

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“РОЗРОБКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СЕНСОРНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ
LORAWAN”**

Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-63
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Стельмах Т.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Гринкевич Г.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

телекомунікаційних систем та мереж

В.Ф. Заїка

“ ”

_____ 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Стельмаху Тарасу Михайловичу

1. Тема роботи: “Розробка телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN”,

керівник роботи Гринкевич Ганна Олександрівна, к.т.н., доцент,

затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11.2019 №518.

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технологія LoraWAN.
2. Середовище Smart City.
3. Сенсорна інфраструктура міста.
4. Науково-технічна література.

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

1. Дослідження стану питання реалізації телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста;
2. Розробка телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN;
3. Впровадження розроблених рішень в програми Smart City.

5. Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):

1. Мета роботи;
2. Цільові області для забезпечення сталого цифрового розвитку «Розумного міста» у Києві.
3. Частка ринку за технологією на світовому ринку освітлення
4. Порівняння між найбільш релевантними характеристиками протоколів.
5. Вимоги на архітектурному рівні Smart City
6. Технологія IEEE 802.15.4
7. Розподіл світильників у центральній частині Києва
8. Технологія LoRaWAN
9. Технологія NB –IoT. Технологічне порівняння між LTE-M та NB-IoT
10. Концептуальна архітектура розумного міста
11. Висновки
12. Апробація результатів магістерської роботи

6. Дата видачі завдання 11.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	27.09.19	Викон.
2.	Дослідження стану питання реалізації телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста	15.10.19	Викон.
3.	Розробка телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoRaWAN	31.10.19	Викон.
4.	Впровадження розроблених рішень в програми Smart City	15.11.19	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	10.12.19	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.19	Викон.

Студент

Стельмах Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Гринкевич Г.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи: 78 сторінок, 51 рисунок, 10 таблиць, 19 джерел.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є телекомунікаційна інфраструктура «розумного міста».

Предмет дослідження - методи та практика розгортання телекомунікаційної інфраструктури розумного освітлення та інших підсистем «розумного» міста.

Метою магістерської роботи є дослідження принципів і методів розгортання телекомунікаційної інфраструктури міста та різноманітних додатків.

Методи дослідження - теорія імовірності і математичної статистики, методи теорії масового обслуговування, системний метод, методи цифрової обробки інформації, метод моделювання, а також розрахунки на ЕОМ.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження технології LoRaWAN як основної комунікаційної технології для реалізації розумних міських прикладних програм.

У роботі представлено потреби розумних міських додатків такі як мікроконтролерів, бездротового зв'язку, датчиків та інших технологій. Проаналізовано важливість IoT для реалізації додатків Smart City.

У другому розділі проведено розробку телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN: складові системи інтелектуальної мережі міста; динамічне управління вузлами; впровадження сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN; ефективність сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN на прикладі житлового масиву Русанівка (м. Київ).

В третьому розділі запропоновано три програми, що працюють у системі SmartCity. Додатки - це Системи інтелектуального паркування та Системи контролю за переливом каналізації. Вони є представниками загальних програм для розумних міст.

LORAWAN, SMART CITY, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА ІНФРАСТРУКТУРА, ІНФРАСТРУКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА, ІОТ, СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПАРКУВАННЯ, СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА ПЕРЕЛИВОМ КАНАЛІЗАЦІЇ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СЕНСОРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА	12
1.1. Методи дослідження телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста	12
1.2. Програми, що реалізують телекомунікаційну сенсорну інфраструктуру міста	15
2. РОЗРОБКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СЕНСОРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN	20
2.1. Складові системи інтелектуальної мережі міста	20
2.2. Динамічне управління вузлами	23
2.3. Впровадження сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN	45
2.4. Ефективність сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN	50
3. ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ В ПРОГРАМИ SMART CITY .	61
3.1. Застосування додатку “Розумна парковка”	61
3.2. Застосування системи сигналізації про перевантаження дренажу	62
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT	Інтернет Речей
LoRa	технологія безпроводового зв'язку
SNR	Відношення сигнал/шум (ВСШ; англ. signal-to-noise ratio, сокр. SNR)
LoRaWAN	протокол технології LoRa
МТРО	максимальна потужність передавача
CPU	центральний процесор
ОЗП	оперативний запам'ятовуючий пристрій
GPS	англ. Global Positioning System — система глобального позиціонування
ADC	аббревіатура: Advanced Direct Connect — протокол для пирингових мереж
SPI	Serial Peripheral Interface — послідовний периферійний інтерфейс
I2C	шина, яка є однією з модифікацій послідовних протоколів обміну даних
UART	англ. universal asynchronous receiver/transmitter — універсальний асинхронний приймач/передавач — тип асинхронного приймача-передавача
MySQL	платформа реалізації бази даних
SF	коефіцієнт розширення спектру
ADR	адаптивний контроль швидкості передачі даних
MAC	окремий рівень базового стека протоколів LoRa
SendCntFlag	позначення кількості разів той же пакет повинен бути відправлений повторно

ВСТУП

Програми розумного міста у сучасному світі стають все більш важливими, оскільки швидке зростання кількості населення в останні роки, збільшення числа мегаполісів і взагалі міст значно ускладнює організацію процесів керування, особливо в плані здійснення моніторингу процесів та своєчасне прийняття управлінських заходів. Значна кількість процесів управління вже не може охоплюватися безперервним моніторингом вручну. З розвитком електронних технологій багато завдань щодо моніторингу та контролю стало можливим виконувати за допомогою засобів автоматизації [1].

В цьому плані сприйняття, бачення та практична реалізація таких суперактуальних ідей як IoT (інтернет речей) у «розумному місті» стає на порядок денний. У містевому просторі з'являється все більша кількість датчиків, мікроконтролерів, комп'ютерних серверів, виконавчих пристроїв тощо, всім їм потрібна ефективна співпраця, а це можливо забезпечити тільки за допомогою ефективного мережевої зв'язку. Тому у практично у кожному сучасному місці потрібна широкомасштабна система, що в стані забезпечувати надійну тривалу експлуатацію - мережева структура, до того ж стабільна і відносно недорога [6].

Однак сьогодні на цьому напрямі існує ще багато не вирішених проблем; ми зупинимося на наступних п'яти аспектах.

- Як збалансувати термін експлуатації та продуктивність обладнання, що працює на батареях.

- Як розподілити обладнання на великій площі, а також у відмінних економічних та високих експлуатаційних вимогах та умовах.

- Як забезпечити (змусити) здатність обладнання працювати у суворих умовах із тривалим терміном експлуатації та стабільністю, оскільки заміна та технічне обслуговування коштують багато.

- Як забезпечити стабільну швидкість передачі даних та прийнятну затримку часу в розгалуженій компютеризованій мережі.

- Як забезпечити (захистити) безпеку даних та зробити мережу

масштабованою, при цьому залучаючи все більше розробників та користувачів для приєднання.

Навіть якщо ці проблеми зараз не вирішені ідеально, нова технологія зробила прорив у деяких із них. Так, вже з'явилися мікропроцесори наднизької потужності, датчики низької потужності та високої продуктивності, нові пропонувані протоколи для пристроїв IoT та ін.

Зараз вже пропонується рішення щодо забезпечення високої надійності, при низькій вартості та універсальності щодо створення інтелектуальних міських додатків, які базуються на технології мережевих технологій IoT з низькою потужністю LoRa, які також забезпечують підходящий спосіб розподілу шлюзів, щоб збалансувати зону покриття та навантаження мережі. На цій ж базі вирішене питання розширення функціями динамічної зміни швидкості передачі та потужності (її зниження) передачі для продовження терміну служби вузла [2].

Дослідження, засновані на реальному середовищі міста, мережа розгорнута в місті Київ (житловий масив Русанівка). Ми використовували вісім шлюзів LoRa для покриття площі 30 км² в місті. У процесі дослідження вимірювалась якість сигналу в умовах різної щільності забудови від центру міста до передмістя, а також отримували єдину зону покриття шлюзу для вивчення розподілу шлюзів у місті. Вимірюлося енергоспоживання кінцевого пристрою мережі, щоб знайти спосіб продовження терміну його експлуатації.

Метою магістерської роботи є дослідження принципів і методів розгортання телекомунікаційної інфраструктури міста та різноманітних додатків.

Об'єкт дослідження. об'єктом дослідження є телекомунікаційна інфраструктура «розумного міста».

Предмет дослідження - методи та практика розгортання телекомунікаційної інфраструктури розумного освітлення та інших підсистем «розумного» міста.

Методи дослідження - теорія імовірності і математичної статистики, методи теорії масового обслуговування, системний метод, методи цифрової обробки інформації, метод моделювання, а також розрахунки на EOM.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати магістерської атестаційної роботи доповідалися на конференціях Державного університету телекомунікацій та опубліковано в науковому журналі “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку».

1. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СЕНСОРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА

1.1. Методи дослідження телекомунікаційної сенсорної інфраструктури міста

Дослідження стосується потреб різних розумних міст. Спочатку вводяться методи дослідження та деякі правила класифікації. Ідеї виходять з практичного досвіду розробників, як правило. Результати класифікації дослідження показані в розділі 1.2, він поєднується з короткими поясненнями. Нарешті, аналіз та висновки є частиною дискусії, включаючи авторські погляди та думки.

Це дослідження базується на статтях, в яких описано або проаналізовано, як реалізувати програми розумного міста. Вони включають методи, основну інформацію або експериментальний результат проектів чи досліджень, додатки яких цікавлять людину в сучасному світі, а також виконуються дослідження, необхідні для них. Результати використовуються для класифікації цих додатків та узагальнення характеристик кожного їх класу. Легко намалювати схожість та відмінності між різними додатками. Для підвищення точності концентрованих висловів більшість матеріалів, на які посилається автор, були верифікаційними.

Типи додатків обговорюються та узагальнюються з п'яти різних точок. Типи класифікації включають структуру мереж, відстань зв'язку, щільність пристроїв, різний режим передачі пакету, часовий інтервал між двома переданими пакетами та енергоспоживання бездротових пристроїв. Призначення їх показано нижче.

- Структура мережі

Це важлива річ для визначення складності маршрутизації даних. У звичайних додатках структуру мережі можна розділити на три типи: Star Network, Mesh Network та Star-Mesh Hybrid Network [3, 4].

Star Network, є найпростішою, але недоліком є велике навантаження на центральний вузол, при цьому зрозуміло, що буде переповнюватися занадто багато вузлів при побудові надмасштабної мережі.

Mesh Network має декілька маршрутів, при цьому напруга маршрутизації даних рівномірно розподіляється по кожному вузлу. Але стає складнішим вибрати шлях маршрутизації, ніж організувати просту Зоряну мережу [11]. Слід при цьому враховувати, що зміна що відбулася в одному її вузлі, вплине на правила маршрутизації даних у всій мережі.

Гібридна мережа Star-Mesh - це спрощена мережа Mesh, у якої також зменшується навантаження центрального вузла в Star Network [12]. Іншими словами, це масштабована мережева архітектура, у якій інтегровані переваги Star Network і Mesh Network.

Тому, враховуючі особливості різних пристроїв, платформ та систем валивим моментом є вибір відповідної мережевої структури для підвищення продуктивності бездротових сенсорних мереж.

- Відстань зв'язку

Відстань зв'язку визначає якість передачі. Підходяща відстань має бути обраною виходячі з двох аспектів, перший - споживання електроенергії, деякі конструкції вибирають короткі відстані з метою зменшення споживання енергії для зв'язку [20], по друге - для зв'язку відстань безпосередньо впливає на швидкість відмови пакетів передачі та витрати часу [13].

Ще один фактор - розмір субдоменів, це важливий параметр стільникової бездротової мережі. Він має значну розбіжність у різних технологіях зв'язку, сигнал несучої та метод модуляції є визначальним фактором у фізичному рівні протоколу. Важливим показником є вибір відповідного протоколу для практичних застосувань.

- Щільність розподілу

Існує різниця в кількості пристроїв і покритті, необхідного для різних застосувань, тому при виборі додаткової програми необхідно враховувати коефіцієнт щільності.

Протоколи також обмежують максимальну кількість бездротових пристроїв ще з деяких аспектів. Такими є: адреса пристрою зв'язку, кількість підканал, режим передачі та відповіді, обмеженими максимальними вузлами в одному

шлюзі в підмережі. Поділ субдоменів з одночасним зменшенням потужності передачі - ще один метод вирішення цієї проблеми [1]. Отже, слід обов'язково враховувати ці обмеження, коли обирали протокол зв'язку або структуру мережі.

- Режими передачі

Режими запуску передачі пакетів це не одне теж саме в різних додатках. Існуючі режими можна розділити на три види: керовані часом, керовані подіями та керовані запитами [3].

Для передачі, керованої часом, інтервали між m є стандартними і не потребують частоті реакції для продовження зв'язку. Однак цей підхід нормально не є гнучким.

Передачі, керовані подіями спричинена інцидентами або сприятливими умовами. Інтервал відправки пакетів не є впевненим у кожному пристрої, для забезпечення належного функціонування пристрою використовується набір пакетів.

При режимі запуску на основі запитів потрібні бездротові пристрої відповідальні за запит, в короткі затримки, вони прослуховуватимуть пакети з високою частотою [4, 5]. Але при цьому буде споживатися велика потужність бездротового пристрою.

Тому зрозуміло, що вибор режиму передачі повинен відповідно до різних вимог програмно-апаратного комплексу. Гнучкість існуючих протоколів зазвичай забезпечує три режими, але упередженість також реалізується. Зараз відомо, що режим, керований часом найчастіше зустрічається, інші режими мають переваги для часткових програм. Слід враховувати, що режим передачі також вважається фактором комунікації.

- Споживання енергії та постачання

Контролювати споживання енергії (швидкість передачі даних) бездротового пристрою є гнучкою функцією у вигляді великої кількості IoT протоколів. Баланс між продуктивністю та енергоспоживанням повинен бути реалізованим під час впровадження програм.

Ці аспекти класифікації простіше допомогти нам отримати спільні риси

щодо різних видів програм. У частині III ці характеристики можуть бути використані для пошуку відповідної технології зв'язку для їх реалізації.

1.2. Програми, що реалізують телекомунікаційну сенсорну інфраструктуру міста

У табл. 1.1 показані типи програмноапаратних комплексів розумного міста, які класифіковані у статті. Ці типи додатків мають загальні характеристики, тому ці функції можна використовувати для визначення продуктивності загальних платформ.

Таблиця 1.1.

Список програмноапаратних комплексів (ПАК), що реалізують Smart City

Застосування
моніторинг забруднюючих речовин
визначення клімату
попередження про катастрофи
рішення для інвалідів
засоби виявлення об'єктів
реклама та ЗМІ
розподіл сервісних ресурсів
громадська безпека міста

Моніторинг забруднення

Цей вид програмноапаратних комплексів (ПАК) часто використовується для виявлення виникнення: вихлопних забруднень, смітєвого забруднення, забруднення води, забруднення харчових продуктів та взагалі всіх тих об'єктів, які зазнали серйозного забруднення. Характеристикою цих напрямів застосувань є низька щільність вимірювальних приладів, оскільки діапазон забруднених ділянок зазвичай ширший, а тому щільне поширення не потрібно. Менша кількість вузлів

не спричинить занадто великий тиск на мережу, тому мережа типу зірки саме підходить для цього. З цієї ж причини відстань зв'язку може бути довгою і широко розповсюдженою.

Для різних вимог застосувань не можна бути впевненим у методах тригера передачі пакетів. У випадку моніторингу часу, який, як і дослідження концентрації забруднень в різний час у певній місцевості, підходить керований часом підхід. Якщо це сигналізація про концентрацію шкідливих частинок, то тоді підходить режим, керований подіями. Якщо це програма, яка є розроблений для того, щоб користувачі отримували запити, найефективнішим є режим на основі запитів.

Датчики, що використовуються при моніторингу забруднення повітря, вимагають високого енергоспоживання [6, 9], тому зазвичай живляться дротом. При вимірюванні забруднення води прилад розміщують у воді, він складніше живиться від проводу, тому частіше використовують акумуляторний або енергетичний пристрій.

Для отримання характеристик моніторингу забруднення, яке має широке розповсюдження, можна використовувати велику відстань зв'язку та тригер передачі різноманітності. Зоряна мережа для цього більше підходить, спосіб живлення ж них можна вибрати гнучко.

Визначення клімату

Визначення клімату зазвичай передбачає вимірювання температури, вологості та вітру, а також інших параметрів. Повна структура для визначення клімату дуже схожа на виявлення забруднень. Якщо потрібен звичайний прогноз погоди або запит на регулярне вимірювання, потрібно вибирати час, інтервал запиту керованого часом повинен відповідати рівню точності, необхідному для детектора. Якщо здійснюється моніторинг клімату у заповідниках або лісах дикої природи, слід приймати підхід, орієнтований на події, і інформаційний пакет повинен часто надсилатися до центру обробки даних, щоб адміністратор міг знати ситуацію в системі.

Тому, з вищенаведеного аналізу, виявлення клімату також потребує

широкого розповсюдження та великої відстані зв'язку. Моди передачі вибираються відповідно до конкретних програм.

Попередження про стихійні лиха

Системи попередження про стихійні лиха зазвичай використовуються для виявлення пожежі, землетрусу та інших надзвичайних ситуацій, стабільність - найкращий важливий характер для цього типу додатків. Це вимагає частого моніторингу подій та своєчасного реагування на випадки катастроф. Інформація повинна бути точно доставлена до місця призначення, коли виникає небезпека. Отже, для моніторингової системи потрібна стабільна мережева структура та надійне джерело живлення.

Щоб зменшити джерело живлення та час передачі, відстань між пристроями та шлюзами, які живляться за допомогою проводу, має бути близьким, це може покращити якість зв'язку, збільшити термін служби, а також зменшити ймовірність зіткнення пакетів для підвищення надійності системи. Щільність, як правило, низька, тому що, коли трапиться катастрофа, її можна виявити в широкій області, тому не потрібно розміщувати велику кількість сенсорних вузлів у вузькій області [4].

Ці види додатків повинні використовувати найнадійніші методи живлення або максимально зменшити споживання електроенергії.

Зручності виявлення об'єктів

Для виявлення інфраструктурного обладнання пристрої детектування зазвичай вбудовуються в стіни або в трубу [15]. Найбільша проблема - це неможливо їх замінити після встановлення, тому перед цим потрібно суворе визначення проекту конструкції. Якщо вона живиться від акумулятора, споживання енергії пристроїв повинно бути мінімізоване. Бажана проста структура мережі, а для мінімізації споживання енергії бездротовим пристроями, відстань зв'язку між ними не повинна бути занадто довгою. Режим передачі пакетів зазвичай є таким, що керується часом або запитом. Інтервал передачі визначається залежно від часу старіння, і він, як правило, порівняно довший, ніж у інших програм.

Реклама та ЗМІ

Інтелектуальна зовнішня реклама - це персоналізовані налаштування, що змінюється в різний час. Вони, як правило, працюють за допомогою дроту, але мультимедіа завжди потрібна величезна передача даних, низькошвидкісний Інтернет речей не має такої переваги, що збільшує час передачі або компенсує цей недолік іншими методами.

