МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет: **ННІ Каразінський банківський інститут**
Кафедра: **Інформаційних технологій та математичного моделювання**
Спеціальність: **122 Комп'ютерні науки**
Освітня програма: **Комп'ютерні науки та інформаційні технології в бізнесі**

Група: АК-21М **денна форма навчання**

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»» ЗА НАКАЗОМ № 4601-5/3045 ВІД 25 ВЕРЕСНЯ 2024 РОКУ

здобувача вищої освіти **Ревенкова Володимира Вікторовича**

Робота допущена до захисту в ЕК
протокол кафедри ІТММ №4 від 30.11.2024 р.

Завідувач кафедри ІТММ
к. п. н., доцент
_____**Н. І. Стяглик**

Науковий керівник
д.е.н., к.т.н., професор
_____**Б. В. Самородов**

м. Харків 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет навчально-науковий інститут “Каразінський банківський інститут”
Кафедра інформаційних технологій та математичного моделювання
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 122 Комп’ютерні науки
Освітня програма Комп’ютерні науки та інформаційні технології в бізнесі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Н. І. Стяглик

“25” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Ревенкова Володимира Вікторовича
(прізвище, ім’я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Дослідження надійності бездротових технологій у системі «розумний будинок»

Керівник роботи д. е. н., професор Б. В. Самородов

затверджені наказом по університету від “25” вересня 2024 року № 4601-5/3045

2. Строк подання студентом роботи 20 листопада 2024 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:
У розділі 1: Розглянути теоретичні основи взаємодії компонентів у системі «розумний будинок» та визначити основні вимоги.
У розділі 2: Провести аналіз технічних характеристик бездротових технологій Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee, які використовуються в системах розумного будинку.
У розділі 3: Дослідити надійність бездротових технологій Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee для систем «розумний будинок».

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір здобувачем теми кваліфікаційної магістерської роботи
2	Затвердження плану і завдання кваліфікаційної магістерської роботи
3	Здача кваліфікаційної магістерської роботи керівнику
4	Підпис кваліфікаційної магістерської роботи у керівника
5	Підпис кваліфікаційної магістерської роботи у нормо контролера
6	Допуск завідувачем кафедри до захисту кваліфікаційної магістерської роботи
7	Захист кваліфікаційної магістерської роботи

5. Дата видачі завдання 25 вересня 2024 року

Студент _____ В. В. Ревенков
Підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Б. В. Самородов
підпис ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

«ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»»

Ревенкова Володимира Вікторовича

Кваліфікаційна магістерська робота містить 70 сторінок, 7 таблиць, 10 рисунків, список літератури з 15 найменувань.

Об'єктом дослідження є проведення дослідження надійності бездротових технологій, які застосовують у мережах систем «Розумний будинок»**.**

Предметом дослідження є технології та стандарти бездротових мереж системи «Розумного будинку».

Мета кваліфікаційної магістерської роботи полягає у дослідженні надійності бездротових технологій, які застосовують для реалізації систем «розумний будинок» для подальшого практичного їх використання, визначення проблемних місць та можливість удосконалення технології передавання даних для системи «розумний будинок

Завданнями кваліфікаційної магістерської роботи є:

- у першому розділі розглянути теоретичні основи взаємодії компонентів у системі «розумний будинок» та визначити основні вимоги;
- у другому розділі провести аналіз технічних характеристик бездротових технологій Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee, які використовуються в системах розумного будинку;
- у третьому розділі дослідити надійність бездротових технологій Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee для систем «розумний будинок».

Актуальність дослідження: У зв'язку з поширенням використання систем «Розумного будинку», стає важливим застосування бездротових технологій для обміну даними в таких системах та забезпечення їх надійності.

За результатами дослідження: сформовано основні теоретичні аспекти надійності різних бездротових технологій у системах «розумний будинок» для прийняття рішень при виборі відповідної технології для конкретних умов застосування.

Практична новизна: узагальнення інформації стосовно організації та особливостей функціонування бездротових технологій. Проведено порівняльний аналіз і дана оцінка надійності різних бездротових технологій у системах «розумний будинок», з'ясовано позитивні та негативні властивості протоколів.

Одержані результати можуть бути використані: для прийняття рішень при виборі відповідної бездротової технології для конкретних умов застосування системи «розумний будинок».

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА «РОЗУМНИЙ БУДИНОК», КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ, БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ, BLUETOOTH, WIFI, Z-WAVE, ZIG-BEE.

ABSTRACT
AT QUALIFICATION MAGISTER WORK
«RESEARCH OF THE RELIABILITY OF WIRELESS TECHNOLOGIES IN THE SMART HOUSE SYSTEM»
Volodymyr Revenkov

The qualifying master's thesis contains 70 pages, 7 tables, 10 figures, a list of literature with 15 titles.

The object of research is conducting a study of the reliability of wireless technologies that are used in the networks of "Smart House" systems.

The subject of the research is the technologies and standards of wireless networks of the "Smart House" system.

The purpose of the qualifying master's thesis is to study the reliability of wireless technologies used for the implementation of "smart home" systems for their further practical use, to identify problem areas and the possibility of improving data transmission technology for the "smart home" system

The tasks of the qualifying master's thesis are:

- in the first section, consider the theoretical foundations of the interaction of components in the "smart house" system and define the main requirements;
- in the second section, analyze the technical characteristics of wireless technologies Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee, which are used in smart home systems;
- in the third section, examine the reliability of Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee wireless technologies for "smart home" systems.

Relevance of the research: In connection with the spread of the use of "Smart Home" systems, it is becoming important to use wireless technologies for data exchange in such systems and to ensure their reliability.

According to the results of the research: the main theoretical aspects of the reliability of various wireless technologies in the "smart house" systems were formed for decision-making when choosing the appropriate technology for specific application conditions.

Practical innovation: generalization of information about the organization and features of wireless technologies. A comparative analysis was carried out and an assessment of the reliability of various wireless technologies in "smart home" systems was given, the positive and negative properties of the protocols were clarified.

The obtained results can be used: to make decisions when choosing the appropriate wireless technology for specific conditions of application of the "smart house" system.

KEY WORDS: SMART HOME SYSTEM, COMPUTER NETWORKS, WIRELESS NETWORKS, BLUETOOTH, WIFI, Z-WAVE, ZIG-BEE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ 7
ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ВИМОГИ ТА СТАНДАРТИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» 10
1.1. Розумний будинок 10
1.2. Можливості системи «розумний будинок» 14
1.3. Обмін даними в системі «розумний будинок» 16
1.4. Загальні вимоги до бездротових технологій в системі «розумний будинок» 17
РОЗДІЛ 2. АРХІТЕКТУРА ТА ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ 27
2.1. Технологія Wi-Fi 28
2.2. Технологія Z-Wave 32
2.3. Технологія ZigBee 37
2.4. Технологія Bluetooth 42
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» 47
3.1. Аналіз бездротових технологій 47
3.2. Топологія мережі 49
3.3. Діапазон і потужність сигналу 52
3.4. Перешкоди та інтерференція 54
3.5. Енергоефективність і автономність 56
3.6. Безпека та захист даних 57
3.7. Сумісність і стандартизація 59
3.8. Комп’ютерна модель імітації надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок» 61
ВИСНОВКИ 67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 69

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ

AES – Advanced Encryption Standard;

BLE – Bluetooth Low Energy;

VPN – virtual private network (віртуальна приватна мережа);

Wi-Fi – Wireless Fidelity;

WPA – Wi-Fi Protected Access.

ВСТУП

У сучасному світі більшість щоденних завдань стали простішими або автоматизованими, і ця тенденція продовжує зростати з кожним роком. Електроніка та технології дистанційного управління стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Системи автоматизації, такі як «розумний будинок», набули популярності завдяки прагненню людей до комфорту та зручності. Крім того, вони забезпечують додатковий рівень безпеки, будь то протипожежні системи чи сигналізації з віддаленим сповіщенням.

Керувати «розумним будинком» можливо через телевізор або інтернет-шлюз, що дозволяє власникам перетворювати свої оселі на високотехнологічні системи. Завдяки цьому, вони можуть відстежувати та керувати будинком з будь-якої точки світу за допомогою смартфонів, планшетів чи інших мобільних пристроїв.

Для передачі даних в системах «Розумного будинку» найчастіше використовуються такі бездротові технології як: Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave. Оскільки їхня надійність стає критичним чинником для коректної роботи всіх компонентів «Розумного будинку», то актуальною є тема дослідження надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок».

Актуальність роботи. У зв'язку з поширенням використання систем «Розумного будинку», стає важливим застосування бездротових технологій для обміну даними в таких системах та забезпечення їх надійності.

Метою роботи є дослідження надійності бездротових технологій, які застосовують для реалізації систем «розумний будинок».

Завдання дослідження:

– дослідити поняття та принципи «розумного будинку»;

– розглянути теоретичні основи бездротових технологій;

– провести аналіз найбільш використовуваних бездротових технологій та їх сумісність з пристроями системи «розумний будинок»;

– дослідити надійність бездротових технологій у системі «розумний будинок», визначити бездротову технологію, яку доцільно використовувати.

Об’єктом дослідження є проведення аналізу надійності використання бездротових технологій в системі «розумний будинок».

Предметом дослідження технології та стандарти бездротових мереж системи «розумного будинку».

У вступі представлено актуальність роботи, сформульовано мету та відповідні завдання, об’єкт та предмет дослідження, наведено загальну структуру роботи.

У першому розділі «Основні вимоги та стандарти системи «розумний будинок» розглянуто теоретичні основи взаємодії компонентів у системі «розумний будинок» та визначено основні вимоги.

У другому розділі «Архітектура та технічні особливості бездротових технологій» проведено огляд та аналіз технічних характеристик бездротових технологій. За результатами дослідження: сформовано основні теоретичні аспекти та функціональні можливості використання бездротових технологій Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee в системах розумного будинку.

У третьому розділі «Дослідження надійності бездротових технологій у системі «розумний будинок» досліджено надійність бездротових технологій, визначено основні фактори, що впливають на надійність цих систем, а також розглянуто переваги та недоліки кожної бездротової технології Проведено порівняльний аналіз характеристик надійності бездротових технологій у системах «розумний будинок». Одержані результати можуть бути використані: для прийняття рішень при виборі відповідної бездротової технології для конкретних умов застосування системи «розумний будинок».

Висновок висвітлює інформацію щодо підсумків дослідження, його наукової та практичної значущості, можливі перспективи подальшого розвитку.

РОЗДІЛ 1
ОСНОВНІ ВИМОГИ ТА СТАНДАРТИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК

1.1. Розумний будинок

Розумний будинок — це система автоматизованого управління житлом, яка використовує сучасні технології для підвищення комфорту, безпеки та енергоефективності. В такому будинку всі основні системи — освітлення, опалення, вентиляція, безпека, мультимедіа — інтегровані та можуть бути керовані через мобільні додатки або автоматично на основі заданих сценаріїв. Це дозволяє оптимізувати споживання ресурсів і забезпечувати зручність для мешканців [1].

Найчастіше, система «Розумного будинку» складається з таких частин:

– пристрої – безпосередньо всі електронні побудові речі, контроль над якими необхідно автоматизувати;

– датчики – пристрої збору інформації розумного дому;

– мікроконтролери – апаратні системи, що об’єднують датчики в групи, розрізняють також центральний процесор управління – мікроконтролер, що посилає від сервера інформацію в кінцеві вузли;

– сервер – комп’ютер, який створює інтерфейс між користувачем та системою розумного дому. Саме він відповідає за надійність, функціональність;

– канали передачі даних – логічні та фізичні канали, по яким передаються дані з урахуванням потреб (безпека, швидкість тощо);

– хмара – зовнішня служба, що виконую роль бази даних для статистики та іншої службової інформації;

– мобільні пристрої – пристрої, за допомогою яких користувач через сервер керує системою розумного дому.

Принцип інтелектуального управління розумним будинком ґрунтується

на інтеграції різних технологій та автоматизованих систем для забезпечення ефективного контролю та моніторингу всіх процесів у будинку. Завдяки інтеграції різних програмно-апаратних засобів забезпечується зручність управління, підвищується енергоефективність, безпека та комфорт для мешканців. Системи такого будинку автоматично реагують на зміни умов і потреб, знижуючи навантаження на людину і забезпечуючи безперервну роботу всієї інфраструктури.

Основні вимоги до системи «Розумний будинок» [1-3]:

– забезпечення інтеграції різних підсистем (освітлення, безпеки, опалення, вентиляції тощо) для їх ефективної роботи разом;

– впровадження автоматизованих рішень для управління пристроями, що дозволяє зменшити ручні втручання та підвищити зручність користування, тому система автоматично виконує завдання на основі заданих параметрів або розкладу. Наприклад, освітлення вмикається при вході до кімнати, а система опалення регулюється відповідно до температури в приміщенні;

– підключення усіх пристроїв до єдиного центру керування, такого як смартфон або панель управління, що дозволяє контролювати їх дистанційно або через інтернет;

– дистанційний доступ і контроль дозволяє власникам контролювати роботу системи з будь-якого місця через спеціальні додатки на мобільних пристроях, керуючи освітленням, безпекою, кліматом і навіть побутовими приладами.

