

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-  
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:  
«БЕЗПРОВОДОВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОМАШНЬОЮ  
АВТОМАТИЗАЦІЄЮ З РОЗПІЗНАВАННЯМ МОВЛЕННЯ»

на здобуття освітнього ступеня магістр  
за спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код, найменування спеціальності)  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело*

\_\_\_\_\_

(підпис)

Юрій ФЕЛОНЮК  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Виконав: здобувач вищої освіти гр.ІСДМ-62  
Юрій ФЕЛОНЮК  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: Ольга ПОЛОНЕВИЧ  
к.т.н, доцент. (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2026

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій**

Кафедра Кафедра Інженерії систем та технологій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедрою ІСТ

Каміла СТОРЧАК

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Фелонюку Юрію Віталійовичу

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Безпроводова система керування  
домашньою автоматизацією з розпізнаванням мовлення

керівник кваліфікаційної роботи Ольга ПОЛОНЕВИЧ, к.т.н., доцент

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-  
комунікаційних технологій від 30 «жовтня» 2025р. №467

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 26 «грудня» 2025 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:

1. Система домашньої автоматизації.
2. Сучасні технічні рішення.
3. Експериментальні дослідження.
4. Науково-технічна література.

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

1. Аналіз сучасних тенденцій та технологічних рішень у сфері домашньої автоматизації.

2. Дослідження комплексу апаратних і програмних засобів реалізації системи керуванн.

3. Аналіз результатів експериментального дослідження роботи системи

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання 30 «жовтня» 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1.    | Підбір технічної літератури  | 30.10.25-01.11.25             | Виконано |
| 2.    |  | 01.11.25-10.11.25             | Виконано |
| 3.    | Огляд комплексу апаратних і програмних засобів реалізації системи керуванн | 11.11.25-21.11.25             | Виконано |
| 4.    | Аналіз результатів експериментального дослідження роботи системи           | 21.11.25-27.11.25             | Виконано |
| 5.    | Висновки по роботі   | 27.11.25-02.12.25             | Виконано |
| 6.    | Розробка демонстраційних матеріалів, доповідь.                             | 02.12.25-13.12.25             | Виконано |
| 7.    | Оформлення роботи  | 13.12.25-25.12.25             | Виконано |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

Юрій ФЕЛОНЮК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступня магістр: 70 стор., 30 рис., 15 табл., 33 джерела.

*Мета роботи* – реалізація прототипу системи бездротової домашньої автоматизації з використанням методів розпізнавання мовлення

*Об'єкт дослідження* – процес автоматизації керування домашніми пристроями за допомогою голосових команд

*Предмет дослідження* – методи розпізнавання мовлення для реалізації голосового керування побутовими пристроями.

*Короткий зміст роботи.* У першому розділі проведено аналіз сучасних тенденцій і технологічних рішень у сфері домашньої автоматизації, охарактеризовано стан і динаміку розвитку ринку, визначено ключові напрями впровадження систем «розумного дому». Розглянуто приклади сучасних автоматизованих систем, технічних рішень і програмних додатків, що забезпечують інтеграцію пристроїв у єдину екосистему.

Другий розділ присвячено комплексному аналізу апаратних і програмних засобів, включно з бездротовими датчиковими вузлами, контролерами, платами керування та програмним забезпеченням, які забезпечують ефективне функціонування системи керування.

У практичній частині наведено результати експериментальних досліджень роботи системи, зокрема оцінку споживання струму сенсорними вузлами, точності розпізнавання мовлення та параметрів прийнятого радіосигналу, що підтверджує працездатність і ефективність реалізованого рішення в реальних умовах.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СИСТЕМА, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ІОТ, МОДУЛЬ, ДАТЧИК, МОДУЛЯЦІЯ, ІНСТРУМЕНТ, ПЛАТА, СЕНСОР, МОДУЛЯЦІЯ, ЧАСТОТА, ПОТУЖНІСТЬ, РАДІОСИГНАЛ.

## ABSTRACT

The text part of the qualifying work for obtaining a bachelor's degree: 70 pp., 30 fig., 15 tables, 33 sources.

The purpose of the work is to implement a prototype of a wireless home automation system using speech recognition methods

The object of the study is the process of automating the control of home devices using voice commands

The subject of the study is speech recognition methods for implementing voice control of home devices.

Summary of the work. The first section analyzes modern trends and technological solutions in the field of home automation, characterizes the state and dynamics of market development, and identifies key areas for implementing smart home systems. Examples of modern automated systems, technical solutions, and software applications that ensure the integration of devices into a single ecosystem are considered.

The second section is devoted to a comprehensive analysis of hardware and software, including wireless sensor nodes, controllers, control boards, and software that ensure the effective functioning of the control system.

The practical part presents the results of experimental studies of the system, in particular, an assessment of current consumption by sensor nodes, speech recognition accuracy, and parameters of the received radio signal, which confirms the operability and effectiveness of the implemented solution in real conditions.

**KEYWORDS:** SYSTEM, SMART HOME, IoT, MODULE, SENSOR, MODULATION, TOOL, BOARD, SENSOR, MODULATION, FREQUENCY, POWER, RADIO SIGNAL

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 9  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ<br>РІШЕНЬ У СФЕРІ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 11 |
| 1.1 Огляд ринку систем домашньої автоматизації   |    |
| 1.2 Аналіз перспективних варіантів використання домашньої<br>автоматизації.....                    | 11 |
| 1.3 Сучасні систем автоматизації розумного дому.....   | 22 |
| 1.4 Сучасні технічні рішення для реалізації концепції «Розумний<br>будинок».....                   | 25 |
| 1.5 Огляд додатків контролю автоматизованої систем.....  | 27 |
| РОЗДІЛ 2 КОМПЛЕКС АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ<br>РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....              | 32 |
| 2.1 Бездротові датчикові вузли та домашня автоматизація.....                                       | 32 |
| 2.2 Аналіз апаратного забезпечення.....  | 35 |
| 2.2.1 Огляд системи домашньої автоматизації.....   | 35 |
| 2.2.2 Бездротовий інструмент розробки eZ430-RF2500.....  | 39 |
| 2.2.3 Аналіз особливостей керування серводвигуном.....   | 47 |
| 2.2.4 Огляд плати керування освітленням.....   | 49 |
| 2.3 Опис програмного забезпечення автоматизованої системи.....                                     | 52 |
| РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ<br>РОБОТИ СИСТЕМИ.....                            | 62 |
| 3.1 Аналіз споживання струму бездротовим сенсорним вузлом.....                                     | 62 |
| 3.2 Точність розпізнавання мовлення основі експериментальних<br>результатів.....                   | 64 |
| 3.3 Вимірювання показників потужності прийнятого радіосигналу.....                                 | 52 |
| ВИСНОВКИ.....  | 74 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....  | 77 |
| ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація) .....   | 81 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Стрімкий розвиток технологій та суттєві трансформації способу життя зумовлюють перехід від традиційних житлових будівель до концепції «розумного дому». Інтеграція інтелектуальних систем у житловий простір забезпечує підвищення рівня комфорту, енергоефективності та стабільності функціонування житлового середовища. Оскільки житловий сектор є одним із основних споживачів енергетичних ресурсів, а людина проводить у ньому значну частину часу, питання оптимізації енергоспоживання набуває пріоритетного науково-технічного значення.

На сучасному етапі автоматизовані технології відіграють визначальну роль як у повсякденному житті, так і в глобальних економічних процесах. Системи домашньої автоматизації забезпечують централізоване керування ключовими параметрами житлового середовища — освітленням, мікрокліматом, функціонуванням побутових пристроїв. Такі рішення сприяють раціоналізації використання енергоресурсів, зменшенню витрат на електроенергію завдяки інтелектуальному регулюванню режимів роботи обладнання та мінімізації втрат, спричинених людським фактором.

Активне поширення розумних технологій стало можливим завдяки розвитку апаратного забезпечення, що знизило вартість таких систем та розширило їхні функціональні можливості. Паралельно з цим, сучасний стан інформаційних технологій забезпечує оперативний доступ до даних і спрощує інтеграцію автоматизованих рішень у повсякденне життя. У результаті проблема ефективного управління житловими будівлями набуває особливої актуальності та потребує подальшого наукового вивчення й технічного вдосконалення.

*Мета роботи* – реалізація прототипу системи бездротової домашньої автоматизації з використанням методів розпізнавання мовлення

Для досягнення мети, у магістерській роботі успішно виконано наступні завдання:

- огляд сучасних тенденцій та технологічних рішень у сфері домашньої автоматизації;
- дослідження комплексу апаратних і програмних засобів реалізації системи керування;
- аналіз результатів експериментального дослідження роботи системи.

*Об'єкт дослідження* – процес автоматизації керування домашніми пристроями за допомогою голосових команд

*Предмет дослідження* – методи розпізнавання мовлення для реалізації голосового керування побутовими пристроями.

*Методи дослідження.* Під час виконання магістерського дослідження застосовувалися теоретичні методи, інструменти ймовірнісного аналізу, а також принципи системного підходу та методи збору даних.

*Наукова новизна одержаних результатів.* Наукова новизна проведеного дослідження полягає у поєднанні методів розпізнавання мовлення з бездротовими сенсорними вузлами для реалізації систем керування елементами «розумного будинку». Новизна також полягає у визначенні обмежень та перспектив застосування систем мовного керування з огляду на вимоги до безпеки, точності та дальності передачі сигналу.

*Практична значущість одержаних результатів.* Досліджуваний прототип голосового керування побутовими пристроями може бути використаний для підвищення комфорту та безпеки житлового середовища, зокрема для людей похилого віку та осіб з обмеженими можливостями.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Основні результати та напрацювання магістерської роботи були представлені на двох наукових конференціях, проведених на базі Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Огляд ринку систем домашньої автоматизації

Розмір ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому у 2024 році оцінювався в 1 809,08 млн доларів США. Прогнозується, що ринок зросте з 2 206,21 млн доларів США у 2025 році до 13 693,42 млн доларів США до 2034 року, демонструючи середньорічний темп зростання (CAGR) 22,5% протягом прогнозованого періоду.

Ринок систем розумного дому, що орієнтовані на емоції, зосереджений на рішеннях домашньої автоматизації на базі штучного інтелекту, які реагують на емоції та настрої користувачів. Ці системи використовують датчики, біометричне розпізнавання та алгоритми машинного навчання для аналізу виразів обличчя, тону голосу, частоти серцевих скорочень та інших фізіологічних сигналів, щоб налаштувати такі параметри дому, як освітлення, температура, музика та безпека. Мета полягає у створенні більш персоналізованого, комфортного та інтуїтивно зрозумілого середовища проживання, яке покращує самопочуття.

Зростання цього ринку стимулюють кілька факторів. Зростання впровадження штучного інтелекту та Інтернету речей у розумних будинках є ключовим фактором, що дозволяє системам вивчати вподобання користувачів та адаптуватися в режимі реального часу. Зростаючий попит на персоналізований досвід проживання є ще одним важливим фактором, оскільки споживачі прагнуть більш інтерактивного та адаптивного домашнього середовища. Крім того, досягнення в емоційному штучному інтелекті та глибокому навчанні роблять ці системи точнішими та ефективнішими, підвищуючи їхню привабливість [1].

Ринок також виграє від зростаючої уваги до психічного здоров'я та благополуччя, оскільки автоматизація, керована емоціями, може допомогти зменшити стрес та покращити розслаблення. Наприклад, ці системи можуть регулювати яскравість світла та відтворювати заспокійливу музику, коли виявляють

сигнали стресу. Інтеграція з розумними помічниками, такими як Alexa та Google Home, ще більше розширює можливості використання таких систем.

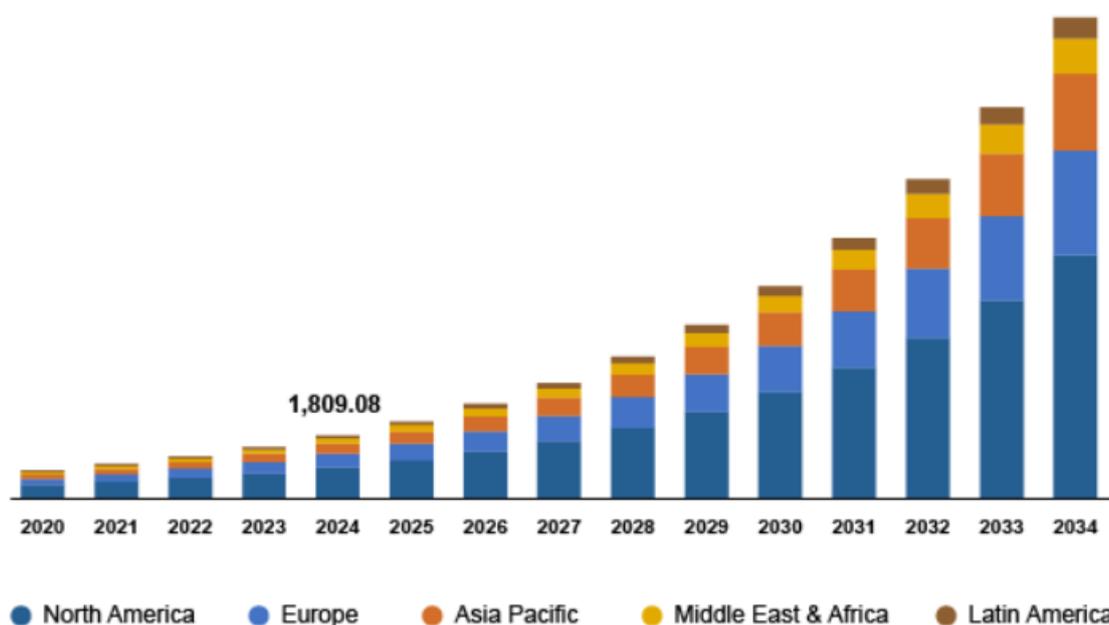


Рис.1.1. Динаміка прогнозованого зростання світового ринку інтелектуальних систем, керованих емоціями, до 2034 року з досягненням 13, 693,42 млн USD

Швидкий прогрес у сфері штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) робить системи розумного дому, керовані емоціями, більш інтелектуальними та ефективними. Алгоритми на базі ШІ здатні аналізувати біометричні дані, такі як частота серцевих скорочень, вираз обличчя та модуляція голосу, щоб зрозуміти емоційний стан користувача. Пристрої Інтернету речей, такі як розумні датчики та камери, можуть безперешкодно взаємодіяти з системами домашньої автоматизації. Ці досягнення дозволяють розумним будинкам реагувати в режимі реального часу, регулюючи середовище залежно від настрою людини. Системи розумного дому, керовані емоціями, стануть більш точними та доступними, оскільки ШІ та Інтернет речей продовжують розвиватися, стимулюючи зростання ринку систем розумного дому, керованих емоціями [2].

Динаміка ринку систем розумного дому, керованих емоціями.

1. Зростаюча популярність домашньої автоматизації. Технологія розумного дому вже отримала широке поширення, і такі пристрої, як розумні колонки, термостати та камери безпеки, стають поширеними. Наступним кроком у цій еволюції є підвищення інтуїтивності цих систем шляхом інтеграції можливостей розпізнавання емоцій. Споживачі шукають розумніші, більш чуйні будинки, які не потребують ручного налаштування. Системи розумного дому, керовані емоціями, задовольняють цю потребу, автоматично адаптуючись до емоцій користувачів, зменшуючи зусилля, необхідні для управління будинком. Попит на передові функції, що реагують на емоції, зростає, оскільки все більше людей інвестують у домашню автоматизацію, тим самим стимулюючи зростання ринку систем розумного дому, керованих емоціями.

2. Зростання доходу, що виплачується, та урбанізація. Зростання доходів населення та зростаюча урбанізація спонукають більше людей інвестувати у високотехнологічні рішення для домашньої автоматизації. За даними Бюро економічного аналізу США, лише в США доходи населення щомісяця зростали на 0,1% у 2024 році. Зокрема, міські райони відчують зростаючий попит на розумні будинки, оснащені передовими системами на основі штучного інтелекту. Системи розумного дому, керовані емоціями, приваблюють технічно підкованих споживачів, які надають пріоритет зручності та розкоші у своєму повсякденному житті. Будівельники преміальних будинків інтегрують ці функції в сучасні житлові проекти, що ще більше прискорює зростання ринку систем розумного дому, керованих емоціями.

Аналіз сегмента ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому.

1. Оцінка ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому за технологіями.

Сегментація ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому, що базується на технологіях, включає штучний інтелект, машинне навчання, біометричне розпізнавання та інші. Очікується, що сегмент штучного інтелекту продемонструє значне зростання протягом прогнозованого періоду. Це зростання зумовлене його роллю в покращенні функціональності розумних будинків, роблячи

їх більш інтуїтивно зрозумілими та чутливими до потреб користувачів. Системи на базі штучного інтелекту навчаються на поведінці користувачів, передбачають уподобання та автоматизують такі завдання, як регулювання освітлення, температури та налаштувань безпеки. Це створює більш персоналізований та безперебійний досвід життя. Очікується, що сегмент штучного інтелекту значно зросте в найближчі роки, оскільки споживачі все більше вимагають розумніших та ефективніших будинків [3].

2.Оцінка ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому кінцевим користувачем.

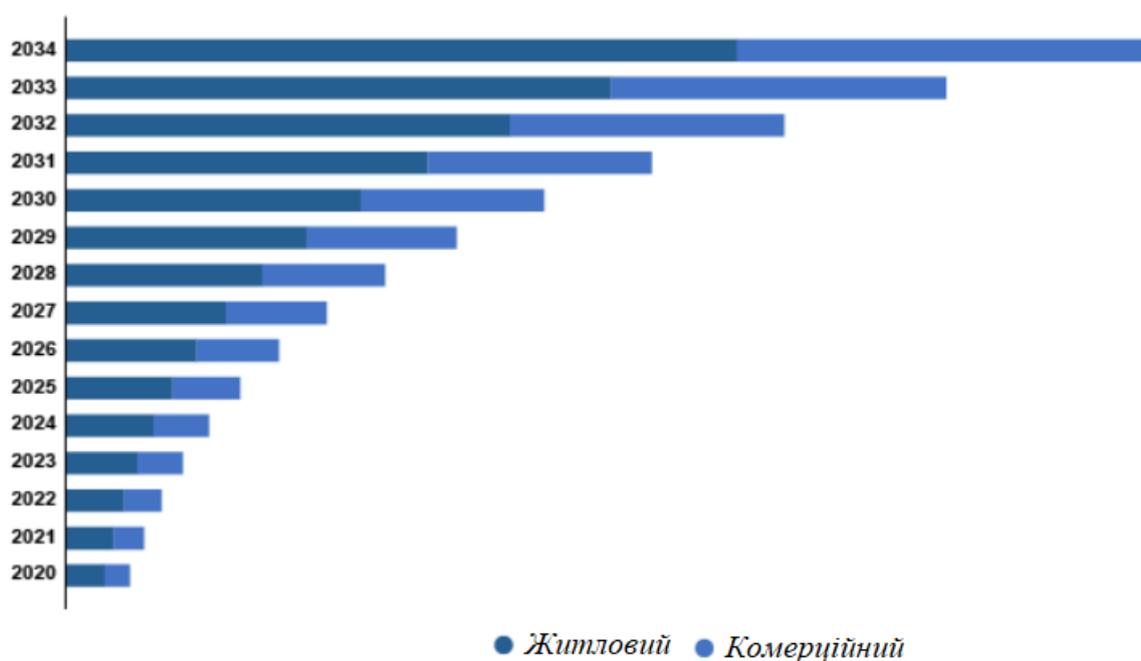


Рис.1.2. Сегментація ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому за кінцевим користувачем включає житлові та комерційні

Сегментація ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому, заснована на кінцевому користувачеві, включає житловий та комерційний сегмент. Житловий сегмент домінував на ринку у 2024 році, оскільки домовласники все частіше шукають персоналізоване та емоційно чутливе середовище. Ці системи, які адаптуються до емоційного стану та вподобань користувачів, створюють більш комфортний та пов'язаний житловий простір. Такі функції, як освітлення на основі

настрою, персоналізоване керування температурою та адаптивні музичні чи розважальні опції, покращують загальне емоційне благополуччя мешканців. Споживачі надають пріоритет комфорту, зручності та емоційним зв'язкам у своїх домівках, тим самим стимулюючи зростання сегментного ринку.

Регіональний огляд ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому.

За регіонами дослідження надає аналітичне уявлення про ринок емоційно-орієнтованих систем розумного дому в Північній Америці, Європі, Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, Латинській Америці, Близькому Сході та Африці. У 2024 році Північна Америка домінувала на ринку завдяки технологічному прогресу та технічно підкованому населенню. Присутність таких основних гравців, як Crestron, Honeywell International Ltd. та Control4 Corporation, додатково стимулює зростання ринку. Ці компанії постійно впроваджують інновації, інтегруючи технології штучного інтелекту (ШІ) та розпізнавання емоцій, щоб пропонувати персоналізований користувацький досвід. Крім того, надійна інфраструктура регіону та високі доходи населення ще більше стимулюють ринок емоційно-орієнтованих систем розумного дому в Північній Америці [4].

Очікується, що Азіатсько-Тихоокеанський регіон зафіксує значну частку протягом прогнозованого періоду завдяки зростанню впровадження технологій, зростанню доходів населення та урбанізації. Такі країни, як Китай, Японія та Південна Корея, лідирують у впровадженні домашньої автоматизації завдяки передовим технологіям розумного дому та високому споживчому попиту на автоматизацію та емоційний інтелект у пристроях. Крім того, попит на домашню автоматизацію в таких країнах, як Індія та В'єтнам, зростає завдяки покращеному підключенню до Інтернету та зростаючому інтересу, тим самим стимулюючи ринок емоційно-орієнтованих систем розумного дому в регіоні.

