

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет

імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____ І.М. Журавська

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Енергоефективний автономний комплекс
визначення місцеположення на базі LoRa**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.ПЗ.00 – 405.22010502

Студент

_____ Д. С. Баженов
підпис

«__» _____ 202__ р.

Керівник ст. викладач

_____ Є. С. Дарнапук
підпис

«__» _____ 202__ р.

Миколаїв – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ І. М. Журавська

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук

Баженову Дмитру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 30.01.2024 № 17.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи « _____ » _____ 20__ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні
Предметна сфера визначення місцезнаходження людини або об'єкта, технічні характеристики ESP8266 та Arduino, програмне забезпечення для визначення місцезнаходження.

4. Перелік питань, що підлягають розробці

- аналіз предметної сфери визначення місцезнаходження об'єкту та дослідження існуючої технології;
- обґрунтування вибору технологій та засобів розробки комплексу моніторингу на базі мікроконтролера ESP8266;
- розробка та здійснення програмної реалізації комплексу визначення місцеположення людини та обробка отриманих даних.

5. Перелік графічних матеріалів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КР	11.12.23	12.12.23	Виконав
2	Огляд літератури за темою роботи	15.01.24	18.02.24	Виконав
3	Складання календарного плану БКР	19.02.24	06.03.24	Виконав
4	Аналіз предметної області	19.02.24	04.03.24	Виконав
5	Розробка проєктних рішень	23.02.24	09.03.24	Виконав
6	Моделювання та конструювання АПЗ	20.02.24	27.02.24	Виконав
7	Перевірка працездатності, тестування та апробація розробленого АПЗ, аналіз результатів тестування	01.03.24	04.03.24	Виконав
8	Відгук керівника КР	09.03.24	07.04.24	Виконав
9	Оформлення БКР та презентації	15.03.24	21.04.24	Виконав
10	Попередній захист	13.06.24	13.06.24	Виконав
11	Рецензування	12.05.24	20.05.24	Виконав
12	Завершення оформлення КР та презентації	13.06.24	13.06.24	Виконав
13	Захист бакалаврської кваліфікаційної роботи	24.06.24		

Розробив здобувач ВО Баженов Д. С.
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник роботи ст. викладач Дарнапук Є. С.
(посада, прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)
« ____ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

«Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa»

Студент 405 гр.: Баженов Дмитро Сергійович

Керівник: ст. викладач Дарнапук Євген Сергійович

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена розробці та здійсненню програмної реалізації комплексу визначення місцеположення на базі LoRa.

Практична значимість - можливість мати інформацію про місцезнаходження об'єкта в прямому ефірі.

Об'єкт роботи - процес визначення місцеположення людини.

Предмет роботи - програмні засоби, методи та алгоритми визначення місцеположення з використанням мікроконтролера ESP8266.

Мета роботи - створення енергоефективного комплексу визначення місцеположення, який забезпечує передачу місцеположення у реальному часі.

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з фахової та спеціальної частини з охорони праці. Пояснювальна записка фахової частини складається зі вступу, трьох розділів, висновків та додатків. У роботі представлено дослідження системи визначення місцеположення на базі мікроконтролера ESP8266. Акцент робиться на можливості передавати місцеположення об'єкта на максимально допустимій відстані.

Ключові слова: місцеположення, LoRa, ESP8266, передача даних, бездротові технології.

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

«An energy-efficient autonomous complex of location
determination based on LoRa»

Student: Bazhenov Dmytro Serhiyovych

Supervisor: Senior Lecturer Darnapuk Yevhen Serhiyovych

The bachelor's qualification work is devoted to the development and implementation of the software implementation of the LoRa-based location determination complex.

Practical significance is the ability to have information about the location of the object live.

The object of the work is the process of determining the location of a person.

The subject of the work is software tools, methods and algorithms for location determination using the ESP8266 microcontroller.

The goal of the work is to develop an energy-efficient location determination complex that provides real-time location transmission.

The bachelor's qualification work consists of a professional and special part on labor protection. The explanatory note of the professional part consists of an introduction, three sections, conclusions and appendices. The paper presents a study of the location determination system based on the ESP8266 microcontroller. Emphasis is placed on the ability to transmit the location of the object at the maximum permissible distance.

Keywords: location, LoRa, ESP8266, data transfer, wireless technologies.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП	5
1 ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LoRa	7
1.1 Опис LoRa.....	7
1.2 Опис LoRaWAN	9
1.3 Функціональні можливості	10
1.4 Недоліки LoRa.....	11
1.5 Технології подібні LoRa.....	13
1.6 Аналіз наявних технологій та концепт комплексу.....	18
Висновки до розділу 1	19
2 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ GPS-ТРЕКЕРУ	20
2.1 Специфікація матеріалів	20
2.2 Конструкція та схема частини передавача	30
2.3 Конструкція та схема частини приймача	32
2.4 Проектування друкованих плат, файли Gerber	34
Висновки до розділу 2	36
3 Розробка програмного забезпечення.....	38
3.1 Збірка компонентів	38
3.2 Налаштування додатку Vlynk	40
3.3 Код Передавача	44
3.4 Код приймача	45
3.5 Тестування та демонстрація місцезнаходження GPS.....	47

Висновки до розділу 3	48
ВИСНОВКИ.....	50
ДОДАТОК А Довідка про перевірку на унікальність пояснювальної записки ..	54
ДОДАТОК Б Код Передавача.....	55
ДОДАТОК В Код Приймача.....	58

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДСТУ – Державний стандарт України

ССКД – Єдина система конструкторської документації

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа

СКС – структурована кабельна система

ПЗ – програмне забезпечення

Р – робоча документація

LoRa – Технологія модуляції

IoT – Інтернет речей

ВСТУП

Написання дипломної роботи з теми "Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa" залишається актуальним, особливо в контексті зростаючої уваги до енергоефективних технологій та інтернету речей (IoT). LoRa - це один із протоколів бездротового зв'язку, який відомий своєю дальністю передачі даних та низьким енергоспоживанням.

Використання його для визначення місцеположення в автономних комплексах може бути дуже ефективним, особливо в контексті сенсорних мереж та систем моніторингу.

Під час написання дипломної роботи можна досліджувати різні аспекти, такі як розробка алгоритмів визначення місцеположення, оптимізація енергоспоживання, вивчення протоколу LoRa та його можливостей у контексті IoT. Така практика дозволить отримати цінний досвід у розробці та впровадженні сучасних технологій для створення ефективних автономних систем.

Тема "Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa" для кваліфікаційної роботи залишається дуже актуальною і цікавою в контексті сучасних тенденцій розвитку технологій. Ось кілька причин, чому вона є актуальною:

1) Енергоефективність: В умовах зростаючих екологічних проблем та зростаючого попиту на енергоефективні технології, розробка енергоефективного автономного комплексу є актуальною та значущою.

2) IoT та LoRa: Інтернет речей (IoT) швидко розвивається, а протокол LoRa є однією з ключових технологій для забезпечення зв'язку в бездротових мережах IoT. Використання LoRa для визначення місцеположення в автономних системах має великий потенціал.

3) Місцезнаходження: Проблеми визначення місцезнаходження є важливими в багатьох сферах, таких як транспорт, логістика, моніторинг активів

тощо. Розробка ефективних систем визначення місцеположення може мати велике значення для різних галузей.

4) Автономність: Зростає попит на розробку автономних систем, які можуть працювати незалежно від зовнішніх джерел живлення або постійного нагляду. Розробка автономного комплексу на базі LoRa відповідає цьому тренду.

Отже, тема "Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa" залишається актуальною та привабливою для кваліфікаційної роботи, оскільки поєднує в собі інноваційні технології, проблеми енергоефективності та вирішення актуальних завдань з місцезнаходження.

Мета: створення енергоефективного комплексу визначення місцеположення, який забезпечує передачу місцеположення у реальному часі.

Предмет: програмно-апаратний модуль LoRa на базі Arduino та ESP8266

Завдання роботи: створити GPS-трекер, що має високу точність, мале енергоспоживання та низьку ціну.

1 ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LoRa

1.1 Опис LoRa

LoRa (Long Range) - це бездротова технологія зв'язку, розроблена для передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням. Вона використовується переважно для пристроїв Інтернету речей (IoT), де важливо зберігати енергію батареї, забезпечуючи при цьому надійний зв'язок на великих відстанях. Основні характеристики LoRa включають здатність забезпечувати зв'язок на відстані до кількох кілометрів у міських умовах і до 15-20 кілометрів у сільській місцевості, низьке енергоспоживання, що дозволяє пристроям працювати від однієї батареї до декількох років, використання різних незахищених ISM частот (433 МГц, 868 МГц і 915 МГц), топологію зірки для зв'язку кінцевих пристроїв з центральною базовою станцією, та унікальну модуляцію з розширеним спектром частоти (CSS), яка забезпечує високу чутливість приймача і стійкість до шумів і перешкод.

Протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), що працює поверх фізичного рівня LoRa, визначає спосіб зв'язку пристроїв з інтернетом і включає підтримку трьох класів пристроїв (A, B і C), які відрізняються за енергоспоживанням та можливостями двостороннього зв'язку. LoRaWAN забезпечує два рівні шифрування (мережевий і прикладний) та автоматичне управління швидкістю передачі даних залежно від якості сигналу. LoRa та LoRaWAN знайшли широке застосування в сільському господарстві, розумних містах, логістиці та транспорті, а також в енергетиці. Завдяки низькому енергоспоживанню, великій дальності зв'язку та економічній ефективності, LoRa є однією з провідних технологій для розгортання IoT-мереж. Комерційний аналог непатентованої технології DASH7.

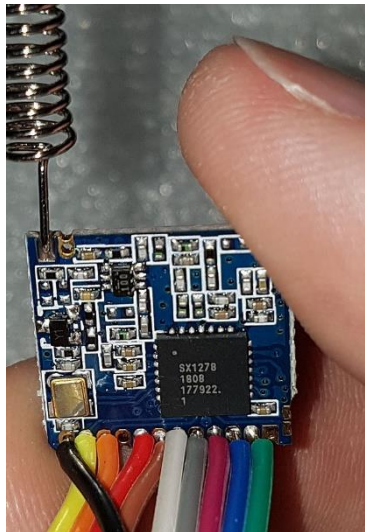


Рисунок 1.1 - LoRa

Заснована на методах модуляції з розширеним спектром, отриманих на основі технології chirp spread spectrum. Розроблено Cycleo з Гренобля, та придбано компанією Semtech, членом-засновником LoRa Alliance.

LoRa використовує безліцензійні радіочастотні діапазони нижче 1 ГГц:

- EU433 (433,05-434,79 МГц) и EU863-870 (863-870 / 873 МГц)
- AU915-928 / AS923-1 (915—928 МГц)
- US902-928 (902—928 МГц)
- IN865-867 (865—867 МГц)
- AU915-928 / AS923-1 та EU433

LoRa забезпечує передачу великі відстані з низьким енергопотреблением.

Технологія охоплює фізичний рівень, в той час як інші технології та протоколи, такі як LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) покривають верхні рівні. Він може досягати швидкості передачі від 0,3 кбіт/сек до 50 кбіт/сек залежно від коефіцієнта расширення.

Пристрої LoRa (Рисунок 1.1) мають можливості геолокації, що використовуються для визначення розташування пристроїв методом трилатерації через тимчасові позначки від інтернет-шлюзів.

1.2 Опис LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) — це протокол зв'язку, який розроблений для бездротових мереж з низьким енергоспоживанням, призначених для інтернету речей (IoT). Він використовує технологію модуляції LoRa (Long Range) для забезпечення довготривалої передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

LoRaWAN має кілька основних характеристик, які роблять його привабливим для багатьох застосувань. По-перше, протокол підтримує зв'язок на відстанях до 15 км у сільській місцевості та до 5 км у міських умовах, що дозволяє покривати великі території. Це робить його ідеальним для додатків у сільському господарстві та моніторингу інфраструктури. По-друге, LoRaWAN відзначається низьким енергоспоживанням, що дозволяє пристроям працювати від батарейок протягом кількох років, що є важливим для віддалених датчиків. Третім аспектом є масштабованість: LoRaWAN мережі можуть підтримувати тисячі пристроїв з невеликою кількістю базових станцій.

Безпека також є важливою характеристикою LoRaWAN, оскільки протокол використовує шифрування AES-128 для захисту даних під час передачі. Мережа LoRaWAN має зіркоподібну топологію, де всі кінцеві пристрої зв'язуються безпосередньо з базовими станціями (гейтвеями), які передають дані на центральний сервер (мережевий сервер). Мережевий сервер обробляє та маршрутизує інформацію до відповідних додатків.

Основні компоненти LoRaWAN включають кінцеві пристрої, гейтвеї, мережевий сервер та додатки. Кінцеві пристрої, такі як датчики, збирають та передають дані. Гейтвеї приймають сигнали від кінцевих пристроїв та передають їх на мережевий сервер, який керує мережею, забезпечує маршрутизацію даних та їх безпеку. Додатки, своєю чергою, обробляють отримані дані та надають користувачам аналітичну інформацію чи контроль над пристроями.

Застосування LoRaWAN охоплює різні сфери, включаючи сільське господарство, де використовується для моніторингу вологості ґрунту, управління зрошенням та відстеження стану культур. У міській інфраструктурі LoRaWAN застосовується для розумного освітлення, управління паркуванням та відстеження стану доріг. У промисловості протокол допомагає відстежувати стан обладнання та моніторити енергоспоживання. В охороні здоров'я він використовується для відстеження пацієнтів та моніторингу медичних пристроїв, а в екологічному моніторингу - для вимірювання якості повітря та рівня води у річках та озерах.

До основних переваг LoRaWAN належать велика відстань передачі даних, низьке енергоспоживання, висока масштабованість та надійність і безпека даних. Завдяки цим унікальним характеристикам і можливостям, LoRaWAN є перспективним рішенням для широкого спектра застосувань у сфері IoT.