– підтримка інтеграції з інтелектуальними датчиками (руху, температури, вологості тощо), що дозволяє пристроям збирати інформацію про навколишнє середовище і передають її в систему, яка на основі цих даних автоматично регулює роботу пристроїв;

– використання штучного інтелекту для адаптації до звичок користувачів, прогнозування їхніх потреб і підвищення комфорту. Наприклад, система може навчитися автоматично вмикати опалення до того

часу, коли мешканці зазвичай повертаються додому;

– з'єднання усіх пристроїв у будинку через інтернет, що дозволяє їм взаємодіяти між собою і обмінюватися даними для кращої координації;

– оптимізація споживання енергії, впроваджуючи технології, які знижують витрати на електрику та опалення;

– забезпечення високого рівня безпеки, включаючи системи відеоспостереження, сигналізації, а також захист від несанкціонованого доступу до мережі;

– легке додавання нових пристроїв або функції без значних змін в основній архітектурі;

– використання загальних стандартів для забезпечення сумісності різних виробників та технологій;

– забезпечення надійності системи, яка повинна бути стійкою до збоїв та забезпечувати безперервну роботу.

Ці вимоги дозволяють створити функціональну, зручну та ефективну систему «розумний будинок» (рис 1.1).

Рисунок 1.1 – Схема розумного будинку

Розумний будинок можна визначити як систему, яка здатна ідентифікувати конкретні події, що відбуваються в його межах, і адекватно на них реагувати. Одна з його систем може контролювати діяльність інших за попередньо заданим алгоритмом. Головною характеристикою такого будинку є інтеграція окремих підсистем в єдиний контрольований комплекс. Важливим аспектом розумного будинку є організація життєвого простору — це найсучасніша концепція взаємодії людини з навколишнім середовищем, при якій людина може задати бажану атмосферу однією командою, а автоматизація відповідно до внутрішніх і зовнішніх умов управляє і контролює роботу всіх інженерних систем та електричних пристроїв.

У будинку, оснащеному системою "розумний будинок", можливо натиснути одну кнопку на вимикачі, щоб активувати один з запрограмованих сценаріїв. Будинок автоматично налаштує всі системи в залежності від уподобань, часу доби, погодних умов та рівня зовнішнього освітлення, забезпечуючи комфортні умови всередині [2, 3].

Концепція розумного будинку включає такі положення:

– розробка інтегрованої системи керування будівлею, яка забезпечить узгоджену роботу всіх інженерних систем, таких як освітлення, опалення, вентиляція, водопостачання, контроль доступу та інші;

– усунення всього обслуговуючого персоналу будівлі і передача функцій контролю, прийняття рішень для підсистем інтегрованої системи, а також управління будівлею, що охоплює реагування на зміну параметрів датчиків системи та інші події;

– впровадження механізму миттєвого вимкнення та можливості передати контроль над будь-якою підсистемою розумного будинку людині у разі потреби. Крім того, слід забезпечити зручний, простий та єдиний доступ до управління і моніторингу всіх підсистем та елементів розумного будинку;

– гарантування належного функціонування окремих підсистем у випадку відмови загальної керуючої системи або її інших компонентів;

– зниження витрат на обслуговування та оновлення системи будівлі

має бути досягнуто шляхом впровадження єдиних стандартів при створенні підсистем, а також за рахунок автоматичного налаштування та виявлення нових пристроїв і модулів під час їх інтеграції в систему.

Концепція розумного будинку продовжує еволюціонувати завдяки розвитку технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання. У майбутньому очікується ще більша інтеграція технологій, що дозволить створити більш інтуїтивно зрозумілі та адаптивні системи, здатні реагувати на потреби користувачів у режимі реального часу.

1.2 Можливості системи «розумний будинок»

Розумний будинок має багато переваг. Система управління дає можливість власникам розробляти різноманітні складні та інтелектуальні процедури функціонування, оскільки всі виконавчі системи можуть працювати злагоджено і взаємодіяти між собою. Це, в свою чергу, дозволяє реалізувати численні процедури, що сприяють економії ресурсів:

– контролю доступу та забезпечення безпеки;

– обліку та контролю практично всіх параметрів систем з оперативним реагуванням на їх критичні зміни, при цьому реакція є комплексною та миттєвою;

– віддаленого контролю та управління будівлею, оскільки всі інформаційні та управлінські канали зв'язку в цій системі є цифровими;

– автоматизація освітлення (регулювання інтенсивності світла, включення та вимкнення світла за розкладом або в залежності від присутності людей);

– відеоспостереження, сигналізації, датчики руху, контролю доступу, які сповіщають про небезпеку або вторгнення;

– автоматичне управління обігрівачами, кондиціонерами та вентиляцією для підтримки комфортної температури та вологості;

– моніторинг енергоспоживання системами, які дозволяють

контролювати та аналізувати споживання енергії, а також допомагають знизити витрати;

– управління побутовою технікою через мобільні додатки;

– інтеграція з голосовими помічниками (наприклад, Amazon Alexa, Google Assistant) для управління системами через голосові команди;

– можливість налаштування системи під індивідуальні потреби та вподобання мешканців.

Наряду з перевагами система «розумного будинку» має ряд проблем:

– кібербезпека (підключені пристрої можуть бути вразливими до хакерських атак, що може призвести до витоку конфіденційної інформації або навіть до контролю над системами безпеки, тому важливо забезпечити належний рівень захисту);

– сумісність (різні виробники можуть використовувати різні стандарти та протоколи, що ускладнює інтеграцію пристроїв у єдину систему);

– вартість (первісні витрати на обладнання та налаштування можуть бути значними, хоча довгострокові вигоди можуть їх виправдати).

– складність використання (деякі користувачі можуть виявити, що розумні технології складні для налаштування і використання, особливо якщо вони не знайомі з новими технологіями);

– залежність від інтернету (багато розумних пристроїв вимагають постійного з'єднання з інтернетом. Втрата зв'язку може призвести до неможливості контролювати системи);

– потенційна залежність від постачальників (користувачі можуть стати залежними від певних виробників або постачальників послуг, що може ускладнити переходи на інші системи або рішення).

Ці проблеми потребують уваги та рішень для забезпечення безпеки, зручності та ефективності систем розумного будинку. Успішна реалізація концепції розумного будинку залежить від подолання цих проблем.

1.3 Обмін даними в системі «розумний будинок»

Робота «розумного будинку» передбачає декілька обмінів даними: між елементами системи та між користувачем і системою.

Обмін даними в системі «розумний будинок» можна поділити на кілька категорій [3, 4]:

1) обмін даними між елементами системи:

a) комунікація між пристроями (різні компоненти, такі як датчики, виконавчі механізми та контролери, постійно обмінюються інформацією для забезпечення синхронізованої роботи. Наприклад, датчики руху можуть надсилати сигнали на систему освітлення для автоматичного вмикання світла при вході людини в кімнату);

b) системи інтеграції (використання стандартів і протоколів (наприклад, Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi) дозволяє пристроям різних виробників взаємодіяти та працювати в одній екосистемі);

2) обмін даними між користувачем і системою:

a) керування через інтерфейс (користувачі взаємодіють з системою через мобільні додатки, веб-портали або голосові помічники. Це дозволяє їм контролювати різні аспекти «розумного будинку», такі як освітлення, температура, безпеку та побутову техніку);

b) отримання сповіщень (система надсилає сповіщення користувачеві про події, такі як виявлення руху, зміна температури або проблеми з безпекою. Це дозволяє користувачам оперативно реагувати на різні ситуації);

3) аналіз даних (системи можуть збирати дані про споживання енергії, використання пристроїв і показники безпеки, щоб надати користувачам звіти та рекомендації щодо оптимізації витрат і покращення комфорту);

4) адаптація та навчання (деякі системи здатні аналізувати дані користувача та адаптувати свої налаштування відповідно до звичок і вподобань мешканців. Це може включати автоматичне регулювання

температури або освітлення в залежності від часу доби або присутності людей).

Загалом, обмін даними є ключовим елементом роботи «розумного будинку», що забезпечує інтеграцію, ефективність та зручність для користувачів.

1.4 Загальні вимоги до бездротових технологій в системі «розумний будинок»

Для передачі даних в системах «розумного будинку» найчастіше використовуються бездротові технології [4-6].

За останні роки установлено широкий діапазон технологій для організації бездротового зв'язку між пристроями в системах «розумного будинку». Ці технології забезпечують різні рівні функціональності, швидкості передачі даних і енергоефективності.

Бездротові технології, які застосовуються в системах «розумного будинку», повинні відповідати дуже суворим вимогам щодо енергоефективності та пропускної здатності. Це важливо з кількох причин:

1. Енергоефективність є критично важливою, тому багато пристроїв у системах «розумного будинку» працюють на батарейках. Технології, такі як Zigbee і Z-Wave, розроблені з урахуванням низького споживання енергії, що дозволяє пристроям працювати протягом тривалого часу без необхідності частих замін батареї.

2. Обмеження пропускної здатності є важливим фактором для забезпечення стабільного та надійного зв'язку між пристроями. Багато з них передають невелику кількість даних, таких як показники сенсорів, що вимагає технологій, здатних забезпечити достатню швидкість передачі при низькому споживанні енергії.

3. Бездротові технології повинні витримувати електромагнітні перешкоди та інші фактори, які можуть вплинути на сигнал. Висока стійкість

до перешкод допомагає забезпечити безперервну роботу системи.

4. Потреба одночасного з'єднання багатьох пристроїв у системах «розумного будинку». Технології повинні бути здатні підтримувати велике число підключень без зниження продуктивності.

5. Затримка в передачі даних. Технології повинні забезпечувати низьку затримку у передачі даних, що є особливо важливим для систем, які потребують миттєвого реагування, наприклад, системи безпеки чи автоматизації.

Основні вимоги до бездротових технологій, які допомагають забезпечити ефективну, безпечну та зручну роботу у системах «розумного будинку»:

– надійність (забезпечення стабільного та безперервного з'єднання без частих збоїв у передачі даних);

– швидкість передачі даних (забезпечення швидкого реагування системи на команди користувача);

– низьке споживання енергії (зменшення частоти заряджання або заміни батареї для акумуляторних пристроїв);

– дальність дії (підтримка зв’язку між пристроями на відстані, достатньому для покриття всієї території будинку або об'єкта);

– взаємодія з пристроями різних виробників та підтримувати різні протоколи;

– безпека (можливість шифрування та захисту даних для запобігання несанкціонованому доступу та атак);

– збільшення кількості підключених пристроїв без втрати продуктивності;

– простота налаштування та використання.

Енергоспоживання бездротових технологій варіюється в залежності від типу використовуваної технології. Вибір відповідної технології має важливе значення для забезпечення ефективної роботи пристроїв з обмеженим живленням, таких як датчики та інші компоненти системи «розумний

будинок».

Підвищити енергоефективність будинку та значно зменшити витрати енергії можливо завдяки автоматизації та інтеграції різних пристроїв.

Розумні освітлювальні системи можуть автоматично вимикати світло в приміщеннях, де немає людей, або регулювати яскравість залежно від часу доби чи природного освітлення, зменшуючи споживання електроенергії.

Системи контролю клімату в розумних будинках можуть автоматично регулювати температуру в приміщеннях, забезпечуючи оптимальний режим роботи і знижуючи витрати на опалення чи охолодження. Використання розумних термостатів допомагає підлаштовувати роботу систем під звички мешканців, уникаючи зайвого споживання енергії.

Деякі пристрої побутової техніки можна налаштувати так, щоб вони працювали лише в оптимальні години або за потреби. Наприклад, пральні машини, посудомийки чи інші великі електроприлади можуть бути запрограмовані на роботу в години зниженого тарифу на електроенергію.

Більшість систем «розумного будинку» оснащені функціями моніторингу енергоспоживання, що дозволяє власникам будинків в режимі реального часу бачити, скільки енергії споживає кожен пристрій, і коригувати налаштування для мінімізації витрат.

Розумні будинки можуть бути оснащені сонячними панелями або іншими відновлюваними джерелами енергії, що додатково сприяє економії і зменшенню залежності від зовнішніх постачальників електроенергії.

Загалом, завдяки ефективному управлінню ресурсами, система «розумний будинок» дозволяє не лише зробити будинок більш зручним, але й значно знизити рівень енергоспоживання, що в свою чергу сприяє зменшенню витрат на комунальні послуги та підвищенню екологічності житла.

Радіус дії бездротової технології є критично важливим фактором в системах «розумного будинку», оскільки він визначає, на якій відстані сигнал може передаватися без втрати якості. Він залежить від таких факторів, як

потужність передавача, частота сигналу та наявність фізичних перешкод (стіни, меблі, техніка). Чим нижча частота і вища потужність, тим більший радіус дії. Однак на практиці максимальний радіус часто обмежується такими факторами, як перешкоди від інших пристроїв і матеріали конструкцій будівлі. У закритих приміщеннях сигнал зазвичай слабшає через стіни та інші бар’єри. Сучасні технології намагаються збалансувати радіус дії та енергоспоживання для оптимальної продуктивності в реальних умовах.

Різні бездротові технології мають різний радіус дії, що залежить від призначення та особливостей протоколу [5, 6]:

– Wi-Fi - зазвичай від 30 до 50 метрів у приміщенні і до 100 метрів на відкритій місцевості, але може змінюватись залежно від перешкод, таких як стіни чи інші фізичні бар'єри;

– Zigbee - в межах 10-20 метрів у приміщенні, але може бути збільшений за рахунок утворення сітчастої мережі, де кожен пристрій може передавати сигнал далі;

– Z-Wave - близько 30 метрів у приміщенні, і його можна збільшити за рахунок сітчастої мережі;

– Bluetooth - до 10 метрів для стандартного Bluetooth і до 100 метрів для Bluetooth Low Energy (BLE).