Ринок в Індії переживає значне зростання завдяки зростанню кількості технологічно підкованих споживачів, зростанню доходів населення та зростанню середнього класу. Індійські споживачі стають більш зацікавленими в пристроях, що забезпечують емоційне благополуччя, таких як лампи, що реагують на настрій, та розумні помічники, зі зростаючим впровадженням Інтернету речей (IoT) та рішень

для розумного дому на основі штучного інтелекту. Попит на пристрої, що працюють на емоціях, зростає, оскільки розширюється проникнення Інтернету, а люди стають більш комфортними з передовими технологіями, що стимулює зростання ринку систем розумного дому, що працюють на емоціях, в Індії.



Рис.1.3. Розвиток ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому по регіонам

Ключові гравці ринку систем розумного дому, керованих емоціями, та звіт про конкурентний аналіз.

Ринок систем розумного дому, що базуються на емоціях, постійно розвивається, і численні компанії прагнуть впроваджувати інновації та вирізнитися. Провідні світові корпорації домінують на ринку, використовуючи масштабні дослідження та розробки, а також передові технології. Ці компанії впроваджують стратегічні ініціативи, такі як злиття, поглинання, партнерства та співпраця, щоб розширити свої пропозиції продуктів та вийти на нові ринки.

Нові компанії впливають на галузь, впроваджуючи інноваційні продукти для задоволення попиту певних секторів ринку. Згідно зі статистикою ринку емоційно керованих систем розумного дому, ця конкурентна тенденція посилюється

постійним розвитком пропозицій продуктів. Серед основних гравців на ринку є Eve Systems; Google Nest; SAMSUNG; Resideo Technologies Inc.; Allegion; Ecobee; Lutron Electronics Co., Inc; Control4; та Arlo (Netgear).

Eve Systems , спочатку заснована як Elgato в 1999 році, – це компанія, що базується в Мюнхені, Німеччина, яка спеціалізується на продуктах для розумного дому. Зараз вона є частиною ABB, світового лідера в галузі технологій та інновацій. Eve Systems зосереджується на розробці пристроїв, які інтегруються з ширшими платформами розумного дому, з акцентом на конфіденційності та безпеці користувачів. Після відділення від Elgato Gaming у 2018 році Eve Systems продовжує самостійно працювати в секторі розумного дому. Eve Systems пропонує широкий спектр продуктів для розумного дому, включаючи пристрої моніторингу енергії, датчики якості повітря в секунду, датчики руху, камери безпеки та розумні жалюзі. Ці продукти призначені для управління споживанням енергії, автоматизації домашніх функцій, підвищення безпеки та моніторингу побутової техніки. Компанія використовує такі технології, як Matter та Thread, щоб забезпечити сумісність між класичними платформами розумного дому. Eve Systems працює в основному в Європі та Сполучених Штатах, з помітною присутністю в цих регіонах [5].

Lutron Electronics Co., Inc. – виробник системи керування освітленням та затіненням, заснованої в 1961 році Джоелом Спірою. Штаб-квартира компанії знаходиться в Куперсбурзі, штат Пенсільванія, і вона працює по всьому світу, представлена в Північній Америці, Європі, на Близькому Сході та в Азії. Продукція Lutron включає системи керування освітленням, такі як димери та системи регулювання яскравості для всієї будівлі, а також автоматизовані системи затінення, такі як штори та системи керування шторами. Ці системи призначені для керування як денним, так і електричним світлом. Крім того, Lutron пропонує аксесуари, такі як настінні панелі, розетки та системи керування вентиляторами. Компанія обслуговує різні сектори, включаючи житловий сектор, готельний бізнес, офіси, охорону здоров'я, вищу освіту та урядові установи. Лінійка продуктів Lutron розроблена для задоволення потреб різних приміщень, від житлових до

комерційних. Компанія зосереджена на наданні рішень для освітлення та затінення, які можна інтегрувати в різні типи будівель. Lutron працює в кількох регіонах. У Північній Америці її штаб-квартира знаходиться в Куперсбурзі, штат Пенсільванія, з додатковими офісами в США, Канаді та Мексиці. В Європі її діяльність заснована в Лондоні, а також офіси в Парижі, Барселоні, Мадриді та Берліні. В Азії штаб-квартира компанії знаходиться в Токіо, а офіси — в Гонконзі, Сінгапурі, Шанхаї та Пекіні. Lutron також присутня на Близькому Сході з офісами в Дубаї.

Ключові компанії на ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому: Allegion, Arlo (Netgear), Control4, Ecobee, Eve Systems, Google Nest, Lutron Electronics Co., Inc, Resideo Technologies Inc., SAMSUNG.



Рис.1.4. Ключові компанії на ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому

За технологічним прогнозом, основний дохід, за період 2020–2034 рр. буде отримано з сегменту машинного навчання, біометричного розпізнавання, штучного інтелекту [6].

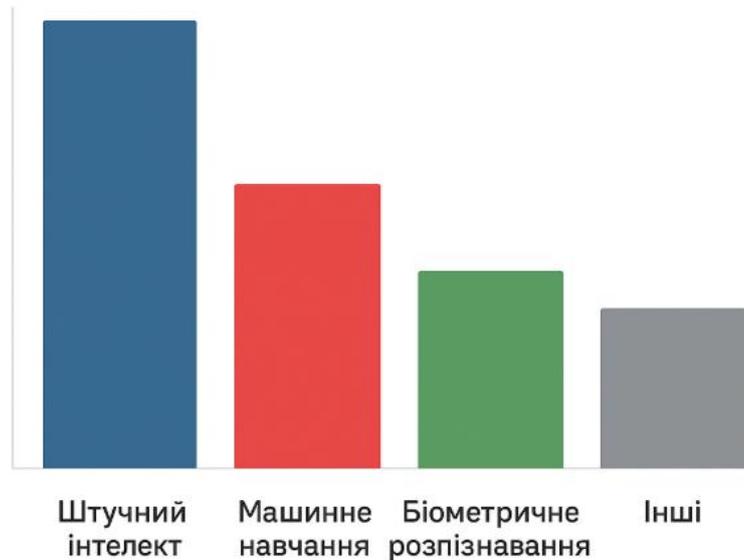


Рис.1.5. Сегментація ринку систем розумного дому, керованих емоціями

## 1.2 Аналіз перспективних варіантів використання домашньої автоматизації

За допомогою Інтернету речей існує можливість налаштувати різні протоколи автоматизації, щоб зробити свій будинок розумним. Системи домашньої автоматизації дозволяють домовласникам дистанційно контролювати та керувати приладами, підвищуючи зручність та зменшуючи споживання енергії. Від освітлення до контролю температури, насолоджуйтесь більшою зручністю та оптимізуйте свій розпорядок дня, використовуючи наступні ідеї домашньої автоматизації Інтернету речей. Це лише кілька прикладів застосування Інтернету речей у системах розумного будинку, що пропонують розширену функціональність та контроль над вашим житловим простором:

1. Освітлення. Домашнє освітлення, ймовірно, є одним із найпопулярніших застосувань розумного дому сьогодні. Ви можете використовувати системи освітлення на основі Інтернету речей для автоматизації таких процесів:

- контроль яскравості та колірної температури вашого освітлення;
- налаштування поступового зменшення яскравості світла ввечері;

- програмування освітлення на вмикання та вимикання у певний час або на реакцію на певні тригери, такі як рух чи звук;

- дистанційне керування освітленням за допомогою смартфона або голосового помічника IoT [7].

2. Кухня. Кухня – це ще одна зона вдома, де пристрої домашньої автоматизації Інтернету речей можуть суттєво вплинути на зручність і безпеку. Ось кілька можливих сценаріїв, які ви можете використовувати:

- використання інтелектуальних датчиків для перевірки витоків газу, диму та води та відключення подачі, якщо показники виходять за межі норми;

- керування розумними приладами, такими як холодильники та димоходи, за допомогою голосових команд або мобільного додатку, наприклад, регулювання температури холодильника або ввімкнення димоходу для видалення кухонних випарів та запахів;

- програмування розумних кавоварок та духовок для автоматичного приготування кави відповідно до ваших уподобань;

- використання розумних кранів для подачі води потрібної температури та об'єму.

3. Ванні кімнати. В даному випадку є можливість застосувати різні ідеї розумного дому до облаштування ванної кімнати, і ось деякі з них:

- використання розумних туалетів із функцією самоочищення, підігрівом сидінь та вбудованими біде для більш гігієнічного та комфортного користування;

- використання душових систем на базі Інтернету речей для керування температурою та тиском води у вашому душі за допомогою мобільного додатку або голосових асистентів;

- встановлення розумних дзеркал з голосовим керуванням підсвічуванням та вбудованими динаміками для відтворення музики;

- використання рушникосушок та систем опалення на базі Інтернету речей для контролю та регулювання опалення й споживання енергії відповідно до ваших потреб

Інші приклади пристроїв домашньої автоматизації Інтернету речей, які можна використовувати у ванній кімнаті, включають розумні очищувачі повітря, які покращують якість повітря, або розумні ваги, які надають більше інформації про вашу вагу та здоров'я.

4. Сади. Технологію домашньої автоматизації на основі Інтернету речей також можна застосовувати в саду, дозволяючи вам контролювати та керувати своїми рослинами:

- використання датчиків Інтернету речей для моніторингу рівня вологості ґрунту та сонячного світла;
- програмування розумних систем поливу для поливу ваших рослин за розкладом або на основі рівня вологості;
- налаштування розумного внутрішнього/зовнішнього освітлення для вмикання та вимикання у певний час або за допомогою датчиків руху;
- використання розумних метеостанцій для отримання даних про погоду в режимі реального часу, відповідного налаштування систем поливу та забезпечення оптимальних умов для вирощування ваших рослин.

5. Контроль температури. Інші застосування Інтернету речей включають контроль температури для створення комфортних та енергоефективних розумних будинків. Ось деякі поширені сценарії автоматизації, які ви можете використовувати:

- встановлення приладів з підтримкою Інтернету речей, таких як кондиціонери, та дистанційне керування ними за допомогою мобільного додатку або голосових команд для регулювання температури та налаштувань з будь-якої точки вашого будинку або навіть зовні нього;
- використання датчиків Інтернету речей, які вимірюють заповнюваність кімнати, рівень вологості та температуру зовнішнього повітря, щоб ваші кондиціонери могли автоматично регулювати температуру та швидкість вентилятора;

- інтеграція кондиціонерів з розумними термостатами, такими як Google Nest або Ecobee, для створення більш комплексної системи контролю температури у вашому домі [8].

6. Двері. Ще один варіант використання Інтернету речей у розумних будинках поширюється на двері, забезпечуючи зручність та рішення для домашньої безпеки для домовласників:

- встановлення розумних замків, таких як August або Yale, для дистанційного контролю доступу до будинків через мобільний додаток;

- інтеграція цифрових замків з розумними дверними дзвінками, такими як Ring, оснащеними HD-камерою з датчиком руху, та системами відеоспостереження, такими як Arlo Pro 4, для досягнення кращої безпеки;

- встановлення послідовності дій під час відкриття або закриття дверей, наприклад, програмування вашої системи розумного дому на ввімкнення світла, відмикання внутрішніх дверей, увімкнення музики та регулювання кондиціонера при відкритті входних дверей;

- використання Інтернету речей (IoT) для вашої системи безпеки, щоб визначати особу відвідувачів, запобігати вторгненням і навіть спонукати до необхідної реакції для їх зупинки.

### 1.3 Сучасні систем автоматизації розумного дому

**Amazon Echo з Alexa.** Amazon Echo з Alexa – чудовий вибір для тих, хто хоче перетворити свої домівки на розумні житлові простори. Завдяки голосовому помічнику Alexa ви можете керувати не лише своїми смарт-пристроями, але й користуватися низкою інших функцій, таких як відтворення музики, перевірка погоди та встановлення нагадувань. Наприклад, ви можете просто сказати: «Alexa, зменште світло у вітальні», і світло налаштується відповідно. Amazon Echo – це універсальна система, яка бездоганно інтегрується з різними смарт-пристроями, що робить її важливим компонентом будь-якої системи автоматизації розумного дому [9].

Центр Google Nest. Ще однією популярною системою автоматизації розумного дому є Google Nest Hub, яка поєднує в собі функції розумного дисплея та голосового помічника. Завдяки яскравому сенсорному екрану та вбудованому Google Assistant, Nest Hub дозволяє легко керувати своїми розумними пристроями. Ви можете перевіряти зображення з камер безпеки, налаштовувати термостат і навіть транслювати улюблені шоу на таких платформах, як Netflix та YouTube. Google Nest Hub служить центральним центром для всіх потреб вашого розумного дому, що робить його незамінним доповненням до вашої екосистеми розумного дому.

Apple HomeKit. Apple HomeKit пропонує безперебійний та безпечний спосіб керування пристроями розумного дому за допомогою iPhone, iPad або Apple Watch. Додаток «Дім» дозволяє керувати кількома пристроями різних виробників, забезпечуючи сумісність та зручність. Наприклад, ви можете створювати сцени, які охоплюють різні дії одночасно, такі як вимкнення світла, блокування дверей та зниження температури, простим натисканням однієї кнопки або віддачею голосової команди Siri. Apple HomeKit забезпечує зручний інтерфейс та надійні заходи безпеки, що робить його надійним вибором для автоматизації розумного дому.

Samsung SmartThings. Samsung SmartThings — це комплексна система автоматизації розумного дому, яка інтегрує різні пристрої, незалежно від їхньої марки чи протоколів. За допомогою SmartThings ви можете керувати та автоматизувати такі пристрої, як освітлення, термостати та камери, з одного додатка. Однією з помітних функцій є можливість створювати власні процедури, які запускають кілька дій одночасно. Наприклад, ви можете створити процедуру «Доброго ранку», яка вмикає освітлення, налаштовує термостат і починає відтворювати вашу улюблену музику, коли ви прокидаєтеся. Samsung SmartThings пропонує гнучкість і універсальність, дозволяючи вам налаштувати розумний дім відповідно до ваших конкретних потреб [10].

Освітлення Philips Hue. Освітлення відіграє вирішальну роль у створенні правильної атмосфери у вашому домі. Philips Hue Lighting йде ще далі, пропонуючи розумну систему освітлення, якою можна керувати дистанційно. За допомогою

застосунку Philips Hue ви можете налаштовувати яскравість, колір і навіть планувати світлові сцени відповідно до ваших щоденних справ. Наприклад, ви можете створити сцену «Кіноніч», яка приглушує світло та встановлює теплий відтінок, щоб покращити враження від перегляду фільмів. Philips Hue Lighting додає нотку вишуканості вашій системі розумної домашньої автоматизації, водночас забезпечуючи енергоефективність та зручність.

Розумний термостат Ecobee. Розумний термостат Ecobee – це революційний варіант, коли йдеться про енергоефективність та комфорт. Він використовує передові датчики для виявлення присутності та відповідного регулювання температури, забезпечуючи оптимальний комфорт та економію енергії. Ви можете керувати термостатом дистанційно через додаток Ecobee або за допомогою голосових помічників, таких як Alexa або Google Assistant. Наприклад, ви можете сказати: «Alexa, встановіть температуру на 72 градуси», і розумний термостат Ecobee внесе корективи. Оптимізуючи опалення та охолодження вашого будинку, розумний термостат Ecobee допомагає зменшити витрати на енергію та мінімізувати ваш вуглецевий слід.

#### August Smart Lock Pro

Підвищте безпеку свого дому за допомогою August Smart Lock Pro. Цей розумний замок дозволяє вам дистанційно замикати та відмикати двері, надавати доступ гостям та контролювати, хто входить і виходить з вашого дому, і все це зі свого смартфона. Ви також можете інтегрувати його з голосовими помічниками, такими як Alexa, що дозволить вам керувати замком за допомогою голосу. Наприклад, ви можете сказати: «Alexa, замкни входні двері», щоб забезпечити безпеку вашого дому навіть за вашої відсутності. August Smart Lock Pro забезпечує спокій і зручність, що робить його важливим компонентом будь-якої системи автоматизації розумного дому.

Світ систем автоматизації розумного дому швидко розвивається, пропонуючи домовласникам більший контроль, зручність та безпеку. Від голосових помічників, таких як Amazon Echo та Google Nest Hub, до комплексних систем, таких як Apple HomeKit та Samsung SmartThings, існує безліч варіантів, що відповідають вашим

потребам та вподобанням. Покращення вашого дому за допомогою розумних пристроїв, таких як Philips Hue Lighting, Ecobee Smart Thermostat та August Smart Lock Pro, принесе комфорт, енергоефективність та спокій у ваше повсякденне життя. Прийміть майбутнє, перетворивши свій дім на розумний житловий простір за допомогою цих семи найкращих систем автоматизації розумного дому у 2023 році.

#### **1.4 Сучасні технічні рішення для реалізації концепції «Розумний будинок»**

Серед найбільш поширених комунікаційних протоколів, що застосовуються у сучасних системах автоматизації житла, вирізняються Zigbee, Z-Wave та Wi-Fi. У технологіях бездротового зв'язку для «розумних будинків» переважно використовуються енергоощадні радіосигнали з обмеженим радіусом дії, що забезпечує стабільне підключення пристроїв у межах локальної мережі [11].

Попри схожість у сфері використання, Z-Wave характеризується дальністю передачі сигналу до 30 метрів, тоді як для Zigbee цей показник становить близько 10 метрів. При цьому, реалізація Zigbee зазвичай вважається більш технічно складною. Слід зауважити, що виробництвом чіпів Zigbee займається низка компаній, тоді як випуск мікросхем Z-Wave контролюється виключно компанією *Sigma Designs*.

Приклад практичного застосування цих протоколів наведено на рисунку 1.6.



Рис. 1.6. Приклад впровадження технологічних рішень у системах типу «розумний будинок»

Порівняльні характеристики зазначених технологій наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні параметри та технічні особливості технологічних рішень для «розумного будинку»

| Технологія               | Wi-Fi       | Bluetooth     | ZigBee        | Thread        |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Стандарт зв'язку         | IEEE 802.11 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 |
| Швидкість передачі даних | 300+Мбіт    | До 3 Мбіт     | 250 Кбіт      | 250 Кбіт      |
| Енерговикористання       | Високе      | Низьке        | Низьке        | Низьке        |
| Частотний діапазон       | 2,4 ГГц     | 2,4 ГГц       | 2,4 ГГц       | 2,4 ГГц       |
| Підтримка IP-технології  | +           |               |               | +             |
| Топологія                | Зірка       | Зірка         | mesh          | mesh          |

Центральний модуль системи «розумний будинок» є апаратною складовою, що виконує роль основного вузла домашньої автоматизації. Він здійснює приймання та обробку даних, а також забезпечує бездротову взаємодію між

підключеними пристроями. Такий хаб інтегрує різноманітні програмні додатки в єдину систему, якою користувачі можуть керувати дистанційно.

Серед поширених прикладів центрів «розумного будинку» можна виділити Amazon Echo, Google Home, Insteon Hub Pro, Samsung SmartThings, Wink Hub та інші апаратні рішення.

Частину систем автоматизації можливо реалізувати власноруч, використовуючи, наприклад, Raspberry Pi або подібні макетні плати. Інші варіанти доступні у вигляді готових комплектів чи інтегрованих платформ, що містять увесь необхідний набір компонентів для налаштування домашньої автоматизації.

Функціонування «розумного будинку» часто ґрунтується на двох типах подій: синхронізованих та ініційованих. Перші виконуються у визначений момент часу (наприклад, автоматичне вмикання освітлення о 18:00), тоді як другі активуються у відповідь на конкретну дію або зміну стану в системі. Наприклад, при наближенні власника до дверей датчик надсилає сигнал, унаслідок чого розумний замок розблоковується, а світло вмикається.

Використання технологій машинного навчання у домашній автоматизації набуває дедалі більшої популярності. Це дає змогу інтелектуальним системам адаптуватися до звичок мешканців. Так, голосові асистенти Amazon Echo та Google Home застосовують алгоритми штучного інтелекту для персоналізації сценаріїв роботи «розумного будинку» відповідно до індивідуальних вподобань користувачів [12].

## **1.5 Огляд додатків контролю автоматизованої систем**

Незалежно від того, який саме елемент інтелектуальної будівлі розглядається, на ринку доступний широкий спектр апаратних і програмних рішень для автоматизації «розумного дому». У ході аналізу було виокремлено низку перспективних програмних продуктів, серед яких варто відзначити Alexa від компанії Amazon.

Цей програмний комплекс вважається одним із найбільш функціональних інструментів для управління інтелектуальними житловими системами. Він забезпечує можливість конфігурування датчиків, сумісних із технологіями Amazon, створення списків покупок, а також відтворення музичних композицій. Платформа Alexa підтримує роботу не лише з фірмовими пристроями Amazon, а й з широким колом сумісного обладнання від інших виробників.

Серед ключових переваг слід відзначити інтуїтивно зрозуміле голосове керування та розширений набір функцій автоматизації. Налаштування додатка на смартфоні здійснюється через спеціалізовані інтерфейси, а початок роботи потребує лише активації Alexa голосовою командою. Завдяки такій інтеграції користувачі отримують можливість централізованого управління усіма підключеними пристроями.

Портативні акустичні колонки з підтримкою Alexa можна використовувати як у домашніх умовах, так і за межами будинку. Завдяки розгалуженій екосистемі Amazon ця технологія є оптимальним рішенням для інтеграції в інтелектуальні житлові комплекси. Alexa доступна в різних пристроях, зокрема у Fire TV, розумних колонках Echo та інших продуктах Amazon, працюючи через Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee та підтримуючи новітній стандарт Matter.

