

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Модель системи моніторинга якості мобільного зв'язку
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-22-1

Бондарчук Є. В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. АПОТ Рахліс Д. Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри


(підпис)


Чумаченко С. В.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)
Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 
(підпис)

«03» вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Бондарчуку Єгору Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Модель системи моніторингу якості мобільного зв'язку
затверджена наказом по університету від 03.11.2023 р. № 1282СТ
- Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19.01.2024 р.
- Вихідні дані до роботи Програма для мікроконтролера на базі Arduino
Документація SIM800L
Платформа Arduino IDE
Мова програмування C++
- Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Види зв'язку та їх характеристики
Створення програми для роботи з OLED дисплеєм з протоколом типу I2C
Створення програми для обробки даних від AT команд

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 15 слайдів


6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 02.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	02.09.2023-06.09.2023	
2	Аналіз літератури за темою	06.09.2023-30.09.2023	
3	Суть технічної проблеми	30.09.2023-08.10.2023	
4	Постановка задачі	08.10.2023-12.10.2023	
5	Існуючі методи для вирішення задачі	12.10.2023-20.10.2023	
6	Розробка алгоритму програми	20.10.2023-25.10.2023	
7	Програмна реалізація алгоритму	25.10.2023-20.11.2023	
8	Тестування програми	20.11.2023-30.11.2023	
9	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2023-17.12.2023	
10	Оформлення графічної частини	17.12.2023-24.12.2023	
11	Захист	19.01.24	

Студент 
(підпис)

Керівник роботи  доц. каф. АПОТ Рахліс Д. Ю.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 57 сторінок, 25 рисунків, 10 джерел за переліком посилань.

МІКРОКОНТРОЛЕР НА БАЗІ АРДУІНО, SIM800С, GSM, GRPS, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, МОБІЛЬНА МЕРЕЖА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ОПЕРАТОРИ, СИСТЕМА СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМ, ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ, СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ.

У ході виконання були розглянуті принципи та готові рішення для системи моніторингу якості мобільного зв'язку. Встановлені необхідні умови та параметри для розробки системи з моніторингу якості мобільного зв'язку. Розроблено систему моніторингу з допомогою компонентів (мікроконтролер Arduino, модуль SIM800L та OLED дисплей) та мови програмування C++ .

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work contains 57 pages, 25 figures, 10 sources according to the list of references.

MICROCONTROLLER BASED ON ARDUINO, SIM800C, GSM, GRPS, MONITORING SYSTEM, MOBILE NETWORK, QUALITY OF SERVICE, QUALITY OF EXPERIENCE, TELECOM OPERATORS, MONITORING SYSTEM, TROUBLE FINDING , QUALITY IMPROVEMENT, MONITORING SYSTEMS.

In the course of implementation, the principles and ready-made solutions for the mobile communication quality monitoring system were considered. The necessary conditions and parameters for the development of a system for monitoring the quality of mobile communications have been established. A monitoring system was developed using components (Arduino microcontroller, module SIM900L and OLED display) and the C++ programming language.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ.....	9
1.1 Роль зв'язку в сучасному світі.....	9
1.2 Актуальність роботи.....	10
1.3 Мета та задачі дослідження.....	10
1.4 Об'єкт та предмет дослідження.....	11
2 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	12
2.1 Поняття мобільного зв'язку.....	12
2.2 Критерії якості мобільного зв'язку.....	13
2.3 Системи моніторингу якості мобільного зв'язку.....	14
2.4 Принципи роботи систем моніторингу.....	15
2.5 Класифікація систем моніторингу.....	16
2.6 Аналіз використання систем моніторингу в Україні та світі.....	16
2.7 Проблеми та переваги сучасних систем моніторингу.....	18
2.8 Модель системи моніторингу якості мобільного зв'язку.....	19
2.9 Етапи впровадження системи моніторингу.....	21
2.10 Оцінка ефективності впровадження системи моніторингу.....	22
2.11 Методи оцінки якості мобільного зв'язку.....	22
2.12 Вплив системи моніторингу на якість обслуговування користувачів	23
3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ARDUINO.....	25
3.1 Вступ в Arduino.....	25
3.2 Характеристики та можливості Arduino для моніторингу мобільного зв'язку.....	26
3.3 Програмне забезпечення для роботи з Arduino.....	27

3.4	Визначення вимог до системи.....	29
3.5	Вибір компонентів для системи.....	29
3.6	Схема з'єднань компонентів.....	31
4	СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ТА ТЕСТУВАННЯ.....	33
4.1	Підготовка компонентів.....	33
4.2	Підключення компонентів до Arduino UNO	34
4.3	Ініціалізація та налаштування програмного середовища	39
4.4	Тестування функціональності компонентів	44
4.5	Програмування Arduino для взаємодії з компонентами	47
4.6	Тестування з'єднань та функціональності	54
	ВИСНОВКИ.....	56
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	57
	ДОДАТОК А.....	58
	ДОДАТОК Б.....	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

SPI – стандарт передачі даних (англ. Serial Peripheral Interface);

IDE – Інтегроване середовище розробки програм та додатків (англ. Integrated Development Environment);

IoT – інтернет речей (англ. Internet of Things);

I2C – послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем;

UART – тип асинхронного приймача-передавача, компонентів комп'ютерів та периферійних пристроїв, що передає дані між паралельною та послідовною формами. (англ. universal asynchronous receiver/transmitter);

GPS – система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System);

GSM – глобальна система мобільного зв'язку (англ. Global System for Mobile Communications);

GPRS – загальний сервіс пакетної радіопередачі (англ. General Packet Radio Service);

OLED – світлодіод, у якому електролюмінесценція відбувається в тонкому пласті органічного напівпровідника, розташованому між двома електродами (англ. organic light-emitting diode);

BAUD – бод, одиниця вимірювання швидкості символів, яка є одним із компонентів, що визначають швидкість зв'язку по каналу даних;

BER – коефіцієнт бітових помилок (англ. bit error rate);

RSSI – в телекомунікації, пристрій для вимірювання рівня потужності сигналу (англ. Received Signal Strength Indication);

SLA – угода про рівень послуг (англ. Service-level agreement);

ВСТУП

У наші дні мобільний зв'язок став невід'ємною частиною нашого життя. Він спростовує комунікацію, дозволяє отримувати актуальну інформацію в режимі реального часу, забезпечує можливість вести ділові переговори, використовуючи різні додатки та сервіси. Якість мобільного зв'язку безпосередньо впливає на продуктивність та ефективність таких комунікацій, а, отже, важливо, щоб вона була на високому рівні.

Система моніторингу якості мобільного зв'язку – це інструмент, який дозволяє провайдерам та користувачам відстежувати якість послуг зв'язку, а також забезпечує оперативне виявлення та усунення можливих проблем. Застосування такої системи має значне практичне значення, адже воно дозволяє підтримувати високий рівень сервісу, покращувати якість спілкування, а також збільшує довіру та задоволення користувачів.

У даній роботі розглянемо принципи роботи системи моніторингу якості мобільного зв'язку, особливості її впровадження та використання, а також потенційні вигоди для різних зацікавлених сторін. Дослідження орієнтоване на пошук способів підвищення ефективності таких систем та вибір оптимальних стратегій для їх впровадження в умовах сучасного ринку мобільного зв'язку.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

1.1 Роль зв'язку в сучасному світі

В сучасному світі мобільний зв'язок відіграє важливу роль, дозволяючи людям безперервно спілкуватися, отримувати доступ до інформації, виконувати роботу, навчатися і так далі. Висока якість мобільного зв'язку є необхідною умовою для забезпечення ефективного і комфортного використання мобільних технологій. Люди все менше використовують стаціонарний телефон та переходять на мобільний (рис. 1.1).

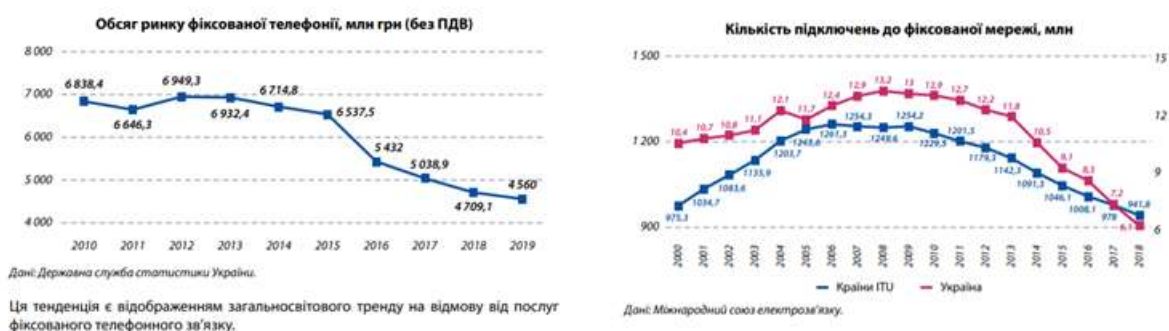


Рисунок 1.1 – Динаміка використання стаціонарного телефону

Однак, незважаючи на важливість забезпечення високої якості мобільного зв'язку, цей процес стикається з рядом проблем і викликів. Зокрема, моніторинг якості мобільного зв'язку може бути складним через велику кількість параметрів, які треба враховувати, а також через відмінності в очікуваннях різних користувачів.

Тому, актуальність дослідження систем моніторингу якості мобільного зв'язку випливає з потреби у вдосконаленні механізмів оцінки і контролю якості мобільного зв'язку, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню задоволеності користувачів, оптимізації роботи операторів мобільного зв'язку та розвитку сфери мобільних комунікацій в цілому.

1.2 Актуальність роботи

Мобільний зв'язок є ключовим елементом сучасної інформаційної інфраструктури, що забезпечує неперервний обмін інформацією та комунікацією між користувачами. Однак, якість послуг мобільного зв'язку, яка включає такі параметри, як стабільність зв'язку, швидкість передачі даних, час відгуку та інші, може суттєво варіюватися. Це, у свою чергу, впливає на задоволеність користувачів, продуктивність їх роботи та загальне використання мобільних технологій.

Проблема полягає в тому, що незважаючи на важливість забезпечення високої якості мобільного зв'язку, не завжди є чіткі механізми для його оцінки та контролю. Сучасні оператори мобільного зв'язку мають ряд внутрішніх інструментів для моніторингу якості своїх послуг, але їхні критерії та методи оцінки можуть не відповідати реальному досвіду користувачів. Крім того, без системи моніторингу якості мобільного зв'язку важко виявляти та вирішувати проблеми, пов'язані з якістю обслуговування.

Таким чином, актуальним є пошук та розробка ефективних систем моніторингу якості мобільного зв'язку, які б забезпечили оперативне виявлення та усунення проблем, пов'язаних з якістю обслуговування, а також допомогли б вдосконалювати сервіси мобільного зв'язку відповідно до вимог та очікувань користувачів.

1.3 Мета та задачі дослідження

Мета даного дослідження полягає в детальному вивченні систем моніторингу якості мобільного зв'язку, аналізі їх ефективності та потенціальному використанні для підвищення якості послуг мобільного зв'язку.

Для досягнення цієї мети, необхідно вирішити наступні задачі:

1) вивчити теоретичні основи систем моніторингу якості мобільного зв'язку, у тому числі поняття мобільного зв'язку, критерії якості мобільного зв'язку, принципи роботи систем моніторингу;

2) проаналізувати сучасні системи моніторингу якості мобільного зв'язку, їх класифікацію, особливості використання в Україні та світі;

3) дослідити процес впровадження системи моніторингу якості мобільного зв'язку, визначення вимог до такої системи, етапи впровадження та оцінка ефективності;

4) вивчити вплив системи моніторингу на якість мобільного зв'язку та задоволеність користувачів, методи оцінки якості мобільного зв'язку.