Дані відокремлюються в невеликий блок і покладаються у певні рамки. Оскільки розмір кадру фіксується в деяких протоколах, це збільшить затримку передачі та посилить навантаження мережі. Інтернет речей може бути допоміжним засобом для керування пристроєм, велика ж передача даних може здійснюватися в односмуговій високошвидкісній мережі.

Розподіл сервісних ресурсів

Функції розподілу ресурсів різноманітні, вимоги до комунікацій мають меншу різницю між собою. Така система, як розподіл місць для паркування, потребує розгортання великої кількості пристроїв для спостереження за громадською парковкою [8], але для визначення характеру використання громадських велосипедів чи громадських туалетів ситуація буде іншою. У таких видах додатків вони завжди потребують сітчастої мережевої структури для зменшення тиску шлюзового каналу, а також для мінімізації ймовірності виникнення зіткнення пакетів. Відстань зв'язку між вузлами слід вибирати якомога коротше, з одного боку - для економії споживання електроенергії, з іншого - зменшення тривалості виправлення помилок за рахунок зменшення коефіцієнта SNR (сигнал до коефіцієнта шуму). Все це зменшує інтервал між пакетами передача.

Програми для призначення ресурсів сервісів повинні використовувати підхід, що є режимом керування подіями [8], коли він виявить зміни, пакет буде надісланий. Завдяки більшій випадковості програм, існує багато різних способів живлення, знімні ресурси, як правило, живляться від акумулятора, а дротовий - це фіксований.

Спочатку програми повинні врахувати структуру мережі, гібридна між

зірковою та сітчастою мережею є надзвичайно гнучкою. Оскільки розташування пристрою з часом може змінитися, нове розподілення щільності зробить погіршення якості зв'язку в мережі.

Рішення для інвалідів

Те саме відбувається із застосуванням попереджень про катастрофи, але пристрої рухатимуться за особами, це постійно викликає зміни комунікаційних відстаней та щільності розподілу. Майже підходяща структура мережі має кластерно-зіркову форму, тому будують багато зіркових мереж малого діапазону, схожих на стільникову мережу. Вони, як правило, керуються подією для запуску передачі пакетів, інформація буде відправлена хосту, коли відбувається виняток. Батарею можна змінити в будь-який час користувачем, її зручно жити від акумулятора.

Громадська безпека

Система безпеки, як правило, відповідає за моніторинг злочинів, дорожньо-транспортних пригод та надзвичайних ситуацій у суспільстві. До загальноприйнятих методів належать зйомка зображення, відбиток пальця або ідентифікація обличчя. Для цього потрібна інформація про функції, витягнута пристроєм, і вибіркова передача. У цьому випадку для задоволення потрібна мережа з невеликим діапазоном і високою швидкістю передачі. Тому що буде потрібно багато даних, які будуть записані в базу даних для аналізу та частого спілкування між пристроями та хостом. Тому топологія мережі використовує гібрид між зірковою та сітчастою мережею для збільшення швидкості передачі даних у мережі. Виберається якомога коротша відстань зв'язку, щоб отримати високу якість зв'язку. Запуск передачі пакетів, як правило, керується часом, або керується подіями [8].

Такі програми спочатку повинні врахувати швидкість передачі у мережі та структуру мережі, щоб забезпечити швидкісну передачу даних.

2. РОЗРОБКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СЕНСОРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN

2.1. Складові системи інтелектуальної мережі міста

У цій частині буде описано реалізацію системи інтелектуальної мережі міста, опис у даному розділі використовується для ілюстрації особливостей, які отримані на основі результатів розділу 1. Основний огляд цієї системи дається у розділі 2.2, де представлені компоненти та структура всієї системи та використання їх. Розділ 2.3 описує функції інтелектуальної мережі та теорію, а також поглиблене опрацювання функцій. Особливості протоколу LoRaWAN описані в розділі 2.4, це теоретично основи щодо досягнення динамічного управління для низького енергоспоживання. Продуктивність цієї системи продемонстрована в розділі 2.5, включаючи відстань зв'язку, споживання енергії та деякі параметри, які вказують на основні показники [13].

Система складається з бездротових кінцевих пристроїв, бездротових шлюзів та IoT-сервера. Це показано на рис. 2.1. Функції та методи реалізації описані нижче.

Кінцеві пристрої

Кінцеві пристрої реалізують вибірку даних, обробку даних та зберігання. MTDOT-868-X1P-SMA-1 - типовий ранній модуль LoRa. У табл. 2.1 перераховані параметри.

Модуль MTDOT має пряму бібліотеку підтримки протоколу LoRaWAN. Для модуляції сигналів зв'язку він може використовувати метод LoRa Digital Spread Spectrum або загальний метод модуляції, який представляє FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK. Це буде загальним для різних протоколів зв'язку.

Зв'язок вузлових пристроїв суворо узгоджується з протоколом LoRaWAN, AES-128 використовується для шифрування пакету, що забезпечує безпеку даних

(рис. 2.2). Відстань зв'язку теоретично становить 3 км у міській місцевості, вимірюваний результат показаний у розділі 2.4.

Шлюзи

LoRaWAN шлюз відповідає за організацію мережі датчиків і маршрутизації пакетів від вузлів датчиків до Інтернету. Шлюзу потрібно мати великий об'єм пам'яті для кешування пакетів і хороша продуктивність, щоб відповісти вузлам за короткий час. На платформі Kerlink Lora IoT Station 923 – має хороший зовнішній шлюз LoRa, параметри його наведені на рис. 2.4 та табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Параметри шлюзу LoRaWAN

Зв'язок	
Фішка	SX1257 Tx / Rx фронтальний
Частота	862-1020 МГц
МТРО (Максимальна потужність передавача)	8 дБм
Максимальна чутливість до отримання	-142,5 дБм
Процесор і пам'ять	
CPU / Максимальний годинник	ARM 926 EJS / 230 MIPS / 266МН
Спалах / ОЗП	256Мб / 128Мб

Програмне забезпечення складається з трьох частин: забезпечення маршруту пакету; передачі команд та аналізатор команд. Структура програмного забезпечення показана на рис. 2.4.

Командний аналізатор відповідає за генерацію або розбір команд у наборі інструкцій. Інструкції використовуються для зв'язку між шлюзом і сервером. Користувачі також можуть встановлювати параметри або змінювати стан шлюзу, надсилаючи йому команду відповідно до набору інструкцій [15].

Через ненадійність інтернет-комунікацій потребується регулярне виявлення зв'язку в мережі. Шлюз періодично надсилає на сервер пакет виявлення якості. Якщо з'єднання з мережею буде перервано, дані автоматично зберігатимуться в енергонезалежну пам'ять шлюзу великої ємності, коли мережа повторно підключиться, пакети будуть повторно завантажені. Цей механізм забезпечить надійність передачі мережі.

Сервер

Конструкція включає три частини: та що забезпечує послуги маршрутизації; сервіси баз даних та послуги управління користувачами. Ці сервіси працюють в операційній системі Linux CentOS. Це показано на рис. 2.5 [9].

Перша частина служби маршрутизації даних, вона відповідає за читання даних з шлюзу, і повинна визначити, чи повинні дані бути збережені в кеші сервера, або потрібно переслати в інші шлюзи. Якщо дані зберігаються, вони будуть розміщені в черзі кешу. Після того, як команда буде інтерпретована, вміст пакету вилучається з інструкції та відправляється в буфер прийому бази даних.

Друга частина - це бази даних. Сервер буде періодично перевіряти дані з буферної черги, якщо черга повна або досягнутий встановлений час, дані будуть зберігатися в базі даних. Оскільки доступ до бази даних потребують величезні витрати на систему, ми повинні якомога більше зменшити кількість доступу.

Платформа реалізації бази даних - MySQL. Користувачі можуть читати дані з таблиці *NodeNumberUplink* і записувати дані в таблицю *NodeNumberDownlink*, що є способом відправки пакету низхідної лінії зв'язку до вузлів. Типовий користувач не може самостійно створювати в базі даних власно руч. зроблену таблицю.

У частині взаємодії та управління користувачами користувачі можуть безпосередньо взаємодіяти з сервером через веб-сторінку, адміністратор також може керувати користувачами через веб-сторінку. Веб-сервіс надає Apache TomCat. Послуги веб-сторінок включають онлайн-запит та встановлення

енергоспоживання вузлів. Ці функції показані у розділі 2.4. Права та інформація користувача також зберігаються в базі даних, коли системі потрібно отримати інформацію про користувача, сервер отримує доступ до бази даних користувача.

2.2. Динамічне управління вузлами

Параметри протоколу LoRaWAN

У цьому розділі буде описано, як реалізувати динамічне управління вузлами відповідно до протоколу LoRaWAN.

У протоколі LoRaWAN багато змін параметрів впливатимуть на енергоспоживання, час передачі або максимальну тривалість корисного навантаження в одному пакеті. Вибір відповідного значення параметрів матиме великий внесок у підвищення продуктивності системи. У більшості випадків електромагнітне середовище впливатиме на якість зв'язку; динамічні параметри модуляції підвищать продуктивність бездротового зв'язку.

- Коефіцієнт розширення спектра

Коефіцієнт розширення спектра - показник, що характеризує ступінь надмірності розширеної смуги частот щодо спектра інформаційного сигналу. Чисельно визначається як відношення ширини смуги частот в радіоканалі до швидкості передачі інформації.

Коефіцієнт розширення спектра є важливим параметром для визначення якості зв'язку. У LoRaWAN за протоколом, коефіцієнт розширення спектра може бути встановлений від SF12 до SF7, з шістьма рівнями, і число чіпів від 4096 чіпів / біт до 128 чіпів / біт. Якщо однакова довжина пакетів, збільшення коефіцієнту розширення спектра збільшує ефективність виправлення помилок. Однак кількість символів передачі збільшується, так що час передачі стає більше, а споживана потужність передачі більша, ніж раніше. Наступні дані та графіки ілюструють це [13, 17].

Коли розмір пакету і потужність передачі є постійними, змінюючи

коефіцієнт розширення спектра з SF12 на SF7 можна добитися наступних змін - виміряно споживання енергії датчика вузла та час відправки одного пакета, результати вимірювань показані на рис. 2.7 та рис. 2.8, а вимірювані дані - у табл. 2.3.

Триразові вимірювання використане для забезпечення усунення помилки. Це видно з рис. 2.7 та рис. 2.8, коли коефіцієнт розповсюдження збільшується, додається потужність передачі і також збільшується час передачі. Довжина корисного навантаження - 50 байт, споживання енергії передачі з 27,9 мкА збільшується до 520 мкА. Коли коефіцієнт розкидання становить SF12, час збільшується з 0,185 с до 2,873 с. суттєва зміна енергоспоживання та ефекту часу передачі різними коефіцієнтами спектру.

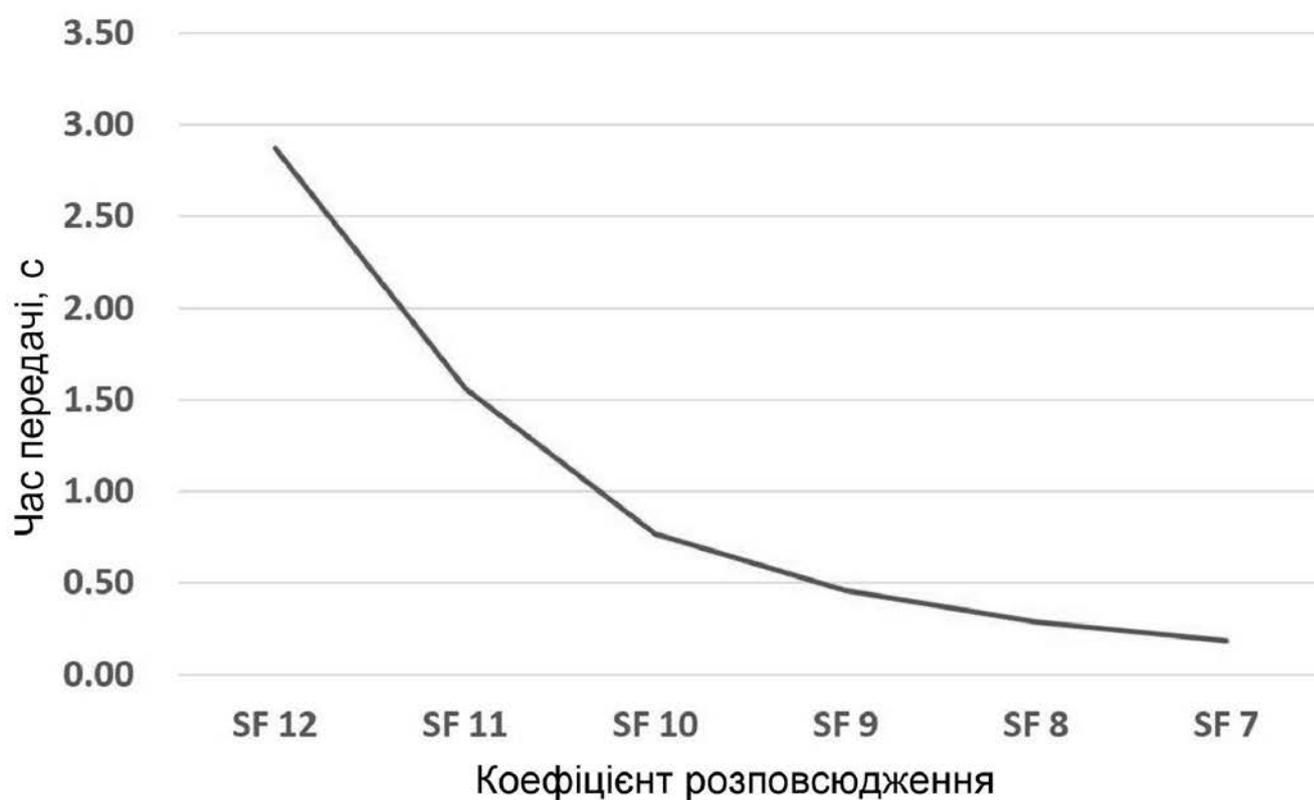


Рисунок 2.7. Зміна часу передачі з різним фактором розповсюдження

При зміні коефіцієнта розповсюдження впливає і якість зв'язку. На рис. 2.9 та 2.10 показано швидкість втрат пакету висхідної лінії зв'язку та швидкість

втрати пакету низхідній лінії зв'язку для передачі 100 пакетів, коли коефіцієнт розповсюдження змінювався від SF7 до SF11.



Рисунок 2.8. Коефіцієнт втрат пакетів у висхідній лінії зв'язку з різними коефіцієнтами розповсюдження

Коли коефіцієнт розповсюдження становить SF12, швидкість втрати пакету висхідної лінії зв'язку та швидкість втрати пакету низхідній лінії зв'язку значно нижчі за інші. При зменшенні коефіцієнта поширення швидкість втрат пакету значно збільшується. Однак швидкість втрати пакету висхідної лінії зв'язку від SF11 до SF7 є нерегулярною, тому що коли коефіцієнт поширення довжини невеликий, фактор, що впливає на швидкість втрати пакету, не є лише коефіцієнтом поширення [10, 16].

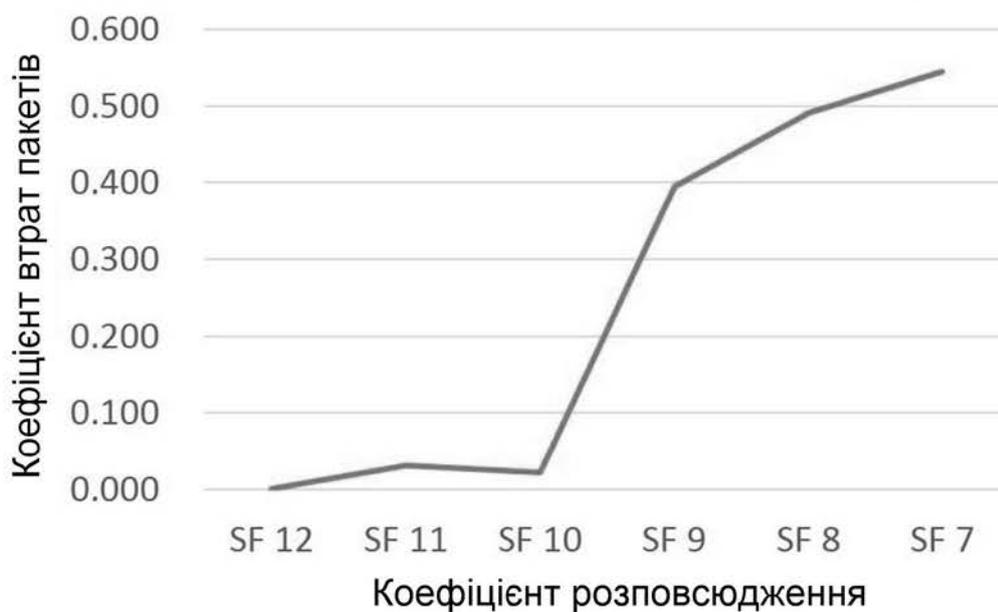


Рисунок 2.9. Коефіцієнт втрат пакетів у низхідній лінії зв'язку з різними коефіцієнтами розповсюдження

Коли коефіцієнт розповсюдження зміниться, швидкість передачі даних та максимальна тривалість завантаження одного пакета будуть змінені за один і той же час, відповідне співвідношення показано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4.

Швидкість передачі даних та довжина корисного навантаження з різними коефіцієнтами розповсюдження

Фактор поширення	Швидкість [біт/с]	Довжина корисної навантаження [байтів]
SF 12	250	51
SF 11	440	51
SF 10	980	51
SF 9	1760	115
SF 8	3125	222
SF 7	5470	222

Тому ми можемо бачити, що коефіцієнт розповсюдженого спектру в системі має великий вплив на енергію передачі та якість зв'язку.

- Потужність передачі

У протоколі діапазон потужності передачі становить від 2 дБм до 20 дБм.

Таблиця 2.5.

Потужність передачі протоколу LoRaWAN

Конфігурація	Потужність передачі
0	20 дБм (якщо підтримується)
1	14 дБм
2	11 дБм
3	8 дБм
4	5 дБм
5	2 дБм

Споживання енергії при різних потужностях передачі показано нижче.

