1 appendix and 13 bibliographic titles according to the list of reference sources.

**Keywords:** LPWAN, LoRa, Raspberry Pi, Base Station, RAK2245

**Relevance of the research topic:** today the Internet of Things (IoT) is one of the promising areas. The connection between the devices and the central servers is required for the system to function properly. Such a connection should be characterized by a large range and low power consumption. As the devices are self-contained and mainly powered by a battery or an alternative energy source such as a solar panel, energy consumption should be kept to a minimum. LPWAN networks were created according to such criteria. These are networks with low power consumption and long range. One of the brightest representatives of such networks is LoRa.

**Purpose and tasks:** The purpose of the master's thesis is to create a base station LoRa, as well as network modeling for the city of Ivano-Frankivsk.

					<i>123.УДК:004:681.5</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Анотація		
Розробив		Сачовський А.М.					
Перевірив		Павлюк М.Ф.					
Н. Контр.							
Затвердив					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
						4	1

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему:

**«Розробка базової станції мережі LoRa на основі одноплатного комп'ютері Raspberry Pi»**

					<i>123.УДК:004:681.5</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Сачовський А.М.			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		Павлюк М.Ф.					5	58
Н. Контр.								
Затвердив								

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

LPWAN(Low Power Wide Area Network) – мережа широкого радіусу дії з низьким рівнем енергоспоживання

I2C(Inter-Integrated Circuit) – послідовна асиметрична шина для зв'язку з між пристроями

SPI(Serial Peripheral Interface) – повно дуплексний швидкісний синхронний трьохпровідний інтерфейс

AES(Advanced Encryption Standard) - стандарт розширеного шифрування, заснований на симетричному алгоритмі блочного шифрування

IoT (Internet of Things) - концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв

3GPP(3rd Generation Partnership Project) – партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній, головною метою створення якої є розробка і затвердження стандартів для мережевих технологій третього покоління(3G), стандартизація архітектури мереж та сервісів.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

SF(Spreading factor) – коефіцієнт розширення спектру.

QoS(Quality of Service) – якість обслуговування

ІС – Інтегральна схема

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ТА ЗБОРУ ДАНИХ.....	8
1.1 Вимоги до інфраструктури мережі .....	9
1.2 Вимоги до обладнання мережі .....	10
1.3 Вимоги до програмного забезпечення мережі.....	11
1.4 Технологія передачі даних в мережі NB-ІоТ .....	12
1.5 Технологія передачі даних в мережі SigFox .....	14
1.6 Технологія передачі даних в мережі Weigtless .....	15
1.7 Технологія передачі даних в мережі LoRaWAN .....	16
1.8 Порівняльні характеристики безпроводних технологій .....	21
2. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЮ .....	27
2.1 Вибір одноплатного комп'ютера.....	27
2.2 Вибір охолоджувальної системи пристрою .....	29
2.3 Вибір радіомодуля для базової станції мережі.....	29
2.4 Вибір програмних засобів .....	31
3. ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ .....	32
4. МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ .....	36
4.1 Розрахунок ємності мережі.....	39
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	48
ВИСНОВКИ .....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
ДОДАТКИ .....	53

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

З кожним роком розвивається концепція Інтернету речей. Важливою ланкою Інтернету речей є зв'язок. Оскільки провідний зв'язок є досить дорогий та не забезпечує бажану мобільність створено бездротові мережі LPWAN. LPWAN – це бездротова мережа, яка створена для розподілених мереж телеметрії, Інтернету речей(ІоТ), міжмашинної взаємодії(М2). Такі мережі мають ряд переваг які ідеально підходять для пристроїв Інтернету речей. Головними перевагами LPWAN мереж є велика дальність передачі даних, невелике енергоспоживання кінцевими пристроями, які працюють в такій мережі, спрощена мережева топологія, висхідний трафік. Такі переваги дозволяють отримувати дані від пристрою що знаходиться на великій відстані від базової станції та забезпечують довгий час роботи від батерейки. Завдяки простій топології можна швидко розгорнути мережу. Дані від датчика проходять певний шлях через кінцевий пристрій, базову станцію, центральний сервер, користувач. Тому кожен елемент мережі повинен виконувати свої функції.

Метою виконання магістерської роботи є створення базової станції(шлюзу). Така базова станція повинна обробляти, розшифровувати та відправляти дані які були надіслані від кінцевого пристрою до центрального сервера. Також базова станція повинна відправляти запити до кінцевих пристроїв, складати розклад запитів, виділяти канали для отримання інформації.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ТА ЗБОРУ ДАНИХ

Однією з важливих складових будь-якого мобільного пристрою є саме зв'язок з мережею. На сьогоднішній день кількість технологій та стандартів зв'язку постійно зростає, проте не всі технології підходять для автономних пристроїв. Зазвичай такі пристрої живляться від акумулятора та знаходяться на великій відстані від базової станції. Саме для таких пристроїв створені мережі з низьким споживанням енергії LPWAN.

LPWAN – це мережі, завдяки яким можна передати дані невеликого об'єму на досить значні відстані. Такі мережі призначені для Інтернету речей або між машинного спілкування (Machine-to-machine, M2M). Зазвичай такі мережі складаються з великою кількістю давачів чи виконавчих модулів, які підключені до базової станції, яку ще називають шлюзом. Такі пристрої (вузли) забезпечені антеною і передають дані радіоканал. Дані обробляються шлюзом. Шлюз діє як інтерфейс між фізичною та віртуальною складовою мережі. Як правило оброблені дані передаються на центральний сервер, який працює як хмара. Мережі LPWAN це двонапрямлені мережі, тому в таких мережах використовуються протоколи CoAP або MQTT.

Протокол CoAP – це протокол створений на основі HTTP. Даний протокол був створений для передачі даних від невеликих пристроїв, з обмеженим ресурсом. Концепція CoAP орієнтована на взаємодію точка-точка (клієнт-сервер) [1].

Пристрій звертається до сервера, за допомогою команд PUT, GET, POST, DELETE, зміст яких аналогічний HTTP командам. Це дозволяє користувачам, які знайомі з HTTP командами створювати систему керування пристроями в браузері, або у веб-додатку. Протокол CoAP використовує UDP як транспортний протокол. Це дозволяє зменшити розмір службових даних а також збільшити ефективність роботи.

Протокол MQTT – не компактний відкритий прокол обміну даними, який був створений для обміну даними між пристроями, де необхідно передати невелику кількість інформації та є обмеження по ресурсах. Зазвичай цей

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

протокол використовують для M2M(взаємодія пристрій-пристрій) а також в Інтернеті речей. На відміну від CoAP протоколу MQTT побудований на TCP/IP. Обмін повідомлення відбувається між клієнтом, який може бути як підписником так і видавцем(publisher/subscriber) так і брокером(broker) повідомлень. Механізм роботи протоколу наступний. Видавець відправляє дані на MQTT брокер, вказуючи при цьому відповідну тему, яку називають топіком(topic). Підписники можуть отримувати будь-які дані від багатьох видавців, в залежності чи підписані вони на відповідні топіки. До переваг MQTT можна віднести те що підписними нічого не знають про видавців, велика кількість корисної інформації, під час передачі повідомлень підписник і видавець не повинні бути в мережі. Основним елементом схеми “підписник-видавець” є брокер. Він відповідає за прийом всіх повідомлень, їх фільтрацію, та прийняття рішення, кому потрібно пере направити повідомлення, а також за пересилку повідомлень між всіма клієнтами-підписниками.

Завдяки подібним мережам можна отримувати дані з різних пристроїв, такі як: різного роду давачі, метеостанції, станції моніторингу повітря, лічильники тощо.

До таких мереж відносяться LoRaWAN, NB-IoT, SigFox, Weightless-P та інші.

### 1.1 Вимоги до інфраструктури мережі

До інфраструктури мереж LPWAN є ряд вимог.

1. Діапазон частот. В залежності від діапазону частот на яких працює обладнання мережі. Такий діапазони можуть бути неліцензованими, тобто такими якими можна користуватись без спеціального дозволу чи ліцензії, так і ліцензованими. Переваги ліцензованих частот є зменшення шуму та чистота ефіру порівняно з не ліцензованими діапазонами.

2. Проникна здатність. Проникна здатність описує проходження сигналу через різного роду перешкоди. Такі перешкоди впливають на дальність та

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цілісність сигналу. Дальність проходження сигналу в LPWAN мережах у міській забудові становлять близько 2 км, а у сільській місцевості – 10км.

3. Затримка сигналу. Під затримкою розуміють час, який необхідний для проходження сигналу від шлюзу до кінцевого пристрою і навпаки. Наприклад для пристрою який керує водяним насосом насосної станції це значення повинно бути максимально малим, в той же час для невеликої метеостанції час затримки не є критичним.

4. Швидкість передачі даних. Деякі пристроєм необхідна високе значення швидкості. Чим більший пакет даних тим довше воно буде відправлятися. Для пристроїв які зчитують дані наприклад з лічильників швидкість передачі даних не є такою важливою в порівнянні з пристроєм який керує насосом котельні чи водопостачання.

5. Ступінь автоматизації. Ступінь автоматизації описує процеси які можна виконувати без участі людини. Наприклад, оновлення програмної частини кінцевого пристрою, оновлення по радіоканалу чи оновлення пристрою через перезапис програми чи конфігурацій. Щоб заощадити витрати та час працівників слід віддати перевагу високому ступеню автоматизації.

6. Масштабованість мережі. Оскільки подібні мережі набувають популярності і кількість пристроїв які працюють в цій мережі ставатиме більше, постає питання розростання мережі. Це дозволяє збільшувати мережу по мірі збільшення кількості пристроїв.

7. Покриття мережею. Перш ніж вводити нові бездротові технології IoT, слід перевірити яке покриття мережі необхідне.

## 1.2 Вимоги до обладнання мережі

1. Екосистема: Високопродуктивна мережі Інтернету речей характеризується великою кількістю пристроїв, які вимагають спеціального обладнання. З цієї причини кожна технологія повинна мати достатню апаратну екосистему. Основою такої екосистеми є виробники кінцевих пристроїв, базових станцій, серверів, які є важливою частиною LPWAN мереж.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Енергоефективність. Вирішальним моментом роботи мережі є вартість обслуговування та утримування мережі. Сповивання електроенергії як кінцевими пристроями так і базованими станціями є достатньо вагомим. Короткий час автономної роботи кінцевого пристрою призведе до частій заміни джерел живлення, що негативно позначиться на ціні утримування мережі.

3. Якість продукції. Обладнання яке використовується для функціонування мережі повинно працювати справно впродовж довгого часу, без оновлень чи частого обслуговування.

### 1.3. Вимоги до програмного забезпечення

Для комплексного розгортання мережі Інтернету речей тільки обладнання недостатньо. Для належної роботи мережі потрібне відповідне програмне забезпечення, яке приймає дані та пересилає дані на центральний сервер. Збереження та передача даних є основою для майбутніх бізнес процесів у сфері обслуговування. Основна вимога до такого ПЗ є створення інтерфейсів API, для можливості обміну даними між різними програмними рішеннями.

#### 1. Безпека даних

Для будь-якої мережі безпека даних є критично важливим фактором. Для уникнення крадіжки, чи підміни даних необхідно використовувати шифрування даних AES-128 або AES-256.

#### 2. Стандарти протоколів

Оскільки мережа з'єднує велику кількість користувачів, необхідний загальний стандарт. Це дозволить спроектувати необхідні інтерфейси та вимоги до виробників, та розробників програмного забезпечення. Передача даних в такому випадку буде відповідати певному формату, тому її легше буде обробити. Використання протоколів сильно залежить від вже існуючого обладнання та програмного забезпечення.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.4 Технологія передачі даних в мережі NB-IoT

NB-IoT – технологія зв'язку побудована на основі LTE, яка призначена для пристроїв, які передають невелику кількість інформації та живляться від акумулятора чи батарейки типу АА. Дана технологія стандартизована партнерською асоціацією 3GPP[1].

Як і інші LPWAN мережі NB-IoT дозволяє отримувати дані з різних пристроїв для моніторингу чи відслідковуванням за об'єктом. Однією з переваг даної технології є те, що її можна розгорнути як на існуючій мережі GSM чи LTE мережі, так і окремою мережею. Для операторів GSM чи LTE мереж розгортання NB-IoT мережі зводиться до створення спеціального програмного забезпечення. Консорціум 3GPP вирізняє 3 способи виділення частот для розгортання мережі NB-IoT на існуючих мобільних мережах: на захисні смуги(Guard-Band), внутрішньо-смуговий(In-Band) та автономний(Stand-Alone). Кожен метод має свої переваги та недоліки.

Використовують метод Guard-Band, де канал виділяється в захисній зоні. Якщо використовувати смугу LTE 10МГц, то перед і за цією смугою є захисні інтервали по 500кГц. В такому випадку в цих захисних каналах розміщуються NB-IoT, проте сигнал підсилений на 6-9дБ. Перевагою цього методу є те що він економить частотний простір та зменшує взаємовплив на мережу LTE.