1.3 Функціональні можливості

LoRa та LoRaWAN є ключовими технологіями для побудови мереж Інтернету речей (IoT). Вони забезпечують передачу даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

LoRa (Long Range) є фізичним рівнем (PHY) технології бездротового зв'язку, який використовує метод модуляції з розширеним спектром (Chirp Spread Spectrum, CSS). LoRa забезпечує передачу даних на відстань до 15 км в сільській місцевості та до 5 км в міських умовах. Пристрої LoRa можуть працювати кілька років від батарей завдяки низькому енергоспоживанню. Швидкість передачі даних варіюється від 0.3 до 50 кбіт/с, що підходить для додатків з невеликими обсягами даних. LoRa має хорошу проникність через перешкоди, такі як будівлі та лісові насадження. Технологія працює в неліцензованих діапазонах частот ISM (Industrial, Scientific, and Medical), таких як 868 МГц в Європі і 915 МГц в Північній Америці.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) є протоколом мережевого рівня, який працює поверх технології LoRa. Він визначає, як пристрої підключаються до мережі та як управляється передача даних. LoRaWAN використовує архітектуру зірки, де кінцеві пристрої зв'язуються з шлюзами, які передають дані на центральний сервер. Існують три класи пристроїв у LoRaWAN: Клас А, В та С, кожен з яких має різні режими роботи для оптимізації енергоспоживання і часу доступу. Клас А характеризується найнижчим енергоспоживанням і двостороннім зв'язком, який ініціюється пристроєм. Клас В підтримує розклад слотів прийому, а Клас С має постійне прослуховування, що забезпечує найвищий рівень енергоспоживання.

LoRaWAN підтримує двоступеневе шифрування (на мережевому та додатковому рівнях) для захисту даних. Протокол підтримує велику кількість пристроїв, що дозволяє легко масштабувати мережу. LoRaWAN також автоматично налаштовує швидкість передачі даних і потужність передачі для оптимізації енергоспоживання і дальності зв'язку. Крім того, LoRaWAN дозволяє пристроям переміщатися між різними зонами покриття без переривання зв'язку.

Застосування LoRa та LoRaWAN охоплює різні сфери. У сільському господарстві ці технології використовуються для моніторингу вологи ґрунту, кліматичних умов та здоров'я худоби. У контексті розумного міста LoRa та LoRaWAN допомагають в управлінні вуличним освітленням, паркуванням та моніторингу якості повітря. У промисловості вони застосовуються для відстеження стану обладнання та моніторингу виробничих процесів. У сфері логістики ці технології використовуються для відстеження вантажів та моніторингу стану транспорту.

1.4 Недоліки LoRa

Технологія LoRa має багато переваг, але також стикається з певними проблемами та обмеженнями. Основні проблеми LoRa включають обмежену пропускну здатність, яка становить до кількох десятків кілобіт на секунду, що

обмежує її використання для передачі великих обсягів даних або високошвидкісних додатків. Крім того, робота у безліцензійних ISM діапазонах робить LoRa вразливою до інтерференції від інших пристроїв, що працюють на тих самих частотах, що може вплинути на надійність зв'язку, особливо у міських умовах.

Ще одна проблема полягає в затримці передачі даних (latency). LoRa характеризується високою затримкою в передачі даних, що робить її непридатною для додатків, які потребують реального часу, наприклад, для управління критичними системами. У деяких регіонах спектр частот, доступний для LoRa, обмежений, що може обмежити покриття та ефективність технології.

Проблеми зі скейлінгом (масштабованістю) виникають, коли кількість пристроїв у мережі зростає. Це може призвести до перевантаження каналів зв'язку і зменшення ефективності передачі даних. Хоча LoRa забезпечує шифрування даних, використовуючи 128-бітний ключ AES, необхідно забезпечити правильне управління ключами і захист від фізичних атак на пристрої.

Енергоспоживання у активних режимах також є проблемою. Хоча пристрій може мати низьке енергоспоживання у режимі очікування, під час передачі даних або у активних режимах енергоспоживання може значно зрости. LoRa краще підходить для стаціонарних додатків. Під час руху пристроїв можуть виникати проблеми зі зв'язком через зміни в навколишньому середовищі та різну якість сигналу.

Хоча LoRa підтримує двосторонній зв'язок, він є обмеженим у порівнянні з іншими технологіями, такими як LTE, що може бути недостатньо для деяких застосувань. Інтеграція LoRa з існуючими системами та інфраструктурою може бути складною і вимагати значних зусиль та ресурсів.

Попри ці проблеми, LoRa залишається однією з провідних технологій для багатьох IoT застосувань завдяки своїм унікальним характеристикам та можливостям.

1.5 Технології подібні LoRa

Існує кілька технологій бездротового зв'язку, схожих на LoRa, які також використовуються для застосувань Інтернету речей (IoT) і характеризуються великою дальністю зв'язку та низьким енергоспоживанням. Ось деякі з них:

Sigfox — це вузькосмугова технологія (UNB, Ultra Narrow Band), що забезпечує передачу даних на великі відстані з дуже низьким енергоспоживанням. (Рисунок 1.2) Вона працює у безліцензійних ISM діапазонах і підходить для додатків, де потрібна низька швидкість передачі даних.



Рисунок 1.2 - Sigfox

NB-IoT (Narrowband IoT) — це технологія, розроблена для забезпечення зв'язку на великих відстанях з низьким енергоспоживанням в мережах мобільних операторів. (Рисунок 1.3) Вона використовує ліцензований спектр і забезпечує високу надійність та безпеку.

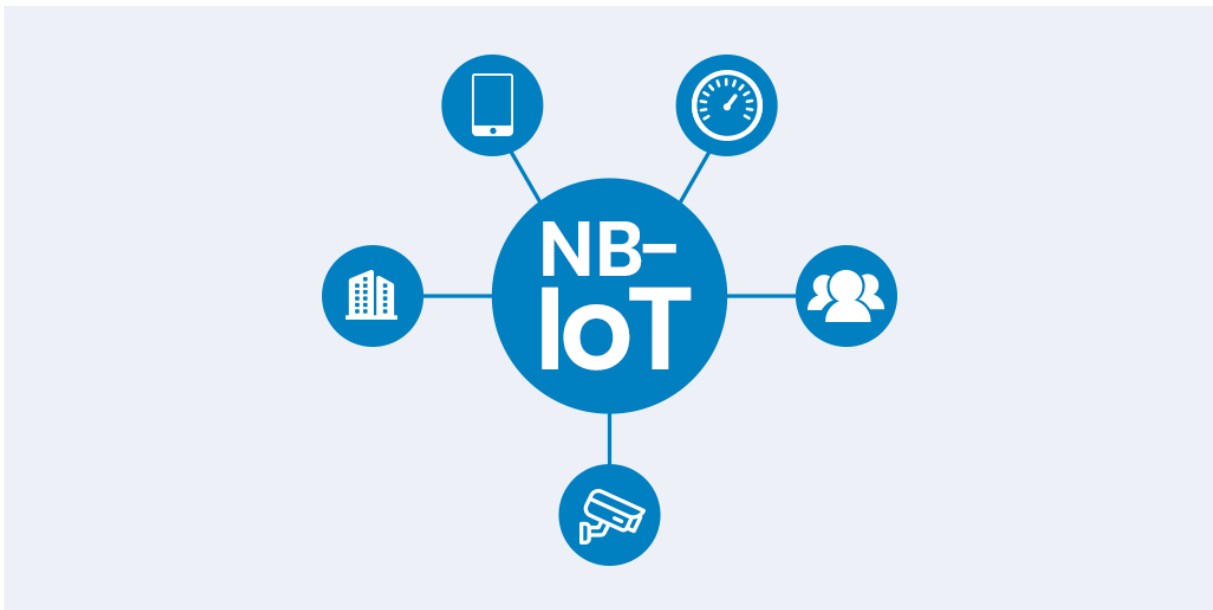


Рисунок 1.3 - Narrowband IoT

LTE-M (LTE Cat-M1) — це технологія, яка базується на стандартах LTE і забезпечує більшу пропускну здатність та низьку затримку в порівнянні з NB-IoT. (Рисунок 1.4) Вона також використовує ліцензований спектр і підтримує мобільність пристроїв.

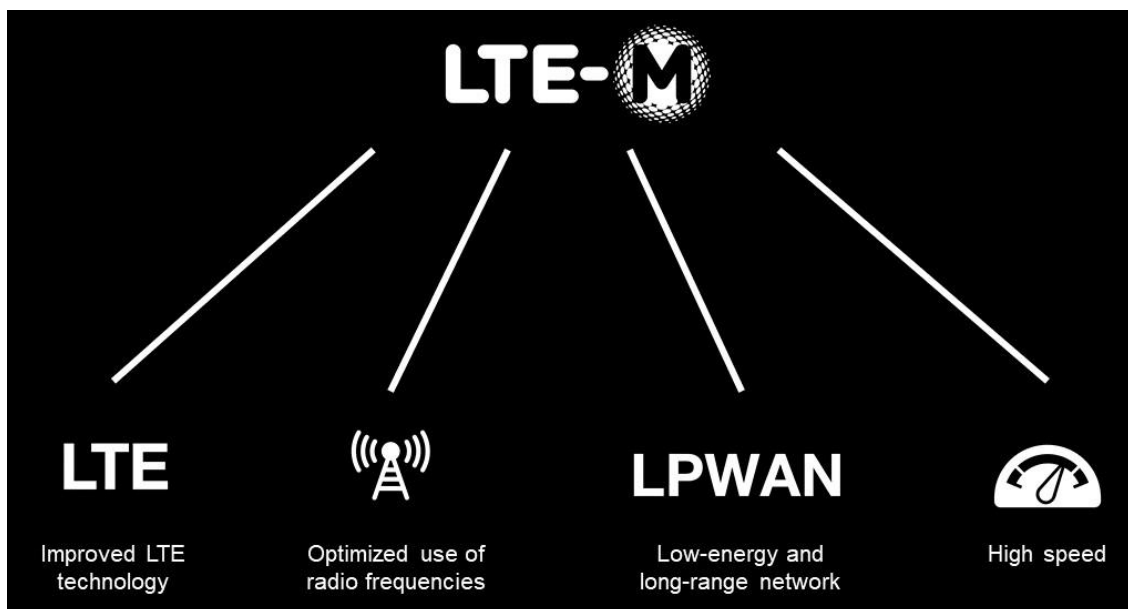


Рисунок 1.4 - LTE-M

Weightless — це група протоколів для LPWAN (Low Power Wide Area Network), яка включає Weightless-N, Weightless-P та Weightless-W. (Рисунок 1.5)

Вони працюють у безліцензійних частотних діапазонах і забезпечують зв'язок на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

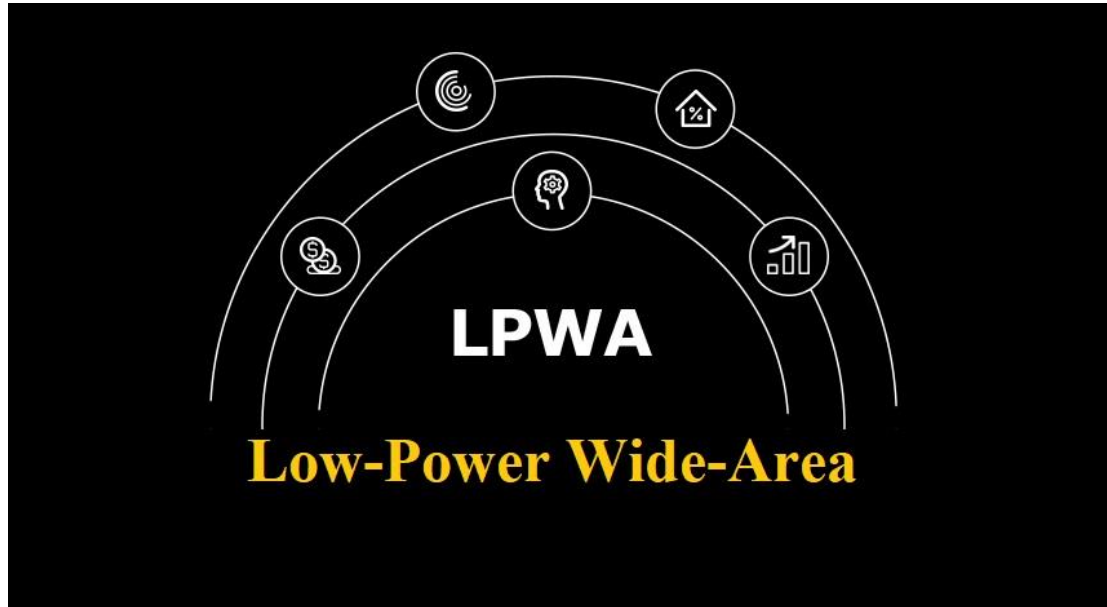


Рисунок 1.5 - Weightless

RPMA (Random Phase Multiple Access) — це технологія, розроблена компанією Ingenu. (Рисунок 1.6) Вона працює в 2.4 GHz ISM діапазоні і забезпечує високу надійність та велику дальність зв'язку з низьким енергоспоживанням.

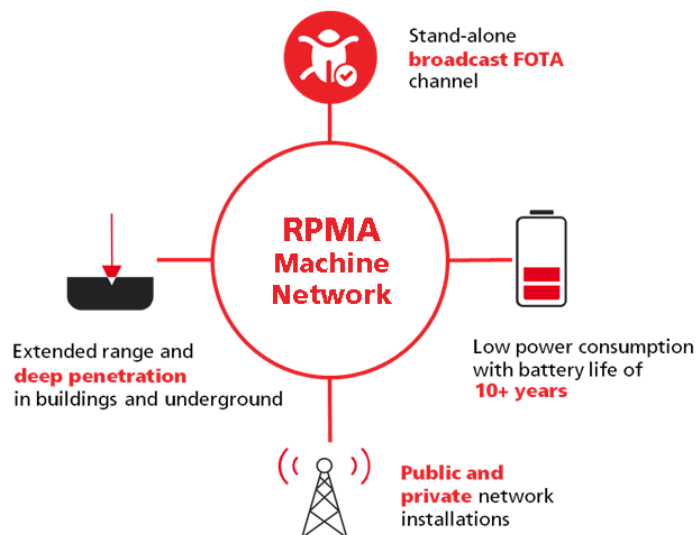


Рисунок 1.6 - Random Phase Multiple Access

DASH7 — це бездротовий протокол, що працює в 433 MHz ISM діапазоні. (Рисунок 1.7) Він забезпечує низьке енергоспоживання та передачу даних на великі відстані, а також підтримує дворівневу мережеву топологію (зв'язок точка-точка та мережа).

