ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Проектування безпровідних мереж за допомогою адаптивного методу»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

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

_____ *Владислав РАССКАЗОВ*
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. КІД-42
Владислав РАССКАЗОВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: Людмила АСЄЄВА
PhD
доцент
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Рецензент:
науковий ступінь, вчене звання
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
_____
«_____» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рассказов Владислав Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Проектування безпровідних мереж за допомогою адаптивного методу
керівник кваліфікаційної роботи Людмила АСЄЄВА,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «24» лютого 2025р. № 56
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «30» травня 2025р.
3. вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, WLAN, IEEE 802.11, точка доступу, вибір ар, адаптивний алгоритм, EOAP, якість обслуговування, пропускна здатність, RSSI, ixchariot..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналіз нормативних вимог, методів і технічних засобів проєктування WLAN
2. Методологія розробки бездротових мереж WLAN із використанням інструментів моделювання та перевірки
3. Проєктування бездротових мереж із використанням адаптивного методу
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	25.02-24.03.2025	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2025	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2025	Виконано
4	Розробка практичної частини	11.04-20.04.2025	Виконано
5	Висновки за результатами аналізу	21.04-06.05.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	07.05-08.05.2025	Виконано
7	Розробка презентації	09.05-11.05.2025	Виконано
8	Передзахист	14.05-17.05.2025	Виконано
9	Здача в деканат	27.05-03.06.2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Владислав РАССКАЗОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Людмила АСЄЄВА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 59 стор., 30 рис., 15 джерел.

Мета роботи – дослідження та реалізація адаптивного методу вибору точки доступу (AP) у бездротових мережах з метою забезпечення стабільного з'єднання та підвищення якості обслуговування мобільних пристроїв.

Об'єкт дослідження – бездротова локальна мережа (WLAN), побудована за стандартом IEEE 802.11.

Предмет дослідження – методи вибору точки доступу в умовах змінного радіооточення та моделювання ефективності адаптивного алгоритму на основі метрики Eligibility of Access Point (EoAP).

У роботі проведено огляд архітектури стандарту IEEE 802.11, аналіз технічних характеристик точок доступу, досліджено чинники, що впливають на якість зв'язку, та обґрунтовано доцільність використання адаптивного підходу. Для підтвердження ефективності алгоритму виконано експериментальне моделювання із застосуванням програмного комплексу IxChariot, у межах якого реалізовано три тестових сценарії з варіативним розміщенням пристроїв і наявністю перешкод. За результатами дослідження сформульовано рекомендації щодо оптимального розміщення пристроїв і впровадження адаптивного методу в реальних WLAN-системах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: WLAN, IEEE 802.11, ТОЧКА ДОСТУПУ, ВИБІР AP, АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ, EOAP, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, RSSI, IXCHARIOT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 8
ВСТУП 9
1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ, МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРОЄКТУВАННЯ WLAN 10
1.1 Сучасний стан та розвиток стандартів бездротового доступу IEEE 802.11 10
1.2 Основні елементи побудови бездротової мережі 15
1.3 Комплексна оцінка проєктування WLAN та методів її функціонального контролю 22
1.4 Оцінювання параметрів функціонування Wi-Fi мереж 26
2 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ WLAN ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ 33
2.1 Програмний засіб моделювання та аналізу мережевої продуктивності IxChariot 33
2.2 Інструмент вимірювання продуктивності бездротових мереж TamoSoft Throughput Test 35
2.3 Програмний інструмент тестування мережевої продуктивності NetStress 36
2.4 Програмний засіб вимірювання швидкодії локальних мереж LAN Speed Test 37
2.5 Програмний інструмент тестування мережевої пропускної здатності Iperf 38
2.6 Основні критерії вибору інструментів моделювання та тестування мереж 39
3 ПРОЄКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ 42
3.1 Розробка адаптивного алгоритму вибору АР 42
3.2 Експериментальна оцінка ефективності адаптивного алгоритму вибору точки доступу 45
ВИСНОВКИ 56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 57
Додаток А. Демонстраційні матеріали (презентація) 59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AP - Access Point

BSS - Basic Service Set

CSMA / CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

DSSS - Direct-Sequence Spread Spectrum

EoAP - Eligibility Of Access Point

LF - Loading Factor

LLC - Logical Link Control

MAC - Medium Access Control

MIMO - Multiple Input / Multiple Output

OSI - Open Systems Interconnection

QoS - Quality Of Services

ROI - Return On Investment

RSS - Received Signal Strength

STA - In IEEE 802.11 (Wi-Fi) Terminology Is a Station

WNIC - Wireless Network Interface Card

WLAN - Wireless Local Area Network

ВСТУП

У сучасному світі бездротові локальні мережі (WLAN) стали невід'ємною частиною телекомунікаційної інфраструктури. Їх популярність зумовлена мобільністю, зручністю використання та зростаючою потребою у високошвидкісному доступі до мережі Інтернет. Проте ефективне функціонування WLAN у динамічному радіосередовищі потребує розв'язання низки завдань, пов'язаних із забезпеченням стабільного з'єднання, мінімізації затримок і вибору оптимального маршруту передавання даних.

Однією з найважливіших проблем є вибір точки доступу (Access Point, AP) у випадках, коли користувач перебуває в зоні дії кількох AP. Традиційні методи вибору, засновані лише на рівні сигналу (RSSI), часто не враховують реальні характеристики пропускної здатності та навантаження на точку доступу, що призводить до нестабільного з'єднання або зниження якості обслуговування.

Метою даної роботи є проєктування та експериментальна перевірка адаптивного алгоритму вибору точки доступу, який враховує не лише потужність сигналу, а й ефективну пропускну здатність з'єднання, через введення інтегральної метрики – Eligibility of Access Point (EoAP). Робота включає теоретичне обґрунтування алгоритму, його моделювання у віртуальному середовищі та аналіз результатів реальних тестувань із використанням програмного забезпечення IxChariot.

1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ, МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРОЄКТУВАННЯ WLAN

1.1 Сучасний стан та розвиток стандартів бездротового доступу IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11, завершений у 1997 році, заклав основу для створення бездротових локальних мереж (WLAN). Він регламентує набір протоколів, необхідних для забезпечення їх функціонування. Основними складовими цього стандарту є протокол керування доступом до середовища (MAC — Medium Access Control), який виконує функції нижнього підрівня канального рівня, а також протокол фізичного рівня (PHY), що відповідає за передавання сигналів у фізичному середовищі. Як середовище передавання даних можуть використовуватись як радіохвилі, так і інфрачервоне випромінювання.

Стандарт IEEE 802.11 передбачає єдиний підрівень керування доступом до середовища (MAC), який взаємодіє з трьома варіантами фізичного рівня, що реалізують різні технології передавання сигналів. До них належать: широкосмугове передавання з прямим розширенням спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), передавання з частотними перестрибуваннями (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), а також інфрачервоне випромінювання. Зазначені технології реалізуються у двох частотних діапазонах: поблизу 915 МГц та у межах від 2400 до 2483,5 МГц. Найбільш перспективним для впровадження у бездротових мережах визнано діапазон 2,4 ГГц, оскільки він характеризується відносно низьким рівнем завад та забезпечує розширення доступної смуги пропускання.

У режимі FHSS увесь спектр діапазону 2,4 ГГц розглядається як суцільна смуга, розбита на 79 підканалів, між якими періодично перемикається частота передавання. У випадку DSSS цей же діапазон розбивається на кілька широкосмугових каналів, водночас можливе використання не більше трьох із них.

Технологія FHSS передбачає регулярну зміну несучої частоти сигналу під час передавання даних, що дозволяє зменшити ймовірність завад, але суттєво обмежує пропускну здатність системи — вона не повинна перевищувати 2 Мбіт/с. Простота конструкції приймача є безперечною перевагою цієї технології. Однак обмеження щодо швидкості передавання даних стали однією з головних причин розробки нових версій стандарту IEEE 802.11. Згідно зі специфікацією початкового стандарту, підтримувалися лише два значення швидкості передавання — 1 та 2 Мбіт/с.

Порівняно з дротовими локальними мережами типу Ethernet, функціональність підрівня MAC у стандарті IEEE 802.11 розширена шляхом інтеграції низки процедур, характерних для протоколів вищих рівнів моделі OSI. Зокрема, йдеться про реалізацію фрагментації та повторної передачі кадрів. Такий підхід обумовлений необхідністю підвищення ефективного використання смуги пропускання за рахунок зниження накладних витрат, спричинених повторною передачею пошкоджених кадрів.

У якості базового методу доступу до середовища в стандарті 802.11 реалізовано механізм множинного доступу з виявленням несучої та запобіганням колізіям — CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

З метою оптимізації енергоспоживання мобільних робочих станцій, що функціонують у бездротових локальних мережах (ЛОМ), стандартом IEEE 802.11 передбачено механізм переведення станцій у пасивний режим із мінімальним споживанням потужності.

Основою архітектури стандарту IEEE 802.11 є стільникова структура мережі, яка може включати як одну, так і кілька базових сот. Кожна сота (BSS — Basic Service Set) обслуговується точкою доступу (Access Point, AP), що забезпечує зв’язок із клієнтськими станціями, розташованими в межах її зони покриття. У багатостільникових системах точки доступу взаємодіють між собою через розподільну систему (Distribution System, DS), яка виконує функції магістрального сегменту дротової локальної мережі. Комплекс, що включає в себе декілька точок

доступу та розподільну систему, формує розширену зону обслуговування (Extended Service Set, ESS).

Також передбачено можливість створення одностільникових бездротових мереж без використання точки доступу. У такому випадку функції управління передачею частково реалізуються безпосередньо клієнтськими станціями.

Для забезпечення безперервного підключення мобільних станцій при переході з зони покриття однієї точки доступу до іншої, у стандарті передбачено реалізацію процедури роумінгу. Вона включає активне та пасивне сканування ефіру, а також процес асоціації (Association). Однак слід зазначити, що стандарт IEEE 802.11 не встановлює жорстких вимог щодо реалізації цих процедур.

У сфері безпеки передавання даних стандартом визначено комплекс механізмів під загальною назвою Wired Equivalent Privacy (WEP). До них належать засоби аутентифікації, призначені для запобігання несанкціонованому доступу до мережі, а також методи шифрування, які забезпечують конфіденційність переданої інформації.

IEEE 802.11a. Цей стандарт, затверджений у 1999 році, є одним із найбільш високошвидкісних у сімействі IEEE 802.11. Він передбачає максимальну швидкість передавання даних до 54 Мбіт/с. Обов'язковими є три швидкості — 6, 12 і 24 Мбіт/с, тоді як додатково підтримуються ще п'ять — 9, 18, 36, 48 і 54 Мбіт/с. На відміну від базової версії, яка функціонує в діапазоні 2,4 ГГц, 802.11a працює у спектрі 5 ГГц. Як метод модуляції використовується ортогональне частотне мультиплексування (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM).

Ключова відмінність OFDM від технологій DSSS та FHSS полягає в паралельному передаванні даних на декількох піднесучих частотах, що дозволяє суттєво збільшити пропускну здатність каналу і поліпшити якість сигналу. Недоліками стандарту 802.11a є підвищене енергоспоживання радіомодулів для діапазону 5 ГГц і менший радіус дії: для порівняння, устаткування на частоті 2,4 ГГц забезпечує зв'язок до 300 м, тоді як для 5 ГГц — лише до 100 м.

IEEE 802.11b. Стандарт 802.11b (рис.1.1), остаточно затверджений у 1999 році під назвою Wi-Fi (Wireless Fidelity), набув значної популярності завдяки швидкості

передавання даних до 11 Мбіт/с, що є порівнянною з пропускною здатністю дротових мереж Ethernet. Його технічна реалізація орієнтована на діапазон 2,4 ГГц і базується на використанні технології DSSS із застосуванням восьмирозрядних послідовностей Уолша.

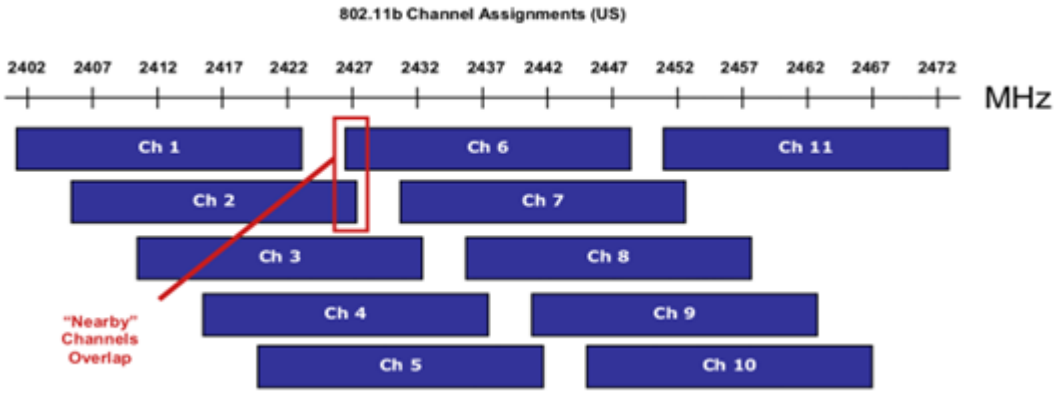


Рисунок 1.1 – Стандарт 802.11b

З метою підтримки стійкості зв’язку при зниженні якості сигналу, у стандарті передбачено автоматичне зниження швидкості передавання. Це дозволяє підвищити надійність мережі, хоч і за рахунок зменшення пропускної здатності при несприятливих умовах розповсюдження радіохвиль.

Як і у базовому стандарті IEEE 802.11, специфікації IEEE 802.11b не містять чітко регламентованих механізмів реалізації роумінгу. Проте, попри це, дана версія стала найпоширенішою і асоціюється з торговельною маркою Wi-Fi. Подібно до первісного стандарту, 802.11b функціонує у діапазоні 2,4 ГГц та вносить зміни виключно на фізичному рівні. Для передавання даних використовується метод прямого розширення спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), при якому діапазон розділяється на п’ять піддіапазонів, що частково перекриваються. Передача інформації здійснюється паралельно декількома каналами з використанням кодів доповнення (Complementary Code Keying). Пропускна здатність становить до 11 Мбіт/с.

IEEE 802.11d. Для адаптації стандарту до законодавчих вимог різних країн та розширення географії його застосування розроблено специфікацію IEEE 802.11d.

Вона містить вимоги до фізичних параметрів (наприклад, потужності випромінювання і діапазону частот), а також параметри для розширення бази даних MIB. На момент написання цей стандарт перебував на стадії розробки.

IEEE 802.11e. Специфікація IEEE 802.11e спрямована на забезпечення підтримки мультимедійних потоків і гарантованої якості обслуговування (QoS) у бездротових мережах. Вона забезпечує збереження сумісності з існуючими стандартами (802.11a і 802.11b) та розширює їх функціональність за рахунок введення механізмів призначення пріоритетів для різних типів трафіку (аудіо, відео). Прототип специфікації планувався до завершення у 2001 році.

IEEE 802.11f. Цей стандарт описує протокол обміну службовою інформацією між точками доступу — Inter-Access Point Protocol (IAPP), необхідний для побудови розподілених мереж. Він визначає механізм взаємодії точок доступу під час переходу користувача між сегментами мережі та пов'язаний із процесами аутентифікації.

IEEE 802.11g. Специфікації 802.11g є логічним розвитком 802.11b і забезпечують підвищення швидкості передавання до 22 Мбіт/с і більше завдяки використанню ефективніших методів модуляції, зокрема OFDM. Пропозиція компанії Intersil була обрана як основа стандарту, однак остаточне затвердження очікувалось до кінця 2002 року. Однією з ключових переваг є повна зворотна сумісність з обладнанням 802.11b.

