

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ЧАЛЕНКО ВЛАДИСЛАВ ЮРІЙОВИЧ

Допускається до захисту:  
Завідувач кафедри  
інформаційних технологій,  
д.т.н., доцент, Нескородєва Т. В.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

РОЗРОБКА СХЕМИ ШЛЮЗУ ZIGBEE ТА WI-FI  
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали  
Кваліфікаційна (бакалаврська) робота

Науковий керівник:  
Крижановський В.Г.,  
професор кафедри  
інформаційних технологій,  
д.т.н., професор

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Оцінка : \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця – 2022

## **АНОТАЦІЯ**

Чаленко В.Ю. Розробка шлюзу ZigBee та Wi-Fi. Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», спеціалізація «Технології Інтернету речей». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2022.

У кваліфікаційній (бакалаврській) роботі розроблено шлюз ZigBee – Wi-Fi за допомогою мікроконтролерів, модулів ZigBee і Wi-Fi. Показано опис, розробку та аналіз розробки виробу.

Ключові слова: ZigBee, Wi-Fi, шлюз, IoT, MQTT.

35 с. , 9 рис., 40 джерел.

## **ANNOTATION**

Chalenko V.Yu. ZigBee Gateway Development and Wi-Fi. Specialty 105 "Applied Physics and Nanomaterials", specialization "Internet of Things Technologies". Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2022.

In the qualification (bachelor's) work, the ZigBee gateway was developed - Wi-Fi with the help of microcontrollers, ZigBee and Wi-Fi modules. The description, development and analysis of product development are shown.

Keywords: ZigBee, Wi-Fi, Gateway, IoT, MQTT.

35 pp. , 9 figures., 40 sources.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....                                       | 4  |
| РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ШЛЮЗУ ..... | 6  |
| 1.1 Висновки по розділу 1.....                    | 10 |
| РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА ЗВ'ЯЗКУ .....            | 11 |
| 2.1 ТЕХНОЛОГІЯ ZIGBEE .....                       | 15 |
| 2.2 ТЕХНОЛОГІЯ Wi-Fi .....                        | 17 |
| 2.3 Висновки по розділу 2.....                    | 22 |
| РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РОБОТИ ШЛЮЗУ .....               | 23 |
| 3.1 Висновки по розділу 3.....                    | 29 |
| ВИСНОВКИ .....                                    | 30 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ:.....                | 31 |



## ВСТУП

З розвитком економіки люди починають прагнути до вищої якості життя. Розвиток інформаційних технологій і штучного інтелекту увійшли в різні сфери, з'явився розумний дім. Розумний дім – це розумна система управління на базі житлових будинків, яка об'єднує технологію мережевого зв'язку, технологій бездротового датчику, комп'ютерні технології та технології автоматичного керування тощо. Метою є створити безпечний, зручний і комфортне середовище проживання. [1]

Домашній шлюз виконує важливу роль системи розумного дому, є точкою внутрішньої конвергенції інформації мережі, реалізує з'єднання із зовнішньою мережею Інтернет і відповідає за перетворення протокол зв'язку між внутрішньою мережею і зовнішньою мережею. Домашній шлюз отримує інструкцію, надіслана керуючим терміналом, і аналізує її, потім перетворює у формат даних внутрішньої мережі і відправляє його на керований термінал для здійснення управління обладнанням. У той же час шлюз отримує інформацію, що надсилається з керованого терміналу, обробляє її та передає на керуючий термінал. Домашній шлюз знаходиться на стадії поступової зрілості, і залишається багато проблем.

Перша проблема - це вартість поточної ціни на домашні шлюзи високі, і як знизити вартість – це проблема, яку потрібно вирішити.

Друга проблема – це сумісність, домашній шлюз як комплексний пристрій, об'єднує різноманітні протоколи та стандарти. Як усвідомлення взаємозв'язку з різними стандартами є одним із напрямків дослідження. В останній час IoT швидко розвивається протягом усього нашого життя знайти шлях до покращення якості життя, об'єднавши багатьох технології, додатки до фізичних об'єктів навколо нас автоматизація речей. Виділено величезну увагу до оцифрування фізичного світу, такого як дім, офіси, фабрики, транспортні засоби, міста тощо. Дослідження, проведене IDC підтверджує, що рішення IoT стають все більш визнаними для споживачів, бізнесу, урядів кожного з них will впроваджує

інновації, переживає та діє у світі, де кінець користувач втратить відчутні переваги IoT. Усі фізичні об'єкти стосуються чутливих елементів, увімкнених бездротовим датчиком мережеві (WSN) технології в нашому повсякденному житті. WSN складається з різних бездротових технологій, такі як ZigBee (понад IEEE 802.15.4), так і Wi-Fi (IEEE 802.11) тощо, кожен протокол має свої переваги та недоліки, засновані на швидкості, потужності та пропускній здатності. Шлюз повинен отримувати дані від усіх датчиків вузли, які можуть використовувати різні бездротові протоколи та надсилати їх до хмара, і вона повинна отримувати дані з віддаленого розташування та діяти згідно з командами користувача, з яким має справу сумісність в IoT. Отримавши загальний формат даних для передачі даних, отриманих від сенсорних вузлів, у хмару і а перетворення команд відповідно до вузла датчика які надаються користувачем з віддаленого місця, яке вирішує проблеми сумісності. МСЕ запропонував групу стандарти. Пропонується конструкція шлюза IoT з двома бездротовими протоколами ZigBee і Wi-Fi, який забезпечує взаємодію двох різнорідних бездротових протоколів шляхом взаємодії при перетворенні даних отримані з різних вузлів. Для передачі даних ми використовуємо а полегшений зважений протокол MQTT. [10] Шлюзи в Інтернеті речей (IoT) відіграють вирішальну роль у маршрутизації попередньо оброблених відфільтрованих даних на хмарні платформи. Під час дослідження шлюзів виникла потреба у всебічному систематичному огляді літератури, який міг би детально описати роботу та функціональні можливості шлюзів IoT.[11]

**Метою** цієї роботи є розробка шлюзу, яка допоможе поєднати різні пристрої з різними технологіями зв'язку, які можуть взаємодіяти між собою та обмінюватися інформацією.



## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ШЛЮЗУ

Шлюзи IoT складаються з різних протоколів для передачі даних в хмару, отриману від датчика вузлів. Тут головна мета полягає в реалізації двонаправленого шлюза, щоб уникнути взаємодії шляхом перетворення інформації. Пропонується шлюз із протоколом ZigBee та Wi-Fi полегшення передачі даних. Подібний шлюз був запропоновано з трьома протоколами зв'язку. Багато авторів як пропонується передавати дані в локальну та мережу, а також у хмару. Згідно з наявною літературою шлюзи для взаємоз'єднання бездротових пристроїв є односпрямованими і приймає дані та зберігає їх у хмарі. Зусилля зосереджені на багатьох такі домени, як розумні будинки, телеметрія, розумні галузі тощо.[4] Більшість сенсорних мереж спілкуються за допомогою комунікацій-протоколи, такі як ZigBee та інші малопотужні комунікації протоколи, які в разі потреби надсилати через Інтернет через Wi-Fi, і для цього повинні бути потрібні ворота ZigBee і це також може використовувати протокол MQTT для надсилання даних через Wi-Fi. Отже, один клієнт діє як Wi-Fi шлюз ZigBee.[4] Використання нових стандартів бездротової передачі в системи вимірювання описується деякими вимогами промислового застосування, якими є інтеграція в існуючі системи вимірювання, координація передового та традиційного моніторингу структури та проектування інноваційних вимірювань системи. Ця стаття є спробою дослідити два різних стандарти бездротової передачі під назвою ZigBee. ZigBee - це стандарт бездротового зв'язку, яким керує ZigBee Alliance і базується на стандарті IEEE фізичний рівень 802.15.4 і рівень керування доступом до медіа (MAC). Основними властивостями ZigBee є:

- Гнучка топологія мережі.
- Проста топологія зірки
- топологія сітки.

