ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи забезпечення ефективності безпроводових локальних мережах»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

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

(підпис) Андрій ТРЕНБА (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Андрій ТРЕНБА

Керівник: Андрій ЛЕМЕШКО

Рецензент: О.Варфоломєєва

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Тренбі Андрію Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи забезпечення ефективності безпроводових локальних мережах»,
керівник кваліфікаційної роботи Андрій ЛЕМЕШКО, PhD,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
1. Безпроводові мережі.
2. Якість обслуговування.
3. Науково-технічна література.

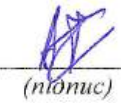
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Аналіз проблем і рішень щодо забезпечення якості обслуговування в БТМ;
2. Методи по забезпеченню QoS в БТМ на основі механізмів пріоритетності для забезпечення мінімізації затримки;
3. Імітаційне моделювання методів по забезпеченню якості обслуговування в БТМ.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Аналіз проблем і рішень щодо забезпечення якості обслуговування в БТМ	31.10.23	Викон.
3.	Методи по забезпеченню QoS в БТМ на основі механізмів пріоритетності для забезпечення мінімізації затримки	15.11.23	Викон.
4.	Імітаційне моделювання методів по забезпеченню якості обслуговування в БТМ	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти  Андрій ТРЕНБА

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи  Андрій ЛЕМЕШКО

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 80 стор., 31 рис., 9 табл., 25 дж.

Мета роботи – знаходження шляхів та способів збільшення пропускної спроможності, зменшення затримок і втрат пакетів у високощільних WLAN мережах з багатьма точками доступу за рахунок вдосконалення механізмів доступу до середовища.

Об'єкт дослідження - процес доступу до середовища в безпроводових локальних мережах.

Предмет дослідження – механізми доступу до середовища на рівні стандарту IEEE 802.11.

Короткий зміст роботи: Проведено аналіз переваг і недоліків механізмів конкуренції і опитування в IEEE 802.11. На основі цього аналізу запропоновано рекомендації у використанні і перемиканні між цими двома механізмами для підвищення здатності підтримувати якість обслуговування.

Запропоновано метод пріоритезації для забезпечення мінімізації затримки в умовах конкурентного середовища в високощільної WLAN мережі. Метод пріоритезації DCF_out значно знижує затримку доступу до середовища в порівнянні з EDCA.

Проведено імітаційне моделювання для демонстрації можливостей запропонованих методів конкуренції і опитування в області підтримки QoS. Результати показують, що механізм конкуренції більш підходить для передачі не-мультимедіа трафіку і механізм опитування підтримує QoS краще, ніж механізм конкуренції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, QUALITY OF SERVICE, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, WIRELESS LOCAL AREA NETWORK, WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK, МЕХАНІЗМ КОНКУРЕНЦІЇ І ОПИТУВАННЯ, МЕТОД ПРІОРИТЕЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 80 pages, 31 pictures, 9 table, 25 sources.

The purpose of the work - finding ways and means of increasing bandwidth, reducing delays and packet losses in high-density WLAN networks with many access points due to improving the mechanisms of access to the environment.

Object of research – the process of accessing the environment in wireless local networks.

Subject of research – mechanisms of access to the environment at the level of the IEEE 802.11 standard.

Summary of the work: An analysis of the advantages and disadvantages of the competition and polling mechanisms in IEEE 802.11 was carried out. Based on this analysis, recommendations are proposed in the use and switching between these two mechanisms to increase the ability to maintain the quality of service.

A prioritization method is proposed to ensure delay minimization in a competitive environment in a high-density WLAN network. The DCF_out prioritization method significantly reduces media access latency compared to EDCA.

Simulation modeling was carried out to demonstrate the capabilities of the proposed methods of competition and survey in the field of QoS support. The results show that the contention mechanism is more suitable for the transmission of non-multimedia traffic and the polling mechanism supports QoS better than the contention mechanism.

KEYWORDS: WIRELESS NETWORK, QUALITY OF SERVICE, WIRELESS LOCAL AREA NETWORK, WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK, COMPETITION AND SURVEY MECHANISM, PRIORITIZATION METHOD.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Тренба А.О. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи забезпечення ефективності безпроводових локальних мережах

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Тренба Андрій Олександрович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Тренби Андрія Олександровича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Андрій ЛЕМЕШКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Тренба А.О.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Тренби Андрія Олександровича

на тему: «Методи забезпечення ефективності безпроводових локальних мережах»

Актуальність:

Стрімке поширення бездротових телекомунікаційних мереж (БТМ) у сучасному світі, яке відбувається тому, що вони мають менш дорогу мережеву інфраструктуру і значно простіше та гнучке підключення – поставило на порядок денний питання суттєвого підвищення якості обслуговування (QoS). Даній проблемі присвячені широкій круг досліджень, але при всьому тому далеко не всі аспекти питання однаково результативно розглядаються. Виконані в атестаційній роботі аналіз існуючих проблем, методів забезпечення QoS та проведені спроби моделювання названих методів - є безпосереднє своєчасними. Тому тема обраних досліджень є актуальною та своєчасною.

Позитивні сторони:

Проведені дослідження свідчать про високий науково-технічний рівень використання інформаційних технологій в даному дослідженні.

Робота викладена науковою мовою, логічно й послідовно відбиває мету та поставлені в роботі завдання. Пояснювальна записка відповідає стандартам до її оформлення.

Недоліки:

1. В роботі приділена надмірна увага дослідженню роботи механізмів конкуренції і опитування.

2. Більш ціннісною була б спроба не тільки аналізувати переваги та недоліки механізмів конкуренції й опитування в забезпеченні QoS в БТМ, а і надання пропозицій щодо їх удосконалення.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Тренба Андрій Олександрович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н. доцент _____ О. Вархоменкова

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І РІШЕНЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БТМ 14
1.1. Проблеми забезпечення QoS в WLAN через вплив бездротових технологій в неліцензованому діапазоні 14
1.2. Внутрішні проблеми забезпечення QoS в IEEE 802.11 29
1.3. Аналіз продуктивності бездротової локальної мережі з багатьма точками доступу 37
2. МЕТОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ QOS В БТМ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМІВ ПРІОРИТЕТНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЗАТРИМКИ 47
2.1. Механізми доступу в бездротових локальних мережах 47
2.2. Аналіз переваг і недоліків механізмів конкуренції і опитування 53
3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БТМ 56
3.1. Імітаційне моделювання для аналізу можливості механізмів конкуренції і опитування в підтримці QoS 56
3.2. Механізм пріоритетності для забезпечення мінімізації затримки бездротової локальної мережі 61
ВИСНОВКИ 75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 77
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

QoS	англ. Quality of Service - якість обслуговування, у широкому значенні — якість послуг, які надає комунікаційна мережа
WLAN	англ. Wireless Local Area Network – вид локальної обчислюваної мережі LAN, що використовує для зв'язку та передаванні даних між вузлами СВЧ радіохвилі
OBSS	англ. overlapping Basic Service Set (also referred as Inter BSS Collision) базові системи обслуговування, що перекриваються
MAC	англ. Media Access Control – специфікація рівня
OPNET	система моделювання з використанням комп'ютерних систем
ISM	англ. industrial, scientific and medical – та частина радіочастотного спектру загального призначення, яка може бути використана без ліцензування.
U-NII	неліцензованих смуга національної інформаційної інфраструктури
WPAN	англ. Wireless Personal Area Network – бездротова персональна мережа є малопотужною PAN, котра зорганізується на невеликій відстані
AP	англ. Access Point – бездротова точка доступу
ESS	англ. Extended Service Set – розширений набір служб
IBSS	англ. Independent Basic Service Set – епізодична мережа
PHY	англ. Physical Layer – специфікація рівня
FHSS	англ. frequency-hopping spread spectrum – псевдовипадкова перебудова робочої частоти
DSSS	англ. Direct Sequence Spread Spectrum – розширення спектру методом прямій послідовності
IR	англ. infrared – інфрачервоний
OFDM	англ. Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексування з ортогональм частотним розподілом каналів

MIMO	англ. Multiple Input Multiple Output; численні входи та виходи – метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу
DCF	англ. Design rule for Camera File system – специфікація JEITA (CP-3461) з правилами проектування файлової системи
CSMA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — множинний доступ з прослуховуванням несучої та знаходження колізій – технологія (IEEE 802.3)

ВСТУП

Бездротові локальні мережі стають все більш популярними через менш дорогу мережеву інфраструктуру і значно простіше та гнучке підключення. Але, поряд з тим, значно зростають вимоги до бездротових послуг, користувачі бездротових мереж сьогодення очікують підвищення якості обслуговування (QoS Quality of Service) і продуктивності, яку можна було б порівнювати з тим, що є в фіксованих мережах.

Оскільки WLAN працює в неліцензованому діапазоні, в основному, існують дві основні QoS проблеми в бездротових мережах на основі IEEE 802.11:

- Проблеми забезпечення QoS в межах WLAN мережі, їх розв'язування сьогодні суттєво залежатиме від впливів бездротових технологій в неліцензованому діапазоні, таких як Bluetooth, Zigbee [1].

- Внутрішні проблеми забезпечення QoS в IEEE 802.11.

Проблема підтримки QoS для WLAN, загострюється особливо тоді, коли потрібно розв'язувати колізії, що виникають у процесах взаємодії пристроїв WLAN мереж між собою, або компонентів в середині WLAN мережі. Особливе місце займають питання щодо якісної підтримки мультимедійних додатків та інших додатків в режимі реального часу.

Реальністю сьогоденного мережевого простору є той факту що поряд зі значним зростанням як кількості кінцевих станцій так і чисельності точок доступу. При цьому, суттєво зростає щільність мереж WLAN, які все частіше розгортаються у безпосередній близькості одна від одної. Це створює ситуацію коли одночасно здійснюються спроби здійснити операції доставки все більшої кількості даних по різним напрямам у «тісному» спільному радіо просторі. В таких умовах виникнення колізій стає практично неминулою. Тому WLAN починають зазнавати перевантаженості і в виникнення ефектів інтерференції між собою [2].

Незважаючи на широкий спектр наукових робіт (різноманітність аналітичних моделей і підходів, натурних експериментів), можливість підтримки

достойного QoS для таких WLANs мереж як і раніше обмежена, так як більшість досліджень, як правило, зосереджено на WLAN мережі з однією точкою доступу. Відсутність достатньо надійних механізмів для уникнення інтерференції і забезпечення достатнього рівня QoS мереж WLAN з різним типом трафіку, поставило на порядок денний питання про необхідність створення механізмів або методів, а також високоефективних пристроїв, що дозволяли би ефективно працювати високо щільним мережам WLAN й обумовлює актуальність теми даного дослідження.

На даний момент в області дослідження QoS в WLAN мережі існує ряд дослідницьких робіт, які можна умовно розділити на два напрямки.

Перший напрямок розглядає питання забезпечення якості обслуговування, що є наслідком розподілу WLAN-пристроїв. Наприклад, проблема прихованого вузла, проблема незахищеного вузла, перекриваються базові набори послуг (OBSS Overlapping Basic Service Set), серйозні наслідки інтерференції, такі як відкидання зв'язку, ефект взаємного блокування і ефект посилення інтерференції.

Другий напрямок досліджень стосується забезпечення QoS в WLAN для різних типів трафіку, таких як мультимедіа, трафік зі змінною бітової швидкістю і трафік в режимі реального часу.

Незважаючи на те, що в цілому зазначена область досліджується досить активно, ряд питань все ще залишається відкритим. До того ж необхідно відзначити об'єктивно малу кількість робіт, присвячених механізмам забезпечення QoS для високощільної WLAN. Крім того, в даний час залишається актуальною задача створення механізмів для одночасного уникнення інтерференції в високощільної WLAN і підтримки строгих вимог до якості передачі мультимедіа трафіку зі змінною бітовою швидкістю і трафіку в режимі реального часу [3 - 5].

Мета роботи і завдання дослідження. Метою даної магістерської роботи є знаходження шляхів та способів збільшення пропускної спроможності, зменшення затримок і втрат пакетів у високощільних WLAN мережах з багатьма точками доступу за рахунок вдосконалення механізмів доступу до середовища.

Об'єктом дослідження є процес доступу до середовища в безпроводових локальних мережах.

Предмет дослідження - механізми доступу до середовища на рівні стандарту IEEE 802.11.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувалися методи теорії ймовірностей і методи математичного аналізу. Кількісний та якісний аналіз. Метод системного аналізу. Для чисельної оцінки ефективності запропонованих механізмів використовувалося високорівневе імітаційне моделювання в симуляторі OPNET. Для візуалізації отриманих результатів застосовувалися програмне забезпечення Microsoft Excel, Mathcad і Microsoft Visio.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І РІШЕНЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БТМ

1.1. Проблеми забезпечення QoS в WLAN через вплив бездротових технологій в неліцензованому діапазоні

Бездротові локальні мережі (WLAN Wireless Local Area Networks) стають все більш популярними в домогосподарствах, бізнесі, промисловості та громадських місцях через менш дорогої мережевої інфраструктури, і гнучкості підключення. В даний час існує велика потреба в WLAN для підтримки мультимедійних додатків і додатків в режимі реального часу. З ростом вимог бездротових послуг користувачі бездротових мереж чекають висока якість обслуговування (QoS Quality of Service) і продуктивність, яку можна порівняти з доступною в фіксованих мережах. Забезпечення вимог QoS, таких як хороша пропускна здатність, мінімальна затримка доступу і втрати пакетів є складними завданнями щодо IEEE 802.11 WLAN протоколом. Оскільки WLAN працює в неліцензованому діапазоні, в основному, існують дві основні QoS проблеми в бездротових мережах на основі IEEE 802.11:

-Проблеми забезпечення QoS в WLAN мережі через вплив різних бездротових технологій в неліцензованому діапазоні.

-Внутрішні проблеми забезпечення QoS в IEEE 802.11.

В цьому розділі проведено аналіз можливості забезпечення QoS для WLAN мереж з точки зору цих згаданих вище проблем.

Існує велика кількість неліцензованих бездротових мереж, які працюють в загальних частотних діапазонах. Багато з цих мереж реалізовані в портативних і наручних пристроях. Такі неліцензовані бездротові мережі можуть працювати в одному і тому ж діапазоні частот або навіть на одному каналі всередині діапазону. Це ставить питання про можливість співіснувати цим мереж в безпосередній близькості. У цьому розділі описується проблема співіснування, яка впливає на підтримку QoS в WLAN мережах [6, 15, 17].

Бездротові технології в неліцензованому діапазоні

Промислові, наукові і медичні (ISM Industrial, Scientific and Medical) радіодіапазоні є радіодіапазоні (частини радіочастотного спектру), зарезервовані на міжнародному рівні для використання в промислових, наукових і медичних цілях відповідно. Приклади додатків в цих діапазонах включають в себе радіочастотне технологічне опалення, мікрохвильові печі і медичні діатермічні машини. Потужні викиди цих пристроїв можуть створювати електромагнітні завади і переривати радіозв'язок з використанням тієї ж частоти. Загалом, користувачі не мають нормативної захисту від роботи ISM-пристрої. Ці смуги: 902-928 МГц, 2400-2483,5 МГц і 5725-5850 МГц (рис. 1.1) (де U-NII неліцензованих смуга національної інформаційної інфраструктури).

Найбільш помітним є ISM-смуга 2,4 ГГц. Дійсно, ISM-смуга 2,4 ГГц це смуга частот, що використовується багатьма пристроями в даний час, включаючи IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.15.4 Zigbee.

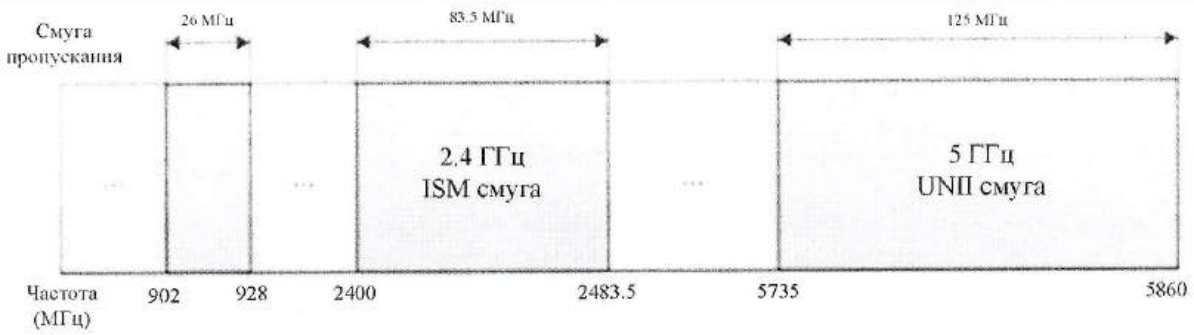


Рис. 1.1. ISM-смуга

Низька вартість і відкрите використання ISM-діапазону неминуче призводить до серйозних інтерференції між різними продуктами, інтегрованими з різними технологіями з використанням тієї ж смуги частот. Коротко розглянемо деякі популярні бездротові технології, що працюють в неліцензованому діапазоні. Дослідження цих бездротових технологій є необхідною, так як взаємодія між ними впливає на підтримку якості обслуговування в WLAN.

Bluetooth

Bluetooth, також відомий як стандарт IEEE 802.15.1, заснований на бездротовій радіосистеми, призначеної для близької дії і дешевих пристроїв. Цей діапазон додатків відомий як бездротова персональна мережа (WPAN Wireless Personal Area Network). Bluetooth дозволяє здійснювати передачу голосу і даних по радіоканалу на невеликі відстані (10-100м) і з'єднувати пристрої при відсутності прямої видимості. У Bluetooth визначені дві топології підключення: пікомережа (piconet) і розподілена мережа (scatternet) [9, 10].

Пікомережа є WPAN, утворену Bluetooth-улаштування, службовцям майстром (master), і одним або декількома Bluetooth-улаштування, службовцями як підлеглих (slave) [11]. Підлеглі пристрої повідомляються тільки з їх майстром в режимі «точка-точка» під контролем майстра. Передача майстра здійснюється або як точка-точка, або як точка-багатоточка. Крім того, в активному режимі підлеглий пристрій може перебувати в режимі очікування, щоб зменшити споживання енергії.

Scatternet являє собою набір операційних Bluetooth-пікосетей, перекриваються в часі і просторі. Дві пікомережі можуть бути підключені, щоб сформувати scatternet. Bluetooth-пристрій може одночасно брати участь в декількох пікомережі, що дозволяє забезпечити можливість передачі інформації за межі зони покриття однієї пікомережі. Пристрій в scatternet може бути підлеглим у кількох пікомережі, але майстер тільки в одному з них.

Bluetooth працює на частотах від 2402 до 2480 МГц, або 2400 і 2483,5 МГц, включаючи захисні смуги шириною 2 МГц в нижній частині і 3,5 МГц у верхній частини. Bluetooth використовує радіотехнологію, звану частотним стрибкоподібним спектром. Bluetooth передає кожен пакет по одному з 79 призначених каналів. Кожен канал має смугу пропускання 1 МГц. Він зазвичай виконує 800 стрибків в секунду з включеною адаптивної стрибкоподібної перебудови частоти.

ZigBee

Zigbee є специфікацію на основі IEEE 802.15.4 для набору високорівневих протоколів зв'язку, що використовуються для створення персональних мереж з

пристроями невеликої потужності, призначені для невеликих проектів, які потребують бездротове з'єднання, мале енергоспоживання апаратної частини і низька швидкість передачі даних. Низький рівень споживання енергії обмежує дальність передачі до 10-100 метрів прямої видимості в залежності від потужності і характеристик навколишнього середовища. Пристрої Zigbee можуть передавати дані на великі відстані, використовуючи порожнисту мережу (mesh network) проміжних пристроїв, щоб досягти більш віддалених. Zigbee підтримує швидкість 250 кбіт / с і найкраще підходить для переривчастої передачі даних від датчика.

Мережевий рівень Zigbee підтримує як звездообразную архітектуру мережі, так і деревоподібну, а також загальну порожнисту мережу [1]. Пристрої Zigbee поділяють на три види: Zigbee Coordinator (ZC), Zigbee Router (ZR), Zigbee End Device (ZED).

Zigbee працює на 26 каналах, в тому числі 1 10 канали працюють в ISM діапазоні 915 МГц, канали 11 26 в ISM-діапазоні 2,4 ГГц, які мають рознесення 5 МГц і смугу пропускання 2 МГц для кожного каналу.

Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) це технологія бездротового локальної мережі з пристроями, заснованими на стандартах IEEE 802.11. Wi-Fi є торговою маркою Wi-Fi Союзу. Wi-Fi пристрої можуть підключатися до інтернету через WLAN і бездротову точку доступу (AP Access Point). Слід зазначити, що в даній роботі терміни Wi-Fi, WLAN або IEEE 802.11 використовується з тим же значенням. У стандарті IEEE 802.11 передбачено два типи базових мережевих конфігурацій:

-Режим інфраструктури (infrastructure mode), який часто називають «клієнт / сервер». Станції взаємодіють один з одним через точку доступу (Access Point). Така конфігурація називається базового набору служб (BSS). Два або більше BSS, що утворюють єдину підмережу, формують розширений набір служб (ESS).

-Режим Ad-hoc, який часто називають «точка точка ». Проста мережа, в якій зв'язок між клієнтами встановлюється безпосередньо, без використання спеціальної точки доступу. Така конфігурація називається незалежного базового набору служб (IBSS).

Стандарт IEEE 802.11 визначає специфікації рівнів PHY (Physical Layer) і MAC (Media Access Control) для побудови WLAN. Базова версія стандарту була випущена в 1997 році і мала наступні поправки. У вихідному стандарті IEEE 802.11 були вказані три PHY: псевдовипадкова перебудова робочої частоти (FHSS), метод прямої послідовності для розширення спектра (DSSS) і інфрачервоний (IR Infrared). Крім того, використовуються мультиплексування з мультиплексуванням з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM), технологія MIMO і їх поправки для підвищення швидкості. На рис. 1.2 представлені поправки IEEE 802.11 PHY рівня і їх залежності.

IEEE 802.11 MAC-рівень заснований на логічних функціях, які називаються координаційними функціями: DCF на основі CSMA / CA і PCF (на основі механізму опитування. На рис. 1.3 представлені поправки IEEE 802.11 MAC-рівня.