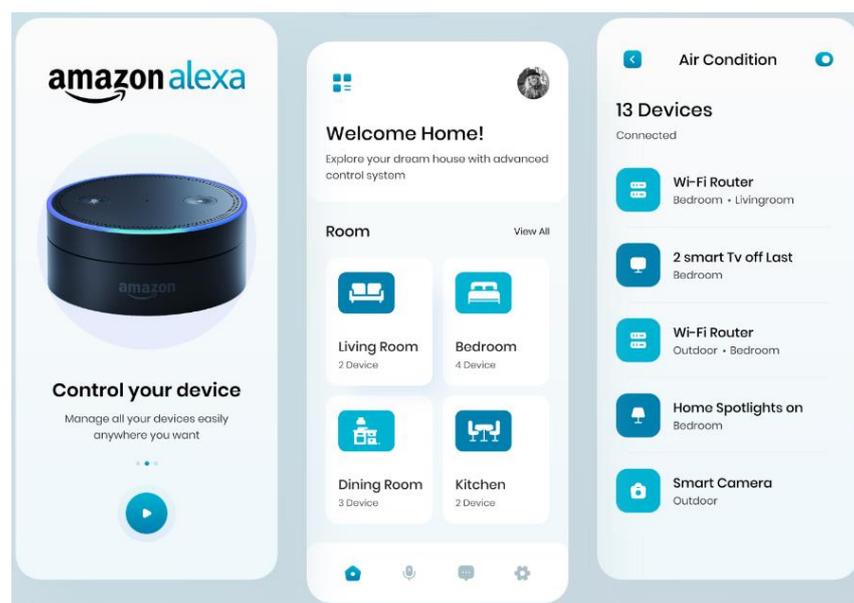


Рис.1.7 Скрін інтерфейсу системи Alexa на основі Amazon

SmartThings — технологічна платформа, яку активно розвиває південнокорейська компанія Samsung у сфері автоматизації «розумного будинку». Центральний хаб SmartThings забезпечує управління всіма підключеними пристроями, що підтримують концепцію Інтернету речей (IoT), зокрема холодильниками, пральними машинами, кондиціонерами та іншою побутовою технікою.

Серед ключових можливостей програмного комплексу варто виділити дистанційне керування й моніторинг стану обладнання, об'єднання декількох пристроїв у групи для централізованого управління, налаштування параметрів роботи, а також отримання сповіщень. Крім того, платформа підтримує функцію трансляції відео зі смартфона на телевізори Samsung.

На даний час значна кількість інтелектуальних пристроїв сумісні з екосистемою Samsung SmartThings. До них належать, зокрема, розумний термостат Ecobee, бездротова камера Netgear Arlo Pro, система безпеки Yale Assure Lock, а з 2020 року — також пристрої Google Nest. Така інтеграція дає змогу, використовуючи хаб Samsung SmartThings разом із додатком Samsung Smart Home, уникнути необхідності встановлення окремих програм для управління різними типами обладнання [13].

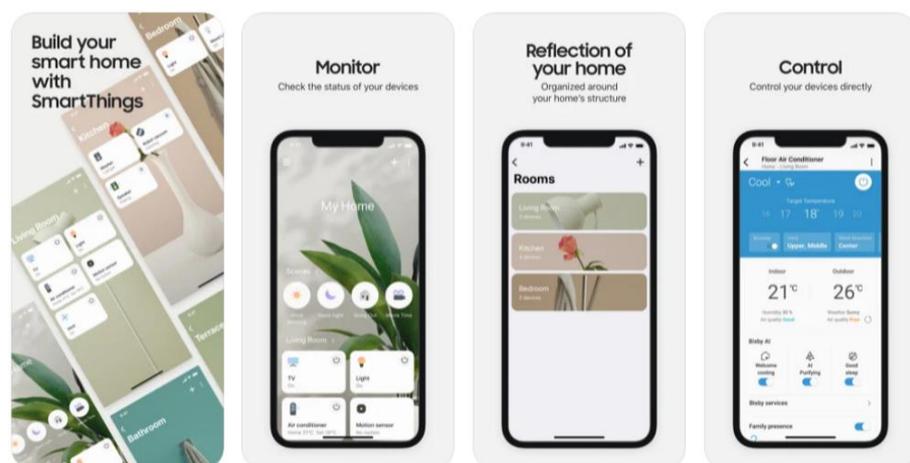


Рис. 1.8. Скрін програми Smart\_Things

Google Home — один із найпоширеніших програмних продуктів для управління інтелектуальними системами житла, сумісний з мобільними платформами Android та iOS. Додаток забезпечує налаштування пристроїв Google Home, Chromecast, а також інших сумісних компонентів, включно з системами освітлення, камерами відеоспостереження та широким спектром smart-пристроїв.

Платформа підтримує інтеграцію з рішеннями сторонніх виробників, серед яких: термостати Nest, системи освітлення Philips Hue, екосистема Samsung SmartThings, а також пристрої Honeywell Home, WeMo та інші сумісні технології.

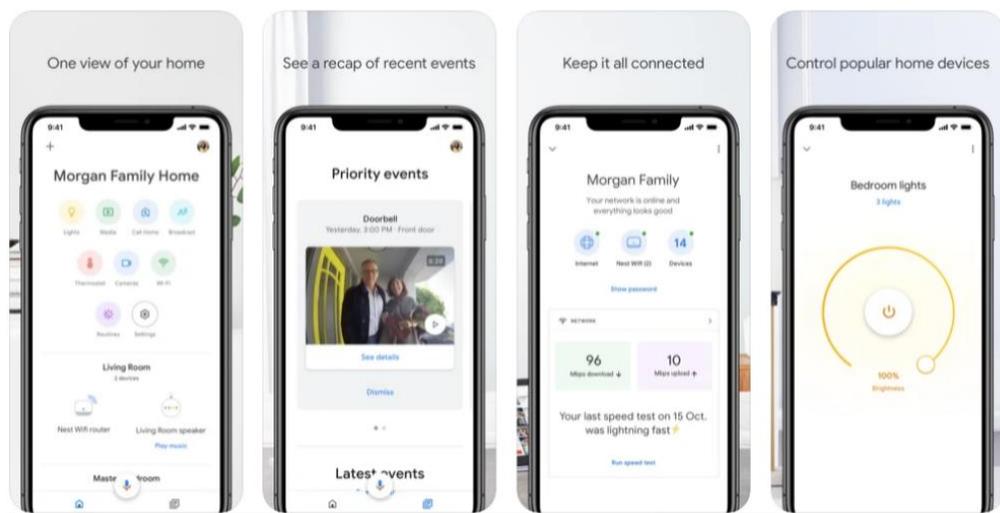


Рис.1.9. Скрін додатку Google Home

Додаток Google Home надає можливість зручного керування сумісними системами освітлення та аудіоприроями за допомогою інтуїтивно зрозумілих сенсорних команд. Завдяки високій гнучкості та широкій підтримці різних типів обладнання він належить до числа найбільш ефективних рішень у сфері автоматизації «розумного дому».

Apple HomeKit — одна з найбільш інтегрованих і багатофункціональних платформ автоматизації «розумного будинку», доступних на сучасному ринку. Мобільний додаток Home для операційної системи iOS забезпечує управління як пристроями компанії *Apple*, так і широким спектром сумісних smart-пристроїв інших виробників [14].

Серед ключових можливостей варто виділити створення користувацьких сценаріїв, або так званих «сцен», які дозволяють виконувати кілька дій одночасно за допомогою одного натискання. Наприклад, у сценарії «вихід з дому» одним дотиком до смартфона можна автоматично закрити штори, вимкнути освітлення та перевести термостат у режим енергоощадності.

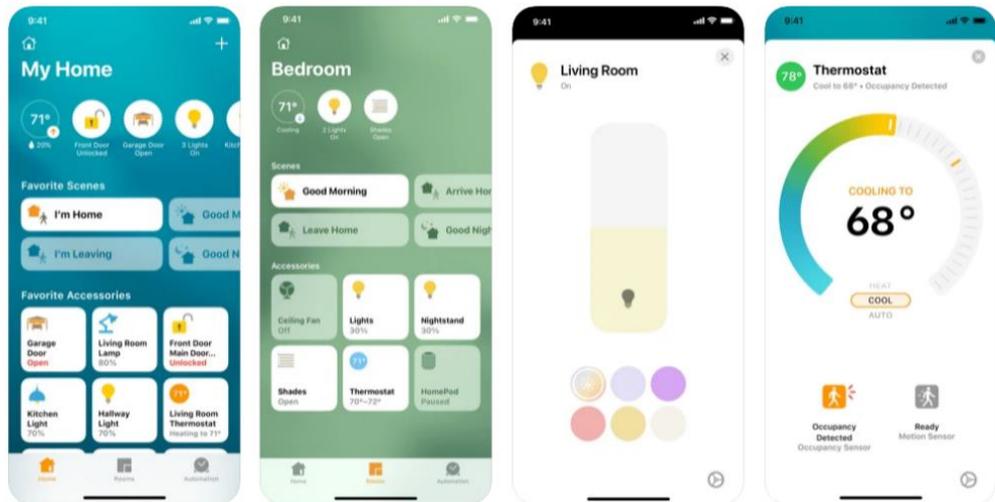


Рис.1.10. Скрін додатку AppleHome

На сьогоднішній день понад сотня виробників випускають пристрої, сумісні з платформою Apple HomeKit.

Серед основних переваг цього рішення варто відзначити високий рівень безпеки та зручність експлуатації. Процес підключення нового обладнання реалізований максимально просто — його можна виконати безпосередньо з головного екрана додатка, що усуває потребу у складній навігації та додаткових налаштуваннях. Крім того, HomeKit вважається однією з найбільш захищених платформ для управління системами «розумного будинку», забезпечуючи користувачам підвищений рівень конфіденційності та захисту даних.

## РОЗДІЛ 2 КОМПЛЕКС АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Бездротові датчикові вузли та домашня автоматизація

Бездротовий сенсорний вузол. Бездротовий сенсорний вузол – це електронний пристрій, що складається з одного або кількох датчиків, приймача-передавача та батареї. Датчики використовуються для збору даних з навколишнього середовища залежно від типу датчика. Деякими прикладами можуть бути датчики температури, вологості, прискорення, орієнтації, освітлення та наближення. Приймач-передавач, що живиться від батареї, потім передає виміряну інформацію іншому бездротовому сенсорному вузлу, підключеному до центрального комп'ютера. Бездротові сенсорні вузли зазвичай називають «вузлами». Бездротова сенсорна мережа (БСМ) – це група вузлів, організованих як кооперативна мережа, де вузли можуть спілкуватися та слухати один одного. Така організація зв'язку може використовуватися для передачі команд усередині мережі [15]. Наприклад, вузол, розташований далеко, може отримати команду від іншого вузла для вимірювання температури та надіслати це вимірювання на центральний комп'ютер, як показано на рис.2.1.

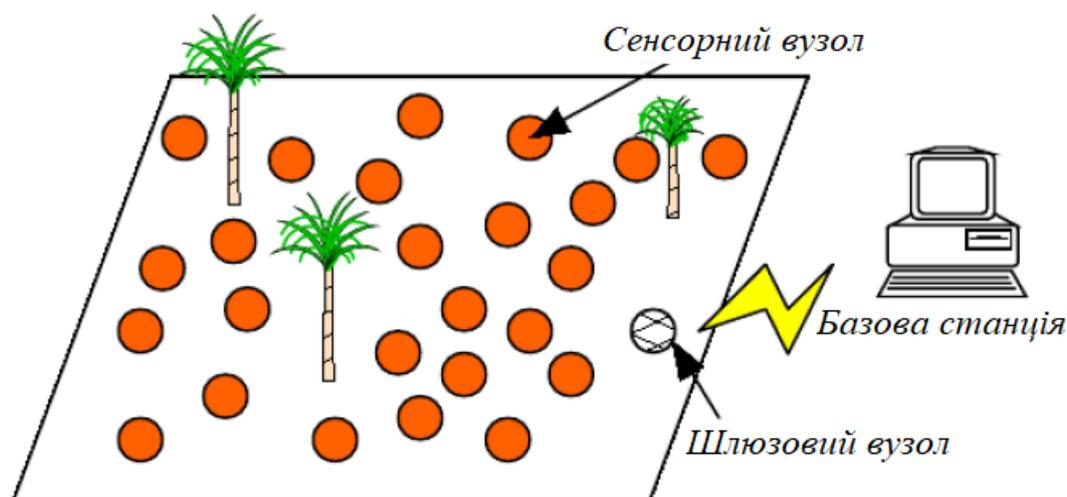


Рис.2.1. Приклад архітектури бездротової сенсорної мережі

Спочатку ці мережі були розроблені для військових застосувань, але сьогодні їх застосування поширилося на промисловість, а також на моніторинг навколишнього середовища. Одним із важливих застосувань бездротових сенсорних мереж є моніторинг стихійних лих. У разі лісової пожежі бездротовий сенсорний вузол, який виявляє пожежу та дим, може заздалегідь надіслати тривогу до пожежних служб.

Домашня автоматизація. Домашня автоматизація є однією з галузей, що найшвидше розвиваються, здатною змінити спосіб життя людей. Деякі з цих систем домашньої автоматизації орієнтовані на потреби в пошуку більш комфортних, витончених та розкішних продуктів. Крім того, вона надає переваги для людей з інвалідністю або людей похилого віку, які можуть мати особливі потреби.

Категорія застосувань домашньої автоматизації все ще розвивається, тому існує безліч стандартів, несумісних один з одним. Для того, щоб ці системи працювали разом, сьогодні можуть знадобитися глибші знання, але як тільки все буде стандартизовано, очікується, що час налаштування, витрати та зусилля з обслуговування зменшаться до набагато менших сум порівняно із сучасними системами.

Домашня автоматизація дозволяє дистанційно та автоматично керувати широким спектром пристроїв. Ці системи також можуть надсилати сповіщення на мобільні пристрої щоразу, коли вдома виникає щось, що потребує уваги, наприклад, витік води або крадіжка. Вона також здатна надавати користувачеві екран керування, який дозволяє вживати заходів через протоколи безпечного зв'язку. Рівень програми також може контролювати, як і коли повинен реагувати пристрій. Користувачі можуть встановлювати розклади для певних подій, таких як полив рослин. Основними перевагами домашньої автоматизації можна назвати зручність, безпеку та захист, економію енергії та розваги.

Надання системи дистанційного керування та автоматизація побутової техніки має переваги з точки зору часу та зручності. Користувач може регулювати світло в будинку, сидячи на дивані, регулювати температуру з ліжка, контролювати

рівень звуку аудіопристроїв та встановлювати розклади для опалення ванної кімнати.

Переваги цих систем щодо безпеки також значні. Наприклад, датчик води може виявити можливий витік води, як тільки щось піде не так, і може запобігти дорогому ремонту пошкоджень. Датчик руху можна підключити до системи освітлення, щоб світло могло негайно ввімкнутися у разі виявлення руху в будинку. У цій ситуації також можна за бажанням повідомити поліцію.

Можливість налаштування особистих налаштувань за допомогою розпізнавання голосу для керування розважальними системами вдома покращує враження мешканців від розваг [16].

З попередніх прикладів видно, що технології домашньої автоматизації пропонують багато рішень для керованих систем, таких як: освітлення, камери, системи безпеки та контролю доступу, домашній кінотеатр та розваги, телефонні системи, термостати, зрошення, кабельне та структуроване електропроводка. Ця робота пропонує спосіб керування системами освітлення, опалення та зрошення.

Керування освітленням:

Цей застосунок дозволяє користувачеві керувати освітленням будинку через мережу незалежно від того, де він чи вона знаходиться в будинку. Керування здійснюється за допомогою розпізнавання мовлення за допомогою зовнішніх мікрофонів, розташованих у будинку. У цій роботі освітлення представлено лампочкою, а мікрофон – зовнішнім мікрофоном, підключеним до ПК.

Опалення:

Системою опалення всередині будинку можна керувати двигуном, який здатний приймати команди через бездротову сенсорну мережу. Бездротовий сенсорний пристрій eZ430-RF2500 від Texas Instruments вже має вбудований датчик температури на своєму мікроконтролері MSP430F2274. Цей датчик можна використовувати для застосування алгоритму керування опаленням із замкнутим циклом. Такий застосунок також має потенціал для використання в системах опалення теплиць та притулків для тварин, а також в автоматизованих будинках.

Зрошення:

Домашня автоматизація не обмежується приміщеннями. Її також можна використовувати в садах для ефективнішого росту рослин. Користувач може запрограмувати графік, а решту візьме на себе система зрошення. Додавання датчика дощу дозволить зупинити систему у разі дощу. Це дає перевагу економії водопровідної води. Крім того, системи зрошення можна поєднувати з датчиками руху для захисту саду від диких тварин.

## 2.2 Аналіз апаратного забезпечення

### 2.2.1 Огляд системи домашньої автоматизації

Систему домашньої автоматизації, представлену в цій роботі, можна розділити на дві основні частини.

Одна з цих частин керується ПК та діє як командний центр. Ця частина отримує вхідну мову. Після розпізнавання мовленнєвої команди вона пересилає однобайтову команду через USB до бездротового вузла, підключеного до ПК. Звідти однобайтова команда передається до бездротового вузла, що належить до другої частини. Інша частина складається з бездротового сенсорного пристрою з батарейним блоком, який керує різними пристроями та діє як виконавчий механізм.



Рис.2.2. Командний центр системи домашньої автоматизації

Частину командного центру можна побачити на рис.2.2. Тут розташовані ПК, зовнішній мікрофон та бездротовий вузол. Мікрофон та бездротовий сенсорний вузол підключені до ПК через USB-інтерфейси. Усі системи домашньої автоматизації керуються через цей ПК за допомогою встановлених на ньому програмних застосунків. Пристрої та програмні застосунки, що використовуються в цій системі, коротко пояснюються далі в цьому розділі щодо їхніх функцій.

Настільний USB-мікрофон Logitech використовується для передачі голосових команд на ПК у цифровому форматі. Чистий аудіосигнал, який записується мікрофоном, перетворюється в цифровий формат усередині цього мікрофона, а дані надсилаються на ПК через інтерфейс USB. На ПК є програма для розпізнавання мовлення, яка безпосередньо отримує дані. Програма розпізнавання мовлення, що використовується в цій роботі, — це «Sphinx4». Це програмне забезпечення повністю написано на Java та застосовує концепцію «Прихованої моделі Маркова» для перетворення мовлення у форму, зрозумілу для комп'ютера [17].

У системі, показаній на рис.2.2, голосова команда, яка надходить на ПК, найкраще зіставляється зі словами, що містяться в пулі слів словника, визначеного в програмі Java. Після процесу зіставлення очікуваний результат перетворюється на текст. Кроки після цього пункту стають простішими, оскільки команда оброблятиметься лише в текстовому форматі. У цій роботі було вирішено надсилати лише один символ, що представляє ідентифікатор команди, до вузла бездротового датчика через USB. UART-приймач MSP430F2274 негайно зберігає це значення в пам'яті.

У роботі цільова плата eZ430-RF2500T від Texas Instruments використовується як вузол бездротового датчика. Один з цих вузлів підключений до ПК через інтерфейс налагодження USB і називається вузлом точки доступу. Функція цього вузла точки доступу полягає в пересиланні вхідних команд ПК іншим вузлам через радіочастотне з'єднання. Вузол на стороні приймача називається кінцевим пристроєм. Code Composer Studio від Texas Instruments використовується як середовище розробки для розробки вбудованих додатків.

Водночас воно використовується для завантаження та налагодження додатків для обох вузлів.

Інформація, що надходить до точки доступу, негайно пересилається на радіочастотний чіп з інтерфейсу SPI. Відповідно до налаштувань програмного забезпечення, байти, отримані на UART, надсилаються через радіоканал до кінцевого пристрою. Це пояснює, як працює частина командного центру системи домашньої автоматизації.

Виконавча частина системи виконує фізичні дії на основі інформації, переданої через бездротову мережу. Як показано на рис.2.3, ця частина, як правило, являє собою вузол бездротового датчика, підключений до серводвигуна, плати керування освітленням з лампочкою та акумулятора для забезпечення живлення [18].

