Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
Охорона (назва факультету)
Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: *Методи та засоби оптимізації продуктивності мереж на основі технологій 802.11*

Виконав: студент 6 курсу групи СІм-62
спеціальності
123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

_____ Козак Д.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Стадник Н.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Луцик Н.С.
(підпис) (прізвище та ініціали))

Завідувач кафедри _____ Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
доц. Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«11» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *123 Комп'ютерна інженерія*
студенту *Козаку Дмитру Миколайовичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи *Методи та засоби оптимізації продуктивності мереж на основі технологій 802.11*

Керівник роботи *Стадник Наталія Богданівна, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом по університету від *« 29 » листопада 2024 року № 4/7-1144*
2. Термін подання студентом роботи *16.12.2024*
3. Вихідні дані до роботи *наукові літературні джерела*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Аналіз стану вирішуваної проблеми. 2 Теоретична частина.
3. Експериментальні дослідження.
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Тема, мета, задачі, об'єкт, предмет, новизна дослідження. 2. Актуальність дослідження.
3. Методи корекції помилок у стандартах Wi-Fi
4. Програмне забезпечення налаштування Wi-Fi. 5.Передача без фрагментації
6. Передача із фрагментацією. 7. Результати фрагментації
8. Блок-схема_Результати експериментів
9. Висновки. Результати проведеного дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*Осухівська Г.М., доцент*		
Безпека в НС			

7. Дата видачі завдання *11.11.2024.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	*Аналіз існуючих методів та засобів розв'язання науково-технічних проблем, що відповідають тематиці кваліфікаційної роботи.*	*20.11-30.12.24*	*Виконано*
2.	*Обґрунтування актуальності дослідження*	*01.12-06.12.24*	*Виконано*
3.	*Аналіз предмету дослідження та предметної області*	*07.12-11.12.24*	*Виконано*
4.	*Проведення дослідження методів та засобів аналітичного опрацювання даних*	*11.12-12.12.24*	*Виконано*
5.	*Оформлення розділу «Аналіз стану вирішуваної проблеми»*	*12.12-13.12.24*	*Виконано*
6.	*Оформлення розділу «Теоретична частина»*	*13.12-14.12.24*	*Виконано*
7.	*Оформлення розділу «Експериментальні дослідження»*	*14.12-15.12.24*	*Виконано*
8.	*Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»*	*07.12-12.12.24*	*Виконано*
9.	*Нормоконтроль*	*11.12-14.12.24*	
10.	*Попередній захист роботи*	*20.12.24*	*Виконано*
11.	*Захист кваліфікаційної роботи*	*23.12.24*	

Студент _____ *Козак Д.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Стадник Н.Б.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Козак Д.М. Методи та засоби оптимізаціїї продуктивності мереж на основі технологій 802.11: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. Н. Б. Стадник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. — 68 с.

Ключові слова: wi-fi, фрагментація, ефективність, оптимізація, продуктивність, накладні витрати

Кваліфікаційна робота містить попередні дослідження предметної галузі щодо корекції помилок у мережах, опис обґрунтувань розробки. Досліджено стандарти фізичного рівня Wi-Fi. Відображено вплив параметрів на ефективність функціонування мережі.

Наведено результати обчислювальних розрахунків, а також схему алгоритму методу фрагментації кадрів та результати експериментальної перевірки. Виконані експерименти стосуються визначення впливу фрагментації на такі показники якості функціонування мережі як середній час, що затрачений на передачу кадру, і відсоток утрачених кадрів.

Отримані в процесі роботи результати доводять, що застосування методу фрагментації кадрів дозволяє оптимізувати передачу даних у мережі Wi- Fi . Створений на основі отриманих розрахунків алгоритм дозволить написати програмне забезпеченням для його подальшого використання в точках доступу.

ANNOTATION

Kozak D. Methods and tools for optimizing network performance based on 802.11 technologies. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor N.B. Stadnyk. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024. — 68 p.

Keywords: wi-fi, fragmentation, efficiency, optimization, productivity, overhead

Thesis contains previous research in the subject area on error correction in networks, a description of the development rationale. The standards of the Wi-Fi physical layer are studied. The influence of parameters on the efficiency of network operation is reflected.

The results of computational calculations are presented, as well as a diagram of the algorithm of the frame fragmentation method and the results of experimental verification. The experiments performed concern determining the influence of fragmentation on such indicators of network operation quality as the average time spent on frame transmission and the percentage of lost frames.

The results obtained in the process of work prove that the use of the frame fragmentation method allows optimizing data transmission in a Wi-Fi network. The algorithm created on the basis of the obtained calculations will allow writing software for its further use in access points.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ACK (ACKnowledge) – символ підтвердження прийому даних.

ARQ (Automatic Repeat reQuest) – автоматичний запит повторної передачі.

BER (Bit Error Rate) – коефіцієнт бітових помилок.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – метод прямої послідовності.

FEC (Forward Error Correction) – попередня корекція помилок.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) – мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів.

WLAN (Wireless Local Area Network) – безпровідна локальна мережа.

ВСТУП

Актуальність теми. У системах бездротової локальної мережі IEEE 802.11 (Wi-Fi) застосовуються методи корекції помилок, такі як підтвердження, повторна передача та адаптація швидкості передачі, а також інші [1, 2].

Використання методів корекції помилок у мережах Wi-Fi призводить до накладних витрат і, як наслідок, зниження продуктивності мережі.

Існує та розробляється множина різних методів покращення функціонування мережі [3, 4], але ця тема ще недостатньо досліджена. Отже, існує потреба у побудові, відтворенні та реалізації впровадженні методу, котрий є відомим для інших канальних технологій [5], що полягає у підборі оптимального режиму фрагментації кадрів.

Це має знизити накладні витрати та збільшити продуктивність мережі Wi-Fi.

Мета дослідження: розробка методу оптимізації продуктивності мережі Wi-Fi.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- дослідження стандартів сімейства Wi-Fi;
- дослідження методів корекції помилок;
- дослідження залежності накладних витрат від чинників, які впливають роботу мережі;
- розробка методу оптимізації;
- експериментальна перевірка ефективності.

Об'єкт дослідження: мережа передачі даних стандарту 802.11.

Предмет дослідження: вплив фрагментації на показники якості роботи мережі.

Методи дослідження: усталені твердження комп'ютерної інженерії, методи корекції помилок у мережах, методи фрагментації даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримав подальшого розвитку метод фрагментації кадрів за різних умов з метою покращення окремих показників якості передачі даних у мережі стандарту

802.11;

– запропоновано як вплив зовнішніх умов використати параметр BER.

Практичне значення одержаних результатів. Результатом цієї роботи, (опис та експериментальна перевірка методу) дають змогу оптимізувати передачу даних у реальних Wi-Fi мережах.

Публікації. Окремі результати дослідження доповідалися на XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 18 – 19 грудня 2024 року) як тези конференції:

1. Козак Д.М. Методи маніпуляції сигналом у бездротовому зв'язку // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) с. 67.

2. Козак Д.М., Стадник Н.Б. Дослідження стандартів фізичного рівня Wi-Fi // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) с. 68.

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 68 арк. формату А4, графічна частина – 9 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

Оскільки дуже складно забезпечити надійний зв'язок, подолати високу мобільність вузлів та зовнішні перешкоди через часті зміни топології мережі в мережах, що самоорганізуються, виникає проблема при передачі даних, відбуваються втрати та пошкодження, багато пакетів приймаються з помилками. Все наведене підвищує роль методів корекції помилок у процесах передачі даних у мережах.

1.1. Дослідження методів корекції помилок у мережах

Порядок корекції помилок складається із двох процесів, котрі поєднані між собою:

– детектування помилки;

– визначення її місця.

Для детектування помилок застосовують спеціальні коди їх детектування, для корегування - властиво коригувальні коди, котрі застосовуються для виявлення чи виправлення помилок, котрі виникають під час передачі інформації під впливом перешкод чи при її зберіганні. При передачі, в корисну інформацію спеціальним чином додається якесь контрольне число, яке при читанні використовують для детектування та поправлення помилок. Кількість помилок, котра допустима до виправлення, є обмежена і напряму залежить від конкретного коду, що застосовується.

Коди виявлення помилок можуть встановити наявність помилки в переданих даних.

Коди, які застосовуються для виправлення помилки, за способом роботи з даними поділяються на блокові та згорткові. Блокові коди поділяють інформацію на фрагменти постійної довжини та обробляють кожен із них окремо. Згорткові коди працюють із даними, як із безперервним потоком.

Як приклад можна навести можливість передачі блоку даних, що містить певну кількість рядків і стовпців, з бітами парності для кожного рядка і стовпця. Виявлення помилки парності у рядку та стовпці вказує на біт, який має бути інвертований [7].

Цей метод може бути розвинений шляхом формування блоку даних з множиною рядків, стовпців та шарів, де біти парності визначаються для всіх рядків та стовпців кожного з шарів, а також бітів, що мають однакові номери рядків та стовпців.

Код Хеммінгу [5, 7] є блоковим кодом, котрий дозволяє виявити і виправити помилково переданий біт в межах переданого блоку. Зазвичай код Хеммінга характеризується двома цілими числами. У загальному випадку код Хеммінга - найпростіший лінійний код із мінімальною відстанню 3, тобто здатний виправити одну помилку (рис. 1.1).

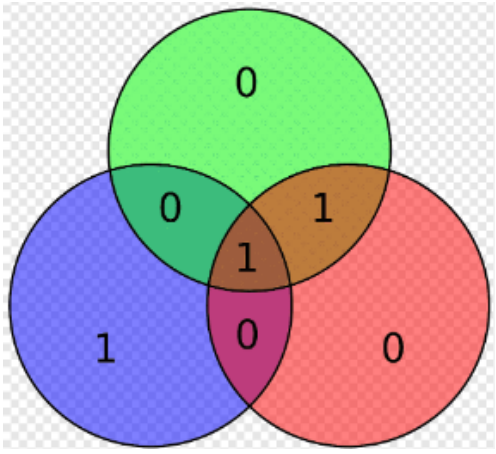

Рис. 1.1. Ілюстрація коду Хеммінга

Узагальненням кодів Хеммінга є повторювані коди BCH (Bose-Chadhuri-Hocquenghem) [7, 8] Вони володіють великою альтернативою довжини та перспективами виправлення власне помилок. Такі коди розкриваються поліномом g(x), котрий має степінь n-k. g(x) має вигляд (1.1):

$$g(x) = 1 + g_1 x + g_2 x^2 + \ldots + x^{n-k}. \qquad (1.1)$$

Тут g(x) називається багаточленом циклічного коду, що породжує. За умови, що многочлена $x^n + 1$ успішно ділиться на g(x) n-k, тоді код C(g(x)) буде лінійним властиво циклічним (n,k)-кодом. Кількість повторюваних n-розрядних кодів рівна кількості дільників власне многочлена $x^n + 1$.

При високій ймовірності виникнення помилок, наприклад, у каналах комунікацій з геостаціонарними супутниками, використовуються методи корекції помилок.

Контроль помилок включає не тільки виявлення помилок, але й їх виправлення. Що дозволяє одержувачу інформувати відправника про будь-які кадри, втрачені або пошкоджені під час передачі, та координувати повторну передачу цих кадрів відправником. На канальному рівні термін «контроль помилок» відноситься, перш за все, до методів виявлення помилок та повторної передачі. Контроль помилок на канальному рівні реалізується досить просто: щоразу, коли під час обміну виявляється помилка, зазначені кадри передаються повторно. Цей процес називається ARQ, у якому використовуються повідомлення з підтвердженнями прийому даних (ACK). Якщо відправник не отримав підтвердження від адресата протягом певного інтервалу часу (тайм-ауту), він повторюватиме передачу до того часу, поки отримає повідомлення ACK.

ARQ включає три протоколи:

– Stop-and-Wait;
– Go-Back-N;
– Selective-Repeat.

Stop-and-Wait ARQ - автоматичний запит повторення зупинки та очікування Щоб виявити та виправити пошкоджені кадри, до кадру даних додаються біти надмірності. коли його час спливає та ACK для відправленого кадру відсутня, кадр повторно відправляється, копія утримується та таймер перезапускається (рис. 1.2). Оскільки протокол використовує механізм зупинки та очікування, існує лише один конкретний кадр, який потребує підтвердження, навіть якщо в мережі може бути кілька копій одного і того ж кадру.

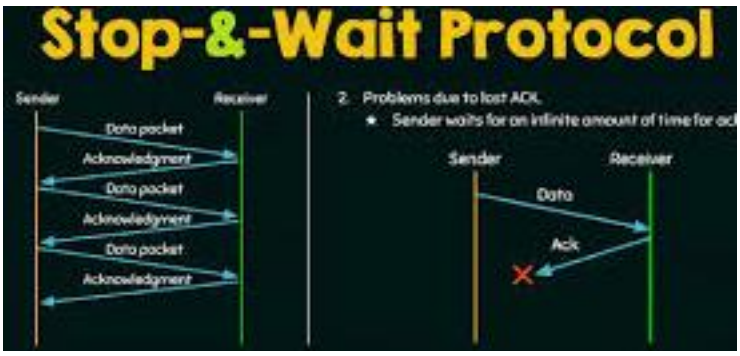

Рис. 1.2. Ілюстрація Stop-and-Wait

Go-Back-N ARQ – автоматичний запит на повторення (рис. 1.3). Цей протокол, незважаючи на схожість, набагато ефективніший за попередній, оскільки використовується різний розмір вікна передачі. У цьому протоколі є можливість надіслати кілька кадрів і зберегти їх копію до отримання групового підтвердження ACK. Після закінчення часу повторюються всі кадри, котрим не надійшло повідомлення.

