

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи


бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

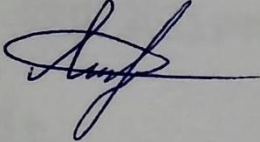
На тему **“Проектування мережі доступу на основі
технології когнітивного радіо”**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ
Спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки,
спеціальності)

Стародід Д.О. 

(прізвище та ініціали)

Керівник Лисечко В.П. 

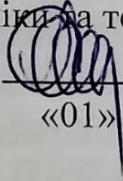
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Стародіду Даніілу Олександровичу

1. Тема роботи «Проектування мережі доступу на основі технології когнітивного радіо»
керівник роботи Лисечко В.П., к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03 2025 року № 306/1- ф,а .
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Наукова та технічна література з когнітивного радіо. Документація та стандарти щодо когнітивних радіомереж. Інструментальні засоби для проектування та моделювання.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Теоретична частина: Історія розвитку технологій безпроводових мереж, Архітектура та принципи роботи мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо, Переваги та недоліки технологій когнітивного радіо, Порівняння технологій когнітивного радіо з іншими технологіями мереж доступу, Висновки до розділу 1. Проектування мережі

доступу на основі технології когнітивного радіо: Аналіз вимог до мереж доступу, Вибір та перевірка обладнання для мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо, Розрахунок покриття безпроводових мереж, Розрахунок та організація каналів зв'язку та частотного розподілу, Заходи щодо забезпечення безпеки в мережах доступу на основі технологій когнітивного радіо, Висновки до розділу 2. Практична реалізація мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо: Методика побудови мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо, Структурна схема мережі, Висновки до розділу 3. Висновки з проведеної роботи. Перспективи розвитку мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо. Перелік використаної літератури.


5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Архітектура мережі когнітивного радіо. Аналізатор спектра є «серцем» когнітивної мережі. Безпроводовий адаптер. Типовий маршрутизатор, який використовується в безпроводових мережах. Безпроводові антени дозволяють збільшити радіус дії безпроводових мереж. Подібно до стандартної антени, цей пристрій дозволить розширити радіус дії безпроводової мережі. Портативний сканер для вимірювання потужність сигналу Wi-Fi. Розподіл на площині каналів, які не перекриваються. Мережа доступу на основі технологій когнітивного радіо.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

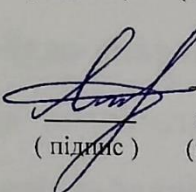
По р. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		22.04.2 5	I	20%	
1	Теоретичні основи когнітивного радіо	22.04.2 5	I	20%	Пл. 1
2	Аналіз існуючих архітектур мереж доступу	08.05.2 5		40%	Пл. 2,3,4,5
3	Розробка структури когнітивної мережі доступу	22.05.2 5	II	60%	Пл. 6,7
4	Оцінка ефективності мережі	30.05.2 5		80 %	Пл. 8
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.2 5	II I	100%	Пл. 9,10

Студент


(підпис)

Стародід Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Лисечко В.П.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи «Проектування мережі доступу на основі технології когнітивного радіо»

Робота містить 60 сторінок, 10 ілюстрацій, 13 використаних джерел.

Ключові слова: безпроводове радіо, когнітивне радіо, канал зв'язку, Wi-Fi, радіус дії, потужність радіовипромінювання.

Предметом розроблення кваліфікаційної роботи є проектування мережі доступу на основі технології когнітивного доступу, яка забезпечує оптимальну швидкість передачі даних за умови відносно невеликих витрат на проектування мережі та достатній ступінь захищеності даних.

Метою даної кваліфікаційної роботи є створення мережі доступу на основі технології когнітивного доступу. Під час створення цієї мережі використані теоретичні засади та практичні методи проектування та розвертання таких мереж.

В роботі передбачається тестування створеної мережі та подальше практичне використання. Під час тестування мережі було виявлено позитивні та негативні характеристики подібних мереж, а також визначені напрямки їх використання. В процесі виконання роботи були сформульовані рекомендації щодо практичного застосування подібних мереж.

Робота має практичну цінність і її результати після більш детальної доробки можуть використовуватися на багатьох підприємствах.

ABSTRACT

of the qualification work "Designing an access network based on cognitive radio technology"

The paper contains 60 pages, 10 illustrations, 13 sources used.

Keywords: wireless radio, cognitive radio, communication channel, Wi-Fi, range, radio power.

The subject of the qualification work is the design of an access network based on cognitive access technology, which provides optimal data transfer speed with relatively low network design costs and a sufficient degree of data security.

The purpose of this qualification work is to create an access network based on cognitive access technology. When creating this network, theoretical principles and practical methods of designing and deploying such networks were used.

The paper involves testing the created network and further practical use. During the network testing, positive and negative characteristics of such networks were identified, as well as directions for their use were determined. In the process of performing the work, recommendations were formulated for the practical application of such networks.

The paper has practical value and its results, after more detailed development, can be used at many enterprises.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	14
1.1. Історія розвитку технологій безпроводових мереж	14
1.2. Архітектура та принципи роботи мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо	17
1.3. Переваги та недоліки технологій когнітивного радіо	20
1.4. Порівняння технологій когнітивного радіо з іншими технологіями мереж доступу	21
1.5. Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО	23
2.1. Аналіз вимог до мереж доступу	23
2.2. Вибір та перевірка обладнання для мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо	25
2.3. Розрахунок покриття безпроводових мереж	31
2.4. Розрахунок та організація каналів зв'язку та частотного розподілу	37
2.5. Заходи щодо забезпечення безпеки в мережах доступу на основі технологій когнітивного радіо	39
2.6. Висновки до розділу 2	41
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО	43
3.1. Методика побудови мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо	43
3.2. Структурна схема мережі	48
3.3. Висновки до розділу 3	50

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОЇ РОБОТИ	51
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО	52
ДОДАТКИ	67

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ**

АС - автономна система

ЄСКД - єдина система конструкторської документації

ПК - персональний комп'ютер

ТКМ - телекомунікаційна мережа

ТКС - телекомунікаційна система

ACL - Access Control List

IP - Internet Protocol

ВСТУП

Актуальність роботи. В наші часи безпроводові мережі встановлені та використовуються практично в кожному офісі. Достатньо лише згадати звичайний розтер (маршрутизатор), який можна знайти практично всюди. Цей прилад «роздає» в офісі Wi-Fi, який є свого роду безкоштовним бонусом до будь-якої безпроводової мережі. А більш сучасний різновид безпроводових мереж – мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо дозволяють збільшити кількість каналів передачі даних та уникнути можливих завад та перешкод та підвищити швидкість передачі даних в безпроводових мережах.

Тому тема, яка розглядається в роботі, актуальна, причому ступінь актуальності буде лише зростати з плином часу.

Мета роботи та завдання. Мета роботи полягає в проектуванні, розробці та практичному впровадженні безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.

В рамках досягнення цієї мети сформульовані наступні завдання, які виконуються в цій роботі.

1. Теоретичні основи безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
2. Архітектура та принципи роботи безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
3. Переваги та недоліки безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
4. Порівняння безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо з іншими безпроводовими мережами.
5. Аналіз вимог до безпроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.

6. Вибір та перевірка обладнання для бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
7. Розрахунок покриття бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо та планування розміщення точок доступу та іншого обладнання
8. Розрахунок та організація каналів зв'язку та частотного розподілу.
9. Заходи щодо забезпечення безпеки бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
10. Встановлення та налаштування обладнання бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
11. Оптимізація роботи бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.
12. Тестування швидкості передачі даних та стабільності з'єднання.
13. Аналіз можливих проблем та їх вирішення.
14. Документування та рекомендації з експлуатації бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.

В результаті виконання цих завдань буде побудована бездротова мережа доступу на основі технології когнітивного радіо, яка буде відповідати всім вимогам та може успішно використовуватися для виконання всіх сформульованих вимог.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єкт дослідження може містити різнопланові поняття і безліч різних властивостей і, коли у вас є конкретна тема дослідження, визначити його досить просто. По суті - це предмет (об'єкт), процес або явище, або комплекс процесів, який ти хочеш вивчити, дослідити, визначити (спільнота, група, підвид, погодні явища, банківська структура, зона управління, розподіл (ресурсів, фінансів, енерговитрат, ринку, тощо),

філософське поняття, мікроорганізми, метал, матеріал. Це лише невелика частина можливих понять.

Предмет дослідження – це частина об'єкта, його складова чи компонента його системи. Це можуть бути будь-які властивості даного об'єкта, його характеристики, які ви запланували вивчити, класифікувати, проаналізувати, упорядкувати, визначити співвідношення між окремими елементами і т.д.

В якості предмета дослідження може бути обраний стан або статус об'єкта, яке змінюється певним чином під впливом ряду (або одного) факторів (зауважте, сам об'єкт при цьому не змінюється).

Об'єкт дослідження у роботі – безпроводові мережі, більш точно – бездроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо. Предметом дослідження є характеристики цих мереж, а саме:

стандарти бездроводових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо;

діапазон частот;

засоби безпеки в бездроводових мережах доступу на основі технології когнітивного радіо.

Методи дослідження. Застосовуються наступні методи наукового дослідження:

- Індукція – цей метод полягає в узагальненні окремих фактів, на основі чого робляться узагальнюючі висновки. Звісно, що такі висновки є ймовірнісними, тому їм не можна довіряти на 100%.
- Дедуктивний метод заснований на принципі, який полягає у тому, що на базі загальних законів чи положень роблять висновки, що мають

приватний характер. Перевага цього методу полягає у незаперечності отриманих висновків.

- Аксиоматичний метод заснований на тому, що спочатку задається набір базових положень (аксіом), на базі яких робляться висновки.
- В основі метода аналізу полягає умовне розкладання предмету вивчення на складові частини.
- Метод синтезу полягає в об'єднанні окремих положень в єдине ціле.

На практиці застосовуються наступні емпіричні методи наукового дослідження:

- Метод спостереження є практичним і полягає у визначенні суттєвих рис предмета спостереження, на основі яких робляться відповідні висновки.
- Експерименту присутній комплексний характер, і цей метод зазвичай використовується в гуманітарних науках, таких як педагогіка та психологія.
- Анкетування – це метод дозволяє за досить невеликий час зібрати велику кількість даних.
- Розмова або інтерв'ю. Група опитувальних практичних методик, що дозволяють швидко зібрати потрібні дані.

Задля успішного проведення досліджень потрібно вибрати ефективні методи наукового пізнання. Залежно від наукового напрямку ці методи можуть відрізнятися. Вони поділяються на декілька категорій.

Спостереження

У даному випадку для отримання нових знань використовуються органи чуття. Частіше всього використовується не самотійно, а в складі інших методик. Під час проведення спостереження можуть використовуватися допоміжні технічні засоби, наприклад, мікроскоп, підзорна труба або навіть телескоп.

Порівняння

Завдяки порівнянню відбувається ідентифікація спільних чи різних властивостей між явищами чи предметами. Під час використання цього методу розглядаються суттєві ознаки, які дозволяють отримати відповіді на питання, які виникають при вивченні того чи іншого явища чи предмета.

Вимірювання

Ця методика дозволяє отримати значення потрібної величини із застосуванням одиниць виміру, які використовуються. Точність даного методу залежить від обладнання, яке використовується під час проведення вимірювань.

Експеримент

Завдяки цій методиці можливе системне дослідження вибраного предмета чи явища за певних початкових умов. Завдяки експерименту можна вивчати явище в екстремальних чи ізольованих від навколишнього середовища умовах. І ці умови можна динамічно змінювати. Під час проведення експерименту можна вивчати як сам об'єкт, так і його штучно створену модель.

Абстрагування

Суть даного методу полягає у виділенні суттєвих характеристик об'єкта, які підлягають вивченню.

Всі описані вище методи будуть використані у даній роботі.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

В цьому розділі будуть розглянуті теоретичні аспекти безпроводових мереж когнітивного радіо.

1.1. Історія розвитку технологій безпроводових мереж

Перші технології безпроводової передачі виникли в доісторичну епоху. Димові, світлові та вогняні сигнали, дзеркала, сигнальні постріли та прапори – все це з'явилося задовго до винаходу телеграфу та телефону.

У 1880-х роках Генріх Рудольф Герц експериментально довів існування електромагнітних коливань у вільному просторі, а також зробив перші добре задокументовані передачі хвиль. Дослідження Герца в області радіохвиль продовжили Олівер Лодж, Нікола Тесла та Джагадіш Чандра Бос.

1884 року на публічній демонстрації в ратуші Калькутти Бос ефектно продемонстрував роботу мікрохвильового випромінювання. Використовуючи хвилі міліметрового діапазону, він зумів підпалити порох і зателефонувати до дзвінка на відстані. Згодом в есе «Невидиме світло» Бос напише: «Невидиме світло може легко пройти через цегляні стіни, будинки тощо. Тому з його допомогою можуть бути передані повідомлення без проводів».

Подібні досліди проводили Олександр Попов та Гульєльмо Марконі. Останній зміг надати перший комерційно-придатний апарат для безпроводової телеграфії.

В 1903 Нікола Тесла запатентував систему, в якій передавач і приймач синхронно перемикалися між двома каналами. Таким чином, Тесла став автором першого відомого методу зміни частот боротьби з перешкодами. Новинка знайшла практичне застосування у 1915 році — німецькі військові почали використовувати радіоприймач із частотами, що змінюються, щоб уникнути прослуховування з боку британців.

Вже на початку 20 століття Тесла зміг описати розвиток технології, яка призведе до безпроводового інтернету. Він запропонував концепцію так званої «Всесвітньої Безпроводої Системи» — системи телекомунікацій та передачі електроенергії у глобальному масштабі.

У 1968 р. вчені Гавайського університету розпочали роботу над проектом THE ALOHA SYSTEM. Основною метою проекту була перевірка можливості використання радіозв'язку замість проводових з'єднань для об'єднання комп'ютерів одну мережу.