Ці задачі допоможуть отримати повне розуміння проблематики систем моніторингу якості мобільного зв'язку, а також дадуть можливість розробити рекомендації щодо впровадження та використання таких систем для підвищення якості обслуговування користувачів мобільного зв'язку.

1.4 Об'єкт та предмет дослідження

Об'єкт дослідження у даній роботі представляє собою сферу мобільного зв'язку. Саме в ній відбуваються ключові процеси, що впливають на якість передачі інформації та загальну задоволеність користувачів послугами. З урахуванням швидкого розвитку мобільних технологій, їх поширення та зростаючої ролі у сучасному суспільстві, мобільний зв'язок є актуальним і значущим об'єктом наукового дослідження.

Предметом дослідження є системи моніторингу якості мобільного зв'язку. Це означає, що у центрі уваги знаходяться конкретні методи, технології та інструменти, за допомогою яких здійснюється оцінювання та контроль якості послуг мобільного зв'язку. Це включає розгляд принципів роботи таких систем, їх особливостей та ефективності, а також методів їх впровадження і використання.

2 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Поняття мобільного зв'язку

Мобільний зв'язок – це технологія, яка забезпечує бездротову передачу голосових та даних між двома або більше точками, які не з'єднані фізичним проводом. Мобільний зв'язок є важливою частиною сучасного суспільства, оскільки він дозволяє користувачам безперервно спілкуватися та передавати дані, незалежно від їх фізичного розташування.

В основі мобільного зв'язку лежать різні бездротові технології, включаючи мобільні мережі (наприклад, GSM, 3G, 4G, 5G, характеристики яких наведено на рисунку 2.1), Wi-Fi, Bluetooth та інші [1]. Основні елементи системи мобільного зв'язку включають мобільні пристрої (наприклад, смартфони або планшети), базові станції (які забезпечують покриття мобільної мережі) та мережу передачі даних (яка забезпечує з'єднання між базовими станціями та мережевими ресурсами).

	1G	2G	3G	4G	5G
Period	1980 – 1990	1990 – 2000	2000 – 2010	2010 – (2020)	(2020 - 2030)
Bandwidth	150/900MHz	900MHz	100MHz	100MHz	1000x BW pr unit area
Frequency	Analog signal (30 KHz)	1.8GHz (digital)	1.6 – 2.0 GHz	2 – 8 GHz	3 – 300 GHz
Data rate	2kbps	64kbps	144kbps – 2Mbps	100Mbps – 1Gbps	1Gbps <
Characteristic	First wireless communication	Digital	Digital broadband, increased speed	High speed, all IP	
Technology	Analog cellular	Digital cellular (GSM)	CDMA, UMTS, EDGE	LTE, WiFi	WWWW

Рисунок 2.1 – Характеристики мобільних мереж

Якість мобільного зв'язку визначається рядом параметрів, включаючи стабільність зв'язку, швидкість передачі даних, час відгуку, якість звуку при

голосових викликах і так далі. Для моніторингу та управління цими параметрами використовуються спеціальні системи моніторингу якості мобільного зв'язку.

2.2 Критерії якості мобільного зв'язку

Якість мобільного зв'язку вимірюється за допомогою різних технічних та сприйняттєвих параметрів, включаючи наступні.

1. Сигнал/Шум (S/N) – цей технічний параметр вимірює відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму в радіоканалі. Чим вище значення S/N, тим краща якість зв'язку.

2. Швидкість передачі даних – це важливий параметр для послуг передачі даних, таких як інтернет. Він вимірюється у бітах за секунду (біт/с) або їх кратних.

3. Час відгуку (latency) – це параметр вимірює час, що проходить між відправленням запиту і отриманням відповіді. Для реального часу сервісів, таких як голосовий зв'язок або гра в режимі онлайн, низький час відгуку є особливо важливим.

4. Відсоток викликів, що не були обслуговані (dropped calls) – це параметр вимірює кількість викликів, що були несподівано завершені через технічні проблеми в мережі.

5. Сприйняття користувача – це параметр якості мобільного зв'язку, що залежить від сприйняття користувача. Наприклад, якість голосу в голосових викликах, стабільність з'єднання, інтуїтивність і зручність використання сервісів також враховуються при оцінці якості мобільного зв'язку.

Різні системи моніторингу якості мобільного зв'язку можуть використовувати різні критерії для оцінки якості мобільного зв'язку, в залежності від специфіки мережі та вимог користувачів.

2.3 Системи моніторингу якості мобільного зв'язку

Системи моніторингу якості мобільного зв'язку – це комплексні інструменти та методики, які дозволяють операторам мобільних мереж оцінювати та контролювати якість послуг, що надаються їх користувачам. Вони грають важливу роль в оптимізації роботи мобільної мережі, покращенні якості обслуговування користувачів та збереженні конкурентоспроможності оператора.

Системи моніторингу якості мобільного зв'язку можуть використовувати різні методи і технології для оцінки якості зв'язку, включаючи наведені нижче.

1. *Passive monitoring* – це коли при пасивному моніторингу система аналізує трафік мережі та діагностичну інформацію, що генерується самою мережею, для визначення якості зв'язку.

2. *Active monitoring* – це коли при активному моніторингу система генерує та відправляє спеціальний тестовий трафік через мережу, щоб виміряти якість зв'язку.

3. *Synthetic monitoring* – це метод, який симулює дії користувачів для вимірювання якості сервісу. Наприклад, система може автоматично здійснювати виклики або відправляти повідомлення для оцінки якості зв'язку.

4. *Crowdsourcing* – це метод, при якому дані про якість зв'язку збираються від реальних користувачів мережі. Це може включати аналіз швидкості передачі даних, якість звуку викликів, відсоток викликів, що не були обслуговані, тощо.

Залежно від конкретних вимог і обставин, оператори можуть використовувати один або декілька з цих методів для моніторингу якості мобільного зв'язку.

2.4 Принципи роботи систем моніторингу

Системи моніторингу якості мобільного зв'язку базуються на декількох ключових принципах, які дозволяють їм ефективно вимірювати та аналізувати якість мобільного зв'язку. Ці принципи наведені нижче.

1. Збір даних – принцип в якому першим кроком в процесі моніторингу є збір даних. Це може включати технічну інформацію, яка генерується мобільною мережею (наприклад, діагностичні повідомлення, статистичні дані про трафік тощо), дані від користувачів (наприклад, результати тестів швидкості передачі даних, відгуки користувачів) або дані від спеціальних тестових робіт (наприклад, дані з активних тестів моніторингу).

2. Аналіз даних – принцип в якому отримані дані аналізуються для визначення ключових показників якості зв'язку. Цей аналіз може включати різні статистичні методи, моделі машинного навчання або інші методи обробки даних.

3. Виявлення проблем – принцип в якому на основі аналізу даних система моніторингу може виявити потенційні проблеми або області для покращення. Наприклад, система може виявити, що якість зв'язку погіршується в певних місцях або під час певних часових проміжків.

4. Реагування на проблеми – принцип в якому система моніторингу може використовувати отриману інформацію для реагування на виявлені проблеми. Це може включати автоматичне регулювання параметрів мережі, відправку сповіщень до відповідних співробітників або навіть пропозиції по покращенню якості послуг для користувачів.

Ці принципи можуть бути реалізовані по-різному в залежності від конкретної системи моніторингу, технології мобільного зв'язку та специфіки оператора мобільної мережі.

2.5 Класифікація систем моніторингу

Системи моніторингу якості мобільного зв'язку можна класифікувати за різними критеріями. За типом моніторингу системи моніторингу діляться на:

- пасивні – системи які аналізують трафік мережі та іншу діагностичну інформацію, що генерується самою мережею;
- активні – системи які генерують та відправляють спеціальний тестовий трафік через мережу для вимірювання якості зв'язку.

За обсягом моніторингу системи моніторингу діляться на:

- місцеві – системи, що фокусуються на моніторингу якості зв'язку в конкретних областях або вузлах мережі;
- централізовані – системи, що здійснюють моніторинг на рівні всієї мережі, агрегуючи дані з різних джерел.

За способом обробки даних системи моніторингу діляться на:

- ручні – системи, що вимагають ручного аналізу даних та виявлення проблем;
- автоматизовані – системи, що використовують автоматичний аналіз даних та алгоритми виявлення проблем, що можуть включати використання машинного навчання та інших технологій.

Кожен тип системи моніторингу має свої переваги та недоліки, тому вибір конкретної системи залежить від специфіки мережі та вимог оператора.

2.6 Аналіз використання систем моніторингу в Україні та світі

Використання систем моніторингу якості мобільного зв'язку широко розповсюджене по всьому світу, включаючи Україну. Ці системи стали ключовим інструментом для операторів мобільного зв'язку, які прагнуть забезпечити високу якість послуг для своїх користувачів згідно діючого закону України який на законодавчому рівні встановлює стандарт якості [10].

Розглянемо використання систем моніторингу. В Україні основні оператори мобільного зв'язку активно використовують системи моніторингу якості мобільного зв'язку. Вони використовують як пасивні, так і активні системи моніторингу для вимірювання та оптимізації якості послуг, що надаються. Деякі оператори також використовують краудсорсингові системи для збору даних від користувачів та використання цієї інформації для покращення якості зв'язку. Але на жаль ці системи мають приватний характер та про них важко знайти інформацію. Станом на 2020 рік було заплановано створення загальної системи моніторингу якості зв'язку, але цей проект досі не реалізували.

На міжнародному рівні, системи моніторингу використовуються великими та малими операторами мобільного зв'язку для вимірювання різних аспектів якості зв'язку. Особливо важливою є роль платформи OpenSignal, яка забезпечує моніторинг якості мобільного зв'язку шляхом аналізу даних, зібраних з мільйонів смартфонів по всьому світу (рис. 2.2).

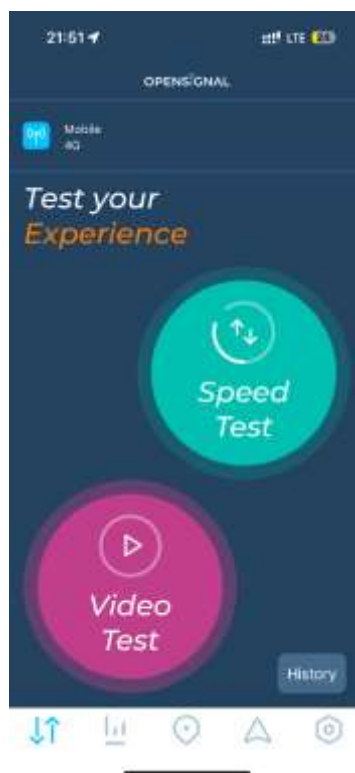


Рисунок 2.2 – Інтерфейс OpenSignal

OpenSignal – мобільний додаток, що дозволяє користувачам вимірювати силу сигналу, швидкість інтернету та якість зв'язку в різних місцях, використовуючи ці дані для створення детальних карт покриття та забезпечуючи користувачам інформацію, необхідну для обрання найкращого оператора зв'язку в їхній області.