Рис. 1.3. Ілюстрація Go-Back-N

Selective-Repeat ARQ – вибіркове повторення. Відправляється одночасно деяка кількість кадрів, заданих розміром вікна, при отриманні може відхилитися вибірково один кадр для повторної передачі. Адресат отримує невпорядковані кадри та зберігає їх у буфері, а відправник індивідуально передає кадри, для яких минув час очікування (рис. 1.4).

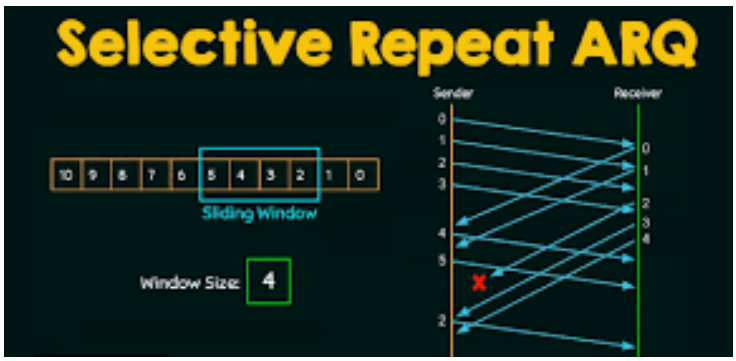

Рис. 1.4. Ілюстрація Selective-Repeat

Метод ARQ є основою розробки нових алгоритмів. Один з них є алгоритмом кооперативного запиту повторної передачі (C-ARQ), який дозволяє покращити якість обслуговування в бездротових мережах мобільних пристроїв.

Метод перешкодостійкого кодування FEC додає надмірність у дані, що надсилаються, з метою виявлення і виправлення помилок без повторного запиту. Як правило, цей метод реалізується фізично і відповідає за виправлення помилок, викликаних перешкодами в каналі зв'язку, що значно знижує кількість бітових помилок, чим дозволяє збільшити відстань передачі сигналу без регенерації.

Метод FEC прикладного рівня використовує у своїй роботі коди Ріда-Соломона або BCH -коди. За рахунок привнесеної надмірності цей код дозволяє виявляти та коригувати бітові помилки передачі, але знижує ефективність використання каналів зв'язку, якщо при передачі немає помилок. Тому було розроблено метод адаптивного перешкодно захищеного кодування. Цей метод дозволяє контролювати надмірності на байтовому або пакетному рівні, використовуючи характеристики відео або метрики якості обслуговування, такі як коефіцієнт доставки фрагментів інформації.

Для реалізації методу мережного кодування (МК) кожен вузол здійснює математичні операції з пакетами, утворюючи лінійні комбінації пакетів, що надійшли. Надсилання повідомлень здійснюється через проміжні вузли, які запам'ятовують у буфері пакети, що надійшли, утворює їх лінійні комбінації і через інші вузли доставляє їх копії адресату.

Для надійнішої передачі відеоданих у даний час використовується метод

випадкового лінійного мережевого кодування (ВЛМК). Цей метод передбачає наявність випадкових коефіцієнтів, записаних у заголовок кожного пакета, прийнятого адресатом. При цьому коефіцієнт може залежати від структури мережі або від випадкових рішень на проміжних вузлах.

Перевага методу ВЛМК перед іншими методами кодування, в тому, що завдяки гнучкішій роботі з кодованими пакетами, знижується затримка в мережі для передачі відео, виключається передача однакових пакетів. Смуга пропускання використовується ефективніше.

При спільному використанні кількох методів можна значно підвищити надійність та стійкість мережі, наприклад, при використанні методу МК спільно з методом надмірності.

Метод багатошляхової надмірності полягає у передачі даних від джерела до адресата за кількома маршрутами, що використовується для підвищення надійності мережі, збільшення її пропускної здатності за рахунок розподілу навантаження на маршрути.

Багатошляхову надмірність можна забезпечити за допомогою накладеної мережі, структурою якої може послужити одношарове або багатошарове дерево.

У одношарового дерева вузлом-джерелом є корінь. Основним недоліком накладеної мережі зі структурою одношарового дерева є навантаженість найближчих вузлів, що при їх виході з мережі та відключення призводить до погіршення якості потокових даних.

При використанні багатозв'язкової структури передача даних відбувається в декількох деревах з одним загальним коренем, що дозволяє при втраті зв'язків одного з дерев використовувати доступні ресурси кожного вузла мережі.

Для підвищення ефективності передачі даних можна поєднати структуру багатошарового дерева із методами МК, FEC та ARQ.

1.2. Дослідження стандартів фізичного рівня Wi-Fi

Протокол IEEE 802.11, завершили розробляти який у 1997 р., є основним і

він встановлює ті підстандарти, котрі потрібні для функціонування WLAN. З них є головними – протокол керування доступом до MAC і протокол передавання сигналів на фізичному рівні PHY [2].

Основним методом доступу протоколом 802.11 визначено протокол CSMA/CA [1, 9].

Остаточну редакцію стандарту 802.11b, відомого зараз як Wi-Fi, було успішно ратифіковано у 1999 році. Базовою радіотехнологією тут є метод DSSS із 8-розрядними рядами Волша.

Для передавання сигналу застосовується DSSS, коли увесь діапазон поділяється на п’ять піддіапазонів, котрі перекриваються, дані передаються по кожному з них [6]. Кожен біт закодовується набором додаткових кодів (CCK). Пропускна здатність каналу становить 11 Мбіт/сек.

Варто відзначити, що DSSS і CCK включають пряму корекцію помилок (FEC) на бітовому рівні.

IEEE 802.11, що з'явилася в 2009 році, і отримала назву Wi-Fi 4, працює в діапазоні 2,4 і 5 ГГц, дозволяє досягати швидкостей до 150 Мбіт/с при ширині каналу 40 МГц на кожну незалежну антену [2].

Обладнання 802.11n здатне функціонувати у трьох режимах: успадкованому, змішаному та «чистому».

При роботі в успадкованому (Legacy) режимі наявна підтримка обладнання 802.11b/g і 802.11a; за змішаного (Mixed) доповнюється режим 802.11n. «Чистий» режим дає перевагу підвищеній швидкості та збільшеній дальності передачі даних, що забезпечує стандарт 802.11n.

Основою стандарту 802.11n є технологія MIMO [1], за допомогою якої відбувається просторове мультиплексування, котре намічає одночасне передавання по одному каналу власне кількох інформаційних потоків і застосування для доставлення багатопроменевого сигналу поширення, це зводить до мінімуму вплив перешкод і втрат даних. Як раз і здатність одночасного передавання і приймання даних робить вищою пропускну здатність обладнання 802.11n.

Але багатопроменеве поширення здатне негативно впливати на спільну

продуктивність, а також на пропускну здатність і, властиво, збільшення затримок Wi-Fi мережі з огляду на потребу здійснення перенаправлення фреймів 2-го рівня, приводом котрих є міжсимвольна інтерференція. Пов’язано це з будь-якою мережею Wi-Fi.

Стандарт IEEE 802. 11g здійснює передачу даних у тому частотному діапазоні, що і 802.11b і забезпечує швидкість з'єднання до 54 Мбіт/с. Він обернено сумісний зі стандартом 802.11b в режимі модуляції DSSS. В цьому випадку швидкість з'єднання буде обмежена 11 Мбіт/с. Але використовуючи режим модуляції OFDM швидкість може досягати 54 Мбіт/с.

Розроблений стандарт бездротових локальних мереж Wi-Fi IEEE 802.11ac, який отримав назву Wi-Fi 5, функціонує у діапазоні 5 ГГц. Він дозволив значно розширити пропускну спроможність мережі до 6,77 Гбіт/с при 8x MU-MIMO - антенах (Multi User MIMO).

Наступним поколінням технології Wi-Fi стала розробка нового стандарту IEEE 802.1 1ax.

На рис. 1.5 наведено формоутворюючі частини нового стандарту 802.11ax.

Беручи до уваги особливості, новітній протокол 802.11ax може досягати фізичної швидкості близько 10Гбіт/с, забезпечуючи повнофункціональну паралельну роботу множини клієнтських пристроїв та застосовуючи увесь наявний діапазон частот, що не ліцензується.

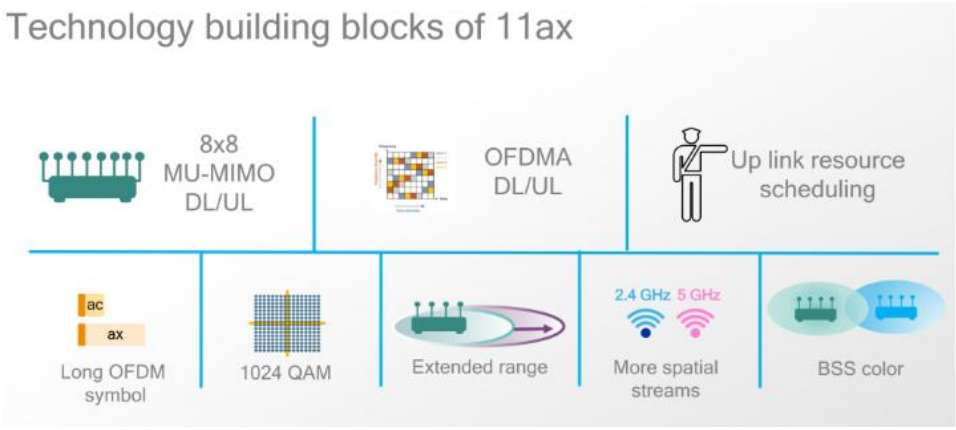

Рис. 1.5. Складові блоки 802.11ax

Основні відмінні риси 802.11ax наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Головні особливості протоколу 802.11ax

№ з/п	Особливість
1.	802.11ax зможе працювати і в 5ГГц і 2.4ГГц
2.	підтримка всіх основних частотних смуг до 160 МГц
3.	MIMO 8x8, до 8 просторових потоків
4.	MU-MIMO в обох напрямках (DL та UL)
5.	збільшено можливості просторового мультиплексування.
6.	з'явилася можливість взаємодії з підтримкою MU-MIMO з точкою доступу 802.11ax паралельно в обидві сторони
7.	розширено низку доступних схем кодування
8.	величина OFDM символу вчетверо більша, ніж у рішеннях за стандартом 802.11ac
9.	нові схеми посилення передачі преамбули та повторної передумови можуть створити умови для отримання кращого покриття

Нижче наведено табл. 1.2, яка демонструє головні відмінності для усіх основних стандартів, котрі належать до сімейства Wi Fi.

OFDM – є цифровою модуляцією, котра застосовує значне число ортогональних піднесучих, котрі розміщуються близько [1].

У даний час OFDM модуляція використовується у системах Wi-Fi, WiMax, LTE, у системах телебачення DVB-T та DVB-C, а також у технології ADSL.

При надсиланні даних сигнал передається з передавача. Щоб передавати дані необхідно керувати сигналом так, щоб сторона, що приймає, могла розрізнити нулі та одиниці [11]. Метод маніпуляції або управління сигналом, при якому можна представляти множинні дані називається Методом кодування (Keying Method).

Таблиця 1.2

Методи корекції помилок у стандартах Wi-Fi

	802.11	802.11 b	802.11 a	802.11 g	802.11 n	802.11ac	802.11ax
Рік ратифікації	1997	1999	1999	2003	2009	2014	2017-2019
Робоча частота	2.4 GHz/IR	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	2.4/ 5GHz	5GHz	2.4/5GHz
Частотні канали	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20/40 MHz	20/40/80/ 160	20/40/80/ 160
Пікова фізична швидкість	2 Mbps	11 Mbps	542 Mbp	54 Mbps	600 Mbps	6.8 Gbps	10 Gbps
Макс. кількість SU- потоків	1	1	1	1	4	8	8
Модуляція	DSSS, FHSS	DSSS, CCK	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM, OFDMA
Макс.тип та швидкість кодування	DQPSK	CCK	64-QAM, 3/4	64-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6	1024-QAM, 5/6
Методи виявлення	коди CRC32						
Методи корекції помилок							
FEC	згортковий код Баркера		згорткові коди fountain codes				
ARQ	stop-and-wait ARQ						
Багато шляхова надмірність	ні		MIMO			MU-MIMO	

Існує три основні типи методів кодування [14]:

– ASK (Amplitude-Shift Keying) – кодування зі зміною амплітуди. ASK змінює амплітуду сигналу (висота) для подання двійкових даних Це техніка поточного стану, де один рівень амплітуди (висоти) представляє нуль, наприклад, велика амплітуда хвилі представляє одиницю, а менша - нуль. Це завдання вимагає

почати з визначення періоду, в який сигнал може прийматися - символьний період. Потім приймач може використовувати це як спеціальний часовий інтервал-маску (семпл) для перевірки хвилі протягом саме символьного періоду для визначення амплітуди хвилі;

– FSK (Frequency-Shift Keying) – кодування зі зміною частоти. FSK змінює частоту сигналу подання двійкових даних. FSK – це техніка поточного стану, де одна частота є нуль, а інша частота становить одиницю. Зміна частоти визначає дані, що передаються. Коли приймач семплює сигнал протягом символьного періоду, він визначає значення частоти сигналу, і, залежно від цієї частоти, приймач може розпізнати відповідне двійкове значення.