Сам проект реалізовувався на Гавайських островах – архіпелазі у центральній частині Тихого океану. Спочатку в одну мережу планувалося об'єднати навчальні заклади з островів Кауаї, Оаху, Мауї та Гаваї (так, у Гавайському архіпелазі є острів Гаваї). Обчислювальний центр розташовувався у головному корпусі Гавайського університету неподалік Гонолулу. Відстань до нього від інших вузлів сягала 300 км. Ідея протягнути кабель навіть не розглядалася.

У чистій системі кожен із терміналів надсилав дані, як тільки вони з'являлися. Зрозуміло, такий підхід приводив до колізій та втрат кадрів. Для виявлення колізій центральний комп'ютер після отримання кадру відправляв його назад відправникам. Якщо відправник виявляв колізію, він вичікував випадковий інтервал часу і відправляв кадр заново. Центральний комп'ютер використовував ширококомовну антену, а термінали - спрямовану. Так вони не отримували передачі з інших відправників.

Чиста Aloha запрацювала у 1971 році, ставши першою безпроводовою мережею між комп'ютерами. А вже через рік систему модернізували, що дозволило подвоїти її продуктивність.

Дискретна Aloha

Метод передачі в дискретній системі будувався навколо слотів (чи тактів). Кожному терміналу виділявся часовий проміжок (відповідний часу одного кадру) для надсилання даних. Для синхронізації використовувався спеціальний синхронізуючий сигнал на початку кожного інтервалу.

Технологію не вдалося продати, і вона стала громадським надбанням. В 1973 Aloha була приєднана через супутниковий зв'язок до ARPAnet, а в 1976 Aloha і зовсім припинила свою роботу.

У 1980 році інженер Майкл Маркус звернувся до федеральної комісії з зв'язку США (FCC) з пропозицією відкрити діапазони ISM для неліцензійного використання. І через 5 років, у 1985 році комісія все ж таки відкрила діапазони з частотою 900 МГц, 2.4 ГГц і 5.8 ГГц. Після такого рішення в США багато інших країн і регіонів послідовники прикладу FCC теж відкрили деякі діапазони. З цього моменту став можливим розвиток комерційних безпроводових технологій.

Когнітивне радіо (CR) «зросло» на ґрунті безпроводових технологій і є одною з нових довгострокових подій, що відбуваються і радіо приймач та технологію радіозв'язку. Після Software Defined Radio (SDR), яка поступово стає все більш реальною, когнітивне радіо (CR) та когнітивне радіо технологія буде наступним важливим кроком вперед забезпечує більш ефективні системи радіозв'язку, які будуть розроблені.

Ідея для когнітивного радіо вийшла з необхідності більш ефективного використання спектра радіочастот, а також щоб мати можливість підтримувати найбільш ефективну форму спілкування для переважаючих умов. Використовуючи рівні обробки, які доступні на сьогоднішній день, можна розробити радіо, яке може дивитися на спектрі, визначити, які частоти очевидні, а потім реалізувати найкращу форму зв'язку для необхідних умов. Таким чином, когнітивний радіо технологія має можливість вибрати діапазон

частот, тип модуляції та рівні потужності найбільш підходить для вимог, існуючих умов та географічних нормативних вимог.

Термін когнітивне радіо (CR), введений Джозефом Мітолою, походить від слова cognition. спектра, визначаючи радіоспектр, що не використовується, на основі спостереження за використанням спектра і використовує його ефективним чином.

CR, включаючи програмно-визначувану радіозв'язок (SDR) як технологію підтримки, є потенційною технологією для підвищення спектральної ефективності в безпроводових системах зв'язку, маючи складні радіостанції, які можуть розпізнавати і використовувати спектральні можливості. Реконфігурованості CR потрібно SDR. Для інших завдань когнітивного типу CR потрібні процедури обробки сигналів та машинного навчання для їх реалізації.

1.2. Архітектура та принципи роботи мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо

Архітектура мережі когнітивного радіо проілюстрована на рис. 1.1.

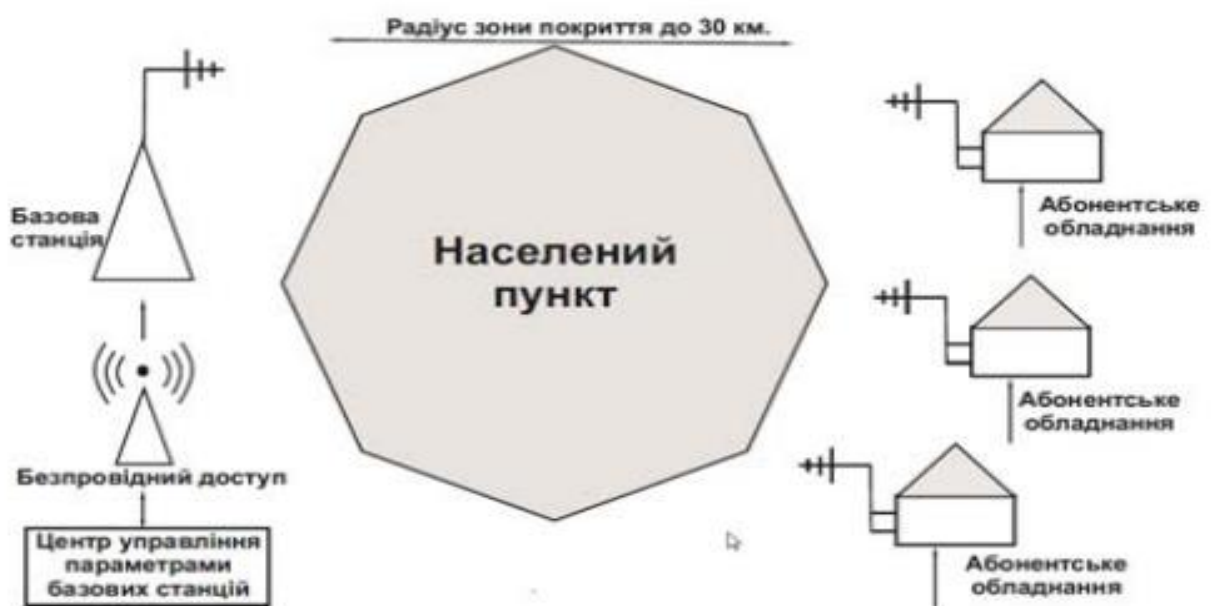


Рис. 1.1. Архітектура мережі когнітивного радіо

Когнітивні радіомережі (CRN) — це безпроводові мережі, які можуть динамічно адаптуватися до спектрального середовища та вимог користувачів, використовуючи смуги частот, що не використовуються. CRN складаються з вузлів двох типів: первинних користувачів (PU) та вторинних користувачів (SU). PU мають ліцензію на використання певних смуг частот, у той час як SU не мають ліцензії і можуть довільно отримувати доступ до «дір» у спектрі, залишеному PU. Однак SU повинні уникати створення перешкод PU та звільняти канал, коли PU відновлюють передачу. Таким чином, вибір каналу є вирішальною проблемою для SU для досягнення ефективного та надійного зв'язку в CRN.

Алгоритми вибору каналу спрямовані на пошук найкращого каналу для доступу SU серед доступних можливостей спектра. Найкращий канал зазвичай визначається як той, що максимізує продуктивність SU (наприклад, пропускну здатність, затримку або енергоефективність) при мінімізації перешкод для PU. Алгоритми вибору каналів можна розділити на дві категорії: централізовані та розподілені. Централізовані алгоритми покладаються на центральний контролер або загальну базу даних для збору та обробки інформації про спектр та призначення каналів SU. Розподілені алгоритми дозволяють SU приймати локальні рішення на основі власних спостережень та взаємодії з іншими SU.

Деякі фактори, що впливають на розробку та продуктивність алгоритмів вибору каналу:

1. Модель сприйняття спектра: як SU виявляють наявність чи відсутність PU кожному каналі. Зондування спектра може виконуватися індивідуально кожним SU або кількома SU. Виявлення спектра також може бути недосконалим, що призводить до помилкових спрацьовувань сигналізації або пропущених виявлень.

2. Канальна неоднорідність: наскільки різні канали розрізняються по смузі пропускання, потужності передачі, рівню шуму, завмирання та активності PU. Неоднорідність каналів може призвести до компромісів та проблем для SU під час спроби збалансувати якість та доступність каналів.

3. Топологія мережі: як підключаються та спілкуються один з одним SU. Топологія мережі може впливати на обмін інформацією та координацію між SU, а також на перешкоди та конфлікти між SU та PU.

4. Модель перемикавання каналів: як SU перемикаються з одного каналу до іншого. Переключення каналів може призвести до затримок і витрат, що може скоротити ефективний час передачі і погіршити продуктивність SU.

5. Мета оптимізації: чого SU хочуть досягти, вибираючи канали. Різні цілі можуть призвести до різних стратегій та критеріїв вибору каналів. Наприклад, деякі SU можуть захотіти максимізувати свою пропускну здатність, тоді як інші можуть захотіти мінімізувати споживання енергії або затримку.

Щоб проілюструвати концепцію вибору каналу, розглянемо найпростіший приклад. Припустимо, є три канали, кожен із смугою пропускання 1 МГц. Канал 1 зайнятий ПУ з високим пріоритетом, канал 2 зайнятий ПУ з низьким пріоритетом, 3 канал вільний. Є два SU, А та В, які хочуть отримати доступ до спектру. SU А має швидкість передачі 2 Мбіт/с, а SU В має швидкість передачі 1 Мбіт/с. Обидва СУ мають потужність передачі 1 Вт та максимально допустиму потужність перешкод 0,1 Вт. Як їм вибирати канали?

Одним з можливих рішень є те, що SU А вибирає канал 3, а SU В вибирає канал 2. Таким чином, обидва SU можуть досягти бажаної швидкості передачі даних, не створюючи перешкод високопріоритетним PU на каналі 1. Однак це рішення може бути неоптимальним, оскільки SU

В може створювати перешкоди для PU з низьким пріоритетом на каналі 3. Інше можливе рішення полягає в тому, що обидва SU вибирають канал 3 і ділять порівну смугу пропускання. Таким чином, обидва SU, як і раніше, можуть досягати бажаних швидкостей передачі даних, не створюючи перешкод будь-яким PU, а використання смуги пропускання на каналі 3 покращується.

1.3. Переваги та недоліки технологій когнітивного радіо

Доведеними перевагами використання систем когнітивного радіо є унікальний підхід до вирішення задач щодо виділення радіочастотного діапазону. Відсутність необхідності проведення експертизи і оформлення дозволів на використання радіочастот може зробити системи на основі когнітивного радіо поширеною технологією безпроводного зв'язку для покриття значних територій, особливо в сільських та важкодоступних місцевостях, у зоні ведення бойових дій.

До недоліків технологій когнітивного радіо відносять те, що впровадження мереж на основі стандарту IEEE 802.22 (когнітивне радіо) потребує нових інженерно-технічних та нормативно-правових рішень.

Перш за все проблемними питаннями є малі обсяги сучасного виробництва відповідного обладнання для систем когнітивного радіо та необхідність адаптації сучасних мереж зв'язку до вимог їх використання, оскільки існуючий стан свідчить про те, що в найближчі 10–15 років системи когнітивного радіо не зможуть отримати широкого поширення.

Крім того, застосування пристроїв, які працюють за принципами когнітивного радіо, а також економічна ефективність запровадження подібної технології зумовлюються ємністю доступного частотного ресурсу. Розміри та кількість так званих “білих плям” визначають можливості когнітивних пристроїв як по зоні обслуговування, так і за пропускнуою здатністю. Тому для

формування наступних проектів в галузі використання систем когнітивного радіо необхідно оцінити розміри ділянок з доступним частотним ресурсом на заданій території.

1.4. Порівняння технологій когнітивного радіо з іншими технологіями мереж доступу

Одним з перших практичних впроваджень, що в повному обсязі використовує технології когнітивного радіо, є стандарт IEEE 802.22. (WRAN), оскільки він дозволяє користуватися всім спектром частот без необхідності отримання ліцензії. Стандарт створений для роботи в сільській та важкодоступній місцевостях, де щільність населення – мала, але є необхідність забезпечити безпроводний ШСД.

Збільшення радіусу дії отримане завдяки зменшенню робочого діапазону частот, які зазвичай використовують технології Wi-MAX та LTE. Радіус дії такої системи є змінною величиною, оскільки стандарт дозволяє застосовувати різні типи модуляції та систем кодування. Максимальний радіус дії стандарту WRAN – 100 км при ідеальних умовах розповсюдження. Найбільш поширеним радіусом дії є відстань від 10 до 30 км.

Вартість пристроїв систем когнітивного радіо

Оскільки когнітивне радіо є одною із найсучасніших технологій безпроводного доступу, вартість відповідних пристроїв дуже велика (в порівнянні з вартістю пристроїв, призначених для інших безпроводових мереж).

Висока вартість пристроїв пов'язана із малими обсягами сучасного виробництва відповідного обладнання для систем когнітивного радіо та необхідність адаптації сучасних мереж зв'язку до вимог їх використання, оскільки існуючий стан свідчить про те, що в найближчі 10–15 років системи когнітивного радіо не зможуть отримати широкого поширення.

Області застосування

Когнітивне радіо застосовують як правило у зонах бойових дій, де вимагається висока ступінь надійності та ефективності зв'язку.

Крім того, застосування пристроїв, які працюють за принципами когнітивного радіо, а також економічна ефективність запровадження подібної технології зумовлюються ємністю доступного частотного ресурсу. Розміри та кількість так званих “білих плям” визначають можливості когнітивних пристроїв як по зоні обслуговування, так і за пропускну здатністю. Тому для формування наступних проектів в галузі використання систем когнітивного радіо необхідно оцінити розміри ділянок з доступним частотним ресурсом на заданій території.

1.5. Висновки до розділу 1

В цьому розділі були розглянуті теоретичні аспекти, пов'язані із мережами доступу за допомогою технологій когнітивного радіо.