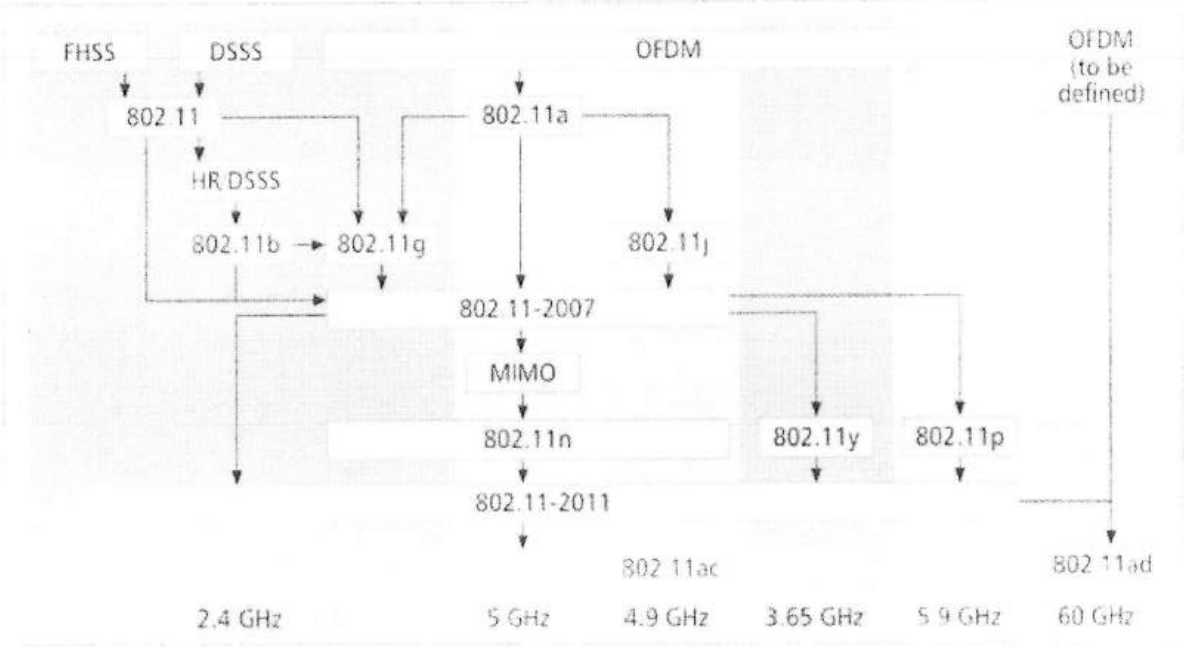


Рис. 1.2. Поправки IEEE 802.11 PHY-рівня і їх залежності

Взаємодія бездротових технологій

Оскільки будь-який пристрій може використовувати неліцензованому ISM діапазони безкоштовно, а правила, які визначаються урядами конкретних країн, формально дотримані, велика кількість продукції, що підтримує цей діапазон

частот, може привести до серйозної інтерференції і зіткнення пакетів.

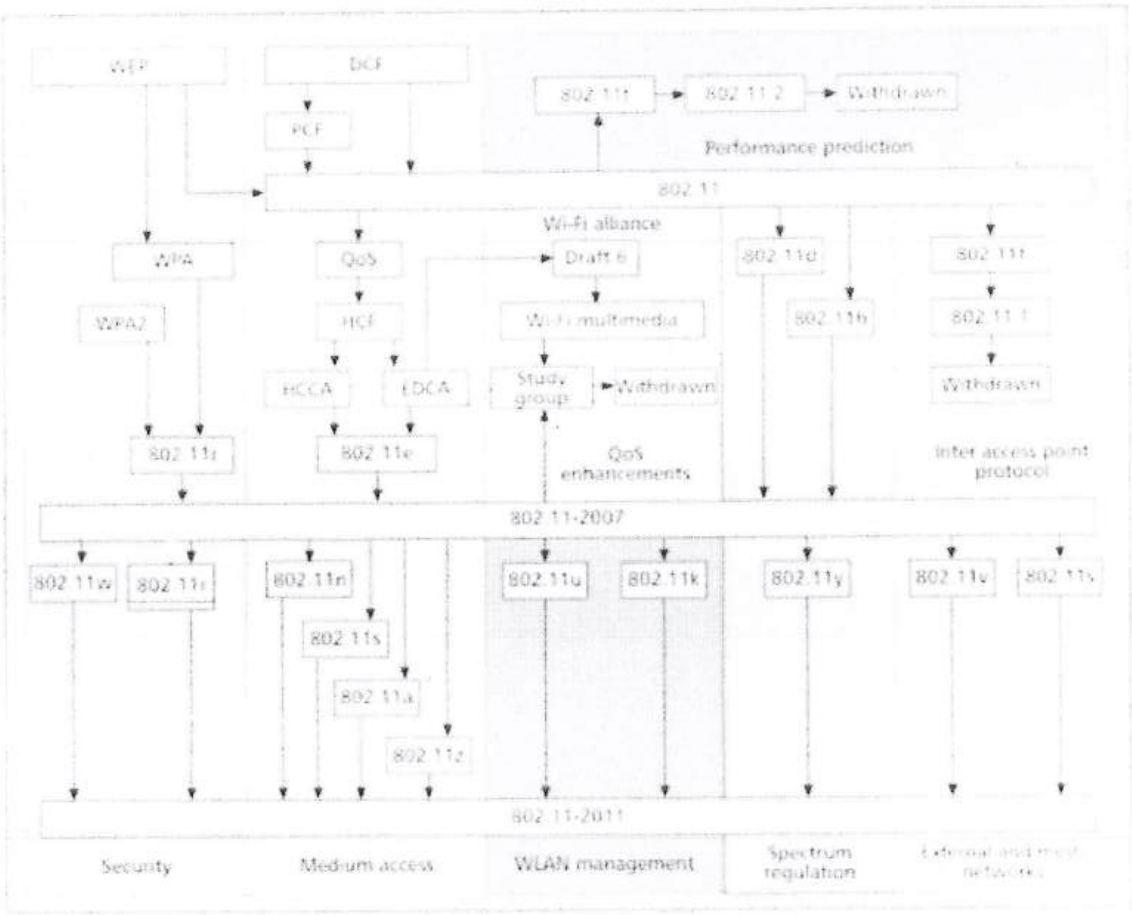


Рис. 1.3. Поправки IEEE 802.11 MAC-рівня

ISM діапазон 2,4 ГГц є одним з найбільш часто використовуваних неліцензованому діапазонів в даний час. Його використовують трьома популярних видів пристроїв: WPAN IEEE 802.15.1 Bluetooth, WLAN IEEE 802.11 і WPAN IEEE 802.15.4 Zigbee. Існують складні гетерогенні системи з різноманітними характеристиками радіопередачі, які працюють одночасно в ISM-діапазону в нескоординованою манері. Насправді таке спільне використання спектра серед різних пристроїв робить системи серйозно заважають один одному. Таким чином, неминуче з'являються серйозна інтерференція і значне погіршення продуктивності, особливо в контексті підтримки якості обслуговування (QoS). В результаті саме ці три типи пристрою є основними джерелами інтерференції.

Взагалі кажучи, зіткнення пакетів (інтерференція) відбувається, тільки коли технології використовують перекриваються частоти (канали) в перекриваються періоди часу. Ця концепція показана на рис. 1.4 (наведено приклад для WLAN IEEE 802.11 Wi-Fi і WPAN IEEE 802.15.1 Bluetooth). Bluetooth і Wi-Fi пристрої працюють в загальному діапазоні передачі. Легко бачити, зіткнення двох пакетів, а саме другий і третій WLAN-пакети, відповідні третього і сьомого пакетам Bluetooth.

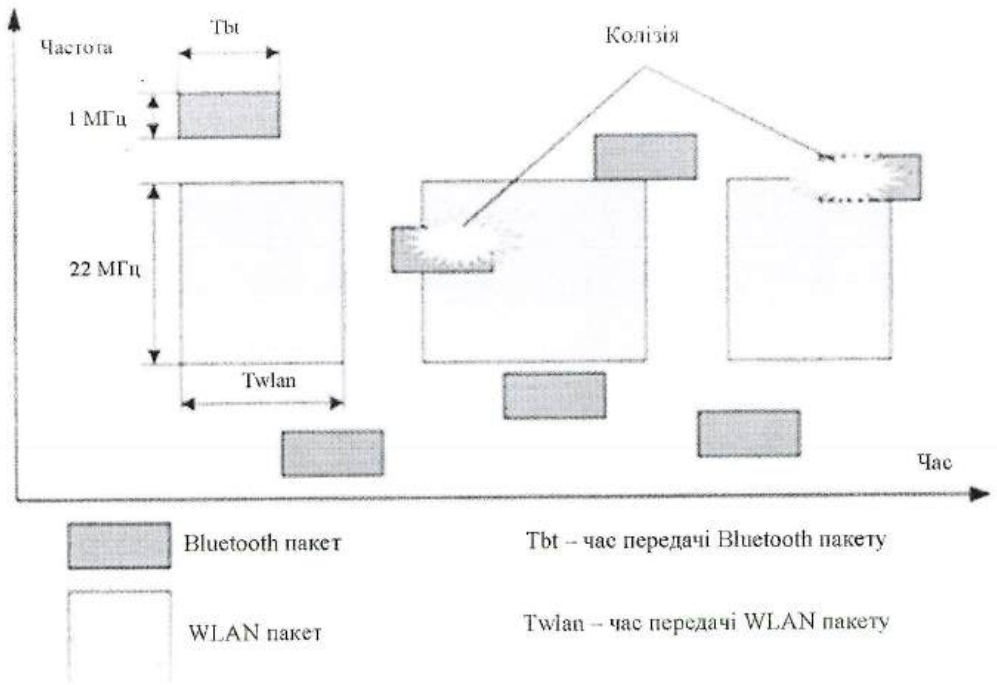


Рис. 1.4. Приклад зіткнення пакетів Wi-Fi і Bluetooth

Інший приклад: Wi-Fi і Zigbee. Wi-Fi працює в тому ж частотному діапазоні, що і ZigBee, однак Wi-Fi використовує високу потужність в порівнянні з ZigBee.

При виникненні інтерференції отримані пакети відкидаються без відновлення даних, і здійснюється повторна передача, що збільшує ймовірність породження нових зіткнень. Таким чином, явище інтерференції призводить до зменшення пропускної здатності мережі, що є одним з ключових показників QoS. Це призводить до суттєвого збільшення втрат і затримок, аж до критичних. Крім того, пристрій ZigBee очікує довше для отримання вільного середовища для

передачі з очікуваними втратами пакетів і повторної передачею, що призводить до швидкої розрядки акумулятора датчика [1, 8].

Існує багато чинників, які впливають на рівень інтерференції, а саме поділ між пристроями, кількість трафіку даних, що випливають над кожною з двох бездротових мереж, рівні потужності різних пристроїв і швидкість передачі даних по бездротовій мережі, і т.д. Крім того різні типи інформації, що відправляється через бездротові мережі мають різні рівні чутливості до інтерференції.

У неліцензованому діапазоні 2.4 ГГц можливі наступні сценарії виникнення інтерференції: Wi-Fi і Bluetooth, Wi-Fi і Zigbee, Bluetooth і Zigbee, а також власна інтерференція. Розглянемо як приклад два випадки: 1) Wi-Fi і Bluetooth; 2) Wi-Fi і Zigbee. Це обумовлено тим, що інтерференція між Bluetooth і Zigbee малозначима, так як їх потужності передачі близькі по значенням, а випадки спільної роботи на практиці зустрічаються вкрай рідко. Потужність передачі Wi-Fi набагато більше, ніж Bluetooth і Zigbee, отже, можливо значний вплив інтерференції. Впливу Bluetooth, ZigBee на Wi-Fi невеликі, тому інтерференція, викликана цими технологіями, не викликає серйозних проблем в підтримці QoS в WLAN мережі. Проблема підтримки QoS для WLAN полягає у взаємодії бездротових мереж між собою і компонентів всередині бездротової мережі [10, 21].

Рішення щодо забезпечення інтерференції і співіснування

Як описано вище, розглянемо рішення для зменшення інтерференції в випадках: 1) Wi-Fi і Bluetooth; 2) Wi-Fi і Zigbee. Ці рішення називаються механізмами співіснування. В даний час прийнято дві класифікації механізмів співіснування. Перша використовує в якості критерію спільне використання ресурсів: частоти, часу і простору. Однак ця класифікація не вказує на можливість використання механізмів співіснування для різних технологій [7]. Друга класифікація, по групі IEEE TG 2, орієнтована на взаємодію пристроїв, а механізми співіснування поділяються на два типи: спільні і несумісні механізми.

Спільні механізми вимагають безпосередньої зв'язку між технологіями сімейства IEEE 802.11 і Bluetooth / Zigbee. Співіснування здійснюється шляхом організації ортогональної передачі в домені часу. Необхідною умовою є наявність

модулів обох технологій, реалізованих на одній і тій же фізичної одиниці (наприклад, в одному призначеному для користувача пристрої). Спільні механізми поділяються на два типи: розміщення і нерозміщені. Термін «розміщення» означає, що різні модулі різних бездротових технологій знаходяться на одному фізичному пристрої. Спільні механізми співіснування особливо підходять для додатків розміщених сценаріїв, однак, їх застосування складно через низку обмежень. У більшості випадків, Bluetooth / Zigbee і WLAN розділені фізично, тому застосування таких механізмів практично неможливо в разі використання різнорідних пристроїв в одній мережі.

Несумісні механізми працюють без здійснення будь-якої безпосереднього зв'язку між WLAN і Bluetooth / Zigbee модулями. Вони домагаються співіснування шляхом проведення двох взаємопов'язаних процесів: класифікації каналів і адаптивного управління діями.

Класифікацією каналів називається процедура, яка використовується для оцінки стану каналу і виявлення інтерференції. В даний час все несумісні механізми використовують такі показники для оцінки якості каналу, як BER, FER, PLR, потужність, SNR, RSSI, LQI, ACK, beacon і т.д. Адаптивне управління дозволяє приймати рішення, грунтуючись на результатах, отриманих в процесі класифікації каналу. Адаптивне управління використовується безпосередньо для уникнення інтерференції. Об'єктом адаптивної підстроювання можуть виступати різні параметри і дії над ними: зміна частоти (каналу), регулювання потужності передачі, вибір найкращого типу / довжини пакетів, планування передачі та інше. При цьому різні механізми використовують різні адаптивні управління діями.

Несумісні механізми вільні від обмежень, властивих спільним механізмам, тому застосовні до більшої кількості сценаріїв і додатків. У табл. 1.1 і 1.2 наведено результат аналізу механізмів співіснування технології Wi-Fi з Bluetooth і Zigbee [1, 4, 19].

Можна сказати, що механізми співіснування використовуються для підвищення продуктивності системи при наявності інтерференції, а також знижують інтерференцію, викликану на інших пристроях, активно діючих в

діапазоні ISM. Однак не існує методу, який може бути використаний для всіх сценаріїв, тому можна виділити в окрему задачу розробку рекомендацій по використанню механізмів співіснування для заданого мережевого рішення. Згідно з дослідженнями були виключені з подальшого розгляду можливих методів пом'якшення збільшення або зменшення потужності передачі та фрагментація пакетів. Спільне планування WPAN і WLAN передачі може бути застосовано тільки в особливих обставинах, коли Bluetooth / Zigbee і WLAN пристрою працюють на одному і тому ж вузлі [22, 25].

Таблиця 1.1.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Bluetooth

Механізм	Тип механізму	Показник оцінки каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
AFH	несумісні	PER, PLR, BER	Bluetooth	Класифікація каналів: погані і хороші. Довільно використовує хороший канал для передачі	Обмеження пам'яті і потужності. Вимагає модифікації устаткування. Немає зворотної сумісності.
MDMS	несумісні	PER, PLR, BER	Bluetooth	Відкладати передачу якщо призначені частоти зайняті.	Зменшення пропускної здатності У носить затримку

Продовження таблиці 1.1.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Bluetooth

Механізм	Тип механізму	Показник оцінки каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
BIAS	несумісні	BER	Bluetooth	Передача виконується тільки якщо обидва пристрої майстер і підлеглий використовують хороші канали	Неефективний для нівелювання інтерференції між пікомережі Bluetooth
V-OLA	Несумісних і спільний	немає	WLAN	Відрегулювати довжину пакета WLAN	Недосконала інформація може бути отримана.
D-OLA			Bluetooth	Відрегулювати довжину пакета Bluetooth	Значна затримка в Bluetooth
Управління потужністю	несумісні	потужність	Bluetooth WLAN	Порівнювати потужність передачі зі значенням порога потужності Регулювати потужність	Гонка потужностей. Інтерференція в сусідніх системах.

Продовження таблиці 1.1.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Bluetooth

Механізм	Тип механізму	Показник оцінки каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
Адаптивний вибір типу пакета	несумісні	немає	Bluetooth	Використовувати різні типи пакетів	Довгий пакет А більш вразливий для інтерференції Короткий пакет А більше заголовків
LBT	несумісні	немає	Bluetooth	прослухати канал	Нестійкий до різких змін
AWMA	розміщений спільний	немає	Bluetooth WLAN	Передати Bluetooth пакет в період маяка	Не працює з SCO-посиланнями
PTA				Використання загального планувальника Призначати пріоритет	вносить затримку
MEHTA				Використання загального планувальника	вносить затримку

Продовження таблиці 1.1.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Bluetooth

Нуліфікація пакета	нерозміщений спільний	немає	Bluetooth	Вставити 1 МГц порожній (null) в 22 МГц 802.11 b несучої	складність реалізації

Таблиця 1.2.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Zigbee

Механізм	Тип Механізму	Показник Оцінки Каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
Техніка когнітивного радіо	несумісні	LQI, SNR, Виявлення енергії	Zigbee	Координатор «не спить" в найближчий неактивний період для оцінки каналу При інтерференції переходить на новий канал	Погіршення якості зв'язку основного користувача
ACH	несумісні	LQI, ALQI	Zigbee	Замовлення доступних каналів за допомогою індикатора якості зв'язку	Вимагає модифікації устаткування.

Продовження таблиці 1.2.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Zigbee

Механізм	Тип Механізму	Показник Оцінки Каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
Адаптивна CCA	несумісні	виявлення енергії, контроль несучої	WLAN	Адаптація порога енергії для зменшення втрати	Збільшення CCA порога може збільшити кількість зіткнень в мережі.
UWC алгоритм	спільний	ACK	WLAN Zigbee	Знаходить кращий канал Zigbee, в якому найменша інтерференція від WLAN П редотвращает WLAN від впливу на обраний канал ZigBee протягом певного періоду часу	Необхідність підтримки усіма пристроями мережі одночасно
Розподілена адаптація частоти	несумісні	Маяк (beacon)	Zigbee	Кожен вузол в режимі передачі повинен знайти ще один вільний канал Пристрої самі вибирають канали по собі при виникненні інтерференції	Проблема переходу суміжних пристроїв до нового каналу

Продовження таблиці 1.2.

Аналіз механізмів співіснування між WLAN і Zigbee

Механізм	Тип Механізму	Показник Оцінки Каналу	Технологія	Ідея	Недоліки
Послідовна передача запиту даних	несумісні	ACK, виявлення енергії	Zigbee	Сенсорний вузол приймає рішення міняти канал тільки при виявленні важкої інтерференції Зв'язок буде припинена до тих пір, поки всі вузли в мережі знову асоціюють з базовою станцією.	Неефективно для топології ad-hoc.
CSCC	спільний	немає	WLAN Zigbee	Метод CSCC вимагає від усіх користувачів періодично віщати і прослуховувати інформацію про використання спектра.	Слабкий захист від інтерференції

1.2. Внутрішні проблеми забезпечення QoS в IEEE 802.11

У попередньому розділі був проведений аналіз впливу бездротових технологій в ISM-діапазоні для підтримки QoS в WLAN мережі. Можна сказати, що WLAN сильно впливає на розглянуті бездротові технології при роботі на близькій відстані. Таким чином, проблема підтримки QoS в WLAN є внутрішньою, тобто повинні бути порушені питання взаємодії компонентів WLAN, впливу бездротових мереж між собою і можливість забезпечення різних типів трафіку в мережі. У цьому розділі розглянемо внутрішні проблеми забезпечення QoS і проаналізуємо існуючі рішення.

Проблеми в забезпеченні якості обслуговування в IEEE 802.11

В даний час Wi-Fi використовується в різних настройках: від домашньої мережі, ринку IoT і корпоративних мереж до мереж бездротової мережі в масштабі міста. В результаті розгортання WLAN стає більш високощільним. Рис. 1.5 показує прогноз зростання Wi-Fi точок доступу від 2018 р до 2023 р. Таким чином, ситуація, при якій існує багато WLAN, розгорнутих в безпосередній близькості один від одного, і всі вони одночасно намагаються доставити якомога більше даних, стає високоймовірною. Тому WLAN починають зазнавати перевантаженості і інтерференції між собою. Ця перевантаження і інтерференція істотно обмежують продуктивність співіснують бездротових локальних мереж.

В цілому розгортання Wi-Fi призводить до істотного збільшення не тільки кількості станцій, що використовують їх, але і кількості точок доступу. При цьому інтерференція між BSS є серйозною проблемою. Wi-Fi працює в неліцензованому діапазоні частот з 13 каналами, і існує кілька груп трьох непересічних каналів, наприклад, 1, 6 і 11. Цей брак частотних ресурсів призводить до виникнення ряду проблем: перекриваються базові набори (OBSS), проблема прихованого вузла (HNP), проблема незахищеного вузла (ENP), інтерференції між вузлами: AP-AP, AP-STA (STA станція), STA [10, 12]. OBSS виникає в разі, коли два або більше BSS працюють на тому ж каналі, а передачі деяких клієнтів, що належать до однієї BSS, впливають на станції (клієнтів) в інших BSS.

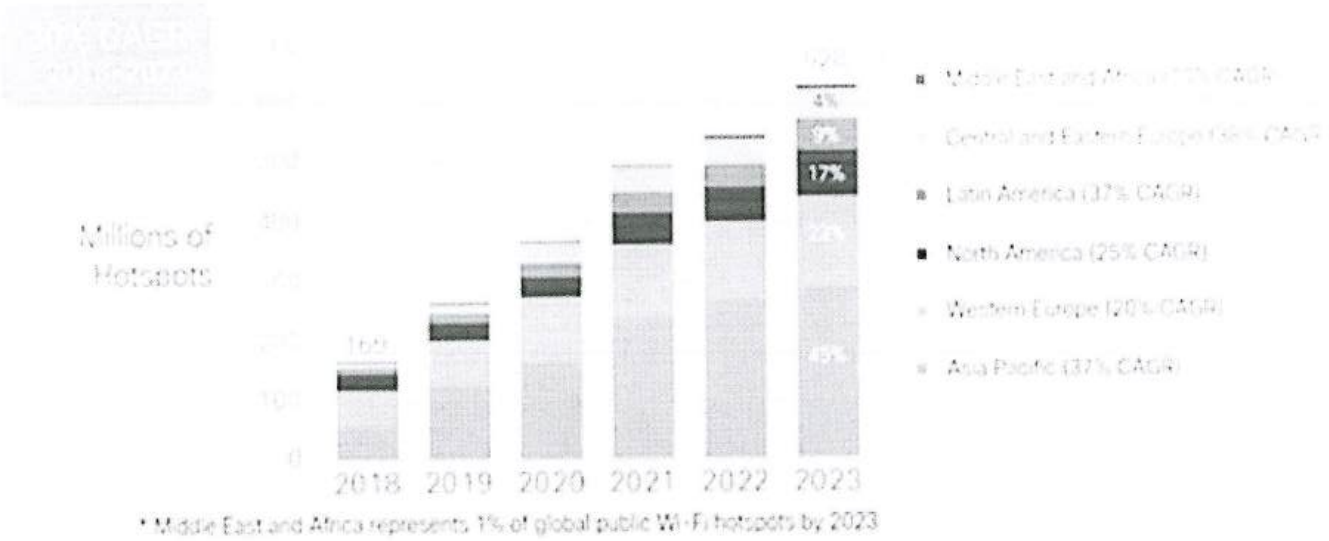


Рис. 1.5. Зростання Wi-Fi точок доступу з 2018 р по 2023 р. Джерело: Maravedis, Cisco Annual Internet Report, 2018–2023

В роботі показано, що широкий діапазон затримок і погіршення пропускної здатності спостерігаються в залежності від ступеня перекриття і кількості перекриваються BSS.