FSK застосовується у деяких старих технологіях 802.11 (і у деяких існуючих старих мережах). Для підтримки більш високих швидкостей FSK вимагає більш дорогих компонентів і стає менш практичним для розробки.

– PSK (Phase-Shift Keying) – кодування зі зміною фази. PSK змінює фазу сигналу подання двійкових даних. PSK це техніка зміни стану, де зміна фази становить нуль, а статичний стан фази становить одиницю. Така зміна визначає двійкові дані, які передаються. Коли приймач семплює сигнал протягом символьного періоду він визначає фазу хвилі і відповідний стан біта даних.

PSK широко використовується для радіопередачі, що визначено у стандарті 802.11-2007. Звичайна реалізація передбачає, що приймач семплює сигнал протягом символьного періоду, порівнює фазу поточного семпла з попереднім семплом і визначає чи є відмінність. Кут такої відмінності або диференціал використовують для отримання значення біта [13].

Більш просунуті версії PSK можуть кодувати безліч бітів на символ. Можна використовувати, наприклад, не дві фази, а чотири та кожна така фаза може мати два двійкових значення нуль або одиниця (00, 01, 10, 11), а не просто (0, 1). Такий підхід дозволяє за однаковий час заняття ефіру передавати значно більший обсяг даних. Коли використовується більше двох фаз, це називається MPSK (Multiple PSK).

Наведені методи кодування сигналу називаються техніками модуляції.

Станції, що ініціюють послідовності обміну кадрами, відповідають за виправлення помилок.

Станція або точка доступу, яка приймає кадр даних, відповість кадром підтвердження, якщо в цьому кадрі не буде виявлено помилок. Функція контролю помилок включає повторну передачу кадру даних через деякий час, якщо кадр підтвердження не отриманий від станції призначення. Це також враховує, що бітові помилки могли зробити кадр підтвердження невпізнанним. Рівень MAC має обмеження кількості повторних спроб.

Стандарт 802.11 визнає, що постачальники можуть включати процес автоматичного зсуву швидкості передачі даних, який дозволяє станції регулювати швидкість передачі при передачі кадру, щоб ефективно використовувати середовище.

Якщо станція сприймає занадто багато повторних передач або рівень сигналу, що приймається, зменшується нижче певного порогового значення, то станція перемикається на більш низьку швидкість передачі даних. Це дозволяє станції підтримувати зв'язок з точкою доступу на великих відстанях та за наявності радіочастотних перешкод.

Коли кадр надходить приймальну станцію, станція перевіряє наявність помилок з допомогою алгоритму виявлення помилок циклічного надлишкового коду (CRC). Як правило, станція, що приймає, відправить назад позитивне або негативне підтвердження в залежності від результату процесу виявлення помилок. У випадку, якщо підтвердження втрачено на маршруті до відправної станції, станція, що відправляє, повторно передає кадр через певний проміжок часу. Цей процес часто називають ARQ.

В цілому, ARQ найкраще підходить для виправлення пакетних помилок, оскільки спотворення такого типу зустрічаються у невеликому відсотку кадрів, що не викликає багаторазових повторних передач. Через зворотний зв'язок, властивий протоколам ARQ, лінії передачі повинні приймати напівдуплексні або повнодуплексні передачі. Якщо можливі лише симплексні лінії, то неможливо використовувати метод ARQ, тому що приймач не зможе повідомити передавач

про погані кадри даних.

Незважаючи на різноманітність методів корекції в стандарті IEEE802.11, застосування SR ARQ сприяє втраті часу при передачі кадрів, на підставі цього перспективним є зменшення розмірів кадрів.

Результати дослідження застосування методів корекції помилок у стандартах сімейства Wi-Fi внесені до табл. 1.2, де видно вплив різних параметрів на ефективність мережі.

1.3. Висновки до розділу

У першому розділі виконано дослідження щодо методів корекції помилок у мережах. Зокрема описано елементи процедури корекції помилок, застосування протоколів ARQ та методу багатошляхової надмірності.

Також розглянуто і проаналізовано існуючі стандарти фізичного рівня Wi-Fi, від початкового 802.11, аж до 802.11ax. Відображено вплив різних параметрів на ефективність мережі для усіх досліджених стандартів.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Огляд попередніх робіт

Вирішення (навіть часткове) проблеми низької продуктивності мережі при високій ймовірності помилок має теоретичне та практичне значення для більш ефективного використання ресурсів мережі, для покращення якості та стабільності передачі в мережах Wi-Fi**.** У ході аналізу наявних розробок у цій галузі було виявлено, що ця тема не надто популярна у дослідженнях.

Так, в єдиному знайденому патенті [10] тему, що досліджується, торкається побіжно. Більше уваги приділено розкриттю пристроїв та способів механізму гібридного автоматичного запиту повторення (H-ARQ) для бездротового зв'язку бездротової локальної мережі (WLAN) та визначення того, чи є пакет оригінальною, першою передачею або повторною передачею раніше переданого пакета без декодування корисного навантаження пакета.

Значне число публікацій [3, 4, 9, 12-15] присвячені опису усієї специфікації протоколу 802.11.

Існують роботи [9; 12], спрямовані на вивчення факторів, що знижують ефективність мереж на основі IEEE 802.11 та використовуваних ними алгоритмів адаптації швидкості, які призводять до нездатності розрізняти втрати пакетів, спричинені колізіями, та втрати пакетів, спричинені помилками каналу.

У [3] автори представили експериментальні результати, отримані з дослідження помилок по бітах для ідентифікації шаблонів помилок субкадра, вважаючи, що ідентифіковані шаблони помилок по бітах можуть потенційно надати нові можливості в канальному кодуванні, мережевому кодуванні, корекції пересилання помилок (FEC) і механізмах об'єднання кадрів.

У статті [12] наведено механізм, заснований на амплітуді вектора помилок (EVM), для розпізнавання випадкових помилок каналу при зіткненнях у бездротових мережах.

Оптимізація ефективності спочатку вимагає оцінки частоти помилок пакетів, а потім подальшого розрахунку оптимальної довжини корисного навантаження та кількості повторних передач. У статті [9] обговорюється обчислення значення оптимальної довжини корисного навантаження та швидкості повторної передачі, яка максимізує ефективність каналу при змінній частоті появи помилок у пакетах у системах зв'язку бездротової локальної мережі.

У публікації [15] наведено метод захоплення шаблонів бітових помилок IEEE 802. 11 n.

Як видно, існує і розробляється множина різних методів оптимізації роботи мережі, але ця тема недостатньо вивчена. Таким чином, є необхідність у створенні, описі та реалізації методу, використовуючи відомий для інших канальних технологій варіант оптимізації шляхом фрагментації кадрів.

2.2. Огляд програмного забезпечення Wi-Fi

В операційній системі Microsoft Windows підтримування Wi-Fi здійснюється із використанням драйверів чи засобами Windows, що залежить від версії.

У Windows 2000 та минулих варіантах не було вбудованих засобів для налаштування і управління, відповідно це потребувало інсталяції драйверів.

Microsoft Windows XP забезпечує підтримку налагоджування бездротового обладнання. Початкова версія Windows XP включала слабку підтримку, але із релізом Service Pack 2 ситуація дещо покращилася. Окрім того реліз Service Pack 3, вже підтримува WPA2.

Від етапу своєї появи Windows 7 забезпечувала підтримку усього модерного бездротового обладнання та шифро протоколів. У цій версії вже була забезпечений шанс закладати віртуальні адаптери Wi-Fi. У теорії це давало б змогу під’єднання до декількох Wi-Fi мереж нараз. Реально у Windows 7 є змога створити тільки один такий адаптер, неодмінно треба написати спеціалізований драйвер. Це, мабуть, є корисним при синхронному застосуванні машини як локальної та, під’єднаної до інтернету, Wi-Fi мереж.

У Linux, стартуючи від версії 2.6, підтримування окремого обладнання Wi-Fi стало доступним прямо у ядрі. В залежності від чипів підтримка може входити до основної гілки ядра, або підтримуватися як пропрієтарним програмним забезпеченням розробників, так і створеним спільнотою. Із застосуванням драйвера NDISwrapper стала доступною підтримка інших дротових пристроїв. Це дозволяє Linux -системам, що функціонують на машинах із архітектурою x86, застосовувати та драйвери, котрі на початку були визначені для Windows.

Є велике число прошивок під Linux для бездротового обладнання, що поширюються під GNU GPL. Взагалі, вони здатні підтримувати значно більший функціонал, аніж оригінальні варіанти. Потрібні сервіси легко додати через інсталяцію відповідних пакетів. Перелік пристроїв, котрі будуть підтримуватися, стабільно збільшується.

Адаптери від Apple мали бездротову підтримку із системи Mac OS 9. Від року 2006 усі пристрої обладнуються адаптерами Wi –Fi за замовчуванням, так як ця мережа є головним технічним елементом Apple для передавання інформації та має абсолютну підтримку OS X. За необхідності зв'язати комп'ютери Macintosh у бездротовій мережі без наявної інфраструктури, можливо використовувати режим роботи адаптера комп'ютера як точку доступу.

У цілому нині, операційні системи мають убогі засоби управління мережею, що є лише базою.

Операційні системи, за замовчуванням, майже не є інструментами для регулювання мережі.

Класичний маршрутизатор мав лише провідний інтерфейс, але потім роутери оснастили Wi-Fi -передавачами, і, фактично, поєднали в них функціонал маршрутизатора і точки доступу, що породило безліч модифікацій.

Функціонал роутера та його конструктивні особливості досить різноманітні. Бюджетні моделі надають базовий набір налаштувань, а преміальні відкривають користувачеві необмежені можливості найтоншого керування всіма параметрами.

Приклади розширених налаштувань бездротового зв'язку на бездротових маршрутизаторах різних виробників наведені на рис. 2.1-2.8.

Рис. 2.1. Налаштування LinkSys WRT54GL [17] та LinkSys BEFSR41 (CISCO)

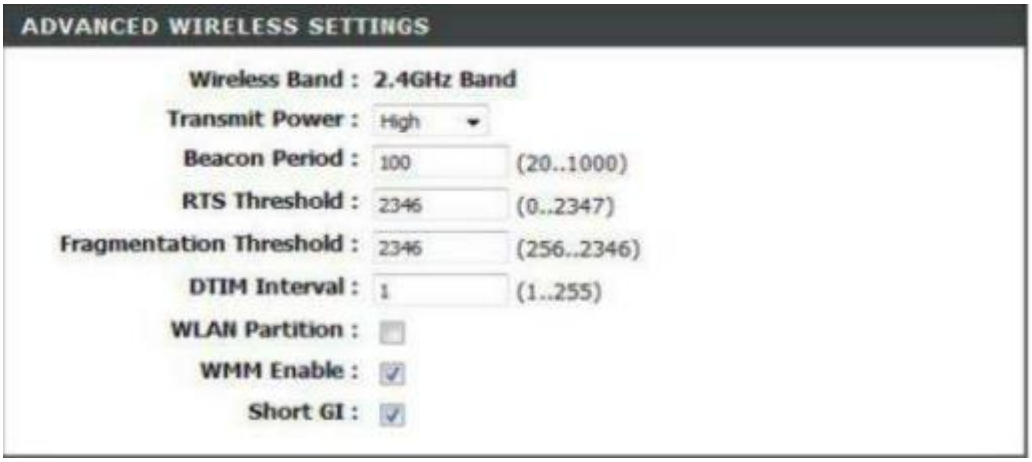

Рис. 2.2. Розширені налаштування бездротової мережі 802.Cn/g (2.4 ГГц)

D-Link DIR-825 версія 1.10

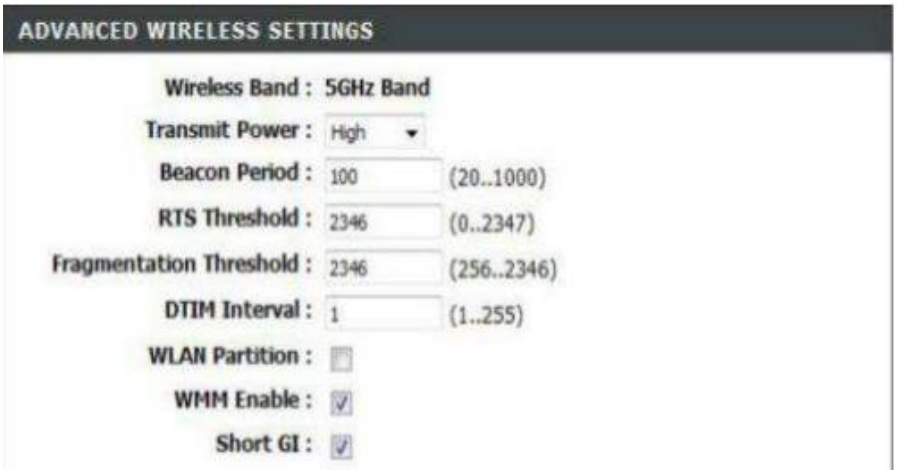

Рис. 2.3. Розширені налаштування бездротової мережі 802.11n/a (5 ГГц) - D-Link DIR -825 версія 1.10

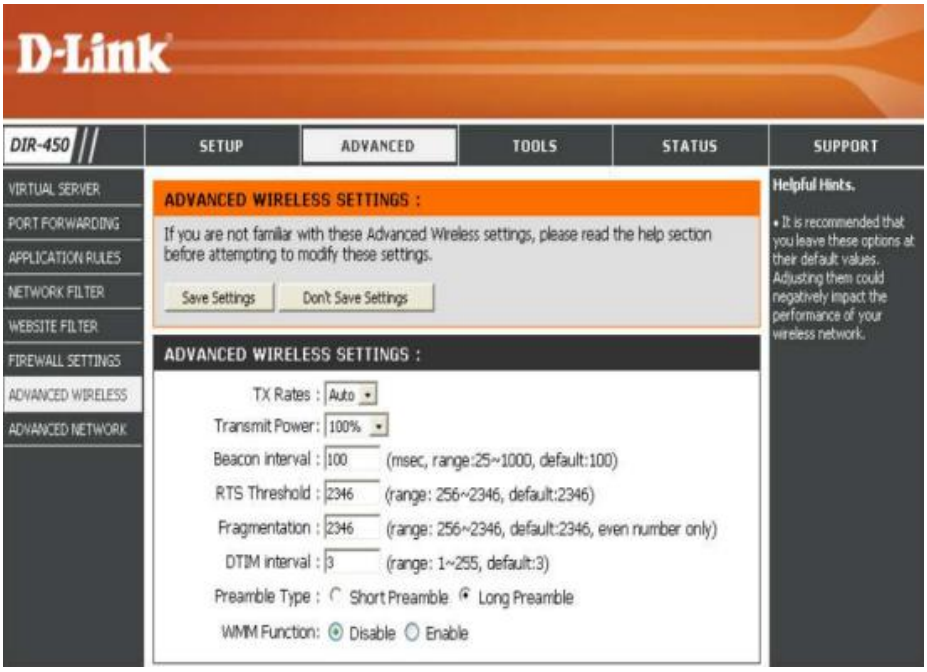

Рис. 2.4. Налаштування D-Link DIR-400, версія 1.0, DIR-450 версія 1.0

Варто відмітити, що у пристроїв DLink при повільному uplink з'єднанні повинна бути включена опція Dynamic fragmentation, що допомагає запобігти випадкам, коли пріоритет пакетів змінюється з низького на високий.