Предметом розгляду також була архітектура таких мереж.

Наведені переваги та недоліки мереж когнітивного радіо та виконано порівняння з іншими технологіями.

Важливо відмітити, що така технологія не потребує створення інфраструктури оператора зв'язку. Виходячи з цього, найбільш ймовірною сферою застосування таких систем будуть локальні мережі широкосмугового доступу.

Тому, для більш швидкої реалізації та впровадження систем когнітивного радіо необхідно розробити чіткі вимоги до їх технічних та експлуатаційних параметрів, опрацювати геолокаційну базу даних та внормувати правила користування частотним спектром, враховуючи досвід застосування таких систем.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО

У цьому розділі розглядаються практичні аспекти проектування, вибору та налаштування обладнання, розрахунку покриття мереж доступу на основі когнітивного радіо.

Також приділено увагу розрахунку та організації каналів зв'язку та частотного розподілу в мережах і заходам по забезпеченню безпеки в таких мережах.

2.1. Аналіз вимог до мереж доступу

Згідно з означенням, система когнітивного радіо – це радіосистема, яка використовує технологію, що дозволяє цій системі отримувати знання про своє середовище експлуатації та географічне середовище, про встановлені правила і про свій внутрішній стан; динамічно та автономно коригувати свої експлуатаційні параметри та протоколи, згідно з отриманими знаннями, для досягнення наперед поставлених цілей; та вчитися на основі отриманих результатів.

У разі грамотного проектування та продуманої практичної реалізації безпроводові мережі на основі когнітивного радіо відповідатимуть наступним вимогам.

- надійно захищені від витоку даних та несанкціонованого доступу сторонніх осіб;
- стануть більш економним та доцільним рішенням на відміну від провідних мереж;
- забезпечать стабільний доступ до інформації у будь-якому місці офісу;
- будуть доступні для всіх мобільних пристроїв і обладнання, що використовуються, що забезпечують автоматизацію діяльності співробітників офісу.

Грамотно спроектовані мережі когнітивного радіо дадуть наступні переваги:

- забезпечать спрощене та прискорене підключення нових мережевих пристроїв;
- дозволять збільшити продуктивність праці персоналу;
- зроблять обслуговування мережі менш витратним та трудомістким;
- скоротять час монтажних робіт;

Безпроводовий формат простіше, зручніше та дешевше у реалізації та використанні, а також забезпечить створення оптимальних умов для якісної роботи персоналу.

Під час проектування мережі когнітивного радіо висуваються наступні вимоги:

1. Забезпечення потрібної швидкості передачі даних.

Потрібна швидкість передачі даних залежить від кількості робочих станцій та пристроїв, які підключені до мережі. Як правило, буде швидкість передачі даних до 300 Мбіт/с. Таку швидкість забезпечують будь-які сучасні маршрутизатори.

2. Забезпечення потрібного рівня безпеки.

Багато хто думає, що в безпроводових мережах рівень безпеки гірше, ніж у проводових мережах, але це не так. Сучасні стандарти безпеки, які застосовуються в безпроводових мережах, забезпечують цілком достатній рівень безпеки.

3. Забезпечення достатнього радіусу дії безпроводових мереж

Як правило, достатній радіус дії безпроводових мереж складає 200-250 м. Це забезпечує будь-яке сучасне обладнання, яке застосовується для побудови безпроводових мереж.

2.2. Вибір та перевірка обладнання для мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо

У когнітивному радіо є дві основні підсистеми: когнітивний блок, який приймає рішення на основі різних вхідних даних, та гнучкий блок SDR, операційне програмне забезпечення якого забезпечує низку можливих режимів роботи. Окрема підсистема зондування спектра також часто включається до архітектури когнітивного радіо для вимірювання середовища сигналу з метою визначення присутності інших служб або користувачів. Важливо, що ці підсистеми не обов'язково визначають одну одиницю обладнання, а можуть натомість включати компоненти, які розподілені по всій мережі. У результаті когнітивне радіо часто називають когнітивним радіо або когнітивною мережею.

Когнітивний блок розділений далі на дві частини. Перший, позначений як «когнітивний двигун», намагається знайти рішення або оптимізувати мету продуктивності на основі отриманих вхідних даних, що визначають поточний внутрішній стан радіо та робоче середовище. Другий двигун — «політичний двигун» і використовується для забезпечення того, щоб рішення, надане «когнітивним двигуном», відповідало нормативним правилам та іншим політикам, зовнішнім щодо радіо.

Обладнання, яке використовується для побудови когнітивних мереж, повинно забезпечувати наступні функції:

- визначати доступну частину спектра;
- вибирати найкращий з доступних каналів;
- скоординувати доступ до цього каналу з іншими пристроями
- звільнити канал, коли відновить роботу ліцензований пристрій.

Всі ці функції виконує аналізатор спектра, такий як Huawei Spectrum Finder (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Аналізатор спектра є «серцем» когнітивної мережі

Цей пристрій включає наступні модулі:

- Механізм вибірки спектру: збирає та надсилає інформацію про спектр у безпроводовій мережі до аналізатора спектру.
- Аналізатор спектру: аналізує дані спектру, визначає типи джерел перешкод та надсилає звіт про пристрої, що викликають перешкоди, до модуля візуалізації перешкод.
- Модуль візуалізації перешкод: відображає інформацію про джерела перешкод у вигляді графіків, включаючи графіки спектру в режимі реального часу.

Безпроводові мережні адаптери

Безпроводові мережні адаптери (також відомі як безпроводові мережні картки або безпроводові мережні картки) потрібні для кожного пристрою в безпроводовій мережі. Більшість ноутбуків, планшетів і смартфонів мають вбудовані безпроводові можливості адаптери.

Якщо ж до безпроводової мережі підключатимуться застарілі ноутбуки або настільні комп'ютери, доведеться придбати додаткові безпроводові адаптери (рис. 2.2). Ці пристрої доступні у форм-факторах PCMCIA чи USB.



Рис. 2.2. Безпроводовий адаптер

Безпроводові маршрутизатори та точки доступу

Безпроводові маршрутизатори (рис. 2.3) є серцем безпроводової мережі. Ці маршрутизатори працюють так само, як і маршрутизатори для проводових мереж Ethernet.



Рис. 2.3. Типовий маршрутизатор, який використовується в безпроводових мережах

Поточний стандарт для безпроводових маршрутизаторів – 802.11ac, який забезпечує плавну потокову передачу відео. Старі маршрутизатори повільніше, але будуть працювати, а безпроводовий AC, як і раніше, є відмінним вибором, тому вибір маршрутизатора може впливати з вимог, які ви плануєте до нього пред'явити. Однак маршрутизатор AC в десятки разів швидше, ніж версія 802.11n, що передувала йому. Маршрутизатори AX та AC також краще справляються з кількома пристроями, ніж старі моделі маршрутизаторів.

У багатьох офісах є комп'ютери, планшети, телефони, смарт-телевізори, потокові приставки та пристрої для розумного будинку, які використовують безпроводове з'єднання з маршрутизатором. Безпроводовий маршрутизатор

зазвичай підключається безпосередньо до модему, наданого вашим постачальником високошвидкісного інтернет-послуг, по кабелю. Все інше в будинку підключається до маршрутизатора через безпроводову мережу.

Подібно до маршрутизаторів, точки доступу дозволяють безпроводовим мережам приєднуватися до існуючої проводової мережі. Така ситуація виникає в офісі чи будинку, де встановлені проводові маршрутизатори та обладнання. У домашніх мережах одна точка доступу або маршрутизатор має достатній діапазон, щоб охопити більшість житлових будинків. Підприємствам в офісних будівлях часто доводиться розгортати кілька точок доступу та маршрутизаторів.

Безпроводові антени

Точки доступу та маршрутизатори можуть використовувати безпроводову антену Wi-Fi (рис. 2.4) для збільшення дальності безпроводового радіосигналу. Ці антени вбудовані у більшість маршрутизаторів, але є додатковими та знімними на деякому старому обладнанні.



Рис. 2.4. Безпроводові антени дозволять збільшити радіус дії безпроводових мереж

Можна встановити додаткові антени на безпроводових клієнтах, щоб збільшити радіус дії безпроводових адаптерів.

Безпроводові ретранслятори

Безпроводовий ретранслятор (рис. 2.5) підключається до маршрутизатора або точки доступу для розширення зони дії мережі. Часто званий підсилювачем сигналу або розширювачем діапазону, ретранслятор служить двосторонньої ретрансляційної станції для радіосигналів. Ретранслятори дозволяють підключатися до обладнання, яке в іншому випадку не може приймати сигнал безпроводової мережі.



Рис. 2.5. Подібно до стандартної антени, цей пристрій дозволить розширити радіус дії безпроводової мережі.

Безпроводові повторювачі (ретранслятори) використовуються у великих офісах, коли в одній або кількох кімнатах не забезпечується сильний радіосигнал, як правило, через велику відстань між пристроєм та безпроводовим маршрутизатором.

Належний вибір і коректне налаштування мережевого обладнання є основою стабільної та безпечної роботи мережі. Щоб досягти цього, спершу варто чітко визначити свої потреби — зрозуміти, для чого саме потрібна мережа і які функції вона повинна виконувати. Перед покупкою бажано ознайомитися з відгуками користувачів про обрані пристрої в інтернеті. Якщо ж виникають труднощі з вибором, доцільно звернутися за порадою до профільних фахівців.

2.3. Розрахунок покриття безпроводових мереж

Першочергове питання користувачів — як далеко добиватиме сигнал радіосигнал в мережі? Відповідь на це питання залежить від безлічі факторів - кількості та наявності перешкод у вашому будинку або квартирі, потужності та коефіцієнта посилення антени, робочої частоти радіосигналу [5, с. 9].

Наприклад, для маршрутизатора з антеною потужність 20 дБм та коефіцієнтом посилення 5-7 dBi на частоті 2,4 ГГц (стандарт 802.11n) в ідеальних умовах зона покриття обмежується 100 метрами. Насправді навіть на відкритому просторі антени добивають не далі 50 метрів. У приміщеннях все залежить від типу та кількості перешкод. Зазвичай цей показник скорочується до 10-15 метрів.

Стандарт 802.11ac (5 ГГц) має ще меншу зону покриття і дуже вразливий до перешкод. Наприклад, при віддаленні від роутера на ту саму відстань ми отримуємо абсолютно різне падіння сигналу в порівнянні з попереднім стандартом. Для 2,4 ГГц погіршення становило -60 dBm до -82 dBm. Для 5 ГГц сигнал впав -63 dBm до -90 dBm.

Радіорозвідка повинна виконуватись за допомогою спеціалізованого обладнання (рис. 2.6), що показує радіочастотну обстановку на об'єкті до розгортання безпроводової мережі.



Рис. 2.6. Портативний сканер для вимірювання потужності сигналу Wi-Fi

Під час проведення радіорозвідки можна не лише виявити наявність безпроводових мереж у сусідів, визначити їхню потужність і використовувані канали, але й отримати важливу інформацію про наявні перешкоди у діапазонах 2.4 і 5 ГГц. Іноді завад зазнають лише окремі або сусідні канали, проте буває, що шум охоплює весь частотний діапазон. Встановити джерела таких перешкод зазвичай не складно — найчастіше ними є мікрохвильові печі, пристрої Bluetooth чи погано екрановані кабелі. Дані про рівень шуму в конкретному місці дають змогу ще на етапі проєктування оцінити співвідношення сигнал/шум (SNR, Signal-to-Noise Ratio). Варто пам'ятати, що джерелами завад можуть бути й інші електронні пристрої. Окрім цього,

істотний вплив на вашу мережу можуть мати безпроводові мережі інших організацій поблизу. У такому випадку радіорозвідка допоможе більш ефективно розподілити канали зв'язку.

Радіочастотне обстеження та грамотне планування є основою стабільної та ефективної роботи мережі. У той же час, використання невідповідного обладнання, відсутність продуманого радіочастотного проектування та некваліфіковане встановлення можуть звести нанівець усі переваги сучасних мережевих технологій і компонентів, що в підсумку може спричинити часткову або повну втрату працездатності безпроводової мережі.

Проводити радіочастотне обстеження потрібно після завершення всіх робіт з налаштування безпроводового обладнання. З його допомогою можна оцінити, наскільки точно були виконані розрахунки, тобто, наскільки хорошим буде покриття. Наприклад, якщо при радіорозвідці було виявлено слабе джерело шуму, повністю усунути який не можна, то радіочастотне обстеження після розгортання мережі дасть уявлення про те, який SNR вдалося отримати і чи вдалося мінімізувати негативні фактори. Важливо також мати уявлення і про те, як далеко поширюється безпроводовий сигнал від вашої мережі, де можливий його прийом і підключення до мережі когнітивного радіо.

Так як для радіочастотного дослідження потрібне додаткове обладнання (використання ПЗ для звичайних ноутбуків і телефонів дає лише часткове уявлення), придбання портативних версій вимірювальних інструментів дасть можливість бізнесу заощадити в довгостроковій перспективі, оскільки дозволить багаторазово використовувати при експлуатації вже придбані інструменти.

Планування розміщення обладнання

Більшість точок доступу дозволяють одночасно підтримувати підключення до 200 клієнтських пристроїв.

Точки доступу зазвичай мають і більш реальні обмеження на кількість активних безпроводових пристроїв: 20 безпроводових клієнтів, що здійснюють передачу даних; або 7 голосових потоків із кодеком G.711; або 8 - з кодеком G.729. Чи можна більше? — Можна, але якість помітно страждатиме; і що більше активних клієнтів, то сильніше. Зазвичай така проблема вирішується шляхом застосування CAC Call Admission Control.