IEEE 802.11h. Цей стандарт розширює специфікації 802.11a і MAC-рівень, запроваджуючи механізми динамічного вибору частоти (DFS) та контролю потужності передавання (TPC). Розробка зумовлена необхідністю адаптації 802.11a до умов Європи, де у діапазоні 5 ГГц працюють супутникові системи зв’язку. Застосування зазначених технологій дозволяє мінімізувати взаємні завади через динамічне керування спектром.

IEEE 802.11i. Із травня 2001 року питання інформаційної безпеки були винесені в окрему специфікацію — IEEE 802.11i. Вона базується на стандарті IEEE 802.1X та використовує протокол EAP (Extensible Authentication Protocol), що функціонує поверх PPP. Система передбачає участь трьох сторін: клієнта, точки

доступу та сервера аутентифікації (наприклад, RADIUS). Основною метою є забезпечення централізованої аутентифікації та шифрування переданих даних, зокрема із використанням алгоритму AES (Advanced Encryption Standard) з довжинами ключів 128, 192 і 256 біт. Важливою перевагою є сумісність з актуальними пристроями, такими як Intel Centrino.

IEEE 802.11j. Цей стандарт розроблявся спеціально для Японії з метою розширення можливостей IEEE 802.11a шляхом додавання каналу на частоті 4,9 ГГц. На момент публікації офіційна робоча група ще не була сформована.

IEEE 802.11n. Нова специфікація, що перебувала у процесі розробки, була орієнтована на забезпечення швидкості передавання понад 100 Мбіт/с, що значно перевищувало можливості стандартів 802.11g та 802.11a. Основою підвищення продуктивності стала оптимізація використання частотного спектра, застосування вдосконалених радіочипів, реалізованих за CMOS-технологією, та інтеграція WLAN-адаптера в один чип. На відміну від попередніх стандартів, у 802.11n показник швидкості базувався на реальній пропускній здатності, а не лише на теоретичних значеннях кадрів нижнього рівня.

1.2 Основні елементи побудови бездротової мережі

Стандарт RadioEthernet IEEE 802.11 регламентує принципи організації бездротових локальних мереж на рівні керування доступом до середовища (MAC-рівень) та фізичному рівні (PHY). У межах цього стандарту визначено єдину реалізацію MAC-підрівня та три типи фізичних середовищ передавання.

Аналогічно до провідного Ethernet, IEEE 802.11 використовує протокол доступу до спільного середовища передачі, що отримав назву Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Ймовірність виникнення колізій у бездротовому середовищі зменшується за рахунок попереднього передавання короткого службового повідомлення Ready To Send (RTS), яке інформує всі вузли

про намір передавання, його тривалість та призначення. Інші вузли, отримавши RTS, утримуються від передавання протягом визначеного інтервалу часу. Приймальний вузол у відповідь передає Clear To Send (CTS), що підтверджує готовність до прийому та доступність каналу. Після отримання основного пакету даних приймальна сторона надсилає підтвердження прийому (ACK). За відсутності ACK передавальний вузол здійснює повторну спробу передачі.

Клієнтські пристрої користувачів. Користувачі бездротових локальних мереж взаємодіють із широким спектром клієнтських пристроїв — персональними комп'ютерами, ноутбуками, портативними цифровими помічниками (PDA) тощо. Основною перевагою таких мереж є відсутність потреби в прокладанні кабельної інфраструктури. Портативні пристрої, такі як ноутбуки й PDA, мають природну мобільність і легко інтегруються до WLAN. Крім того, мережі часто включають спеціалізовані пристрої, зокрема сканери штрих-кодів або системи моніторингу пацієнтів, що мають вбудовані засоби бездротового з'єднання.

Плати інтерфейсу мережі. Ключовим апаратним елементом WLAN є мережева радіоплата, реалізована відповідно до стандарту IEEE 802.11. Такі пристрої зазвичай підтримують один із фізичних рівнів — 802.11a, 802.11b/g/n або 802.11ac. Важливою вимогою є сумісність радіоплати з конкретною версією стандарту, що використовується в мережі. Універсальні радіомодулі, які підтримують декілька варіантів стандарту одночасно, забезпечують ширшу взаємодію (interoperability) й набувають дедалі більшого поширення.

Радіоплати постачаються у різноманітних форм-факторах: ISA, PCI, PC Card, Mini PCI та CompactFlash (CF). У персональних комп'ютерах переважно використовуються інтерфейси ISA та PCI, а в ноутбуках і PDA — PC Card, Mini PCI або CF-адаптери.

Точки доступу. Точка доступу (Access Point, AP) є комбінацією радіомодуля для з'єднання з клієнтськими пристроями та дротового мережевого інтерфейсу для зв'язку з розподільною системою (Distribution System), зокрема з Ethernet. Системне програмне забезпечення точки доступу виконує функції маршрутизації, управління обміном даними між бездротовими сегментами та розподільчою

мережею, а також реалізує функціонал безпеки, конфігурації та адміністрування. Апаратна реалізація типової точки доступу подана на (рис.1.2).

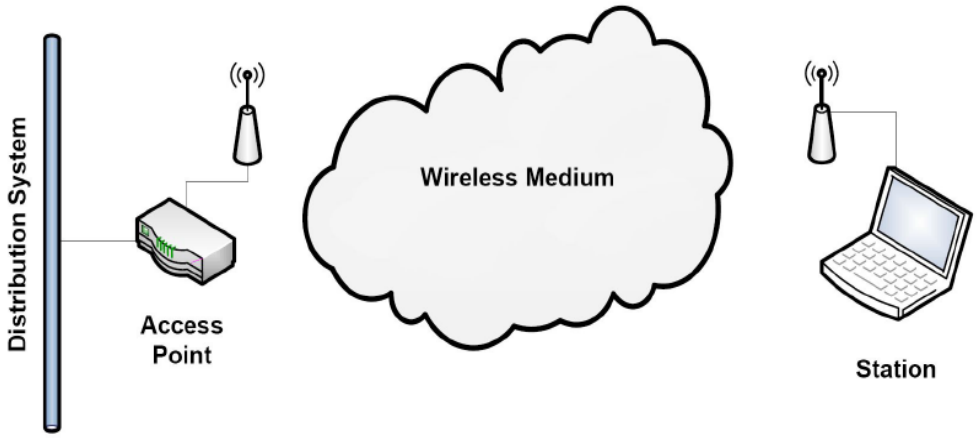


Рисунок 1.2 – Апаратна реалізація типової точки доступу

З метою забезпечення безпеки в стандарті передбачено використання механізмів аутентифікації, що дозволяють перевірити авторизованість вузла, а також криптографічного захисту даних для запобігання несанкціонованому прослуховуванню.

На фізичному рівні IEEE 802.11 передбачає реалізацію двох типів радіоканалів і одного каналу в інфрачервоному діапазоні.

Основу архітектури стандарту IEEE 802.11 становить стільниковий принцип побудови мережі. Мережева інфраструктура може складатися як з однієї, так і з кількох сот (осередків). Кожна така сота управляється базовою станцією, яка у стандарті позначається як точка доступу (Access Point, AP). Сукупність точки доступу та клієнтських пристроїв, що перебувають у межах її радіусу дії, формує базову зону обслуговування — Basic Service Set (BSS).

У багатостільникових бездротових мережах взаємодія між окремими точками доступу здійснюється через розподільну систему (Distribution System, DS), яка виконує функції магістрального сегмента, аналогічного структурі дротових локальних мереж (LAN). Об’єднання декількох базових зон обслуговування за допомогою розподільної системи утворює розширену зону обслуговування —

Extended Service Set (ESS).

Стандарт IEEE 802.11 також підтримує варіант організації одноосередкової бездротової мережі без використання точки доступу. У такому випадку частина функцій точки доступу, зокрема обробка передачі даних та підтримка логіки взаємодії, виконується безпосередньо клієнтськими станціями.

Основними компонентами для розгортання бездротової мережі є точка доступу (Access Point) та бездротові мережеві адаптери. Проте в найпростішому випадку побудова мережі можлива і без використання точки доступу, що залежить від обраного режиму функціонування бездротового з'єднання.

Існує два базових режими функціонування WLAN: Infrastructure Mode та Ad Hoc Mode.

Режим Ad Hoc (IBSS). У режимі Ad Hoc (рис.1.3), відомому також як Independent Basic Service Set (IBSS) або Peer-to-Peer Mode, клієнтські пристрої взаємодіють безпосередньо один з одним, без участі точки доступу. Така конфігурація не потребує мережевої інфраструктури, а єдина вимога до вузлів — наявність бездротового адаптера.

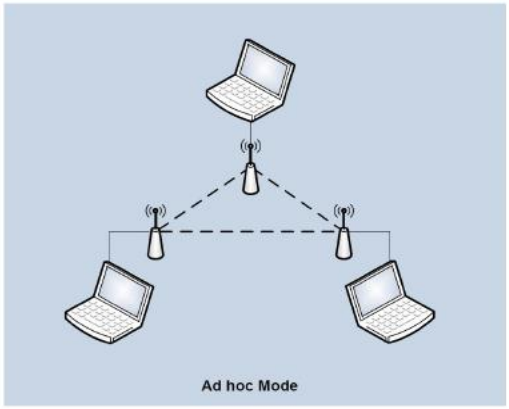


Рисунок 1.3 – Режим Ad Hoc

Ad Hoc дозволяє швидко створювати мережу між пристроями, що знаходяться в межах прямої видимості, наприклад, для тимчасового обміну файлами між ноутбуками. Однак цей режим має низку обмежень:

— невеликий радіус дії;

— відсутність підключення до зовнішніх мереж (наприклад, Інтернету);

— обмежена стійкість сигналу у складних умовах (наприклад, при наявності перешкод або бетонних стін).

У таких випадках, коли необхідне розширене покриття або доступ до зовнішніх мереж, доцільним є застосування точки доступу.

Режим Infrastructure. Режим Infrastructure (рис.1.4) передбачає централізовану організацію мережі з використанням точки доступу, яка виконує функції комутатора у традиційній дротовій мережі. Основне завдання точки доступу — забезпечити маршрутизацію та координацію обміну даними між усіма клієнтськими станціями, а також гарантувати рівноправний доступ до середовища передавання даних.

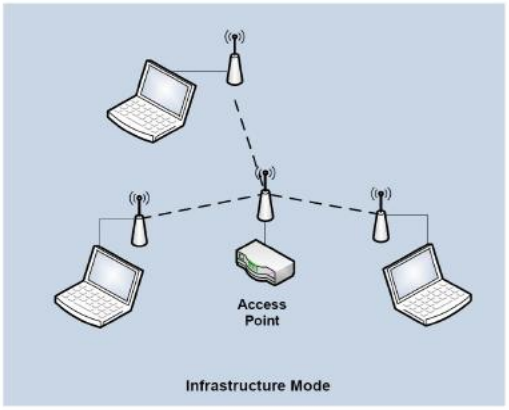


Рисунок 1.4 – Режим Infrastructure

У межах режиму Infrastructure розрізняють дві конфігурації:

— Basic Service Set (BSS) — усі вузли мережі з’єднуються через одну точку доступу, яка, за потреби, виконує роль шлюзу до зовнішньої мережі;

— Extended Service Set (ESS) — об’єднання кількох BSS через розподільну систему, що забезпечує передачу трафіку між зонами покриття різних точок доступу. Взаємодія точок доступу в межах ESS здійснюється через кабельні сегменти або за допомогою радіомостів.

У результаті, режим Infrastructure забезпечує високу масштабованість, кращу якість обслуговування, стабільне з’єднання та можливість централізованого

керування мережею.

Режим Extended Service Set (ESS) передбачає об’єднання кількох точок доступу, що дозволяє інтегрувати декілька базових зон обслуговування (BSS) в єдину логічну мережу. У межах такої конфігурації точки доступу здатні взаємодіяти між собою через розподільну систему, забезпечуючи безперервну передачу даних і підтримку мобільності користувачів.

Використання режиму ESS (рис.1.5) є доцільним у випадках, коли необхідно організувати з’єднання великої кількості користувачів або забезпечити інтеграцію декількох провідних і бездротових сегментів у загальну мережеву інфраструктуру. Такий підхід дозволяє створити масштабовану та гнучку систему з розширеним покриттям і централізованим керуванням.

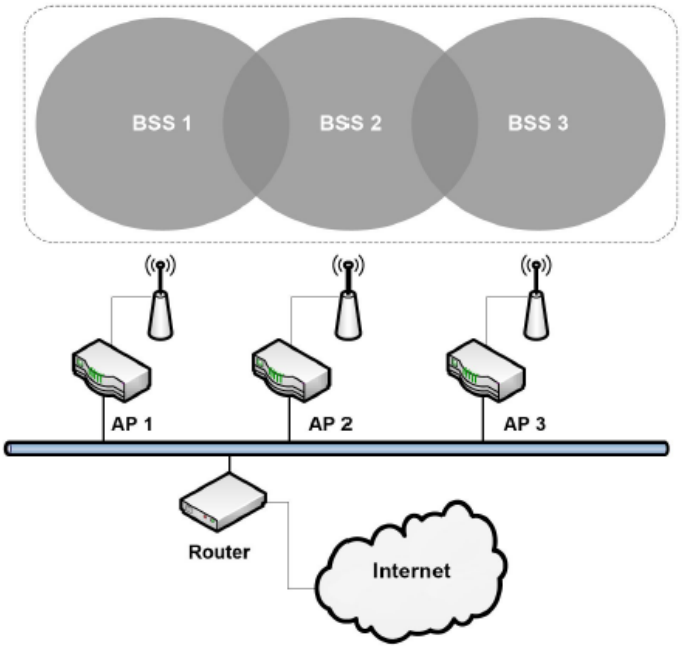


Рисунок 1.5 – Режим ESS

Одним із ключових аспектів при проєктуванні бездротових локальних мереж (WLAN) є визначення зони покриття. На цей параметр впливає низка факторів, серед яких:

Частота сигналу — чим вища робоча частота, тим меншою є дальність поширення радіохвиль у просторі;

Наявність фізичних перешкод — різні будівельні матеріали (бетон, скло, дерево тощо) по-різному поглинають і відбивають електромагнітні сигнали;

Режим функціонування — інфраструктурний (Infrastructure Mode) або одноранговий (Ad Hoc);

Потужність передавального пристрою та чутливість приймача, які прямо впливають на якість зв'язку.

За умов відсутності значних перешкод зона покриття однієї точки доступу становить приблизно:

— для мереж стандарту IEEE 802.11a — до 50 м;

— для мереж 802.11b/g/n — близько 100 м.

У разі потреби розширення зони покриття застосовується інфраструктура на основі режиму ESS, яка дозволяє масштабувати мережу за рахунок додавання додаткових точок доступу в межах єдиної логічної структури.

MAC-адреса та механізми доступу до середовища. MAC-адреса (Media Access Control) є унікальним апаратним ідентифікатором мережевого пристрою в межах широкомовного середовища, такого як Wi-Fi або Ethernet. Вона дозволяє точно ідентифікувати кожен пристрій у межах канального рівня моделі OSI та забезпечує адресну доставку кадрів.

Для взаємодії між MAC-адресами та мережевими адресами в TCP/IP використовуються спеціалізовані протоколи — зокрема, ARP (Address Resolution Protocol) і RARP (Reverse ARP), які здійснюють трансляцію адрес між канальним та мережевим рівнями.

Механізм множинного доступу базується на принципах мультиплексування на канальному рівні. Найпоширенішим протоколом є CSMA/CD, що застосовується в традиційних Ethernet-мережах. Він функціонує в межах домену колізій, таких як шини Ethernet або мережі з концентраторами (hub). Для поділу на окремі домени колізій використовуються мережеві мости або маршрутизатори.

У сучасних комутованих повнодуплексних мережах Ethernet протокол CSMA/CD не застосовується, проте його підтримка може бути частково

реалізована в пристроях з метою сумісності із застарілим обладнанням.