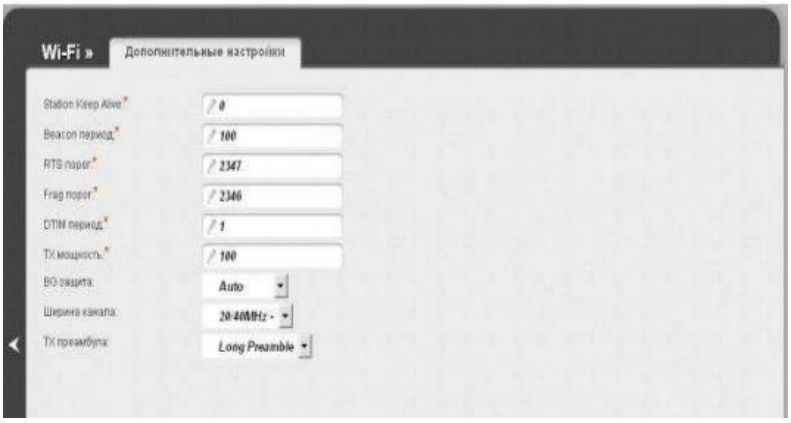

Рис. 2.5. Налаштування D-Link DIR -300: 802.11n (до 150 Мбіт/с)

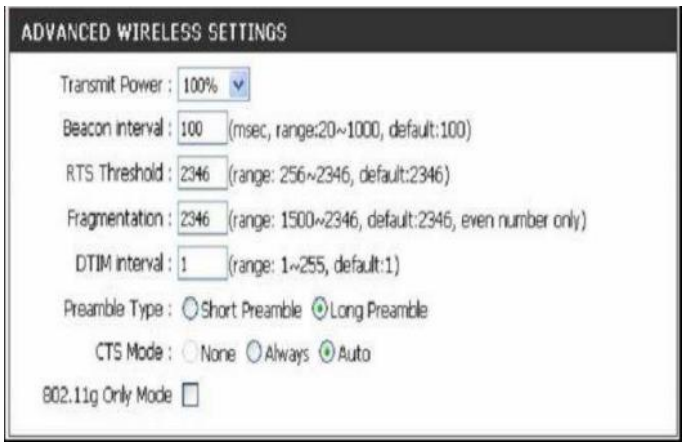

Рис. 2.6. Налаштування D-Link DIR -320: 802.11n

Залежно від моделі роутера, деякі функції та налаштування можуть з'являтися або пропадати.

Деякі функції у різних точках доступу:

– Mode (режим) - дозволяє вибрати стандарт роботи з Wi-Fi (наприклад: у точках доступу D-Link DIR-400, версія 1.0 та DIR-450 версія 1.0 [18, 19] дозволяє змінити налаштування бездротового доступу 802.11 g, 802, b та змішаний; за замовчуванням - змішаний);

– Burst Time - показує час у мікросекундах, протягом якого може безперервно проводитись передача даних;

– RTS Threshold (поріг запиту на відправку) – визначає розмір пакета передачі. Значення за замовчуванням "2346";

Рис. 2.7. Налаштування ASUS RT-AC51U

– Multicast Rate - це швидкість, при якій багатоадресні пакети будуть передаватися і прийматися точкою доступу по бездротовій мережі. Багатоадресні пакети використовуються для надсилання одного повідомлення кількома одержувачам певної групи, наприклад, при теле- або відеоконференції. Висока швидкість може покращити можливості функцій багатоадресної передачі;

Рис. 2.8. Налаштування Zyxel P-660HW EE

– Wireless multicast forwarding - дозвіл/заборона пересилання багатоадресного трафіку між бездротовими пристроями;

– "CTS Mode" - дозволяє вибрати режим роботи CTS, який використовується для скорочення кількості колізій між бездротовими пристроями [10]. При включенні зазначеної функції навантаження на мережу збільшується, що призводить до зниження продуктивності бездротової мережі. Встановлюється один із трьох режимів: «none», «always» та «auto», Останній - здійснює моніторинг бездротової мережі та, спираючись на кількість трафіку та колізій, що виникають у бездротовій мережі, автоматично застосовує CTS.

Fragmentation (фрагментація) – це функція підрівня MAC, виконує дроблення вихідного кадру на кадри меншого розміру (фрагменти) до передачі. Стандарт 802.11 визначає фрагментацію як додаткову функцію, і вона може бути ініційована або на станції клієнта, або на точці доступу. Фрагментація є унікальною для кожної бездротової лінії.

У всіх точках доступу є поріг фрагментації (Fragmentation Threshold), який обмежує розмір пакетів, що передаються бездротовою мережею. Значення за замовчуванням становить 2346 байт, а допустимий діапазон становить 256-2346 байт. Він визначає максимальний розмір пакета, перш ніж дані будуть фрагментовані на кілька пакетів.

За високого порога великі кадри, можливо, доведеться передавати повторно, часто значно знижуючи пропускну здатність.

2.3. Висновки до розділу

В другому розділі проаналізовано наявні попередні роботи з тематики дослідження. Також розглянуто програмного забезпечення Wi-Fi. Як результат, і клієнти та роутери мають хоча б мінімальні засоби роботи з мережею, але варіюється кількість інструментів.

Незважаючи на те, що роутери мають більше функцій контролю мережі, все доступне в автоматичному режимі. Фрагментація кадрів можлива лише при ручному налаштуванні.

РОЗДІЛ 3
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вивчивши існуючі методи корекції помилок, визначивши та дослідивши стандарти сімейства Wi-Fi, було обрано метод фрагментації кадрів.

Метою подальшої роботи є дослідження впливу фрагментації кадрів на показники якості роботи мережі. Основну увагу приділимо двома показникам якості:

– середній час, витрачений на передачу кадру;

– відсоток втрачених кадрів

Робочою гіпотезою буде - фрагментація кадрів у деяких умовах може покращити показники якості передачі даних у мережі стандарту 802.11 (b).

З метою підтвердження цієї гіпотези, були обчислені значення критеріїв якості за різних зовнішніх умов роботи мережі 802.11 Як зовнішні умови виступає інтенсивність бітових помилок BER.

3.1. Вплив фрагментації на показники якості роботи мережі

Кадр 802.11 складається із заголовка, корисного навантаження кадру та коду виявлення помилок (FCS). [1] Накладні витрати на передачу корисного навантаження становлять:

– H («довжина заголовка») = 802.11 header + FCS = 34 байт = 272 біт.

Передача кадру каналом 802.11 супроводжується втратою часу наступні накладні витрати [1, 2]:

– міжкадровий інтервал (SIFS + 2 * slot time) = 50 мкс;

– DCF contention = (випадково від 0 до CW) * slot time = від 0 до 300 мкс (150 мкс в середньому);

– PLCP preamble+PLCP header = 192 мкс;

– E («накладні витрати») = 50 +150 +192 = 392 мкс.

Фрагментація кадрів управляється параметром fragmentation thershold,

котрий задається у байтах. При розмірі корисного навантаження більш зазначеного frag. threshold, вона ділиться на частини розміром не більше Frag. threshold; кожна частина передається незалежно від інших окремими кадрами (тобто фрагментами).

Для оцінки ефективності фрагментації проведено розрахунки за різних параметрів frag. threshold. Значення frag. threshold 2346 байт вказує на те, що фрагментація не проводиться.

3.1.1. Передача без фрагментації (frag. threshold = 2346)

Для проведення розрахунків реалізовано програму мовою VBA (MS Excel). Фрагмент лістингу показано на рис. 3.1.

```
Sub Макрос2()
'
' Макрос2 Макрос


    Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     Frag. Threshold"
    Range("B1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     64"
    Range("D1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     BER"
    Range("E1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     0.000001"
    Range( "A2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     H (довжина заголовка), біт
    Range("B2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     "272"
    Range("D2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 =     швидкість передачі, Мбіт/с"
```

Рис. 3.1. Фрагмент лістингу програмного коду проведення розрахунків (без фрагментації)

Розрахунки проводилися при довжині корисного навантаження кадру від 64

до 1500 байт, BER - від 0,0000001 до 1 та швидкості передачі 1 Мбіт/с.

Час передачі кадру обчислюється за формулою (3.1):

$$t_к = E + (H + C \cdot 8), \tag{3.1}$$

де E – накладні витрати, мкс; H – довжина заголовка; C – довжина кадру, байт.

Імовірність втрати кадру знаходиться за (3.2):

$$P_к = (1 - (1 - BER))^{(C \cdot 8 + H)}, \tag{3.2}$$

З огляду на те, що сторона, що передає, використовує метод stop-and-wait ARQ, кадр при його втраті може бути переданий повторно. Стандарт 802.11 обмежує кількість повторних передач:

- 4 для «довгих» кадрів (C > RTS threshold),
- 7 для "коротких" кадрів (C<= RTS threshold).

У разі експериментів механізм RTS/CTS вимкнений, отже, всі кадри є «довгими».

Середній час передачі кадрів можна розрахувати, як

$$t_{cp} = \sum_{i=0}^{7} P(i) t_i, \tag{3.3}$$

де P(i) - ймовірність події «кадр було повторно передано і раз»; t_i - сумарний час, витрачений на всі спроби передачі кадру.

Приклад виведення роботи програми без фрагментації подано на рис. 3.2.

```
Frag. Threshold 384
BER 0,00005
RTS 2346
H (довжина заголовка), біт 272
E (накладн.витрати), мкс 392
довжина кадру, байт 1024
час передачі кадру 8856
ймовірність втрати кадру 0,345
```

спроба	ймовірність даної події	всього витрачено часу	разом
1	0,6549407009456130	8856	5800
2	0,2259933791904820	17712	4002
3	0,0779811170144000	26568	2071
4	0,0269081095764670	35424	953
5	0,0092848934293343	44280	411
6	0,0032038388185208	53136	170
7	0,0011055143770020	61992	68
неуспішна	передача 0,0005824466481807	61992	36
РАЗОМ	0,0005824466481807		13475

Рис. 3.2. Виведення результатів роботи програми (без фрагментації)

З отриманих в результаті розрахунків даних формуються таблиці, в які заносяться значення показників, що характеризують залежність середнього часу передачі кадру без фрагментації (табл. 3.1) та відсотка втрати кадрів (табл. 3.2) від розміру кадру та BER.

Таблиця 3.1

Середній час передачі кадру без фрагментації

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	1175	1687	2712	3736	4761	8862	12679
0,000001	1176	1689	2717	3747	4780	8930	12819
0,00001	1184	1708	2774	3861	4970	9635	14315
0,00005	1221	1799	3042	4412	5918	13511	23289
0,0001	1269	1918	3416	5215	7359	20233	79392
0,001	2535	5509	14220	23541	32078	26949	0
0,01	8219	0	0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 3.2

Відсоток втрати кадрів під час передачі кадру без фрагментації

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	0	0	0	0	0	0	0
0,000001	0	0	0	0	0	0	0
0,00001	0	0	0	0	0	0	0,0000003
0,00005	0	0	0	0	0,00001	0,00058	0,0042668
0,0001	0	0	0,00002	0,00015	0,00070	0,01981	0,0882127
0,001	0,01403	0,10687	0,48519	0,77794	0,91475	0,99853	0,9999674
0,01	0,99735	0,99999	1	1	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

За результатами розрахунків можна зробити очевидний висновок, що з передачі кадру відсоток втрати кадру і витрачений час залежить від BER. Зі збільшенням BER, збільшується відсоток втрат кадру, до повної неможливості прийому кадрів.