Якщо збільшити кількість точок доступу і зменшити потужність сигналу кожної з них, то безпроводовий клієнт фізично виявиться ближче до точки доступу і це дозволить використовувати більш продуктивну модуляцію. Це не враховуючи те, що тепер сигнали безпроводових клієнтів, обслуговуваних різними точками доступу, перестають інтерферувати друг з одним. Також не можна не відзначити більш рівномірне навантаження на опорну проводову мережу та зменшення створюваних перешкод сусіднім безпроводовим мережам.

Одна з типових помилок, які здійснюються мережними адміністраторами, полягає в тому, що при проектуванні мережі враховується лише потужність передавачів точок доступу. Однак для нормального функціонування безпроводової мережі необхідна передача трафіку в обидві сторони, тому потрібно враховувати потужність передавачів безпроводових клієнтів. У більшості випадків саме вона і буде обмежувати фактором при розрахунку карти покриття. Написане актуально не тільки для зони покриття, але і при впровадженні різноманітних опцій, наприклад, IEEE 802.11 k/r/v.

Для поєднання безпроводових протоколів між мережевою інфраструктурою та клієнтськими пристроями полягають технологічні партнерства між компаніями, наприклад Cisco та Apple. Завдяки цій угоді пристрої з iOS завжди працюють оптимально з Wi-Fi інфраструктурою Cisco.

Як же це все, поєднується з рекомендацією Cisco щодо зменшення кількості використовуваного допоміжного обладнання, типу безпроводового

контролера? Для побудови невеликих безпроводових мереж немає необхідності використання виділеного контролера, його роль може на себе взяти центральна точка доступу, (при використанні рішення Cisco Mobility Express, що підтримує останні безпроводові досягнення - IEEE 802.11ac Wave 2). Всі точки доступу Cisco дозволяють створювати безшовний роумінг без встановлення виділеного контролера, що суттєво скорочує витрати на побудову мережі когнітивного радіо. Безпроводові рішення Cisco оптимізовано для забезпечення безпроводовим покриттям складних зон з різним профілем користувачів. У лінійку обладнання входять як економічні точки доступу для зон з низькою щільністю клієнтського обладнання, наприклад Aironet серії 1815; так і більш продуктивні рішення для офісів - Aironet 1830/1850. І не можна не згадати найпродуктивніші пристрої, призначені для підтримки безперервного бізнес-процесу з високою продуктивністю, що забезпечується апаратною платформою (чіпсетом), розробленою в Cisco і що виготовляється тільки для рішень на базі Cisco Aironet серії 2800.

Під час вибору місця розміщення безпроводового обладнання та потужності сигналу, що випромінюється, необхідно враховувати, що області покриття сусідніх точок доступу повинні перекриватися на 15–20%. Найчастіше цього буде достатньо для того, щоб клієнт зробив роумінг. Також необхідно врахувати, що на межі зони покриття потужність сигналу повинна становити -67 дБм, тоді як різниця між сусідніми точками доступу, що ведуть мовлення на одному каналі, повинна бути не менше 19 дБм - це необхідно для виключення взаємного впливу точок доступу один на одного. Якщо збільшити кількість точок доступу і зменшити потужність сигналу кожної з них, то безпроводовий клієнт фізично виявиться ближче до точки доступу і це дозволить використовувати більш продуктивну модуляцію. Це не враховуючи те, що тепер сигнали безпроводових клієнтів, обслуговуваних різними точками доступу, перестають інтерферувати друг з одним. Також не можна не відзначити більш рівномірне навантаження на опорну проводову мережу та

зменшення створюваних перешкод сусіднім безпроводовим мережам. Одна з типових помилок, які здійснюються мережними адміністраторами, полягає в тому, що при проектуванні мережі враховується лише потужність передавачів точок доступу. Однак для нормального функціонування безпроводової мережі необхідна передача трафіку в обидві сторони, тому потрібно враховувати потужність передавачів безпроводових клієнтів. У більшості випадків саме вона і буде обмежувати фактором при розрахунку карти покриття. Написане актуально не тільки для зони покриття, але і при впровадженні різноманітних опцій, наприклад, IEEE 802.11 k/r/v. Для поєднання безпроводових протоколів між мережевою інфраструктурою та клієнтськими пристроями полягають технологічні партнерства між компаніями, наприклад Cisco та Apple. Завдяки цій угоді пристрої з iOS завжди працюють оптимально з безпроводовою інфраструктурою Cisco.

Для побудови невеликих безпроводових мереж немає необхідності використання виділеного контролера, його роль може на себе взяти центральна точка доступу (при використанні рішення Cisco Mobility Express, що підтримує останні безпроводові досягнення - IEEE 802.11ac Wave 2). Всі точки доступу Cisco дозволяють створювати безшовний роумінг без встановлення виділеного безпроводового контролера, що суттєво скорочує витрати на побудову безпроводової мережі.

2.4. Розрахунок та організація каналів зв'язку та частотного розподілу

Як правильно обрати безпроводові канали — вручну чи довіритися автоматичному режиму? Саме так зазвичай формулюються головні запитання при плануванні частотного розподілу між точками доступу. Попри велику кількість доступних каналів, далеко не всі з них є придатними до використання через часткове перекриття частот. У діапазоні 2.4 ГГц лише канали 1, 6 і 11 не перекриваються між собою. Наприклад, вибір каналу №3 призведе до того, що на нього впливатимуть сигнали з точок доступу, які працюють на каналах 1 та 6. І навіть якщо на самому третьому каналі немає активних пристроїв, ефективна робота на ньому буде майже неможливою.

Автоматичний розподіл не завжди виявляється успішним. Більше передбачуваним рішенням буде ручне розподілення каналів між точками доступу. На наступній схемі наведено приклад розподілу безпроводових каналів у діапазоні 2.4 ГГц на площині, рис. 2.7. Кожен шестикутник позначає окрему точку доступу, яка веде мовлення на певному каналі.



Рис. 2.7. Розподіл на площині каналів, які не перекриваються

Для безпроводових мереж використовуються 2 смуги частот, а саме 2,4 ГГц та 5 ГГц, також згадувані як смуги b/g/n та смуги a/n/ac відповідно. У кожній смузі є безліч каналів, наприклад, від 1 до 11 (або 13,14 в деяких країнах) у смузі 2,4 ГГц, і канал 36, 40, 44, 48, ..., 165 і т.д., заснованих на смугах UNII. для 5 ГГц. Перш ніж рухатися далі, встановіть сторонній аналізатор WiFi (наприклад, INSSIDER, безкоштовно для Windows та Android-пристроїв), щоб дізнатися про існуючі безпроводові мережі, що працюють у вашому районі. Цей інструмент знадобиться при розгортанні та налаштуванні мережі Wi-Fi.

2,4 ГГц або смуга частот b / g / n:

1. Всі пристрої Wi-Fi (телефони/планшети/ноутбуки і т. д.) підтримують цю смугу.

2. Канали 1, 6, 11 - це три канали, що не перетинаються. Це означає, що якщо інші безпроводові мережі працюють на каналі 1, а ваша мережа знаходиться на каналі 6 або 11, інші безпроводові мережі не заважатимуть вам. Однак всі інші проміжні канали створюють перешкоди (хоча в деяких випадках дуже сильно) цим каналам, наприклад, {2,3,4,5} канали впливають на канали 1 і 6; канали {7,8,9,10} впливають на канали 6 і 11. На підставі інформації, отриманої від вашого радіоаналізатора (наприклад, INSSIDER), якщо якась безпроводова мережа працює на цих проміжних каналах з пристойною потужністю (> -75 дБм), ви ніколи не слід ставити свою безпроводову мережу на канал, на який. Ви були попереджені! Так що вибирайте свій канал лише з 1,6,11, і це теж із мінімальною кількістю суміщених каналів інших безпроводових мереж.

Смуга частот 5 ГГц або a / n / ac:

1. Старі безпроводові пристрої не підтримують цю смугу, але багато нових пристроїв підтримують 5 ГГц.

2. Канали 5 ГГц за своєю конструкцією не перекриваються, тому немає таких проміжних каналів, як у випадку 2,4 ГГц, які серйозно впливають на мережу. Залежно від вашої країни (також званої регуляторною областю) смуга 5 ГГц розділена на безліч піддіапазонів, які називаються смугами UNII. Номери каналів починаються з 36 з 4 різницею для наступного каналу, тобто 36,40,44,48,52, ... і так далі. Це правило не може застосовуватися до смуги UNII-2e, яка має перешкоди від метеорологічних радіолокаторів.

3. Застереження. Канали в діапазонах UNII-2 та UNII-2e називаються каналами DFS, оскільки вони спільно проживають у тій самій смузі частот, що й радари. За правилом, якщо ви працюєте на каналі 52 (який знаходиться в діапазоні UNII-2) і поруч є радар, що використовує той же канал, то вашій безпроводовій точці доступу (маршрутизатору) необхідно залишити цей канал і вибрати будь-який інший канал роботи. Це правило застосовується майже всіма постачальниками безпроводових маршрутизаторів. Так що не вибирайте жодного каналу з цих груп. Інша проблема пов'язана з деякими кишеньковими пристроями, вони навіть не підтримують ці канали DFS. Тому, якщо ваш безпроводовий роутер працює на будь-якому каналі DFS, ваш безпроводовий пристрій не зможе його побачити.

4. На основі інформації з безпроводового аналізатора виберіть канал (переважно з UNII-1 або UNII-3), який має найменшу кількість інших мереж WiFi.

2.5. Заходи щодо забезпечення безпеки в мережах доступу на основі технологій когнітивного радіо

Аналіз наявних на сьогоднішній день засобів захисту безпроводових мереж дозволяє зробити такі висновки [5, с. 25]:

Використання WEP-шифрування для забезпечення конфіденційності та цілісності безпроводового трафіку неприпустимо через непереборні

вразливості в реалізації даного протоколу навіть при використанні криптографічних ключів довжиною 128/192/256 біт замість стандартних 64-бітних.

Фільтрування MAC-адрес та приховування SSID не є перешкодами для кваліфікованого зловмисника і можуть використовуватися лише як доповнення до більш серйозних засобів захисту.

Надійність шифрування трафіку та контролю цілісності повідомлень, що реалізуються на базі стандарту WPA, на сьогоднішній день є достатньою.

Найбільш потужний захист безпроводового трафіку за відсутності помітних втрат у продуктивності забезпечує стандарт 802.11i, основу якого лежить новий стандарт шифрування AES. Тому проектування нових безпроводових мереж має здійснюватись на базі апаратної частини, що підтримує стандарт 802.11i.

Перелічимо основні загрози, яким схильні до безпроводових мереж.

Виявлення та дослідження безпроводових мереж зловмисником за межами контрольованої зони підприємства.

Використання несанкціонованого безпроводового трафіку.

Порушення конфіденційності інформації шляхом перехоплення безпроводового трафіку.

Викрадення клієнтських пристроїв або точок доступу з метою отримання інформації про налаштування системи захисту безпроводових.

Зловмисні дії персоналу:

Порушення доступності ресурсів мереж:

Ненавмисні загрози.

Під час проектування безпроводових повинні враховуватися такі моменти:

Вплив перешкод та НВЧ-пристроїв, що працюють у частотному діапазоні, який використовується даною специфікацією стандарту 802.11, на якість безпроводового зв'язку.

Розташування точок доступу та виносних антен повинно бути обране таким чином, щоб зона покриття безпроводових мереж якнайменше виходила за межі контрольованої зони підприємства. Цьому фактору сприяє вибір відповідних рівнів сигналів точок доступу, використання напівспрямованих (секторних) антен та встановлення параболічних відбивачів, що перешкоджають поширенню сигналу в небажаному напрямку. В ідеалі безпроводова мережа має бути спроектована таким чином, щоб її зона покриття не виходила за межі контрольованої зони за умови забезпечення авторизованих безпроводових клієнтів якісним зв'язком.

Точки доступу повинні бути розташовані та змонтовані таким чином, щоб унеможлиблювався несанкціонований доступ персоналу та відвідувачів підприємства. Одним із варіантів даного рішення є розташування точок доступу над підвісною стелею, що передбачає наявність виносних антен.

Встановлення резервних точок доступу на випадок виходу з ладу основних і з метою підвищення стійкості мережі до DoS-атак і атак типу «людина посередині».

2.6. Висновки до розділу 2

У цьому розділі були розглянуті методи проектування безпроводових мереж когнітивного радіо.

А саме:

проаналізовані вимоги до побудови безпроводової мережі когнітивного радіо;

наведені рекомендації щодо вибору та перевірки обладнання для такої мережі;

розглянуто методику розрахунку покриття безпроводової мережі та планування розміщення точок доступу та іншого обладнання;

наведені принципи розрахунку та організації каналів зв'язку та частотного розподілу;

розглянуті заходи щодо забезпечення безпеки безпроводових мереж когнітивного радіо.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО

У цьому розділі буде розглянута методика, яка дозволяє побудувати мережу доступу на основі технологій когнітивного радіо.

Також буде приведена структурна схема побудованої мережі доступу і наведені відповідні пояснення.

3.1. Методика побудови мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо

Для побудови мережі когнітивного радіо використовується наступна методика (в залежності від типу мережі).

Міжрівнева архітектура мереж когнітивного радіо

Сучасні системи зв'язку розробляються на основі моделі OSI (відкритих систем). Кожен із рівнів розробляється незалежно і може бути змінений, або розширений без впливу на компоненти інших рівнів. Завдяки певним інтерфейсам на кожному рівні обладнання різних виробників може взаємодіяти один з одним.

Однак усі операції між рівнями проводяться послідовно (від найвищого рівня до нижчого). Це веде до витрат у обчисленнях та більших затримок. Через ізольованість рівнів, вищий рівень не може отримувати інформацію про нижчий, а отже взаємодія рівнів обмежена. Розвиток існуючої системи рівнів призвело до створення нових варіантів межі рівної взаємодії. Наприклад, резервування функцій одного з рівнів (контроль помилки на фізичному та каналному рівнях). Головною метою системи міжрівневої взаємодії є збільшення інформаційного потоку між рівнями.