1.3 Комплексна оцінка проєктування WLAN та методів її функціонального контролю

Зміна поколінь бездротового обладнання відбувається кожні 2–3 роки. У зв’язку з цим при проєктуванні WLAN важливо враховувати ризик несумісності нових пристроїв з наявною інфраструктурою. Незважаючи на те, що Wi-Fi-сумісність декларується для всієї лінійки стандартів IEEE 802.11 (a/b/g/n/ac), у реальних умовах підтримка сумісності часто обмежується лише базовими функціями.

Наприклад, при організації бездротового доступу до Інтернету використання обладнання різних виробників може призводити до конфліктів або зниження продуктивності мережі.

Низька вартість WLAN-обладнання зумовила його масове впровадження як у внутрішньоофісних, так і в міських масштабних мережах. До появи бездротових рішень користувачі ноутбуків були прив’язані до фіксованих робочих місць. З ростом кількості мобільних користувачів виникла потреба у наданні їм безпечного, швидкого та недорогого доступу до корпоративної мережі.

Економічна доцільність упровадження WLAN полягає в:

— спрощенні та прискоренні проєктування і розгортання мережі;

— гнучкості топології, що дозволяє оперативно змінювати конфігурацію;

— зниженні капітальних витрат на прокладання кабельної інфраструктури.

Ці переваги сприяли стрімкому розвитку технологій бездротових мереж.

У бездротових локальних мережах передавання даних здійснюється за допомогою радіохвиль, тобто без використання фізичних кабельних з’єднань. Через специфіку радіоефіру як середовища передавання сигналів на

функціонування бездротових мереж значний вплив мають зовнішні перешкоди різної природи.

До основних чинників, які впливають на якість роботи Wi-Fi-мереж стандартів IEEE 802.11b/g/n, належать:

— Наявність інших Wi-Fi-пристроїв (точок доступу, відеокамер тощо), що працюють у безпосередній близькості та використовують той самий частотний діапазон, що призводить до інтерференції;

— Підвищена чутливість клієнтських пристроїв до перешкод навіть слабкої інтенсивності, зумовлених роботою суміжного обладнання в одному радіочастотному діапазоні;

— Частотні характеристики мережі: стандарт 802.11b/g використовує діапазон 2,4 ГГц; стандарт 802.11a — 5 ГГц; стандарт 802.11n може функціонувати в обох діапазонах — 2,4 і 5 ГГц.

Наявність фізичних бар'єрів (стіни, стелі, металеві конструкції, меблі) сприяє частковому або повному поглинанню та відбиттю радіосигналів, що знижує якість з'єднання або спричиняє повну втрату сигналу. Особливо істотний вплив мають залізобетонні конструкції, металеві двері, армовані перегородки, а також елементи інтер'єру, такі як дзеркала чи тоноване скло.

У міських умовах із щільною багатоповерховою забудовою основним джерелом перешкод є самі будівлі, що істотно обмежує поширення сигналу навіть за використання високочастотного обладнання.

Бездротова локальна обчислювальна мережа (WLAN) призначена для забезпечення користувачів доступом до ресурсів локальної обчислювальної мережі (ЛОМ) або до глобальної мережі Інтернет. Основні цілі розгортання WLAN полягають у:

— спрощенні адмініструванні бездротового сегмента мережі;

— делегуванні обчислювального навантаження з точок доступу на централізований контролер;

— гнучкості в масштабуванні та розширенні мережі;

— можливості реалізації додаткових сервісів на базі об'єднаної мережевої

інфраструктури.

Процес проєктування WLAN включає кілька послідовних етапів, що охоплюють збирання вхідних даних, аналіз середовища, вибір конфігурації та планування зони покриття (рис.2.6).

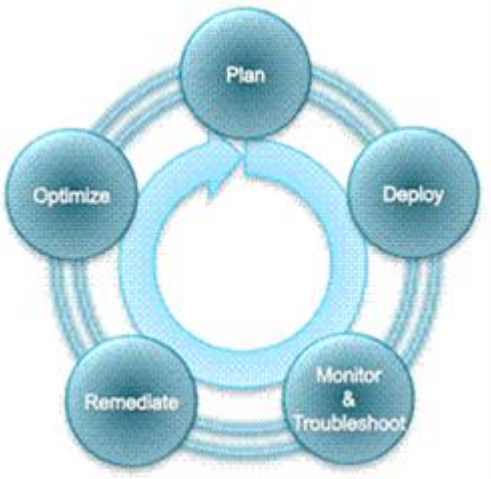


Рисунок 1.6 – Етапи проектування бездротової мережі

Особливість WLAN полягає в динамічності її параметрів: змінюваному радіочастотному середовищі, наявності численних користувачів із різними вимогами до якості обслуговування та нестабільності умов ефіру. Саме тому ефективне розгортання бездротової мережі потребує всебічного опрацювання вхідних даних та точного проєктування мережевої інфраструктури з урахуванням технічних і експлуатаційних вимог замовника.

У більшості випадків проєктування бездротової мережі здійснюється з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизованого проєктування WLAN. Такі системи дають змогу змоделювати реальне середовище об’єкта, розрахувати орієнтовну кількість необхідного обладнання, сформувати карту розміщення точок доступу, зони покриття, типи антен, межі обслуговування та інші ключові параметри. На підставі моделювання виконується попередній підбір апаратних засобів та формування технічної специфікації, що у середньому забезпечує відповідність проєктним вимогам на рівні 70–85%.

Реконструкція комп’ютерної мережі

У рамках оновлення існуючої інфраструктури можуть проводитися такі заходи:

— розширення мережі для обслуговування більшої кількості користувачів;

— міграція з провідної до бездротової технології передавання даних;

— заміна застарілого мережевого обладнання;

— встановлення додаткових мережевих компонентів.

Завершальний етап інсталяції включає монтаж структурованої кабельної системи, встановлення точок доступу, радіосенсорів і мережевих контролерів. Після фізичного розгортання інфраструктури проводиться фінальне радіообстеження з метою виявлення потенційних проблемних зон. За його результатами виконується корекція параметрів: орієнтація антен, регулювання потужності передавачів тощо.

У системах з централізованим керуванням (наприклад, Cisco WCS або Cisco Prime NCS) зазначені налаштування можуть здійснюватися автоматично. Програмне забезпечення самостійно аналізує топологію покриття та пропонує зміни у конфігурації мережі, зокрема щодо розташування точок доступу.

На цьому етапі перевіряється фізичний стан мережі: здійснюється тестування кабельних з’єднань, портів, а також їх маркування та документування. Це дозволяє виявити дефекти, які можуть впливати на подальшу експлуатацію мережі.

Фінальний крок перед введенням в експлуатацію включає налаштування серверного та мережевого обладнання, оптимізацію продуктивності, забезпечення необхідного рівня обслуговування та усунення виявлених недоліків. Цей етап гарантує стабільну та ефективну роботу бездротової мережі у відповідності до вимог користувача й технічного завдання.

1.4 Оцінювання параметрів функціонування Wi-Fi мереж

У контексті надання телекомунікаційних послуг, забезпечення їх якості традиційно базувалося на державній концепції стандартизації та регламентації, реалізованій через компетентні органи у сфері електрозв'язку. Поняття «якість» та «підвищення якості» завжди мали стратегічне значення, навіть за умов монопольного контролю над ринком зв'язку.

Сучасний етап розвитку телекомунікацій, зокрема в умовах ринкової конкуренції та стрімкого впровадження нових технологій, надає цим поняттям особливої актуальності. Це, у свою чергу, зумовлює потребу в нових підходах до експлуатації мережевої інфраструктури, які включають системний контроль як параметрів функціонування самої мережі, так і якості послуг, що надаються користувачам.

Значну складність у забезпеченні надійного функціонування бездротових систем становить виявлення причин відмов, які можуть бути обумовлені:

— нестабільними характеристиками каналів зв'язку;

— внутрішньосистемною або міжсистемною взаємодією;

— ненавмисними або навмисними діями персоналу чи сторонніх осіб.

Насамперед актуальним завданням є визначення комплексу вимог до показників якості обслуговування користувачів у бездротових мережах широкосмугового доступу. Формування таких вимог повинне здійснюватися з урахуванням впливу зовнішнього середовища, властивостей об'єкта експлуатації та взаємозв'язків між ними.

Оцінювання якості послуг у бездротових мережах широкосмугового доступу здійснюється у взаємозв'язку з показниками функціонування самих мереж і служб, як це зазначено у [1]. У мережах, побудованих на основі IP-технологій, встановлення відповідності між характеристиками мережевої інфраструктури та параметрами якості обслуговування користувачів здійснюється згідно з методологією класифікації класів обслуговування QoS для IP [2] та через

інтерпретацію технічних параметрів мережі у вигляді показників якості послуг на інтерфейсі "користувач – користувач" [3].

Саме на цьому інтерфейсі формуються користувацькі вимоги до якості послуг та виконується оцінювання їх задоволеності. Підхід до встановлення таких вимог має базуватися на комплексному аналізі архітектури бездротового доступу, що включає:

— підтримку наскрізних послуг, викликів та забезпечення мобільності користувачів у гетерогенних (неоднорідних) мережах;

— функціональну інтеграцію кінцевих пристроїв з інфраструктурою мережі, включаючи модернізацію програмного забезпечення, впровадження механізмів резервування, розробку маловартісних кінцевих пристроїв та узгодження версій;

— забезпечення наскрізної якості обслуговування (End-to-End QoS) незалежно від зміни технологій або сегментів доступу.

Досягнення зазначених цілей потребує впровадження механізмів, що дозволяють кінцевим системам узгоджувати параметри обслуговування, визначати прийнятні рівні QoS для конкретного виклику та управляти цими параметрами через протоколи верхнього рівня, які впливають на параметри транспортного й канального рівнів.

У контексті реалізації наскрізного QoS у мережах бездротового доступу слід враховувати такі ключові аспекти:

— встановлення класів QoS для телефонного трафіку;

— принципи класифікації QoS для мультимедійних додатків та методи ідентифікації QoS-класів для окремих медіакомпонентів (наприклад, відео, аудіо, передавання даних);

— сприйняття якості обслуговування кінцевим користувачем, яке є інтегральним результатом технічних та експлуатаційних характеристик.

Запровадження в бездротових мережах послуги універсальної мобільності забезпечує абонентам можливість використання різних технологій доступу з можливістю переміщення між точками доступу, включно з використанням різних

технічних реалізацій. При цьому підтримується безперервність роботи додатків та сервісів, навіть під час переходу між гетерогенними сегментами мережі. Такий підхід дозволяє забезпечити користувачу постійний доступ до послуг і додатків незалежно від його фізичного місця перебування чи технологічного середовища.

З урахуванням концепції універсального доступу в бездротових мережах широкосмугового доступу, загальні вимоги користувача до послуги мобільності мають охоплювати такі аспекти:

— можливість перемикання між точками доступу, що реалізовані на основі різних технологій;

— можливість доступу до мережі з будь-якої точки її покриття, незалежно від використовуваної технології;

— забезпечення безперервності послуг, включно з обліком можливих обмежень у специфічних умовах;

— широкі функціональні можливості підключення до мережевих сервісів, у тому числі доступ до зовнішніх застосунків і послуг, які надаються третіми сторонами.

Для ефективної підтримки мобільності необхідно враховувати різноманітні типи служб, які може забезпечувати інфраструктура бездротового доступу:

— підтримка персональної мобільності (незалежність сервісу від конкретного пристрою);

— підтримка мобільності кінцевого пристрою;

— підтримка комбінованої мобільності, яка поєднує обидва зазначені типи.

До телекомунікаційних послуг, що надаються через бездротовий доступ, висуваються споживчі, технічні та технологічні вимоги. Рівень задоволення споживчих очікувань щодо якості таких послуг визначає їхню загальну ефективність. Формалізація вимог до якості здійснюється через технічні специфікації, у яких відображаються споживчі властивості послуг та допустимі рівні їх виконання.

Оцінювання рівня якості обслуговування здійснюється на основі показників,

що можуть бути безпосередньо зафіксовані або спостерігаються користувачем. Частина параметрів оцінюється бінарно — за принципом "так/ні".

Показники споживчих властивостей послуг поділяються на такі категорії:

Щодо самої послуги:

— доступність;

— безперервність;

— якість передавання мовних, відео- та даних;

— час очікування готовності сервісу до обробки запиту.

Щодо доступу до мережі/сервісу:

— необмеженість доступу;

— безперервність доступу;

— безпека з’єднання.

Щодо реалізації конкретного виду зв’язку:

— доступність з’єднання;

— час встановлення з’єднання;

— безперервність передачі;

— якість і безпека інформаційного обміну [4].

Показники якості обслуговування користувачів

За споживчими властивостями:

— ступінь задоволеності користувача;

— повнота послуги;

— простота у користуванні;

— безпека використання.

За наданням доступу до мережі:

— ступінь забезпечення обслуговування;

— мобільність доступу до сервісу;

— простота приєднання.

За характеристиками конкретної послуги:

— надійність сервісу;

— зручність експлуатації;

— безпека передачі.

Показники оцінки необмеженості доступу:

— частка терміналів із обмеженим часом роботи;

— частка терміналів колективного користування;

— тривалість обмеження надання зв’язку;

— частка працездатних терміналів у загальній мережі.

Показник безперервності доступу:

— середній час попередження про переривання з’єднання.

Основні показники якості обслуговування:

— середній час установки терміналу (під час впровадження чи заміни);

— частка запитів, оброблених з порушенням термінів;

— середній час виконання заявок, передбачених договором;

— коефіцієнт успішного виконання заявок;

— відсоток користувачів, які незадоволені якістю послуг.

Необхідно зазначити, що технічна специфікація послуг повинна включати:

— зв’язок між показниками якості самої послуги та якості її надання;

— нормативи допустимих значень цих показників у реальному середовищі експлуатації.

У технічній специфікації надання послуг має бути обов’язково зазначено тип обладнання та/або програмного забезпечення, що використовується у мережі, а також відповідні експлуатаційні інструкції. Останні повинні включати етапи надання послуг і регламент експлуатації окремих елементів інфраструктури (лінійних, комутаційних, систем доступу та передавання даних). Оператор повинен не лише сформувати такі інструкції, але й перевірити їхню ефективність в умовах реальної експлуатації. Основне завдання цих документів — забезпечення узгодженої роботи всіх компонентів мережі з метою попередження деградації якості наданих послуг.

Крім того, варто зазначити, що вимоги до показників якості послуг та обслуговування в мережах бездротового широкосмугового доступу стандартів IEEE 802.11 та IEEE 802.16 можуть варіюватися залежно від галузі застосування,

проте базові принципи оцінювання якості залишаються незмінними для всіх стандартів та операторів.

Особливості надання послуг у середовищах із високою щільністю користувачів

На сучасному етапі доступ до мережі Інтернет розглядається як необхідний сервіс на масових заходах (конференціях, форумах, виставках тощо), де присутні бізнес-користувачі, що потребують постійного доступу до корпоративних ресурсів. Додатково зростає кількість користувачів, які активно використовують соціальні мережі, сервіси миттєвого обміну повідомленнями та медіа-контент.

Прикладами високощільних середовищ є лекційні зали, спортивні арени, вокзали, офісні переговорні кімнати та виставкові зони. Якщо в офісному приміщенні на одного користувача припадає близько 10–12 м², то в наведених умовах щільність може досягати 1 особи на 1 м². Це створює суттєве навантаження на радіосередовище, з яким не стикаються традиційні офісні або домашні Wi-Fi-мережі.

Ключова проблема пов’язана із природою технології Wi-Fi, що функціонує у частотних діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц. У діапазоні 2,4 ГГц є лише три неперекривні канали, тоді як у діапазоні 5 ГГц — п’ять і більше, залежно від регіональних нормативів. Усі пристрої, що працюють в одному частотному просторі, змушені конкурувати за доступ до радіоефіру відповідно до алгоритму CSMA/CA, який допускає передавання лише в умовах відсутності завад на каналі.