Радіус дії сигналу від будь-якого гаджета залежить від використовуваної технології та умов навколишнього середовища, тоді як безпека сигналу забезпечується за допомогою шифрування, аутентифікації та регулярного оновлення системи. Для забезпечення безпеки важливо використовувати сучасні протоколи шифрування і налаштовувати пристрої з урахуванням всіх потенційних загроз.

Безпека бездротових технологій передбачає захист даних, що передаються між пристроями, від несанкціонованого доступу та перехоплення. Важливими елементами безпеки є шифрування переданих даних, автентифікація користувачів та пристроїв, а також захист мережі від зовнішніх атак. Використання сучасних протоколів безпеки, таких як WPA3

для Wi-Fi або шифрування AES для інших технологій, є критично важливим для запобігання вразливостям. Регулярне оновлення програмного забезпечення також допомагає підтримувати високий рівень безпеки мережі та пристроїв.

Оскільки системи «розумного будинку» передають приватні дані, безпека бездротових технологій є надзвичайно важливою.

– Wi-Fi - піддається атакам, якщо не використовується сучасне шифрування (WPA3), тому необхідно використовувати складні паролі, шифрувати дані, встановлювати оновлення програмного забезпечення, створювати гостьові мережі для тимчасових пристроїв [7];

– Zigbee - через відносно низьку потужність деякі пристрої можуть бути вразливими до перехоплення даних, тому використання 128-бітного шифрування AES забезпечує достатній рівень захисту, але важливо стежити за тим, щоб пристрої мали актуальне програмне забезпечення [8];

– Z-Wave - може бути вразливим, якщо використовуються старі версії протоколу, необхідно використовувати новітню Z-Wave S2 Security, яка забезпечує шифрування даних та аутентифікацію пристроїв [9].

– Bluetooth - піддається атакам типу "man-in-the-middle" та іншим формам перехоплення, особливо у відкритих просторах. Сучасні версії Bluetooth використовують 128-бітне шифрування, але важливо обмежувати діапазон доступності і використовувати аутентифікацію [10].

Забезпечення надійного радіусу дії і захисту від кіберзагроз є ключовими аспектами для стабільної та безпечної роботи системи «розумний будинок». Для досягнення цього можна використовувати:

– сітчасті мережі (mesh networks) для технології Zigbee або Z-Wave, які дозволяють створювати мережу, де кожен пристрій виступає як ретранслятор сигналу, що забезпечує покриття всього будинку навіть на великі відстані;

– підсилювачі сигналу, які дозволяють збільшити радіус дії сигналу та забезпечити стабільне з'єднання між пристроями в різних частинах житла;

– використання сучасних технологій з мінімальними затримками, нові стандарти, такі як Wi-Fi 6 або Bluetooth 5, що забезпечують менші затримки передачі даних і вищу стабільність з'єднання.

Таким чином, належне налаштування мережі та вибір відповідних технологій гарантують надійну передачу даних між усіма пристроями системи.

У системі «розумного будинку» всі гаджети повинні працювати стабільно та ефективно, незалежно від їх кількості, навіть при наявності інших бездротових мереж або пристроїв, які можуть створювати перешкоди. Для забезпечення цього необхідно вжити заходів, спрямованих на зниження або усунення взаємних перешкод між різними бездротовими мережами. Усунення перешкод і забезпечення стабільної роботи можливо за рахунок використання сучасних стандартів зв'язку, наприклад Wi-Fi 6, Bluetooth 5.0 і вище, які забезпечують кращу продуктивність у перенасичених мережевих середовищах, вони використовує технології, що мінімізують перешкоди між пристроями, і дозволяє одночасно обслуговувати більше підключених пристроїв із мінімальною затримкою. Також можна використовувати різні частотні діапазони або різні канали. Поділ на два діапазони дозволяє зменшити навантаження на одну частоту. Пристрої, що не вимагають високої швидкості (наприклад, датчики), можуть використовувати частоту 2,4 ГГц, тоді як пристрої, які потребують більше пропускної здатності (камери, мультимедійні системи), можуть працювати на 5 ГГц. Налаштування різних каналів Wi-Fi зменшує конфлікти між сусідніми мережами. Використання автоматичного налаштування або вручну вибраного каналу допомагає уникнути цих проблем.

Сітчасті мережі - mesh-системи Wi-Fi також забезпечують рівномірний розподіл сигналу по всій площі будинку та зменшують затримки навіть при великій кількості підключених пристроїв, а Zigbee та Z-Wave використовують сітчасті мережі, які менш схильні до перешкод і працюють на інших частотах, ніж Wi-Fi, зменшуючи взаємні інтерференції.

В зонах, які мають слабкий сигнал через віддаленість від маршрутизатора або наявність перешкод, можна використовувати Wi-Fi-ретранслятори, які підсилять сигнал і допоможуть уникнути втрат зв'язку.

Таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу всіх розумних гаджетів і мінімізувати перешкоди від інших бездротових мереж або пристроїв, важливо використовувати сучасні протоколи зв'язку, налаштовувати частотні діапазони, впроваджувати mesh-мережі та контролювати взаємодію між різними системами. Це допоможе забезпечити стабільну та безперебійну роботу всіх пристроїв у будинку.

Будь-які повідомлення від пристроїв у системі «розумного будинку» повинні бути захищені за допомогою шифрування для запобігання несанкціонованого доступу або перехоплення даних. При цьому процес додавання нового пристрою в мережу має бути простим і швидким, але водночас забезпечувати високий рівень безпеки. Важливо, щоб заходи безпеки не ускладнювали підключення, що можна досягти за рахунок правильного балансування між зручністю і захистом.

Більшість бездротових технологій (Zigbee, Z-Wave, Bluetooth) використовують сучасні протоколи шифрування AES-128 або сильніше, Для Wi-Fi мереж важливо використовувати WPA3 (або щонайменше WPA2) для захисту переданих даних від стороннього доступу. Це гарантує, що повідомлення між пристроями не можуть бути легко перехоплені або зламані.

Для систем «розумного будинку» важливо, щоб усі повідомлення були захищені шифруванням, а процес додавання нових пристроїв залишався простим, швидким і безпечним. Використання сучасних протоколів шифрування та інтуїтивних методів підключення дозволяє забезпечити безпеку без додаткових складнощів для користувача.

Топологія бездротової мережі, яку використовує певний протокол розумного будинку, відіграє ключову роль у забезпеченні відмовостійкості. Крім того, вона безпосередньо впливає на енергоефективність та радіус дії

пристроїв. Децентралізований підхід до побудови бездротових мереж домашньої автоматизації використовує сітчасту топологію (mesh-мережу), де кожен пристрій може зв'язуватися з іншим в межах свого покриття. Якщо пристрої розташовані на великій відстані, сигнал передається через проміжні вузли, що значно розширює радіус дії мережі [11].

Крім того, нові гаджети можуть додаватися, а старі видалятися без шкоди для стабільності мережі. Більшість сітчастих мереж вимагають наявності "основного" пристрою, який виконує роль мережного контролера і координує роботу десятків або навіть сотень пристроїв. У разі виходу з ладу основного пристрою, інший пристрій має автоматично взяти на себе функції управління мережею. Ця особливість mesh-мереж є ключовою для забезпечення безперебійної роботи всієї системи.

Відмовостійкість бездротової технології визначає її здатність підтримувати стабільну роботу та забезпечувати зв'язок навіть у разі виникнення різних збоїв або перешкод [11, 12]:

- технологія повинна автоматично налаштовуватися на зміну умов навколишнього середовища, таких як перешкоди, зміни в сигналі або інтерференція від інших пристроїв;
- використання сітчастих мереж дозволяє пристроям взаємодіяти один з одним, обираючи найкращий шлях для передачі даних, що підвищує загальну надійність системи;
- у разі відмови одного з пристроїв або каналу зв'язку система повинна мати можливість автоматично переключатися на резервні шляхи для забезпечення безперервності зв'язку;
- використання надійних протоколів передачі даних, які забезпечують корекцію помилок і підтвердження отримання повідомлень, допомагає зменшити ризик втрати даних;
- системи повинні мати можливість моніторингу стану мережі та активних пристроїв для виявлення потенційних проблем і оперативного реагування на них.

Узагальнюючи, відмовостійкість бездротової технології є ключовим аспектом, що забезпечує стабільну і надійну роботу системи, зменшуючи ймовірність збоїв і підвищуючи рівень задоволення користувачів.

На базовому рівні концепція домашньої автоматизації полягає в тому, що всі розумні пристрої мають бути об'єднані в мережу для безперешкодної взаємодії між собою. Однак ринок розумного будинку все ще знаходиться на ранніх етапах розвитку. На даний момент забезпечення повної сумісності різних стандартів бездротових протоколів, яка б дозволяла пристроям і системам легко взаємодіяти, поки що недосяжне. Обрана технологія для «розумних будинків» не завжди може гарантувати, що різні розумні пристрої, будуть коректно взаємодіяти між собою.

Проблема сумісності стосується не лише мережевих протоколів, які забезпечують підключення, основна складність полягає у відсутності стандартних форматів даних і загальних програмних інтерфейсів.

Взаємна сумісність бездротових технологій є критично важливим аспектом, що забезпечує безперешкодну взаємодію між різними пристроями та системами.

Активний розвиток систем розумного будинку розпочався відносно недавно, але основні концепції були сформульовані давно. Огляд і аналіз систем розумного будинку дозволяє зрозуміти, як різні компоненти та технології впливають на автоматизацію побутових процесів, покращуючи комфорт, безпеку та енергоефективність житла.

Розумні будинки стають дедалі більш автоматизованими, інтегруючи велику кількість пристроїв, які можуть взаємодіяти один з одним і працювати за наперед визначеними сценаріями.

Завдяки автоматизованому контролю систем, таких як освітлення та клімат-контроль, розумні будинки сприяють зменшенню споживання енергії, що є важливим аспектом для екологічної свідомості та економії.

Важливим аспектом є забезпечення захищеності даних, що передаються між пристроями та конфіденційності користувачів. Інтеграція

надійних методів шифрування стає критичною, оскільки вразливі системи можуть стати ціллю для кіберзагроз.

Складність систем розумного будинку полягає у відсутності загальних стандартів для взаємодії різних пристроїв від різних виробників, що може створювати труднощі у їх інтеграції в одну систему.

Системи розумного будинку зазвичай використовують різні бездротові протоколи, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave або Bluetooth, що дозволяють пристроям спілкуватися між собою та з центральним контролером. Але деякі з них можуть мати підвищене енергоспоживання, що впливає на тривалість роботи батареї та ефективність мережі, а також при виборі надійної технології слід звернути увагу на такі властивості, як: радіус дії та безпека, відмово стійкість, взаємна сумісність. Мобільні додатки та голосові помічники надають користувачам можливість керувати системою дистанційно.

Розумні будинки мають величезний потенціал для поліпшення якості життя, забезпечуючи комфорт, безпеку та економію енергії. Однак важливими питаннями залишаються сумісність пристроїв, безпека даних та ціна впровадження таких технологій.

РОЗДІЛ 2
АРХІТЕКТУРА ТА ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглянемо основні принципи функціонування бездротових технологій у системі «розумний будинок». Бездротові технології дозволяють підключати різноманітні пристрої, такі як датчики, камери, освітлювальні прилади та інші компоненти системи автоматизації без необхідності прокладання кабелів. Це робить процес установки більш зручним і гнучким.

Завдяки безперервному вдосконаленню технологій, умови життя людей стають більш комфортними і зручними. Новітні технології забезпечують автоматизацію повсякденних процесів, підвищують ефективність ресурсів та сприяють створенню інтелектуальних систем, які адаптуються до потреб користувачів. Це дозволяє зменшити витрати часу та зусиль, поліпшити якість життя і забезпечити більший рівень комфорту в повсякденному житті.

На сьогоднішній день у системах розумного будинку широко використовуються чотири основні бездротові технології в розумному будинку: Bluetooth, WiFi, Z-Wave, Zig-bee.

Рисунок 2.1 – Технології для побудови розумного будинку

2.1. Технологія Wi-Fi

Система управління розумним будинком, заснована на Wi-Fi, є однією з найпопулярніших архітектур для автоматизації домашніх процесів. Вона використовує бездротову мережу Wi-Fi для підключення та взаємодії між різними пристроями, що дозволяє користувачам легко управляти своїм житлом з будь-якого місця.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) — це стандарт бездротового зв'язку, який базується на специфікації мережі IEEE 802.11b. Ця технологія забезпечує передачу даних через радіохвилі, дозволяючи пристроям обмінюватися інформацією без фізичних з'єднань. Wi-Fi використовується для створення локальних бездротових мереж (WLAN), що дозволяють підключати пристрої до Інтернету або один до одного [7].

Рисунок 2.2 – Технологія Wi-Fi

Wi-Fi зазвичай працює у двох основних діапазонах радіочастот:

– 2,4 ГГц - має більший радіус покриття, але нижчу швидкість передачі даних. Він часто використовується для забезпечення стабільного з'єднання на відносно великі відстані або через перешкоди, такі як стіни;

– 5 ГГц - забезпечує вищу швидкість передачі даних, але його сигнал має менший радіус дії і слабше проникає через перешкоди (стіни або інші матеріали).