Взаємодія може здійснюватися як від найвищого рівня до нижчого, і навпаки. Наприклад, інформація про швидкість передачі в каналі з каналного рівня може передаватися на рівень додатків і тим самим змінювати швидкість кодування відео потоку у відповідному додатку. Якщо швидкість передачі

каналів зменшується, швидкість відеостиснення також зменшується. Рівні можуть бути поєднані для інтегрування своїх функцій.

Наприклад, каналний та транспортний рівні можуть бути об'єднані для спільного забезпечення керування чергами та доступу до каналу.

Концепція міжмережевої взаємодії передбачає створення єдиного інтерфейсу для обміну даними та контролем між усіма рівнями.

Корисно пояснити принцип дії когнітивного радіо, використовуючи терміни «вимірювач» і «параметр, що змінюється». Показники вимірювача відображають поточне значення параметра, після чого параметр може бути змінено для отримання нової характеристики.

Таким чином, дія не що інше як встановлення параметрів когнітивного радіопристрою для отримання необхідної продуктивності (характеристик). При проектуванні когнітивного радіопристрою закладає таку кількість змінюваних параметрів, при якому характеристики пристрою змінювалися максимально ефективно для здійснення всіх необхідних функцій.

Зручно розділити керовані параметри за рівнями комунікаційної системи. На кожному рівні параметри для зміни. Фізично: потужність передачі, вид модуляції, частота несучої, ширина смуги частот. На каналному тип пакета, величина пакета, швидкість передачі, протокол передачі. На мережному та транспортному рівнях: алгоритм планування мережі, параметри протоколу. На рівні додатків: вид стиснення чи кодування.

Приклад міжрівневої оптимізації наведено у [6, с. 5-8]. Інформація зібрана когнітивним радіо велика і радіоінтерфейсу потрібно виділити лише необхідну інформацію. Для цього можна використати алгоритм нечіткої логіки. У такій системі параметри протоколів різних рівнях можуть бути змодельовані як змінні нечіткої логіки, керований контролером нечіткої логіки.

Пристрій ухвалення рішення вибирає, яку дію треба зробити. Підсистема навчання накопичує знання, отримані з накопиченої інформації (інформації про зайнятість каналу, ймовірність помилки в каналі тощо). База знань працює у двох режимах Визначення стану радіоефіру та здійснення дій щодо зміни параметрів системи. Алгоритм навчання дозволяє змінювати як відомості про стан радіоефіру так і список доступних дій, виходячи зі стану ефіру.

Когнітивне радіо, що визначається місцевістю

Для покращення характеристик бездротової мережі можна використовувати інформацію про місцезнаходження. Наприклад, у мобільних мережах інформація про місцезнаходження абонента може бути використана для резервування каналів для хендовера, наприклад, за допомогою концепції тіньового кластера. Для систем когнітивного радіо FCC було розроблено дві схеми динамічного доступу до спектру: база даних про місцезнаходження та «маяк». У першому випадку користувачі, за допомогою системи позиціонування (наприклад, GPS) отримували інформацію про місцезнаходження. Потім ця інформація передається до бази даних. За допомогою цієї бази даних, кожен новий користувач, після визначення свого розташування може отримати доступ до вільної смуги частот. Після того, як користувач когнітивного радіо займає смугу частот, в базу даних від базової станції надходить оновлена інформація.

У разі використання «маяка» база даних ведеться для кожної стільниці. Інформація про ліцензовані діапазони частот постійно оновлюється. Базова станція когнітивної мережі транслює базу розташування всім користувачам когнітивного радіо. Залежно від свого положення, когнітивний радіопристрій приймає рішення про роботу в тому чи іншому вільному діапазоні частот.

Когнітивне радіо для мереж NeXt (XG)

Ця архітектура розроблена агентством DARPA. Концепція таких мереж передбачає використання відразу кількох функцій когнітивного радіо: моніторингу спектра, управління спектром та розподілу спектра.

В архітектурі мережі XG представлено два види систем: ліцензована та неліцензована (когнітивна).

Когнітивна система може мати свою інфраструктуру, в такому разі базова станція XG з брокером спектру, для синхронізації з іншими мережами. В даний час для взаємодії між користувачами XG використовується метод ad hoc. Для взаємодії ліцензованої та неліцензованої систем використовується шлюз.

Архітектура мереж когнітивного радіо може бути наступною: інфраструктура, що самоорганізується (ad-hoc) та mesh.

Інфраструктура

У даній архітектурі МС може отримати лише прямий доступ до БС/ТД ст. АС, що ведуть передачу через одну і ту ж БС/ТД повинні спілкуватися один з одним через BS/AP. Зв'язок між різними стільниками проходять через ядро мережі. БС/ТД може підтримувати один або кілька стандартів зв'язку/протоколів для виконання різних вимог АС. Термінал когнітивного радіо може отримати доступ до різних видів систем зв'язку через БС/ТД.

Ad-hoc архітектура

У цьому типі архітектури немає підтримки інфраструктури (рис. 8). Мережа є самоорганізується. Такий режим роботи мережі ще називають "точка-точка". Якщо АС виявляє, що поряд є інші МС, вони можуть з'єднатися через певні стандарти зв'язку/протоколи, і створити між собою канал зв'язку, тобто станції безпосередньо взаємодіють один з одним. Ці канали між вузлами

можуть бути створені різними комунікаційними технологіями. Крім того, два термінали когнітивного радіо можуть взаємодіяти один з одним за допомогою існуючих комунікаційних протоколів (наприклад, Wi-Fi, Bluetooth) або динамічно, використовуючи "дірки в спектрі".

Плюсом такої архітектури є те, що потрібний мінімум обладнання: кожна станція має бути обладнана бездротовим адаптером.

Така архітектура добре підходить для створення тимчасової мережі.

Mesh архітектура

Ця архітектура являє собою поєднання інфраструктури та ad-hoc архітектури і дозволяє здійснювати бездротові з'єднання між БС/ТД. Ця мережева архітектура схожа на архітектуру бездротових гібридних мереж Mesh.

У цій архітектурі БС/ТД працюють як маршрутизатори бездротової мережі передачі і формують бездротову опорну мережу. МС можуть отримати прямий доступ до БС/ТД або використовувати інші МС як проміжні вузли зв'язку. Деякі БС/ТД можуть підключатися до опорної мережі та працювати як шлюзи. Оскільки БС/АР можуть бути розгорнуті без необхідності підключення до провідної опорної мережі, ця архітектура більш гнучка та дешевша при плануванні розташування БС/АР.

Якщо БС/АР мають можливості когнітивного радіо, вони можуть використовувати "дірки" у спектрі для зв'язку один з одним. Також така децентралізована архітектура мережі дає високий рівень надійності.

Mesh-мережі будуються як сукупність кластерів. Територія покриття поділяється на зони, кількість яких не обмежена теоретично. Особливістю Mesh є використання спеціальних протоколів, що дозволяють кожній точці доступу створювати таблиці абонентів мережі з контролем стану транспортного каналу та підтримкою динамічної маршрутизації трафіку

оптимальним маршрутом між сусідніми точками. При відмові будь-якого з вузлів відбувається автоматичне перенаправлення трафіку іншим маршрутом, що гарантує не просто доставку трафіку адресату, а доставку за мінімальний час. Процедура розширення мережі обмежується встановленням нових вузлів, інтеграція яких у існуючу мережу відбувається автоматично. Недолік подібних мереж у тому, що вони використовують проміжні пункти передачі даних; це може викликати затримку під час пересилання інформації і, як наслідок, знизити якість трафіку реального часу.

3.2. Структурна схема мережі

На рис. 3.1 показана структура мережі доступу на основі технологій когнітивного радіо.

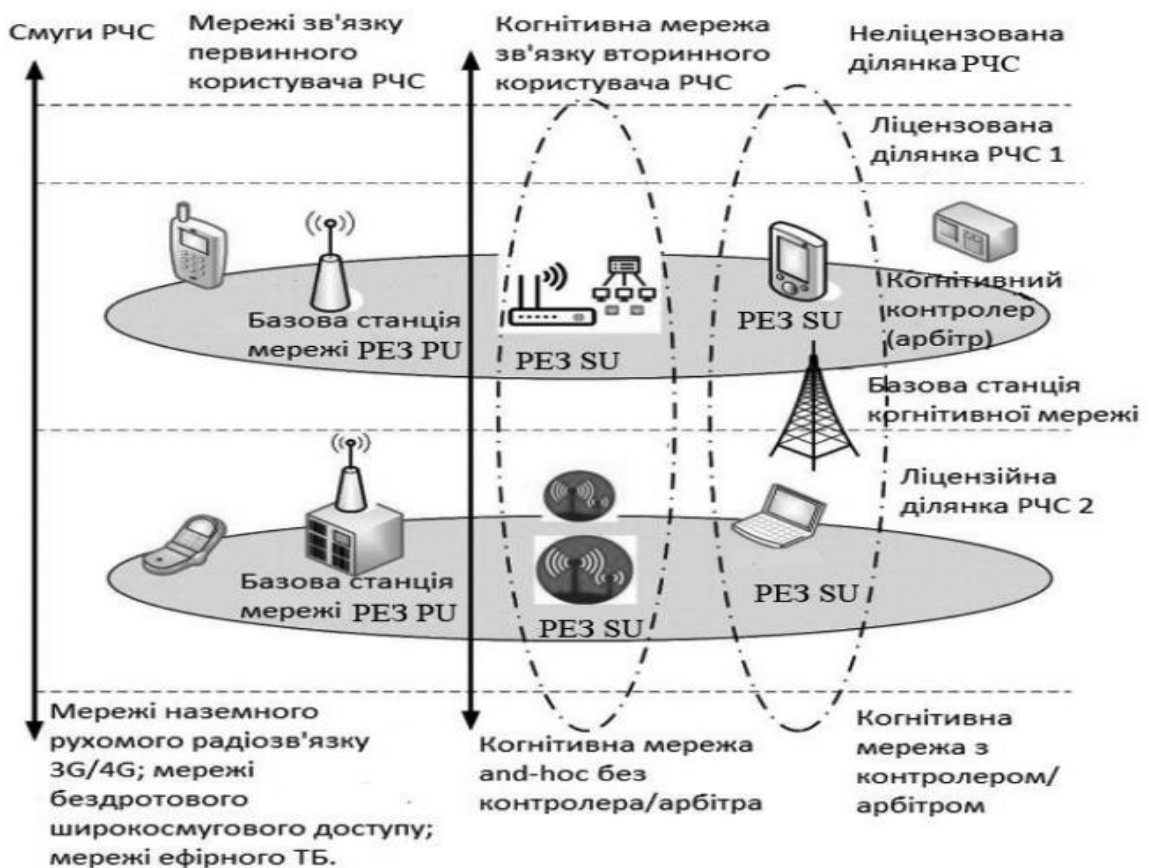


Рис. 3.1. Мережа доступу на основі технологій когнітивного радіо

На рис. 3.1 РЕЗ PU – радіоелектронний засіб первинного користувача, а РЕЗ SU радіоелектронний засіб вторинного користувача.

Компоненти мережевої архітектури CR (когнітивне радіо) представлені на рис. 3, можуть бути умовно поділені на дві групи: основна або первинна радіомережа та когнітивна мережа зв'язку.

Додаткові функціональні можливості, необхідні для користувачів когнітивних РЕЗ передбачають, наприклад, розгортання когнітивних мереж, наприклад, як однорангові мережі peer-to-peer. В одноранговій мережі повністю відсутня центральний елемент мережі та всі учасники є рівноправними. На відміну від архітектури з центральним мережевим елементом, така організація забезпечує підвищену надійність та живучість, але при обмеженій кількості пристроїв CR.

В одноранговій когнітивній мережі, користувач SU може обмінюватися інформацією з іншими учасниками мережі за допомогою ad-hoc з'єднання ліцензійних та неліцензійних діапазонах РЧС.

Когнітивні мережі можуть включати спеціалізовані вузли-арбітри, які відіграють ключову роль у забезпеченні справедливого розподілу радіочастотних ресурсів (РЧС) між різними користувачами CR-систем. Архітектура таких мереж може бути ієрархічною, з наявністю центрального елемента — базової станції або когнітивного контролера, який організовує з'єднання, наприклад, через центральний вузол із одним повторним прийомом для абонентів у межах своєї зони покриття. Оскільки когнітивні мережі мають статус вторинних користувачів спектра відносно традиційних радіосистем, це створює низку викликів і обмежень. Одне з головних завдань — оперативне звільнення каналу, якщо на ньому розпочинає роботу первинний користувач (PU).

Крім того, пристроям CR набагато складніше забезпечити необхідний рівень якості обслуговування (QoS), оскільки вони не мають гарантованого доступу

до спектра і перебувають у постійному конфлікті за ресурси з основними користувачами. Когнітивна мережа не володіє власним виділеним частотним ресурсом, оскільки функціонує як самостійна служба радіозв'язку. Ще однією важливою проблемою є забезпечення електромагнітної сумісності та недопущення перешкод для ліцензованих радіосистем, що працюють у тому ж частотному діапазоні.

3.3. Висновки до розділу 3

В цьому розділі розглянута методика , яка використовується для побудови мереж доступу на основі технології когнітивного радіо. Ця методика дозволяє побудувати декілька різновидів мереж когнітивного радіо.

Також наведено структуру схему мережі доступу на основі технології когнітивного радіо і наведені відповідні пояснення.

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОЇ РОБОТИ

В процесі виконання роботи були виконані задачі, які сформульовані на початку роботи.

Наукова цінність роботи полягає в тому, що були запропоновані нові методи, які дозволяють пришвидшити та полегшити проектування та розвертання мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо.

Ці методи дозволяють підвищити надійність мереж Wi-Fi, підвищити ступінь безпеки та підняти швидкість передачі даних.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО

У сучасному світі безпроводові мережі стають все популярнішими серед користувачів. Безпровода локальна мережа, дозволяє передавати дані без необхідності використання проводового підключення. Це призводить до зручності та гнучкості в організації різних сценаріїв комунікації, від домашніх мереж до громадських місць та підприємств.