Проблема прихованого вузла породжує серйозні втрати. Як наслідок, погіршується пропускна здатність. У той же час проблема незахищеного вузла призводить до зниження продуктивності. Розрізняють 5 категорій проблем:

1. Проблема HNP в єдиному BSS: якщо STA A і STA B в одному BSS не можуть чути один одного, будь-яка з них може почати передачу навіть в той час як інша передає кадр; кадри цих станцій стикаються в AP (рис. 1.6 а).

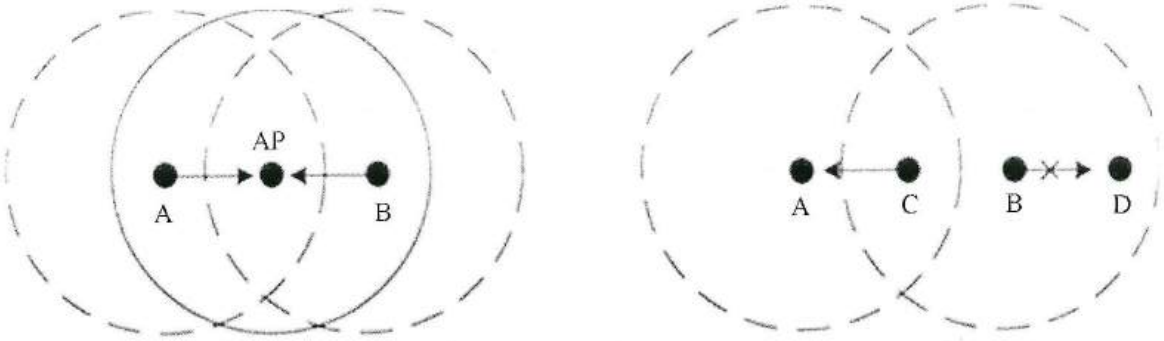
2. Проблема HNP між різними BSS: якщо STA в різних BSS не можуть чути один одного, колізії кадрів відбуватиметься в одній або обох AP в BSS.

3. Проблема HNP з накладеною потужністю: одночасна передача двох STA руйнує кадри, передані третій STA. Іншими словами, третя STA страждає від проблеми HNP через накладеної потужності інших двох STA.

4. Проблема ENP непотрібне сприйняття несучої передачі STA не дозволяє іншим STA передавати кадри і навпаки (рис. 1.6 б).

5. Проблема ENP з накладеною потужністю: коли обидві STA A і B

передають, третя STA C не може ініціювати передачу, так як сума потужності передачі STA A і STA B вводить STA C в оману, не дивлячись на відсутність зіткнень.



а) A не чує B, B не чує A
Колізія відбувається в AP

б) B та C не чують одне одного, C передає на A і B не може ініціювати передачу

Рис. 1.6. а) Проблема прихованого вузла б) Проблема незахищеного вузла

Проблеми, про які йдеться вище, породжують різні типи інтерференцій з різними наслідками, але найбільш серйозними наслідками є відкидання зв'язку, ефект взаємного блокування і ефект посилення інтерференції. Вони можуть потенційно посилитися в розгортанні спільного каналу, тим самим значно знизивши продуктивність.

На рис. 1.7 представлено відкидання зв'язку AP-AP. Передача в одному BSS зупиняє можливі передачі у інших BSS. Це призводить до зменшення утилізації посилання передачі. Наприклад, AP 2 почує передачу STA1 AP1, таким чином, AP2 не може ініціювати передачу з STA 3. Аналогічно для випадку STA-STA відкидання зв'язку. На рис. 1.8 представлено відкидання зв'язку STA-AP. Наприклад: AP1 передає пакети STA1, STA2 почує AP1, таким чином STA2 не може починати передачу з AP2.

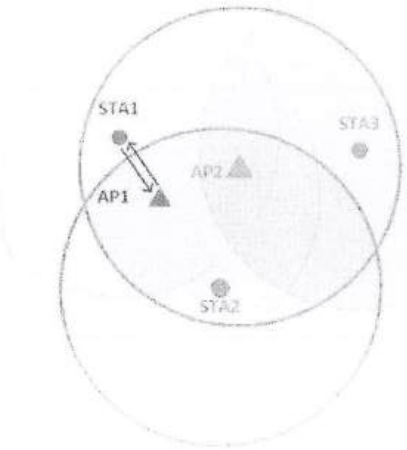


Рис. 1.7. Відмова зв'язку AP-AP

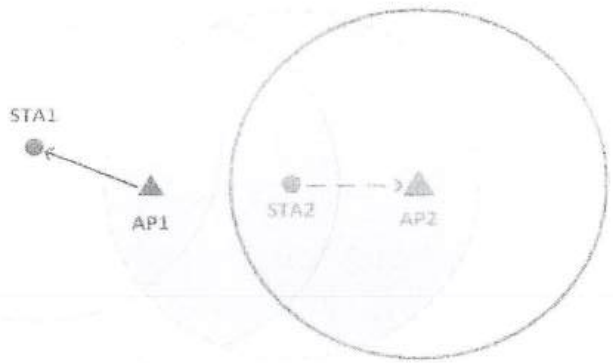


Рис. 1.8. Відмова зв'язку STA-AP

На рис. 1.9 представлений ефект взаємного блокування. Він являє собою наслідок існування проблеми прихованого вузла і виникає при використанні механізмів RTS / CTS. При виникненні цього ефекту відповідні точки доступу чекатимуть один одного, тому що вони не можуть відповісти повідомленням CTS на RTS, який раніше отримали від своїх асоційованих клієнтів. Іншими словами, обидві AP чекають один одного і не починають свої передачі через присутність прихованого вузла в кожному BSS. Обидві AP встановлюють NAV і ніхто не відповідає за своє RTS-повідомлення. Наприклад: STA 1 передає RTS на API, AP 1 тоді чекає за SIFS інтервал і AP 2 встановлює NAV. Протягом цього SIFS, STA 2 передає RTS на AP 2, проте AP 2 не зможе відповісти повідомленням CTS, і AP1 також встановлює NAV через отримання RTS від STA 2. Таким чином, ці станції і точки доступу не можуть передати дані.

Ефект посилення інтерференції відбувається, коли зіткнення призводять до об'єднання сигналів. Цей комбінований сигнал, який може бути сильніше індивідуального сигналу, викликає інтерференцію в більш широкому діапазоні.

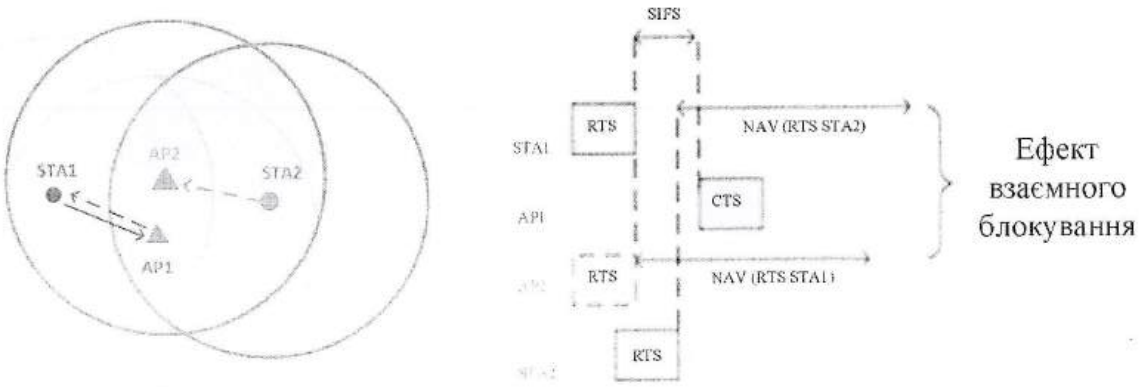


Рис. 1.9. Ефект взаємного блокування

На додаток до швидкого розгортання WLAN, нові додатки, такі як голос і відео, також висувають додаткові вимоги до бездротових мереж. Можливість транслювати відео високої чіткості будинку і в русі, одночасно передаючи великі файли по мережі, вимагає більшу пропускну здатність, яку не можуть забезпечити існуючі WLAN. Крім того, чутливий до затримки характер голосових і відео додатків робить доставку такого контенту ще більш складною для таких мереж. Однак надання QoS в додатках з використанням традиційних стандартів IEEE 802.11 утруднено, оскільки вони не містять явних механізмів диференціації служб. Ці стандарти мають тільки базову розподілену координаційну функцію DCF і додаткові функції координації PCF, у яких багато недоліків (докладно розглянуто в розділі 2). Навіть при використанні IEEE 802.11 e, який являє собою поправку для забезпечення QoS, якість обслуговування в високощільній WLAN мережі підтримується слабо, що доведе актуальність даної дисертації.

Огляд рішень для забезпечення QoS в WLAN мережі

З аналізу в попередньому розділі, забезпечення QoS в WLAN можна інтерпретувати як мінімізацію впливу елементів бездротової мережі або інших бездротових мереж, а також поліпшення можливості підтримки мультимедіа

трафіку і трафіку реального часу. У цьому розділі розглянемо деякі рішення, які були запропоновані для підтримки QoS в WLAN. Стандарт IEEE 802.11 е буде детально викладено в розділі 2, і тут не розглядається.

Хоча WLAN працює на рівнях PHY і MAC, запропоновано багато рішень для підтримки QoS і на мережевому, транспортному і прикладному рівнях.

Для PHY, щоб підтримувати високу пропускну здатність бездротової мережі, останнім часом були запропоновані різні стандарти IEEE 802.11, такі як 802.11 n, 802.11 ac і 802.11 ad. Стандарт IEEE 802.1 1 n заснований на технології MIMO і забезпечує високу швидкість передачі даних до 600 Мбіт / с. Стандарт IEEE 802.11 ac спрямований на підтримку ще більш високій швидкості передачі даних в 1 Гбіт / с, в той час як стандарт IEEE 802.11 ad націлений на досягнення швидкості до 7 Гбіт / с, що використовує широкосмугові канали, доступні в діапазоні 60 ГГц. Ці нові стандарти включають механізми планування, алгоритми контролю допуску та поліпшення рівня PHY і MAC для підтримки мультимедійних додатків з QoS [13].

Основні методи, використовувані для забезпечення QoS на MAC-рівня, включають контроль допуску та планування. У стандарті IEEE 802.11 MAC-рівень забезпечує функціональність адресації, кадрування, перевірки надійності і координації доступу до бездротової середовищі. MAC-рівень з QoS поліпшеннями націлений на те, щоб забезпечити мережу з набагато меншими витратами, які поділяють фреймами на пріоритетній основі, утримуючи конфлікти на мінімально можливому рівні. Для стандарту IEEE 802.11 були запропоновані різні методи підвищення якості обслуговування QoS:

-Пріоритетна черга: використовується для надання черг з пріоритетами на MAC-рівня, пакети даних поділяються на основі пріоритетів.

-Диференційовані послуги:

• DFS: кожному потоку присвоюється певний вага в залежності від його пріоритету та пропускна здатність, яку він отримав пропорційна цьому вазі.

• Зміна DIFS: варіюється тривалість розподіленого межкадрового інтервалу (DIFS) для диференціації потоків. Така технологія дуже корисна в додатках

реального часу, де затримки мають більше значення в порівнянні з втратами пакетів.

• Диференційована максимальна довжина кадру: різні станції можуть передавати кадри з різними максимальними розмірами. Станції з високопріоритетними потоками можуть передавати більший кадр, ніж той, який має потоки з більш низьким пріоритетом.

• Розподілений TDM: використовується метод опитування як в звичайному механізмі PCF, але тимчасові інтервали визначаються як в TDM, і кожен з цих тимчасових інтервалів призначається конкретній станції. Таким чином, передача пакетів може бути виконана з дуже невеликим участю AP.

-QoS-планування: пріоритетний планувальник завжди вибирає пакети з черги з найвищим пріоритетом. Процес QoS-планування в стандарті IEEE 802.11 вибирає пакети між різними потоками і розподіляє їх по певним посиланнях в залежності від вимог кожного потоку. Планувальник спроектований таким чином, щоб забезпечити кращу пропускну здатність і скоротити час передачі.

Крім того, існує багато інших рішень, які зосереджуються на механізмах доступу, такі як: CAP в періоді з конкуренцією, CAP в періоді без конкуренції, механізм доставки з автоматичним енергозбереженням APD, BlockACKs і NoAck.

Для QoS-рішень на мережевому рівні основна частина досліджень була зосереджена на контролі допуску і QoS-маршрутізації. Хоча QoS-Поліпшення, що вводяться на MAC-рівня, забезпечують диференціацію обслуговування між різними потоками трафіку, вони можуть забезпечити QoS тільки тоді, коли мережева навантаження є помірною. Якщо навантаження збільшується до певного межі, гарантії QoS не забезпечуються навіть для високопріоритетного трафіку. Саме тут механізм контролю допуску допомагає запобігти переповнення мережі шляхом дозволу або заборони потоків трафіку. Контроль допуску є ключовим компонентом адаптації до змін трафіку відповідно до мінливих середовищем бездротових мереж на основі IEEE 802.11. Контроль допуску може бути розділений на три різних методи: контроль допуску на основі вимірювання, контроль допуску на основі моделі, гібрид контролю допуску на основі вимірів і

моделей. QoS маршрутизація є невід'ємною частиною загальної QoS-Архітектура в стандарті IEEE 802.11. Цей метод дозволяє мережі обчислювати шлях, який підтримує QoS-цілі різних потоків з обмеженнями бездротової середовища. Існує ряд досліджень, які можуть використовуватися для реалізації QoS маршрутизації.

На транспортному рівні для поліпшення QoS існує кілька методів з урахуванням затримки і втрат в якості основних параметрів. Основна увага на цьому рівні приділяється управлінню перевантаженнями і управління помилками.

Крім роботи на нижніх рівнях, також можливо реалізувати QoS в мережах IEEE 802.11 на рівні додатку. Традиційно робота над QoS рівня додатків була зосереджена на різних аспектах доставки мультимедіа. Крім того, багато досліджень протестували нові мережеві технології для підтримки QoS в бездротової мережі, такі, як SDN (Software Defined Networking), NFV (NetworkFunctions Virtualization), бездротові мережі на основі хмарних технологій.

Згадані дослідження в більшості вирішують QoS-проблему через бездротову локальну мережу з однією точкою доступу. Існують також деякі дослідження, які зосереджені на високоплотних бездротових середовищах, але у них все ж є кілька недоліків, наприклад, витрати опитування, погана координація між точками доступу, проблема прихованого вузла перекриваються BSS. Крім того, в даний час IEEE 802.11 розробляє новий стандарт IEEE 802.11 ax. Він призначений для поліпшення загальної спектральної ефективності, особливо в сценаріях з високощільним розгортанням, має максимальну швидкість близько 10 Гбіт / с, може працювати в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. На додаток до використання MIMO і MU-MIMO нова поправка вводить метод OFDMA для поліпшення спектральної ефективності і підтримки модуляції більш високого порядку +1024 QAM для більш високої пропускної здатності. Хоча номінальна швидкість передачі даних тільки на 37% вище, ніж 802.11 ac, очікується, що нова поправка призведе до збільшення пропускної здатності користувача на 4 рази за рахунок більш ефективного використання спектра [5, 14].

1.3. Аналіз продуктивності бездротової локальної мережі з багатьма точками доступу

В даний час більшість компаній, кампусів, торгових центрів використовують бездротові мережі, так як це значно підвищує мобільність

офісу, знижує витрати, усуваючи необхідність закупівлі і монтажу СКС. Правильне планування до фактичного розгортання мережі грає ключову роль в успішному управлінні фінансами і обладнанням, яке використовується в бездротових мережах. Тому дуже важливо змоделювати запропоновану бездротову мережу і оцінити її ефективність. Важливо зрозуміти наслідки збільшення щільності WLAN і впливу на продуктивність цих мереж. В цьому розділі оцінимо продуктивність високощільної WLAN мережі з багатьма точками доступу з точки зору затримки, кількості спроб повторної передачі і пропускної здатності з використанням OPNET. Розглянемо наступні 3 випадки, щоб вивчити проблеми, що виникають у високощільної WLAN мережі зі багатьма точками доступу. Час моделювання для кожного сценарію складає 3 години.

Аналіз впливу перекриваються каналів

Канали, які використовуються для Wi-Fi, в більшості випадків розділені 5 МГц і найчастіше мають смугу пропускання 22 МГц. В результаті канали перекриваються, і можна знайти максимум три що не перекриваються каналу. Наприклад: канали 1,6, 11, канали 2, 7, 12, канали 3, 8, 13. Однак в високощільної WLAN з багатьма AP і станціями, що не перекриваються каналів недостатні. Тому в цій частині оцінимо вплив перекриваються каналів на продуктивність високощільної WLAN мережі [25].

Щоб оцінити цей вплив, ми створюємо шість сценаріїв:

-Сценарії 1, 2, 3: бездротові мережі з 5, 10 і 15 точками доступу відповідно. До кожної точки доступу підключені 10 STA. Використовуємо 3 що не перекриваються каналу 1, 6 і 11 для їх призначення точок доступу так, як показано на рис. 1.10.

-Сценарії 4, 5, 6: використовується топологія аналогічно як в сценаріях 1, 2,

3, але канали перекриваються.

У цих сценаріях будемо використовувати тільки HTTP-додаток з інтенсивним переглядом, на рис. 1.11 представлені його параметри і профіль за замовчуванням. Вплив перекриваються каналів буде розглядатися з точки зору кількості спроб повторної передачі. Однак ми цікавимося тільки різницею між двома ситуаціями: перекриваються і не перекриваються; на додаток до цього значення результатів моделювання залежать від встановленої конфігурації. Тому, по-перше, ми обчислюємо середнє кількість спроб повторної передачі, а потім нормалізуємо ці значення для порівняння результатів (рис. 1.13).

Як можна бачити з рис. 1.12, кількість спроб повторної передачі в разі перекриваються каналів більше, ніж в разі що не перекриваються каналів. У той же час, коли число точок доступу і STA збільшується (в разі перекриваються каналів), кількість спроб повторної передачі різко збільшується, що можна розглядати як серйозну проблему в високощільної WLAN мережі. Це не тільки знижує продуктивність мережі, але і обмежує можливість підтримки QoS в WLAN.

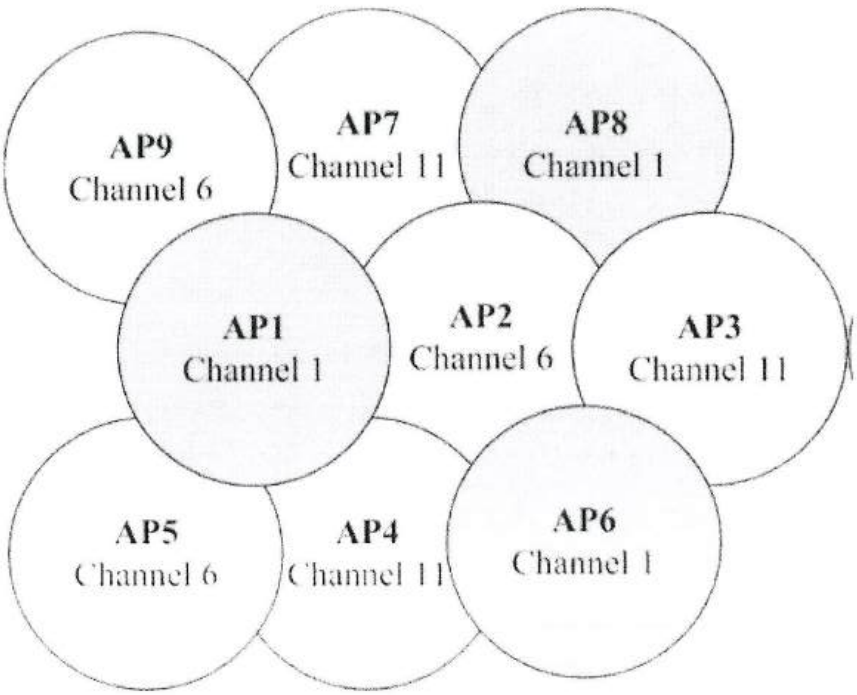


Рис. 1.10. Топологія для оцінки впливу перекриваються каналів

Інтерференція між AP та STA, що використовують перекриваються канали, призводить до того, що багато пакунків відкидаються, і мережа повинна знову виконати передачу.

