

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

В.о. зав.кафедрою

Е.Меліч Євгеній НЕЛІН

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: Розподілена мережа передачі даних з використанням Bluetooth
BLE

Виконав:

студент III курсу, групи РІ-зп81

Анісков Ігор Сергійович

Керівник: ст. викладач Адаменко В.О.

Рецензент: доцент, к.т.н. Шпилька О.О.

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без вілповілих посилань.

Студент – –

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

С.Меліш – Євгеній МЕЛІН

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Аніскову Ігорю Сергійовичу

1. Тема проєкту «Розподілена мережа передачі даних з використанням Bluetooth BLE», керівник проєкту Адаменко Володимир Олексійович, ст. викладач, затверджені наказом по університету від «18»травня 2021 р. №1205-с
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту: розробити алгоритми для функціонування розподіленої мережі передачі даних, за допомогою стек протоколу BLE
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; Огляд проблематики передачі даних в само організаційних мережах; Безпроводні комунікаційні технології мобільних пристроїв; Типи топології мережі передачі даних; Розподілена мережа передачі даних; Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): блок схема алгоритму знаходження сусідніх пристроїв; блок схема алгоритму обміну даними про оновлення режиму з сусідніми пристроями; блок схема алгоритму формування мережі; блок схема алгоритму передачі повідомлень мережею.

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

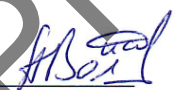
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Вивчення та аналіз задачі	12.04.2021р. – 19.04.2021р.	
	Аналіз безпроводних технологій в мобільних пристроях	20.04.2021р. – 26.04.2021р.	
	Аналіз топологій в мережі	27.04.2021р. – 02.05.2021р.	
	Аналіз BLE	03.05.2021р. – 08.05.2021р.	
	Розробка алгоритмів для мережі	09.05.2021р. – 31.05.2021р.	
	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2021р. – 09.06.2021р.	

Студент



Ігор АНІСКОВ

Керівник



Володимир АДАМЕНКО

АНІСКОВ І.С. ДЛ-3787, 2021

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є розроблення розподіленої мережі передачі даних з використанням Bluetooth BLE. Кожний користувач приєднаний до мережі має можливість передавати, зберігати, відправляти і отримувати повідомлення від всіх пристроїв в мережі.

Функціонування мережі забезпечують чотири розроблені алгоритми, які використовують дев'ять змінних, дві таблиці, та чотири тири пакетів.

Пояснювальна записка містить 42 сторінки, 19 рисунків, 4 таблиці та 7 посилань.

Анісков І.С. РІ-3781, 2021

ANNOTATION

The aim of the work was to develop the distributed data network using Bluetooth BLE. Each user connected to the network has the ability to redirect, store, send and receive messages from all devices on the network.

The operation of the network is ensured by four developed algorithms that use nine variables, two tables, and four type packages.

The note contains 42 pages, 19 figures, 4 tables, and 7 references.

Анісков І.С. РІ-3781, 2021

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

на тему: Розподілена мережа передачі даних з викорис-
танням Bluetooth BLE

Київ — 2021 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	4
1 Огляд проблематики передачі даних в самоорганізаційних мережах.....	5
2 Безпроводні комунікаційні технології мобільних пристроїв.....	6
2.1 Технологія Wi-Fi Direct.....	6
2.2 Технологія Bluetooth.....	7
2.3 Технологія NFC.....	10
3 Типи топології мережі передачі даних.....	12
3.1 Топологія Point-to-point.....	12
3.2 Топологія Bus.....	14
3.3 Топологія Ring.....	15
3.4 Топологія Star.....	17
3.5 Топологія Tree.....	19
3.6 Топологія Mesh.....	20
3.7 Гібридна топологія.....	23
4 Розподілена мережа передачі даних.....	25
4.1 Архітектура протоколу BLE.....	25
4.2 Розроблення розподіленої мережі.....	28

					PI81.466534.001 ПЗ		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розподілена мережа передачі даних		
<i>Розробив</i>	<i>Анісков</i>						
<i>Перевірів</i>					1		
<i>Н. Контр.</i>					PI-зп81 РТФ		
<i>Затвердив</i>	<i>Адаменко</i>						

4.3 Розробка алгоритму знаходження сусідніх пристроїв	35
4.4 Розробка алгоритму обміну даними про оновлення режиму з сусідніми пристроями.....	37
4.5 Розробка алгоритму формування мережі	38
4.6 Розробка алгоритму передачі повідомлень мережею	39
Висновки	41
Перелік джерел посилань	42
Додаток А.....	43
Додаток Б	44
Додаток В	45
Додаток Г	46

Анісков І.С. РІ-3781, 2021

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

GAP — загальний профіль доступу
AP — точка доступу
GO — власник групи
WPAN — безпроводна персональна мережа
WLAN — безпроводна локальна мережа
ISM — індустріальний, науковий, медичний
MAC — 48-бітний унікальний ідентифікатор
TDD — Time Division Duplex
BLE — Bluetooth low energy
GATT — загальний профіль атрибутів
ATT — протокол атрибутів
ST — тип сканування
PAC — основні рекламні канали
SM — управління безпекою
PDU — протокол пакету даних
PHY — фізичний рівень
LL — рівень зв'язків

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

3

ВСТУП

Важко уявити сучасне життя без комунікації, адже мобільний зв'язок та різні меседжери настільки глибоко проникли в наше життя, що допомагають не лише для побутового спілкування, а й використовуються безпосередньо в роботі. Проте такий зручний та ефективний спосіб комунікації, який зав'язаний на централізовані мережі мобільного зв'язку дуже просто втратити в наслідок надзвичайних ситуацій, воєн чи терактів. Крім того, централізовані мережі занадто вразливі для впровадження глобального контролю з боку різноманітних державних і не тільки структур.

Власне тому є актуальною задача розгортання мережі для обміну повідомленнями, яка не буде базуватися на мобільній мережі зв'язку.

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

2 БЕЗПРОВІДНІ КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В цьому розділі будуть коротко розглянуті безпроводні комунікаційні технології, які підтримують мобільні пристрої. Їх переваги та недоліки, поширеність серед пристроїв. На основі аналізу буде вибрано технологію на основі, якої буде побудована мережа.

2.1 Технологія Wi-Fi Direct

Wi-Fi Direct — це один із стандартів Wi-Fi, створений Wi-Fi Alliance. Раніше називався Wi-Fi P2P, тепер Wi-Fi Direct, являє собою інноваційний спосіб мобільного зв'язку, що не залежить від фізичної точки доступу. Його можна використовувати для різних цілей, таких як передача файлів, перегляд веб-сторінок, обмін даними з пристроями. Wi-Fi Direct передбачає спеціальну топологію мережі — рівний до рівного, в якій пристрої не залежать один від одного, а утворюють мережу, в якій всі пристрої мають загальний доступ і право розповсюджувати дані. На рисунках 2.1.1, 2.1.2 можна побачити різницю між Wi-Fi і Wi-Fi Direct відповідно. [1]



Рис 2.1.1 Wi-Fi

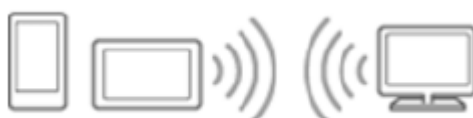


Рис 2.1.2 Wi-Fi Direct

Wi-Fi Direct не залежить від інфраструктури, тобто навіть без доступу до мережі Wi-Fi пристрої можуть з'єднуватися між собою, оскільки Wi-Fi Direct дозволяє пристроям випромінювати сигнал до інших пристроїв поблизу,

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

6

повідомляючи про можливість встановлення з'єднання. Користувачі, що знаходяться поруч із пристроєм-відправником, отримують запрошення приєднатися до мережі (Wi-Fi Direct групи).