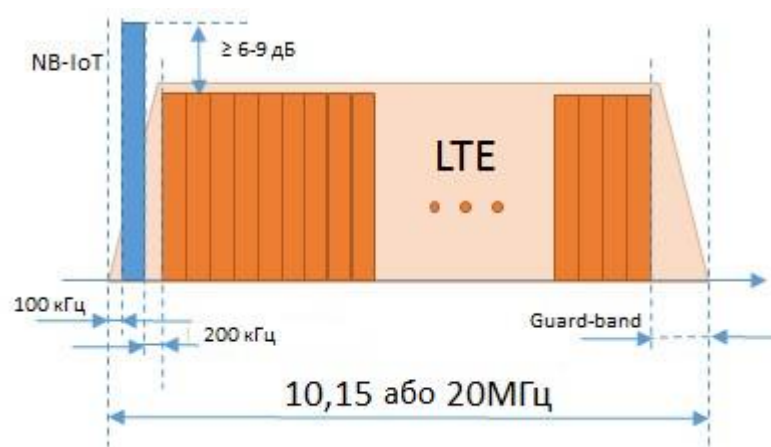


Рисунок 1.1. Розміщення каналу NB-IoT у режимі Guard-Band

Якщо використовувати метод In-Band для розміщення NB-IoT, то канал зв'язку виділяється всередині частотного діапазону мережі LTE. Сигнал як і в

методі Guard-Band підсилюють на 6дБ. Завдяки підсиленню сигналі базова станція розпізнає дані які відправляються через NB-ІоТ. Перевагою такого методу є економія частотного ресурсу. Недоліком є те що мережа LTE та NB-ІоТ взаємовпливають одна на одну.

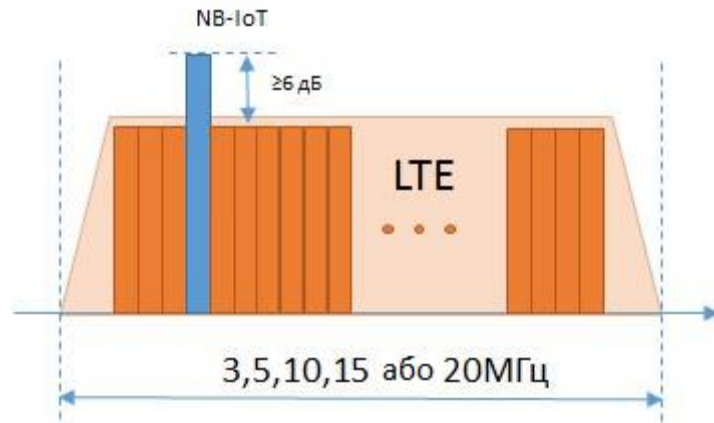


Рисунок 1.2. Розміщення каналу NB-ІоТ у режимі In-Band

Найпростішим варіантом є виділення окремого діапазону для мережі NB-ІоТ. Використовуючи метод Stand-Alone виділяються окремі частотні діапазони шириною 200кГц. Перевагою такого методу є висока ефективність, відсутність взаємовпливу, проте недоліками є те що необхідно використовувати захисні діапазони які мають ширину від 300-600кГц[2].

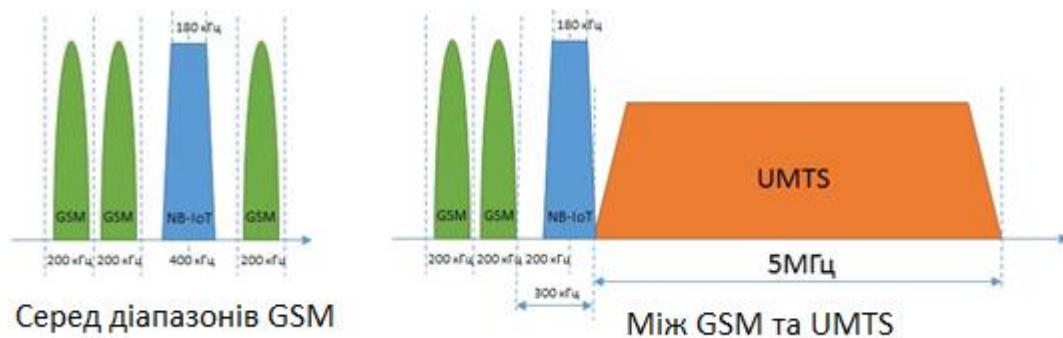


Рисунок 1.3. Розміщення каналу NB-ІоТ у режимі Stand-Alone

До переваг технології NB-ІоТ можна віднести:

- Тривалий час роботи від акумуляторів
- Можливість розгортання у стільникових мережах
- Низька ціна послуг зв'язку

До недоліків можна віднести:

- Необхідність покриття території стільниковою мережею

- Висока вартість кінцевих пристроїв
- Прив'язка пристрою до конкретної базової станції

### 1.5 Технологія передачі даних в мережі SigFox

SigFox – це технологія безпроводного зв'язку з малим енергоспоживанням в мережах з низьким споживанням енергії(LPWAN). Для обміну даними з пристроєм технологія SigFox використовує вузьку полосу частот(Ultra-Narrow Band, UNB) з двійково-фазовою маніпуляцією(BPSK), а для кодування даних змінює фазу несучої радіохвилі. Завдяки таким діям вдається зменшити рівень шуму на приймальній стороні, що відповідно дозволяє здешевити приймальний пристрій. На рисунку зображено топологію мережі SigFox.

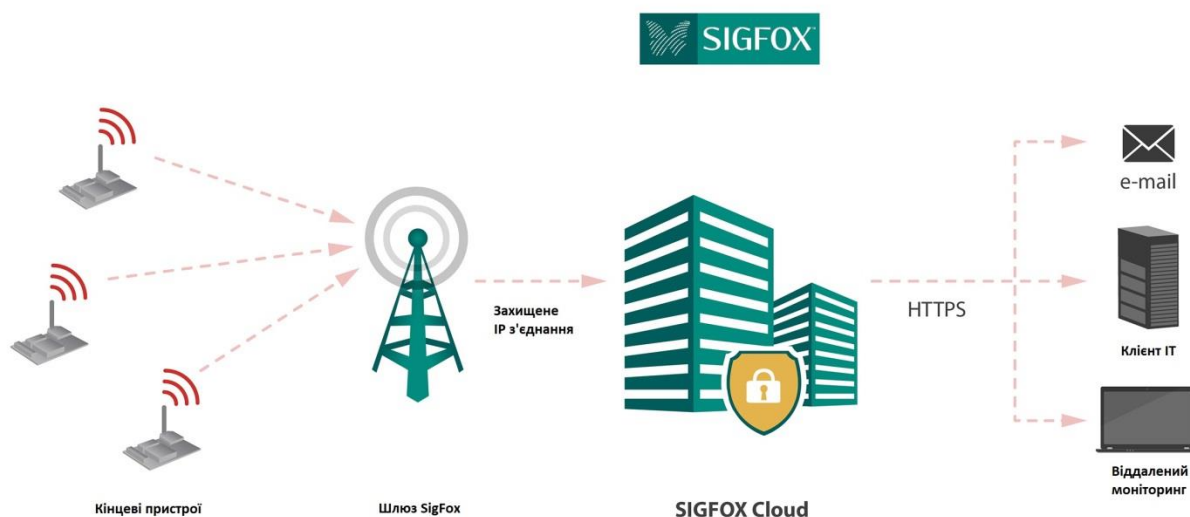


Рисунок 1.4. Архітектура мережі SigFox

Перевагами технології:

- Радіус дії: 30-50км(3-10 км в “шумних” і важкодоступних місцевостях)
- Низьке енергоспоживання
- Топологія мережі: зірка

До недоліків можна віднести:

- Стандарт SigFox визначає максимальну кількість повідомлень від базової станції до кінцевого пристрою в день становить 140 повідомлень.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розмір повідомлення повинен бути 12 байт
- Вартість послуг SigFox
- Висока вартість обладнання

### 1.6 Технологія передачі даних в мережі Weightless

Weightless - це технологія вузько смугового зв'язку UNB, розроблена для концепції "розумне місто". Підтримує та розвиває одноіменна некомерційна компанія Weightless SIG[4].

Дану технологію можна поділити на три специфікації:

- Weightless-N – це технологія що використовує UNB з одностороннім зв'язком. Для передачі даних використовується не ліцензовані частоти ISM субгігагерцового діапазону. Зазвичай таку технологію використовують для невеликих давачів температури, лічильників.
- Weightless-W технологія що базується на невикористаних частотах телевізійного спектру. Специфікація технології призначена для віддалених корпоративних мереж. Зазвичай Weightless-W використовують нафто та газовидобувні компанії.
- Weightless-P технологія яка підтримує SRD стандарти і розташовується в частотних діапазони 433-434 МГц або 868МГц.

До LPWAN мереж відносять тільки Weightless-P. Ширина каналу технології становить 12.5кГц. це дозволяє передавати більше даних ніж передає технологія SigFox.

Як і інші мережі LPWAN, Weightless-P має архітектуру мережі типу зірка. Мережа складається з кінцевих пристроїв та базових станцій, яка контролює роботу мережі а також розподіляє кожному пристрою точний час і канал зв'язку. Швидкість передачі даних знаходиться в діапазоні 0.625-100кбіт/с. стандартна потужність передачі кінцевого пристрою становить 14дБ, при потребі потужність можна збільшити до 30дБ. Радіус покриття в умовах міста становить близько 2 км, та 5-10км в умовах прямої видимості. Стандартне значення потужності передачі базовою станцією становить 27дБ(30дБ).

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



На відміну від SigFox, Weightless-P є синхронізованою мережею. Це дозволяє передавати дані з першої спроби без втрати корисної інформації. Для захисту даних використовують шифрування AES-128/256.

### 1.7 Технологія передачі даних в мережі LoRaWAN

LoRaWAN – це LPWAN мережа, з великою зоною покриття та низьким енергоспоживанням. Технологію LoRa відносять до малопотужних широкосмугових пристроїв[5].

Мережева архітектура LoRaWAN являє собою топологію зірка, в якій від кінцевих пристроїв дані передаються на базову станцію а далі на центральний сервер. Базові станції підключаються до мережевого сервера через глобальні або регіональні мережі інтернет. Це можуть бути як оптоволоконні лінії так і дротові чи бездротові 3G, 4G, 5G мережі. Таким чином базова станція являє собою міст який перетворює RF-пакети в IP-пакети та навпаки

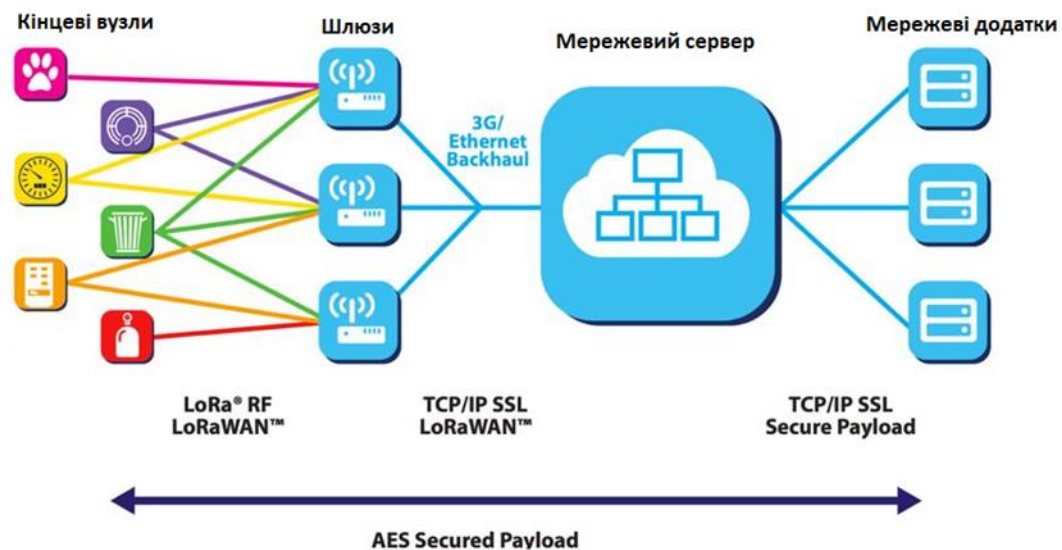


Рисунок 1.5. Архітектура мережі LoRaWAN

На рисунку зображено основні частини LoRAWAN мережі: кінцеві пристрої, базові станції(шлюзи), мережевий сервер та мережеві додатки. Кінцевий пристрій(вузол) – це пристрій який збирає, обробляє, шифрує та відправляє дані, або виконує певні інструкції, які він отримує через мережу. Базова станція(шлюз) – це пристрій, який отримує дані з кінцевих вузлів по радіоканалу. Основне завдання базової станції передати інформацію з

радіоканалу LoRa в транзитну мережу[6]. Такими транзитними мережами можуть бути дротовий чи оптоволоконний Ethernet, Wi-Fi, 3G, 4G, 5G мережі.

Мережевий сервер – це сервер чи група серверів, яка обробляє отримані дані від кінцевих пристроїв, надсилає інструкції чи команди кінцевим пристроям, створює розклад сеансів зв'язку, генерує ключі шифрування а також надає дані мережевим додаткам.

Мережеві додатки – це програми які відображають дані від кінцевих пристроїв, або служать пультом керування кінцевими пристроями.