Цей аналіз показує, що системи моніторингу якості мобільного зв'язку є ключовою складовою контролю якості мобільного зв'язку, які використовуються по всьому світу для забезпечення належного рівню послуг для користувачів.

2.7 Проблеми та переваги сучасних систем моніторингу

Сучасні системи моніторингу якості мобільного зв'язку мають ряд переваг, але вони також стикаються з деякими викликами.

1. Ефективність – системи моніторингу дозволяють операторам мобільного зв'язку швидко виявляти та усувати проблеми з якістю зв'язку. Це може включати виявлення та розв'язання технічних проблем, а також оптимізацію параметрів мережі для покращення якості зв'язку.

2. Масштабованість – завдяки автоматизації, системи моніторингу можуть обробляти велику кількість даних, яка генерується мобільними мережами. Це дозволяє операторам моніторити якість зв'язку на великому обсязі.

3. Підвищення задоволеності користувачів – здатність швидко виявляти та вирішувати проблеми може допомогти підвищити задоволеність користувачів мобільного зв'язку.

До проблем можна віднести наступне:

1) складність (впровадження та управління системами моніторингу може бути складним процесом, що вимагає технічної експертизи та ресурсів);

2) вартість (залежно від обсягу мережі та складності системи моніторингу, вартість впровадження та підтримки таких систем може бути високою);

3) приватність даних (системи моніторингу можуть збирати великі обсяги даних, що можуть включати персональну інформацію користувачів).

2.8 Модель системи моніторинга якості мобільного зв'язку

При розробці системи моніторингу якості мобільного зв'язку важливо визначити ряд ключових вимог до системи. Вони можуть включати наступні наведені пункти:

1) обсяг моніторингу – система моніторингу повинна бути здатна адекватно вимірювати якість мобільного зв'язку на всій території покриття мережі;

2) точність моніторингу – система повинна забезпечувати достовірні та точні вимірювання якості зв'язку;

3) відповідність стандартам – система повинна вимірювати якість зв'язку відповідно до встановлених стандартів, таких як 3GPP, ETSI, ITU і т.д.;

4) автоматизація – система повинна автоматизувати процеси моніторингу та аналізу даних для підвищення ефективності та масштабованості;

5) інтеграція з мережею – система повинна інтегруватися з існуючою інфраструктурою мережі, включаючи різні типи мереж (2G, 3G, 4G, 5G) та мережеві елементи (BSS, NSS, IMS, і т.д.);

6) захист даних – система повинна забезпечувати захист даних, що збираються та обробляються, відповідно до законодавства про захист даних;

7) спосіб моніторингу – в залежності від потреб оператора, система моніторингу може використовувати активні, пасивні або краудсорсингові методи моніторингу.

Зваживши ключові вимоги до нашої системи та методи її використання, ми обрали наступні ключові критерії:

- 1) обсяг моніторингу – наша кінцева система повинна вимірювати якість будь-де та будь-коли;
- 2) точність моніторингу – система повинна при будь-яких умовах надавати максимально точні дані, щодо якості;
- 3) мобільність – система не повинна залежати від стаціонарних джерел живлення;
- 4) спосіб моніторингу – наша система повинна проводити активний моніторинг у реальному часі;
- 5) автоматизація – наша система буде обробляти вхідні дані з максимальним часом до трьох секунд та оцінювати їх у реальному часі.

Ці вимоги визначають необхідний рівень якості та функціональності системи моніторингу яку ми створюємо, що допоможе забезпечити найвищий рівень задоволеності користувачів даної системи.

З урахуванням усіх вимог до системи, запропонована наступна модель системи (рис. 2.3).

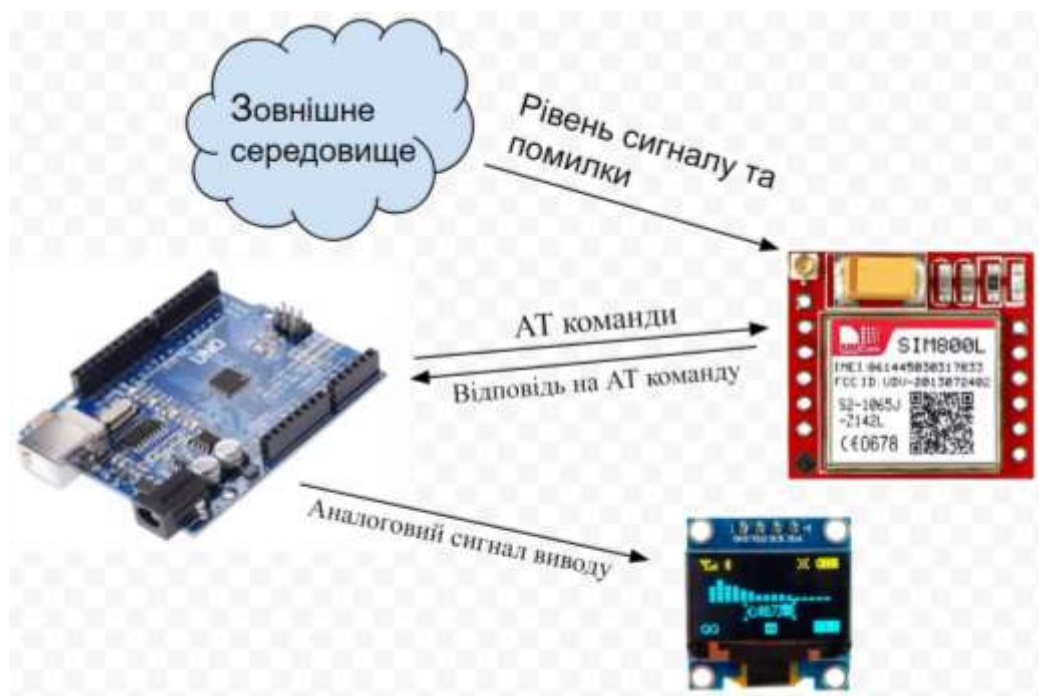


Рисунок 2.3 – Запропонована модель системи

2.9 Етапи впровадження системи моніторингу

Впровадження системи моніторингу якості мобільного зв'язку – це процес, який включає в себе декілька ключових етапів наведених далі.

1. Планування – на цьому етапі оператор формулює цілі впровадження, визначає основні вимоги до системи та розробляє детальний план впровадження.

2. Вибір системи – за результатами детального аналізу та порівняння доступних рішень, оператор вибирає систему моніторингу, яка найкраще відповідає встановленим вимогам.

3. Технічна підготовка – на цьому етапі здійснюється підготовка мережевої інфраструктури для впровадження системи моніторингу. Це може включати налаштування мережевого обладнання, встановлення необхідного програмного забезпечення та ін.

4. Встановлення та налаштування системи – система моніторингу встановлюється і налаштовується згідно з вимогами та специфікаціями оператора.

5. Тестування – після встановлення системи проводиться її тестування для перевірки коректності її роботи та здатності виконувати поставлені задачі.

6. Впровадження в експлуатацію – після успішного тестування система вводиться в дію і починає активно використовуватись для моніторингу якості мобільного зв'язку.

7. Моніторинг та оптимізація – після впровадження системи проводиться постійний моніторинг її роботи та проводяться необхідні оптимізації для покращення ефективності її роботи.

Цей процес вимагає ретельного планування та управління, а також тісного співпраці між всіма зацікавленими сторонами, включаючи технічний персонал, менеджмент, постачальників систем моніторингу та ін.

2.10 Оцінка ефективності впровадження системи моніторингу

Оцінка ефективності впровадження системи моніторингу якості мобільного зв'язку має критичне значення, щоб забезпечити, що система відповідає вимогам та цілям, які були встановлені на початку процесу. Кілька ключових показників ефективності, що можуть бути використані наведені далі.

1. Відповідність вимогам – система має відповідати встановленим вимогам та специфікаціям. Це може включати такі аспекти, як точність вимірювань, обсяг моніторингу, автоматизація процесів та ін.

2. Покращення якості зв'язку – один із головних показників ефективності системи моніторингу – це покращення якості зв'язку, яке вона допомагає досягнути. Це може бути оцінено за допомогою різних показників, таких як KPI (Key Performance Indicators) для якості зв'язку, таких як BER (Bit Error Rate), Dropped Call Rate, Call Setup Success Rate та інше [2].

3. Задоволеність користувачів – в кінцевому рахунку, ефективність системи моніторингу можна виміряти за рівнем задоволеності користувачів. Це може включати оцінку згідно з відгуками користувачів, показниками задоволеності користувачів або показниками збереження користувачів.

4. Вартісна ефективність – ефективність системи моніторингу також може бути оцінена з точки зору вартості, яку вона приносить в порівнянні з витратами на її впровадження та експлуатацію.

2.11 Методи оцінки якості мобільного зв'язку

Оцінка якості мобільного зв'язку вимагає використання різних методів та інструментів, які можуть допомогти операторам мобільного зв'язку вимірювати різні аспекти якості. Ключові методи наступні.

1. Технічні показники (KPI) – одним з основних методів оцінки якості мобільного зв'язку є використання ключових показників ефективності (KPI).

Це можуть бути такі показники, як швидкість передачі даних, частота втрати пакетів, швидкість відгуку, якість голосу та ін.

2. Тестування проходження (Drive Testing) – метод, що включає проведення тестів в реальних умовах, коли телефон, що перебуває в русі, використовується для вимірювання якості мобільного зв'язку. Це може допомогти виявити проблеми з покриттям та якістю зв'язку в різних місцях.

3. Тестування з використанням спеціалізованого обладнання – метод, що може включати використання спеціалізованого обладнання для вимірювання якості зв'язку в певних точках мережі.

4. Зворотній зв'язок від користувачів – метод в якому використовуючи зворотній зв'язок від користувачів, можна отримати цінну інформацію про їх досвід використання мобільного зв'язку.

5. Аналіз сигналів та протоколів – метод, що включає аналіз технічних характеристик мережі та сигналів для виявлення можливих проблем з якістю.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і вибір найкращого методу залежить від конкретних потреб та обставин.

2.12 Вплив системи моніторингу на якість обслуговування

Система моніторингу якості мобільного зв'язку відіграє критичну роль в підтримці високої якості обслуговування користувачів. Вона впливає на якість обслуговування користувачів наступними способами.

1. Підтримка високого рівня якості зв'язку. Системи моніторингу дозволяють операторам вчасно виявляти та усувати проблеми з мережею, що покращує якість зв'язку. Це, в свою чергу, забезпечує більшу задоволеність користувачів.

2. Прогнозування та запобігання проблем. Системи моніторингу можуть використовувати алгоритми аналізу даних та машинного навчання для прогнозування майбутніх проблем з мережею та вжиття профілактичних заходів.

3. Виконання обіцянок про рівень обслуговування (SLA). Системи моніторингу допомагають операторам забезпечувати дотримання SLA, вимірюючи рівень виконання обіцянок щодо якості обслуговування та вчасно виявляючи будь-які відхилення.

4. Покращення задоволеності користувачів. Якісний мобільний зв'язок і надійне підключення до мережі – це ключові фактори задоволеності користувачів. Через системи моніторингу, оператори можуть активно управляти якістю зв'язку та підвищувати задоволеність користувачів.

5. Оптимізація ресурсів мережі. За допомогою систем моніторингу, оператори можуть отримувати інформацію, що допомагає їм краще управляти та розподіляти ресурси мережі, що може привести до покращення якості обслуговування.

Таким чином, система моніторингу значною мірою впливає на якість обслуговування користувачів, підвищуючи їх задоволеність та лояльність до оператора.