Однак, зі збільшенням кількості з'єднань і обсягу даних, що передаються, виникають нові виклики для розвитку безпроводових мереж. Нові стандарти зв'язку постійно розробляються та впроваджуються для забезпечення вищої швидкості передачі даних, покращеної надійності та більшої ефективності використання частотного спектру.

Одним з найвагоміших стандартів у галузі безпроводових мереж є Wi-Fi 6, також відомий як 802.11ax. Він пропонує більш високу швидкість передачі даних, підвищену пропускну здатність та покращену стабільність з'єднання. Wi-Fi 6 також має можливість працювати з великою кількістю пристроїв одночасно, що робить його ідеальним вибором для завантажених мереж, таких як офіси, торгові центри та аеропорти.

Майбутнє безпроводових мереж обіцяє ще більше інновацій. Очікується поява Wi-Fi 7, який працюватиме на частотах понад 6 ГГц. Це дозволить обійти проблему перевантаженості частотного спектра та значно збільшить пропускну спроможність мережі. Крім цього, Wi-Fi 7 матиме покращену безпеку та стабільність з'єднання, що зробить його ідеальним вибором для майбутніх смарт-міст, розумних будинків та нових технологічних додатків.

Безпроводові мережі та їх важливість у сучасному світі

Безпроводові мережі стали невід'ємною частиною нашого сучасного світу. У сучасних суспільствах все більше людей та організацій залежить від безпроводового інтернету для своїх повсякденних діяльностей. Вони

дозволяють людям залишатися у зв'язку, працювати, отримувати інформацію та розважатися у будь-якому місці та у будь-який час.

У перспективі безпроводові мережі продовжуватимуть розвиватися та вдосконалюватися. Існуючі стандарти зв'язку, такі як Wi-Fi, постійно покращуються та оновлюються для збільшення швидкості передачі даних, покращення продуктивності та забезпечення більш надійної та безпечної роботи.

Розробка нових стандартів для безпроводових мереж є важливим напрямом досліджень та інжинірингу. Вони дозволяють зробити безпроводові мережі швидше, стабільніше та ефективніше. Тому фахівці з безпроводових мереж постійно працюють над розробкою нових технологій та методів, щоб забезпечити кращу якість зв'язку та більше можливостей для користувачів та різних галузей економіки.

Переваги використання нових стандартів для безпроводових мереж включають підвищення швидкості передачі даних, покращення продуктивності та розширення можливостей підключення більшої кількості пристроїв. Вони також забезпечують більшу надійність та безпеку при передачі та зберіганні даних.

Технологія Wi-Fi 6 є одним із нових стандартів для безпроводових мереж. Вона забезпечує більш високу швидкість передачі даних, а також покращене управління та поділ ресурсів. Wi-Fi 6 дозволяє підключати більше пристроїв, особливо в умовах високої щільності користувачів, та забезпечує більш надійне та стабільне з'єднання.

Безпека та надійність безпроводових мереж є ключовими аспектами їхнього розвитку. Фахівці з безпеки постійно працюють над покращенням методів шифрування та захисту даних, щоб забезпечити безпечне використання безпроводових мереж та захистити конфіденційність користувачів.

Розвиток Інтернету речей (IoT) також значно впливає на розвиток безпроводових мереж. IoT передбачає підключення безлічі пристроїв, включаючи розумні будинки, розумні міста, промислові системи та інші, до мережі для обміну даними та управління. Безпроводові мережі відіграють важливу роль у забезпеченні зв'язку та сумісності між пристроями IoT.

Тому перспективи розвитку безпроводових мереж виключаються із розгляду, особливо з огляду на розвиток 5G стандарту зв'язку. 5G обіцяє ще більшу швидкість та пропускну здатність, а також найнижчий час затримки, що вплине на розвиток Wi-Fi мереж та створить нові можливості для використання безпроводового інтернету у наших повсякденних життях.

Розробка нових стандартів для безпроводових мереж

Безпроводові мережі відіграють важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи безпроводовий зв'язок та доступ до Інтернету. З постійним розвитком технологій все більше людей та організацій покладаються на безпроводові мережі для обміну даними та виконання різних завдань. Щоб задовольнити потреби користувачів, що зростають, постійно ведеться робота з розробки нових стандартів для безпроводових мереж. Ці стандарти визначають технічні характеристики мереж, такі як швидкість передачі даних, діапазон частот, енергоспоживання та безпека.

Стандарти Wi-Fi 6 и Wi-Fi 6E

Один з останніх стандартів, який має велике значення для безпроводової мережі, це Wi-Fi 6 (802.11ax). Він надає більш високу продуктивність та швидкість передачі даних у порівнянні з попереднім стандартом Wi-Fi 5 (802.11ac).

Wi-Fi 6 також має покращену надійність та ефективність в умовах високої щільності з'єднань. Він здатний обслуговувати велику кількість пристроїв одночасно без втрати швидкості та якості сигналу. Це особливо важливо з

урахуванням зростання кількості пристроїв, пов'язаних із Інтернетом речей (IoT).

Крім Wi-Fi 6 також активно розробляється стандарт Wi-Fi 6E, який розширює діапазон частот для безпроводових мереж. Це дозволяє використовувати додаткові частотні смуги та уникнути перешкод від інших безпроводових пристроїв.

Поліпшення продуктивності та швидкості передачі даних

Однією з важливих завдань розробників нових стандартів є покращення продуктивності та швидкості передачі даних у безпроводових мережах. Це включає збільшення пропускної здатності, зниження затримок і поліпшення якості сигналу.

З розвитком технологій та впровадженням нових стандартів, безпроводові мережі стають все більш ефективними та надійними. Нові стандарти дозволяють користувачеві залишатися підключеним до мережі навіть за високої завантаженості та поганих умов сигналу.

Завдяки постійній роботі з розробки нових стандартів, безпроводові мережі продовжують розвиватися, забезпечуючи швидший та надійніший зв'язок. Це дозволяє користувачам насолоджуватися високошвидкісною передачею даних, стрімінгом відео, онлайн-іграми та іншими продуктами цифрової ери.

Розробка нових стандартів Wi-Fi спрямована на підвищення продуктивності та швидкості передачі даних. Наприклад, стандарт Wi-Fi 6 (або 802.11ax) дозволяє досягти швидкості передачі даних до 10 Гбіт/с на одну точку доступу. Це значно перевищує швидкість Wi-Fi 5 (або 802.11ac), що становить до 3,5 Гбіт/с.

Основні переваги використання нового стандарту Wi-Fi 6 включають збільшення пропускної спроможності мережі, зниження затримки передачі даних та підвищення продуктивності при одночасному підключенні великої

кількості пристроїв. Це особливо важливо в умовах повсюдного використання смартфонів, ноутбуків та інших пристроїв, що потребують надійного та швидкого безпроводового зв'язку.

Поліпшення продуктивності та швидкості передачі даних також відіграє ключову роль у розвитку технології Інтернету речей (IoT). Завдяки Wi-Fi мережам, пристрої IoT можуть передавати дані без проводового підключення, що забезпечує більш гнучку та просту інтеграцію існуючих систем. Завдяки стандартам Wi-Fi 6 пристрої IoT зможуть передавати більше даних і забезпечувати більш надійне з'єднання.

Важливо, що розвиток безпроводових мереж не обмежується лише Wi-Fi технологією. В даний час активно йде робота над розвитком мереж стандарту 5G, який надасть ще більшу швидкість передачі даних і більш надійне з'єднання. Однак, Wi-Fi мережі та 5G можуть співіснувати та доповнювати один одного, забезпечуючи користувачу найкращий досвід мережного підключення.

Таким чином, покращення продуктивності та швидкості передачі даних є актуальною темою, яка знаходиться в центрі уваги розробників безпроводових мереж. Підвищення пропускної спроможності та надійності мережі дозволяє використовувати мережі Wi-Fi з ширшим спектром завдань та додатків, забезпечуючи ефективну передачу даних у сучасному світі.

1. THEORETICAL PART

This section explores the theoretical aspects of wireless cognitive radio networks.

1.1. History of Wireless Network Technologies

The first wireless transmission technologies appeared in prehistoric times. Smoke, light, and fire signals, mirrors, gunshots, and flags were all used long before the invention of the telegraph and telephone.

In the 1880s, Heinrich Rudolf Hertz experimentally proved the existence of electromagnetic waves in free space and made the first well-documented wave transmissions. His research on radio waves was continued by Oliver Lodge, Nikola Tesla, and Jagadish Chandra Bose.

In 1884, during a public demonstration at Calcutta Town Hall, Bose impressively showcased the operation of microwave radiation. Using millimeter-wave frequencies, he managed to ignite gunpowder and ring a bell remotely. Later, in his essay *Invisible Light*, Bose wrote: “Invisible light can easily pass through brick walls, buildings, etc. Therefore, it can be used for wireless communication.”

Similar experiments were conducted by Alexander Popov and Guglielmo Marconi. The latter managed to produce the first commercially viable device for wireless telegraphy.

In 1903, Nikola Tesla patented a system in which the transmitter and receiver synchronously switched between two channels. Thus, Tesla became the author of the first known method of frequency hopping to combat interference. This innovation found practical use in 1915, when the German military began using frequency-hopping radios to avoid British eavesdropping.

As early as the beginning of the 20th century, Tesla envisioned the development of technology that would lead to wireless internet. He proposed the concept of the so-called "World Wireless System" — a system for global telecommunications and wireless energy transmission.

In 1968, scientists at the University of Hawaii began working on the project *THE ALOHA SYSTEM*. Its main goal was to test the feasibility of using radio communication instead of wired connections to link computers into a network.

The project was implemented on the Hawaiian Islands — an archipelago in the central Pacific Ocean. Initially, the plan was to connect educational institutions on the islands of Kauai, Oahu, Maui, and Hawaii (yes, there is an island called Hawaii in the Hawaiian archipelago). The computing center was located at the main campus of the University of Hawaii near Honolulu. The distance from the center to other nodes reached 300 km, and laying cable was not even considered.

In the *pure Aloha* system, each terminal sent data as soon as it was available. Naturally, this approach led to collisions and frame losses. To detect collisions, the central computer would send back the received frame to the sender. If a collision was detected, the sender would wait a random period of time and resend the frame. The central computer used a broadcast antenna, while terminals used directional ones, preventing them from receiving transmissions from other senders.

Pure Aloha became operational in 1971, making it the first wireless computer network. Just a year later, the system was improved, doubling its throughput.

Slotted Aloha

Transmission in the slotted system was organized around time slots. Each terminal was allocated a time slot (equal to the duration of one frame) for sending data. Synchronization was achieved through a special sync signal at the beginning of each interval.

The technology was not commercialized and became public domain. In 1973, Aloha was connected via satellite to ARPAnet, and in 1976, Aloha ceased operations altogether.

In 1980, engineer Michael Marcus approached the U.S. Federal Communications Commission (FCC) with a proposal to open ISM bands for

unlicensed use. Five years later, in 1985, the FCC opened the 900 MHz, 2.4 GHz, and 5.8 GHz bands. Following this decision, many countries and regions followed suit, making commercial wireless technology development possible.

Cognitive Radio (CR)

Cognitive radio (CR) emerged from the foundation of wireless technologies and represents one of the latest long-term advancements in radio receivers and communication technologies. After the development of Software Defined Radio (SDR), which is becoming increasingly practical, CR is the next major step in creating more efficient radio communication systems.

The idea behind cognitive radio stemmed from the need for more efficient use of the radio frequency spectrum, as well as the desire to maintain the most effective form of communication under prevailing conditions. With modern processing capabilities, radios can now scan the spectrum, detect available frequencies, and choose the best communication method for the current conditions.

Cognitive radio technology can dynamically select frequency bands, modulation types, and power levels suitable for the required conditions, current environment, and geographical regulatory requirements.

The term *cognitive radio* (CR), introduced by Joseph Mitola, derives from the word *cognition*. CR identifies unused spectrum through observation and utilizes it efficiently.

Cognitive radio, including software-defined radio (SDR) as its supporting technology, has the potential to significantly improve spectral efficiency in wireless systems. It requires reconfigurable radios capable of identifying and utilizing spectrum opportunities. In addition to SDR for reconfigurability, CR also needs signal processing and machine learning procedures to implement its cognitive capabilities.

1.2. Architecture and Principles of Operation of Access Networks Based on Cognitive Radio Technologies

The architecture of a cognitive radio network is illustrated in Fig. 1.1.



Fig. 1.1. Cognitive Radio Network Architecture

Cognitive Radio Networks (CRNs) are wireless networks that can dynamically adapt to the spectral environment and user demands by utilizing unused frequency bands. CRNs consist of two types of nodes: Primary Users (PUs) and Secondary Users (SUs). PUs are licensed to use specific frequency bands, whereas SUs are unlicensed and may opportunistically access spectrum “holes” left unused by PUs. However, SUs must avoid causing interference to PUs and must vacate the channel once a PU resumes transmission. Therefore, channel selection is a critical challenge for SUs to ensure efficient and reliable communication in CRNs.

Channel selection algorithms aim to identify the optimal channel for SU access among available spectrum opportunities. The optimal channel is typically the one that maximizes SU performance (e.g., throughput, latency, or energy efficiency) while minimizing interference to PUs. These algorithms are generally categorized into centralized and distributed types. Centralized algorithms rely on a central

controller or a shared database to gather and process spectrum information and allocate channels to SUs. Distributed algorithms enable SUs to make local decisions based on their own observations and interactions with other SUs.

