

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Система розпізнавання голосу в розумному будинку

(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,

групи КІУКІ-21-2

Максим МАКСИМЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність

123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Комп'ютерна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник: ст. викл. В'ячеслав РАДЧЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ЕОМ

(підпис)

Андрій КОВАЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

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

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Максименку Максиму Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Система розпізнавання голосу в розумному будинку _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____ Інтернет речей, домашня автоматизація, голосове керування,
офлайн-система, енергоефективність, безпека, _____

_____ локальна обробка, візуалізація даних _____

_____ Python, Raspberry Pi 4 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

_____ Теоретичні основи _____

_____ Архітектура системи _____

_____ Впровадження _____

_____ Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 11

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється 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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання теми кваліфікаційної роботи	26.05	
2	Аналіз літератури	27.05-29.05	
3	Побудова системи	28.05-10.06	
4	Тестування системи та отримання результатів	11.06-12.06	
5	Формування пояснювальної записки	13.06-14.06	
6	Перевірка на плагіат	15.06-17.06	
7	Рецензування роботи	17.06	
8	Подача роботи в ЕК	18.06	
9	Захист роботи	24.06	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

ст. викл. В'ячеслав РАДЧЕНКО

_____ (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 50 с., 15 рис., 2 дод., 20 джерел.

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ДОМАШНЯ АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГОЛОСОВЕ КЕРУВАННЯ, ОФЛАЙН-СИСТЕМА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, БЕЗПЕКА, ЛОКАЛЬНА ОБРОБКА, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи розпізнавання голосу в розумному будинку.

У ході виконання кваліфікаційної роботи розглянуто розробку офлайн-системи домашньої автоматизації з інтеграцією голосового керування, спрямованої на подолання ключових обмежень існуючих IoT-рішень, зокрема залежності від хмарних сервісів та стабільного інтернет-з'єднання. Метою дослідження є створення автономної, безпечної та енергоефективної системи керування побутовими пристроями, яка може ефективно функціонувати в умовах обмеженої мережевої інфраструктури, що особливо актуально для країн, що розвиваються та регіонів з низькою якістю інтернету. У рамках роботи реалізовано локальне оброблення голосових команд, що дозволяє забезпечити високу швидкодію та захист даних користувача від зовнішніх загроз. Створено зручну графічну панель керування, яка дає змогу користувачу додавати, видаляти та контролювати підключені пристрої в режимі реального часу.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 50 pages, 15 figures, 2 appendices, 20 sources.

INTERNET OF THINGS, HOME AUTOMATION, VOICE CONTROL, OFFLINE SYSTEM, ENERGY EFFICIENCY, CYBERSECURITY, LOCAL PROCESSING, ENERGY CONSUMPTION VISUALIZATION.

The major goal of this thesis is to develop a Voice Recognition System for a Smart Home.

This work focuses on the development of an offline home automation system with integrated voice control, aimed at overcoming key limitations of existing IoT solutions, particularly the reliance on cloud services and stable internet connectivity. The main objective of the study is to create an autonomous, secure, and energy-efficient system for managing household devices that can operate effectively in environments with limited network infrastructure, which is especially relevant for developing countries and regions with poor internet quality.

The system enables local processing of voice commands, ensuring fast response and enhanced data privacy by eliminating the need for external cloud-based services. A user-friendly graphical control panel has been implemented, allowing users to easily add, remove, and manage connected devices in real-time.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ	10
1.1 Аспекти домашньої автоматизації	10
1.2 Огляд літературних джерел.....	12
2 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ.....	16
2.1 Розумний HUB.....	17
2.1.1 Виявлення голосової активності	18
2.1.2 Автоматичне розпізнавання мовлення (ASR).....	19
2.1.3 Керування живленням та безпекою пристрою	22
2.2 Розумна розетка.....	22
2.2.1 Відстеження споживання енергії.....	23
2.2.2 Робота реле	23
2.3 Підключення	23
3 ВПРОВАДЖЕННЯ	26
3.1 Розумний центр	26
3.1.1 Апаратна реалізація	26
3.1.2 Реалізація програмного забезпечення.....	27
3.2 Розумна розетка.....	27
3.3 Підключення.....	29
3.4 Панель інструментів	30
ВИСНОВКИ.....	35
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	36
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	39
ДОДАТОК Б ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСТОСУНКУ	46

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

IoT – Internet of Things

ASR – Automatic Speech Recognition

NLP – Natural Language Processing

AI – Artificial Intelligence

GUI – Graphical User Interface

LAN – Local Area Network

MCU – Microcontroller Unit

TTS – Text-to-Speech

ВСТУП

Сучасний світ переживає радикальні зміни завдяки стрімкому розвитку технологій Інтернету речей (IoT), які трансформують повсякденне життя, роблячи його інтелектуальнішим та комфортнішим. Однією з найважливіших інновацій останніх років стали системи домашньої автоматизації, що дозволяють керувати електронними пристроями дистанційно або за допомогою голосових команд. Ці технології особливо корисні для людей похилого віку та осіб з інвалідністю, надаючи їм незалежність у повсякденних задачах. Проте їхній потенціал обмежений низкою суттєвих проблем, пов'язаних із залежністю від хмарних сервісів, кібербезпекою та доступністю інфраструктури.

Сьогодні провідні системи, такі як Google Assistant чи Amazon Alexa, базуються на хмарних обчисленнях, що робить їх вразливими до кібератак та залежними від стабільного інтернет-з'єднання. Для країн, що розвиваються, де якість інтернету залишається низькою, а локалізація голосових помічників обмежена, це створює бар'єр для використання сучасних рішень. Крім того, зростання кількості підключених пристроїв збільшує ризики втрати даних і несанкціонованого доступу, що загрожує конфіденційності користувачів.

У відповідь на ці виклики дане дослідження пропонує розробку офлайн-системи домашньої автоматизації, яка усуває залежність від хмари та інтернету. Основна мета роботи – створити безпечне, енергоефективне рішення, здатне функціонувати в умовах обмеженої мережевої інфраструктури. Система інтегрує голосове керування з локальним обробленням даних, що знижує ризики кібератак і забезпечує швидкий відгук. Додатково вона включає функції моніторингу енергоспоживання та оптимізації роботи пристроїв, спрямовані на економію ресурсів.

Актуальність роботи полягає в поєднанні доступності, безпеки та автономності, що є критичними для розширення використання IoT-

технологій у глобальному масштабі, зокрема в регіонах з обмеженими технічними можливостями. Результати дослідження можуть стати основою для подальшого вдосконалення інклюзивних технологій, сприяючи соціальній рівності та сталого розвитку.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

1.1 Аспекти домашньої автоматизації

Популярність систем домашньої автоматизації зростає у світі, що швидко розвивається, пропонуючи користувачам комфорт, зручність та безпеку. Ці системи, особливо ті, що активуються голосом, особливо допомогли людям похилого віку та людям з інвалідністю [1]. Ці системи розроблені з центральним контролером, який керує приладами, такими як розетки, датчики температури, освітлення, системи безпеки та системи екстреної допомоги. Основною перевагою для користувача є те, що підключеними пристроями можна керувати дистанційно за допомогою різних пристроїв, таких як смартфони, ноутбуки, планшети, настільні комп'ютери та навіть голосові команди в найновіших системах домашньої автоматизації.

Широка доступність пристроїв з підтримкою Wi-Fi експоненціально збільшила впровадження систем розумного дому [1]. Ці системи пропонують такі переваги, як економія енергії, простота використання, економія часу та краща якість життя. Оскільки Інтернет речей продовжує розвиватися, розробники систем домашньої автоматизації тепер використовують хмарні системи.

Популярність систем домашньої автоматизації з голосовим керуванням також зросла серед споживачів. Такі пристрої, як Amazon Echo, Google Home та Apple HomePod, стали невід'ємною частиною розумного дому. Багато виробників розумної побутової техніки інтегрували один або кілька з цих голосових помічників, щоб збільшити продажі своєї продукції.

Розпізнавання мовлення є ключовим компонентом систем домашньої автоматизації. В існуючих системах автоматизації послуги розпізнавання голосу виконуються сторонніми хмарними сервісами, такими як Wit.ai, IBM Watson, Google Cloud Speech, Microsoft Cognitive Services тощо. Однак, якщо

інтернет-з'єднання нестабільне, залежність від хмарних сервісів може призвести до збою функцій розпізнавання голосу.

Крім того, ці пристрої повинні бути завжди підключені до Інтернету, щоб підтримувати з'єднання з хмарою, зазвичай через домашній Wi-Fi. Зі зростанням кіберзагроз, з'єднання Wi-Fi стають дедалі вразливішими, а наявність системи, яка може керувати підключеними до неї побутовими пристроями, робить її набагато небезпечнішою для користувачів. Були звинувачення в тому, що такі компанії, як Google та Amazon, отримали конфіденційну інформацію від користувачів через свої системи домашньої автоматизації, що викликає занепокоєння щодо порушень конфіденційності [2]. Це призводить до компромісу між конфіденційністю користувачів та зручністю, який не слід ігнорувати.