Це робить ZigBee легким для встановлення, оскільки при використанні сітчастої топології діапазон мережі не обмежується максимальним діапазоном одного пристрою. Масштабування ZigBee також досягається статичною та динамічною

топологією зірка та сітка, що дозволяє режим, менш ніж 65000 вузлів з низькою затримкою для підключення до тієї ж мережі. Низька потужність досягається завдяки дозволу тривалих періодів без зв'язку без необхідності повторної синхронізації. Тому ZigBee Alliance не обмежується однією компанією, багато виробників випускають модулі ZigBee і обладнання такі антени. Це створює конкуренцію на ринку, а отже і низькі ціни. Причина вибору цих двох стандартів передачі полягає в тому, що вони були розроблені для моніторингу та контролю додатків. Такі додатки тісно пов'язані з вимірювальними системи зони. Парадигма Інтернету речей (IoT) пропонує взаємозв'язок фізичних пристроїв через мережі, які дозволяють обмінюватися даними та контролювати їхні можливості в реальному часі. Легко помітити, що така парадигма має безпосереднє застосування до домашньої автоматизації, галузі, яка об'єднує автоматизацію, комп'ютерну науку та нові комунікаційні технології, і всі вони спрямовані на підвищення комфорту, безпеки та, зрештою, добробуту в наших будинках. За останнє десятиліття ця сфера значно прогресувала, запроваджуючи нові технології, такі як доповнена реальність (AR), і еволюціонуючи від систем, що складаються з пасивних об'єктів, які реагують на введення користувача, до систем, заснованих на автономних джерелах інформації, які взаємодіють із навколишнім середовищем. і передбачити

Однією з технологій, яка внесла найбільший внесок у прогрес домашньої автоматизації, є хмарні обчислення, які розвантажують домашні пристрої від інтенсивних обчислювальних завдань. Тим не менш, у певних сценаріях домашньої автоматизації, де потрібна швидка відповідь і низькі витрати на зв'язок, інші парадигми були успішними, перемістивши обчислювальні можливості з хмари до краю мережі. Однією з таких парадигм є туманні обчислення, які переміщують хмарні обчислювальні та комунікаційні можливості ближче до сенсорних вузлів, щоб мінімізувати затримки, розподілити обчислювальні ресурси та ресурси зберігання, підвищити мобільність і обізнаність про місцезнаходження, а також полегшити



масштабованість мережі, забезпечуючи підключення між пристроями. у різних фізичних середовищах.

Щоб забезпечити такі переваги для домашньої автоматизації, повинні взаємодіяти чотири елементи: вузли Інтернету речей, які збирають дані (сенсорні вузли), вузли Інтернету речей, які вбудовують актуатори (вузли приводів), хмара та взаємопов'язані шлюзи IoT, які обмінюються повідомленнями з вузлами Інтернету речей та з хмара. Комунікації можуть здійснюватися за допомогою різних технологій, які, у випадку домашньої автоматизації, спрямовані на підвищення енергоефективності, безпеки, комфорту та забезпечення аудіо/відео/систем управління. Ці технології були запропоновані для зв'язку між датчиками та виконавчими механізмами, встановленими в будинку, або за допомогою незалежної дротової інфраструктури (наприклад, KNX або LonWorks), або вже існуючої інфраструктури (наприклад, X10). Серед цих технологій деякі з останніх використовують бездротові сенсорні мережі (WSN), які успішно застосовуються в таких областях, як моніторинг поїздів, телеметрія, індустрія 4.0 або громадська безпека. На момент написання, ZigBee, можливо, є найпопулярнішою технологією для створення WSN, і вона була включена в деякі з останніх комерційних та академічних розробок домашньої автоматизації. Крім того, мережі WiFi (тобто мережі, засновані на сімействі стандартів IEEE 802.11) набули широкого поширення в усьому світі і є одним із найпопулярніших способів доступу до Інтернету завдяки своїй гнучкості та низькій вартості розгортання. Однак, хоча використання комерційних пристроїв домашньої автоматизації Wi-Fi не так популярно, як використання систем на базі ZigBee, зростаюча популярність парадигми IoT привела до появи нових додатків, які базують свої передачі даних на мережах WiFi.

Система домашньої автоматизації (HAS), яка заповнює розрив між пристроями ZigBee і WiFi, плавно з'єднуючи датчики та приводи для використання таких технологій у домі. Шлюз використовує WiFi для вузлів приводу, оскільки, загалом, вони повинні бути безперервно активними, прослуховуючи асинхронні команди, в той час як ZigBee реалізується



сенсорними вузлами, оскільки він ідеально підходить для надсилення даних через періодичні інтервали з метою економії енергії (оскільки багато вузлів покладатися на батарейки). Більше того, система зосереджена на зростаючому ринку IoT і полегшенні підключення нових сенсорних технологій. Крім того, шлюз використовує парадигму хмарних обчислень для забезпечення зв'язку між користувачем і різними побутовими приладами, не тільки дозволяючи користувачеві керувати ними, але й пропонуючи автоматизму для спрощення завдань. Це досягається завдяки розподіленій природі ZigBee - Wi-Fi: апаратне забезпечення домашнього контролера зводиться до мінімуму для виконання завдань у режимі реального часу, делегування обробки даних і рішень щодо автоматизованих завдань, що не працюють у режимі реального часу, на віддалені хмарні сервери.

Важливо відзначити, що шлюз ZigBee-Wi-Fi має мати розподілений підхід замість децентралізованого рішення. Обидва терміни використовуються як синоніми в деяких сценаріях, тому вони можуть ввести в оману. У випадку децентралізованих систем вони складаються з мережі зірок, де кожен центральний елемент кожної зірки обробляє зібрану інформацію локально. Навпаки, у розподіленій системі різні компоненти розташовані на мережевих комп'ютерах, які взаємодіють і координуються для досягнення спільної мети.[9]

## 1.1 Висновки по розділу 1

У даному розділі було розглянуто основні теоретичні аспекти розробки шлюзу. Визначено пристрої, які потрібні для розробки шлюзу ZigBee та Wi-Fi, модуль Wi-Fi, який використовується для передачі даних у хмарне середовище, обміну даними між взаємопов'язаними шлюзами зв'язку по протоколу MQTT

Для реалізації експерименту розглянуто переваги та недоліки цієї розробки, які можуть виявлятися у ході розробки. Ці дані допоможуть при розробці.

## РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА ЗВ'ЯЗКУ

Бездротові мережі (WN) технологія складається з набору сенсорних вузлів, здатних виконання збору інформації та передавання їх за допомогою бездротового зв'язку мережі до вузла менеджера. Крім здатності до за передачу такої інформації відповідає WSN для їх обробки та моніторингу. Саме в цьому моменту надходить наглядові системи, які є комп'ютерні системи, здатні контролювати змінні процесу, які часто оновлюються. У цьому контексті в центрі уваги цього дослідження розробка мобільної системи нагляду за бездротові сенсорні мережі з інтеграцією Wi-Fi (IEEE, 802.11) і ZigBee (IEEE 802.15.4). В низькошвидкісна бездротова персональна мережа (LR-WPAN), відповідає стандарт IEEE 802.15.4 для визначення протоколу та сумісності між обладнанням для передачі даних, таким як стандарт передачі даних Wireless Personal Районна мережа (WPAN).[7]

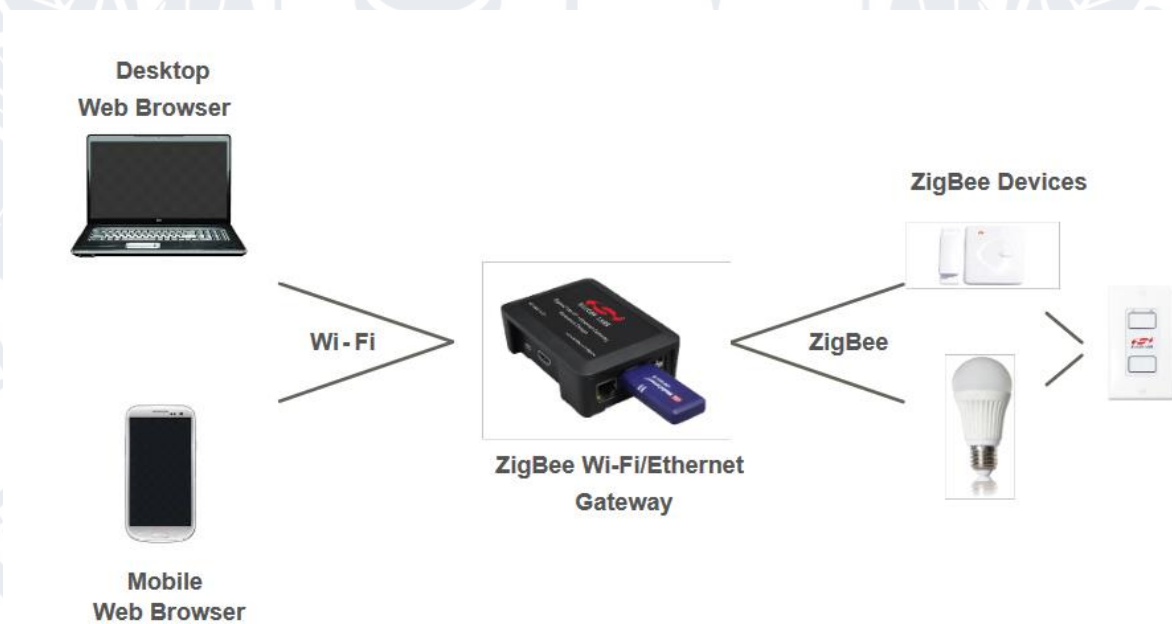


Рисунок 1 – Схема зв'язку шлюзу

Таким чином, через шлюз, зв'язок здійснюється між ZigBee і Wi-Fi мережі, що дозволяє Wi-Fi наглядову систему зв'язуватися з ZigBee, мережеві пристрої. Мотивація, яка призвела до створення цього система, створена на основі протоколу ZigBee характеристики: низьке енергоспоживання, відносно проста