Принцип роботи системи управління «розумним будинком», заснованої на Wi-Fi, полягає в тому, що безліч бездротових смарт-вузлів (пристроїв) підключаються до єдиної Wi-Fi мережі, створюючи інтегровану екосистему. Кожен смарт-вузол — це окремий пристрій (сенсор, камера, термостат, розумна розетка тощо), який може взаємодіяти з іншими пристроями через Wi-Fi. Через центральний контролер або Wi-Fi роутер всі смарт-вузли підключені до мережі і можуть управлятися з одного місця — наприклад, через мобільний додаток. Це забезпечує легкий доступ до керування кожним з пристроїв як в межах дому, так і віддалено.

Перевагами Wi-Fi є те, що ця технологія забезпечує широкий радіус покриття та високу ефективність на значних відстанях. Завдяки своїм характеристикам, Wi-Fi може охоплювати великі території, що робить його ідеальним рішенням для використання в системах розумного будинку.

Сформулюємо деякі ключові особливості стандарту Wi-Fi. До його переваг відносяться:

– висока швидкість передачі даних;

– широке покриття (може забезпечувати з'єднання на великій площі, що дозволяє користувачам підключати кілька пристроїв у різних частинах приміщення або на відкритій території)

– компактність;

– гнучкість в розміщенні пристроїв (дозволяє користувачам розміщувати пристрої у зручних для них місцях без необхідності прокладати кабелі);

– велика різноманітність модулів під різні завдання;

– високий рівень стандартизації і сумісність між пристроями Wi-Fi різних виробників (підтримується широким спектром пристроїв, включаючи комп'ютери, смартфони, планшети, побутову техніку та пристрої для

розумного дому, що забезпечує інтеграцію в єдину мережу);

– захист переданих даних.

Недоліки Wi-Fi як протоколу розумного будинку:

– велике енергоспоживання і неможливість роботи протягом тривалого часу від автономних джерел живлення;

– відносно висока вартість (в порівнянні з Bluetooth і ZigBee).

Технічні характеристики Wi-Fi можуть варіюватися залежно від конкретного стандарту, але ось основні параметри, які визначають роботу цієї бездротової технології (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Стандарти Wi-Fi

Параметри Wi-Fi	802.11b	802.11g	802.11n (Wi-Fi 4)	802.11ac (Wi-Fi 5)	802.11ax (Wi-Fi 6)
Діапазон частот	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц 5 ГГц	5 ГГц	2,4 ГГц 5 ГГц
Максимальна швидкість передачі даних	до 11 Мбіт/с	до 54 Мбіт/с	до 600 Мбіт/с	до 3.5 Гбіт/с	до 9.6 Гбіт/с
Радіус дії всередині приміщень	до 100 м	до 100 м	до 70 м	до 35 м	до 70 м
Радіус дії на відкритій території	до 300 м	до 300 м	до 250 м	до 100 м	до 300 м

Шифрування та безпека Wi-Fi є важливими факторами для забезпечення конфіденційності та цілісності даних, що передаються через бездротові мережі. Основні стандарти шифрування і механізмів безпеки, які використовуються в Wi-Fi:

– WEP (Wired Equivalent Privacy) - один з перших стандартів безпеки для Wi-Fi. Використовує статичний ключ для шифрування даних, вважається застарілим і ненадійним, не рекомендується для використання. Швидко виявлені уразливості дозволяють зловмисникам легко зламати шифрування.

– WPA (Wi-Fi Protected Access) - більш надійний захист, ніж WEP, проте також вважається недостатньо безпечним.

– WPA2 - покращена версія WPA, яка використовує шифрування AES (Advanced Encryption Standard). Значно підвищує рівень безпеки, підтримує CCMP для аутентифікації та шифрування. WPA2 став стандартом для більшості Wi-Fi мереж.

– WPA3 - найновіший стандарт безпеки Wi-Fi, Включає захист від атак методом підбору паролів, забезпечує більш надійне шифрування і безпечний обмін ключами, а також підтримує поліпшену аутентифікацію.

Для підвищення безпеки рекомендується використовувати WPA3, якщо це можливо. Якщо ні, обирати WPA2 з AES, регулярно змінювати паролі Wi-Fi, уникати використання простих і легко згадуваних паролів, регулярно оновлювати прошивку маршрутизатора для отримання останніх патчів безпеки.

Вибір топології Wi-Fi мережі залежить від специфіки використання, розміру приміщення, кількості підключених пристроїв і потреб у надійності та продуктивності. Найбільш поширеною є топологія "зірка", де всі її вузли об'єднуються з центральним - бездротовим маршрутизатором, забезпечує простоту використання та управління. У цій топології всі бездротові пристрої (клієнти) підключаються до одного центрального маршрутизатора або точки доступу. У подібний топології кінцеві приладу можливо додавати і видаляти з мережі, що не впливаючи на єдність її структури і передачу даних в ній. Але даний розклад робить єдину точку відмови, тобто якщо центральний маршрутизатор виходить з ладу, вся мережа перестає працювати.

Таблиця 2.2

Переваги і недоліки Wi-Fi в системах «розумного будинку»

Переваги	Недоліки
– широко поширені в комп'ютерах і мобільних пристроях; – забезпечує високу швидкість передачі даних; – достатній радіус дії	– високе споживання енергії не дає можливості використовувати Wi-Fi в автономних датчиках і виконавчих пристроях розумного будинку; – мережева топологія "зірка" не гарантує відмовостійкості мережі; – виникають сумніви щодо сумісності пристроїв від різних виробників; – проблеми з безпекою, такі як механізм управління ключами

Система управління розумним будинком, заснована на Wi-Fi, є універсальним рішенням, яке забезпечує високу гнучкість і доступність. Вона дозволяє легко інтегрувати велику кількість пристроїв і створювати складні сценарії автоматизації. Однак, для максимальної ефективності необхідно враховувати потенційні недоліки, такі як енергоспоживання та безпеку, і забезпечувати відповідні заходи для їх мінімізації.

2.2. Технологія Z-Wave

Z-Wave — це бездротова технологія, яка використовується для створення мережі розумного дому, що дозволяє пристроям спілкуватися між собою. Розробка використовує малопотужні і компактні радіочастотні модулі, які забезпечують стабільне бездротове з'єднання між пристроями, мінімізуючи споживання енергії. Завдяки цьому такі модулі ідеально

підходять для використання в розумних пристроях, які повинні працювати тривалий час на одній батареї. Радіочастотні модулі, які використовуються в таких розробках, як правило, працюють на частотах нижче 1 ГГц, що дозволяє їм уникати інтерференції з іншими популярними бездротовими технологіями, такими як Wi-Fi або Bluetooth [9].

Модулі Z-Wave широко використовуються в різноманітних пристроях домашньої автоматизації завдяки своїй ефективності та надійності (рисунок 2.3), це:

1. датчики:
    a) датчики руху (виявляють присутність людей або рух в приміщенні для активації освітлення або сигналізації);
    b) датчики відкриття дверей і вікон (реагують на відчинення або зачинення дверей та вікон, що використовується для безпеки або в системах клімат-контролю);
    c) датчики температури, вологості та якості повітря (вимірюють умови навколишнього середовища для регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря);
2. термостати:
    a) автоматизація опалення і охолодження (налаштування температури в будинку в залежності від часу доби або присутності людей);
    b) моніторинг температури (збір даних про температуру в реальному часі, що допомагає виявити несправності у системах опалення та охолодження);
3. розумні замки (відкриття і закриття замка за допомогою смартфона або спеціальних карток);
4. розумні вимикачі та розетки (дистанційне керування освітленням та електроприладами);
5. системи охорони і сигналізації (дозволяють вести відеоспостереження в реальному часі з можливістю дистанційного доступу та сповіщають про спроби злому або інші небезпечні ситуації);

6. системи освітлення (автоматизація освітлення на основі руху, часу доби або присутності користувачів у приміщенні);

Рисунок 2.3 – Стандарт Z-Wave

Технічні характеристики Z-Wave:

1. Z-Wave працює на частотах, що варіюються в залежності від регіону:

   a. 868,42 МГц (Європа);
   b. 908,42 МГц (Північна Америка);
   c. 919,82 МГц (Японія);

2. дальність дії в межах приміщення становить приблизно 30 метрів, а на відкритому повітрі — до 100 метрів. Завдяки можливості створення mesh-мережі, дальність може збільшуватися;

3. максимальна швидкість передачі даних становить 100 кбіт/с.;

4. Z-Wave розроблений для роботи з низьким споживанням енергії, що дозволяє пристроям працювати на батареї до 10 років в залежності від типу пристрою та частоти передачі даних;

5. Z-Wave дозволяє підключати до 232 пристроїв в одній мережі без значних втрат продуктивності, що дозволяє створювати великі системи автоматизації;

6. кожен пристрій у мережі може виступати в ролі ретранслятора сигналу, що підвищує надійність зв'язку;

7. Z-Wave використовує різноманітні модулі, такі як ZGM130S, ZM5101, ZM5202 тощо. Вони мають різні фізичні форм-фактори, залежно від потреб виробника;

8. Z-Wave використовує AES-128 шифрування для забезпечення безпеки передачі даних, що робить систему стійкою до атак;

9. всі пристрої, сертифіковані Z-Wave, працюють разом незалежно від виробника, що забезпечує високу ступінь сумісності в межах екосистеми;

10. пристрої Z-Wave підключаються до центрального контролера або шлюзу, що дозволяє їм працювати разом у єдиній мережі, а також контролювати їх через мобільні додатки;

11. Z-Wave підтримує різні типи повідомлень, включаючи команди включення/вимкнення, показ значення сенсорів, налаштування параметрів;

12. топології mesh-мережі Z-Wave забезпечує високу надійність,. усі сигнали передаються найефективнішим шляхом.

Ці технічні характеристики роблять Z-Wave популярним вибором для створення розумних будинків, завдяки своїй надійності, простоті використання і широким можливостям інтеграції.

Основні переваги якості Z-Wave, які роблять цю технологію популярною для розумного житла:

1. використовує mesh-архітектуру, що дозволяє кожному пристрою передавати сигнал далі. Це збільшує надійність з'єднання, оскільки дані можуть пересилатися кількома шляхами, що зменшує ризик втрати сигналу;

2. Z-Wave пристрої спроектовані для роботи з мінімальним споживанням енергії, що дозволяє їм тривало працювати на батареї;

3. підтримується багатьма виробниками, що дозволяє інтегрувати в

систему різноманітні пристрої, такі як замки, термостати, освітлення та датчики;

4. використовує AES-128 шифрування для забезпечення захисту передачі даних, що підвищує безпеку мережі та запобігає несанкціонованому доступу;

5. більшість Z-Wave пристроїв легко підключаються до системи через мобільні додатки, що спрощує процес налаштування та використання.

Незважаючи на численні переваги, у протоколу Z-Wave є деякі недоліки, які можуть обмежувати його використання в певних випадках:

1. висока вартість Z-Wave, пристрої дорожчі порівняно з іншими технологіями автоматизації розумного будинку, такими як Zigbee або Wi-Fi;

2. обмежена кількість пристроїв у мережі (232), цього недостатньо для великих будівель чи комплексів;

3. залежність від центрального контролера, хоча Z-Wave підтримує mesh-топологію, мережа все одно залежить від центрального контролера. Якщо контролер виходить з ладу, уся система може перестати працювати, що знижує надійність;

4. невелика швидкість передачі даних, тому Z-Wave має відносно низьку пропускну здатність (максимальна швидкість передачі даних становить близько 100 Кбіт/с), технологія підходить для управління простими командами (включення/вимкнення пристроїв), але не для передавання великих обсягів даних, як відео або мультимедіа;

5. регіональна обмеженість, тому Z-Wave використовує різні частоти в різних частинах світу, пристрої, придбані в одному регіоні, можуть не працювати в іншому через несумісність частот;

6. менша популярність порівняно з Wi-Fi, хоча Z-Wave є досить популярним у сфері розумних будинків, Wi-Fi має значно ширше поширення та підтримується більшою кількістю пристроїв. Це може обмежити вибір пристроїв для користувачів, які вже використовують Z-Wave.

Таблиця 2.3

Переваги та недоліки протоколу Z-Wave

Переваги	Недоліки
– надійність з'єднання; – низький рівень споживання енергії пристроїв; – висока сумісність; – високий рівень безпеки; – простота інтеграції; – можливість віддаленого доступу	– висока вартість; – централізоване управління; – обмежена швидкість; – різні частоти для різних регіонів

Z-Wave є однією з ключових технологій для побудови розумного будинку, забезпечуючи надійну автоматизацію, безпеку та енергоефективність. Завдяки гнучкості, сумісності з багатьма пристроями та можливості налаштування різноманітних сценаріїв, Z-Wave допомагає створювати комфортні, безпечні та сучасні умови для життя.