У стандартних офісних умовах цей механізм працює ефективно, проте в умовах високої щільності клієнтів (масові події) з’являється перевантаження: початково мережа може функціонувати стабільно, але зі збільшенням кількості підключень відбувається істотне зниження продуктивності — попри високий рівень сигналу, клієнти не можуть отримати доступ до Інтернету або мають суттєво обмежену пропускну здатність.

Технічні рішення для високощільних середовищ. Для забезпечення стабільної роботи Wi-Fi у середовищах із високою щільністю необхідно реалізовувати низку технічних заходів:

Використання обох частотних діапазонів — 2,4 ГГц та 5 ГГц. Це дозволяє збільшити кількість доступних неперекривних каналів, зменшуючи конкуренцію між пристроями. Якщо раніше більшість клієнтських пристроїв не підтримували 5 ГГц, то наразі частка таких пристроїв становить близько 30–40%. Рекомендується не розділяти мережу на окремі SSID для 2,4 і 5 ГГц, а дозволити системі автоматично переводити клієнта в 5 ГГц-діапазон за наявності підтримки.

Зменшення радіуса покриття точок доступу. Менші за площею зони обслуговування («соти») містять меншу кількість користувачів, що знижує конкуренцію за радіоканал і, відповідно, підвищує ефективність роботи.

Оптимальне розміщення точок доступу та динамічний вибір каналів. При встановленні точок доступу необхідно враховувати не лише географію розміщення користувачів, а й взаємні перешкоди між самими точками. Автоматизовані системи керування (наприклад, на основі контролерів) можуть обирати найбільш ефективний канал для кожної точки в режимі реального часу.

Лише комплексний підхід до проєктування WLAN, який включає багатодиапазонність, регулювання потужності, оптимізацію топології та динамічне керування частотним ресурсом, дозволяє забезпечити стабільний і якісний Wi-Fi-доступ в умовах надвисокої щільності користувачів.

2 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ WLAN ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ

2.1 Програмний засіб моделювання та аналізу мережевої продуктивності IxChariot

Одним із провідних інструментів для моделювання, тестування та верифікації мережевих рішень є сімейство програмних засобів IxChariot, розроблене компанією Ixia. Ці програмні рішення призначені для підвищення ефективності роботи мережевих застосунків шляхом оцінювання ключових параметрів функціонування мережі та своєчасної діагностики її несправностей.

IxChariot (рис.2.1) є одним із найефективніших галузевих інструментів для аналізу продуктивності мереж і додатків, що отримав широке визнання серед корпоративних користувачів та урядових структур у всьому світі. Завдяки цьому інструменту фахівці з інформаційних технологій можуть отримувати точні та достовірні значення параметрів надійності, продуктивності та стабільності роботи застосунків у середовищах як дротових, так і бездротових мереж передачі даних.

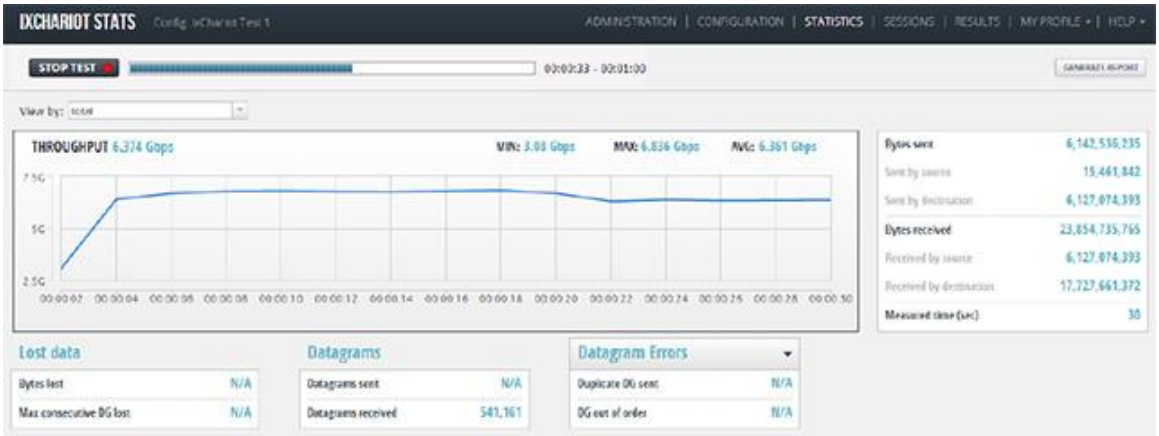


Рисунок 2.1 – Інтерфейс IxChariot

Програмний комплекс IxChariot, розроблений компанією Ixia, призначений

для реалістичного моделювання прикладного трафіку з метою тестування функціонування мережевих пристроїв, систем і середовищ під умовами, наближеними до реальних навантажень.

Архітектурно рішення складається з центрального сервера IxChariot Server і розподілених програмних кінцевих точок (Endpoints), які можуть бути встановлені на фізичних і віртуальних серверах, користувацьких ПК, мобільних пристроях, одноплатних комп'ютерах, а також у дата-центрах або віддалених сегментах мережі.

Кінцеві точки генерують контрольований тестовий трафік, що моделює роботу стандартних протоколів та реальних мережевих застосунків. На основі цього трафіку вимірюються ключові параметри функціонування мережі, зокрема:

— пропускна здатність (throughput);

— час затримки (latency);

— рівень втрат пакетів (packet loss).

Отримані результати передаються на сервер, де візуалізуються в реальному часі, що дозволяє оперативно оцінити стан мережі та якість обслуговування.

Основні сфери застосування IxChariot:

— забезпечення контролю за дотриманням параметрів угод про рівень обслуговування (SLA);

— оперативна діагностика несправностей у мережевій інфраструктурі;

— попередня оцінка ефективності мережевих застосунків перед їх перенесенням у хмарні середовища;

— тестування швидкодії мобільних пристроїв у мережах Wi-Fi, зокрема визначення пропускної здатності точок доступу під навантаженням;

— моделювання трафіку віртуалізованих інфраструктур, включно з середовищами, побудованими на основі технологій NFV (Network Function Virtualization) і SDN (Software-Defined Networking);

— перевірка готовності мереж до впровадження сервісів VoIP та уніфікованих комунікацій.

Завдяки гнучкості налаштувань, підтримці широкого спектру платформ і

точній імітації прикладного навантаження, IxChariot є надійним інструментом для системного тестування, верифікації та оптимізації сучасних мережевих рішень як у корпоративному, так і в операторському середовищі.

2.2 Інструмент вимірювання продуктивності бездротових мереж TamoSoft Throughput Test

TamoSoft Throughput Test — це спеціалізована утиліта для вимірювання продуктивності дротових і бездротових мереж, яка дозволяє здійснювати оцінювання фактичної пропускної здатності шляхом передавання трафіку через мережеве середовище. Програма підтримує передачу TCP- та UDP-потоків, а також протоколи IPv4 та IPv6, що дозволяє здійснювати комплексну оцінку параметрів мережі у різних умовах.

Принцип роботи утиліти базується на взаємодії двох програмних компонентів — серверної та клієнтської частин. Серверна частина очікує вхідних з’єднань, а клієнтська ініціює з’єднання та передає дані. Після встановлення з’єднання трафік передається у двох напрямках, що дозволяє клієнтському компоненту здійснити точний розрахунок і візуалізацію таких ключових параметрів, як:

— поточна швидкість передавання;

— затримки;

— втрати пакетів;

— асиметрія пропускної здатності у напрямках "вгору/вниз".

Крім того, TamoSoft Throughput Test дозволяє проводити тести з урахуванням параметрів QoS (Quality of Service), що робить його придатним для попереднього аналізу продуктивності мереж з диференційованими сервісами.

Програмне забезпечення є безкоштовним і може бути використане як у навчальних, так і в практичних задачах, пов’язаних із налаштуванням і

діагностикою мереж. Для професійної оцінки покриття Wi-Fi-мереж у складних архітектурних середовищах розробники рекомендують використовувати більш функціональний комерційний продукт — TamoGraph Site Survey.

2.3 Програмний інструмент тестування мережевої продуктивності NetStress

NetStress — це безкоштовна утиліта для тестування пропускної здатності мережевих з'єднань, розроблена компанією Nuts About Nets, яка також спеціалізується на створенні інструментів для діагностики та аналізу комп’ютерних мереж.

Засіб NetStress дозволяє здійснювати перевірку роботи мережі в режимі передавання TCP- та UDP-потоків, як одночасно, так і окремо, з можливістю налаштування кількості потоків, розміру сегментів, кількості пакетів за секунду, а також значення MTU. Важливо зазначити, що програма підтримує лише протокол IPv4 та здійснює передавання даних в одному напрямку — uplink або downlink, що мають тестуватися окремо.

Програмне забезпечення може використовуватися як у ролі клієнта, сервера або одночасно обох, що дозволяє адаптувати процес вимірювання до конкретних сценаріїв тестування.

Серед функціональних можливостей NetStress:

— візуалізація результатів у вигляді графіків для TCP та UDP-трафіку;

— обчислення середніх значень і стандартних відхилень для параметрів передавання та приймання даних;

— підтримка відображення результатів у різних одиницях вимірювання: KBps, Kbps, MBps, Mbps.

Завдяки простому інтерфейсу, гнучким налаштуванням та підтримці ключових параметрів тестування, NetStress є зручним інструментом для базового

аналізу продуктивності дротових і бездротових мереж, особливо в лабораторних або малих корпоративних середовищах.

2.4 Програмний засіб вимірювання швидкодії локальних мереж LAN Speed Test

LAN Speed Test — це програмна утиліта, призначена для точного вимірювання швидкості передавання та приймання даних у локальних мережах. Вона дозволяє користувачу визначити фактичну пропускну здатність як локальної мережі (LAN), так і підключення до глобальної мережі (WAN), а також оцінити продуктивність інтерфейсів з використанням мережевих ресурсів.

У LAN Speed Test Lite реалізовано низку функціональних можливостей, серед яких:

— Ведення лог-файлу для фіксації результатів вимірювання;

— Висока точність результатів за рахунок прямого доступу до мережевого ресурсу;

— Очищення кешу Windows, що дозволяє уникнути спотворень під час повторних вимірювань;

— Моніторинг завантаження центрального процесора, що дозволяє виключити вплив системних ресурсів на результати;

— Безперервне спостереження за швидкістю передавання й приймання даних;

— Контроль за використанням мережі Wi-Fi, що дає змогу оцінювати бездротові сегменти;

— Тестування пропускної здатності LAN/WAN-з’єднань у реальному часі;

— Відображення результатів у графічному вигляді із можливістю їх друку;

— Підтримка запуску з командного рядка, що дозволяє використовувати утиліту в автоматизованих сценаріях.

Механізм вимірювання базується на передачі контрольного файлу до загальної мережевої папки на іншому комп’ютері з наступним зчитуванням або записом даних. У процесі тестування мережева папка має бути доступною постійно, що забезпечує достовірність вимірювання. Користувач може самостійно визначити розмір тестового пакета та зберігати налаштування. Також передбачено можливість надсилання результатів тестування електронною поштою.

Завдяки простоті використання, візуальній інтерпретації даних та підтримці ключових опцій аналізу, LAN Speed Test є ефективним інструментом для початкової оцінки продуктивності мережі в офісних та домашніх умовах.

2.5 Програмний інструмент тестування мережевої пропускної здатності Iperf

Iperf — це кросплатформенна консольна утиліта, призначена для вимірювання пропускної здатності та швидкості передавання даних у комп’ютерних мережах. Завдяки гнучкості налаштувань та високій точності вимірювань, вона широко застосовується як у навчальних цілях, так і в професійному середовищі для тестування каналів зв’язку.

Інструмент підтримує генерацію TCP- та UDP-трафіку, що дозволяє визначити максимальну пропускну здатність між двома вузлами мережі, а також оцінити якість каналу, включаючи затримки, джитер та втрати пакетів. Робота утиліти базується на архітектурі "клієнт – сервер", де обидві частини реалізовані в одному виконуваному файлі. Ідентифікація ролі (сервер або клієнт) відбувається за допомогою командного параметра під час запуску програми.

Iperf запускається з командного рядка (наприклад, cmd у Windows) і не потребує встановлення, що робить її особливо зручною для експрес-діагностики.

Серед основних переваг утиліти:

— підтримка тестування з багатопотоковою генерацією трафіку;

— точне вимірювання пропускної здатності в обох напрямках (uplink/downlink);

— можливість налаштування розміру буфера, частоти передавання та тривалості тесту;

— підтримка як IPv4, так і IPv6;

— виведення результатів у форматі, придатному для подальшої обробки.

Для користувачів, які надають перевагу графічному інтерфейсу, існує візуальна обгортка — JPerf, яка забезпечує аналогічну функціональність. Єдиною додатковою вимогою є наявність встановленого середовища Java Runtime Environment (JRE).

Iperf є надійним та універсальним інструментом для верифікації якості з'єднання, що робить його особливо корисним у процесі проєктування, впровадження та технічного обслуговування мережевої інфраструктури.

2.6 Основні критерії вибору інструментів моделювання та тестування мереж

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій очевидно, що універсального інструменту для моделювання та тестування мереж, який би задовольняв усі вимоги користувачів і повністю охоплював реальні сценарії функціонування, не існує. Повномасштабне моделювання поведінки мереж у режимі повної симуляції, особливо у випадках складної динаміки трафіку, як правило, є технічно або ресурсно недосяжним.

Вибір оптимального програмного засобу залежить від конкретного завдання, технічних умов, а також від вимог до глибини аналізу та точності результатів. Основними критеріями відбору інструментів моделювання бездротових мереж

виступають:

— загальні функціональні можливості: гнучкість, підтримка різних моделей і сценаріїв, можливість повторного використання, орієнтація на конкретні типи задач, порядок і логіка етапів моделювання;

— технічні вимоги до середовища: підтримка відповідної операційної системи, компіляторів, сумісність з апаратним забезпеченням;

— наявність графічного інтерфейсу та візуалізаційних компонентів;

— статистичні інструменти аналізу результатів;

— зручність використання, наявність документації та технічної підтримки;

— інструменти для генерації звітів і побудови графіків;

— рівень популярності та поширення інструмента серед професійної спільноти.

З урахуванням наведених критеріїв, у межах даного проєкту для моделювання та тестування роботи бездротової мережі обрано програмний комплекс IxChariot.

Цей засіб забезпечує точне вимірювання ключових характеристик мережі, зокрема:

— пропускної здатності (throughput);

— часу затримки (latency);

— рівня втрат пакетів (packet loss);

— коливань затримки (jitter);

— оцінки якості голосового трафіку (MOS для VoIP);

— медійної якості (MDI для відео).

IxChariot використовується провідними компаніями, лабораторіями сертифікації та виробниками мережевого обладнання. Його особливістю є реалістичне моделювання прикладного трафіку, яке максимально наближене до поведінки реальних мережевих застосунків. Інструмент дозволяє емулювати взаємодію кінцевих точок, що генерують трафік за тим самим принципом, як це роблять реальні прикладні програми, що, своєю чергою, забезпечує високу

достовірність вимірювань у повному мережевому трактові.

Оскільки даний проєкт передбачає тестування якості функціонування бездротової мережі з урахуванням прикладного рівня обслуговування, саме IxChariot обрано як оптимальний інструмент для реалізації моделювання, верифікації та аналізу.

3 ПРОЄКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ

3.1 Розробка адаптивного алгоритму вибору AP

Процес вибору точки доступу (Access Point, AP) у бездротових мережах є критично важливим для забезпечення стабільного з’єднання та оптимальної якості обслуговування мобільного вузла. Основною метою цього процесу є виявлення найбільш придатної точки доступу серед усіх доступних у межах зони покриття.

