

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

Станція відслідковування погодних умов на базі

LoRaWAN

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.01 – 405.22010521

Студент

_____ Б. Р. Тичина
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

_____ Тичина Богдан Русланович _____

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

_____ Станція відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN _____

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
Очікуваним результатом є пристрій для відстежування погодних умов на базі модуля RFM95W.

4. Перелік питань, що підлягають розробці:

- дослідження предметної області та аналіз існуючих рішень;
- формування специфікації вимог та концепту до комплексу;
- визначення методів та засобів для проектування комплексу;
- моделювання та проектування програмно-апаратного комплексу;
- програмування пристрою;
- здійснення тестування роботи пристрою в реальних умовах.

5. Перелік графічних матеріалів

Презентація

6. Завдання до спеціальної частини

Аналіз охорони праці на робочих місцях фахівців з інформаційних технологій

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
А. О. Алексєєва	Кафедра екології Медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи

ст. викладач Дарнапук Євген Сергійович

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання

Тичина Богдан Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

(підпис)

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 ____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Тема: «Станція відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN»

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КРБ	15.01.2024	15.01.2024	Виконано
2	Огляд літератури за темою роботи	04.04.2024	04.04.2024	Виконано
3	Складання календарного плану КРБ	05.04.2024	05.04.2024	Виконано
4	Аналіз предметної області	10.04.2024	12.04.2024	Виконано
5	Розробка проектних рішень	22.04.2024	30.04.2024	Виконано
6	Моделювання та конструювання	15.05.2024	17.05.2024	Виконано
7	Кодування пристрою	04.06.2024	05.06.2024	Виконано
8	Розробка частини з охорони праці	02.04.2024	02.04.2024	Виконано
9	Оформлення КРБ та презентації	03.04.2024	03.04.2024	Виконано
10	Відгук керівника КРБ	08.06.2024	09.06.2024	Виконано
11	Попередній захист	29.05.2024	29.05.2024	Виконано
12	Попередній захист	06.06.2024	06.06.2024	Виконано
13	Рецензування	12.06.2024	13.06.2024	Виконано
14	Захист кваліфікаційної роботи			

Розробив здобувач ВО Тичина Богдан Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

«15» січня 2024 р.

Керівник роботи, ст. викладач Дарнапук Євген Сергійович

(посада, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

« » 20 р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

Станція відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN»

Студент 405 гр.: Тичина Богдан Русланович

Керівник: ст. викладач Дарнапук Євген Сергійович

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена розробці пристрою відстеження погодних умов на базі технології LoRaWAN. Актуальність теми обумовлена необхідністю створення ефективної системи моніторингу погодних умов, що дозволить покращити якість даних та прогнозів, особливо у віддалених регіонах з обмеженим доступом до Інтернету.

Об'єктом дослідження є станція відслідковування погодних умов. Предметом є апаратно-програмне забезпечення станції на базі LoRaWAN для відслідковування та передачі погодних даних. Мета роботи полягає у створенні надійної системи моніторингу погодних умов, що дозволить забезпечити точні дані для прогнозування.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та додатків. У першому розділі проведено аналіз існуючих рішень та технологій у сфері метеорологічних станцій, визначено переваги та недоліки використання LoRaWAN. У другому розділі здійснено вибір компонентів для розробки станції, включаючи датчики температури, вологості, тиску, швидкості та напрямку вітру. У третьому розділі розроблено програмне забезпечення для збору, обробки та передачі даних на сервер, проведено тестування прототипу в реальних умовах. Основні результати роботи: аналіз існуючих рішень та технологій у сфері метеорологічних станцій; вибір компонентів для розробки станції; розробка програмного забезпечення для збору, обробки та передачі даних; тестування прототипу в реальних умовах.

Кваліфікаційна бакалаврська робота викладена на 83 сторінці, містить розділи, 32 рисунки, 10 таблиць, 20 джерел посилання, 3 додатки.

Ключові слова: *погодні умови, метеостанція, LoRaWAN, моніторинг, управління.*

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

"Weather monitoring station based on LoRaWAN"

Student: Tychyna Bohdan

Supervisor: Senior teacher Darnapuk Yevhen

This bachelor's thesis is dedicated to the development of a weather tracking device based on LoRaWAN technology. The relevance of the topic is driven by the need to create an effective weather monitoring system, which will improve the quality of data and forecasts, especially in remote areas with limited Internet access.

The object of the study is the weather tracking station. The subject is the hardware and software of the LoRaWAN-based station for tracking and transmitting weather data. The goal of the work is to create a reliable weather monitoring system that will provide accurate data for forecasting.

The work consists of an introduction, three chapters, conclusions, and appendices. The first chapter analyzes existing solutions and technologies in the field of weather stations, identifying the advantages and disadvantages of using LoRaWAN. The second chapter involves the selection of components for station development, including sensors for temperature, humidity, pressure, wind speed, and direction. The third chapter develops the software for data collection, processing, and transmission to the server, and tests the prototype under real conditions.

Key results of the work: analysis of existing solutions and technologies in the field of weather stations; selection of components for station development; development of software for data collection, processing, and transmission; testing of the prototype under real conditions.

The bachelor's thesis is presented on 83 pages, contains 3 chapters, 32 figures, 10 tables, 20 references, and 3 appendices.

Keywords: *weather conditions, weather station, LoRaWAN, monitoring, management.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП	4
1 Аналіз предметної області та огляд існуючих рішень	6
1.1 Технологічна складова проєкту	6
1.2 Як влаштована мережа LoRaWAN	7
1.3 Опис і аналіз структурних і функціональних особливостей	9
1.4 Переваги використання станцій LoRaWAN	10
1.5 Варіанти застосування станції	11
1.6 Існуючі рішення на ринку	12
1.7 Приклади реалізованих проєктів у світі та Україні	24
1.8 Вимоги до системи.....	25
Висновки до розділу 1	28
2 Методи та алгоритми роботи комплексу.....	29
2.1 Методи фільтрації	29
2.2 Блок-схеми алгоритмів роботи	43
Висновки до розділу 2	44
3 Проєктування та розробка апаратно-програмного комплексу.....	46
3.1 Вибір електронних компонентів.....	46
3.2 Підсумки вибору компонентів.....	65
3.3 Підключення компонентів.....	66
3.4 Програмування компонентів.....	72
Висновки до розділу 3	75
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	77
ДОДАТОК А довідка.....	80
ДОДАТОК Б Код системи передавача.....	81
ДОДАТОК В Код системи приймача.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

API	– Application Programming Interface
I2C	– Inter-Integrated Circuit
IoT	– Internet of Things
LoRaWAN	– Long Range Wide Area Network
LPWAN	– Low-power Wide-area Network
M2M	– Machine-to-Machine
MISO	– Master In Slave Out
MOSI	– Master Out Slave In
NSS	– Slave Select
SCK	– Serial Clock
SPI	– Serial Peripheral Interface
TTN	– The Things Network
UART	– Universal asynchronous receiver/transmitter

ВСТУП

Зміни клімату та зростаюча частота екстремальних погодних явищ, таких як зливи, посухи та буревії, потребують впровадження ефективних систем моніторингу та прогнозування погодних умов. Відсутність точних та своєчасних даних про стан атмосфери може призвести до значних економічних втрат, негативно впливаючи на сільське господарство, транспорт, енергетику та інші галузі.

Розробка станції відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN є **актуальним** та необхідним кроком у напрямку покращення системи моніторингу кліматичних змін, підвищення безпеки та стабільності в різних сферах діяльності, а також сприяння сталому розвитку суспільства.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є оптимізація процесу відслідковування погодних умов за допомогою станції на базі технології LoRaWAN, забезпечуючи точність та ефективність збору та аналізу даних щодо погоди. Це досягається за рахунок розробки та впровадження нового обладнання та програмного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати доступні джерела інформації та аналогічні проєкти;
- розробити проєкт метеостанції з підтримкою LoRaWAN протоколу;
- розробити алгоритми збору та обробки даних;
- налаштувати та оптимізувати мережеві параметри;
- виконати моделювання розробленого проєкту;
- протестувати розроблену модель;
- оформлення розділу з охорони праці.

Об'єктом дослідження є система відслідковування погодних умов, яка включає апаратні та програмні компоненти для збору, обробки та передачі метеорологічних даних.

Предметом дослідження – технологічні та методичні аспекти розробки включаючи вибір сенсорів, оптимізацію алгоритмів збору та обробки даних, а також налаштування мережевих параметрів для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи.

Необхідність розробки даної системи обґрунтовується наявністю прогалин у сучасних методах моніторингу погоди, а також необхідністю у вдосконаленні та автоматизації процесу збору та аналізу погодних даних. Аналіз сучасного стану проблеми, проведений з урахуванням вітчизняних та зарубіжних досліджень, показує потребу у нових підходах до вирішення даної проблеми.

Основні проєктні рішення базуються на використанні технології LoRaWAN для забезпечення дальнього та надійного зв'язку між станціями та центральною системою збору даних.

Результати даної роботи можуть знайти своє **застосування** у сфері метеорологічних досліджень, а також у секторі громадської безпеки та сільського господарства, де точні та надійні погодні прогнози є важливими для прийняття рішень.

Таким чином, вирішення поставлених завдань та реалізація проєктних рішень сприятимуть підвищенню ефективності та точності моніторингу погоди, що має велике значення для різноманітних галузей діяльності та загального благополуччя суспільства.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Технологічна складова проєкту

У наш час концепція «Розумного міста» (Smart City), яка використовує спеціалізовані комунікаційні та інформаційні технології, стає все більш відомою у світі. Ці технології призначені для підвищення якості та ефективності роботи в агросекторі і міських службах, таких як комунальні послуги, транспорт і енергетика. Вони спрямовані на поліпшення якості життя громадян та зменшення споживання ресурсів і загальних витрат, необхідних для ефективної роботи міської інфраструктури.

Виконання цієї концепції включає значне збільшення кількості датчиків для машинно-машинної взаємодії (Machine-to-Machine, M2M) і з'єднання цифрового світу з фізичним. Надійне підключення та тривала робота великої кількості сенсорів забезпечується завдяки передовій технології LoRaWAN (глобальна мережа великого радіусу дії).

Технологія LoRaWAN базується на методі модуляції LoRa в бездротових мережах LPWAN і відкритому протоколі LoRaWAN для спілкування між LPWAN-шлюзами та кінцевими пристроями. Ця технологія забезпечує надійну передачу даних на відстані до 10–15 км і може обслуговувати тисячі пристроїв за допомогою однієї базової станції з двостороннім з'єднанням, забезпечуючи швидкість передачі від 0,3 до 50,0 кбіт/с.

Коли пристрій починає передавати дані, усі доступні шлюзи (базові станції) його «слухають». Вони пересилають інформацію на мережевий сервер, який на основі різних метаданих вирішує, яка станція має відповідати пристрою. Дані потім відправляються на сервери додатків.

Мережа LoRaWAN має топологію «зірка із зірок», де кінцеві вузли через шлюзи, що є прозорими мостами, комунікують з центральним

мережевим сервером. У такій структурі шлюзи і центральний сервер належать оператору мережі, а кінцеві вузли – абонентам, що мають можливість безпечної двосторонньої передачі даних.

Крім того, ефективна передача інформації і контроль рухомих пристроїв досягається за рахунок використання декількох шлюзів одночасно, що дозволяє забезпечити вільний обмін даними, наприклад, між датчиками на вантажних контейнерах, без жодної прив'язки до кінцевих вузлів.

1.2 Як влаштована мережа LoRaWAN

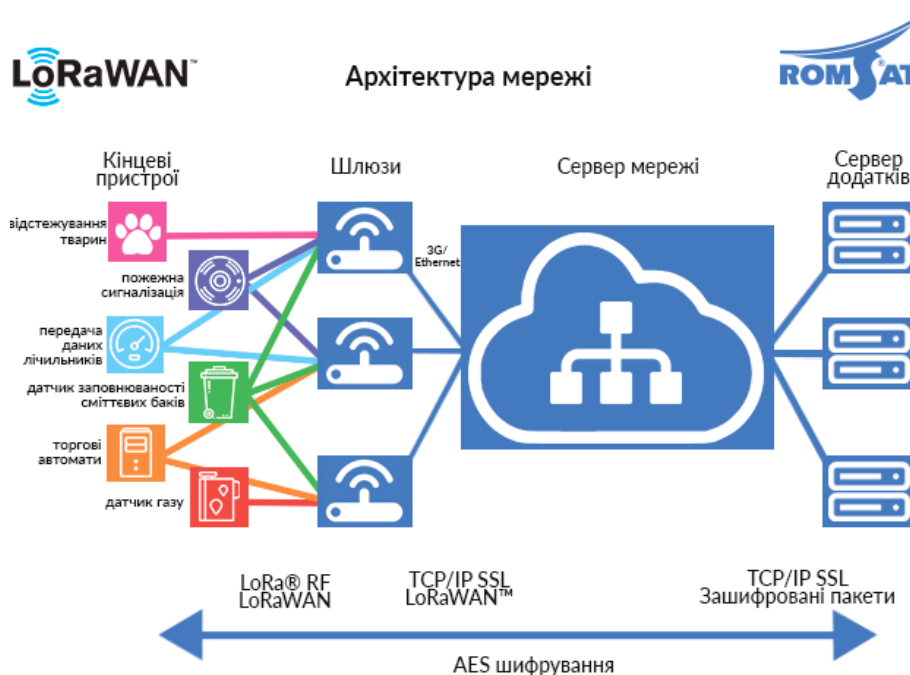


Рисунок 1.1 – Архітектура мережі

Архітектура мережі LoRa включає декілька основних компонентів (Рисунок 1.1):

1) кінцевий пристрій (один або кілька) – використовується для управління чи вимірювань і оснащений відповідними датчиками та керуючими елементами;

2) шлюз – цей пристрій збирає дані з кінцевих пристроїв через радіозв'язок і передає їх далі в мережу. Як транзитна мережа можуть використовуватися Ethernet, Wi-Fi, мобільні мережі або інші

телекомунікаційні канали. Шлюз спільно з кінцевими пристроями створює мережу з топологією «зірка». Типово шлюз має багатоканальний приймач, що дозволяє одночасно обробляти кілька сигналів у різних каналах або декілька сигналів у одному каналі. Відповідно, декілька таких пристроїв створюють зону покриття мережі та забезпечують чітку двосторонню передачу даних між кінцевими вузлами та сервером;

3) мережевий сервер – відповідає за управління мережею, включаючи планування завдань, адаптацію швидкості передачі даних, збереження та обробку зібраної інформації;

4) сервер додатків – використовується для дистанційного керування роботою кінцевих пристроїв і збору даних з них.

Зазвичай у мережі LoRa оператор володіє шлюзами та центральним сервером, тоді як абоненти володіють кінцевими пристроями, що здійснюють двосторонню передачу даних з належним захистом.

Існують три основні класи кінцевих пристроїв, кожен з яких адаптований до специфічних потреб додатків із характерними особливостями та вимогами.

Кінцеві пристрої класу А є двонаправленими і використовуються для мінімізації споживання енергії з пріоритетом на передачу даних серверу. Зв'язок ініціюється кінцевим пристроєм, який надсилає пакет даних і потім очікує відповідь в двох часових вікнах. Передача даних сервером можлива лише після активації зв'язку кінцевим пристроєм.

Кінцеві пристрої класу В також двонаправлені, але вони мають додаткове вікно для прийому даних, яке відкривається за встановленим розкладом. Пристрої цього класу синхронізуються зі спеціальним сигналом від шлюзу, дозволяючи серверу передавати дані у визначений час.

Кінцеві пристрої класу С забезпечують максимально можливий час для прийому даних, маючи вікно прийому, яке зачинається тільки під час передачі даних. Це робить їх ідеальними для застосувань, де необхідний великий обсяг даних.

1.3 Опис і аналіз структурних і функціональних особливостей

Система відслідковування погодних включає декілька ключових компонентів та має певні структурні особливості. Ось детальний аналіз цих компонентів та функціональності.

Компоненти системи:

- 1) сенсори:
 - температурні сенсори: вимірюють зовнішню температуру повітря (KY-015, BMP280);
 - вологісні сенсори: вимірюють вологість повітря (KY-015);
 - атмосферні сенсори: для вимірювання атмосферного тиску (BMP280).
- 2) мікроконтролери:
 - здійснюють зчитування даних з сенсорів, обробку та підготовку до передачі. Використовуються мікроконтролери з низьким енергоспоживанням, Arduino Nano та ESP8266.
- 3) модулі LoRa:
 - відповідають за бездротову передачу даних на довгі відстані. LoRa модулі (RFM95W) використовуються для забезпечення зв'язку між сенсорами та центральною базою.
- 4) антена:
 - забезпечує передачу та прийом сигналів LoRa. Антена повинна бути оптимізована для роботи на частотах LoRaWAN (зазвичай 868 MHz у Європі).
- 5) живлення:
 - система живиться від батарейок, що робить її автономною та здатною працювати в віддалених місцях.

Функціональні можливості

Сенсори постійно моніторять погодні умови і передають зібрані дані до мікроконтролера. Мікроконтролер кодує та відправляє дані через LoRa до найближчого шлюзу LoRaWAN, який потім передає дані в Інтернет.

Дані, отримані шлюзом, передаються до серверу (через The Things Network), де вони можуть бути агреговані, аналізовані та збережені для подальшого використання. Використання алгоритмів машинного навчання або статистичних методів для виведення прогнозів погоди або для виявлення трендів і аномалій.