Мережу LoRa можна поділити на два рівні:

- Фізичний рівень LoRa
- Віртуальний рівень



Рисунок 1.6. Рівні мережі LoRa

Фізичний рівень LoRa представляє собою пристрої, що працюють з модуляцією LoRa у виділеній для LPWAN діапазоні частот. Технологія LoRa базується на модуляції LoRa, яка розроблена і запатентована компанією Semtech, в якій об'єднали технологію розширення спектру та варіацію лінійної частотної модуляції. До фізичного рівня можна віднести кінцеві пристрої та шлюзи. Після того як шлюз отримав дані та опрацював їх він відправляє їх на центральний сервер.

До віртуального рівня можна віднести центральний сервер та за стосунки клієнтів. Оскільки на даному рівні відбувається передача даних з сервера до користувача.

Технологія LoRa використовує різні комбінація каналів та коефіцієнтів розширення SF7-SF12. Такий підхід використовується для того, щоб адаптувати швидкість передачі даних в залежності від відстані до пристрою. Вищий коефіцієнт поширення збільшує дальність передачі, проте зменшується швидкість передачі даних, та навпаки. В залежності від умов ефіру комбінують смуги пропускання та коефіцієнт поширення. Таким чином високий коефіцієнт поширення SF12 має кращі характеристики передачі даних та кращу чутливість, що тягне за собою збільшення часу передачі в результаті чого зменшується швидкість передачі даних. Швидкість може змінюватись від 18 до 40 Кбіт/с.

Таблиця 1.1. Характеристики передачі даних

Коефіцієнт поширення	Обсяг корисної інформації в пакеті, байт	Час в ефірі, мс	Швидкість передачі, біт/с
SF12/125кГц	51	1908	292
SF11/125кГц	51	1036	537
SF10/125кГц	115	575	976
SF9/125кГц	222	308	1757
SF8/125кГц	222	175	3125
SF7/125кГц	222	98	5468

Зрозуміло що чим вище SF, тим менша швидкість та стабільніший зв'язок та навпаки, висока швидкість проте гірша стійкість до перешкод.

Рівень потужності, який випромінює передавач є адаптивним. Він залежить від багатьох факторів: якість ефіру, швидкість передачі даних, відстань між кінцевим пристроєм та базовою станцією. Коли необхідна висока швидкість передачі даних, потужність збільшується, чи навпаки коли необхідно економити заряд акумулятора потужність передавача зменшується.

У мережі LoRaWAN кінцеві пристрої не прив'язані до однієї базової станції. Дані що передаються кінцевим пристроєм приймаються декількома базовими станціями, і передаються на центральний сервер. Завдяки таким діям

імовірність того що центральний сервер не отримає дані від кінцевого пристрою є невеликою.

Кінцеві пристрої – це пристрої, які отримують дані з датчиків і передають їх на базову станцію. Такі пристрої складаються з мікроконтролерів, датчиків та модему LoRa. Самі пристрої можна поділити на 3 класи.

#### Клас А

До класу А відносять двонаправлені кінцеві пристрої з найменшою потужністю. За замовчуванням всі кінцеві пристрої підтримують клас А. Кінцевий пристрій завжди ініціює передачу даних з шлюзом.

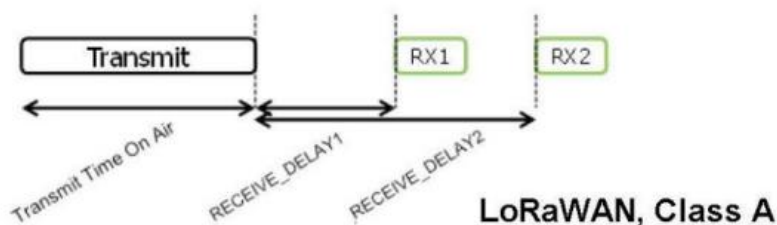


Рисунок 1.7. Сеанс зв'язку між кінцевим пристроєм класу А та базовою станцією

Оскільки процес передачі даних в такому випадку є повністю асинхронним, після передачі повідомлення про готовність даних, шлюз, створює два коротких вікна (RECEIVE\_DELAY1, RECEIVE\_DELAY2). Зазвичай RECEIVE\_DELAY1 триває 1 секунду. Значення RECEIVE\_DELAY2 обчислюється як RECEIVE\_DELAY1 + 1 секунда. Часові діапазони і частотні канали конфігуруються, тому швидкість передачі RX1 і RX2 можуть відрізнятися. Такий підхід дає можливість для створення сеансу двонапрявленого зв'язку або передачу/прийому команд керування мережею, коли це необхідно. Таку передачу даних описано в протоколі ALOHA.

Кінцевий пристрій після передачі даних може перейти в режим сну в залежності від його налаштувань. Пристрої класу А переважно знаходяться в режимі сну, періодично прокидаються, збирають та відправляють дані в певний час, після чого знову засинають. Прокидаються такі пристрої відповідно свого

розкладу або від інструкцій центрального сервера. Це робить клас А найефективнішим, тому час роботи автономного пристрою буде коливатись в межах 5-10 років. Єдиним недоліком таких пристроїв є те, що зв'язок між центральним сервером відбувається строго по розкладу, а тому зв'язатись з пристроєм поза розкладом неможливо.

### Пристрої класу В

Пристрої класу В – це пристрої подібні до пристроїв класу А, проте мають додаткові вікна прийому по розкладу. Для синхронізації часу для відкриття додаткових вікон прийому, шлюзи відправляють сигнали-“маячки”. Всі шлюзи що входять в одну мережу повинні відправляти такі сигнали-“маячки” одночасно. Такий сигнал складається з ідентифікатора мережі і мітки часу(UTC).

Пристрої класу В мають деякі переваги над пристроями класу А, оскільки вони між сесіями зв'язку прокидаються для отримання чи відправлення сигналу-“маячка”, є можливість передати інструкції чи команди для наступної сесії зв'язку. При цьому не потрібно довго чекати поки пристрій вийде на зв'язок, для передачі команд.

### Пристрої класу С

Пристрої класу С – це пристрої які прослуховують ефір практично весь час, за винятком передачі даних. Такі пристрої застосовуються там де не потрібно економити енергію, або коли пристрій підключений до електромережі.

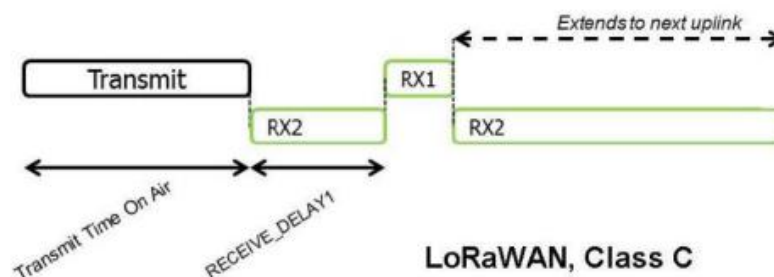


Рисунок 1.8. Сеанс зв'язку між кінцевим пристроєм класу С та базовою станцією

Ініціювати передачу даних може як і пристрій так і центральний сервер. Такі пристрої використовують коли необхідно часто отримувати дані в будь-який момент часу.

## 1.8 Порівняльні характеристики безпроводних технологій

Для порівняння використано гістограму в якій відображено мережі LPWAN, 3G та Zigbee на рисунку

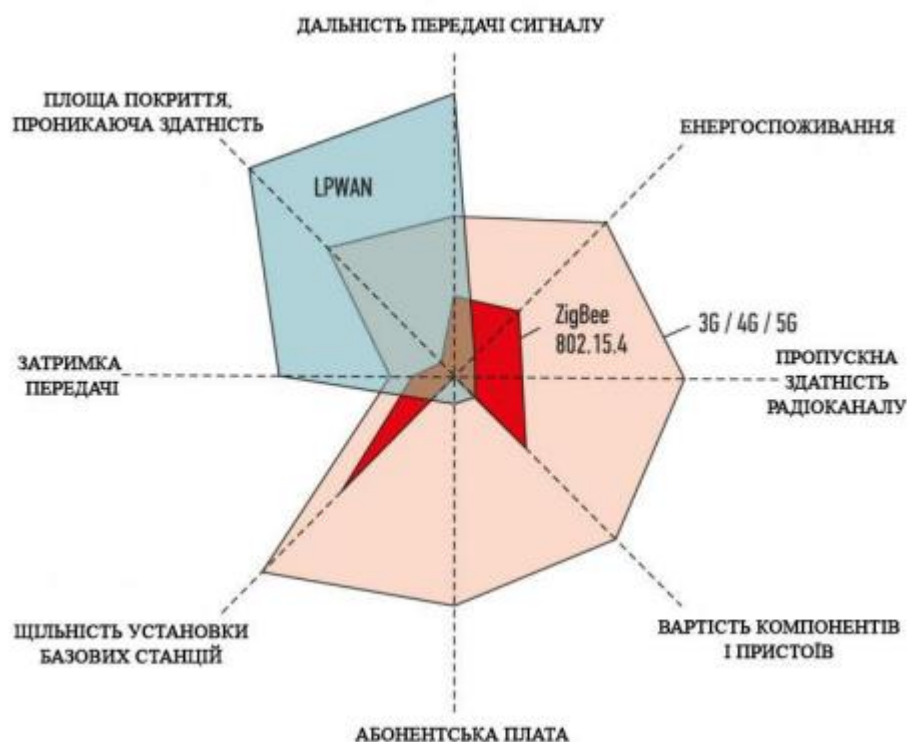


Рисунок 1.9. Порівняльна характеристика мереж

Проаналізувавши рисунок можна зробити висновки щодо мереж. Для телеметрії та передачі невеликих пакетів даних найкраще підходять LPWAN мережі. Враховуючи вартісну складову LPWAN мережі, її можуть побудувати як невеликі компанії, що створить конкуренцію і призведе до зменшення цін для кінцевого клієнта.

Таблиця 1.2. Порівняння технологій LPWAN

Мережа	NB-IoT	SigFox	Weigtless-P	LoRaWAN
Частота	800/900/1800МГц	868МГц	868/433МГц	868/433МГц
Ширина каналу	200кГц	100кГц	12,5кГц	125/250кГц
Радіус дії	10км	10-50км	5-10км	10-15км
Кількість підключених	50000	25000		40000

пристроїв				
Стандарт	3GPP	SigFox		LoRa
Швидкість	200кбіт/с	100біт/с	100кбіт/с	100кбіт/с
Споживання радіомодуля	40мА	10мА		Tx -1мА Rx - 40мкА
Ліцензія	+	-	-	-
Тип мережі	Стільникова	Зірка	Зірка	Зірка

Переглянувши таблицю, можна сказати що LPWAN мережі не сильно відрізняються одна від іншої за характеристиками. Проте кожна мережа має свої особливості які можна використати в певному регіоні. Також є можливість перекривати недоліки однієї мережі іншою, для покращення покриття та стабільності зв'язку.

Для розгортання мережі LPWAN необхідно враховувати ряд факторів, (те що перераховано в роботі). Нижче наведено порівняння характеристик NB-IoT, LoRa, Sigfox, LTE-Cat-M1.

#### Частотний діапазон

Мережі NB-IoT та LTE-Cat-M1 побудований на основі мережі LTE тому використовує її ліцензійний діапазон. Оскільки дані мережі є синхронними, це дозволяє використовувати QoS. Оскільки вартість LTE діапазонів є досить дорогими відповідно якість обслуговування таких мереж є досить високою. Тому такі мережі варто використовувати, де вимагаються гарантована якість обслуговування[7].

На відміну від вище згаданих мереж LoRa та Sigfox використовують неліцензований ISM діапазон. Передача даних в таких мережах є асинхронною. Вони можуть відображати різного роду завади, багатопроменеве поширення а також згасання. Проте вони не можуть надати QoS який надає LTE-Cat-M1 або NB-IoT.

#### Енергоефективність

Оскільки кінцеві пристрої LPWAN мереж переважно більшість часу знаходяться в режимі сну, енергоспоживання є достатньо малим. В такому

							123.УДК:004:681.5	Арк.
								22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

випадку енергоефективність мереж буде вимірюватись рівнем споживання радіомодулем при передачі чи отриманні інформації.

Таблиця 1.2. Енергоспоживання при передачі даних

Мережа	Споживання при передачі даних, мА	Споживання при отриманні даних, мА
NB-IoT	116	5,6
LTE-Cat-M1	203	7
LoRa	40	1
Sigfox	50	3

Оскільки NB-IoT є синхронною мережею, необхідний час для синхронізації кінцевого пристрою з мережею. Також кінцевим пристроєм необхідно обробити QoS. При використанні режиму доступу OFDM/FDMA значення пікового струму є досить високими. Тому для пристроїв які повинні працювати від акумулятора чи від альтернативного джерела живлення краще використати LoRa або Sigfox. Оскільки їхнє енергоспоживання є нижчим порівняно з NB-IoT чи LTE-Cat-M1.

#### Часові затримки

В залежності від кінцевих пристроїв та завдань які вони виконують можна поділити їх на дві категорії: пристрої для яких важливе значення часової затримки та такі пристрої для яких це значення не є критичним. Для прикладу можна навести невелику метеостанцію та виконавчий пристрій керування газовими чи водяним клапаном на трубопроводі. Зрозуміло що для пристрою керування клапаном часова затримка повинна бути мінімальною, для швидкої реакції на певні проблеми в трубопроводі. Тоді як для передачі метеоданих затримка може бути досить великою.



