

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ
факультет комп'ютерної інженерії та управління
кафедра електронних обчислювальних машин

Кваліфікаційна робота магістра

Методи поліпшення завадостійкості та збільшення швидкості передачі даних у Wi-Fi-мережах

Студента групи СПм-22-6
Юрченко Тараса Андрійовича

Керівник: доц. кафедри ЕОМ
к.т.н. Пісарьов О.М.

Харків 2024

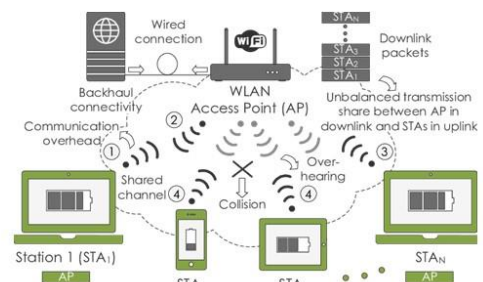
1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

В наш час бездротові мережі постійно розвиваються, щоб відповідати швидким змінам і новим потребам користувачів, зокрема експоненційному збільшенню трафіку мобільної передачі даних та кількості підключених пристроїв. Сьогодні близько 15 мільярдів пристроїв у світі підключаються до Wi-Fi-мереж, що створює серйозні виклики для майбутніх бездротових мереж. Незважаючи на переваги бездротових мереж стандартів IEEE 802.11, таких як висока швидкість обміну даними, швидке й просте створення мережі, низька вартість та різноманітність обладнання, Wi-Fi залишається вразливим до електромагнітних перешкод.

Зростання популярності WLAN призводить до збільшення кількості джерел перешкод у діапазонах 2,4 ГГц та 5 ГГц, таких як пристрої Bluetooth, мікрохвильові печі та інші бездротові мережі. Для зменшення негативного впливу цих факторів застосовуються заходи, як-от раціональний розподіл робочих частот та введення частотних, регіональних та часових обмежень для радіоелектронних пристроїв. Удосконалення методів поліпшення завадостійкості та збільшення швидкості передачі даних у Wi-Fi-мережах важливим для підтримання стабільної роботи мереж.

Загалом, робота, спрямована на покращення ефективності функціонування як існуючих Wi-Fi-мереж так й на етапі проектування, є актуальною та своєчасною. Використання нових технологій, таких як Wi-Fi 6 (802.11ax) та Wi-Fi 7, поряд з удосконаленням методів передачі даних, дозволить підвищити надійність і продуктивність мереж, покращити завадостійкість та зменшити енергоспоживання пристроїв.



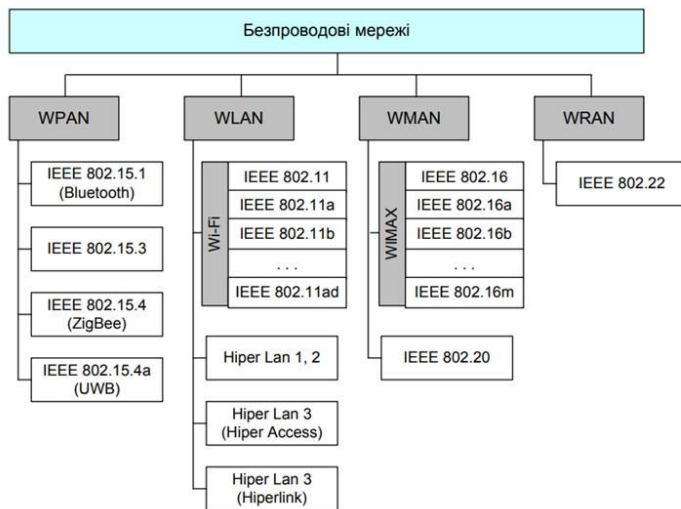
2

МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

- Аналіз стандартів та особливостей роботи сучасних Wi-Fi-мереж, їх структура та топології, а також проблеми та недоліки бездротових мереж, й особливостей кодування та модуляція у Wi-Fi-мережах
- Дослідження методів вдосконалення wi-fi-мереж, з аналізом видів перешкод у Wi-Fi-мережах, оглядом існуючих моделей типових видів перешкод, визначенням завад у Wi-Fi мережах
- Дослідження методу вдосконалення Wi-Fi мережи з урахуванням EMC
- Дослідження методу вдосконалення Wi-Fi мережи за допомогою ПЧК
- Експериментальні дослідження запропонованих методів з метою визначення їх ефективності з точки зору поліпшення завадостійкості та збільшення швидкості передачі

3

Класифікація бездротових комп'ютерних мереж



Безпроводові персональні мережі (WPAN — Wireless Personal Area Networks) включають такі технології, як Bluetooth.