2.3 Технологія ZigBee

Технологія ZigBee є основним конкурентом Z-Wave на ринку систем розумних будинків. За цей час ZigBee**,** нарівні з Z-Wave, став однією з найбільш поширених бездротових комунікаційних технологій для систем розумний будинок (рисунок 2.4). Завдяки своїй енергоефективності, масштабованості та підтримці великої кількості пристроїв, ZigBee широко застосовується як у домашніх мережах, так і в промислових рішеннях. Його здатність працювати з великою кількістю пристроїв та ефективно передавати дані на великі відстані робить його ідеальним вибором, де потрібна надійна комунікація між різноманітними сенсорами та пристроями [8].

Рисунок 2.4 – Стандарт ZigBee

Вона розроблена для підтримки низькошвидкісної передачі даних з мінімальним енергоспоживанням, що робить її ідеальною для роботи у пристроях, що живляться від батареї і потребують тривалого часу автономної роботи.

Основні характеристики ZigBee:

– ZigBee працює на частоті 2,4 ГГц, яка є глобальною для використання технології у всьому світі без необхідності отримання ліцензій на частотний спектр;

– як і Z-Wave, ZigBee використовує mesh-мережу, де кожен пристрій може ретранслювати сигнал іншим пристроям, забезпечуючи надійність мережі, оскільки дані можуть передаватися через кілька вузлів, обходячи перешкоди або збою;

– технологія підтримує швидкість передачі до 250 Кбіт/с**,** дозволяє передавати невеликі обсяги даних, такі як команди управління для освітлення, термостатів або безпекових датчиків;

– радіус дії ZigBee дещо менший (приблизно 10-20 метрів у приміщенні), але також підтримує mesh-мережу, де кожен пристрій може ретранслювати сигнал. За рахунок цього мережа ZigBee може покривати

великі площі при наявності достатньої кількості пристроїв;

– пристрої, що використовують ZigBee, споживають дуже мало енергії, що дозволяє їм працювати кілька років від батареї. Це ідеальна технологія для сенсорів та інших малопотужних пристроїв;

– ZigBee підтримує до 65 000 пристроїв в одній мережі, тому вона придатна не лише для розумних будинків, а й для великих систем, таких як промислові установки або «розумні міста»;

– ZigBee, також використовує AES-128 шифрування для захисту передачі даних. Обидві технології забезпечують високий рівень безпеки;

– ZigBee базується на відкритому стандарті IEEE 802.15.4**,** який дозволяє розробникам створювати рішення для різних платформ без необхідності використання закритих протоколів;

– ZigBee більш доступна за ціною технологія, що пов'язано з меншою вартістю чіпсетів і широким використанням у різних індустріях.

ZigBee активно використовується для автоматизації освітлення, кліматичних систем, безпеки та контролю доступу в розумних будинках. Наприклад, сенсори руху, розумні замки, системи поливу та управління енергоспоживанням часто базуються на цій технології.

У промисловості ZigBee використовується для моніторингу стану обладнання, керування процесами, збору даних з різних сенсорів, що дозволяє створювати інтелектуальні виробничі лінії.

ZigBee знайшов застосування в системах "розумного міста", де використовуються мережі датчиків для контролю стану інфраструктури, управління вуличним освітленням, моніторингу якості повітря, водопостачання та інших життєво важливих міських систем.

Переваги ZigBee:

– енергоефективність (завдяки низькому енергоспоживанню пристрої можуть працювати від батареї протягом декількох років);

– висока масштабованість, дозволяє використовувати ZigBee для великих систем;

– гнучкість мережі, mesh-топологія передає сигнал через кілька вузлів, що забезпечує надійність і збільшує радіус дії мережі;

– компоненти для ZigBee мають низьку вартість та створює доступні пристрої для автоматизації.

Недоліки ZigBee:

- перешкоди від інших пристроїв, що працюють в діапазоні 2,4 ГГц;

- проблема взаємодії між різними пристроями, незважаючи на стандартизацію, деякі пристрої від різних виробників можуть не бути повністю сумісними через варіації у специфікаціях.

Обидві бездротові технології ZigBee і Z-Wave використовують mesh-мережі та мають схожі функції. На перший погляд, з точки зору надійності, вони здаються подібними. Однак при більш детальному аналізі виявляються значні відмінності між ZigBee і Z-Wave.

Технологія ZigBee підтримує кілька варіантів топології мережі, що робить її гнучкою для різних застосувань. У «зірковій» топології мережі всі пристрої підключаються безпосередньо до центрального координатора, який контролює передачу даних. Проста структура, швидка обробка команд, але якщо координатор виходить з ладу, вся мережа перестає працювати.

У структурі мережі «дерево» координатор підключений до декількох маршрутизаторів, які, в свою чергу, можуть з’єднуватися з іншими маршрутизаторами або кінцевими пристроями. Дані передаються через маршрутизатори до кінцевих пристроїв. Добре підходить для складних систем, але якщо один маршрутизатор виходить з ладу, можуть виникнути проблеми з передачею даних.

Mesh-топологія - найбільш гнучка топологія, де кожен пристрій може передавати дані іншим пристроям, створюючи децентралізовану мережу. Дані можуть проходити через кілька маршрутизаторів, що підвищує надійність та дальність передачі. Висока надійність, дані можуть передаватися кількома шляхами, підтримка великої кількості пристроїв, недоліками є складність налаштування та управління, затримки при передачі

даних через кілька вузлів.

Комбінована топологія може використовувати елементи зіркової та mesh-топології, де координатор підключається до кількох маршрутизаторів, які також можуть використовувати mesh-з'єднання. Гнучка структура, що поєднує переваги кількох топологій, але складніша організація мережі.

Ці варіанти топології дають можливість адаптувати мережу ZigBee для різних сценаріїв використання, від простих домашніх мереж до масштабних промислових систем (рисунок 2.5).

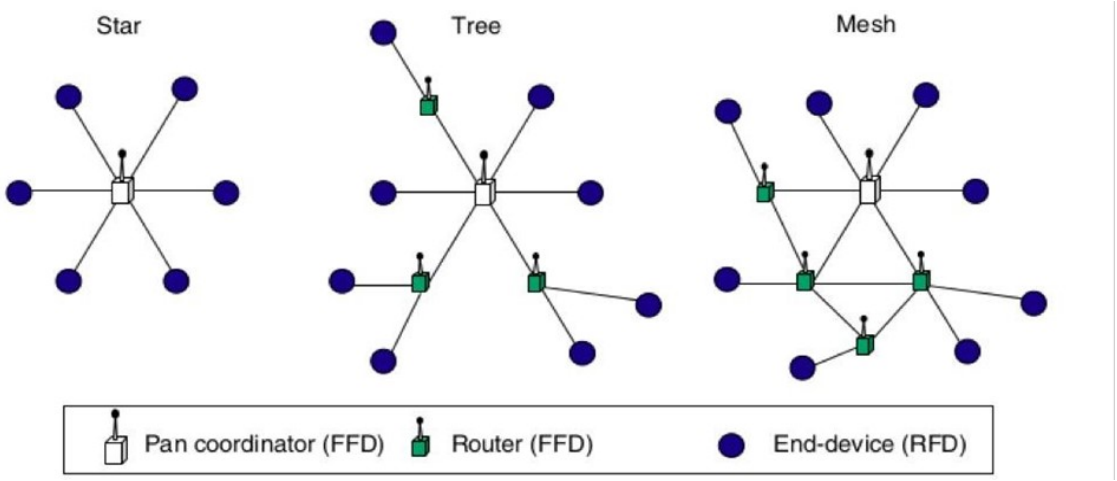

Рисунок 2.5 – Варіанти топології мережі Zigbee

Таблиця 2.4

Переваги та недоліки ZigBee

Переваги	Недоліки
– надійність з'єднання; – низький рівень споживання енергії пристроїв; – високий рівень безпеки; – підтримує до 65 000 пристроїв у мережі; – відкритий стандарт; – низька вартість	– висока складність управління; – обмежена швидкість; – затримки в mesh-мережах; – інтерференція від Wi-Fi та інших пристроїв на тій самій частоті; – невеликий радіус дії; – несумісність між різними реалізаціями

2.4 Технологія Bluetooth

Bluetooth — це бездротова технологія, яка використовується для передачі даних на короткі відстані між пристроями, такими як смартфони, навушники, комп'ютери, годинники та інші гаджети. Вона була створена як альтернатива кабельному з'єднанню для зручного та енергоефективного обміну інформацією [10].

Розробка технології Bluetooth почалася в 1989 році в компанії Ericsson (Швеція). Головна ідея полягала у створенні способу бездротового з'єднання різних електронних пристроїв для передачі даних і голосу на коротких відстанях, проте технологія швидко стала основною для обміну даними в персональних обчислювальних мережах (смартфони, ПК, КПК) і підключення різноманітних периферійних пристроїв, таких як гарнітури, бездротові клавіатури, миші, принтери тощо. Технологія Bluetooth пройшла довгий шлях від простої ідеї до одного з найпоширеніших стандартів бездротового зв'язку у світі. Завдяки постійним оновленням і поліпшенням, вона стала невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, забезпечуючи надійний і енергоефективний спосіб підключення пристроїв різного типу.

Основні характеристики Bluetooth:

1. частотний діапазон - 2.4 ГГц;
2. діапазон дії залежить від версії Bluetooth і потужності передавача, радіус дії може становити від 10 до 100 метрів;
3. швидкість передачі даних Bluetooth 5.0 і новіші версії забезпечують швидкість передачі до 2 Мбіт/с. Старіші версії, такі як Bluetooth 4.0, мають нижчі швидкості;
4. Bluetooth Low Energy (BLE) — варіант технології, розроблений для роботи з мінімальним енергоспоживанням, ідеально підходить для пристроїв IoT, фітнес-трекерів та інших пристроїв, що живляться від батареї;

5. простота використання Bluetooth дозволяє легко з'єднувати пристрої, зазвичай без необхідності введення паролів або складних налаштувань.

Найбільш поширені версії:

- Bluetooth 4.0 - впровадив Bluetooth Low Energy (BLE), зменшено енергоспоживання;
- Bluetooth 5.0 - покращена швидкість, дальність і можливість передавати більші обсяги даних;
- Bluetooth 5.1 та 5.2 - додали точність визначення місцезнаходження та покращили енергоефективність.

Bluetooth широко використовується для підключення бездротових навушників, колонок, фітнес-браслетів, смарт-годинників і інших аксесуарів до смартфонів і планшетів. Також Bluetooth використовується в пристроях для розумного будинку, таких як розумні замки, освітлення і термостати, забезпечуючи швидкий і енергоефективний обмін даними.

Переваги Bluetooth:

– малий рівень споживання енергії;

– широка підтримка в смартфонах, ноутбуках, навушниках, годинниках та багатьох інших гаджетах;

– низька вартість компонентів;

– легке налаштування та з’єднання між пристроями;

– високий рівень стандартизації, підходить для безлічі застосувань, включаючи звук, передачу даних, управління пристроями;

– захист переданих даних через шифрування та аутентифікацію.

Недоліки Bluetooth:

– короткий діапазон дії - Bluetooth здебільшого працює на відстані до 10 метрів, що обмежує його використання у великих просторах;

– обмежена швидкість передачі, у порівнянні з Wi-Fi чи іншими стандартами, Bluetooth має нижчу швидкість обміну даними;

– може піддаватися перешкодам від інших пристроїв, що працюють

на тих самих частотах (наприклад, Wi-Fi);

– обмежена пропускна здатність, незважаючи на оновлення стандарту, не підходить для передачі великих обсягів даних;

– обмежений радіус дії, залежність від близькості пристроїв для забезпечення з’єднання.

Технологія Bluetooth використовує кілька різних топологій для забезпечення зв'язку між пристроями, що дозволяє створювати різноманітні мережеві рішення, від простих підключень (наприклад, гарнітури до смартфонів) до складних систем (наприклад, смарт-гаджети у розумному будинку).

Зіркова топологія часто використовується в бездротових навушниках та динаміках, де вони підключаються до смартфонів або комп'ютерів. У цій топології всі пристрої підключаються до центрального пристрою, зазвичай до комп'ютера**.** Забезпечує легкість у налаштуванні та управлінні, швидкий доступ до ресурсу, але якщо центральний пристрій виходить з ладу, вся мережа перестає функціонувати.

Топологія «пункт-пункт» зазвичай використовується в простих передачах даних між двома пристроями, з'єднує два пристрої безпосередньо один з одним, без використання центрального контролера. Характеризується простотою налаштування та управління, низькою затримкою передачі даних, обмеженістю у кількості підключених пристроїв (лише два).

Топологія «пункт-до-множини» застосовується, у бездротових клавіатурах або мишах, що підключаються до комп'ютера, де один пристрій підключається до декількох інших пристроїв. Він контролює зв'язок і може обмінюватися даними з усіма підключеними пристроями. Обмежена пропускна здатність, оскільки всі дані проходять через один майстер-пристрій.

Mesh-топологія стає популярною у системах розумного будинку, де багато пристроїв можуть взаємодіяти між собою для забезпечення функцій автоматизації. Топологія «mesh» - всі пристрої можуть з'єднуватися один з

одним, створюючи децентралізовану мережу. Характеризується високою надійністю і масштабованістю, можливістю динамічного розширення мережі, але стає складніша організація мережі, що потребує додаткових зусиль для управління та налаштування.

Ці різні топології дозволяють Bluetooth бути гнучким і ефективним рішенням для різних сценаріїв використання, від простих з'єднань до складних систем домашньої автоматизації.