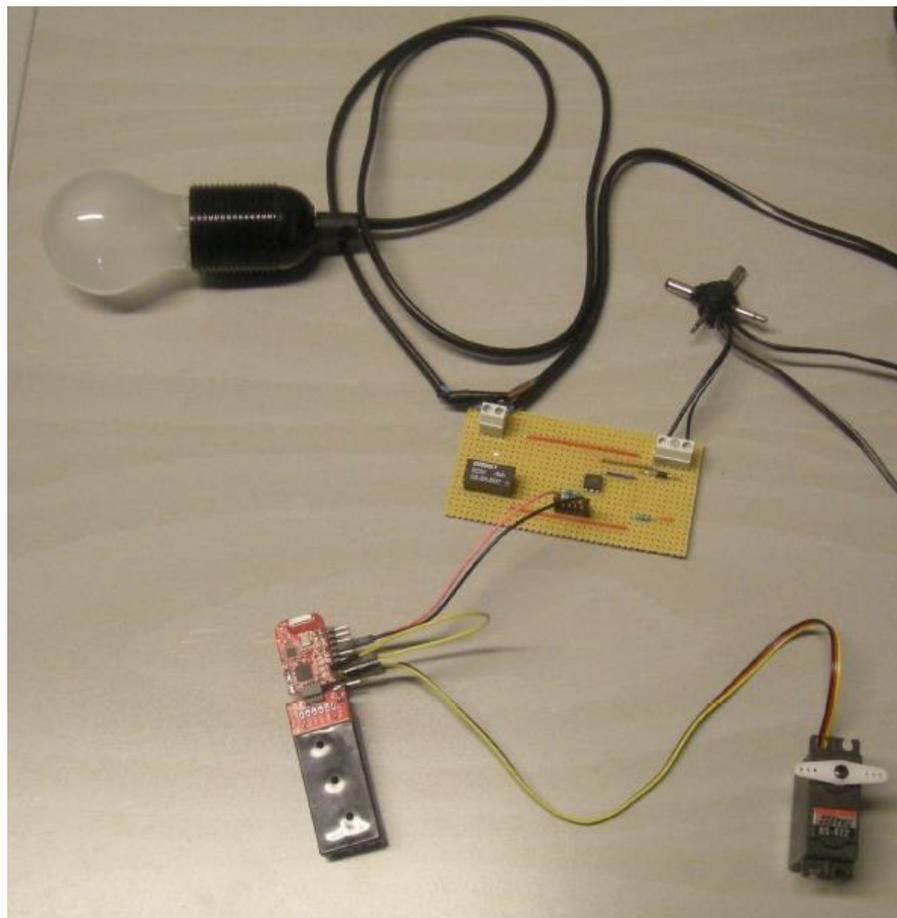


Рис.2.3. Виконавча частина системи домашньої автоматизації

Щойно бездротові дані надходять на радіопередавач кінцевого пристрою, вони надсилаються до мікроконтролера MSP430F2274 через інтерфейс SPI. У цей момент мікроконтролер перевіряє, чи є отримана інформація дійсною командою, і якщо вона правильна, він виконує дію, визначену в програмному забезпеченні.

Серводвигун, що використовується в цій роботі, - це Hitec HS-422 - стандартний серводвигун класу "люкс". Поєднуючи цей двигун з бездротовими пристроями, можна керувати системою опалення або системою зрошення будинку бездротовим способом. Коли до мікроконтролера надходить правильний байт, значення лічильника таймера оновлюється, робочий цикл серводвигуна змінюється, і двигун повертається в потрібному напрямку.

Плата керування освітленням складається з оптопари LTV4N35, реле GS SH-205T та світлодіода. Кінцевий пристрій підключений до цієї плати, він має можливість вмикати або вимикати світло за допомогою бездротових команд, що надходять від точки доступу. Фактично, реле може перемикає набагато вищі напруги та струми, необхідні для світлодіода. Це означає, що світлодіод можна легко замінити домашнім освітленням. Це підсумовує другу частину системи автоматизації.

Тепер можна описати, як приклад застосування працює в реальності. Для перевірки функціональності всієї системи було проведено кілька тестів. Один з тестів був проведений таким чином, що користувач говорить у зовнішній мікрофон, кажучи «Двигун ліворуч». Потім програма розпізнавання мовлення обробляє слово. Потім ПК надсилає командний байт '0x47' до бездротового вузла, підключеного до ПК. Звідти команда буде надіслана по радіо до бездротового вузла, який керує кількома пристроями, такими як двигун та освітлення. Після отримання команда обробляється за допомогою оператора switch case, який змінює шпаруватість сигналу широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Нарешті, двигун повертається ліворуч незалежно від свого попереднього положення. Якщо цей двигун буде підключено до клапана, він вмикатиме та вимикатиме систему зрошення.

## 2.2.2 Бездротовий інструмент розробки eZ430-RF2500

Для бездротового зв'язку між командним центром та виконавчим механізмом було використано засіб розробки eZ430-RF2500, вироблений компанією Texas Instruments. Інструмент розробки включає дві цільові плати eZ430-RF2500T, один USB-інтерфейс налагодження eZ430-RF та один акумуляторний блок типу AAA з платою розширення, як показано на рис.2.4. eZ430-RF2500 також має 21 доступний контакт розробки, два контакти загального призначення для цифрового введення/виведення (GPIO), підключені до зеленого та червоного світлодіодів для візуального зворотного зв'язку, та кнопку переривання для зворотного зв'язку користувача [19].

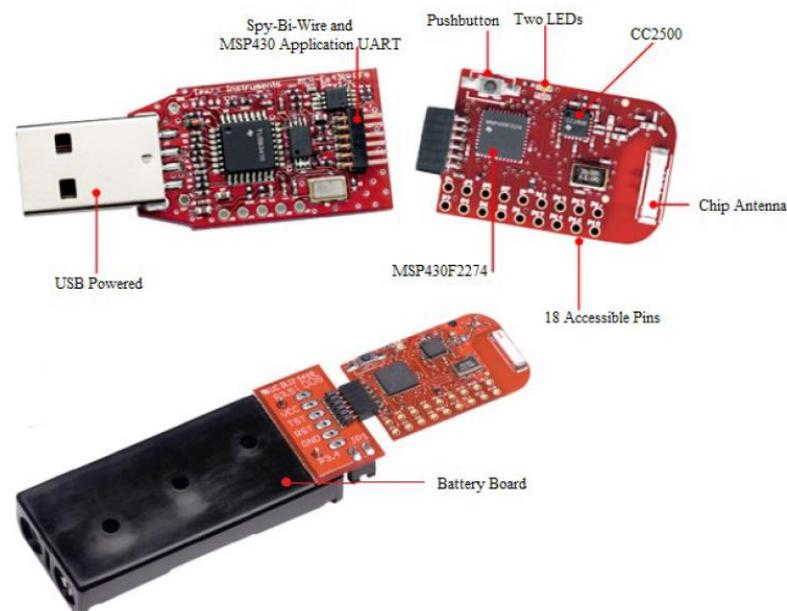


Рис.2.4. Інструмент бездротової розробки eZ430-RF2500

Цільова плата, підключена до ПК через інтерфейс налагодження USB, називається точкою доступу. Вона надсилає та отримує дані з ПК за допомогою UART програми MSP430 як готової бездротової системи. Інша цільова плата називається кінцевим пристроєм і підключена до плати акумулятора. Кінцевий пристрій також підключений до плати керування двигуном та світлом.

Кожна цільова плата має власний мікроконтролер MSP430F2274 та бездротовий приймач-передавач CC2500 2,4 ГГц. Крім того, більшість виводів MSP430F2274 доступні за допомогою розпіновки на платах. Функціональність цих виводів наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1.

## Функціональність виводів

| № | Функції                              | Опис  |
|---|--------------------------------------|---|
| 1 | GND                                  | Наземний орієнтир   |
| 2 | VCC                                  | Напруга живлення  |
| 3 | P2.0/ACLK/A0/OA0I0                   | Загальний цифровий вхід/вихід / вихід ACLK/ АЦП10, аналоговий вхід A0   |
| 4 | P2.1 / TAINCLK / SMCLK / A1 / A0O    | Вивід цифрового вводу/виводу загального призначення/ АЦП10, аналоговий вхід A1<br>Таймер_A, тактовий сигнал на INCLK, сигнал SMCLK вихід  |
| 5 | P2.2 / TA0 / A2 / OA0I1              | Вивід цифрового вводу/виводу загального призначення / АЦП10, аналоговий вхід A2<br>Таймер_A, захоплення: вхід CCI0B/прийом BSL, порівняння: вихід OUT0                            |
| 6 | P2.3/TA1/A3/VREF-/VeREF-/OA1I1/ OA1O | Вивід цифрового вводу/виводу загального призначення / Timer_A, захоплення: вхід CCI1B, порівняння: вихід OUT1 / ADC10, аналоговий вхід A3 / вихід/вхід негативної опорної напруги |
| 7 | P2.4/TA2/A4/VREF+/VeREF+/OA1I0       | Вивід цифрового вводу/виводу загального призначення/таймер А, порівняння: вихід OUT2/ АЦП10, аналоговий вхід A4/вихід/вхід позитивної опорної напруги                             |
| 8 | P4.3/TB0/A12/OA0O                    | Вивід цифрового вводу/виводу загального призначення / аналоговий вхід A12/Timer_B АЦП10, захоплення: вхід CCI0B, порівняння: вихід OUT0   |

Продовження таблиці 1.1.

## Функціональність виводів

|    |                          |  |
|----|--------------------------|--|
| 9  | P4.4/TB1/A13/OA1O        | Вивід загального цифрового вводу/виводу/аналоговий вхід АЦП10 A13/ Таймер_В, захоплення: вхід СС11В, порівняння: вихід OUT1                            |
| 10 | P4.5/TB2/A14/OA0I3       | Вивід загального цифрового вводу/виводу/аналоговий вхід A14/Timer В, порівняння: вихід OUT2  |
| 11 | P4.6 / TBOUTH/A15/ OA1I3 | Вхід A15/ Таймер_В загального призначення для цифрового вводу/виводу/аналогового АЦП10, перемикання всіх виходів ТВ0 - ТВ3 на високий імпеданс         |
| 12 | GND                      | Наземний орієнтир  |
| 13 | P2.6/XIN (GDO0)          | Універсальний цифровий контакт вводу/виводу/Вхідний термінал кварцового генератора   |
| 14 | P2.7/XOUT (GDO2)         | Вихідний термінал кварцового генератора загального призначення для цифрового введення/виведення  |
| 15 | P3.2/UCB0SOMI/UCB0SCL    | Вихід/вхід головного/ведомого виводу загального призначення USCI_B0 в режимі SPI, тактова частота SCL I2C в режимі I2C                                 |
| 16 | P3.3 / UCB0CLK / UCA0STE | Вхід/вихід цифрового вводу/виводу загального призначення USCI_B0 для тактової частоти / увімкнення передачі підлеглого сигналу USCI_A0                 |
| 17 | P3.0/UCB0STE/UCA0CLK/A5  | Вивід загального цифрового вводу/виводу/увімкнення передачі підлеглого сигналу USCI_B0/вхід/вихід тактової частоти USCI_A0 / АЦП10, аналоговий вхід A5 |
| 18 | P3.1/UCB0SIMO/UCB0SDA    | Загальний цифровий ввід/вивід / вхід/вихід USCI_B0 ведомого пристрою в режимі SPI, дані SDA I2C в режимі I2C   |

Мікроконтролер MSP430F2274 використовується для застосувань з наднизьким енергоспоживанням і підтримує багато режимів роботи з низьким енергоспоживанням. Ці режими дозволяють мікроконтролеру активувати лише необхідні апаратні блоки всередині нього, щоб заощаджувати енергію.

Для багатьох апаратних блоків синхронізації можна використовувати різні джерела тактової частоти, щоб користувачький застосунок міг вибрати той, який найкраще відповідає його/її вимогам. Гарним прикладом є використання ШІМ та радіочастотного зв'язку. Тут система синхронізації використовується настільки ефективно, що мінімальна потужність використовується для генерації ШІМ за допомогою таймера. У застосунку мікроконтролер завжди перебуває в режимі сну, доки не відбудеться переривання в модулі SPI. Коли на радіочастотному чіпі отримується байт, мікроконтролер прокидається, обробляє команду, оновлює лічильник таймера та повертається в режим сну. Все це відбувається за дуже короткий проміжок часу, щоб максимізувати термін служби батареї. Поки мікроконтролер знаходиться в режимі сну, ШІМ безперервно генерується для підтримки положення двигуна. Можливі режими низького енергоспоживання та відповідна інформація про тактування мікроконтролера представлені в табл.2.2.

Таблиця 2.2.

## Режими низького енергоспоживання для MSP430F2274

| Режим    | Стан процесора та тактової частоти  |
|----------|---|
| Активний | Процесор активний, усі ввімкнені тактові частоти активні.   |
| LPM0     | CPU, MCLK вимкнено, SMCLK, ACLK активні.  |
| LPM1     | CPU, MCLK вимкнено. DCO та генератор постійного струму вимкнено, якщо DCO не використовується для SMCLK. ACLK активний. |
| LPM2     | CPU, MCLK, SMCLK, DCO вимкнено. Генератор постійного струму залишається ввімкненим. ACLK активний.                      |
| LPM3     | CPU, MCLK, SMCLK, DCO вимкнено. Генератор постійного струму вимкнено. ACLK є активним.                                  |
| LPM4     | Процесор та всі тактові частоти вимкнено.   |

**CC2500.** CC2500 – це мікросхема приймача-передавача з низьким енергоспоживанням. Це означає, що мікросхема діє як передавач, так і приймач з низьким споживанням струму. Вона є частиною комплекту бездротової розробки eZ430-RF2500 та взаємодіє з мікросхемою MSP430F2274 через інтерфейс SPI.

Діапазон частот становить від 2400 МГц до 2483,5 МГц.

Крім того, швидкість передачі даних налаштовується від 1,2 до 500 кбод. Таким чином, споживання струму можна зменшити для застосувань, які не потребують високошвидкісної передачі, шляхом зниження швидкості передачі даних. Крім того, коефіцієнт помилок пакетів становить максимум 1% при використанні швидкості передачі 2,4 кбод.

CC2500 підтримує просту обробку пакетів, буферизацію даних, пакетну передачу, чітку оцінку каналу, індикацію якості з'єднання та функцію пробудження по радіо. Вона має 64-байтову передачу (Tx) та прийом (Rx) за принципом «перший прийшов, перший вийшов» (FIFO). Додаткову інформацію можна знайти у табл.2.3.

Таблиця 2.3.

## Основні характеристики CC2500

|   |                   |
|---|-------------------|
| Параметрика   | CC2500            |
| Частота (мін.)  | 2400MHz           |
| Частота (макс.)                                       | 2483.5MHz         |
| Тип пристрою  | Приймач-передавач |
| Швидкість передачі даних (макс.) (кбіт/с)             | 500               |
| Робоча напруга (мін.) (В)                             | 1.8               |
| Робоча напруга (макс.) (В)                            | 3.6               |
| Струм прийому (найнижчий) (мА)                        | 13.3              |
| Час пробудження (PD-->RX/TX) (США)                    | 240               |
| Методи модуляції                                      | OOK, 2-FSK, GFSK  |
| Чутливість (найкраща) (дБм)                           | -104              |
| Потужність передавача (макс.) (дБм)                   | 1                 |
| Програмована вихідна потужність у діапазоні від (дБм) | -30 до 1          |
| Підключення антени                                    | Диференціал       |

На рис.2.5 показано блок-схему CC2500. CC2500 оснащений приймачем низької проміжної частоти (ПЧ). Цей прийнятий радіочастотний сигнал потім

посилюється малошумовим підсилювачем (LNA). Після цього він перетворюється вниз на I та Q складові проміжної частоти. На ПЧ сигнали I/Q оцифровуються АЦП. Автоматичне регулювання посилення (АРП), точна фільтрація каналів, демодуляція, синхронізація бітів/пакетів виконуються на цифровій формі сигналу.

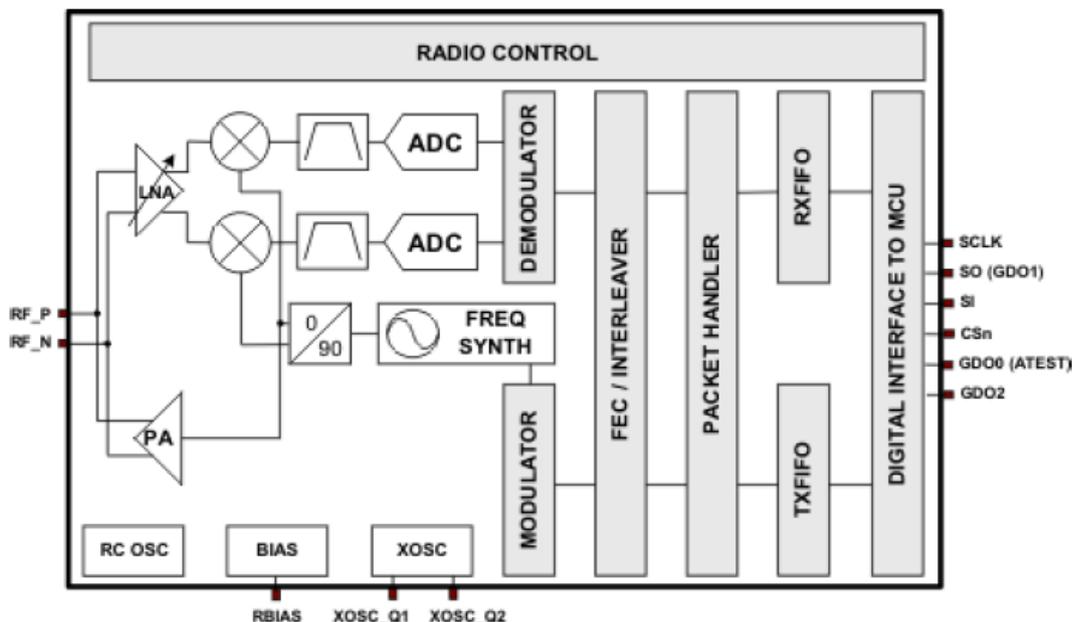


Рис.2.5. Блок-схема CC2500

Передавач CC2500 базується на прямому синтезі радіочастоти. Кристал, підключений до XOSC\_Q1 та XOSC\_Q2, забезпечує опорну частоту для синтезатора, а також тактові частоти АЦП приймача та цифрових компонентів.

Інтерфейс SPI використовується для конфігурації мікросхеми та доступу до буфера даних. CC2500 також включає підтримку конфігурації каналів, обробки пакетів та конфігурації буферизації даних [20].

#### Формати модуляції

CC2500 підтримує формати модуляції амплітуди, частоти та фазового зсуву. Бажаний формат модуляції встановлюється в регістрі MDMCFG2.MOD\_FORMAT.

Зв'язок SPI з CC2500. Чіп CC2500 є веденим пристроєм SPI-каналу. Конфігурації для бездротового зв'язку завантажуються в чіп з MSP430F2274, тому потрібна лише одна прикладна програма. Для зручності використання Texas Instruments надала розробникам бібліотеку коду. У цій роботі використовуються

переваги цієї бібліотеки та готових функцій у ній. Кожна з цих функцій коротко пояснюється в табл.2.4.

Таблиця 2.4.

## Функції регістрів SPI, що надаються бібліотекою CC2500

| Функції   | Описи  |
|---|--|
| недійсне налаштування TI_CC_SPI (недійсне)  | Налаштовує призначений інтерфейс для роботи як порт SPI та ініціалізує його  |
| недійсний реєстр запису TI_CC_SPI (адреса символу, значення символу)                          | Записує "значення" до одного регістра конфігурації за адресою "addr".  |
| void TI_CC_SPI Регістр пакетної запису (адреса символу, буфер символу, кількість символів)    | Записує значення до кількох регістрів конфігурації, перший регістр знаходиться за адресою "addr". Перший байт даних знаходиться за адресою "buffer", і як addr, так і buffer послідовно збільшуються на одиницю (відповідно в CC2500 та MSP430F2274), доки не буде виконано записів "count". |
| Реєстр читання char TI_CC_SPI (адреса символу)  | Зчитує один регістр конфігурації за адресою "addr" та повертає зчитане значення  |
| void TI_CC_SPI Регістр зчитування пакетів (адреса символу, буфер символу, кількість символів) | Зчитує кілька регістрів конфігурації, перший регістр знаходиться за адресою "addr". Зчитані значення послідовно заносяться, починаючи з адреси "buffer", доки не будуть зчитані регістри "count".  |
| Стан читання char TI_CC_SPI (адреса символу)  | Спеціальна функція читання для читання регістрів стану. Зчитує регістр стану за адресою регістра "addr" та повертає зчитане значення.  |
| void TI_CC_SPI Стробоскоп (символьний стробоскоп)   | Спеціальна функція запису для запису в регістри стробоскопа команд. Записується в стробоскоп за адресою "addr".  |

Для SPI-з'єднання радіочастотний чіп має вхід тактової частоти (SCLK), вихід даних (SO), вибір чіпа (CSn) та вхід даних (SI). З'єднання контактів між CC2500 та MSP430F2274 показано на рис.2.5.

Окрім з'єднання SPI, між цими двома мікросхемами також є контакти переривання. Ці контакти переривання дозволяють використовувати режими наднизького енергоспоживання. Щойно CC2500 отримує дані для передачі мікроконтролеру, він встановлює контакт переривання у логічний рівень «високий», щоб MSP430F2274 міг безпосередньо перейти до процедури обслуговування переривань (ISR), поки він перебуває в сплячому режимі.

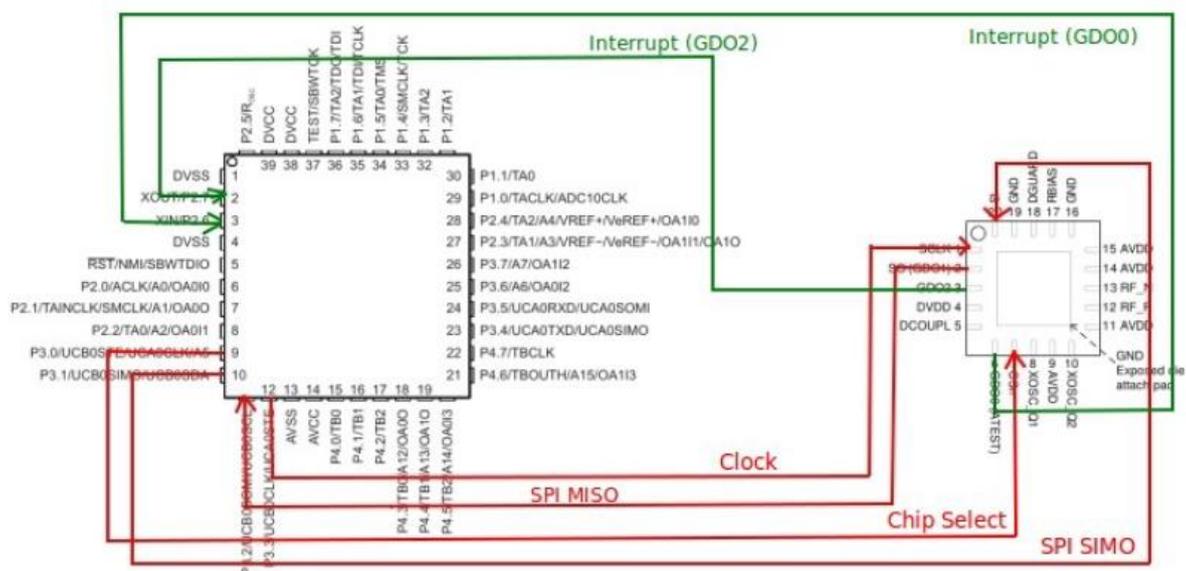


Рис.2.6. З'єднання SPI та контактів переривання між CC2500 та MSP430F2274

Також у на рис.2.6 наведено схематичне зображення SPI-з'єднання між MSP430F2274 та CC2500.