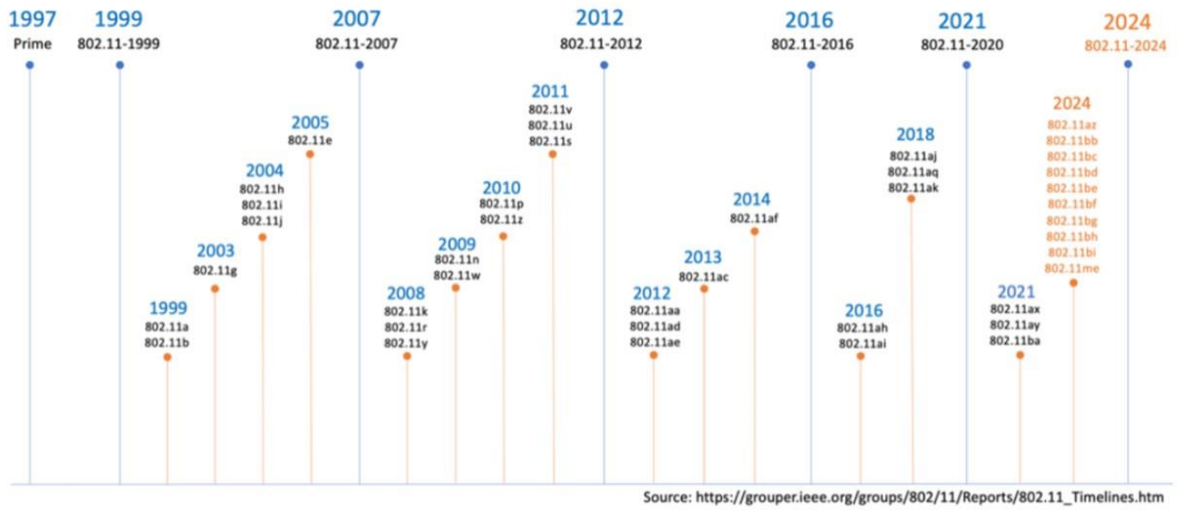
Безпроводові локальні мережі (WLAN — Wireless Local Area Networks) представлені технологіями, такими як Wi-Fi.

Безпроводові мережі масштабу міста (WMAN — Wireless Metropolitan Area Networks) використовують технології, такі як WiMAX.

Безпроводові регіональні мережі (WRAN — Wireless Regional Area Networks) призначена як для роботи з професійними фіксованими базовими станціями, так і з портативними (або фіксованими) призначеними для користувача терміналами (модеми).