3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ARDUINO

3.1 Вступ в Arduino

Arduino – це платформа відкритого типу, що базується на простому програмному та апаратному забезпеченні. Вона була створена з метою зробити електроніку доступною, легкою для вивчення та використання для студентів, вчителів, художників, любителів та професіоналів.

Arduino було розроблено для спрощення процесу використання апаратного забезпечення та програмного забезпечення для створення проектів, що використовують мікроконтролери. Він складається з фізичної програмованої плати (мікроконтролер) та спеціалізованого програмного забезпечення для написання та завантаження коду на плату або мікроконтролер.

Мікроконтролери Arduino – це маленькі комп'ютери, що можуть виконувати простий код, що взаємодіє з датчиками та актуаторами для керування або моніторингу фізичних пристроїв (рис. 3.1). Вони підтримують різноманітні типи вхідних/вихідних операцій, включаючи цифрові та аналогові сигнали, а також комунікаційні протоколи, такі як SPI, I2C і UART.



Рисунок 3.1 – Мікроконтроллер Arduino UNO

Arduino IDE (Інтегроване середовище розробки) – це програмне

забезпечення, яке використовується для написання коду та завантаження його на плату Arduino. Воно має простий для розуміння інтерфейс та бібліотеки, які спрощують виконання різних завдань.

Саме через цю простоту, гнучкість та широкий спектр можливостей, Arduino став популярним вибором для багатьох проектів, що включають використання мікроконтролерів, включаючи моніторинг якості мобільного зв'язку.

3.2 Характеристики та можливості Arduino для моніторингу мобільного зв'язку

Arduino відкриває широкий спектр можливостей для моніторингу мобільного зв'язку, заснованих на його ключових характеристиках, розглянутих нижче.

1. Простота програмування – Arduino IDE дозволяє програмувати плату на мові програмування C++, яка є відносно простою для освоєння. Це значно спрощує розробку коду для збору та обробки даних з моніторингу мобільного зв'язку.

2. Велика кількість вхідних/вихідних портів – більшість плат Arduino мають кілька аналогових та цифрових портів, які можуть бути використані для зчитування даних з датчиків або контролю актуаторів. Це робить Arduino дуже гнучким для розробки систем моніторингу.

3. Підтримка різноманітних комунікаційних протоколів – Arduino підтримує багато стандартних комунікаційних протоколів, включаючи SPI, I2C і UART, які можуть бути використані для обміну даними з іншими пристроями або системами.

4. Можливість розширення за допомогою щитів – Arduino може бути легко розширено за допомогою "щитів" (розширювачів), які додають додаткові функції, такі як підтримка мобільного зв'язку, GPS, Wi-Fi (рис. 3.2) або Bluetooth.



Рисунок 3.2 –Wi-Fi модуль Arduino ESP8266

5. Низька вартість та доступність – Arduino плати є відносно дешевими та легко доступними, що робить їх відмінним вибором для дослідницьких проектів та прототипів.

6. Спільнота – завдяки великій та активній спільноті користувачів Arduino, ви можете знайти велику кількість підручників, прикладів коду та рішень для найрізноманітніших задач, включаючи моніторинг якості мобільного зв'язку.

3.3 Програмне забезпечення для роботи з Arduino

Основним інструментом для розробки програмного забезпечення для Arduino є Arduino IDE (Integrated Development Environment, Інтегроване середовище розробки).

Arduino IDE є відкритим програмним забезпеченням, що дозволяє писати код та завантажувати його на будь-яку плату Arduino. Воно базується на мові програмування Wiring, яка є розширенням мови C++. IDE має простий для розуміння інтерфейс (рис. 3.3), що дозволяє зручно писати, тестувати та завантажувати код.

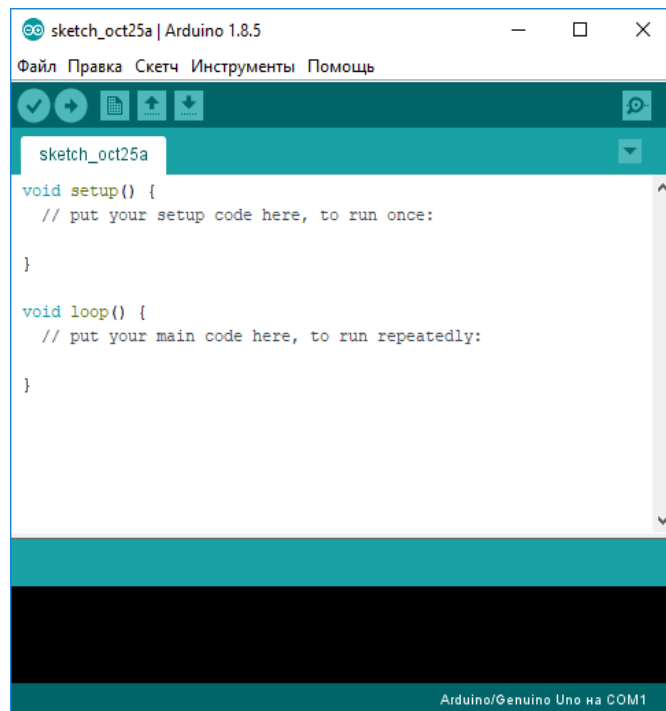


Рисунок 3.3 – Інтерфейс Arduino IDE

Основні можливості Arduino IDE включають:

- написання та завантаження скетчів (програм) на плату Arduino;
- використання бібліотек, що дозволяють використовувати додаткові функції та пристрої, наприклад датчики, дисплеї, модулі комунікацій тощо;
- моніторинг серійного порту для відстеження та діагностики даних в реальному часі;
- вбудований редактор з підсвічуванням синтаксису, автоматичним відступом та перевіркою коду.

Окрім Arduino IDE, доступні інші інструменти та платформи, наприклад, PlatformIO, який пропонує більш потужний та гнучкий інструмент для професійної розробки.

Також існує Arduino IoT Cloud, сервіс від розробників Arduino, що дозволяє легко підключати Arduino до Інтернету речей (IoT), збирати, зберігати та аналізувати дані, отримані з датчиків, та керувати пристроями через інтернет.

Проектування системи моніторингу якості мобільного зв'язку на базі Arduino

3.4 Визначення вимог до системи

Система моніторингу якості мобільного зв'язку на базі Arduino повинна відповідати ряду ключових вимог, які надані нижче.

1. Точність збору даних – система моніторингу повинна точно збирати та обробляти дані про якість мобільного зв'язку.

2. Надійність – система моніторингу повинна бути стабільною та забезпечувати безперебійну роботу.

3. Віддалений доступ та контроль – оскільки система моніторингу може бути встановлена в різних місцях, вона повинна надавати можливість віддаленого контролю та доступу до даних.

4. Масштабованість – враховуючи широкий діапазон потреб моніторингу мобільного зв'язку, система повинна бути масштабованою для підтримки різних рівнів навантаження та вимог.

5. Легкість встановлення та обслуговування – система повинна бути простою в установці та обслуговуванні, щоб забезпечити її ефективне використання.

6. Енергоефективність – враховуючи, що Arduino часто використовується в режимі живлення від батареї, система моніторингу повинна бути енергоефективною.

7. Інтеграція з існуючими системами – щоб забезпечити найбільшу користь, система моніторингу повинна легко інтегруватися з існуючими системами для аналізу даних або подальшого використання зібраних даних.

8. Безпека – важливо забезпечити безпеку даних та системи в цілому, особливо при роботі в відкритих мережах.

3.5 Вибір компонентів для системи

Система моніторингу якості мобільного зв'язку на базі Arduino включає в себе ряд компонентів, які відіграють ключову роль у забезпеченні

функціональності системи. Основні компоненти наведені нижче.

1. Arduino Board – основою системи моніторингу буде плата Arduino. Вибір конкретної моделі залежить від специфікацій проекту, але загалом, плати, як Arduino Uno [3], Arduino Mega або Arduino Nano, можуть бути хорошими варіантами, залежно від розміру проекту та необхідних ресурсів.

2. Модуль зв'язку – для моніторингу якості мобільного зв'язку потрібен модуль зв'язку, який підтримує GSM/3G/4G стандарти. Один з прикладів – SIM800C GSM/GPRS модуль (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Arduino модуль SIM800C

3. Датчики – залежно від вимог до системи, може знадобитися додаткове обладнання, таке як GPS-модуль для визначення місцезнаходження, датчики сигналу для вимірювання якості сигналу тощо.

4. Засоби відображення інформації – залежно від вимог до кінцевої системи та її архітектури може бути потреба в обладнанні для відображенні інформації, а саме потреба в дисплеї типу OLED (рис. 3.5). або LCD з допомогою яких можна буде виводити інформацію, яка потрібна кінцевому користувачу або інформації, що допоможе під час процесу налаштування.



Рисунок 3.5 – OLED дисплей

5. Зовнішнє живлення – Arduino та додаткові модулі потребують джерела живлення. Можна використовувати адаптери, зарядні пристрої, батареї, а також розглянути можливість використання систем живлення від сонячних панелей для довготривалого використання у віддалених місцях. У нашому випадку буде використано батарею типу крона.

6. Програмне забезпечення – потрібно буде розробити програмне забезпечення для керування системою, збору та передачі або відображення даних. Основою для цього може бути Arduino IDE з використанням мови програмування C++. Також будуть використані бібліотеки для роботи з компонентами кінцевої системи. Ці бібліотеки доступні для завантаження у менеджері бібліотек Arduino IDE.

7. Корпус – для захисту електроніки від зовнішнього середовища можна використовувати корпус. Він може бути придбаний або виготовлений самостійно.

8. Додаткові компоненти – в залежності від конкретного проекту, можуть знадобитися інші компоненти, такі як резистори, конденсатори, дроти, плати розширення тощо.

3.6 Схема з'єднань компонентів

Схема з'єднань компонентів системи моніторингу якості мобільного

зв'язку на базі Arduino буде включати наступні основні з'єднання:

1. Arduino Board до модулю зв'язку: Це можна виконати через UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) або SPI (Serial Peripheral Interface) інтерфейси, в залежності від модулю зв'язку [4].

2. Arduino Board до дисплею: Відповідно до типу дисплея, це може включати аналогові або цифрові входи/виходи.

3. Arduino Board до живлення: Arduino може бути підключено до зовнішнього джерела живлення через штекер живлення або через Vin і GND піни.

4. Модуль зв'язку до живлення: Більшість модулів зв'язку потребують окремого джерела живлення через їх високу потужність. У нашому випадку такого не буде. Для вимірювання якості сигналу вистачить живлення від Arduino Board.

Прошу зауважити, що точна схема з'єднань буде залежати від вибору конкретних компонентів та їх специфікацій. Завжди важливо перевіряти документацію та технічні характеристики кожного компонента перед підключенням.

4 СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ТА ТЕСТУВАННЯ

4.1 Підготовка компонентів

Для створення функціональної та надійної архітектури системи моніторингу якості мобільного зв'язку, нам необхідно інтегрувати декілька ключових компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у загальному функціонуванні та ефективності. Наступні елементи будуть складовими нашої системи.

1. Arduino UNO – Ядро нашої моніторингової системи. Це популярний мікроконтролер, який славиться своєю надійністю, гнучкістю та легкістю використання. Arduino UNO буде керувати всіма процесами, від збору даних до їх обробки та відображення. Його відкрита архітектура та широка підтримка з боку спільноти роблять його ідеальним вибором для наших потреб.