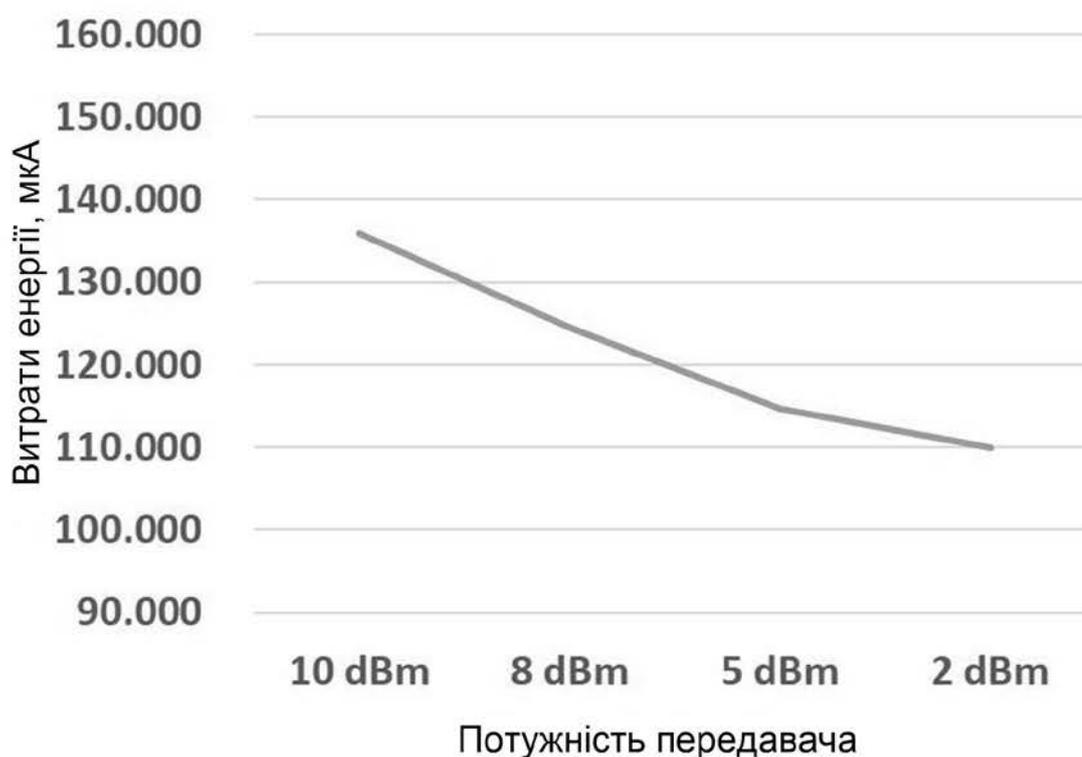


Рисунок 2.10. Зміна часу з різною потужністю передачі

Зміна енергії та часу з різною потужністю передачі

Довжина корисного навантаження = 50 байт, коефіцієнт розповсюдження = SF10, частота вибірки = 50 Гц			
фактор		міра	
	Потужність передачі	Робота енергії (мкА)	Час передачі
1	10 дБм	135,92	0,768
		136,14	0,768
		135,73	0,77
середнє значення		135.931	0,769
2	8 дБм	124,24	0,77
		124,76	0,77
		124,53	0,77
середнє значення		124.510	0,770
3	5 дБм	114,70	0,768
		114,54	0,768
		114,59	0,766
середнє значення		114.610	0,767
4	2 дБм	110,07	0,768
		109,95	0,766
		109,70	0,774
середнє значення		109.908	0,769

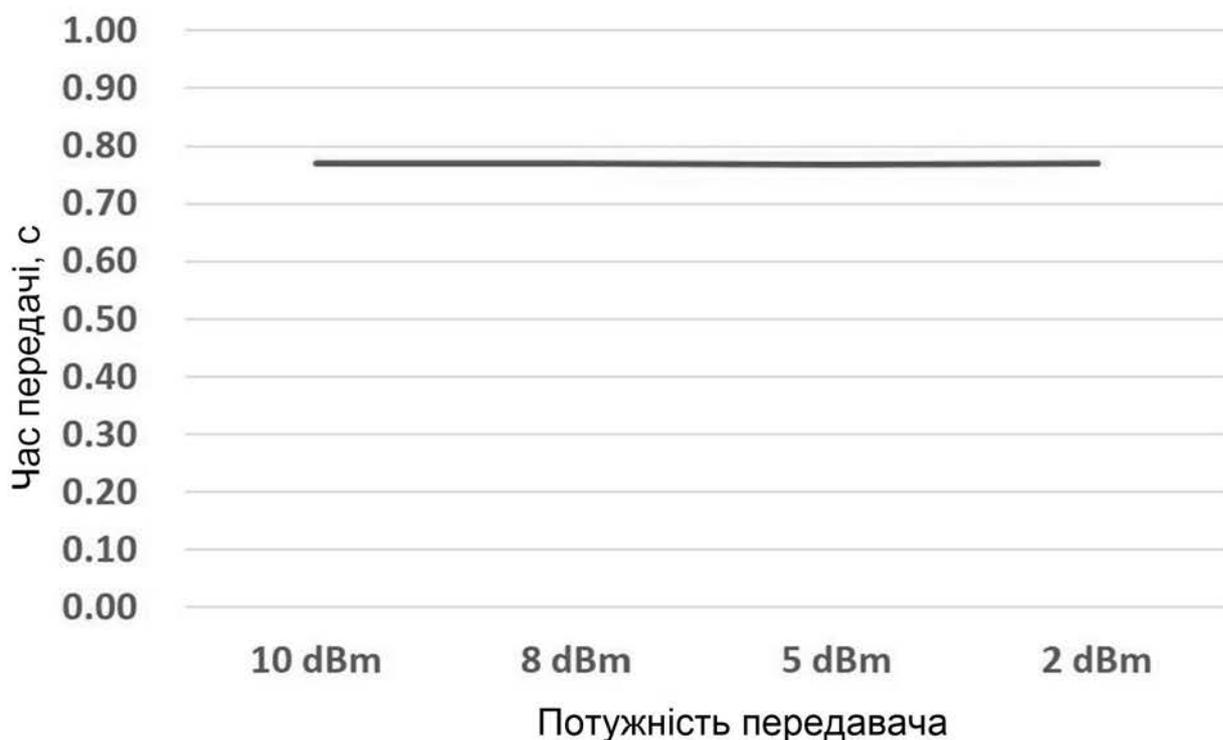


Рисунок 2.11. Зміна часу з різною потужністю передачі

Зі зменшенням потужності передачі зменшується енергоспоживання системи.

Потужність передачі часто змінюється залежно від двох факторів, один - середовище передачі, а інший - відповідний розмір мережевого домену. Мережа стільникового типу призначена для регулювання потужності передачі для обмеження розміру комірки. Отже, потужність передачі часто обмежена розміром домену та тонкою настройкою відповідно до середовища [13].

- Довжина пакета

Максимальна довжина одного пакета обмежена розміром коефіцієнта розкидання. Довжина пакету різних коефіцієнтів розповсюдження показана в табл. 2.4. Якщо коефіцієнт розповсюдження та потужність передачі постійні, витрата енергії та час, що впливають на довжину пакету, показані на рис. 2.13 та 2.14.

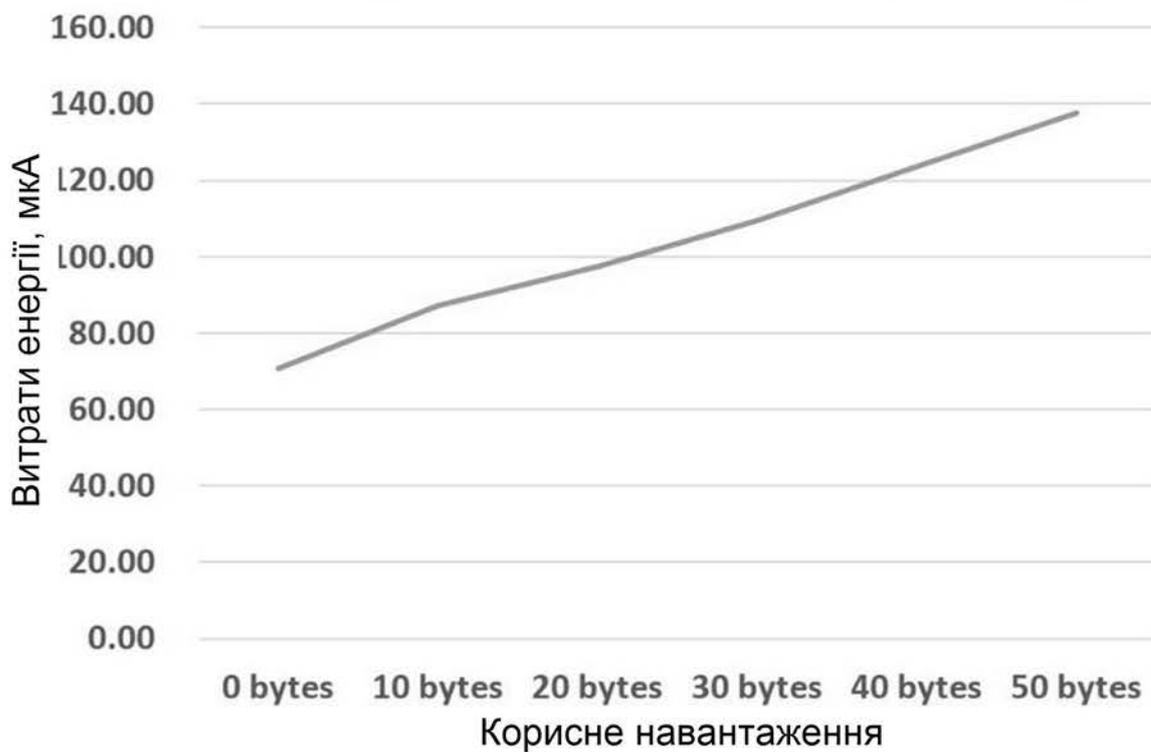


Рисунок 2.12. Зміна енергії з різною довжиною корисної навантаження

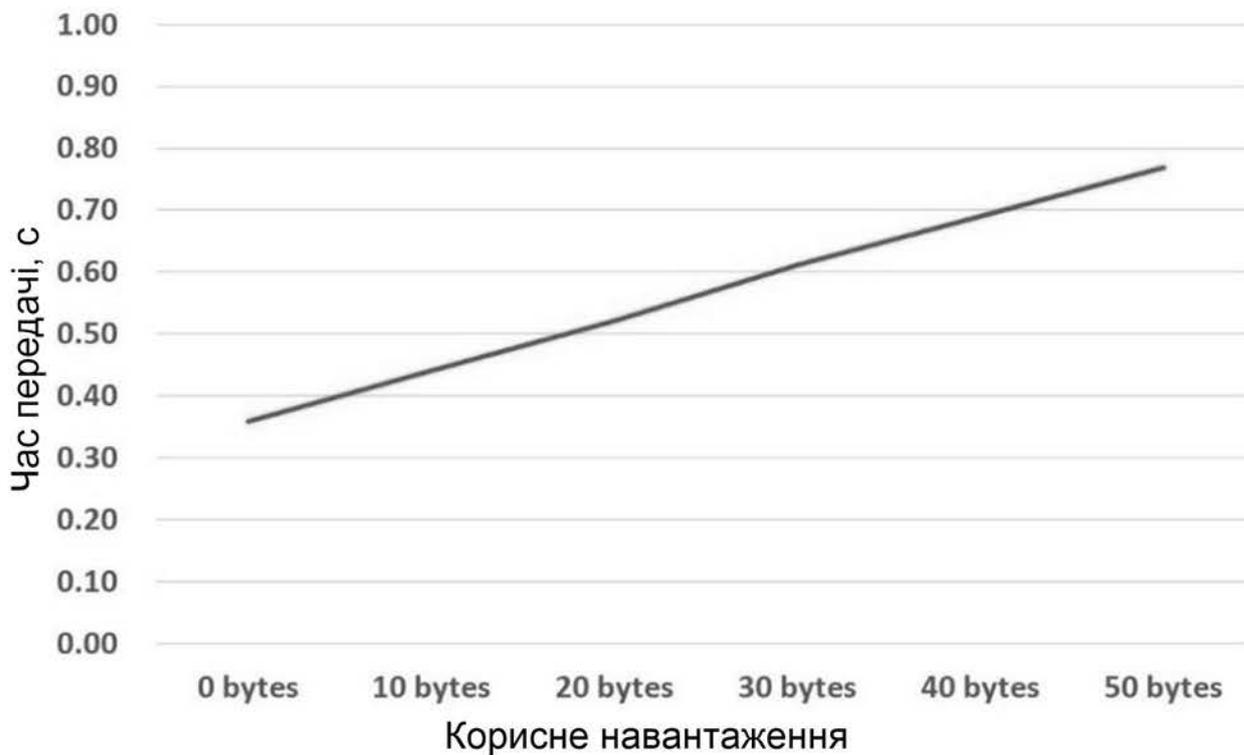


Рисунок 2.13. Зміна часу з різною довжиною корисної навантаження

Зі збільшенням довжини пакета кількість переданих символів збільшується, це вимагає більш тривалого часу прийому і більше споживання енергії.

Модуль споживання енергії

У цьому розділі описаний спосіб встановлення споживання енергії. Модель споживання енергії будується на основі фактичних вимірювань та математичних виразів. Рисунок 2.15 - це повний цикл потужності відносно кривої часу. Цикл можна розділити на шість фаз, "Прокидайтесь", «приєднуйтесь до мережевого сеансу», «сон», «надіслати пакет», «отримайте пакет та вимкніть», «Заклад буде закінчений ними».

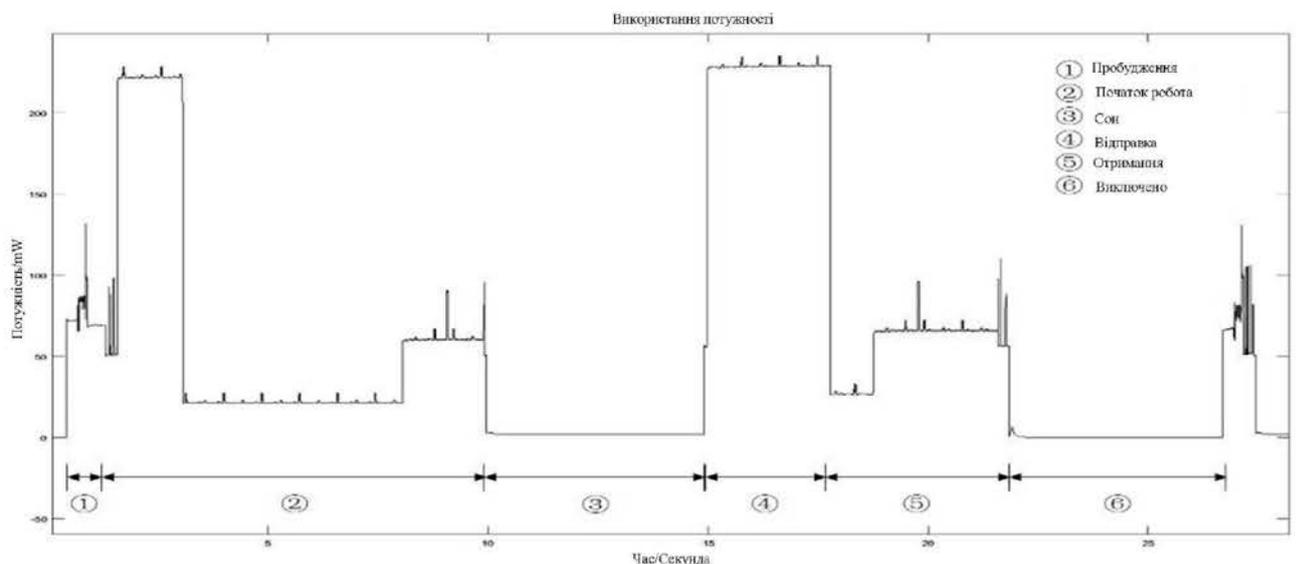


Рисунок 2.14. Повний цикл живлення проти часу

Для абстрактної моделі процес показаний на рис. 2.16. Кожен процес аналізується нижче [11].

- Процес приєднання до мережі

Процес приєднання до мережі такий же, як надсилання та отримання пакетів.

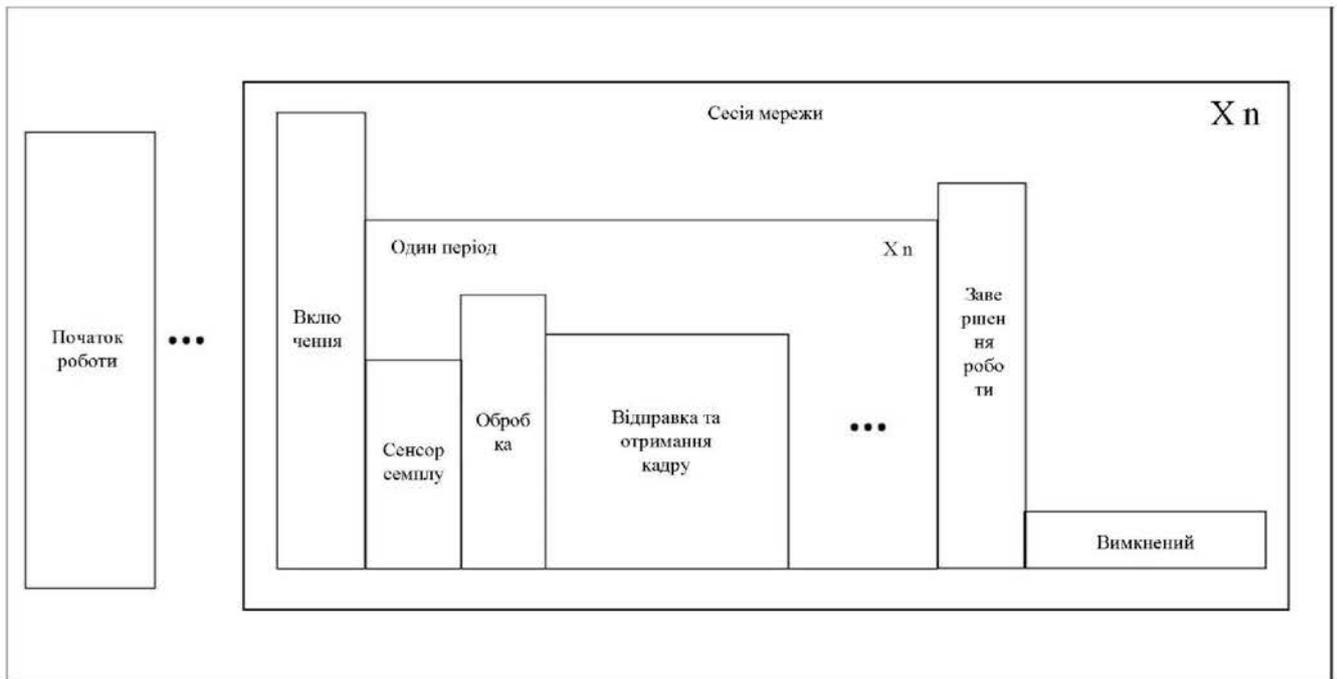


Рисунок 2.15. Абстрактна модель робочого процесу сенсорних вузлів

Процес показаний на рис. 2.17. Цей процес виконується лише один раз, і мережевий сеанс буде збережено. Ефект незначний при тривалій роботі за один сеанс.