Дані можуть інтегруватися з системами автоматичного керування (наприклад, для сільськогосподарських заходів або управління ресурсами) або з системами раннього попередження про екстремальні погодні умови. Ця система забезпечує надійне та точне відслідковування погодних умов, що є критично важливим для різних застосувань, від аграрної індустрії до метеорологічних досліджень.

1.4 Переваги використання станцій LoRaWAN

Технологія LoRaWAN відома своїми значними перевагами:

- немає потреби у ліцензуванні використовуваних частот (868,6 МГц), на яких функціонують мережі LoRaWAN;
- можливість обслуговувати кілька тисяч пристроїв однією базовою станцією;
- широкий радіус дії сигналу;
- висока стійкість до зовнішніх перешкод;
- довгий термін служби батарей, який може досягати 10 років;
- можливість автономної роботи пристрою за допомогою сонячних батарей до кінця його ресурсу.

Особливості технології: LoRaWAN являє собою передову технологію бездротового зв'язку, яка вирізняється високою надійністю та мінімальним споживанням енергії.

Термін служби батареї: У порівнянні з іншими доступними технологіями, LoRaWAN забезпечує значно триваліший термін служби батареї завдяки енергоефективності, яка досягається через асинхронний обмін даними тільки коли це необхідно, що знижує загальне споживання енергії.

Легкість розгортання: Завдяки мінімальним вимогам до інфраструктури, встановлення мережі LoRaWAN вимагає лише придбання шлюзу та датчиків, причому сучасні шлюзи підтримують різні види підключення, включаючи 3G, 4G та Ethernet.

Ємність мережі: Одна базова станція може одночасно обслуговувати кілька тисяч пристроїв, що дозволяє швидко розширювати мережу з мінімальними витратами.

Безпека: LoRaWAN забезпечує високий рівень безпеки завдяки використанню кількох рівнів шифрування AES:

- на мережевому рівні з унікальним ключем мережі (Unique Network Key, EU164);
- наскрізна безпека на рівні додатків з унікальним ключем додатку (Unique Application Key, EU164);
- за допомогою спеціалізованого ключа пристрою (Device Specific Key, EU128).
- це забезпечує аутентифікацію і цілісність даних на мережевому сервері та захищене шифрування на сервері додатків.

1.5 Варіанти застосування станції

Станція відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN має широкий спектр застосувань у різних галузях. У сільському господарстві вони можуть використовуватись для моніторингу вологості ґрунту, що допомагає оптимізувати зрошення, та контролю мікроклімату в теплицях, забезпечуючи оптимальні умови для вирощування культур. У сфері

екологічного моніторингу станції допомагають відстежувати рівень забруднення повітря та стан водних ресурсів, попереджаючи екологічні катастрофи. Міське управління також виграє від використання таких станцій, адже вони забезпечують оперативну інформацію про погодні умови, що сприяє покращенню управління трафіком, оптимізації роботи громадського транспорту та підвищенню безпеки мешканців, а також зменшенню енергоспоживання.

У транспортній інфраструктурі станції допомагають забезпечувати безпеку на дорогах, попереджаючи водіїв про небезпеки, такі як ожеледь, туман чи сильний дощ, а також підвищують ефективність польотів та судноплавства. В енергетиці вони корисні для моніторингу вітрових та сонячних електростанцій, збираючи дані про погодні умови для підвищення їх ефективності. У сфері туризму та відпочинку станції надають точну інформацію про погодні умови на туристичних об'єктах, що допомагає планувати відпочинок та забезпечувати безпеку на гірськолижних курортах.

Наукові дослідження також отримують значну користь від використання метеостанцій на базі LoRaWAN, адже вони дозволяють збирати довготривалі дані для аналізу кліматичних змін та проведення академічних проєктів у навчальних закладах. Таким чином, впровадження станцій відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN сприяє покращенню моніторингу кліматичних змін, підвищенню безпеки та ефективності в різних галузях діяльності, а також підтримці сталого розвитку суспільства.

1.6 Існуючі рішення на ринку

На даний момент існує невелика кількість готових виробів на ринку. Далі наведено деякі існуючих рішень.

1) Davis Instruments Vantage Pro 2 – Це дуже надійна метеостанція, яка підтримує LoRaWAN для передачі даних (Рисунок 1.2). Вона вимірює

температуру, вологість, атмосферний тиск, кількість опадів, швидкість вітру та багато іншого.



Рисунок 1.2 – Davis Instruments Vantage Pro2

Метеостанція Vantage Pro 2 6152 Davis Instruments – це бездротовий комплекс для професійного моніторингу погодних умов.

Метеостанція Vantage Pro 2 6152 забезпечує:

- передачу даних на відстань до 300 метрів;
- живлення від сонячної батареї;
- оновлення даних кожні 2,5 секунди;
- сумісність з програмним забезпеченням WeatherLink для передачі даних на ПК або вебсайт.

Збір погодних даних відбувається за допомогою датчиків кліматичного блоку метеостанції Davis 6152 Vantage Pro 2, який складається з погодостійкого матеріалу, що забезпечує надійність і довговічність використання.

Датчики кліматичного блоку вимірюють:

- прогноз погоди на 48 годин;
- атмосферний тиск;

- швидкість і напрямок вітру;
- температуру і вологість повітря;
- кількість і інтенсивність опадів.

Кількість вимірюваних параметрів можна збільшити, додавши додаткові датчики для вимірювання сонячного і ультрафіолетового випромінювання, вологості листя, вологості і температури ґрунту тощо.

Дані відображаються на цифровій консолі метеостанції, яка записує і відображає інформацію з кліматичного блоку, а також температуру і вологість повітря в приміщенні, атмосферний тиск. Консоль малює графіки та сигналізує про вихід параметрів за допустимі межі.

Консоль може приймати дані від 8 метеопристроїв Davis Instruments, таких як інші консолі, блоки вимірювання температури і вологості, модулі WeatherEnvoy та Envoy8X, Vantage Connect.

Підключення до комп'ютера здійснюється за допомогою програмного забезпечення WeatherLink через USB або серійне з'єднання для передачі, збереження, обробки і аналізу даних. Дані можна передавати на вебсайт і переглядати їх з будь-якого ПК або смартфона.

Основні функціональні можливості:

- вимірювання атмосферного тиску з відображенням тенденцій змін за останні три години;
- символічний прогноз погоди на 12 годин з оновленням щогодини, можливе відображення прогнозу на 48 годин у вигляді рядка, що біжить;
- вимірювання температури і вологості повітря в приміщенні з високою точністю;
- поточний час, календар, час сходу і заходу сонця, фази місяця, автоматичний перехід на літній час, будильник;
- частота передачі даних 868,35 МГц з дальністю зв'язку до 300 м.
- вимірювання зовнішньої температури і вологості повітря, визначення точки роси, індексу нагрівання;
- вимірювання швидкості і напрямку вітру;

- вимірювання кількості опадів, що випали за день або певний період, з відображенням інтенсивності опадів;
- вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання, індексу THSW і сумарного випаровування;
- вимірювання індексу і дози ультрафіолетового випромінювання, вологості листя, температури і вологості ґрунту;
- функція калібрування внутрішньої і зовнішньої температури, вологості, напрямку вітру та атмосферного тиску.

Метеостанція Davis 6152 Vantage Pro2 оптимізована для роботи з мінімальним споживанням енергії, не потребує обов'язкового блоку живлення. Три лужні батареї типу «С» забезпечують роботу консолі протягом 12 місяців. Живлення блоку метеодатчиків і анемометра здійснюється за допомогою сонячної і літієвої батарей. Консоль може приймати інформацію від 8 передавачів атмосферного тиску.

Додаткове обладнання:

- можливість перегляду даних з більш ніж одного місця;
- бездротові станції для вимірювання вологості і температури ґрунту і листя;
- бездротова станція температури;
- бездротові станції температури і вологості;
- анемометр/ретранслятор датчика.

2) Метеостанція Netatmo Weather Station – це сучасний пристрій для моніторингу погодних умов, призначений як для домашнього, так і для професійного використання. Вона пропонує широкий спектр можливостей для вимірювання та аналізу погодних даних, а також інтеграцію з системами «розумного дому». З додатковою підтримкою LoRaWAN, ця метеостанція забезпечує ще більш надійну передачу даних на великі відстані (Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Netatmo Weather Station

Netatmo Weather Station – це стильна та інноваційна метеостанція, яка складається з двох основних модулів: внутрішнього та зовнішнього. Цей пристрій дозволяє користувачам отримувати точні дані про температуру, вологість, рівень CO₂, шум, атмосферний тиск та інші параметри. Дані передаються на мобільні пристрої через Wi-Fi або LoRaWAN, що дозволяє легко відстежувати погодні умови в реальному часі навіть у віддалених місцях.

Технічні характеристики

Основний модуль:

- модель: Netatmo Weather Station;
- живлення: внутрішній модуль: USB адаптер, зовнішній модуль: 2 батарейки AAA (тривалість роботи до 1 року);
- зв'язок: Wi-Fi (802.11b/g/n) або LoRaWAN;
- робоча температура: внутрішній модуль: 0 °C до 50 °C, зовнішній модуль: – 40 °C до 65 °C;
- вологість: 0 % до 100 % RH.

Датчики:

- температура: діапазон вимірювань: від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, точність: $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість: діапазон вимірювань: від 0% до 100% RH, точність: $\pm 3\%$ RH;
- атмосферний тиск: діапазон вимірювань: від 260 до 1160 гПа, точність: ± 1 гПа;
- рівень CO₂ (внутрішній модуль): діапазон вимірювань: від 0 до 5000 ppm, точність: ± 50 ppm або $\pm 5\%$;
- рівень шуму (внутрішній модуль): діапазон вимірювань: від 35 до 120 дБ, точність: ± 3 дБ.

Інтерфейси та сумісність:

- програмне забезпечення: сумісність з Netatmo Weather App (iOS, Android, Web);
- протокол: підтримка IFTTT для інтеграції з системами «розумного дому»;
- підтримка хмарних сервісів: Netatmo Cloud, можливість доступу до даних через вебінтерфейс;
- LoRaWAN: підтримка передачі даних через мережі LoRaWAN для моніторингу у віддалених місцях.

Функції:

- реальний час: Відображення даних в реальному часі на смартфонах та планшетах;
- історія даних: зберігання та аналіз історичних даних;
- повідомлення: настроювані сповіщення про зміну погодних умов;
- інтеграція з «розумним домом»: можливість підключення до систем «розумного дому» для автоматизації процесів на основі погодних даних;
- додаткові датчики: підтримка додаткових модулів для вимірювання швидкості та напрямку вітру, кількості опадів.

Netatmo Weather Station – це стильний та функціональний пристрій для моніторингу погодних умов, який забезпечує точні вимірювання та зручний інтерфейс для користувачів. Завдяки можливостям інтеграції з системами «розумного дому», зберіганню історичних даних та підтримці LoRaWAN для передачі даних на великі відстані, ця метеостанція ідеально підходить як для домашнього, так і для професійного використання.

3) Метеостанція Ecowitt GW1000 – це багатофункціональний прилад, який дозволяє відстежувати різноманітні метеорологічні дані в режимі реального часу. Вона відрізняється високою точністю вимірювань та широкими можливостями для моніторингу погоди. Завдяки додатковій підтримці LoRaWAN, ця метеостанція забезпечує надійну передачу даних на великі відстані (Рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Ecowitt GW1000

Ecowitt GW1000 – це інтелектуальна метеостанція, яка збирає дані від різних сенсорів та передає їх на мобільні пристрої через Wi-Fi або LoRaWAN. Цей пристрій підходить як для домашнього використання, так і для професійного моніторингу погоди. Метеостанція має компактний дизайн та простий у користуванні інтерфейс.

Технічні характеристики:

Основний модуль:

- модель: GW1000;
- живлення: USB (5В/1А);
- зв'язок: Wi-Fi (802.11b/g/n) або LoRaWAN;
- робоча температура: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість: 0 % до 99 % RH.

Датчики:

Температура та вологість:

- діапазон вимірювань температури: від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- точність температури: $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- діапазон вимірювань вологості: від 0 % до 99 % RH;
- точність вологості: $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{RH}$.

Атмосферний тиск:

- діапазон вимірювань: від 300 до 1100 гПа;
- точність: $\pm 1\text{ гПа}$.

Швидкість та напрямок вітру:

- діапазон вимірювань швидкості вітру: від 0 до 50 м/с;
- точність: $\pm 1\text{ м/с}$;
- діапазон вимірювань напрямку вітру: $0\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опади:

- діапазон вимірювань: від 0 до 9999 мм;
- точність: $\pm 1\text{ мм}$.

Інтерфейси та сумісність:

- програмне забезпечення: сумісність з Ecowitt App, WS View App;
- протокол: підтримка протоколу MQTT для інтеграції з системами «розумного дому»;
- підтримка хмарних сервісів: Ecowitt Weather Server, Weather Underground, Weather Cloud, WOW;
- LoRaWAN: підтримка передачі даних через мережі LoRaWAN для моніторингу у віддалених місцях.

Функції:

- реальний час: відображення даних в реальному часі;
- історія даних: зберігання історичних даних для подальшого аналізу;
- повідомлення: настроювані повідомлення про погодні умови;
- інтеграція з «розумним домом»: можливість підключення до систем «розумного дому» для автоматизації процесів на основі погодних даних.

Esowitt GW1000 – це надійна та багатофункціональна метеостанція, яка дозволяє отримувати точні погодні дані та легко інтегрується в сучасні системи «розумного дому». Завдяки підтримці LoRaWAN для передачі даних на великі відстані, ця метеостанція ідеально підходить як для домашнього, так і для професійного використання.

4) Метеостанція IoT WTS505 – це універсальна система моніторингу погодних умов LoRaWAN для різноманітних атмосферних параметрів, таких як температура, вологість, швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск. Система складається з трьох основних компонентів: датчиків WTS, концентратора WTS та сонячної панелі (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – IoT WTS505

Метеостанція IoT розроблена для витримування найскладніших погодних умов і легко встановлюється у різних сценаріях, що дозволяє широко використовувати її в метеорології, інтелектуальному сільському господарстві, інтелектуальному будівництві тощо.

Дані з датчиків передаються за допомогою технології LoRaWAN. Завдяки сумісності зі шлюзом Milesight LoRaWAN та рішенням Milesight IoT Cloud користувачі можуть керувати всіма даними з датчиків і легко запускати інші датчики або пристрої віддалено через вебсторінку або мобільний додаток.

Основні характеристики:

- вимірювання температури, вологості, швидкості і напрямку вітру, атмосферного тиску;
- висока роздільна здатність і точність даних дослідницького рівня;
- міцний корпус з алюмінієвого сплаву, стійкий до іржі, корозії та окислення;
- моніторинг погоди для складних або орієнтованих на точність умов, таких як попередження про раптові повені, національний метеорологічний моніторинг тощо.
- Функції:
 - інтеграція з декількома датчиками, такими як вологість, температура, атмосферний тиск, швидкість і напрямок вітру тощо;
 - водонепроникний, стійкий до ультрафіолетового випромінювання та соляного туману корпус для використання на відкритому повітрі в суворих умовах;
 - потужна сонячна панель з акумуляторами, що перезаряджаються;
 - зберігання локально понад 19 000 історичних записів та підтримка повторної передачі для забезпечення збереження даних;
 - легкість у перенесенні та встановленні;

- бездротова передача на наддовгій дистанції до 15 км у сільській місцевості;
- оснащення NFC для простої та швидкої настройки;
- сумісність зі стандартними шлюзами та мережевими серверами LoRaWAN;
- швидке і просте управління за допомогою Milesight IoT Cloud.

5) Метеостанція Dragino LoRaWAN Weather Station – це сучасний пристрій для моніторингу погодних умов, призначений для використання як в домашніх умовах, так і для професійних потреб. Завдяки підтримці LoRaWAN, ця метеостанція забезпечує надійну передачу даних на великі відстані, що дозволяє отримувати точні погодні дані навіть у віддалених місцях (Рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Dragino LoRaWAN Weather Station

Dragino LoRaWAN Weather Station – це компактна та функціональна метеостанція, яка складається з кількох датчиків для вимірювання різних параметрів погоди. Пристрій збирає дані про температуру, вологість, атмосферний тиск, швидкість та напрямок вітру, а також кількість опадів. Всі зібрані дані передаються через мережу LoRaWAN, що забезпечує надійний зв'язок на великі відстані та низьке енергоспоживання.

Технічні характеристики:

Основний модуль:

- модель: Dragino LoRaWAN Weather Station;
- живлення: Батарейки або зовнішнє живлення (опціонально);
- зв'язок: LoRaWAN;
- робоча температура: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість: 0 % до 100 % RH.

Датчики:

Температура:

- діапазон вимірювань: від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- точність: $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вологість:

- діапазон вимірювань: від 0 % до 100 % RH;
- точність: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{RH}$.

Атмосферний тиск:

- діапазон вимірювань: від 300 до 1100 гПа;
- точність: $\pm 1\text{ гПа}$.

Швидкість та напрямок вітру:

- діапазон вимірювань швидкості вітру: від 0 до 30 м/с;
- точність: $\pm 0.3\text{ м/с}$;
- діапазон вимірювань напрямку вітру: $0\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опади:

- діапазон вимірювань: від 0 до 1000 мм;
- точність: $\pm 1\text{ мм}$.

Інтерфейси та сумісність:

- програмне забезпечення: сумісність з різними платформами LoRaWAN;
- протокол: підтримка LoRaWAN для передачі даних на великі відстані;

– підтримка хмарних сервісів: інтеграція з різними хмарними платформами для зберігання та аналізу даних.