Для реалізації ефективного вибору необхідно впроваджувати адаптивний алгоритм прийняття рішення, що ґрунтується на визначеній метриці. У запропонованому підході такою метрикою є Eligibility of Access Point (EoAP) — показник, який кількісно відображає доцільність підключення до конкретної точки доступу.

Алгоритм функціонує наступним чином:

1. Коли мобільний вузол потрапляє до зони дії однієї або кількох точок доступу, розпочинається процес активного сканування навколишніх AP.
2. Для кожної виявленої точки фіксується рівень потужності сигналу (RSSI).
3. Після первинного з’єднання з кожною AP проводиться оцінювання пропускної здатності каналу, що формується між вузлом і точкою доступу.
4. На основі отриманих даних обчислюється значення EoAP, яке інтегрує показники потужності сигналу та пропускної здатності.
5. Після завершення обчислень, з-поміж доступних точок обирається та, яка має максимальне значення EoAP, і до неї виконується підключення.

Запропонований підхід дозволяє динамічно адаптувати вибір точки доступу відповідно до змін у навколишньому радіооточенні, що особливо актуально для мобільних пристроїв у гетерогенних мережах.

Оскільки бездротове середовище характеризується динамікою — з частими змінами розміщення мобільних пристроїв, приєднанням та від'єднанням користувачів — доцільним є застосування адаптивного підходу до вибору точки доступу (AP). Запропонований метод передбачає три ключові стани, між якими переходить мобільний вузол: оцінювання, асоціювання та моніторинг. Повна схема переходів між станами наведена на рис.3.1.

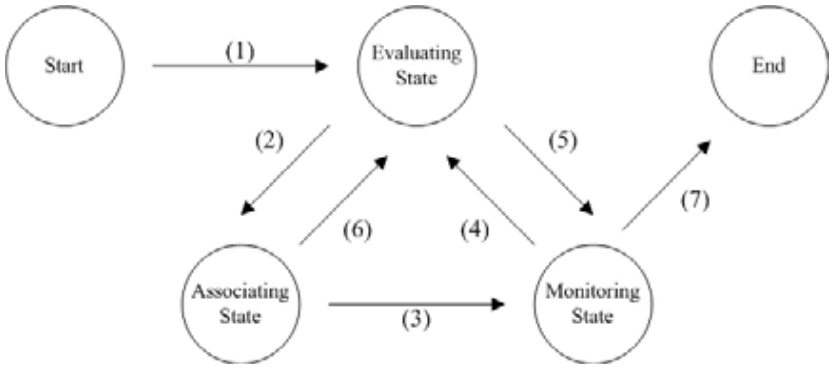


Рисунок 3.1 – Схема переходів між станами: оцінювання, асоціювання та моніторинг

1. Стан оцінювання (Evaluation). Як тільки мобільний вузол з'являється в зоні покриття бездротової мережі, ініціюється сканування навколишніх точок доступу. Для кожної з них обчислюється метрика EoAP (Eligibility of Access Point), яка визначає доцільність встановлення з'єднання. Точка доступу з максимальним значенням EoAP обирається як цільова.

2. Стан асоціювання (Association). Після вибору цільової точки доступу мобільний вузол переходить до встановлення з'єднання. У разі успішного підключення, пристрій переходить до наступного стану. Якщо з'єднання не встановлено, система повертається до попереднього стану повторного оцінювання.

3. Стан моніторингу (Monitoring). Після успішного з'єднання мобільний вузол безперервно відстежує рівень сигналу від активної точки доступу. Якщо рівень сигналу падає нижче за наперед визначений пороговий рівень, система знову переходить до стану оцінювання для перевірки всіх доступних AP та перерахунку EoAP.

4. Адаптація порогу. Якщо у процесі повторного оцінювання найвищий EoAP знову належить тій самій точці доступу, яка вже використовується, порогове значення сигналу автоматично знижується, і мобільний вузол повертається до стану моніторингу. Такий механізм дозволяє уникати частих необґрунтованих переналаштувань.

5. Завершення сеансу. Вузол залишається в стані моніторингу до моменту завершення своїх комунікаційних сесій. Після завершення обміну даними він переходить до завершального стану, що сигналізує про готовність до повторного підключення при потребі.

Таким чином, розроблений адаптивний (рис.3.2) алгоритм забезпечує стабільність зв’язку, мінімізує кількість непотрібних повторних підключень і дозволяє ефективно реагувати на зміну параметрів середовища.

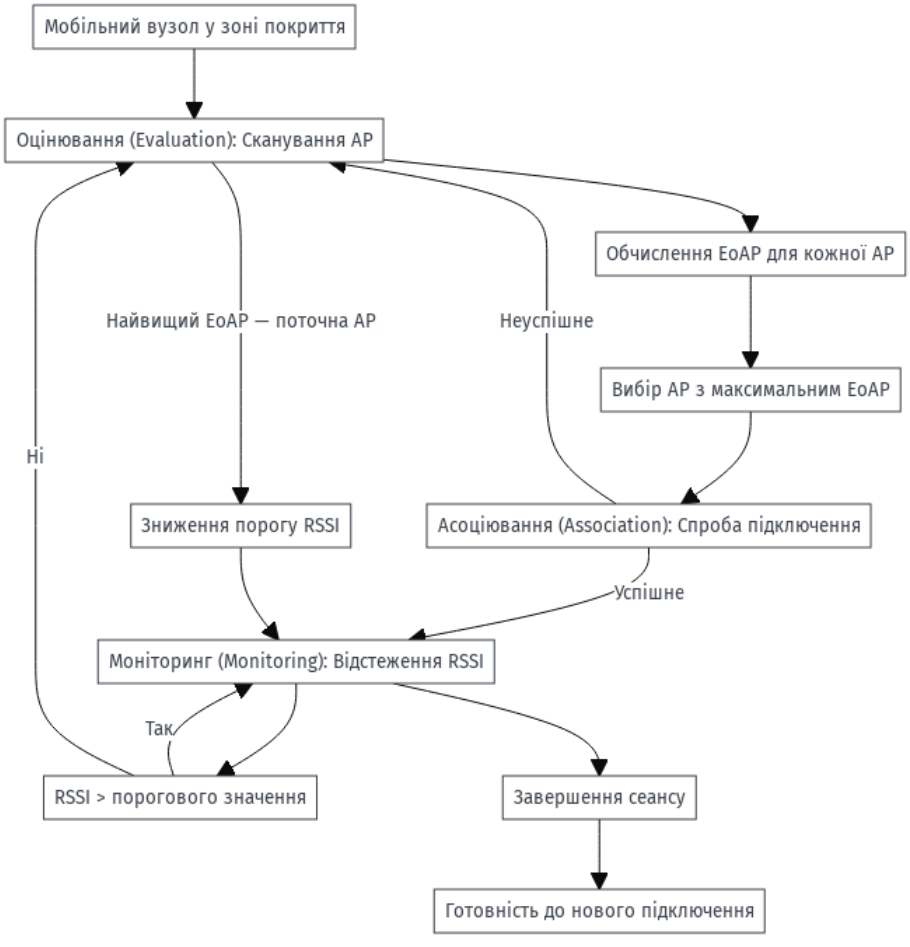


Рисунок 3.2 – Адаптивний алгоритм вибору AP

3.2 Експериментальна оцінка ефективності адаптивного алгоритму вибору точки доступу

У цьому підрозділі проведено моделювання та експериментальні дослідження з метою підтвердження ефективності запропонованого адаптивного алгоритму вибору точки доступу (Access Point, AP) у бездротових мережах. Хоча пропускна здатність AP є важливим параметром, вона не завжди прямо корелює з якістю обслуговування — точка доступу з високим навантаженням, але з кращими апаратними характеристиками, може забезпечувати кращу продуктивність, ніж менш навантажені пристрої. Тому експериментальна оцінка має важливе значення для обґрунтування доцільності впровадження метрики Eligibility of Access Point (EoAP), яка враховує як рівень сигналу (RSSI), так і пропускну здатність каналу.

Мережеве моделювання дає змогу оцінити поведінку розгорнутих рішень у контрольованих умовах. У даному випадку використано два типи моделей:

— Імітаційна модель, яка імітує реальне функціонування мережі з відповідними параметрами пристроїв і середовища;

— Процесна модель, яка демонструє динамічну поведінку системи в часі.

Для дослідження застосовано інструмент IxChariot, який дозволяє проводити точні вимірювання продуктивності бездротових мереж. Моделювання проводилось у динамічному, випадковому та дискретному режимах. Було змодельовано різні варіанти взаємного розташування клієнтських пристроїв та точки доступу, з урахуванням типових перешкод (цегляна стіна, скло, гіпсокартон).

Метою експерименту є оцінка ефективності реалізованого адаптивного алгоритму з точки зору таких параметрів як пропускна здатність, час відгуку, швидкість транзакцій та стабільність з’єднання. Дослідження проводилось за допомогою програмного забезпечення IxChariot, з використанням наступного обладнання:

— ПК з ОС Windows, встановленим IxChariot та кінцевою точкою;

— смартфон з iOS (Endpoint 2);

— точка доступу (AP) з підтримкою стандартів 802.11g/n.

Для моделювання використовувались такі сценарії:

— Throughput.scr — для вимірювання пропускної здатності;

— HTTPS_Secure_Transaction.scr — для оцінки швидкості транзакцій.

На рис.3.3 представлено фізичне розміщення ПК, смартфона та точки доступу перед початком експерименту.

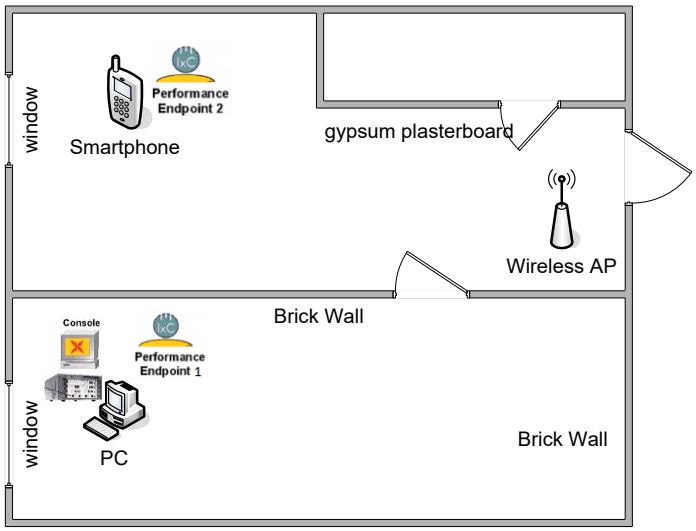


Рисунок 3.3 – Схема розміщення пристроїв у мережі

На рис.3.4 показано структуру взаємодії між кінцевими точками та точкою доступу у мережі типу 802.11.

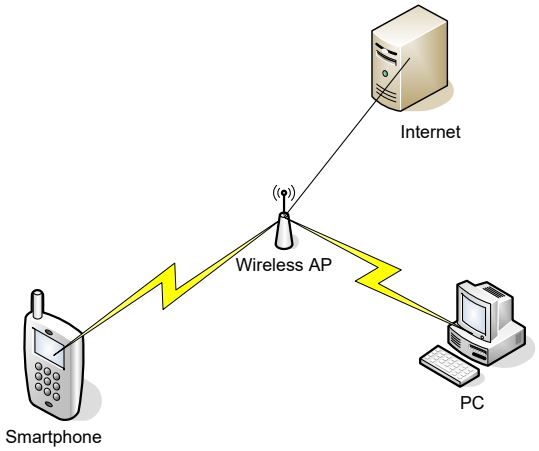


Рисунок 3.4 – Загальна топологія бездротової мережі

У тестуванні задіяно три основні компоненти:

— STAUT — клієнтський пристрій у режимі тестування;

— APUT — точка доступу, що проходить тестування;

— IxChariot Console — засіб керування тестами.

Було реалізовано три сценарії:

Сценарій 1 (рис. 3.5–3.11). Клієнтські пристрої розташовані в стандартній зоні покриття AP. Вимірювались RSSI, пропускна здатність, швидкість транзакцій, час відгуку.

На рис.3.5 показано схематичне розміщення пристроїв у тесті №1, за стандартною схемою.

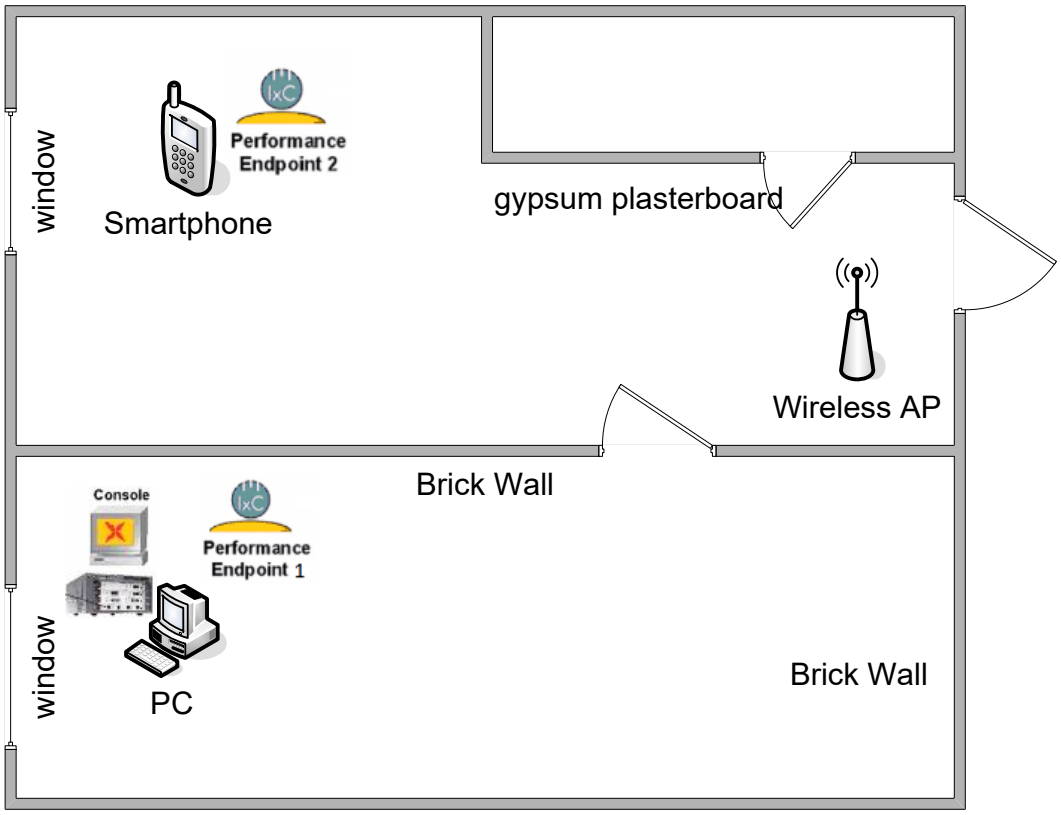


Рисунок 3.5 – Розташування пристроїв у першому сценарії експерименту

На рис.3.6 показано системні параметри двох пристроїв, зафіксовані у програмному середовищі.

Test Setup | Throughput | Transaction Rate | Response Time | Raw Data Totals | Endpoint Configuration | 802.11

Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	E1 Version	E1 Build Level	E1 Product Type	E1 Operating System	E1 actual address	Ixia Port for Endpoint 1	E2 Version	E2 Build Level	E2 Product Type	E2 Operating System
All Pairs			143										
Pair 1	No Group	Finished	93	8.1 EA	17	Retail	Windows 7 x64 (32-bit endpoint)			9.0 EA	327	Retail	iOS
Pair 2	No Group	Finished	50	8.1 EA	17	Retail	Windows 7 x64 (32-bit endpoint)			9.0 EA	327	Retail	iOS

Рисунок 3.6 – Вихідні налаштування кінцевих точок у IxChariot (тест 1).

На рис.3.7 показано графік сигналу, який приймали пристрої у першому тесті.