Таблиця 1.4. Часові затримки при передачі даних

Мережа	Часова затримка, мс
Nb-IoT	100-10000
LoRa	100-5000
LTE-Cat-M1	10-15
Sigfox	100-10000

Для пристроїв яким необхідна мінімальна затримка краще використати LTE-Cat-M1 або NB-IoT чи LoRa з класом пристрою C. В інших випадках доцільно використовувати LoRa, Sigfox.

#### Масштабованість та корисне навантаження

Однією з ключових особливостей LPWAN мереж є підтримка великої кількості кінцевих пристроїв однією базовою станцією. Для збільшення мережі, тобто масштабованості, використовують декілька підходів, таких як ефективне використання каналів передачі даних, часовий розклад, врахування часових затримок. При використанні LTE-Cat-M1 чи NB-IoT можна досягти більшої кількості обслуговувальних пристроїв на один шлюз ніж при використанні LoRa чи SigFox.

Також перевагою LTE-Cat-M1 та NB-IoT є значення корисного навантаження. За один пакет NB-IoT передасть 1600 байт інформації, тоді як LoRa передасть 243 байт. SigFox пропонує найменше значення корисного навантаження 12 байт, тому використовувати його в пристроях де розмір даних буде великим буде недоцільно.

#### Покриття мережі

Оскільки на даний час досить сильно розвинута GSM та LTE мережі покриття NB-IoT та LTE-Cat-M1 є достатньо великим. Проте якщо будувати мережу то кількість базових станцій має вагоме значення. Чим більший радіус дії базової станції, тим більшу площу можна покрити мережею.

Основною перевагою Sigfox є його великий радіус дії який становить близько 40км. Однією базовою станцією можна покрити одне велике або декілька

малих міст. Для Бельгії, країна загальна площа якої становить 30500км<sup>2</sup>, для охоплення цієї площі знадобилось сім базових станцій Sigfox.[9]

На відміну від Sigfox, радіус дії LoRa становить 15км, який вимагає більше базових станцій для покриття Бельгії. Найменшу дальність забезпечує NB-IoT. Крім того NB-IoT та LTE-Cat-M1 залежать від базових станцій LTE. Тому для покриття сільських та приміських регіонів краще використовувати Sigfox або LoRa.

#### Модель розгортання

В червні 2016 року були опубліковані специфікації та протоколи для NB-IoT. Тому для створення мережі необхідний певний час. На даний час LoRa та Sigfox активно використовуються оскільки їхні екосистеми випробувані та багато виробників почали виготовляти обладнання для цих мереж.

Однак LoRa має одну суттєву перевагу над NB-IoT та Sigfox, а саме гнучкість. Порівняно з NB-IoT та Sigfox, LoRa дозволяє створювати локальні мережі. Це дозволяє використовувати свою мережу приватним особам, чи підприємствами не підключаючись до глобальної мережі.

#### Вартість

При побудовані мережі необхідно враховувати витрати такі як спектр, вартість обладнання мережі, вартість кінцевих пристроїв. Оскільки всі витрати на побудову мережі будуть відбиватись на абонентській платі. У таблиці наведено вартість Sigfox, NB-IoT, LTE-Cat-M1, LoRa

Таблиця 1.5. Вартість обладнання мереж LPWAN

Мережа	Вартість спектру	Ціна обладнання мережі(базова станція)	Ціна кінцевих пристроїв
NB-IoT	500М€	15000€	До 20€
LTE-Cat-M1	500М€	15000€	До 30€
Sigfox	Безкоштовно	4000€	До 2 €
LoRa	Безкоштовно	100-1000€	До 5 €

Як висновок можна відобразити певну діаграму, в якій відображаються вище згадані переваги та недоліки.

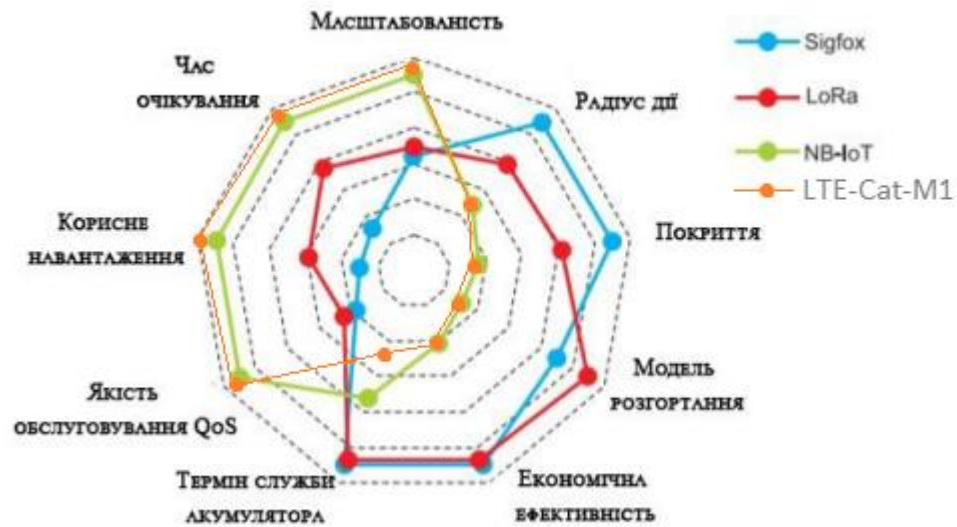


Рисунок 1.10. Переваги та недоліки LPWAN мереж

Як видно з рисунку, мережі мають свої переваги та недоліки, тому варто враховувати це при їх побудові. Варто також перекривати недоліки однієї мережі перевагами іншої. Наприклад при використанні LTE-Cat-M1 та Sigfox. Мережею Sigfox покривати сільську місцевість та місто, а мережею LTE-Cat-M1 покривати ті місця де Sigfox її переваги нівелюються.

## 2. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ

На сьогоднішній день ринок пропонує велику кількість одноплатних комп'ютерів які можуть працювати в якості базової станції. Для виконання роботи проаналізовано пропозиції та обрано між такими моделями Orange Pi, Raspberry Pi, Beabone

### 2.1. Вибір одноплатного комп'ютера

Для реалізації базової станції вибрано мінікомп'ютер Raspberry Pi 4. Дана модель – це одноплатний комп'ютер, розроблений британським фондом Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 4 є одним з найпродуктивніших мінікомп'ютерів завдяки чотирьох ядерному 64-бітному процесору SoC Broadcom BCM2711 з ядрами Cortex-A72 та збільшеною тактовою частотою 1.5ГГц та графічного процесора GPU VideoCore Vi з частотою 500МГц[10]. Мінікомп'ютер може працювати під керуваннями різних ОС Android, Rasbian, Ubuntu, Debian, Windows IoT.

Основні характеристики міні-комп'ютера:

- Процесор: Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.6GHz
- Оперативна пам'ять: 1GB, 2GB or 4GB LPDDR4-3200 SDRAM
- Графічний процесор: VideoCore VI c OpenGL ES 1.1, 2.0, 3.0
- Гігабітний Ethernet
- Вбудований дводіапазонний Wi-Fi (2.4GHz / 5GHz) стандарту IEEE 802.11 b/g/n/ac
- Вбудований Bluetooth 5.0 BLE
- Порти USB 3.0 x2, USB 2.0 x2
- Два роз'єми microHDMI (до 4Kp60)
- Композитний 3.5 jack для відтворення звуку
- H.265 (4kp60 decode), H264 (1080p60 decode, 1080p30 encode)
- OpenGL ES 3.0

					123.УДК:004:681.5	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 40 пінів GPIO
- Роз'єм для карт microSD
- Інтерфейс для підключення камери CSI
- Інтерфейс для підключення дисплея DSI
- Живлення 5В 2.9А через роз'єм USB Type-C
- Габаритні розміри: 88x58мм



Рисунок 2.1. Міні-комп'ютер Raspberry Pi 4

Як видно з характеристик Raspberry Pi 4 влаштовує ряд вимог для створення на його основі базову станцію. Наявність вбудованого гігабітного порта Ethernet дозволяє швидко передавати великі обсяги даних. Потужний процесор дає змогу обробляти велику кількість даних. Завдяки 40-пінному інтерфейсу, де розташовані інтерфейси I2C, SPI, UART, можна підключити різні пристрої, які працюють з такими інтерфейсами[11]. Також такі інтерфеси необхідні, оскільки необхідно враховувати стан системи в цілому, наприклад температури зовнішнього повітря, напруги живлення, напруга живлення на акумуляторі. На платі змонтований роз'єм MicroSD для встановлення карти. Також є можливість використати модифікацію з використанням мікросхем постійної пам'яті. На такій карті або постійній пам'яті встановлюється або операційна система або програма для обробки даних з мережі LoRaWAN. Також можна підключити зовнішню пам'ять для збереження даних, якщо це необхідно.

## 2.2. Вибір охолоджувальної системи пристрою

Для забезпечення стабільної роботи необхідно забезпечити міні-комп'ютер охолоджувальною системою. Для вирішення цієї задачі можна використати мідні радіатори. Перевагами такого способу буде дешевизна та помірна тепловіддача від процесора до навколишнього середовища. Іншим варіантом буде використання охолоджувальної системи, яка складається з пластини тепловідведення, радіатора та вентилятора.



Рисунок 2.2. Охолоджувальний елемент пристрою

Така система охолодження дозволяє утримувати температуру процесора близько 40 градусів Цельсія. Це дозволяє запобігти перегріву процесора, та пропуску тактів, що робить роботу шлюзу стабільною.

## 2.3. Вибір радіомодуля для базової станції мережі

В якості радіо модуля для створення базової станції мережі використано модуль розширення для Raspberry Rak2245 RPI Hat Edition. Даний модуль побудований на базі чипу SX1301 від компанії Semtech, та двох мікросхемах SX1257/58. SX1301 являється масовим цифровим механізмом для обробки сигналів. Він розроблений для побудови на ньому базових станцій. Така станція працюватиме в діапазоні не ліцензованих частот ISM. Такий шлюз – це багатоканальний передавач/ приймач, який здатний отримувати декілька пакетів інформації завдяки використанню випадкових факторів розповсюдження

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.УДК:004:681.5

сигналів. Основною задачею пристрою – забезпечити надійний зв’язок між центральним процесором і величезною кількістю різноманітних кінцевих пристроїв, які розташовані на великій відстані.

Такий модуль також вміщує в собі GPS-модуль Ublox MAX-7Q та радіатор для охолодження, та мікросхему EEPROM для зберігання ID шлюза.

Основні параметри:

- Потужність передачі: 27дБм
- Чутливість приймача: -139дБм
- Підтримка протоколів LoRaWAN 1.0.2
- Підтримка глобальних ISM діапазонів
- Інтерфейси: SPI, UART, I2C
- Інтегрований модуль GPS Ublox MAX-7Q
- До 49 LoRa демодуляцій
- 10 програмованих демодуляторів
- Динамічна адаптація отриманого сигналу

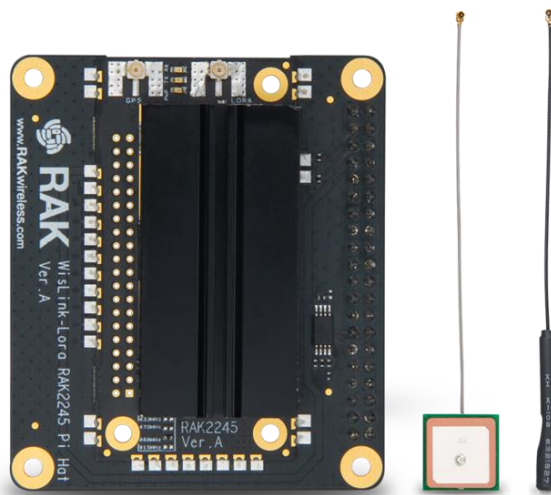


Рисунок 2.3. Радіомодуль RAK2245

В комплекті з модулем поставляється GPS антена та антена для радіо модуля LoRa.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

## 2.4. Вибір програмних засобів

Для створення програмного забезпечення використано інструмент візуального програмування Node-RED. Даний програмний засіб було розроблено спеціалістами компанії IBM. Node-RED створений для поєднання різноманітних пристроїв, онлайн-сервісів які є частиною Інтернету речей.

Основою роботи програми є події, які генеруються від зовнішнього джерела або від внутрішнього таймера(процесора) Node-RED. Подія це не просто імпульс, який викликає певні дії. Подія несе деяке інформаційне навантаження і може вміщувати велику кількість корисних даних, оскільки подія в Node-RED є звичайним об'єктом в мові програмування JavaScript. Такий об'єкт, вміщує в собі стандартний набір полів, проте він може бути розширений та модифікований(дозволяється міняти структуру та значення) засобами обробки всередині Node-RED.

Середовище виконання Node-RED виконано на базі Node.js, завдяки цьому вдається максимально використовувати подійно-орієнтовану не блокуючу модель системи. Це робить Node-RED ідеальною програмою для запуску її в мережевому обладнанні – не дорогих пристроях такі як Orange Pi, BeagleBone Raspberry Pi, а також в хмарних сервісах[9].