Крім того, хоча відомі системи домашньої автоматизації є популярними та надійними в деяких регіонах світу, вони дуже ненадійні в країнах, що розвиваються, через погане підключення до Інтернету. Крім того, відсутність локалізації голосових помічників також обмежує використання систем домашньої автоматизації в країнах, що робить індустрію домашньої автоматизації обмеженою певними регіонами світу.

Вищезгадані обмеження систем домашньої автоматизації зумовлені залежністю від хмарних сервісів [3]. Це створює потребу в автономній системі домашньої автоматизації з голосовим керуванням. У кількох дослідженнях запропоновано різні методи впровадження автономної системи домашньої автоматизації з голосовим керуванням, яка не залежить від хмарних сервісів. Однак існує кілька обмежень у їх реалізації, які обговорюються в розділі огляду літератури. У цьому дослідженні пропонується автономна система домашньої автоматизації з голосовим керуванням, яка пом'якшує ці обмеження та має значне покращення продуктивності. Крім того, вона вимагає менше пам'яті та має нижчі обчислювальні вимоги порівняно з існуючими методами. Розроблена система включає сумісну розумну розетку на додаток до базових функцій розумного

дому, таких як голосова допомога, керування реле та відстеження споживання енергії з покращеною конфіденційністю.

1.2 Огляд літературних джерел

Дослідники запропонували різні методи впровадження автономних систем домашньої автоматизації з голосовим керуванням. В [4] запропонували автономну демотичну систему з голосовими командами, яка показана на рисунку 1.1. Система складається з модуля розпізнавання мовлення EasyVR та Arduino Mega. Оскільки їй бракує обробки природної мови (NLP), кожному завданню необхідно призначити заздалегідь визначений набір команд. Крім того, вартість платіжного щита EasyVR та Arduino Mega підвищує загальну вартість пристрою до рівня, вищого за існуючі на ринку системи домашньої автоматизації [5]. Система була розроблена з двома протоколами зв'язку. Однак вона може підтримувати належне з'єднання лише до 50 см.

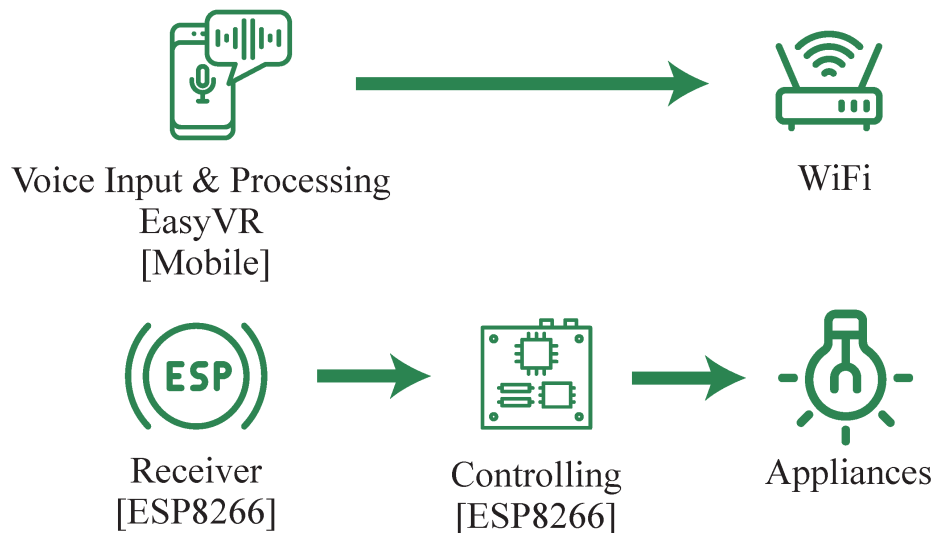


Рисунок 1.1 – Офлайн система з використанням голосових команд

В роботі [6] запропонували метод, який використовує інструментарій прихованої моделі Маркова для перетворення мовлення в текст. Огляд

системи показано на рисунку 1.2. Вона використовує GSM-модуль для передачі сигналів між хабом та розумною розеткою через SMS. Однак НТК має обмеження щодо коротших часових інтервалів, що впливає на продуктивність. Обробка природної мови (NLP) також не використовується в цій системі. Крім того, хаб не має вбудованого мікрофона.

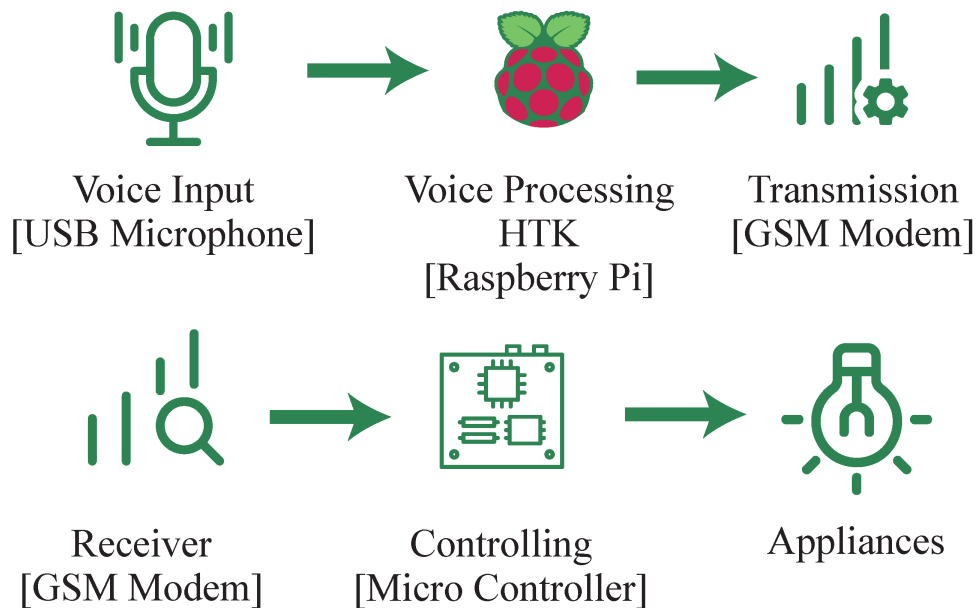


Рисунок 1.2 – Система домашньої автоматизації з використанням розпізнавання мовлення в автономному режимі

Автори [7] запропонували систему домашньої автоматизації наступного покоління, яка базується на розпізнаванні голосу та використовує плату Easy VR 2.0 у поєднанні з мікроконтролером Arduino. Огляд системи показано на рисунку 1.3. Система взаємодіє між концентратором та розумною розеткою через модуль Wi-Fi та має додаткову перевагу врахування даних про навколишнє середовище, таких як вологість та температура. Однак кількість команд, які можна виконати, обмежена через використання плати Easy VR.

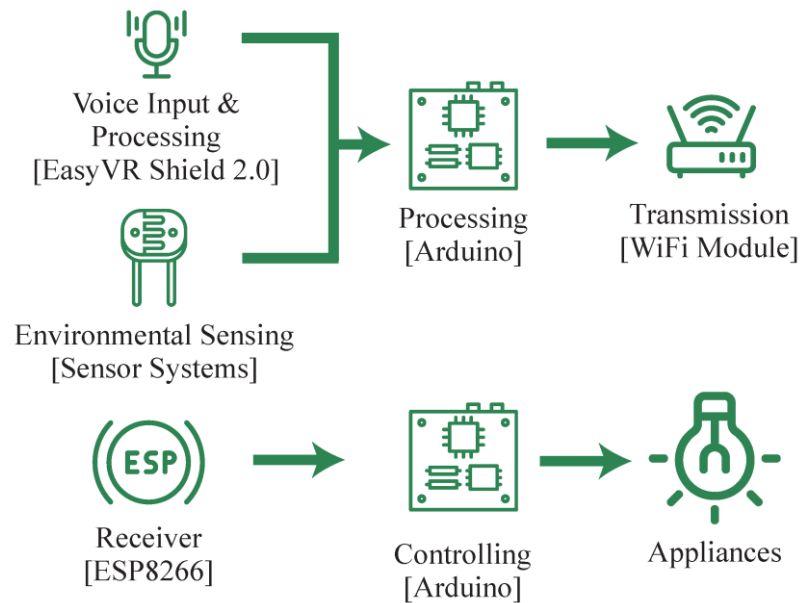


Рисунок 1.3 – Система домашньої автоматизації наступного покоління на основі розпізнавання голосу

В роботі [8] запропонували систему, яка використовує обробку природної мови (NLP) та використовує мобільний телефон для голосового введення та обробки, як показано на рисунку 1.4. Потім команди надсилаються на Arduino, який діє як контролер у розумній розетці через Wi-Fi. Однак суттєвим недоліком цієї системи є її залежність від мобільного телефону.