Функції:

- реальний час: відображення даних в реальному часі;
- історія даних: зберігання історичних даних для подальшого аналізу;
- повідомлення: настроювані повідомлення про зміну погодних умов;
- інтеграція з «розумним домом»: можливість підключення до систем «розумного дому» для автоматизації процесів на основі погодних даних.

Dragino LoRaWAN Weather Station – це надійна та багатофункціональна метеостанція, яка дозволяє отримувати точні погодні дані та передавати їх на великі відстані завдяки підтримці LoRaWAN. Завдяки високій точності вимірювань та широким можливостям для моніторингу погоди, ця метеостанція є ідеальним вибором як для домашнього, так і для професійного використання.

1.7 Приклади реалізованих проєктів у світі та Україні

У світі є кілька відомих реалізацій таких проєктів. Один з них – це The Things Network (TTN), глобальний проєкт з вузлами у багатьох країнах. TTN використовує LoRaWAN для створення відкритої, спільотно-керованої мережі, де встановлені метеостанції відправляють дані про погоду. OpenWeatherMap також використовує LoRaWAN для збору метеорологічних даних з різних куточків світу і надає їх через API. Ще один проєкт – SenseBox у Німеччині, що використовує LoRaWAN для збору екологічних та метеорологічних даних у міському середовищі та дозволяє школярам і студентам створювати власні метеостанції.

В Україні також є декілька таких проєктів. У Харкові реалізовано метеостанцію в рамках університетських досліджень для збору даних про

погодні умови та забруднення повітря, де використовується LoRaWAN для передачі даних у реальному часі. Проєкт Smart Cities Ukraine діє у Києві, Львові та Одесі, де встановлено метеостанції для моніторингу погодних умов та екологічних показників, інтегрованих у міські інформаційні системи.

Проєкт «Агромоніторинг» у Західній Україні використовує LoRaWAN метеостанції для моніторингу погодних умов та оптимізації аграрних процесів, що допомагає підвищити ефективність аграрного виробництва. Ці проєкти демонструють потенціал використання LoRaWAN у різних сферах, від міського планування до аграрного сектору, забезпечуючи точний та оперативний збір даних для прийняття обґрунтованих рішень.

1.8 Вимоги до системи

1) Призначення та межі проєкту

1.1) Призначення системи (застосунку), для якої розробляється апаратно-програмне забезпечення

Система призначена для моніторингу погодних умов в реальному часі, використовуючи технологію LoRaWAN. Вона забезпечує збір даних про температуру, вологість, тиск, швидкість та напрямок вітру з можливістю віддаленого доступу та аналізу цих даних.

1.2) Погодження, що ухвалені в документації

Система розробляється у відповідності до міжнародних стандартів з моніторингу погодних умов, а також специфікацій LoRaWAN.

1.3) Межі використання проєкту

Проєкт призначений для використання у сільському господарстві, екологічному моніторингу, метеорології та інших галузях, де необхідний точний моніторинг погодних умов.

2) Загальний опис

2.1) Сфера застосування

Система застосовується для збору та аналізу метеорологічних даних, з можливістю їх передачі через бездротові мережі на великі відстані.

2.2) Характеристики користувачів

Користувачами системи можуть бути агрономи, метеорологи, екологи, а також інші спеціалісти, які потребують точних даних про погодні умови.

2.3) Загальна структура і склад АПЗ. Системні вимоги

АПЗ складається з апаратних модулів (датчиків), контролера з підтримкою LoRaWAN, програмного забезпечення для збору та аналізу даних, а також інтерфейсу для користувачів. Системні вимоги включають наявність інтернет-з'єднання та відповідних пристроїв для доступу до даних.

2.4) Загальні обмеження

Система повинна функціонувати в різних кліматичних умовах, з урахуванням можливих екстремальних температур та вологості.

3) Вимоги до апаратного забезпечення

- Датчики температури, вологості, атмосферного тиску, швидкості та напрямку вітру.
- Контролер з підтримкою LoRaWAN.
- Блок живлення (сонячні панелі або акумулятори для автономної роботи).

4) Вимоги до програмного забезпечення

4.1) Архітектура програмної системи

Система складається з трьох рівнів: рівень збору даних, рівень передачі даних, рівень аналізу та відображення даних.

4.2) Системне програмне забезпечення

Операційна система контролера повинна підтримувати протоколи LoRaWAN та забезпечувати стабільну роботу в реальному часі.

4.3) Мережеве програмне забезпечення

Забезпечує передачу даних з датчиків на віддалений сервер через LoRaWAN.

4.4) Програмне забезпечення ведення інформаційної бази

База даних для зберігання історичних та поточних даних з датчиків, з можливістю доступу та аналізу.

4.5) Мова і технологія розробки ПЗ

Розробка ведеться з використанням мов програмування C/C++ для контролерів, Python для серверної частини та вебтехнологій.

5) Вимоги до зовнішніх інтерфейсів

5.1) Інтерфейс користувача

Вебінтерфейс для доступу до даних з будь-якого пристрою з інтернет-з'єднанням.

5.2) Апаратний інтерфейс

Інтерфейси для підключення датчиків до контролера (I2C, SPI, UART).

5.3) Програмний інтерфейс

API для взаємодії з базою даних та аналітичним програмним забезпеченням.

5.4) Комунікаційний протокол

LoRaWAN для передачі даних від датчиків до сервера.

б) Інші вимоги

6.1 Супроводжуваність

Програмне та апаратне забезпечення повинні мати документацію для технічного обслуговування та оновлення.

6.2 Транспортування (мобільність)

Система повинна бути мобільною і легко транспортуватися для розгортання в нових місцях.

6.3 Продуктивність

Система повинна забезпечувати реальний час обробки даних з мінімальною затримкою для своєчасного аналізу погодних умов.

Висновки до розділу 1

Було виконано поставлену мету аналізу існуючих методів та алгоритмів роботи систем відстеження погодних умов. Було виконано завдання аналізу технологій, таких як LoRaWAN, для збору та передачі погодних даних, що дозволило виявити їх переваги та недоліки, а також можливості застосування у віддалених регіонах. Встановлено, що LoRaWAN є перспективною технологією для створення автономних станцій відслідковування погодних умов.

Перший розділ кваліфікаційної роботи виклав системний аналіз і визначив основні вимоги до розробки станції відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN. Визначено основні переваги використання LoRaWAN у порівнянні з іншими технологіями, що створює надійну основу для подальшої розробки проєкту.

Створення станції відслідковування погоди на базі LoRaWAN може бути ефективним рішенням для моніторингу погодних умов у віддалених чи важкодоступних місцях. Основними перевагами є далекий радіус дії, низьке енергоспоживання та велика гнучкість у плануванні мережі. Важливо також врахувати необхідність адекватного забезпечення енергією та вибір надійного рішення для аналізу та інтеграції даних.

У наступному розділі буде детально розглянуто методи та алгоритми обробки даних з погодних станцій на базі LoRaWAN. Зокрема, буде проаналізовано використання фільтру Калмана для фільтрації шуму, лінійну інтерполяцію для заповнення пропущених даних, та інші методи.

2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОБОТИ КОМПЛЕКСУ

2.1 Методи фільтрації

Для розробки та аналізу станції відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN використовуються різні математичні методи.

До збору та фільтрації даних можна віднести наступні алгоритми.

1) Фільтрація шуму: Фільтр Калмана – це математичний алгоритм, який використовують для оцінки стану динамічної системи з урахуванням шуму вимірювань та інших неточностей (Рисунок 2.1). Він часто застосовується в системах навігації, робототехніці, фінансовому аналізі та обробці сигналів, зокрема в погодних станціях для фільтрації шуму у вимірюваннях.

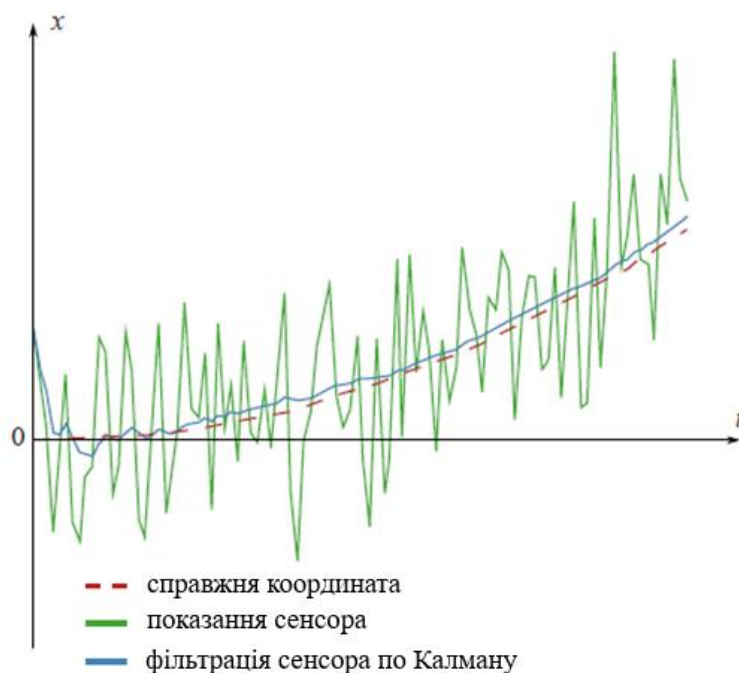


Рисунок 2.1 – Приклад роботи фільтра Калмана

Основні поняття фільтра Калмана

Фільтр Калмана працює у два етапи: прогноз та оновлення.

Прогноз:

Прогноз стану: На основі попереднього стану та моделі системи обчислюється прогнозований стан.

Прогноз помилки: Оцінюється помилка прогнозованого стану.

Оновлення:

Інновація: Обчислюється різниця між фактичним вимірюванням і прогнозованим вимірюванням (помилка вимірювання або залишок).

Оновлення стану: Прогнозований стан коригується з урахуванням інновації та відповідної ваги (Калманівського коефіцієнта).

Оновлення помилки: Оцінюється нова помилка стану після оновлення.

Математична модель

Прогноз стану (2.1):

$$\hat{x}_{k|k-1} = A\hat{x}_{k-1|k-1} + Bu_k \quad (2.1)$$

де $\hat{x}_{k|k-1}$ – прогнозований стан в момент часу k ;

A – матриця переходу стану;

$\hat{x}_{k-1|k-1}$ – оцінений стан в попередній момент часу;

B – матриця керування;

u_k – вектор керування.

Прогноз помилки (2.2):

$$P_{k|k-1} = AP_{k-1|k-1}A^T + Q \quad (2.2)$$

де $P_{k|k-1}$ – прогнозована ковариаційна матриця помилок;

$P_{k-1|k-1}$ – оцінена ковариаційна матриця помилок в попередній момент часу;

Q – ковариаційна матриця шуму процесу.

Оновлення

Інновація (2.3):

$$y_k = z_k - H\hat{x}_{k|k-1} \quad (2.3)$$

де y_k – інновація (помилка вимірювання);

z_k – фактичне вимірювання;

H – матриця вимірювань.

Калманівський коефіцієнт (2.4):

$$K_k = P_{k|k-1} H^T (H P_{k|k-1} H^T + R)^{-1} \quad (2.4)$$

де K_k – Калманівський коефіцієнт;

R – ковариаційна матриця шуму вимірювань.

Оновлення стану (2.5):

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k y_k \quad (2.5)$$

Оновлення помилки (2.6):

$$P_{k|k} = (I - K_k H) P_{k|k-1} \quad (2.6)$$

де I – одинична матриця.

Приклад застосування

Припустимо, використовуємо фільтр Калмана для прогнозування температури на погодній станції. Нехай x_k – це поточне значення температури, z_k – вимірне значення температури, яке містить шум. Процес можна описати як лінійну динамічну систему:

Стан температури змінюється незначно з кожним кроком, тому матриця переходу стану A може бути простою одиничною матрицею.

Вимірювання температури здійснюється напряму, тому матриця вимірювань H також є одиничною.

Це дозволить ефективно фільтрувати шум у вимірюваннях та забезпечити точнішу оцінку поточної температури на станції.

– аналіз пропущених даних: Лінійна інтерполяція – це простий метод для побудови нових даних в межах діапазону відомих точок (Рисунок 2.2). Він використовується для заповнення пропущених значень у часових рядах або для побудови функцій на основі обмеженого набору даних. У випадку погодних станцій, лінійна інтерполяція може використовуватися для оцінки відсутніх значень температури, вологості або інших параметрів.

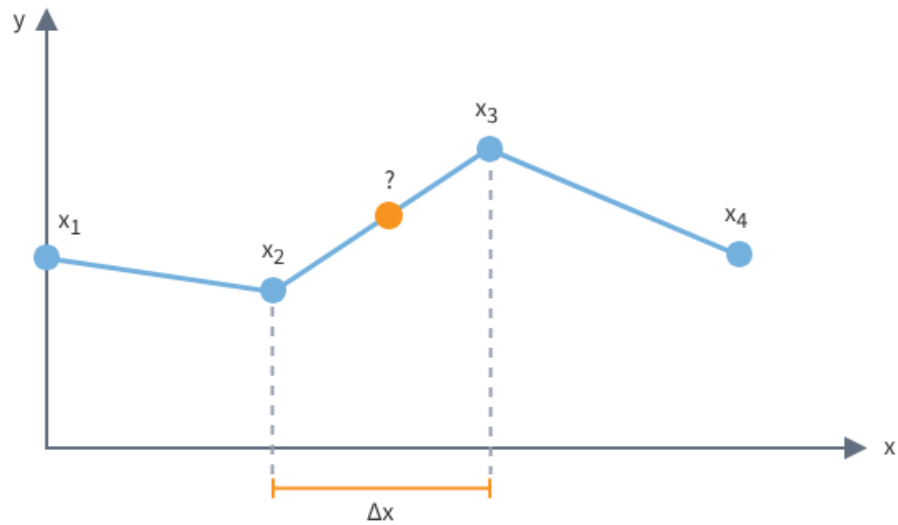


Рисунок 2.2 – Графік лінійної інтерполяції

Основні поняття лінійної інтерполяції

Лінійна інтерполяція передбачає, що дві точки (x_0, y_0) і (x_1, y_1) можна з'єднати прямою лінією. Нове значення y для будь-якого x між x_0 і x_1 може бути обчислене за формулою (2.7):

$$y = y_0 + (x - x_0) \times \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (2.7)$$

де (x_0, y_0) та (x_1, y_1) – відомі точки;

x – точка, для якої потрібно знайти значення y .

Приклад лінійної інтерполяції

Припустимо, є дані про температуру в певний час:

$$T(1) = 15^\circ\text{C}$$

$$T(3) = 21^\circ\text{C}$$

І потрібно знайти температуру у момент часу $t=2$.

Позначимо:

$$x_0 = 1, y_0 = 15$$

$$x_1 = 3, y_1 = 21$$

$$x = 2$$

Використовуємо формулу лінійної інтерполяції:

$$y = 15 + (2 - 1) \times \frac{21 - 15}{3 - 1}$$

$$y = 15 + 1 \times \frac{6}{2}$$

$$y = 15 + 3 = 18$$

Отже, інтерпольоване значення температури в момент часу $t=2$ становить 18°C .

Використання лінійної інтерполяції на погодній станції

Лінійна інтерполяція застосовується для:

Заповнення пропущених значень у часових рядах, оцінки параметрів між вимірюваннями, якщо вимірювання проводяться з великою періодичністю, згладжування даних для візуалізації або подальшого аналізу.

До аналізу часових рядів можна віднести наступні алгоритми.

2) Тренд та сезонність: STL-декомпозиція (Seasonal and Trend decomposition using Loess) – це метод декомпозиції часових рядів, який дозволяє розділити дані на три компоненти: тренд, сезонність та залишки (Рисунок 2.3). Цей метод є особливо корисним для аналізу даних з погодних станцій, оскільки він допомагає виділити основні тенденції та циклічні коливання у даних.

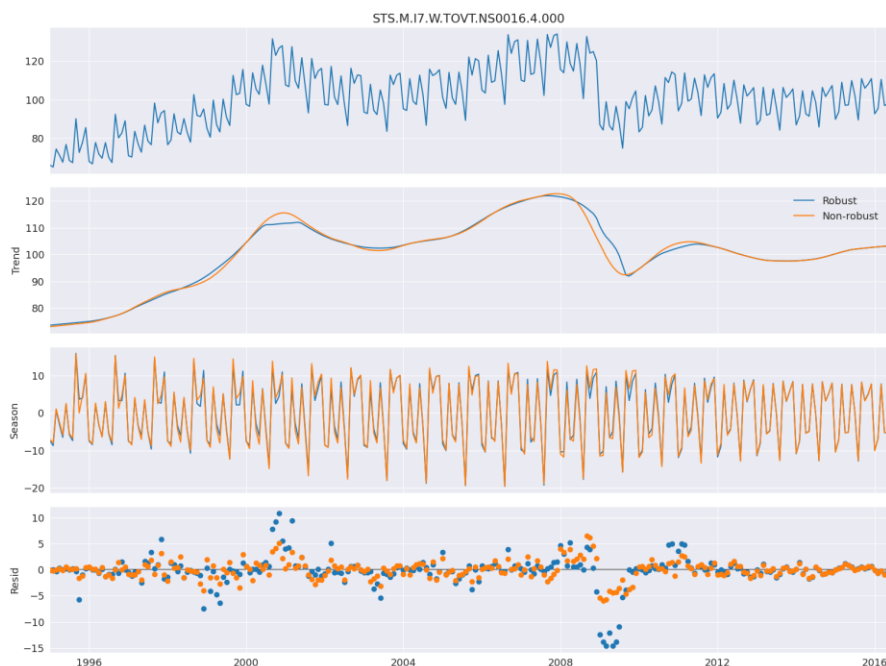


Рисунок 2.3 – Аналіз даних STL-декомпозиції

Основні компоненти STL-декомпозиції

Трендова складова (Trend component): Відображає довгострокову зміну в даних.