Пристрої можуть або приєднуватися до існуючих груп, або створювати нові групи, де вони будуть адміністраторами, тобто власниками груп (GO) цієї конкретної мережі. Цей процес змушує Wi-Fi Direct формувати свою топологію як зірку, де є центральна програмна AP. Важливо чітко визначити різницю між програмними та фізичними точками доступу: фізична точка доступу зазвичай відноситься до фізичного маршрутизатора, який адмініструє мережу з дротовими та бездротовими з'єднаннями до пристроїв, тоді як програмна точка доступу розгортається за допомогою встановленого в пристрій Wi-Fi адаптеру.

Після створення групи GO повідомляє всім прилеглим пристроям свою про створену групу за допомогою протоколу Service Discovery, який надсилає пакети із ідентифікатором набору послуг (SSID), за допомогою якого ідентифікується мережа. Потім приймаючі пристрої можуть підключитися до мережі, надіславши інформацію про свій пристрій та тип сервісів, які він підтримує. Пристрій стає членом групи цієї мережі, після того як GO отримує унікальний ідентифікатор пристрою.

Швидкість Wi-Fi Direct аналогічна швидкості в інших режимах роботи Wi-Fi, досягає до 250 Мбіт/с. Це головна перевага Wi-Fi Direct перед прямими конкурентами, такими як Bluetooth. Як і в інших бездротових технологіях, на швидкість передачі впливає середовище, де розгортається мережа, фізичні характеристики пристроїв та стандарти Wi-Fi, який вони підтримують.

2.2 Технологія Bluetooth

Бездротова персональна мережа (WPAN) — це тип мережі, де пристрої між собою підключаються бездротово, на основі стандарту IEEE 802.15. Це визначення досить схоже на визначення WLAN, але між ними існує значна кількість відмінностей. Термін персональна мережа походить від способу

					PI81.466534.001 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

використання таких мереж, іншими словами, WPAN повинна бути розгорнута для підключення декількох пристроїв в особистій зоні, таких як будинок, офіс тощо.

Bluetooth — одна з основних технологій реалізації WPAN. В мережі використовується промисловий, науковий та медичний діапазон частот 2,4 ГГц (ISM). Bluetooth був винайдений телефонною компанією Ericsson і використовується для підключення пристроїв у мережі короткого радіусу дії.[2]

Пристрої з'єднуються між собою, утворюючи піконети, що є терміном, призначеним для позначення Ad hoc мережі, утвореної пристроями за допомогою Bluetooth. Кожна пікомережа має активний пристрій (master), який керує мережею, подібно до точки доступу, не надаючи доступу до інфраструктурної мережі. З кожним активним пристроєм може бути пов'язано до семи пасивних пристроїв (slave), що беруть участь в одній і тій же пікомережі. Кілька піконетів можуть з'єднуватися між собою та утворювати scatternet, як показано на рисунку 2.2.1.

					<i>PI81.466534.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

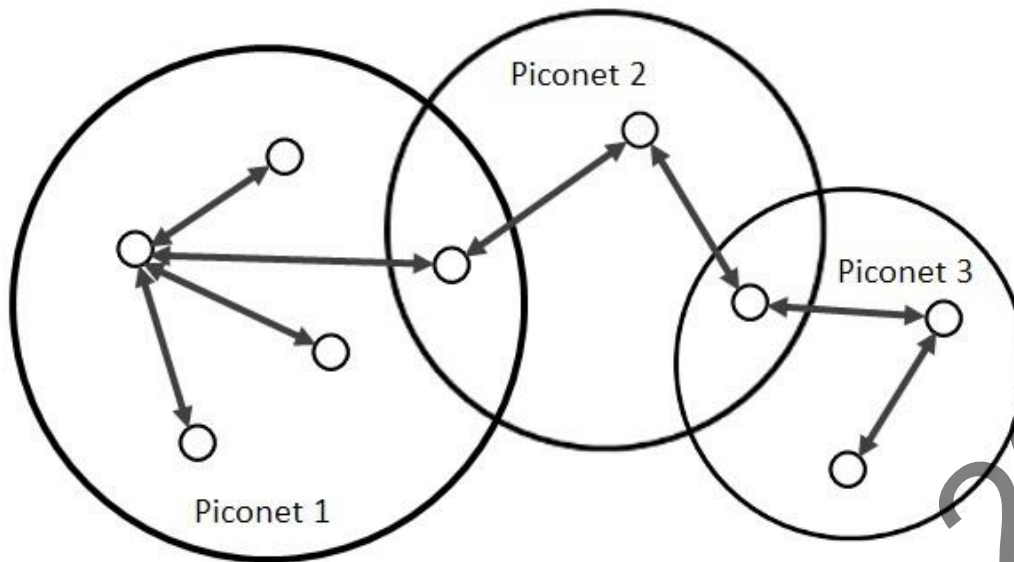


Рис 2.2.1 Scatternet

Кожен активний пристрій пов'язаний з певною кількістю пасивних пристроїв, які можуть брати участь більш ніж в одній пікомережі, як показано вище. Ці пасивні пристрої несуть відповідальність за координацію обох пікомереж, що запобігає завадам. Пристрій може бути активним тільки в одній пікомережі одночасно, тому з'єднання між пікомережі повинні виконуватися на пасивному пристрої або на пристрої, що виконує обидві ролі, відомому в одній пікомережі як пасивний і як активний в іншій.

Bluetooth використовує псевдовипадкове перелаштування робочої частоти (FHSS) для управління частотою передачі кожного пасивного пристрою, це робиться за допомогою створення послідовності стрибків, частково заснованої на MAC адресі, а потім розподіляє послідовність кожному пасивному пристрою в пікомережі. Пристрої з'єднуються з пікомережею шляхом з'єднання в пару з активним пристроєм, утворюючи безпечний зв'язок, після чого ведучий контролює доступ до середовища, вирішивши, який раб передаватиме в певний момент часу. У випадку розподіленої мережі дані, що передаються від пікомережі до пікомережі, передаються вузлом, що бере участь в обох мережах. Сполучення обох піконетів схоже на сполучення активний та пасивного пристрою.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

9

даних між собою на відстані декількох сантиметрів один від одного. Однією з переваг, порівняно з іншими технологіями бездротового зв'язку, є те, що NFC не вимагає процесу встановлення для з'єднання двох пристроїв, що зменшує час і обмін пакетами в транзакції, дозволяючи скоротити час до 1 мс. Крім того, для роботи мікросхеми NFC вирачається мала кількість енергії, що робить цю технологію набагато енергоефективнішою, за інші.

Невелика дальність дії технології NFC є недоліком, але з точки зору безпеки цей недолік забезпечує більш високу степінь безпеки, ніж Bluetooth. Наприклад, робить NFC відносно безпечним для використання в багатолюдних місцях, де інші бездротові технології можуть бути неможливі для передачі конфіденційних даних, таких як дані кредитних карт.

NFC працює на частоті 13,56 МГц з використанням амплітудної маніпуляції в якості схеми модуляції і TDD для одночасного прийому і передачі даних, забезпечуючи швидкість передачі даних до 424 кбіт/с, хоча ці швидкості не вражають, враховуючи обсяг даних, якими потрібно обмінюватися з використанням цієї технології, і відсутність необхідності в налаштуванні зв'язку, NFC забезпечує відносно швидкий час передачі.

З огляду на характеристики, можливості та розповсюдження технологій, для розробленої мережі було вибрано BLE, так як технологія підтримується всіма мобільними пристроями, на відміну від Wi-Fi Direct, а зона покриття достатня порівняно з надмалою дальністю роботи NFC.

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рисунок 3.1 — Топологія Point-to-point

Передача даних у топології пункт-пункт може здійснюватися по всій мережі різними способами: у симплексі, повнодуплексному або напівдуплексному режимах.

У симплексному режимі зв'язку передача сигналу відбувається лише в одному напрямку, тільки один вузол передає, а інший приймає.