3.1.2. Передача із фрагментацією

Аналогічно, написавши програму мовою VBA, було зроблено розрахунки з використанням фрагментації. Фрагмент коду показано на рис. 3.3.

Спираючись на стандарт Wi-Fi, було виведено формули, які використовувалися у подальших розрахунках [1, 2].

Для кожного фрагмента:

час передачі фрагмента обчислюється за (3.4):

$$t_{ф} = E + (H + C \cdot 8), \tag{3.4}$$

ймовірність втрати фрагмента

$$P_{\text{ф}} = (1 - (1 - BER))^{(C \cdot 8 + H)}, \tag{3.5}$$

```
Sub Макрос1()
' Макрос! Макрос

  Range("A1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Frag. Threshold"
  Range("B1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "256"
  Range("C1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "BER"
  Range("D1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "0.0002"
  Range("A2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "H (довжина заголовку), біт"
  Range("B2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "272"
  Range("C2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "швидкість передачі, Мбіт/с"
  Range("D2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1
```

Рис. 3.3. Фрагмент програмного коду проведення розрахунків (з фрагментацією)

Після прийому двох фрагментів (успішного чи ні) приймач збирає цілий кадр, отже необхідно обчислити ймовірність втрати цілого кадру

$$P_{\text{к}} = 1 - \left(1 - {P_{\text{ф}}}^{7}\right)^{n}, \tag{3.6}$$

де n – кількість фрагментів.

Вивід результату роботи програми із фрагментацією наведено на рис. 3.4.

```
Frag. Threshold 384
BER 0,00005
RTS 2346
H (довжина заголовка), біт   272
швидкість передачі, Мбіт/с   1
E (накладні витрати), мкс 392
довжина кадру, байт 1024
кількість фрагментів 3
довжина фрагментів 341,33333
час передачі фрагмента 3394,666667
ймовірність втрати фрагмента 0,139
спроби  ймовірність цієї події      всього витрачено часу      Разом
1           0,861                       3395                    2921
2           0,120                       6789                     814
3           0,017                      10184                     170
4           0,002                      13579                      31
5           0,000                      16973                       5
6           0,000                      20368                       0
7           0,000                      23763                       0
Неуспішна   передача          0,0005824466481807               23763
0
РАЗОМ       0,0000010234288303                                   3941
ВСЬОГО      0,0000030702833489                                  11823
Середня кількість повторних передач 0,16199336
```

Рис. 3.4. Лістинг виведення програми (із фрагментацією)

Змінюючи значення Frag. Threshold від 64 до 1500, BER від 0,0000001 до 1 і довжину кадрів від 64 до 1500, проведемо розрахунки та зберемо у зведені таблиці. При BER 0,0005 результати відображені у табл. 3.3, 3.4.

Таблиця 3.3

Результати розрахунку витраченого часу

Розмір кадра / Frag	64	128	256	384	512	1024	1500
1500	1736	3205	8028	15250	23955	59353	88072
1024	1736	3205	8028	15250	23955	59353	81978
512	1736	3205	8028	15250	23955	47910	69312
384	1736	3205	8028	15250	16056	37875	58732
256	1736	3205	8028	10576	16056	32112	46452
128	1736	3205	6410	9615	12820	25640	37500
64	1736	3472	6944	10416	13888	27776	40968
min	1736	3205	6410	9615	12820	25640	37500
ефективність	1	1	0,7985	0,6305	0,5352	0,4320	0,42579

Ефективність фрагментації обчислюємо шляхом розподілу мінімального значення витраченого часу при різному Frag значення при Frag 1500 цього ж розміру кадрів. Чим менше це значення, тим вищі показники ефективності роботи мережі.

Таблиця 3.4

Результати розрахунку відсотку втрати кадру

Розмір кадра / Frag	64	128	256	384	512	1024	1500
1500	0,0004	0,0056	0,0719	0,233	0,434	0,9	0,98
1024	0,0004	0,0056	0,0719	0,233	0,434	0,9	0,93
512	0,0004	0,0056	0,0719	0,233	0,434	0,679	0,799
384	0,0004	0,0056	0,0719	0,233	0,139	0,431	0,629
256	0,0004	0,0056	0,0719	0,0522	0,139	0,258	0,338
128	0,0004	0,0056	0,0112	0,0167	0,0223	0,044	0,0597
64	0,0004	0,0008	0,00151	0,00226	0,003	0,006	0,008

На основі отриманого масиву даних складено таблиці, що показують ефективність фрагментації кадрів (табл. 3.5), оптимальний режим фрагментації кадрів (табл. 3.6) та відсоток втрат кадрів (табл. 3.7).

У табл. 3.5 виділено область значення параметрів, де фрагментація позитивно впливає на якість роботи мережі.

Таблиця 3.5

Ефективності фрагментації кадрів

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	1	1	1	1	1	1	1
0,000001	1	1	1	1	1	1	1
0,00001	1	1	1	1	1	1	**1,01**
0,00002	1	1	1	1	1	**1,01**	**1,07**
0,00003	1	1	1	1	1	**1,05**	**1,15**
0,00004	1	1	1	1	1	**1,10**	**1,25**
0,00005	1	1	1	1	1	**1,14**	**1,35**
0,00006	1	1	1	1	1	**1,21**	**1,47**
0,00007	1	1	1	1	**1,01**	**1,27**	**1,59**
0,00008	1	1	1	1	**1,03**	**1,34**	**1,71**
0,00009	1	1	1	1	**1,06**	**1,41**	**1,84**
0,0001	1	1	1	1	**1,08**	**1,48**	**1,97**
0,0002	1	1	1	**1,15**	**1,29**	**2,12**	**2,74**
0,0003	1	1	**1,08**	**1,31**	**1,58**	**2,47**	**2,82**
0,0004	1	1	**1,18**	**1,48**	**1,78**	**2,48**	**2,62**
0,0005	1	1	**1,25**	**1,59**	**1,87**	**2,32**	**2,35**
0,0006	1	1	**1,30**	**1,63**	**1,86**	**2,10**	**2,09**
0,0007	1	1	**1,33**	**1,62**	**1,79**	**1,90**	**1,87**
0,0008	1	**1,04**	**1,38**	**1,62**	**1,74**	**1,76**	**1,72**
0,0009	1	**1,06**	**1,39**	**1,60**	**1,67**	1	1
0,001	1	**1,09**	**1,40**	**1,55**	**1,58**	1	1
0,002	1	**1,04**	**1,02**	1	1	1	1
0,003	1	1	1	1	1	1	1
0,004	1	1	1	1	1	1	1
0,005	1	1	1	1	1	1	1
0,006	1	1	1	1	1	1	1
0,01	1	1	1	1	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Для практичної реалізації методу передавачу кадрів необхідно знати значення Frag. threshold, при якому досягається максимальна ефективність. Оптимальні значення Frag. Threshold наведено нижче.

Таблиця 3.6

Оптимальний режим фрагментації кадрів

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,000001	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,00001	1500	1500	1500	1500	1500	1500	**1024**
0,00002	1500	1500	1500	1500	1500	**512**	**1024**
0,00003	1500	1500	1500	1500	1500	**512**	**512**
0,00004	1500	1500	1500	1500	1500	**512**	**512**
0,00005	1500	1500	1500	1500	1500	**384**	**384**
0,00006	1500	1500	1500	1500	1500	**384**	**384**
0,00007	1500	1500	1500	1500	**384**	**384**	**384**
0,00008	1500	1500	1500	1500	**384**	**384**	**384**
0,00009	1500	1500	1500	1500	**384**	**384**	**256**
0,0001	1500	1500	1500	1500	**256**	**256**	**256**
0,0002	1500	1500	1500	**256**	**256**	**256**	**256**
0,0003	1500	1500	**128**	**128**	**128**	**128**	**128**
0,0004	1500	1500	**128**	**128**	**128**	**128**	**128**
0,0005	1500	1500	**128**	**128**	**128**	**128**	**128**
0,0006	1500	1500	**128**	**128**	**128**	**128**	**128**
0,0007	1500	1500	**64**	**64**	**64**	**64**	**128**
0,0008	1500	**64**	**64**	**64**	**64**	**64**	**64**
0,0009	1500	**64**	**64**	**64**	**64**	1500	1500
0,001	1500	**64**	**64**	**64**	**64**	1500	1500
0,002	1500	**64**	**64**	1500	1500	1500	1500
0,003	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,004	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,005	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,006	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,007	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,008	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,009	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,01	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
0,1	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
1	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Таблиця 3.7

Відсоток втрати кадрів

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	0	0	0	0	0	0	0
0,000001	0	0	0	0	0	0	0
0,00001	0	0	0	0	0	0	**0,000001**
0,00002	0	0	0	0	0	**0,0001**	**0,0003**
0,00003	0	0	0	0	0	**0,001**	**0,004**
0,00004	0	0	0	0	0	**0,01**	**0,02**
0,00005	0	0	0	0	0	**0,02**	**0,1**
0,00006	0	0	0	0	0	**0,05**	**0,2**
0,00007	0	0	0	0	**0,004**	**0,1**	**0,3**
0,00008	0	0	0	0	**0,01**	**0,2**	**0,6**
0,00009	0	0	0	0	**0,02**	**0,4**	**1**
0,0001	0	0	0	0	**0,03**	**0,6**	**1,5**
0,0002	0	0	0	**0,4**	**1**	**8**	**12**
0,0003	0	0	**0,6**	**2,5**	**5**	**21**	**28**
0,0004	0	0	**2**	**7**	**13**	**34**	**41**
0,0005	0	0	**5**	**14**	**23**	**46**	**54**
0,0006	0	0	**10**	**23**	**31**	**56**	**66**
0,0007	0	**2**	**16**	**32**	**43**	**65**	**71**
0,0008	0	**4**	**23**	**41**	**52**	**71**	**76**
0,0009	1	**7**	**31**	**49**	60	77	81
0,001	1	**1**	**38**	**57**	67	81	85
0,002	2	**55**	**87**	94	97	100	100
0,003	5	85	98	100	100	100	100
0,004	73	96	100	100	100	100	100
0,005	87	99	100	100	100	100	100
0,006	94	100	100	100	100	100	100
0,007	97	100	100	100	100	100	100
0,008	99	100	100	100	100	100	100
0,009	99	100	100	100	100	100	100
0,01	100	100	100	100	100	100	100
0,1	100	100	100	100	100	100	100
1	100	100	100	100	100	100	100

Далі формується табл. 3.8, котра демонструє залежність середньої кількості повторних передач кадрів від розміру кадру та інтенсивності бітових помилок.

Таблиця 3.8

Середня кількість повторних передач кадрів (Frag. threshold=2346)

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,0000001	0	0	0	0	0	0	0
0,000001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,008	0,012
0,00001	0,008	0,013	0,023	0,034	0,045	0,088	**0,131**
0,00002	0,016	0,026	0,048	0,069	0,091	**0,185**	**0,278**
0,00003	0,024	0,04	0,072	0,106	0,14	**0,289**	**0,445**
0,00004	0,032	0,053	0,097	0,143	0,191	**0,403**	**0,633**
0,00005	0,04	0,067	0,127	0,182	0,244	**0,527**	**0,843**
0,00006	0,048	0,081	0,149	0,222	0,3	**0,661**	**1,077**
0,00007	0,056	0,095	0,176	0,264	**0,358**	**0,806**	**1,332**
0,00008	0,064	0,109	0,204	0,307	**0,418**	**0,962**	**1,606**
0,00009	0,073	0,124	0,232	0,351	**0,481**	**1,128**	**1,897**
0,0001	0,082	0,138	0,261	0,397	**0,547**	**1,305**	**2,199**
0,0002	0,17	0,296	0,59	0,946	**1,364**	**3,367**	**4,967**
0,0003	0,265	0,475	**0,998**	**1,657**	**2,408**	**5,107**	**6,329**
0,0004	0,368	0,678	**1,485**	**2,477**	**3,499**	**6,114**	**6,796**
0,0005	0,48	0,907	**2,033**	**3,317**	**4,467**	**6,605**	**6,939**
0,0006	0,6	1,161	**2,615**	**4,096**	**5,235**	**6,828**	**6,982**
0,0007	0,73	1,438	**3,199**	**4,767**	**5,802**	**6,926**	**6,994**
0,0008	0,868	**1,736**	**3,757**	**5,317**	**6,2**	**6,968**	**6,998**
0,0009	1,016	**2,05**	**4,271**	**5,749**	**6,473**	6,986	7
0,001	1,174	**2,373**	**4,73**	**6,08**	**6,655**	6,994	7
0,002	3,016	**3,062**	**5,19**	6,736	6,97	7	7
0,003	4,792	4,79	6,45	6,97	7	7	7
0,004	5,889	5,89	6,84	7	7	7	7
0,005	6,471	6,47	6,96	7	7	7	7
0,006	6,754	6,75	7	7	7	7	7
0,007	6,887	6,89	7	7	7	7	7
0,008	6,948	6,95	7	7	7	7	7
0,009	7	7	7	7	7	7	7
0,01	7	7	7	7	7	7	7
0,1	7	7	7	7	7	7	7

З отриманих даних видно, що йде поділ на три, так звані, «трикутника», що є зонами ефективності методу фрагментації. І лише у виділеній зоні (у таблицях виділено потовщенням та обведено контуром), де зменшується середній час передачі та відсоток втрат кадрів, фрагментація ефективна. У двох інших –

фрагментація неефективна, в одному випадку це обумовлено збільшенням середнього часу передачі кадру, в іншому випадку (комірки зафарбовані) – Wi-Fi непрацездатний через надмірну втрату кадрів.