2. OLED дисплей – Ключовий елемент для візуального представлення даних. Цей тип дисплея відомий своїми яскравими кольорами та високим контрастом, що робить його легко читаним навіть у складних умовах освітлення. OLED дисплей дозволить користувачам системи швидко отримувати інформацію про стан та показники якості мобільного зв'язку, забезпечуючи зручний інтерфейс для моніторингу.

3. Модуль SIM800C – Невід'ємна частина системи, що забезпечує зв'язок із зовнішнім світом. Модуль SIM800C дозволяє встановлювати GSM зв'язок, відправляти SMS, та виконувати інші завдання, пов'язані з передачею даних. Цей модуль допоможе нам збирати дані про якість мобільного сигналу, а також забезпечувати віддалений доступ до цих даних через мережу.

4. Батарея типу крона – Надійне джерело живлення є критично

важливим для забезпечення безперебійної роботи нашої системи, особливо в умовах, де доступ до електромережі обмежений або відсутній. Батарея типу крона вибрана через її тривалий термін служби, стабільність та здатність забезпечувати необхідне живлення для всіх наших компонентів. Вона забезпечить надійну роботу системи в будь-яких умовах.

Інтеграція цих компонентів в одну координовану систему вимагає ретельного планування та тестування. Кожен компонент повинен бути правильно налаштований і синхронізований з іншими, щоб забезпечити безперебійну та ефективну роботу. Ми також повинні враховувати аспекти безпеки, надійності та масштабованості, щоб наша система могла адаптуватися до змінних умов та вимог.

4.2 Підключення компонентів до Arduino UNO

У цьому розділі ми детально розглянемо процес підключення основних компонентів нашої системи моніторингу якості мобільного зв'язку до мікроконтролера Arduino UNO.

Правильне підключення компонентів є критично важливим для забезпечення ефективної роботи та надійності всієї системи. Основні компоненти, які ми будемо інтегрувати, включають OLED дисплей для візуалізації даних, модуль SIM800C для здійснення зв'язку та передачі даних, а також джерело живлення для незалежної та стабільної роботи системи.

Спершу ми будемо підключати до нашого мікроконтролера Arduino наш OLED дисплей. Загальна схема з усіма його портами наведена на рисунку 4.1.

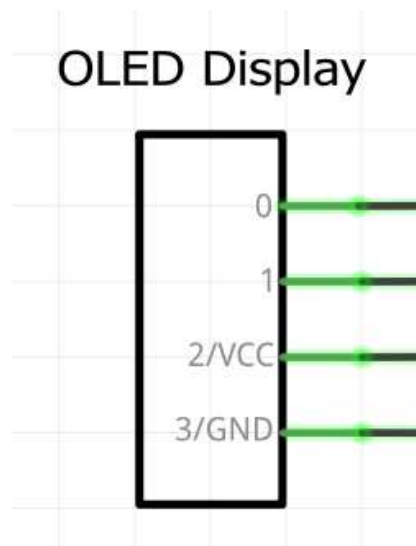


Рисунок 4.1 – Схематичне позначення OLED дисплея

Наш OLED дисплей має чотири порти для підключення, а саме: VCC, GND, SCL, SDA. Ми будемо підключати їх послідовно до нашого мікроконтролера наступним чином:

- 1) VCC підключається до 5V на Arduino, щоб забезпечити живлення дисплею;
- 2) GND (земля) підключається до одного з GND пінів на Arduino, щоб створити спільну землю для всієї системи;
- 3) SCL (Serial Clock Line) підключається до піна A5 на Arduino, який відповідає за I2C годинник;
- 4) SDA (Serial Data Line) підключається до піна A4 на Arduino для передачі даних.

Після підключення усіх чотирьох портів для OLED дисплею (рис. 4.2) та з'єднання цих портів з мікроконтролером Arduino (рис. 4.3) можемо переходити до підключення наступного компоненту нашої системи.

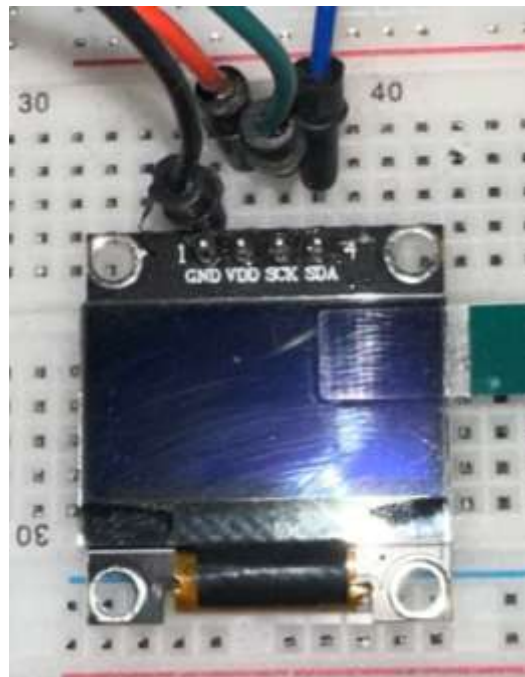


Рисунок 4.2 – Підключення OLED дисплею на макеті



Рисунок 4.3 – Arduino UNO після підключення OLED дисплею на макеті

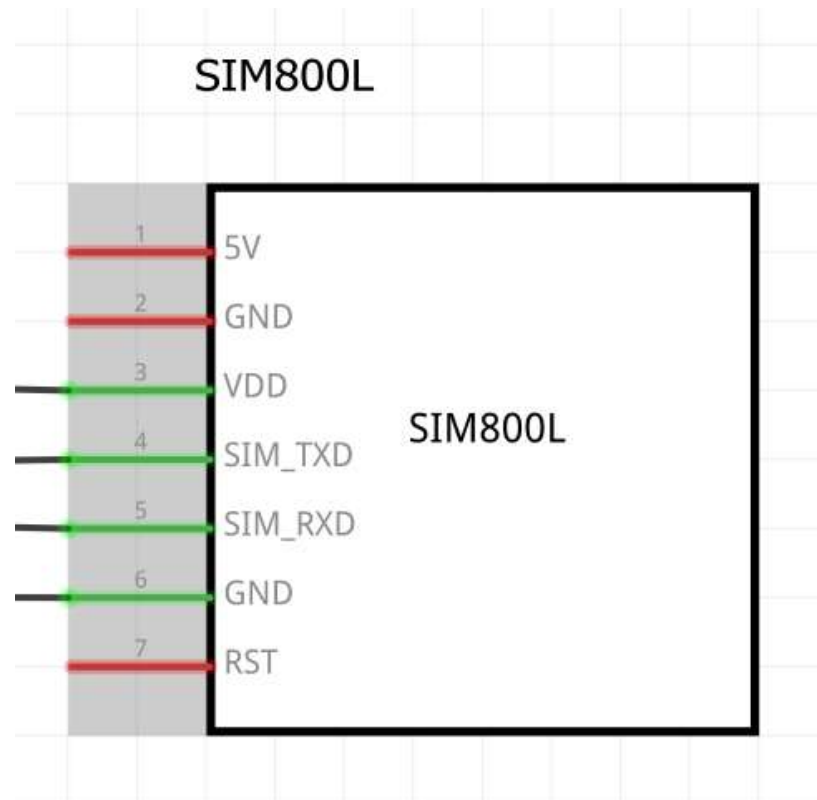


Рисунок 4.4 – Схематичне позначення модуля SIM800L

Наш модуль SIM800L має сім портів для підключення (рис. 4.4), але ми будемо підключати не всі, так як нам не потрібен весь функціонал, ми будемо підключати тільки наступні порти: VDD, TXD, RXD, GND. Ми будемо підключати їх послідовно до нашого мікроконтролера наступним чином:

- 1) 5V підключається до 5V на Arduino для живлення модуля.
- 2) GND підключається до GND на Arduino для спільної землі.
- 3) SIM_TXD (передача даних модулем SIM) підключається до піна D2 на Arduino, який налаштований як RX (прийом).
- 4) SIM_RXD (прийом даних модулем SIM) підключається до піна D3 на Arduino, який налаштований як TX (передача).

Після підключення усіх чотирьох портів для модуля SIM800L (рис. 4.5) та з'єднання цих портів з мікроконтролером Arduino (рис. 4.6) ми завершили всі налаштування зі сторони фізичних підключень.



Рисунок 4.5 – Підключення модуля SIM800L на макеті



Рисунок 4.6 – Arduino UNO після підключення модуля SIM800L на макеті

Під час підключення цих компонентів важливо слідувати стандартам безпеки та уникати коротких замикань, перевіряючи кожне з'єднання перед

подачею живлення. Перед початком роботи з системою, переконайтеся, що ви відключили Arduino UNO від джерела живлення, щоб уникнути можливості електричного удару або пошкодження компонентів.

Нижче представлена схема підключення (рис. 4.7) , яка служить візуальним посібником та допомагає забезпечити правильне з'єднання.

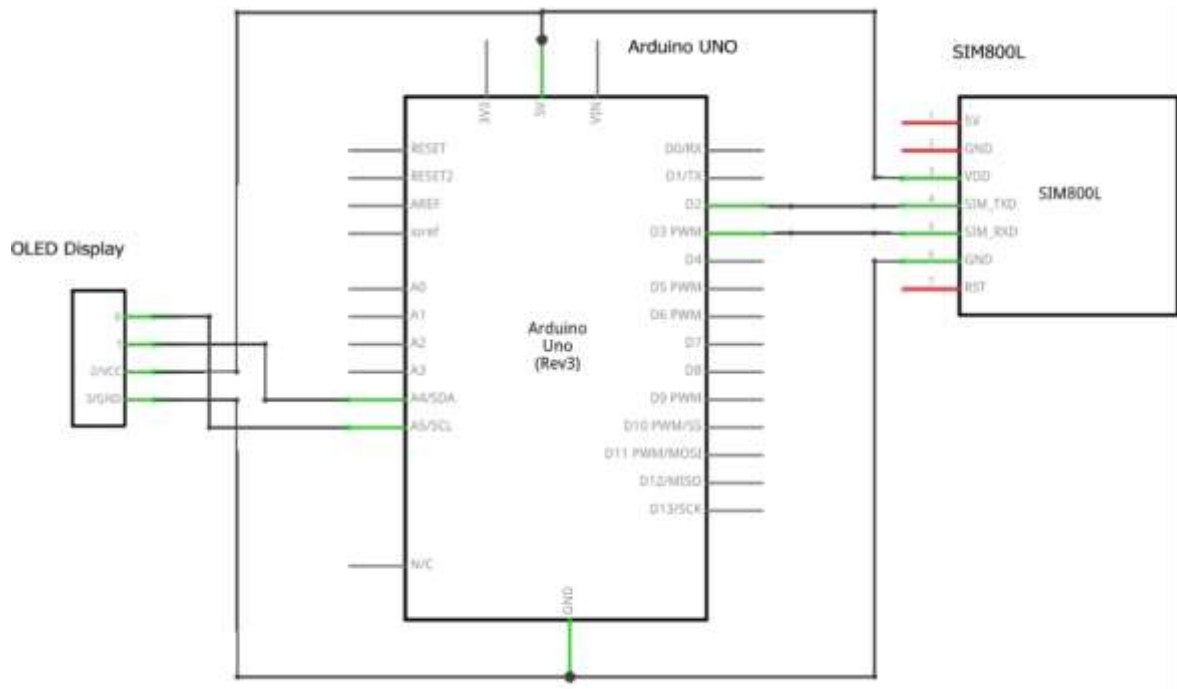


Рисунок 4.7 – Схема підключення усіх модулів системи

Перед тим як перейти до завантаження програмного коду на Arduino, необхідно провести тестування підключень за допомогою простих тестових скетчів, щоб переконатися у правильності підключення та функціональності кожного компонента.