Сезонна складова (Seasonal component): Відображає періодичні коливання, які повторюються з певним інтервалом (наприклад, річні сезонні зміни температури).

Залишкова складова (Residual component): Відображає шум або випадкові коливання, які не пояснюються трендом чи сезонністю.

Процедура STL-декомпозиції

STL-декомпозиція використовує локально зважену регресію (Loess) для згладжування даних і виділення компонент. Процедура включає наступні кроки:

Виділення сезонної компоненти: Виявлення та вилучення сезонних коливань з даних.

Виділення трендової компоненти: Згладжування залишкових даних для виділення довгострокового тренду.

Обчислення залишкової компоненти: Визначення залишкових даних після виділення тренду та сезонності.

Застосування в аналізі погодних даних

STL-декомпозиція дозволяє ефективно аналізувати погодні дані, виявляючи довгострокові зміни (наприклад, глобальне потепління), сезонні патерни (річні цикли температури) та випадкові коливання (аномальні погодні явища). Це сприяє глибшому розумінню погодних умов та їх прогнозуванню.

3) ARIMA моделі: ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) – це популярна модель для аналізу та прогнозування часових рядів. Вона поєднує в собі три компоненти: авторегресію (AR), інтегрованість (I) та ковзне середнє (MA) (Рисунок 2.4). Модель ARIMA використовується для моделювання даних, які можуть бути нерівномірними або мати певні тенденції та сезонні коливання.



Рисунок 2.4 – Приклад роботи ARIMA

Компоненти моделі ARIMA

AR (авторегресійна частина):

Модель використовує залежність між поточним значенням ряду та його попередніми значеннями.

p – порядок авторегресії, що визначає кількість попередніх значень, що використовуються для прогнозу.

I (інтегрована частина):

Модель працює з різницеваними рядами для досягнення стаціонарності.

d – порядок інтеграції, що визначає кількість разів, які потрібно застосувати різницювання для досягнення стаціонарності.

MA (частина ковзного середнього):

Модель використовує залежність між поточним значенням ряду та попередніми залишками помилок прогнозу.

q – порядок ковзного середнього, що визначає кількість попередніх помилок прогнозу, які використовуються для прогнозу.

Формула моделі ARIMA

Модель ARIMA(p, d, q) визначається наступним чином (2.8):

$$y_t = c + \phi_{1yt-1} + \phi_{2yt-2} + \dots + \phi_{pyt-p} + \theta_{1\epsilon t-1} + \theta_{2\epsilon t-2} + \dots + \theta_{q\epsilon t-q} + \epsilon t \quad (2.8)$$

де y_t – значення ряду в момент часу t ;

c – константа;

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ – коефіцієнти авторегресійної моделі;

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ – коефіцієнти моделі ковзного середнього;

ϵ_t – випадкова помилка в момент часу t .

Застосування в аналізі погодних даних

Модель ARIMA дозволяє ефективно аналізувати та прогнозувати погодні дані, враховуючи як довгострокові тенденції, так і короткострокові флуктуації. Це корисно для прогнозування температури, вологості, швидкості вітру та інших параметрів. ARIMA може бути застосована для короткострокових прогнозів, що допомагає приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу історичних даних.

До просторового аналізу можна віднести наступні алгоритми.

4) Кригинг (Kriging) – це геостатистичний метод інтерполяції, який використовується для прогнозування значень у просторових даних (Рисунок 2.5). Він враховує як відстань, так і взаємну кореляцію між вимірюваними точками. Кригинг є потужним інструментом для просторового аналізу, наприклад, в екології, гірництві, метеорології та інших областях, де необхідно створювати точні карти розподілу значень на основі обмеженого числа вимірювань.

Основні компоненти кригінгу

Вибіркові дані: Набір вимірювань з відомими координатами та значеннями, які використовуються для прогнозування значень в інших місцях.

Коваріаційна або семіваріаційна функція: Функція, що описує кореляцію між вимірюваннями залежно від відстані між ними.

Система рівнянь кригінгу: Розв'язок системи рівнянь для отримання ваг, які використовуються для інтерполяції значень.

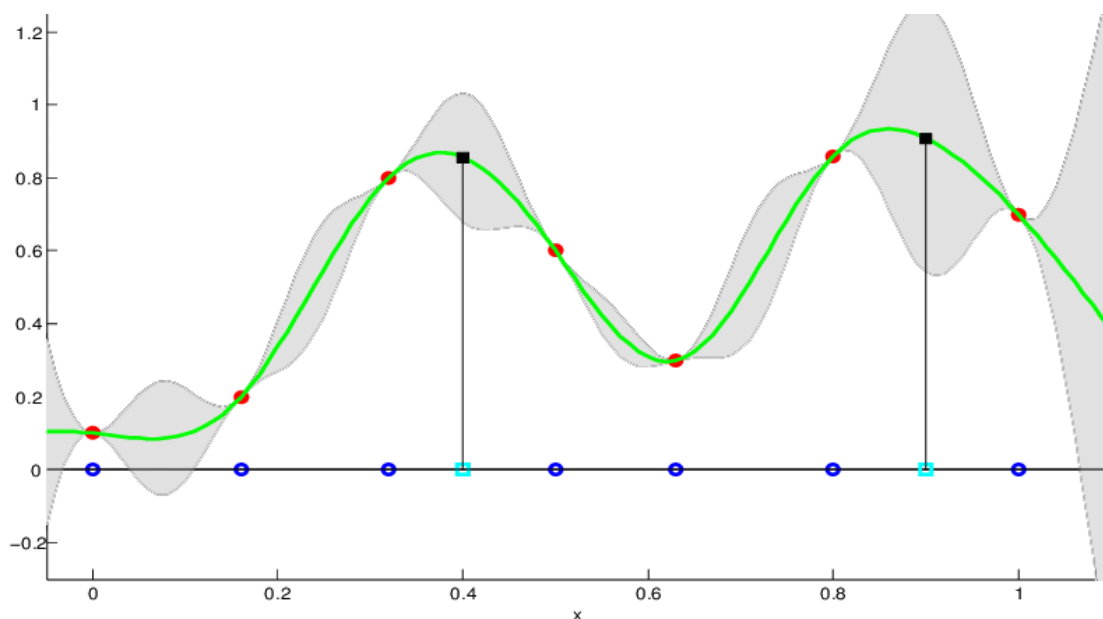


Рисунок 2.5 – Графік роботи Kriging

Типи кригінгу

Простий кригінг (Simple Kriging): Передбачає, що середнє значення даних відоме та є константою.

Звичайний кригінг (Ordinary Kriging): Передбачає, що середнє значення є невідомим і може змінюватися в просторі.

Універсальний кригінг (Universal Kriging): Дозволяє моделювати та враховувати тренди у даних.

Застосування в аналізі погодних даних

Кригінг є корисним для аналізу погодних даних, оскільки дозволяє створювати точні просторові карти розподілу температури, вологості, опадів та інших метеорологічних параметрів. Це особливо важливо для прогнозування погоди, моніторингу кліматичних змін та планування сільськогосподарських робіт.

Основні переваги кригінгу включають можливість враховувати просторову кореляцію даних та отримувати точні оцінки навіть при обмеженій кількості вимірювань.

До моделювання та прогнозування можна віднести наступні алгоритми.

5) Поведінкове моделювання (behavioral modeling) використовується для передбачення або аналізу поведінки складних систем на основі їх історичних даних та взаємодії між компонентами системи. У контексті погодних станцій поведінкове моделювання може використовуватися для аналізу та прогнозування погодних умов, враховуючи взаємодію різних погодних параметрів, таких як температура, вологість, тиск, швидкість вітру тощо.

Основні підходи до поведінкового моделювання

Математичні моделі: Використання диференціальних рівнянь для моделювання фізичних процесів, що визначають погодні умови.

Статистичні методи: Використання регресійних моделей, часових рядів, ARIMA, та інших статистичних методів для моделювання та прогнозування.

Машинне навчання та штучний інтелект: Використання алгоритмів машинного навчання, таких як нейронні мережі, дерева рішень, ансамблеві методи для виявлення складних взаємозв'язків у даних і створення прогнозних моделей.

Агентно-орієнтовані моделі: Використання моделей, де окремі "агенти" (наприклад, окремі атмосферні явища) взаємодіють між собою за певними правилами, щоб моделювати поведінку системи в цілому.

Використання поведінкового моделювання в аналізі погодних даних

Поведінкове моделювання дозволяє:

- передбачати майбутні погодні умови на основі історичних даних;
- аналізувати вплив різних погодних параметрів на один одного;
- покращувати розуміння складних взаємозв'язків у погодних системах;

– підтримувати прийняття рішень в аграрному секторі, енергетиці, транспорті та інших галузях, залежних від погодних умов.

Застосування сучасних методів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє створювати точні та надійні моделі для прогнозування погодних умов, що є важливим для багатьох сфер діяльності.

До аналізу аномалій можна віднести наступні алгоритми.

б) Статистичні методи: Z-оцінка (Z-score) є популярним статистичним методом для виявлення аномалій у наборі даних. Вона показує, наскільки далеко значення відхиляється від середнього в термінах стандартних відхилень (Рисунок 2.6). Цей метод є корисним для виявлення аномальних значень, які можуть суттєво відрізнитися від основної маси даних.

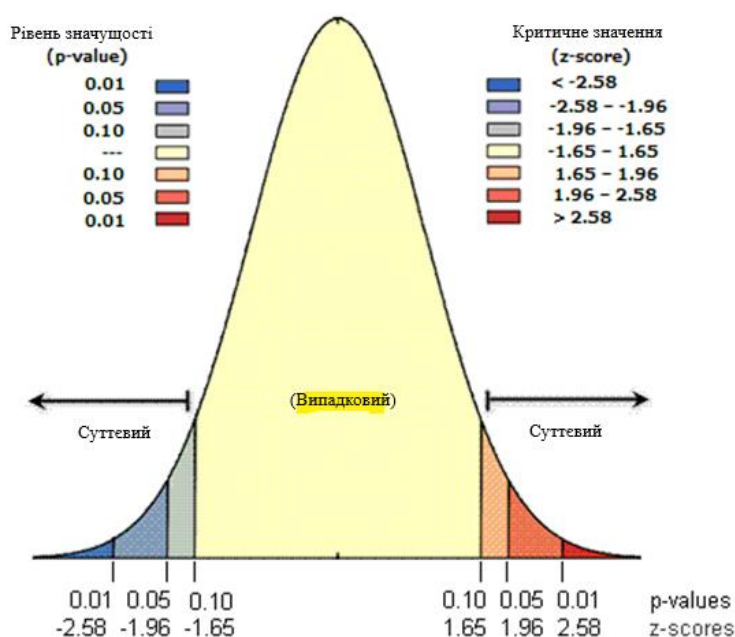


Рисунок 2.6 – Графік переходу P-value до Z-score

Формула Z-оцінки

Z-оцінка для значення X розраховується за формулою (2.9):

$$Z = \frac{(X-\mu)}{\sigma} \quad (2.9)$$

де X – значення, для якого розраховується Z-оцінка;

μ – середнє значення набору даних;

σ – стандартне відхилення набору даних.

Інтерпретація Z-оцінки

Z-оцінка близька до 0: Значення близьке до середнього значення.

Z-оцінка більше або менше 3 або – 3: Значення вважається аномальним, оскільки знаходиться на відстані більше трьох стандартних відхилень від середнього.

Застосування в аналізі погодних даних

Z-оцінка може бути корисною для аналізу погодних даних з метою:

- виявлення аномальних погодних умов, таких як надзвичайно високі або низькі температури, екстремальні опади тощо;
- моніторингу якості даних з погодних станцій
- поліпшення точності прогнозів шляхом виявлення та обробки аномальних даних.

7) Методи машинного навчання: Isolation Forest (ізоляційний ліс) – це ефективний метод для виявлення аномалій, який базується на концепції ізоляції даних (Рисунок 2.7). Цей метод відрізняється від традиційних алгоритмів машинного навчання тим, що він спеціально розроблений для виявлення аномалій, а не для класифікації або регресії.

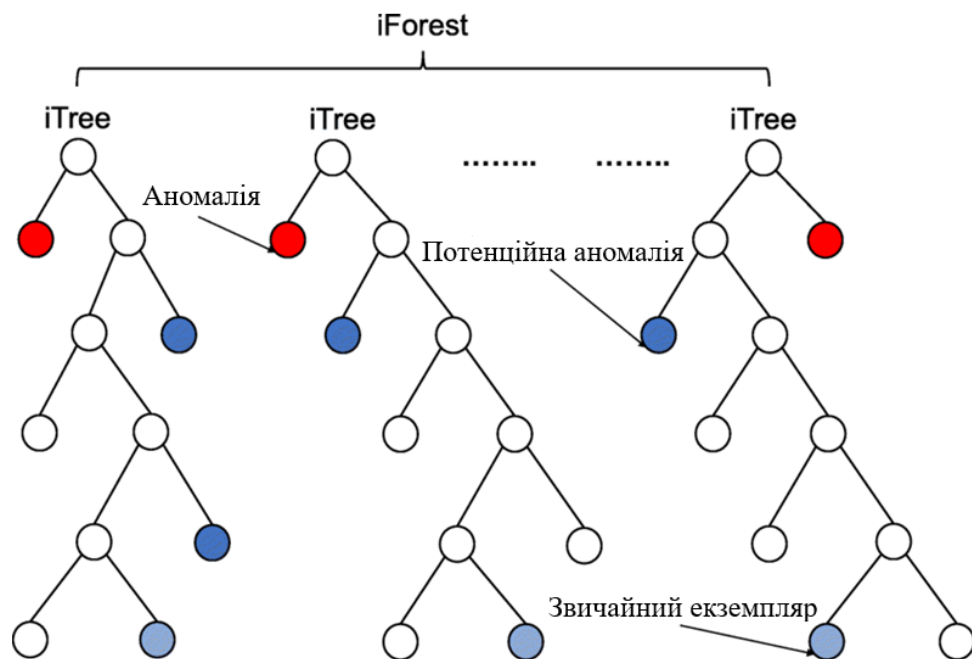


Рисунок 2.7 – Приклад роботи алгоритму Isolation Forest

Основна ідея Isolation Forest

Ізоляційний ліс працює за принципом побудови випадкових дерев (аналогічно випадковим лісам) для ізоляції кожного спостереження в наборі даних. Аномалії легше ізолювати, оскільки вони менш схожі на інші спостереження. В середньому, аномальні точки будуть ізолювані на меншій глибині дерева порівняно з нормальними точками.

Ключові кроки алгоритму Isolation Forest

Випадкове вибір підмножини ознак: Випадково вибираються ознаки, за якими буде виконуватися поділ даних.

Випадковий вибір значення розподілу для поділу: Випадково вибирається значення ознаки для поділу даних на дві частини.

Побудова дерев: Процес поділу повторюється рекурсивно, поки всі точки не будуть ізолювані або не буде досягнута максимальна глибина дерева.

Агрегація результатів: Глибина ізоляції кожної точки усереднюється по всіх деревах, і на основі цього значення обчислюється оцінка аномальності.

Isolation Forest є ефективним методом для виявлення аномалій у великих наборах даних. Він легко масштабується, не вимагає великих обчислювальних ресурсів і добре працює з багатовимірними даними, що робить його корисним інструментом для аналізу погодних даних та інших застосувань.

До оцінки ефективності обробки отриманих даних можна віднести наступні алгоритми.

8) Метрики: MAE (Mean Absolute Error) або середня абсолютна помилка – це метрика, що використовується для оцінки точності прогнозів моделей. Вона обчислюється як середнє значення абсолютних різниць між фактичними значеннями та прогнозованими значеннями.

Формула для обчислення MAE виглядає наступним чином (2.10):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2.10)$$

де n – кількість спостережень;

y_i – фактичне значення;

\hat{y}_i – прогнозоване значення.

Переваги MAE

Простота інтерпретації: MAE виражається в тих же одиницях вимірювання, що і початкові дані, що робить її легкою для інтерпретації.

Рівномірна обробка помилок: MAE однаково зважує всі помилки, тому великі помилки не мають непропорційно великого впливу.

Недоліки MAE

Менш чутлива до великих помилок: У порівнянні з метрикою RMSE (Root Mean Square Error), MAE менш чутлива до великих помилок, що може бути як перевагою, так і недоліком залежно від контексту.

Застосування MAE в аналізі погодних даних

MAE може бути корисним для оцінки точності прогнозів погодних умов:

- оцінка точності прогнозів температури, вологості, опадів тощо;
- порівняння різних моделей прогнозування для вибору найточнішої;
- виявлення систематичних помилок у прогнозах та їх корекція.

MAE є простою та ефективною метрикою для оцінки точності моделей прогнозування. Вона дозволяє легко інтерпретувати результати та порівнювати різні моделі. Завдяки своїй простоті та наочності, MAE часто використовується в аналізі даних, включаючи аналіз погодних умов та багато інших областей.

Використання цих методів дозволяє створити ефективну та точну систему відслідковування погодних умов, яка може надавати надійні прогнози та виявляти аномалії.