Роутер починає роботу з Frag=2346, вимірює середній час передачі кадрів (табл. 3.9). Розуміє, що значення BER є таким, що фрагментація ефективна.

Таблиця 3.9

Середній час передач кадрів (Frag. threshold=2346)

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,000001	1176	1689	2717	3747	4780	8930	12819
0,00001	1184	1708	2774	3861	4970	9635	**14315**
0,00002	1193	1731	2838	3992	5192	**10484**	**16183**
0,00003	1202	1753	2906	4128	5422	**11412**	**18292**
0,00004	1212	1775	2973	4268	5665	**12418**	**20658**
0,00005	1221	1799	3042	4412	5918	**13511**	**23289**
0,00006	1231	1822	3114	4562	6182	**14690**	**26166**
0,00007	1240	1846	3188	4718	**6458**	**15956**	**29262**
0,00008	1250	1869	3261	4879	**6745**	**17305**	**32535**
0,00009	1260	1895	3337	5045	**7045**	**18734**	**35929**
0,0001	1269	1918	3416	5215	**7359**	**20233**	**39392**
0,0002	1373	2183	4307	**7240**	**11141**	**36536**	**68804**
0,0003	1484	2486	**5392**	**9770**	**15691**	**49099**	**82224**
0,0004	1605	2826	**6654**	**12544**	**20165**	**56038**	**86708**
0,0005	1736	3205	**8028**	**15250**	**23955**	**59353**	**88072**
0,0006	1876	3621	**9432**	**17573**	**26869**	**60844**	**88476**
0,0007	2027	4068	**10800**	**19703**	**28972**	**61493**	**88596**
0,0008	2189	**4537**	**12070**	**21328**	**30434**	**61777**	**88630**
0,0009	2357	**5020**	**13216**	**22585**	**31420**	61897	88641
0,001	2535	**5509**	**14220**	**23541**	**32078**	61949	88645
0,002	4544	**9472**	**18442**	26052	33300	61991	88647
0,003	6223	11114	18927	26145	33319	61991	88647
0,004	7234	11616	18974	26151	33319	61991	88648
0,005	7759	11759	18982	26151	33319	61992	88648
0,006	8009	11798	18983	26151	33319	61992	88648
0,007	8129	11808	18983	26151	33319	61992	88648
0,008	8182	11813	18983	26151	33319	61992	88648
0,009	8204	11815	18983	26151	33320	61992	88648
0,01	8219	11815	18983	26151	33320	61992	88648
0,1	8232	11816	18984	26152	33320	61992	88648
1	8232	11816	18984	26152	33320	61992	88648

Після цього роутер ставить менше значення frag, і, оскільки фрагментація ефективна, середній час передачі кадрів відразу впаде (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Середній час передач кадрів (за мінімальним значенням Frag. threshold)

Розмір кадра / BER	64	128	256	384	512	1024	1500
0,000001	1176	1689	2717	3747	4780	8930	12819
0,00001	1184	1708	2774	3861	4970	9635	**14186**
0,00002	1193	1731	2838	3992	5192	**10384**	**15104**
0,00003	1202	1753	2906	4128	5422	**10844**	**15897**
0,00004	1212	1775	2973	4268	5665	**11330**	**16590**
0,00005	1221	1799	3042	4412	5918	**11823**	**17232**
0,00006	1231	1822	3114	4562	6182	**12183**	**17824**
0,00007	1240	1846	3188	4718	**6376**	**1255**	**18412**
0,00008	1250	1869	3261	4879	**6522**	**12936**	**19020**
0,00009	1260	1895	3337	5045	**6674**	**13329**	**19584**
0,0001	1269	1918	3416	5215	**6832**	**13664**	**20046**
0,0002	1373	2183	4307	**6308**	**8614**	**17228**	**25140**
0,0003	1484	2486	**4972**	**7458**	**9944**	**19888**	**29169**
0,0004	1605	2826	**5652**	**8472**	**11304**	**22608**	**33108**
0,0005	1736	3205	**6410**	**9615**	**12820**	**25640**	**37500**
0,0006	1876	3621	**7242**	**10863**	**14484**	**28968**	**42276**
0,0007	2027	4068	**8108**	**12162**	**16216**	**32432**	**47400**
0,0008	2189	**4378**	**8756**	**13134**	**17512**	**35024**	**51480**
0,0009	2357	**4714**	**9428**	**14142**	**18856**	37712	55416
0,001	2535	**5070**	**10140**	**15210**	**20280**	40560	59616
0,002	4544	**9088**	**18176**	26052	33300	61991	88647
0,003	6223	11114	18927	26145	33319	61991	88647
0,004	7234	11616	18974	26151	33319	61991	88648
0,005	7759	11759	18982	26151	33319	61992	88648
0,006	8009	11798	18983	26151	33319	61992	88648
0,007	8129	11808	18983	26151	33319	61992	88648
0,008	8182	11813	18983	26151	33319	61992	88648
0,009	8204	11815	18983	26151	33320	61992	88648
0,01	8219	11815	18983	26151	33320	61992	88648
0,1	8232	11816	18983	26152	33320	61992	88648
1	8232	11816	18984	26152	33320	61992	88648

3.2. Метод управління фрагментацією

Як результат проведених розрахунків, складено порядок роботи алгоритму

фрагментації кадрів (рис. 3.5), де визначено послідовність дій передавача.

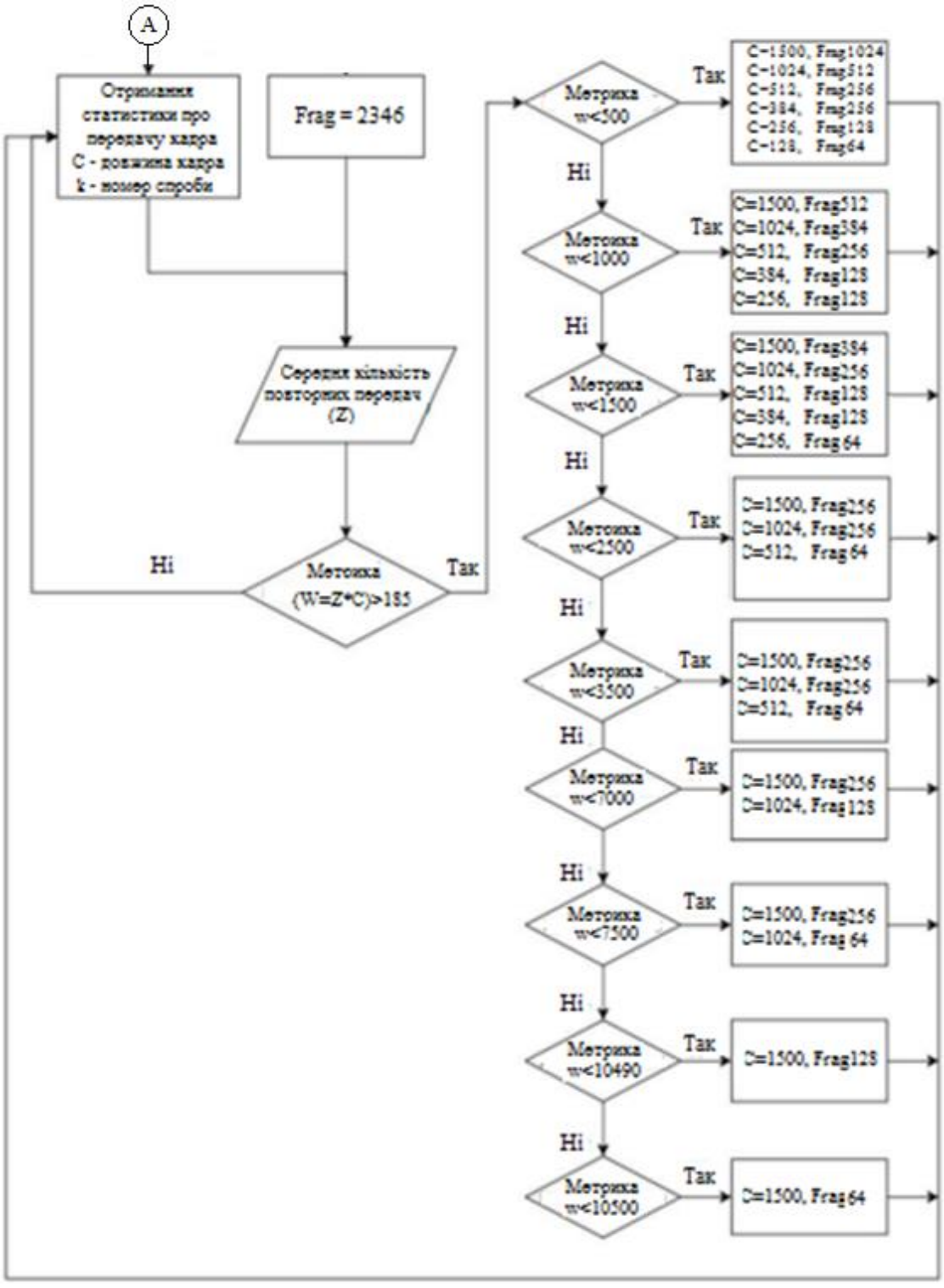

Рис. 3.5. Фрагмент блок схеми роботи алгоритму фрагментації кадрів

Передавач починає роботу з Frag = 2346, після передачі кадру збирається статистика про величину кадру та кількість повторних передач, незалежно від

успіху.

Зібравши статистику про передачу ста кадрів кожного розміру кадру, обчислюється середня кількість повторних передач (Z) щоб одержати метрики. Якщо метрика буде менша, ніж 185, то у фрагментації немає необхідності. Якщо ж метрика буде більшою за 185, то включається режим фрагментації, при цьому від значення метрики залежатиме необхідність зміни роутером значення Frag.Threshold для своєї довжини кадру.

Так, за метрики від 185 до 500:

– якщо довжина кадру дорівнює 1500, Frag =1024;
– якщо довжина кадру = 1024, то Frag = 512;
– якщо довжина кадра=512 чи 384, то Frag =256;
– якщо довжина кадру = 256, то Frag = 128;
– якщо довжина кадру = 128, то Frag = 64.

При метриці більше 500, але менше 1000:

– якщо довжина кадру дорівнює 1500 Frag = 512;
– якщо довжина кадру = 1024, Frag = 384;
– якщо довжина кадру = 512 або 384, Frag = 256;
– якщо довжина кадру = 384, Frag = 256;

якщо довжина кадру = 256, Frag = 128.

При метриці менше 1500:

– якщо довжина кадру = 1500, Frag = 384;
– якщо довжина кадру = 1024, Frag = 256;
– якщо довжина кадру = 512, Frag = 128;
– якщо довжина кадру = 384, Frag = 128;
– якщо довжина кадру = 256, Frag = 64.

При метриці менше 2500:

– при довжині кадру, що дорівнює 1500, Frag =384;
– при довжині кадру = 1024, Frag = 256;
– при довжині кадру = 512, Frag = 128;
– при довжині кадру = 384, Frag = 64.

При метриці більше 2500, але менше 3500:

– якщо довжина кадру дорівнює 1500, Frag =256;
– якщо довжина кадру = 1024, то Frag = 256;
– якщо довжина кадру = 512, то Frag = 54.

При метриці від 3500 до 7000 розглядається фрагментація тільки при довжині кадру, що дорівнює 1500 або 1024. При цьому Frag дорівнюватиме 256 і 128 відповідно.

При метриці менше 7500 при довжині кадру 1500 Frag дорівнює 256, а при 1024 дорівнює 64.

Якщо метрика від 7500 до 10490, або від 10490 до 10500, то фрагментація буде включатися тільки при довжині кадру, що дорівнює 1500, і дорівнюватиме 128 або 64 відповідно.

3.3. Експериментальне тестування методу фрагментації

У зв'язку з неможливістю перевірити отримані результати на лабораторному стенді для проведення експерименту з вимірювання фрагментації були використані такі компоненти стенду , як ноутбук і точка доступу Wi-Fi (роутер). Відстань між ними підбиралася таким чином, щоб стали помітні ефекти втрат кадрів та повторних передач. Передача кадрів двонаправлена. Для формування кадрів використовувалася утиліта ping з параметрами: ping-i 0.1 -c 999 -s 1472 192.168.1.1.

У всіх спробах передавалася однакова кількість пакетів. У кожному експерименті було дві спроби: перша без фрагментації, друга - з фрагментацією.

Отримавши дані без фрагментації , щодо середнього часу передачі кадру до мінімального, обчислювалася середня кількість повторних передач, що давало можливість табл. 3.7 визначити BER, за значенням якого, за табл. 3.6, визначався оптимальний режим фрагментації кадрів. Отриманий результат використовувався для другої спроби кожного з експериментів, що давало змогу отримати дані з використанням фрагментації.

Розраховувалася ефективність фрагментації кадрів, як відношення

середнього часу передачі кадрів за наявності та відсутності фрагментації.

3.3.1. Експеримент 1. Ноутбук віддалений від точки доступу на таку відстань, коли починають позначатися ефекти втрат кадрів. Результати роботи представлені на рис. 3.6 (без фрагментації) та рис. 3.7 (з фрагментацією) відповідно.

```
Frag threshold=1500
999 packets transmitted, 994 packets received, 0.5% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 8.979/18.350/83.246/8.036 ms
```

Рис. 3.6. Результат роботи команди ping без фрагментації (експеримент 1)

З отриманого результату видно, що втрати кадрів становлять 0,5%, середній час передачі кадру 18350 мс, мінімальний час - 8979 мс. Тоді BER дорівнює 0,0001, а оптимальний режим фрагментації кадрів – 256.

```
Frag threshold=256
999 packets transmitted, 994 packets received, 0.5% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 6.234/13.018/174.944/18.110 ms
```

Рис. 3.7. Результат роботи команди ping з фрагментацією (експеримент 1)

Ефективність фрагментації кадрів, отримана внаслідок експерименту, дорівнює 1,41.