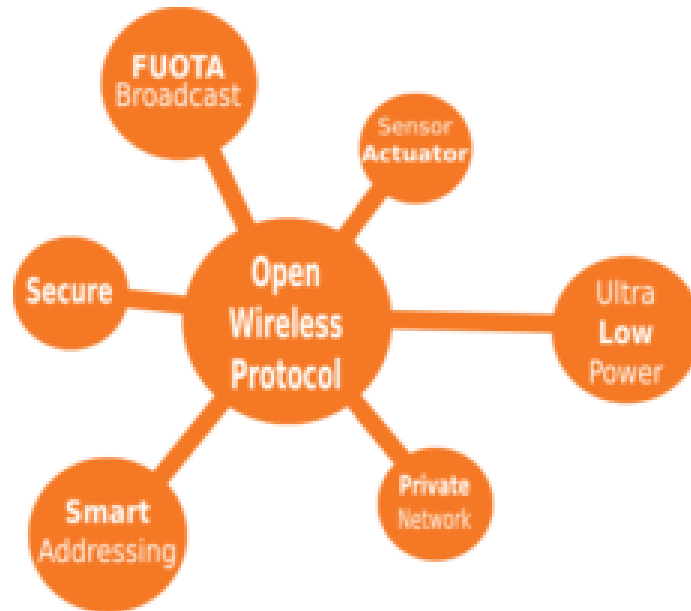
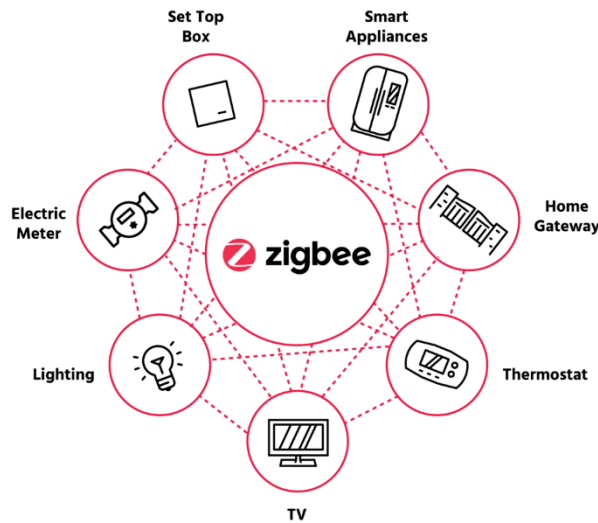


Рисунок 1.7 - DASH7

Zigbee — це стандарт для бездротових мереж, орієнтований на додатки з низьким енергоспоживанням і середньою пропускну здатністю. (Рисунок 1.8) Він працює в 2.4 GHz ISM діапазоні і забезпечує створення багаторівневих (mesh) мереж.



Smart Home

Рисунок 1.8 - Zigbee

Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) — це стандарт для бездротових мереж з низьким енергоспоживанням і великою дальністю зв'язку. (Рисунок 1.9) Він використовується переважно для застосувань у сфері комунальних послуг та розумних міст.

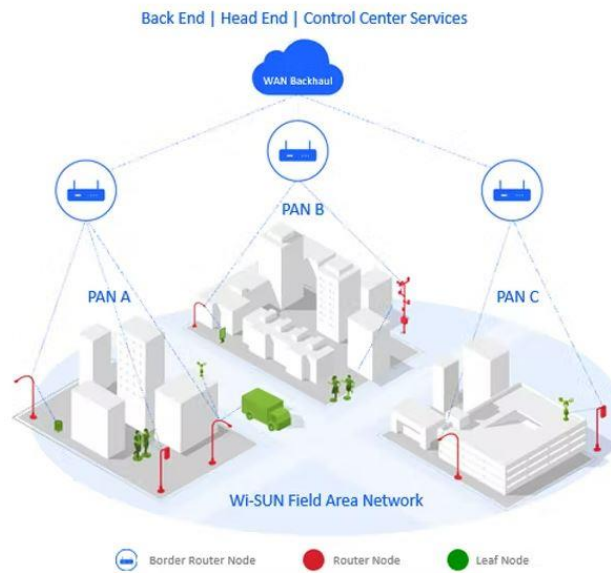


Рисунок 1.9 - Wireless Smart Utility Network

Ці технології мають свої особливості та сфери застосування, що дозволяє вибирати оптимальне рішення залежно від конкретних потреб IoT проекту.

1.6 Аналіз наявних технологій та концепт комплексу

До складу системи входять LoRa модулі, які є основним компонентом для бездротової передачі даних, GPS модулі для визначення точних координат, сенсори енергоефективності для моніторингу стану батареї, сонячних панелей (якщо використовуються) та інших джерел живлення, мікроконтролер для обробки даних від GPS та сенсорів і для керування передачею даних через LoRa, акумулятори або батареї для автономного живлення системи, а також сонячні панелі для забезпечення додаткового джерела живлення.

GPS - це глобальна система визначення місця розташування. Вона забезпечує точність до кількох метрів, використовуючи супутникові сигнали. GPS широко застосовується для точного визначення координат у будь-якій точці Землі.

LPWAN - це мережі, які призначені для передачі даних з низьким енергоспоживанням та великою дальністю. Вони включають такі технології, як LoRa, Sigfox та NB-IoT. LPWAN використовується для підключення великої кількості пристроїв IoT, таких як сенсори та трекери.

Система активується для отримання даних про місцеположення з GPS модуля. GPS модуль визначає координати, а мікроконтролер отримує та обробляє ці дані. Оброблені дані передаються через LoRa мережу до центрального сервера або іншого пристрою. Після цього система переходить у режим низького енергоспоживання до наступного циклу активності, який визначається заданими інтервалами або подіями, такими як рух.

Для зменшення споживання енергії використовуються мікроконтролери з можливістю переходу у режим сну. Частота передачі даних мінімізується, передаються тільки важливі повідомлення. Використання сонячних панелей для зарядки акумуляторів зменшує залежність від традиційних джерел живлення.

До інфраструктури входять базові станції LoRa для прийому даних від пристроїв та їх передачі до центрального сервера. Центральний сервер обробляє

та зберігає дані, забезпечуючи доступ користувачам через веб-інтерфейс або мобільні додатки.

Висновки до розділу 1

Під час дослідження технології LoRa було виявлено, що ця бездротова технологія передачі даних має значний потенціал для використання в різноманітних сферах, від промислового моніторингу до розумних міст.

Основні переваги технології LoRa, які виникають з її довгого радіусу дії та низької споживаної енергії, роблять її ідеальним вибором для застосувань, які вимагають віддаленого збору та передачі даних в умовах обмежених ресурсів.

Незважаючи на свої переваги, технологія LoRa також має свої обмеження, зокрема, обмежену пропускну здатність та швидкість передачі даних. Однак, з урахуванням широкого спектру застосувань, ці обмеження можуть бути прийнятними в багатьох випадках.

Загальною висновком може бути, що технологія LoRa є потужним інструментом для розвитку інтернету речей (IoT) та розумних систем, і варто розглянути її використання в контексті конкретних проектів та вимог.

2 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ GPS-ТРЕКЕРУ

2.1 Специфікація матеріалів

Таблиця 2-1 - Матеріали

Номер	Ім'я	Парт. номер	Кількість
1	ATMEGA328-AU MCU	TQFP-32_L7.0- W7.0-P0	1
2	ESP-12E WiFi MCU	WIFIM-SMD_ESP- 12E	1
3	LDO HT7333	SOT-89-3_L4.5- W2.5-P1.50	2
4	L80 GPS Module	GPSM-SMD_L80- R	1
5	LoRa SX1276 (HPD13A)	HPD13A	2
6	MCP73831	SOT-23-5	2
7	Capacitor 10uF	C0805	5
8	Capacitor 4.7uF	C0805	4
9	Capacitor 0.1uF	C0805	8
10	Capacitor 22pF	C0805	2
11	Capacitor 470pF	C0805	1
12	Resistor 470E	R0805	1
13	Resistor 10K	R0805	1
14	Resistor 12K	R0805	5
15	Resistor 2K	R0805	2
16	Resistor 470	R0805	1
17	Resistor 330	R0805	1
18	Resistor 47K	R0805	2
19	Resistor 22K	R0805	2
20	LED Red	LED0805	2
21	Transistor BC847	SOT23	2
22	Slide Switch	TOGGLE SWITCH (1P2T) SPDT	1
23	U.FL-R-SMT	ANT-SMD_UFL- R-SMT-1	2

24	Micro USBFemale	MICRO-USB-SMD_MICRO-USB-18	1
25	Battery Connector		2
26	Male Header (PROG)	HDR-TH_6P-P2.54-V-F	1
27	Female Header (PROG)	HDR-TH_6P-P2.54-V-M-1	1
28	868MHz LoRa Antenna		2
29	Reset Switch	SWITCH SMD 3X4X2MM	3
30	16MHz Crystal	HC49US	1
31	LiPo Battery 3.7V	1000MAh	2
32	FTDI Module		1
33	Jumper Wires		6

АТmega328-AU — це 8-бітний мікроконтролер AVR виробництва компанії Microchip Technology (раніше Atmel). Він популярний завдяки своїй широкій функціональності, низькому енергоспоживанню та легкості використання. АТmega328 часто використовується в платформах для розробки, таких як Arduino Uno.

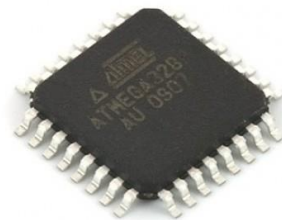


Рисунок 2.1 - АТmega328-AU

Основні характеристики АТmega328-AU включають 8-бітний AVR ядро з RISC-архітектурою. Мікроконтролер має 32 КБ Flash пам'яті для зберігання

програмного коду, 2 КБ SRAM (Рисунок 2.1) для тимчасових даних та 1 КБ EEPROM для зберігання постійних даних, які зберігаються після вимкнення живлення. Максимальна тактова частота становить 20 МГц, а робочий діапазон напруги - від 1.8 до 5.5 В. Пристрій доступний у корпусах TQFP з 28 контактами та VQFN з 32 контактами.

Функціональні можливості мікроконтролера включають 23 програмованих виводи введення/виведення (I/O), 6 каналів 10-бітного аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), три таймери/лічильники (два 8-бітних і один 16-бітний), підтримку режиму PWM (широтно-імпульсна модуляція) на деяких виводах, послідовні інтерфейси USART, SPI та I2C (TWI - Two Wire Interface). Мікроконтролер підтримує зовнішні і внутрішні переривання з 24 векторами переривань.

Режими енергозбереження включають декілька режимів низького енергоспоживання (Power-down, Power-save, Standby). Вбудований годинник реального часу підтримує кварцовий резонатор, а вбудований сторожовий таймер забезпечує захист від зависань. Додатково, мікроконтролер має вбудований генератор RC-осцилятора, підтримку програмування через SPI (In-System Programming) та можливість самопрограмування.

ESP-12E є модулем Wi-Fi, побудованим на основі мікроконтролера ESP8266, виробленого компанією Espressif Systems. Цей модуль є популярним вибором для проектів з підключенням до Інтернету речей (IoT) завдяки своїм потужним можливостям, низькому енергоспоживанню та доступній ціні.



Рисунок 2.2 - ESP-12E

Основні характеристики ESP-12E включають вбудований 32-бітний процесор Tensilica L106 на архітектурі RISC з робочою частотою до 80 МГц, яка може бути збільшена до 160 МГц. Мікроконтролер має 4 МБ Flash пам'яті для зберігання програм та даних і 160 КБ SRAM (80 КБ для даних та 80 КБ для інструкцій).

Wi-Fi можливості включають підтримку стандартів 802.11 b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P), Soft-AP, WPA/WPA2, та робочих режимів STA/AP/STA+AP. Модуль має 16 загальних цифрових виводів введення/виведення (GPIO) і один аналоговий вхід (ADC) з роздільною здатністю 10 біт. Серед послідовних інтерфейсів підтримуються SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit) та UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

Робоча напруга мікроконтролера становить 3.0-3.6 В, споживання енергії в режимі сну менше 10 мкА, а в активному режимі - до 200 мА. (Рисунок 2.2) Підтримуються режими енергозбереження, такі як глибокий сон (Deep Sleep), легкий сон (Light Sleep) і режим модему (Modem Sleep).

Функціональні можливості ESP-12E включають Soft Access Point (AP), що дозволяє модулю працювати як точка доступу, до якої можуть підключатися інші пристрої, режим Station (STA), який дозволяє модулю підключатися до існуючих

Wi-Fi мереж, і підтримку одночасного використання STA та AP режимів (Soft-AP + Station).

Для програмування мікроконтролера використовується апаратне програмування через UART за допомогою інструментів, таких як esptool. Espressif надає SDK для розробки програмного забезпечення на C/C++, а платформи підтримують Arduino IDE, PlatformIO, NodeMCU (Lua), MicroPython та інші. Підтримуються інтернет-протоколи TCP/IP, HTTP, HTTPS, MQTT, CoAP та інші.

Захист і безпека забезпечуються підтримкою шифрування SSL/TLS для захищених з'єднань та апаратного шифрування AES, SHA-1, SHA-2, RSA.

HT7333 — це лінійний регулятор низької напруги (LDO, Low Dropout Regulator), який забезпечує стабільну вихідну напругу при низькому падінні напруги між входом і виходом. Він часто використовується для живлення низьковольтних мікроконтролерів та інших чутливих до напруги пристроїв.



Рисунок 2.3 - HT7333

Основні характеристики HT7333 включають фіксовану вихідну напругу 3.3 В при діапазоні вхідної напруги від 3.5 В до 12 В, з точністю вихідної напруги $\pm 2\%$. Максимальний вихідний струм становить до 250 мА, а падіння напруги -

приблизно 100 мВ при струмі 100 мА. Типове споживання струму складає 4 мкА. Мікросхема має вбудований захист від перегріву та перевантаження по струму і короткого замикання. (Рисунок 2.3) Доступні варіанти корпусу: SOT-89, SOT-23, TO-92.

Функціональні можливості NT7333 включають забезпечення стабільної вихідної напруги 3.3 В з високою точністю, що робить його ідеальним для живлення мікроконтролерів та інших електронних компонентів. Низьке падіння напруги дозволяє використовувати NT7333 навіть у випадках, коли вхідна напруга близька до вихідної, зберігаючи при цьому стабільну роботу. Низький струм споживання в режимі очікування (4 мкА) робить цей LDO регулятор ефективним для застосувань, де важливе енергозбереження. Вбудований захист від перегріву і короткого замикання забезпечує надійну роботу і захист підключених компонентів. Простота використання досягається завдяки легкій інтеграції в електронні схеми та доступним корпусам.