Для роботи на міні-комп'ютері в Node-RED створено спеціальні вузли для взаємодії з апаратними шинами I2C, SPI, UART, CAN. також є інтерфейси для підключення MQTT, парсери форматів, набір логіки, різноманітні функції, вузли вводу та виводу інформації. Для простоти розробки є можливість відладки, це дає змогу швидко знаходити помилки, створювати формати даних, чи відслідковувати за інформацію по мірі проходження їх по вузлах. Якщо ж базових вузлів недостатньо для виконання завдання є можливість завантажити додаткові вузли для роботи з іншими пристроями чи шинами наприклад з шиною Modbus. Для створення потоків необхідно встановити сам Node-RED та будь-який браузер. В браузері відбувається програмування та налаштування програми.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



### 3.ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

Для виконання поставленого завдання проектується базова станція мережі LoRa, яка призначена для передачі даних від кінцевих пристроїв до центрального сервера. В цьому розділі описано алгоритми роботи пристрою, алгоритм обробки даних, структура отриманих даних, розробка принципової схеми та розрахунок параметрів певних вузлів пристрою.

На рисунку зображено схему проектованого пристрою.

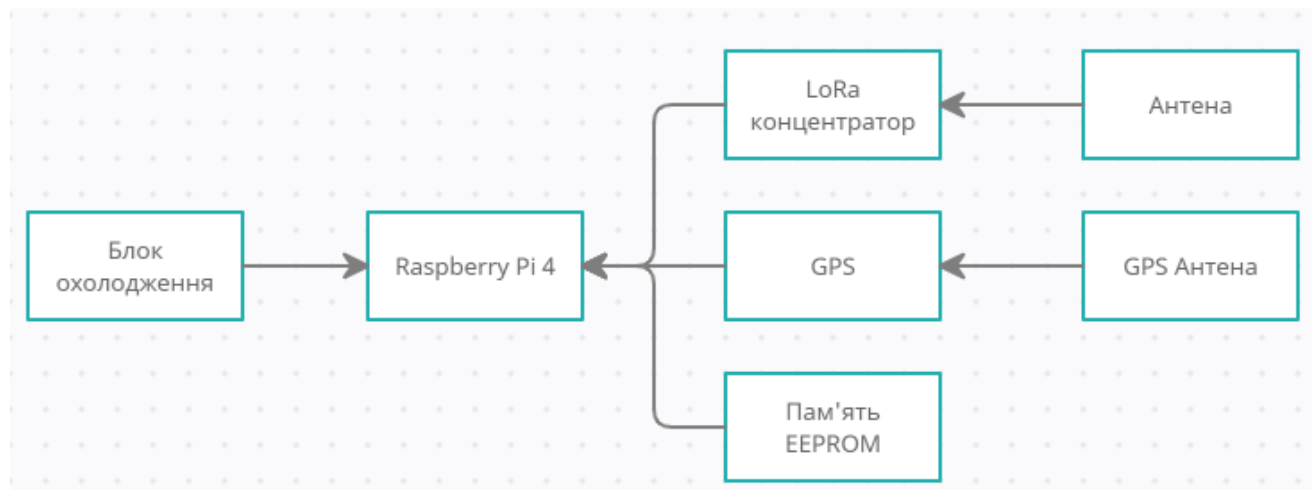


Рисунок 3.1. Загальна схема пристрою

Для отримання даних від кінцевих пристроїв використовується концентратор LoRa який побудований на основі IC SX1301. В базових станціях, які працюють як міст між кінцевими пристроями та центральним сервером та забезпечують передачу даних між LoRa та Ethernet, компанія Semtech рекомендує використовувати IC SX1301. IC SX1301 – це цифровий процесор каналів радіозв'язку для пристроїв які працюють в ISM діапазоні. Дана IC здатна обслуговувати близько 5 тисяч кінцевих пристроїв в умовах інтерференціальних перешкод на кожний квадратний кілометр. Перевагами такої IC є:

- Чутливість : -140дБ разом з передавачами SX125X
- Можливість працювати з від'ємними значеннями сигнал/шум
- Можливість емалювати до 49 LoRa демодуляторів та 1 FSK демодулятор
- Подвійний радіо інтерфейс
- Динамічна адаптація каналів для різної швидкості передачі даних
- 10 паралельних програмованих каналів демодуляції

В якості передавача можуть бути використані 2 мікросхеми SX1258 або SX1257. Вибір залежить від діапазону частот роботи мережі LoRa.

Концентратор LoRa працює по шині SPI, тому для його роботи необхідно ввімкнути шину SPI в налаштуваннях Raspberry Pi.

Також для роботи додаткової периферії необхідно ввімкнути шину I2C для зчитування ідентифікатора базової станції, та UART для отримання координат розташування.

Для функціонування базової станції необхідно створити образ системи, яку необхідно записати на SD картку або в внутрішню пам'ять Raspberry Pi.

Подальша робота з системою зводиться до роботи з налаштуваннями самої базової станції. Для початку необхідно вибрати з яким центральним сервером працюватиме базова станція.

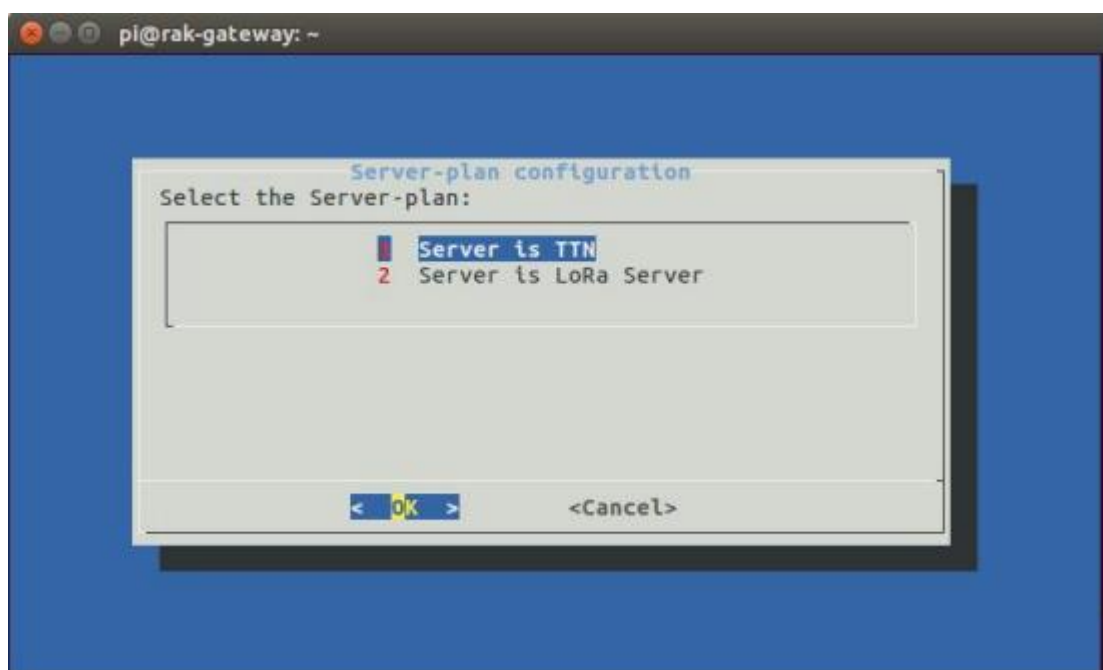


Рисунок 3.2. Діалогове вікно для вибору центрального сервера

Для вибору доступно 2 версії:

- The Think Network
- LoRa Server

The Think Network – являє собою центральний сервер який об'єднує велику кількість базових станцій по цілому світу. Даний сервер створений для

впровадження Інтернету речей. Завдяки великій підтримці як компаній так і аматорів сервер є досить популярним та зручним в використанні.

Під LoRa Server можна розуміти будь-який сервер або хмарне середовище. Це дозволяє створювати локальні мережі LoRa невеликими компаніями, або компаніями яким необхідно отримувати дані з великої кількості пристроїв, проте ці дані не повинні потрапляти в глобальну мережу Інтернет.

Наступним кроком буде вибір робочої частоти.

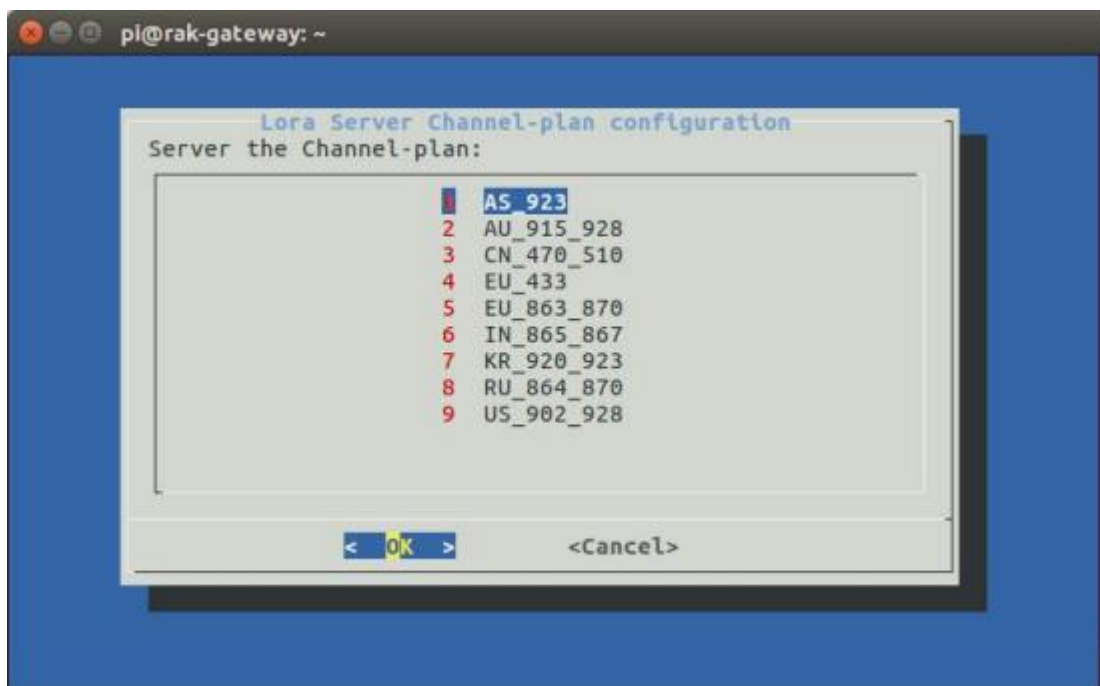


Рисунок 3.3. Діалогове вікно для вибору робочої частоти

Згідно з постановою №815 КМУ від 09.06.2006 які описують радіочастоти, виділені для радіотехнічних служб спеціального і загального призначення в Україні відкриті наступні частотні діапазони:

- 433.05 - 434.779 МГц
- 868.0 – 868.6 МГц

Максимальна випромінювальна потужність до 10мВт для частоти 433МГц, та 25мВт для частоти 868МГц[12].

Після вибору частоти користувач отримує ID базової станції, який необхідний для підключення до центрального сервера.

Для отримання технічної інформації від кінцевих вузлів, для покращення якості зв'язку необхідно створити певний сервіс, який буде відображати наступні

значення: RSSI, SNR, SF, тривалість передачі пакету даних та місцезнаходження пристрою.

Для цього використано Node-RED, з наступним потоком.

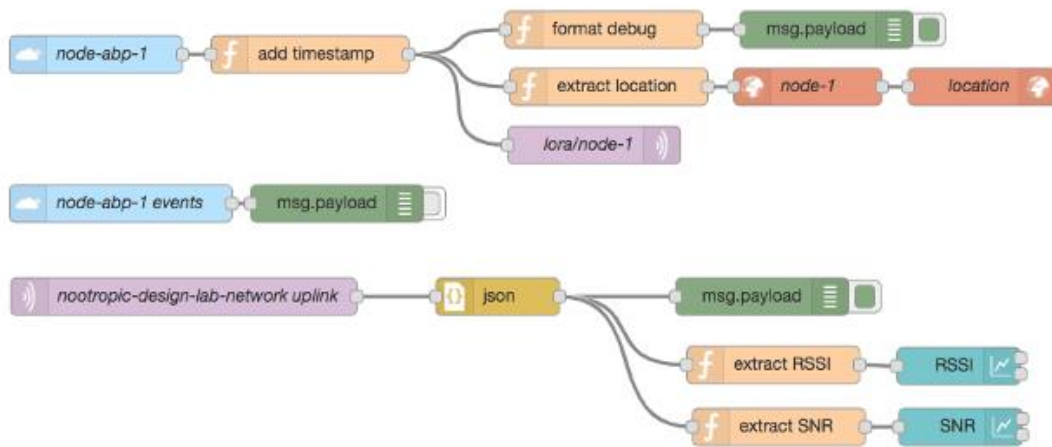


Рисунок 3.4. Потік для відображення технічної інформації

Для створення такого потоку необхідно завантажити додатковий пакет `node-red-contrib-ttn`, який буде отримувати необхідні дані з центрального сервера. Даний сервіс допоможе операторам мережі LoRa налаштувати базову станцію, задля покращення якості зв'язку.