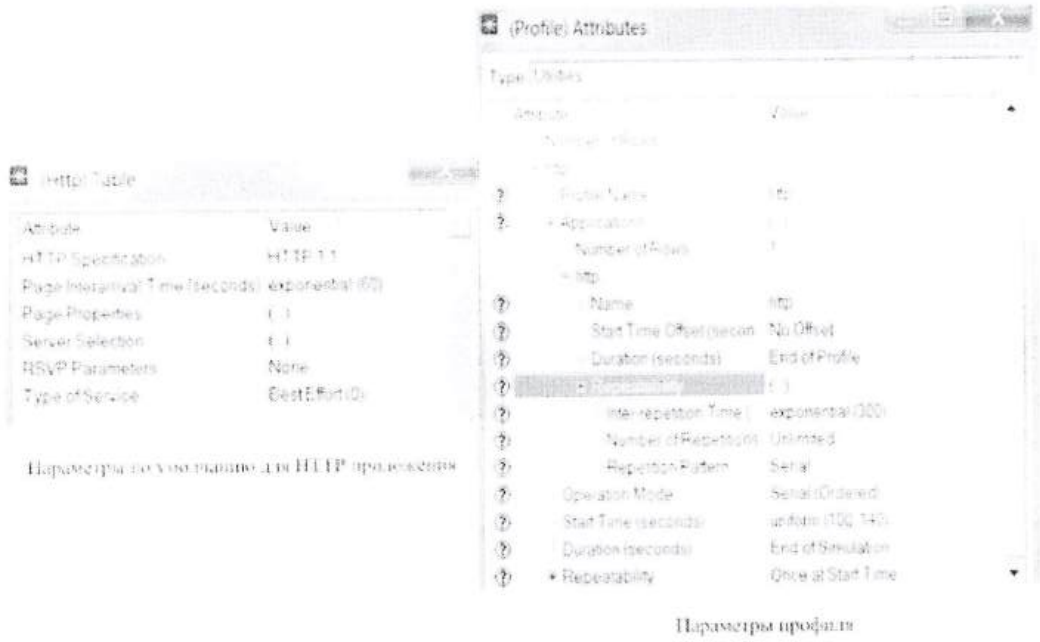


Рис. 1.11. Параметри application і profile HTTP додатку

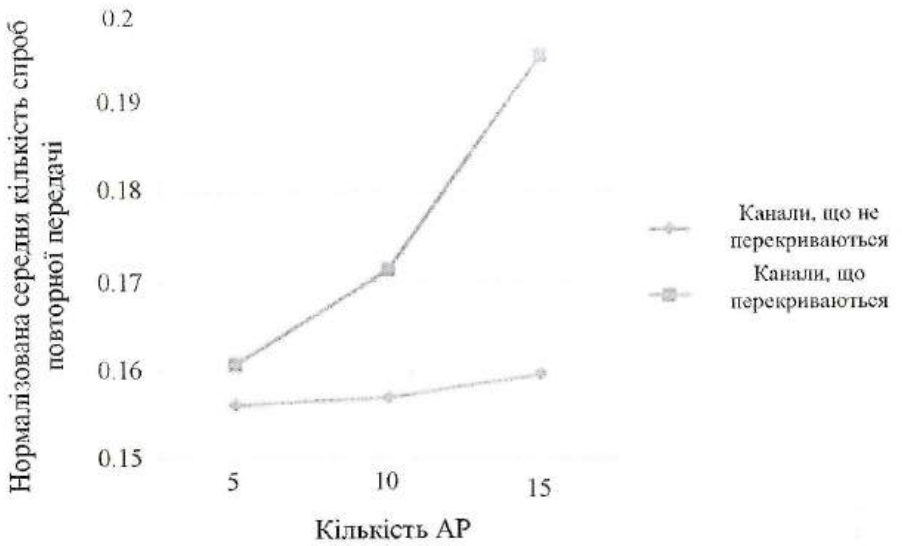


Рис. 1.12. Вплив перекриваються каналів з точки зору кількості спроб повторної передачі

Аналіз впливу відстані між точками доступу

У той час як використання перекриваються каналів призводить до значної інтерференції, відстань між точками доступу (передбачається, що STA залишаються навколо AP) також є фактором, що впливає на продуктивність WLAN. Фактично відстань між AP обмежуватиме взаємодія між WLAN-улаштування. Однак в високощільні WLAN AP зазвичай щільно розгорнуті, а відстані між ними невеликі. Ця проблема в поєднанні з використанням перекриваються каналів може привести до значного зниження продуктивності і QoS елементів WLAN. В цьому розділі оцінимо ступінь впливу відстані між точками доступу в WLAN мережі з використанням перекриваються каналів з точки зору кількості спроб повторної передачі [15].

Створимо 4 сценарії з однаковою кількістю точок доступу (9 точок доступу) і STA (8 STA для кожної точки доступу). Топологія показана на рис. 1.13. При цьому d (m) відстань між двома AP. Значення d буде змінено на 90м, 50м, 25м, 15м, відповідне сценаріями. Стрілки позначають напрямок руху точок доступу для зміни відстані. Використовуємо те ж саме HTTP додаток з тим же профілем (рис. 1.12). На рис. 1.14 представлений результат моделювання. Можна помітити, що при зменшенні відстані між

AP кількість спроб повторної передачі збільшується, що вказує на збільшення кількості скинутих пакетів, що може бути пояснено як інтерференцією, так і проблемою прихованого вузла, ня між AP.

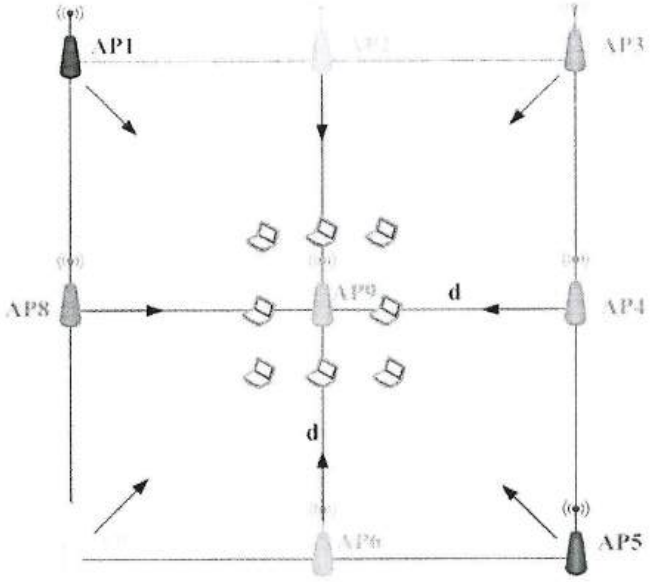


Рис. 1.13. Мережева топологія для оцінки впливу відстані між точками доступу виникає при зменшенні відстані

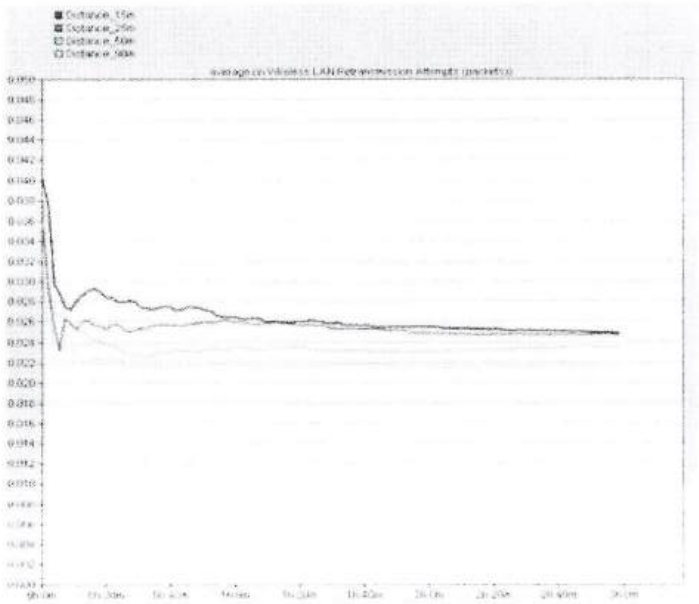


Рис. 1.14 Вплив відстані між точками доступу з точки зору кількості спроб повторної передачі

Аналіз продуктивності WLAN мережі з багатьма точками доступу

В цьому розділі всебічно оцінимо високощільну WLAN з багатьма точками доступу і великою кількістю STA з точки зору затримки, кількості спроб повторної передачі і пропускної здатності. Ці параметри використовуються для більш точної оцінки впливу кількості точок доступу і STA на продуктивність

мережі, а також QoS елементів.

Створимо 14 різних сценаріїв з 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 AP відповідно, підключається по 5 STA до 1 AP. При цьому 7 сценаріїв виконуються без HCF (Hybrid Coordination Function функція гібридної координації) і 7 сценаріїв з HCF. HCF був введений в IEEE 802.11 e, в якому використовувалися механізм опитування і категорії трафіку для поліпшення QoS в WLAN. використовуємо модуль wlanethernetrouteradv для AP і модуль wlanwkstnadv для STA. Перекриваються канали використовуються для більш точної оцінки. На рис. 1.15 представлений приклад топології сценарію з 8 AP і 40 STA.

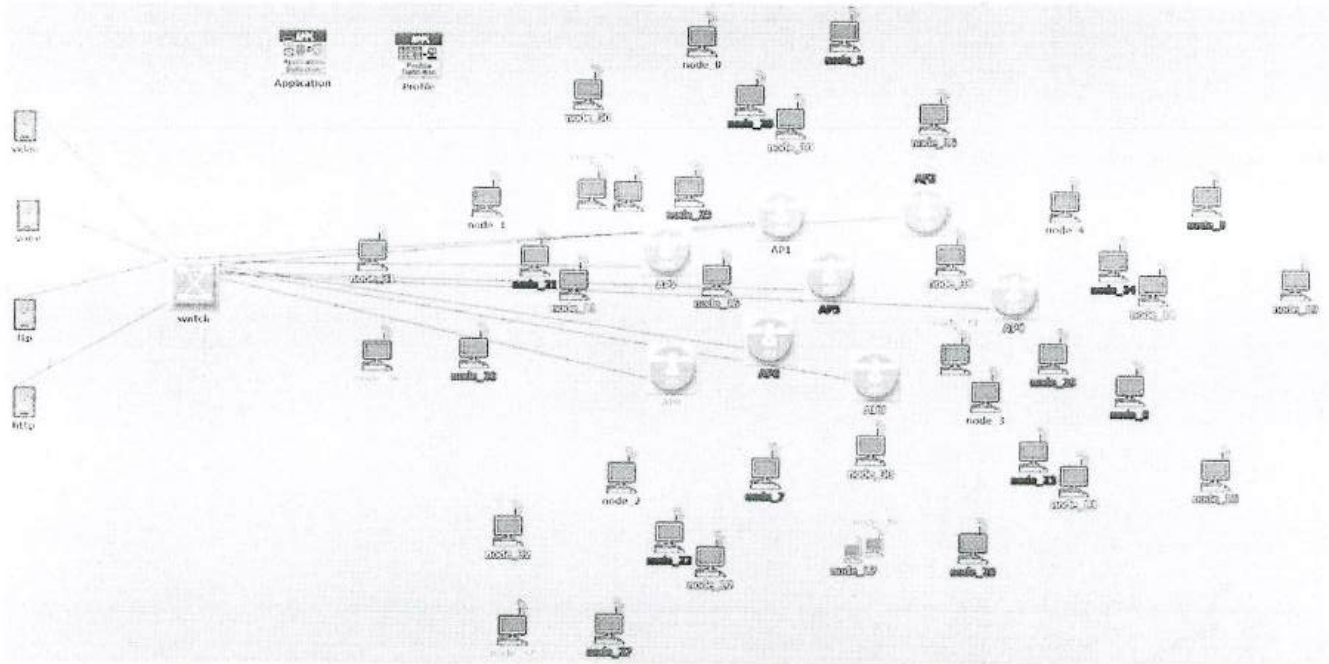


Рис. 1.15. Топологія сценарію з 8 AP і 40 STA

У цьому моделюванні використовуємо 4 додатки з різними параметрами: Voice (PCM Quality Speech), Video (High-Resolution videos), HTTP (Heavy Browsing), FTP (High Load). 3 STA з 5 STA використовуватимуть 3 додатка Voice, Video, FTP, а решта STA HTTP-додаток. На рис. 1.16 представлені параметри додатків. У табл. 1.3 представлені профілі цих додатків (на англійській мові). Слід зазначити, що мобільність вузлів в цьому моделюванні не розглядається.

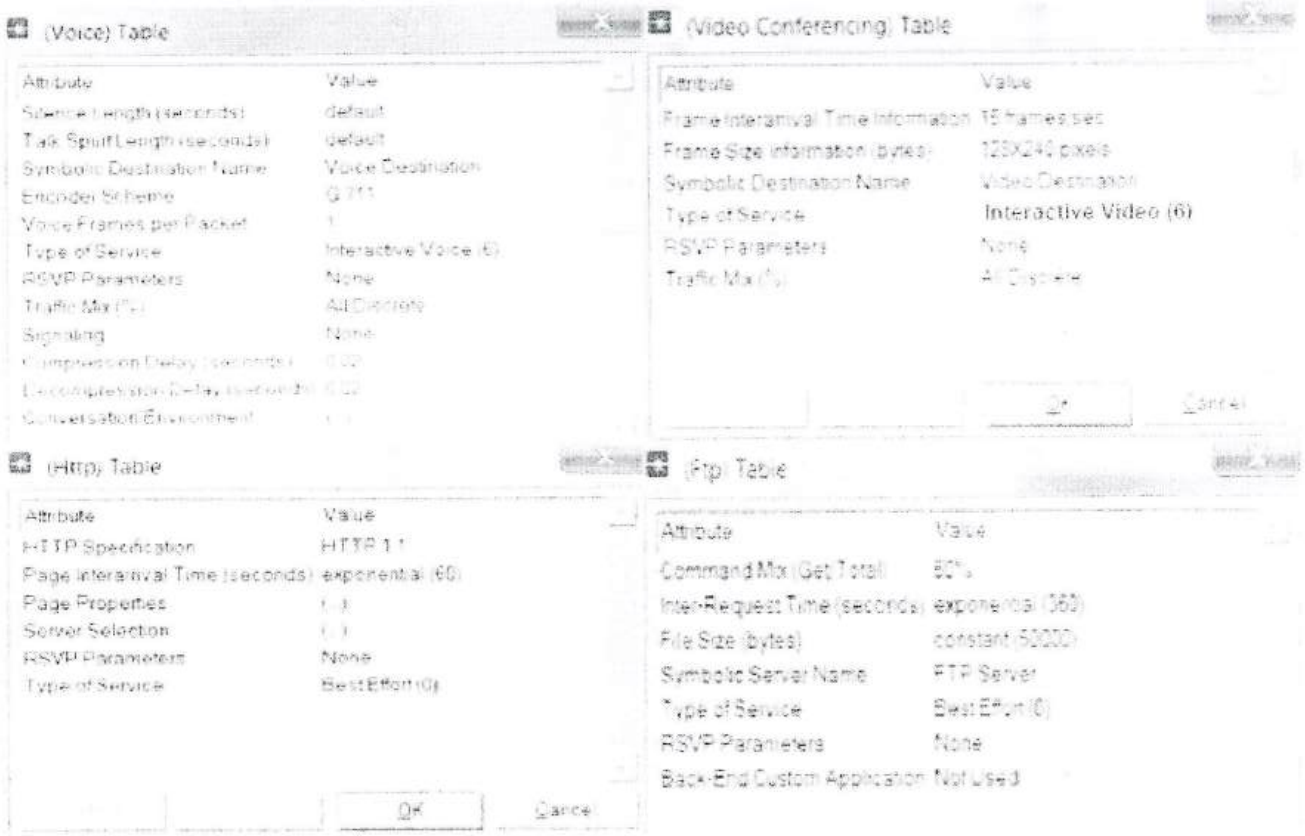


Рис. 1.16. Параметри додатків

Таблиця 1.3.

Профілі додатків

Атрибути		Профілі			
		Профіль 1	Профіль 2	Профіль 3	Профіль 4
Час початку [s]		Уніформа (10, 60)			
Тривалість		До кінця моделювання			
Програми	Ім'я	Голос	Відео	HTTP	FTP
	Зсув часу початку [s]	Відсутнє зміщення	Відсутнє зміщення	Відсутнє зміщення	Відсутнє зміщення
	Тривалість [s]	Уніформа (100, 140)	Уніформа (100, 140)	Кінець профілю	Кінець профілю
	Повторюваність [с]	Експоненціальна (600)	Експоненціальна (900)	Не застосовується	Не застосовується

Результати моделювання показані на малюнках 1.17, 1.18 і 1.19. Для оцінки різниці між випадками представлені нормалізовані графіки.

Через збільшення зіткнень (наслідок проблеми прихованого вузла, перекриваються каналів і т.п.) кількість спроб повторної передачі помітно збільшується. HCF з кращого підтримкою QoS представлений на рис. 1.16.

Легко бачити, що при збільшенні числа AP і STA затримка також швидко зростає (рис. 1.18). Це пов'язано з тим, що кількість спроб повторної передачі збільшується через наслідки конфліктів і механізмів доступу на MAC-рівня. При застосуванні HCF затримка буде зменшуватися, і при збільшенні кількості AP переваги HCF стають помітні.

З результатів моделювання можна зробити висновок, що загальна пропускна здатність WLAN збільшується зі збільшенням кількості точок доступу і STA, які підключені до мережі (рис. 1.19).

Слід зазначити, що пропускна здатність не тільки обмежується типом програми, а й обмежена пропускною здатністю AP і часом затримки [22].

З результатів моделювання можна зробити висновок, що при збільшенні кількості STA, підключених до WLAN, відбудеться погіршення продуктивності мережі. І ця проблема стає ще більш серйозною в високощільної WLAN з багатьма точками доступу. Можливість зіткнення пакетів даних, скидання пакетів даних і збільшення затримки доступу будуть вище, коли кількість AP і STA, підключених до WLAN, збільшується і, отже, негативно впливає на продуктивність WLAN. Реалізація механізму опитування і категорій трафіку HCF виявляється більш ефективною, але тим не менш, це не привело до значного зниження впливу. Таким чином, потрібні нові ефективні рішення для підтримки QoS для високощільної бездротової мережі.

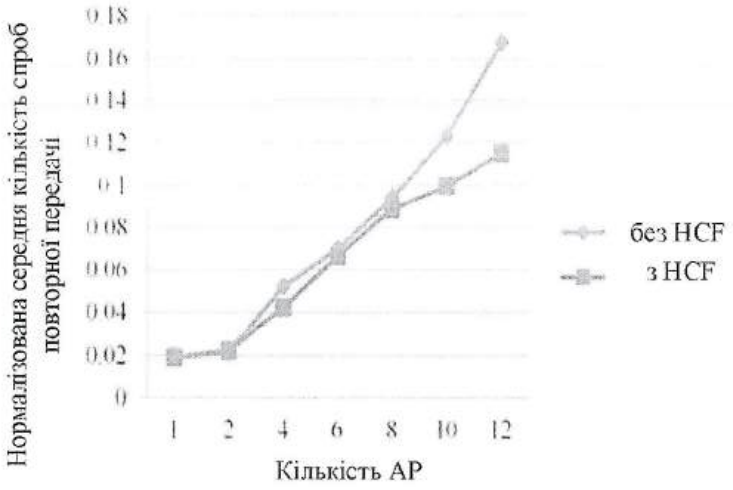


Рис. 1.17. Нормалізована середня кількість спроб повторної передачі

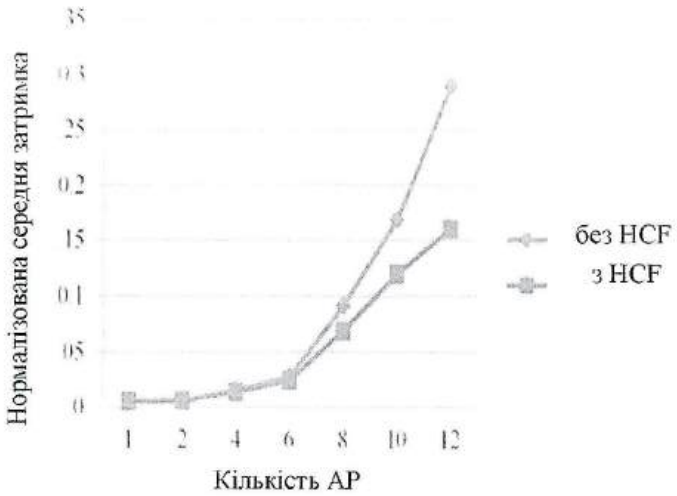


Рис. 1.18. Нормалізована середня затримка з якою зіткнулася високощільна WLAN

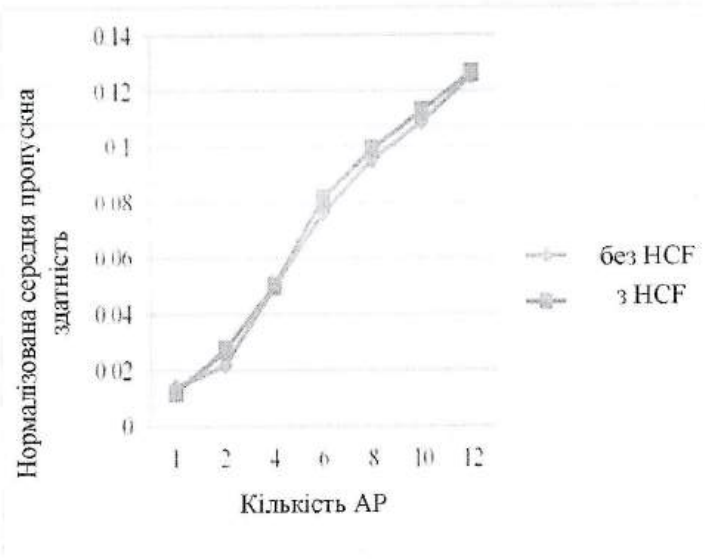


Рис. 1.19. Нормалізована середня пропускна здатність

2. МЕТОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ QOS В БТМ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМІВ ПРІОРИТЕТНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЗАТРИМКИ

2.1. Механізми доступу в бездротових локальних мережах

У цьому розділі розглянемо рішення на MAC-рівні, а саме механізми доступу до середовища. Причиною є їх здатність адаптації до різних стандартів IEEE 802.11 незалежно від змін, що відбуваються на фізичному рівні.

Механізм доступу це механізм взаємодії елементів мережі з середовищем передачі даних, який визначає правила отримання права передачі даних по використовуваному каналу [16-18]. Тобто механізми доступу відповідають за вирішення проблеми кількох станцій, готових одночасно використовувати середу. Загалом випадку контроль управління доступом являє собою деяку роботу, яку виробляє мережу перед тим, як прийняти пропоноване нове з'єднання. Це процес прийняття рішення про те, який ресурс (частотний, часовий, просторовий, кодовий) можна виділити для нової передачі в мережу. Існують два механізми, які використовуються для доступу до бездротової середовищі на MAC рівні: механізм конкуренції і механізм опитування. Для WLAN два вищевказаних механізму поділяються на:

-DCF, EDCA: механізми, що належать групі механізмів конкуренції;

-PCF, HCCA: механізми, що належать групі механізмів опитування.

Далі будуть розглянуті основні існуючі механізми доступу до середовища передачі даних стандарту IEEE 802.11 [3, 8].

Механізм конкуренції

На перший погляд організувати спільний доступ до середовища передачі даних досить просто. Для цього необхідно забезпечити можливість передачі усіма вузлами даних тільки тоді, коли середовище є вільною. Однак такий підхід неминуче призведе до колізій, оскільки велика ймовірність того, що два або більше вузлів, намагаючись отримати доступ до середовища передачі даних, одночасно вирішать, що середовище вільне, і почнуть одночасну передачу. Саме

тому необхідно створити метод, здатний знизити ймовірність виникнення колізій і в той же час гарантувати всім вузлам мережі рівноправний доступ до середовища передачі даних.

Одним з варіантів організації рівноправного доступу до середовища передачі даних є механізм конкуренції. Ця функція заснована на методі колективного доступу з виявленням несучої і механізмом уникнення колізій (CSMA / CA). При такій організації кожен вузол, перш ніж почати передачу, як би прослуховує середу, намагаючись виявити несе сигнал, і тільки за умови, що середовище вільне, може почати передачу даних (рис. 2.1).

Однак, як уже зазначалося, в цьому випадку велика ймовірність виникнення колізій. Для того щоб знизити ймовірність виникнення ситуації одночасного доступу вузлів до середовища, використовується механізм уникнення колізій. Принцип роботи даного механізму полягає в наступному. Кожен вузол мережі, переконавшись, що середовище вільне, перш ніж почати передачу вичікує протягом певного проміжку часу. Цей проміжок є випадковим і складається з двох складових: обов'язкового проміжку IFS і обирається випадковим чином проміжку зворотного відліку. В результаті, кожен вузол мережі перед початком передачі вичікує протягом випадкового проміжку часу, що значно знижує ймовірність виникнення колізій, оскільки ймовірність того, що два вузли мережі будуть вичікувати протягом одного і того ж проміжку часу, надзвичайно мала.