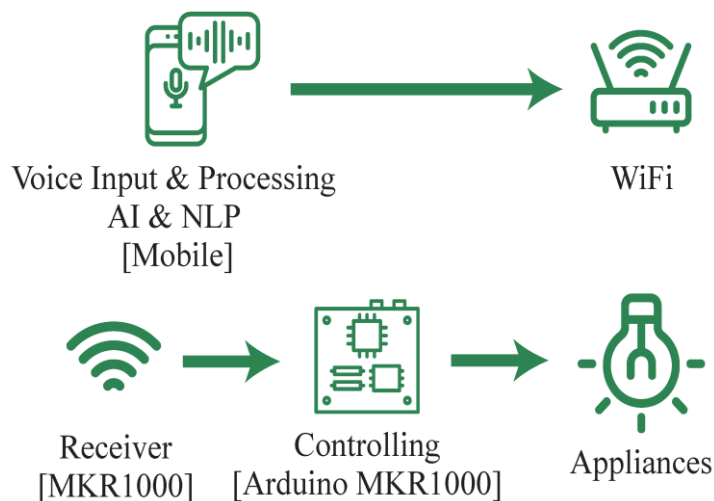


Рисунок 1.4 – Система домашньої автоматизації з голосовим керуванням, що використовує обробку природної мови та Інтернет речей

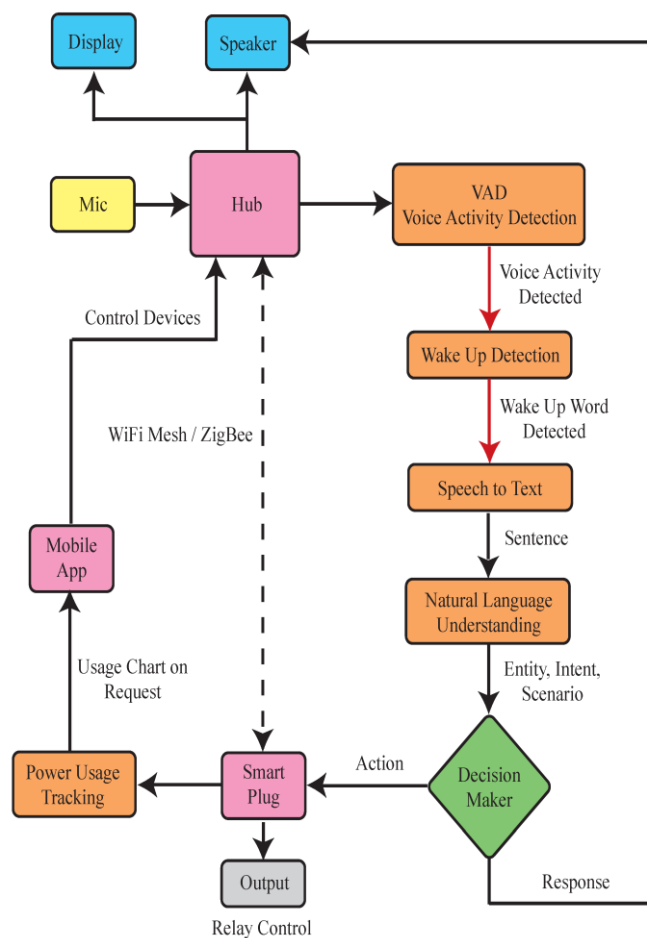
Запропонована в рамках нашої роботи система домашньої автоматизації офлайн забезпечує значний прогрес у галузі розумних будинків. Одним з основних досягнень нашої системи є значне покращення продуктивності порівняно з існуючими системами домашньої автоматизації. Наша система характеризується швидшим часом відгуку, вищою точністю та ефективним використанням ресурсів. Це дозволяє користувачам швидко керувати своїми розумними будинками, не стикаючись із неприємними затримками чи неточними реакціями.

Ще однією ключовою перевагою нашої системи є зменшення вимог до пам'яті та обчислювальних ресурсів. Це призводить до нижчих вимог до апаратного забезпечення та зменшення споживання енергії порівняно з існуючими системами, що робить її більш доступною та прийнятною для ширшого кола користувачів.

Загалом, наша система домашньої автоматизації офлайн є значним кроком вперед у сфері розумних будинків. Завдяки покращеній продуктивності та зниженим обчислювальним вимогам, наша система надає цінні переваги користувачам, які прагнуть спростити та оптимізувати свої завдання домашньої автоматизації.

2 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ

Запропонована система – це недорога, автономна та універсальна система домашньої автоматизації з вбудованим розпізнаванням мовлення та виявленням намірів. Її метою є спрощення системи та зниження її вартості. Це усуне потребу у високопродуктивних хмарних обчисленнях, що, у свою чергу, зменшить ризики для конфіденційності та кібербезпеки. Система також є гнучкою, що дозволяє легко додавати до мережі нові прилади інших виробників для безпечної та надійної роботи. Крім того, система включає розумні розетки з покращеним підключенням на відстані та можливостями вимірювання енергії. На рисунку 2.1 показано архітектуру системи, що складається з розумного концентратора та розумної розетки.



Рисунк 2.1 – Архітектура системи

2.1 Розумний HUB

У системі домашньої автоматизації розумний хаб служить центральною точкою керування для взаємодії між компонентами. Може бути один або декілька хабів розумного дому, або їх може бути взагалі немає. Зазвичай розумні хаби покладаються на хмарну обробку для обробки потреб голосових помічників, що може призвести до непрацездатності, якщо хмарні сервіси недоступні. Щоб подолати це, розумний хаб Home оснащений вбудованим голосовим інтерфейсом користувача, який дозволяє користувачам спілкуватися із системою без потреби у сторонніх сервісах.

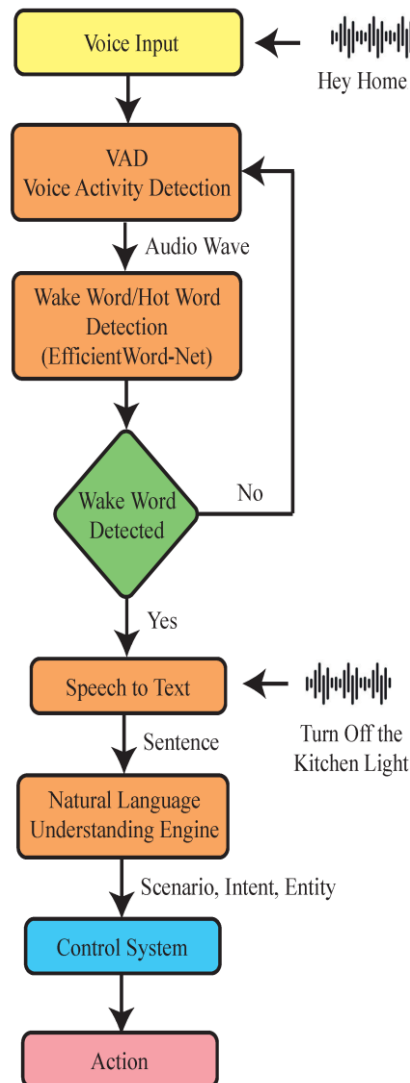


Рисунок 2.2 – Огляд системи розпізнавання мовлення

На рисунку 2.2 показано огляд системи розпізнавання мовлення, що використовується в . Система складається з чотирьох компонентів: моделі виявлення голосової активності (VAD), моделі виявлення слів, що прокидаються, моделі перетворення мовлення на текст та моделі розуміння природної мови. Модель VAD має алгоритм, який постійно контролює навколишнє середовище на наявність мовних сигналів та використовує VAD для ідентифікації сегментів мовлення з меншим споживанням енергії. Після виявлення озвученого сегмента спрацьовує модель виявлення слів, що прокидаються. Якщо слово, що прокидається, модель перетворення мовлення на текст перетворює аудіосигнали на речення. Механізм розуміння природної мови визначає сценарій, намір та сутність з речення. Це передається системі керування для прийняття рішення.

2.1.1 Виявлення голосової активності

Виявлення голосової активності є важливим компонентом багатьох програм обробки мовних сигналів, який розділяє аудіопотоки на періоди мовленнєвої активності та періоди тиші. Він працює безперервно, коли пристрій увімкнено. Тому його алгоритм повинен мати низьке енергоспоживання. VAD розпізнає, коли людина розмовляє з пристроєм, і допомагає визначити, коли людина перестала говорити. Алгоритм VAD, який використовується в цій запропонованій системі домашньої автоматизації, базується на детекторі голосової активності Google WebRTC з відкритим кодом, написаному мовою C для веб-комунікацій у реальному часі [9]. Система використовує моделі гаусової суміші (GMM) для розрізнення озвучених та неозвучених сегментів мовлення. VAD підтримує лише 16-бітний монофонічний PCM-аудіо з кількома попередньо встановленими частотами дискретизації та інтервалами кадрів.