4.3 Ініціалізація та налаштування програмного середовища

Перед тим як приступити до програмування функціоналу нашої системи моніторингу, необхідно ініціалізувати та налаштувати програмне середовище, що дозволить нам ефективно працювати з компонентами. Цей

процес включає встановлення Arduino IDE – інтегрованого середовища розробки, яке є стандартним вибором для роботи з платами Arduino. Останню версію Arduino IDE можна легко завантажити з офіційного сайту Arduino [8]. Відразу після встановлення ми з допомогою функціоналу Arduino IDE скористаємося технологією OAuth 2.0 і з допомогою свого Google акаунту отримаємо можливість зберігати скетчі у хмарі.

OAuth 2.0 – це стандарт авторизації, який дозволяє користувачам надавати безпечний делегований доступ до своїх ресурсів на одному сервісі (наприклад, Google) іншому сервісу (такому як мобільний додаток чи вебсайт). Це робиться без необхідності передавати логіни і паролі третім особам. Замість цього, OAuth 2.0 використовує "токени доступу" для представлення авторизації.

У екосистемі Google OAuth 2.0 використовується для надання доступу до різних сервісів Google, таких як Google Drive, Gmail, YouTube та інших. Ось деякі можливості OAuth 2.0 в контексті Google.

1. Безпека – OAuth 2.0 зменшує ризики, пов'язані з витоком логінів та паролів, оскільки користувачі не діляться своїми обліковими даними Google напяму з третіми сторонами.

2. Гранульований доступ – OAuth 2.0 дозволяє користувачам надавати обмежений доступ до своїх даних. Наприклад, додаток може запитувати доступ лише для читання документів Google Docs, не отримуючи можливості їх редагувати.

3. Обмеження за часом – токени доступу, видані через OAuth 2.0, зазвичай мають обмежену дійсність, що означає, що доступ третьої сторони до ресурсів користувача автоматично закінчується після певного періоду.

4. Відкриття доступу – Користувачі можуть легко відкрити доступ до своїх ресурсів для будь-якого додатку через налаштування свого облікового запису Google.

5. Множинність додатків – Один і той же обліковий запис Google може бути використаний для авторизації в множині додатків, що полегшує

керування авторизаціями та обліковими даними.

6. Централізоване управління – Google надає інструменти для централізованого управління токенами доступу, дозволяючи користувачам переглядати та управляти всіма додатками, до яких вони надали доступ.

7. Взаємодія з API – OAuth 2.0 є ключем до взаємодії з Google API. Розробники можуть використовувати OAuth 2.0 для створення додатків, які взаємодіють з API Google, використовуючи авторизацію користувача для доступу до сервісів Google.

Використання OAuth 2.0 значно спрощує процес інтеграції зі службами Google в Arduino IDE, дозволяючи розробникам створювати багатофункціональні та безпечні додатки, які використовують дані та сервіси Google для надання цінності користувачам. В нашому випадку це дуже пришвидшує взаємодію з скетчами, а саме підвищує їх доступність, цілісність та їх безпеку.

Після успішної авторизації Arduino IDE має наступний вигляд на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Вигляд Arduino IDE після авторизації через OAuth 2.0

Після встановлення Arduino IDE переходимо до додавання бібліотек, необхідних для управління OLED дисплеєм та модулем SIM800L. Бібліотеки можуть бути знайдені та інсталювані через менеджер бібліотек у самому Arduino IDE (рис. 4.9), що значно спрощує процес їх додавання.

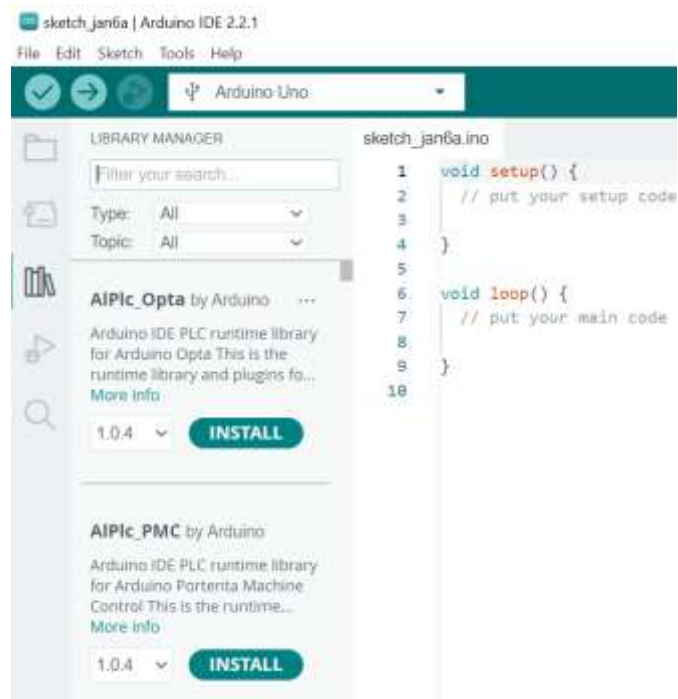


Рисунок 4.9 – Вигляд Arduino IDE після авторизації через OAuth 2.0

Для OLED дисплея, який використовує I2C з'єднання, потрібно встановити бібліотеку, що підтримує відповідний протокол комунікації та функції для відображення тексту та графіки, ми будемо використовувати бібліотеку GyverOLED. Модуль SIM800L вимагає бібліотеки для здійснення серійного зв'язку та обробки AT-команд. Для зв'язку з SIM800L ми будемо використовувати стандартну бібліотеку Arduino IDE з назвою SoftwareSerial що має базовий функціонал для взаємодії з нашим модулем

Налаштування програмного середовища також включає конфігурацію правильних портів і плати у налаштуваннях Arduino IDE. Необхідно вибрати модель Arduino UNO у списку плат та вказати порт, до якого підключена плата. Це дозволяє середовищу розробки взаємодіяти з платою для завантаження скетчів та здійснення діагностики. Приклад налаштування

наведений на рисунку 4.10.

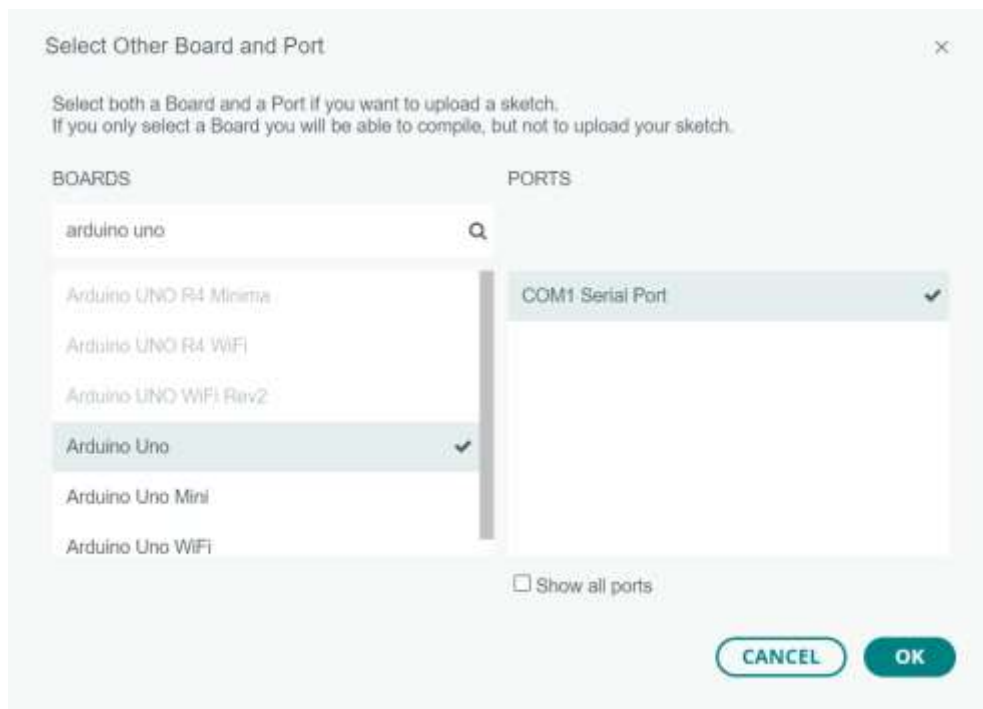


Рисунок 4.10 – Налаштування мікроконтролера в Arduino IDE

Також Arduino IDE має можливості для роботи з декількома різними платами одночасно (рис. 4.11), цей зручний функціонал дуже допомагає при роботі над великими проектами.

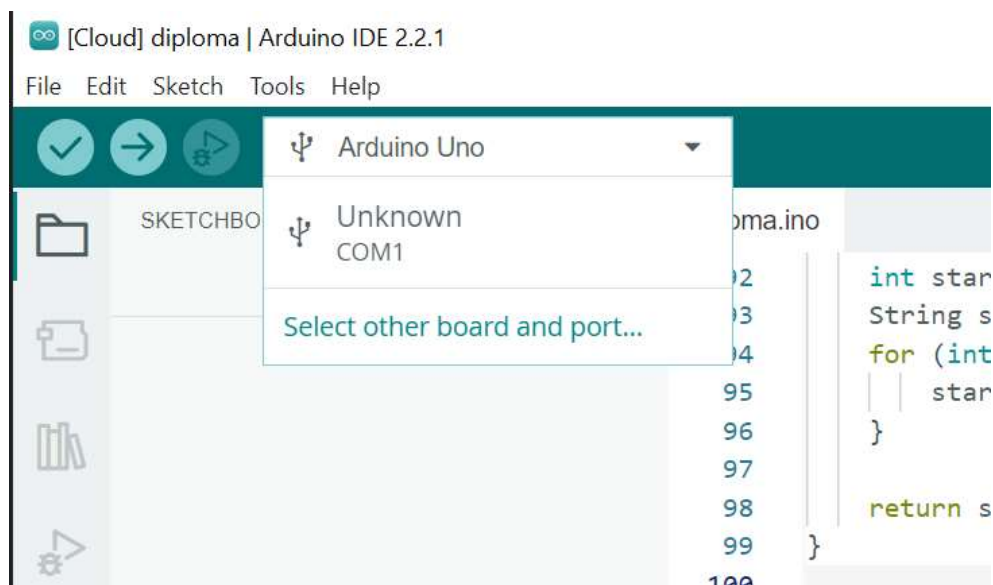


Рисунок 4.11 – Селектор мікроконтролерів в Arduino IDE

Коли середовище налаштовано, ми можемо приступити до написання базового коду для тестування компонентів. Важливо ретельно перевіряти кожен фрагмент коду перед його завантаженням на плату, щоб уникнути помилок та забезпечити безперебійну роботу системи. Правильна ініціалізація та налаштування програмного середовища є ключем до успішної реалізації нашої системи моніторингу.

4.4 Тестування функціональності компонентів

Перед тим як підключати кожен з модулів, ми окрему протестуємо його з допомогою простих скетчів.

Завантажуємо базовий код для тестування OLED дисплея (лістинг 4.1) та переконаймося, що текст та графіка відображаються правильно. Для взаємодії з дисплеєм ми будемо використовувати бібліотеку GyverOLED що дозволяє легко виводити інформацію на дисплей з готовим набором функцій. Результат роботи зображено на рисунку 4.12.