Це саме ідея закладена в основу роботи механізму DCF. Механізм EDCA також працює за таким принципом, але розширює MAC-рівень для QoS.

EDCA в IEEE 802.11 е являє собою розширену версію застарілого DCF, яка забезпечує пріоритетний рівень QoS. Успадкований MAC 802.11 не підтримує концепцію диференціювання кадрів з різними пріоритетами. DCF забезпечує доступ до каналу з однаковою ймовірністю для всіх STA, що конкурують за доступ розподіленим чином. Однак рівні ймовірності доступу небажані серед STA з кадрами різних пріоритетів. EDCA розроблений для забезпечення диференційованих розподілених доступів до каналів для кадрів з вісьмома різними пріоритетами (від 0 до 7) шляхом посилення DCF. В відміну від

застарілого DCF, EDCA не є окремою функцією координації, а, скоріше, це частина єдиної функції координації HCF IEEE 802.11 е MAC рівня [9, 14].

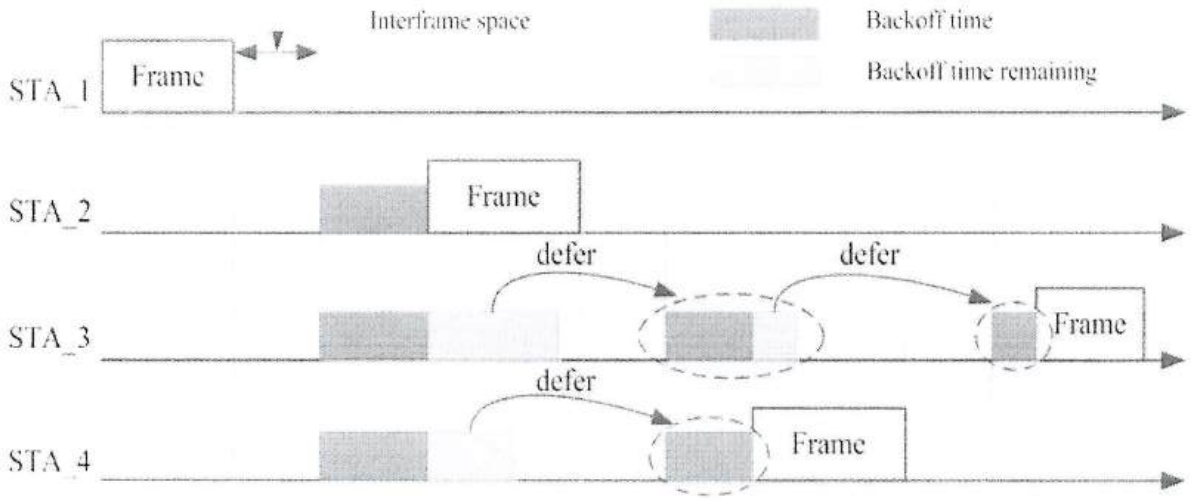


Рис. 2.1. Принцип роботи механізму конкуренції

Кожен кадр, що надходить в MAC з верхніх рівнів, несе певне значення пріоритету. Кожен пріоритет більш високого рівня відображається в категорію доступу (AC), як показано в табл. 2.1. Відносний пріоритет 0 знаходиться між 2 і 3. Відносна пріоритетності випливає з специфікації IEEE 802.1 D. Потім кожен кадр QoS даних несе своє значення пріоритету в заголовку кадру MAC.AC використовує AIFS[AC], CWmin [AC] і CWmax [AC] замість DIFS, CWmin і CWmax як в DCF відповідно, для конкуренції за передачу кадру, що належить AC. AIFS [AC] визначається наступною формулою:

$$AIFS\ [AC] = SIFS + AIFSN\ [AC] \times slottime \qquad (2.1)$$

де AIFSN [AC] ціле число, більше нуля; SIFS укорочений часовий інтервал. Крім того, лічильник відстрочки (backoff) вибирається з проміжку [1, 1+CW [AC]] замість [0, CW], як в DCF. В основному, чим менше AIFS [AC] і CWmin [AC], тим менше затримка доступу до каналу для відповідної категорії доступу і, отже, збільшується частка пропускної спроможності для даного стану трафіку. Однак вірогідність зіткнень збільшується при роботі з меншим CWmin [AC]. Ці

параметри можуть використовуватися для того, щоб розрізняти доступ до каналу між різними пріоритетними потоками трафіка.

Таблиця 2.1.

Пріоритет для категорій доступу

Пріорітет	Категорія доступу	AC	Назва AC	CW min	C'W max	AIFSN
0, 1, 2	ACBK	0	Background	Q, CWmin	aCWmax	2
3	ACBE	1	Best Effort	Q, CWmin	aCWmax	1
4, 5	ACVI	2	Video	(aCWmin + ½)-1	Q, CWmin	1
6, 7	ACVO	3	Voice	(aCWmin + ¼)-1	(aCWmin + ½)-1	1

На рис. 2.2 представлений принцип роботи MAC 802.11 е з чотирма чергами передачі, де кожна чергу веде себе як єдиний розширений конкуруючий об'єкт DCF, тобто AC, де кожна чергу має свій власний AIFS і підтримує свій власний BC (BC [AC] являє собою лічильник відстрочки для черги, відповідної AC) зіштовхуються кадрів, а інші виконують backoff зі збільшеними значеннями CW.

У разі наявності більше однієї AC, які закінчують відстрочку в один і той же час, обробляється колізія віртуально: вибирається і передається кадр з найвищим пріоритетом середовища

Механізм опитування

Розглянутий вище механізм є базовим для протоколів IEEE 802.11 і може використовуватися як в бездротових мережах, що функціонують в режимі Ad-Hoc, так і в мережах, що функціонують в режимі Infrastructure, тобто в мережах, інфраструктура яких включає точку доступу (Access Point, AP). Однак для мереж в режимі Infrastructure більш природним є інший механізм регламентування колективного доступу, відомий як механізм опитування [14, 20].

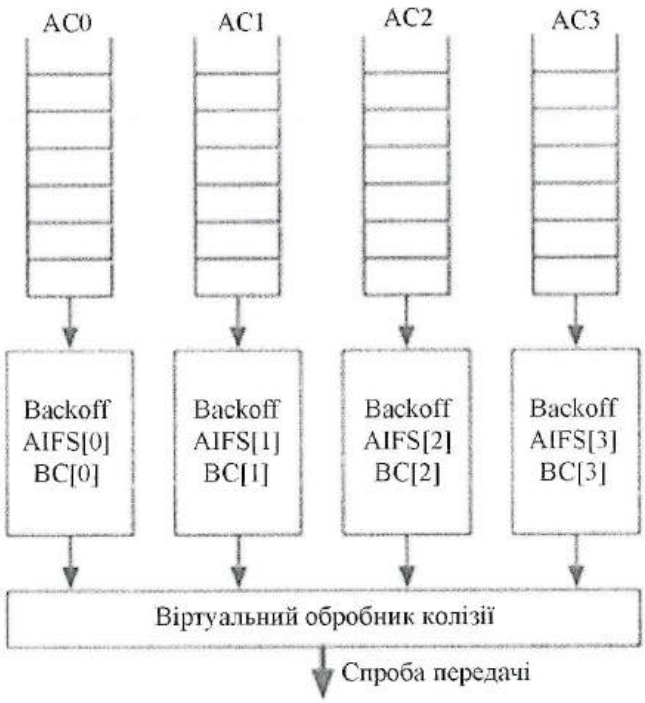


Рис. 2.2 Віртуальні черги передачі для EDCA

У разі задіяння механізму опитування один з вузлів мережі (точка доступу) є центральним, і на цей вузол покладається завдання управління колективним доступом всіх інших вузлів мережі до середовища передачі даних на основі певного механізму опитування або виходячи з пріоритетів вузлів мережі. Таким чином, AP опитує за допомогою пакета опитування всі вузли мережі, внесені в його список, і на підставі цього опитування організовує передачу даних між усіма вузлами мережі. Важливо відзначити, що такий підхід повністю виключає конкуруючий доступ до середовища (як у випадку механізму конкуренції) і унеможливлює виникнення колізій, а для часозалежних додатків гарантує пріоритетний доступ до середовища. Таким чином, механізм опитування може використовуватися для організації пріоритетного доступу до середовища передачі даних (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Принцип роботи механізму опитування

HCCA в IEEE 802.11 е являє собою розширену версію застарілого PCF, яка забезпечує QoS. Як тільки AP отримує контроль середовища, вона починає доставляти параметризований трафік низхідній лінії зв'язку в STA і видає QoS кадри опитування (QoS CF-Poll) тим STA, які запросили сервіси з висхідною лінією (uplink). QoS CF-Poll кадри включають в себе тривалість TXOP, надану STA. Якщо у опитаної STA є трафік для відправки, то вона може передавати кілька кадрів для кожного отриманого QoS CF-Poll, враховуючи обмеження TXOP, вказане в кадрі опитування. Крім того, щоб використовувати середу більш ефективно, STA дозволяють поєднувати як кадр підтвердження (CF-ACK), так і CF-Poll на кадрах даних [23].

На відміну від PCF HCCA працює як під час CFP, так і в CP (рис. 2.4). Під час CFP STA не можуть боротися за середу, так як їх вектор розподілу мережі NAV встановлений, і тому AP має вільний доступ до середовища. Під час CP AP може також використовувати вільний доступ до середовища відразу, як тільки середовище стає неактивною, щоб надати трафік низхідній лінії зв'язку або відправити QoS CF-Poll. Це досягається за рахунок використання найвищого пріоритету EDCA, тобто AIFS = PIFS і CWmin = aCWmax = 0. Мінімальний час доступу будь-AC до середовища це DIFS, довжина якого більше, ніж у PIFS.

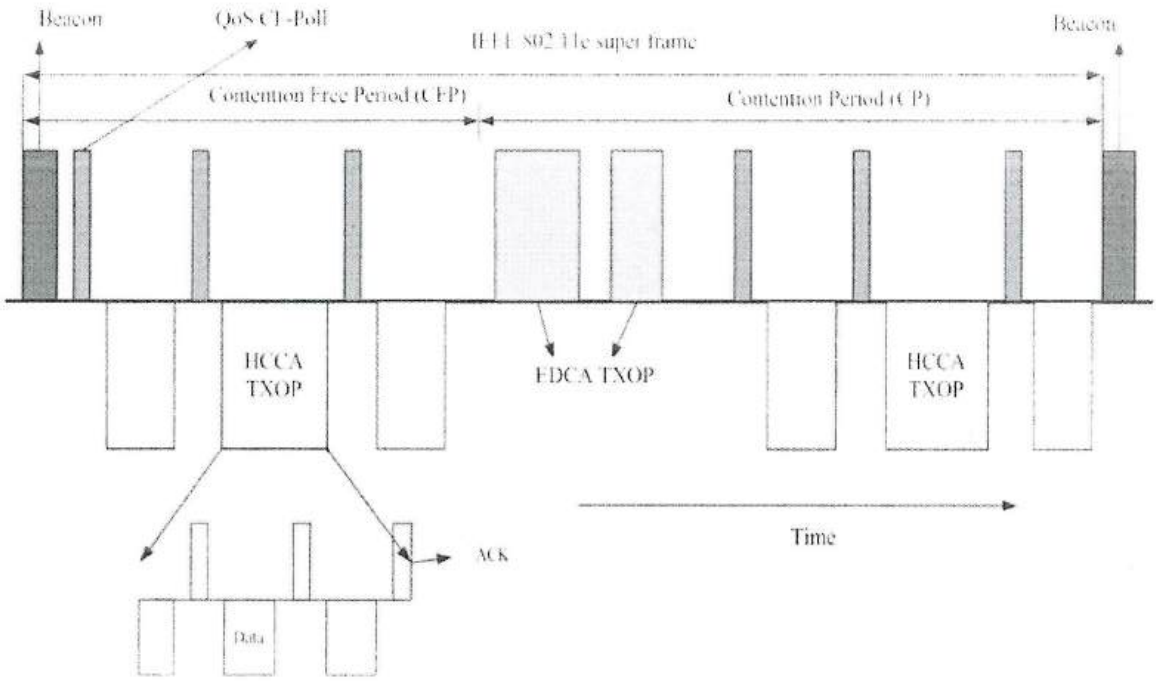


Рис. 2.4. Робота IEEE 802.11 e HCCA в суперкадрі

2.2. Аналіз переваг і недоліків механізмів конкуренції і опитування

Перевагами механізму конкуренції є простота і справедливість розподілу ресурсу між STA: кожна станція повинна повторно конкурувати за канал після кожної передачі, все станції мають рівну ймовірність отримати доступ до каналу після кожного IFS. Однак, якщо розглядати ситуацію з точки зору QoS, то виникає питання в необхідності підтримки справедливого обслуговування. Ясно, що різні вимоги додатків до затримки і пропускної здатності не підтримуються з використанням застарілого механізму конкуренції. Як показали дослідження, механізм конкуренції не може підтримувати послуги з жорсткими вимогами по затримці. Такі послуги, як правило, повинні обслуговуватися з мінімально можливою затримкою. Для механізму DCF не існує можливості забезпечення такої мінімальної затримки. Таким чином, механізм EDCA був запропонований з новою функцією диференціювання трафіку, щоб захищати дані високого пріоритету від даних низького пріоритету. Застосування концепції диференціювання трафіку в механізмі конкуренції реалізувати нескладно, тому що досить змінити очікуване час, backoff-time, для кожного типу трафіку, і таким

чином розділити їх за різними пріоритетами. Це суттєва перевага в підтримці QoS з допомогою механізму конкуренції. Однак слід зазначити, що головний недолік EDCA полягає в тому, що він не може забезпечити QoS в реальному часі через прийнятий механізму доступу до середовища на основі конкуренції. Більш того, ця проблема особливо важлива, коли мережа стає перевантаженої, тому що EDCA не підтримує будь-якої механізм управління допуском.

У той же час механізм опитування AP підтримує список опитування станцій. Якщо станції в списку упорядковано відповідно до пріоритетів, щоб мультимедіа трафік був переданий раніше, ніж інші види трафіку, то механізм опитування також може добре забезпечити QoS.

Хоча механізм конкуренції може легко класифікувати і пріоритезувати трафік, є серйозна проблема, яку необхідно вирішувати це проблема прихованого вузла [8]. Проблема прихованого вузла породжує серйозні втрати, погіршується пропускна здатність. Проблема незахищеного вузла призводить до зниження продуктивності, породжує інтерференцію з різними наслідками. Вищевказані проблеми можуть бути вирішені, якщо замінити механізм конкуренції механізмом опитування, в якому використовується стратегія доступу до середовища на основі централізованого резервування, тому що передача управляється точкою доступу впорядковано (синхронна передача): тільки станції, які були опитані, можуть передати дані. Таким чином, можна усунути проблему прихованого вузла і колізії між станціями.

Механізм конкуренції показує свої недоліки ясніше в умовах високого навантаження або в високощільної WLAN [17, 24]. Коли кількість конкуруючих станцій збільшується, конкурентне вікно стає великим. Отже, ймовірність колізій зростає, час, витрачений для переговорів за право доступу до каналу, також збільшується, що призводить до зниження пропускної спроможності і збільшення затримки. При цьому механізм конкуренції працює ефективніше механізму опитування з точки зору пропускної здатності в мережах з малим навантаженням, тобто мережах, в яких тільки деякі станції мають дані для передачі. Це пояснюється тим, що витрати механізму конкуренції залежать тільки від кількості

активних станцій. З іншого боку, витрати механізму опитування залежать від загального числа станцій. Коли присутні кілька вузлів, які не мають даних для відправки, механізм опитування витрачає частину ресурсу пропускної здатності на спроби опитати такі станції. У невеликих мережах механізм опитування породжує велику затримку, так як витрати опитування додають затримку опитування. Тому використання механізму конкуренції при невеликих навантаженнях і перемикання на механізм опитування при зростанні затримки є кращим.

З вищевказаного аналізу можна сказати, що механізм опитування переважає в підтримці QoS для мультимедіа трафіку і трафіку в реальному часі. На жаль, у цього механізму є кілька недоліків, які роблять його менш привабливим для QoS:

-низька пропускна здатність через витрати, викликаних кадрами опитування і станціями, у яких немає даних для передачі;

-неефективний алгоритм циклічного планування;

-відсутність інформації щодо умов каналу, такий як поточне кількість очікують кадрів в станції і швидкість передачі даних на фізичному рівні;

-потенційні колізії, викликані станціями в сусідньому BSS;

-непередбачуване час передачі опитаних станцій;

відсутність механізму або чіткого опису для управління або оновлення списку опитувань.

Крім того, слід зазначити, що механізм опитування використовується не окремо, а в поєднанні з механізмом конкуренції в супер-періоді. Тому можна сказати, що для підтримки QoS в WLAN необхідно координувати використання зазначених двох механізмів відповідно до їх особливостями роботи [4]:

-Механізм конкуренції слід використовувати, коли кількість STA невелике, навантаження невелика і превалюють дані додатків, що не чутливих до затримок.

-Механізм опитування слід використовувати в високощільної WLAN, він підходить для передачі даних додатків, чутливих до затримок.

3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БТМ

3.1. Імітаційне моделювання для аналізу можливості механізмів конкуренції і опитування в підтримці QoS

У цій частині використовуємо моделювання в OPNET для того, щоб довести кілька тверджень, зазначених вище. Для простоти в якості прикладу візьмемо DCF і PCF, які є яскравими представниками механізму конкуренції і механізму опитування відповідно. Затримка, кількість спроб повторної передачі і пропускна здатність мережі використовуються в якості критеріїв для порівняння.

Спочатку побудуємо бездротову мережу: WLAN з одного AP і вісьмома STA, канал встановлений в 1. Час виконання моделювання 30 хвилин для кожного сценарію. Інші параметри встановлюються за замовчуванням в OPNET. Створюємо наступні сценарії:

-Сценарій 1:8 STA використовують DCF для передачі не-мультимедіа трафіку (HTTP трафік (Heavy Browsing)).

-Сценарій 2:8 STA використовують DCF для передачі мультимедіа трафіку (VoIP (параметри за замовчуванням в OPNET)).

-Сценарій 3:8 STA використовують PCF для передачі не-мультимедіа трафіку (HTTP трафік (Heavy Browsing)).

-Сценарій 4:8 STA використовують PCF для передачі мультимедіа трафіку (VoIP (параметри за замовчуванням в OPNET)).

Далі змінимо кількість STA з 8 на 16, 24, 33. У кожному випадку використовуються 4 різних типу трафіку: Voice (VoIP), Video (Video Conferencing High Resolution Video), HTTP (Heavy Browsing), FTP (High Load). Ці типи трафіку рівномірно розподілені між STA: наприклад, кількість STA 8, з них 2 STA передають один тип трафіку; кількість STA 16, з них 4 STA передають один тип трафіку і т.д. Таким чином, сформуємо сценарії наступним чином:

-Сценарії 5, 7, 9 і 10: 8, 16, 24 і 32 STA відповідно передають 4 типи трафіку

за допомогою механізму DCF.

-Сценарії 6 і 8: 8 і 16 STA відповідно передають 4 типи трафіку за допомогою механізму DCF для не-мультимедіа трафіку, за допомогою механізму PCF для мультимедіа трафіку.

Після отримання результатів моделювання, виконаємо порівняння результатів:

-Сценарій 1 і Сценарій 2 (рис. 3.1). Результати показують, що при використанні механізму конкуренції затримка мультимедіа трафіку більше затримки не-мультимедіа трафіку на 91%. Це означає, що механізм конкуренції більш підходить для передачі не-мультимедіа трафіку.

-Сценарій 2 і Сценарій 4 (рис. 3.2). Результати показують, що при використанні механізму конкуренції і механізму опитування для мультимедіа трафіку затримка для механізму опитування менше на 13%. Це означає, що механізм опитування підтримує QoS краще, ніж механізм конкуренції.

-Сценарій 1 і Сценарій 3 (рис. 3.3). Результати показують, що при використанні механізму опитування кількість спроб повторної передачі значно зменшується (на 98%), тому що відбувається менше колізій.

Сценарії 5, 7, 9, 10 (рис. 3.4). Результати показують, що при збільшенні кількості STA затримка також збільшується при використанні механізму конкуренції. Конкретніше, затримка збільшується на 95% і 58% при зміні кількості STA від 8 до 24 STA і від 24 до 32 STA відповідно. Кількість спроб повторної передачі зростає на 81% і 34% відповідно.

-Сценарій 5 і Сценарій 6 (рис. 3.5 і 3.6). Результати показують, що при малій кількості STA пропускна здатність при використанні механізму конкуренції більше, ніж при використанні механізму опитування на 3%, а затримка менше на 22%.

-Сценарій 7 і Сценарій 8 (рис. 3.7 і 3.7). Результати показують, що коли кількість STA збільшується, то затримка при використанні механізму конкуренції збільшується на 12% в порівнянні з використанням механізму опитування, а пропускна здатність зменшується на 4%.