2.1.2 Автоматичне розпізнавання мовлення (ASR)

Оскільки розпізнавання мовлення в системі відбувається на самому пристрої, використовувані моделі мають бути оптимізовані для малих розмірів та низьких обчислювальних вимог. Для досягнення цього система розпізнавання мовлення поділена на два основні компоненти: модель перетворення мовлення в текст та модель розуміння природної мови (NLU).

Метою моделі перетворення мовлення в текст (STT) є аналіз аудіосигналу, його розбиття на частини, оцифрування у машинозчитуваний формат та створення найбільш відповідного текстового представлення. Для досягнення цієї мети системи перетворення мовлення в текст спираються на два типи моделей: акустичні моделі та мовні моделі. Наша реалізація STT використовує просту згорткову нейронну мережу (CNN), як показано на рисунку 2.3. Модель передбачає літери, вимовлені користувачем, і як тільки між словами настає пауза, передбачені літери пропускаються через декодер променевого пошуку конекціоністської часової класифікації (CTC) з обмеженнями лексики та мовною моделлю для отримання найкращої оцінки речення. Модель була навчена на наборі даних Mozilla Common Voice English, який містить 2886 годин аудіоданих, позначених 79 398 різними голосами. Для мовної моделі використовується попередньо навчена модель KenLM.

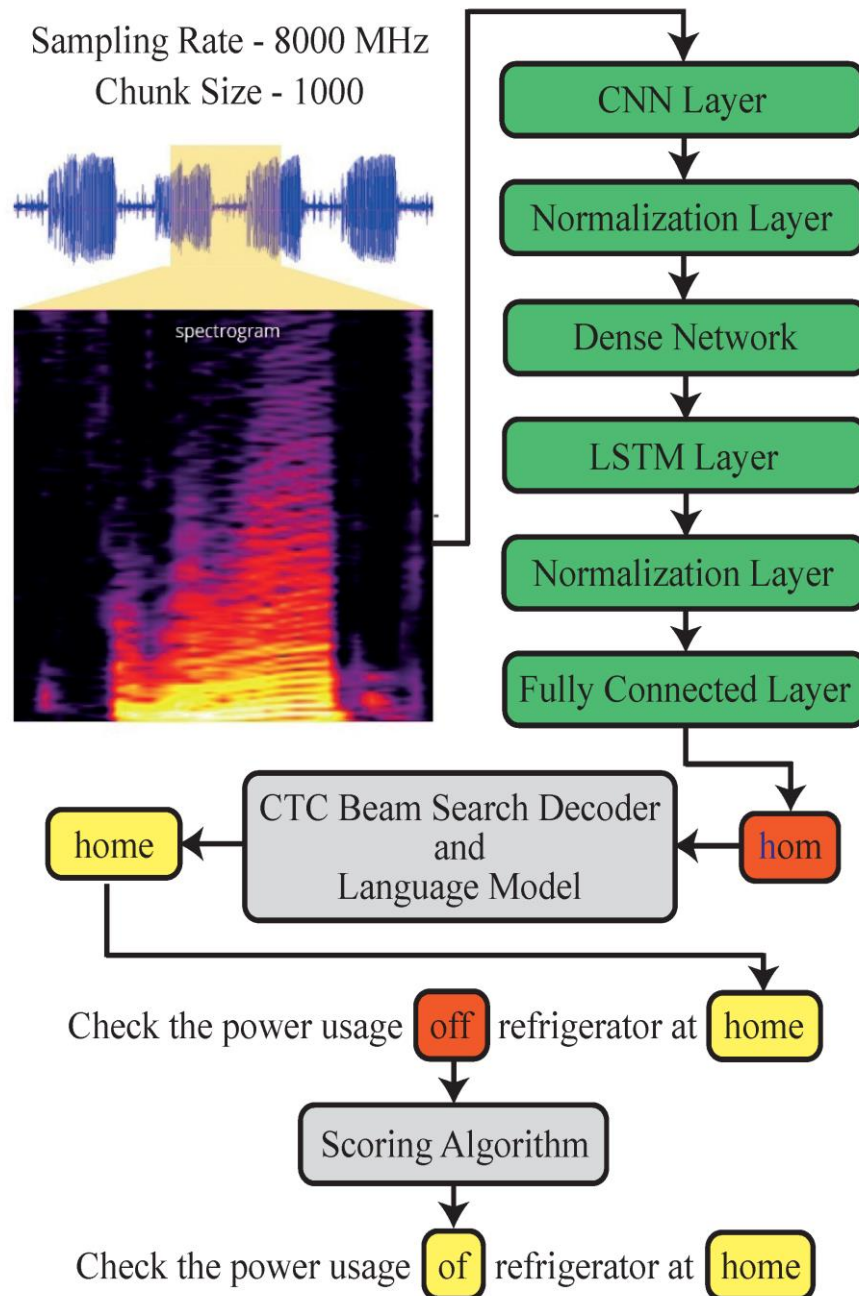


Рисунок 2.3 – Модель перетворення мовлення на текст

Вхідне речення має бути переведене у машинозчитуваний формат, щоб розумний хаб міг зрозуміти та виконати інструкцію. У минулому для перевірки певних термінів у тексті використовувалися прості оператори if-else, але ці методи не можуть охопити ключові аспекти, такі як час, місцезнаходження та намір. З розвитком NLP та ML тепер можливо витягувати змістовну інформацію з речення. Наша система використовує попередньо навчену модель двонаправленого кодування з трансформаторів

(BERT). Огляд цієї моделі показано на рисунку 2.4. Вона витягує маску з вхідного речення, яка потім надсилається до штучної нейронної мережі (ANN), яка визначає сценарій, намір та сутність з вхідного речення [10]. Прикладом цього може бути речення «Вимкніть світло на кухні», де сценарій – «IoT», намір – «ВИМКНІТЬ», а сутності – «Кухня: місцезнаходження» та «світла: пристрій». Ці змінні потім можна використовувати в логіці керування для виконання потрібного завдання. Модель була навчена з використанням даних з відкритого коду.

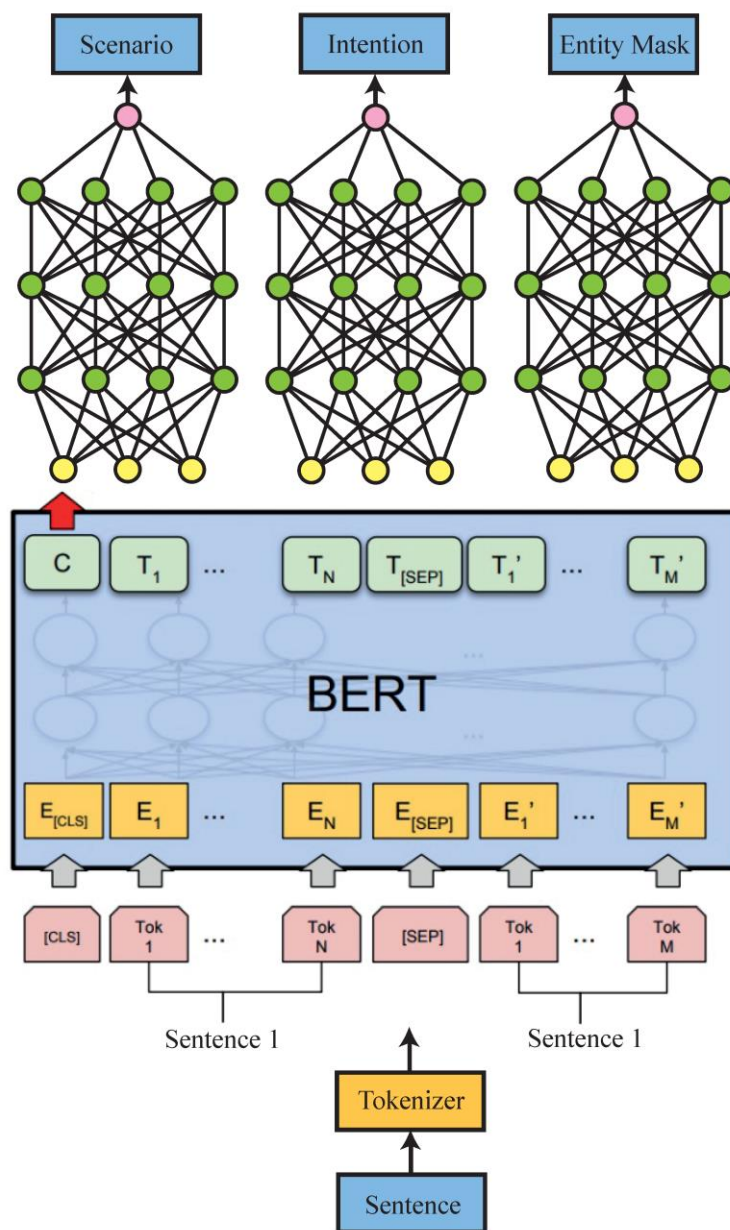


Рисунок 2.4 – Модель розуміння природної мови

2.1.3 Керування живленням та безпекою пристрою

Система включає функцію моніторингу споживання енергії підключеними пристроями. Це досягається за допомогою бази даних на пристрої, яка відстежує споживання енергії та показники температури з датчиків на смарт-пристроях і надає користувачеві оновлення в режимі реального часу. Цю інформацію можна використовувати для встановлення розкладів і правил увімкнення та вимкнення пристроїв. Безпека mesh-мережі забезпечується дворівневим каналом безпеки, де користувач повинен знати ім'я користувача та пароль для смарт-хаба та ключ розшифрування для кожного підключеного пристрою, щоб отримати до нього доступ.