2.2 Блок-схеми алгоритмів роботи

Для створення станції необхідно розробити алгоритми для збору, передачі та обробки даних. Спочатку потрібно ініціалізувати всі підключені сенсори (температури, вологості, тиску, дощу, швидкості та напрямку вітру тощо) та перевірити їх справність. Після цього здійснюється збір даних з кожного сенсора з перевіркою достовірності даних та їх фільтрацією від шуму й аномалій. Зібрані дані агрегуються у відповідний формат (Рисунок 2.8).

Підготовка даних для передачі через LoRaWAN включає перетворення агрегованих даних у формат, який підходить для передачі через LoRaWAN. Після цього встановлюється з'єднання з LoRaWAN шлюзом і дані передаються через встановлений канал зв'язку з отриманням підтвердження про успішну передачу(Рисунок 2.9).

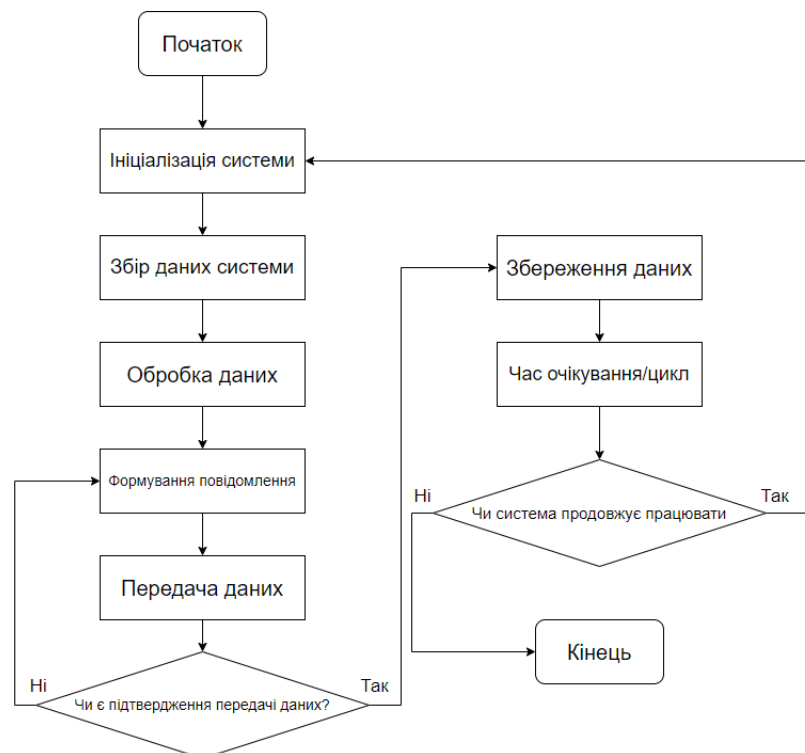


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму роботи системи (передавач)

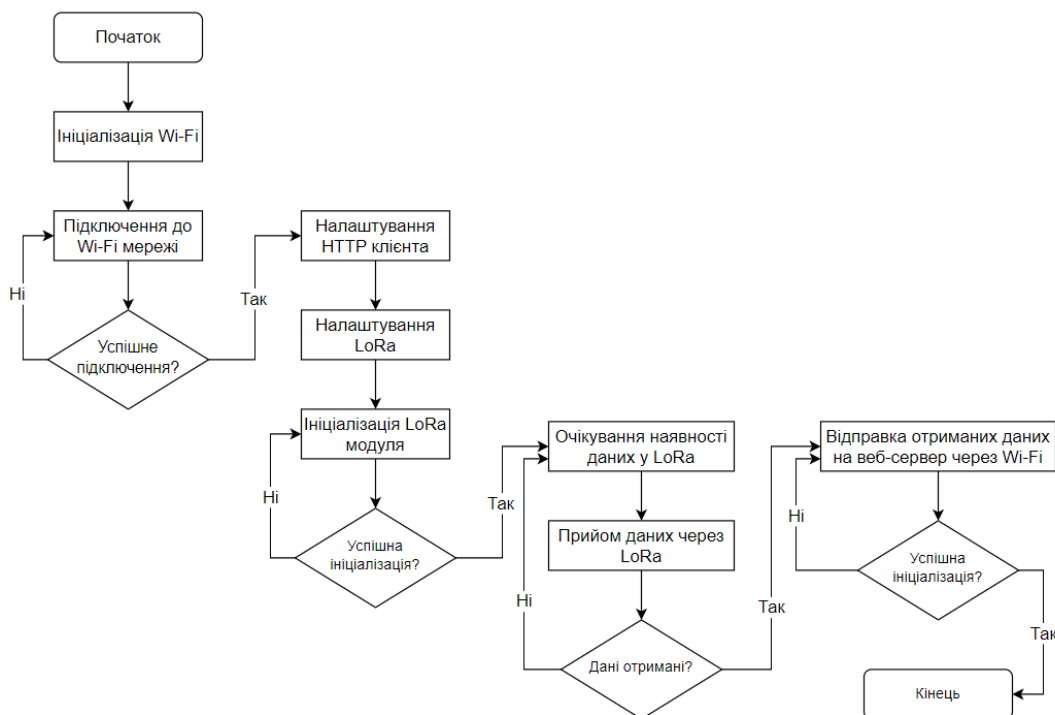


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритму роботи системи (приймач)

Обробка даних включає прийняття даних, переданих через LoRaWAN, збереження отриманих даних у базі даних для подальшого аналізу, виконання аналізу даних для виявлення трендів та прогнозування погодних умов, а також відображення даних на інформаційних панелях або у вебдодатках.

Висновки до розділу 2

Було виконано поставлену мету, яка полягала у розробці та реалізації методів та алгоритмів для системи моніторингу погодних умов на основі технології LoRaWAN. Було виконано поставлені завдання:

- розробка методів фільтрації та аналізу даних;
- створення математичних моделей для прогнозування погодних умов;
- інтеграція розроблених методів у загальну систему моніторингу.

Проведений аналіз методів та алгоритмів роботи комплексу відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN виявив низку важливих

аспектів. Використання різних підходів до поведінкового моделювання, включаючи математичні моделі, статистичні методи, машинне навчання та агентно-орієнтовані моделі, дозволяє глибше розуміти взаємозв'язки між погодними параметрами та прогнозувати їх зміни.

Загалом, застосування цих методів і алгоритмів у комплексі дозволяє створити надійну та ефективну систему відслідковування та прогнозування погодних умов, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень у різних сферах діяльності.

У наступному розділі буде здійснено вибір та обґрунтування використаних методів і алгоритмів для розробки системи відслідковування погодних умов. Буде детально описано процес розробки програмно-апаратної частини системи, включаючи вибір компонентів, їх інтеграцію та налаштування. Також буде розглянуто питання забезпечення стабільності та надійності передачі даних в умовах реального часу.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Вибір електронних компонентів

Під час розробки прототипу вибір комплектуючих є важливим етапом, який може впливати на час розробки, габарити та вартість прототипу, а також на його функціональні можливості. Для забезпечення успішного вибору компонентів, було проведено дослідження ринку електронних компонентів та їх аналогів, використання яких можливе в рамках даного проекту, що дозволило вибрати оптимальні комплектуючі.

3.1.1 Плати

1) Arduino Nano – це компактна плата на базі мікроконтролера ATmega328P, яка використовується для створення електронних проєктів. Вона має 14 цифрових пінів вводу/виводу (з яких 6 можуть використовуватись як PWM виходи), 8 аналогових входів, і працює на частоті 16 МГц. Плата може живитися від 7–12 В через Vin пін або через USB (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Плата Arduino Nano

Мікроконтролер ATmega328P має 32 КБ флеш пам'яті, 2 КБ SRAM і 1 КБ EEPROM для зберігання програм і даних. Завантажувач Arduino, що

займає 2 КБ флеш пам'яті, дозволяє легко завантажувати програми через USB.

Arduino Nano підтримує інтерфейси UART, I2C і SPI, що дозволяє підключати її до різних периферійних пристроїв. Цифрові і аналогові піни можуть використовуватися для підключення датчиків, світлодіодів, моторів та інших компонентів. Логіка плати працює на 5 В, але є також пін 3.3 В для живлення пристроїв, що працюють на нижчій напрузі.

Таблиця 3.1 – Характеристики плати Arduino Nano

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Архітектура	AVR
Кількість пінів вводу/виводу	14 (6 з них PWM)
Аналогові входи	8
Цифрові I/O пінів	22
Flash пам'ять	32 КБ (2 КБ використовуються завантажувачем)
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Напруга живлення (V_{in})	7–12 В
Напруга живлення (пін 5V)	5 В
Напруга живлення (пін 3.3V)	3.3 В
Робоча напруга (логіка)	5 В
Максимальний струм пінів 3.3V	50 мА
Максимальний струм пінів I/O	40 мА на пін
Розміри	18 мм x 45 мм
Вага	близько 7 г
Інтерфейси зв'язку	UART, I2C, SPI

Плата програмується за допомогою Arduino IDE, яка забезпечує простий у використанні інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програм. Завдяки своїм компактним розмірам і широкій функціональності, Arduino Nano є популярним вибором для різноманітних електронних

проектів, включаючи робототехніку, автоматизацію, інтернет речей (IoT) та інші інтерактивні системи.

2) Arduino Pro Mini – це компактна, економічна плата мікроконтролера, створена для проектів з обмеженим простором і енергоспоживанням. Вона базується на мікроконтролері ATmega328P і пропонує той самий функціонал, що й Arduino Nano, але без вбудованого USB-інтерфейсу, що дозволяє зменшити розміри плати. Для програмування Arduino Pro Mini необхідний зовнішній USB-to-Serial адаптер (Рисунок 3.2).

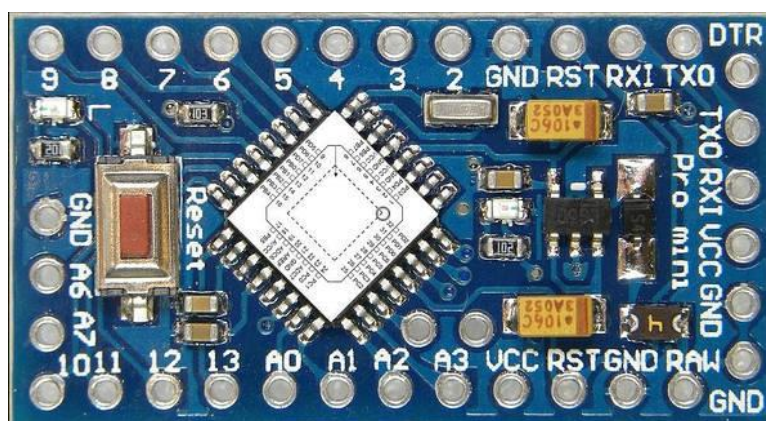


Рисунок 3.2 – Плата Arduino Pro Mini

Основні характеристики:

Мікроконтролер: ATmega328P, той самий мікроконтролер, що використовується в Arduino Nano та інших платах Arduino. Це забезпечує сумісність і надійність.

Розміри: Плата має дуже компактні розміри – 18 мм х 33 мм, що дозволяє використовувати її в проектах з обмеженим простором.

Пам'ять: Arduino Pro Mini має 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання програм (2 КБ з яких використовуються завантажувачем), 2 КБ SRAM і 1 КБ EEPROM для зберігання постійних даних.

Інтерфейси вводу/виводу: Плата має 14 цифрових пінів вводу/виводу (з яких 6 можуть використовуватись як PWM виходи) та 8 аналогових входів. Це дозволяє підключати до неї різноманітні датчики, перемикачі, світлодіоди та інші компоненти.

Напруга живлення: Arduino Pro Mini може живитися від 3.3 В або 5 В, залежно від версії плати. Вхідна напруга для живлення через Vin пін становить від 3.35 В до 12 В (для 5 В версії) та від 3.35 В до 6 В (для 3.3 В версії).

Тактова частота: Плата працює на частоті 16 МГц (для 5 В версії) або 8 МГц (для 3.3 В версії), що забезпечує достатню швидкість для більшості завдань.

Енергоспоживання: Завдяки відсутності вбудованого USB-конектора та стабілізатора напруги, плата має низьке енергоспоживання, що є важливим для проектів з автономним живленням.

Інтерфейси зв'язку: Підтримує UART, I2C та SPI інтерфейси для зв'язку з іншими пристроями та мікроконтролерами. Це робить її дуже гнучкою для інтеграції в різні системи.

Програмування: Плата програмується за допомогою зовнішнього USB-to-Serial адаптера та Arduino IDE, що забезпечує простоту і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програм.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики плати Arduino Pro Mini

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Розміри	18 мм x 33 мм
Пам'ять	32 КБ флеш, 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM
Цифрові I/O піни	14 (6 з них PWM)
Аналогові входи	8
Тактова частота	16 МГц (5 В версія) або 8 МГц (3.3 В версія)
Напруга живлення	3.35–12 В (5 В версія), 3.35–6 В (3.3 В версія)
Робоча напруга (логіка)	5 В або 3.3 В залежно від версії
Максимальний струм пінів I/O	40 мА на пін
Інтерфейси зв'язку	UART, I2C, SPI

Arduino Pro Mini широко використовується в проектах, де важливі компактні розміри та низьке енергоспоживання. Вона ідеально підходить для інтеграції в портативні пристрої, бездротові датчики, системи автоматизації, робототехніку та інші проекти, де необхідно забезпечити надійну роботу з мінімальними ресурсами.

3) ESP8266 – це потужний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi модулем, розроблений для забезпечення простого та ефективного бездротового з'єднання в проектах IoT (Інтернет речей). Відзначаючись високою продуктивністю і низьким енергоспоживанням, ESP8266 став дуже популярним серед розробників завдяки своїй доступній ціні та широким можливостям (Рисунок 3.3).

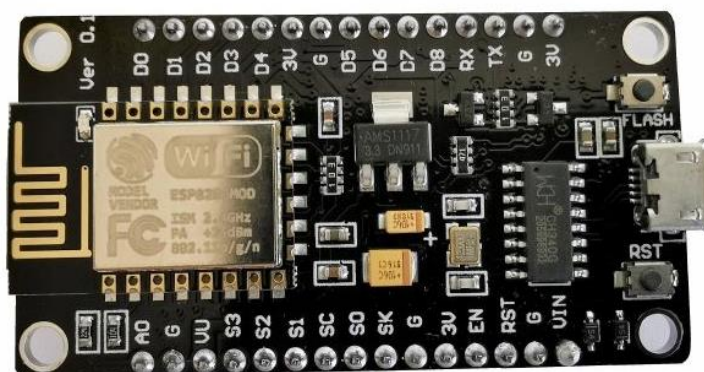


Рисунок 3.3 – Плата ESP8266

Основні характеристики:

Мікроконтролер: ESP8266 оснащений 32-бітним процесором Tensilica Xtensa LX106, що працює на частоті до 160 МГц. Це забезпечує достатню обчислювальну потужність для виконання складних завдань і обробки даних.

Вбудований Wi-Fi: ESP8266 підтримує стандарти 802.11b/g/n, що дозволяє підключатися до бездротових мереж і забезпечує передачу даних зі швидкістю до 72.2 Мбіт/с.

Пам'ять: Мікроконтролер має 32 КБ інструкційної RAM та 80 КБ користувацької RAM для зберігання даних під час виконання програм.

Вбудована флеш-пам'ять може мати розмір від 512 КБ до 4 МБ залежно від моделі.

GPIO: ESP8266 має до 17 загальних входів/виходів (GPIO), які можуть використовуватися для підключення різноманітних датчиків, акторів та інших периферійних пристроїв.

Енергоспоживання: ESP8266 відомий своєю енергоефективністю. У режимі очікування (deep sleep) він споживає всього кілька мікроамперів, що робить його ідеальним для автономних пристроїв, що працюють від батарей.

Інтерфейси зв'язку: Підтримує різноманітні інтерфейси, такі як UART, SPI, I2C, I2S, PWM, ADC та SDIO. Це забезпечує гнучкість у підключенні до інших мікроконтролерів та периферійних пристроїв.

Програмування: ESP8266 може програмуватися за допомогою різних середовищ розробки, таких як Arduino IDE, PlatformIO, та інші. Це робить його доступним для широкого кола розробників, незалежно від рівня їхньої підготовки.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики мікроконтролера ESP8266

Параметр	Значення
Процесор	Tensilica Xtensa LX106 32-біт
Тактова частота	До 160 МГц
Пам'ять (RAM)	32 КБ інструкційної, 80 КБ користувацької
Флеш-пам'ять	Від 512 КБ до 4 МБ
Wi-Fi	802.11b/g/n, 2.4 ГГц
GPIO	До 17 пінів
Аналоговий ввід (ADC)	1 канал (10-біт)
Інтерфейси зв'язку	UART, SPI, I2C, I2S, PWM, ADC, SDIO
Енергоспоживання (deep sleep)	<10 μ A
Робоча напруга	3.0 В–3.6 В
Розміри	Залежить від варіанту модуля, зазвичай 24 мм x 16 мм (ESP-12E/F)

ESP8266 використовується в різноманітних IoT проектах, таких як розумні будинки, системи моніторингу та контролю, бездротові датчики, розумне освітлення, автоматизація процесів та багато інших. Завдяки своїй потужності, вбудованому Wi-Fi та гнучкості, ESP8266 став основою для багатьох інноваційних рішень, які потребують надійного бездротового з'єднання та низького енергоспоживання.