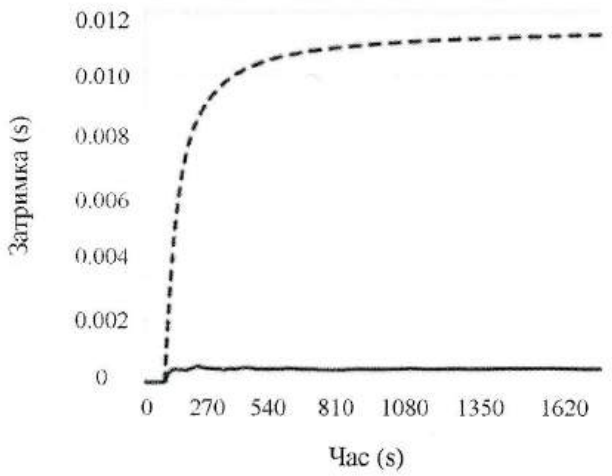


Рис. 3.1. Порівняння сценаріїв 1 (суцільна) і 2 (штрихова) по затримці

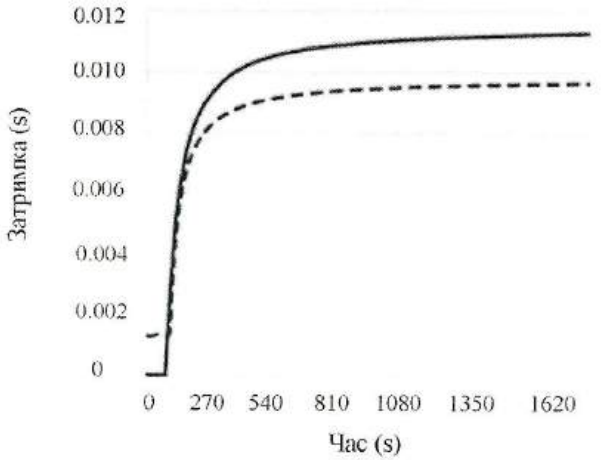


Рис. 3.2. Порівняння сценаріїв 2 (суцільна) і 4 (штрихова) по затримці

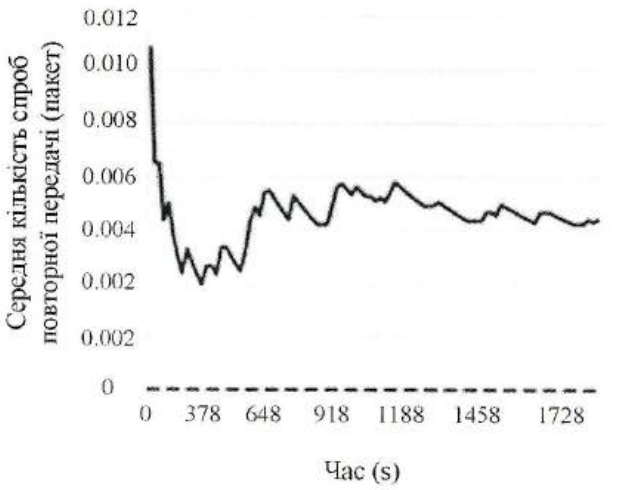


Рис. 3.3. Порівняння сценаріїв 1 (суцільна) і 3 (штрихова) за кількістю спроб повторної передачі

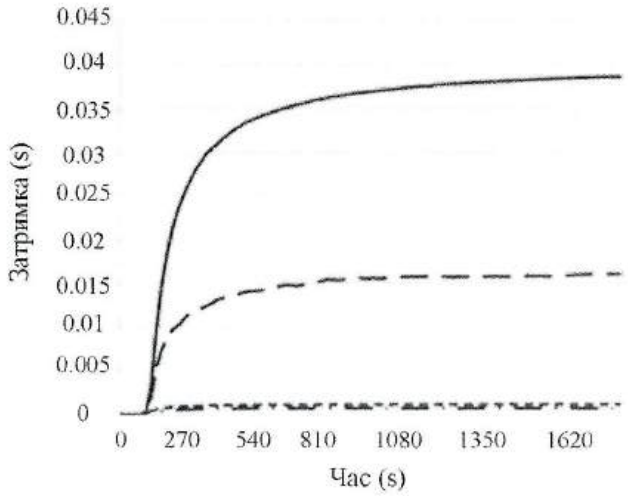


Рис. 3.4. Порівняння сценаріїв 5 (штрихпунктирна), 7 (коротка штрихова), 9 (довга штрихова), 10 (суцільна) по затримці

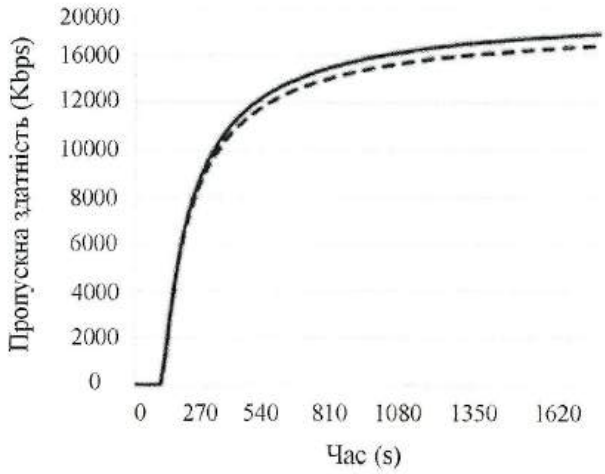


Рис. 3.5. Порівняння сценаріїв 5 (суцільна) і 6 (штрихова) за пропускною спроможністю

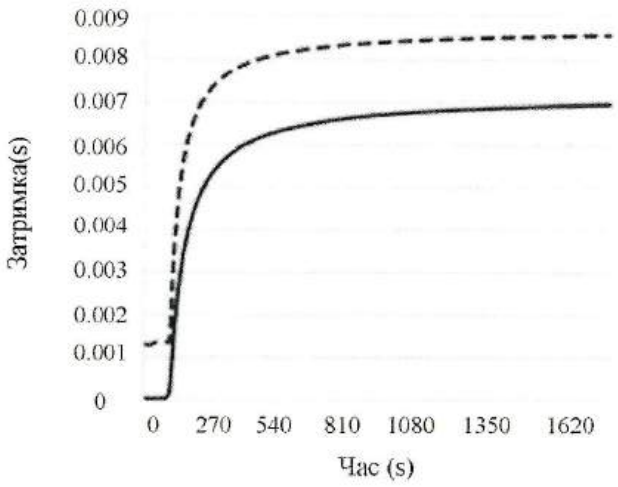


Рис. 3.6. Порівняння сценаріїв 5 (суцільна) і 6 (штрихова) по затримці

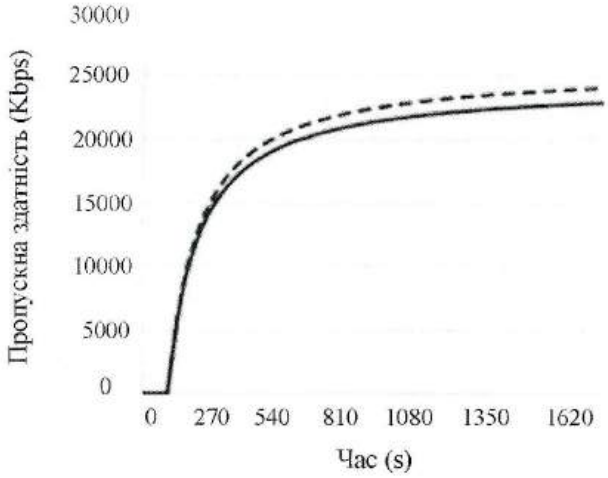


Рис. 3.7. Порівняння сценаріїв 7 (суцільна) і 8 (штрихова) за пропускною спроможністю

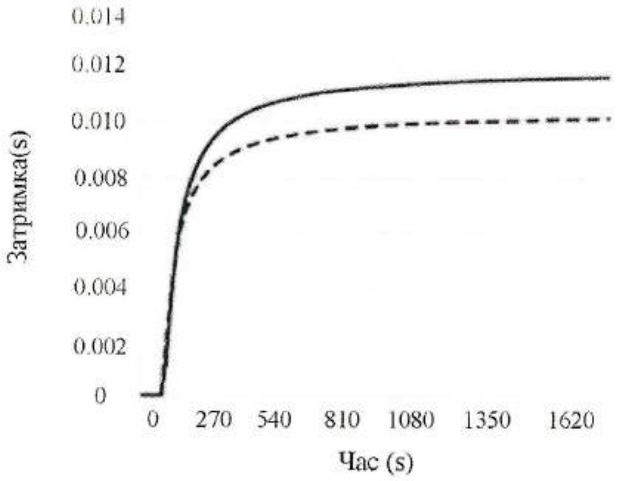


Рис. 3.8. Порівняння сценаріїв 7 (суцільна) і 8 (штрихова) по затримці

Отже, проаналізовані переваги і недоліки в підтримці якості обслуговування механізмів конкуренції і опитування. З аналізу випливає, що тільки комбінація механізму конкуренції і механізму опитування може поліпшити здатність підтримувати QoS в WLAN. Однак, така комбінація є недостатньою, тому що існують інші проблеми, які необхідно вирішити для досягнення кращої продуктивності мережі, наприклад, проблема витрати опитування, метод планування трафіку на MAC-рівня, здатність підтримки VBR (Variate Bit Rate) трафіку.

3.2. Механізм пріоритетності для забезпечення мінімізації затримки бездротової локальної мережі

Як показано вище, комбіноване використання двох механізмів конкуренції і опитування необхідно і доцільно, щоб вирішити проблему підтримки QoS в високощільної WLAN. Існує ряд досліджень з приводу поєднання здібностей механізмів, згаданих вище, і IEEE 803.11 е є одним з першооснов цього напрямку досліджень. Тим не менше, більшість з цих досліджень фокусується на підтримці QoS для бездротової локальної мережі з тільки однією точкою доступу або не зацікавлене в кількості пристроїв в мережі. Проблема підтримки QoS в високощільної мережі WLAN на сьогоднішній день є актуальним завданням. У цій роботі підійдемо до проблеми з іншого боку: підтримки QoS в високощільної бездротової локальної мережі з багатьма точками доступу за допомогою пріоритетності та механізму мультиопитування [8].

Це рішення об'єднує обидва механізму доступу (механізм конкуренції і механізм опитування з введенням поправки) для призначення права доступу до середовища точок доступу і станції. Ця ідея з'явилася з спостереження, що точки доступу, які розташовуються в одній області впливу, впливають один на одного в процесі передачі, що призводить до дуже високу ймовірність колізій і погіршення QoS. Причинами цього є відсутність координації роботи і використання перекриваються каналів. Якщо точки доступу, які мають взаємний вплив, можуть працювати впорядкованим чином і синхронно, то можна вирішити не тільки вищевказані проблеми, а й підтримувати QoS найкращим чином.

Пропоноване рішення складається з двох основних етапів: PCFin і DCFout (рис. 3.9).

Ці два процеси невіддільні одна від одної і взаємно підтримуються:

• Механізм PCFin: виконується в рамках однієї AP. Використовує PLU-кадр для створення списку опитування для наступного періоду передачі (в разі необхідності). Проте, щоб підтримати QoS (в цьому випадку звести до мінімальної затримки) список опитування побудований за іншими правилами

список з пріоритетом. Крім того, PCFin після DCFout процесу буде виконувати механізм мульти опитування, щоб видавати право доступу до середовища кожної конкретної станції STA (це передача по висхідній лінії зв'язку). Є деякі зауваження:



Рис. 3.9. Етапи пропонованого рішення

-Визначення і робота PLU-кадра (і деякі інші кадри). Тут приймемо, що PLU-кадра створює якийсь список опитування з пріоритетом, який буде використовуватися в процесі DCFout.

-В даному розділі під поняттям «періоду» розуміється інтервал часу з початку попереднього CP до кінця поточного CFP. Оскільки запропонований механізм починається з попереднього CP і закінчується після поточного CFP (рис. 3.10).

Механізм мультиопиту є важливим механізмом у пропонованому рішенні. У цьому підрозділі визнаємо його роботу в здійсненні процесу передачі по висхідній лінії.

• Механізм DCFout: виконується на основі списку опитування з пріоритетом

для забезпечення конкуренції точок доступу за право доступу до середовища. Це означає, що DCFout використовує механізм конкуренції з пріоритетом. Передача по низхідній лінії зв'язку буде проходити з використанням цього процесу.

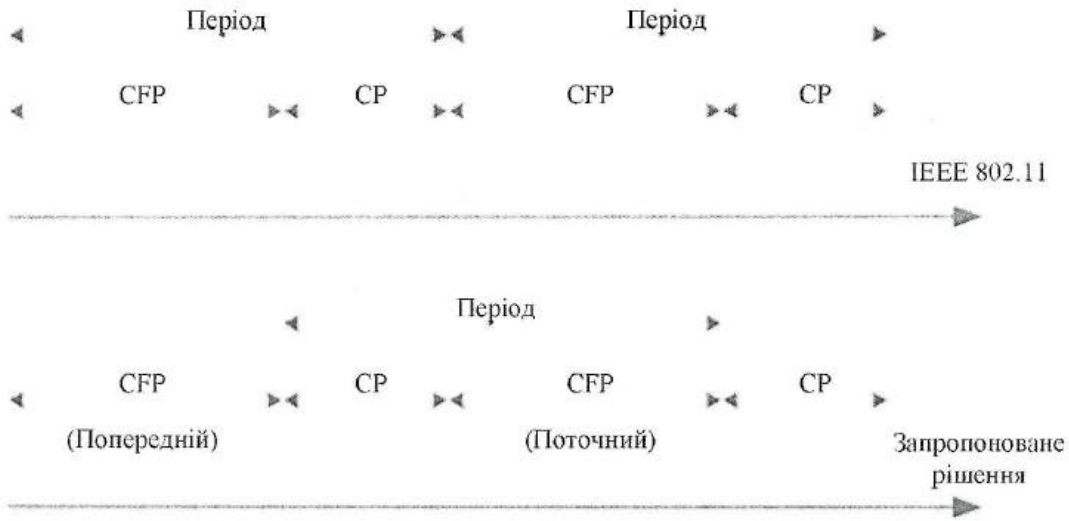


Рис. 3.10. Концепція «періоду» в запропонованому рішенні

3.3. Механізм забезпечення QoS за допомогою пріоритетності для WLAN мереж з багатьма точками доступу

Весь трафік розділений на 4 типи: голос (voice), відео (video), еластичний (Best Effort), фоновий (Background), і кожному типу зіставлені значення затримки (табл. 3.1). Вибір затримки в якості критерію обумовлений тим, що конкуренція між точками, щоб потім видавати право доступу станцій STA, викликає затримку і в середовищах з багатьма точками доступу, що призводить до збільшення затримки. Тоді право доступу до середовища станцій, які мають трафік з жорсткою вимогою до затримок, забезпечується як першочергове [26].

Нехай d значення межі затримки. Коли STA бере участь в списку опитування (за допомогою PLU процесу), значення d вже відомо, так що AP тільки організовує STA наступним чином: чим менше d, тим раніше знаходиться в списку даний тип трафіку. У разі, якщо значення d для різних потоків рівні, то

вони будуть розміщені в одну групу m, де m пріоритет групи, m = 1, 2, 3, 4. Якщо дві STA мають тип трафіку, що належить одній групі, то в списку вони розташовуються з пріоритетом за часом підключення. Нехай k кількість станцій STA в одній групі т. Значення до використовується для конкуренції DCFout і розглядається як один з параметрів для забезпечення QoS. Наприклад, для мережі, представленої на рис. 3.11 можна створити список опитування для кожної AP згідно з табл. 3.2.

Таблиця 3.1.

Вимога параметра затримки для кожного типу трафіку

Пріоріет m	Тип трафіку	Допустиме значення затримки (d)
1	Voice, Highly interactive video	100 ms
2	Interactive video	100 400 ms
	Video streaming	<1 s
3	Best Effort	Чи не унормовано
4	Background	Чи не унормовано

Таблиця 3.2.

Список опитування точок доступу для мережі на рис. 3.11

m	API	AP2	AP3	AP4
1	C1, C2 (k = 2)	C1 (k = 1)	C1, C2, C3 (k = 3)	-
2	C3 (k = 1)	-	-	C1, C2 (k = 2)
3	C4 (k = 1)	C2, C3 (k = 2)	-	C3 (k = 1)
4	C5 (k = 1)	-	C4 (k = 1)	-

Слід зазначити, що в пропонованому механізмі конкуренція відбувається між точками доступу, а не між станціями, і доступ до середовища ґрунтується на значеннях т і до.

-Точка доступу AP перевіряє на зайнятість (busy). Вона припиняє всю діяльність і чекає до тих пір, поки середу вільна (idle).

-Після того, що навколишнє середовище стала вільною, точка доступу продовжує чекати в протягом часу

$$ODIFS\ (m) = SIFS + m_{min} \times slottime \qquad (3.2)$$

де m_{min} найменше значення m в списку опитування; slottime = 9 або 20 мкс в залежності від реалізації; SIFS значення укороченого інтервалу.

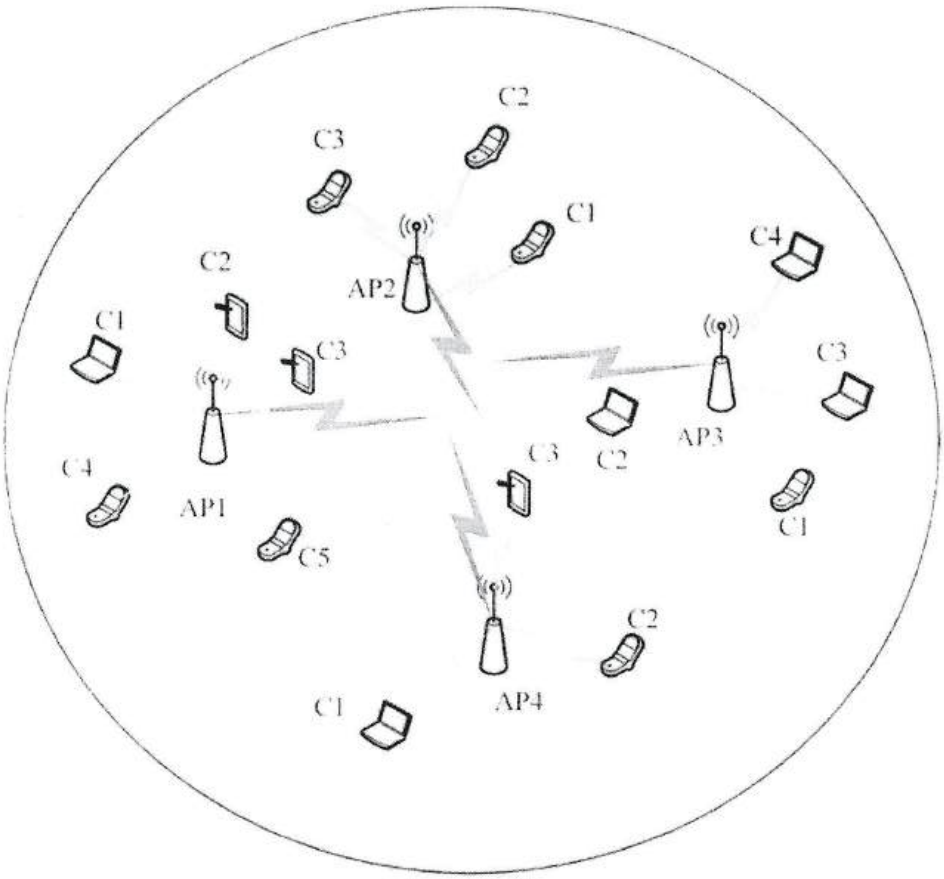


Рис. 3.11. Приклад WLAN мережі з багатьма точками доступу

Таким чином, пріорітетності за часом очікування ODIFS (m) точок доступу на основі пріоритету m дозволяє трафік чутливих до затримок додатків передати швидше, ніж решта. Однак, при цьому можливий випадок, коли багато точок доступу мають однакове значення m і одночасно конкурують за доступ до середовища. Тоді можлива ситуація, коли дві точки доступу припускають, що середовище вільне і одночасно передають, що призводить до колізії. Для

зменшення цієї проблеми в механізмі DCFout вводиться значення к.

Пріоритезація при конкуренції між точками доступу з однаковим значенням m

Значення до кількість станцій STA в одній групі m використовується для конкуренції між точками доступу за принципом найменшого: чим менше значення до, тим швидше точка отримує право доступу до середовища. Це дає здатність швидко звільнити середу настільки, наскільки це можливо, і зменшує затримку для інших точок доступу. Після очікування ODIFS (m) запускається процедура зворотного відліку:

$$\text{Backoff_ Time (k)} = \text{RandomQ x slotime.} \qquad (3.3)$$

RandomQ є довільним значенням в діапазоні значень [x, y], де [x, y] залежить від k, і n кількість одночасно конкуруючих AP (тобто однакове значення m і однаковий інтервал значень k згідно з табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Діапазон значень [x, y]

до	[x,y]
1 - 10	[0, qi-1]
11 - 20	[0, 2qi-1]
21 - 30	[0, 4qi-1]
> 30	[0, 8qi-1]

Після процесу зворотного відліку Backoff Time, якщо середовище ще вільна (idle), виконується downlink-Передача і, отже, буде відбуватися процес мульти опитування (uplink-Передача). Інші точки доступу (точки мають одне і те ж значення m, але значення k більше) не можуть захопити право доступу до середовища. Вони повинні відкладати передачу на своє значення Backoff Time. Після того, як середу стане вільною, ці AP знову починають процедуру зворотного відліку, але вже з меньшим розміром Backoff Time, що визначається

попереднім значенням лічильника зворотного відліку і, відповідно, з меншим значенням часу очікування. При цьому очевидно, що чим більше число раз AP відкладає передачу по причині зайнятості середовища, тим вище ймовірність того, що в наступний раз вона отримає доступ до середовища передачі даних. AP повернеться до конкурсного процесу з новою групою m після того, як процес мульти опитування буде виконаний, тобто все STA, що належать поточної групі m даної AP, були опитані.

Розглянемо приклад (рис. 3.12).

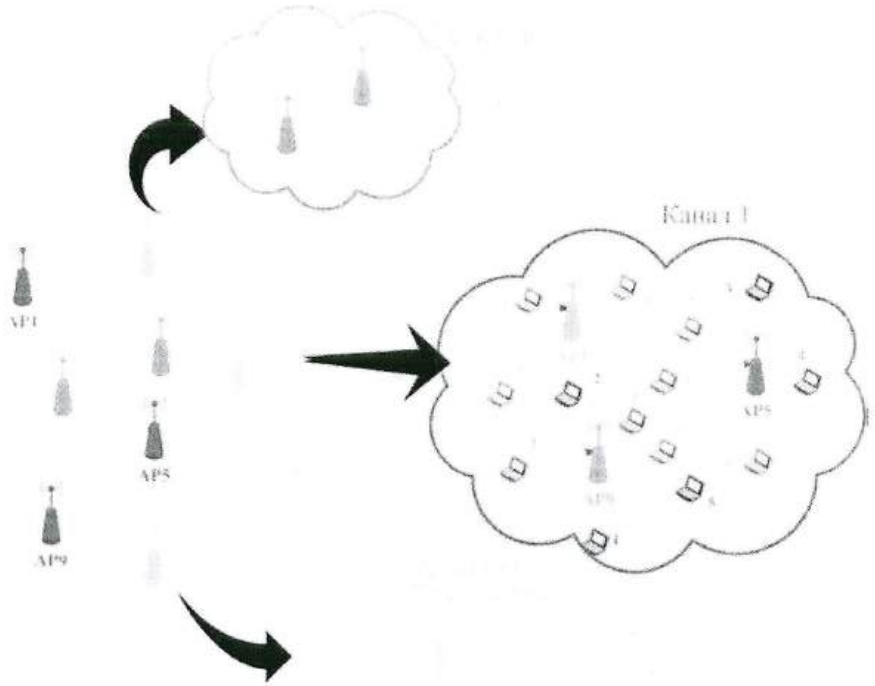


Рис. 3.12. Приклад роботи механізму DCFout між точками доступу

Припустимо, що WLAN має кілька точок доступу, і вони використовують канали 1, 6, 11, щоб зменшити суміжну інтерференцію. Але кожна група точок доступу, що належать одному і тому ж каналу, ще й впливає один на одного. В цьому випадку розглянемо канал 1 з точками доступу: AP1, AP 5, AP 9 і відповідними STA. Діяльність кожної групи каналів відрізняється, тобто

функціонування DCFout механізму при каналі 1 буде не пов'язане з DCFout при каналах 6 і 11. Це також означає, що передача даних і очікування коли середовище зайнята в одній групі каналів не будуть пов'язані з іншими групами каналів.

На рис. 3.13 показані списки опитування цих АР (ці списки опитування створюються відповідно до пріоритетності правилом пріоритетності і завдяки PLU механізмом).