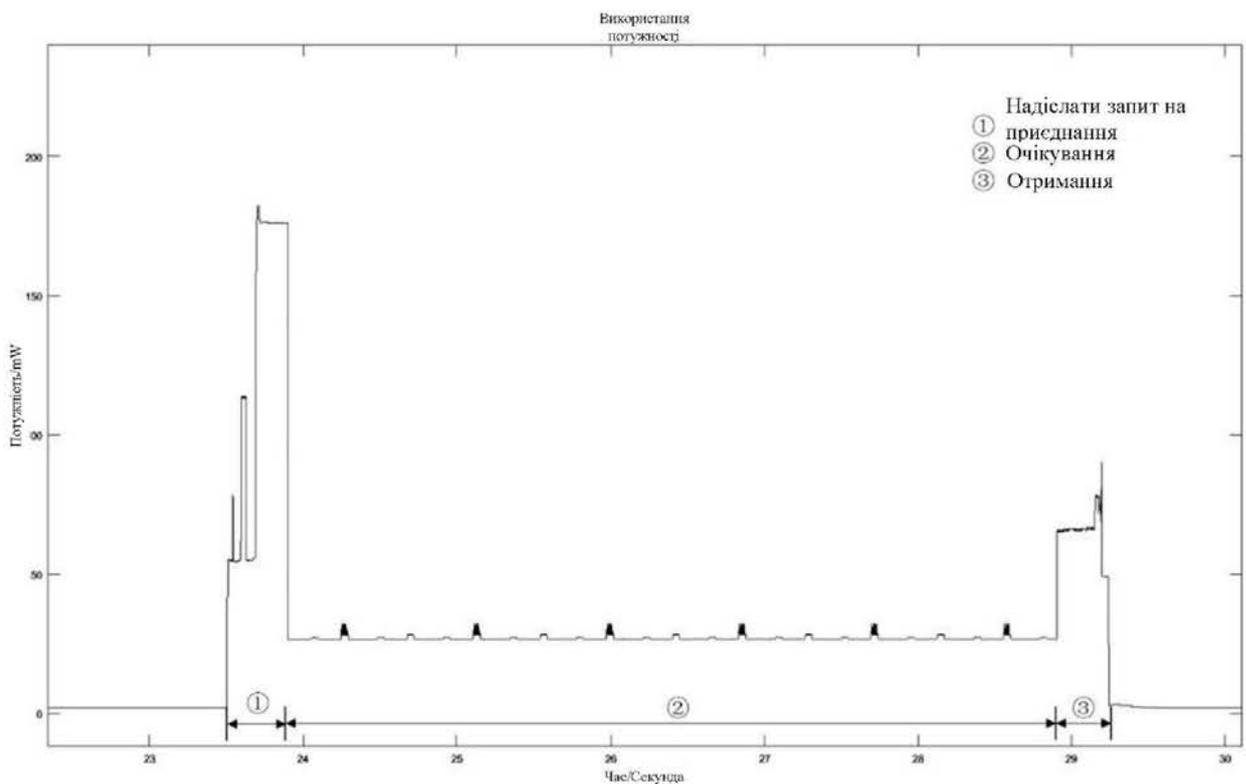


Рисунок 2.16. Споживання енергії приєднаної мережі

- Вузол Пробудження

Споживання енергії пробудження вузла є постійним. Результати вимірювань показані на рис. 2.18. Споживання енергії становить 50,07 мкА і витрачає 0,75 секунди.

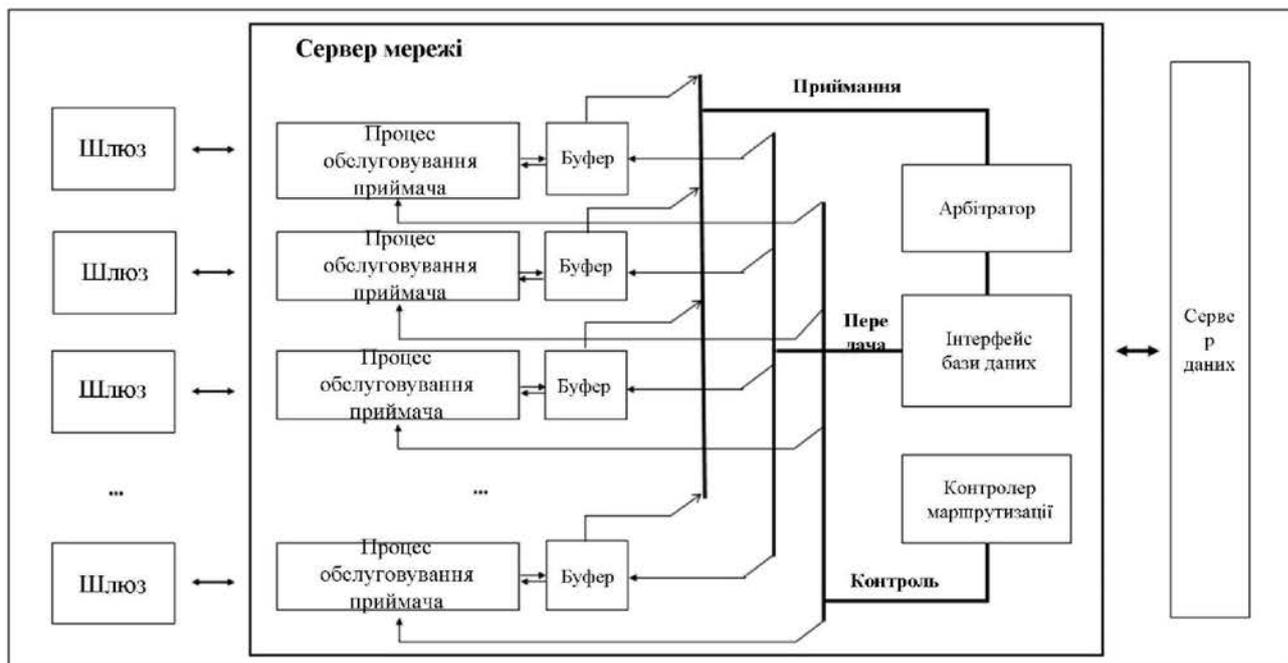


Рисунок 2.17. Споживання енергії на пробудження

- Відправлення та отримання кадрів

У відповідності з LORA протоколу, процес відправки складається з чотирьох частин на раму. Відкривши два вікна прийому, слідкуйте за одним надсиланням пакету. Якщо перше вікно прийому успішно, друге вікно не відкриється. В іншому випадку друге вікно прийому відкриється після періоду часу [16, 17]. Після завершення передачі кадру настає час очікування та відкрийте другий. Процедура показана на рис. 2.19.

Споживання енергії на надсилання та отримання варіюється залежно від встановлених параметрів. Результати показані на рис. 2.20 та рис. 2.21. Процес побудови моделі буде описаний нижче.

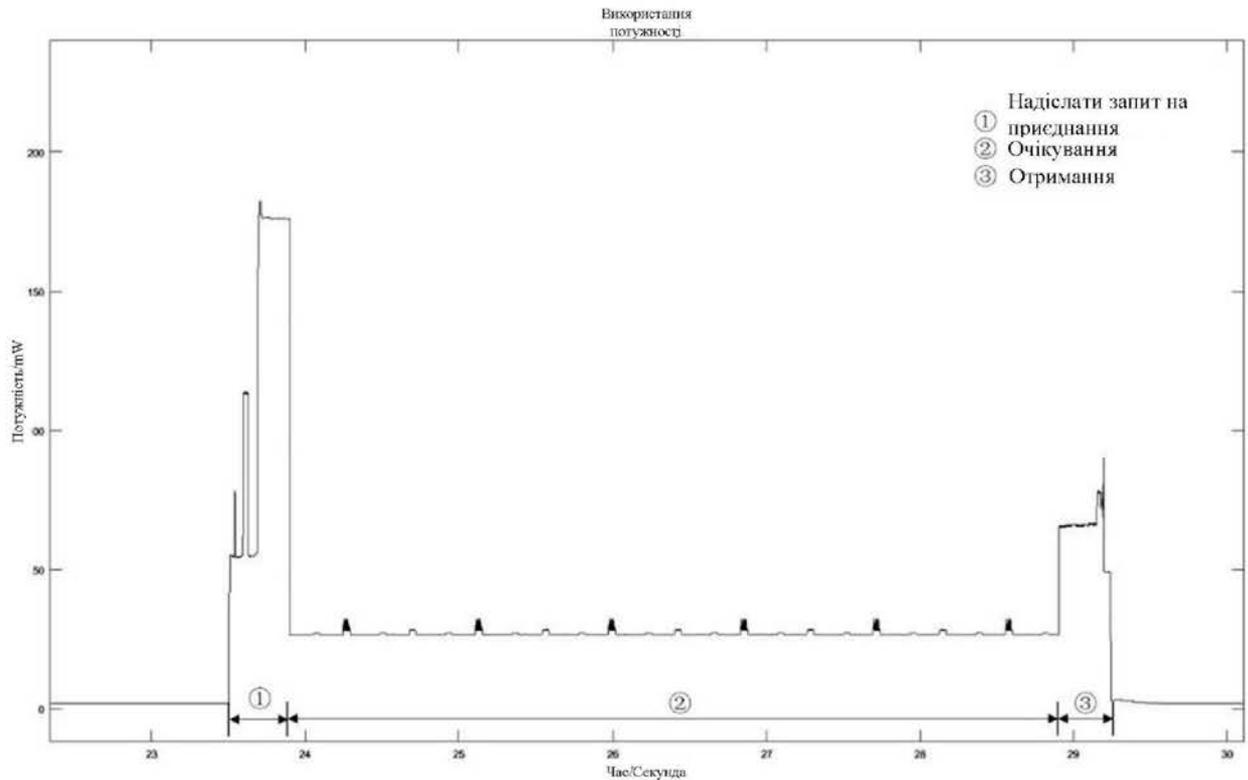


Рисунок 2.18. Порядок надсилання запиту кадру А

А. Відправлення

Є три фактори, що впливають на процес передачі, які поширюють фактор, довжину пакета і потужність передачі. Потужність передачі не змінюється за часом згідно рівняння 2.1 та рис. 2.20, а тому може бути спрощена до рівняння 2.1.

$$w(t) = \int_0^t p(x) dx \quad (2.1)$$

Серед трьох факторів коефіцієнт розповсюдження та довжина пакету впливають лише на час передачі. З рис. 2.20 на потужність передачі впливає лише потужність.

$$w(t) = P \cdot t \quad (2.2)$$

Таким чином, рівняння 2.2 можна записати в вигляді рівняння 2.3, де P_{Tx} - є передавальною паузою і P - є константою. α - коефіцієнт, що визначається

коефіцієнтом розповсюдження, а l - тривалість корисного навантаження.

$$W_{(l)\text{кадр відправ.}} = (P_{Tx} \times \beta) \times (\alpha \times l_{\text{кор.нав.}}) \quad (2.3)$$

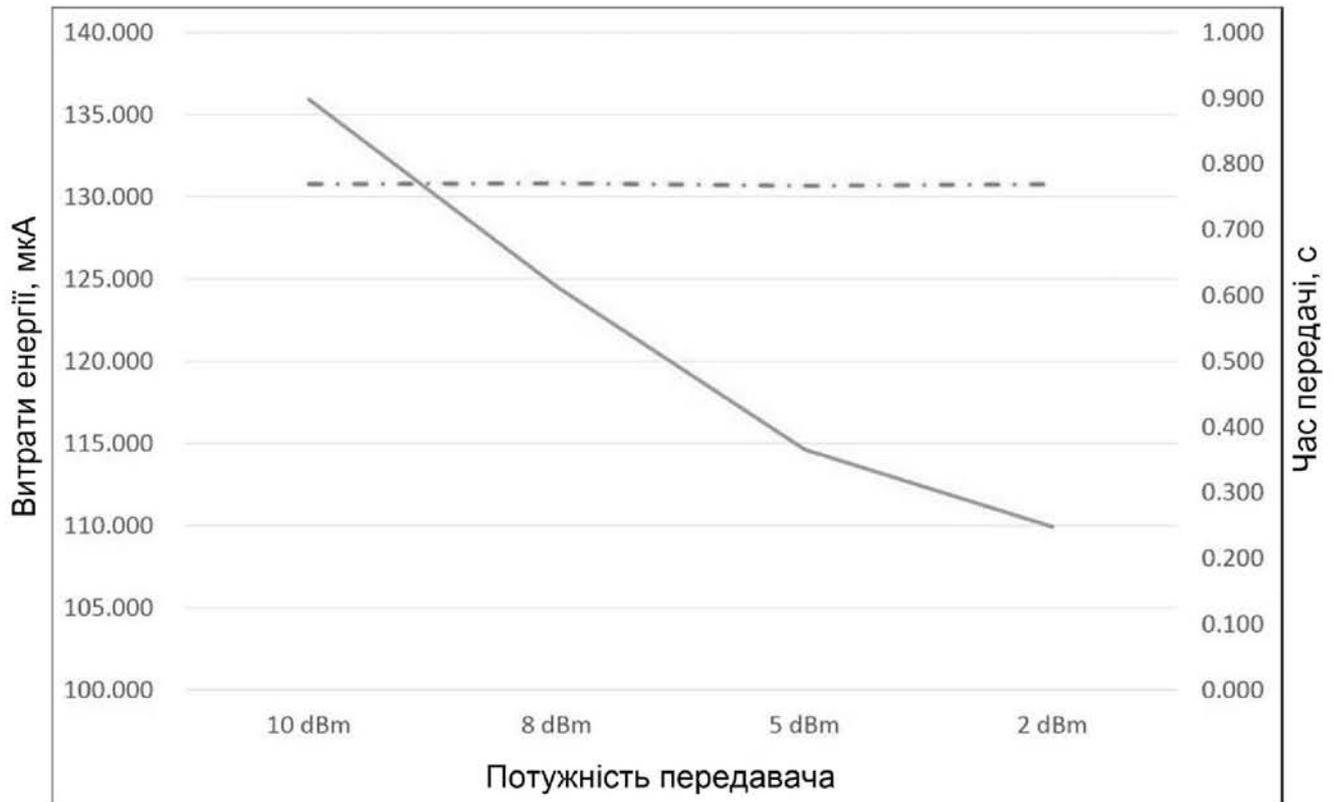


Рисунок 2.19. Зміна часу та енергії з різною потужністю передачі

Поєднавши α і P , отримаємо рівняння 2.4, де ε - коефіцієнт, який змінюється лише коефіцієнтами розтікання. У кожному пакеті потрібно передавати однакову довжину заголовка, тому рівняння 2.4 буде записано як рівняння 2.5, $B_{(\text{гол.})}$ - константа, що вказує довжину заголовка пакету. Рівняння 2.5 - модель процесу передачі.

$$W_{(l)\text{кадр відправити}} = (P_{Tx} \times \varepsilon) \times l_{\text{кор.нав.}} \quad (2.4)$$

$$W_{(l)\text{ кадр відправити}} = P_{Tx} \times \varepsilon_{SF} \times (l + B_{(\text{гол.})}) \quad (2.5)$$

В. Отримати вікна 1 і 2

Процес отримання вікна 1 аналогічний моделі процесу відправки, і записується в вигляді рівняння 2.6.

$$W_{(l)} \text{ кадр_отримати} = P_{Rx} \times \varepsilon_{SF} \times (l + B_{(\text{заголовок})}), \quad (2.6)$$

У цьому додатку не використовується вікно приймача 2, тому його енергоспоживання є постійним.

С. Очікування відправлення та отримання

Якщо передача успішна, між вікном відправки та прийому є час очікування, це показано на рис. 2.21. Якщо прийом не вдається, зачекайте, поки не відкриється вікно 2, це показано на рисунку 2.21.

Споживання енергії на очікування не змінюється, це можна виразити формулою 2.7.

$$W_{(t)} \text{ процес_очікування} = P_{\text{процес_очікування}} \times t_{\text{процес_очікування}}, \quad (2.7)$$

Ефективна енергія передачі одного кадру показано формулою (2.8)

$$W_{\text{кадр_успіх}} = W_{(t)} \text{ кадр_відправити} \times W_{(1)} \text{ отримати1_очікування} \times W_{\text{отримати}}, \quad (2.8)$$

А загальна енергія відмови у відправці показано формулою (2.10)

$$W_{\text{кадр_помилка_відправити}} = W_{(t)} \text{ кадр_відправити} \times W_{(1)} \text{ отримати1_очікування} \times W_{\text{отримати1_помилка}}, \quad (2.9)$$

$$W_{\text{кадр_збій}} = W_{\text{кадр_помилка_відправити}} \times W_{(1)} \text{ отримати2_очікування} \times W_{\text{отримати2}} \times W_{\text{відправити_очікування}}, \quad (2.10)$$