L80 GPS модуль — це компактний, потужний і енергоефективний модуль для визначення місцеположення, вироблений компанією Quectel. Він широко використовується в навігаційних системах, трекарах та інших пристроях, де потрібна висока точність визначення місцеположення.



Рисунок 2.4 - L80 GPS

Основні характеристики модуля L80 включають вбудований GPS чипсет MTK3339 з інтегрованою внутрішньою антеною високої чутливості. Розміри модуля становлять 16 мм x 16 мм x 6.45 мм. Чутливість приймача досягає -165 дБм, час холодного старту менше 35 секунд, теплого старту - менше 30 секунд, а гарячого старту - менше 1 секунди. Точність позиціонування становить менше 2.5 м CEP, підтримується 66 каналів для GPS. Робоча напруга модуля знаходиться в діапазоні від 3.0 до 4.3 В, споживання струму - приблизно 20 мА у режимі пошуку супутників і 25 мА у режимі трекінгу. (Рисунок 2.4) Модуль оснащений послідовними інтерфейсами UART для зв'язку з мікроконтролерами та I2C для конфігурації та передачі даних. Додатково, підтримується AGPS для прискорення часу визначення місцеположення і імпульсний вихід (PPS) для синхронізації. Робочий температурний діапазон модуля становить від -40°C до +85°C.

Функціональні можливості L80 включають швидке визначення місцеположення завдяки вбудованому чипсету MTK3339, високу точність позиціонування, інтегровану антену з високою чутливістю, що дозволяє використовувати модуль у компактних пристроях без необхідності підключення зовнішньої антени. Низьке енергоспоживання робить модуль енергоефективним

для портативних пристроїв з живленням від батарей. Підтримка AGPS зменшує час холодного старту, особливо у складних умовах прийому сигналу. Висока чутливість до -165 дБм дозволяє модулю приймати слабкі сигнали GPS навіть у важких умовах, таких як густі міські забудови або під покриттям дерев. Широкий температурний діапазон роботи дозволяє використовувати модуль у різних кліматичних умовах.

SX1276 (HPD13A) — це модуль, який базується на чипі SX1276 виробництва Semtech і використовує технологію LoRa для забезпечення далекого зв'язку з низьким енергоспоживанням. HPD13A є одним з модулів, які інтегрують цей чип для зручного використання у різних проектах IoT.

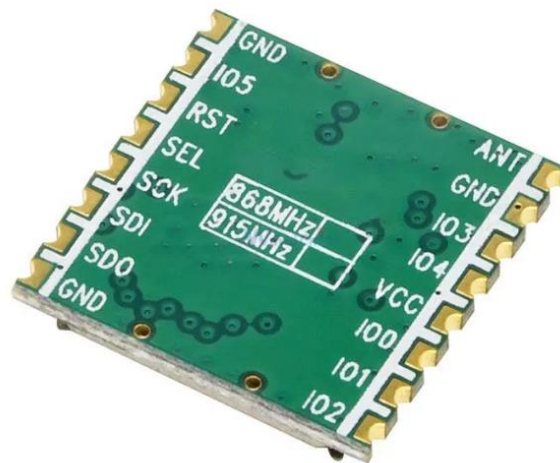


Рисунок 2.5 - HPD13A

Основні характеристики SX1276 (HPD13A) включають підтримку широкого діапазону частот від 137 МГц до 1020 МГц, з часто використовуваними частотами 433 МГц, 868 МГц (Європа) і 915 МГц (Північна Америка). Приймач має чутливість до -148 дБм, а максимальна вихідна потужність складає до +20 дБм (100 мВт). (Рисунок 2.5) Модуль підтримує різні типи модуляції, такі як LoRa, FSK, GFSK, MSK, GMSK, і OOK, зі швидкістю передачі даних від 0.3 до 37.5 кбіт/с для LoRa і до 300 кбіт/с для FSK. Споживання струму у режимі

передачі досягає 120 мА при максимальній потужності, у режимі прийому - 10.3 мА, а у режимі очікування - менше 1 мкА. Для зв'язку з мікроконтролером використовується інтерфейс SPI. Робоча напруга модуля становить від 1.8 до 3.7 В. Модуль має компактний корпус, що легко інтегрується у різні пристрої.

Функціональні можливості SX1276 (HPD13A) включають забезпечення великого радіусу дії до 15 км у сільській місцевості та до 5 км у міських умовах завдяки технології LoRa. Низьке енергоспоживання робить модуль придатним для використання в пристроях з живленням від батарей. Висока чутливість до -148 дБм забезпечує надійний прийом сигналів навіть на великих відстанях або у складних умовах. Гнучкість модуляції дозволяє використовувати модуль у різних додатках завдяки підтримці кількох типів модуляції (LoRa, FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK). Підтримка різних режимів енергозбереження допомагає знизити споживання енергії під час простою. Використання модуляції з розширеним спектром (Chirp Spread Spectrum, CSS) підвищує стійкість до перешкод і покращує якість зв'язку.

МCP73831 — це лінійний зарядний пристрій для літій-іонних або літій-полімерних акумуляторів, розроблений компанією Microchip Technology. Він є простим у використанні та має компактний розмір, що робить його популярним вибором для різних портативних і вбудованих систем.



Рисунок 2.6 - MCP73831

Основні характеристики MCP73831 включають діапазон вхідної напруги від 3.75 В до 6 В та програмований струм заряду до 500 мА, який регулюється зовнішнім резистором. Підтримуються режими заряду з постійним струмом (CC) та постійною напругою (CV), з фіксованою напругою заряду 4.2 В для літій-іонних/літій-полімерних акумуляторів. Точність регулювання напруги становить $\pm 0.75\%$. (Рисунок 2.6) Вбудований вихід для індикації стану заряду дозволяє підключати світлодіод. MCP73831 має захисти від перенапруги, перевантаження по струму та перегріву, а також споживає всього 0.1 мкА струму в режимі очікування. Доступний у корпусі SOT-23-5.

Функціональні можливості MCP73831 включають простоту інтеграції завдяки компактному розміру і мінімальній кількості зовнішніх компонентів, що дозволяє легко інтегрувати його у різні пристрої. Програмування зарядного струму за допомогою одного зовнішнього резистора дозволяє адаптувати зарядний пристрій під конкретний акумулятор. Автоматичне переключення між режимами постійного струму та постійної напруги забезпечує ефективний і безпечний заряд акумулятора. Вбудований вихід для підключення світлодіода, який індидує стан заряду, дозволяє легко контролювати процес заряджання.

Вбудовані захисти від перенапруги, перевантаження по струму та перегріву забезпечують безпечну роботу зарядного пристрою і акумулятора.

2.2 Конструкція та схема частини передавача

Передавач є портативним і використовує для зв'язку модулі LoRa та GPS. Ось повна схема передавача.

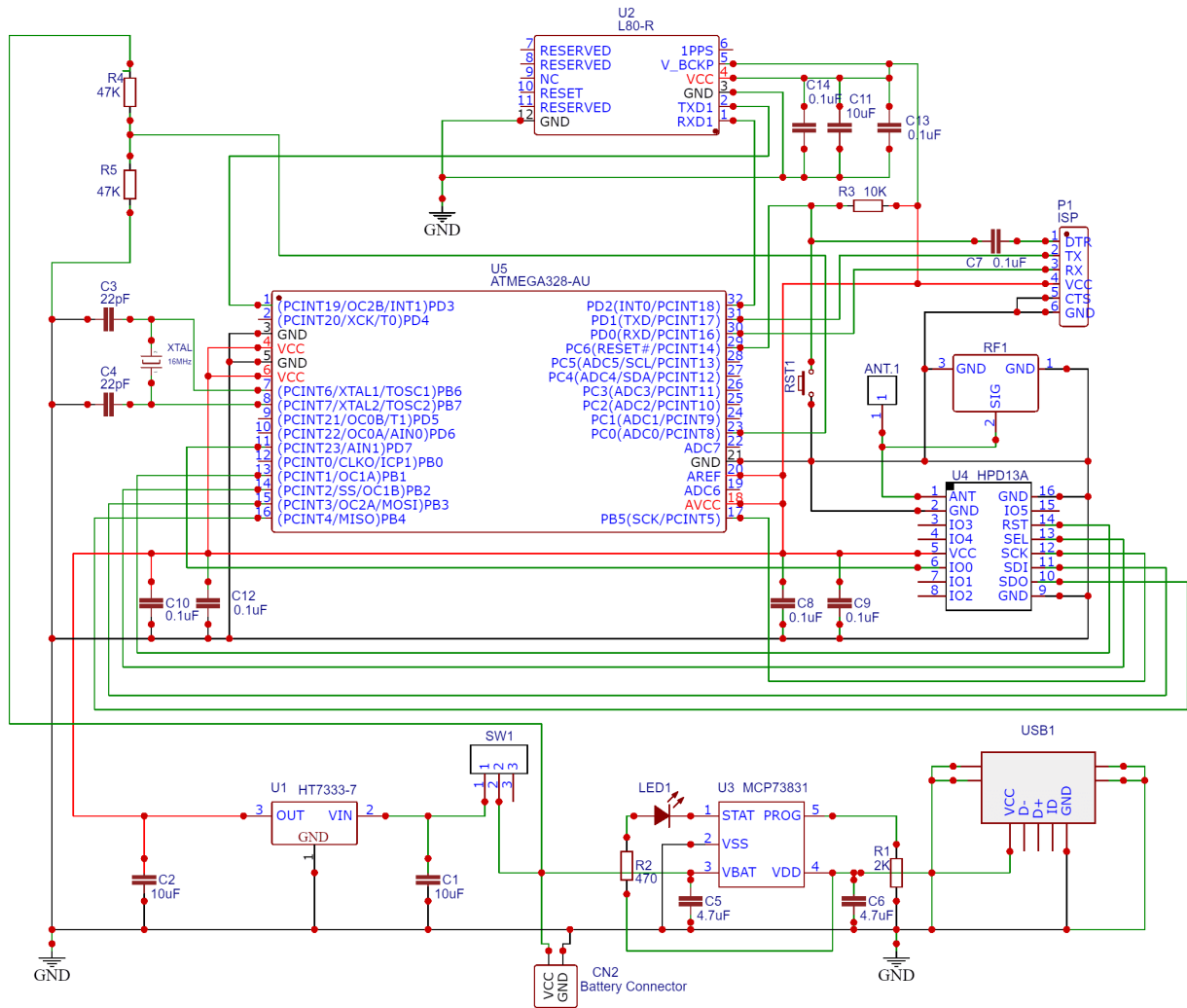


Рисунок 2.7 - Схема передавача GPS-трекера LoRa

Використано мікроконтролер ATmega328 із завантажувачем Arduino. Ви можете записати завантажувач на необроблений SMD-чіп ATmega328 або безпосередньо відпаяти чіп ATmega328 з Arduino Nano Board.

Підключаємо зарядний пристрій Micro-USB 5 В до порту USB, щоб зарядити акумулятор. LED1 вказує на стан зарядки. Літій-іонний або LiPo акумулятор 3,7 В можна підключити до роз'єму акумулятора для живлення всієї схеми. SW1 є перемикачем для вмикання/вимкнення модуля. Живлення від акумулятора подається на LDO HT7333, який обмежує напругу до 3,3 В. Вся схема працює при напрузі 3,3 В.

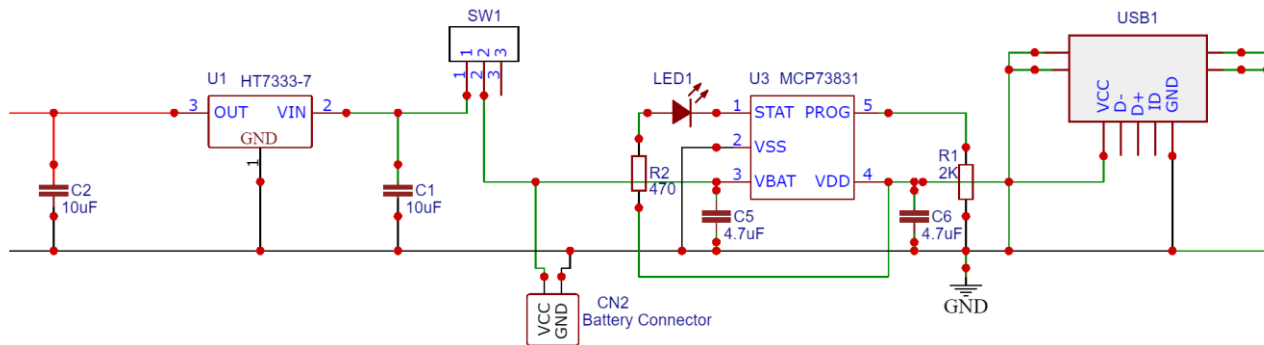


Рисунок 2.8 - Розділ живлення та зарядки акумулятора

Для виявлення напруги батареї, яка зчитується мікроконтролером, використовується мережа дільника напруги з резисторами R4 і R5. Напруга зменшується вдвічі і подається на аналоговий контакт A0 Arduino. Модуль GPS L80 є модулем UART, отже, Tx і Rx L80 підключаються до D2 і D3 Arduino відповідно. Можемо використовувати послідовний порт програмного забезпечення для зв'язку UART.

Перехід до модуля LoRa SX1276 використовує протокол зв'язку SPI. SS, RST і DIO0 SX1276 Підключаються до D10, D9 і D7 Arduino. Інші контакти SPI SX1276 підключені до ATmega328 за замовчуванням. Для модуля LoRa потрібна антена. Ви можете використовувати будь-яку антену LoRa з частотою 868 МГц. Для підключення антени передбачений роз'єм UFL, або ви можете припаяти іншу антену до точки ANT1.

2.3 Конструкція та схема частини приймача

Частина приймача цього проекту складається з необробленого чіпа ESP8266 і модуля LoRa SX1276. Приймач отримує вхідне повідомлення від передавача та завантажує GPS-координати в додаток Blynk. Ось повна схема приймача GPS-трекера LoRa.