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ

Для моделювання мережі було використано програму RadioPlanner 2.1. RadioPlanner 2.1 дозволяє розраховувати покриття території базовими станціями, проводити аналіз якості мережі та отримувати значення сигналу в будь-якій точці на карті.

Для покриття міста Івано-Франківськ мережею LoRa необхідно 4 базові станції які будуть розміщені в наступних місцях і матимуть такі координати

Таблиця

№	Назва	Широта	Довгота
1	BS001	N48,940434°	E24,737572°
2	BS002	N48,901954°	E24,704652°
3	BS003	N48,931870°	E24,698733°
4	BS004	N48,911939°	E24,738925°

Висота антени в даному випадку рівна 30м. Її з легкістю можна розмісти на будь-якому багатоповерховому будинку. При такому розміщенні базових станцій вдається майже повністю покрити місто. При чому рівень сигналу буде коливатись від -90 до -110дБ. Такий рівень сигналу є гарантією того що дані втрачених даних буде менше.

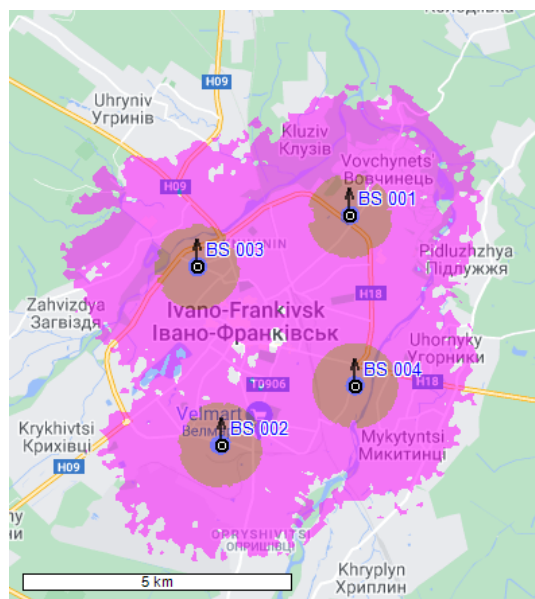


Рисунок 4.1. Покриття Івано-Франківська мережею LoRa

Як видно з рисунку практично вся площа Івано-Франківська покрита мережею. Це означає що місце розташування базових станціє є оптимальним. Для якісного покриття мережею також виконують розрахунок з врахуванням балансу потужності сигналу. Це показник який свідчить про проходження сигналу через різноманітні перешкоди.

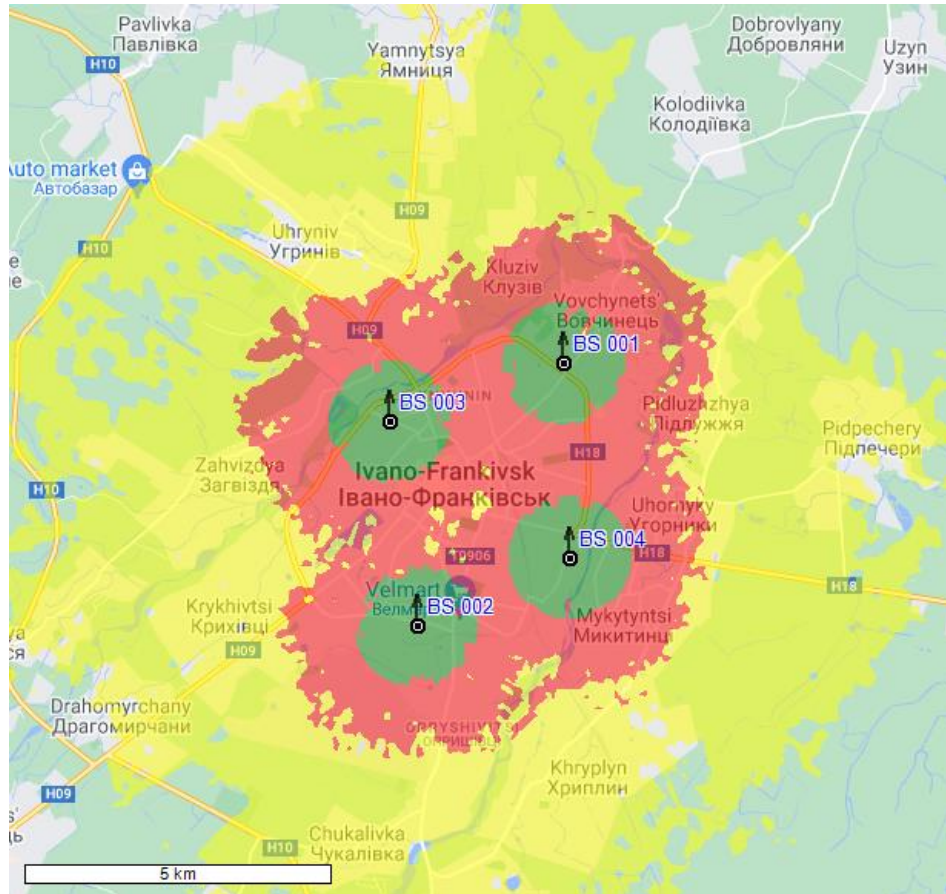


Рисунок 4.2. Покриття Івано-Франківська мережею LoRa з розрахунком балансу потужності

На рисунку зображено розрахунок з врахуванням балансу потужності. Відповідно кожний колір означає розміщення антени пристрою:

- зелений - всередині приміщень(нижні поверхи та підвали);
- червоний – всередині автомобіля;
- жовтий – на вулиці;

Як видно з рисунку для гарантованої передачі даних від пристрою до базової станції, краще розміщувати антени пристроїв на вулиці(фасадах будинків, стовпах). Це дозволяє економити на інфраструктурі мережі, оскільки немає

необхідності встановлювати спеціальні опори для базових станцій, чи збільшувати кількість базових станцій.

Кожна базова станція має свою зону покриття. Зазвичай базові станції розміщують так щоб вони частково перекривали зону сусідньої базової станції.

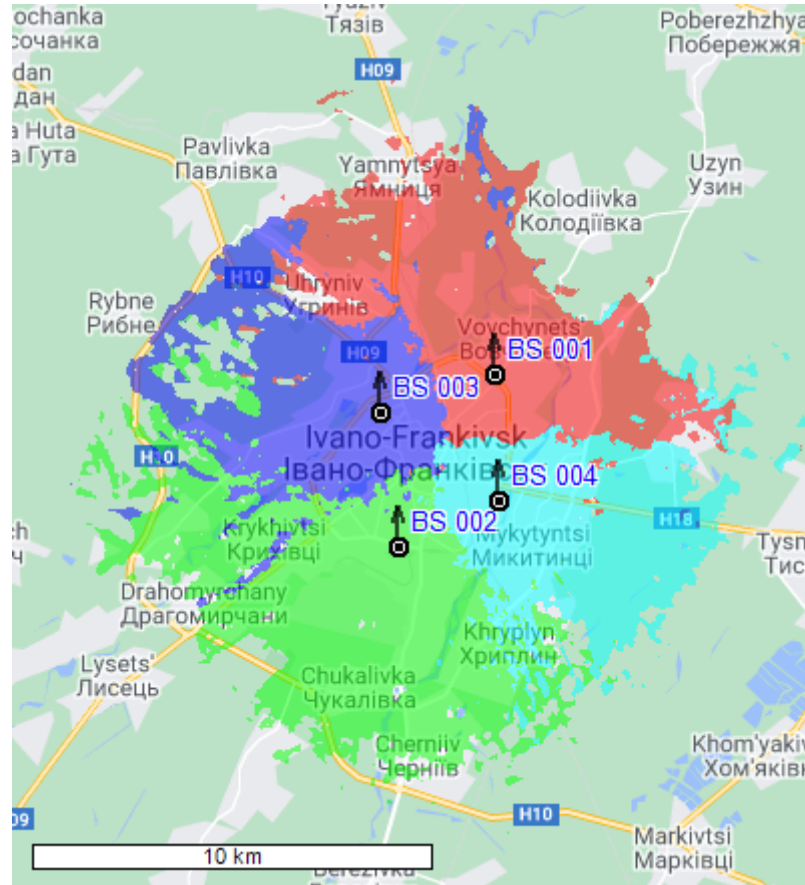


Рисунок 4.3. Зони максимального рівня потужності прийому сигналу базовими станціями

Як видно з рисунку кожна базова станція має певне покриття сусідньою базовою станцією. Перевагами такого підходу є якість покриття мережею, можливість визначати місцезнаходження пристрою, можливість передавати дані через інші базові станції, коли неможливо передати дані до найближчої базової станції. Профіль зони покриття в даному випадку нагадує еліпс. Профіль покриття залежить від антени якою укомплектована базова станція. Антена, яка використовувалась для розрахунку Cisco Air-Ant5175v-n,

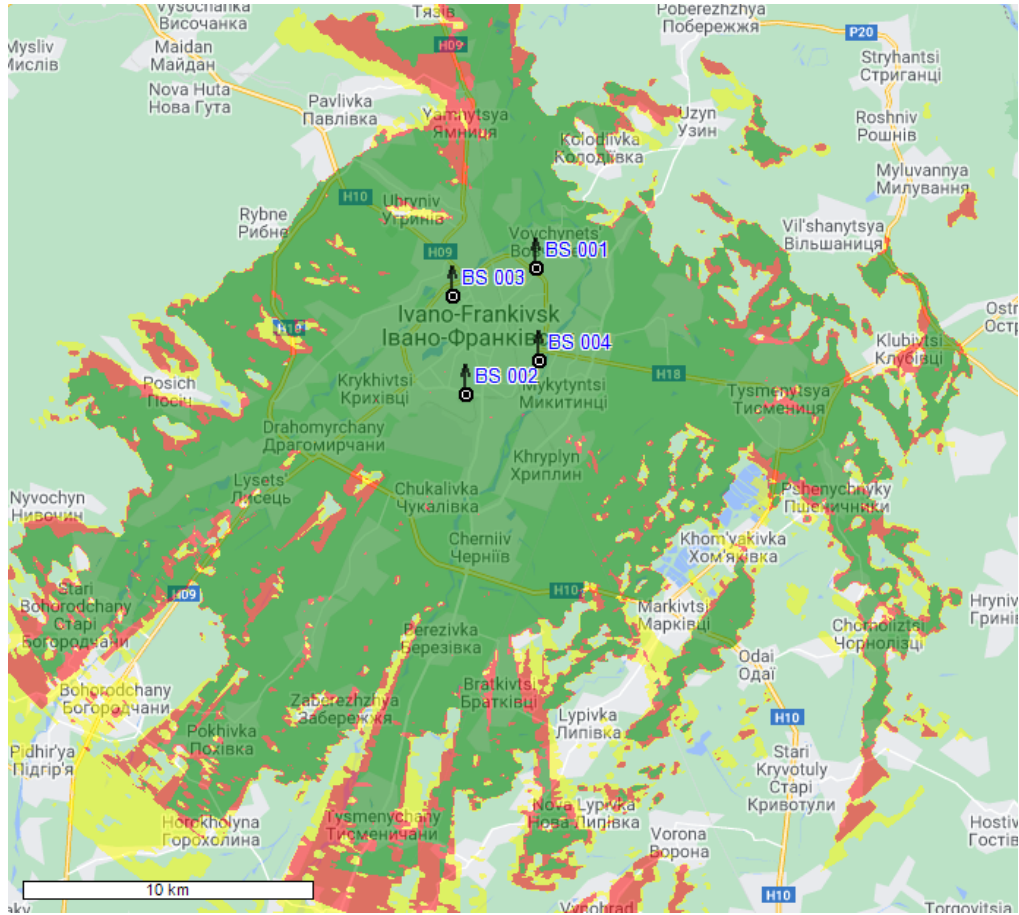


Рисунок 4.4. Покриття мережею де рівень сигналу вище -100дБ

На рисунку зображено зони можливого розміщення кінцевих пристроїв, де рівень сигналу буде вищий ніж -100дБ.

#### 4.1. Розрахунок ємності мережі

Зазвичай більшість пристроїв у мережі це пристрої класу А, які передають дані за певним розкладом. Також такі пристрої можуть повідомити про готовність даних і передати дані після відповідного сигналу. Як було згадано вище такий протокол має назву АLОНА.

Пропускна здатність мережі, яка використовує протокол АLОНА має ряд наступних тверджень:

- дані, які надходять отримувачу, відправляються в будь-який момент часу утворюють пуассонівський потік;
- дані, які будуть передаватись повторно, внаслідок певних помилок при передачі будуть утворювати пуассонівський потік;



- дані які передаються повинні мати однакову довжину і відповідно час передачі даних буде однаковий;
- в мережі є велика кількість пристроїв(при цьому може відбутись ситуація коли один пристрій передає дані, немає ніяких гарантій що інший пристрій не почне передавати свої дані).