структура мережі і можливість підтримки сотні пристроїв у мережі. Пристрій ZigBee можна налаштувати для роботи мережі як координатора, маршрутизатора або кінцевої точки пристрій. Як координатор, ZigBee буде відповідати для управління мережею. Як маршрутизатор, для розширення діапазон мережі, передача даних коли просив. Нарешті, як кінцевий пристрій, де датчики і приводи зазвичай встановлюються, команди можуть надсилати на цей пристрій, або він може передавати інформацію зібраний ним. Крім того, ця остання конфігурація має цікаву функцію дії в режимі сну, коли пристрій може перейти в режим сну і активується лише тоді, коли це вимагає мережа, що дозволяє економити енергію як потужність споживання не є постійним.[14]

Пристрої ZigBee зі своїми налаштуваннями можуть мати деяке розташування, наприклад, сітчаста мережа, як в меш-мережі дозволяє спілкування між координатором та резервування шляху пристрою для інформації про дорожній рух такий, що за відсутності маршрутизатора інший замінює, переробляючи комунікаційний міст. Тому метою цієї статті є створення шлюз до системи нагляду, яка має відносно низька вартість розробки і дозволяють моніторинг змінних, таких як температура та вологість повітря. Було розроблено додаток для платформи Android, що надає доступ до них змінні в будь-який час і в режимі реального часу через Wi-Fi мережі. За допомогою цього додатка ми маємо намір продемонструвати, перевіривши функціональність цього середні та можливі фізичні втручання або мережа перевантажує це обмеження, з'явився протокол для бездротового зв'язку передача даних, ZigBee.

Через великі відкриття і технологічні інновації в бездротовій мережі спілкування, можна розвивати чуття відстань. Потім з'являється концепція датчиків бездротова мережа (RSSF). Ця мережа є характеризується великою кількістю датчиків, вузол здатний спілкуватися та забезпечувати найкращу мережу управління. У порівнянні з дротовими мережами, RSSF не має недоліку високої вартості з кабелем, і може бути встановлений у важкодоступних місцях.[13] Технологія ZigBee — це зв'язок високого рівня, побудований на основі стандарту 802.15.4 з використанням малопотужних радіосигналів з

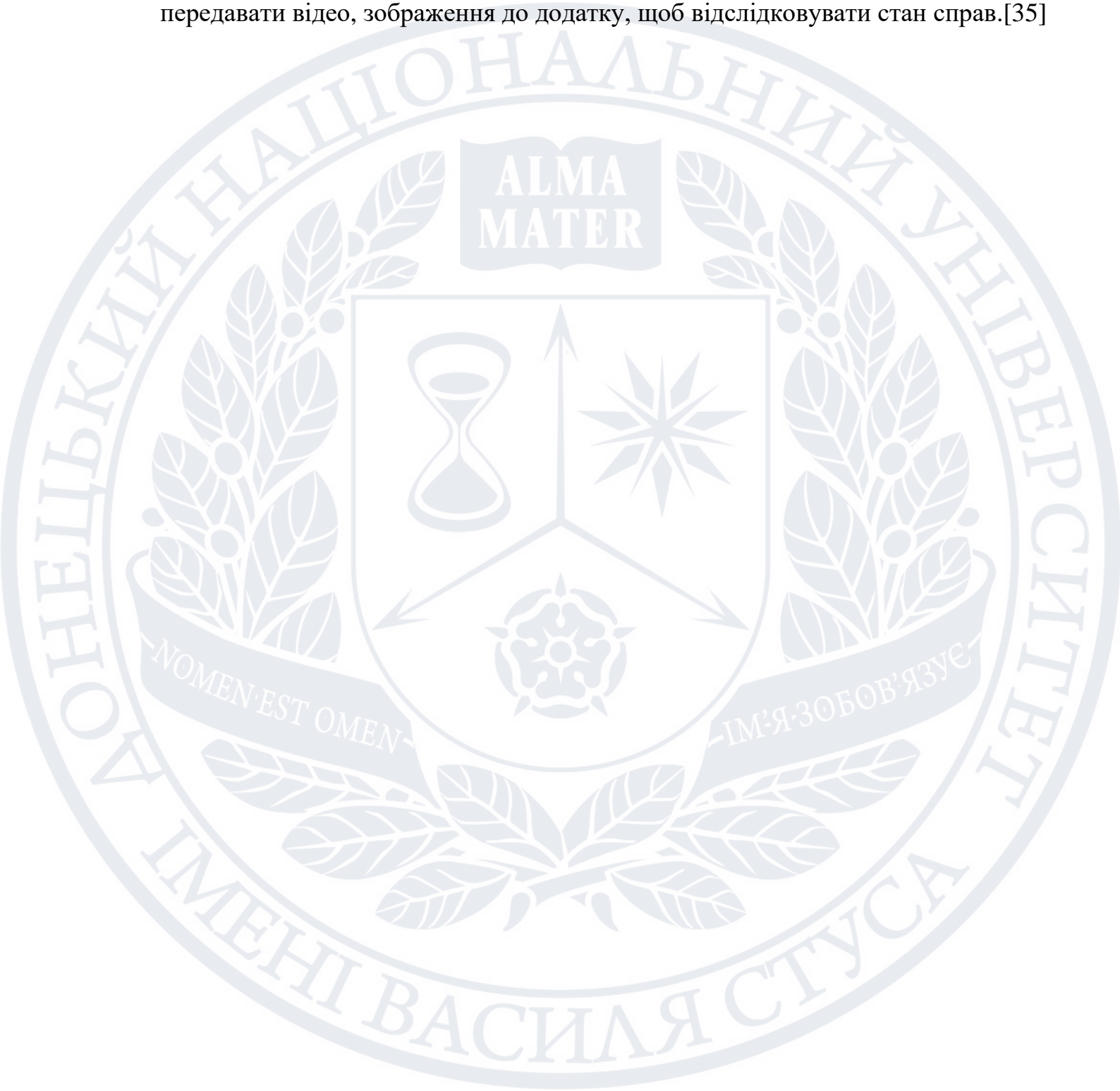
короткохвильовою частотою Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE). Zigbee надає топології зірки, дерева та сітки. WSN часто використовує сітчасту топологію, оскільки вона забезпечує безперервний зв'язок і може перевизначати конфігурацію мережі, коли пакет передається від одного вузла до іншого. Кожен вузол у сітці може з'єднувати та маршрутизувати трафік із сусідніми вузлами

Мережа ZigBee складається з трьох типів пристроїв, а саме:

- Zigbee Coordinator (ZC): це оригінальний пристрій, здатний вирішувати структуру мережі, визначати метод адресації та підтримувати адресу стабільною. Кожна мережа має лише одного координатора. Це також єдиний компонент, який може спілкуватися з іншими мережами.
- Маршрутизатор Zigbee (ZR): має функції проміжної маршрутизації для передачі даних; виявляти та картувати навколишні вузли; і відстежувати, контролювати та збирати дані, як звичайний вузол. Маршрутизатори зазвичай працюють в активному режимі для зв'язку з іншими частинами мережі.
- Кінцевий пристрій Zigbee (ZED): вузли в ZED спілкуються лише з координатором ZC або ZR поблизу нього. Вони вважаються кінцевою точкою мережі і відповідають лише за роботу/зчитування інформації з фізичних компонентів. ZED має просту конструкцію і зазвичай перебуває в режимі сну для економії енергії. Вузли «пробуджуються» лише тоді, коли їм потрібно отримати або надіслати конкретне повідомлення.[37]

Мережа ZigBee і мережа Wi-Fi об'єднані в мережу ZigBee-Wi-Fi. Мережа ZigBee-Wi-Fi використовується для моніторингу пристроїв, переваги проявляються в використуванні не тільки функції ZigBee, яка легко працює в мережі, а й функція модуля Wi-Fi, завдяки якому технології стають більш популярними та широкими. Користувачі можуть використовувати мобільні телефони та інші портативні термінали для доступу до мережі. Відстань зв'язку ZigBee, навпаки, становить 100 метрів, відстань передачі Wi-Fi становить 300

метрів. Мережа ZigBee-Wi-Fi розширює охоплення та передає відстань на більшу відстань, ніж мережа ZigBee. ZigBee підходить для передачі інформації з малою потужністю, наприклад, сигналів пожежі. У той же час Wi-Fi спроможний передавати відео, зображення до додатку, щоб відслідковувати стан справ.[35]





## 2.1 ТЕХНОЛОГІЯ ZIGBEE

Технологія ZigBee — це популярний протокол зв'язку для бездротових мереж (WSN) та мереж Інтернету речей (IoT). Енергоефективна технологія WSN є хорошим вибором для технології керування освітленням на основі IoT. Ця стаття являє собою порівняльний аналіз для визначення параметрів якості обслуговування, що надаються різними топологіями ZigBee для бездротової мережевої системи керування освітленням. Щоб оцінити споживання енергії в топологіях ZigBee для автоматизації освітлення, у цій роботі аналізується WSN на основі топології зірки, сітки та дерева з двома протоколами маршрутизації Adhoc on-demand distance vector (AODV) і динамічною маршрутизацією джерела (DSR). В якості тестового сценарію розглядається автоматизація освітлення з використанням бездротових мереж керування з сенсорно-приводними вузлами в лабораторії. Застосування топологій ZigBee для автоматизації освітлення на основі IoT обговорюється шляхом оцінки параметрів продуктивності, таких як середнє тремтіння, пропускна здатність, наскрізна затримка та енергетична модель.