2.2 Розумна розетка

Розумні розетки призначені для розміщення між розеткою та електроприладами, що дозволяє користувачеві вмикати та вимикати прилад за допомогою смартфона або голосових команд через бездротовий зв'язок. Розумні розетки стали необхідністю в системах домашньої автоматизації, оскільки вони допомагають економити енергію в побуті, зберігаючи комфорт користувача та покращуючи його спосіб життя. Для порівняння, використання традиційних розеток вимагає фізичної взаємодії для вмикання та вимикання приладів, а також вони не мають можливості дистанційно контролювати стан приладу або вимірювати споживання енергії.

Хоча деякі розумні розетки на ринку мають можливості управління енергоспоживанням, багато брендів пропонують цю функцію лише в дорожчій професійній версії через розмір та вартість блоку вимірювання енергії. Вимірювання споживання енергії має вирішальне значення для сприяння більш сталому та екологічно безпечному використанню енергії [12].

2.2.1 Відстеження споживання енергії

Згідно з дослідженням, було розроблено силовий вузол для моніторингу споживання енергії в розумних розетках [13]. Він складався з датчика напруги, датчика струму та мікроконтролера Zigbee. Однак ця конструкція має обмеження, такі як низька частота дискретизації, погане покриття зв'язку та висока вартість.

Запропонована конструкція розумної розетки включає функцію моніторингу споживання енергії електроприладом у режимі реального часу. У конструкції використовується однофазна інтегральна схема моніторингу енергії HLW8012, яка збирає дані, такі як середньоквадратичне значення струму, середньоквадратичне значення напруги та середньоквадратичне значення активної потужності. Ця мікросхема безпосередньо підключена до мікроконтролера ESP32 Node, що дозволяє швидко розраховувати споживання енергії. Використання датчика потужності HLW8012 замість окремих датчиків струму та напруги робить конструкцію більш компактною та економічно ефективною.

2.2.2 Робота реле

Розумна розетка використовує електромеханічне реле 5В для керування підключеними приладами. Реле активується постійним струмом, який розмикає або замикає контакти перемикача. Мікроконтролер ESP32 Node отримує команди від користувача або за допомогою голосової команди, або за допомогою дії керування за допомогою мобільного застосунку, і відповідно керує контактами реле.

2.3 Підключення

Зв'язок між концентратором та пристроями є вирішальним аспектом

будь-якої системи домашньої автоматизації, оскільки він визначає її надійність. Протоколи зв'язку, такі як BLE, Zigbee, Z-Wave та Wi-Fi, зазвичай використовуються системами домашньої автоматизації, кожен з яких має свої переваги та недоліки [14]. Такі фактори, як дальність, пропускна здатність, стійкість до перешкод та споживання енергії, впливають на стабільність з'єднання. Економічна ефективність, безпека та простота налаштування є важливими міркуваннями для клієнтів [15].

Вибираючи протокол зв'язку для HomeIO, що є автономною системою домашньої автоматизації, що надає пріоритет безпеці та надійності, необхідно враховувати такі фактори, як стійкість до зовнішніх атак, достатня пропускна здатність для збору даних у режимі реального часу з пристроїв моніторингу живлення та простота підключення. Тому бездротова mesh-мережа на основі Wi-Fi є найкращим рішенням для зв'язку для HomeIO.

Щоб пом'якшити притаманні автономним мережевим системам обмеження, такі як втрата сигналу, коли пристрої віддаляються від маршрутизатора, та перешкоди від електричного обладнання, було обрано mesh-мережу. Mesh-мережі можуть самоорганізовуватися та динамічно налаштовуватися, що призводить до скорочення часу встановлення. Самоконфігурація дозволяє динамічно розподіляти робоче навантаження. Це корисно, якщо кілька вузлів виходять з ладу одночасно, і призводить до покращеної відмовостійкості та витрат на обслуговування. Використання mesh-мереж у домашній автоматизації в поєднанні з відповідним протоколом зв'язку створює надійне, невибагливе та відмовостійке з'єднання між пристроями або між концентраторами, яке може добре працювати навіть за наявності стін або інших електронних пристроїв, які можуть перешкоджати зв'язку.

Транспортування телеметрії черг повідомлень (MQTT) – це стандартний протокол обміну повідомленнями для Інтернету речей, розроблений Організацією з розвитку стандартів структурованої інформації (OASIS). Огляд протоколу показано на рисунку 2.5. Це широко

використовуваний протокол обміну повідомленнями в галузі Інтернету речей завдяки своїй простоті та функціям безпеки. Він має низькі накладні витрати як на кодування, так і на мережевий трафік. Він використовує шифрування транспортного рівня (TLS) та автентифікує клієнтів за допомогою протоколу авторизації відкритого стандарту (OAuth) для забезпечення безпечного зв'язку між пристроями [16]. У системі HomeIO MQTT буде використовуватися як протокол обміну повідомленнями завдяки його простоті використання та сумісності з мовами програмування, що використовуються в смарт-хабі та смарт-пристроях.

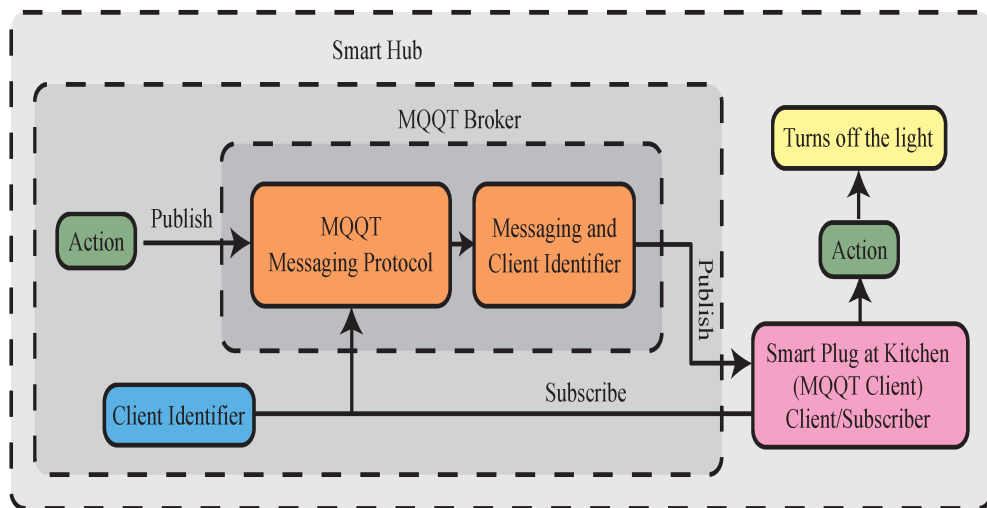


Рисунок 2.5 – З'єднання між розумним хабом та розумною розеткою за допомогою MQTT

3.1.2 Реалізація програмного забезпечення

Конфігурація системи розпізнавання мовлення оптимізована для максимальної можливої точності. Модель виявлення голосової активності працює безперервно, поки пристрій увімкнено. Усі інші моделі (розпізнавання слів-будильників, перетворення мовлення на текст та обробка природної мови) виконуються в одному скрипті. Компоненти прошивки зберігаються на SD-карті, оскільки модуль Raspberry Pi не має внутрішньої пам'яті. Подія слухача мікрофона виконується в окремому потоці та оновлює глобальну циклічну чергу. VAD бере фрагменти аудіо з черги, використовуючи певний розмір фрагмента, та визначає, чи містить фрагмент мовлення. Якщо є 10 послідовних фрагментів без мовлення, процес зупиняється, і повна команда, включаючи слово-будильник, транскрибується в текст та аналізується за допомогою обробки природної мови на наявність сутностей, намірів та сценаріїв. Потім вони надсилаються до контролера для виконання потрібного завдання.