В такому випадку можна зробити наступні розрахунки:

- імовірність того, що при передачі певного пакету даних  $T$  надійде ще певна кількість пакетів  $k$  від інших пристроїв мережі можна розрахувати за формулою Пуассона:

$$\text{Pr}(k) = \frac{G^k * e^{-G}}{k!}$$

Де  $G$  – інтенсивність надходження пакетів(розраховується як середнє число повідомлень, які були сформовані пристроями мережі за час  $T$ )

- колізія не виникне, при умові коли при передачі даних одним пристроєм, інші пристрої не будуть передавати дані( $k=0$ ). Тоді імовірність успішного отримання даних обчислюється за формулою  $P = e^{-2G}$ ;
- середнє число успішно отриманих даних за період часу  $T$ , становить  $S = G * P = G * e^{-2G}$ . Значення  $S$  – пропускна здатність мережі.

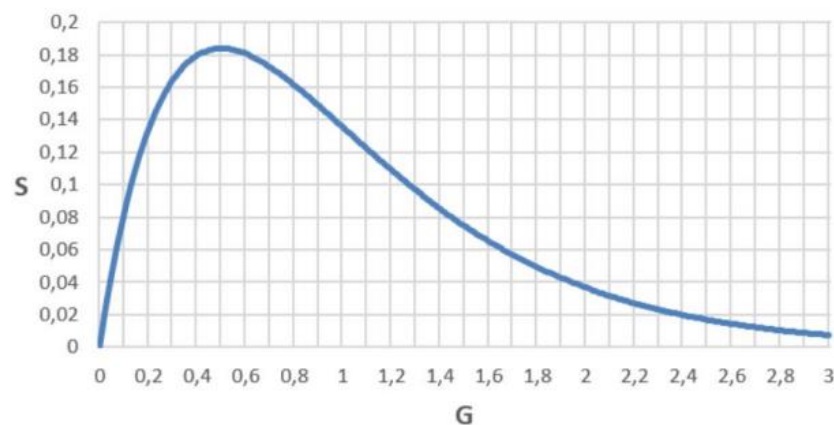


Рисунок 4.5. Графік пропускної здатності

Як видно з графіка пропускна здатність буде максимальною за умови коли інтенсивність надходження даних  $G$  становить ми 0.5, тоді значення  $S=0.184$ (при цьому втрата пакетів даних внаслідок колізії становитиме 63%).

При інтенсивності передачі даних  $G = 0.0256$ , втрати пакетів внаслідок колізії становитиме 5%.

Розглянемо 2 моделі мережі:

Модель №1

Модель №1 матиме наступні характеристики:

- кількість каналів( $N_f$ ): 8
- кількість символів в преамбулі( $n_{preamble}$ ): 6
- розмір корисних даних: 10 байт
- частота передачі даних одним кінцевим пристроєм: 1 передача на годину
- службові заголовки(explicit mode  $H = 0$ , CRC = 1 оптимізація швидкості вимкнена  $DE=0$ );
- швидкість кодування(CR): 4/5
- ймовірність втрати даних внаслідок колізії( $p_{loss}$ ): 5%

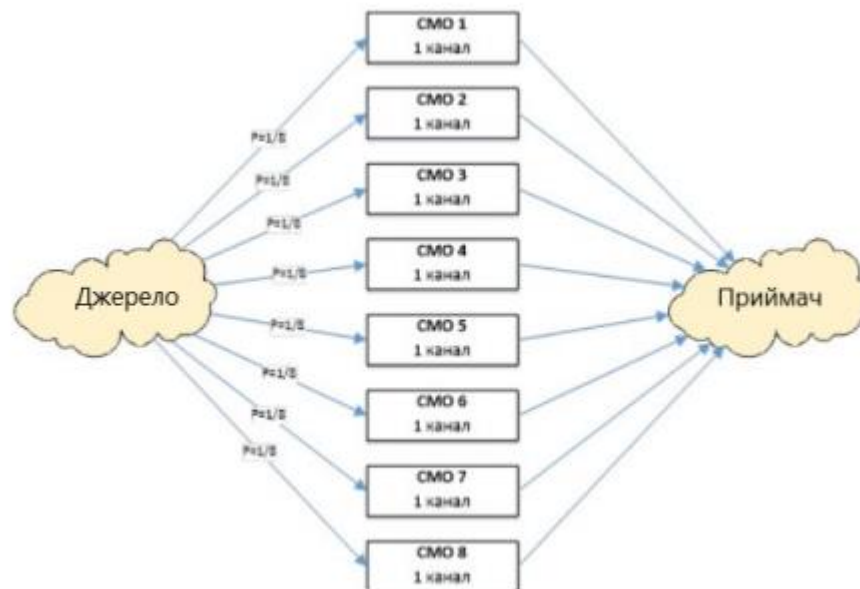


Рисунок 4.6. Трафікова модель базової станції з параметрами моделі №1

Допустима кількість пакетів на одну базову станцію становить:

$$D_I = N_f * \frac{24 * 3600 * G_{5\%}}{T}$$

Де  $G_{5\%} = 0.0256$  – інтенсивність надходження даних при значенні  $p_{loss} = 5\%$

В результаті розрахунків можна відобразити наступну таблицю

					<i>123.УДК:004:681.5</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Результати розрахунків

Коефіцієнт розширення SF	SF	7	8	9	10	11	12
Імовірність колізії	P	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Кількість частотних каналів	$N_f$	8	8	8	8	8	8
Кількість даних від пристрою на добу	$N_{ENpack}$	24	24	24	24	24	24
Тривалість передачі одного пакету	$T_{trans}$	59.65	109.06	197.63	354.3	708.61	1253.38
Навантаження на 1 канал	A	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256
Кількість пакетів які надходять на базову станцію, тис.	$N_{LGpack}$	297.19	162.55	89.7	50.03	25.02	14.14
Кількість пристроїв підключених до однієї базової станції, тис.	$N_{EN}$	12.38	6.77	3.74	2.08	1.04	0.59

При використанні режиму з підтвердженням отримання даних мережевим сервером від кінцевого пристрою, то в до часу передачі додається час підтвердження, тоді таблиця матиме наступний вигляд

Таблиця 4.2. Результати розрахунків

Коефіцієнт розширення SF	SF	7	8	9	10	11	12
Імовірність колізії	P	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Кількість частотних каналів	$N_f$	8	8	8	8	8	8
Кількість даних від пристрою на добу	$N_{ENpack}$	24	24	24	24	24	24
Тривалість передачі одного пакету	$T_{trans}$	59.65	109.06	197.63	354.3	708.61	1253.38
Тривалість підтвердження	$T_{get}$	39.17	68.1	136.19	231.42	462.85	925.7
Навантаження на 1 канал	A	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256
Кількість пакеті які надходять на базову станцію, тис. шт.	$N_{LGpack}$	179.35	100.07	53.1	30.26	15.13	8.14

Кількість пристроїв підключених до однієї базової станції, тис.	$N_{EN}$	7.47	4.17	2.21	1.26	0.63	0.34
---	----------	------	------	------	------	------	------

Як видно з розрахунків кількість пристроїв які можна буде підключити до такої базової станції є досить великою, проте при використанні розширеного спектру SF12 кількість пристроїв є невеликою. При використанні підтвердження даних збільшується час в ефірі в одного пристрою. А відповідно імовірність колізії в такому випадку є вищою. Тому кількість пристроїв і даних від кінцевих пристроїв є меншою.

#### Модель №2

Модель №2 матиме наступні характеристики:

- кількість каналів( $N_f$ ): 8
- кількість символів в преамбулі( $n_{preamble}$ ): 6
- розмір корисних даних: 10 байт
- частота передачі даних одним кінцевим пристроєм: 1 передача на годину
- службові заголовки(explicit mode H = 0, CRC = 1 оптимізація швидкості вимкнена DE=0);
- швидкість кодування(CR): 4/5
- підтвердження отримання даних центральним сервером у першому часовому вікні
- ймовірність втрати даних внаслідок колізії( $p_{loss}$ ): 5%

Трафікова модель такої базової станції буде рівня 48-ми одно канальних базовим станціям, згрупованою у 8 груп по 6 СМО в окремій групі.

					<i>123.УДК:004:681.5</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

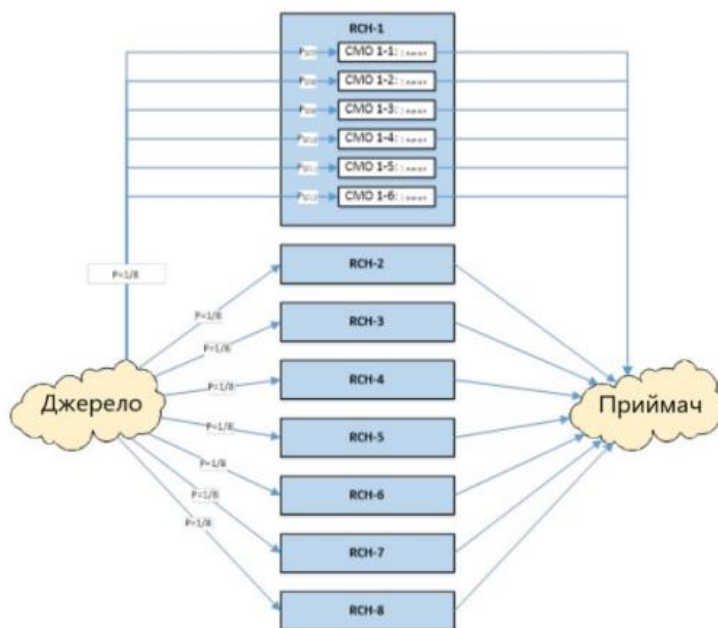


Рисунок 4.7. Трафікова модель базової станції з параметрами моделі №2

В такому випадку імовірність використання певного SF для передачі даних буде визначатися за моделлю розподілу кінцевих пристроїв. Тоді кінцева кількість даних яку зможе отримати базова станція за добу становитиме:

$$D_I = N_f * \sum_{SF} P_{SF} * \frac{24 * 3600 * G_{5\%}}{T_{SF}}$$

Тоді можна зробити розрахунок ємності мережі, використовуючи дві моделі розподілу імовірності використання різних SF кінцевими пристроями:

- рівномірний розподіл
- розподіл по площі зон радіо покриття

$$P_{SF} = \{4.8\%; 3.9\%; 11.8\%; 16.7\%; 25.6\%; 37.2\%\}$$

Вищезгадані дані взяті зі статті «Analysis of the Capacity and Scalability of the LoRa Wide Area Network Technology»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 4.3. Розподіл по площі зон радіопокриття

SF	DR	Rb (біт/с) при CR = 4/5	Бюджет лінії	SNR	Радіус зони, км	Площа зони, км <sup>2</sup>	Частка кінцевих пристроїв (P <sub>SF</sub> )
SF7	DR5	5 468,75	138дБ	-7,5дБ	2,46	19,01	4,8%
SF8	DR4	3 125,00	141дБ	-10дБ	3,31	15,41	3,9%
SF9	DR3	1 757,81	144дБ	- 12,5дБ	4,45	46,80	11,8%
SF10	DR2	976,56	147дБ	-15дБ	6,00	66,29	16,7%
SF11	DR1	537,11	149дБ	- 17,5дБ	7,32	102,04	25,6%
SF12	DR0	292,97	151дБ	-20дБ	8,92	147,92	37,2%

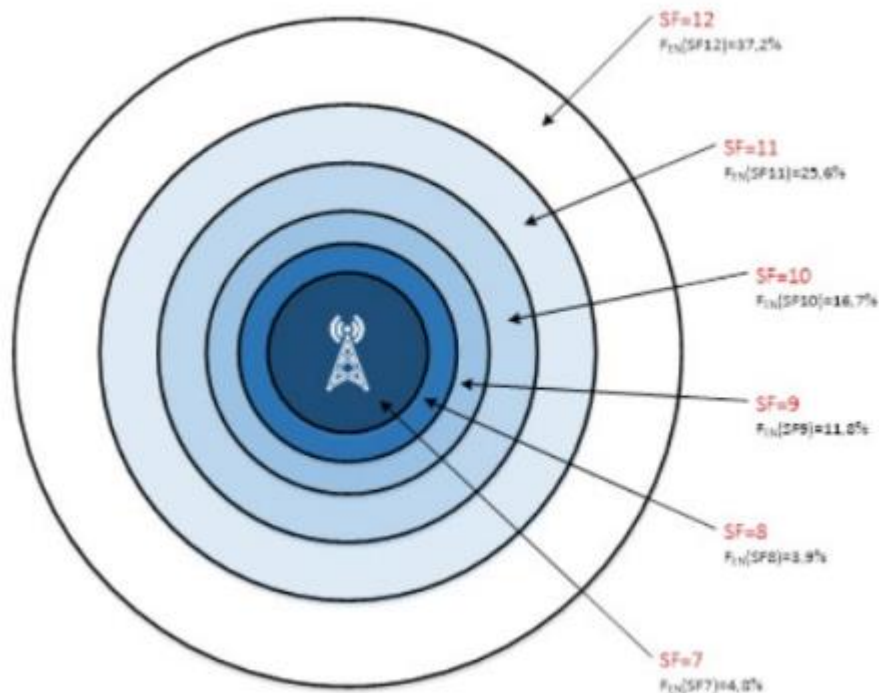


Рисунок 4.8. Розподіл по площі зон радіо покриття

Для рівномірного розподілу характеристики будуть наступними:

- кількість повідомлень на добу при використанні 8-канальної базової станції: 64349;