У напівдуплексному режимі зв'язку кожен вузол може передавати та приймати сигнал, але послідовно.

У повнодуплексному режимі зв'язку обидві вузли можуть одночасно передавати і приймають сигнал.

Переваги топології:

- найвища пропускна здатність, оскільки є лише два вузли, що мають всю пропускну здатність каналу
- швидка порівняно з іншими мережевими топологіями, оскільки доступ отримати можуть лише до двох вузлів.
- просте підключення
- забезпечує низьку затримку
- простота в експлуатації та обслуговуванні

Недоліки топології:

- ця топологія використовується лише для невеликих ділянок, де вузли розташовані впритул.
- вся мережа залежить від загального каналу, у випадку переривання зв'язку вся мережа стане мертвою.
- якщо будь-який з вузлів перестає працювати, дані не можуть передаватися через мережу.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

3.2 Топологія Bus

Топологія шини (англ. Bus) складається з одного кабелю з термінатором на кожному кінці. Всі наявні вузли підключені до єдиного кабелю (рис. 3.2). Немає обмежень для вузлів по:, які можуть бути приєднані до цієї мережі, але по: підключених вузлів може насправді вплинути на продуктивність мережі.

У топології шини один з вузлів виконує роль сервера і передає дані з одного кінця на інший в одному напрямку. Коли дані досягають крайнього кінця, термінатор видаляє дані з рядка.[4]

У топології шини один основний кабель діє як магістраль для всієї мережі. Топологія шини несе передані дані по кабелю. Коли дані надходять до кожного вузла, вузол перевіряє адресу призначення (MAC/IP-адресу), щоб перевірити, чи відповідає вона їх адресі. Якщо адреса не збігається, вузол більше нічого не робить. Але якщо адреси вузлів збігаються з адресою, що міститься в даних, тоді вони обробляють інформацію.

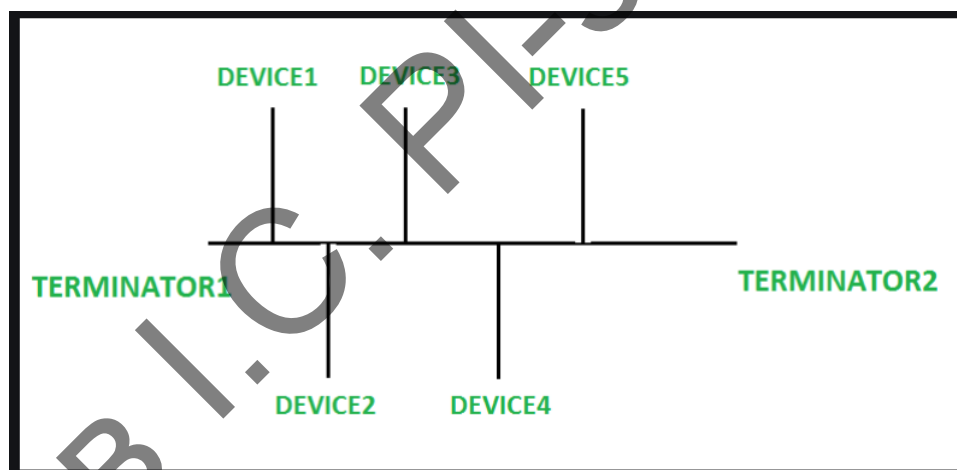


Рисунок 3.2 — Топологія Bus

Переваги топології:

- легке підключення або видалення пристроїв в мережі, що не впливає на будь-який інший пристрій.
- у разі несправності будь-якого комп'ютера чи пристрою це не вплине на інші пристрої чи мережу.
- менші витрати на канал зв'язку порівняно з іншими топологіями мережі.
- легко зрозуміла топологія
- легке розширення мережі

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

14

будинках і офісах. У разі поломки комп'ютера або обриву кабелю вся мережа може бути відключена.

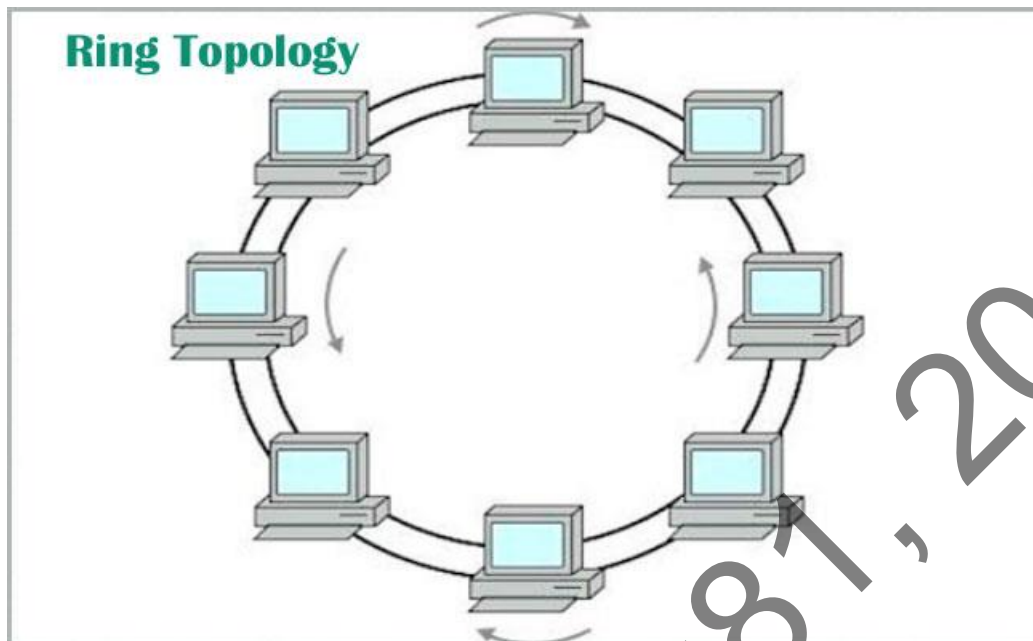


Рисунок 3.3 — Топологія Ring

Переваги топології:

- потік даних відбувається в круговому напрямку, що мінімізує ймовірність зіткнення пакетів.
- односпрямована топологія кільця забезпечує дуже високу швидкість.
- має кращу потужність, ніж топологія шини, навіть при збільшенні кількості вузлів.
- кільцева мережа може обробляти велику кількість вузлів, що забезпечено надійністю
- може обробляти масивний трафік порівняно з топологією шини завдяки принципу передачі маркера.
- забезпечує хороший зв'язок на великій відстані.
- обслуговування кільцевої мережі набагато простіше порівняно з шинною мережею.
- немає потреби в мережевому сервері для управління потоком даних.
- усунення несправностей в кільцевій мережі набагато простіше, завдяки легкому знаходженню кабельних несправностей
- менш затратна в порівнянні з іншими топологіями

Недолік топології:

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

16

- одноразовий обрив кабелю може спричинити порушення у всій мережі
- в односпрямованому кільці пакет даних (токен) повинен пройти через усі вузли
- додавання та видалення будь-якого вузла в мережі є складним і може спричинити проблеми в діяльності мережі.
- кільцева мережа набагато повільніша за мережу Ethernet за звичайних умов навантаження.

3.4 Топологія Star

У топології типу зірка (анг. Star) всі пристрої підключені до центрального пристрою, який називається концентратором (рис. 3.4). Всі пристрої в мережі з'єднані з концентратором через лінію зв'язку. Для підключення до концентратора кожен пристрій вимагає один дріт або канал зв'язку. Концентратор може виступати в ролі хаба, маршрутизатора або комутатора.