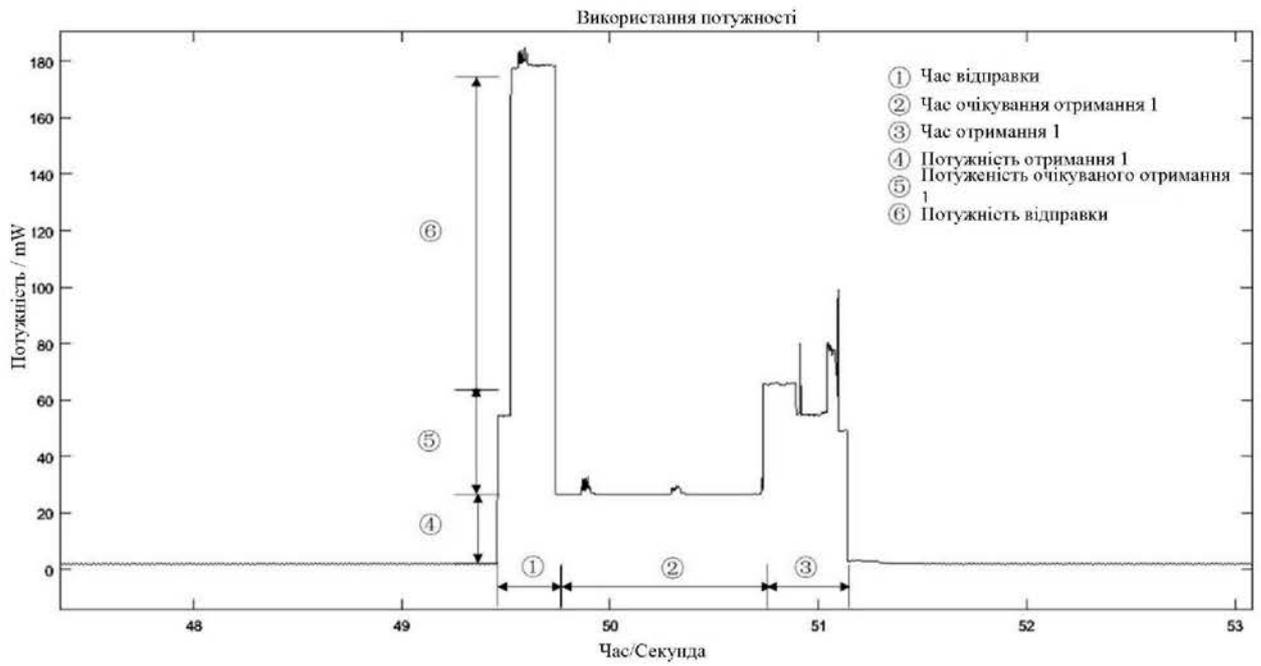


Рисунок 2.20. Споживання енергії для прийому 1

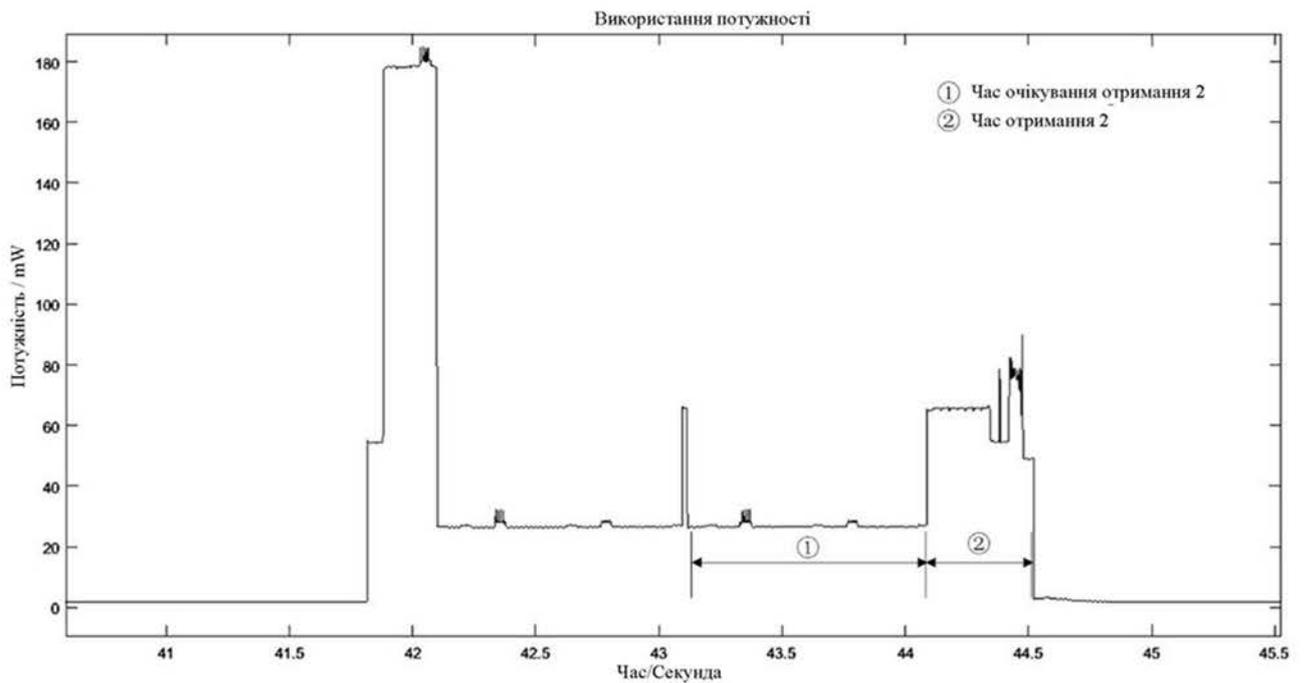


Рисунок 2.21. Споживана потужність прийому 2

Зробивши статистику під час тривалого зв'язку, ми можемо отримати швидкість відмов пакетної передачі, згідно зі статистичними результатами встановлення кадрової моделі передачі:

$$W_{\text{кадр}} = \sum_{n=0}^N [\eta_n \times W_{(n)\text{кадр}}] \quad (2.11)$$

N - являє собою час невдалої повторної передачі, % - вірогідність, n - разової повторної передачі, а W_n - енергоспоживання на повторну передачу n разів. Його можна записати так:

$$W_{(n)} = W_{\text{кадр_успіх}} + n \times W_{\text{кадр_помилка}} \quad (2.12)$$

Це статистична модель, яка надсилає кадр.

- Вимкнення

Споживана потужність процесу відключення є постійною, це показано на рис. 2.24. Витрата енергії становить 6,31 мкА, а час - 0,46 секунди.

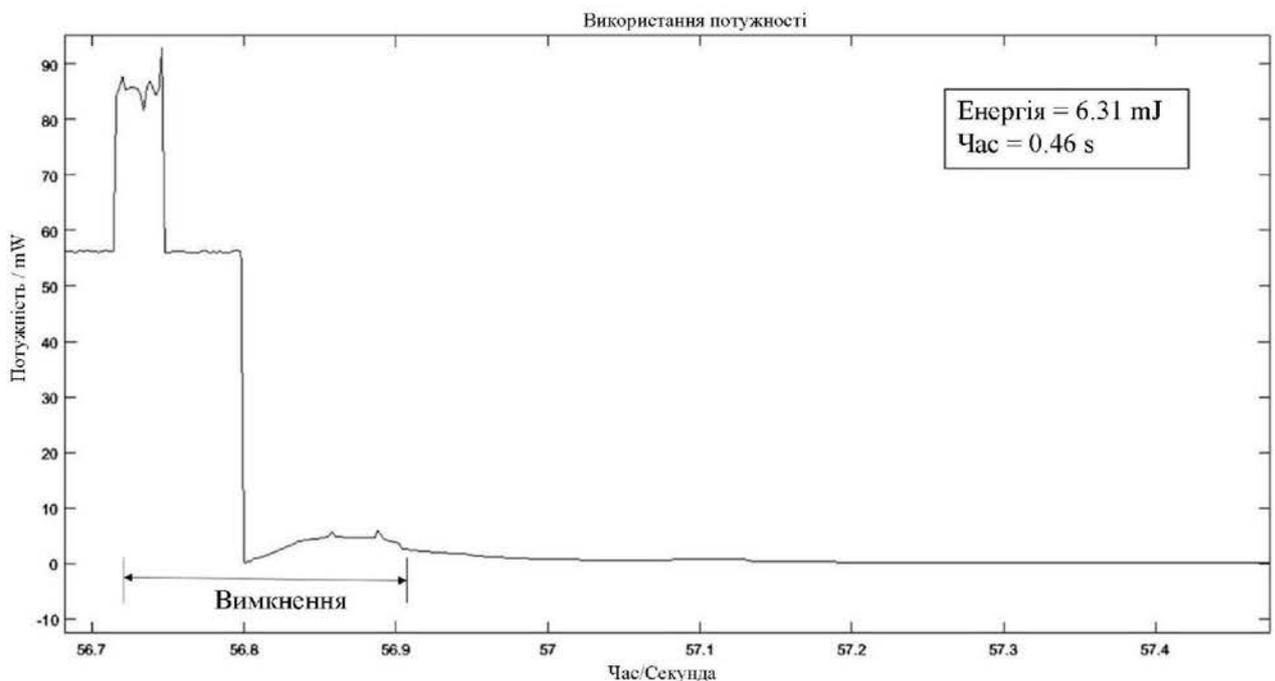


Рисунок 2.22. Споживання енергії на вимкнення

- Стан вимкнено

Вимкнений стан має дуже слабкий струм витоку, тому його енергоспоживання показано у формулі 2.12.

$$w_{(t)off} = P_{off} \times t_{off}, \quad (2.13)$$

Після вимірювання споживання енергії, що відключається, становить 0,1 мВт, це показано на рис. 2.24

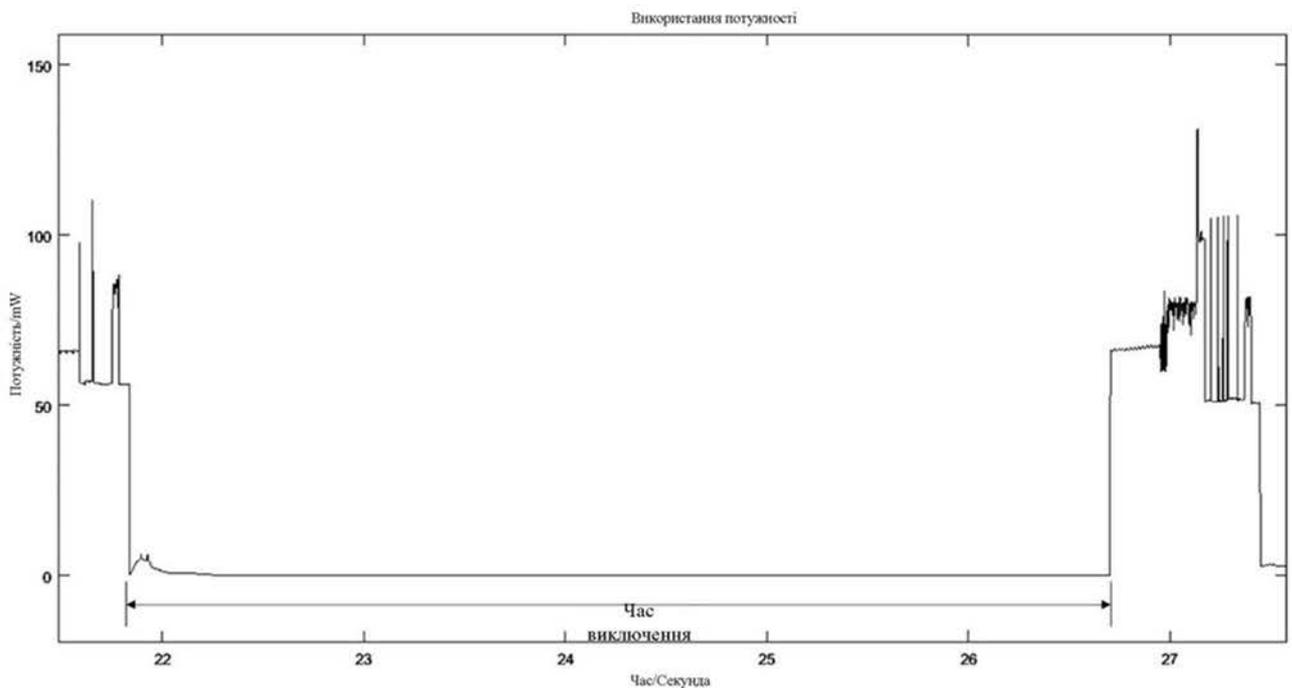


Рисунок 2.23. Споживання енергії у відключеному стані

Динамічне управління

Коефіцієнт розповсюдження

Керовані параметри цієї платформи включають коефіцієнт розповсюдження, потужність передачі, час сну та максимальну кількість невдалих повторних передач. Збільшення коефіцієнта розповсюдження підвищить можливість виправлення помилок під час передачі. Але в той же час, він додасть кількість мікросхем кожного переданого байту, і йому потрібно більше часу передачі та більшого споживання енергії під час відправки пакету. Тому вибір

фактора поширення повинен залежати від поточного середовища спілкування. Ця функція чудово підходить для мобільних додатків, оскільки середовище спілкування змінюється.

Хороша стратегія наведена в специфікації LoRWAN 1R0, вона називається ADR (адаптивний контроль швидкості передачі даних). Відповідно до значення лічильника підтвердження ADR та порогового значення, вузол може визначити, чи може шлюз все ще приймати пакет висхідної лінії зв'язку за умови низького SF, і поступово знаходить відповідне значення SF. Команда шару LoRa MAC також може вручну змінити значення SF.

Потужність передачі

На апаратному рівні вузлів і шлюзів ми можемо безпосередньо змінити потужність передачі модуля RF, але слід враховувати кілька проблем. Споживання енергії є критичним для бездротових вузлів. Для Sx1276 при використанні +13 дБм споживання енергії становить близько 29 мА. Коли вона буде піднята до максимуму (+20 дБм), споживання енергії досягне 120 мА, це має великий вплив на термін служби бездротових вузлів [10, 16].

Вибір відповідної потужності передачі залежить від місця розташування шлюзів, як правило, він фіксований і не повинен динамічно змінюватися після визначення місця розташування шлюзів. Однак для особливих випадків, наприклад, коли вузол переміщується з одного домену в інший, відстань розподілу шлюзу змінюється; вузол також повинен автономно регулювати потужність передачі. Коли топологія мережі буде стільниковою, потужність передачі стане важливою, оскільки необхідно забезпечити, щоб комірки не заважали одна одній з однаковою частотою.

Час прокидання

Час сну є важливим фактором, що впливає на споживання енергії вузлів. Встановлення часу сну повинно базуватися на енергії вузла, що залишилася, і орієнтовному максимальному терміні експлуатації. Встановлена модель споживання енергії одного вузла може бути використана для отримання розрахункового робочого часу, або вони підтвердять відповідність до очікуваного

терміну експлуатації для обчислення параметрів динамічної обробки, часу сну.

На початку користувач повинен встановити діапазон точності та очікуваний термін експлуатації, якщо зарядка залишилася і може підтримувати систему для досягнення очікуваного терміну служби, час сну буде скорочено, що покращить точність системи. Якщо енергія, що залишилася, не дозволяє досягти очікуваного терміну служби, необхідно збільшити час сну, щоб система досягнула бажаного терміну експлуатації. Але в той же час збільшення інтервалу часу зв'язку знизить якість обслуговування системи.

Структура мережі

Для програм Smart City із LoRaWAN можна застосувати два види мережевої структури. Усі шлюзи використовують один і той же набір частоти несучої або частоти їх різні. Структура показана на рис. 2.24 та рис. 2.25, вони мають свої переваги та недоліки, які можна вибрати відповідно до актуальних потреб.

У структурі, що зображена на рис. 2.24 кожен шлюз використовує однаковий набір частот, тому вузли можуть вільно переміщатися в всій зоні обслуговування, яку вони охоплюють. При цьому не потрібно виділяти частоту верхнім сервером кінцевому пристрою, складність сервера знижується. Це також змушує вузли плавніше рухатися між регіонами. Друга перевага - збереження кількості розгортань шлюзу. Оскільки в цій структурі площа, охоплена кожним шлюзом, зазвичай найбільша (максимальна відстань, яку може досягти потужність передачі), просто використання невеликої кількості шлюзів може охопити велику площу [4, 9].

Однак недоліки очевидні. Коли кількість вузлів збільшується, стається зіткнення пакетів. Оскільки LoRaWAN класу А належить до типу ALOHA, немає хорошого механізму для запобігання зіткненням пакетів. Тому, коли багато хто з них не використовує один і той же набір частот разом, легко можуть виникнути зіткнення. Коли вузол далеко не інший, це означає, що багато вузлів розподілено в широкому діапазоні, щільність між ними низька, ситуація буде кращою, відстань занадто далекою, якщо сигнал не передаватиметься іншому.

Для розміщення великої кількості вузлів, розподілених на невеликій площі, створюється мережа другого типу.

Стільникові мережі більше підходять для поширення великої кількості вузлів у невеликому діапазоні; це означає, що щільність велика. Обмежена потужність передачі шлюзу та вузла для вузького діапазону зв'язку - ділить початковий великий домен на кілька малих доменів. Спілкування відбувається з різними наборами частот, щоб зробити пристрої непомітними для сусідньої кімнатки, щоб уникнути перешкод один одному.

Перевага такої побудови структури сеті очевидна. Вона може налічувати велику кількість вузлів, розгорнутих на невеликій площі, наприклад, велику кількість датчиків у будівлі. Недоліком ж є висока вартість, щоб встановити шлюз, і високі накладні витрати мережевого сервера. Тому що, коли вузол переміщується між різними кімнатками, сервер повинен виділити використовувану для них частоту зв'язку, що вимагає постійних запитів та відповідей. Отже, стільникова структура компенсує недоліки структури широкої площі, але реалізація потребує великих витрат.

Функції вузлів мережі

Функції загальної системи поділяються на чотири аспекти: маршрутизація пакетів між датчиком вузла та базою даних; запит та управління даними; налаштування параметрів вузлових датчиків; та користувач із керуванням додатком.

Маршрутизація даних включає маршрутизацію між вузлом та сервером та маршрутизацію даних між вузлами. Дані, що збираються, зберігаються в базі даних для забезпечення запитів користувачів. Програми та налаштування для пристроїв та мережі, реалізованих службою веб-сайту. Докладно описані функції та реалізація будуть нижче [5, 15].

Пристрої для приймання двосторонньої передачі

Це спосіб реалізації маршрутизації даних від пристрою до хоста. Дані надсилаються на шлюз з пристрою, по-перше, шлюз буде періодично маршрутизувати групу даних, які є з багатьох пристроїв, щоб одночасно

обслуговувати їх через Інтернет.

Коли користувач хоче надіслати дані з хоста на вузлові пристрої, йому потрібно дочекатися висхідної лінії зв'язку від шлюзу до сервера, після завершення з'єднання по висхідній лінії пакет передається з кеша сервера до шлюзу.

Двонаправлена маршрутизація даних може закінчити передачу даних у мережі. Спосіб передачі даних є асинхронним, а довжина пакету часто порівняно коротка. Якщо дані з одного IoT пакету будуть завантажені в один пакет IP, він буде викликати відходи. Тож у цьому сценарії використовуються як синхронний та часовий спосіб пересування даних. Коли кеш шлюзу заповнений або досягнут встановлений час (спрацював таймер), всі дані надсилаються серверу в одному пакеті через Інтернет. Цей же механізм використовується для даних низхідної лінії зв'язку [14].

Дані, які користувач хоче надіслати на пристрої вузлів, будуть буферизовані, коли сервер отримає пакет верхнього потоку шлюзу, сервер передасть буферизований пакет низхідній лінії зв'язку у відповідний шлюз.

Трансмісія від машини до машини

Маршрутизація даних від машини до машини поділяється на два види: один - це пристрої в підмережі, а інший - ні. Пакет відправляється на сервер і пересилається на інший шлюз, якщо він передається через шлюз. Якщо пристрої, що знаходяться в одному шлюзі, не потребують маршрутизації даних через сервер, вони напряму направляють на націлювання.

Шлюз може ідентифікувати призначення пакету на основі інформації в заголовку, політика маршрутизації визначається адресою призначення.

Управління користувачами та програмами

Безпека даних є дуже важливою для універсальної платформи, система повинна усвідомлювати невидимість для користувачів, які не належать данному користувачеві. По-перше, система вимагає наявності адміністратора, який може призначити пристрої користувачам, і в цій системі адміністратор також може видаляти або додавати вузли до існуючого використання.

Користувачі можуть застосувати обліковий запис на веб-сайті, але йому потрібен код запрошення від адміністратора. Код запрошення просто використовуватиметься лише один раз для запобігання шкідливим програмам. Користувачі можуть отримати доступ до даних двома способами, один - використовувати Інтернет для запиту, а інший - через базу даних.

Запит та налаштування пакетів на веб-сайті

Коли пристрої вузлів потрібно встановлювати на відкритому повітрі, необхідно переглянути пакети, завантажені під час налагодження. Онлайн-запит легко запитує ці пакети з сервера. Запит на веб-сторінку - це найпростіший і швидкий спосіб у зовнішніх умовах. Будь-які пристрої з підтримкою браузера можуть використовуватися для їх запиту. Цей підхід використовується лише як тимчасовий у ході налагодження, при розробці програми слід використовувати розширений метод [18].

Мережі та налаштування вузлів також можна реалізувати в Інтернеті. Параметри включають регульовані параметри рівня зв'язку відповідно до протоколу, а також управління енергоспоживанням та чуттєвою якістю.