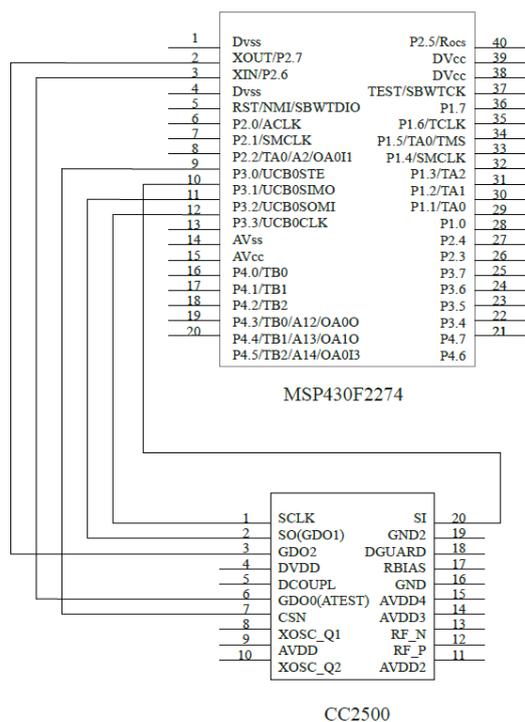


Рис.2.7 Схематичне зображення SPI-з'єднання між MSP430F2274 та CC2500

### 2.2.3 Аналіз особливостей керування серводвигуном

Як серводвигун, що представляє двигун систем опалення та зрошення, було обрано стандартний серводвигун класу «люкс» Hitec HS-422. Двигун працює з напругою від 4,8 В до 6 В. На рис.2.8 показано використаний серводвигун. Двигун керується піковим прямокутним імпульсом 3,3 В.

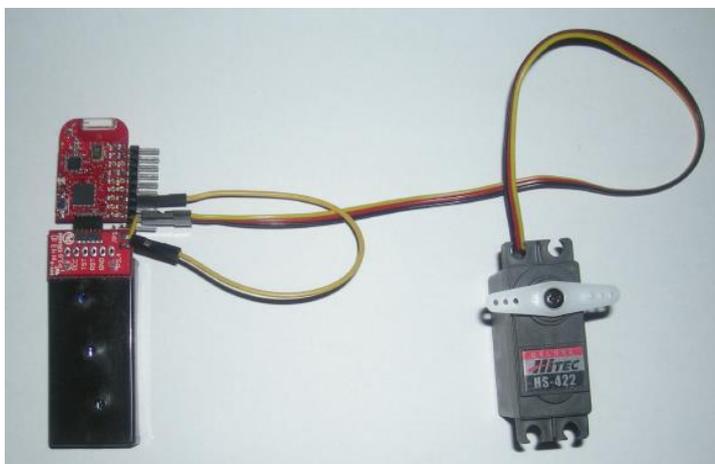


Рис.2.8. Серводвигун Hitec HS-422, підключений до кінцевого пристрою

Для керування серводвигуном використовуються різні робочі цикли в діапазоні від 0,9 мс до 2,1 мс. Період часу для кожного імпульсу становить 20 мс. Більше інформації про двигун можна знайти в табл.2.5.

Таблиця 2.5.

## Основна інформація про серводвигун Hitec HS-422

|                      |   |
|----------------------|---|
| Модуляція:           | Аналоговий  |
| Крутний момент:      | 4.8V: 45.8 oz-in (3.30 kg-cm)<br>6.0V: 56.9 oz-in (4.10 kg-cm)                                |
| Швидкість:           | 4.8V: 0.21 sec/60°<br>6.0V: 0.16 sec/60°  |
| Вага:                | 1.60 oz (45.5 g)  |
| Розміри:             | Довжина: 40,4 мм (1,59 дюйма)<br>Ширина: 19,6 мм (0,77 дюйма)<br>Висота: 36,6 мм (1,44 дюйма) |
| Тип двигуна:         | 3-полюсний  |
| Тип шестерні:        | Пластик   |
| Обертання/Підтримка: | Втулка  |
| Цикл імпульсів:      | 20 мс   |
| Ширина імпульсу:     | 900-2100 $\mu$ s  |

Timer\_A мікроконтролера MSP430F2274 використовувався як ШІМ-генератор для керування двигуном. Таймер має 16-бітний регістр таймера, і його значення можна збільшувати або зменшувати для досягнення бажаного робочого циклу. Джерелом тактової частоти було обрано 1,2 МГц SMCLK без будь-якого попереднього дільника [21]. Таймер було налаштовано на багаторазовий відлік від нуля до значення регістра порівняння. Значення регістра порівняння було розраховано для досягнення періоду таймера 20 мс наступним чином:

Спочатку тривалість одного тактового циклу (T) була знайдена як:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^6} \rightarrow T = 0,833 \mu s \quad (2.1)$$

Потім значення регістра було розраховано так:

$$\frac{2 \cdot 10^{-2}}{8,332 \cdot 10^{-7}} \approx 24009 \quad (2.2)$$

Тривалість імпульсу в періоді таймера безпосередньо пов'язана з кутом положення двигуна.

Тривалість імпульсу двигуна Hitec повинна становити 0,9 мс для 0 градусів, 1,5 мс для 90 градусів та 2,1 мс для 180 градусів. Значення порівняння таймера можна розрахувати за допомогою рівнянь (24) та (25). Правильні значення для 0,9 мс, 1,6 мс та 2,1 мс були розраховані як 1080, 1800 та 2520 відповідно. Значення для будь-якого кута також можна розрахувати за допомогою тих самих рівнянь.

Три контакти на кінцевому пристрої використовувалися для підключення двигуна. Як видно на рис.2.9, ці контакти: P1 для землі, P2 для живлення та P6 для підключення ШІМ-сигналу.

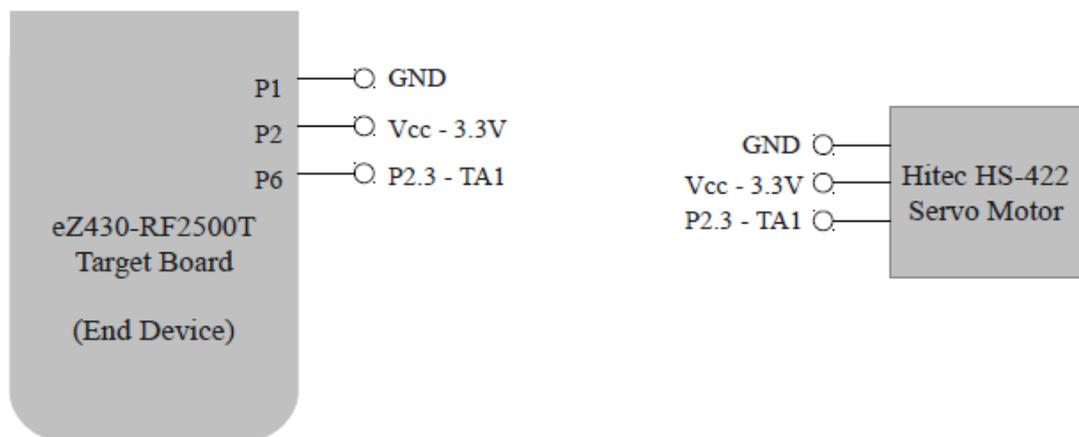


Рис.2.9 З'єднання контактів між кінцевим пристроєм та двигуном

## 2.2.4 Огляд плати керування освітленням

У контексті цієї роботи, окрім керування серводвигуном, також було реалізовано керування освітленням для домашньої автоматизації, рис.2.9. Для реалізації цього було розроблено схему з оптопарою та реле. Реле на схемі здатне

перемикати струм до 2А. Загальна функціональність системи керування освітленням та деталі схеми коротко пояснюються в цьому розділі.



Рис.2.10 Плата керування освітленням, підключена до кінцевого пристрою та лампочки

Мета цієї схеми — посилити вихідний сигнал 3,3 В бездротового вузла eZ430-RF2500 до 220 В для комутації. Оскільки це значне посилення, пряме з'єднання між реле світла та мікроконтролером неможливе. Навіть якби це було можливо, мікроконтролер потрібно ізолювати від високої напруги та електрорушійної сили (ЕРС) реле. З цих двох причин між мікроконтролером та релейною частиною було розміщено схему оптопари.

У схемі оптопари використовується оптопара загального призначення типу LTV4N35. Всередині оптопари є дві різні частини. З вхідної сторони знаходиться світлодіод, який діє як оптичний передавач, а з іншого боку — фототранзистор або світловий симистор, який діє як оптичний приймач. Між ними є прозорий бар'єр, який запобігає електричному струму, але дозволяє поширенню світла [22].

Коли на вхідному боці є напруга, внутрішній світлодіод стає активним і миттєво запускає фототранзисторний приймач. Це дозволяє струму протікати по вихідному боці.

Струм, що протікає через вихід оптопари, проходить через схему реле для його активації. Код виробника реле, що використовується в цій роботі, - GS-SH-205T. Реле працюють як електрично керовані перемикачі. Вони дозволяють керувати пристроями, що працюють з більшою потужністю, за допомогою перемикачів з меншою потужністю. Реле складається з двох незалежних електричних кіл. Одна з них містить лише електромагніт, а інша - перемикач, який може бути активований цим електромагнітом. Коли струм протікає по вхідному боці, він рухає електромагніт. Потім електромагніт притягує якор у реле вниз, і друге коло замикається. Таким чином, друге коло використовується для ввімкнення світла в цій роботі. Коли електромагніт знеструмлюється, якор підтягується вгору, і друге коло розмикається.

Схема розробленої схеми представлена на рис.2.11. Вивід GPIO мікросхеми MSP430F22274 підключений до входу оптопари через резистор 150 Ом. Цей вивід GPIO спочатку налаштовано на низький стан і на схемі представлено перемикачем J1. Після процесу розпізнавання мовлення на MSP430F22274 надходить команда «Ввімкнути світло», і вивід GPIO встановлюється на високий логічний рівень. Таким чином, світлодіод всередині оптопари вмикається сигналом 3,3 В. Оптичний приймач виявляє випромінювання світла та активує схему на своєму боці. У цей момент реле вмикається, і внутрішній електромагніт активується. Друга схема всередині реле спрацьовує під дією цього магнітного поля, і світло вмикається. Аналогічний процес відбувається, коли мікроконтролер отримує команду «Ввімкнути світло».

Нарешті, світло вимикається, коли реле вимикається.

Функціональність D1 у цій схемі призначена лише для захисту. Щойно реле вимикається, електромагніт має тенденцію створювати високий сплеск напруги. Якщо діод відсутній, вихід оптопара може бути під загрозою. Оскільки діод пропускатиме через себе всю напругу понад 0,7 вольт, оптопара буде захищена.

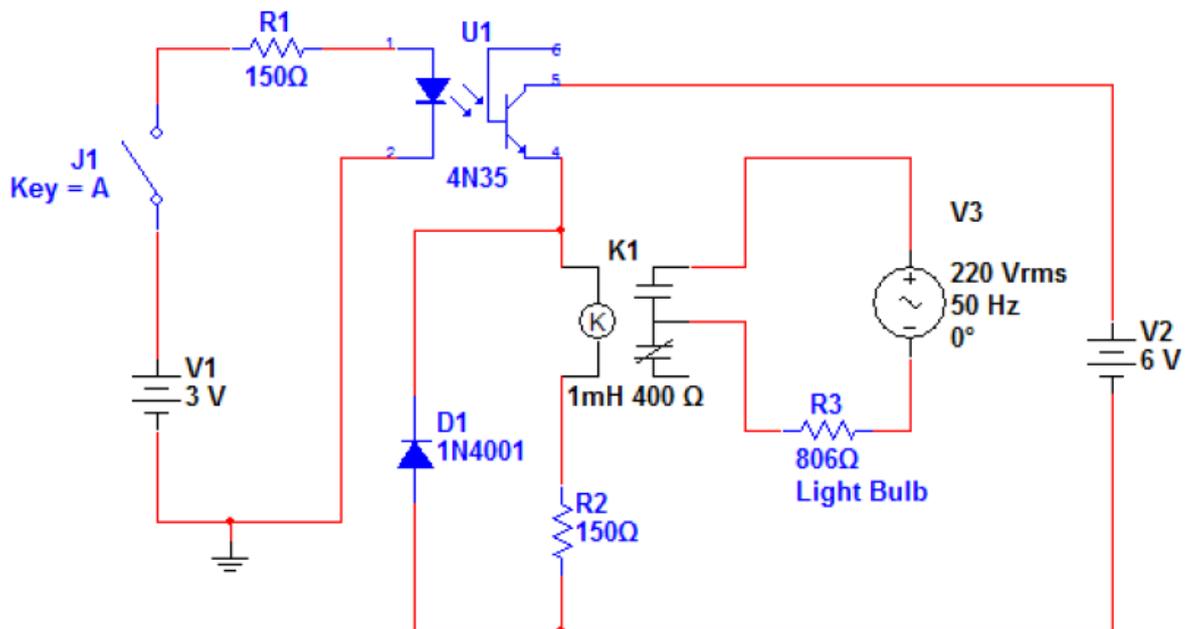


Рис.2.11 Схематичне зображення плати керування освітленням

### 2.3 Опис програмного забезпечення автоматизованої системи

Як було описано раніше, всю систему можна розділити на дві основні частини. Командний центр та виконавчу частину. Обидві вони працюють під власним програмним забезпеченням.

На стороні командного центру є програмне забезпечення Java для розпізнавання мовлення та програмне забезпечення точки доступу для бездротового зв'язку. Бездротовий виконавчий пристрій називається кінцевою точкою та має інші функції, ніж точка доступу. У цьому підрозділі описано все це програмне забезпечення з поясненнями алгоритмів та представлено блок-схеми.

Розпізнавання мовлення. Програмне забезпечення Java на ПК постійно отримує аудіодані із зовнішнього мікрофона та виконує розпізнавання. На основі цих результатів воно надсилає повідомлення на пристрій точки доступу для передачі повідомлення по радіочастоті на кінцевий пристрій [23].

Додаток Java залежить від програмного засобу розпізнавання мовлення під назвою CMU Sphinx. CMU Sphinx пропонує два альтернативні рішення для розпізнавання мовлення. Перший – Sphinx, який орієнтований на пристрої з

високими обчислювальними можливостями. Другий називається PocketSphinx і більше підходить для вбудованих комп'ютерів або портативних пристроїв, таких як мобільні телефони або планшети. У роботі Sphinx 4 використовується для розпізнавання мовлення, оскільки обчислювальної потужності ПК достатньо. Цей проект з відкритим кодом дозволяє користувачам завантажувати код на свої комп'ютери та створювати власні проекти на його основі. Хоча Sphinx пропонує дуже зручний спосіб розпізнавання мовлення, його необхідно правильно налаштувати, оскільки алгоритми на основі прихованої моделі Маркова залежать від різних параметрів та опцій конфігурації.

**Sphinx 4.** Програмне забезпечення sphinx використовує «фони», «дифони» та «сенони» для розуміння структури мовлення. Мова – це безперервний потік, який включає як динамічні, так і досить стабільні стани. Фони – це класи звуків, визначені в послідовності станів. Розуміння слів здійснюється на основі фонів, але це не єдиний критерій у цьому рішенні.

Властивості акустичної форми хвилі фону можуть значно відрізнятись залежно від його контексту, мовця, стилю мовлення тощо. Ці перехідні області називаються дифонами, які є частинами між двома послідовними фонами. Переходи між словами є більш інформативними, ніж стабільні області.

Сенони – це кілька фонів, що розглядаються в контексті. Залежність сенонів від контексту є складнішою, ніж просто передування та наступність за фоновим зв'язком. Часто сенони складаються з трьох або чотирьох фонів. Окрім цього, сенон містить ймовірності випромінювання потоку НММ.

Існують також субфонетичні одиниці, що представляють підстани фону. Перша частина залежить від попереднього телефону, середня — стабільна, а остання — від наступного телефону.

Як зазначалося раніше, Sphinx використовує фони, дифони та субфони для розпізнавання слова. Якщо мова, що розглядається, має 40 фонів, і кожне слово в середньому складається з 7 фонів, то для побудови має бути  $40 \times 7$  слів. Але людина, яка розмовляє мовою, використовує максимум 20 000 слів, тому існує певний пул

слів, що робить розпізнавання більш можливим для певної мови [24]. У цій роботі пул слів обмежений, щоб мінімізувати ймовірність неправильних рішень.

Конфігурація Sphinx 4:

Sphinx 4 використовує файл конфігурації (Lamere Kwok, Gouvea, Raj, Singh, Walker & Wolf 2003). Цей файл містить такі конфігурації:

- конфігурація розпізнавача слів;
- конфігурація декодера;
- конфігурація лінгвіста;
- конфігурація граматики (Тут вказуються очікувані слова/речення);
- конфігурація словника (Це пул слів та їх написання);
- конфігурація акустичної моделі (Тут вказується частота дискретизації);
- конфігурація менеджера підрозділів;
- конфігурація інтерфейсу;
- монітори.

Файл конфігурації детально пояснюється на веб-сторінці CMU Sphinx. Процес розпізнавання показано на рис.2.12.

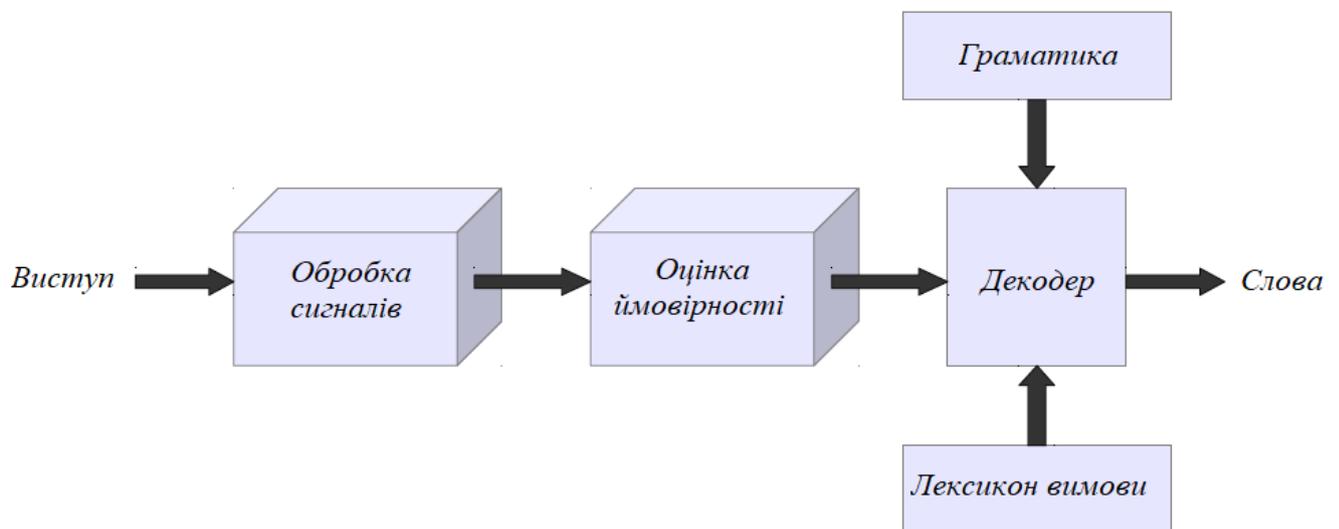


Рис.2.12. Блок-схема системи розпізнавання мовлення

Програмне забезпечення, по суті, бере форму хвилі, а потім розділяє її на частини за паузами мовлення, після чого намагається розпізнати, що сказано в кожній з частин, де немає пауз. Цей процес бере комбінацію всіх можливих слів і

намагається зіставити їх з аудіопотоком. Алгоритм намагається вибрати найкращий можливий алгоритм.

Однією з концепцій, що лежить в основі процесу розпізнавання Sphinx, є «ознаки». Ці ознаки – це просто числа, витягнуті з мовного кадру. Але ці числа мають певне значення, і кожне число використовується десь в алгоритмі. Кожен мовний кадр має довжину 10 мс, і з кожного кадру витягується 39 ознак. Витягнуті ознаки називаються «вектором ознак». Для вилучення вектора ознак необхідно виконати досить складний обчислювальний процес. Методи вилучення з аудіопотоку все ще є предметом дослідження.

Ще однією концепцією аудіопотоків є «модель». Це, по суті, математичний об'єкт, що складається із загальних атрибутів розмовного слова. На практиці модель – це найімовірніший вектор ознак, який представляє слово. Існує багато практичних питань, пов'язаних з моделями. Модель повинна відповідати відповідному слову на практиці, але це ніколи не буває повністю правдою. Наразі досліджуються способи вдосконалення моделей для їхньої відповідності практиці та усунення впливу змінних умов.