- кількість пристроїв, які можна підключити до базової станції(при  $N_{ENраск} = 24$ ): 64349;

Для розподілу по площі зон радіопокриття характеристики будуть наступними:

- кількість повідомлень на добу при використанні 8-канальної базової станції: 30672;
- кількість пристроїв, які можна підключити до базової станції(при  $N_{ENраск} = 24$ ): 1278;

					<i>123.УДК:004:681.5</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47



## 5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Метою магістерської роботи є розробка базової станції мережі LoRa. Такий пристрій призначений для передачі даних від кінцевого пристрою до центрального сервера. Він слугує певним мостом для передачі радіосигналу до центрального сервера через оптоволоконні чи Ethernet лінії. Основним завданням базової станції, є:

- обробка отриманих повідомлень від кінцевих пристроїв
- передачі інформації центральному серверу
- складання розкладу для кінцевих пристроїв
- ініціалізація запитів кінцевим пристроям, формування часових вікон
- адаптація SF для кожного кінцевого пристрою

Сфера застосування базової станції є досить різноманітна:

- Інтернет речей
- Міжмашинна взаємодія
- Промисловий Інтернет речей
- Екологічний контроль
- Агросектор
- Розумні міста
- Телеметрика
- Енергетична галузь

Для виконання поставленого завдання було обрано мінікомп'ютер Raspberry Pi 4. Вибір міні-комп'ютера зводиться в більшості до побажань розробника, так як багато міні-комп'ютерів мають близькі технічні характеристики, які відповідають вимогам даної магістерської роботи. Радіомодуль RAK2245 обрано через його гнучкі настройки та універсальність в плані частотних діапазонів. В якості конкурентного аналога для порівняння використано базову станцію Four-Faith F8L10GW.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 5.1. Порівняння характеристик

Параметр	Four-Faith F8L10GW	Розроблена базова станція
Смуга пропускання	125, 250, 500кГц	125, 250, 500кГц
Кількість каналів	8	8
Потужність передавача	25дБ	25дБ
Класи пристроїв	Клас А, Клас В, Клас С	Клас А, Клас В, Клас С
Протоколи передачі	MQTT, UDP, TCP/IP	MQTT, UDP, TCP/IP
Частотний діапазон	EU433, CN470-510, CN779-787, EU863-870, US902-928, AU915-928, AS923	EU433, CN470-510, CN779-787, EU863-870, US902-928, AU915-928, AS923
Тип підключення до мережі	Ethernet	Ethernet
Чутливість приймача	140дБ	140дБ

Для порівняння пристроїв, необхідно враховувати загальну вартість розроблюваного пристрою. Ціна пристрою формується з цін комплектуючих, які використовуються для його створення. У таблиці вказано ціна на комплектуючих.

Таблиця 5.2. Вартість комплектуючих

Комплектуючі	Кількість, шт.	Вартість за одиницю, грн	Сума, грн
Raspberry Pi 4	1	2990	2990
Rak2245	1	3120	3120
Охолоджувальна система ICE TOWER	1	750	750
			6860

Вартість базової станції, враховуючи ціни на комплектуючі, буде становити 6860 грн. У порівнянні з базовою станцією Four-Faith F8L10GW, розроблена станція при однакових характеристиках є дешевшою в 3 рази.

					<i>123.УДК:004:681.5</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

## ВИСНОВОК

В результаті виконання магістерської роботи розроблено базову станцію, яка відповідає вимогам LPWAN мереж. Така базова станція обробляє дані від кінцевих пристроїв, створює розклад для кінцевих пристроїв, передає дані на центральний сервер. Пристрій побудовано на міні-комп'ютері Raspberry Pi 4, ресурсів якого стає для роботи у сильно завантажених мережах. В якості концентратора використано модуль розширення RAK2245 Hat, завдяки використанні IC SX1301 вдається обробляти велику кількість повідомлень від кінцевого пристрою. Розроблено алгоритм програми який допомагає визначити якість покриття мережею, використовуючи дані які надходять від кінцевого пристрою. Було виконано моделювання покриття мережею LoRa міста Івано-Франківська та виконано розрахунок ємності мережі. В результаті для покриття такого міста як Івано-Франківськ необхідно використати 4 базові станції. Проведено порівняння з базовою станцією Four-Faith F8L10GW. В результаті при однакових технічних характеристиках, розроблений пристрій виявився набагато дешевший.

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соар для тех у кого мало ресурсов[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://r-iot.org/2018/05/14/соар-для-тех-у-кого-мало-ресурсов>
2. NB-IoT: как он работает? Часть 1[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://habr.com/ru/company/ru\\_mts/blog/430496/](https://habr.com/ru/company/ru_mts/blog/430496/)
3. What is NB-IoT? Practical tips to unlock its business potential[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/10/what-is-NB-IoT>
4. Weightless-P: новое в интернете вещей[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://upel.ru/news/185-weightless-p-novoe-v-internete-veschey>
5. Технология LoRa[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://habr.com/ru/company/realtrac/blog/304312/>
6. Связь в интернете вещей: LoRa против UNB. Часть 1: физика[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://habr.com/ru/company/unwds/blog/396869/>
7. Сравнительные характеристики широкополосных и узкополосных сетей LPWAN нелицензируемого диапазона для приложений M2M и IoT[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://wireless-e.ru/standarty/seti-lpwwan-dlya-prilozhenij-m2m-i-iot/>
8. Емкость сети LoRa[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://itechinfo.ru/content/емкость-сети-lora>
9. Node-RED: что к чему и главное зачем. Разбираемся[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.kvv213.com/2020/07/node-red-что-к-чему-i-glavnoe-zachem-razbiraemsysya/>
10. Raspberry Pi 4 Model B[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://raspberrypi.in.ua/product/raspberry-pi-4-model-b/>
11. Микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B 8GB[Электронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://evo.net.ua/mikrokomputer-raspberry-pi-4-model-b-8gb/>
12. Постанова №815 КМУ від 09.06.2006

					123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

13. Analysis of Capacity and Scalability of the LoRa Low Power Wide Area Network Technology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7499263>

					<i>123.УДК:004:681.5</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

```
[{"id":"9d3ad6de.554dd8","type":"ttn uplink","z":"f7543093.87732","name":"node-abp-1","app":"762b9e0c.b3823","dev_id":"lora-gps-node-abp-1","field":"","x":136,"y":187,"wires":[["75a83b46.aa4f74"]]}, {"id":"5f745b65.a70674","type":"debug","z":"f7543093.87732","name":"","active":true,"console":"false","complete":"false","x":727,"y":167,"wires":[]}, {"id":"a0cbbcc5.69d4d","type":"ttn event","z":"f7543093.87732","name":"node-abp-1 events","app":"762b9e0c.b3823","dev_id":"lora-gps-node-abp-1","event":"#","x":156,"y":307,"wires":[["766c1714.30b268"]]}, {"id":"766c1714.30b268","type":"debug","z":"f7543093.87732","name":"","active":false,"console":"false","complete":"false","x":331,"y":307,"wires":[]}, {"id":"75a83b46.aa4f74","type":"function","z":"f7543093.87732","name":"add timestamp","func":"msg.payload.time = (new Date()).toLocaleString();\nreturn msg;","outputs":1,"noerr":0,"x":309,"y":187,"wires":[["770fb4ea.2022cc","17430081.b67fcf","7cd5033c.67c6dc"]]}, {"id":"770fb4ea.2022cc","type":"mqtt out","z":"f7543093.87732","name":"lora/node-1","topic":"lora/node-1","qos":"","retain":"true","broker":"be97e5d.23c7618","x":539,"y":260,"wires":[]}, {"id":"43bee282.ef19dc","type":"mqtt in","z":"f7543093.87732","name":"nootropic-design-lab-network uplink","topic":"nootropic-design-lab-network/devices/+/up","qos":"0","broker":"4a035a73.8c5364","x":207,"y":382,"wires":[["c019eec6.bb469"]]}, {"id":"e09aeda8.76a82","type":"debug","z":"f7543093.87732","name":"","active":true,"console":"false","complete":"false","x":675,"y":382,"wires":[]}, {"id":"c019eec6.bb469","type":"json","z":"f7543093.87732","name":"","pretty":false,"x":461,"y":382,"wires":[["e09aeda8.76a82","be940e5e.698d4","c641aff4.c4c0f"]]}, {"id":"5199b8e2.e3be38","type":"ui_chart","z":"f7543093.87732","name":"RSSI","group":"757f9ae2.5d7894","order":0,"width":"0","height":"0","label":"RSSI","chartType":"line","legend":"false","xformat":"HH:mm","interpolate":"linear","nodata":"waiting","dot":true,"ymin":"-120","ymax":"-30","removeOlder":"4","removeOlderPoints":"","removeOlderUnit":"3600","cutout":0,"useOneColor":false,"colors":["#ff8d00","#aec7e8","#ff7c0a","#2ca02c","#98df8a","#d62728","#ff9896","#9467bd","#c5b0d5"],"useOldStyle":false,"x":834,"y":438,"wires":[[],[]]}, {"id":"be940e5e.698d4","type":"function","z":"f7543093.87732","name":"extract RSSI","func":"msg.payload = msg.payload.metadata.gateways[0].rssi;\nreturn msg;","outputs":1,"noerr":0,"x":684,"y":437,"wires":[["5199b8e2.e3be38"]]}, {"id":"82903edb.b96f5","type":"ui_chart","z":"f7543093.87732","name":"SNR","group":"757f9ae2.5d7894","order":0,"width":"0","height":"0","label":"SNR","chartType":"line","legend":"false","xformat":"HH:mm","interpolate":"linear","nodata":"waiting","dot":true,"ymin":"-20","ymax":"10","removeOlder":"4","removeOlderPoints":"","removeOlderUnit":"3600","cutout":0,"useOneColor":false,"colors":["#1f77b4","#aec7e8","#ff7f0e","#2ca02c","#98df8a","#d62728","#ff9896","#9467bd","#c5b0d5"],"useOldStyle":false,"x":835.5,"y":487,"wires":[[],[]]}, {"id":"c641aff4.c4c0f","type":"function","z":"f7543093.87732","name":"extract SNR","func":"msg.payload =
```

						123.УДК:004:681.5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			54

```

msg.payload.metadata.gateways[0].snr;\nreturn
msg;,"outputs":1,"noerr":0,"x":688.5,"y":487,"wires":[[["82903edb.b96f5"]]],{"id":"9
16465ab.da4948","type":"worldmap","z":"f7543093.87732","name":"location","lat":"4
5.0465","lon":"-
93.4744","zoom":"17","layer":"OSM","cluster":"","maxage":"","usermenu":"show","la
yers":"show","panit":"true","x":853,"y":213,"wires":[],{"id":"17430081.b67fcf","type
":"function","z":"f7543093.87732","name":"extract location","func":"var gps =
msg.payload.gps_1;\nif (gps) {\n var m = {};\n m.name = 'node-1';\n m.lat =
gps.latitude;\n m.lon = gps.longitude;\n msg.payload = m;\n return
msg;\n}","outputs":1,"noerr":0,"x":551,"y":213,"wires":[[["f6643ee0.8fcd7"]]],{"id":"f
6643ee0.8fcd7","type":"worldmap-
tracks","z":"f7543093.87732","depth":"50","name":"node-
1","x":712,"y":213,"wires":[[["916465ab.da4948"]]],{"id":"7cd5033c.67c6dc","type":"f
unction","z":"f7543093.87732","name":"format debug","func":"if (msg.payload.gps_1)
{\n msg.payload.gps_1.time = msg.payload.time;\n msg.payload =
msg.payload.gps_1;\n} else {\n msg.payload = msg.payload.time;\n}\nreturn
msg;","outputs":1,"noerr":0,"x":547,"y":167,"wires":[[["5f745b65.a70674"]]],{"id":"76
2b9e0c.b3823","type":"ttn app","z":"","appId":"nootropic-design-lab-
network","accessKey":"","discovery":"discovery.thethingsnetwork.org:1900"},{"id":"b
e97e5d.23c7618","type":"mqtt-
broker","z":"","broker":"nootropicdesign.com","port":"8883","tls":"67cad65a.96bda8",
"clientId":"","usetls":true,"compatmode":true,"keepalive":"60","cleansession":true,"wil
lTopic":"","willQos":"0","willPayload":"","birthTopic":"","birthQos":"0","birthPayloa
d":"",""},{"id":"4a035a73.8c5364","type":"mqtt-broker","z":"","broker":"us-
west.thethings.network","port":"1883","clientId":"","usetls":false,"compatmode":true,"
keepalive":"60","cleansession":true,"willTopic":"","willQos":"0","willPayload":"","birt
hTopic":"","birthQos":"0","birthPayload":"",""},{"id":"757f9ae2.5d7894","type":"ui_gro
up","z":"","name":"Signal
Strength","tab":"11db8351.c9b2ad","disp":true,"width":"10"},{"id":"67cad65a.96bda8
","type":"tls-
config","z":"","name":"","cert":"","key":"","ca":"","certname":"","keyname":"","canam
e":"","verifyservercert":false},{"id":"11db8351.c9b2ad","type":"ui_tab","z":"","name":
"LoRa","icon":"dashboard","order":1}}]

```

						123.УДК:004:681.5	Арк.
							55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			