Служба баз даних для верхньої програми

Користувачі можуть користуватися тим самим логіном і паролем, щоб отримати доступ до бази даних на веб-сторінці. Служба баз даних надається програмою обслуговування баз даних MySQL. Це зручно для програм доступу до даних. JDBC - це бібліотека з відкритим кодом Java для досягнення цієї функції, інші бібліотеки програмування також підтримують цю функцію.

Динамічна зміна

Динамічна зміна забезпечує зміни налаштувань відповідно до протоколу LoRaWAN з різними умовами середовища в будь-який час. При спілкуванні середовище сильно змінюється, бездротові пристрої будуть повідомляти про поточний стан серверу, нові параметри будуть обчислюватися відповідно до алгоритму та встановлюватись на пристрої [9].

Вище описані функції універсальної платформи IoT, яка використовується для створення додатків Smart City. Технологія LoRaWAN реалізує бездротову

мережу для Інтернету речей, ПК як сервер для надання даних та послуг управління. Працездатність цієї системи описана нижче.

2.3. Впровадження сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoRaWAN

У цій частині показано реалізацію функцій. Система складається з трьох частин: терміналів; управління маршрутизацією даних; та зберігання даних у додатках. Термінал відповідає за збір даних, тимчасове зберігання або виконання певних дій. Маршрутизація даних відповідає за передачу даних між термінальним пристроєм та верхнім сервером. Частина зберігання даних та додатків знаходиться у верхній частині системи, щоб збирати дані та будувати конкретну програму.

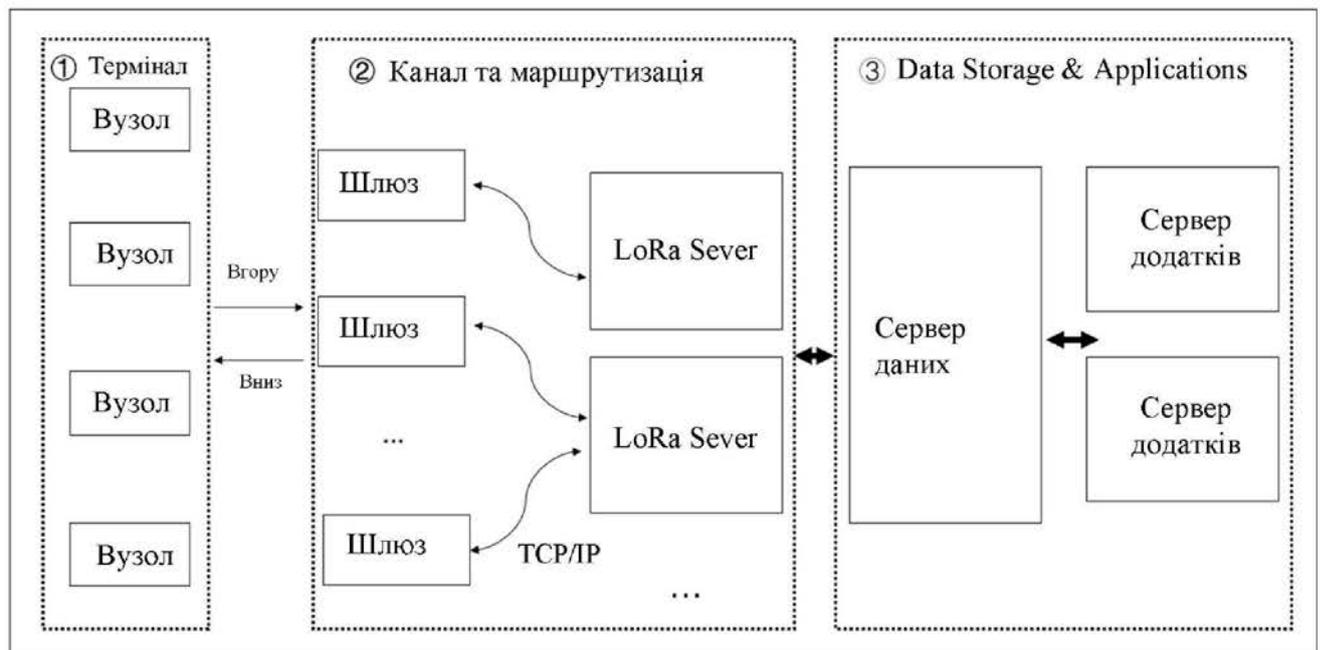


Рисунок 2.26. Склад системи

Ці три частини працюють незалежно одна від одної і взаємодіють за посередництвом інтерфейсу.

Кінцеві вузли

Кінцеві вузли залежать від різних застосувань. Однак, коли він реалізує протокол LoRaWAN, вон може приєднатися до мережі та стати частиною системи. У цьому проекті вибрано MultiConnect-mDot як кінцевий пристрій, а його структура показана на рис. 2.27. Конфігурація мережі знаходиться в ПЗП, користувач-програміст просто перепрограмує частину пам'яті програмної програми користувача і нічого не потрібно вносити про мережу, він виділяє програму І та програму управління мережею. Користувачі можуть звертати увагу лише на код програми та не дбати про досягнення мережі [11].

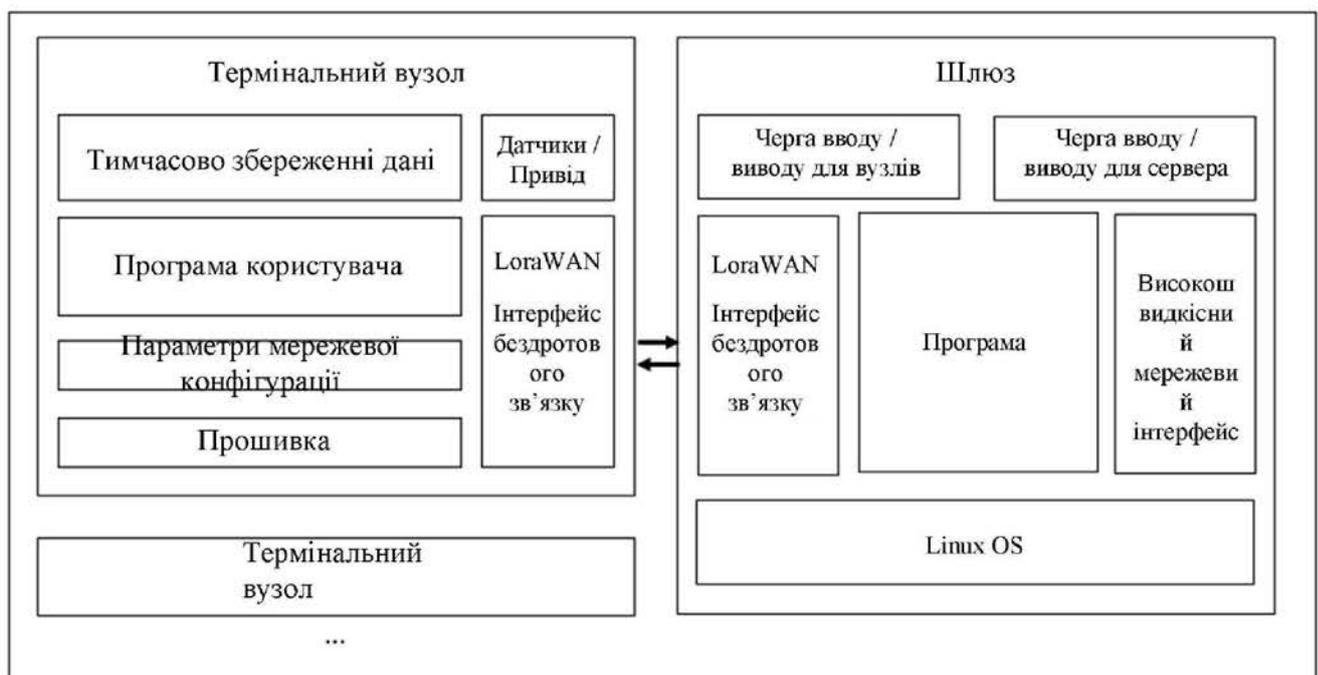


Рисунок 2.27. Склад LoRa-вузлів та шлюзів

LoRa Class A - це мережа ALOHA, шлюзи зазвичай не мають активних вузлів доступу, час сну для вузлів не запитується. Користувачі можуть обирати відповідно до потреб програми. Для того, щоб система працювала довше, вузли можуть робити вибірку багато разів і надсилати загальну кількість даних в одному пакеті. Це вимагає зберігання даних в оперативній пам'яті або ПЗУ, коли він

переходить у сплячий режим. В задіяних програмах вони зберігаються в ПЗУ, оскільки оперативна пам'ять недійсна в режимі очікування.

Шлюзи

Шлюз - це міст, що з'єднує термінальні вузли та сервер. Продуктивність шлюзу важлива для якості зв'язку. При створенні мережі LoRaWAN для реалізації Smart City функцій, шлюз повинен бути простим [15]. Це може змусити шлюз мати ресурси для забезпечення швидкої передачі даних для багатьох вузлів разом. Зв'язок між шлюзом та сервером управління мережею показаний на рис. 2.28.

У шлюзі є важливе завдання: в точний час передати пакет низхідної лінії зв'язку або підтвердження. Протокол LoRa вимагає пакет низхідній лінії зв'язку, відправлений у вузол протягом зазначеного часу. Тому шлюзу потрібна черга для упорядкування пакетів низхідній лінії зв'язку. Пакети сортуються відповідно до часу відправки, коли таймер досягає заданого часу, радіочіп передає пакет.

Сервер відправляє команду на шлюз, коли потрібно переключити мережеву структуру. Тому що це різні параметри для шлюзу в двох типах структури. Перемикаючи його з широкосмугової мережі на мережеву волоконну клітинку, сервер надсилає на шлюз набір частот (8 каналів прослуховування в протоколі LoRa), він фактично розподіляє частоту комірки. При переході з стільникової мережі на широкосмугову мережу вона просто надішле команду, і всі шлюзи використовуватимуть встановлену за замовчуванням частоту.

Мережевий сервер

Мережевий сервер використовується для організованих шлюзів і вузлів для формування мережі.

Компоненти сервера показані на рис. 2.29. Він працює на високоефективному хмарному сервері Linux OS.

Сервер виділяє незалежні процеси на кожен шлюз, щоб своєчасно реагувати на них та контролювати їх. Кілька незалежних буферів, призначених для кешування пакетів вузлів висхідної лінії чи нисходячої лінії зв'язку з потокових потоків. Перевірка пакетів, упаковка та розпакування неприватних пакетів завершуються в процесі обслуговування приймача. Але тільки незалежні потоки

не можуть змусити їх працювати координаційно. Модулі координаційної роботи будуть показані нижче.

Арбітражатор використовується для вирішення проблеми, на яку слід надати йому відповідь низхідній лінії зв'язку, коли багато шлюзів отримують один і той же пакет висхідної лінії зв'язку.

Контролер маршрутизації створює команду для управління шлюзами. Коли мережа працює в широкому діапазоні структури, іноді трапляється високий тиск у одному із шлюзів. Він викликаний багатьма вузлами, скупченими на невеликій площі. Контролери маршрутизації будуть активно розгортати їх, поділяючи тиск із сусідніми шлюзами. Коли мережа працює в режимі стільникової структури, контролери маршрутизації будуть стежити за тим, в якій комірці знаходиться вузол, і призначатимуть частоту, встановлену для цього вузла [17].

Пакети висхідної та низхідної лінії зв'язку, збережені в базі даних, зручні для доступу користувачів, інтерфейс бази даних реалізує доступ пакетів з сервера баз даних. Оскільки доступ до бази даних повільний, також потрібен буфер, це призведе до попереднього завантаження пакету [7, 13].

Сервер даних та інтерфейс користувача

Сервер даних використовується для підтримки роботи бази даних, пакети висхідної лінії зв'язку та низхідній лінії зв'язку зберігаються в базі даних, а також забезпечує обмін даними для системи з користувачами. Таблиці в базі даних можуть зберігати зашифровані чи прямо корисні навантаження, це залежить від вимог користувача. Якщо користувач не побудує сервер для дешифрування пакетів та відповідь на запит приєднання вузла, розшифровка пакета буде виконана на сервері даних, йому потрібна дата оновлення користувача, ключ для розшифровки та несприятливий для конфіденційності. Коли у користувача є сервер шифрування та дешифрування, база даних зберігатиме зашифровані корисні навантаження. Крім корисного навантаження, фізичні параметри LoRa також зберігаються в таблицях. У табл. 2.7 наведені деталі.

Структура даних пакетів висхідної та низхідної лінії зв'язку

Uplink																
serialNumber	receiveTime	packetNumber	channelFrequency	bandWidth	modulation	sf	codeRate	RSSI	SNR	MACPayload	FPort	MACCommand	FRMPayload	ADR	ADRACKReq	ACK
1	1522076557	0	869700000	3	16	16	1	-118.00	-2.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	0
2	1522077044	0	869700000	3	16	16	1	-118.00	-9.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	0
3	1522077349	1	868300000	3	16	16	1	-118.00	-13.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
4	1522077976	3	868100000	3	16	16	1	-121.00	-9.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	0
5	1522078281	4	868500000	3	16	16	1	-115.00	-9.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
6	1522078586	5	869700000	3	16	16	1	-120.00	-7.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
7	1522078891	6	869900000	3	16	16	1	-126.00	-11.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
8	1522079203	7	869900000	3	16	16	1	-121.00	-12.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
9	1522079508	8	869700000	3	16	16	1	-118.00	-7.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
10	1522079813	9	868300000	3	16	16	1	-119.00	-11.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
11	1522080128	10	868500000	3	16	16	1	-113.00	-12.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	0
12	1522080433	11	868500000	3	16	16	1	-120.00	-12.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
13	1522080738	12	868300000	3	16	16	1	-115.00	-11.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
14	1522081048	13	868100000	3	16	16	1	-121.00	-11.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
15	1522081353	14	869100000	3	16	16	1	-121.00	-8.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
16	1522081658	15	869700000	3	16	16	1	-119.00	-8.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
17	1522081963	16	869100000	3	16	16	1	-121.00	-9.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
18	1522082268	17	868100000	3	16	16	1	-118.00	-12.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
19	1522082573	18	869700000	3	16	16	1	-120.00	-7.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
20	1522082878	19	868500000	3	16	16	1	-119.00	-13.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
21	1522083183	20	869900000	3	16	16	1	-120.00	-12.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
22	1522083488	21	868300000	3	16	16	1	-119.00	-12.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
23	1522083798	22	869700000	3	16	16	1	-118.00	-8.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
24	1522084103	23	869900000	3	16	16	1	-123.00	-12.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
25	1522084408	24	869900000	3	16	16	1	-121.00	-12.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
26	1522084713	25	869100000	3	16	16	1	-120.00	-9.00	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
27	1522085023	26	869900000	3	16	16	1	-121.00	-12.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
28	1522085328	27	869700000	3	16	16	1	-119.00	-9.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
29	1522085633	28	869100000	3	16	16	1	-119.00	-8.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
30	1522085942	29	869700000	3	16	16	1	-120.00	-8.50	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
31	1522086252	30	868100000	3	16	16	1	-120.00	-12.25	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1
32	1522086562	31	869100000	3	16	16	1	-119.00	-8.75	RL00	1	NULL	RL00	0	0	1

Downlink																
serialNumber	channelFrequency	TxPower	modulation	bandWidth	sf	codeRate	fPort	payload	fopts	ADR	ADRACKReq	ack	fPending	sendCntFlag		
1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1	RL00	RL00	NULL	NULL	NULL	NULL	632		
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL		

Кожен вузол має дві таблиці в базі даних, окремо для пакетів висхідної та низхідної лінії зв'язку. Для таблиці пакетів низхідній лінії зв'язку фізичні параметри LoRa - це встановлення чіпа базової смуги при відправці пакету. Ці елементи повинні бути порожніми, якщо це не особливі вимоги, тому що пакет низхідній лінії зв'язку повинен використовувати ті ж параметри, що і висхідна лінія, щоб забезпечити, щоб вузол міг отримувати дані відповідно до протоколу LoRa, порожній параметр означає, що це те саме значення з висхідною лінією. SendCntFlag є унікальним в пакеті низхідній лінії зв'язку таблиці, він використовується для позначення кількості раз той же пакет повинен бути відправлений повторно. Якщо цей біт дорівнює 0, значить не надсилати.

Є два способи отримання або надсилання даних користувачами, використання API в програмі або відвідування веб-сторінки. Якщо користувачеві потрібно встановити верхню програму, може бути використаний інтерфейс бази даних. Запит або вставлення даних у таблицю можна здійснювати через

інтерфейс. Якщо користувачі хочуть лише запитувати дані або налаштувати мережу, вони можуть увійти на веб-сторінку, виконати відповідні дії [12, 19].

2.4. Ефективність сенсорної інфраструктури міста з використанням технології LoraWAN

У цьому розділі буде показано ефективність універсальної платформи, яка включає зону покриття мережі, споживання енергії супровідного вузла та функції.

Площа покриття

- Найдальша передача єдиного шлюзу

Вимірюється прямолінійна відстань зв'язку між одним шлюзом та пристроєм. Площа вимірювання показана на рис. 2.25.

Шлюз розміщується в центральній точці. Значення RSSI (показник рівня потужності сигналу на вході антени приймача), що надходить до антени отриманих пакетів вимірюються зі сходу на захід. Поки відстань не надто далеко, щоб не отримати дані. Результати вимірювання вздовж східної сторони наведені в табл. 2.8 та на рис. 2.31.

Таблиця 2.8.