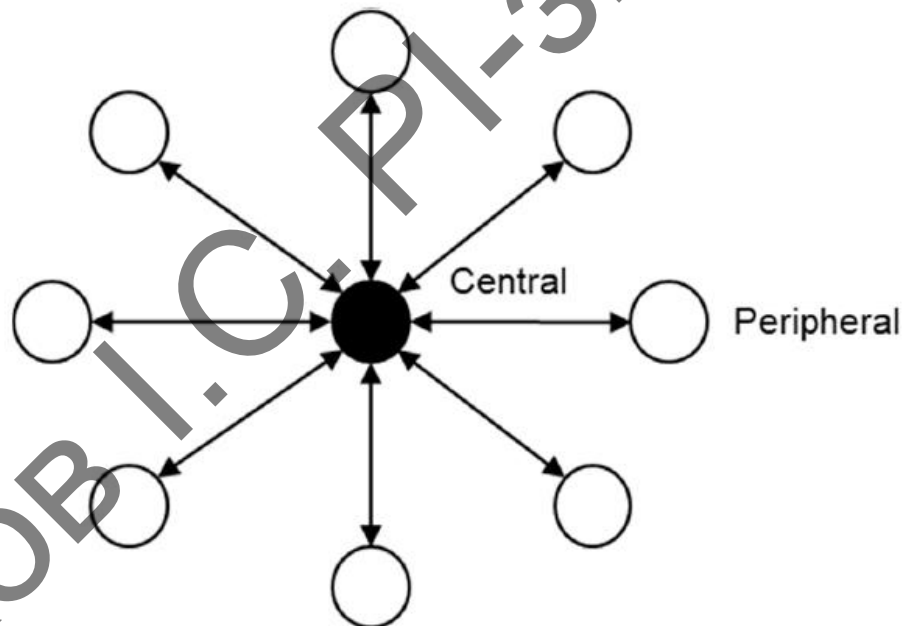


Рисунок 3.4 — Топологія Star

Топологія зірка використовує з'єднання пункт-пункт між вузлом і пристроєм-концентратором. Пристрій-концентратор приймає сигнал від будь-якого вузла і передає його всім іншим вузлам мережі. Центр працює як сервер, він контролює та керує всіма функціями мережі.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Якщо одному хосту-відправнику потрібно надіслати дані якомусь іншому хосту-отримувачу, він надішле повідомлення на центральний концентратор. Потім центральний концентратор копіює повідомлення та пересилає його хосту-отримувачу.

Розглянемо приклад роботи мережі, всі пристрої в кімнаті під'єднані до спільного концентратора (комутатора). У цьому випадку комутатор зберігає таблицю з апаратними адресами всіх вузлів, що приєднані до нього. Наприклад, якщо пристрій X хоче надіслати пакет даних на пристрій Y, тоді пристрій X перенаправляє повідомлення комутатору. Комутатор перевіряє адресу пристрою призначення і переадресує повідомлення йому.

У випадку коли концентратор не має власної пам'яті і, коли X надсилає повідомлення на комп'ютер Y, концентратор розсилає повідомлення з запитом про невідому адресу всім пристроям і чи ця адреса не одного з них. Ця процедура називається протокол визначення адрес (ARP), і за допомогою цього протоколу ARP хаб може знайти адресу невідомого комп'ютера, а отже, й передати пакет на комп'ютер призначення.

Топологія зірок має численні переваги, через це вона найбільш широко використовується в сучасних локальних мережах (LAN).

Переваги топології зірок:

- легко керувати та підтримувати мережу, оскільки кожен вузол вимагає окремого кабелю.
- проблеми легко знайти, оскільки несправність кабелю стосується лише одного користувача.
- легко розширити мережу, не заважаючи роботі всій мережі
- завдяки пристрою-концентратору контроль та керування мережею набагато простіше.
- легке виявлення несправностей та видалення вузлів з мережі
- забезпечує дуже високу швидкість передачі даних.

Недоліки топології зірок:

- повна продуктивність мережі залежить від одного пристрою концентратора
- мережа припинить роботу після поломки концентратора

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

18

- топологія зірок вимагає більше каналів зв'язку порівняно з топологією кільця та шини.

3.5 Топологія Tree

Топологія деревоподібної мережі (англ. Tree) — це найпростіша топологія, при якій між будь-якими двома вузлами мережі існує лише один маршрут. У деревоподібній топології всі пристрої пов'язані як гілки дерева. У комп'ютерних мережах деревоподібна топологія відома як поєднання топології мережі Bus і Star. Основними перевагами цієї топології є краща гнучкість та масштабованість, через це протокол Ethernet використовує цю топологію.

Мережа деревовидної структури складається з одного дідового вузла, кількох батьківських вузлів і декількох дочірніх вузлів (рис. 3.5). Як і в зіркових мережах, дідусь як кореневий вузол може зв'язуватися з батьківськими вузлами, а батьківські вузли можуть зв'язуватися з дочірніми вузлами. Вузли одного типу не можуть безпосередньо взаємодіяти один з одним і можуть спілкуватися лише шляхом пересилання повідомлень.

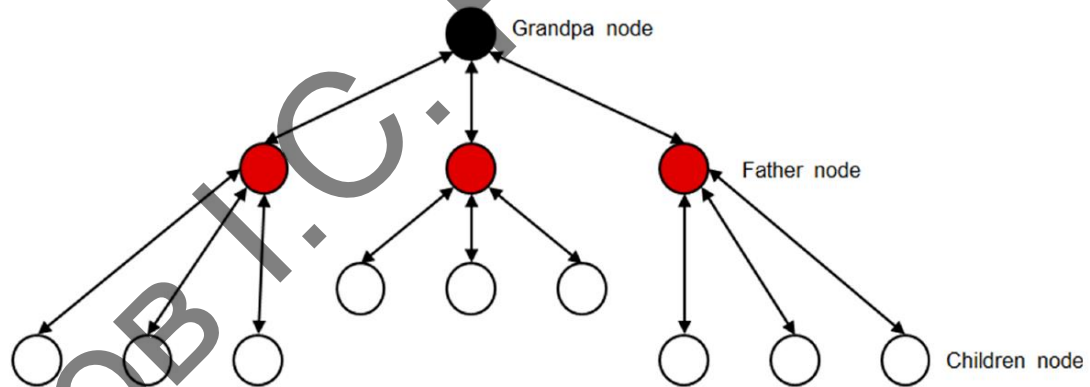


Рисунок 3.5 — Топологія Tree

У порівнянні з правилами mesh маршрутизації правила мережевої маршрутизації з деревовидною структурою набагато простіші. Це означає, що вимоги до апаратного та програмного забезпечення нижче, ніж для mesh мережі. Це спрощує створення мережі з деревоподібної структурою. У порівнянні із зіркоподібною мережею, мережа з деревовидної структурою може з'єднувати більше вузлів. Вона має більш одного рівня відстані

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

підключення, тому має покриття мережі більше, ніж мережі із зіркою. Зворотною стороною деревовидної мережі є більш висока затримка при занадто великій кількості рівнів, і мережа може бути вразливою, якщо один з батьківських вузлів відключений.

Переваги топології:

- поєднання топології шини та зірки
- забезпечує високу масштабованість, оскільки батькові вузли можуть додавати більше вузлів в ієрархічний ланцюжок.
- інші вузли в мережі не постраждають, якщо один з їх вузлів пошкодиться
- забезпечує легке обслуговування та виявлення несправностей.
- підтримується постачальниками обладнання та програмного забезпечення.
- топологія пункт-пункт підключення для окремих сегментів мережі

Недоліки топології дерев

- потребує більше з'єднувальних ліній в порівнянні з топологією зірок та шин
- при відмові хабу виходить з ладу вся мережа.
- деревоподібну мережу важче налаштувати, ніж інші топології мереж

3.6 Топологія Mesh

Сітчаста топологія (англ. Mesh) — це мережева топологія, яка використовується для встановлення зв'язку «багато-до-багатьох» (m:m). У Mesh топології кожен пристрій підключається до кожного іншого пристрою в мережі за допомогою виділеної лінії «точка-точка». Коли ми говоримо про виділене, це означає, що посилання несе дані лише для двох підключених пристроїв.[5]

Немає чіткого визначення ролей, відповідних центральному/периферійному. Типова топологія реальної мережі (наприклад, Zigbee або Thread) складається з одного координатора, декількох маршрутизаторів і декількох кінцевих пристроїв. Маршрутизатор можуть зв'язуватися з іншими вузлами, тому що протокол Mesh визначає правила маршрутизації. Mesh

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

20

вважається найбільш гнучкою мережею і може забезпечити велику зону покриття мережі.