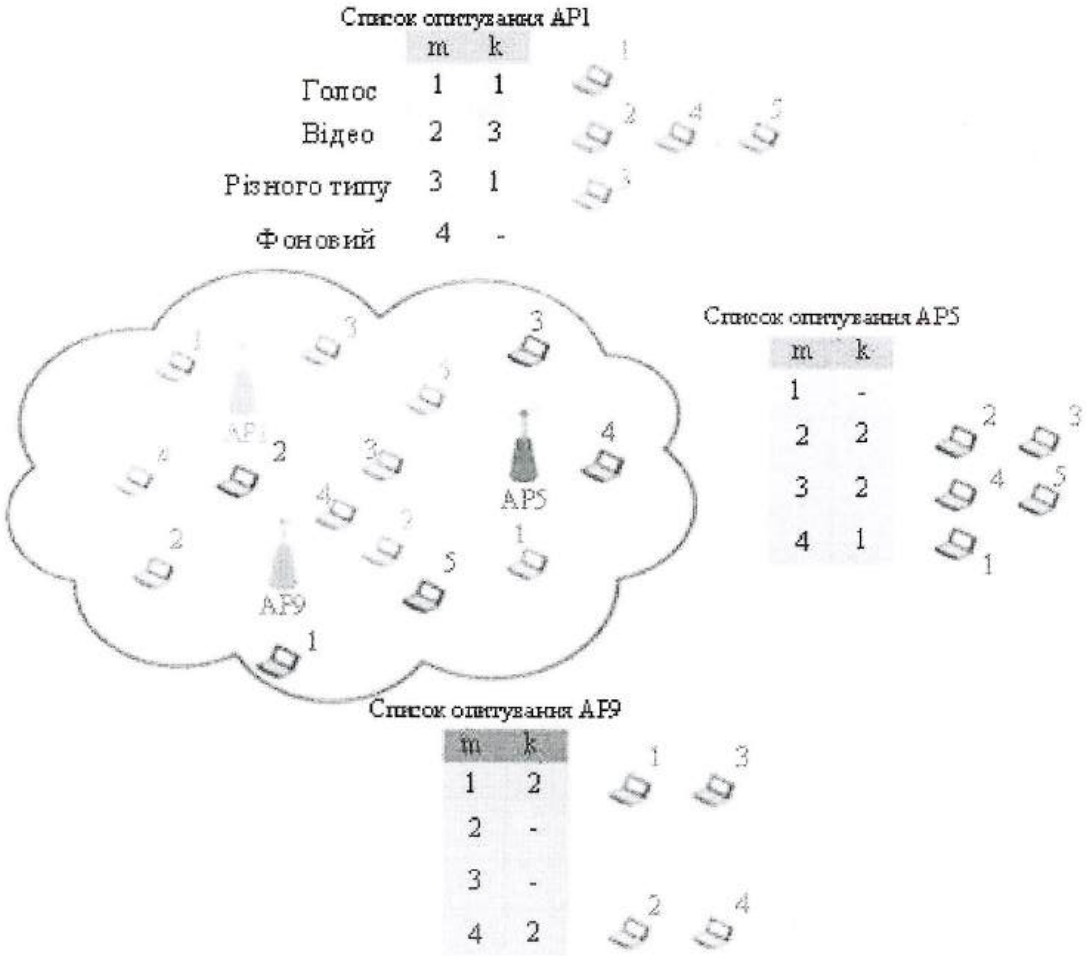


Рис. 3.13. Списки опитування точок доступу

Припустимо, що в даний момент, STA 3 (m = 1) AP 9 передає дані. Таким чином, АР 1 і АР 5 повинні припинити свою діяльність. Після того, що STA 3 (АР 9) завершить передачу, середовище стає вільною. При цьому АР будуть знову починати процес конкуренції, а саме (рис. 3.18):

- АР 1 чекає ODIFS = SIFS + 1 timeslot, так як k≠0,

- AP 5 чекає ODIFS = SIFS + 2 timeslots, так як k≠0,

- AP 9 чекає ODIFS = SIFS + 4 timeslots, так як k≠0.

Таким чином, AP 1 почне процес backoff раніше, ніж AP 5 і AP 9. Після процесу backoff, оскільки середовище все ще вільна AP 1 займатиме право керування середовищем. Вона буде виконувати downlink-Передача і потім процес мульти опитування. На рис. 3.14 для спрощення введено позначення «Пакети» для процесу передачі даних і не вказуються інші типи пакетів, наприклад, ACK.

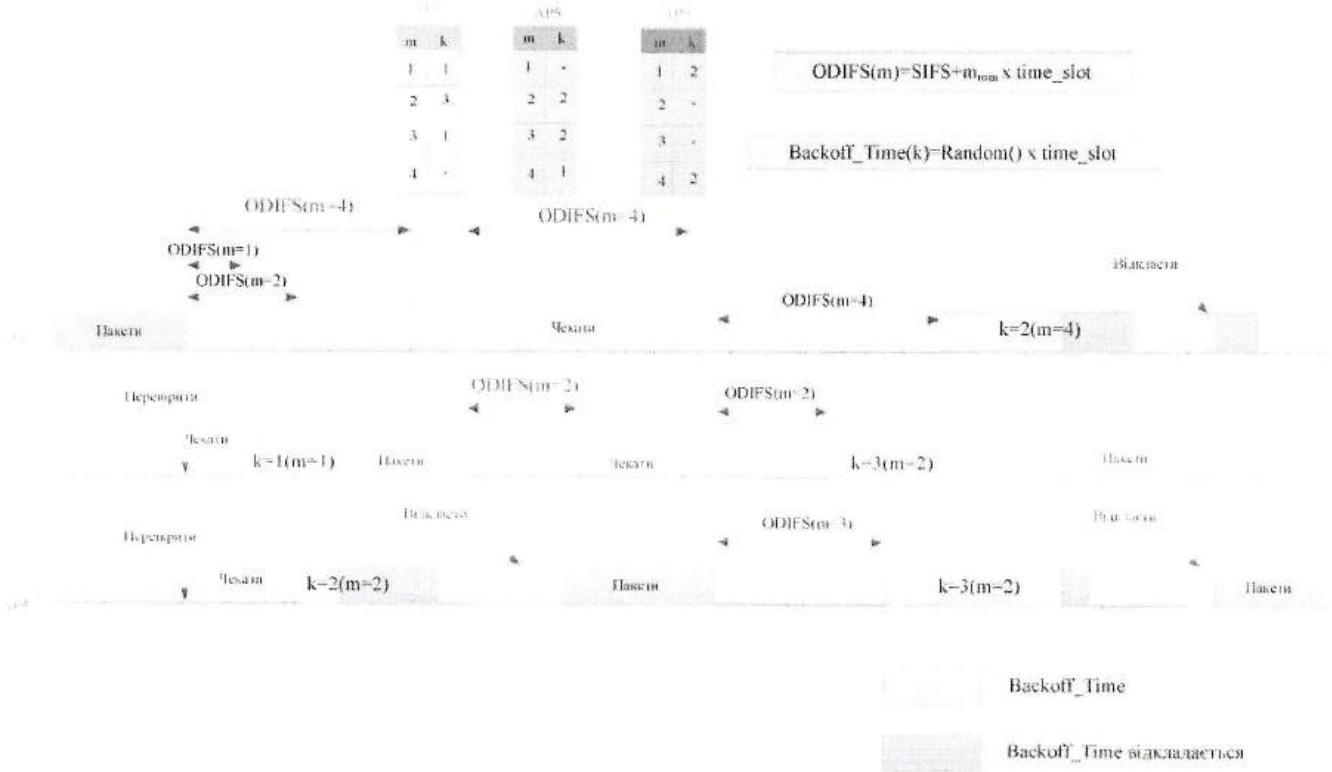


Рис. 3.14. Пріоритезація при конкуренції між точками доступу для прикладу на рис. 3.13

Під час роботи точки доступу AP 1 і AP 5 відкладуть BackoffTime. Для AP 9, оскільки її час очікування ще не закінчилося, а середовище вже стала зайнятою, буде перезапуститься час очікування при звільненні середовища. Аналогічним чином для точки доступу AP 1.

Легко бачити (рис. 3.15), що ймовірність того, що група m з більш високим пріоритетом буде обслуговуватися швидше, більше. Слід зазначити, що не завжди

група m з меншим k буде отримувати контроль швидше, ніж така ж група m але з великим к. Наприклад, k = 2 і k = 1: незважаючи на те, що у АР 5 (m = 3) до більше, вона контролює середу раніше АР 1. Це пояснюється тим, що значення Random Q випадково вибираються в діапазоні значень [x, y]. Це призводить до того, що Backoff Time значення також різняться.

Процедура визначення значень [x, y]

Нехай S кількість АР, у яких є можливість конкурування; n кількість одночасно конкуруючих АР, n > 2; q мінімальна кількість значень RandomQ в [x, y], q E N*. Імовірність, що n АР вибирають одне і те ж значення RandomQ в [x, y]:

$$P(n) = \frac{c_S^n \cdot q \cdot 1^{n-1}}{c_S^n \cdot q} = \frac{1}{q^{n-1}}, \tag{3.4}$$

звідки необхідно знайти $q(n)\big|_{P_{(n)\to\min}}$, тоді:

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{1}{P(n)}}. \tag{3.5}$$

Приймемо, що $P_{(n)}$ має наступний наближений вигляд:

$$P_{i(n)} = 10^{-i}, \tag{3.6}$$

де $i \in N, i \geq 2$.

З виразів (3.5) і (3.6) слід:

$$q_{i(n)} = 10^{\frac{i}{n-1}}. \tag{3.7}$$

Графік на рис. 3.15 дозволяє визначити відношення між n, P(n) і q. Наприклад, хай q = 32, тоді $P_{(n)} = \frac{1}{32^{n-1}}$. Крім випадку n = 2, тобто P(n)=0,03, при n > 3, ймовірності P(n) << 10^{-3} (рис. 3.16). Це означає, що при q = 32 ймовірність, що n конкуруючих АР вибирають одне і те ж значення RandomQ, дуже мала.

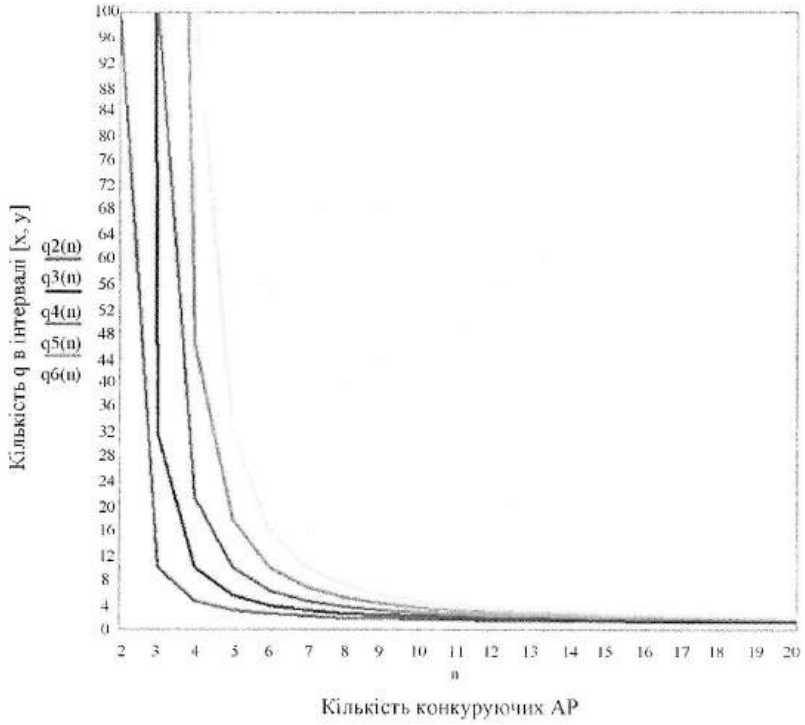


Рис. 3.15. Залежність кількості qi в інтервалі [x, y] від кількості одночасно конкуруючих AP

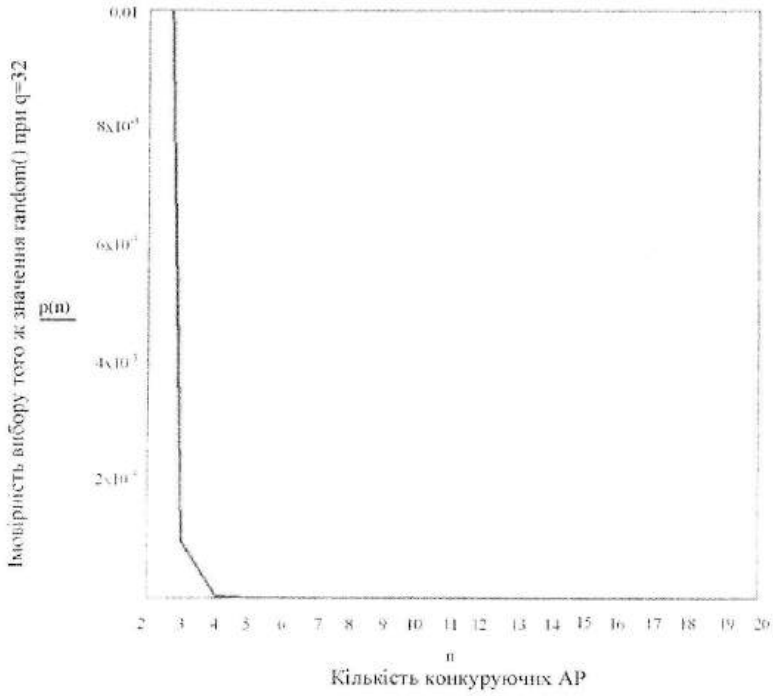


Рис. 3.16. Імовірність, що n конкуруючих AP вибирають одне і те ж значення RandomQ при q = 32

Для оцінки ефективності механізму DCFout використовується модель затримки доступу до середовища авторів Dongxia Xu і ін. Однак, хоча

конкуренція в DCFout також заснована на значеннях ODIFS (m) і Backoff Time (k), аналогічних значень AIFS і Backoff time в EDCA, спосіб вибору цих значень різниться в залежності від механізму. Параметр ODIFS (m) є постійним параметром, а значення Backoff Time вибирається випадковим чином в залежності від кількості STA k в категорії доступу. Це повністю відрізняється від EDCA, тобто будуть випадки, коли категорія доступу однакова, але інтервали вибору значення RandomQ будуть різними. Крім того, слід зазначити, що в DCFout тільки AP конкурують між собою, а STA встановлюють час відстрочки досить довго, щоб вважатися не заважають конкурентному процесу AP. Таким чином, видно, що з тієї ж мережею з тими ж точками доступу і STA, кількість конкуруючих вузлів в DCFout може бути істотно знижений. Крім того, оскільки DCFout використовує список опитування PCFin, то не може бути відділений від PCFin (на відміну від EDCA). Таким чином, щоб знизити складність при порівнянні DCFout з EDCA, в наступному прикладі вводиться ряд припущень:

-завжди будуть пакети, які передаються в PCF in відразу після того, що AP отримала доступ до середовища;

-у кожної AP є тільки одна категорія доступу або одна група m;

-AP мають таке ж значення m під час конкуренції матимуть таке ж k значення.

У табл. 3.4 показано кількість AP і STA, використовуваних в розрахунку. Інші параметри залишаються такими ж, як в (табл. 3.5). DCFout порівнюється з EDCA з 3 наборами параметрів CWmin, AIFS: EDCA 1-{{3/7/15/15}, {50/70/70/90}}; EDCA 2 {{3/7/15/15}, {50/50/70/150}}; EDCA 3 {{7/15/31/31}, {50/50/70/90}}. Для DCFout набір параметрів для прикладу {{15/15/15/31}, {30/50/70/90}}, тобто q = 15.

Таблиця 3.4

Сценарій для порівняння DCFout з EDCA

Категорія доступу	AC0 (M = 1)	AC1 (m = 2)	AC2 (m = 3)	AC4 (M = 4)
кількість AP	3	4	3	6
Кількість STA / категорія / AP	2	2	2	2
Сума кількості STA	6	8	6	12

Таблиця 3.5.

MAC і PHY параметри для 803.11 b

параметр	значення
SIFS	10 мкс
Slot time	20 мкс
PHYS header	192 мкс
MAC header	224 біта
UDP / IP header	320 бітів
UDP packet size	1000 байтів
ACK packet	112 біта
Data rate	11 Мбіт / с
Control rate	1 Мбіт / с

Результат порівняння показаний на рис. 3.17. Можна бачити, що DCFout значно знижує затримку доступу до середовища в порівнянні з EDCA.

Downlink-передачі в процесі DCFout

Більшість рішень опитування орієнтовані тільки на uplink-передачі, а downlink-Передача часто виконується в CP-періоде (період конкуренції) з використанням DCF або EDCA, щоб конкурувати за доступ до середовища. Ця конкуренція призводить до деяких недоліків в підтримці QoS для трафіку в реальному часі. Тому в пропонованому DCFout механізмі, користуючись тим, що AP контролює середу, їй не потрібно конкурувати з іншими AP або STA (хоча вона все ще перебуває в режимі CP). Таким чином, легко виконати downlink

передачу, тому що вся інформація про downlink-кадра контролюється цією AP (централізований спосіб управління).

Слід зазначити, що реалізація downlink-передачі також повинна дотримуватися схеми пріоритетних черг. У цій схемі кадр, прийнятий в AP, вставлений в downlink-буфер відповідно до його пріоритетом. Таким чином, кадри з більш високим пріоритетом можуть бути вставлені ближче до початку буфера, ніж кадри з більш низьким пріоритетом. Це знижує затримку доступу для трафіку з більш високим пріоритетом. Тому можна забезпечити вимоги QoS для кожного типу трафіку. Якщо тривалість періоду недостатня для передачі всіх downlink-кадра, кадри, які ще не передалися в поточному періоді, будуть передані в наступному періоді, і вони будуть стояти на початку буфера.

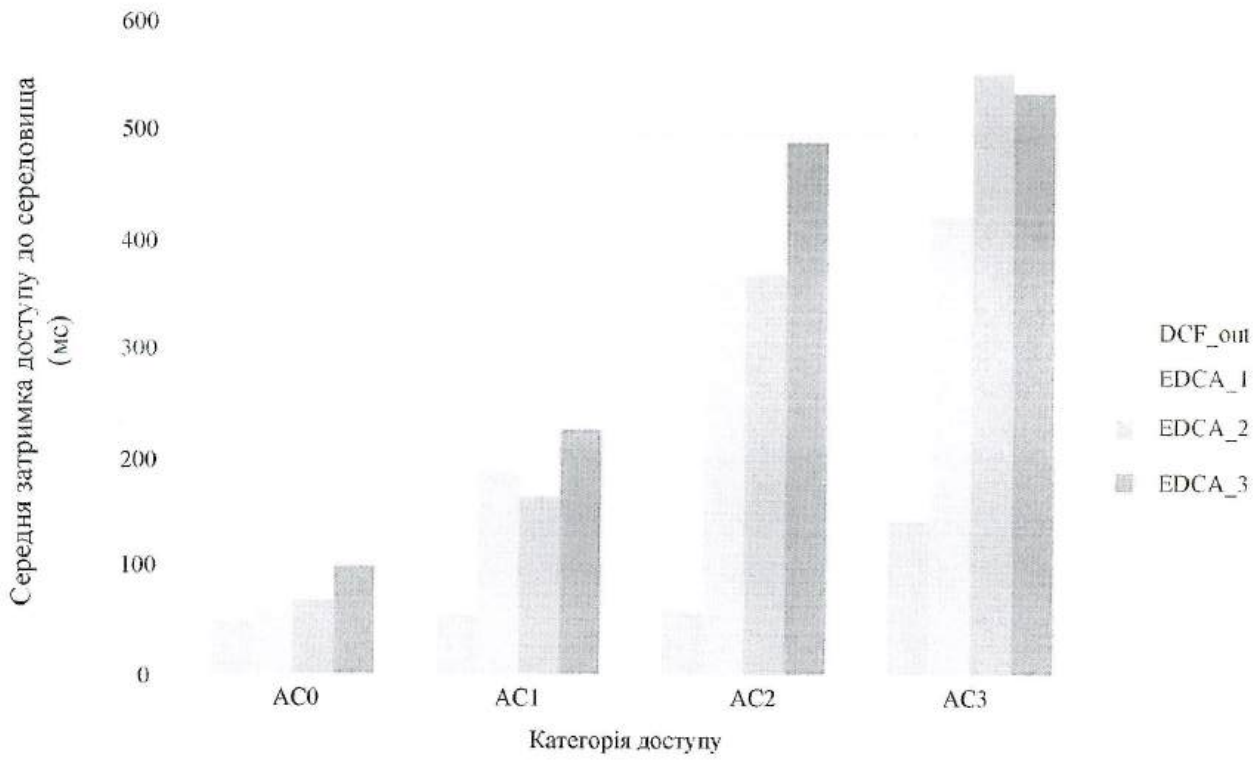


Рис. 3.17. Результат порівняння DCFout з EDCA з точки зору середньої затримки доступу до середовища

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі на підставі аналізу проблем, що виникають у мережах WLAN по мірі збільшення станцій та їх щільності, визначені основні проблеми, шляхи та засоби забезпечення QoS. Виконаний порівняльний аналіз умов співіснування WiFi і Bluetooth, WiFi і Zigbee, а також шляхів ослаблення шкідливих взаємовпливів. Було показано, що не існує універсального методу підвищення надійності та продуктивності системи, що міг би бути використаним для всіх сценаріїв.

Аналіз проблем в забезпеченні якості обслуговування і тих рішень, що вже існують дозволяє стверджувати, що проблема підтримки QoS в WLAN є внутрішньою, що вимагає враховувати взаємодії компонентів WLAN мережі, впливу WLAN мереж між собою і можливість забезпечення різних типів трафіків в мережі.

На основі аналізу продуктивності високощільної WLAN з багатьма точками доступу виявлено, що використання різних категорій трафіку і механізмів опитування в HCF для вирішення проблеми забезпечення QoS є багатообіцяючими: при чому результати моделювання вказують, що затримка зменшується на 31%, кількість спроб повторної передачі зменшуються на 15 %, а пропускна здатність збільшується на 7%. Запропоновано застосувати модифіковані методи доступу на IEEE 802.11 на MAC рівні для забезпечення QoS.

На підставі аналізу переваг і недоліків механізмів конкуренції і опитування в IEEE 802.11 запропоновано кілька рекомендацій в використанні і перемиканні між цими двома механізмами для підвищення здатності підтримувати якість обслуговування; сформульовані рекомендації щодо використання механізмів конкуренції та опитування – тобто тільки комбінація механізму конкуренції і механізму опитування може забезпечити оптимальність здатність підтримувати QoS в WLAN мережі.

Проведене імітаційне моделювання продемонструвало можливості механізмів конкуренції і опитування в області підтримки QoS, причому для

передачі не-мультимедіа трафіку більш підходить механізм конкуренцію а механізм опитування підтримує QoS краще.