Значення RSSI різної відстані (схід)

Потужність передачі: 10 дБм (схід)			
Відстань (м)	RSSI (дБм)	Відстань (м)	RSSI (дБм)
201	-93,9	802	-114
244	-90	908	-112,5
312	-88,2	1001	-112,7
359	-97,5	1106	-109
395	-95,9	1202	-111
453	-95,4	1307	-117,3
499	-99,8	1414	-118,5

536	-109.1	1520	-118.2
605	-107	1607	-118,5
688	-116.3	1697	-119.6

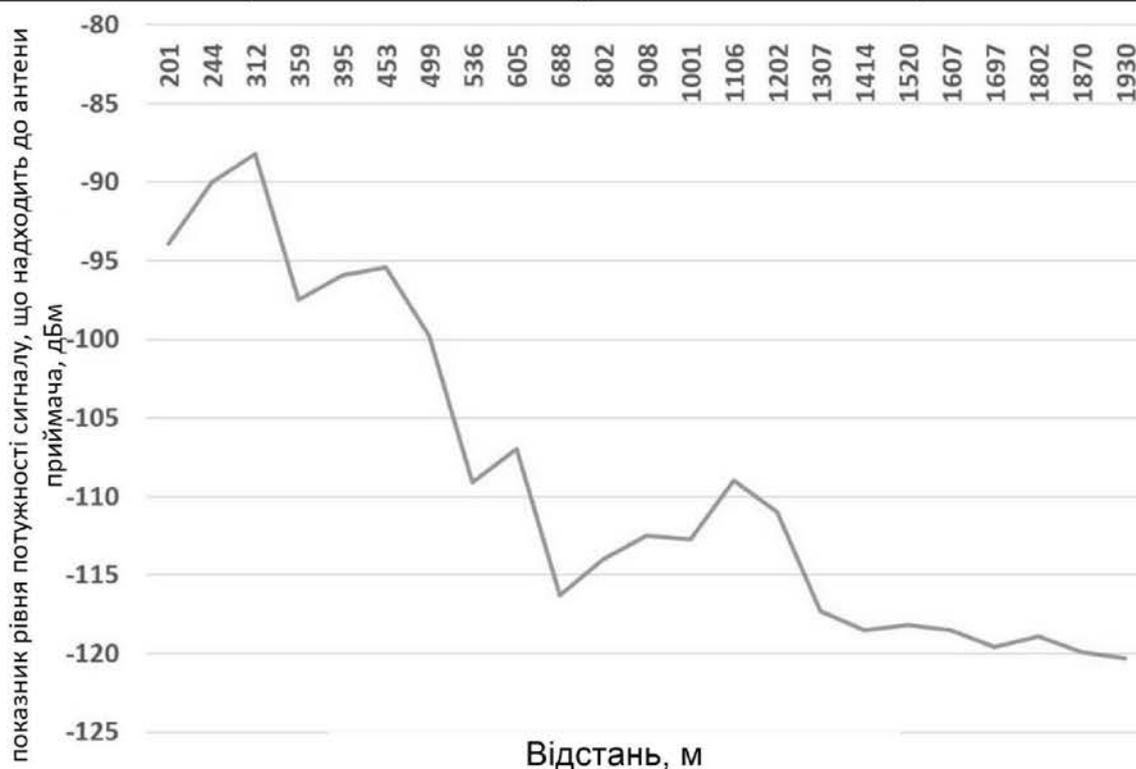


Рисунок 2.31. Значення RSSI різної відстані (схід)

Потужність передачі становить 10 дБм, а отриманий RSSI зменшується в міру збільшення відстані. Обмеження RSSI приймача становить приблизно -120 дБм, найдовша відстань передачі - близько 2 км. У західній частині вимірювань, проведених нами, результати показані на рисунку 2.32 та табл. 2.9.

Таблиця 2.9 .

Значення RSSI різної відстані (захід)

Потужність передачі: 10 дБм (Захід)			
Відстань (м)	RSSI (дБм)	Відстань (м)	RSSI (дБм)

198	-89,36	1501	-112
301	-90,64	1602	-112,44
404	-91,55	1807	-111,33
499	-97,1	1906	-111,71
601	-102,9	2012	-115,25
700	-100.1	2098	-117,33
801	-101.2	2202	-116,75
902	-111.13	2302	-117,5
1103	-116	2403	-115,78
1205	-112,33	2505	-112,33
1300	-115	2608	-113,57
1404	-109,75	2800	-119

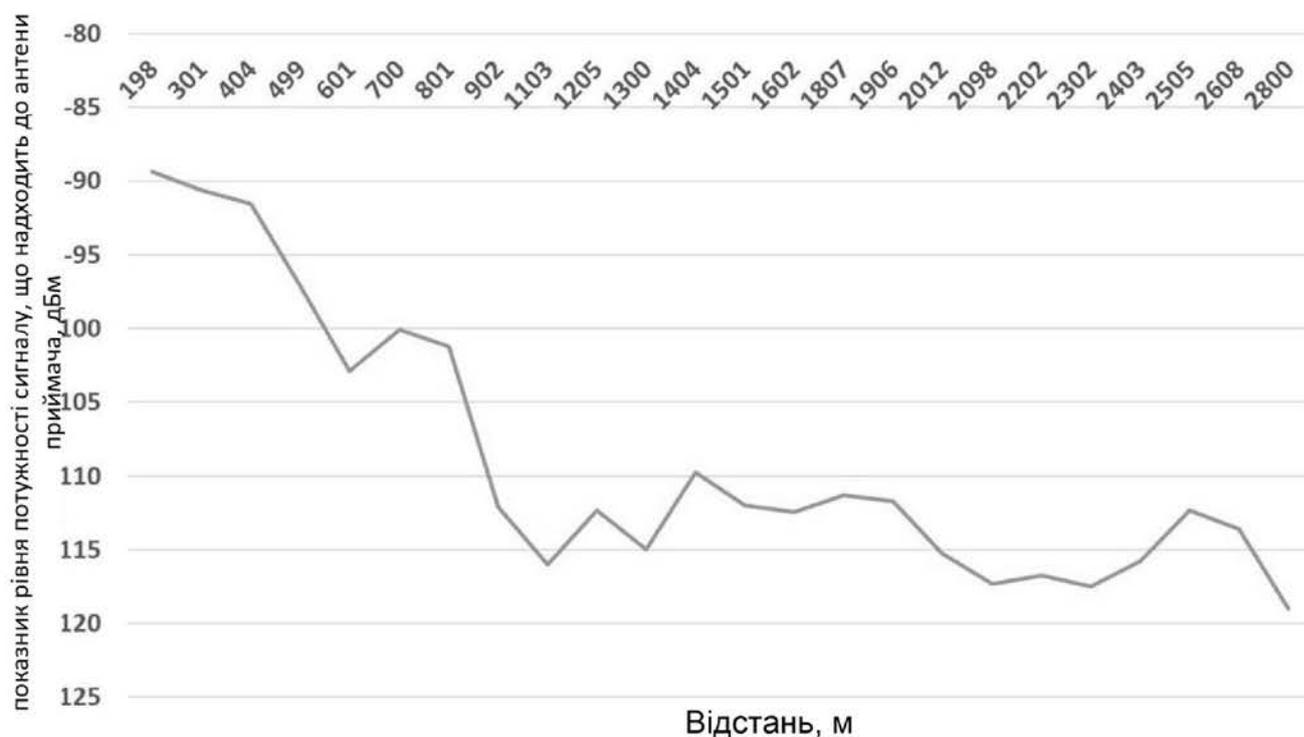


Рисунок 2.32. Значення RSSI різної відстані (захід)

На західній стороні максимальна відстань передачі може становити приблизно 3 км.

- 1. Площа покриття одного шлюзу

Вимірювання площі покриття завершено в місті. Було обрано 27 шлюзів та класифікували їх на 5 різних груп за місцевістю.

Вимірювальні показники в групі 1 встановлені в центрі міста, це більша щільність забудови, ніж інша дослідна площа. Група 2 знаходиться в передмісті, і там не більше будівель. Група 3 є околицею і має велику відстань від шлюзу. Група 4 знаходиться на височині, вона вище за шлюз. 5 група - біля річки Дніпро.

Єдиний шлюз LoRaWAN може охоплювати територію міста разом з річкою, але він не може охопити передмістя.

- IoT-мережа

Для використання розумних міських додатків у місті Київ (житловий масив Русанівка) потрібна мережа, що складається з декількох шлюзів. На рис. 2.33 показана область, яка нас цікавить, де розгорнуті програми.

Дослідження, скільки потрібних шлюзів та де їх розподіл важливо для економії витрат та підвищення продуктивності. Найдовша комунікаційна відстань одного шлюзу - приблизно 2-3 км, вона зменшиться зі збільшенням щільності будівель. Накрити територію багатьма колами радіусу 2 км - це спосіб отримати кількість шлюзів, як мінімум. Результат показаний на рис. 2.34. Теоретично достатньо шести шлюзів (базових станцій).

Дійсне розташування та область покриття показані на рис. 2.35, зелена зона - це фактичне покриття, а синя - очікувана. Місце фактичного розгортання дещо відрегульовано відповідно до географічних умов, і розгорнутий шлюз зазвичай досягає очікуваної зони покриття. №3 шлюз не може бути встановлений причиною того, що є реальною справою, тому невелика частина північно-західної області не може бути охоплена. Місце установки шлюзу №1 нижче, а місцевість - у долині, тому хороших показників немає, решта шлюзів може працювати, як очікувалося.

Окрім запланованих шести шлюзів, у центрі Русановки (міста) були розміщені два додаткові, шлюз 7 та 8. Це полягає в підготовці до переходу на мережу стільникової структури, коли кількість вузлів занадто велика, а також компенсувати ослаблення сигналу, викликане збільшенням щільності будівель, а також перешкод, коли мережа працює в режимі структури широкої області.

Споживання енергії

Відповідно до динамічного керування, яке описано в розділі 2.3, користувачі можуть встановлювати ці параметри в Інтернеті. На рис. 2.36 показана сторінка налаштувань, у табл. 2.10 - тестові настройки, результати показані нижче.

Таблиця 2.10.

Параметри налаштування вузла датчика

Параметри вузла датчика			
Клас	Споживання енергії	Елемент налаштування	Значення

Ввімкнути	50.072 мкА	Енергія	50.072 мкА
		Час	0,75 с
Зразок датчика	*	Енергія	*
		Час	*
Обробка даних	*	Енергія	*
		Час	*
Надіслати пакет	111,17 мкА	Фактор поширення	SF 10
		$a_{SF}(SF10)$	0,0076
		P_{TX}	176,84
		B (заголовок)	70,85
Надіслати в очікуванні	9 мкА	Потужність	1,8 мВт
		Час	5 с
Отримати в очікуванні	35,774 мкА	Потужність	35,774 мВт
		Час	1 с
Отримайте 1	64,04 мкА	Фактор поширення	SF 10
		$e_{SF}(SF10)$	0..5562
		P_{TX}	47.36
		B (заголовок)	70,21

Продовження таблиці 2.10.

Параметри налаштування вузла датчика

Параметри вузла датчика			
Клас	Споживання енергії	Елемент налаштування	Значення
Отримайте 2	27,62 мкА	Енергія	27,62 мкА
		Час	0,43 с
Закрити	6,31 мкА	Енергія	6,31 мкА
		Час	0,46 с

Вимкнено	360 мкА	Потужність	0,1 мВт
		Час	3600 с

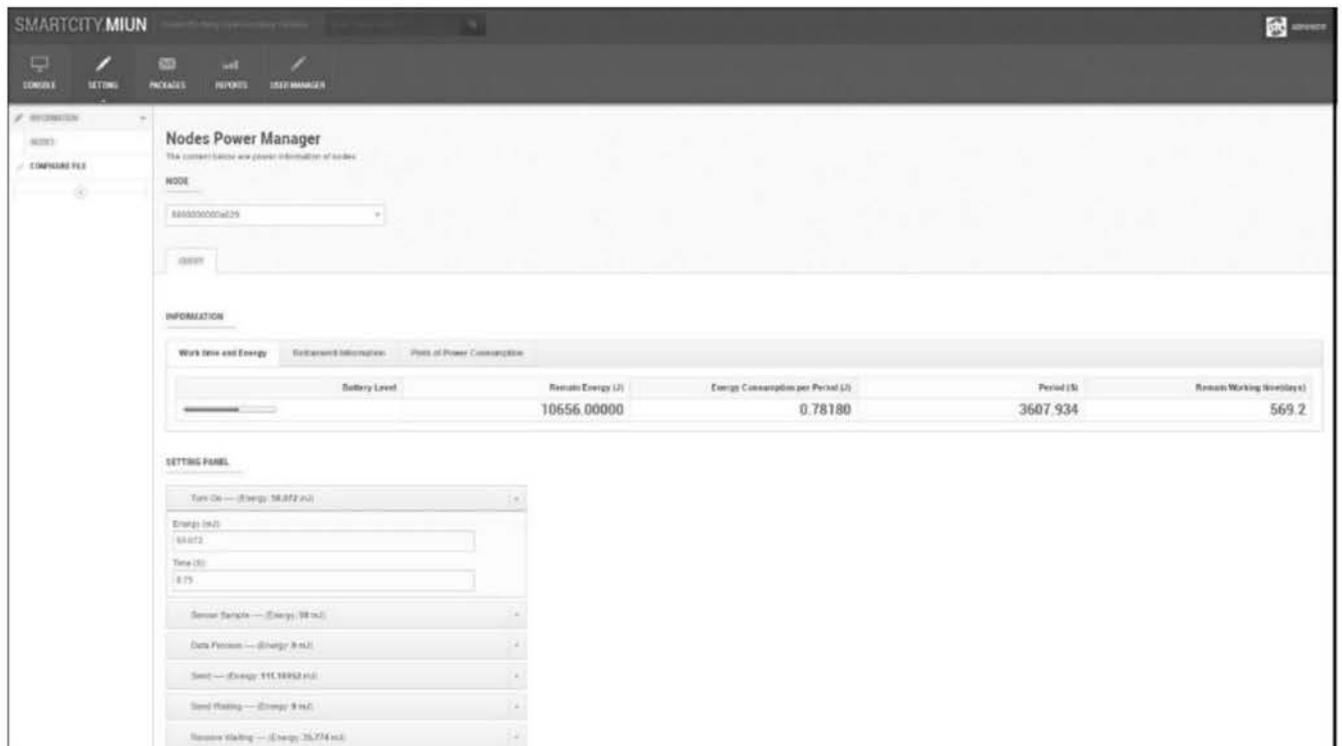


Рисунок 2.36. Панель налаштування динамічної ручки

На рис. 2.37 показано загальне споживання енергії системи при різних швидкостях втрат пакетів при зміні часу сну.

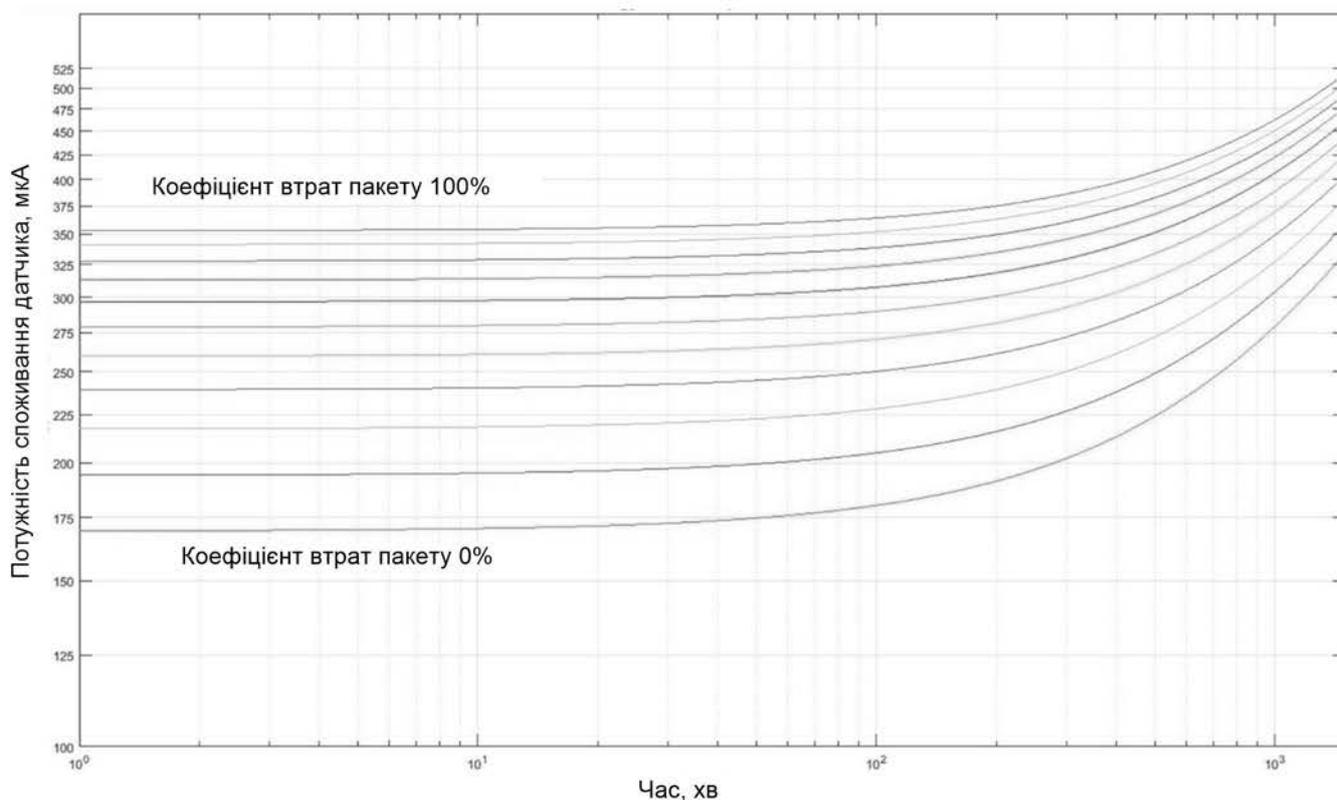


Рисунок 2.37. Споживана потужність датчика

Ми можемо побачити значні зміни споживання енергії в різних умовах, динамічне управління може досягти енергозбереження

Інтерфейс користувача

- Запит пакетних пакетів

Користувачі можуть запитувати пакети онлайн після входу. Інтерфейс показаний на рис. 2.38.

CD використовується для вибору пристрою за MAC-адресою. Компакт-диск - це панель для зміни параметра налаштування запиту, користувачі можуть вибирати кількість пакетів, які користувачі хочуть запитувати, і вмикати функцію автоматичного оновлення. Результат запиту відображається у windowCD. Користувачі також можуть видалити там пакети.

- Встановлення корисного навантаження по низхідній лінії

Користувачі можуть безпосередньо встановити корисне навантаження пакету низхідної лінії в Інтернеті. Інтерфейс налаштування показаний на рис. 2.39.