У той же час Mesh володіє сильною відмовостійкою здатністю. Якщо маршрутизатор виходить з ладу в мережі, інформація все одно може автоматично передаватися іншим шляхом маршрутизації. З іншого боку, mesh мережі використовують складні мережеві протоколи, які вимагають багато від обладнання та програмного забезпечення. Крім того, mesh мережі зазвичай споживають більше енергії, ніж інші мережі, а затримка даних вище і більш непередбачувана, оскільки кількість переходів між однорангових пристроями не фіксоване.

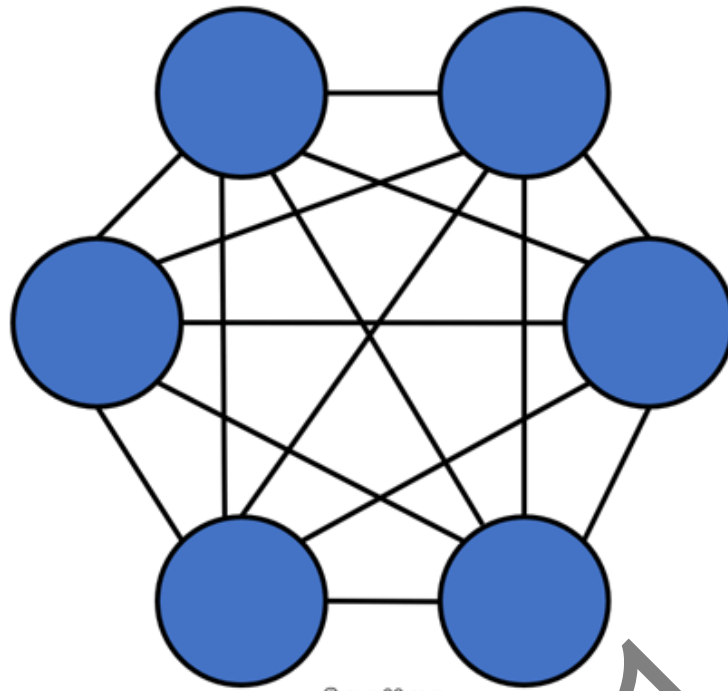
Bluetooth Mesh — це mesh протокол, заснований на «message flooding» з використанням ролей BLE Broadcaster і Observer GAP. Цей протокол досить складний і не вважається ефективним за потужністю і затримки в порівнянні з зіркоподібними мережами. В даний час виробники BLE все ще досліджують і розробляють свої BLE Mesh рішення.

Топологію сітки можна розділити на два типи: повнозв'язна топологія сітки, частково зв'язна топологія сітки.

Full Mesh — це мережа кожен пристрій підключається до кожного іншого пристрою (рис. 3.6). Топологія повної Навіть з урахуванням вартості цієї мережі її основною перевагою є те, що мережевий трафік може бути перенаправлений на інші вузли, якщо один з вузлів виходить з ладу. Через те ця реалізація може бути надмірно дорогою Full Mesh мережа використовується тільки для магістральних мереж.

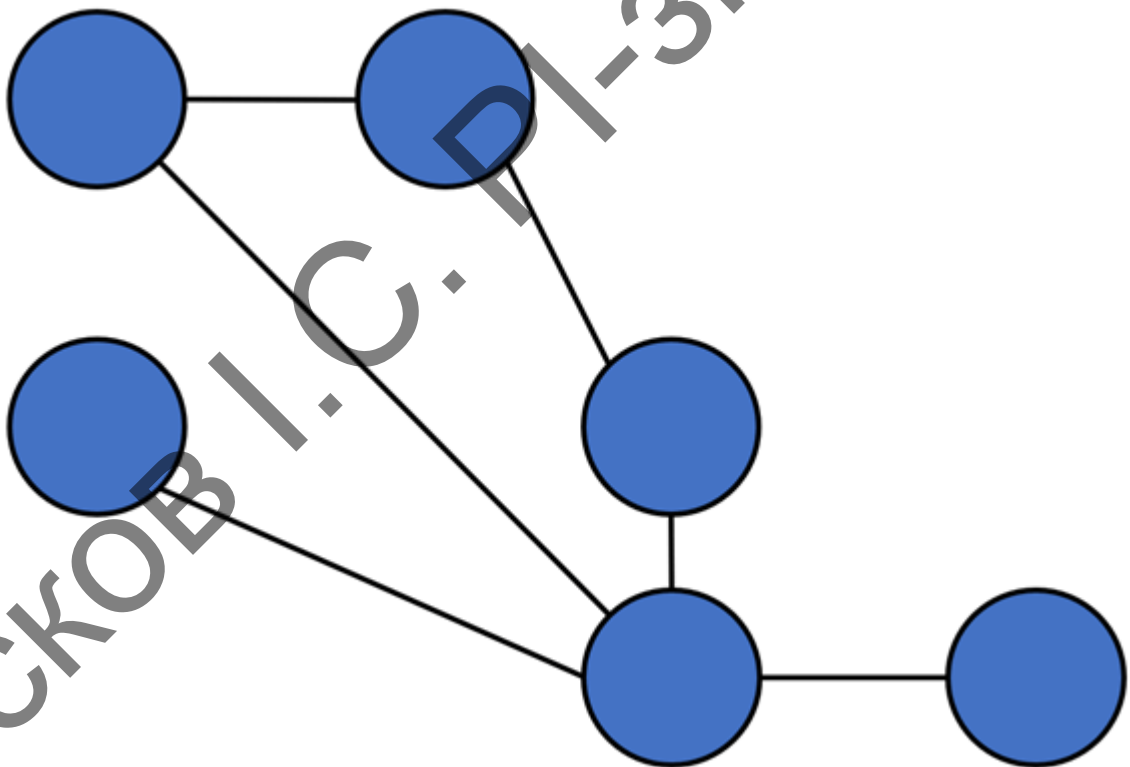
Частково зв'язна топологія більш практична у порівнянні з повнозв'язною топологією (рис. 3.7). У частково зв'язаній топології всі вузли не обов'язково повинні бути пов'язані один з одним в мережі. Така топологія менш затратна в порівнянні з повнозв'язною.

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	Лист
						21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



© guru99.com

Рисунок 3.6 — Топологія Full Mesh



© guru99.com

Рисунок 3.7 — Частково зв'язана топологія Mesh

Переваги топології:

- зменшені проблеми з трафіком, оскільки для кожного комп'ютера є виділені двоточкові канали.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

22

- вузли мають кілька посилянь на інші вузли, тому, якщо один з маршрутів буде недоступний, для передачі даних можна скористуватися іншим
- забезпечення конфіденційності і безпеки
- ідентифікація несправності проста завдяки пункт-пункт з'єднанню.

Недоліки топології:

- mesh-мережі вимагає великої кількості кабелів і портів введення-виведення для зв'язку.
- встановлення мережі дуже складне так як тип підключення вузлів кожен до кожного
- mesh-мережа дорога в порівнянні з іншими мережевими топологіями.

3.7 Гібридна топологія

Гібридна топологія — це поєднання двох або більше типів топології в одній мережі. Ви можете бачити (рис. 3.2), що отримана мережа не демонструє ні однієї з стандартних топологій.