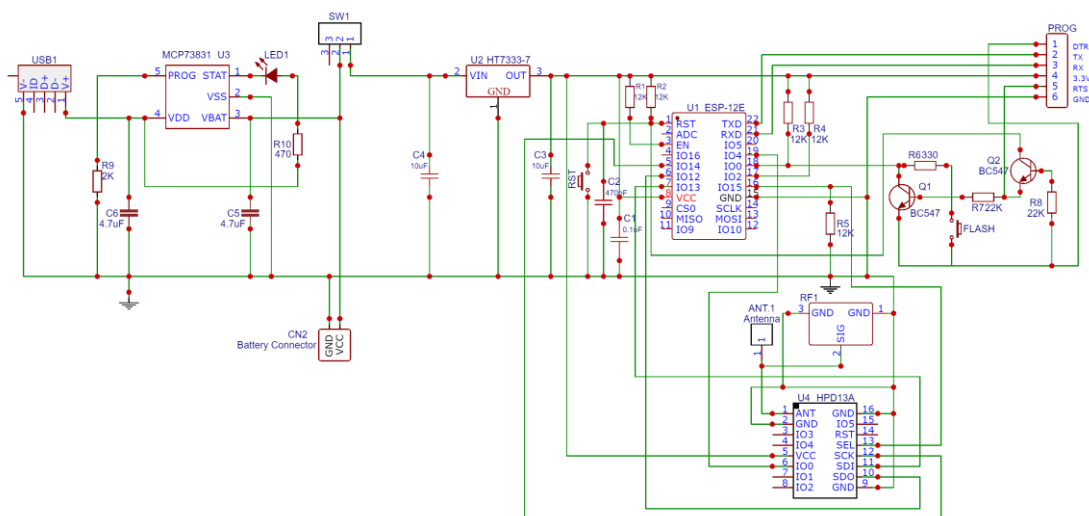


Рисунок 2.9 - Схема приймача GPS-трекера LoRa

Тут використовується працездатна схема схеми ESP8266. Під час завантаження коду не потрібно натискати кнопку скидання або завантаження. Ви можете підключити модуль перетворювача USB-TTL до контактів PROG і запрограмувати схему. Процес програмування є автоматичним і керується двома перемикачами (FLS і RST), двома транзисторами BC547 (Q1 і Q2) і кількома іншими компонентами.

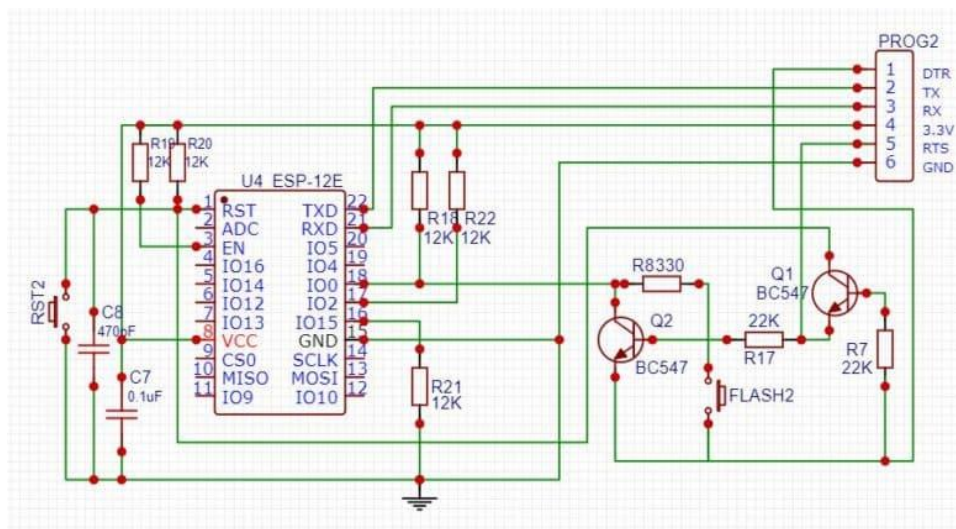


Рисунок 2.10 - ESP8266

Сигнал RTS скидає ESP8266, тоді як сигнал DTR переводить його в режим спалаху, при цьому Q1 і Q2 запобігають скиданню чіпа, коли обидва сигнали низькі. Виявивши команду завантаження, модуль ESP автоматично перемикається в режим прошивки для безперервного завантаження ескізу. За відсутності команди вивантаження ESP-12E/F запускається в звичайному режимі.

Зарядний пристрій Micro-USB на 5 В можна вставити в USB-порт, щоб зарядити акумулятор, а світлодіод 1 показує стан заряду. Живлення для всієї схеми можна забезпечити, підключивши літій-іонний акумулятор 3,7 В до роз'єму батареї. SW1 діє як перемикач увімкнення/вимкнення модуля. Живлення батареї направляється на LDO HT7333, який обмежує напругу до 3,3 В, гарантуючи, що вся схема працює при цій напрузі.

Модуль LoRa SX1276 підключений до ESP8266 через контакти SPI. Ми використовували контакти SS, RST і DIO0 як GPIO15, GPIO16 і GPIO4 відповідно. Підключіть антену 868 МГц із кращою чутливістю та потужністю до роз'єму ANT1. Ви можете припаяти гвинтову антену або підключити антену за допомогою роз'єму UFL.

2.4 Проектування друкованих плат, файли Gerber

Обидві наведені схеми розроблені з використанням EasyEDA. Перетворюємо схему на друковану плату.

Друковані плати містять компоненти SMD з резисторами та конденсаторами в корпусі SMD 0805. Інші мікросхеми також знаходяться у корпусі SMD. Лицьова сторона плати передавача та приймача виглядає приблизно так, як показано нижче.

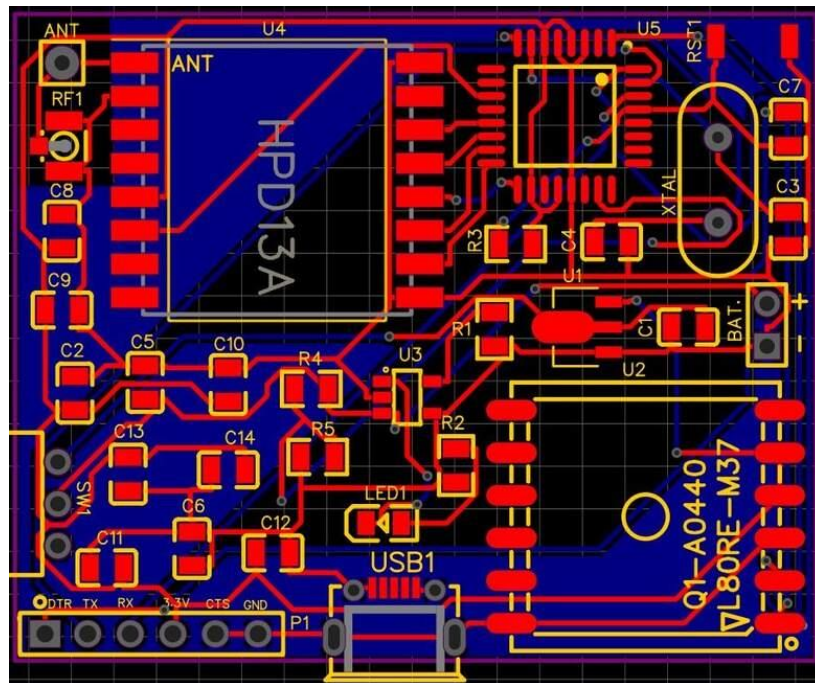


Рисунок 2.11 - Проектування друкованої плати передавача

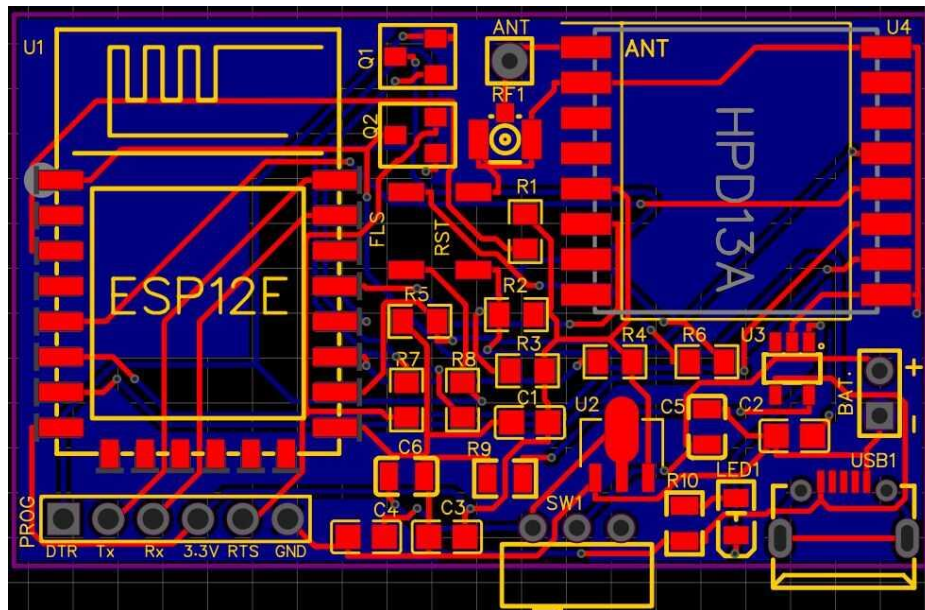


Рисунок 2.12 - Проектування друкованої плати приймача

Подібним чином 3D-вигляд друкованої плати виглядає так (Рисунок 2.13)
(Рисунок 2.14):

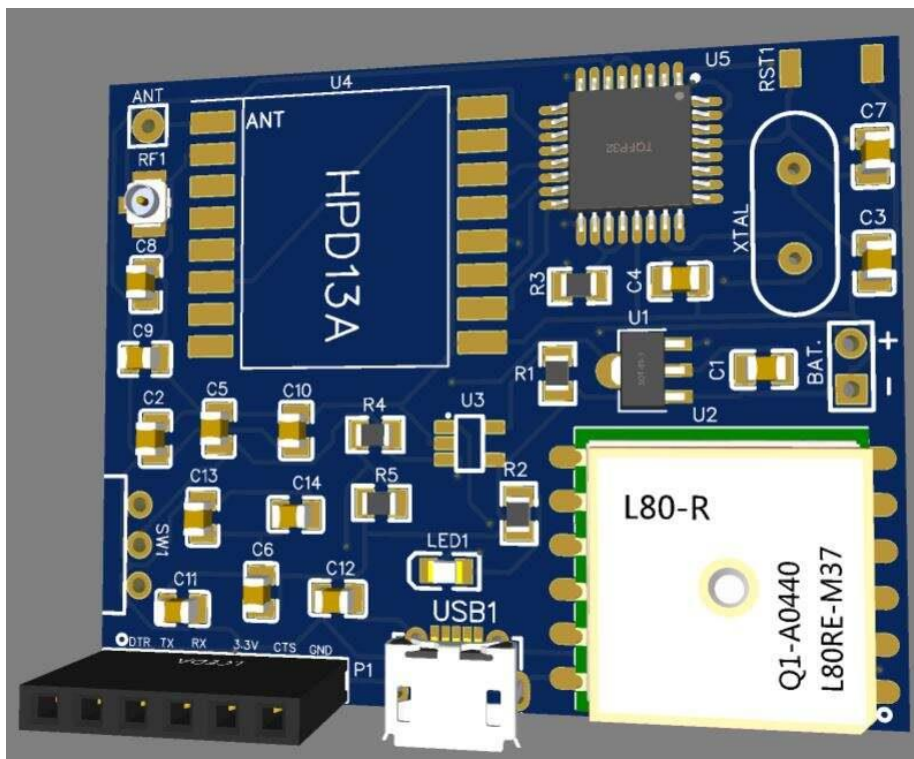


Рисунок 2.13 - Тривимірне зображення друкованої плати передавача

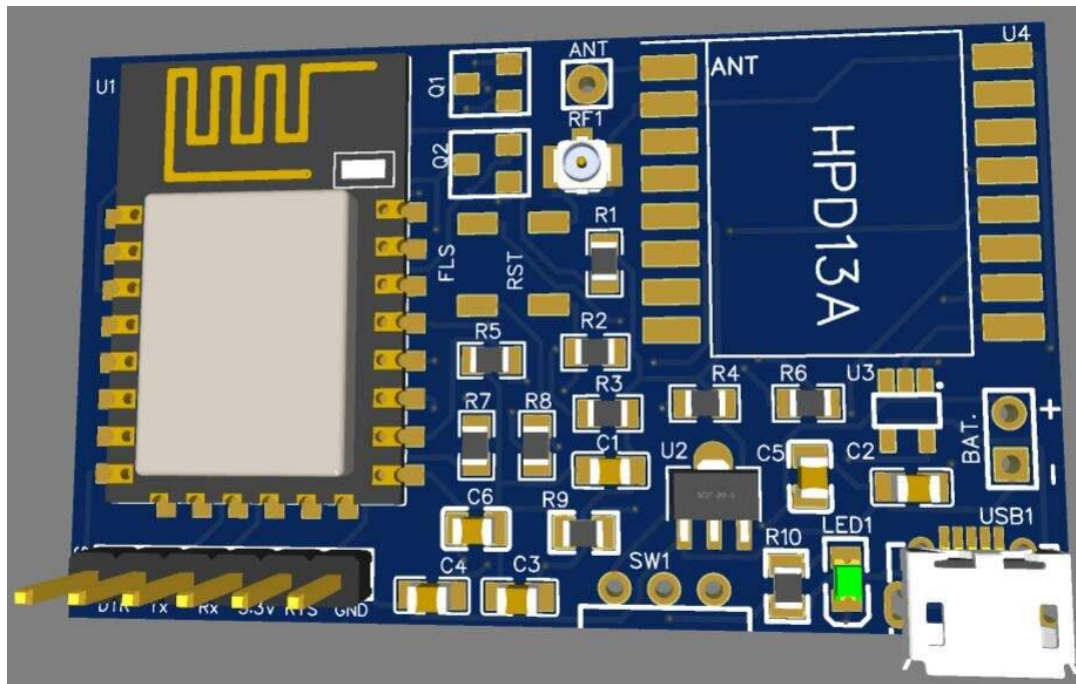


Рисунок 2.14 - 3D-вид РСВ приймача

Висновки до розділу 2

Під час практичної реалізації GPS-трекеру було виявлено, що ця технологія може бути дуже ефективною для відстеження руху об'єктів у реальному часі.

Розроблений трекер, оснащений GPS-модулем для визначення географічних координат, а також модулем зв'язку для передачі цих координат до віддаленого сервера для подальшої обробки.