3.2 Розумна розетка

Для розумної розетки було обрано мікроконтролер ESP32 NodeMCU для збору даних датчиків та його роботи як контролера. Необхідний код для роботи реле та вимірювання енергії було написано за допомогою інтегрованого середовища розробки (IDE) Arduino.

Розумна розетка живиться від модуля живлення постійного струму 5 В. Для забезпечення додаткової безпеки в схему керування реле включено запобіжник. Реле на 5 В має п'ять контактів: Кінець 1, Кінець 2, Загальний (COM), Нормально замкнутий (NC) та Нормально розімкнутий (NO). Контакти Кінець 1 та Кінець 2 використовуються для активації реле. Вони підключені до 5 В та землі відповідно. Для керування побутовим приладом один кінець слід підключити до загального контакту (COM) реле, а інший

кінець – до контакту Нормально розімкнутого (NO) або Нормально замкнутого (NC).

Розумна розетка використовує плату HLW8012 для вимірювання енергії. Для розумної розетки було розроблено схему та друковану плату, де всі модулі можуть поміститися в невеликому просторі. Принципова схема розумної розетки показана на рисунку 3.2. Розумна розетка призначена для моніторингу споживання енергії, коли вона не підключена до концентратора, та для передачі записаних даних, коли вона підключена до концентратора.

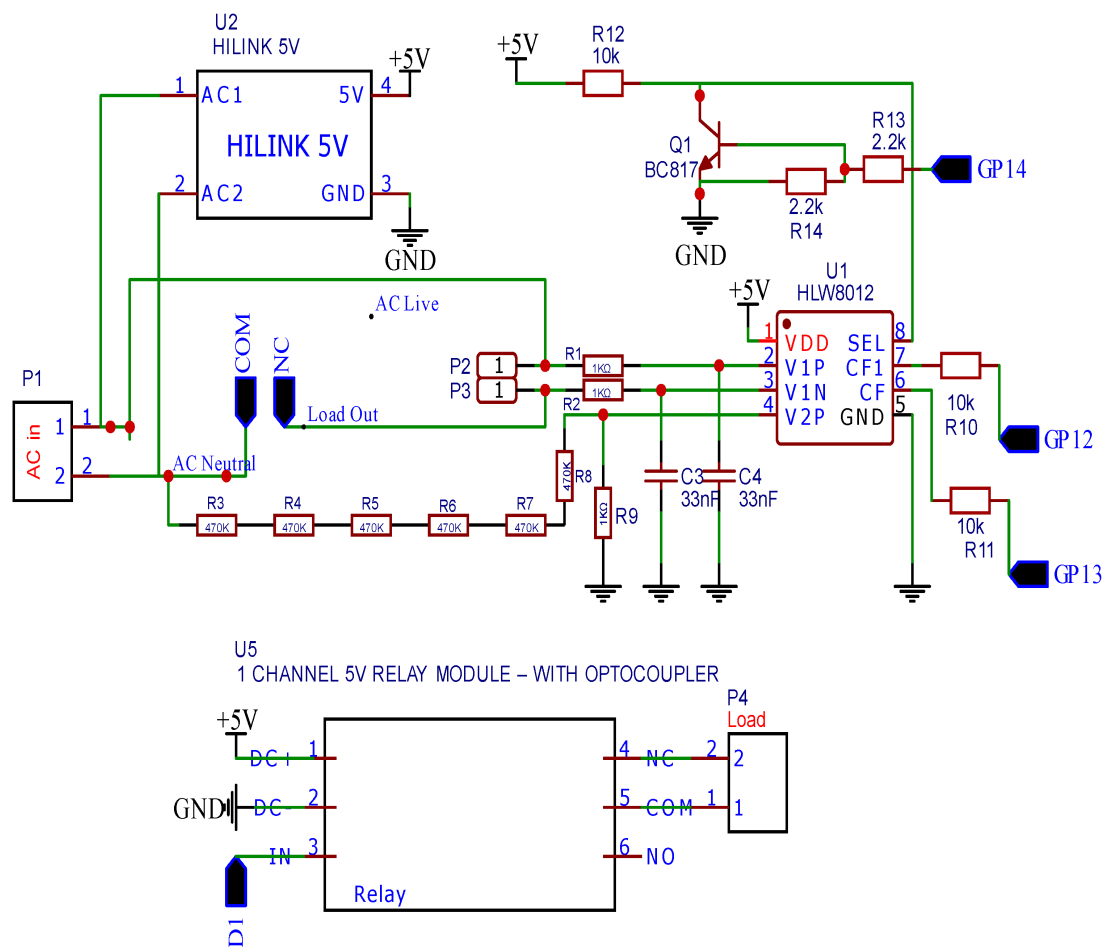


Рисунок 3.2 – Принципова схема розумної розетки

Оцінювання розумної розетки проводилося поетапно, починаючи з окремих пристроїв, а потім як цілісної системи. Точність вимірювання потужності в розумній розетці коливається від 90 до 95%. Бездротова mesh-мережа змогла ефективно самоорганізуватися та безперервно передавати дані

без збоїв у діапазоні 8–10 м.

Система автоматичного розпізнавання мовлення (ASR) була встановлена на Raspberry Pi 4 з 4 ГБ оперативної пам'яті. Для одночасної роботи всіх трьох моделей системі потрібно було 50% оперативної пам'яті та менше 40% ресурсів процесора, що призвело до швидких результатів. ASR змогла точно розпізнавати команди англійською мовою та виконувати операції реле. Результати показали, що моделі STT HomeIO працювали краще, ніж інші популярні моделі STT, з точки зору коефіцієнта помилок слів (WER) та використання пам'яті. Порівняно з існуючими моделями, наша модель вимагає значно менше пам'яті та має менше параметрів без значного зниження точності. Вимоги до пам'яті зменшуються за допомогою квантування та обрізання. Лінійне завантаження використовується для зменшення часу виведення нейронної мережі, що дозволяє зменшити обчислювальні вимоги без збільшення часу відгуку. Серед існуючих моделей Quartz Net [17] має найнижчий коефіцієнт помилок слів. Однак вона має 18,9 мільйона параметрів і вимагає значно більшої пам'яті та обчислювальної потужності. Порівняно з цією моделлю, наша модель має лише 4,3 мільйона параметрів, що майже на 75% менше. Це економить багато пам'яті та обчислювальної потужності, що призводить до зниження енергоспоживання. Незважаючи на те, що наша модель потребує 180 МБ пам'яті, її можна зберігати на SD-карті, що є економічно доцільним. Точність моделі NLU в приватному наборі даних сягала 96%.

3.3 Підключення

Зв'язок між розумним хабом та розумною розеткою забезпечується Node-RED, встановленим на Raspberry Pi. Raspberry Pi функціонує як сервер, а NodeMCU – як клієнт. Протокол MQTT використовується для забезпечення двостороннього зв'язку з брокером MQTT, розташованим у розумному хабі, і діє як сервер, який отримує повідомлення від клієнтів (розумної розетки) у

мережі. MAC-адреса NodeMCU у розумній розетці використовується як ідентифікатор для встановлення з'єднань у мережі Wi-Fi Mesh. Щоб підключити нову розумну розетку до хаба, користувачеві потрібно відсканувати QR-код або ввести MAC-адресу через мобільний додаток, призначений для підключення пристроїв та відображення споживання енергії. Потім користувач може призначити пристрою ім'я (наприклад, «кухонне освітлення»), тип (наприклад, «світло») та місцезнаходження (наприклад, «кухня»), що дозволяє керувати конкретною розумною розеткою за допомогою команд.

3.4 Панель інструментів

Система включає панель інструментів, створену за допомогою Python, як центральний інтерфейс для підключення користувачів до розумного концентратора та розумної розетки. Інтерфейс панелі інструментів показано на рисунках 3.3-3.6 показано система керування розумним будинком. Ця панель інструментів служить інструментом для керування пристроями та їх моніторингу і працює локально на розумному концентраторі. До неї можна отримати доступ з будь-якого пристрою, підключеного до тієї ж мережі Wi-Fi, і вона надає наступні зручні функції для спрощення роботи системи домашньої автоматизації.