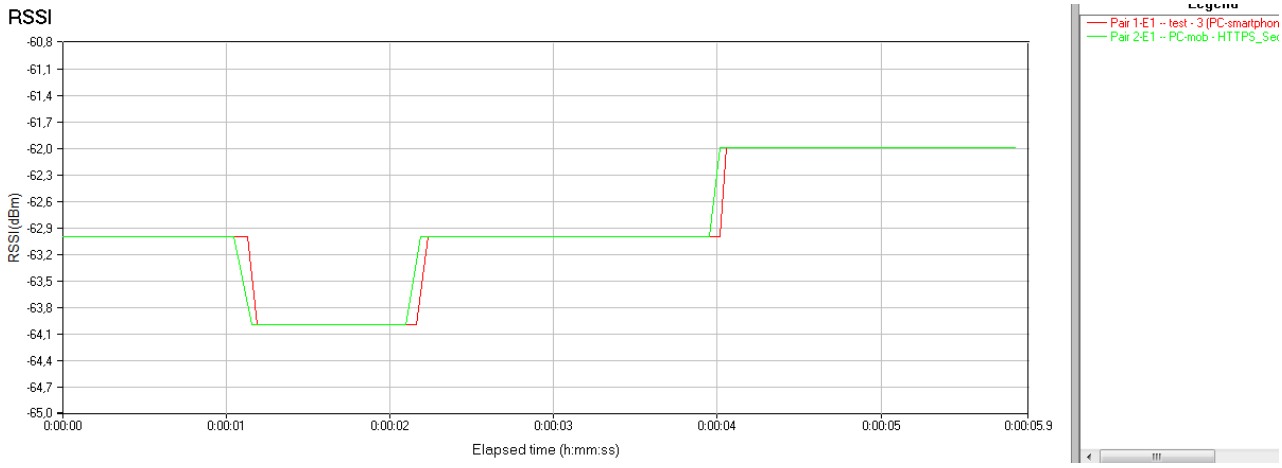


Рисунок 3.7 – Рівень сигналу (RSSI) точки доступу у сценарії 1

На рис.3.8 показано вимірювання трафіку між точкою доступу та клієнтами в умовах тесту.

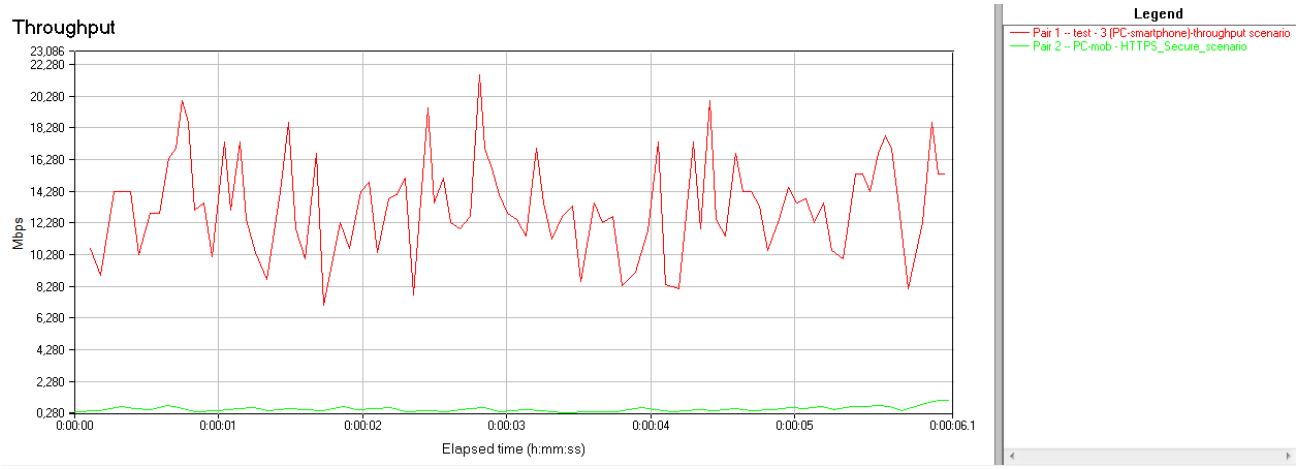


Рисунок 3.8 – Пропускна здатність мережі під час виконання тесту 1

На рис.3.9 показано динаміку передачі даних у сценарії HTTPS із двома кінцевими точками.

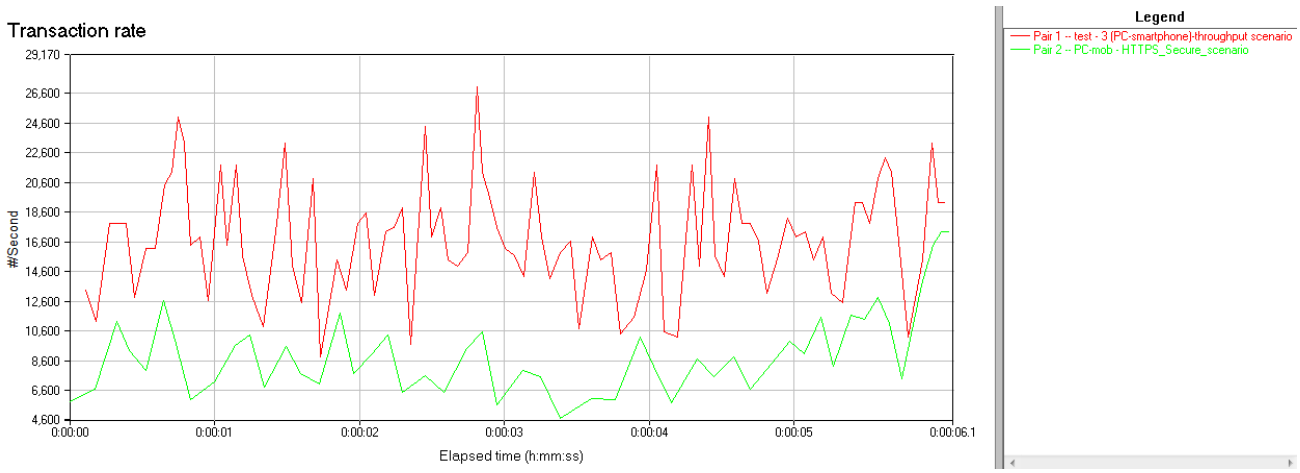


Рисунок 3.9 – Показники швидкості транзакцій у тесті 1

На рис.3.10 показано затримку в обміні пакетами між пристроями.

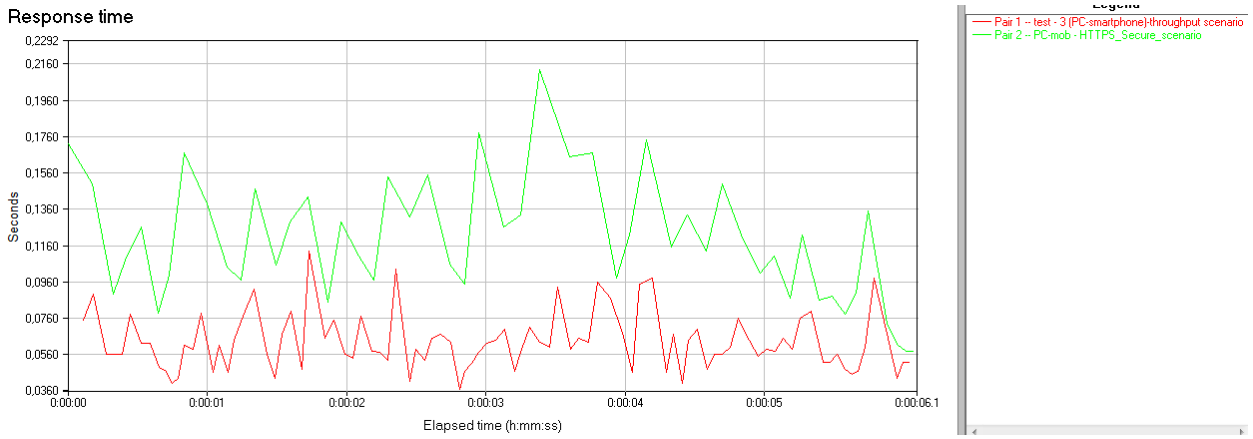


Рисунок 3.10 – Час відгуку у тестовому сценарії 1

На рис.3.11 показано агреговані результати всіх вимірюваних метрик для першого тесту.

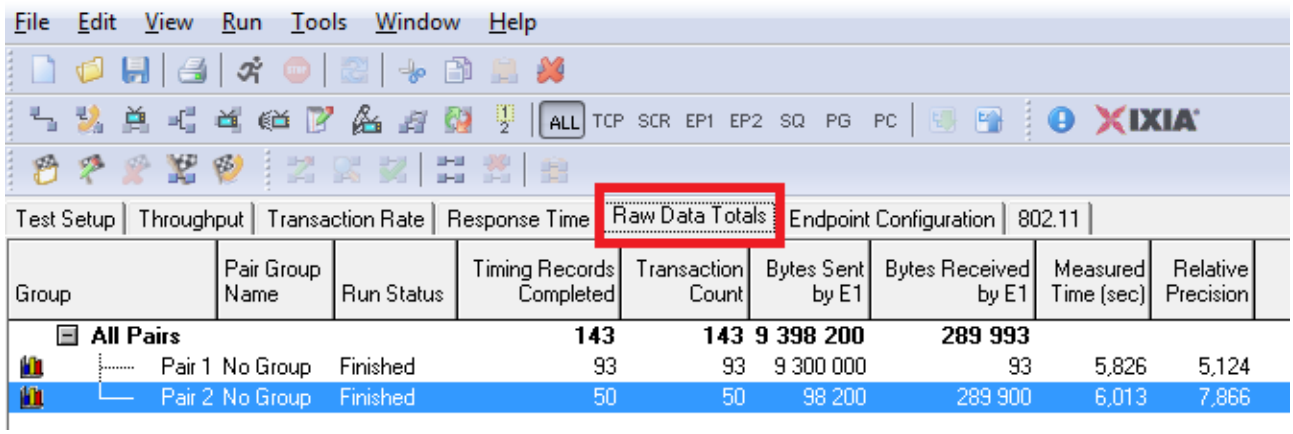


Рисунок 3.11 – Зведені результати тестування у першому сценарії

Сценарій 2 (рис. 3.12–3.20). Клієнти розміщені в іншому куті кімнати, з більшими перешкодами. У результатах спостерігається зниження QoS у порівнянні з першим сценарієм.

На рис.3.12 показано модифіковану конфігурацію розташування пристроїв для оцінки впливу перешкод.

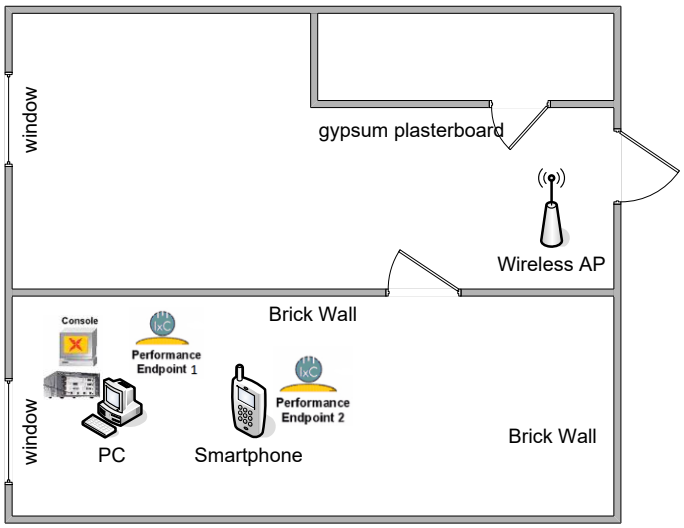


Рисунок 3.12 – Розташування пристроїв у другому тестовому сценарії

На рис.3.13 показано рівень прийому сигналу в умовах складнішого середовища.

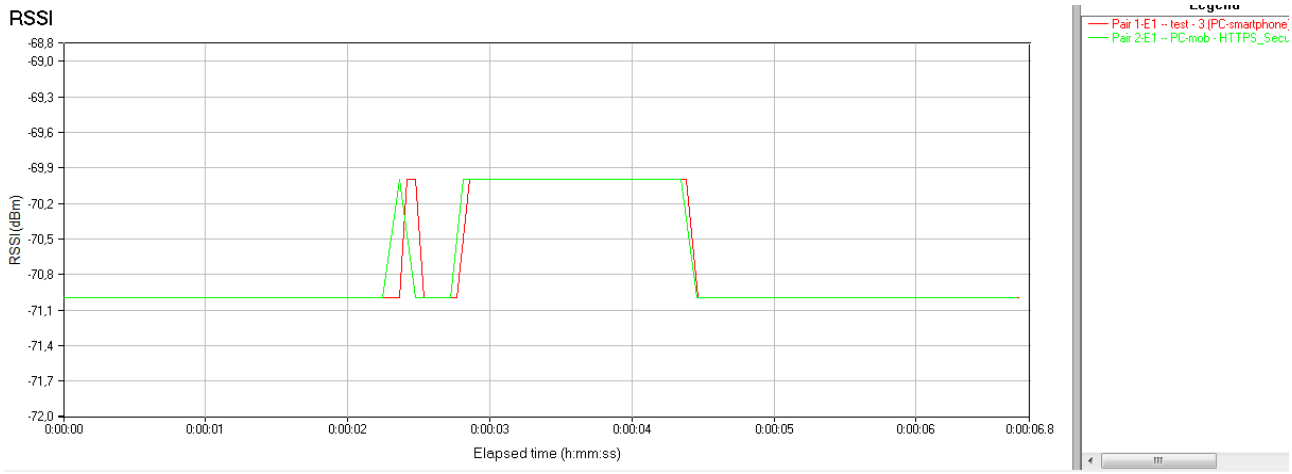


Рисунок 3.13 – Рівень сигналу (RSSI) точки доступу у тесті 2

На рис.3.14 показано порівняння трафіку в умовах зменшеного сигналу та віддалення.

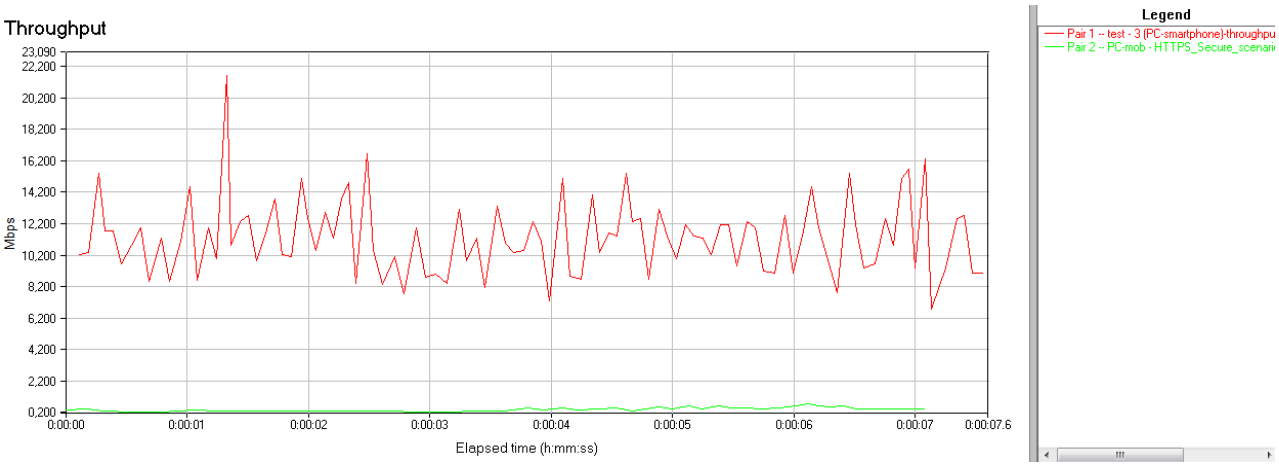


Рисунок 3.14 – Пропускна здатність мережі у тестовому сценарії 2

На рис.3.15 показано показник ефективності з’єднання в другому сценарії.