ZigBee – це протокол, який використовує IEEE 802.15.4 стандарт як основа для визначення рівня фізичного, також відомий як рівень контролю доступу до MAC-адреси. Складено протокол ZigBee-шарів, з ієрархічною структурою на основі OSI (взаємозв'язок відкритих систем). Однак, на відміну від OSI, який має сім шарів, ZigBee- протокол визначає лише рівні, необхідні для досягнення бажаного набору ознак. IEEE надає стандартизація бездротових мереж для фізичних і інших рівнів шарів. Використовуємо технологію Zigbee, щоб створити зіркову мережу інтелектуальної побутової техніки для домашньої системи. Зіркова мережа складається з координатора, маршрутизатори та декілька кінцевих пристроїв. Координатор знову відповідає за запуск та керування мережею ZigBee. Координатор зберігає інформацію про мережу, що включає виконання функції Центру довіри та репозиторій для ключів безпеки.

Маршрутизатори розширюють мережу охоплення території, динамічно

обходити перешкоди та надати резервні маршрути на випадок перевантаження мережі або несправність пристрою. Вони можуть підключатися до координатора і інші маршрутизатори, а також підтримують дочірні пристрої. Кінець пристрої можуть передавати або отримувати повідомлення, але не можуть виконувати будь-які операції з маршрутизації. Вони повинні бути з'єднані до координатора або маршрутизатора і не підтримуються дитячі пристрої. [33]

До кінцевих пристроїв відноситься побутова техніка, датчик замка дверей, датчик газу та диму, відеоспостереження тощо. Ми використовуємо JN5148 як модуль ZigBee. JN5148 є продуктом корпорації Jennic, це малопотужний, високопродуктивний модуль для поверхневого монтажу, орієнтований на мережеві додатки ZigBee PRO, що дозволяє користувачам реалізовувати продукти з мінімальним часом виходу на ринок і за найнижчою ціною. Модулі забезпечують комплексне рішення з великою пам'яттю, високою продуктивністю ЦП і радіо, а також усіма радіочастотними компонентами. Модуль підключається до S3C2440 через UART.[36] Серед трьох універсальних асинхронних послідовних інтерфейсів: UART0 є інтерфейсом RS232, UART1 та UART2 є інтерфейсами TTL. ZigBee заснований на системі множинного доступу (CSMA) – уникнення зіткнень (CA), який чутливий до зіткнень <sup>10</sup>які знижують надійність зв'язку. (CSMA є поширеною категорією протоколів контролю доступу до середовища, де станції прослуховують канал перед передачею. Деякі версії Ethernet використовують варіанти виявлення зіткнень CSMA, тоді як бездротові мережі, такі як ZigBee і Wi-Fi, використовують варіанти CSMA-CA.[36] У першому У разі виявлення зіткнення станції припиняють свої передачі, дозволяючи використовувати канал знову. Щоб виявити зіткнення, станції прослуховують сигнали, що заважають під час власних передач. Цей підхід зазвичай не практичний для бездротових мереж, оскільки перешкоди сигнал набагато слабший, ніж власний сигнал станції, тому ці мережі покладаються на механізми CA. В обох випадках, незважаючи на використання механізму CSMA, у мережі на основі CSMA вузол може



передавати, лише якщо він відчуває, що канал неактивний. Проблема прихованого вузла виникає, коли датчик несучої не працює, і вузол починає передачу, коли інший вузол вже зайняв канал. Якщо обидві передачі знаходяться в межах досяжності приймача, відбувається зіткнення.[33]

Бездротові лінії під ZigBee можуть працювати в трьох діапазонах частот, які не мають ліцензії на промислову наукову медицину (ISM), включаючи 868 МГц в Європі, 915 МГц в США та Австралії та 2,4 ГГц у більшості юрисдикцій по всьому світу. Швидкість передачі даних варіюється від 20 до 250 кбіт/с. Всього в 802.15.4 виділено 27 каналів, у тому числі 1 канал у 868 МГц, 10 каналів у 915 МГц і 16 каналів у діапазоні 2,4 ГГц. Мережевий рівень ZigBee підтримує топології зірки, дерева та сітки. Кожна мережа повинна мати одного координатора ZigBee для створення та керування мережею. У топологіях сітки маршрутизатора ZigBee використовуються для розширення діапазону зв'язку на рівні мережі. Пристрої ZigBee бувають трьох типів, крім згаданих. Для додатків датчиків зазвичай програмуються як кінцеві пристрої ZigBee, які містять достатньо функціональних можливостей для зв'язку зі своїм батьківським вузлом і не можуть передавати дані з інших пристроїв. [34]

## 2.2 ТЕХНОЛОГІЯ Wi-Fi

За допомогою технології Wi-Fi можна самостійно керувати пристроями, шлюз IoT взаємодіє з хмарним програмним забезпеченням для задоволення запитів користувачів. Використовуючи будь-яке хмарне програмне забезпечення шлюзу, може підключатися до підтримуваних локальних пристроїв. Таким чином, шлюз IoT має підтримувати такі функції, щоб допомогти програмному забезпеченню на базі хмари, до прикладу, Microsoft One Drive, Google Drive тощо. Розробка шлюзу IoT, сумісний з будь-яким хмарним рішенням, воно повинно мати додаток, інтерфейс, які хмарні сервера можуть використовувати для спілкування зі шлюзом.



З точки зору хмарного програмного забезпечення інтеграція шлюзу IoT еквівалентна додаванню нового пристрою з програмним забезпеченням. Доступність інтерфейсу (API) для виявлення, схвалення, контролю та авторизації, різноманітність пристроїв, розташованих за шлюзом IoT. Отже, шлюз IoT розроблений із кодуванням JSON API. Будь-яке спілкування через веб-сокет із хмари. Програмне забезпечення для шлюзу повинно мати тіло, яке має кодування JSON-повідомлення, що містить три поля, а саме TYPE, PAYLOAD, і AUTHORIZATION\_CODE. Зміст цих полів визначає, що повинен виконувати шлюз IoT у локальній мережі. Поле TYPE може приймати як записи виявляти, затверджувати, контролювати та авторизувати. Відповідно, PAYLOAD містить назви моделей пристроїв, які можна виявити в разі повідомлення про виявлення, або унікальний ідентифікатор пристрою, на якому шлюз IoT має діяти у разі схвалення, контролю або дозволу запит. Залежно від значення TYPE і PAYLOAD, Крім того, AUTHORIZATION\_CODE діє як механізм аутентифікації між шлюзом IoT і хмарним програмним забезпеченням. Цей JSON визначено формою комунікаційного формату як рекомендації API для IoT-шлюзу. Оскільки будь-яке хмарне програмне забезпечення BEM розроблено для підтримки нових пристроїв шлюз IoT можна легко інтегрувати, як і будь-який інший пристрій, який має доступ до API.

Оскільки шлюз IoT містить інтерфейс для спілкування з кількома пристроями, його можна класифікувати як пристрій типу HUB і мати унікальний deviceID у PAYLOAD, який визначає, до якого пристрою звертатися. Використовуючи ці рекомендації, розроблений шлюз IoT інтегровано до широко використовуваного програмного забезпечення для домашньої автоматизації з відкритим кодом – home-assistant, додавши ENTITY клас типу концентратор. У цьому класі сутності розміщено Web-сервер сокетів, до якого підключається розроблений шлюз IoT завантажується та забезпечує інтерфейс API для пристроїв, присутніх у його мережі. Крім того, щоб додатково продемонструвати гетерогенність, розроблений шлюз також можна інтегрувати з pytomation додавши пристрій до Інтернету сервер сокетів як екземпляр.[12] Зокрема,

використовується `systemd-socket-proxyd` — невеликий проксі-сервер TCP і Unix, який забезпечує підтримку активації сокетів для служб, які не підтримують активацію сокета. У структурі `socket-activation` сокет прослуховує певний порт, який в кінцевому підсумку обслуговується комбінацією проксі/контейнер. Як тільки сокет отримує перше підключення, `systemd` активує службу проксі, яка запускає контейнер.[38]

Проксі-сервер також використовується для пересилання трафіку між контейнером і мережею. Посилаючись спочатку на модуль `Northbound`, віддалений кінцевий користувач — наприклад, через постачальника хмарних послуг — `ping` кінцевої точки сокета, що активує службу проксі; останній запустить контейнер сервера `CoAP`. Після активації контейнер стає доступним від віддаленого кінцевого користувача, який може отримати дані з самого сервера `CoAP`. Процес, про який йшлося вище, подібний до процесу в модулі `Southbound`. Основна відмінність полягає в тому, що активація сокета тут автоматично ініціюється таймером. Тому має сенс активуватися контейнери лише в разі потреби. Зрозуміло, що якщо шлюзу потрібно взаємодіяти з датчиками на основі подій, механізм сокет-проксі може бути активований за допомогою сигналу зонда, надісланого самим датчиком — аналогічно в модулі `Northbound`. Приклад стосується активації двох конкретних контейнерів, але його можна поширити на всі інші програми, що зберігаються в шлюзі.[39]

Однією з головних переваг цього механізму є можливість знизити споживану шлюзом потужність і в той же час дозволити краще використання апаратних ресурсів. Це може знадобитися в ситуаціях, коли наприклад, датчики та/або віддалені кінцеві користувачі не часто взаємодіють з ними шлюз і зберігати мовчання протягом тривалого часу. У цих випадках це можливо мінімізувати ресурси, що використовуються контейнерами, і присвятити їх інші програми.