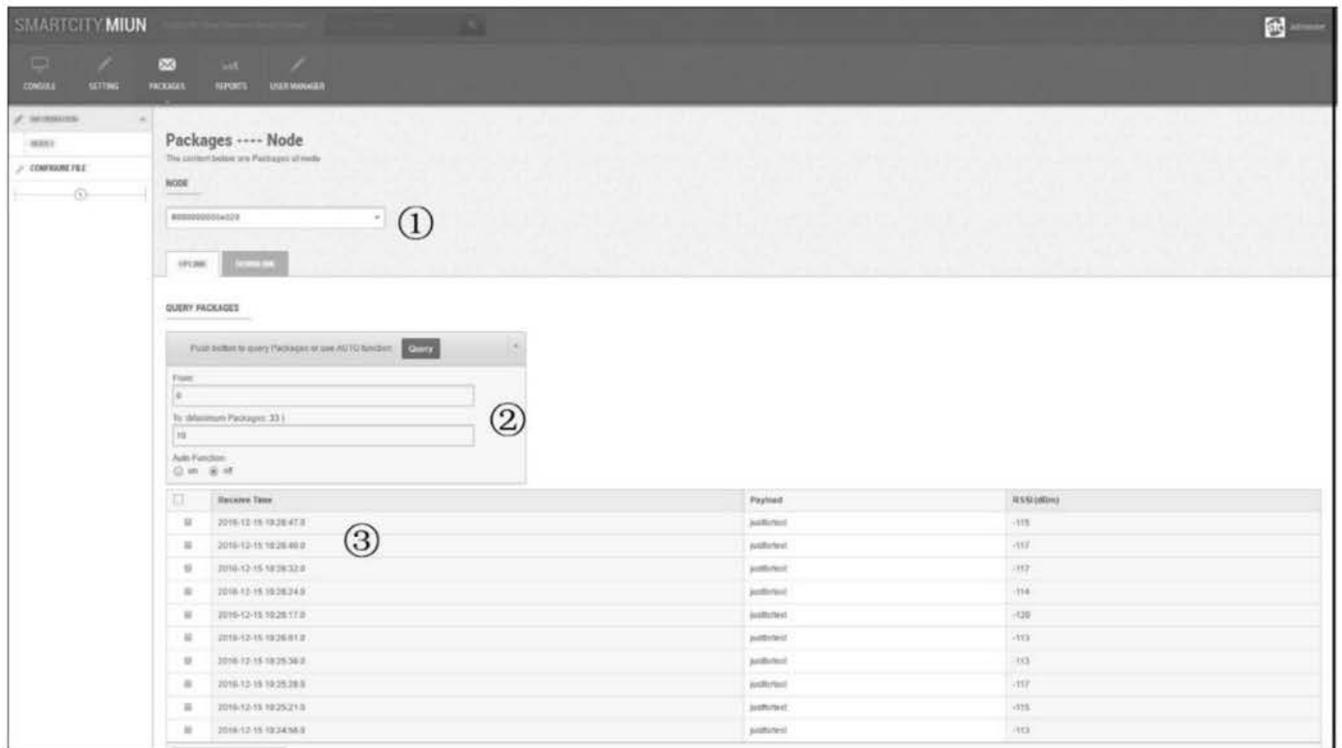


Рисунок 2.38. Інтерфейс користувача на запит пакета

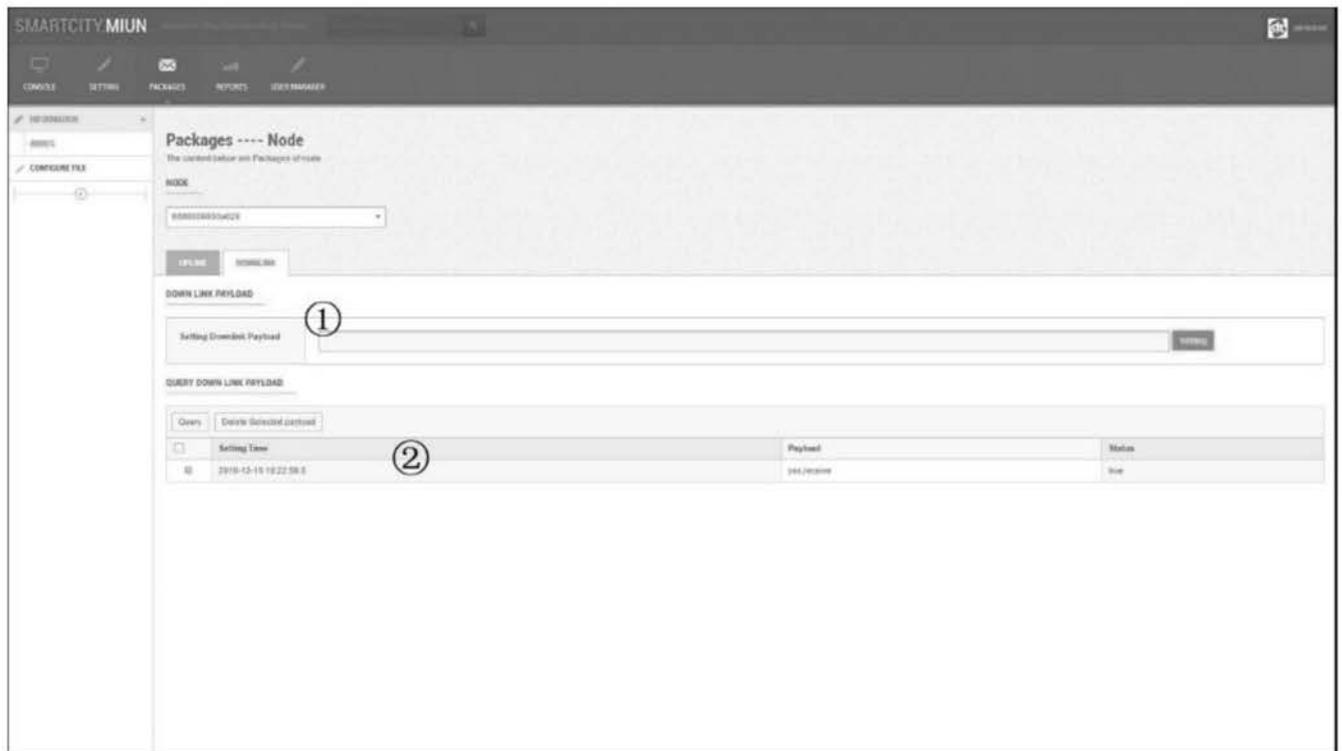


Рисунок 2.39. Налаштування інтерфейсу корисного навантаження для низхідній лінії зв'язку

Вміст можна ввести в 1, вікно 2 можна використовувати для запиту всіх

параметрів пакету низхідній лінії зв'язку та його стану.

- Управління користувачами

На рисунку 2.40 показаний інтерфейс управління користувачем, лише адміністратор може входити в інтерфейс управління користувачем, він призначений для визначення, видалення пристрою існуючим користувачем або додавання нових користувачів.

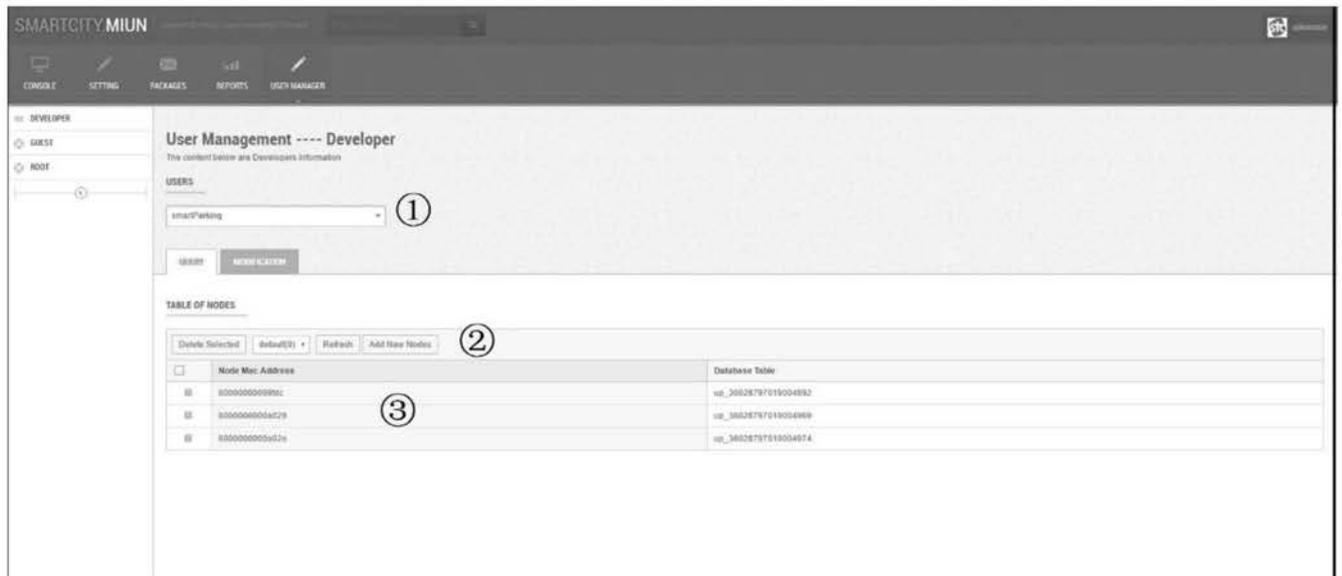


Рисунок 2.40. Інтерфейс управління користувачем

Адміністратор може вибрати наявного користувача у 1 і вибрати призначений пристрій в 1. У вікні 3 показані пристрої, призначені користувачеві, призначені пристрої також можна видалити.

Інтерфейс реєстрації нових користувачів показаний на рис. 2.41. Зареєстрований акаунт може бути використаний після авторизації.

База даних

У базі даних кожен вузол має дві таблиці даних для управління даними висхідної лінії зв'язку та даними низхідній лінії зв'язку. Це показано на рис. 2.42, є три стовпці, які є корисним навантаженням, статусом та часом завантаження, і ця інформація буде автоматично прочитана або записана сервером.

Welcome
SMARTCITY.MIUN

User Name

Password

Confirm Password

Invitation code

Create account

Copyright © 2016 Miun Smart City Project All rights reserved.

Рисунок 2.41. Новий інтерфейс реєстрації облікових записів

Column	Type	Default Value	Nullable	Character Set	Collation	Privileges
payload	char(128)	default	NO	latin1	latin1_swedish_d	select,insert,update,references
isUpload	tinyint(1)	0	YES			select,insert,update,references
uploadTime	timestamp	CURRENT_TIMESTA...	YES			select,insert,update,references

Рисунок 2.42. Таблиці висхідної лінії в базі даних

Структура таблиці висхідній лінії зв'язку показана на рис. 2.43, він записує корисне навантаження, час прийому і RSSI прийнятого пакета. Користувач може запитувати дані, інші операції повинні виконувати адміністратор та сервер.

Column	Type	Default Value	Nullable	Character Set	Collation	Privileges
receiveDatetime	datetime		NO			select
payload	varchar(255)		NO	latin1	latin1_swedish_d	select
rsssi	decimal(5,2)		NO			select

Рисунок 2.43. Таблиці низхідної лінії в базі даних

3. ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ В ПРОГРАМИ SMART CITY

3.1. Застосування додатку “Розумна парковка”

У цьому розділі розглядається додаток, що працює на цій платформі (“Розумна парковка”). Цей додаток може допомогти користувачам знайти безкоштовну зону паркування, а водії можуть перевірити її за допомогою смартфона. Нижче характеризується ця платформа в трьох аспектах.

На рис. 3.1, датчик вимірювання відстані використовується для виявлення ситуації в зоні паркування в цій програмі, це SHARP GP2Y0A02YKOF. Діапазон вимірювання становить від 10 до 200 см при живленні 3,3 В постійного струму. Середній робочий струм менше 25 мА, з його допомогою можна реалізувати низьке споживання енергії та точне вимірювання [8, 9].

Модулем бездротового зв'язку є MTDOT-868-X1P-SMA-1, який інтегрує мікросхему та мікропроцесори LoRaWAN. Струм сну модуля становить майже 40 мкА.

Система побудована на платформі LoRa-IoT, програма обслуговування додатків була встановлена у верхньому шарі, структура показана на рис. 3.2, вона взаємодіє з сервером IoT через інтерфейс бази даних.

Клієнтська сторона, що працює в ОС Android, що показано на рис. 3.3, це співпраця з програмою обслуговування Smart Parking, щоб вказати, де є безкоштовна зона паркування.

Якщо стан такий же, як і попередній, вузол не надсилатиме даних і перейде в режим очікування. Інший стан буде керувати вузлом, що надсилає дані на сервер. Сервер оновлює свою базу даних і передають повідомлення користувачам.

Виберіть SF крок за кроком, щоб отримати відповідне значення при русі на SF10, швидкість успіху становить майже 70%. Після збільшення його до SF10 значення вище 90%, воно може задовольнити вимогу, а SF10 - оптимальне значення [1].

Споживання енергії вузла показано на рис. 3.4, що відкриває два вікна прийому і досягає стану найвищої потужності. Етап вибірки витрачає 0,01 мАг за цикл, що займає 1,84 секунди. Передача даних споживає 0,04 мАг та займає 4,5 с. Час очікування 5 хв, а середній струм споживання 40 мкА. Нарешті, після обчислення, вузол може працювати 146 днів, це, як правило, можливо для додатків.

3.2. Застосування системи сигналізації про перевантаження дренажу

Цей додаток повинен контролювати, чи працює дренажна труба належним чином у місті. Коли дренаж перевантажений, оскільки кількість опадів збільшується або з якоїсь іншої причини, система тривожить і повідомляє про поточне значення. Конструкція показана на рис. 3.5 (зліва).

Пристрої, встановлені всередині колодязя (показано на рис. 3.5 праворуч), куди стікає стічна вода. Нормальна ситуація під свердловиною показана на рис. 3.5 (знизу). У випадку перевантаження, вода буде над дном пристрої (рис. 3.5 зверху), і пристрій виявить рівень води і згенерує сигнал тривоги в цей час.

Рівень води нижчий від дна моніторингового пристрою в нормі, а пристрій знаходиться в сплячому режимі. При перевантаженні рівень води буде вище, ніж перемикач плавучості, де знаходиться під пристроєм. Перемикач плавучості розбудить пристрій і надішле сповіщення серверу. Пристрій періодично зчитує рівень води і зберігає його в буфері, всі дані будуть надсилатися серверу, коли буфер заповнений. Процес триватиме до припинення перевантаження [9].

Ця програма запускається подією та часом, термін служби не може бути оцінений, коли пристрій живиться від батареї. Різні робочі стани та споживання струму показано на рис. 3.7. Пристрій використовує CMWX1ZZABZ-091 LORA SoC, який інтегрує SX1276 LORA чіп, з низьким споживанням струму, коли він працює в режимі сну. Мікросхема майже працює в режимі сну, коли не виникає

перевантаження, щоб отримати довший термін служби, оскільки низький рівень споживання [18].

Погане середовище спілкування є проблемою для цієї програми. Антена розміщена в зазорі кришки свердловини, вона знаходиться дуже близько до землі, викликаючи сигнал слабкий і сприйнятливий до перешкод, передача пакетної передачі з ADR (Адаптивна швидкість передачі даних) для поліпшення якості передачі в цьому додатку. Зміна швидкості передачі даних буде слідувати комунікаційному середовищу в той час.

ВИСНОВКИ

LoRaWAN як основна комунікаційна технологія для досягнення розумних міських прикладних програм дає хороший результат у реальному середовищі. Для загальних застосувань сенсорні вузли можуть безпосередньо отримувати доступ до мережі LoRa для завершення вибірки та відправки інформації, це економічне та ефективне рішення. Для застосувань із особливими вимогами, такими як висока щільність вузла або висока швидкість передачі даних, деяка мережа короткої та швидкої бездротової мережі може використовуватися як підмережа в LoRa для компенсації недоліків.

У роботі представлено потреби розумних міських додатків та поточна розробка мікроконтролерів, бездротового зв'язку, датчиків та інших технологій. Потім проаналізована важливість IoT для реалізації додатків Smart City.

Далі порівнюються та аналізуються характеристики багатьох різних додатків Smart City, які залежать від досліджень різних посилань. Це є результатом попереднього дослідження, щоб визначити які комунікаційні технології будуть адаптовані до різних додатків. Було описано, як створити цю розумну платформу IoT для міста за допомогою технології LoRaWAN. Сюди входять системні компоненти, функції, реалізація та результати. Основна увага приділяється використанню характеристик технології LoRaWAN для оптимізації роботи розумних міських додатків, а також описані деякі рішення та пропозиції.

Останній розділ показує дві програми, що працюють у цій системі. Це для того, щоб представити продуктивність та особливості системи. Додатки - це Системи інтелектуального паркування та Системи контролю за переливом каналізації. Вони є представниками загальних програм для розумних міст.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Балькін Г.Ф., Заплотинський Б.А. Управління якістю послуг в телекомунікаціях // Зв'язок . – 2009. – №1-2. – С. 37-43.
2. Вильям Столлингс. Беспроводные линии связи и сети / Столлингс Вильям – Москва: Вильямс, 2003. - 639 с.
3. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009, - с. 472
4. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб. : Питер., 2011. — 944 с.
5. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко – Киев: ЕКМО, 2009. - 627 с.
6. Goodall V. The Penguin Dictionary of Human Geography. – London : Penguin, 1987. – 512 p.
7. Eldad Perahia, Robert Stacey Next Generation Wireless LANs // Cambridge University Press, 2013, 416 с.
8. Urban Sustainability in Theory and Practice: Circles of Sustainability / J. Paul, M. Liam, S. Andy, S. Manfred. – London : Routledge. – pp. 28, 30.
9. Dargie W. Modelling the energy cost of a fully operational wireless sensor network [Електронний ресурс] / Dargie W., Chao X., Denko M. K. – 2010. – Telecommunication Systems. - 44(1–2). – P. 3 –15. – Режим доступу : https://www.researchgate.net/publication/220145409_Modelling_the_energy_cost_of_a_fully_operational_wireless_sensor_network.
10. Mitchell W. "Intelligent cities" [Електронний ресурс]. e-Journal on the Knowledge Society. – Режим доступу : <http://uocpapers.uoc.edu/uocpapers/5/dt/eng/mitchell.pdf>. (12.11.2019 р.).
11. From Machine-to-Machine to the Internet of Things Introduction to a New Age of Intelligence / [Електронний ресурс] J. Höller, V. Tsiatsis, C. Mulligan [та ін.] .

– Elsevier. – Режим доступа : http://www.mforum.ru/arc/iot-book_compressed_MForum.pdf (03.12.2019).

12. ICT and 65 sustainability in smartcities management [Электронный ресурс] / F. Bifulco, M. Tregua, C. Amitrano, A. D'Auria. – International Journal of Public Sector Management. – 2016. - 29(2). – 132-147. – Режим доступа : <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPSM-07-2015-0132/full/html> (11.11.2019 р.).

13. Smart City Architecture and its Applications Based on IoT [Электронный ресурс] / A. Gaur, B. Scotney, G. Parr, S. McClean. – 2015. – Procedia Computer Science. – № 52 – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915009229> (07.08.2019 р.).

14. K. Rath and J. Uddenfeldt, “Capacity of digital cellular TDMA systems,” IEEE Trans. Veh. Tech., pp. 323-332, May 1991.

15. Olenewa J. Wireless# Guide to Wireless Communications / J. Olenewa, M. Ciampa. – Вид. 2-ге. – Boston : THOMSON COURSE TECHNOLOGY. – 500 с.

16. On the capacity of a cellular CDMA system / Gilhousen K. S., Jacobs I. M., Padovani R., Viterbi A. J., Weaver L. A., Jr., Wheatley C. E. III. - IEEE Trans. Veh. Tech. – 1991. – May с. 303–312.

17. Dargie W. C. Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice [Электронный ресурс] / Waltenege Dargie, Christian Poellabauer. - Dresden, Germany: Technical University. – 2010. – Режим доступа : https://www.academia.edu/6224881/Fundamentals_of_Wireless_Sensor_Networks_Theory_and_Practice_Wireless_Communications_and_Mobile_Computing (03.12.2019 р.).

18. Sohraby, K. Wireless Sensor Networks Technology, Protocols, and Applications / K. Sohraby, D. Minoli, T. Znati. – New York : John Wiley & Sons. – 2007. – 471 с.

19. Yick J. Wireless sensor network survey / J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal // Comput. Netw. = 2008. – Том 52. = № 52. = С. 2292-2330.