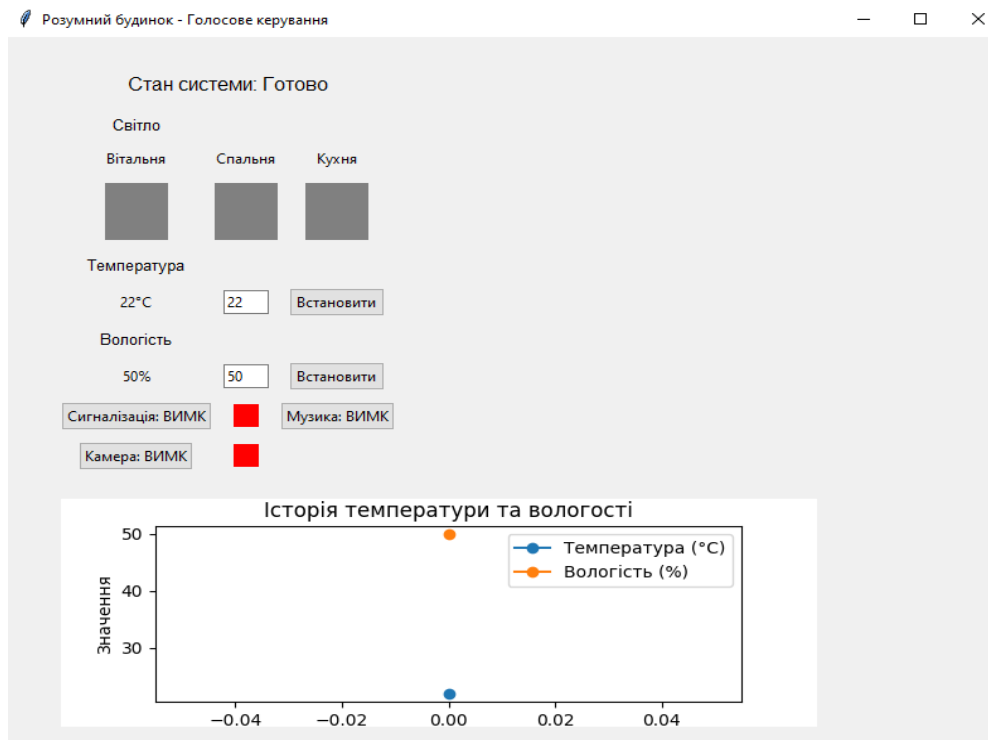


Рисунок 3.3 – Головний інтерфейс програми

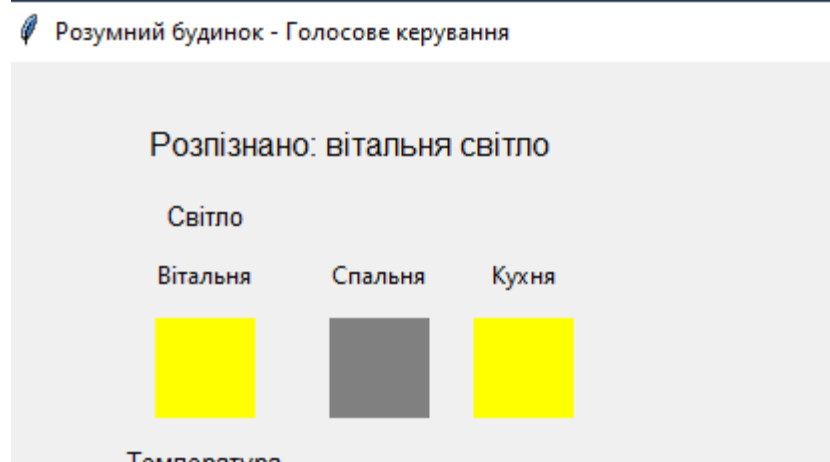


Рисунок 3.4 – Керування світлом

Після команд «світло кухня» або «світло вітальня» індикатор змінює свій колір.

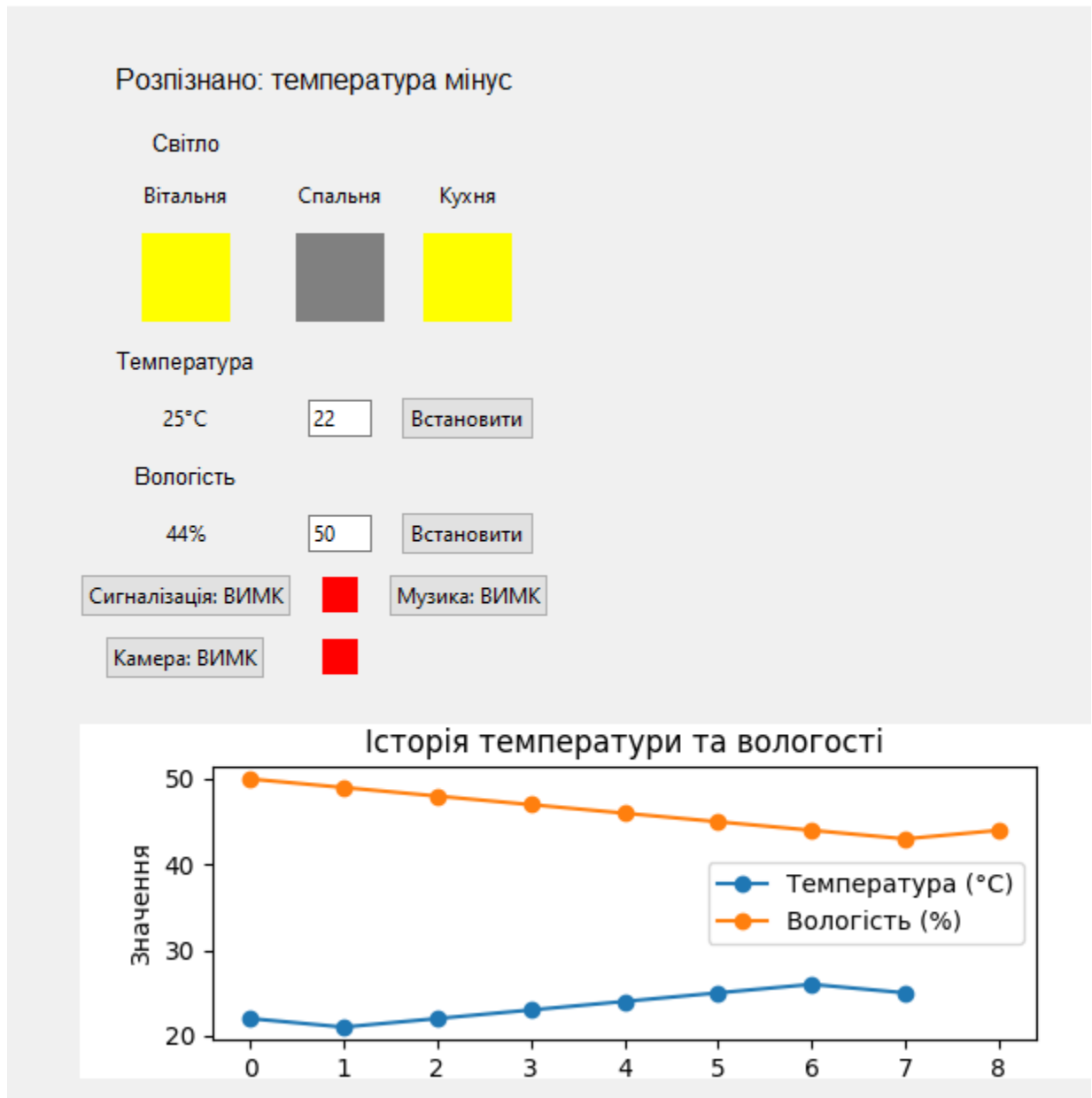


Рисунок 3.5 – Курування вологостію та температурою

Використовуючи команди «Вологість +», «Вологість -» можна керувати рівнем вологості в будинку. А команди «Температура +», «Температура -» керують змінами температури.