Використовуючи ознаки та моделі, Sphinx починає процес зіставлення. Порівняння всіх векторів ознак з усіма моделями, безумовно, займе величезну кількість часу, так що процес розпізнавання буде повністю непридатним для використання. Але на цьому етапі пошук оптимізовано завдяки багатьом удосконаленням. Використання НММ дозволяє програмному забезпеченню визначати наступні можливі кадри та скорочує час пошуку [25].

Моделі:

У розпізнаванні мовлення використовуються три моделі структури мовлення. Акустична модель, фонетичний словник та мовна модель. Механізм розпізнавання мовлення складається з цих трьох сутностей.

Акустична модель містить акустичні властивості сенона. Деякі акустичні моделі містять контекстно-незалежні моделі, такі як вектори ознак для кожного фону. З іншого боку, деякі моделі залежать від контексту. Ці моделі побудовані з сенонів з контекстом.

Фонетичний словник забезпечує зіставлення слів зі фонами. Зіставлення не завжди точне, оскільки іноді існує кілька варіантів вимови для деяких слів, а іноді такі варіанти вимови відповідають різним варіантам вимови. Словник — не єдиний засіб зіставлення слів зі фонами. Цей процес зазвичай виконується за допомогою алгоритму машинного навчання, який має складну функціональність.

Мовна модель обмежує пул слів певними можливостями. Тут модель використовує перевагу раніше розпізнаних слів, щоб визначити, яке може бути наступне можливе слово в послідовності. Цей метод значно зменшує процес зіставлення, виключаючи слова, яких немає в словнику.

Найпоширенішими мовними моделями, що використовуються на практиці, є *n*-грамні мовні моделі. Ці моделі містять статистику послідовностей слів. Другий тип моделей – це моделі мови зі скінченними станами, які визначають мовленнєві послідовності за допомогою автоматизації зі скінченними станами або іноді за допомогою ваг. Досягнення хорошої точності залежить від успіху механізму обмеження простору пошуку. Обмеження простору пошуку дуже важливе як з точки зору швидкості пошуку, так і точності результатів.

Java-додаток.

На рівні додатку програмне забезпечення спочатку зчитує визначені параметри конфігурації з XML-файлу. Цей файл містить усі необхідні попередньо визначені параметри та місця пошуку інформації у словнику для створення пулу слів. Наступний рядок використовується для створення менеджера конфігурації та зчитування вмісту XML-файлу:

```
cm = new
ConfigurationManager(MotorControl.class.getResource("motorcontrol.conf
ig.xml"));
```

Після цього необхідно отримати доступ до мікрофона. Sphinx 4 вже визначає клас мікрофона, тому користувач може легко створити об'єкт мікрофона таким чином:

```
Microphone microphone = (Microphone) cm.lookup("microphone");
```

Після завершення ініціалізації програма виведе наступний рядок, щоб вказати користувачеві можливі змістовні слова:

```
System.out.println("Say: ( Motor | Light ) ( Left | Right | Open | Close )");
```

Тут користувач може вибрати одне слово з кожної групи. Наприклад, «Двигун ліворуч», «Світло відкрито» або «Світло закрито» тощо. Якщо користувач скаже «Закрити ліворуч», програма проігнорує це та продовжить прослуховування.

Щоразу, коли виявляється значуща комбінація, програма відкриває файловий дескриптор на USB-пристрої та надсилає повідомлення. Розділ коду, який це робить, представлено нижче:

```
try
{
    FileOutputStream out = new FileOutputStream("/dev/ttyACM0");
    switch (resultText) {
        case "motor left":
            out.write('C');
            break;
        case "motor right":
            out.write('G');
            break;
        case "light open":
            out.write('L');
            break;
        case "light close":
            out.write('O');
            break;
        default:
            break;
    }
    out.close();
}
```

Тут можна помітити, що повідомлення, що надсилаються на пристрій точки доступу, є лише однобайтовими повідомленнями. За допомогою однобайтової команди можна керувати до 255 різними пристроями.

Блок-схема процесу розпізнавання мовлення проілюстрована на рис.2.12.

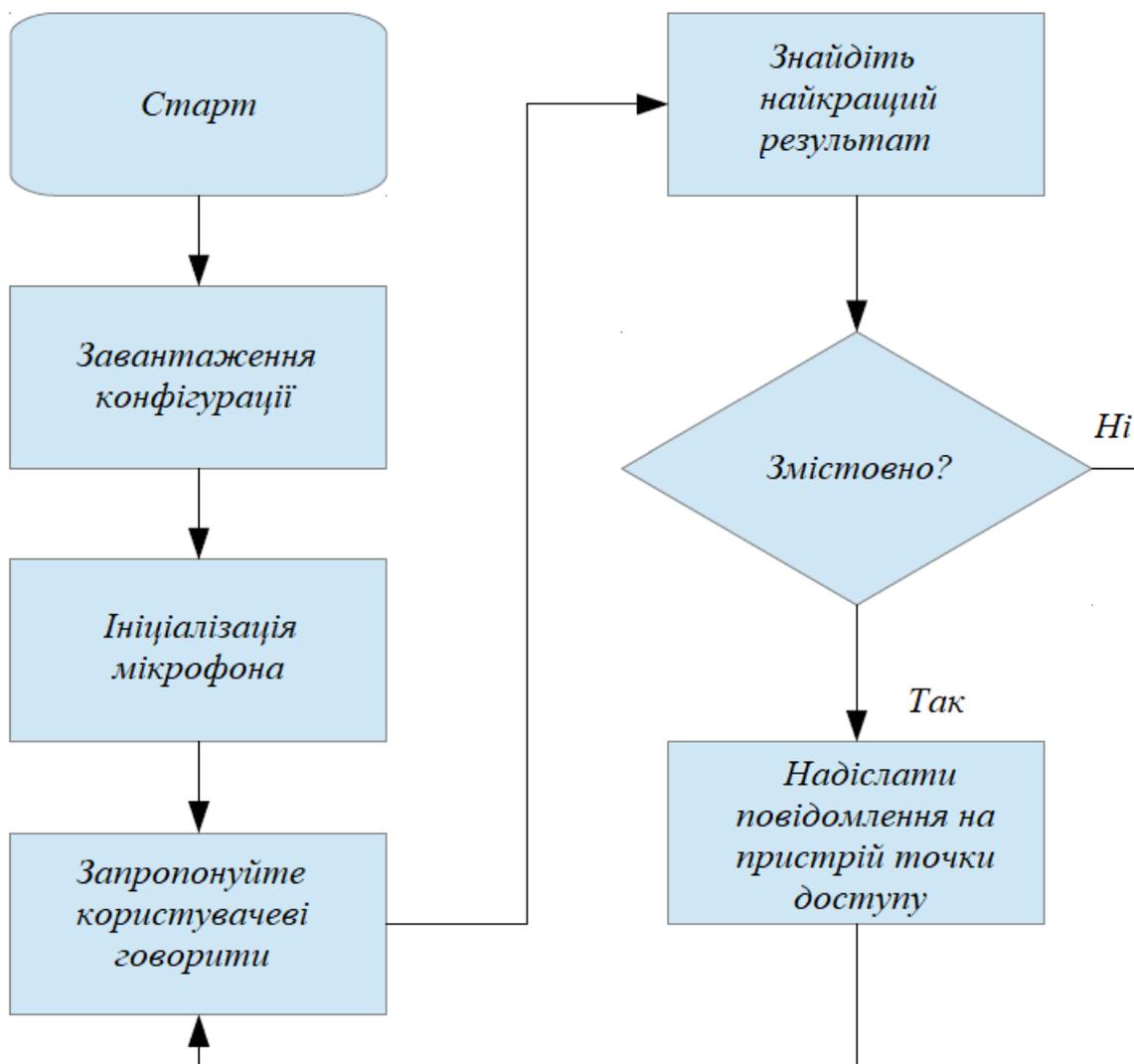


Рис.2.13. Блок-схема програми розпізнавання мовлення

**Ретрансляція точки доступу.** Програмне забезпечення, написане для цієї частини, просте. Точка доступу переходить у режим сну одразу після активації механізму переривання UART. Щойно буфер отримує дані, мікроконтролер прокидається та виконує передачу одного байта. Потім він повертається до режиму сну для наступного раунду.

Код всередині процедури переривання складається лише з кількох рядків:

```

__interrupt void USCI0RX_ISR(void)
{
    unsigned char uart_command;
    uart_command=UCA0RXBUF;
    // Build packet
    txBuffer[0] = 2;           // Packet length
    txBuffer[1] = 0x01;       // Packet address
    txBuffer[2] = uart_command; // Load the command
    RFSendPacket(txBuffer, 3); // Send value over RF
    while (!(IFG2&UCA0TXIFG)); // USCI_A0 TX buffer ready?
    UCA0TXBUF = uart_command; // TX -> RXed character
}

```

Блок-схема програмного забезпечення точки доступу представлена на наступному рис.2.13.

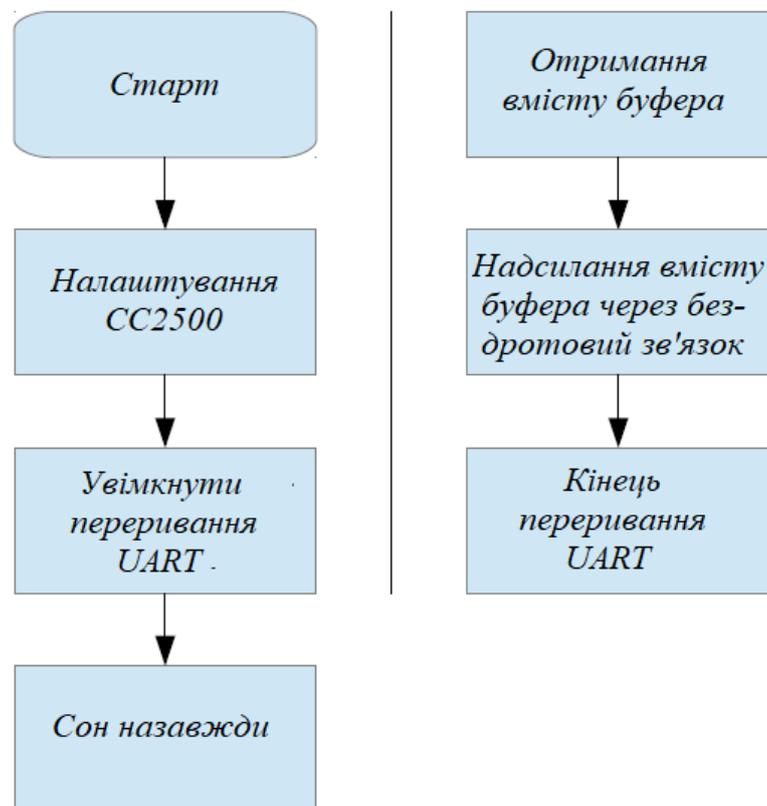


Рисунок 2.14. Блок-схема точки доступу. Переривання UART знаходиться праворуч

Перед увімкненням переривання UART необхідно налаштувати радіочіп. Параметри налаштовуються в окремому заголовковому файлі, а налаштування, що використовуються в цій системі, представлені в табл. 2.5. Ці параметри завантажуються в чіп за допомогою одного рядка коду.

```
writeRFSettings();
```

Таблиця 2.6.

## Обрана конфігурація для CC2500

|  |            |
|--|------------|
| Радіочастотний діапазон                    | 2,4 ГГц    |
| Швидкість передачі даних                   | 250 кбіт/с |
| Модуляція                                  | MKS        |
| Вихідна потужність радіочастотного сигналу | 0 дБм      |
| Рознос каналів                             | 199,95 кГц |

**Пристрій виконавчого механізму.** Пристрій виконавчого механізму також максимально довго перебуває в режимі сну та прокидається лише тоді, коли надходить запит на переривання від радіопередавача CC2500.

На пристрої виконавчого механізму вихід ШІМ ініціалізується перед переходом у режим сну. Як пояснювалося раніше, MSP430F2274 підтримує багато варіантів живлення, а режим сну, що використовується тут (LPM1), підтримує роботу джерела тактового сигналу ШІМ.

Щойно команда надходить через бездротовий радіозв'язок, CC2500 піднімає контакт у логічний рівень та запускає переривання. Потім MSP430F2274 прокидається та запитує отримані дані від приймача через SPI-з'єднання.

Після отримання даних повідомлення витягується та обробляється оператором перемикачів. Якщо повідомлення вказує на те, що світло слід увімкнути або вимкнути, перемикається лише контакт, а решту виконує схема реле. Якщо повідомлення вказує мікроконтролеру повернути двигун ліворуч або праворуч, то значення переповнення ШІМ відповідно коригуються.

Апаратна частина серводвигуна вже виготовлена таким чином, що реагує на інформацію про обертання від робочого циклу ШІМ. Блок-схема виконавчого пристрою показана на рис.2.15.

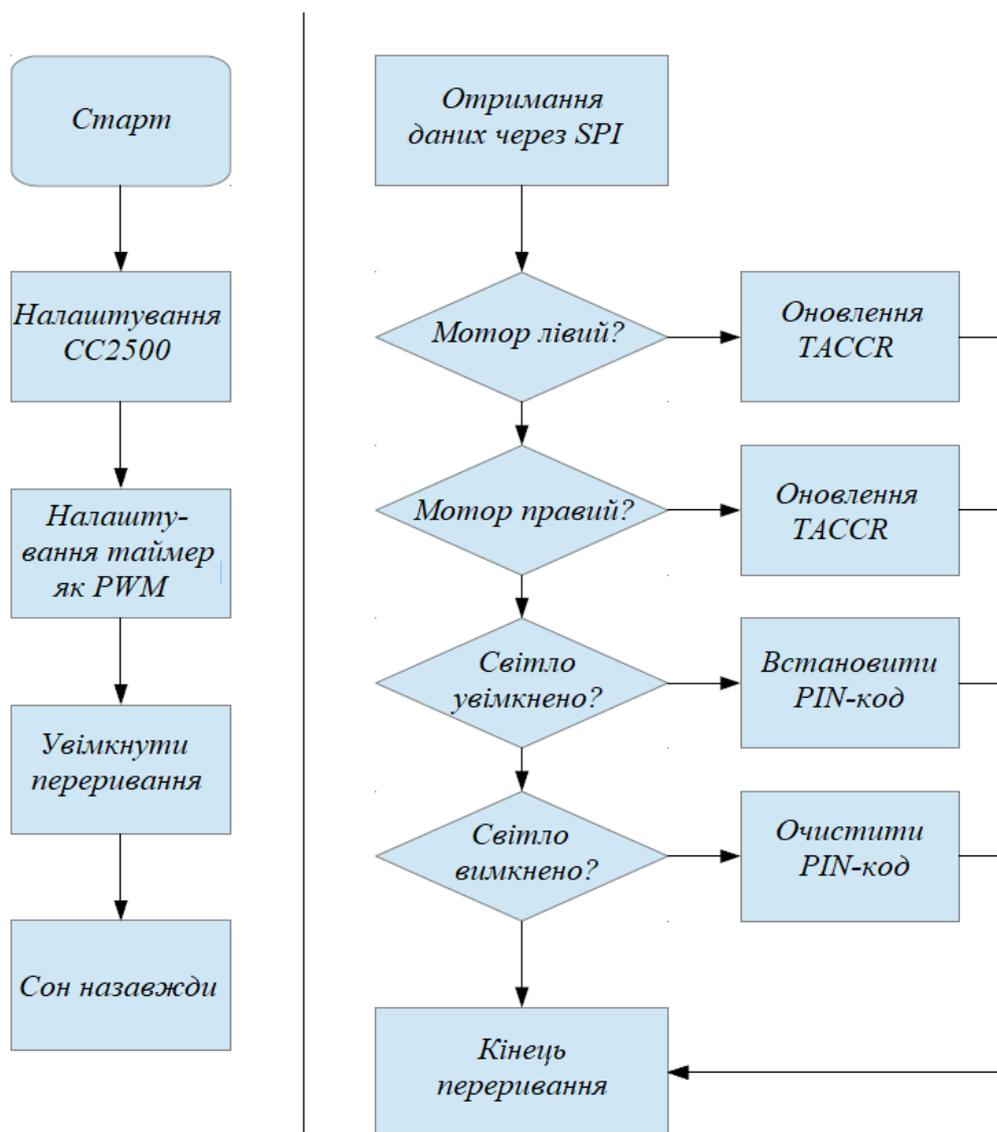


Рис.2.15. Блок-схема виконавчого механізму

Вимірювання RSSI. Для перевірки того, що бездротові вузли здатні охопити достатній діапазон зв'язку для домашньої автоматизації, було проведено деякі експерименти. Для реєстрації значень RSSI було написано просте тестове програмне забезпечення.

Немає потреби представляти блок-схему для вимірювань, оскільки вона містить лише один рядок коду. Після отримання радіопакета значення RSSI можна легко отримати за його повернутим значенням.

```
rss_i_val = RFReceivePacket(rxBuffer,&len);
```

Під час тестів цей байт надсилався на ПК через послідовне з'єднання та записувався.

## **РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СИСТЕМИ**

У цьому розділі представлені вимірювання та результати, стосовно системи, описаної в попередньому розділі. Спочатку наведено поточні вимірювання та обговорення, які порівнюються з ідеальними значеннями, наданими виробником. Далі наведено коефіцієнти помилок, пов'язані з розпізнаванням мовлення, і, нарешті, вимірювання RSSI як для приміщень, так і для вулиці нанесено на графіки.

### **3.1. Аналіз споживання струму бездротовим сенсорним вузлом**

Споживання струму бездротовим сенсорним вузлом було проаналізовано щодо станів компонентів схеми. У бездротових сенсорних вузлах важливо якомога довше тримати процесор і радіо в стані сну, оскільки термін служби батареї обмежений.

MSP430F2274 пропонує різні варіанти конфігурації живлення для задоволення різних потреб.

Він підтримує активний режим, режим сну та режим низького енергоспоживання (LPM). У режимах LPM працюють лише необхідні модулі тактової частоти, але не процесор. У LPM переривання можуть оброблятися в міру їх виникнення. Крім того, частоту процесора в активному режимі можна масштабувати, щоб вибрати оптимальну обчислювальну потужність [26].

Радіочіп CC2500 також пропонує активний режим та різні режими сну.

Вимірювання, представлені в цьому розділі, виконані в обох цих режимах у поєднанні з різними режимами живлення мікроконтролера. У табл.3.1 наведено значення вимірювань для робочої напруги 3,3 В.

Таблиця 3.1.

## Вимірювання споживання струму

| MSP430F2274 режим | Режим CC2500 | Поточний |
|-------------------|--------------|----------|
| – (~1 MHz)        | Активний     | 19.1 mA  |
| LPM1              | Активний     | 18 mA    |
| LPM1              | Відключений  | 1.6 mA   |
| LPM4              | Відключений  | 1.56 mA  |

Значення споживання енергії для LPM0, LPM2 та LPM3 не наведено в таблиці, оскільки значення вимірювань не так сильно відрізняються. Це пов'язано з потужністю, що споживається внутрішньо рештою пасивних компонентів на друкованій платі. Різниця в  $\mu\text{A}$  для режимів мікроконтролера маскується загальною споживаною потужністю друкованої плати. Фактично, споживання струму для MSP430F2274 може становити лише 300 нА.

У даній роботі мікроконтролер запускається в активному режимі, але потім, після етапу ініціалізації, він переходить у режим LPM1.

Як видно з табл.3.1, значення вимірювань, коли CC2500 активний, значно вищі. Ці результати дають краще розуміння, чому радіо слід використовувати лише тоді, коли це необхідно. З іншого боку, навіть якщо і радіо, і мікроконтролер будуть активні весь час, максимальне споживання енергії становить 19,1 мА, що все ще нижче порівняно з іншими існуючими комунікаційними пристроями. Ці вузли, вироблені TI, були розроблені для низького споживання енергії.

У цій роботі система, розроблена для домашньої автоматизації, використовує режим сну LPM1, а мікросхема CC2550 очікує отримання символу в активному режимі. Виміряний струм споживання для цього випадку становить 18 мА.

### 3.2. Точність розпізнавання мовлення на основі експериментальних результатів

У цьому розділі обговорюються коефіцієнти помилок процесу розпізнавання мовлення на основі експериментальних результатів. Тестові випадки включають три різні сценарії. У першому сценарії було протестовано коефіцієнт помилок лише для команди «мотор праворуч». Другий сценарій аналогічний, але він включає лише команду «мотор ліворуч». Нарешті, третій тест включає випадкову суміш обох команд.

Перший тестовий випадок було повторено 8 разів для покращення узгодженості результату. У кожному тесті повторювалася команда «мотор праворуч». Детальна інформація для кожного випробування наведена в табл.3.2.

Таблиця 3.2.

Результати тестів команди «мотор праворуч»

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилка | Відсутнє рішення | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|------------------|--------------------------|
| 1           | 28              | 2       | 0                | 30                       |
| 2           | 30              | 0       | 0                | 30                       |
| 3           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 4           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 5           | 29              | 4       | 1                | 33                       |
| 6           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 7           | 29              | 1       | 0                | 30                       |
| 8           | 31              | 0       | 0                | 31                       |

Також існує можливість для програми повністю проігнорувати команду та вивести повідомлення про те, що рішення не було прийнято.



Рис.3.1. Точність оцінки для команди «двигун праворуч»

На рис.3.1 показано різні результати для кожного незалежного тесту. Відповідно до цих результатів, загальна кількість виданих команд становить 259, а загальна кількість помилок – 16.