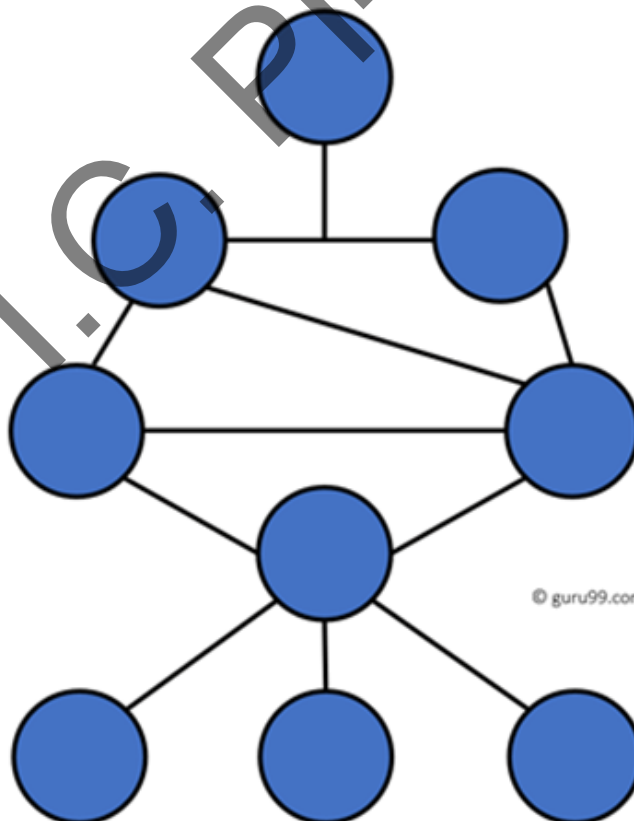


Рисунок 3.7 — Гібридна топологія

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

23

Переваги топології:

- найпростіший метод виявлення помилок і їх усунення
- високоефективність і гнучкість
- легка масштабовність

Недоліки топології:

- розроблення гібридної топології є складним
- наявність одних з найбільш витратних процесів

Розглянувши основні типи топологій для розроблення мережі було вибрано гібридну топологію.

Анісков І.С. РІ-3781, 2021

					РІ81.466534.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		24

4 РОЗПОДІЛЕНА МЕРЕЖА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Bluetooth Low Energy — це технологія для розгортання персональної локальної мережі, яка розроблена і впроваджена Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). BLE призначений для додатків в області медицини і охорони здоров'я, спорту та фітнесу, маяків, безпеки, сімейних розваг. Bluetooth Low Energy має дуже низьке енергоспоживання та широкі можливості бездротової мережі, особливо в області промисловості і автоматизації будівель, тому у BLE є великий ринок.

Термін Bluetooth Low Energy (BLE) був вперше визначено в 2010 році компанією SIG (Bluetooth Special Interest Group) як частина специфікації Bluetooth 4.0, з тих пір були опубліковані нові версії, такі як Bluetooth 4.1, Bluetooth 4.2 і Bluetooth 5.2.

4.1 Архітектура протоколу BLE

Розглянемо архітектуру стек протоколу BLE (рис 4.1). Як бачимо архітектура складається з основних трьох рівнів: прикладний, хост і контролер.

Прикладний рівень залежить від того як використовувати пристрій і відноситься до реалізації на основі загального профілю доступу (англ. GAP) і загального профілю атрибутів (англ. GATT).

На найвищому рівні основного стеку BLE, GAP визначає ролі пристроїв, режими та процедури для виявлення пристроїв та служб, керування встановленням з'єднання та безпекою.

BLE GAP визначає чотири ролі з конкретними вимогами до основного контролера: широкомовник, спостерігач, периферійний та центральний пристрій. Широкомовник, транслює дані лише за допомогою рекламних каналів і не підтримує з'єднання з іншими пристроями. Роль спостерігача є протилежною до широкомовника, тобто вона має на меті отримання даних, що транслює широкомовник. Центральна роль призначена для пристрою, який відповідає за ініціювання та управління з'єднання, тоді як периферійна

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

P181.466534.001 ПЗ

Лист

25

пристрій, який посилає команди і запити, а в відповідь отримує сповіщення і ідифікаційні повідомлення.

SM забезпечує роботу зв'язку п'ятьма функціями: шифруванням, аунтефікацією, підписуванням повідомлень, створенням та збереженням ключів.

4.2 Розроблення розподіленої мережі

Проаналізувавши основні функції стеку протоколу BLE, для побудови розподільної мережі було вирішено використати два основних стани пристрої з BLE: ширококомовний стан і стан сканування.

Для забезпечення роботи мережі потрібно розробити алгоритми: розгортання, маршрутування, передачі даних.

В розробленій мережі пристрої мають однакові права і функції, і всього два види станів: активного сканування(рис 4.2) і широкосмугової передачі повідомлень.

Пристрій з станом сканування — SDevice.

Пристрій з станом широкосмугової передачі повідомлень — ADevice.

SDevice прослуховує 3 основні сповіщувальні канали, і якщо SDevice отримує сповіщувальний пакет, то може на нього відповісти відправивши запит до ADevice тим самим каналом.

Пристрій встановлює параметри сканування, а саме: тип сканування, інтервал сканування, вікно сканування, час сканування.

Тип сканування (ST) може бути пасивним або активним. Головна різниця між ними те, що при активному скануванні пристрій може надсилати додатковий запит для отримання відповіді з додатковою інформацією, на відміну від пасивного стану, при якому пристрій може лише отримувати дані з ширококомовних пакетів, без права надсилати додаткові запити.

Інтервал сканування (S_i) часовий параметр, який вказує через який час повториться сканування(через який час почнеться нове вікно сканування). За один S_i відбувається сканування лише одного каналу. За специфікаціями інтервал може тривати від 10 мс до 10,24 с з кром 0,625 мс.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

P181.466534.001 ПЗ

Лист

28

Вікно сканування (SW) часовий параметр, який вказує час прослуховування одного певного каналу. За специфікаціями інтервал може тривати від 10 мс до 10,24 с з кром 0,625 мс і $SW \leq S_i$.

Час сканування (SD) вказує на час впродовж якого пристрій буде знаходитись в стані сканування. За специфікаціями може тривати від 10 мс до безкінечності(65534 мс, обмеження змінної).

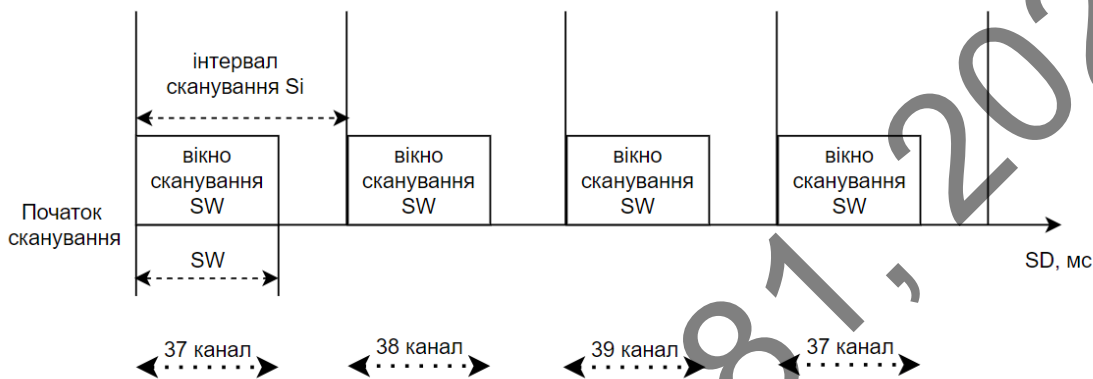


Рисунок 4.2 — Сканування в BLE

Прослуховувати радіоетер за трьома каналами PAC, SDevice отримує пакет від ADevice, на який може надіслати запит через міжкадровий простір $T_{IFS} = 150\mu\text{с}$ (визначає інтервал часу між двома послідовними пакетами), отримавши запит від SDevice, ADevice формує і відправляє відповідь ($+T_{IFS}$) (рис 4.3).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