Таблиця 2.4

Переваги і недоліки Bluetooth

Переваги	Недоліки
– висока доступність; – помірний рівень споживання енергії; – високий рівень безпеки; – простота використання, легка настройка та підключення пристроїв; – стійкість до перешкод; – широкій спектр застосування; – низька вартість, дешевше інших бездротових технологій.	– висока складність управління; – погана перешкодозахищеність в перевантаженому діапазоні частот 2,4 ГГц; – обмежена швидкість передачі даних; – обмежена пропускна здатність; – обмежена дальність.

Системи «розумний будинок» базуються на бездротових технологіях, які забезпечують зручність, ефективність і автоматизацію розумного будинку. Основні принципи їх функціонування ґрунтуються на використанні різних протоколів, таких як ZigBee**,** Z-Wave**,** Wi-Fi і Bluetooth, які забезпечують комунікацію між пристроями.

Завдяки простоті налаштування та інтеграції, користувачі можуть швидко підключати нові пристрої та контролювати їх через мобільні додатки або голосові асистенти.

Використання mesh-мережі в ZigBee та Z-Wave забезпечує високу надійність зв’язку та можливість підключення великої кількості пристроїв.

Багато бездротових технологій, зокрема ZigBee, спроектовані з акцентом на енергоефективність, що дозволяє пристроям працювати від батареї протягом тривалого часу, зменшуючи витрати на обслуговування.

Системи «розумного будинку» використовують різноманітні методи шифрування та аутентифікації.

Таким чином, бездротові технології є ключовими елементами в системах «розумний будинок», з розвитком технологій у цій сфері можна очікувати подальшого вдосконалення функціональності, доступності та надійності систем «розумного будинку».

РОЗДІЛ 3
ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

3.1. Аналіз бездротових технологій

В попередньому розділі було розглянуто бездротові технології в системах розумного будинку. Виконаємо порівняння основних характеристик бездротових технологій ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi та Bluetooth (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Порівняння основних характеристик бездротових технологій

Характеристика	ZigBee	Z-Wave	Wi-Fi	Bluetooth
Частота	2,4 ГГц (глобально), 868 МГц (Європа)	868 МГц (Європа), 908 МГц (США)	2,4 ГГц, 5 ГГц	2,4 ГГц
Топологія мережі	Mesh	Mesh	Point-to-multipoint	Point-to-point, Mesh (BLE)
Максимальна кількість пристроїв	До 65 000	До 232	Обмежується пропускною здатністю	До 8 для класичного Bluetooth, більше для BLE
Дальність дії	10-100 м	30-100 м	До 100 м (в межах прямої видимості)	10-100 м (Bluetooth 5.0)

Продовження табл. 3.1

Характеристика	ZigBee	Z-Wave	Wi-Fi	Bluetooth
Швидкість передачі даних	До 250 Кбіт/с	До 100 Кбіт/с	До 1 Гбіт/с (Wi-Fi 5), до 9,6 Гбіт/с (Wi-Fi 6)	До 2 Мбіт/с (BLE), до 3 Мбіт/с (класичний)
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Високе (особливо в старих версіях)	Низьке (BLE), середнє (класичний)
Сфера застосування	Розумні будинки, промисловість, IoT	Розумні будинки, системи безпеки	Стримінг, відео, інтернет, інші медіа	Аудіо, периферійні пристрої, гаджети
Енергоефективність	Висока	Висока	Низька	Висока (BLE), середня (класичний)
Сумісність	Відкритий стандарт	Пропрієтарний стандарт	Підтримується більшістю пристроїв	Широко підтримується
Безпека	Шифрування AES-128	Шифрування AES-128	WPA2, WPA3	Шифрування AES-128 BLE, слабша в старих версіях
Вартість реалізації	Низька/середня	Середня/висока	Низька	Низька

Порівняння таблиця допомагає оцінити переваги та недоліки кожної бездротової технології [11, 12].

ZigBee і Z-Wave відзначаються енергоефективністю та підходять для автоматизації розумних будинків завдяки mesh-топології.

Wi-Fi пропонує високу швидкість передачі даних, але має високе енергоспоживання, що робить його менш придатним для пристроїв, які працюють від батареї.

Bluetooth**,** особливо в версії BLE (Bluetooth Low Energy)**,** підходить для переносних пристроїв та периферії, забезпечуючи достатню енергоефективність і хорошу дальність дії в нових версіях.

Надійність бездротових технологій у системах «розумний будинок» є критично важливим фактором, оскільки ці технології забезпечують комунікацію між численними пристроями, такими як датчики, замки, термостати, камери та інші елементи автоматизації. Основні фактори, що впливають на надійність цих систем:

- топологія мережі;
- діапазон і потужність сигналу;
- перешкоди та інтерференція;
- енергоефективність і автономність;
- безпека та захист даних;
- сумісність і стандартизація.

3.2. Топологія мережі

Топологія мережі – це ключовий фактор, що визначає надійність роботи бездротових технологій у система «розумний будинок». Проаналізуємо основні типи топологій і їх влив на надійність в різних технологіях ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth у контексті систем «розумний будинок» [12, 13].

Mesh-топологія є надійнішою для систем «розумний будинок», її використовують технології ZigBee, Z-Wave та Bluetooth (BLE 5.0). У mesh-мережі кожен пристрій може передавати дані іншим пристроям, що створює кілька маршрутів для сигналу, тобто кожен пристрій діє як ретранслятор**.** Якщо один із вузлів мережі виходить з ладу, сигнал автоматично перенаправляється через інші пристрої, що підвищує надійність зв'язку.

Завдяки можливості передачі сигналу через інші пристрої мережа покриває великі території без збільшення потужності сигналу. Оскільки пристрої в мережі споживають мінімум енергії, це забезпечує стабільність роботи протягом тривалого часу.

Переваги надійності**:**

– стійкість до збоїв в окремих вузлах;

– висока гнучкість в розміщенні пристроїв;

– можливість масштабування мережі.

Недоліки**:**

– у великих мережах затримки сигналу можуть зрости через кілька проміжних вузлів;

– складність налаштування та управління при значній кількості пристроїв.

Mesh-топологія забезпечує найвищий рівень надійності завдяки своїй стійкості до збоїв окремих пристроїв. Це ідеальна структура для великих і розподілених систем «розумного будинку», оскільки мережа автоматично перебудовується в разі виникнення проблем.

У топології «зірка» всі пристрої підключаються до центрального хабу або маршрутизатора. Цю схему використовують Wi-Fi і Bluetooth для підключення до мережі. Сигнал передається безпосередньо між пристроєм та хабом, що дозволяє швидке з'єднання на коротких відстанях. Центральний вузол відповідає за керування всіма з’єднаннями та обміном даними між пристроями.

Переваги надійності**:**

– проста конфігурація та легкість в налаштуванні;

– прямий зв'язок з центральним пристроєм забезпечує швидку передачу даних.

Недоліки**:**

– якщо центральний елемент виходить з ладу, вся мережа перестає функціонувати;

– пристрої, що знаходяться на значній відстані від хабу, можуть мати слабкий сигнал або не мати зв’язку взагалі;

– велика кількість підключених пристроїв може призвести до перевантаження мережі, особливо в Wi-Fi.

Надійність цієї топології залежить від безперебійної роботи центрального вузла і може бути знижена в великих приміщеннях через обмежену дальність передачі сигналу.

У топології «точка-точка» (Point-to-Point) кожен пристрій безпосередньо з'єднується з іншим пристроєм без участі центрального хаба. Використовують - Bluetooth (класичний), інколи Wi-Fi для з'єднань пристрій-пристрій.

Переваги:

– легко налаштовується і не потребує складної інфраструктури;

– використовується мінімальна кількість ресурсів для передачі даних.

Недоліки:

– топологія підходить лише для невеликої кількості пристроїв, оскільки кожне з’єднання обмежене одним каналом зв’язку;

– якщо з'єднання між двома пристроями переривається, немає можливості для передачі даних альтернативним шляхом.

Топологія «точка-точка» менш надійна в порівнянні з іншими структурами, оскільки вона не забезпечує резервних шляхів для передачі даних.

Найбільш надійною топологією для систем «розумний будинок» є mesh-топологія**,** що використовується у ZigBee, Z-Wave, Bluetooth BLE,

оскільки вона дозволяє мережі продовжувати функціонувати навіть при збоях у окремих пристроях. Це робить її оптимальною для великих і складних мереж.

Топологія «зірка» також широко застосовується завдяки простоті налаштування, але вона менш надійна через залежність від центрального хабу і обмежену дальність дії. Підходить для невеликих систем або для випадків, де важлива швидкість передачі даних (Wi-Fi).

Топології «точка-точка» або «точка-багатоточка» (Wi-Fi, Bluetooth) має обмежену надійність у порівнянні з mesh, але може бути використана в менш критичних або простіших конфігураціях.

Вибір топології залежить від потреб користувача, розміру будинку, кількості підключених пристроїв та вимог до енергоефективності.

3.3. Діапазон і потужність сигналу

Діапазон дії і потужність сигналу бездротових технологій є вирішальними факторами при побудові надійної мережі для систем «розумний будинок». Ці параметри визначають, наскільки стабільно й ефективно пристрої можуть взаємодіяти один з одним, особливо в умовах великих приміщень, кількох поверхів або наявності перешкод, таких як стіни чи меблі [12, 13].

Порівняльний аналіз надійності діапазону та потужності сигналу наведено в таблиці 3.2.

ZigBee має відносно невеликий радіус дії, проте mesh-топологія дозволяє створювати велику мережу, в якій кожен пристрій може передавати сигнал далі через інші вузли, що значно підвищує надійність мережі. Частота 2,4 ГГц може стикатися з перешкодами від інших пристроїв, що використовують цей же діапазон (Wi-Fi), що потенційно знижує надійність сигналу у насичених середовищах.

Таблиця 3.2

Діапазон та потужність сигналу

Технологія	Частота	Радіус дії	Потужність сигналу	Інтерференція	Надійність
ZigBee	2,4 ГГц	10-100 м	Низька	Висока (через перевантаженість 2,4 ГГц)	Середня (компенсуєть-ся mesh-мережею)
Z-Wave	868/908 МГц	30-100 м	Середня	Низька (менш завантажений діапазон)	Висока (краща проникність через стіни)
Wi-Fi	2,4 ГГц, 5 ГГц	До 100 м (залежно від частоти)	Висока	Висока (особливо на 2,4 ГГц)	Середня (потребує додаткових точок доступу)
Bluetooth	2,4 ГГц	До 100 м (Bluetooth 5.0)	Низька	Висока (на 2,4 ГГц)	Низька (обмежений радіус дії)

Через нижчу частоту Z-Wave має кращу проникність сигналу через фізичні бар'єри, такі як товсті стіни, що робить його більш надійним у великих будинках або в приміщеннях з великою кількістю перешкод. Mesh-топологія також підвищує надійність, оскільки сигнал може пересилатися через інші пристрої в мережі. Z-Wave здатен обслуговувати до 232 пристроїв у мережі. Менша схильність до інтерференцій, оскільки діапазон 868/908 МГц менш перевантажений, ніж 2,4 ГГц.

Wi-Fi має високу потужність сигналу і швидкість передачі даних, проте частота 5 ГГц має обмежену проникність через фізичні перешкоди (стіни,

двері), що робить її менш надійною в багатоповерхових або великих будинках. Діапазон 2,4 ГГц, хоч і має кращу проникність, але може зазнавати інтерференції від інших пристроїв, що працюють на цій частоті (інші мережі Wi-Fi, Bluetooth), що знижує надійність з’єднання. Для великих приміщень може знадобитися використання додаткових точок доступу або репітерів, що підвищує складність і вартість системи.

Bluetooth має обмежений радіус дії, особливо у старіших версіях (до 10 метрів для класичного Bluetooth), що знижує надійність у великих приміщеннях або при віддаленому розташуванні пристроїв. Bluetooth 5.0 і BLE збільшили радіус дії до 100 метрів та знизили енергоспоживання, що підвищує надійність для носимих пристроїв та пристроїв на батарейках. Однак частота 2,4 ГГц робить Bluetooth вразливим до інтерференцій від інших пристроїв, що працюють у цьому діапазоні (Wi-Fi, ZigBee).

Z-Wave та ZigBee забезпечують високу надійність завдяки mesh-мережам, які дозволяють покривати великі площі з мінімальними перешкодами. Wi-Fi має потужний сигнал і високу швидкість, але його надійність знижується через часті перешкоди та погану проникність на частоті 5 ГГц. Bluetooth підходить для задач з малими відстанями, але його надійність зменшується через обмежену дальність дії та перешкоди від інших пристроїв.

Для розумних будинків, які охоплюють великі площі або мають багато перешкод, найбільш надійними є ZigBee та Z-Wave завдяки їхній здатності працювати в mesh-мережах і долати фізичні бар'єри.

3.4. Перешкоди та інтерференція

Перешкоди та інтерференція є одним із найбільш критичних факторів, які впливають на стабільність і надійність бездротових технологій у системах «розумний будинок». Врахування цих факторів допомагає уникнути втрати з'єднання, погіршення якості зв’язку та збільшення затримок передачі даних.