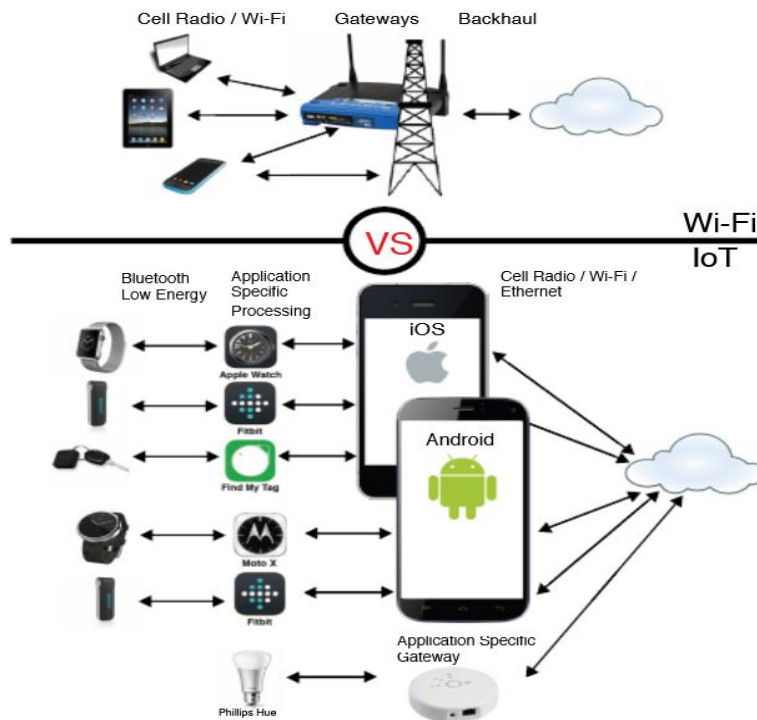


Рисунок 2 – Схема з'єднання з хмарним середовищем з різними технологіями зв'язку

Щоб забезпечити підключення до Інтернету для пристроїв із обмеженими ресурсами, пропонується підхід, орієнтований на смартфони. Смартфони можуть діяти як корисний шлюз через майже постійне підключення до Інтернету, мобільність і повсюдність, але вони також диктують, який бездротовий протокол повинні використовувати пристрої IoT на основі загальнодоступних на телефонах. Хоча Wi-Fi є всюдишним у багатьох частинах країни світу, і в даний час реалізований у багатьох пристроях IoT, вони мають великі вимоги до потужності, що роблять його непридатним для малопотужних застосувань. Хоча деякі малопотужні послання, наприклад IEEE 802.11, надають функції що було б корисно в цьому режимі, підтримка смартфонів робить їх привабливими. У нашій архітектурі смартфон поки залишається в центральному режимі. Всі пристрої IoT поведуться як периферійні пристрої. Периферійні вузли передають періодичні сигнали, які називаються передавальними пакетами, для сповіщення поблизу центральні вузли їх наявності. Після того, як центральний пристрій почує сигнал сповіщення, він може встановити з'єднання між двома пристроями для передачі



інформації. Цей процес підключення стандартизовано за специфікацією Wi-Fi. Як і яка інформація передається між пристроєм і смартфоном залежить від кожної програми. В останні роки бездротовий зв'язок, бездротове керування, бездротова локалізація та мобільні цифрові технології все частіше з'являються в нашому повсякденному житті. Технологія бездротового зв'язку широко використовується в автоматизації будівель, змінюючи традиційний спосіб дротового зв'язку. Бездротова мережа за допомогою шлюзу ZigBee-WiFi, який перетворює мережу ZigBee в мережу WiFi, крім того, скориставшись перевагами бездротової мережі ZigBee, можна знайти місце пристрою ZigBee, щоб інформація про пристрій завантажувалась на хмару для зберігання інформації про місцезнаходження тощо. [35]

## 2.3 Висновки по розділу 2

В даному розділі розглянуто інформацію про технології зв'язку, які будуть застосовані в розробці шлюзу. На основі цих даних було визначено, що будуть використовуватися мікроконтролер ESP-32-WROWER-B, що має 2 Гб оперативної пам'яті, якої достатньо для передачі і отримання даних, також це мікроконтролер забезпечує базовий зв'язок в діапазоні 2.4 ГГц Wi-Fi з підключеними пристроями, напруга складає 2.2 – 3.6 В, максимальний електричний струм складає 160 – 260 мА, що можна вважати по енергоспоживанню мінімальним. Для ZigBee пристроїв буде використовуватись модуль ZigBee CC2538 з підсилювачем CC2592, якого буде достатньо для виконання завдань шлюзу.

### РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РОБОТИ ШЛЮЗУ

Для створення шлюзу буде використовуватися мікроконтролер ESP-32-WROVER-B, що має 2 Гб оперативної пам'яті, якої достатньо для передачі і отримання даних. Цей мікроконтролер підходить для того, щоб під'єднувати до шлюзу більшу кількість пристроїв, ніж у звичайних мікроконтролерах з оперативною пам'яттю 512 Мб. У цього мікроконтролера 2 Гб оперативної пам'яті, також це мікроконтролер забезпечує базовий зв'язок в діапазоні 2.4 ГГц Wi-Fi з підключеними пристроями, напруга складає 2.2 – 3.6 В, максимальний електричний струм складає 160 – 260 мА, що можна вважати по енергоспоживанню мінімальним. Для ZigBee пристроїв буде використовуватись модуль ZigBee CC2538 з підсилювачем CC2592, якого буде достатньо для виконання завдань шлюзу. Робоча напруга складає 3.3 В, вихідна потужність складає 0.1 Вт, відстань передачі дорівнює 600 метрів, швидкість передачі даних складає 250 Кбіт/с, передача даних йде по 16 каналам зв'язку.



Рисунок 3 – Мікроконтролер ESP-32-WROVER-1B



ZigBee-модуль CC2538 був обраний через те, що має більший радіус визначення пристроїв, ніж у модуля CC2530, який теж розглядався для розробки шлюзу. Було обрано саме цей зігбі модуль разом з підсилювачем cc2592.

Працездатність протоколу Zigbee забезпечує трансіввер стіку cc2538 з підсилювачем cc2592, використовується як координатор мережі, підключив до комп'ютеру як роутер, щоб з'єднатися з віддаленими пристроями.