За результатами дослідження запропоновано механізм для забезпечення мінімізації затримки в умовах конкурентного середовища в високощільної WLAN мережі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. "IEEE 802.11ax Standard," IEEE, 2019. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8717262 (дата звернення: 15.10.2023 р.).

2. Wen-Shan Chen, Chih-Kai Yang and Wei-Syum Sin, "MIMO antenna with Wi-Fi and Blue-Tooth for smart watch applications", International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), pp. 212-213, Sept. 2017.

3. IEEE Standard for Information technology--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012). (IEEE 802.11)

4. Канальний рівень IEEE 802.11 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/Канальний_рівень_IEEE_802.11 (дата звернення: 15.10.2023 р.).

5. Abrignani M. D. Testing the impact of Wi-Fi interference on ZigBee networks [Електронний ресурс] / M. D. Abrignani, C. Buratti, L. Frost, R. Verdone // In Euro Med Telco Conference (EMTC). – 2017. – С. 1-6. – Режим доступу : https://www.researchgate.net/publication/287408358_Testing_the_impact_of_Wi-Fi_interference_on_Zigbee_networks (дата звернення: 26.10.2023 р.).

6. Bellalta B. IEEE 802.11 ax: High-efficiency WLAN [Електронний ресурс] / B. Bellalta // IEEE Wireless Communications 23. – 2018. – № 1. – С. 38-46. – Режим доступу: https://www.academia.edu/29264806/IEEE_802.11ax_High-efficiency_WLANS (дата звернення: 02.11.2023 р.).

7. Cecchetti, G. Providing variable TXOP for IEEE 802.11e HCCA real-time networks / G. Cecchetti, A.L. Ruscelli, A. Mastropaolo // In Wireless communications and networking conference (WCNC). – 2017. – С. 1508-1513.

8. Cheikh S. B. Safh-smooth adaptive frequency hopping / S. B. Cheikh, T. Esemann, H. Hellbrück // In Cross Layer Design (IWCLD), Third International Workshop on. – 2017. – С. 1-5.

9. Chou C. W. On efficient multipolling with various service intervals for IEEE 802.11 e WLAN / C. W. Chou, K. C .J. Lin, T. H. Lee // In Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 7th International. – 2016. – C. 1906-1911.

10. Deng D. J. Quality-of-service provisioning system for multimedia transmission in IEEE 802.11 wireless LANs / D. J. Deng, H. C. Yen // IEEE Journal on Selected Areas in Communications 23. – 2016. – № 6. – C. 1240-1252.

11. Garroppo R. G. Experimental assessment of the coexistence of Wi-Fi, ZigBee, and Bluetooth devices / R. G. Garroppo et al. // In World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE International Symposium on. – 2018. – C. 1-9.

12. IEEE Std 802.11™-2019. Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – 2019.

13. Ju K. Dynamic TXOP allocation for multimedia QoS providing over wireless networks / K. Ju, K. Chung // In Information Networking (ICOIN), International Conference on. – 2018. – C. 397-401.

14. Kabir M. H. Detail comparison of network simulators / M. H. Kabir et al. // International Journal of Scientific & Engineering Research 5. – 2017. – C. 203-218.

15. Khorov E. IEEE 802.11 ax: how to build high efficiency WLANs / E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov // In Engineering and Telecommunication (EnT), International Conference on. – 2018. – C. 14-19.

16. Kuo Y.W. A novel scheduler for VBR traffic in IEEE 802.11 HCCA WLAN / Y. W. Kuo, J. H. Tsai // International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing. – 2016. – № 8(3). – C. 165-173.

17. Le T. D. The multipolling mechanism based on the prioritization for WLAN network with multiple access points / T. D. Le // In 31st International Conference on Information Networking (ICOIN). – 2017. – C. 24 – 29.

18. Lei J. A Novel Co-channel Deployment Algorithm Based on PCF in Multiple AP and High Density WLAN / J. Lei, J. Jiang // In Computer Science On-line Conference. – 2017. – C. 126-135.

19. Malik A. QoS in IEEE 802.11-based wireless networks: a contemporary review / A. Malik et al. // Journal of Network and Computer Applications 55. – 2019. – С. 24- 46.

20. Mishra V. Analysis and comparison of different network simulators / V. Mishra, S. Jangale // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. – 2017.

21. Natarajan R. Analysis of coexistence between IEEE 802.15.4, BLE and IEEE 802.11 in the 2.4 GHz ISM band / R. Natarajan, P. Zand, M. Nabi // In Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE. – 2018. – С. 6025-6032.

22. Xiaoying S. Research of PCF for Real-Time Multimedia Services in WLAN / S. L. Xiaoying, D. B. Lian, H. Huang // Advanced Technology in Teaching. – 2018. – С. 163-169.

23. Riggio R. Virtual network functions orchestration in enterprise WLAN / R. Riggio, T. Rasheed, R. Narayanan // In Integrated Network Management (IM), IFIP/IEEE International Symposium on. – 2021. – С. 1220-1225.

24. Ruscelli A.L. Improving the QoS of IEEE 802.11 e networks through imprecise computation / A. L. Ruscelli, G. Cecchetti // International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing 23. – 2016. – № 3-4. – С. 152-167.

25. Zhao, D. Leveraging SDN and OpenFlow to Mitigate Interference in Enterprise WLAN / D. Zhao, M. Zhu, M. Xu // JNW 9. – 2019. – № 6. – С. 1526-1533.

26. Zhong Z. Issues and challenges in dense WiFi networks / Z. Zhong, K. Parag, C. Fengming, F. Zhong, A. Simon // In Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). – 2021. – С. 947 – 951.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Доповідь по магістерській роботі на тему:

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ



Студента Тренби Андрія Олександровича

Мета роботи

- **Мета роботи і завдання дослідження.** Метою даної магістерської роботи є знаходження шляхів та способів збільшення пропускної спроможності, зменшення затримок і втрат пакетів у високощільних WLAN мережах з багатьма точками доступу за рахунок вдосконалення механізмів доступу до середовища.
- **Об'єктом дослідження** є процес доступу до середовища в безпроводових локальних мережах.
- **Предмет дослідження** - механізми доступу до середовища на рівні стандарту IEEE 802.11.

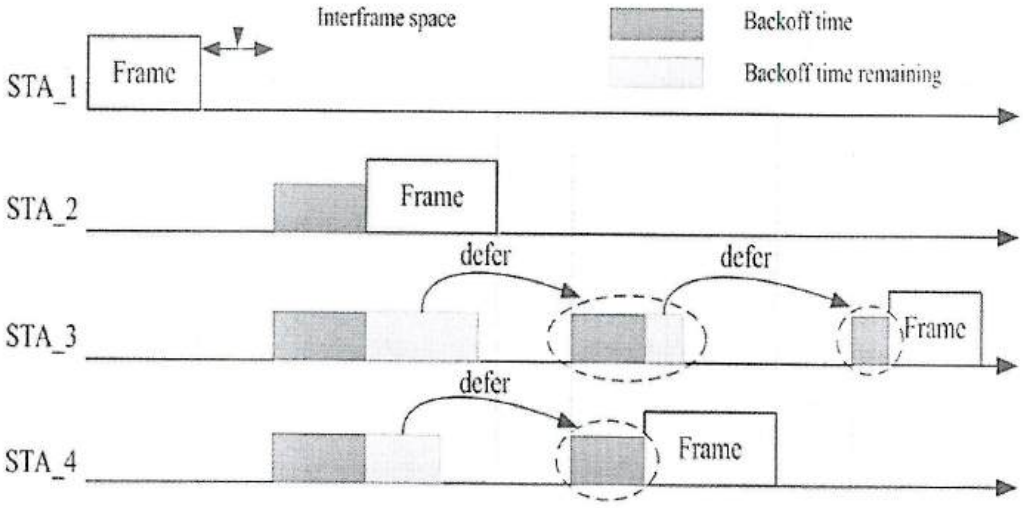
Вступ

У даній магістерській роботі на підставі аналізу проблем, що виникають у мережах WLAN по мірі збільшення станцій та їх щільності, визначені основні проблеми, шляхи та засоби забезпечення QoS.

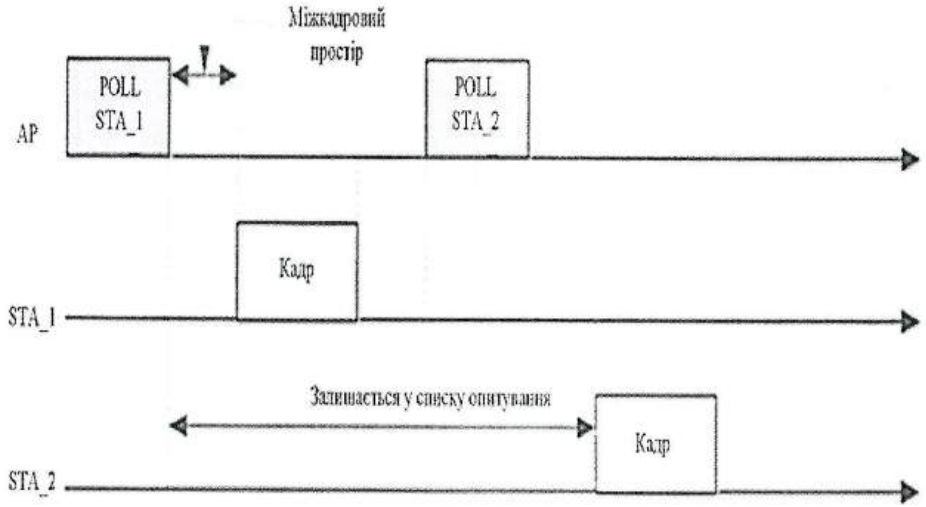
Виконаний порівняльний аналіз умов співіснування WiFi і Bluetooth, WiFi і Zigbee, а також шляхів ослаблення шкідливих взаємовпливів. Було показано, що не існує універсального методу підвищення надійності та продуктивності системи, що міг би бути використаним для всіх сценаріїв.

Аналіз проблем в забезпеченні якості обслуговування і тих рішень, що вже існують дозволяє стверджувати, що проблема підтримки QoS в WLAN є внутрішньою, що вимагає враховувати взаємодії компонентів WLAN мережі, впливу WLAN мереж між собою і можливість забезпечення різних типів трафіків в мережі.

Механізми доступу в бездротових локальних мережах

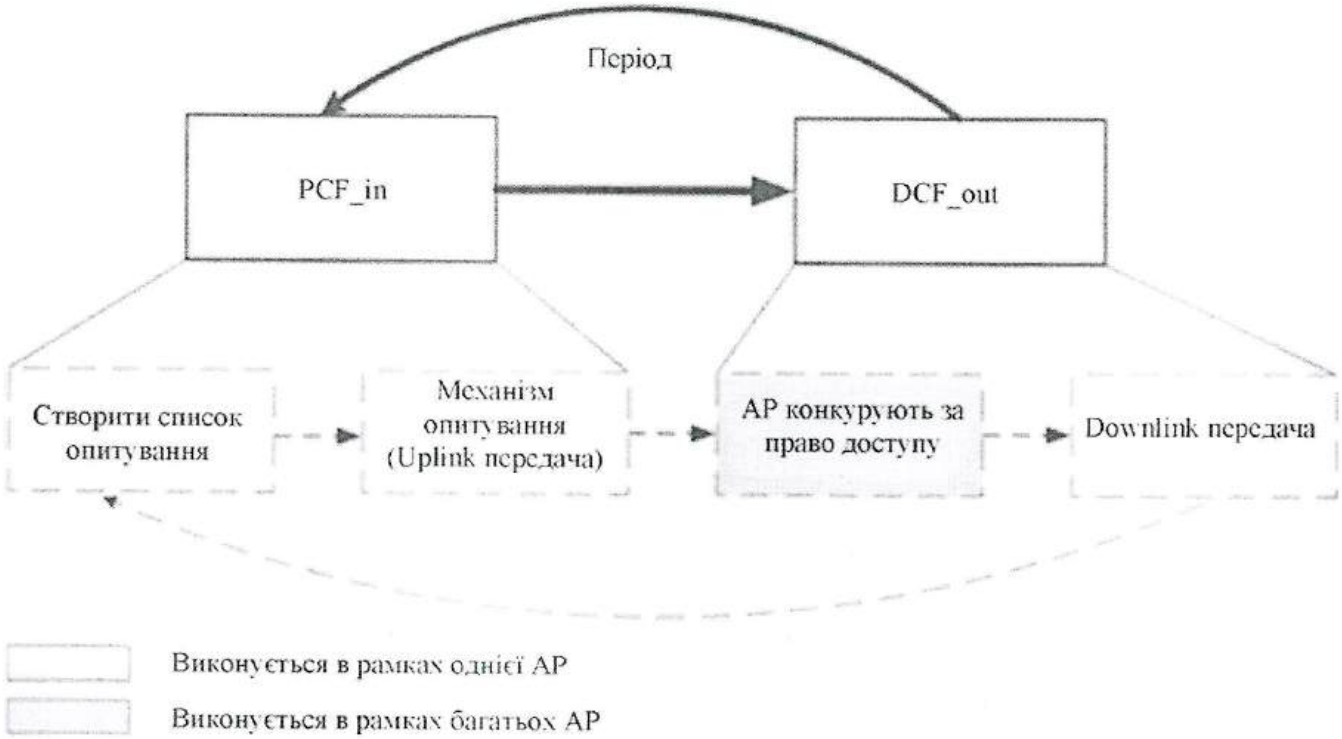


Принцип роботи механізму конкуренції



Принцип роботи механізму опитування

Механізм пріоритетності для забезпечення мінімізації затримки бездротової локальної мережі

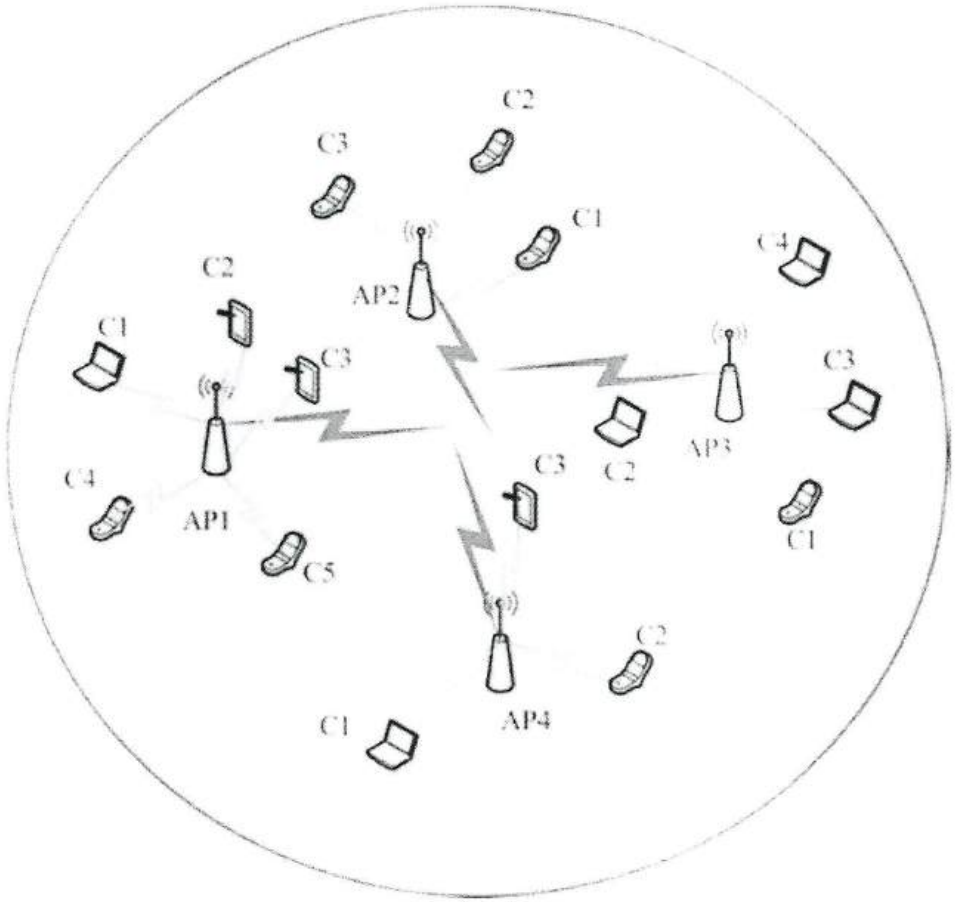


Механізм забезпечення QoS за допомогою пріоритетності для WLAN мереж з багатьма точками доступу

Вимога параметра затримки для кожного типу трафіку

Пріоріет m	Тип трафіку	Допустиме значення затримки (d)
1	Voice, Highly interactive video	100 ms
2	Interactive video	100 400 ms
	Video streaming	<1 s
3	Best Effort	Чи не унормовано
4	Background	Чи не унормовано

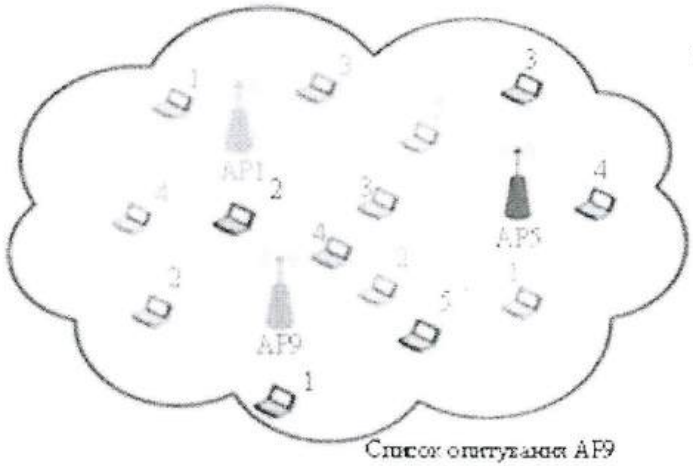
Приклад WLAN мережі з багатьма точками доступу



Списки опитування точок доступу

Список опитування AP1

	m	k
Голос	1	1
Відео	2	3
Різного типу	3	1
Фоновий	4	-



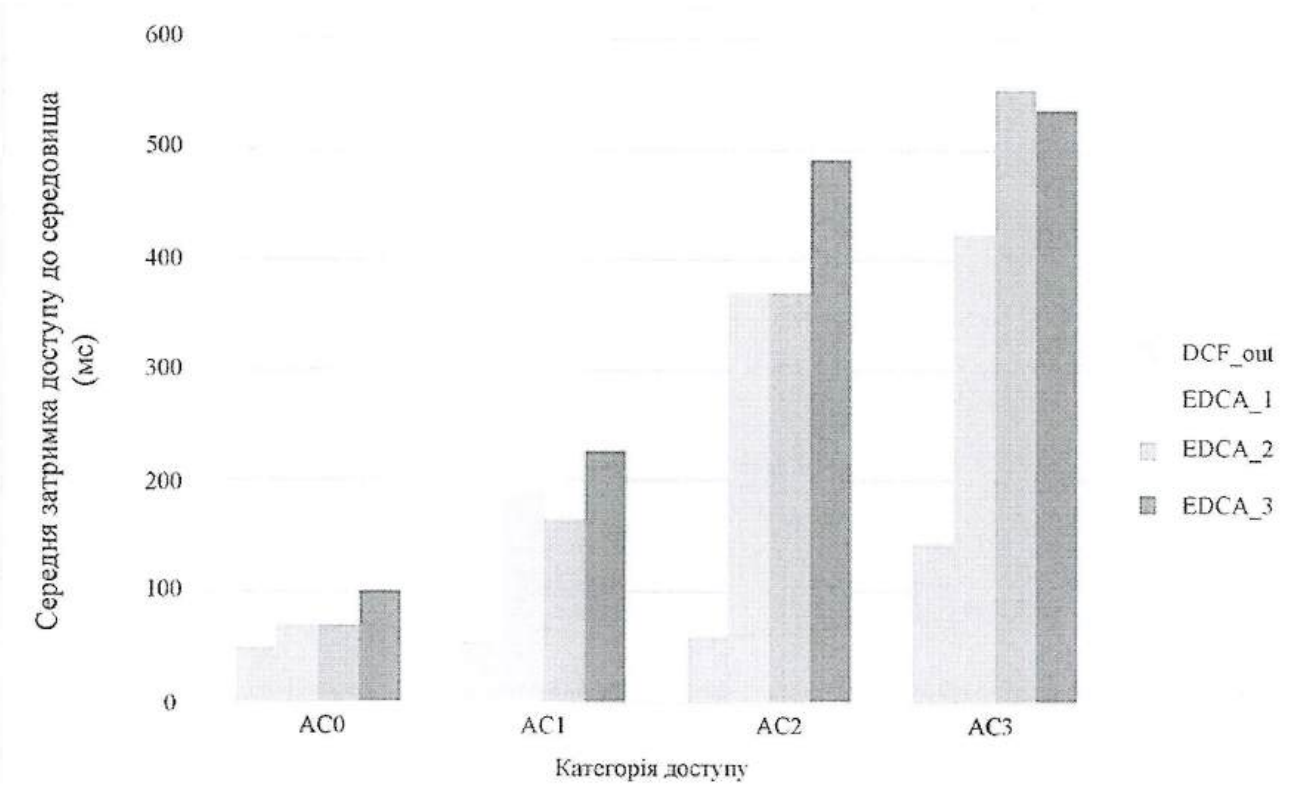
Список опитування AP5

m	k
1	-
2	2
3	2
4	1

Список опитування AP9

m	k
1	2
2	-
3	-
4	2

Результат порівняння DCFout з EDCA з точки зору середньої затримки доступу до середовища



ВИСНОВКИ

- На основі аналізу продуктивності високощільної WLAN з багатьма точками доступу виявлено, що використання різних категорій трафіку і механізмів опитування в HCF для вирішення проблеми забезпечення QoS є багатообіцяючими: при чому результати моделювання вказують, що затримка зменшується на 31%, кількість спроб повторної передачі зменшуються на 15 %, а пропускна здатність збільшується на 7%. Запропоновано застосувати модифіковані методи доступу на IEEE 802.11 на MAC рівні для забезпечення QoS.
- На підставі аналізу переваг і недоліків механізмів конкуренції і опитування в IEEE 802.11 запропоновано кілька рекомендацій в використанні і перемиканні між цими двома механізмами для підвищення здатності підтримувати якість обслуговування; сформульовані рекомендації щодо використання механізмів конкуренції та опитування – тобто тільки комбінація механізму конкуренції і механізму опитування може забезпечити оптимальність здатність підтримувати QoS в WLAN мережі.
- Проведене імітаційне моделювання продемонструвало можливості механізмів конкуренції і опитування в області підтримки QoS, причому для передачі не-мультимедіа трафіку більш підходить механізм конкуренцію а механізм опитування підтримує QoS краще.
- За результатами дослідження запропоновано механізм для забезпечення мінімізації затримки в умовах конкурентного середовища в високощільної WLAN мережі.

Апробація результатів магістерської роботи

- Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

- Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Андрій ТРЕНБА

Назва: Методи забезпечення ефективності безпроводових локальних мережах

Координатор: Андрій ЛЕМЕШКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :3.5

Коефіцієнт подібності 2 :0.9

Тривога: 1

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*