3.1.2 Датчики

1) Датчик KY-015 (DHT11) є цифровим датчиком температури та вологості, що широко використовується в різних електронних проектах завдяки своїй простоті використання та доступній ціні. Цей датчик ідеально підходить для створення метеостанцій, систем управління мікрокліматом, розумного дому та інших пристроїв, які потребують вимірювання температури та вологості повітря (Рисунок 3.4).

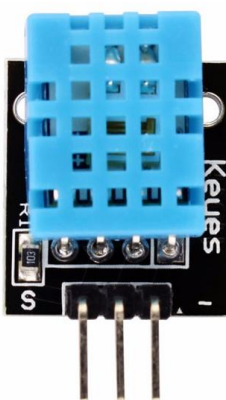


Рисунок 3.4 – Датчик KY-015 (DHT11)

KY-015 має компактні розміри (15.5 мм x 12 мм x 5.5 мм) і працює в температурному діапазоні від 0 до 50 °C з точністю ± 2 °C. Він здатний вимірювати відносну вологість у діапазоні від 20 % до 90 % RH (відносна вологість) з точністю ± 5 % RH. Ці параметри дозволяють використовувати датчик у більшості стандартних умов навколишнього середовища.

Датчик використовує полімідний резистор для вимірювання вологості та терморезистор (NTC) для вимірювання температури. Полімідний резистор

змінює свій опір залежно від вологості повітря, що дозволяє мікроконтролеру датчика перетворювати ці зміни в електричний сигнал. Терморезистор змінює свій опір залежно від температури, і ці дані також обробляються мікроконтролером, який перетворює їх у цифровий сигнал.

Для зв'язку з мікроконтролером або іншими пристроями використовується однодротовий інтерфейс, що значно спрощує інтеграцію датчика в різні проекти. Після отримання запиту від мікроконтролера, датчик посилає 40-бітний пакет даних, який складається з 16 біт для вологості (ціле та дробове значення), 16 біт для температури (ціле та дробове значення) та 8 біт контрольної суми для перевірки правильності передачі даних.

Однією з основних переваг KY-015 є його низьке енергоспоживання. Робочий струм під час вимірювання складає лише 0.3 мА, а в режимі очікування – 60 мкА, що робить його відмінним вибором для проектів з обмеженим енергоспоживанням, таких як пристрої, що працюють від батарей.

Датчик KY-015 виконує вимірювання кожні 2 секунди, що дозволяє отримувати актуальні дані про температуру та вологість у реальному часі. Завдяки своїй простоті використання та надійності, цей датчик є популярним серед розробників як для навчальних проектів, так і для професійних систем моніторингу.

Таблиця 3.4 – Характеристики датчика KY-015

Параметр	Значення
Модель	KY-015 (DHT11)
Тип датчика	Цифровий датчик температури та вологості
Розміри	15.5 мм x 12 мм x 5.5 мм
Температурний діапазон	0–50 °C
Точність вимірювання температури	±2 °C
Відносна вологість	20–90 % RH
Точність вимірювання вологості	±5 % RH
Напруга живлення	3.3–5.5 В

Параметр	Значення
Робочий струм (вимірювання)	0.3 мА
Робочий струм (очікування)	60 мкА
Час відповіді	2 секунди
Вихідний сигнал	Цифровий однодротовий інтерфейс
Протокол передачі даних	Протокол власної розробки DHT

2) Датчик BMP280 – це високоточний цифровий сенсор, розроблений для вимірювання атмосферного тиску та температури. Цей датчик широко використовується в метеостанціях, висотомірах, системах навігації та інших пристроях, де необхідно точно вимірювати атмосферний тиск і температуру (Рисунок 3.5).

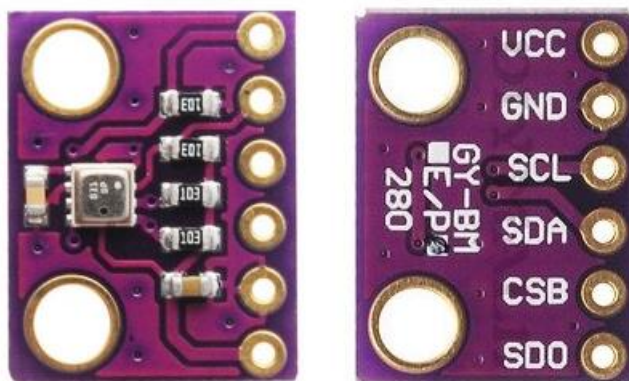


Рисунок 3.5 – Датчик BMP280

BMP280 базується на мікроелектромеханічній системі (MEMS) і має надзвичайно високу чутливість і точність. Він працює в температурному діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Діапазон вимірювання тиску становить від 300 до 1100 гПа (гектопаскалів) з точністю $\pm 1\text{ гПа}$. Це робить його ідеальним для вимірювання висоти в діапазоні до 9 км над рівнем моря з точністю до кількох метрів.

Датчик має компактні розміри (2.0 мм x 2.5 мм x 0.95 мм), що дозволяє легко інтегрувати його у портативні пристрої. BMP280 використовує цифровий інтерфейс I2C або SPI для зв'язку з мікроконтролером або іншими хост-пристроями, що забезпечує простоту підключення та зчитування даних.

Модуль має низьке енергоспоживання, що є критичним для багатьох додатків з обмеженим енергоживленням, таких як пристрої, що працюють на батареях. Під час вимірювань датчик споживає лише 2.7 мкА в режимі очікування і до 720 мкА під час активної роботи, що дозволяє використовувати його у пристроях з довгим терміном автономної роботи.

BMP280 підтримує різні режими роботи, включаючи нормальний, форсований і режим очікування, що дозволяє налаштувати його роботу відповідно до потреб проекту. У нормальному режимі датчик проводить вимірювання періодично, у форсованому – за запитом, а в режимі очікування – споживає мінімальну кількість енергії, очікуючи на нові команди.

Барометричний сенсор BMP280 забезпечує високу точність вимірювань завдяки вбудованій функції компенсації температури, яка автоматично коригує значення тиску залежно від поточної температури. Це дозволяє отримувати надійні та точні дані навіть за змінних умов навколишнього середовища.

Таблиця 3.5 – Характеристики датчика BMP-280

Параметр	Значення
Модель	BMP280
Модель	Цифровий датчик атмосферного тиску та температури
Розміри	2.0 мм x 2.5 мм x 0.95 мм
Температурний діапазон	-40 °C до +85 °C
Точність вимірювання температури	±1 °C
Діапазон вимірювання тиску	300–1100 гПа
Точність вимірювання тиску	±1 гПа
Напруга живлення	1.71–3.6 В
Струм споживання	2.7 мкА (в режимі очікування)
Час відгуку	1 мс
Вихідний сигнал	Цифровий інтерфейс I2C або SPI
Протокол передачі даних	Інтерфейс I2C або SPI для зчитування даних

Завдяки своїм високим технічним характеристикам та надійності, BMP280 знайшов широке застосування у різних сферах, таких як метеорологія, авіація, геодезія, мобільні пристрої, розумні будинки та інші системи, де необхідне точне вимірювання атмосферного тиску та температури.

3) BME280 – це високоточний цифровий сенсор, розроблений для вимірювання атмосферного тиску, вологості та температури. Вироблений компанією Bosch Sensortec, цей датчик є ідеальним рішенням для додатків в області метеорології, інтернету речей (IoT), систем автоматизації та розумних будинків. BME280 поєднує в собі три різних сенсори в одному компактному корпусі, що значно зменшує розмір та спрощує інтеграцію в електронні системи (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Датчик BME280

Основні характеристики:

Тиск: BME280 здатен вимірювати атмосферний тиск у діапазоні від 300 до 1100 гПа з високою точністю ± 1 гПа. Це дозволяє використовувати датчик для точного вимірювання висоти та прогнозування погоди.

Вологість: Датчик вимірює відносну вологість у діапазоні від 0 % до 100 % RH з точністю ± 3 % RH. Це робить його корисним для додатків, що потребують точного контролю вологості, таких як HVAC системи та розумні будинки.

Температура: ВМЕ280 вимірює температуру в діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє використовувати його у різноманітних кліматичних умовах.

Інтерфейси: ВМЕ280 підтримує два цифрових інтерфейси – I2C і SPI, що дозволяє легко інтегрувати його в різні мікроконтролерні системи.

Енергоспоживання: Датчик спроектований з урахуванням енергоефективності, що робить його придатним для портативних і автономних пристроїв.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики датчика ВМЕ280

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання тиску	300–1100 гПа
Точність вимірювання тиску	± 1 гПа
Діапазон вимірювання вологості	0 %–100 % RH
Точність вимірювання вологості	± 3 % RH
Діапазон вимірювання температури	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Точність вимірювання температури	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
Інтерфейси	I2C (до 3.4 МГц), SPI (до 10 МГц)
Напруга живлення	1.71–3.6 В
Енергоспоживання	0.1 мА в режимі очікування, до 0.65 мА в активному режимі
Робоча температура	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Розміри	2.5 мм x 2.5 мм x 0.93 мм

ВМЕ280 ідеально підходить для застосувань, де необхідно вимірювати тиск, вологість та температуру з високою точністю та низьким енергоспоживанням. Він використовується в метеостанціях, системах HVAC, розумних будинках, портативних пристроях, системах моніторингу навколишнього середовища та інших IoT проектах. Завдяки компактним розмірам і гнучким інтерфейсам, ВМЕ280 легко інтегрується в будь-які електронні системи, забезпечуючи надійні та точні вимірювання.

4) DHT22 (також відомий як AM2302) – це високоточний цифровий датчик, призначений для вимірювання температури та вологості. Завдяки

своїй точності, надійності та простоті використання, DHT22 є популярним вибором для багатьох додатків, включаючи системи моніторингу клімату, розумні будинки та проекти Інтернету речей (IoT) (Рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Датчик AM2302 (DHT22)

Основні характеристики:

Температура: DHT22 вимірює температуру в діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ з високою точністю $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє використовувати датчик у різноманітних кліматичних умовах.

Вологість: Датчик вимірює відносну вологість у діапазоні від 0 % до 100 % RH з точністю $\pm 2\text{--}5\text{ } \% \text{ RH}$, забезпечуючи точний контроль вологості в навколишньому середовищі.

Цифровий вихід: DHT22 використовує однодротовий цифровий інтерфейс для передачі даних, що спрощує його інтеграцію з мікроконтролерами та іншими пристроями.

Низьке енергоспоживання: Датчик споживає лише кілька міліампер струму під час вимірювання, що робить його придатним для використання в автономних системах з живленням від батарей.

Висока надійність: DHT22 має вбудовану функцію калібрування та компенсації температури, що забезпечує стабільність та надійність вимірювань навіть у складних умовах.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики датчика DHT22 (AM2302)

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури	-40 °C до +80 °C
Точність вимірювання температури	±0.5 °C
Діапазон вимірювання вологості	0 %–100 % RH
Точність вимірювання вологості	±2–5 % RH
Інтерфейс	Однодротовий цифровий
Частота вибірки	0.5 Гц (одне вимірювання кожні 2 секунди)
Напруга живлення	3.3–6 В
Робочий струм (вимірювання)	1.5 мА
Робочий струм (очікування)	40–50 мкА
Розміри	15.1 мм x 25 мм x 7.7 мм
Вага	близько 2.4 г

DHT22 (AM2302) ідеально підходить для використання в додатках, де необхідне точне вимірювання температури та вологості. Він широко використовується в метеостанціях, системах контролю клімату, розумних будинках, системах HVAC, сільському господарстві та інших сферах, де важливий контроль умов навколишнього середовища. Завдяки своєму цифровому виходу та простоті підключення, DHT22 є універсальним інструментом для розробників електронних проектів.

3.1.3 Модулі LoRaWAN

1) RFM95W – це високочутливий радіомодуль, розроблений для бездротового зв'язку на великі відстані за допомогою технології LoRa (Long Range). Він працює в частотних діапазонах 868 МГц, що робить його придатним для використання в багатьох країнах, враховуючи місцеві регуляторні вимоги (Рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Модуль RFM95W

Модуль забезпечує надійну передачу даних з низьким енергоспоживанням, що є особливо важливим для додатків Інтернету речей (IoT). Завдяки LoRa модуляції, RFM95W має високу чутливість приймача до -148 дБм, що дозволяє передавати дані на значні відстані навіть за умов слабого сигналу. Це робить його ідеальним для систем моніторингу навколишнього середовища, розумних міст, сільського господарства та інших додатків, де необхідний надійний зв'язок на великих відстанях.

RFM95W підтримує кілька типів модуляції, включаючи FSK, GFSK та MSK, що розширює його застосування в різних комунікаційних протоколах. Модуль використовує SPI інтерфейс для з'єднання з мікроконтролером або іншими хост-пристроями, що забезпечує швидку та ефективну передачу даних.

Завдяки компактним розмірам (16 мм x 16 мм x 2.8 мм), модуль легко інтегрується в різні електронні пристрої та системи. Він має низьке енергоспоживання, споживаючи до 120 мА під час передачі та лише 0.1 мА в режимі очікування, що робить його ідеальним для пристроїв з обмеженим енергоспоживанням, таких як датчики та інші пристрої IoT, які працюють від батарей.

Вихідна потужність модуля досягає $+20$ дБм, що забезпечує надійний зв'язок навіть у складних умовах. Модуль оснащений 64 байтами FIFO

пам'яті для буферизації даних під час передачі та прийому, що допомагає забезпечити безперебійну роботу без втрат даних.

Таблиця 3.8 – Характеристики модуля RFM95W

Параметр	Значення
Модель	RFM95W
Частотний діапазон	868 МГц
Модуляція	LoRa, FSK, GFSK, MSK
Вихідна потужність	До +20 дБм
Чутливість приймача	До -148 дБм
Ширина смуги пропускання	7.8 кГц до 500 кГц
Напруга живлення	1.8–3.7 В
Робочий струм (передача)	120 мА (максимум)
Робочий струм (очікування)	0.1 мА
Інтерфейс зв'язку	SPI
Робоча температура	-40 °C до +85 °C
Розміри	16 мм x 16 мм x 2.8 мм
Пам'ять FIFO	64 байт

Завдяки своїм характеристикам, RFM95W широко використовується у додатках, де необхідно забезпечити надійний бездротовий зв'язок на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням. Це включає системи моніторингу, розумні міста, сільське господарство, логістику та багато інших сфер, де важливі надійність та ефективність зв'язку.

2) RN2483 – це потужний і енергоефективний LoRaWAN модуль, розроблений компанією Microchip Technology, який забезпечує надійний бездротовий зв'язок на великі відстані. Цей модуль є ідеальним рішенням для створення Інтернету речей (IoT) і додатків, де необхідно забезпечити довготривале автономне живлення та стабільний зв'язок (Рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Модуль RN2483

Основні характеристики:

LoRaWAN: RN2483 повністю підтримує LoRaWAN класу A і C, що дозволяє використовувати його у мережах LoRaWAN, забезпечуючи надійний зв'язок з високою дальністю.

Частотний діапазон: Модуль працює в частотних діапазонах 433 МГц і 868 МГц (європейські стандарти), що дозволяє використовувати його в різних регіонах з відповідними частотними діапазонами.

Низьке енергоспоживання: RN2483 відзначається дуже низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для пристроїв, що працюють від батарей і потребують довготривалого автономного живлення.

Простота інтеграції: Модуль має простий інтерфейс UART для підключення до мікроконтролерів, що спрощує його інтеграцію у різні проекти та системи.

Вбудована антена: Модуль може використовувати зовнішню антену для покращення якості сигналу та збільшення дальності зв'язку.

Компактний розмір: Завдяки компактним розмірам, RN2483 легко інтегрується в різні пристрої, зменшуючи загальний розмір кінцевого продукту.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики модуля RN2483

Параметр	Значення
Частотний діапазон	433 МГц, 868 МГц
Протокол зв'язку	LoRaWAN клас А і С
Передавальна потужність	До +14 dBm
Чутливість приймача	До -148 dBm
Енергоспоживання (передача)	38 мА (максимум)
Енергоспоживання (прийом)	15 мА
Енергоспоживання (сплячий режим)	<1 мкА
Інтерфейс	UART
Напруга живлення	2.1–3.6 В
Робоча температура	-40°C до +85°C
Розміри	17.8 мм x 26.3 мм x 3 мм
Антенa	Зовнішня антенa

RN2483 ідеально підходить для застосувань у сфері Інтернету речей (IoT), де важливо забезпечити надійний бездротовий зв'язок на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням. Це включає моніторинг навколишнього середовища, розумні міста, сільське господарство, автоматизацію будинків, промисловий контроль та інші додатки, де важливо забезпечити стабільний та довготривалий зв'язок з мінімальними витратами енергії. Завдяки своїм характеристикам, RN2483 є відмінним вибором для розробників, які шукають надійний та енергоефективний LoRaWAN модуль для своїх проєктів.

3) SX1262 – це високопродуктивний і енергоефективний LoRa модем, розроблений компанією Semtech. Модуль забезпечує надійний бездротовий зв'язок на великі відстані з використанням технології LoRa, що робить його ідеальним рішенням для проєктів Інтернету речей (IoT), де важливо забезпечити довготривале автономне живлення та стабільний зв'язок (Рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Модуль SX1262

Основні характеристики:

LoRa технологія: SX1262 використовує технологію LoRa для забезпечення зв'язку на великі відстані з низьким енергоспоживанням. Це робить його ідеальним для додатків IoT, таких як розумні міста, сільське господарство, моніторинг навколишнього середовища та інші.