3.3.2. Експеримент 2. Змінюємо розташування ноутбука по відношенню до точки доступу для збільшення ефекту втрат кадрів.

Результати проведеного експерименту представлені на рис. 3.8, 3.9 відповідно.

```
Frag threshold=1500
999 packets transmitted, 974 packets received, 2.5% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 10.886/37.319/381.251/37.115 ms
```

Рис. 3.8. Результат роботи команди ping без фрагментації (експеримент 2)

Втрати кадрів склали 2,5%, BER ~ 0,0001, Frag.

```
Frag threshold=256
999 packets transmitted, 990 packets received, 0.9% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 6.206/17.656/236.470/16.849 ms
```

Рис. 3.9. Результат роботи команди ping з фрагментацією (експеримент 1)

Ефективність фрагментації кадрів у результаті другого експерименту дорівнює 2,11.

3.3.3. Експеримент 3. Відстань між ноутбуком та точкою доступу збільшена настільки, щоб втрати були наближені до максимальних.

Результати – рис. 3.10, 3.11.

```
Frag threshold=1500
999 packets transmitted, 123 packets received, 87.7% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 17.410/120.229/1594.437/242.557 ms
```

Рис. 3.10. Результат роботи команди ping без фрагментації (експеримент 3)

Відсоток втрат кадрів становив 87,7%, BER ~ 0,0001, Frag. Threshold - 256.

```
Frag threshold=256
999 packets transmitted, 177 packets received, 82.3% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 9.850/186.839/3681.273/467.646 ms
```

Рис. 3.11. Результат роботи команди ping з фрагментацією (експеримент 3)

Ефективність фрагментації кадрів у результаті третього експерименту відсутня.

3.3.4. Експеримент 4. Контрольний експеримент, відстань між точкою доступу та ноутбуком складала 1 метр, що свідомо передбачає відсутність втрат.

Результати експерименту 4 наведені на рис. 3.12, 3.13.

```
Frag threshold=1500
999 packets transmitted, 999 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 3.833/4.432/15.868/0.873 ms
```

Рис. 3.12. Результат роботи команди ping без фрагментації (експеримент 4)

Втрати пакетів відсутні. Середня кількість повторних передач ~ 1,15.

```
Frag threshold=256
999 packets transmitted, 999 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 6.292/7.247/51.636/1.800 ms
```

Рис. 3.13. Результат роботи команди ping з фрагментацією (експеримент 4)

За результатами видно, що фрагментація кадрів неефективна.

Результати експериментів занесені до табл. 3.11, де наведені для порівняння і розрахункові дані.

Таблиця 3.11

Результати експериментів

	Експеримент 1		Експеримент 2		Експеримент 3		Контрольний експеримент	
Frag threshold	1500	256	1500	256	1500	256	1500	256
Передано пакетів	999							
Отримано пакетів	994	994	974	990	123	177	999	999
Середній час передачі	18,35	13,02	37,32	17,66	120,23	186,84	4,43	7,25
Втрати (%)	0,5	0,5	2,5	0,9	87,8	82,3	0	0
Ефективність експериментальна	1,41		2,11		ні		не ефективна	
Ефективність розрахункова	1,97		1,97 – 2,74		ні		не ефективна	

Проведені експерименти підтверджують виведену з чисельних

експериментів теорію у тому, що фрагментація пакетів знижує ймовірність втрат та залежить від BER, і є певна область, де фрагментація кадрів ефективна.

Таким чином, результати фрагментації залежать від технічних параметрів проведених експериментів, зокрема збільшення чи зменшення відстані між ноутбуком та точкою доступу.

3.5. Висновки до розділу

У третьому розділі описано проведені експерименти, котрі стосуються визначення впливу наявності чи відсутності фрагментації на показники якості роботи мережі (середній час, котрий витрачено на передавання кадру, та відсоток втрачених кадрів). Запропоновано метод управління фрагментацією, побудовано його алгоритм роботу у виді блок-схеми.

Було проведено чотири різних експерименти за різних відстаней між ноутбуком та точкою доступу.

Отримані результати експериментів (ефективність експериментальна) служать доказом чисельно розрахованого теоретичного факту (ефективність розрахункова), що фрагментація пакетів зменшує вірогідність втрат та перебуває у залежності від BER. Також існує визначена область, у якій фрагментація кадрів є ефективною. Фрагментація кадрів у визначених умовах здатна покращити характеристики якості передачі даних у мережі стандарту 802.11.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка методу оптимізації продуктивності мережі Wi-Fi. Оскільки, проведення робіт з розробки та використання методу передбачає застосування комп’ютерної техніки, зокрема ПК та периферійних пристроїв, то обов’язковим є дотримання вимог з охорони праці і техніки безпеки.

Для ефективної і безпечної роботи колективу працівників з розробки методу оптимізації продуктивності мережі Wi-Fi, необхідно організувати безпечні умови праці. При цьому керівник організації несе безпосередню відповідальність за порушення нормативно-правових актів з охорони праці [30]. Окрім цього, на робочих місцях працівників необхідно забезпечити дотримання вимог, затверджених Наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 за № 207 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями». Згідно Вимог приміщення, де розміщені робочі місця операторів, крім приміщень, у яких розміщені робочі місця операторів великих ЕОМ загального призначення (сервер), мають бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації відповідно до цих вимог;

– переліку однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 22.08.2005 N 161, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05.09.2005 за N 990/11270 (НАПБ Б.06.004-2005);

– Державних будівельних норм "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд", затверджених наказом Держбуду України

від 28.10.98 N 247 (далі - ДБН В.2.5-56:2014, з димовими пожежними сповіщувачами та переносними вуглекислотними вогнегасниками.

В інших приміщеннях допускається встановлювати теплові пожежні сповіщувачі. Приміщення, де розміщені робочі місця операторів, мають бути оснащені вогнегасниками, кількість яких визначається згідно з вимогами ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників». Загальні технічні вимоги і з урахуванням граничнодопустимих концентрацій вогнегасної рідини відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014. Приміщення, в яких розміщуються робочі місця операторів сервера загального призначення, обладнуються системою автоматичної пожежної сигналізації та засобами пожежогасіння відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014, НАПБ А.01.001-2014 і вимог нормативно-технічної та експлуатаційної документації виробника. Проходи до засобів пожежогасіння мають бути вільними.

Лінія електромережі для живлення комп'ютера та периферійних пристроїв повинні бути виконаними як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Не допускається використовувати нульовий робочий провідник як нульовий захисний провідник. Нульовий захисний провідник прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення. Не допускається підключати на щиті до одного контактного затискача нульовий робочий та нульовий захисний провідники.

Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники мають відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам НПАОП 40.1-1.01-97.

У приміщенні, де одночасно експлуатуються понад п'ять комп'ютерів, на помітному, доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який

може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення. Комп’ютери повинні підключатися до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз’єднання при відключенні має бути зворотним. Не допускається підключати комп’ютери до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп’ютерної техніки повинні бути виконаними за магістральною схемою, по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 42 В за своєю конструкцією мають відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 42 В, мають візуально (за кольором) відрізнятися від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

При підвищенні ефективності контролю доступу в приміщення, де для забезпечення безпеки мешканців, співробітників і збереження майна використовуються ДС, важливим, з точки зору охорони праці, є забезпечення достатньої величини природного та штучного освітлення, які визначені у НПАОП 0.00-7.15-18. Організація робочого місця фахівця із дослідження методів та програмно-апаратних засобів оптимізаційних процесів на основі ГА повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги». Відстань від екрана до ока фахівців, які працюють за комп’ютером визначається згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці має забезпечувати добру видимість екрана комп’ютера, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Таким чином, у результаті аналізу вимог щодо охорони праці користувачів комп’ютерів, визначено особливості організації робочих місць, вимог з електробезпеки, природного та штучного освітлення для ефективної і безпечної роботи фахівців з розробки методу оптимізації продуктивності мережі Wi-Fi..

4.2. Планування та порядок проведення евакуації населення з районів наслідків впливу НС техногенного та природного характеру

В умовах неповного забезпечення захисними спорудами в містах та інших населених пунктах, що мають об'єкти підвищеної небезпеки, основним засобом захисту населення є евакуація і розміщення його у зонах, які є безпечними для проживання людей [31].

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, що знаходяться у зонах можливого катастрофічного затоплення, можливого небезпечного радіоактивного забруднення, хімічного ураження, в районах виникнення стихійного лиха, аварій і катастроф (якщо виникає безпосередня загроза життю та здоров'ю людей). Залежно від обставин, які склалися на час надзвичайної ситуації, може бути проведено загальну або часткову евакуацію населення тимчасового або безповоротного характеру. Загальна евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України для всіх категорій населення і планується на випадок:

– можливого небезпечного радіоактивного забруднення територій навколо атомних електростанцій (якщо виникає безпосередня загроза життю та здоров'ю людей, які проживають в зоні ураження);

– виникнення загрози катастрофічного затоплення місцевості з чотиригодинним добіганням проривної хвилі.

Часткова евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України у разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру [31].

У сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру евакуація населення планується на випадок:

– аварії на атомній електростанції з можливим забрудненням території; усіх видів аварій з викидом сильнодіючих отруйних речовин; загрози катастрофічного забруднення місцевості :

– лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, зсувів, інших геофізичних і гідрометеорологічних явищ з тяжкими наслідкам, що загрожують населеним пунктам.

Загальна евакуація проводиться шляхом вивезення основної частини населення з міст і небезпечних районів усіма видами наявних транспортних засобів на відповідній адміністративній території та виведення найбільш витривалої його частини пішки. Часткова евакуація проводиться з використанням транспортних засобів, що експлуатуються за діючим графіком. На органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування та керівників об'єктів, які проводять евакуацію населення, покладається:

– планування і проведення евакуації працівників та членів їх сімей;

– подання до відповідних транспортних органів розрахунків потреби у транспортних засобах для вивезення працівників і членів їх сімей до безпечних районів;

– контроль за плануванням, підготовкою і проведенням евакуаційних заходів підвідомчими об'єктами;

– визначення та підготовка безпечного району для розміщення евакуйованих працівників і членів їх сімей.

Інші заходи та порядок проведення евакуації викладено у постанові Кабінету Міністрів від 26 жовтня 2001р. № 1432 про затвердження Положення

про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

У плані евакуації, складовою частиною якого є карта (схема), зазначаються:

– висновки з оцінки обстановки у разі виникнення надзвичайної ситуації;

– порядок оповіщення населення про початок евакуації;

– кількість населення, яке підлягає евакуації, за віковими категоріями;

– терміни проведення евакуації;

– склад евакуаційних органів і терміни приведення їх у готовність;

– кількість населення, яке вивозиться різними видами транспортних засобів окремо і виводиться пішки;

– розподілення об'єктів за збірними евакуаційними пунктами, пунктами посадки, районами (пунктами) розміщення та евакуаційними напрямками; маршрути евакуації;

– райони (пункти) розміщення евакуйованого населення; пункти посадки на транспортні засоби, пункти висадки у безпечному районі, порядок доставки населення з пунктів висадки до районів (пунктів) розміщення;

– заходи щодо організації приймання, розміщення, захисту та життєзабезпечення евакуйованого населення у безпечному районі;

– порядок організації управління і зв'язку.

План приймання і розміщення евакуйованого населення включає також розділ з транспортного забезпечення евакуації, в якому зазначається [31]:

– кількість транспортних засобів кожного виду і термін їх подачі до пунктів посадки;

– кількість населення, яке підлягає евакуації;

– терміни відправлення евакуйованого населення у безпечні райони;

– терміни прибуття евакуйованого населення до пунктів посадки;

– маршрути руху транспортних засобів;

– кількість рейсів.

З отриманням рішення (сигналу) про проведення евакуації евакуаційні комісії уточнюють завдання керівникам об'єктів щодо проведення евакуаційних

заходів, контролюють стан оповіщення населення, його збору, формування колон (через начальників маршрутів), забезпечують переміщення їх до пунктів евакуації, а також разом з транспортними службами - готовність транспортних засобів до перевезень, уточнюють порядок їх використання, підтримують постійний зв'язок з начальниками маршрутів та з органами виконавчої влади безпечних районів, інформують їх про хід евакуації.

У райони розміщення евакуаційних органів та населення, яке підлягає евакуації, направляються представники евакуаційних комісій для вирішення питань приймання, розміщення і життєзабезпечення евакуйованого населення.

У разі оголошення евакуації громадяни самостійно на міських транспортних засобах, які у цей період працюють цілодобово, прибувають на збірні евакуаційні пункти. Працівники цих пунктів розподіляють громадян, які підлягають евакуації, за транспортними засобами, інструктують їх і забезпечують посадку на транспортні засоби.