Основними перевагами практичної реалізації GPS-трекеру є точність визначення місцезнаходження, можливість відслідковування у реальному часі та надійність передачі даних.

Хоча існують певні виклики, такі як обмежені ресурси енергії або потреба в оптимізації передачі даних для забезпечення ефективної роботи, загальна реалізація GPS-трекеру показала свою ефективність у відстеженні та управлінні рухомими об'єктами.

Отже, в практичних застосуваннях GPS-трекери можуть бути надзвичайно корисними для великої кількості галузей, включаючи логістику, транспорт, безпеку та багато інших.

На завершення цей проект демонструє, як можна зібрати малопотужний GPS-трекер на основі LoRa за допомогою Arduino та ESP8266. Завдяки унікальній композиції, що включає мікроконтролер Atmega328, чіп SX1276 LoRa та модуль GPS L80, трекер забезпечує надійний зв'язок на великій відстані з низьким енергоспоживанням. Завдяки можливостям сплячого режиму та зарядці через USB, це високоефективний пристрій.

У поєднанні з приймачем, який підключається до Wi-Fi і надсилає дані про місцезнаходження до програми Vlpnk, це налаштування забезпечує точний і зручний інструмент для відстеження. Його потенційні можливості використовують від пошуку загублених домашніх тварин, захисту цінних речей до сприяння дослідженню дикої природи, що робить його незамінним інструментом у багатьох сценаріях. Те саме апаратне забезпечення можна використовувати для створення проекту Geo Fencing на основі LoRa для відстеження активів.

3 Розробка програмного забезпечення

3.1 Збірка компонентів

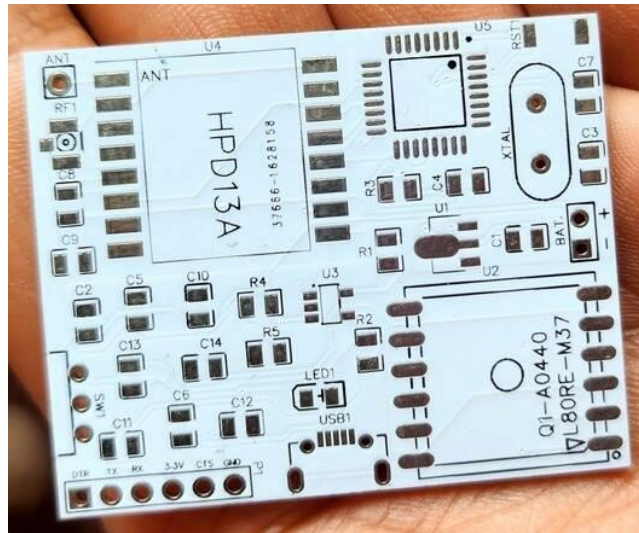


Рисунок 3.1 - Плата передавача LoRa GPS Tracker

На друкованій платі передавача спочатку припаяйте всі компоненти SMD, такі як резистори, конденсатори, транзистори, світлодіод, кнопки та порт мікро-USB. Після спаяння всього цього ви можете спаяти мікросхему ATmega328. (Рисунок 3.1) Я відпаяв чіп ATmega328 від Arduino Nano, оскільки він уже має попередньо встановлений завантажувач. Модуль SX1276 LoRa і модуль GPS також припаяні. Потім припаяйте кварцевий генератор, роз'єм батареї, перемикач і роз'єми.

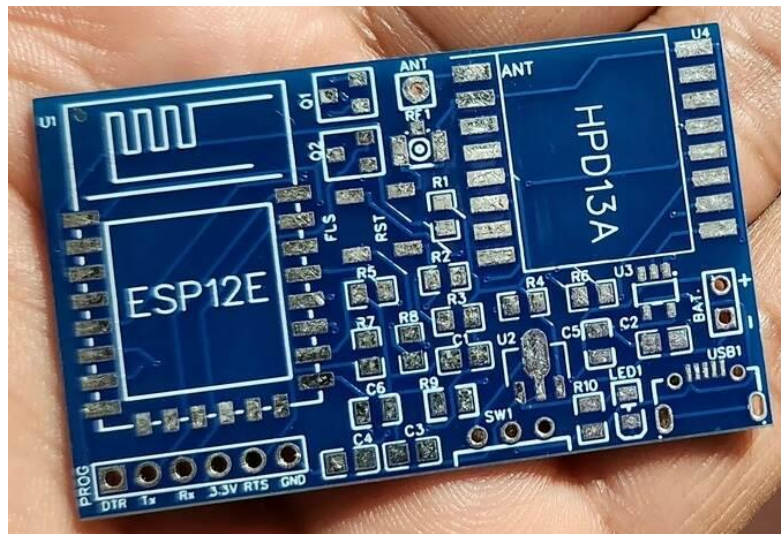


Рисунок 3.2 - Плата передавача LoRa GPS Tracker(Інша сторона)

На друкованій платі приймача спочатку припаяйте всі компоненти SMD, такі як резистори, конденсатори, транзистори, світлодіод, кнопки та порт мікро-USB. (Рисунок 3.2) Слідкуйте за полярністю світлодіодів SMD, розмістіть їх у правильному напрямку. Після спаяння всього цього ви можете спаяти модуль SX1276 LoRa та вихідний чіп ESP8266. Потім припаяйте роз'єм батареї, перемикач і контакти роз'ємів.



Рисунок 3.3 - Збірка друкованої плати передавача



Рисунок 3.4 - Збірка друкованої плати приймача

Тепер треба підключити батарею до плати приймача та передавача.

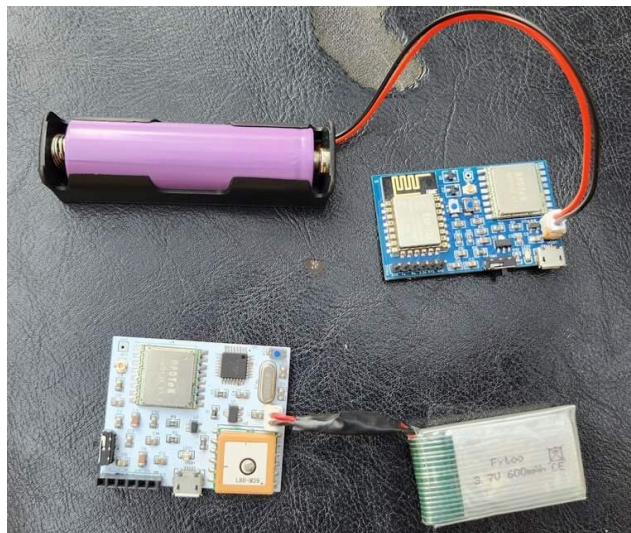


Рисунок 3.5 - GPS-трекер LoRa працює від батареї

Таким чином, апаратне забезпечення для LoRa GPS Tracker з використанням Arduino (ATMega328) і ESP8266 готове.

3.2 Налаштування додатку Blynk

Тепер, щоб перевірити дані GPS бездротовим способом і контролювати їх онлайн, нам потрібен IoT-сервер з інформаційною панеллю. Програма Blynk ідеально підходить для нашої програми.

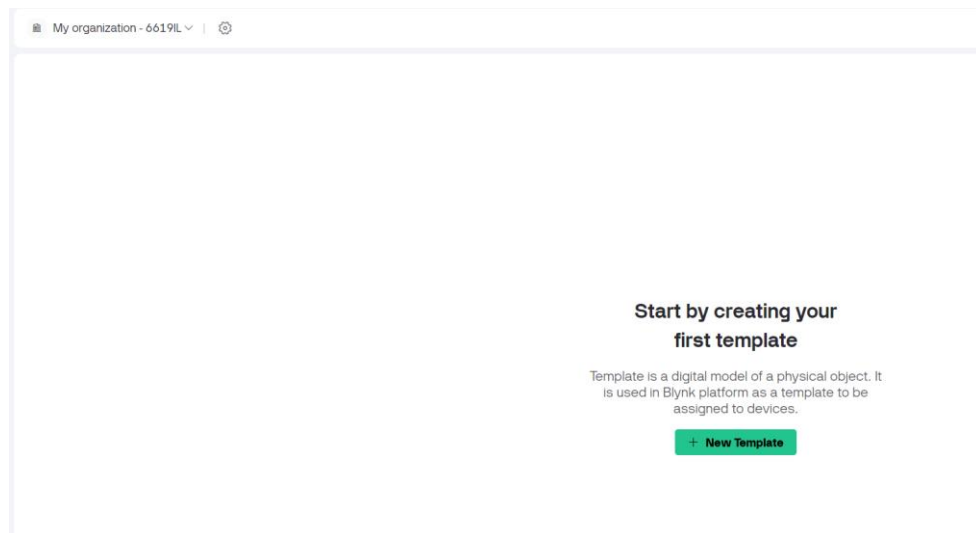


Рисунок 3.6 - Начальна сторінка

Після цього нажимаємо кнопку «New Template» та створюємо новий шаблон з назвою «LoRa GPS Tracker Bazhenov»

The image shows a modal window titled 'Create New Template'. It contains several input fields: a text field for 'NAME' with the value 'LoRa GPS Tracker Bazhenov' and a character count '25 / 50'; two dropdown menus for 'HARDWARE' (selected 'ESP8266') and 'CONNECTION TYPE' (selected 'WiFi'); and a text area for 'DESCRIPTION' with the value 'Bazhenov Dmytro' and a character count '15 / 128'. At the bottom right, there are two buttons: 'Cancel' and 'Done'.

Рисунок 3.7 - Створюємо новий шаблон

Після цього потрібно перейти в вкладку «Datastreams» та створити нові шаблони при цьому вибрати «Virtual Pin» і створити 3 різних типи віртуального піну: Latitude, Longitude, Speed.

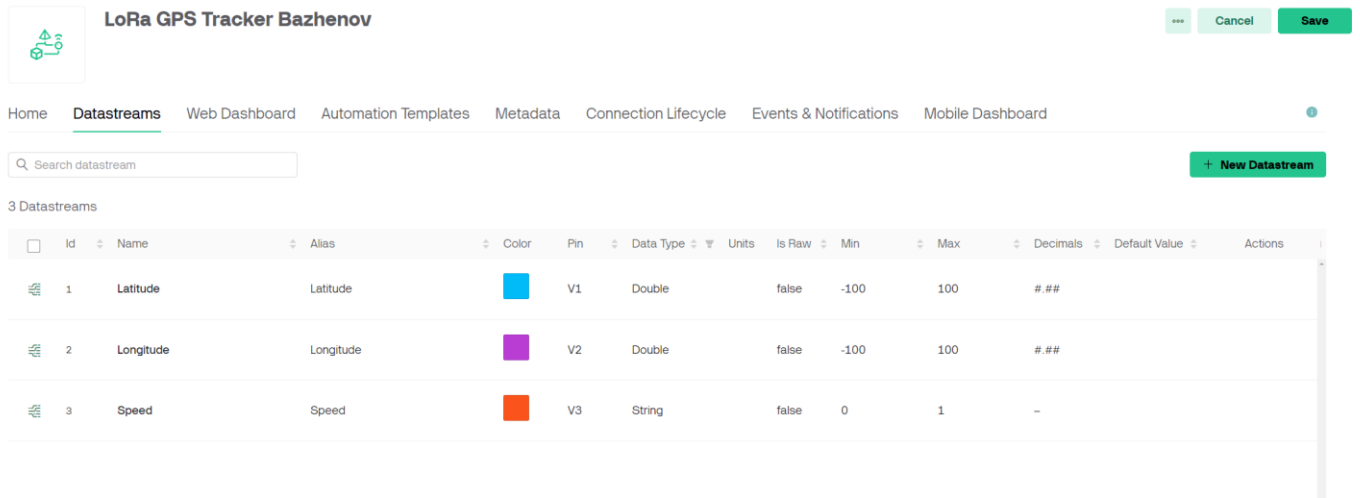


Рисунок 3.8 - Датастрім створено

Після цього переходимо на «Web Dashboard» для того щоб налаштувати мапу.

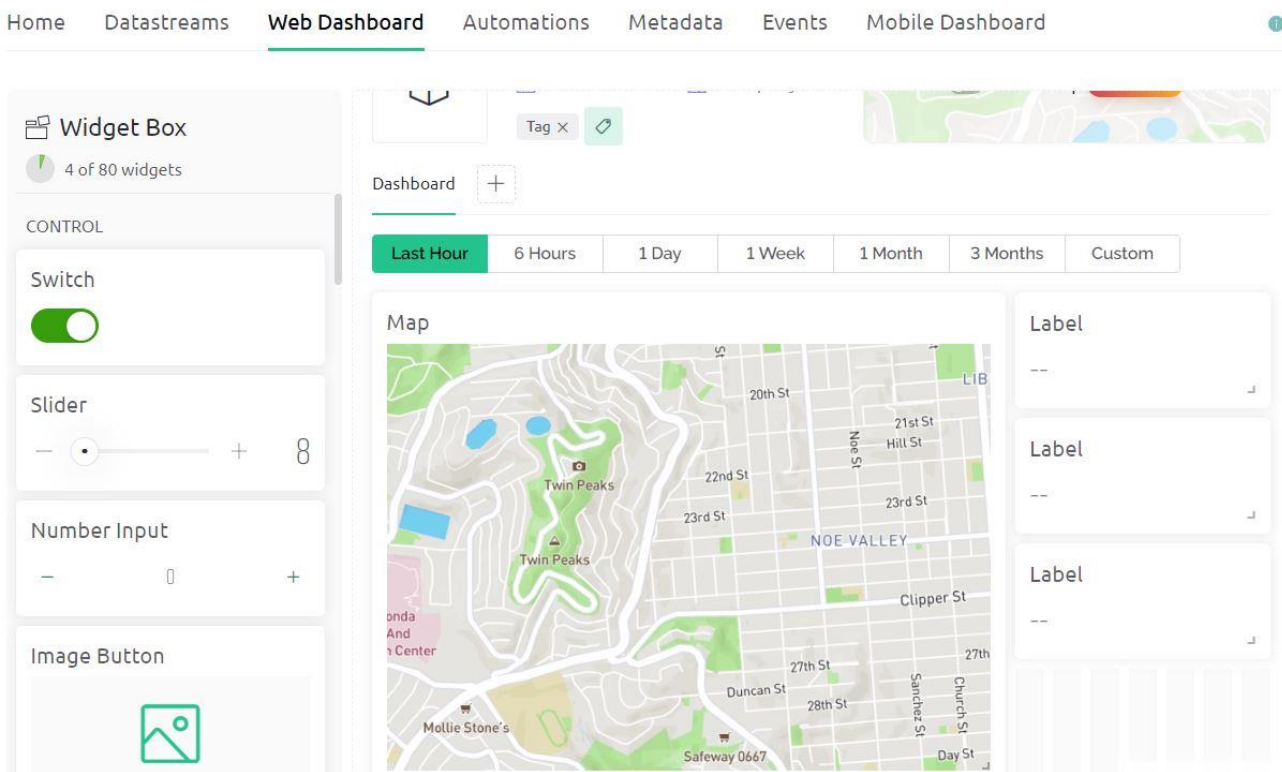


Рисунок 3.9 – Карта з місцеположенням

Перетягуємо 3 віджети. Віджет «Карта» призначений для відображення карти. Карта є преміальною частиною. Окрім карти, є ще 3 віджети для широти, довготи та швидкості.