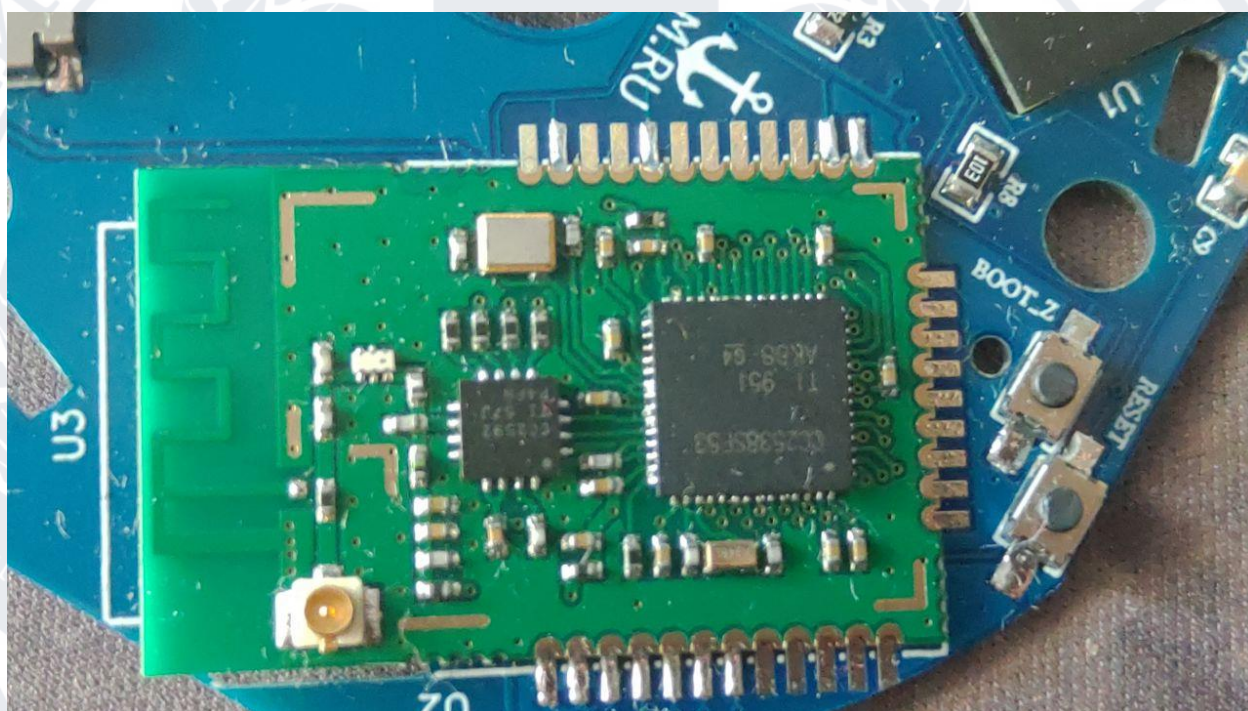


Рисунок 4 – ZigBee-модуль CC2538

Головною перевагою трансіввера є багатофункціональність. Він може працювати як через вбудовану емуляцію USB, так і через UART. Після прошивки zigbee-модуля і ESP32, при включенні шлюзу створюється точка доступу zgww23rb. Далі за допомогою комп'ютера підключився до нової точки доступу та ввів реквізити мережі Wi-Fi.

Після того, як шлюз підключився до мережі, в налаштуваннях вашого маршрутизатора можна уточнити його адресу. Інтерфейс управління може бути доступний на порту 80 за адресою, який видав маршрутизатор, адреса шлюза є

192.168.1.109.

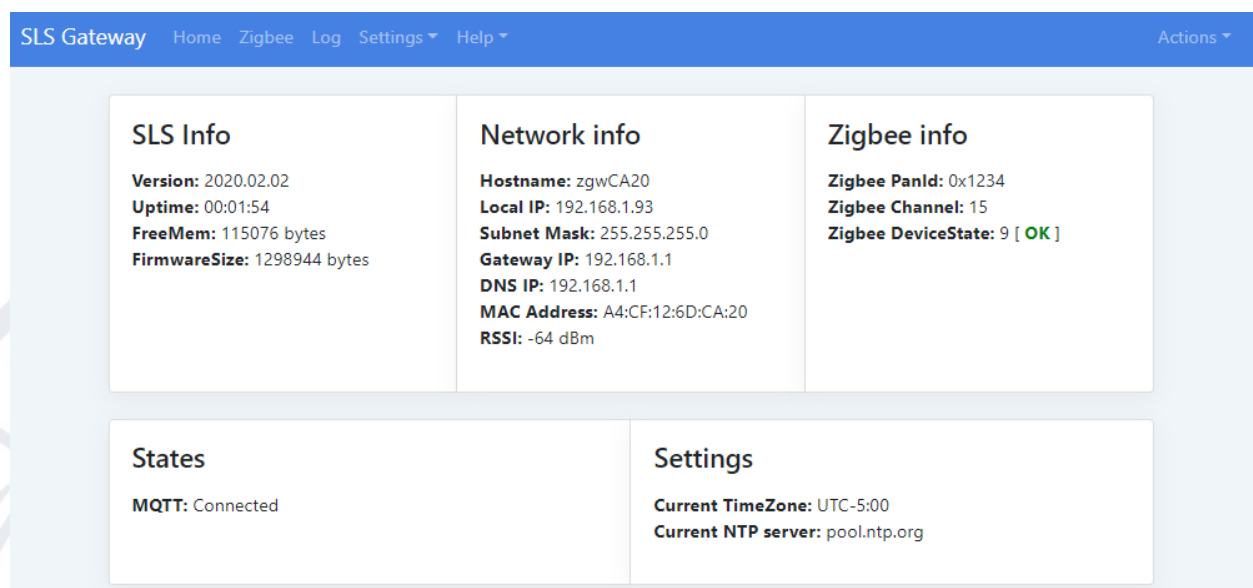


Рисунок 5 – Веб-інтерфейс керування шлюзу

Після того, як підключаємося до шлюзу SLS Zigbee Gateway, вам необхідно зайти на сторінку установок GPIO мікроконтролера (з меню основної сторінки Settings -> HW Setup) і виставити налаштування портів GPIO. Нижче наведено налаштування для круглої плати:

#StayHome Gateway Home Zigbee Log Settings Help Actions

## Hardware Setup

Zigbee module:  
TI (CC2530/CC2538/CC1352/CC2652)

Zigbee UART RX:  
22

Zigbee UART TX:  
23

Button Mode:  
33  
☒ PullUp

Led Red:  
4

Led Green:  
5

Led Blue:  
21

Save

Рисунок 6 – Налаштування ZigBee-модуля для шлюзу

Додавання пристроїв zigbee здійснюється при увімкненні режиму сполучення. Його можна здійснювати через меню Zigbee -> Join або командами mqtt або http (інформацію можете знайти в документації). Нові сполучені пристрої будуть з'являтися наростаючим результатом, доки увімкнено режим сполучення.

#StayHome Gateway Home Zigbee Log Settings Help Actions

|   |  |   |
|---|--|---|
| <br><div>Bind</div> <p>New device 0x7343<br/>Successfully joined!</p> <p>Current status:<br/>ieeeAddr: 0x00158D000201DB66<br/>Type: EndDevice<br/>powerSource: Battery<br/>Endpoint: 1<br/>Model: lumi.sensor_magnet.aq2</p><br><div>Start interview:</div> | <br><div>Bind</div> <p>New device 0x9984<br/>Successfully joined!</p> <p>Current status:<br/>ieeeAddr: 0x00158D0001A2AAF4<br/>Type: EndDevice<br/>powerSource: Battery<br/>Endpoint: 1<br/>Endpoint: 2<br/>Endpoint: 3<br/>Model: lumi.sens</p><br><div>Start interview:</div> | <br><div>Bind</div> <p>New device 0xDEEC<br/>Successfully joined!</p> <p>Current status:<br/>ieeeAddr: 0x00158D0001FA6EC3<br/>Type: EndDevice<br/>powerSource: Battery<br/>Endpoint: 1<br/>Model: lumi.weather</p><br><div>Start interview:</div> |
|---|--|---|

Рисунок 7 – Огляд пристроїв, які можна під'єднати до шлюзу



Список усіх пристроїв можна відкрити через меню Zigbee -> Devices

#StayHome GatewayHome ZigbeeLog SettingsHelpActions













































| #  | Pic   | nwkAddr | FriendlyName | ieeeAddr           | Manuf          | ModelId                | Link | Interview | LastSeen | Routes | PS  | Actions  |
|----|---|---------|--------------|--------------------|----------------|------------------------|------|-----------|----------|--------|---|--|
| 1  |  | 0x5DD2  |              | 0x00158D0002EE1285 | LUMI           | lumi.curtain           | 102  | Ok        | 00:13    |        |  |   Bind |
| 2  |  | 0x29DD  |              | 0x01124B001BAEA534 | SZ             | Lamp_01                | 102  | Ok        | 00:18    |        |  |   Bind |
| 3  |  | 0x6160  |              | 0x00158D0001A24770 | LUMI           | lumi.relay.c2acn01     | 97   | Ok        | 00:28    |        |  |   Bind |
| 4  |  | 0xD0FF  |              | 0x00158D00029C3010 | LUMI           | lumi.ctrl_neutral1     | 97   | Ok        | 00:28    | 0x6160 |  |   Bind |
| 5  |  | 0x270E  |              | 0x00158D0001A2D2FE | LUMI           | lumi.sensor_ht         | 113  | Ok        | 00:49    |        |  |   Bind |
| 6  |  | 0x5E3B  |              | 0x00158D0002B8C3AB | LUMI           | lumi.ctrl_neutral2     | 99   | Ok        | 00:50    | 0x9EBF |  |   Bind |
| 7  |  | 0xF022  |              | 0x00158D00029B4352 | LUMI           | lumi.ctrl_neutral1     | 92   | Ok        | 00:51    | 0x5DD2 |  |   Bind |
| 8  |  | 0x24A3  |              | 0x00158D0002B76411 | LUMI           | lumi.sensor_motion.aq2 | 99   | Ok        | 01:20    |        |  |   Bind |
| 9  |  | 0x2B0C  |              | 0x00158D0001A9E374 | LUMI           | lumi.sensor_motion     | 92   | Ok        | 01:22    | 0x9EBF |  |   Bind |
| 10 |  | 0x043C  |              | 0x000B57FFFE86106  | IKEA of Swe... | TRADFRI remote control | 94   | Ok        | 01:41    | 0x29DD |  |   Bind |
| 11 |  | 0x0000  |              | 0x00158D0002A5B713 | LUMI           | lumi.remote...         | 94   | Ok        | 02:03    | 0x6160 |  |   Bind |

Рисунок 8. Список пристроїв

Також можна переглянути карту мережі Zigbee -> Map, які пристрої під'єднані до мережі.