ADevice

SDevice

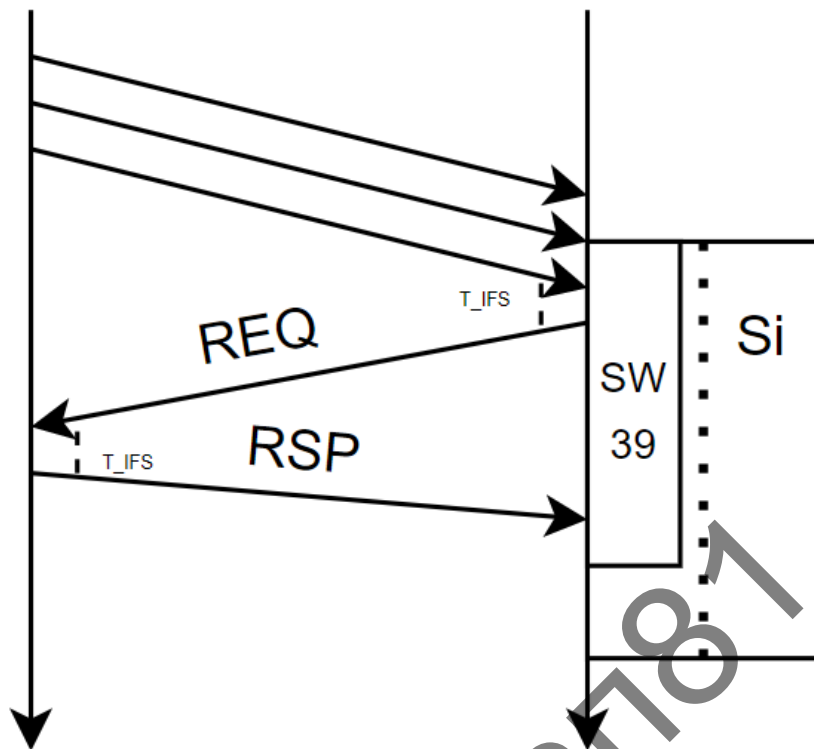


Рисунок 4.3 — Обмін REQ RSP пакетами

Відповіді і запити, а також канал передачі залежать від типу пакету.

Пристрої Bluetooth при стані рекламування можуть надсилати рекламні пакети (PDU) для трансляції даних або щоб дозволяти іншим пристроям Bluetooth знаходити їх та підключатися до них, запитувати додаткову інформацію.

ADevice надсилає рекламні пакети(для прикладу візьмемо ADV_IND) по трьом каналам PAC, після кожного надісланого пакета пристрій чекає(+T_IFS) запиту від SDevice, отримавши запит, формує відповідь, та відсилає його SDevice(+ T_IFS), після, продовжує процес рекламування.

Пристрій використовує параметри рекламування, а саме: тип пакетів, інтервал рекламування, подія рекламування, процес рекламування, час трансляції пакету(рис 4.4).

Інтервал рекламування (Ai) — часовий параметр, який вказує впродовж якого часу будуть відсилатися пакети по PAC послідовно. За один Ai

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.466534.001 ПЗ

Лист

30

відбувається трансляція лише трьох пакетів. За специфікаціями інтервал може тривати від 20 мс до 10,24 с з кроком 0,625 мс.

Подія рекламування (A_e) — часовий параметр, який вказує через який час буде відбуватися новий процес рекламування. Вираховується через суму двох параметрів A_i і псевдо випадкове значення $AdvDelay$ (від 0 до 10 мс).

Процес рекламування (A_p) — часовий параметр, який вказує через який час буде відбуватися новий процес рекламування. Вираховується через суму двох параметрів A_i і псевдо випадкове значення $AdvDelay$ (від 0 до 10 мс).

Час трансляції пакету (T_{ap}) — часовий параметр, який вказує скільки часу потрібно для передачі пакету разом з T_{IFS} . Час передачі (PT_t) залежить від швидкості передачі в каналі і розміру пакету, чим менший розмір пакети і чим більша швидкість передачі, час передачі буде менший.

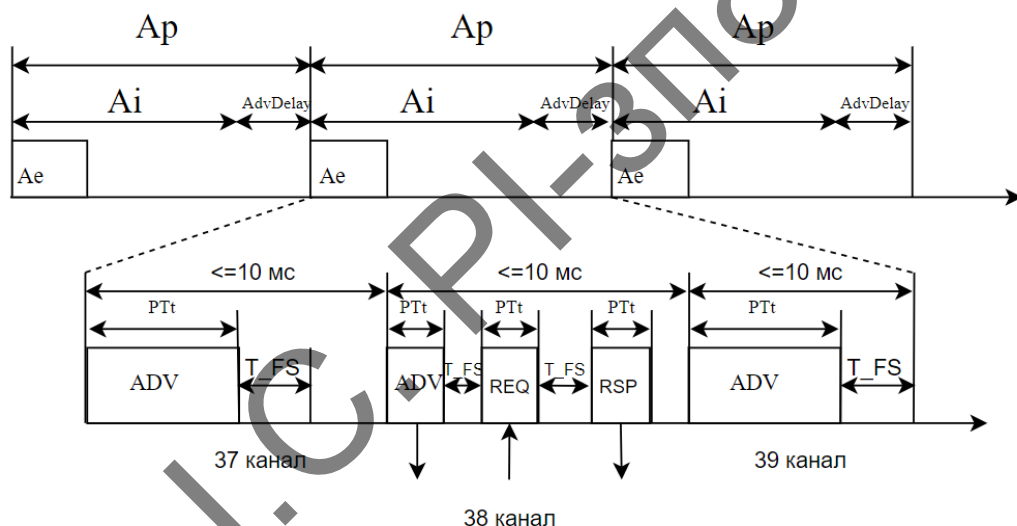


Рисунок 4.5 — процес рекламування

Розглянемо типи пакетів які використовуватимуться в мережі.

Почнемо з загальної структури BLE пакету(рис 4.6).[7]

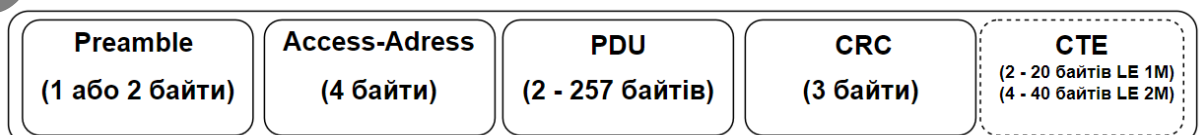


Рисунок 4.6 — Загальної структура пакету BLE

Кожен пакет BLE 4 головні частини Preamble, Access-Address, protocol data unit (PDU), і cyclic redundancy check (CRC) а також необов'язкову додаткову п'яту частину constant tone extension(CTE).

Preamble використовується в ресивері для виконання частотної синхронізації, навчання автоматичного регулювання посилення (AGC) і оцінки синхронізації символів. Преамбула є фіксованою послідовність бітів 0 і 1, що чергуються. Для пакетів BLE, переданих на швидкостях LE 1M і LE 2M, розмір преамбули становить 1 і 2 байти, відповідно. Для всіх рекламних пакетів значення преамбули однакове.

Access-Address — це 32-бітове випадкове значення, що генерується ініціатором і передається в запиті на з'єднання. Для рекламних пакетів значення завжди є 0x8E89BED6.

PDU протокол пакету даних, становить від 2 до 257 байтів, і його довжина залежить від типу комунікації, обмі даними і обмін рекламою.

В створеній мережі будуть використовуватися лише рекламні PDU пакети. Розглянемо структуру пакету (рис 4.7).