Зараз нам потрібно налаштувати частину карти. Для цього натискаємо на налаштування та виберемо параметри, як показано на зображенні нижче.

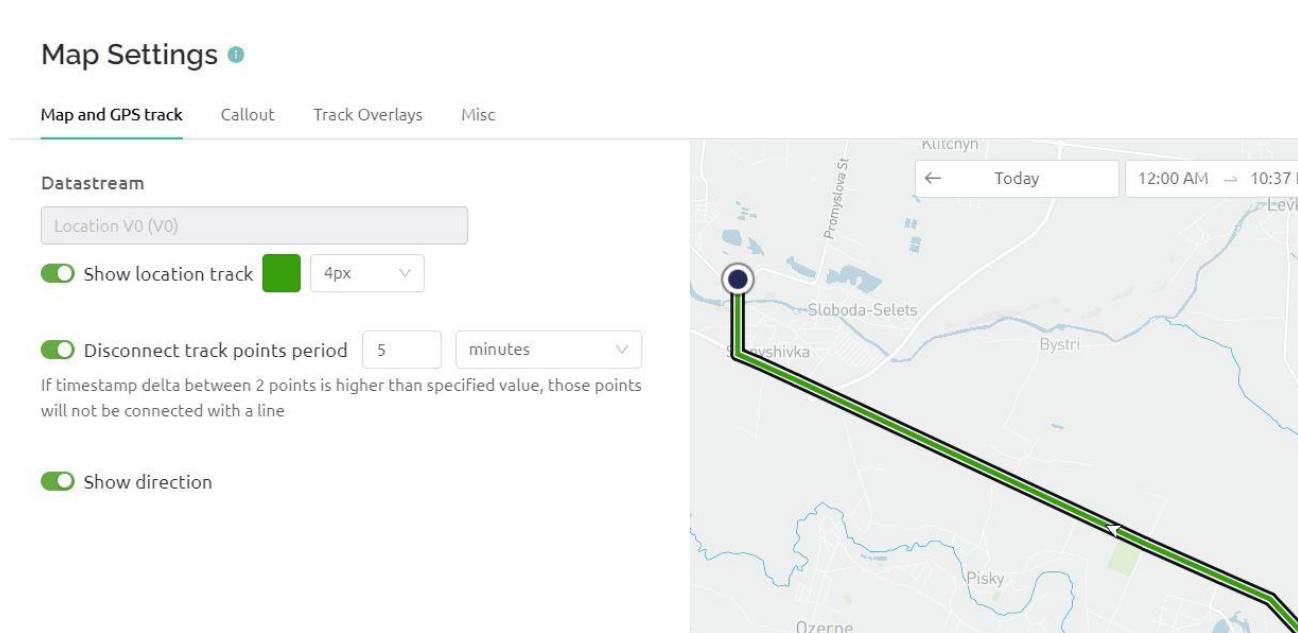


Рисунок 3.10 - Налаштування карти

Подібним чином призначаємо віртуальний пін V1 для широти, віртуальний пін V2 для довготи та віртуальний пін V3 для швидкості.

Після цього створюємо перший свій пристрій.

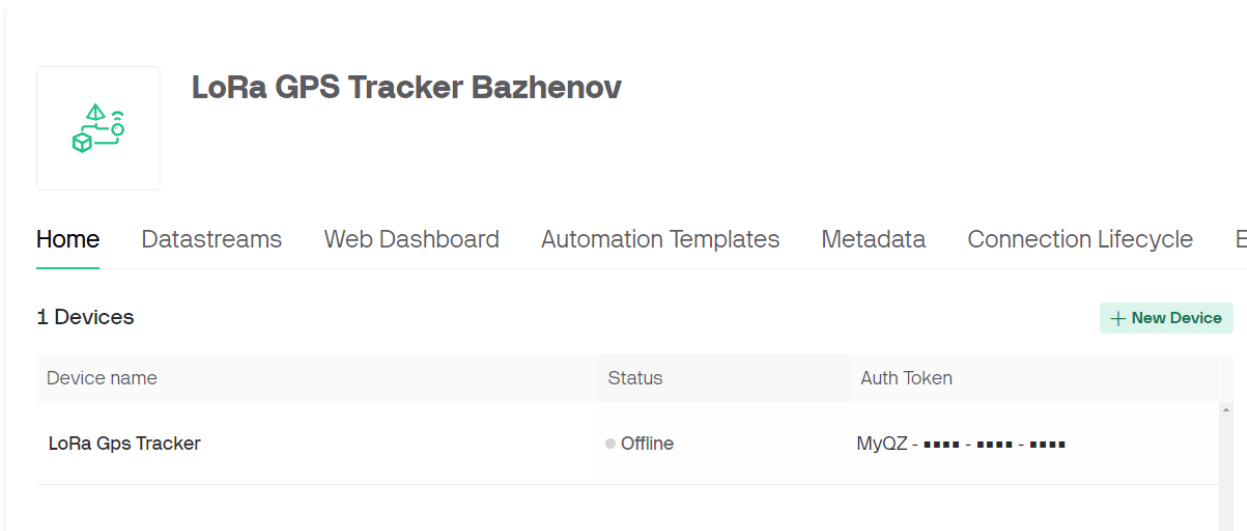


Рисунок 3.11 - Створений пристрій

Тепер використовуємо цей маркер автентифікації, щоб підключити ESP8266 до цієї інформаційної панелі Blynk.

3.3 Код Передавача

Написаний код для частини передавача, яка має мікроконтролер ATmega328. Передавач отримуватиме дані із супутника за допомогою модуля приймача GPS L80. LoRa SX1276 буде передавати дані по бездротовому зв'язку, які повинні бути отримані та зчитані приймачем. Передача даних не відбудеться, доки GPS не отримає дійсні координати GPS. Після отримання GPS-координат починається передача даних LoRa.

Реалізували функцію режиму сну, щоб пристрій переходив у режим сну для економії заряду акумулятора. Він прокинеться лише під час передачі даних і знову засинає. У цьому коді ми переводимо пристрій у режим сну лише на 12 секунд. Можливо, вам знадобиться змінити код, щоб перевести пристрій у сплячий режим на довший період часу.

Також можете виміряти напругу батареї за допомогою контакту АЦП А0, призначеного в апаратній частині, налаштованій мережею дільника напруги з пари резисторів 47 КБ.

```
28 void setup() {
29     Serial.begin(9600);
30     gpsSerial.begin(9600);
31     Serial.println("GPS initialized..");
32
33     LoRa.setPins(ss, rst, dio0);
34     if (!LoRa.begin(868E6)) {
35         Serial.println("Starting LoRa failed!");
36         while (1);
37     }
38     Serial.println("LoRa initialized..");
39
40     set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
41 }
42
43 void loop() {
44     while (gpsSerial.available()) {
45         if (gps.encode(gpsSerial.read())) {
46             if (gps.location.isValid()) {
47
```

Рисунок 3.12 - Код Передавача

Щоб завантажити код на мікросхему ATmega328, підключаємо модуль FTDI до роз'єму плати. Модуль FTDI ідеально підійде відповідно до дизайну обладнання.

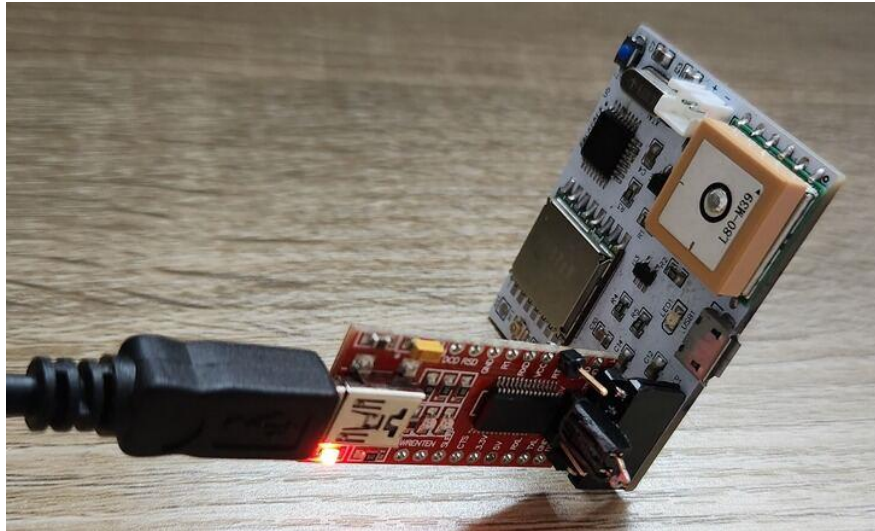


Рисунок 3.13 - Підключення модуля FTDI ATmega328

У менеджері плати виберемо Arduino Nano Board і COM-порт. Потім натискаємо кнопку завантаження, щоб завантажити код.

3.4 Код приймача

Написаний код для частини приймача, яка має чіп ESP8266. Схема приймача отримуватиме дані від передавача. Отримані дані аналізуються окремо для читання широти, довготи та швидкості. Потім дані надсилаються до програми Blynk.

```
int latIndex = incoming.indexOf("LAT:");
int lonIndex = incoming.indexOf(",LONG:");
int speedIndex = incoming.indexOf(",SPEED:");

float lat = incoming.substring(latIndex + 4, lonIndex).toFloat();
float lon = incoming.substring(lonIndex + 6, speedIndex).toFloat();
float speed = incoming.substring(speedIndex + 7).toFloat();

String latString = String(lat, 6);
String lonString = String(lon, 6);
String speedString = String(speed, 2) + " kmph";

Serial.print("Latitude: ");
Serial.println(latString);
Serial.print("Longitude: ");
Serial.println(lonString);
Serial.print("Speed: ");
Serial.println(speedString);
```

Рисунок 3.14 - Код Приймача

Під'єднаний модуль FTDI до штекерного роз'єму приймача за допомогою перемичок.

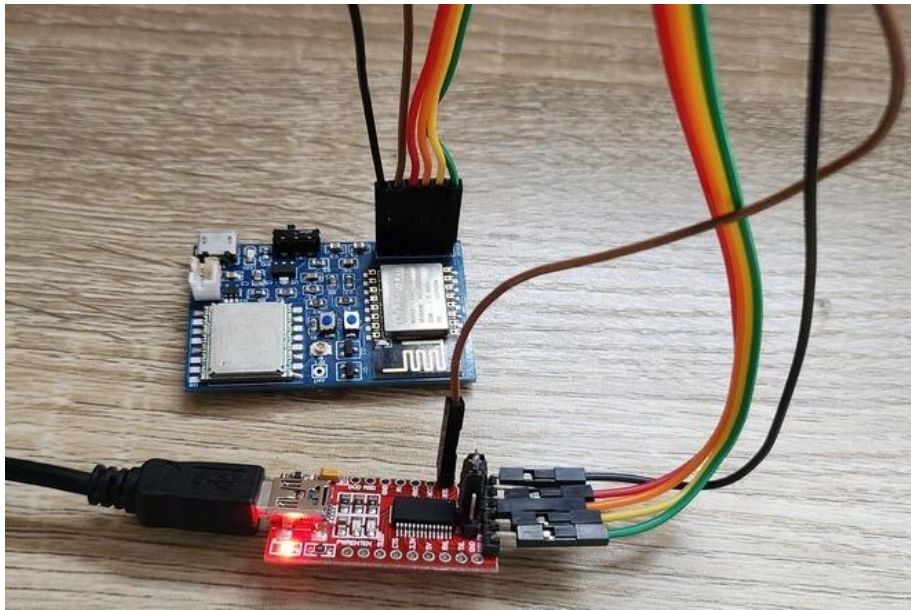


Рисунок 3.15 - З'єднання FTDI з ESP8266

У диспетчері плати вибираємо плату NodeMCU 1.0, а також COM-порт. Натискаємо кнопку завантаження, щоб завантажити код.

3.5 Тестування та демонстрація місцезнаходження GPS

Після завантаження коду ми можемо розпочати тестування як передавача, так і приймача.

Відкриваємо код на стороні передавача, і ми побачимо наступні записи.

```
GPS initialized...
LoRa initialized...
Waiting for valid GPS data...
Waiting for valid GPS data...
Waiting for valid GPS data...
Waiting for valid GPS data...
GPS data acquired...
LAT: 43.656361
LONG: -79.746780
SPEED: 0.00
Packet transmission successful
Going to sleep now

GPS data acquired...
LAT: 43.656361
LONG: -79.746780
SPEED: 0.00
Packet transmission successful
Going to sleep now
```

Рисунок 3.16 - Моніторинг передавача

Після того, як передавач надсилає дані, приймач негайно отримує повідомлення. Відкриваємо монітор для приймача, і ви побачите такі записи.