Лістинг 4.1 – Код OLEDTestSketch.ino

```
#include <GyverOLED.h>
GyverOLED<SSD1306_128x64, OLED_NO_BUFFER> oled;
void setup() {
  oled.init();
  oled.clear();
  oled.setScale(3);
  oled.home();
  oled.print("Hello!");
  delay(1000);
  oled.setScale(1);
  oled.setCursor(0, 3);
  oled.print("Hello world!");
  oled.setCursorXY(20, 50);
  float pi = 3.14;
  oled.print("PI = ");
  oled.print(pi);
}
```



Рисунок 4.12 – Результат роботи тестового скетчу для OLED дисплею

Після успішного тестування OLED дисплею можна переходити до тестування з'єднання з SIM800L. Встановимо з'єднання з модулем SIM800L за допомогою серійного монітора у Arduino IDE, щоб перевірити можливість відправлення AT-команд і отримання відповідей. Цього разу ми використаємо просту команду «AT», надалі при розробці основного коду програми ми розглянемо інші AT команди та їх призначення. Код для тестування наведений у лістингу 4.2.

Лістинг 4.2 – Код SIM800LTestSketch.ino

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2, 3);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Start!");
  mySerial.begin(9600);
  mySerial.println("AT");
}

void loop() {
  if (mySerial.available())
    Serial.write(mySerial.read());
  if (Serial.available())
    mySerial.write(Serial.read());
}
```

Також слід зазначити що ми будемо використовувати швидкість обміну

даними у розмірі 9600 baud. Baud або Бод є загальною одиницею вимірювання швидкості символів, яка є одним із компонентів, що визначають швидкість зв'язку по каналу даних [9].

Результат правильної роботи тестового коду, а саме відповідь на AT команду через Serial Monitor зображено на рисунку 4.13, а правильну індикацію діодів на рисунку 4.14.

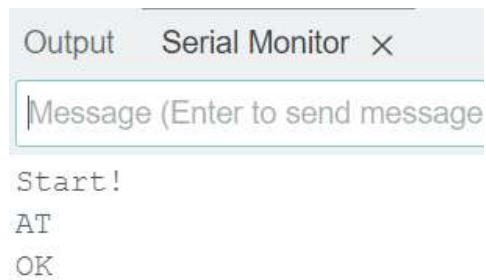


Рисунок 4.13 – Результат роботи тестового скетчу для модуля SIM800L

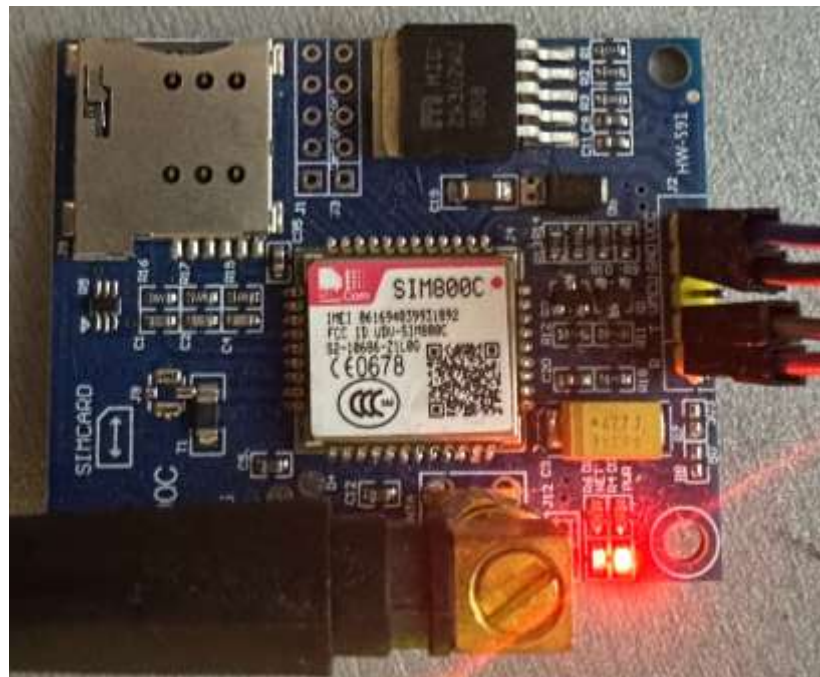


Рисунок 4.14 – Індикація світлодіодів при правильному підключенні

Після успішного тестування та перевірки всіх з'єднань, ми готові перейти до наступного етапу роботи з нашою системою, який включатиме програмування логіки управління та збору даних.

4.5 Програмування Arduino для взаємодії з компонентами

Розробка надійної та ефективної системи моніторингу якості мобільного зв'язку на базі Arduino вимагає глибокого занурення у світ мікроконтролерного програмування. Саме в цьому розділі ми зосередимося на створенні програмного коду, який дозволить нашому Arduino UNO здійснювати взаємодію з ключовими компонентами: OLED дисплеєм та модулем SIM800L. Програмування є критичним етапом, який перетворює окремі електронні компоненти в єдину інтегровану систему, здатну збирати, обробляти та відображати дані в реальному часі.

У цьому розділі ми розробимо код, який забезпечить:

- 1) ініціалізацію OLED дисплею та його комунікацію з мікроконтролером через I2C протокол;
- 2) встановлення зв'язку з модулем SIM800L за допомогою серійного з'єднання та обміну AT-командами для моніторингу статусу мережі;
- 3) реалізацію логіки для зчитування, обробки та відображення інформації про якість сигналу мобільного зв'язку;
- 4) програмування механізмів виявлення та реагування на помилки з метою забезпечення стабільної роботи системи.

Кожен з цих аспектів вимагає уважного підходу до написання коду, включаючи вибір та використання відповідних бібліотек, розробку надійних функцій та їх тестування. Цей процес є основоположним для створення модульної та легко адаптованої системи, яка може бути розширена або модифікована в майбутньому для відповідності змінним вимогам або умовам використання.

Спочатку нам потрібно розробити частину коду, що отримає дані якості зв'язку з SIM800L. Це допоможе зрозуміти якими даними ми будемо оперувати на дисплеї а також їх оцінку та форматування. Ми будемо використовувати AT команди для отримання даних якості зв'язку.

AT-команди – це набір інструкцій, які використовуються для

управління модемами. «АТ» означає «Attention» (з укр. «Увага») і служить префіксом, що використовується для привернення уваги модема перед відправленням команди. Ці команди були розроблені відносно давно для телекомунікаційних пристроїв і сьогодні використовуються для керування різноманітними бездротовими модулями, такими як GSM, GPRS, LTE модеми та модулі для підключення до мобільного інтернету.

Коли мова йде про модулі, такі як SIM800L, АТ-команди служать як інтерфейс для встановлення зв'язку з мобільною мережею, відправлення та отримання SMS-повідомлень, управління голосовими дзвінками та іншими функціями, пов'язаними з мобільним зв'язком. Програмне забезпечення або мікроконтролер, підключений до такого модуля, може відправляти серію АТ-команд через серійний інтерфейс для виконання конкретних дій, а також отримувати відповіді та повідомлення про статус від модуля.

Використання АТ-команд стало стандартною практикою у розробці систем на основі модулів зв'язку, оскільки воно забезпечує простий та ефективний спосіб взаємодії з апаратним забезпеченням. Це дозволяє розробникам легко інтегрувати функціонал мобільного зв'язку у свої проекти без необхідності глибоких знань в телекомунікаційних технологіях.

Ось декілька прикладів АТ-команд:

1) АТ – це базова команда для перевірки сполучення з модемом. При відправці, модем має відповісти "ОК", що означає, що він готовий приймати подальші команди;

2) АТ+CSQ – ця команда використовується для визначення якості сигналу мобільного зв'язку. Відповідь модему зазвичай надається у форматі +CSQ: <rsi>,<ber>, де <rsi> (Received Signal Strength Indication) — це індикація сили сигналу, а <ber> (Bit Error Rate) — це коефіцієнт помилок у бітах;

3) АТ+CREG? – ця команда перевіряє стан реєстрації модему в мережі. Модем поверне інформацію про те, чи є він зареєстрованим у мережі, та який тип мережі використовується (наприклад, GSM чи WCDMA);

4) AT+CMGF=1 – команда встановлює текстовий режим для відправлення та отримання SMS. За замовчуванням, багато модемів працюють у PDU (Protocol Description Unit) режимі, але текстовий режим є більш зрозумілим для людей;

5) AT+CMGS="+1234567890" – ця команда використовується для відправлення SMS. Після вводу команди, модем очікуватиме текст повідомлення, після чого для його відправлення потрібно ввести ASCII-символ SUB (substitute character), який зазвичай вводиться як Ctrl+Z;

6) AT+DIAL=12345 – це нестандартна AT-команда, яка може бути використана для імітації вихідного дзвінка (залежно від модему та його конкретної реалізації команд);

7) AT+HANGUP – інша нестандартна команда, яка може бути використана для завершення активного дзвінка.

Кожен модуль або модем може мати свій унікальний набір AT-команд, тому для точних деталей та додаткових команд завжди варто звертатися до документації конкретного пристрою так званого «Datasheet».

Ми будемо використовувати AT команду AT+CSQ яка надає інформацію щодо Received Signal Strength Indication та Bit Error Rate. Зараз ми розглянемо що це за характеристики та що вони означають.

Received Signal Strength Indication (RSSI) – це міра, яка використовується для оцінки сили та інтенсивності прийнятого сигналу в бездротових мережах, включаючи мобільні мережі та Wi-Fi [6]. RSSI вимірюється в децибелах відносно мілівата (dBm) та часто відображається як значення між -30 dBm (дуже сильний сигнал) і -90 dBm (дуже слабкий сигнал). Величина RSSI може використовуватися для прийняття рішення про необхідність зміни положення пристрою чи антени для покращення якості зв'язку.

В контексті мобільних телефонів і модемів, RSSI допомагає визначити силу сигналу, яку пристрій отримує від стільникової вишки. Цей параметр є ключовим при діагностиці проблем з мобільним зв'язком, а також при

визначенні оптимального місця розташування пристроїв для забезпечення найкращого прийому сигналу.

У серійному зв'язку з модемом через AT-команди, конкретно командою AT+CSQ, можна отримати RSSI, який зазвичай повертається у вигляді двох чисел: перше вказує на силу сигналу, а друге – на BER (Bit Error Rate), яке є індикатором кількості помилок при передачі даних. Значення RSSI у цьому контексті зазвичай представлено у формі діапазону від 0 до 31, де більш високі значення відповідають сильнішому сигналу. Часто значення 0 означає відсутність сигналу, а 31 – найсильніший сигнал, який може бути зареєстрований пристроєм.

Bit Error Rate (BER) – це параметр, який використовується для оцінки якості сигналу в телекомунікаціях та мережевих передачах даних. Він визначає співвідношення кількості помилкових бітів до загальної кількості переданих бітів за певний період часу. BER є ключовим показником надійності та ефективності передачі даних, особливо в бездротових мережах та системах цифрового зв'язку [5].

Значення BER розраховується як кількість помилково переданих бітів поділена на загальну кількість переданих бітів. Наприклад, якщо з 1 мільйона переданих бітів 100 бітів були помилковими, BER дорівнює $100/1,000,000$ або 0.0001. Це означає, що ймовірність помилки при передачі одного біта становить 0.01%.

Низький BER є бажаним, оскільки він свідчить про високу точність та якість зв'язку. Високий BER, навпаки, вказує на проблеми у системі передачі, які можуть бути викликані шумами, перешкодами, поганою якістю сигналу або неефективною модуляцією.

У контексті мобільного зв'язку та модемів, BER часто використовується разом з іншими параметрами, такими як RSSI (Received Signal Strength Indication), для оцінки загальної якості мережевого зв'язку. Наприклад, у відповідях на AT-команди (такі як AT+CSQ для GSM модемів), BER може бути представлено для оцінки якості сигналу разом із виміром

сили сигналу. У нашому випадку це число від 0 до 7, що є коефіцієнтом цих самих помилок, чим менше число то тим краще зв'язок.

Тепер знаючи про всі параметри обраної АТ команди та формат результату ми можемо розробити код, що буде повертати дані у потрібному для виведення далі форматі (лістинг 4.3).

Лістинг 4.3 – Код Extract.ino