Отже, коефіцієнт помилок для команди «двигун праворуч» було розраховано так:

$$\frac{16}{259} = 0,061776 \quad (26)$$

Команда, яка не була оцінена (рішення не було прийнято), не включена до цього результату.

Після цього аналізу, у другому тестовому випадку було перевірено успішність команди «двигун ліворуч». Було проведено дев'ять різних тестів, і в кожному тесті команда повторювалася кілька разів. Результати наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3.

## Результати випробувань команди «двигун ліворуч»

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилка | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|--------------------------|
| 1           | 27              | 3       | 30                       |
| 2           | 29              | 1       | 30                       |
| 3           | 34              | 1       | 35                       |
| 4           | 30              | 0       | 30                       |
| 5           | 35              | 0       | 35                       |
| 6           | 30              | 0       | 30                       |
| 7           | 35              | 0       | 35                       |
| 8           | 30              | 0       | 30                       |
| 9           | 30              | 0       | 30                       |

Під час тестування цієї команди жодного разу не було виводу про відсутність рішення. На рис.3.2 візуалізовано результати на основі табл.3.3.



Рис.3.2. Точність оцінки для команди «двигун ліворуч»

Різні тести для команди «двигун ліворуч» показують, що коефіцієнти помилок незалежні один від одного. Щодо зібраних даних, загальна кількість команд становить 285, а загальна кількість помилок – 5. Це означає, що коефіцієнт помилок для другого тестового випадку можна розрахувати так:

$$\frac{5}{285} = 0,01754 \quad (27)$$

Дивно, але команда «мотор ліворуч» була зрозуміла точніше, ніж команда «мотор праворуч».

Третій тестовий випадок включає комбінацію обох попередніх випадків. У цьому випадку слова «мотор ліворуч» та «мотор праворуч» вимовляються випадковим чином. Загалом було проведено шість тестів. Результати експерименту представлені в табл.3.4.

Таблиця 3.4.

## Результати тестів зі змішаними командами

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилки | Рішення відсутнє | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|------------------|--------------------------|
| 1           | 37              | 2       | 0                | 39                       |
| 2           | 42              | 2       | 0                | 44                       |
| 3           | 44              | 6       | 0                | 50                       |
| 4           | 18              | 0       | 0                | 18                       |
| 5           | 28              | 5       | 1                | 33                       |
| 6           | 39              | 3       | 1                | 42                       |

Тут видно, що дві команди не були обчислені, і виводу не було. Графік нижче візуалізує результати цього тестового випадку.



Рис.3.3. Точність оцінки для обох команд («мотор праворуч» або «мотор ліворуч»).

У ситуації, коли дві команди об'єднані, вихідні дані системи працюють гірше, ніж у двох попередніх тестах, рис.3.3. Загальна кількість спроб у цьому тестовому випадку становить 226, а загальна кількість помилок – 18. В результаті загальний коефіцієнт помилок можна розрахувати так:

$$\frac{18}{226} = 0,079646 \quad (28)$$

Якщо розглянути всі ці три тестові випадки, команда «мотор ліворуч» була зрозуміла краще, ніж інші команди. Найбільша кількість помилок була виявлена, коли дві команди використовувалися випадковим чином. Цей результат показує, що системи розпізнавання мовлення в сучасних технологіях недостатньо безпечні для використання в критично важливих для безпеки застосуваннях. Оскільки системи домашньої автоматизації не завжди вимагають такої чутливості, ці результати можна вважати прийнятними для багатьох застосувань. Наприклад, якщо процес розпізнавання для відкриття штор не вдається, користувач може легко повторити команду.

### 3.3 Вимірювання показників потужності прийнятого радіосигналу

Індикатор сили прийнятого сигналу (RSSI) – це міра потужності радіочастотного сигналу на вході приймача. Значення RSSI базується на вимірюваному рівні сигналу в каналі та коефіцієнті посилення ланцюга Rx. У режимі Rx, як тільки виявляється слово синхронізації пакета, реєстр стану RSSI CC2500 зберігається до оновлення наступним словом синхронізації. Цей механізм дозволяє кожному пакету окремо позначати RSSI. Під час тестів вимірювання RSSI використовувалися два бездротові вузли. Один з них був підключений до ПК, а інший використовувався як передавач. Вузол передавача надсилає пакет щоразу, коли натискається кнопка. Коли пакет надходить до вузла приймача, він отримує значення RSSI прийнятого пакета та надсилає це значення на ПК. На стороні ПК була програма, яка контролює та реєструє виміряні значення [27].

Вимірювання проводилися у двох різних місцях. Значення RSSI у реєстрі стану RSSI зчитувалися виключно у шістнадцятковому форматі. У технічному описі мікросхеми CC2500 наведено формулу для обчислення зчитуваних значень у вигляді абсолютного рівня потужності (RSSI\_dBm). Значення були перетворені наступним чином:

- Перетворити шістнадцяткове значення RSSI у десяткове.
- Якщо показання становить 128 або більше, застосовується наступна формула.

$$RSSI\_dBm = \frac{(RSSI\_dec - 256)}{2} - RSSI\_offset \quad (29)$$

- Якщо показник менший за 128, застосовується наступна формула.

$$RSSI\_dBm = \frac{(RSSI\_dec)}{2} - RSSI\_offset \quad (30)$$

В обох цих формулах RSSI\_offset посилається на константне значення, визначене для кожної швидкості передачі даних, яку підтримує CC2500. У табл.2.5. наведено всі можливі значення зміщення. Під час цих вимірювань швидкість передачі даних становила 250 кБод/с, тому показник з таблиці дає зміщення 72 дБм.

Табл.3.5.

Типові значення RSSI\_offset

| Швидкість передачі даних [кBaund] | RSSI зсув [dBm] |
|-----------------------------------|-----------------|
| 2,4                               | 71              |
| 10                                | 69              |
| 250                               | 72              |
| 500                               | 72              |

**У приміщенні.** Вимірювання в приміщенні проводилися для двох випадків. Перший випадок був, коли обидва вузли знаходилися на землі, а другий випадок – коли обидва вузли знаходилися приблизно на 1 м над землею.

Результати, отримані з першого тестового випадку, представлені в табл.3.6. Виміряне значення RSSI для кожної відстані, наведеної в таблиці, є середнім значенням RSSI восьми переданих пакетів з однакової відстані.

Табл.3.6.

Виміряні значення RSSI, коли обидва вузли знаходилися на землі

| Відстань (м)                | 0   | 1,5 | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 21  | 24  | 27  | 30  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Середнє значення RSSI в дБм | -17 | -77 | -76 | -78 | -73 | -90 | -78 | -86 | -88 | -93 | -87 | -93 |

На рис.3.4. показано графічні виміри

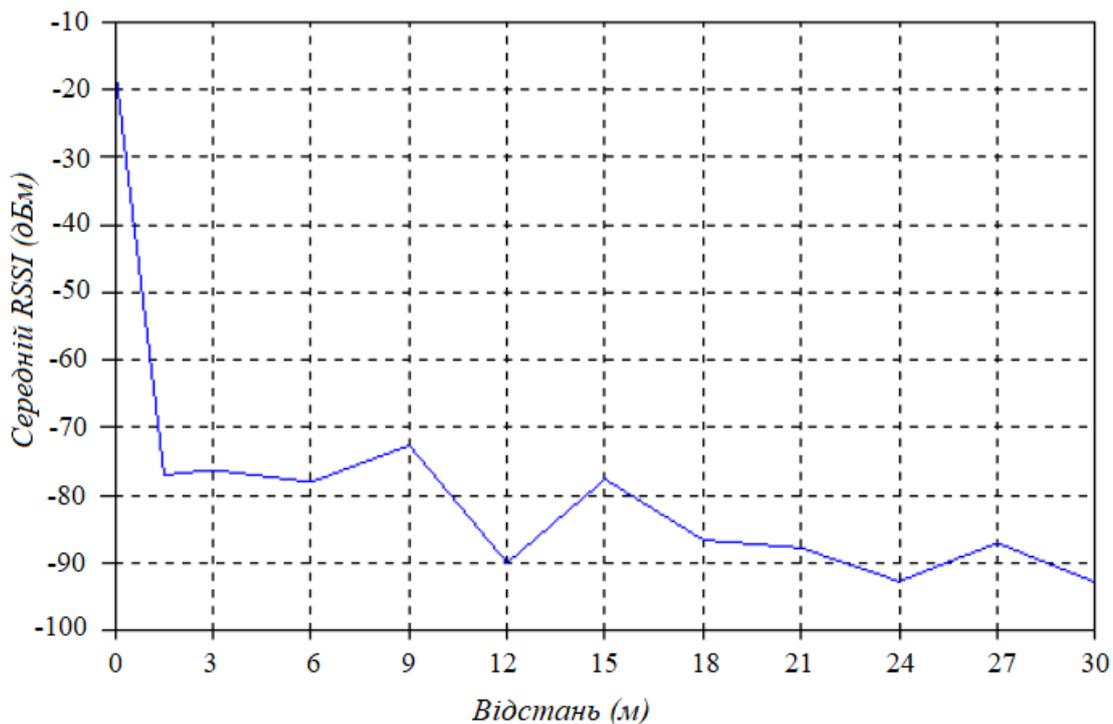


Рис.3.4. Вимірювання RSSI в приміщенні для зв'язку на рівні землі

На рис.3.4 показано, що вимірювання RSSI загалом зменшуються з відстанню, що є очікуваною ситуацією. Окрім цього, між 1,5 м і 6 м значення RSSI змінюється не так сильно. Далі, на 15 м, спостерігається збільшення вимірювань. Ця неочікувана ситуація може бути спричинена ефектом багатопроменевості. Після 30 м сигнал не був отриманий.

У другому тестовому випадку обидва вузли знаходилися на висоті 1 м над землею. Метод збору даних ідентичний методу, застосованому в першому випадку. Зібрані дані представлені в табл.3.7.

Таблиця 3.7.

Виміряні значення RSSI, коли обидва вузли знаходяться на висоті 1 м над землею

|                             |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Відстань (м)                | 0   | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  |
| Середнє значення RSSI в дБм | -17 | -68 | -70 | -75 | -79 | -80 | -79 |
| Відстань (м)                | 21  | 24  | 27  | 30  | 33  | 36  | 39  |
| Середнє значення RSSI в дБм | -87 | -92 | -80 | -87 | -84 | -86 | -84 |

Як і очікувалося, значення RSSI знову зменшуються зі збільшенням відстані, рис.3.5.

На цьому графіку виміряні значення суттєво не змінюються між 3 м та 6 м, а також між 12 м та 18 м. Крім того, на відстані 27 м спостерігається збільшення, а до 39 м значення стабільне та майже на постійному рівні. Причиною цього, ймовірно, знову ж таки є ефект багатопроменевості, оскільки на відстані 39 м за передавачем були металеві двері ліфта, які здатні відбивати сигнал.

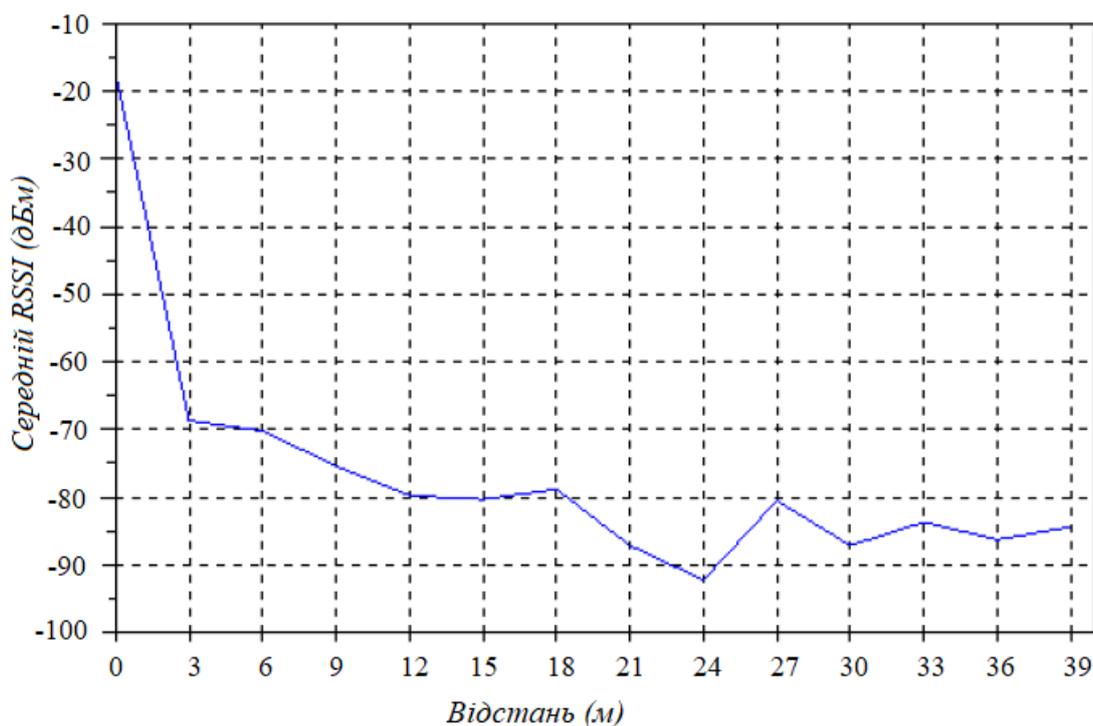


Рис.3.5. Вимірювання RSSI в приміщенні для зв'язку на висоті 1 м над рівнем землі

Якщо порівняти рис.3.4 з рис.3.5, очевидно, що вимірювання могли сягати 39 м, але зв'язок був втрачений на 30 м. Це, ймовірно, через поглинання сигналу, спричинене землею.

**На відкритому повітрі.** Вимірювання на відкритому повітрі проводилися поблизу берега, далеко від будь-яких перешкод. Вимірювання проводилися, коли вузли знаходилися приблизно на висоті 1 м над землею.

Для збору та оцінки даних застосовувалися аналогічні методи, як і в попередніх вимірюваннях. Результати вимірювань наведено в табл.3.8.

Таблиця 3.8.

Вимірювання RSSI для зовнішніх умов

| Відстань (м)                | 0   | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 21  | 24  | 27  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Середнє значення RSSI в дБм | -19 | -67 | -70 | -83 | -84 | -85 | -87 | -87 | -82 | -85 |

На рис.3.6. наведено графік значень RSSI. Зменшення вимірювань дещо плавніше порівняно з вимірюваннями в приміщенні. Від 9 м до 21 м зменшення, здається, є лінійним у шкалі дБм. Отримані тут результати дещо ближчі до ідеальної ситуації. Після 27 м зв'язок було втрачено.

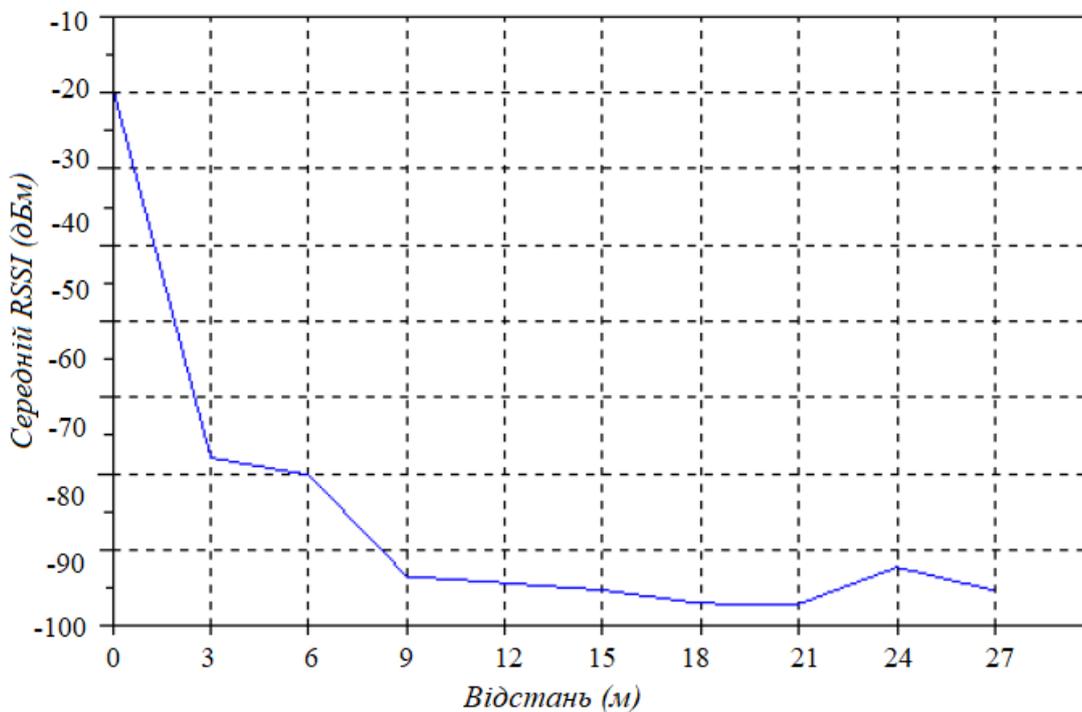


Рис.3.6. Графік вимірювань зовнішнього RSSI

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження сучасних тенденцій розвитку технологій «розумного будинку». Результати аналізу засвідчили, що дана галузь характеризується високими темпами зростання та має значний потенціал для подальшої еволюції як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

У межах дослідження здійснено огляд ринку систем домашньої автоматизації, що дозволило виявити основні напрями розвитку та динаміку поширення інноваційних рішень. Особливу увагу приділено аналізу перспективних варіантів використання технологій автоматизації в житловому секторі, а також розглянуто сучасні системи управління «розумним домом» і їхні функціональні можливості.

Окремо проаналізовано сучасні технічні рішення, що забезпечують реалізацію концепції «розумного будинку», включаючи інтегровані апаратно-програмні комплекси, сенсорні технології та комунікаційні протоколи. Також було здійснено огляд програмних додатків для контролю та управління автоматизованими системами, що дало змогу визначити їхню роль у підвищенні ефективності, безпеки та комфорту житлового середовища.

Досліджено фактори, які впливають на масштаби впровадження систем домашньої автоматизації. Встановлено ключові бар'єри та стимулюючі чинники, що формують тенденції поширення технологій, а також визначено провідних виробників і постачальників рішень у даній сфері. Це надало можливість комплексно оцінити сучасний стан ринку та окреслити його стратегічні напрями розвитку.

У роботі було досліджено можливостей застосування методів розпізнавання мовлення в бездротовій домашній автоматизації. Для розпізнавання слів та перетворення їх у текстову форму використовувалося програмне забезпечення Sphinx 4, яке використовує приховані марковські моделі. Результати передавались

на бездротовий вузол через USB-з'єднання. Потім цей бездротовий вузол передавав повідомлення на інший вузол для керування побутовою технікою.

Таким чином, методи розпізнавання мовлення були поєднані з бездротовими сенсорними вузлами для задоволення потреб системи керування бездротовою домашньою автоматизацією.

Отримані результати розпізнавання мовлення є прийнятними для багатьох застосувань, які не потребують реального часу. Натомість, воно не підійде для деяких критично важливих для безпеки побутових приладів, таких як кухонна система, оскільки цей метод схильний до помилок. З іншого боку, ця система була б дуже корисною для людей похилого віку або людей з інвалідністю. Можливість відкривати штори за допомогою голосу була б великою допомогою для людей похилого віку або для тих, хто потребує інвалідного візка.

Для перевірки можливостей системи було реалізовано два механізми керування. Перший механізм – це бездротове керування двигуном на основі мовлення, а другий – бездротове керування світлом на основі мовлення. Серводвигун не потребував жодної додаткової схеми, але для керування світлом була розроблена схема перемикачів з використанням оптопари та реле.

Одним з обмежень бездротових систем є дальність передачі. Під час експериментальних випробувань було підтверджено, що дальність зв'язку становить близько 30 м, що підходить для домашніх застосувань. Для застосувань, які потребують більшої дальності передачі, можна легко додати ретрансляційний вузол.

У майбутньому цю роботу можна покращити за допомогою точніших методів розпізнавання мовлення, більш просунутого програмного забезпечення та вдосконалених моделей мовлення. Sphinx 4 підтримує навчання голосу, щоб досягати кращих результатів. Крім того, можна покращити мовні моделі або перенести нові мовні моделі, щоб їх можна було використовувати в різних країнах. Оскільки програмне забезпечення здатне чути, також можливо реагувати на плескання в долоні або клацання пальцями.

Крім того, існують алгоритми розпізнавання світлового мовлення для платформ з низькою обчислювальною потужністю. Ці алгоритми розпізнавання мовлення можуть бути реалізовані всередині вузла бездротового датчика для обчислень у вузлі незалежно від ПК.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Harper R. Inside the Smart Home, ISBN-13: 978-1852336882, 2018. – 263с.
2. Carlini. Measuring a building IQ / J.A. Bernaden, et al (Ed.) // The Intelligent Building Sourcebook, Prentice-Hall, London, 2016, pp. 427 – 438.
3. W.F.E. Preiser, U. Schramm. Intelligent office building performance evaluation, Facilities 20 (7/8), 2017, pp. 279 – 287.
4. F.M. Lima, Intelligent building and its influence on the design process, Paper presented to the International Conference Sao Paulo, Oct. 25 – 26, 2021, Brazil: High Technology Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Brazil, 2021, pp. 139 – 149.
5. W.L. Chan, A.T.P. So, Intelligent Building Systems, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2020.
6. W.M. Kroner. An intelligent and responsive architecture, Automation in Construction 6, 2019, pp. 381 – 393.
7. M. Fächtenhans, E. H. Grosse, and C. H. Glock, "Smart lighting systems: State-of-the-art and potential applications in warehouse order picking," Int. J. Prod. Res., vol. 59, no. 12, pp. 3817-3839, Jun. 2021.
8. L. Cui, S. Yang, F. Chen, Z. Ming, N. Lu, and J. Qin, "A survey on application of machine learning for Internet of Things," Int. J. Mach. Learn. Cybern., vol. 9, no. 8, pp. 1399-1417, Aug. 2018.
9. W. Wang, Q. Wang, J. Zhang, and M. Zuniga, "PassiveVLP: Leveraging smart lights for passive positioning," ACM Trans. Internet Things, vol. 1, no. 1, pp. 1-24, Feb. 2020.
10. Kang, J.; Kim, J.; Kim, M.; Sohn, M. Machine learning-based energy-saving framework for environmental states-adaptive wireless sensor network. IEEE Access 2020, 8, 69359–69367.
11. Machorro-Cano, I.; Alor-Hernández, G.; Paredes-Valverde, M.A.; Rodríguez-Mazahua, L.; Sánchez-Cervantes, J.L.; Olmedo-Aguirre, J.O. HEMS-IoT: A big data and machine learning-based smart home system for energy saving. Energies 2020, 13, 1097.