Several factors influence the design and performance of channel selection algorithms:

1. **Spectrum Sensing Model:** How SUs detect the presence or absence of PUs on each channel. Sensing can be done individually by each SU or cooperatively by multiple SUs. Sensing may be imperfect, resulting in false alarms or missed detections.
2. **Channel Heterogeneity:** The extent to which channels differ in bandwidth, transmission power, noise levels, fading, and PU activity. Channel heterogeneity may lead to trade-offs and challenges for SUs in balancing quality and availability.
3. **Network Topology:** How SUs are connected and communicate with each other. Network topology impacts information exchange and coordination among SUs, as well as potential interference and conflicts with PUs.
4. **Channel Switching Model:** How SUs switch from one channel to another. Switching may cause delays and overhead, reducing effective transmission time and degrading SU performance.
5. **Optimization Objective:** What the SUs aim to achieve through channel selection. Different goals may lead to different selection strategies and criteria. For instance, some SUs may aim to maximize throughput, while others may prioritize minimizing energy consumption or delay.

To illustrate the concept of channel selection, consider a simple example. Suppose there are three channels, each with a bandwidth of 1 MHz. Channel 1 is occupied by a high-priority PU, Channel 2 by a low-priority PU, and Channel 3 is free. Two SUs, A and B, wish to access the spectrum. SU A has a data rate of 2

Mbps, and SU B has a rate of 1 Mbps. Both have a transmission power of 1 W and a maximum allowable interference level of 0.1 W. How should they select channels?

One possible solution is for SU A to select Channel 3 and SU B to select Channel 2. This allows both SUs to meet their data rate requirements without interfering with the high-priority PU on Channel 1. However, this might be suboptimal, as SU B could cause interference to the low-priority PU on Channel 2. Another solution is for both SUs to select Channel 3 and share the bandwidth equally. This would still satisfy their data rate needs while avoiding interference with any PU, and would result in better spectrum utilization on Channel 3.

1.3. Advantages and Disadvantages of Cognitive Radio Technologies

Proven advantages of cognitive radio systems include their unique approach to spectrum allocation challenges. The absence of the need for spectrum licensing and authorization procedures makes cognitive radio systems a promising wireless technology, especially for covering large areas, such as rural or hard-to-reach regions, and in active combat zones.

However, cognitive radio technology also has its drawbacks. Deployment of networks based on the IEEE 802.22 standard (cognitive radio) requires new engineering and regulatory solutions.

Key challenges include the limited current production of appropriate equipment and the need to adapt existing communication networks to support cognitive radio systems. Current trends suggest that widespread adoption of cognitive radio systems is unlikely within the next 10–15 years.

Moreover, the application of cognitive radio devices and the cost-effectiveness of such technologies depend on the availability of frequency resources. The size and quantity of so-called “white spaces” determine the coverage area and capacity of cognitive radio devices. Therefore, planning future projects involving cognitive radio systems requires evaluating the availability of frequency resources in the target area.

1.4. Comparison of Cognitive Radio Technologies with Other Access Network Technologies

One of the first practical implementations that fully utilizes cognitive radio technologies is the IEEE 802.22 standard (WRAN), as it enables unlicensed use of the full frequency spectrum. The standard was designed for rural and remote areas where population density is low but the need for broadband wireless access is high.

The increased coverage range is achieved by operating in lower frequency bands compared to technologies like WiMAX and LTE. The coverage radius is a variable value, depending on the modulation and coding schemes used. The maximum range of WRAN under ideal conditions is 100 km, with the most common practical range being between 10 and 30 km.

Cost of Cognitive Radio Devices

As one of the most advanced wireless access technologies, cognitive radio devices are relatively expensive (compared to devices for other wireless networks). This high cost is due to low current production volumes and the need to adapt existing networks to support cognitive radio. Consequently, widespread deployment of such systems is not expected in the near term (10–15 years).

Areas of Application

Cognitive radio is primarily used in military zones where high reliability and communication efficiency are critical.

Additionally, the effectiveness and feasibility of deploying cognitive radio devices depend on the available frequency spectrum. The number and size of available “white spaces” determine the service area and data capacity. Therefore, any future projects involving cognitive radio technologies must include a thorough assessment of the local frequency resource availability.

1.5. Summary of Chapter 1

This chapter covered the theoretical aspects related to access networks based

on cognitive radio technologies. The architecture of such networks was also discussed.

The advantages and disadvantages of cognitive radio networks were presented, along with a comparison to other technologies. It is important to note that cognitive radio systems do not require traditional telecom operator infrastructure. As such, their most likely application will be in local broadband access networks.

To accelerate the implementation and adoption of cognitive radio systems, it is necessary to develop clear technical and operational requirements, establish a geolocation database, and regulate spectrum usage policies, taking into account the practical experiences of deploying such systems.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСИЛАНЬ

1. ITU-T, FG NET-2030 Technical Report on Network 2030. Additional Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030 (June 2020).
2. T. Nakamura, 5G evolution and 6G. in International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT) (2020), pp. 1–1. <https://doi.org/10.1109/VLSI-DAT49148.2020.9196309>.
3. . Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027, European Technology Platform Net World 2020, Smart Networks in the context of NGI (September 2020). <https://5g-ia.eu/sns-horizon-europe/>.
4. Spectrum Sensing with Deep Learning to Identify 5G and LTE Signals. URL: <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/spectrum-sensing-with-deep-learning-to-identify-5g-and-lte-signals.html> (дата звернення 04.02.2025).
5. Syed S. N., Lazaridis P. I., Khan F. A., Ahmed Q. Z., Hafeez M. et al. Deep Neural Networks for Spectrum Sensing: A Review / IEEE Access. 2023. Vol. 11. PP. 89591–89615. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3305388 EDN: PUAYON.
6. Report ITU – R SM.2405-0 (2018), Spectrum management principles, challenges and issues related to dynamic access to frequency bands by means of radio systems employing cognitive capabilities], Geneva, 72 p.
7. Yan Zhang, Jun Zhang, Hsiao Hwa Chen. Cognitive Radio Networks: Architectures, Protocols, and Standards, Taylor & Francis, 2019.

8. Безрук В. М. (Bezruk V. M.) Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Іваненко С. А. (Ivanenko S. A.) Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків. Виявлення невідомих сигналів у когнітивних радіомережах. журнал «Зв'язок», № 1, 2020.
9. Бойко Ю.М. Програмно-конфігуровані системи передавання, приймання та обробки інформації: монографія. ХНУ, Хмельницький, 2023. 317 с.
10. УДК 621.391. Бортник Г.Г., Кирилюк С.О. РЕАЛІЗАЦІЯ КОГНІТИВНОГО РАДІО НА ОСНОВІ VFDM З МЕРЕЖЕВИМ КОДУВАННЯМ. Вінницький національний технічний університет.
11. УДК 621.391 У.Р. Збежховська, військова частина А1789, Васильків. Системи когнітивного радіо: проблеми та перспективи розвитку. Журнал «Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України, 2019, № 1(34).
12. Лисечко В.П. Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій. Національний авіаційний університет, 2023. Київ, 350 с.
13. Кирик М.І. Модель оцінки ефективності методів спектральної мобільності для когнітивних радіомереж / Кирик М.І., Янишин В.Б., Піцик М.В. // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного Університету «Львівська політехніка». – Львів, 2016. – №849. – С. 194-202.

ДОДАТКИ

Додаток А

ОСНОВНІ СТАНДАРТИ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ

Існує кілька різновидів WLAN-мереж, які відрізняються схемою організації сигналу, швидкостями передачі даних, радіусом охоплення мережі, а також характеристиками радіопередавачів та приймальних пристроїв. Найбільшого поширення набули безпроводової мережі стандарту IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac та інші. Першими у 1999 р. були затверджені специфікації 802.11a та 802.11b, проте найбільшого поширення набули пристрої, виконані за стандартом 802.11b [13, с. 8-10].

Стандарт Wi-Fi 802.11b

Стандарт 802.11b заснований на методі широкосмугової модуляції із прямим розширенням спектру (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS). Весь робочий діапазон ділиться на 14 каналів, рознесених на 25 МГц, щоб виключити взаємних перешкод. Дані передаються одним із цих каналів без перемикання інші. Можливе одночасне використання лише 3 каналів. Швидкість передачі може автоматично змінюватися залежно від рівня перешкод і відстані між передавачем і приймачем.

Стандарт IEEE 802.11b реалізує максимальну теоретичну швидкість передачі 11 Мбіт/с, що можна порівняти з кабельною мережею 10 BaseT Ethernet. Слід враховувати, що така швидкість можлива під час передачі даних одним WLAN-пристроєм. Якщо в середовищі одночасно функціонує більше абонентських станцій, то смуга пропускання розподіляється між усіма і швидкість передачі даних на одного користувача падає.

Стандарт Wi-Fi 802.11a

Стандарт 802.11a був прийнятий у 1999 році, проте знайшов своє застосування

лише з 2001 року. Цей стандарт використовується в основному в США та Японії. В Україні та Європі він не набув широкого поширення.

У стандарті 802.11a застосовується схема модуляції сигналу - мультиплексування з поділом по ортогональних частот (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Основний потік даних поділяється на кілька паралельних субпотоків з відносно низькою швидкістю передачі, і потім їх модуляції застосовується відповідне число несучих. Стандартом визначено три обов'язкові швидкості передачі даних (6, 12 та 24 Мбіт/с) та п'ять додаткових (9, 18, 24, 48 та 54 Мбіт/с). Також є можливість одночасного використання двох каналів, що підвищує швидкість передачі в 2 рази [14, с. 17-19].

Стандарт Wi-Fi 802.11g

Стандарт 802.11g остаточно було затверджено у червні 2003р. Він є подальшим удосконаленням специфікації IEEE 802.11b та реалізує передачу даних у тому ж частотному діапазоні. Головною перевагою цього стандарту є підвищена пропускна здатність - швидкість передачі в радіоканалі досягає 54 Мбіт/с проти 11 Мбіт/с у 802.11b. Як і IEEE 802.11b, нова специфікація функціонує в діапазоні 2,4 ГГц, однак для підвищення швидкості використовується та ж схема модуляції сигналу, що і в 802.11a - частотне ортогональне мультиплексування (OFDM).

Стандарт 802.11g сумісний із 802.11b. Так, адаптери 802.11b можуть працювати в мережах 802.11g (але при цьому не швидше 11 Мбіт/с), а адаптери 802.11g можуть знижувати швидкість передачі даних до 11 Мбіт/с для роботи в старих мережах 802.11b.

Стандарт Wi-Fi 802.11n

Стандарт 802.11n був ратифікований 11 вересня 2009 року. Він збільшує швидкість передачі даних практично в 4 рази в порівнянні з пристроями

стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Максимальна теоретична швидкість передачі становить 600 Мбіт/с, застосовуючи передачу даних відразу з чотирьох антен. За однією антеною – до 150 Мбіт/с.

Пристрої 802.11n функціонують у частотних діапазонах 2,4 – 2,5 чи 5,0 ГГц.

В основі стандарту IEEE 802.11n лежить технологія OFDM-MIMO. Більшість функціонала запозичено зі стандарту 802.11a, проте стандарті IEEE 802.11n є можливість застосування як частотного діапазону, прийнятого для стандарту IEEE 802.11a, так і частотного діапазону, прийнятого для стандартів IEEE 802.11b/g. Таким чином, пристрої, що підтримують стандарт IEEE 802.11n, можуть функціонувати в частотному діапазоні 5 або 2,4 ГГц, причому конкретна реалізація залежить від країни. В Україні пристрої стандарту IEEE 802.11n підтримуватимуть частотний діапазон 2,4 ГГц.

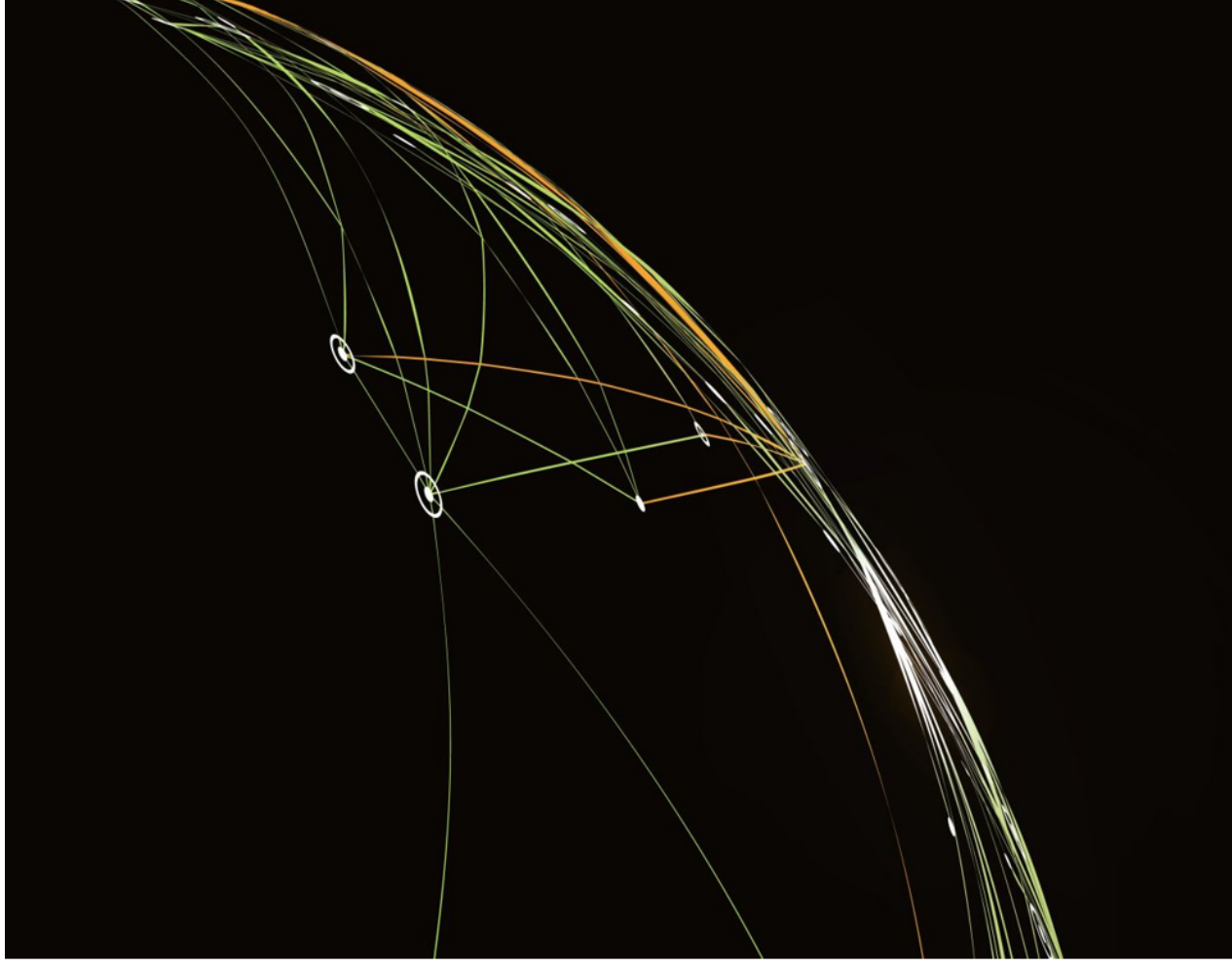
Збільшення швидкості передачі в стандарті IEEE 802.11n досягається за рахунок подвоєння ширини каналу з 20 до 40 МГц, а також внаслідок реалізації технології MIMO.