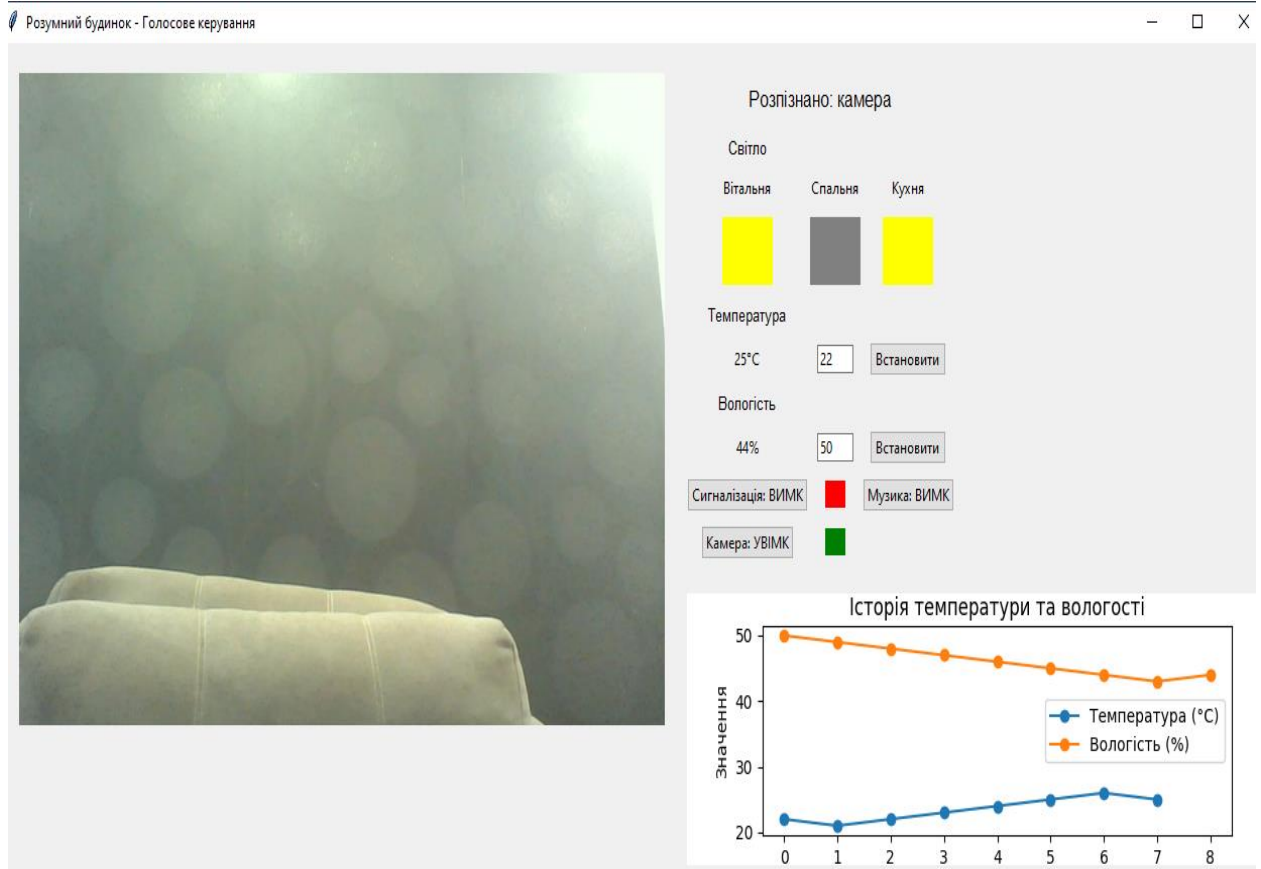


Рисунок 3.6 – Керування камерою

Використовуючи команду «Камера» відбувається вмикання та вимикання камери.

Також в нашому прототипі існує можливість вмикати сигналізацію та музику, командами «Сигналізація» та «Музика».

Можливість налаштування підключених пристроїв до хаба.

Моніторинг/Зміна стану увімкнення/вимкнення підключених пристроїв.

Надає графічне представлення даних про споживання енергії.

Ця зручна панель керування надає користувачеві можливість легко налаштовувати кількість підключених пристроїв. Пристрої можна швидко додавати або видаляти з мережі, а також контролювати стан кожного пристрою в режимі реального часу. Користувач також може вмикати або вимикати пристрої за допомогою простого перемикача, що дозволяє дистанційно керувати ними та зменшує витрати енергії.

Панель керування відіграє вирішальну роль у тому, щоб допомогти користувачам зрозуміти свої моделі споживання енергії, надаючи детальну інформацію про споживання енергії їхнім будинком за певний період часу. Це може допомогти зменшити втрати енергії та підвищити енергоефективність.

ВИСНОВКИ

Розвиток інтернету речей (IoT) революціонізував системи домашньої автоматизації та зробив життя людей зручнішим і комфортнішим. Системи домашньої автоматизації з голосовим керуванням були особливо корисними для людей похилого віку та людей з інвалідністю. Однак залежність від хмарних сервісів зробила ці системи вразливими до кібератак, особливо в країнах, що розвиваються, де якість інтернету низька. Для вирішення цих проблем у цьому дослідженні пропонується автономна система домашньої автоматизації, яка працює незалежно від інтернету та хмарних сервісів. Ця система забезпечує захист від кібератак, забезпечує швидке реагування та пропонує додаткові функції, такі як відстеження споживання енергії та оптимізація підключених пристроїв.

Існує кілька потенційних областей для покращення, які ми можемо дослідити в майбутньому. Однією з потенційних областей для покращення є точність. Хоча наша система вже продемонструвала вражаючі результати, ми вважаємо, що є простір для подальшого вдосконалення. Наразі ми експериментуємо з різними архітектурами моделей глибокого навчання та конфігураціями параметрів, щоб знайти оптимальне налаштування для системи автоматизації. Ми також можемо зосередитися на покращенні взаємодії користувача з нашою системою. Це передбачає розробку більш інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача. Покращуючи взаємодію з користувачем, ми можемо зробити нашу систему привабливішою для ширшого кола користувачів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Katuk, N.; Ku-Mahamud, K.R.; Zakaria, N.H.; Maarof, M.A. Implementation and recent progress in cloud-based smart home automation systems. In Proceedings of the 2018 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE 2018), Penang, Malaysia, 28–29 April 2018; pp. 71–77.
2. Lau, J.; Zimmerman, B.; Schaub, F. Alexa, Are You Listening? Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 2018, 2.
3. Irugalbandara, I.B.C.; Naseem, A.S.M.; Perera, M.S.H.; Logeeshan, V. HomeIO: Offline Smart Home Automation System with Automatic Speech Recognition and Household Power Usage Tracking. In Proceedings of the 2022 IEEE World AI IoT Congress (AllIoT), Seattle, WA, USA, 6–9 June 2022; pp. 571–577.
4. Errobidart, J.; Uriz, A.J.; Gonzalez, E.; Gelosi, I.E.; Etcheverry, J.A. Offline domotic system using voice comands. In Proceedings of the 2017 Eight Argentine Symposium and Conference on Embedded Systems (CASE), Buenos Aires, Argentina, 9–11 August 2017; pp. 25–30.
5. EasyVR 3 Plus Shield for Arduino—COM-15453-SparkFun Electronics. Available online: <https://www.sparkfun.com/products/15453>
6. Prasanna, G.; Ramadass, N. Low Cost Home Automation Using Offline Speech Recognition. Int. J. Signal Process. Syst. 2014, 2, 96–101.
7. Elsokah, M.M.; Saleh, H.H.; Ze, A.R. Next generation home automation system based on voice recognition. In Proceedings of the ICEMIS'20: Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020, Almaty, Kazakhstan, 14–16 September 2020.
8. Rani, P.J.; Bakthakumar, J.; Kumaar, B.P.; Kumaar, U.P.; Kuma, S.R. Voice controlled home automation system using natural language processing (NLP) and internet of things (IoT). In Proceedings of the ICONSTEM 2017—2017

Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM), Chennai, India, 23–24 March 2017; Volume 2018-January, pp. 368–373.

9. Turc, I.; Chang, M.; Lee, K.; Toutanova, K. Well-Read Students Learn Better: On the Importance of Pre-training Compact Models Aug. arXiv 2019, arXiv:1908.08962.

10. Devlin, J.; Chang, M.; Lee, K.; Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv 2018, arXiv:1810.04805.

11. Zhen, Y.; Maragatham, T.; Mahapatra, R.P. Design and implementation of smart home energy management systems using green energy. Arab. J. Geosci. 2021, 14.

12. Ahmed, M.S.; Mohamed, A.; Homod, R.Z.; Shareef, H.; Sabry, A.H.; Khalid, K.B. Smart plug prototype for monitoring electrical appliances in Home Energy Management System. In Proceedings of the 2015 IEEE Student Conference on Research and Development, SCORED 2015, Kuala Lumpur, Malaysia, 13–14 December 2015; pp. 32–36.

13. IoT. Internet of Things (IoT) communication protocols: Review. In Proceedings of the 2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT), Amman, Jordan, 17–18 May 2017.

14. Nguyen, K.T.; Laurent, M.; Oualha, N. Survey on secure communication protocols for the Internet of Things. Ad Hoc Netw. 2015, 32, 17–31. .

15. Sahmi, I.; Abdellaoui, A.; Mazri, T.; Hmina, N. MQTT-PRESENT: Approach to secure internet of things applications using MQTT protocol. Int. J. Electr. Comput. Eng. 2021, 11, 4577–4586

16. Ama, E. Home Automation with WiFi Innovation; ResearchGate: Berlin, Germany, 2018; p. 33.

17. Ama, E. Home Automation with WiFi Innovation; ResearchGate: Berlin, Germany, 2018; p. 33.

18. Ghori, M.R.; Wan, T.; Anbar, M.; Sodhy, G.C.; Rizwan, A. Review on

Security in Bluetooth Low Energy Mesh Network in Correlation with Wireless Mesh Network Security. In Proceedings of the 2019 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED), Seri Iskandar, Malaysia, 15–17 October 2019; pp. 219–224.

19. Adomnicai, A.; Fournier, J.J.A.; Masson, L. Hardware security threats against bluetooth mesh networks. In Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), Beijing, China, 30 May–1 June 2018.

20. Clark, S.; Peressini, J.; Crist, T. A Study of Zigbee Home Automation Integration; ResearchGate: Berlin, Germany, 2012.