12. Wang, S.; Yang, S. Research on Smart Home Assistance Control Model Based on Machine Learning. In Proceedings of the 2020 Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC), Dalian, China, 14–16 April 2020; pp. 466–469.
13. Filipe, L.; Peres, R.S.; Tavares, R.M. Voice-activated smart home controller using machine learning. *IEEE Access* 2021, 9, 66852–66863.
14. Jmila, H.; Blanc, G.; Shahid, M.R.; Lazrag, M. A survey of smart home iot device classification using machine learning-based network traffic analysis. *IEEE Access* 2022, 10, 97117–97141.
15. Huang, J.; Koroteev, D.D.; Rynkovskaya, M. Machine learning-based demand response in PV-based smart home considering energy management in digital twin. *Sol. Energy* 2023, 252, 8–19.
16. Kabir, M.H.; Hoque, M.R.; Seo, H.; Yang, S.-H. Machine learning based adaptive context-aware system for smart home environment. *Int. J. Smart Home* 2015, 9, 55–62.
17. Lee, S.; Choi, D.-H. Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances. *Sensors* 2019, 19, 3937.
18. Li, T.; Hong, Z.; Yu, L. Machine learning-based intrusion detection for iot devices in smart home. In Proceedings of the 2020 IEEE16th International Conference on Control & Automation (ICCA), Sapporo, Japan, 9–11 October 2020; pp. 277–282.
19. Kasaraneni, P.P.; Venkata Pavan Kumar, Y.; Moganti, G.L.K.; Kannan, R. Machine Learning-Based Ensemble Classifiers for Anomaly Handling in Smart Home Energy Consumption Data. *Sensors* 2022, 22, 9323.
20. Popa, D.; Pop, F.; Serbanescu, C.; Castiglione, A. Deep learning model for home automation and energy reduction in a smart home environment platform. *Neural Comput. Appl.* 2019, 31, 1317–1337.
21. Dey, N.; Fong, S.; Song, W.; Cho, K. Forecasting energy consumption from smart home sensor network by deep learning. In Proceedings of the Smart Trends in Information Technology and Computer Communications: Second International

Conference, SmartCom 2017, Pune, India, 18–19 August 2017; Revised Selected Papers 2. pp. 255–265.

22. Rahman, S.; Alam, M.G.R.; Rahman, M.M. Deep learning based ensemble method for household energy demand forecasting of smart home. In Proceedings of the 2019 22nd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), Dhaka, Bangladesh, 18–20 December 2019; pp. 1–6.

23. Uddin, M.Z.; Kim, M.R. A deep learning-based gait posture recognition from depth information for smart home applications. In Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing: CSA-CUTE2016 8; Springer: Singapore; pp. 407–413.

24. Sundaravadivel, P.; Kesavan, K.; Kesavan, L.; Mohanty, S.P.; Koungianos, E. Smart-log: A deep-learning based automated nutrition monitoring system in the iot. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2018, 64, 390–398.

25. Solatidehkordi, Z.; Ramesh, J.; Al-Ali, A.; Osman, A.; Shaaban, M. An IoT deep learning-based home appliances management and classification system. *Energy Rep.* 2023, 9, 503–509.

26. Alkar, A., & Buhur, U. An Internet based wireless home automation system for multifunctional devices. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 2018, 51(4), pp.1169-1174.

27. Xu, M.; Watanachaturaporn, P.; Varshney, P.K.; Arora, M.K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sens. Environ.* 2015, p.322–336.

28. El Mrabet, Z.; Sugunraj, N.; Ranganathan, P.; Abhyankar, S. Random forest regressor-based approach for detecting fault location and duration in power systems. *Sensors* 2022, p. 458.

29. Derbali, Morched, Mu' tasem Jarrah & Mohd Taib Wahid. A Review of Speech Recognition with Sphinx Engine in Language Detection. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2021. pp. 147-155.

30. John, V.; Liu, Z.; Guo, C.; Mita, S.; Kidono, K. Real-time lane estimation using deep features and extra trees regression. In Proceedings of the Image and Video

Technology: 7th Pacific-Rim Symposium, PSIVT 2015, Auckland, New Zealand, 25–27 November 2015; Revised Selected Papers 7. pp. 721–733.

31. Kumar, S. Ubiquitous Smart Home System using Android Application. *International Journal of Computer Networks & Communications*, 2019, 6(1), pp.33-43.

32. Hargreaves, T. Who uses smart home technologies? Representations of users by the smart home industry. *ECEEE Summer Study – Rethin K, Renew, Restart*, 2019, pp. 1769-1780.

33. Boyanov, L., & Minchev, Z. Cyber Security Challenges in Smart Homes. *Institute for Information and Communication Technologies –Bulgarian Academy of Sciences*, 2018, pp.99-114.

## **ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ**

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:  
«БЕЗПРОВОДОВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОМАШНЬОЮ АВТОМАТИЗАЦІЄЮ  
З РОЗПІЗНАВАННЯМ МОВЛЕННЯ»

Студент гр. ІСДМ-62  
Фелонюк Ю.В.  
Керівник к.т.н., доцент  
Полоневич О.В.

2025 рік

### МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Слайд 2

**Мета роботи** – реалізація прототипу системи бездротової домашньої автоматизації з використанням методів розпізнавання мовлення

**Об'єкт дослідження** – процес автоматизації керування домашніми пристроями за допомогою голосових команд

**Предмет дослідження** – методи розпізнавання мовлення для реалізації голосового керування побутовими пристроями

#### Завдання магістерської роботи:

- огляд сучасних тенденцій та технологічних рішень у сфері домашньої автоматизації;
- дослідження комплексу апаратних і програмних засобів реалізації системи керування;
- аналіз результатів експериментального дослідження роботи системи.

### ОГЛЯД РИНКУ СИСТЕМ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Слайд 3

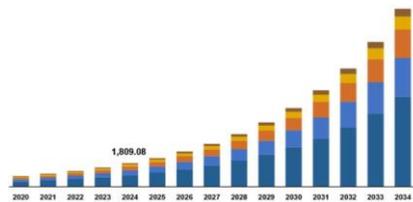


Рис.1. Динаміка прогнозованого зростання світового ринку інтелектуальних систем, керованих емоціями, до 2034 року з досягненням 13, 693,42 млн USD



Рис.3. Розвиток ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому по регіонам

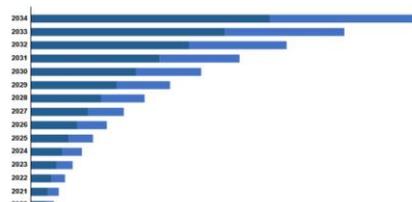


Рис.2. Сегментація ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому за кінцевим користувачем включає житлові та комерційні



Рис.4. Ключові компанії на ринку емоційно-орієнтованих систем розумного дому



Рис.5. Приклад застосування та можливості

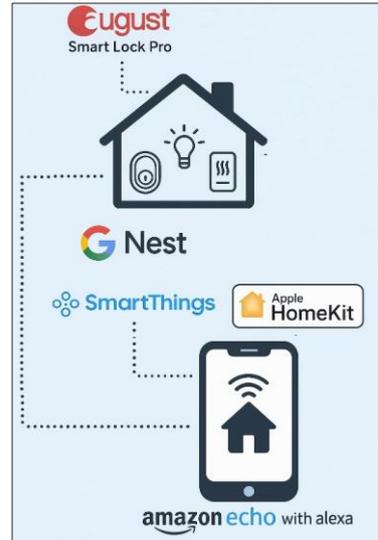


Рис.6. Сучасні систем автоматизації розумного дому

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»



Табл.1. Порівняння характеристик протоколів IoT

|                          | Wifi (TuYa) | Bluetooth (BLE, MESH) | Zigbee (3.0)      | Z-Wave     |
|--------------------------|-------------|-----------------------|-------------------|------------|
| Частота                  | 2,4 - 5 ГГц | 2,4 ГГц               | 2,4 ГГц, 915 МГц  | 908,24 МГц |
| Швидкість передачі даних | висока      | середній              | середній, низький | низький    |
| Споживання енергії       | висока      | середній              | середній, низький | низький    |
| Відстань                 | середній    | короткий              | великий           | великий    |

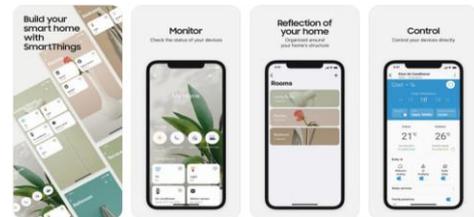


Рис.7. Інтерфейс програми SmartThings

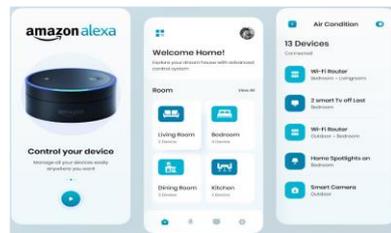


Рис.8. Інтерфейс програми Alexa від Amazon

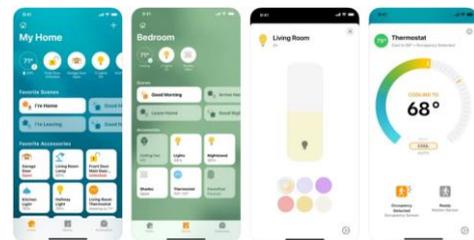


Рис.9. Інтерфейс програми Apple Home

АНАЛІЗ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



Рис.10. Командний центр системи домашньої автоматизації

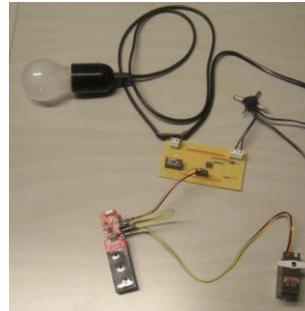


Рис.11. Виконавча частина системи домашньої автоматизації

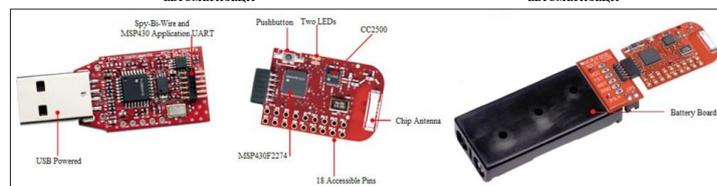


Рис.12. Інструмент бездротової розробки eZ430-RF2500

Табл.2. Режими низького енергоспоживання для MSP430F2274

| Режим    | Стан процесора та тактової частоти  |
|----------|---|
| Активний | Процесор активний, усі ввімкнені тактові частоти активні.   |
| LPM0     | CPU, MCLK вимкнено, SMCLK, ACLK активні.  |
| LPM1     | CPU, MCLK вимкнено. DCO та генератор постійного струму вимкнено, якщо DCO не використовується для SMCLK. ACLK активний. |
| LPM2     | CPU, MCLK, SMCLK, DCO вимкнено. Генератор постійного струму залишається ввімкненим. ACLK активний.                      |
| LPM3     | CPU, MCLK, SMCLK, DCO вимкнено. Генератор постійного струму вимкнено. ACLK є активним.                                  |
| LPM4     | Процесор та всі тактові частоти вимкнено.   |



Рис.13. Серводвигун HiTec HS-422, підключений до кінцевого пристрою

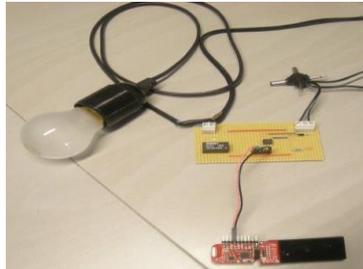


Рис.14. Плата керування освітленням, підключена до кінцевого пристрою та лампочки

Табл.3. Основна інформація про серводвигун HiTec HS-422

|                    |   |
|--------------------|---|
| Модуляція:         | Аналоговий  |
| Крутий момент:     | 4.8V: 45.8 oz-in (3.30 kg-cm)<br>6.0V: 56.9 oz-in (4.10 kg-cm)                                |
| Швидкість:         | 4.8V: 0.21 sec/60°<br>6.0V: 0.16 sec/60°  |
| Вага:              | 1.60 oz (45.5 g)  |
| Розміри:           | Довжина: 40,4 мм (1,59 дюйма)<br>Ширина: 19,6 мм (0,77 дюйма)<br>Висота: 36,6 мм (1,44 дюйма) |
| Тип двигуна:       | 3-полосний  |
| Тип шестерні:      | Пластик   |
| Обертання/Штримка: | Втулка  |
| Цикл імпульсів:    | 20 мс   |
| Ширина імпульсу:   | 900-2100 μs   |

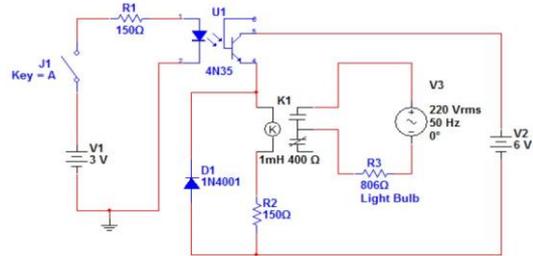


Рис.15. Схематичне зображення плати керування освітленням

ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

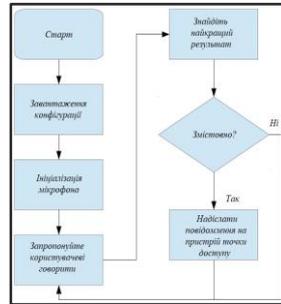


Рис.16. Блок-схема програми розпізнавання мовлення



Рис.18. Блок-схема точки доступу. Переривання UART знаходиться праворуч

```

interrupt void USC10RX_ISR(void)
{
    unsigned char uart_command;
    uart_command=UCA0RXBUF;
    // Build packet
    txBuffer[0] = 2; // Packet length
    txBuffer[1] = 0x01; // Packet address
    txBuffer[2] = uart_command; // Load the command
    RFSendPacket(txBuffer, 3); // Send value over RF
    while (!IFG2&UCA0TXIFG); // USC1_A0 TX buffer ready?
    UCA0TXBUF = uart_command; // TX -> RxD character
}
    
```

Рис.17. Код процедури

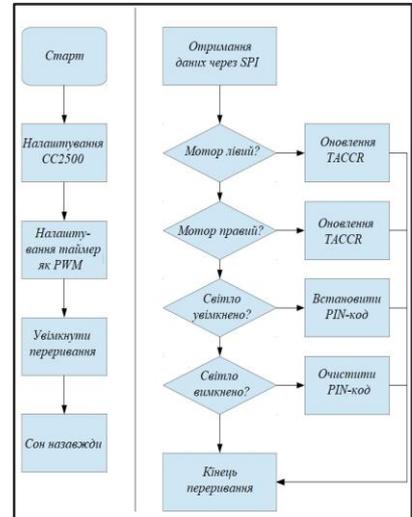


Рис.19. Блок-схема виконавчого механізму

ТОЧНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

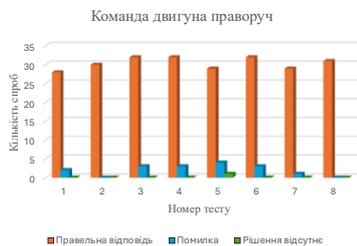


Рис.20. Точність оцінки для команди «двигун праворуч»



Рис.21. Точність оцінки для команди «двигун ліворуч»



Рис.22. Точність оцінки для обох команд («двигун праворуч» або «двигун ліворуч»).

Табл.4. Результати тестів команди «двигун праворуч»

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилка | Відсутні рішення | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|------------------|--------------------------|
| 1           | 28              | 2       | 0                | 30                       |
| 2           | 30              | 0       | 0                | 30                       |
| 3           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 4           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 5           | 29              | 4       | 1                | 33                       |
| 6           | 32              | 3       | 0                | 35                       |
| 7           | 29              | 1       | 0                | 30                       |
| 8           | 31              | 0       | 0                | 31                       |

Табл.5. Результати випробувань команди «двигун ліворуч»

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилка | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|--------------------------|
| 1           | 27              | 3       | 30                       |
| 2           | 29              | 1       | 30                       |
| 3           | 34              | 1       | 35                       |
| 4           | 30              | 0       | 30                       |
| 5           | 35              | 0       | 35                       |
| 6           | 30              | 0       | 30                       |
| 7           | 35              | 0       | 35                       |
| 8           | 30              | 0       | 30                       |
| 9           | 30              | 0       | 30                       |

Табл.6. Результати тестів зі змішаними командами

| Номер тесту | Вірна відповідь | Помилки | Рішення відсутні | Загальна кількість спроб |
|-------------|-----------------|---------|------------------|--------------------------|
| 1           | 37              | 2       | 0                | 39                       |
| 2           | 42              | 2       | 0                | 44                       |
| 3           | 44              | 6       | 0                | 50                       |
| 4           | 18              | 0       | 0                | 18                       |
| 5           | 28              | 5       | 1                | 33                       |
| 6           | 39              | 3       | 1                | 42                       |

Табл.7. Типові значення RSSI\_offset

| Швидкість передачі даних [к Baud] | RSSI_offset [dBm] |
|-----------------------------------|-------------------|
| 2,4                               | 71                |
| 10                                | 69                |
| 250                               | 72                |
| 500                               | 72                |

Табл.8. Виміряні значення RSSI, коли обидва вузли знаходилися на землі

| Відстань (м)                | 0   | 1,5 | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 21  | 24  | 27  | 30  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Середнє значення RSSI в дБм | -17 | -77 | -76 | -78 | -73 | -80 | -78 | -86 | -88 | -93 | -87 | -93 |

Табл.9. Виміряні значення RSSI, коли обидва вузли знаходяться на висоті 1 м над землею

| Відстань (м)                | 0   | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Середнє значення RSSI в дБм | -17 | -68 | -70 | -75 | -79 | -80 | -79 |
| Відстань (м)                | 21  | 24  | 27  | 30  | 33  | 36  | 39  |
| Середнє значення RSSI в дБм | -87 | -92 | -80 | -87 | -84 | -86 | -84 |

Табл.10. Вимірювання RSSI для зовнішніх умов

| Відстань (м)                | 0   | 3   | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 21  | 24  | 27  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Середнє значення RSSI в дБм | -19 | -67 | -70 | -83 | -84 | -85 | -87 | -87 | -82 | -85 |

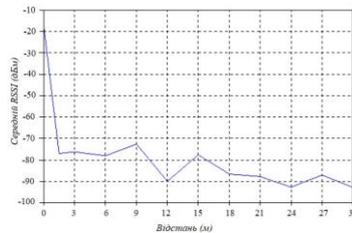


Рис.23. Вимірювання RSSI в приміщенні для зв'язку на рівні землі

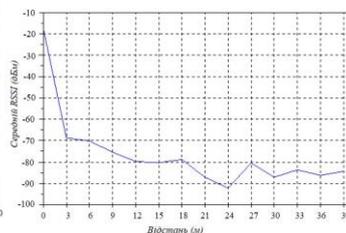


Рис.24. Вимірювання RSSI в приміщенні для зв'язку на висоті 1 м над рівнем землі

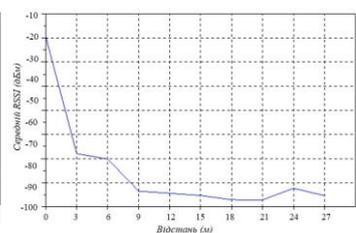


Рис.25. Графік вимірювань зовнішнього RSSI

У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи здійснено комплексне дослідження сучасних технологій «розумного будинку» та визначено ключові напрями їхнього розвитку. Проведений аналіз ринку систем домашньої автоматизації дав змогу виявити основні інноваційні тенденції, чинники поширення та бар'єри впровадження, а також оцінити роль провідних виробників.

Практичним результатом дослідження стала реалізація та випробування прототипу системи бездротової домашньої автоматизації з голосовим керуванням на основі Sphinx 4. У процесі експериментів реалізовано два механізми:

- бездротове керування двигуном за допомогою мовлення;
  - бездротове керування освітленням із використанням оптопар та реле.
- Отримані результати підтвердили працездатність системи, а саме:
- точність розпізнавання мовлення є достатньою для широкого кола побутових застосувань, що не потребують роботи в реальному часі;
  - забезпечена стабільна передача даних на відстані до 30 м, чого достатньо для житлових приміщень;
  - система має особливу цінність для людей похилого віку та осіб з обмеженими можливостями.

Таким чином, досліджений підхід довів ефективність поєднання методів розпізнавання мовлення з бездротовими сенсорними вузлами, що відкриває перспективи подальшого розвитку та масштабування систем «розумного будинку».