Стандарт Wi-Fi 802.11ac

Стандарт 802.11ac є подальшим розвитком технологій, введених у стандарт 802.11n. У специфікаціях пристроїв стандарту 802.11ac віднесені до класу VHT (Very High Throughput) – з дуже високою пропускнуою здатністю. Мережі стандарту 802.11ac працюють виключно в діапазоні 5 ГГц. Смуга радіоканалу може становити 20, 40, 80 та 160 МГц. Можливе також об'єднання двох радіоканалів 80+80 МГц.

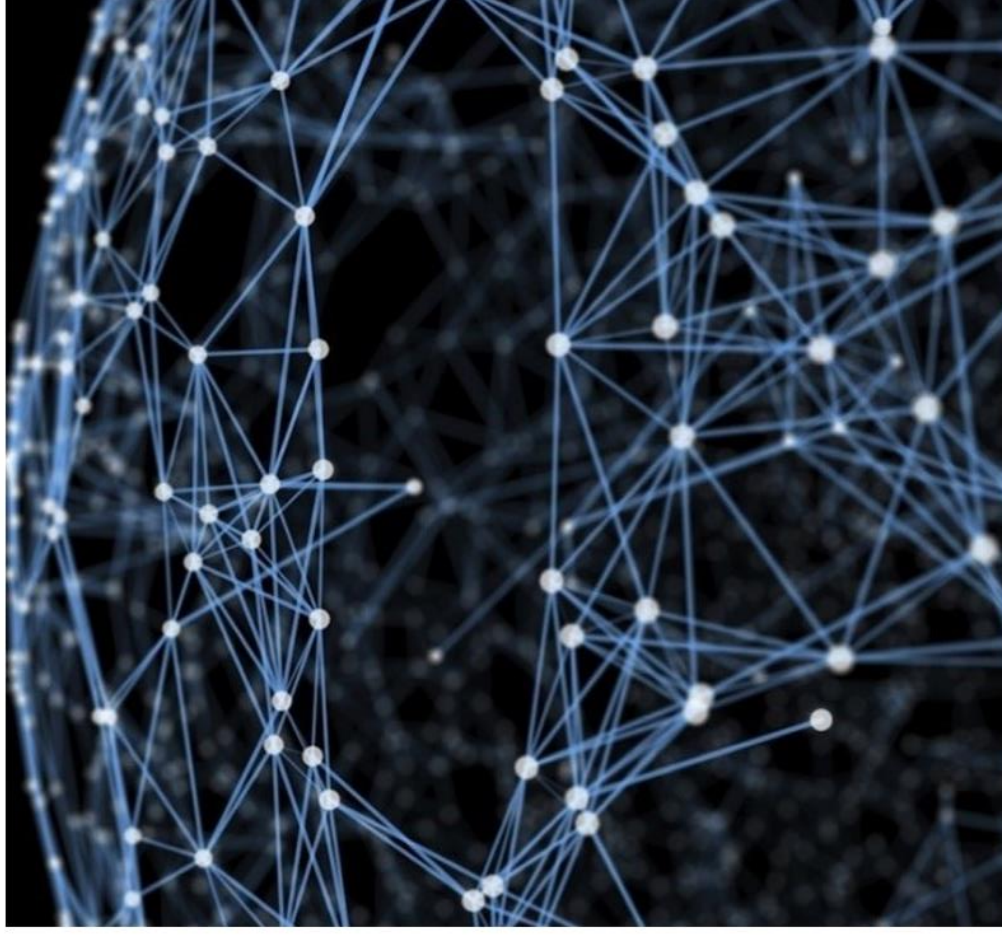
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Проектування мережі доступу на основі
технології когнітивного радіо



РЕФЕРАТ

- Метою даної дипломної роботи є створення мережі доступу на основі технології когнітивного доступу. Під час створення цієї мережі використані теоретичні засади та практичні методи проектування та розвертання таких мереж.
- В роботі передбачається тестування створеної мережі та подальше практичне використання. Під час тестування мережі було виявлено позитивні та негативні характеристики подібних мереж, а також визначені напрямки їх використання.

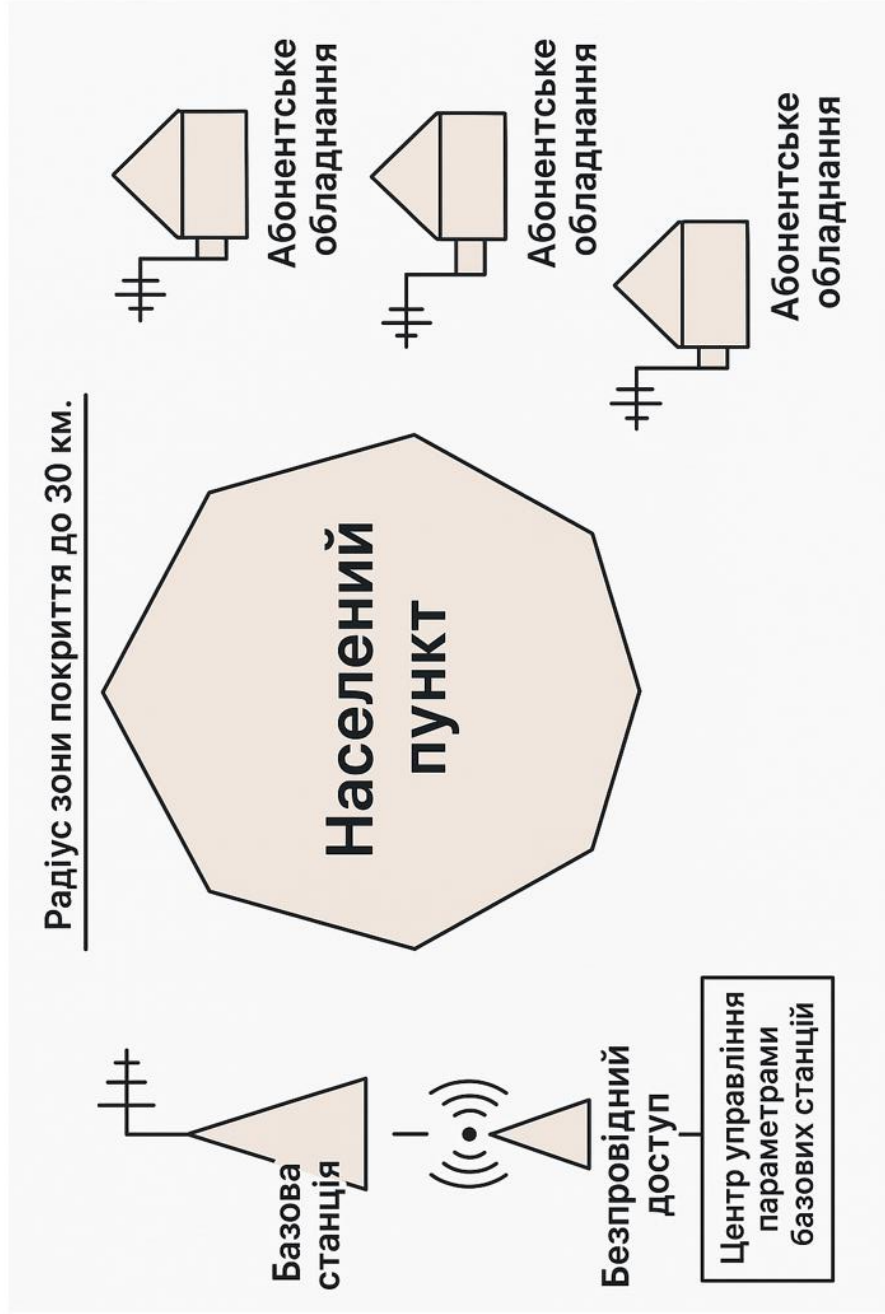


МЕТА РОБОТИ

- Полягає в проектуванні, розробці та практичному впровадженні бездротових мереж доступу на основі технології когнітивного радіо.



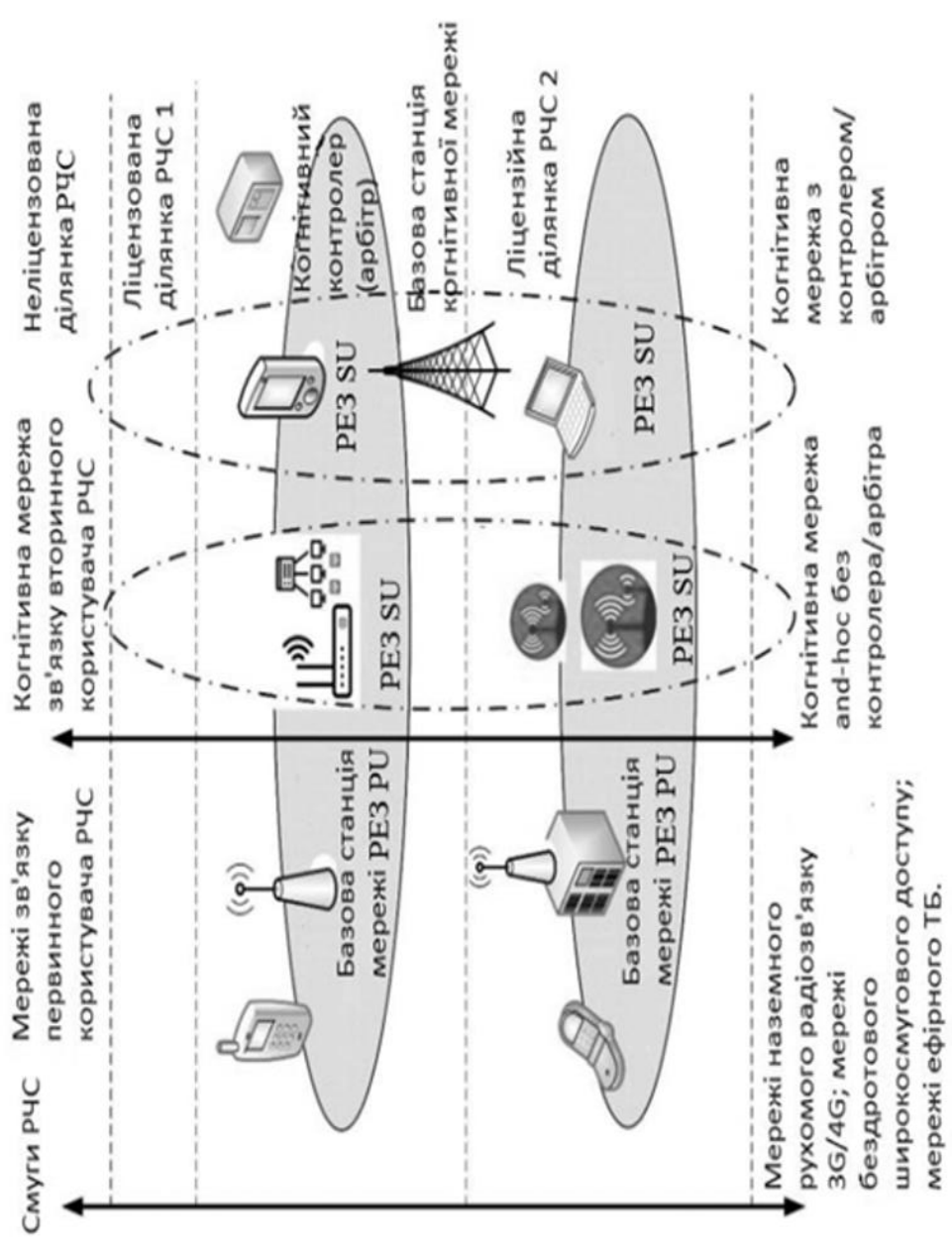
АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ КОГНІТИВНОГО РАДІО



ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО

- Переваги когнітивного радіо:
 - Ефективне використання спектру
 - Зменшення затримок
 - Підвищення надійності
 - Адаптивність:
 - Недоліки когнітивного радіо
 - Складність реалізації
 - Регулювання
 - Взаємодія з іншими системами
 - Безпека
-

СТРУКТУРА МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНОГО РАДІО



ВИСНОВКИ

01

В процесі виконання роботи були виконані задачі, які сформульовані на початку роботи.

02

Наукова цінність роботи полягає в тому, що були запропоновані нові методи, які дозволяють пришвидшити та полегшити проектування та розвертання мереж доступу на основі технологій когнітивного радіо.

03

Ці методи дозволяють підвищити надійність мереж Wi-Fi, підвищити ступінь безпеки та підняти швидкість передачі даних.