Wi-Fi зазвичай працює на двох частотних діапазонах: 2,4 ГГц і 5 ГГц. Хоча цей стандарт надає високу швидкість передачі даних, він найбільше схильний до перешкод. Діапазон 2,4 ГГц використовується не тільки Wi-Fi, але й багатьма іншими пристроями, такими як мікрохвильові печі, бездротові телефони, Bluetooth, ZigBee, що спричиняє серйозну інтерференцію. Цей діапазон має всього 11-14 каналів, з яких лише три не перекриваються, що сприяє великій кількості перетинів і збоїв у з'єднаннях.

Частота 5 ГГц менше схильна до інтерференції, оскільки має більше каналів і більшу пропускну здатність, але її сигнали погано проходять через фізичні перешкоди, такі як стіни та меблі, що обмежує її застосування на великих відстанях.

ZigBee працює в тому ж діапазоні, що й Wi-Fi, між ними можуть виникати конфлікти через перетинання каналів. Wi-Fi зазвичай домінує над ZigBee, оскільки працює з вищою потужністю сигналу. ZigBee використовує меншу ширину каналу (2 МГц), що дозволяє уникати прямих конфліктів із Wi-Fi, але це не завжди достатньо для повного уникнення інтерференції. Однією з сильних сторін ZigBee є його здатність створювати mesh-мережі. Це допомагає відновлювати з'єднання у разі перешкод або втрати сигналу через додаткові маршрути передачі даних.

Частоти, на яких працює Z-Wave, використовуються рідше, інтерференція між різними пристроями є мінімальною, тому технологія Z-Wave більш стійка до перешкод у середовищах з великою кількістю бездротових пристроїв. Через нижчу частоту сигнали Z-Wave краще проникають через стіни та інші перешкоди, що дозволяє забезпечувати стабільне з'єднання на більшій відстані. Однак, через меншу пропускну здатність цей стандарт може передавати дані повільніше, ніж ZigBee або Wi-Fi, але в контексті систем «розумний будинок», де часто передаються невеликі пакети даних (команди на включення/вимкнення), це не є критичним недоліком.

Bluetooth, також працює в діапазоні 2,4 ГГц, що робить його вразливим до інтерференції, подібно до ZigBee та Wi-Fi. Bluetooth використовує частотну стрибкоподібність, що дозволяє автоматично змінювати канали, щоб уникнути перешкод. Це підвищує стійкість до інтерференції, але не завжди може гарантувати стабільне з'єднання. Bluetooth, особливо старіші версії, має обмежену дальність передачі, що створює проблеми в системах з пристроями, які розміщені на великій відстані один від одного.

Z-Wave є менш вразливою до інтерференції через використання менш завантаженого частотного діапазону, тоді як ZigBee, Wi-Fi, і Bluetooth можуть зазнавати суттєвих перешкод через спільне використання частоти 2,4 ГГц. Оптимальне налаштування каналів, використання mesh-топологій та правильне розміщення пристроїв можуть допомогти мінімізувати вплив інтерференції і забезпечити стабільне та надійне з'єднання.

3.5. Енергоефективність і автономність

Енергоефективність та автономність впливають на вибір бездротової технології для систем «розумний будинок».

ZigBee працює на малопотужних радіочастотах і підтримує «сплячі» режими, ідеально підходить для таких пристроїв, як датчики, термостати, розумні вимикачі, які можуть працювати від батареї протягом тривалого часу і не потребують частого технічного обслуговування.

ZigBee забезпечує високу енергоефективність і довготривалу автономність, є оптимальним вибором для багатьох пристроїв «розумного будинку».

Z-Wave також створений для енергоефективних рішень. Подібно до ZigBee, пристрої Z-Wave підтримують «сплячі» режими для економії енергії. Енергоефективність Z-Wave трохи нижча, ніж у ZigBee, через вищу частоту сигналу та складніший алгоритм маршрутизації. Однак Z-Wave все ще залишається дуже економічним з точки зору енергоспоживання.

Wi-Fi споживає значно більше енергії порівняно з ZigBee та Z-Wave. Технологія Wi-Fi розроблена для високошвидкісної передачі даних, що вимагає більших витрат енергії. Пристрої на основі Wi-Fi, особливо ті, що працюють від батареї, мають меншу автономність, оскільки енергія швидко витрачається на підтримку з'єднання та передачу даних. Через високе енергоспоживання пристрої, що працюють на Wi-Fi і живляться від батареї, мають обмежену автономність. Наприклад, розумні замки або камери спостереження на Wi-Fi зазвичай потребують частого заряджання або постійного живлення від мережі.

Wi-Fi менш енергоефективний, і автономність пристроїв з Wi-Fi обмежена. Ця технологія більше підходить для пристроїв з постійним доступом до живлення, таких як медіапристрої або роутери.

Bluetooth споживає більше енергії, ніж BLE (Bluetooth Low Energy). Однак BLE спеціально розроблений для пристроїв з низьким енергоспоживанням, таких як носимі гаджети або датчики. BLE використовує мінімальну кількість енергії під час обміну даними та підтримує сплячі режими для тривалого часу автономної роботи.

Таким чином, при виборі бездротової технології для системи «розумний будинок», необхідно враховувати баланс між енергоефективністю та функціональністю. Технології на основі ZigBee, Z-Wave та BLE є найбільш енергоефективними, а Wi-Fi підходить для пристроїв, які потребують більшої пропускної здатності, але мають постійне джерело живлення.

3.6. Безпека та захист даних

Безпека та захист даних у системах «розумний будинок» також є найважливішими елементами, тому що технології працюють з персональними даними користувачів, можуть керувати критичними пристроями, такими як замки або системи відеоспостереження, і піддаються

загрозам від кібератак. Кожна бездротова технологія має свої підходи до захисту даних і забезпечення безпеки [14, 15].

ZigBee використовує AES-128 (Advanced Encryption Standard) для шифрування даних, що передаються в мережі. Це забезпечує надійний захист від несанкціонованого доступу. Протокол включає механізми аутентифікації для перевірки легітимності пристроїв, які підключаються до мережі. Завдяки використанню mesh-топології, ZigBee має природну стійкість до атак на певні вузли, оскільки мережа може перенаправляти трафік через інші пристрої.

Z-Wave також використовує AES-128 для захисту переданих даних. Новіші версії Z-Wave, починаючи з Z-Wave Plus, мають покращену систему управління паролями, що дозволяє використовувати складніші паролі та забезпечувати кращий захист від злому. Як і у випадку з ZigBee, мережі Z-Wave можуть бути вразливими до атак типу MITM (Man-in-the-Middle), якщо не оновлювати прошивки до останніх версій.

Wi-Fi пропонує різні рівні захисту, залежно від версії безпеки. Сучасні системи підтримують шифрування за стандартами WPA2 та WPA3, що є надійним методом захисту бездротових мереж. WPA3 включає покращені механізми захисту паролів, шифрування даних на індивідуальному рівні для кожного користувача, а також стійкість до атак типу brute-force. При використанні Wi-Fi у відкритих або слабо захищених мережах (гостьових Wi-Fi), можливе перехоплення даних, якщо не використовуються додаткові заходи, такі як VPN (Virtual Private Network) або додаткові рівні шифрування.

Bluetooth використовує шифрування AES-128 (у версіях BLE), що забезпечує базовий рівень захисту. У старих версіях Bluetooth (до Bluetooth 4.0) використовувалася менш захищена технологія, що робило протокол вразливим до атак. Bluetooth з’єднання часто не вимагають додаткової аутентифікації після першого підключення, що може створити уразливості для повторних атак на безпеку, якщо зловмисник зуміє перехопити перше з'єднання.

Безпека бездротових технологій у системах «розумний будинок» значно залежить від:

– використання правильних протоколів шифрування, усі комунікації між пристроями повинні бути зашифровані (AES-128, WPA3 тощо);

– регулярного оновлення прошивок пристроїв і маршрутизаторів;

– використання надійних паролів та активація двофакторної аутентифікації для доступу до систем «розумного будинку»;

– розділення домашньої мережі на окремі сегменти для «розумного будинку» та персональних пристроїв може запобігти поширенню атак у разі зламу одного з пристроїв;

– захисту домашньої мережі через віртуальні приватні мережі (VPN).

Протоколи ZigBee та Z-Wave мають вбудовані механізми шифрування даних (AES-128), що забезпечує надійний захист від несанкціонованого доступу.

Wi-Fi також забезпечує високий рівень безпеки через WPA2 або WPA3, але при неправильних налаштуваннях безпеки (відсутність шифрування, слабкі паролі) може бути вразливим до зламів.

Bluetooth**,** особливо старіші версії, мають нижчий рівень безпеки порівняно з іншими технологіями, що може вплинути на надійність в умовах підвищених вимог до захисту даних.

3.7. Сумісність і стандартизація

Сумісність і стандартизація впливають на інтеграцію пристроїв, зручність використання та можливості масштабування системи.

Сумісність бездротових технологій у системах «розумний будинок» визначається здатністю різних пристроїв, виготовлених різними виробниками, взаємодіяти та спільно працювати в одній мережі. Це важливо для користувачів, які обирають пристрої від різних виробників, не

прив’язуючись до одного бренду, що дозволяє користувачам обирати більш бюджетні варіанти пристроїв без втрати функціональності.

Стандартизація є процесом, який визначає технічні вимоги до бездротових технологій. Вона має значний вплив на сумісність і ефективність роботи систем «розумний будинок».

ZigBee використовує стандарт IEEE 802.15.4, який регулює бездротові мережі з низьким енергоспоживанням. ZigBee забезпечує інтероперабельність між пристроями різних виробників.

Z-Wave - це пропрієтарний стандарт, який забезпечує високу ступінь сумісності між пристроями, сертифікованими Z-Wave. Проте, на відміну від ZigBee, він менш відкритий, що може обмежити вибір виробників.

Wi-Fi базується на стандарті IEEE 802.11 і має широку підтримку, що робить його універсальним для більшості пристроїв. Сумісність Wi-Fi є дуже високою, але використання Wi-Fi може призводити до високого енергоспоживання.

Bluetooth розвивається відповідно до стандарту IEEE 802.15.1. Сумісність між різними версіями Bluetooth (особливо між класичним і BLE) може бути проблематичною, але BLE є оптимізованим для пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Використання відкритих стандартів, інтеграційних платформ і сертифікаційних програм може суттєво підвищити надійність та гнучкість системи. Успішна інтеграція бездротових технологій забезпечить користувачам можливість створення більш зручних і безпечних умов для життя.

ZigBee і Z-Wave розроблені спеціально для автоматизації будинків та мають широку підтримку від виробників розумних пристроїв, що підвищує сумісність між різними брендами. Однак іноді виникають проблеми через використання пропрієтарних рішень або версій протоколів.

Wi-Fi підтримується майже всіма сучасними пристроями, але не завжди підходить для пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Bluetooth також широко поширений, але використовується переважно для підключення до периферійних пристроїв (аудіо, носимі гаджети), а не для автоматизації будинків.

В оцінці надійності різних бездротових технологій у системах «розумний будинок» може допомогти і бути корисною для прийняття рішень при виборі відповідної технології для конкретних застосувань інформація, наведена в таблиці 3.3.

3.8. Комп'ютерна модель імітації надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок»

Для імітації надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок» з використанням різних протоколів (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth), пропонується написати комп'ютерну програму на мові програмування Python. Вона враховуватиме основні параметри: частоту, радіус дії, потужність сигналу, інтерференцію, пропускну здатність, затримку, енергоспоживання, та розраховуватиме числові значення надійності для кожного з протоколів. Для візуалізації результатів побудуємо графік надійності.

Для моделювання надійності можна використати такі спрощені формули:

1. частота (Frequency) — чим вища частота, тим більша можливість інтерференції, тому частота може негативно впливати на надійність;
2. радіус дії (Range) — більший радіус покриття збільшує надійність;
3. потужність сигналу (Signal Power) — сильніший сигнал позитивно впливає на надійність;
4. інтерференція (Interference) — більше джерел інтерференції зменшує надійність;

Таблиця 3.3

Характеристики надійності бездротових технологій у системах «розумний будинок»

Технологія	Топологія мережі	Діапазон дії	Швидкість передачі даних	Енергоспоживання	Стійкість до перешкод	Сумісність	Безпека	Переваги	Недоліки
ZigBee	Mesh	10-100 м	До 250 Кбіт/с	Низьке	Висока	Відкритий стандарт, але можливі проблеми з сумісністю	AES-128 шифрування	Енерго-ефективність, розширюва-ність	Проблеми з сумісністю між пристроями різних виробників
Z-Wave	Mesh	30-100 м	До 100 Кбіт/с	Низьке	Висока	Пропрієтарний стандарт, висока сумісність серед пристроїв Z-Wave	AES-128 шифрування	Сумісність між пристроями, низьке енерго-споживання	Обмежена швидкість передачі даних

Продовження таблиці 3.3

Технологія	Топологія мережі	Діапазон дії	Швидкість передачі даних	Енергоспоживання	Стійкість до перешкод	Сумісність	Безпека	Переваги	Недоліки
Wi-Fi	Точка-точка, Точка-багатоточка	До 100 м	До 1 Гбіт/с	Високе	Середня	Широка підтримка усіх пристроїв	WPA2, WPA3	Висока швидкість передачі, підтримка відео та потокового контенту	Високе споживання енергії, проблеми з дальністю
Bluetooth	Точка-точка, Mesh (BLE)	10-100 м	До 2 Мбіт/с (BLE), 3 Мбіт/с (класичний)	Низьке (BLE)	Середня	Широка підтримка носимих пристроїв	AES-128 шифрування (BLE)	Низьке енерго-споживання (BLE), легкість використання	Обмежена дальність, менша швидкість у порівнянні з Wi-Fi

5. інтерференція (Interference) — більше джерел інтерференції зменшує надійність;

6. пропускна здатність (Bandwidth) — більша пропускна здатність збільшує надійність;

7. затримка (Latency) — менша затримка збільшує надійність;

8. енергоспоживання (Energy Consumption) — протоколи з нижчим енергоспоживанням можуть бути менш надійними через меншу потужність сигналу.