```
#include <SoftwareSerial.h>

bool extractCSQData(String data, int &csqValue1, int &csqValue2)
{
    int startIndex = data.indexOf("+CSQ: ");
    if (startIndex != -1) {
        startIndex += 6;
        int endIndex = data.indexOf('\n', startIndex);
        if (endIndex == -1) endIndex = data.length();

        String csqData = data.substring(startIndex, endIndex);

        int commaIndex = csqData.indexOf(',');
        if (commaIndex != -1) {
            csqValue1 = csqData.substring(0,
commaIndex).toInt();
            csqValue2 = csqData.substring(commaIndex + 1).toInt();
            return true;
        }
    }
    return false;
}
```

У даному випадку змінна data типу String буде зберігати у собі повну строку результату що повернув модуль SIM800L при відправці АТ команди АТ+CSQ, а в csqValue1 та csqValue2 змінні будуть записані значення RSSI та BER що будуть далі використані для виведення на дисплей.

Тепер ми можемо переходити до частини, що відповідає за ініціалізацію OLED дисплею та його комунікацію з мікроконтролером через I2C протокол. Але спочатку нам потрібно зрозуміти що таке I2C протокол.

I2C (Inter-Integrated Circuit), вимовляється як "ай-сквер-сі" або "ай-ту-

сі", є двопровідним, синхронним серійним комунікаційним протоколом, який використовується для з'єднання низькошвидкісних пристроїв, таких як мікроконтролери, датчики, і пам'ять EEPROM, в електронних системах [7]. Цей протокол дозволяє декільком "веденим" (slave) пристроям ділитися лише двома шинами - лінією даних (SDA) та лінією годинника (SCL) - для комунікації з одним або декількома "ведучими" (master) пристроями, що робить його високоефективним з точки зору використання простору на платі та спрощення проводки. I2C також підтримує різні швидкості передачі даних і дозволяє гаряче підключення, забезпечуючи гнучкість та масштабованість у багатьох застосуваннях.

Тепер ми розібрались з протоколом I2C і можемо починати реалізацію коду програми для роботи з дисплеєм. Розуміючи та знаючи формат даних що прийде від SIM800L у нашому коді для кращого розуміння вимірюваних параметрів ми введемо систему зірочок використовуючи символ «*», слід зазначити, що ми не можемо використовувати Unicode символи та емодзі тому ми зупинилися саме на цьому символі. Але як нам оцінювати яка цифра буде відповідати 5 зіркам, а яка 0? Все дуже просто. Ми знаємо що параметр RSSI буде в діапазоні 0 до 31, де 31 це найвищий рівень сигналу а числа 0 та 99 є індикаторами, що сигналу немає, а параметр BER може коливатися в діапазоні від 0 до 7, де 0 це ідеальний сигнал а 7 це сигнал з великою кількістю помилок , а число 99 є індикатором відсутності сигналу. Тому розробимо дві функції, що будуть оцінювати наші параметри RSSI та BER (лістинг 4.4).

Лістинг 4.4 – Код StarsFunc.ino

```
String getStarsFromSignal(int signalStrength) {
    if (signalStrength < 0 || signalStrength > 31) {
        return "Нема сигналу/даних";
    }
    int starCount = (int)(maxStars * signalStrength / 31.0);

    String stars = "";
    for (int i = 0; i < starCount; i++) {
        stars += "*";
    }
}
```

```

    }
    return stars;
}
String getStarsFromBER(int number) {
    if (number < 0 || number > 7) {
        return "Нема сигналу/даних";
    }
    int starCount = maxStars - number;
    String stars = "";
    for (int i = 0; i < starCount; i++) {
        stars += "*";
    }
    return stars;
}
}

```

Ці дві функції в залежності від вказаних нами умов будуть повертати строку з набором символів «*» в кількості від одного до п'яти.

Тепер коли ми розробили всі потрібні функції для роботи з модулями ми можемо зібрати їх в один цілий код. Також зазначивши що перед тим як відправляти кожен раз АТ команду на отримання якості сигналу нам потрібно дочекатися на повернення цих параметрів модулем та обробку цих даних програмою тож ми введемо булеву змінну стану що буде змінювати в залежності відправили ми АТ команду та чекаємо на результат чи ні. Також зробимо оновлення даних кожні 2 секунди. Це значення може потім змінитися. Враховуючи все вище написане ми отримали код у лістингу 4.5.

Лістинг 4.5 – Код StarsFunc.ino

```

#include <GyverOLED.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include < Extract.h>
#include < StarsFunc.h>

int rxPin = 2; // RX Pin
int txPin = 3; // TX Pin
bool state = true;
int maxStars = 5;
String inputString;
SoftwareSerial mySerial(rxPin, txPin);

GyverOLED<SSD1306_128x64, OLED_NO_BUFFER> oled;
void setup() {
    oled.init();
}

```

```

oled.clear();
oled.setScale(3);
oled.home();
oled.print("Hello!");
inputString.reserve(200);
Serial.begin(9600);
mySerial.begin(9600);
Serial.println("Start!");
mySerial.println("AT");
}
void loop() {

  if (state){
    mySerial.println("AT+CSQ");
    state = false;
  }

  if (mySerial.available() > 0) {
    inputString = mySerial.readString();
    Serial.print("Вы ввели: ");
    Serial.println(inputString);
    state=true;
    oled.setScale(2);
    int csq1, csq2;
    if (extractCSQData(inputString, csq1, csq2)) {
      oled.clear();
      oled.setCursor(0, 0);
      oled.println("Сигнал: ");
      oled.print(csq1);
      oled.println(" (" + getStarsFromSignal(csq1) + ")");
      oled.setCursor(0, 4);
      oled.println("Помилки ber:");
      oled.print(csq2);
      oled.println(" (" + getStarsFromBER(csq2) + ")");
    } else {
      oled.clear();
      oled.println("Нема сигналу/даних");
    }
  }
  delay(2000);
}

```

4.6 Тестування з'єднань та функціональності

Ефективне тестування з'єднань та функціональності є вирішальним етапом у розробці будь-якої системи моніторингу, особливо коли мова йде про зв'язок і сигнальну інформацію. У цьому розділі ми зосередимо нашу увагу на практичному тестуванні системи, щоб перевірити її надійність та

точність у різних умовах. Для цього ми проведемо серію тестів у двох різних місцях: у кімнаті (рис. 4.15) та у підвалі (рис. 4.16), щоб оцінити, як зміна середовища впливає на якість сигналу та стабільність системи.



Рисунок 4.15 – Результат роботи системи у кімнаті

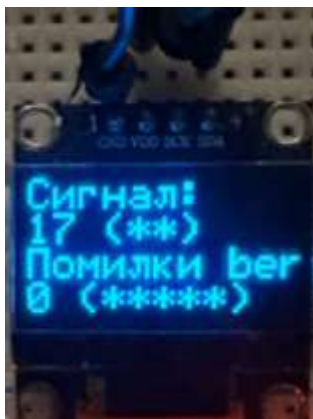


Рисунок 4.16 – Результат роботи системи у підвалі

Проведені тести дозволили нам отримати цінну інформацію про роботу системи в різних умовах. Аналіз результатів тестування в кімнаті та у підвалі допоміг виявити ключові аспекти, на які необхідно звернути увагу для подальшого вдосконалення системи. Особливо важливим було порівняння показників якості сигналу у різних середовищах, що дозволяє нам зробити висновки про оптимальні умови для її експлуатації та потенційні напрямки для покращення.

ВИСНОВКИ

В рамках цієї кваліфікаційної роботи було розглянуто системи моніторингу якості мобільного зв'язку та її важливість для сучасних мобільних операторів. Системи моніторингу значно покращують якість обслуговування користувачів, впливаючи на підтримку високого рівня якості зв'язку, прогнозування та запобігання проблем, виконання угоди про рівень послуг (SLA), задоволеність користувачів і оптимізацію ресурсів мережі.

Були досліджені методи та засоби проектування системи моніторингу якості мобільного зв'язку.

В результаті дослідження було визначено головні показники якості мобільного зв'язку, які лягли в основу запропонованої моделі системи моніторингу якості мобільного зв'язку. Запропонована модель базується на мікроконтролері Arduino, модулі SIM800L та дисплеї OLED.

В процесі дослідження був створений та протестований прототип системи. Аналіз роботи прототипу показав важливість використання даних про якість мобільного зв'язку для підвищення ефективності комунікаційних мереж. Особливо цінним було виявлення здатності системи адаптуватися до різних рівнів сигналу та відображати цю інформацію в режимі реального часу. Результати тестування підтвердили, що запропонована модель системи моніторингу якості мобільного зв'язку є ефективним рішенням для оцінки та покращення мобільного покриття в різних умовах.

Отже ми можемо зробити висновок, що сьогодні та у майбутньому, системи моніторингу якості мобільного зв'язку займають та будуть займати важливі місця у роботі сфери мобільного зв'язку, оскільки ростуть не тільки технології, а й потреби користувачів у належному рівні якості зв'язку, зокрема з появою 5G та Інтернету речей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Larsson C. Network Science. 5G Networks [Електронний ресурс]. – 2018. – С.37-66. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812707-0.00008-5>. – Дата доступу: 21.12.2023.– Загл. з екр.
2. Sreenivasan A. Performance Monitoring of Network Systems [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу: http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1306869423 . – Дата доступу: 21.12.2023 – Загл. з екр.
3. Frost S. L. Introduction to Arduino Uno. Office of Scientific and Technical Information (OSTI) [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2172/1412918> . – Дата доступу: 21.12.2023. – Загл. з екрану.
4. GSM. Arduino Sketches [Електронний ресурс] // Indianapolis, IN, USA. – 2015. – С.271-288. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1002/9781119183716.ch17>. – Дата доступу: 21.12.2023. – Загл. з екр.
5. Коефіцієнт бітових помилок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/ URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/BER](https://uk.wikipedia.org/wiki/BER) – 21.12.2023 р. – Загл. з екр.
6. RSSI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/RSSI> – 21.12.2023 р. – Загл. з екр.
7. I2C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I2C> – 21.12.2023 р. – Загл. з екрану
8. Офіційний сайт Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/ URL: https://www.arduino.cc](https://www.arduino.cc) – 21.12.2023 р. – Загл. з екр.
9. Бод [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Бод> – 21.12.2023 р. – Загл. з екр.
10. Вимоги щодо рівня якості послуг рухомого (мобільного) зв'язку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1298-21#Text> – 21.12.2023 р. – Загл. з екр.