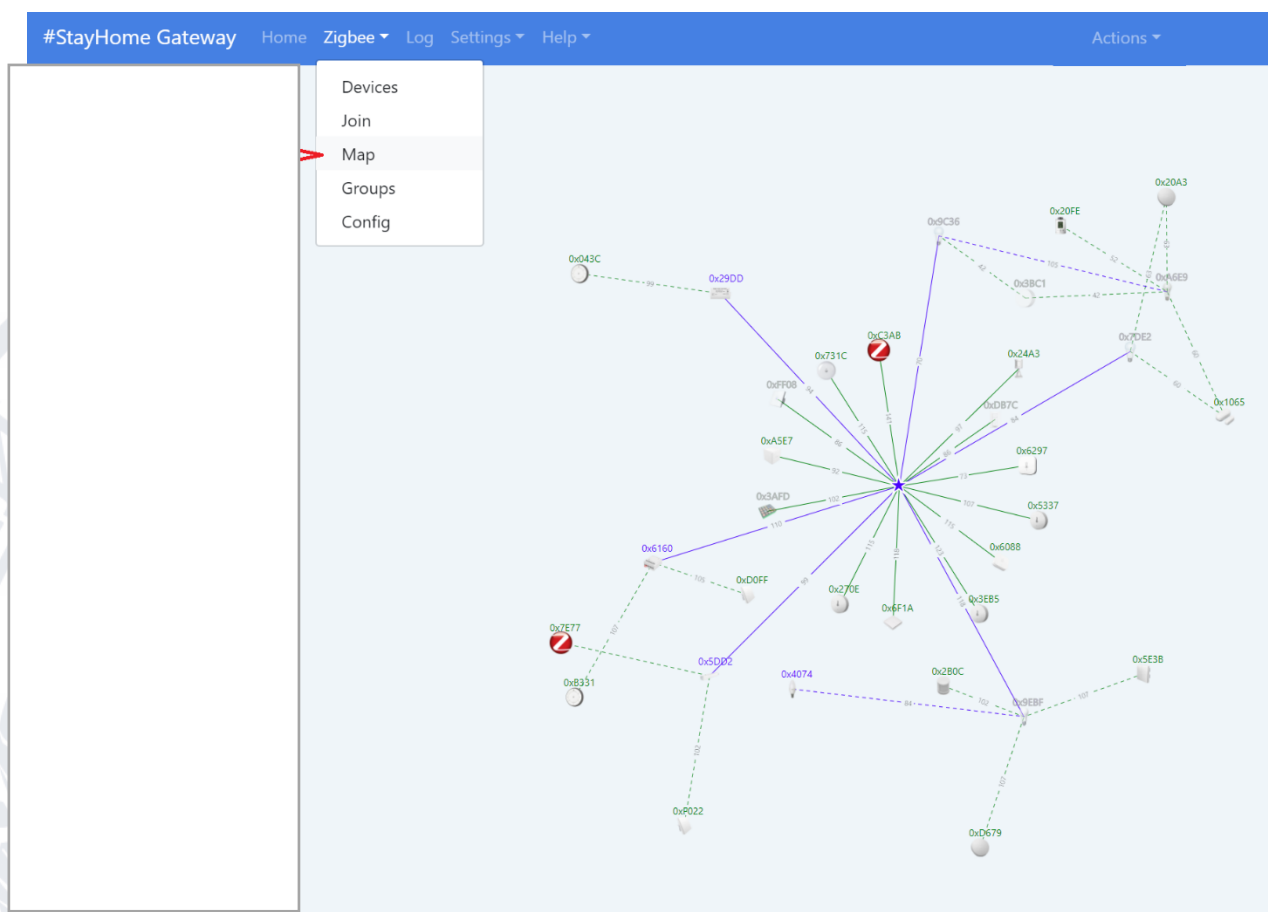


Рисунок 9 – Карта мережі ZigBee-пристроїв

### 3.1 Висновки по розділу 3

В даному розділі виконана основна технічна задача кваліфікаційної роботи, а саме розроблений шлюз на технології ZigBee та Wi-Fi. Після під'єднання ZigBee модуля до глобальної мережі, було завантажено актуальна версія ZigBee для функціонування шлюза. В свою чергу Wi-Fi модуль був під'єднаний до глобальної мережі, щоб забезпечити з'єднання для пристроїв ZigBee, щоб передавати зібрані дані у реальному часі. Щоб отримувати актуальні дані були налаштовані параметри мережі, під'єднав MQTT та активовані усі 15 каналів ZigBee для отримання даних або відправки команд.



## ВИСНОВКИ

Розроблено шлюз, який працює на технології ZigBee і Wi-Fi, що є пристроєм, який допомагає зрозуміти пристроям один одного. Проведено експеримент роботи шлюзу, який може визначати пристрої, які підключені до шлюзу, і якими можна керувати самостійно через веб-інтерфейс. За результатами експерименту встановлено, що роутер Wi-Fi має змогу підтримувати з'єднання з глобальною мережею або з локальною мережею для пристроїв ZigBee за допомогою розробленого шлюзу, пристрої ZigBee та Wi-Fi можуть обмінюватися даними через шлюз та зберігати інформацію у хмарному середовищі, створено зручність використання, перегляду поточного стану пристроїв через одну програму за допомогою шлюзу, розробка шлюзу полягала в тому, щоб облегшити задачу з пристроями, що під'єднуються різними стандартами зв'язку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ:

1. Design of smart home gateway based on Wi-Fi and ZigBee, 4 page <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5033776> (дата звернення: 16.02.2022)
2. Собираем DIY-шлюз для ZigBee-устройств <https://habr.com/ru/post/503494/> (дата звернення: 24.01.2022)
3. Yepeng Ni<sup>1</sup>, Fang Miao<sup>2</sup>, Jianbo Liu<sup>2</sup>, Jianping Chai<sup>2</sup> Implementation of Wireless Gateway for Smart Home [https://www.researchgate.net/publication/276541964\\_Implementation\\_of\\_Wireless\\_Gateway\\_for\\_Smart\\_Home](https://www.researchgate.net/publication/276541964_Implementation_of_Wireless_Gateway_for_Smart_Home) (дата звернення: 29.02.2022)
4. P. Gopi Krishna 1 \*, K. Sreenivasa Ravi 2, K Hari Kishore 3, K Krishna Veni 4, K. N. Siva Rao 4, R. D. Prasad Design and development of bi-directional IoT gateway using ZigBee and Wi-Fi technologies with MQTT protocol (сторінка 126) <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/download/10344/3713> (дата звернення: 4.03.2022)
5. XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology September 6<sup>th</sup>11, 2009, Lisbon, Portugal BASIC CHARACTERISTICS OF ZIGBEE AND SIMPLICITY MODULES TO USE IN MEASUREMENT SYSTEMS L. Skrzypczak<sup>1</sup> , D. Grimaldi<sup>2</sup> , R. Rak<sup>3</sup>), (сторінка 1) (дата звернення: 6.03.2022)
6. UG131: ZigBee® Wi-Fi/Ethernet Gateway Reference Design (RD-0001-0201) User's Guide(сторінка 7) <https://docs.rs-online.com/037e/0900766b81488f95.pdf> (дата звернення: 12.02.2022)
7. Alice Costa De Oliveira, Barbara Ramos De Oliveira, Otavio Rodrigues Gomes, Stephane Rodrigues Da Silva, Fabiano Pereira Bhering, Lindolpho Oliveira De Araujo Junior, Supervisory Android for Network Sensor Wireless WI-FI/ZIGBEE (сторінка 29) [https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781\\_SUPERVISORY\\_ANDROID\\_FOR\\_NETWORK\\_SENSOR\\_WIRELESS\\_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781_SUPERVISORY_ANDROID_FOR_NETWORK_SENSOR_WIRELESS_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf) (дата звернення: 18.03.2022)
8. Implementation of Wireless Gateway for Smart Home Yepeng Ni 1 , Fang Miao 2 , Jianbo Liu<sup>2</sup> , Jianping Chai (сторінка 17) [https://file.scirp.org/pdf/CN\\_2013110615253962.pdf](https://file.scirp.org/pdf/CN_2013110615253962.pdf) (дата звернення: 24.03.2022)
9. Design, Implementation and Practical Evaluation of an IoT Home Automation System for Fog Computing Applications Based on MQTT and ZigBee-WiFi Sensor Nodes (розділ 3.2) <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2660/htm> (дата звернення: 25.03.2022)
10. Design and development of bi-directional IoT gateway using ZigBee and Wi-Fi technologies with MQTT protocol , International Journal of Engineering & Technology