Кожен протокол (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth) має свої характеристики: частота, радіус дії, потужність сигналу, інтерференція, пропускна здатність, затримка, енергоспоживання.

На основі цих параметрів розраховується коефіцієнт надійності для кожного протоколу.

Функція calculate_reliability (рис. 3.1) враховує всі параметри, надаючи ваги кожному з них. Програма виводить числові значення надійності для кожного протоколу та будує графік (рис. 3.3, 3.4).

```
def calculate_reliability(protocol)

    # Розрахунок надійності на основі параметрів.
    interference_factor = 1 - protocol['interference']
    range_factor = protocol['range']  30
    throughput_factor = protocol['throughput']  300
    delay_factor = 1 - (protocol['delay']  100)
    energy_factor = 1 - (protocol['energy']  300)

    # Ваги для комбінування факторів
    reliability = (
        0.2  interference_factor +
        0.25  range_factor +
        0.25  throughput_factor +
        0.2  delay_factor +
        0.1  energy_factor
    )
    return reliability
```

Рисунок 3.1 – Лістинг коду функції calculate_reliability

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Кількість симуляцій для методу Монте-Карло
n_simulations = 10000
# Параметри для кожного протоколу
protocols = {
    Wi-Fi {frequency 5, range 30, power 20, interference 0.5, throughput 300, delay 10, energy 300},
    Zigbee {frequency 2.4, range 10, power 0, interference 0.8, throughput 0.25, delay 30, energy 50},
    Z-Wave {frequency 0.9, range 30, power 0, interference 0.2, throughput 0.1, delay 50, energy 15},
    Bluetooth {frequency 2.4, range 10, power 10, interference 0.5, throughput 3, delay 40, energy 30}
}
# Словник для зберігання надійності кожного протоколу
reliability_results = {}
for protocol_name, params in protocols.items()
    # Монте-Карло симуляція
    reliability_sum = 0
    for _ in range(n_simulations)
        reliability = calculate_reliability(params)
        reliability_sum += reliability
    average_reliability = reliability_sum  n_simulations
    reliability_results[protocol_name] = average_reliability

    # Виведення результатів
print(Надійність протоколів)
for protocol, reliability in reliability_results.items()
    print(f{protocol} {reliability.2f})

# Побудова графіка
protocols_list = list(reliability_results.keys())
reliability_values = list(reliability_results.values())
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.bar(protocols_list, reliability_values, color=['blue', 'orange', 'green', 'red'])
plt.xlabel('Протоколи')
plt.ylabel('Надійність')
plt.title('Надійність бездротових протоколів у системі Розумний будинок')
plt.ylim(0, 1)
plt.axhline(y=0.5, color='gray', linestyle='--')
plt.show()
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду програми імітації надійності бездротових технологій

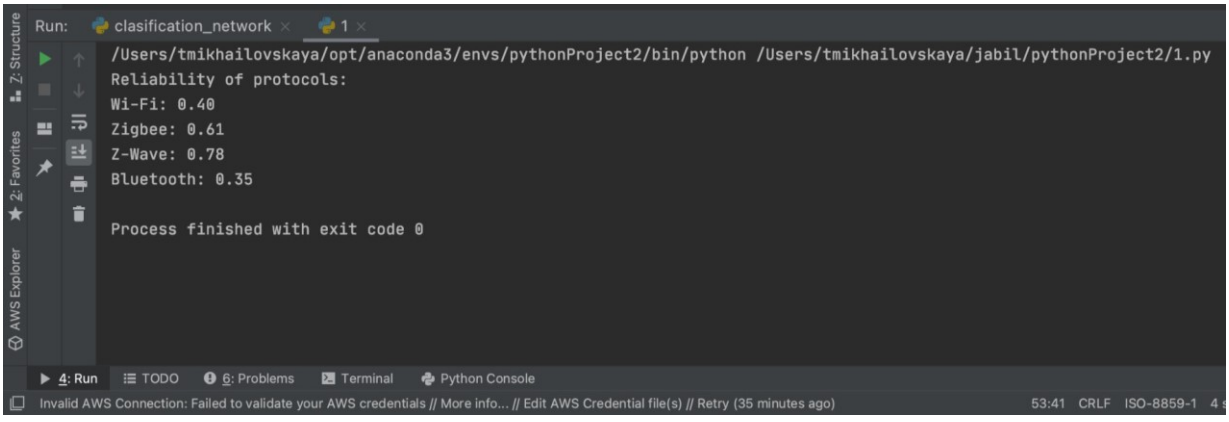

Рисунок 3.3 – Результати комп’ютерної імітації надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок»

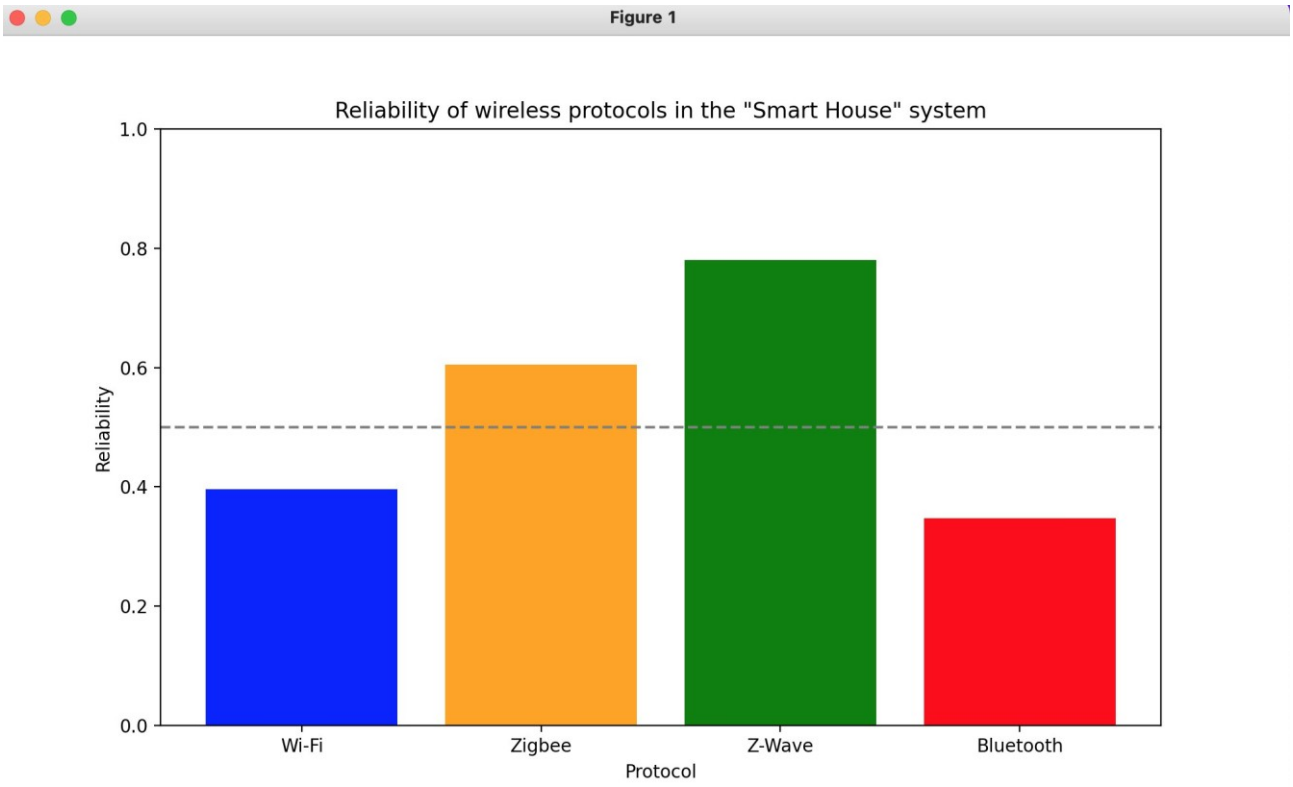

Рисунок 3.4 – Графік надійності бездротових технологій у системі «Розумний будинок»

Загалом, надійність бездротових технологій у системі «розумний будинок» залежить від конкретних вимог до системи, таких як дальність дії, енергоефективність, кількість пристроїв та необхідний рівень безпеки.

ZigBee та Z-Wave забезпечують високу надійність завдяки mesh-топології, що дозволяє забезпечити з'єднання між пристроями, навіть якщо один з них виходить з ладу.

Wi-Fi підходить для завдань, що потребують високої швидкості передачі даних, але має вищу вартість енергоспоживання.

Bluetooth залишається оптимальним вибором для пристроїв з коротким радіусом дії або для периферії.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі досліджено надійність використання бездротових технологій, які застосовують для реалізації систем «Розумний будинок». Системи розумного будинку зазвичай використовують різні бездротові протоколи, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave або Bluetooth, що дозволяють пристроям спілкуватися між собою та з центральним контролером. Важливим аспектом є забезпечення захищеності даних, що передаються між пристроями та конфіденційності користувачів. Інтеграція надійних методів шифрування стає критичною, оскільки вразливі системи можуть стати ціллю для кіберзагроз.

В роботі досліджено такі протоколи бездротові, як:

- Wi-Fi: використовується для передачі великих обсягів даних і для підключення до Інтернету. Переваги – висока швидкість передачі даних, однак має обмежену дальність і підвищене енергоспоживання;
- Bluetooth: підходить для короткочасних з'єднань між пристроями на короткій відстані. Характеризується низьким енергоспоживанням, але не підтримує велику кількість одночасно підключених пристроїв;
- Zigbee і Z-Wave: ці протоколи споживають низький рівень електроенергії і підходять для управління пристроями у системі розумного будинку. Вони мають більшу надійність, оскільки працюють на частотах, менш схильних до перешкод.

До основних переваги бездротових технологій у системі «Розумного будинку» можемо віднести:

- гнучкість установки: бездротові пристрої можна розміщувати в будь-якому місці, не обмежуючи користувача потребою в прокладанні кабелів;
- масштабованість: легкість додавання нових пристроїв до системи дозволяє збільшувати кількість функцій та компонентів «Розумного будинку» без суттєвих змін в інфраструктурі;

- мобільність: бездротові технології дозволяють керувати пристроями за допомогою смартфона або інших мобільних пристроїв, що робить управління зручним і доступним з будь-якої точки світу.

Одним з ключових показників бездротових технологій є їх здатність забезпечувати стабільний зв'язок навіть у складних умовах. Наприклад, інтерференція від інших пристроїв або перешкоди від стін можуть впливати на якість сигналу.

Для забезпечення надійності рекомендується використовувати спеціалізовані протоколи з побудовою mesh-мереж (наприклад, Zigbee або Z-Wave), які можуть забезпечити зв'язок між пристроями навіть у разі втрати прямого сигналу.

Отже, надійність бездротових технологій є одним з основних чинників успішної роботи систем «Розумного будинку». Вивчення їхньої стабільності, стійкості до інтерференції, безпеки та енергоефективності дозволить не лише вдосконалити поточні системи, але й забезпечити основу для подальшого розвитку технологій, що сприяють підвищенню рівня комфорту та безпеки в повсякденному житті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розумний дім [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%83%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D1%96%D0%BC.

2. Що таке «розумний дім»? [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://stylus.ua/uk/articles/528.html

3. Волосов Т. А. Технологія «розумний дім»: майбутнє вже поруч. Маркетинг і контролінг: сучасні виклики підприємництв, Київ, 2017. С. 144-146.

4. Жураковський Б. Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.

5. Жураковський Б. Ю., Зенів І.О. Комп'ютерні мережі. Частина 1: навчальний посібник для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 126 «Інформаційні системи та технології. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 336 с.

6. Поліщук В. В. Адміністрування комп'ютерних мереж та операційних систем: методичне видання для студентів за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ. – Ужгород, 2019. – 60 с.

7. Wi-Fi [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi

8. ZigBee [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/ZigBee

9. Z-wave [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Z-wave

10. Bluetooth [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth

11. Бурячок В. Л., Киричок Р. В., Складанний П. М. Основи інформаційної та кібернетичної безпеки. – Київ, 2018. – 320 с.

12. Соколов В. Ю. Бурячок В. Л., Таджділні М. М. Безпека безпроводових і мобільних мереж : навчальний посібник, 2 вид., доп. – Київ : КУБГ, 2019. – 130 с.

13. Соколов В.Ю. Методи і засоби підвищення інформаційної та функціональної безпеки безпроводових мереж передавання даних [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/28337/

14. Трубчанінова К. А., Жученко О. С., Лисечко В. П. Бездротові телекомунікаційні системи: навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 86 с.

15. Абрамова А. О. Мережі обміну даними. Технології бездротових мереж. Навчальний посібник для виконання ДКР для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерноінтегровані технології». – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –30 с.