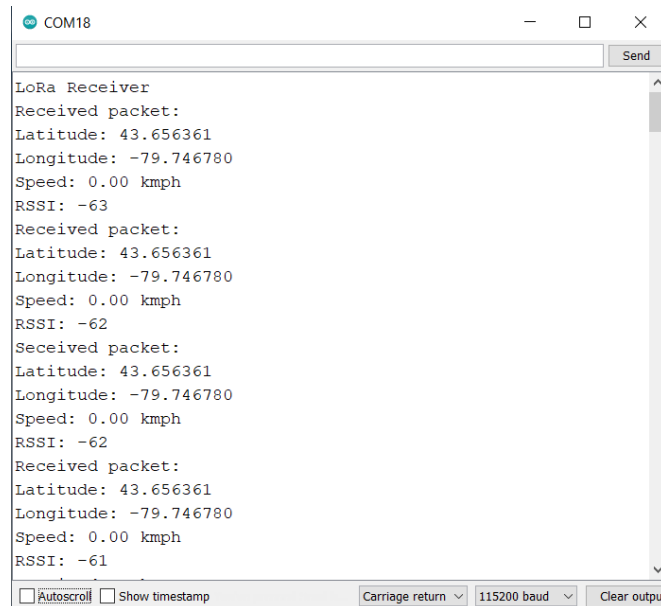


Рисунок 3.17 - Моніторинг приймача

Якщо передавач і приймач спілкуються один з одним, як показано на зображеннях вище, це означає, що апаратне забезпечення готове та ідеальне для тестування на відкритому повітрі.

Тепер зберігаємо схему приймача вдома, яка залишається підключеною до мережі WiFi.

Відкриваємо інформаційну панель Wlunk зараз. На інформаційній панелі Wlunk ми побачимо розташування передавача.

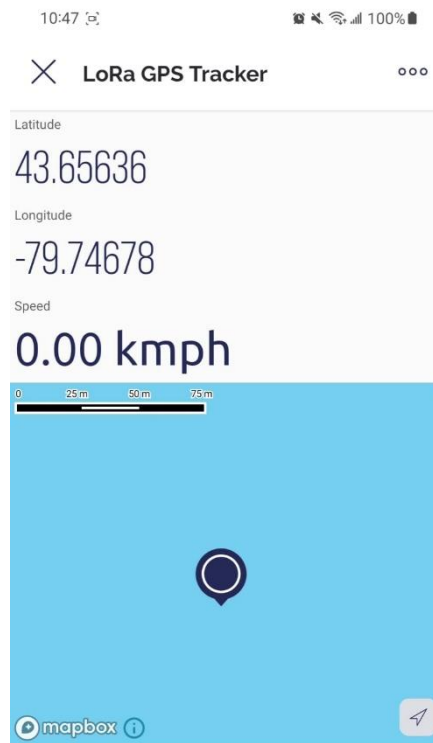


Рисунок 3.18 - Мобільна інформаційна панель

Висновки до розділу 3

У цьому розділі представлено концепцію програмного забезпечення для енергоефективного автономного комплексу визначення місцеположення на базі LoRa. Було проаналізовано наявні технології, такі як LoRa, GPS та LPWAN, і визначено їх ключові характеристики та переваги. На основі цього аналізу розроблено концептуальний підхід до побудови системи, що поєднує можливості цих технологій для забезпечення ефективного, надійного та енергозберігаючого моніторингу об'єктів у віддалених районах.

Базові станції LoRa та центральний сервер забезпечують надійний прийом, обробку та зберігання даних, а також доступ користувачів до інформації через веб-інтерфейс або мобільні додатки.

Розроблена концепція дозволяє широко застосовувати систему для моніторингу об'єктів у віддалених районах, де доступ до електромереж

обмежений, що відкриває нові можливості для сільського господарства, моніторингу навколишнього середовища, логістики та інших сфер.

ВИСНОВКИ

На завершення цей проект демонструє, як можна зібрати малопотужний GPS-трекер на основі LoRa за допомогою Arduino та ESP8266. Завдяки унікальній композиції, що включає мікроконтролер Atmega328, чіп SX1276 LoRa та модуль GPS L80, трекер забезпечує надійний зв'язок на великій відстані з низьким енергоспоживанням. Завдяки можливостям режиму сну та зарядці через USB, це високоефективний пристрій.

У поєднанні з блоком приймача, який підключається до Wi-Fi і надсилає дані про місцезнаходження до програми Blynk, це налаштування забезпечує точний і зручний інструмент для відстеження. Його потенційні можливості використовують від пошуку загублених домашніх тварин, захисту цінних речей до сприяння дослідженню дикої природи, що робить його незамінним інструментом у багатьох сценаріях. Те саме апаратне забезпечення можна використовувати для створення проекту Geo Fencing на основі LoRa для відстеження активів.

Кваліфікаційна Бакалаврська робота на тему "Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa" присвячена дослідженню та розробці системи для визначення місцеположення з використанням технології LoRa, яка забезпечує високу енергоефективність і автономність роботи. В рамках дослідження були виконані наступні завдання:

Проведено аналіз існуючих технологій для визначення місцеположення, зокрема GPS, Wi-Fi, Bluetooth та інших, враховуючи їх переваги та недоліки, особливо з точки зору енергоефективності та можливості автономної роботи. Обґрунтовано вибір технології LoRa як основи для розробки системи, завдяки її низькому енергоспоживанню, великій дальності передачі даних та можливості роботи в умовах недостатнього покриття мережами мобільного зв'язку.

Розроблено архітектуру енергоефективного автономного комплексу визначення місцеположення, визначено основні компоненти системи, зокрема

модулі LoRa, датчики для визначення координат, акумуляторні батареї та засоби зберігання і передачі даних. Створено програмне забезпечення для збору, обробки та передачі даних з модулів до центрального сервера, з особливою увагою до алгоритмів енергозбереження, що дозволяють значно подовжити термін автономної роботи пристроїв.

Проведено експериментальні дослідження прототипу системи в реальних умовах. Отримані результати підтвердили високу ефективність розробленого комплексу, демонструючи стабільну роботу при низькому енергоспоживанні та здатність точно визначати місцеположення в різних умовах. Результати експериментальних досліджень показали, що розроблена система відповідає вимогам щодо енергоефективності та автономності. Проаналізовано можливі шляхи оптимізації та вдосконалення системи.

Розроблений енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі LoRa є перспективним рішенням для багатьох сфер застосування, зокрема в умовах, де необхідне тривале автономне функціонування пристроїв та відсутнє стабільне покриття мобільними мережами. Подальший розвиток цієї технології може включати інтеграцію з іншими системами, покращення алгоритмів енергозбереження та розширення функціональних можливостей комплексу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. (2016). A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors*, 16(9), 1466. (дата звернення 12.06.2024)
2. Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2015). Long-Range IoT Technologies: The Dawn of LoRa™. *Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*, 51-58. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27072-2_7 (дата звернення 11.06.2024)
3. Zuniga, M., & Pesch, D. (2019). The Impact of Interference in LoraWAN: Experiments and Analysis. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(6), 10839-10851. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8751451> (дата звернення 11.06.2024)
4. Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017). Internet of Things (IoT) Communication Protocols: Review. 2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT), 685-690. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7910134> (дата звернення 11.06.2024)
5. IEEE Communications Society. (2020). *LoRa and the Internet of Things: A Comprehensive Guide*. (дата звернення 02.06.2024)
6. Thoen, S. (2019). *LoRaWAN Security: Issues and Best Practices*. The Things Network Conference. (дата звернення 02.06.2024)
7. Liando, J. C., Gamage, A., Tengourtius, A., & Li, M. (2019). Known and Unknown Facts of LoRa: Experiences from a Large-Scale Measurement Study. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 15(2), 16. (дата звернення 05.06.2024)
8. Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855-873. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7899174> (дата звернення 14.06.2024)

9. Reynders, B., Meert, W., & Pollin, S. (2016). Range and coexistence analysis of long range unlicensed communication. 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT), 1 6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7500413> (дата звернення 28.05.2024)
10. Alliance, L. (n.d.). The LoRa Alliance: Wide Area Networks for IoT. URL: <https://lora-alliance.org/> (дата звернення 16.06.2024)
11. Нагорний А. О. Основи мікроелектроніки. Київ, 1975. 103 с. (дата звернення 01.06.2024)
12. Знайомимося з модулем ESP8266. URL: [https://hobbytech.com.ua/знайомимося з модулем ESP8266](https://hobbytech.com.ua/знайомимося-з-модулем-ESP8266) (дата звернення 02.06.2024)
13. LoRa Based Low Power GPS Tracker with Arduino & ESP8266 URL: <https://how2electronics.com/lora-based-low-power-gps-tracker-with-arduino-esp8266/> (дата звернення 30.05.2024)

ДОДАТОК А

Довідка про перевірку на унікальність пояснювальної записки

бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:

«Енергоефективний автономний комплекс визначення місцеположення на базі
LoRa»

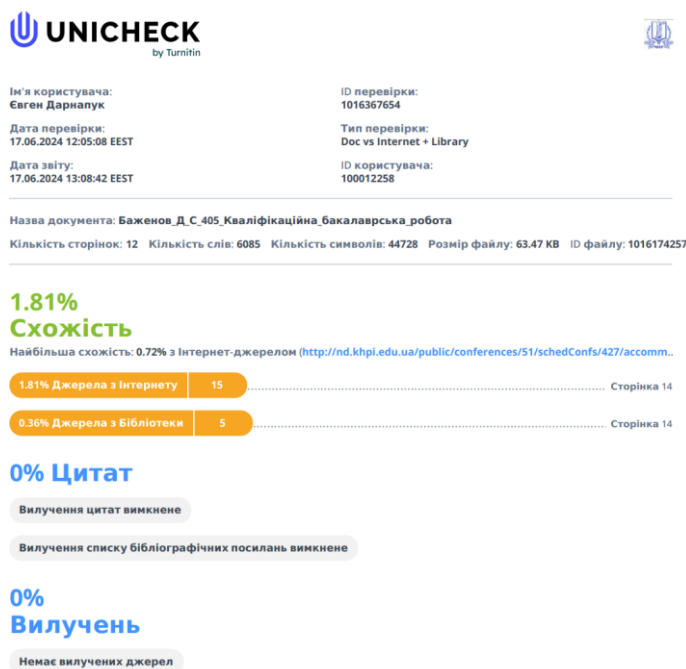
студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», 405 групи

Баженов Дмитро Сергійович

прізвище, ім'я, по-батькові

Перевірку тексту здійснено сервісом: онлайн-сервіс Unicheck

Результат перевірки тексту бакалаврської кваліфікаційної роботи: схожість складає 1.81% .



Здобувач:

Керівник:

_____ Д. С. Баженов _____
підпис ініціали, прізвище

ст. викладач

_____ Є. С. Дарнапук _____
підпис ініціали, прізвище

Дата: «__» _____ 2024 р.

ДОДАТОК Б

Код Передавача

```
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LoRa.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>
#include <avr/wdt.h>

#define rxGPS 3
#define txGPS 2

#define ss 10
#define rst 9
#define dio0 7

TinyGPSPlus gps;
SoftwareSerial gpsSerial(rxGPS, txGPS);

volatile int f_wdt = 1;

ISR(WDT_vect) {
  if (f_wdt == 0) {
    f_wdt = 1;
  } else {
    WDTCSR |= _BV(WDIE);
  }
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  gpsSerial.begin(9600);
  Serial.println("GPS initialized...");

  LoRa.setPins(ss, rst, dio0);
  if (!LoRa.begin(868E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  Serial.println("LoRa initialized...");

  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
}

void loop() {
```

```
while (gpsSerial.available()) {
  if (gps.encode(gpsSerial.read())) {
    if (gps.location.isValid()) {

      String lat = String(gps.location.lat(), 6);
      String lon = String(gps.location.lng(), 6);
      String speed = String(gps.speed.mps());

      Serial.println("GPS data acquired...");
      Serial.println("LAT: " + lat);
      Serial.println("LONG: " + lon);
      Serial.println("SPEED: " + speed);

      String dataToSend = "LAT:" + lat + ",LONG:" + lon + ",SPEED:" + speed;

      LoRa.beginPacket();
      LoRa.print(dataToSend);
      int result = LoRa.endPacket();

      if (result) {
        Serial.println("Packet transmission successful");
      } else {
        Serial.println("Packet transmission failed");
      }
    }

    delay(2000);

    Serial.println("Going to sleep now");
    Serial.println();
    delay(100);

    f_wdt = 0;
    setup_watchdog(9);
    while (f_wdt == 0) {
      system_sleep();
    }

    f_wdt = 0;
    setup_watchdog(8);
    while (f_wdt == 0) {
      system_sleep();
    }

    wdt_disable();

    delay(2000);
  } else {
```

```
        Serial.println("Waiting for valid GPS data...");
    }
}
}
}

void system_sleep() {
    ADCSRA &= ~(1 << ADEN);
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_enable();
    sleep_mode();
    sleep_disable();
    ADCSRA |= (1 << ADEN);
}

void setup_watchdog(int i) {
    byte bb;
    int ww;
    if (i > 9 ) i = 9;
    bb = i & 7;
    if (i > 7) bb |= (1 << 5);
    bb |= (1 << WDCE);
    ww = bb;

    MCUSR &= ~(1 << WDRF);
    WDTCSR |= (1 << WDCE) | (1 << WDE);
    WDTCSR = bb;
    WDTCSR |= _BV(WDIE);
}
```

ДОДАТОК В Код Приймача

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

#define SS      15
#define RST     16
#define DI0     4

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6iHPnSeDn"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "LoRa Gps Tracker"

char auth[] = "*****";
char ssid[] = "*****";
char pass[] = "*****";

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  delay(1000);

  LoRa.setPins(SS,RST,DI0);
  if (!LoRa.begin(868E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  Serial.println("LoRa Receiver");
}

void loop() {
  Blynk.run();

  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {

    Serial.println("Received packet:");

    String incoming = "";
    while (LoRa.available()) {
      incoming += (char)LoRa.read();
    }

    int latIndex = incoming.indexOf("LAT:");
    int lonIndex = incoming.indexOf(",LONG:");
    int speedIndex = incoming.indexOf(",SPEED:");
```



```
float lat = incoming.substring(latIndex + 4, lonIndex).toFloat();
float lon = incoming.substring(lonIndex + 6, speedIndex).toFloat();
float speed = incoming.substring(speedIndex + 7).toFloat();

String latString = String(lat, 6);
String lonString = String(lon, 6);
String speedString = String(speed, 2) + " kmph";

Serial.print("Latitude: ");
Serial.println(latString);
Serial.print("Longitude: ");
Serial.println(lonString);
Serial.print("Speed: ");
Serial.println(speedString);

Serial.print("RSSI: ");
Serial.println(LoRa.packetRssi());

Blynk.virtualWrite(V1, latString.c_str());
Blynk.virtualWrite(V2, lonString.c_str());
Blynk.virtualWrite(V3, speedString.c_str());

Blynk.virtualWrite(V0, (lonString+", "+latString).c_str());
}
}
```