Частотний діапазон: Модуль працює в широкому частотному діапазоні від 150 МГц до 960 МГц, що дозволяє використовувати його у різних регіонах з відповідними частотними діапазонами.

Низьке енергоспоживання: SX1262 має дуже низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для пристроїв, що працюють від батарей і потребують довготривалого автономного живлення.

Підвищена дальність: Завдяки високій чутливості приймача до -148 дБм та передавальній потужності до $+22$ дБм, модуль забезпечує надійний зв'язок на великих відстанях.

Гнучкість налаштувань: Модуль підтримує різні модуляції, включаючи LoRa, FSK, GFSK та MSK, що дозволяє налаштовувати його відповідно до потреб конкретного додатка.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики модуля SX1262

Параметр	Значення
Частотний діапазон	150 МГц–960 МГц
Протокол зв'язку	LoRa, FSK, GFSK, MSK

Параметр	Значення
Передавальна потужність	До +22 дБм
Чутливість приймача	До -148 дБм
Енергоспоживання (передача)	22 мА @ +13 дБм, 24 мА @ +22 дБм
Енергоспоживання (прийом)	4.6 мА
Енергоспоживання (сплячий режим)	<1.5 мкА
Інтерфейси	SPI
Напруга живлення	1.8–3.7 В
Робоча температура	-40°C до +85°C
Розміри	4 мм x 4 мм x 0.85 мм
Антенa	Зовнішня антенa

SX1262 є відмінним вибором для додатків IoT, де необхідно забезпечити надійний бездротовий зв'язок на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням. Це включає розумні міста, моніторинг навколишнього середовища, сільське господарство, автоматизацію будинків, промисловий контроль та інші додатки. Завдяки своїм характеристикам та гнучкості налаштувань, SX1262 забезпечує стабільний і ефективний зв'язок, роблячи його ідеальним для широкого спектру проектів.

3.2 Підсумки вибору компонентів

Обрано компоненти Arduino Nano, KY-015 (DHT11), BMP280, RFM95W та ESP8266 через їх особливі переваги та відповідність потребам проекту.

Arduino Nano обраний завдяки своїй компактності, простоті використання, низькій вартості та широкій підтримці спільноти. Він легко програмується через USB за допомогою Arduino IDE, що спрощує розробку проектів. Хоча він і не є найпотужнішим мікроконтролером, його продуктивність достатня для більшості IoT проектів.

KY-015 (DHT11) вибраний через свою простоту інтеграції, доступність та низьке енергоспоживання. Він використовує однопровідний інтерфейс, що спрощує підключення до мікроконтролера, і дозволяє вимірювати базові параметри, такі як температура та вологість, що важливо для погодних

станцій. Хоча він менш точний, ніж інші датчики, його невисока ціна робить його ідеальним для бюджетних проектів.

BMP280 обраний через високу точність вимірювання атмосферного тиску та температури, що дозволяє об'єднати кілька функцій в одному датчику. Він також має низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для портативних пристроїв, а його малий розмір сприяє легкій інтеграції в компактні проекти.

RFM95W вибраний завдяки своїй здатності передавати дані на великі відстані (до 15 км в умовах прямої видимості) завдяки LoRa модуляції. Він має низьке енергоспоживання, що дозволяє використовувати його в автономних додатках, і високу чутливість приймача до -148 дБм, що забезпечує роботу навіть в умовах слабого сигналу. Підтримка різних режимів модуляції та широкий діапазон частот (868 МГц) роблять його гнучким у налаштуванні та використанні в різних регіонах.

ESP8266 є потужним і недорогим модулем для підключення до WiFi-мереж. Він підтримує всі основні протоколи TCP/IP, що дозволяє легко інтегрувати його в будь-який IoT проект для передачі даних на вебсервери. Завдяки своїй доступності та широкій підтримці в спільноті розробників, ESP8266 забезпечує просту і ефективну реалізацію бездротового зв'язку в проектах.

Таким чином, вибрані компоненти забезпечують оптимальний баланс між функціональністю, вартістю та простотою інтеграції, що робить їх ідеальним вибором для проекту зі створення станції відслідковування погоди на базі LoRaWAN.

3.3 Підключення компонентів

Для схеми підключення компонентів системи був використаний сервіс Fritzing.

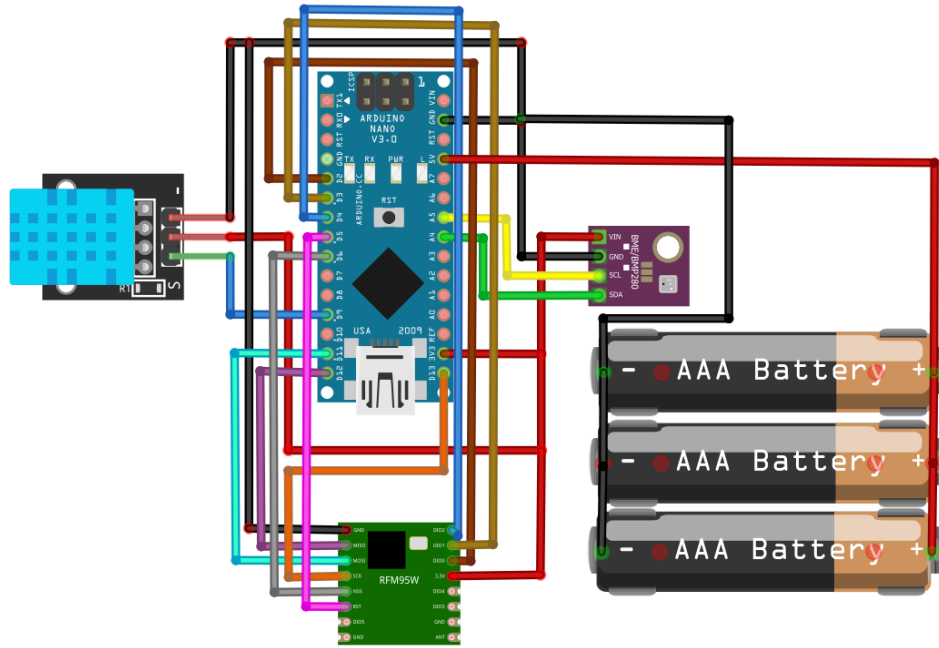


Рисунок 3.11 – Схема системи (передавач)

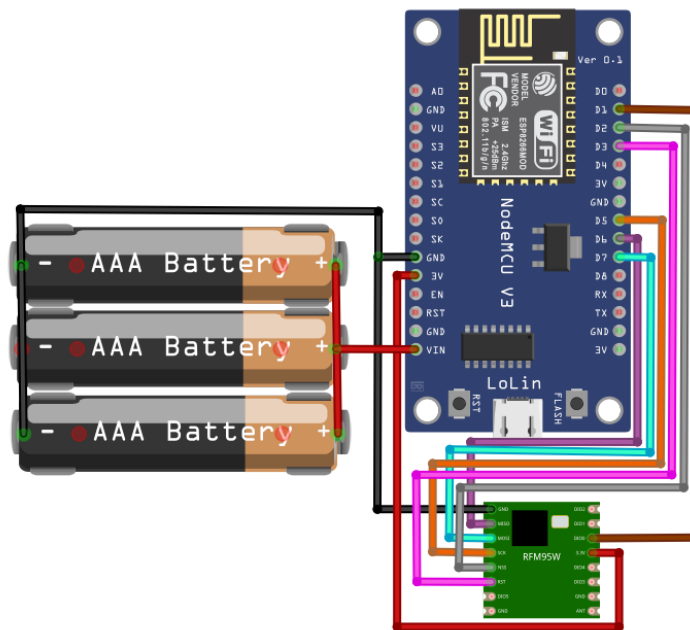


Рисунок 3.12 – Схема системи (приймач)

1) Підключення системи (передавач) (Рисунок 3.11)
Arduino Nano з LoRa та датчиками:

Підключення до Arduino Nano виконано за допомогою кабелів для макетних плат (мама-мама) (Рисунок 3.13).

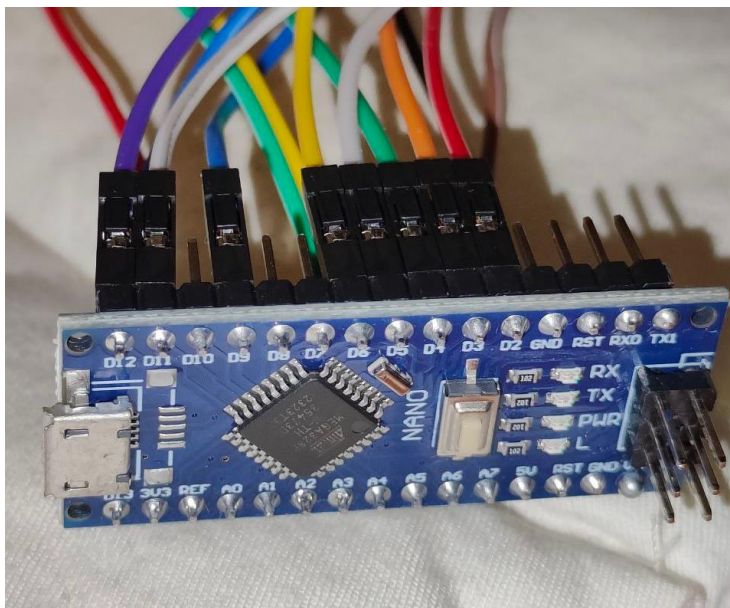


Рисунок 3.13 – Підключення до плати Arduino Nano

Підключення LoRa модуль RFM95W (Рисунок 3.14)

GND – GND: Підключення до землі для завершення електричного кола.

3.3V – 3V3: Подача живлення на модуль (3.3В).

MISO – D12: Пін MISO (Master In Slave Out) використовується для передачі даних від модуля RFM95W до Arduino.

MOSI – D11: Пін MOSI (Master Out Slave In) використовується для передачі даних від Arduino до модуля RFM95W.

SCK – D13: Пін SCK (Serial Clock) використовується для синхронізації передачі даних між Arduino та RFM95W.

NSS – D6: Пін NSS (Slave Select) використовується для вибору модуля RFM95W як активного пристрою на SPI шині.

RESET – D5: Пін RESET використовується для скидання модуля.

DIO0 – D2: Пін DIO0 використовується для сигналізації подій, таких як завершення передачі або прийому даних.

DIO1 – D3: Пін DIO1 також може використовуватися для сигналізації додаткових подій.

DIO2 – D4: Пін DIO2 використовується для сигналізації подій.

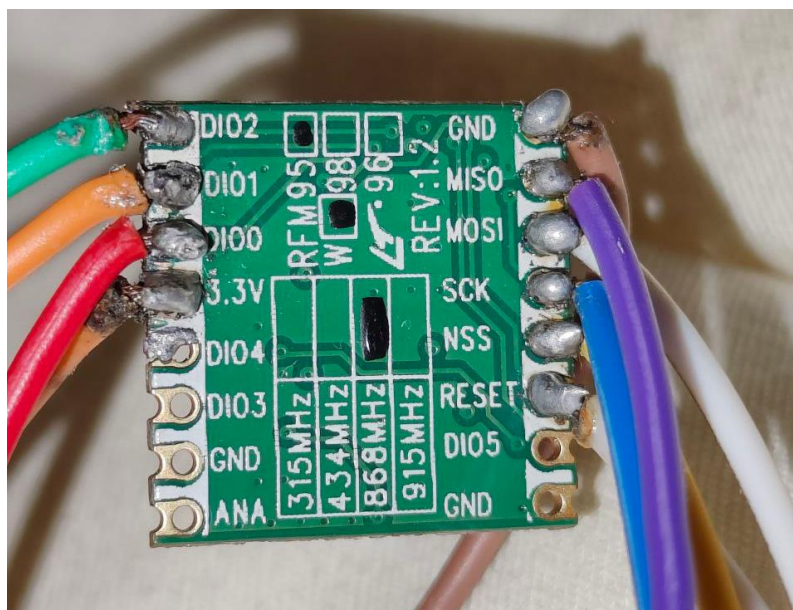


Рисунок 3.14 – Підключення до модуля RFM95W

LoRa модуль RFM95W: Використовує пін MISO, MOSI та SCK, тому що ці піни є стандартними для SPI (Serial Peripheral Interface) зв'язку, який забезпечує високошвидкісну передачу даних між мікроконтролером та периферійними пристроями.

Пін NSS використовується для вибору активного пристрою на SPI шині, що дозволяє мікроконтролеру вибрати, з яким пристроєм обмінюватися даними.

Піни DIO0, DIO1, та DIO2 використовуються для сигналізації подій, що дозволяє мікроконтролеру знати, коли передача або прийом даних завершено.

Пін RESET використовується для скидання модуля, що є необхідним для його початкового налаштування.

Підключення KY-015 (DHT11) (Рисунок 3.15)

GND – GND: Підключення до землі.

VCC – 3V3: Подача живлення на датчик (3.3В).

S – D9: Пін даних підключено до цифрового входу D9 на Arduino для зчитування даних з датчика.

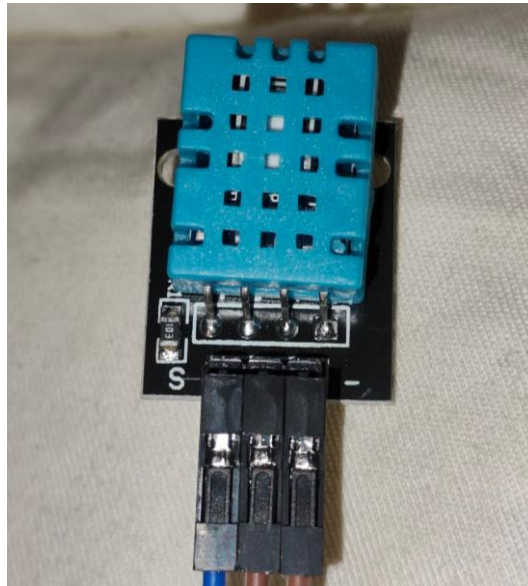


Рисунок 3.15 – Підключення до датчика KY-015 (DHT11)

KY-015 (DHT11):

Пін S підключений до цифрового входу D9, що дозволяє легко зчитувати дані з датчика за допомогою бібліотеки DHT. Вибір D9 є довільним і може бути змінений на інший цифровий вхід.

Підключення BMP280 (Рисунок 3.16)

VCC – 3V3: Подача живлення на датчик (3.3В).

GND – GND: Підключення до землі.

SCL – A5: Пін SCL (Serial Clock Line) використовується для синхронізації передачі даних на I2C шині.

SDA – A4: Пін SDA (Serial Data Line) використовується для передачі даних на I2C шині.



Рисунок 3.16 – Підключення до датчика BMP280

VMP280:

Використовує шини SCL та SDA для зв'язку по I2C (Inter-Integrated Circuit), що є стандартним протоколом для підключення датчиків та інших периферійних пристроїв до мікроконтролера. Шини A4 та A5 є стандартними для I2C на платі Arduino Nano.

2) Підключення системи (приймач) (Рисунок 3.12)

Підключення ESP8266 з LoRa:

Підключення до ESP8266 виконано за допомогою кабелів для макетних плат (мама-мама) (Рисунок 3.17)

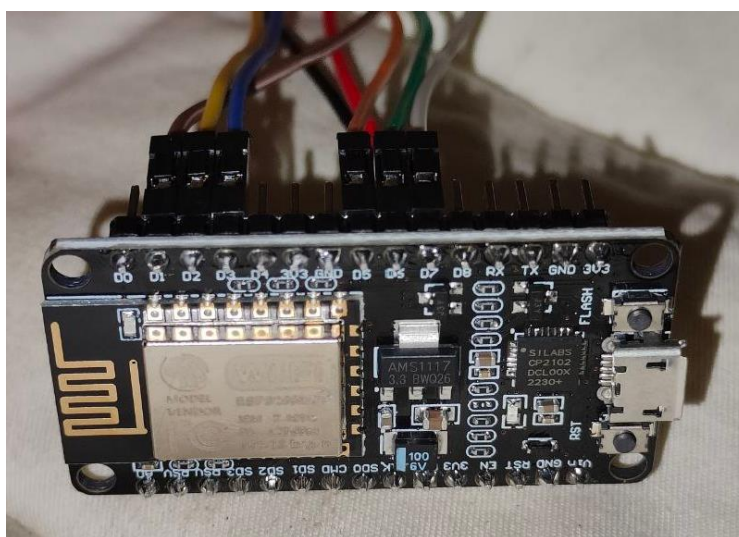


Рисунок 3.17 – Підключення до плати ESP8266

Підключення LoRa модуль RFM95W

GND – GND: Підключення до землі.

3.3V – 3V3: Подача живлення на модуль (3.3V).

MISO – D6: Пін MISO (Master In Slave Out) використовується для передачі даних від модуля RFM95W до ESP8266.

MOSI – D7: Пін MOSI (Master Out Slave In) використовується для передачі даних від ESP8266 до модуля RFM95W.

SCK – D5: Пін SCK (Serial Clock) використовується для синхронізації передачі даних між ESP8266 та RFM95W.

NSS – D2: Пін NSS (Slave Select) використовується для вибору модуля RFM95W як активного пристрою на SPI шині.

RESET – D3: Пін RESET використовується для скидання модуля.

DIO0 – D1: Пін DIO0 використовується для сигналізації подій, таких як завершення передачі або прийому даних.

LoRa модуль RFM95W:

Використання пінів MISO, MOSI та SCK для SPI зв'язку є стандартним та забезпечує високу швидкість передачі даних.