Евакуйовані громадяни повинні мати при собі паспорт, військовий квиток, документ про освіту, трудову книжку або пенсійне посвідчення, свідоцтво про народження, гроші і цінності, продукти харчування і воду на 3 доби, постільну білизну, необхідний одяг і взуття загальною вагою не більш як 50 кілограмів на кожного члена сім'ї. Дітям дошкільного віку вкладається у кишеню або пришивається до одягу записка, де зазначається прізвище, ім'я та по батькові, домашня адреса, а також ім'я та по батькові матері і батька.

4.3. Висновки до розділу

В цьому розділі проаналізовано важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, висвітлено питання планування та порядку проведення евакуації населення з районів наслідків впливу НС техногенного та природного характеру.

ВИСНОВКИ

У ході виконання поставлених завдань проведено дослідження стандартів сімейства Wi-Fi, методів корекції помилок, залежності накладних витрат від факторів, що впливають на роботу мережі. Розглянуто існуючі стандарти, основі яких лежить 802.11. Досліджено ПЗ Wi-Fi, клієнти та роутери мають хоча б мінімальні засоби роботи з мережею. Можливість фрагментації кадрів наявна тільки за ручного налаштування

Побудовано метод керування фрагментацією, відображено блок-схему алгоритму його функціонування. Проведено експериментальні дослідження впливу фрагментації на окремі показники якості роботи мережі, зокрема на середній час, який затрачається на передачу кадру, а також відсоток втрачених кадрів..

Результати експериментів підтверджують теорію, що фрагментація пакетів зменшує вірогідність втрат і залежить від BER. Фрагментація кадрів за визначених умов може покращити параметри якості передавання даних у мережі стандарту 802.11.

Надалі проведені дослідження та отримані результати дозволять розробити програмний застосунок, що реалізує розроблений метод та оптимізує роботу мережі Wi-Fi.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Westcott D., A., Coleman D., D., Mackenzie P., Miller B. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide. Exam PW0-270. John Wiley & Sons Limited, 2011. – 702 p.
2. Офіційний сайт IEEE 802.11. URL: https://ieeexplore.ieee.org /document/8360794 (дата звертання 22.11.2024).
3. Han, B.; Ji, L.; Lee, S.; Bhattacharjee, B.; Miller, R. R. Are All Bits Equal?—Experimental Study of IEEE 802.11 Communication Bit Errors./ IEEE/ACM Transactions on Networking 20(6):1695-1706 · December 2012 DOI: 10.1109/TNET.2012.2225842
4. Das, Subhransu; Kar, Pushpendu; Barman, Subhabrata. Analysis of IEEE 802.11 WLAN frame aggregation under different network conditions. / International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET) Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET) Mar, 2017; DOI: 10.1109 / WiSPNET.2017.8299961
5. Richard E. Blahut. Theory and Practice of Error Control Codes. Addison-Wesley Publishing Company, 1983. 500 p.
6. Козак Д.М., Стадник Н.Б. Дослідження стандартів фізичного рівня Wi-Fi // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) с. 67.
7. Моделювання та оптимізація телекомунікаційних мереж. URL: https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=195749&lang=en (дата звертання 22.11.2024).
8. Robert H Morelos-Zaragoza. The Art of Error Correcting Coding. John Wiley & Sons. 2006. ISBN: 0470015586
9. Butt, Arooj Mobasher; Nasir, Ali. Efficiency optimization under variable packet error rate for wireless LAN. / International Symposium on Wireless Systems and Networks (ISWSN) Wireless Systems and Networks (ISWSN), 2017, 1-5 Nov. DOI:10.1109/ ISWSN.2017.8250031

10. Патент 10153868 US. Hybrid automatic repeat request (H-ARQ) for a wireless local area network / Kim Joonsuk , Kim Yuchul, Mujtaba Syed A. - №57395409. URL: http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fnetahtml%2FPTO%2Fsearchadv.htm&r=0&f=S&l=50&d=PTXT&RS=%28wi-fi+AND+fragmentation%29&Refine=Refine+Search&Query= wi-fi+AND+ fragmentation +AND+802.11 (дата звертання 26.11.2024).

11. Козак Д.М., Стадник Н.Б. Методи маніпуляції сигналом у бездротовому зв'язку // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) С. 67.

12. Adarsh B. Narasimhamurthy, Cihan Tepedelenlioglu, Mahesh K. Banavar. OFDM Systems for Wireless Communications / Adarsh B. Narasimhamurthy, Cihan Tepedelenlioglu, Mahesh K. Banavar - Morgan & Claypool Publishers, 2010. – 80 c.

13. Aman, M., N.; Sikdar, B. Distinguishing between channel errors and collisions in IEEE 802.11. / 46th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS) Information Sciences and Systems (CISS), 1-6 Mar, 2012; DOI: 10.1109 / CISS.2012.6310924

14. Modulation in telecommunication. URL: https://www.britannica.com/ technology/telecommunication/Modulation/ (дата звертання: 26.11.24).

15. Василенко В. М. Засоби адаптивного управління системою передачі інформації в умовах апріорної невизначеності. Дис… канд.техн.н. Київ, 2018. 21 с.

16. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп’ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ. 2024. 45 с.

17. Uryvsky, L.; Moshynska, A.; Osypchuk, S. Efficiency analysis of signalcode sequences selection algorithms on IEEE 802.11 equipment. / 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Jul, 2017. DOI: 10.1109/AIACT.2017.8020090

18. Офіційний сайт Linksys. URL https://www.linksys.com/ (дата звертання 27.11.2024).

19. Налаштування роутеру D-Link DIR-300 и DIR-400. URL: http://opticom.ua/nalashtuvannia-routeriv (дата звертання 28.11.2024).

20. Луцик Н. С., Луцків А. М., Осухівська Г. М., Тиш Є. В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ. 2024. 44 с..

21. Варавін А.В., Лещишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ, 2024. 32 с.

22. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.

23. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.

24. Лупенко С. А., Пасічник В. В., Тиш Є. В. Комп'ютерна логіка. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006». 2015. 354 с.

25. Yasniy O., Lutsyk N., Demchyk V., Osukhivska H., Malyshevska O. The prediction of structural properties of Ni-Ti shape memory alloy by the supervised machine learning methods. ITTAP 2023: 73–78. https://ceur-ws.org/Vol-3628/short1.pdf

26. Tysh Ie. Approach And Method Of Evaluation Of The General Reliability Indicator Of Computer Systems. International Scientific Journal Computer Systems And Information Technologies. Khmelnytskyi : Khmelnytskyi National University. №3. 2021. С.74-80

27. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

28. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

29. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

30. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 551 с.

31. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

ДОДАТОК А

Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА

М А Т Е Р І А Л И

XII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ, СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

18-19 грудня 2024 року

ТЕРНОПІЛЬ
2024

УДК 621.391
Д.М. Козак, Н.Б. Стадник, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОДИ МАНІПУЛЯЦІЇ СИГНАЛОМ У БЕЗДРОТОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ

D.M. Kozak, N.B.Stadnyk, PhD.

KEYING METHODS OF SYGNAL IN WIRELESS COMMUNICATION

При надсиланні даних сигнал передається з передавача. Щоб передавати дані необхідно керувати сигналом так, щоб сторона, що приймає, могла розрізнити нулі та одиниці. Метод маніпуляції або управління сигналом, при якому можна представляти множинні дані називається Методом кодування (Keying Method).

Існує три основні типи методів кодування [1]:

– ASK (Amplitude-Shift Keying) – кодування зі зміною амплітуди. ASK змінює амплітуду сигналу (висота) для подання двійкових даних Це техніка поточного стану, де один рівень амплітуди (висоти) представляє нуль, наприклад, велика амплітуда хвилі представляє одиницю, а менша - нуль. Це завдання вимагає почати з визначення періоду, в який сигнал може прийматися - символьний період. Потім приймач може використовувати це як спеціальний часовий інтервал-маску (семпл) для перевірки хвилі протягом саме символьного періоду для визначення амплітуди хвилі;

– FSK (Frequency-Shift Keying) – кодування зі зміною частоти. FSK змінює частоту сигналу подання двійкових даних. FSK – це техніка поточного стану, де одна частота є нуль, а інша частота становить одиницю. Зміна частоти визначає дані, що передаються. Коли приймач семплює сигнал протягом символьного періоду, він визначає значення частоти сигналу, і, залежно від цієї частоти, приймач може розпізнати відповідне двійкове значення.

FSK застосовується у деяких старих технологіях 802.11 (і у деяких існуючих старих мережах). Для підтримки більш високих швидкостей FSK вимагає більш дорогих компонентів і стає менш практичним для розробки.

– PSK (Phase-Shift Keying) – кодування зі зміною фази. PSK змінює фазу сигналу подання двійкових даних. PSK це техніка зміни стану, де зміна фази становить нуль, а статичний стан фази становить одиницю. Така зміна визначає двійкові дані, які передаються. Коли приймач семплює сигнал протягом символьного періоду він визначає фазу хвилі і відповідний стан біта даних.

PSK широко використовується для радіопередачі, що визначено у стандарті 802.11-2007. Звичайна реалізація передбачає, що приймач семплює сигнал протягом символьного періоду, порівнює фазу поточного семпла з попереднім семплом і визначає чи є відмінність. Кут такої відмінності або диференціал використовують для отримання значення біта.

Більш просунуті версії PSK можуть кодувати безліч бітів на символ. Можна використовувати, наприклад, не дві фази, а чотири та кожна така фаза може мати два двійкових значення нуль або одиниця (00, 01, 10, 11), а не просто (0, 1). Такий підхід дозволяє за однаковий час заняття ефіру передавати значно більший обсяг даних. Коли використовується більше двох фаз, це називається MPSK (Multiple PSK).

Література

1. Modulation in telecommunication. URL: https://www.britannica.com/technology/telecommunication/Modulation/ (дата звертання: 22.11.24).

УДК 621.391
Д.М. Козак, Н.Б. Стадник, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ ФІЗИЧНОГО РІВНЯ WI-FI

D.M. Kozak, N.B.Stadnyk, PhD.

RESEARCH OF WI-FI PHYSICAL LAYER STANDARDS

Протокол IEEE 802.11, завершили розробляти який у 1997 р., є основним і він встановлює ті підстандарти, котрі потрібні для функціонування WLAN. З них є головними – протокол керування доступом до MAC і протокол передавання сигналів на фізичному рівні PHY [1]. Основним методом доступу протоколом 802.11 визначено протокол CSMA/CA. Остаточну редакцію стандарту 802.11b, відомого зараз як Wi-Fi, було успішно ратифіковано у 1999 році. Базовою радіотехнологією тут є метод DSSS із 8-розрядними рядами Волша. Для передавання сигналу застосовується DSSS, коли увесь діапазон поділяється на п'ять піддіапазонів, котрі перекриваються, дані передаються по кожному з них. Кожен біт закодовується набором додаткових кодів (CCK). Пропускна здатність каналу становить 11 Мбіт/сек. Варто відзначити, що DSSS і CCK включають пряму корекцію помилок (FEC) на бітовому рівні.

IEEE 802.11, що з'явилася в 2009 році, і отримала назву Wi-Fi 4, працює в діапазоні 2,4 і 5 ГГц, дозволяє досягати швидкостей до 150 Мбіт/с при ширині каналу 40 МГц на кожну незалежну антену [1]. Обладнання 802.11n здатне функціонувати у трьох режимах: успадкованому, змішаному та «чистому». При роботі в успадкованому (Legacy) режимі наявна підтримка обладнання 802.11b/g і 802.11a; за змішаного (Mixed) доповнюється режим 802.11n. «Чистий» режим дає перевагу підвищеній швидкості та збільшеній дальності передачі даних, що забезпечує стандарт 802.11n.

Основою стандарту 802.11n є технологія MIMO [1], за допомогою якої відбувається просторове мультиплексування, котре намічає одночасне передавання по одному каналу власне кількох інформаційних потоків і застосування для доставлення багатопроменевого сигналу поширення, це зводить до мінімуму вплив перешкод і втрат даних. Як раз і здатність одночасного передавання і приймання даних робить вищою пропускну здатність обладнання 802.11n. Але багатопроменеве поширення здатне негативно впливати на спільну продуктивність, а також на пропускну здатність і, властиво, збільшення затримок Wi-Fi мережі з огляду на потребу здійснення перенаправлення фреймів 2-го рівня, приводом котрих є міжсимвольна інтерференція. Пов'язано це з будь-якою мережею Wi-Fi. Стандарт IEEE 802. 11g здійснює передачу даних у тому частотному діапазоні, що і 802.11b і забезпечує швидкість з'єднання до 54 Мбіт/с. Він обернено сумісний зі стандартом 802.11b в режимі модуляції DSSS. В цьому випадку швидкість з'єднання буде обмежена 11 Мбіт/с. Але використовуючи режим модуляції OFDM швидкість може досягати 54 Мбіт/с. Розроблений стандарт бездротових локальних мереж Wi-Fi IEEE 802.11ac, який отримав назву Wi-Fi 5, функціонує у діапазоні 5 ГГц. Він дозволив значно розширити пропускну спроможність мережі до 6,77 Гбіт/с при 8х MU-MIMO - антенах (Multi User MIMO).

Наступним поколінням технології Wi-Fi стала розробка нового стандарту IEEE 802.1 1ax. Беручи до уваги особливості, новітній протокол 802.11ax може досягати фізичної швидкості близько 10Гбіт/с, забезпечуючи повнофункціональну паралельну роботу множини клієнтських пристроїв та застосовуючи увесь наявний діапазон частот, що не ліцензується.

1. Офіційний сайт IEEE 802.11. URL: https://ieeexplore.ieee.org /document/8360794 (дата звернення: 10.12.2024).