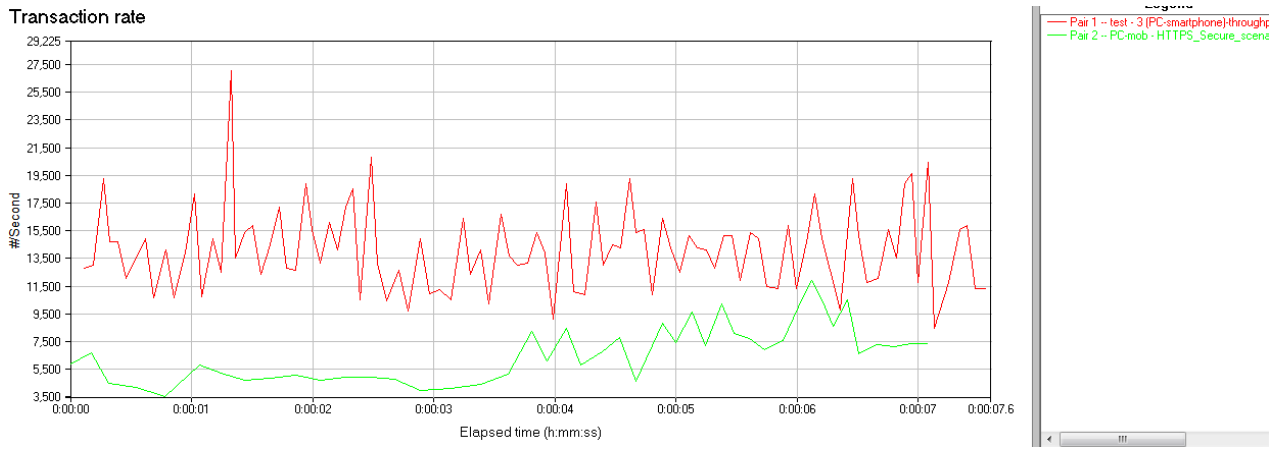


Рисунок 3.15 – Швидкість транзакцій у тесті 2

На рис.3.16 показані дані щодо затримок при взаємодії пристроїв у зміненому положенні.

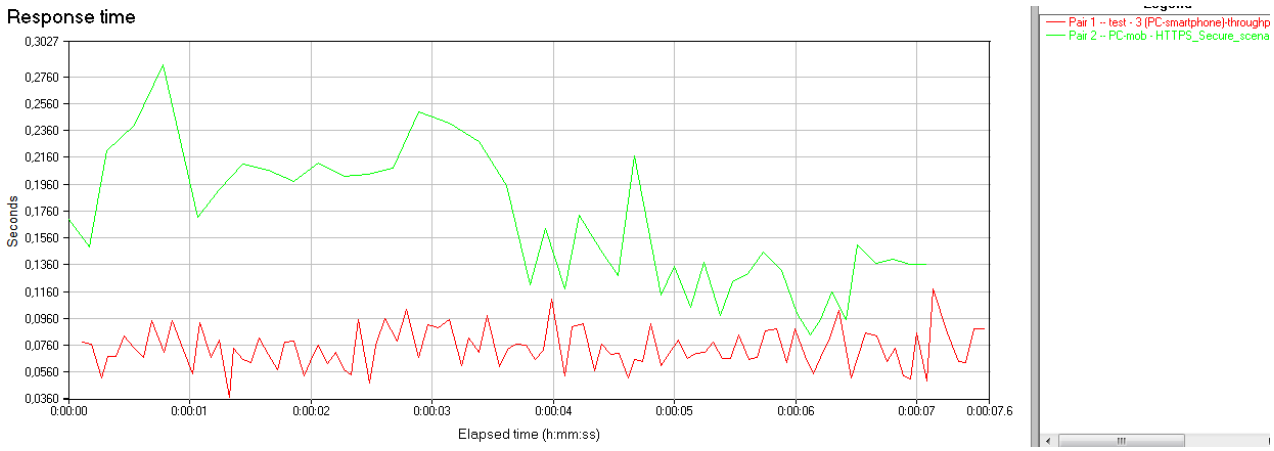


Рисунок 3.16 – Результати вимірювання часу відгуку (тест 2)

На рис.3.17 показано узагальнення виміряних характеристик у другому сценарії.

Test Setup | Throughput | Transaction Rate | Response Time | Raw Data Totals | Endpoint Configuration | 802.11

Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	Transaction Count	Bytes Sent by E1	Bytes Received by E1	Measured Time (sec)	Relative Precision
All Pairs			**143**	**143**	**10 084 452**	**249 414**		
Pair 1	No Group	Finished	100	100	10 000 000	100	7,320	3,995
Pair 2	No Group	Finished	43	43	84 452	249 314	7,020	9,422

Рисунок 3.17 – Підсумкові дані другого тестового сценарію

Сценарій 3 (рис. 3.18 – 3.23). Пристрої розміщено симетрично по відношенню до точки доступу. У цьому сценарії зафіксовано найвищі показники якості зв’язку, попри наявність фізичних перешкод.

На рис.3.18 показано оптимальне симетричне розташування клієнтів відносно точки доступу.

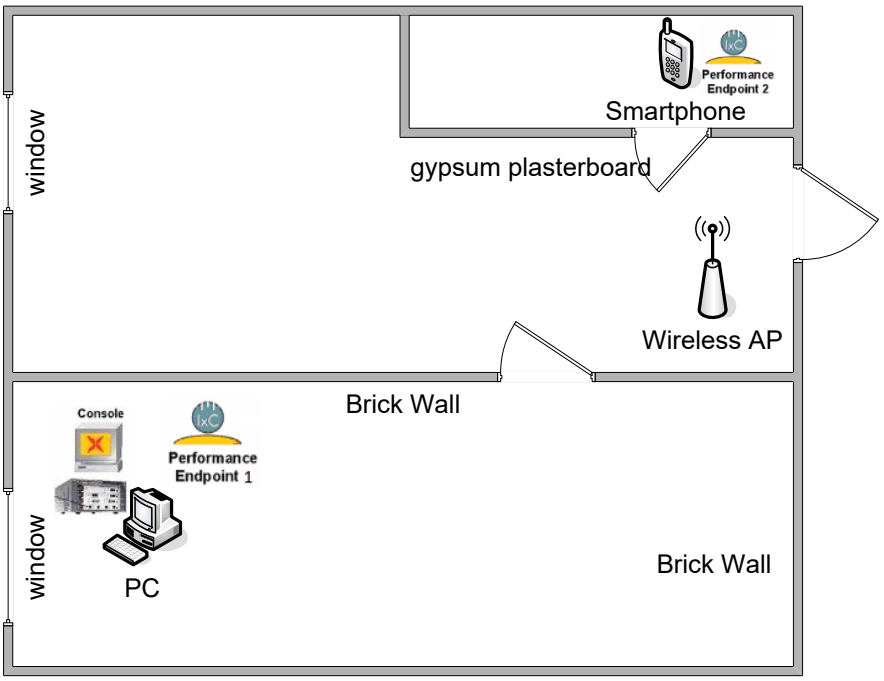


Рисунок 3.18 – Розташування пристроїв у третьому сценарії випробувань

На рис.3.19 показано сигнал у найсприятливішому з розглянутих варіантів.

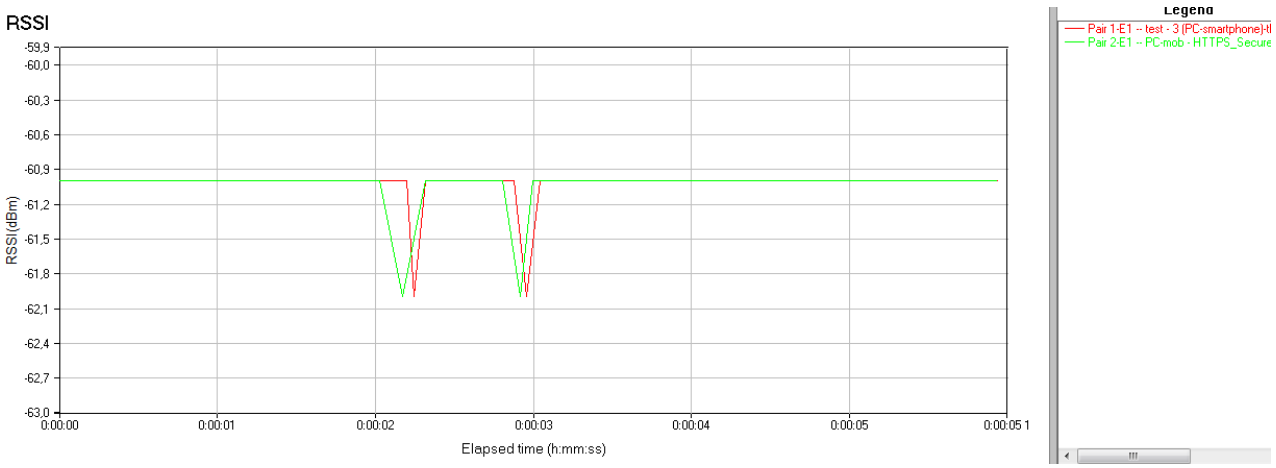


Рисунок 3.19 – Рівень RSSI точки доступу в умовах тесту 3

На рис.3.20 показано максимальна продуктивність каналу в умовах збалансованого розміщення.

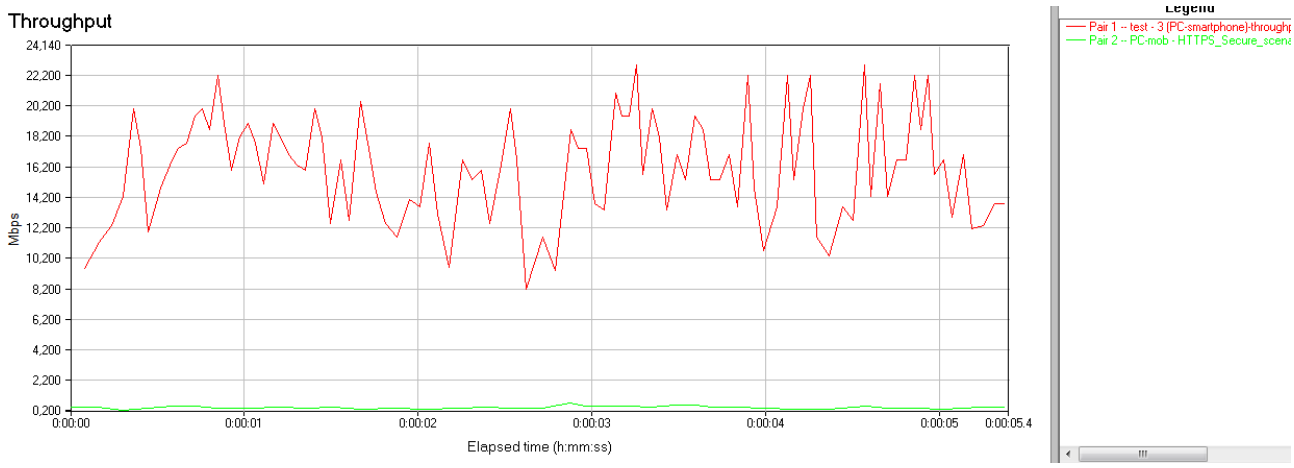


Рисунок 3.20 – Графік пропускної здатності у тестовому сценарії 3

На рис.3.21 показано стабільність і швидкість передачі в найкращому розміщенні.

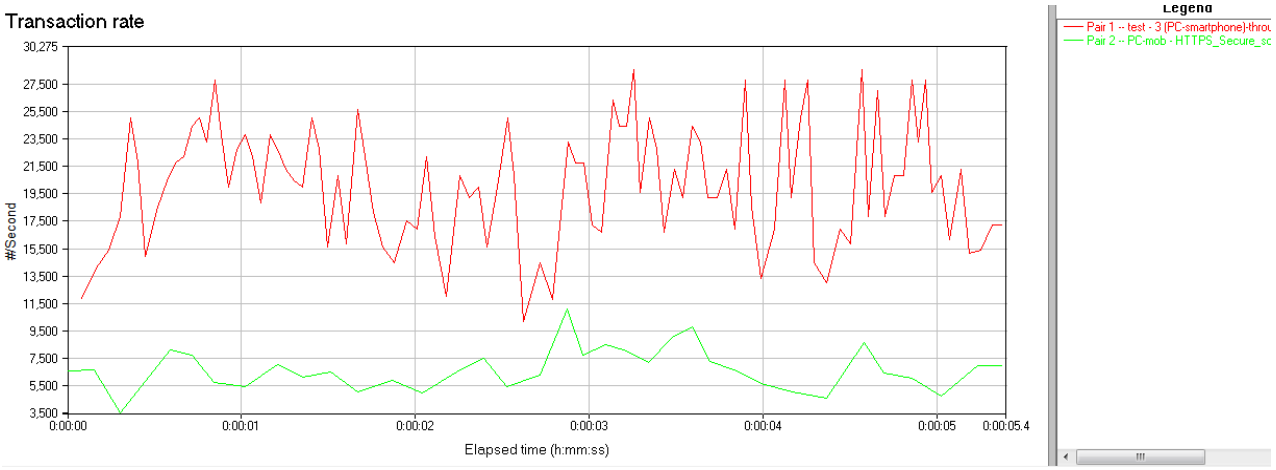


Рисунок 3.21 – Показники швидкості передачі даних у тесті 3

На рис.3.22 показано мінімальні затримки — показник якості у цьому сценарії.

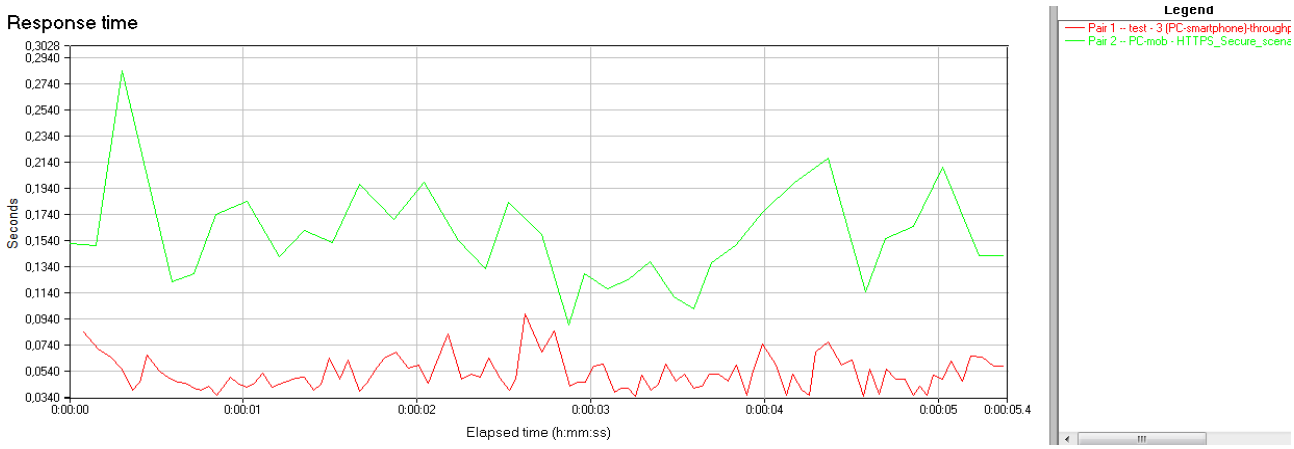
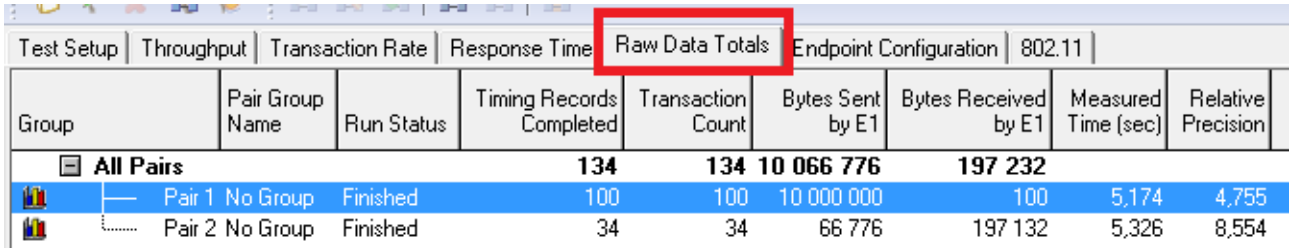


Рисунок 3.22 – Результати часу відгуку у третьому тесті

На рис.3.23 показано остаточні дані, що свідчать про ефективність адаптивного методу.



Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	Transaction Count	Bytes Sent by E1	Bytes Received by E1	Measured Time (sec)	Relative Precision
All Pairs			**134**	**134**	**10 066 776**	**197 232**		
Pair 1	No Group	Finished	100	100	10 000 000	100	5,174	4,755
Pair 2	No Group	Finished	34	34	66 776	197 132	5,326	8,554

Рисунок 3.23 – Узагальнення результатів тестування у третьому сценарії

Отримані результати свідчать про явну залежність параметрів QoS від взаємного розташування клієнтів і точки доступу. Найкращі показники досягались у сценарії 3, що підтверджує ефективність адаптивного підходу до вибору AP, з урахуванням EoAP. Експеримент також продемонстрував стабільні результати при використанні метрики, яка враховує як RSSI, так і реальну пропускну здатність.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було реалізовано та перевірено ефективність адаптивного алгоритму вибору точки доступу в бездротових мережах WLAN. Запропонована метрика EoAP, що враховує як рівень сигналу, так і пропускну здатність, продемонструвала переваги над традиційними методами вибору AP, заснованими лише на RSSI.

За результатами експериментального моделювання із застосуванням IxChariot встановлено, що оптимальне взаємне розміщення клієнтських пристроїв та точки доступу, з урахуванням адаптивної логіки вибору, забезпечує підвищення параметрів якості обслуговування (QoS): збільшення пропускної здатності, зниження часу затримки, стабільність з’єднання та зменшення кількості повторних підключень.

Результати роботи доводять доцільність застосування адаптивного підходу до вибору точки доступу в динамічному радіосередовищі та підтверджують можливість його ефективного впровадження в практику проєктування бездротових мереж нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MS Gast. 802.11 Wireless Networks: The Definite Guide, chapter A peek ahead at 802.11n: MIMO-OFDM. O'Reilly, 2nd edition, 2005.
2. M. Frodigh, S. Parkwall, C. Roobol, P. Johansson, and P. Larsson. Future-generation wireless networks. IEEE Personal Communications Magazine, pages 10-17, October 2001.
3. IEEE Std 802.11g: Specific Requirements Part II: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2003.
4. IEEE Std 802.11i: Specific Requirements Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications amendement 6: MAC Security Enhancements, 2004.
5. J.-C. Chen, M.-C. Jiang, and Y. Liu. Wireless LAN security and IEEE 802.11i. IEEE Wireless Communications, February 2005.
6. M. Kubisch, S. Mengesha, D. Hollos, H. Karl, and A. Wolisz. Applying ad-hoc relaying to improve capacity, energy efficiency, and immission in infrastructure-based WLANs. In Proc. of Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS). Leipzig, Germany, February 2003.
7. IEEE Std 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications, 1997..
8. S. Xu and T. Saadawi. Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in Multihop Ad Hoc Networks? IEEE Commun. Mag., June 2001.
9. Adaptive WiFi systems: Principles of design and application support Yanovsky, M. Gorbenko, A.;Kharchenko, V. // Proceedings of the International Conference on Digital Technologies, DT 2013, Zilina, Slovakia: 203-206
10. Baumes, J., Goldberg, M., Magdon-Ismail, M .: Efficient identification of overlapping communities. Lect. Notes Comput. Sci. 3495, 27-36 (2005).
11. Csermely, P .: Weak Links. Springer Verlag, Heidelberg, Germany (2006).
12. Derenyi, I., Palla, G., Vicsek, T .: Clique percolation in random networks. Phys. Rev. Lett. 94, 160 202 (2005)

13. Dodds, PS, Muhamad, R., Watts, DJ: An experimental study of search in global social networks. Science 301, 827-829 (2003).

14. Ebel, H., Davidsen, J., Bornholdt, S .: Dynamics of social networks. Complexity 8, 24-27 (2002).

15. M. Gerharz, C. de Waal, M. Frank, and P. James. A Practical View on Quality-of-Service Support in Wireless Ad Hoc Networks. In Proc. IEEE Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN). Bern, Switzerland, July 2003.

.

Додаток А

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

на тему: «Проектування безпровідних мереж за допомогою адаптивного методу»

Виконав студент групи КІД-42
Рассказов Владислав Олексійович

Керівник кваліфікаційної роботи:
Асєєва Людмила Анатоліївна, PhD
доцент кафедри КІ

Київ – 2025

Мета роботи – Дослідження та реалізація адаптивного методу вибору точки доступу (AP) у бездротових мережах з метою забезпечення стабільного з'єднання та підвищення якості обслуговування мобільних пристроїв.

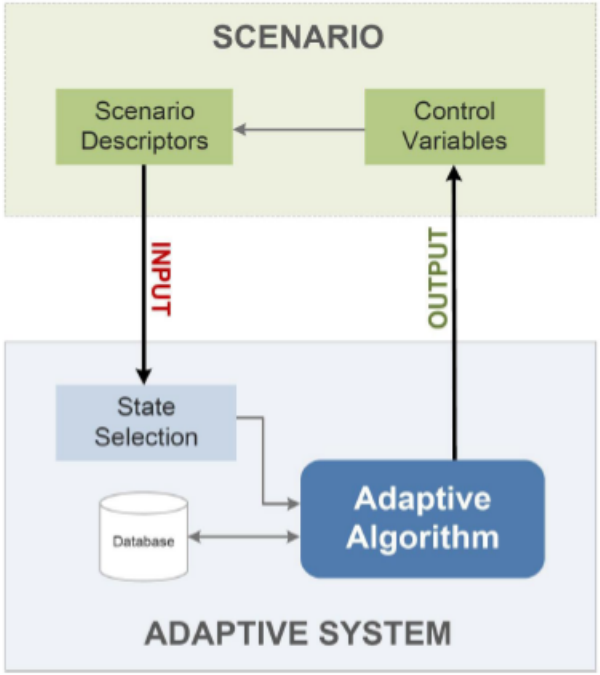
Об`єкт дослідження – Бездротова локальна мережа (WLAN), побудована за стандартом IEEE 802.11.

Предмет дослідження – Методи вибору точки доступу в умовах змінного радіооточення та моделювання ефективності адаптивного алгоритму на основі метрики Eligibility of Access Point (EoAP).

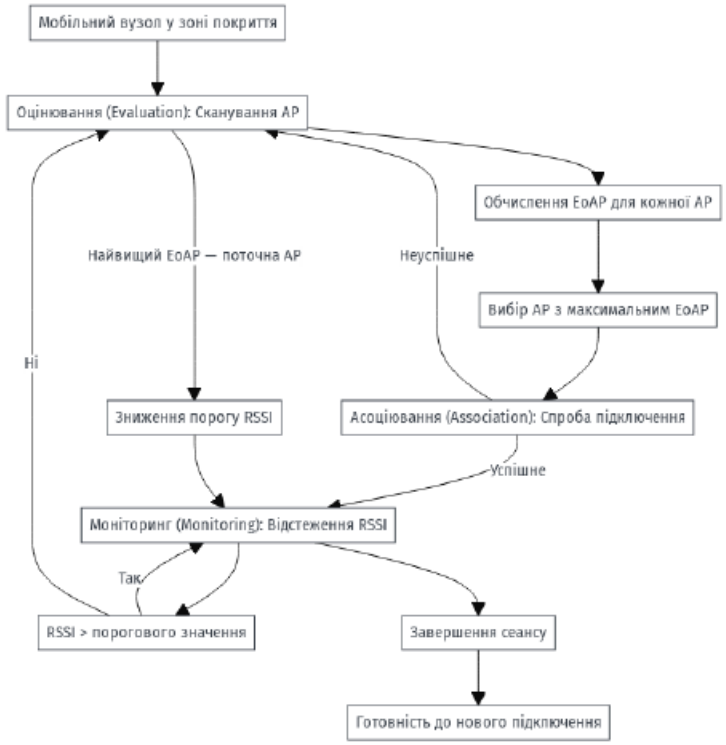
Актуальність обраної теми

У сучасному світі бездротові локальні мережі (WLAN) стали невід'ємною частиною телекомунікаційної інфраструктури. Їх популярність зумовлена мобільністю, зручністю використання та зростаючою потребою у високошвидкісному доступі до мережі Інтернет. Проте ефективне функціонування WLAN у динамічному радіосередовищі потребує розв'язання низки завдань, пов'язаних із забезпеченням стабільного з'єднання, мінімізації затримок і вибору оптимального маршруту передавання даних.

Принципи побудови адаптивних бездротових локальних мереж



Адаптивний алгоритм



Сценарій 1 – Базові умови

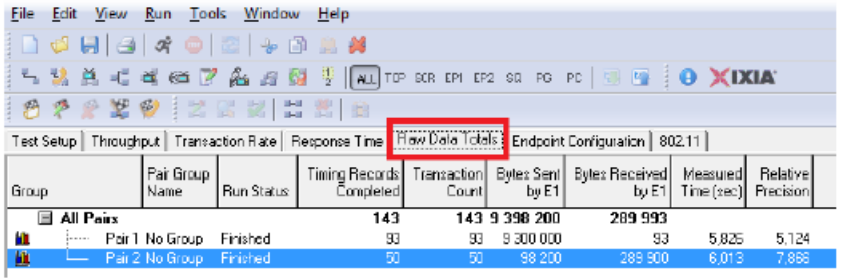


Рис. 6.1 - Розташування пристроїв у першому сценарії експерименту

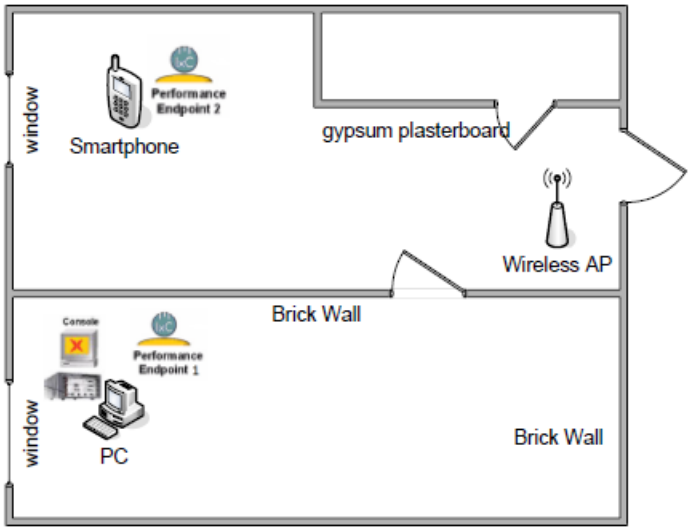


Рис. 6.2 - Зведені результати тестування у першому сценарії

Сценарій 2 – З перешкодами

Test Setup | Throughput | Transaction Rate | Response Time | Raw Data Totals | Endpoint Configuration | 802.11

Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	Transaction Count	Bytes Sent by E1	Bytes Received by E1	Measured Time (sec)	Relative Precision
All Pairs			**143**	**143**	**10 084 452**	**249 414**		
Pair 1	No Group	Finished	100	100	10 000 000	100	7.320	3.995
Pair 2	No Group	Finished	43	43	84 452	249 314	7.020	9.422

Рис. 7.1 - Підсумкові дані другого тестового сценарію

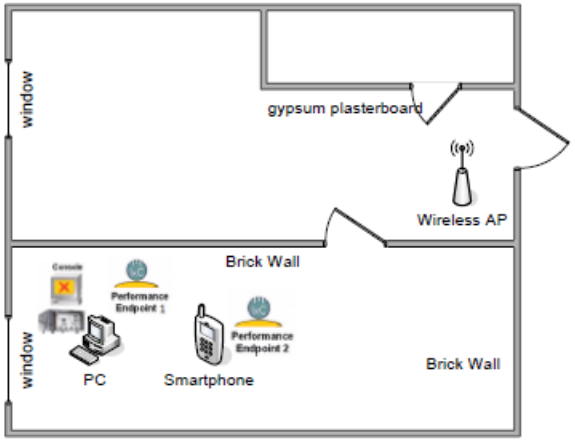


Рис. 7.2 - Розташування пристроїв у другому тестовому сценарії

Розташування пристроїв у третьому сценарії випробувань

Test Setup | Throughput | Transaction Rate | Response Time | Raw Data Totals | Endpoint Configuration | 802.11

Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	Transaction Count	Bytes Sent by E1	Bytes Received by E1	Measured Time (sec)	Relative Precision
All Pairs			134	134	10 066 776	197 232		
Pair 1 No Group		Finished	100	100	10 000 000	100	5,174	4,755
Pair 2 No Group		Finished	34	34	66 776	197 132	5,325	8,554

Рис. 8.1 - Узагальнення результатів тестування у третьому сценарії

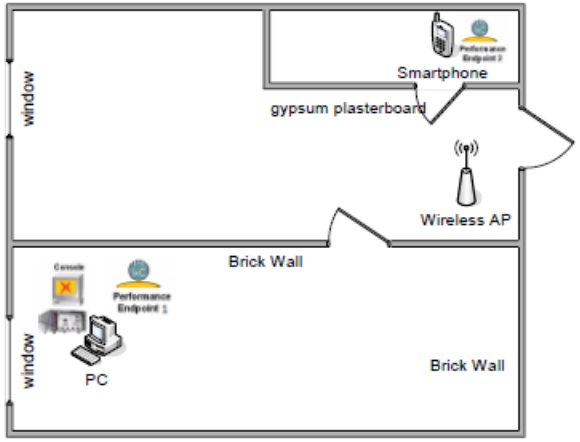


Рис. 8.2 - Розташування пристроїв у третьому сценарії випробувань

Порівняльний аналіз

Параметр	Сценарій 1 (стандартне розміщення)	Сценарій 2 (перешкоди)	Сценарій 3 (симетричне розміщення)
Рівень сигналу (RSSI), дБм	–58	–71	–52
Пропускна здатність, Мбіт/с	18.2	10.4	22.7
Середній час відгуку, мс	21.3	47.8	15.9
Швидкість транзакцій, транз./с	215	134	269
Втрати пакетів, %	1.2	4.6	0.7
QoS (якість з’єднання)	Висока	Низька	Дуже висока

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було реалізовано та перевірено ефективність адаптивного алгоритму вибору точки доступу в бездротових мережах WLAN. Запропонована метрика EoAP, що враховує як рівень сигналу, так і пропускну здатність, продемонструвала переваги над традиційними методами вибору AP, заснованими лише на RSSI.

За результатами експериментального моделювання із застосуванням IxChariot встановлено, що оптимальне взаємне розміщення клієнтських пристроїв та точки доступу, з урахуванням адаптивної логіки вибору, забезпечує підвищення параметрів якості обслуговування (QoS): збільшення пропускної здатності, зниження часу затримки, стабільність з'єднання та зменшення кількості повторних підключень.

Результати роботи доводять доцільність застосування адаптивного підходу до вибору точки доступу в динамічному радіосередовищі та підтверджують можливість його ефективного впровадження в практику проєктування бездротових мереж нового покоління.