- [https://www.researchgate.net/publication/324047132\\_Design\\_and\\_development\\_of\\_bi-directional\\_IoT\\_gateway\\_using\\_ZigBee\\_and\\_Wi-Fi\\_technologies\\_with\\_MQTT\\_protocol](https://www.researchgate.net/publication/324047132_Design_and_development_of_bi-directional_IoT_gateway_using_ZigBee_and_Wi-Fi_technologies_with_MQTT_protocol) (дата звернення: 27.02.2022)
11. “A systematic literature review on IoT gateways”, Gunjan Beniwai, Anita Singhrova <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821003219> (дата звернення: 15.04.2022)
12. Design and Development of an IoT Gateway for Smart Building Applications, Aditya Nugur , Manisa Pipattanasomporn, Murat Kuzlu, and Saifur Rahman, @[https://www.saifurrahman.org/wp-content/uploads/2020/06/design\\_development\\_IoT\\_Gateway\\_smart\\_building\\_App.pdf](https://www.saifurrahman.org/wp-content/uploads/2020/06/design_development_IoT_Gateway_smart_building_App.pdf) (дата звернення: 26.04.2022)
13. . Alice Costa De Oliveira, Barbara Ramos De Oliveira, Otavio Rodrigues Gomes, Stephane Rodrigues Da Silva, Fabiano Pereira Bhering, Lindolpho Oliveira De Araujo Junior, Supervisory Android for Network Sensor Wireless WI-FI/ZIGBEE [https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781\\_SUPERVISORY\\_ANDROID\\_FOR\\_NETWORK\\_SENSOR\\_WIRELESS\\_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781_SUPERVISORY_ANDROID_FOR_NETWORK_SENSOR_WIRELESS_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf) (дата звернення: 13.04.2022)
14. Alice Costa De Oliveira, Barbara Ramos De Oliveira, Otavio Rodrigues Gomes, Stephane Rodrigues Da Silva, Fabiano Pereira Bhering, Lindolpho Oliveira De Araujo Junior, Supervisory Android for Network Sensor Wireless WI-FI/ZIGBEE [https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781\\_SUPERVISORY\\_ANDROID\\_FOR\\_NETWORK\\_SENSOR\\_WIRELESS\\_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lindolpho-Oliveira-De-Araujo-Junior/publication/314404781_SUPERVISORY_ANDROID_FOR_NETWORK_SENSOR_WIRELESS_WI-FIZIGBEE/links/58c1b53c92851c0ccbed8a6b/SUPERVISORY-ANDROID-FOR-NETWORK-SENSOR-WIRELESS-WI-FI-ZIGBEE.pdf) (дата звернення: 02.05.2022)
15. Comparison of Wireless Communication Technologies used in a Smart Home, Oleh Horyachyy <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118965/FULLTEXT02.pdf>
16. Security Issues with Wi-Fi, Bluetooth, and ZigBee, John Donovan <https://www.digikey.com/en/articles/security-issues-with-wifi-bluetooth-and-zigbee>
17. Literature Survey on ZigBee / IEEE 802.15.4 System Implementation, Kumari Pooja, Shailesh Kharaparkar, Pankaj Sahu [https://www.academia.edu/49275283/Literature\\_Survey\\_on\\_ZigBee\\_IEEE\\_802\\_15\\_4\\_System\\_Implementation](https://www.academia.edu/49275283/Literature_Survey_on_ZigBee_IEEE_802_15_4_System_Implementation)
18. Agilent Open Agilent Spectrum Analysis Basic /, Agilent Technologies. USA. 2006.119 p.



19. Шлюз у Системі Інтернету Речей, Гіоргізова-Гай В.Ш. Шерепковський А.О.  
[http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/1\\_2019/part\\_1/9.pdf](http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/1_2019/part_1/9.pdf).
20. Datasheet DHT22 / Maxim Integrated Products / 2019.15 p.
21. Datasheet DS18B20 / Maxim Integrated Products / 2019.20 p.
22. Аналіз мережевих шлюзів Інтернет речей, Яцків В.В. , Гаврилюк Н.В. ,  
Стасюк І.І.  
<http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/36079/1/%D0%AF%D1%86%D0%BA%D1%96%D0%B2%20%D0%92.%D0%92.%2C%20%D0%93%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B8%D0%BB%D1%8F%D0%BA%20%D0%9D.%D0%92.%2C%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%81%D1%8E%D0%BA%20%D0%86.%D0%86..pdf>
23. Florian Metzger, Tobias Hossfeld, André Bauer, Samuel Kounev. Modeling of Aggregated IoT Traffic and Its Application to an IoT Cloud / Norwegian University of Science and Technology, Trondheim. Norway. March 2019.15 p.
24. Greengard S. The Internet of Things / The Mit Press Essential Knowledge series.2018.176 p.
25. Jing Zhao<sup>1</sup> Fan Zhang<sup>1</sup> Chao Zhao<sup>1</sup> Gang Wu<sup>1</sup> Haitao Wang and Xinyu Cao<sup>1</sup>. The Properties and Application of Poisson Distributio / China National Institute of Standardization, Beijing, China, IWAACE 2020.5 p.
26. Сучасні тенденції застосування технологій Інтернет речей при впровадженні електронного урядування на місцевому рівні, Київський національний торговельно-економічний університет  
<https://knute.edu.ua/file/NjY4NQ==/a5ca047f55d08f0d45d3b7ca053ac9f2.pdf>
27. Internet of Things: Проблеми інформаційної безпеки та методи покращення, Коваленко А.А. , Ярошевич Р.О. , Баленко О.І.  
<http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/2312/1786/>
28. McRoberts M.R Arduino Starter Kit Manual / Earthshine Electronics, 2009. 101 p.
29. Створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей», В.Б. Мокін, Б.Ю. Собко,

М.В.Дратованый, С. М. Крижановський, Г.В.Горячев.

<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/2055/2070/2311>

30. Rajalakshmi Krishnamurthi, Adarsh Kumar, Dhanalekshmi Gopinathan, Anand Nayyar, Basit Qureshi. An Overview of IoT Sensor Data Processing, Fusion, and Analysis Techniques / Department of Computer Science and Engineering: Jaypee
31. Research on Self Organizing of Internet of Things Nodes in Closed Area, Qian Zou, Wei Huang, Fei Long, Yang Yang

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=89067>

32. An Embedded Gateway with Communication Extension and Backup Capabilities for ZigBee-Based Monitoring and Control Systems, Ke-Feng Lin, Shih-Sung Lin, Min-Hsiung Hung, Chung,-Hsien Kuo <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/3/456/htm>

33. Remote Patient Monitoring Based on ZigBee: Lessons from a Real-World Deployment, Helena Fernandez-Lopez, Jose A. Afonso, Jose, Correia  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3880127/>

34. Experimental Evaluation of ZigBee-Based Wireless Networks in Indoor Environments, Jin-Shyan Lee, Yung-Ming Wang  
<https://www.hindawi.com/journals/je/2013/286367/>

35. The Design and Implementation of Building Fire Monitoring System using ZigBee-WiFi Networks, Vidyashree P, Mrs. Pushpalatha S, <https://www.ijert.org/the-design-and-implementation-of-building-fire-monitoring-system-using-zigbee-wifi-networks>

36. Brokerage System for Integration of LrWPAN Technologies, Josiah E. Balota, Ah-Lian Kor  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8914770/>

37. System Performance of Wireless Sensor Network Using LoRa–Zigbee Hybrid Communication, Van-Truong Truong, Anand Navyar and Showkat Ahmad Lone  
<https://www.techscience.com/cmc/v68n2/42201/html>

38. Comparative study of ZigBee topologies for IoT-based lighting automation, Susan Varghese, Ciji Pearl Kurian, V.I. George, Anupriya John, Varsha Nayak, Anil Upadhyay

<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-wss.2018.5065>

39. Sensing and Signal Processing in Smart Healthcare, Wenbing Zhao, Srinivas Sampalli,

<https://books.google.com.ua/books?id=19UXEAAAQBAJ&pg=PA176&lpg=PA176&dq=zigbee+wifi+gateway+literature&source=bl&ots=oazGU2gSsM&sig=ACfU3U0MKGjCPfLYT8sKErbPCnA-huXvnA&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwiek4eNxO73AhWks4sKHe3QC5w4WhDoAXoECAAQAQ#v=onepage&q=zigbee%20wifi%20gateway%20literature&f=false>

40. Communication and Networking: 14<sup>th</sup> EAI International Confence, Honghao Gao, Zhiyoung Feng, Jun Yu, Jun Wu

[https://books.google.com.ua/books?id=8iLTDwAAQBAJ&pg=PA451&lpg=PA451&dq=zigbee+wifi+gateway+literature&source=bl&ots=TUYSphMyf4&sig=ACfU3U2xJTQbhn2hNKMM0T\\_rbsOMuA6iRA&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwiA7e\\_qwe73AhVnAxAIHTzmD\\_E4PBD0AXoECAAAQ#v=onepage&q=zigbee%20wifi%20gateway%20literature&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=8iLTDwAAQBAJ&pg=PA451&lpg=PA451&dq=zigbee+wifi+gateway+literature&source=bl&ots=TUYSphMyf4&sig=ACfU3U2xJTQbhn2hNKMM0T_rbsOMuA6iRA&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwiA7e_qwe73AhVnAxAIHTzmD_E4PBD0AXoECAAAQ#v=onepage&q=zigbee%20wifi%20gateway%20literature&f=false)