Пін NSS вибрано для вибору активного пристрою на SPI шині.

Піни DIO0 та RESET використовуються для сигналізації подій та скидання модуля відповідно, що є необхідним для його правильного функціонування.

Вибір пінів для підключення компонентів є важливим аспектом, оскільки забезпечує правильну роботу всіх елементів системи та стабільну передачу даних.

3.4 Програмування компонентів

Програмування системи виконано в середовищі Arduino IDE.

Arduino Integrated Development Environment (IDE) — це платформа, що забезпечує зручний інтерфейс для написання, компіляції та завантаження коду на мікроконтролери Arduino. Вона підтримує різноманітні платформи, включаючи Windows, macOS та Linux.

Для роботи з обраними компонентами нам необхідно встановити відповідні бібліотеки. Це можна зробити через Library Manager, який є частиною Arduino IDE.

1) Бібліотека «Adafruit BMP280 Library» призначена для роботи з датчиком тиску та температури BMP280, який використовує інтерфейс I2C або SPI для зв'язку. BMP280 є високоточним датчиком, який дозволяє зчитувати атмосферний тиск, температуру та висоту.

Функціональні можливості:

- зчитування атмосферного тиску в Паскалях (Па);
- зчитування температури в градусах Цельсія (°C);

– обчислення висоти на основі атмосферного тиску.

2) Бібліотека «DHT sensor library» призначена для роботи з різними датчиками DHT, такими як DHT11, DHT22 і AM2302. Ці датчики використовуються для вимірювання температури та відносної вологості.

Функціональні можливості:

- зчитування температури в градусах Цельсія або Фаренгейта;
- зчитування відносної вологості у відсотках;
- підтримка декількох типів датчиків DHT.

3) Бібліотека RadioHead є потужною та гнучкою бібліотекою для бездротового зв'язку між пристроями. Вона підтримує широкий спектр радіомодулів, включаючи LoRa модулі, такі як RFM95W. Бібліотека забезпечує надійну передачу даних та різні методи модуляції.

Функціональні можливості:

- підтримка різних протоколів та модулів (LoRa, FSK, GFSK тощо);
- надійна передача даних з використанням підтверджень та повторів;
- простий інтерфейс для відправки та прийому повідомлень.

4) Бібліотека ESP8266WiFi забезпечує простий та зручний інтерфейс для роботи з Wi-Fi модулем ESP8266. Ця бібліотека є невід'ємною частиною програмування ESP8266, оскільки дозволяє підключатися до Wi-Fi мереж, відправляти HTTP-запити, отримувати дані з вебсерверів та виконувати інші мережеві операції.

Функціональні можливості:

- підключення до Wi-Fi: бібліотека надає функції для підключення до Wi-Fi мережі з використанням SSID та пароля;
- DHCP і статичні IP-адреси: можливість використання динамічних або статичних IP-адрес;

- Wi-Fi моди: підтримка різних режимів роботи, таких як станція (STA), точка доступу (AP) та комбінований режим (AP+STA);
- сканування Wi-Fi мереж: можливість сканування доступних Wi-Fi мереж та отримання інформації про них;
- HTTP-запити: бібліотека забезпечує прості методи для створення HTTP-запитів (GET, POST) та обробки відповідей;
- TCP і UDP: підтримка TCP і UDP протоколів для передачі даних;
- безпека: підтримка різних методів шифрування та безпеки Wi-Fi мереж.

5) Бібліотека ESP8266HTTPClient є частиною екосистеми ESP8266, яка забезпечує можливість відправки HTTP-запитів з модуля ESP8266. Вона дозволяє створювати HTTP-запити (GET, POST, PUT, DELETE та інші) до вебсерверів і обробляти відповіді, що робить її ідеальним інструментом для інтеграції IoT пристроїв з вебсервісами.

Функціональні можливості:

- HTTP методи: підтримка всіх основних HTTP методів, таких як GET, POST, PUT, DELETE;
- заголовки запитів: можливість додавання користувацьких заголовків до HTTP-запитів;
- тіло запиту: підтримка передачі даних у тілі запиту для методів POST і PUT;
- обробка відповідей: зчитування коду статусу, заголовків та тіла відповіді від вебсерверу;
- підтримка HTTPS: можливість створення безпечних запитів через HTTPS з використанням SSL/TLS.

Робота систем:

Arduino Nano приймає дані з усіх датчиків, рахує середню температуру двох датчиків, створює повідомлення з даними для передачі через LoRa і відправляє їх на модуль RFM95W. Модуль відправляє дані на відстань до

10 км. Інший модуль RFM95W приймає дані та передає на плату ESP8266, яка обробляє дані та передає їх через Wi-Fi на обране API.

Написаний код до системи передатчика для Arduino Nano можна подивитись у додатку Б. Код до системи приймача написаний для ESP8266 можна переглянути у додатку В.

Висновки до розділу 3

Було виконано поставлену мету вибору та опису компонентів для станції відслідковування погодних умов. Було виконано завдання з вибору датчиків для вимірювання температури, вологості, тиску, швидкості та напрямку вітру. Було також розроблено та описано апаратну частину системи, включаючи процесори та модулі зв'язку, що дозволяє забезпечити надійний збір та передачу даних.

Третій розділ дипломної роботи присвячений проектуванню та розробці апаратно-програмного комплексу станції відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN. У цьому розділі було здійснено вибір електронних компонентів, що включає детальний аналіз і оцінку різних варіантів з метою визначення найбільш ефективних та надійних компонентів для розробки системи. Після цього було виконано підключення обраних компонентів та їх програмування, що забезпечило функціонування системи у відповідності до вимог.

У результаті роботи було створено прототип станції, який успішно виконує задачі збору та передачі даних про погодні умови. Прототип показав високу точність вимірювань та стабільність роботи, що підтверджує правильність обраних рішень щодо апаратної та програмної частини проекту. Отже, можна зробити висновок, що розроблений апаратно-програмний комплекс відповідає поставленим вимогам та є надійною основою для подальшого вдосконалення та комерційного використання.

ВИСНОВКИ

Було виконано поставлену мету розробки системи відслідковування та прогнозування погодних умов на основі технології LoRaWAN. Було виконано поставлені завдання: аналіз існуючих методів та технологій, розробка методів фільтрації та аналізу даних, створення математичних моделей для прогнозування, вибір та інтеграція апаратних компонентів, тестування системи в реальних умовах.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено станцію відслідковування погодних умов на базі технології LoRaWAN. В результаті проведених досліджень та реалізації було досягнуто значних результатів. Проведено детальний аналіз предметної області та існуючих рішень у сфері метеорологічних станцій, зокрема, вивчено особливості використання технології LoRaWAN для моніторингу погодних умов. Сформовано специфікацію вимог до програмно-апаратного комплексу, визначено ключові параметри, такі як точність вимірювання, енергоспоживання, дальність зв'язку та стійкість до зовнішніх умов.

Розроблено архітектуру станції, яка включає апаратну та програмну частини, та виконано моделювання основних компонентів системи. Створено прототип станції з використанням модуля RFM95W для передачі даних через LoRaWAN, що включає функціонал для збору та аналізу даних про температуру, вологість, тиск, швидкість та напрямок вітру. Проведено попереднє тестування прототипу в реальних умовах. Проаналізовані результати тестування показали деякі недоліки у коді, що підтверджує можливість подальшого вдосконалення системи.

Таким чином, мета роботи була досягнута. Розроблена станція відповідає поставленим вимогам і може бути використана для моніторингу погодних умов в аграрному секторі, екологічному моніторингу та інших галузях. Виконане дослідження та створений прототип підтверджують доцільність застосування технології LoRaWAN для подібних завдань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Raj P., Raman A. C. Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. Auerbach Publishers, Incorporated, 2019. 364 p.
2. Schwartz M. Internet of Things with ESP8266. Packt Publishing, 2019. 226 p.
3. Al Ghamdi A., Khairullah E., Al Mojamed M. LoRaWAN performance analysis for a water monitoring and leakage detection system in a housing complex. *Sensors*. 2022. Vol. 22, Is. 19. P. 1–15. DOI: 10.3390/s22197188.
4. Maksimova R., Kolev K. LoRaWAN applications – «Leonardo tasting LoRaWINE». *9th International Scientific Conference "TechSys 2020" – Engineering, Technologies and Systems*. Plovdiv, Bulgaria. May 14–16, 2020. Vol. 878. P. 1–8. DOI: 10.1088/1757-899x/878/1/012032.
5. Attack-aware synchronization-free data timestamping in lorawan / C. Gu та ін. *ACM transactions on sensor networks*. 2022. Vol. 18, Is 1. P. 1–31. DOI: 10.1145/3474368.
6. Документація Arduino URL: <https://docs.arduino.cc/> (дата звернення: 10.05.2024).
7. Публікації URL: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/obzor-tekhnologii-lorawan-ua/> (дата звернення: 10.05.2024).
8. Linnemann M., Sommer A., Leufkes R. Einsatzpotentiale von LoRaWAN in der Energiewirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. DOI: 10.1007/978-3-658-26917-3.
9. Chen X., Lech M., Wang L. A complete key management scheme for lorawan v1.1. *Sensors*. 2021. Vol. 21, Is 9. P. 2962. DOI:10.3390/s21092962.
10. Вебсайт IEEE Xplore Digital Library. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.

11. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications / A. Al-Fuqaha et al. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2019. Vol. 17, Is. 4. P. 2347–2376. DOI: 10.1109/comst.2015.2444095.
12. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions / J. Gubbi et al. *Future Generation Computer Systems*. 2019. Vol. 29, Is. 7. P. 1645–1660. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010.
13. Internet of things: Vision, applications and research challenges / D. Miorandi et al. *Ad Hoc Networks*. 2019. Vol. 10, Is. 7. P. 1497–1516. DOI: 10.1016/j.adhoc.2019.02.016.
14. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*. 2019. Vol. 58, Is. 4. P. 431–440. DOI: 10.1016/j.bushor.2019.03.008.
15. Li M., Lin H.-J. Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2019. Vol. 62, Is. 7. P. 4430–4442. DOI: 10.1109/tie.2019.2379586.
16. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*. 2019. Vol. 03, Is. 05. P. 164–173. DOI: 10.4236/jcc.2015.35021.
17. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead / S. Sicari et al. *Computer Networks*. 2019. Vol. 76. P. 146–164. DOI: 10.1016/j.comnet.2014.11.008.
18. Stankovic J. A. Research Directions for the Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. Vol. 1, Is. 1. P. 3–9. DOI: 10.1109/jiot.2014.2312291.
19. The Effect of IoT New Features on Security and Privacy: New Threats, Existing Solutions, and Challenges Yet to Be Solved / W. Zhou et al. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. Vol. 6, Is. 2. P. 1606–1616. DOI: 10.1109/jiot.2018.2847733.

20. The Internet of Things for Ambient Assisted Living / A. Dohr et al. 2019 *7th International Conference on Information Technology: New Generations*, Las Vegas, NV, USA, 12–14 April 2019. DOI: 10.1109/itng.2010.104.

21. LoRaWAN communication protocols: a comprehensive survey under an energy efficiency perspective / K. Banti та ін. *Telecom*. 2022. Vol. 3, Is 2. P. 322–357. DOI: 10.3390/telecom3020018.

22. LoRaCog: a protocol for cognitive radio-based lora network / F. Salika та ін. *Sensors*. 2022. Vol. 22, Is 10. P. 3885. DOI: 10.3390/s22103885.

ДОДАТОК А
довідка
про перевірку на унікальність пояснювальної записки
бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:
«Станція відслідковування погодних умов на базі LoRaWAN»

студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», 405 групи
Тичини Богдана Руслановича
прізвище, ім'я, по-батькові

Перевірку тексту здійснено сервісом: онлайн-сервіс Unicheck

The screenshot shows the Unicheck report interface. At the top, it displays the Unicheck logo and a small university emblem. The user information includes the name 'Евген Дарнапук', the check date '13.06.2024 19:29:50 EEST', and the report date '14.06.2024 13:36:22 EEST'. The document details are: 'Тичина Б. Р. 405_Кваліфікаційна бакалаврська робота', 32 pages, 12119 words, 89692 symbols, 96.74 KB file size, and file ID 1016161076. The main result is a 3.95% similarity score, with a breakdown: 3.21% from internet sources (200 matches on page 34) and 1.26% from library sources (62 matches on page 36). There are 0% citations and 0% extracted content. A modification section shows 7 replaced symbols. The report also includes a link to the source of the highest similarity: 'https://shop.gpsgeometer.com/ua/products/meteostantsiya-vantage...'

Результат перевірки тексту бакалаврської кваліфікаційної роботи: схожість складає 3,95%.

Здобувач:

Керівник:

ст. викладач

_____ Б. Р. Тичина
підпис ініціали, прізвище

_____ Є. С. Дарнапук
підпис ініціали, прізвище

Дата:

«__» _____ 2024 р.

ДОДАТОК Б

Код системи передавача

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <DHT.h>
#include <RH_RF95.h>

#define DHTPIN 9
#define DHTTYPE DHT11

#define RFM95_CS 6
#define RFM95_RST 5
#define RFM95_INT 2
#define RF95_FREQ 868.0 // Частота 868 MHz

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_BMP280 bmp; // I2C
RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  // Initialize DHT sensor
  Serial.println("Initializing DHT sensor...");
  dht.begin();

  // Initialize BMP280 sensor
  Serial.println("Initializing BMP280 sensor...");
  if (!bmp.begin(0x76)) {
    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor at address 0x76,
check wiring!"));
    while (1);
  } else {
    Serial.println(F("BMP280 sensor found at address 0x76"));
  }

  // Initialize LoRa module
  Serial.println("Initializing LoRa module...");
  pinMode(RFM95_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);

  delay(100);

  digitalWrite(RFM95_RST, LOW);
  delay(10);
  digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);
  delay(10);

  if (!rf95.init()) {
    Serial.println("LoRa radio init failed");
    while (1);
  }

  if (!rf95.setFrequency(RF95_FREQ)) {
    Serial.println("setFrequency failed");
  }
}
```

```
    while (1);
}

rf95.setTxPower(13, false);

Serial.println("Initialization complete");
}

void loop() {
    Serial.println("Reading sensors...");

    // Read temperature from DHT11
    float temperatureDHT = dht.readTemperature();
    if (isnan(temperatureDHT)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
        return;
    } else {
        Serial.print("Temperature from DHT11: ");
        Serial.print(temperatureDHT);
        Serial.println(" °C");
    }

    // Read temperature from BMP280
    float temperatureBMP = bmp.readTemperature();
    Serial.print("Temperature from BMP280: ");
    Serial.print(temperatureBMP);
    Serial.println(" °C");

    // Calculate average temperature
    float averageTemperature = (temperatureDHT + temperatureBMP) / 2.0;
    Serial.print("Average Temperature: ");
    Serial.print(averageTemperature);
    Serial.println(" °C");

    // Read other data from BMP280
    float pressure = bmp.readPressure();
    Serial.print("Pressure: ");
    Serial.print(pressure);
    Serial.println(" Pa");

    float altitude = bmp.readAltitude(1013.25); // assuming sea level pressure
    is 1013.25 hPa
    Serial.print("Altitude: ");
    Serial.print(altitude);
    Serial.println(" m");

    // Create message
    char message[50];
    snprintf(message, sizeof(message), "AvgTemp: %.2f C, Pressure: %.2f Pa,
Altitude: %.2f m", averageTemperature, pressure, altitude);
    Serial.print("Message: ");
    Serial.println(message);

    // Send message via LoRa
    rf95.send((uint8_t *)message, strlen(message));
    rf95.waitPacketSent();
    Serial.println("Message sent via LoRa");

    // Wait a bit before next reading
    delay(2000);
}
```

ДОДАТОК В

Код системи приймача

```
#include <Wire.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <RH_RF95.h>

#define RFM95_CS D2
#define RFM95_RST D3
#define RFM95_INT D4

#define RF95_FREQ 868.0 // Частота 868 MHz

// Ваші налаштування Wi-Fi
const char* ssid = "your_SSID";
const char* password = "your_PASSWORD";

// URL вашого API
const char* serverName = "http://your_api_endpoint";

RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);

  // Підключення до Wi-Fi
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  // Initialize LoRa module
  Serial.println("Initializing LoRa module...");
  pinMode(RFM95_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);

  delay(100);

  digitalWrite(RFM95_RST, LOW);
  delay(10);
  digitalWrite(RFM95_RST, HIGH);
  delay(10);

  if (!rf95.init()) {
```



```
Serial.println("LoRa radio init failed");
while (1);
}

if (!rf95.setFrequency(RF95_FREQ)) {
    Serial.println("setFrequency failed");
    while (1);
}

rf95.setTxPower(13, false);

Serial.println("Initialization complete");
}

void loop() {
    if (rf95.available()) {
        // Receive LoRa message
        uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
        uint8_t len = sizeof(buf);

        if (rf95.recv(buf, &len)) {
            buf[len] = 0; // Null-terminate the string
            Serial.print("Received: ");
            Serial.println((char*)buf);

            // Send data to API
            if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
                WiFiClient client;
                HTTPClient http;

                http.begin(client, serverName);
                http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

                String httpRequestData = "sensorData=" + String((char*)buf);
                int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);

                if (httpResponseCode > 0) {
                    Serial.print("HTTP Response code: ");
                    Serial.println(httpResponseCode);
                }
                else {
                    Serial.print("Error code: ");
                    Serial.println(httpResponseCode);
                }
                http.end();
            }
            else {
                Serial.println("WiFi Disconnected");
            }
        }
    }
}
```