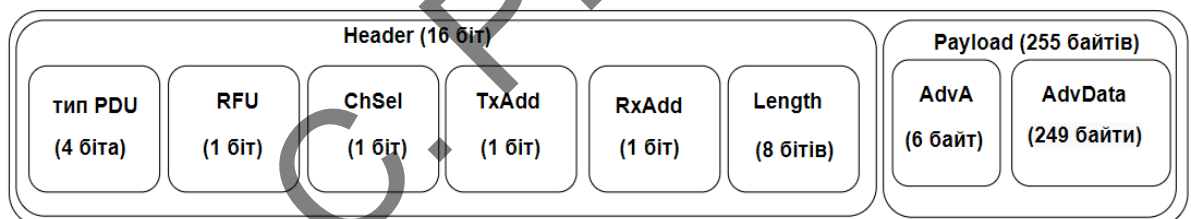


Рисунок 4.7 — Структура PDU

Тип PDU — це чотирьох бітова послідовність, яка вказує на тип пакету.

В мережі використовуватимуться наступні типи пакетів: AUX_EXT_IND, AUX_ADV_IND, AUX_CHAIN_IND, AUX_SCAN_REQ, AUX_SCAN_RSP.

Пакети передаються по різним типам каналів з можливою різною швидкістю(рис 4.8).

PDU Type	PDU Name	Physical Channel	Permitted PHYs		
			LE 1M	LE 2M	LE Coded
0b0000	ADV_IND	Primary Advertising	•		
0b0001	ADV_DIRECT_IND	Primary Advertising	•		
0b0010	ADV_NONCONN_IND	Primary Advertising	•		
0b0011	SCAN_REQ	Primary Advertising	•		
	AUX_SCAN_REQ	Secondary Advertising	•	•	•
0b0100	SCAN_RSP	Primary Advertising	•		
0b0101	CONNECT_IND	Primary Advertising	•		
	AUX_CONNECT_REQ	Secondary Advertising	•	•	•
0b0110	ADV_SCAN_IND	Primary Advertising	•		
0b0111	ADV_EXT_IND	Primary Advertising	•		•
	AUX_ADV_IND	Secondary Advertising	•	•	•
	AUX_SCAN_RSP	Secondary Advertising	•	•	•
	AUX_SYNC_IND	Periodic	•	•	•
	AUX_CHAIN_IND	Secondary Advertising and Periodic	•	•	•
0b1000	AUX_CONNECT_RSP	Secondary Advertising	•	•	•
All other values	Reserved for future use				

Table 2.3: Advertising physical channel PDU header's PDU Type field encoding

Рисунок 4.8 — Типи пакетів

RFU — це біт який зарезервований для використання в майбутньому.

ChSel — це біт який буде мати значення 1 якщо пристрій підтримує алгоритм вибору каналу LE 2.

TxAdd — це біт який буде мати значення 1, якщо адреса пристрою є випадковою, і значення 0, якщо адреса є публічною.

RxAdd — це біт який буде мати значення 1, якщо адреса отримувача є випадковою, і значення 0, якщо адреса є публічною.

Length — значення довжини корисного навантаження пакета.

AdvA — шести байтне значення адресу пристрою, можебути випадковим або публічним.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

CRC — циклічна перевірка надмірності, що обчислюється від значення PDU в пакетах шару з'єднувальних ліній і використовується для виявлення помилок передачі. Приймаючий пристрій повинен відхилити пакет з неправильним CRC.

STE — постійне тональний розширення це необов'язкова бітова послідовність, яка міститься в пакеті BLE. STE використовується для визначення відносного напрямку прийнятого радіосигналу. STE повинен бути представлений тільки на некодованих PHY LE, тобто LE 1M і LE 2M, займаючи відповідно різний розмір.

L2CAP протокол завдяки якому формуються пакети даних формату BLE, дані до яких передаються з верхніх рівнів.

HCI — це інтерфейс між хостом і контролером, який передає команди та події за допомогою транспортного протоколу, такого як SPI або UART.

LL відповідає за взаємодію з фізичним рівнем (радіоінтерфейсом) та наданням іншим рівням абстракцій для взаємодії з радіоінтерфейсом через HCI, відповідає за дотримання специфікації BLE з часових затримок. Також рівень керує апаратно прискореними операціями, такими як підрахунок чексуми, генерація випадкових чисел та шифрування.

PHY відноситься до частин обладнання, відповідального за прийом, передачу, модуляцію та демодуляцію сигналів. BLE працює в ISM діапазоні (2,4 ГГц), який розділений на 40 каналів по 2 МГц (рис 4.9).

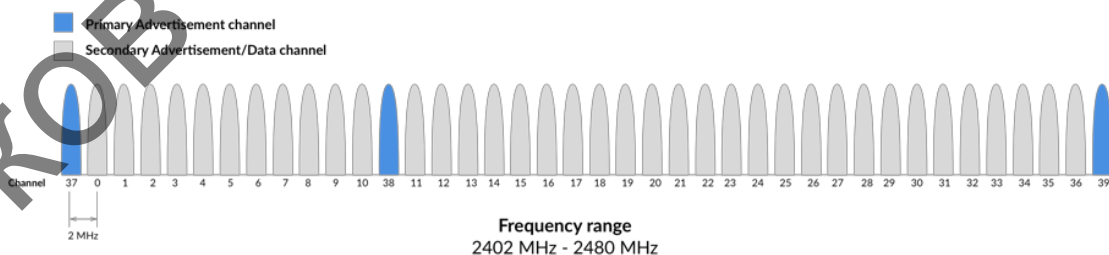


Рисунок 4.9 — Радіоканали в BLE

Канали за призначенням поділяються на основні сповіщувальні канали (PAC), їх три: 37, 38 і 39 і на другорядні сповіщувальні/дата канали(SA/DC), їх тридцять сім.

відправити повідомлення за новими маршрутами. Якщо всі маршрути вичерпані і повідомлення так і не відправлено пристрій заверує алгоритм з виходом В.

Змінюючи стани пристрої в мережі здатні до отримання, зберігання, перенапрявлення та відправлення повідомлень. Одним пакетом можливо передати до 160 знаків.

Анісков І.С. РІ-3781, 2021

					РІ81.466534.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

ВИСНОВКИ

У виконаній роботі розглянуті основні безпроводні технології зв'язку, які підтримують сучасні мобільні пристрої. В результаті огляду вибрано технологію BLE, як найпоширенішу серед сучасних мобільних телефонів.

Огляд відомих технологій побудови мереж показав, що найкращою для вирішення задачі розгортання децентралізованої мережі є гібридна топологія на основі Mesh-мережі.

В процесі докладного аналізу стеку протоколу BLE прийнято рішення застосувати два основні стани його роботи: рекламування і сканування, що забезпечує полегшене застосування розробленої мережі на реальних пристроях.

Розроблено алгоритми: пошуку сусідніх пристроїв, обміну між ними даними про оновлення режиму, формування мережі за допомогою створення таблиці RoutingTable, передавання даних (текстові повідомлення) в вже сформованій мережі. Кожен алгоритм має змінні за допомогою, яких можна створити мережу під конкретні потреби (кількість пристроїв, довжина повідомлення, часові змінні).

В наступних роботах можна розглянути роботу мережі на реальних пристроях, запровадити додатковий рівень безпеки, збільшити зону дії мережі, покращити алгоритм маршрутизації за допомогою характеристик напрямку сигналу і його потужності.

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		41

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Direct
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Near-field_communication
4. <https://www.guru99.com/type-of-network-topology.html>
5. <https://www.geeksforgeeks.org/types-of-network-topology/>
6. <https://habr.com/ru/post/532298/>
7. Bluetooth Core Specification, 2019. - 3256 с – 2865с

АНІСКОВ І.С. РІ-3781, 2021

					<i>РІ81.466534.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42