4

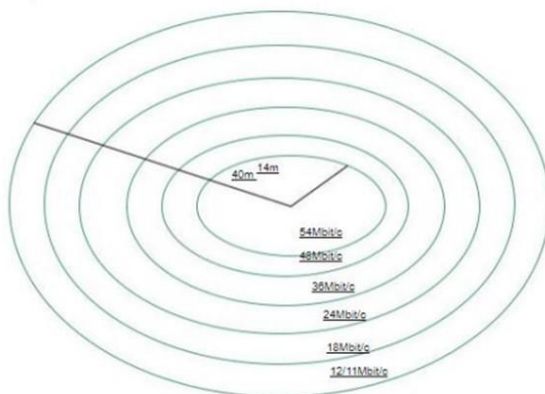
РОЗВИТОК СТАНДАРТУ IEEE 802.11



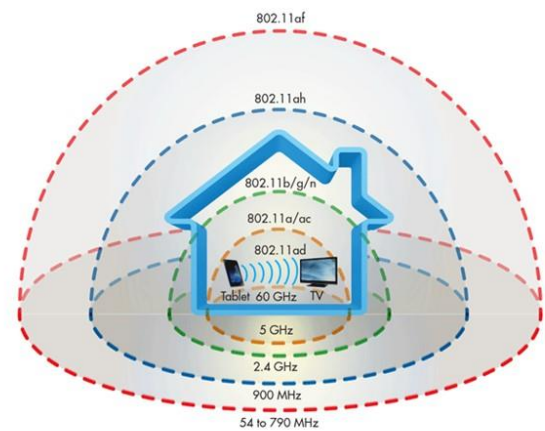
5

РАДІУС ДІЇ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖИ

Для діапазону 2,4 ГГц

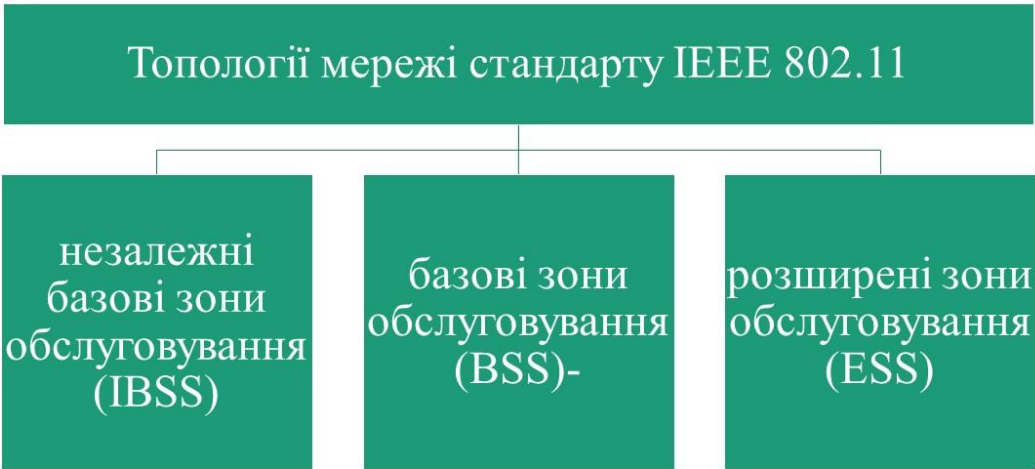


Для різних стандартів



6

ВИДИ ТОПОЛОГІЙ МЕРЕЖІ IEEE 802.11



ФОРМАТИ ЗАГОЛОВКІВ ПРИ РІЗНОМУ КОДУВАННЯ

Загальна структура пакету передачі даних	
Преамбула/Тема	Дані
Пакет ССК (комплементарні коди)	
ССК	ССК
Пакет OFDM (ортогональне частотне мультиплексування)	
OFDM	OFDM
Пакет ССК-OFDM	
ССК	OFDM
Пакет РВСС (згорткове кодування)	
ССК	РВСС

Для передачі інформації використовуються різні методи кодування, включаючи комплементарні коди (ССК) - на швидкостях 5,5 або 11 Мбіт/с, та двійкове пакетне згорткове кодування (РВСС) - на швидкості 1 Мбіт/с.

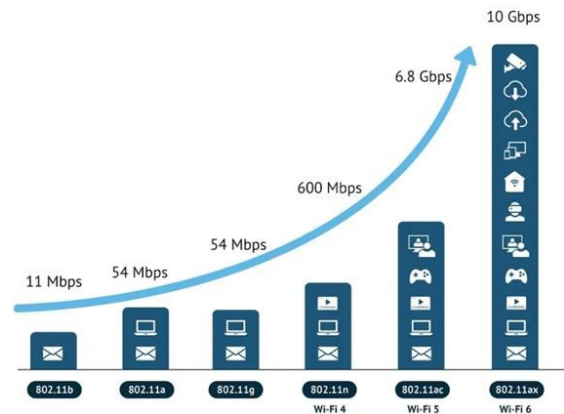
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) — радіочастотний канал на кілька незалежних підканалів, які використовуються для передачі даних одночасно.

ТЕНДЕНЦІЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ WI-FI-МЕРЕЖ ЗІ ЗМІНОЮ СТАНДАРТІВ

Тенденція до збільшення швидкості передачі даних у Wi-Fi-мережах викликана постійними змінами стандартів та впровадженням нових технологій. Однією з основних причин цього є регулярне випуск нових версій стандартів Wi-Fi, таких як Wi-Fi 6 (802.11ax) і майбутній Wi-Fi 7, які передбачають значні покращення у швидкості передачі даних, ефективності спектру і використанні ресурсів.

Wi-Fi 6 (802.11ax), пропонує використання технологій, що значно підвищують пропускну здатність, такі як OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) для більш ефективного використання каналу і MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output) для одночасного обслуговування кількох пристроїв.

Спостерігається зростання швидкості завдяки удосконаленню антенних систем, вдосконаленню технік обробки сигналів та використанню більш широкого спектру радіочастот.



9

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Моделі типових видів перешкод

Моделі шуму представлені у формі стаціонарного випадкового процесу, такого як "білий Гаусівський шум", з відповідною кореляційною функцією:

$$R(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau),$$

Моделі типових нефлюктуційних завад, що можуть бути співвимірними з корисним сигналом за амплітудою, можна описати наступним чином:

а) гармонічна завада:
$$S_3(t) = \mu A_0 \cos[(\omega_0 + \Delta\omega_n)t + \varphi_n],$$

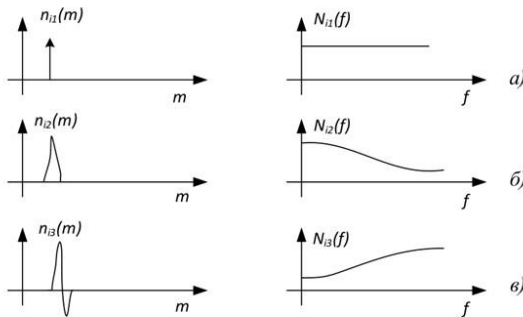
де μ – інтенсивність; $\Delta\omega_n$ – розлад частотний; φ_n – початкова фаза завади.

б) імпульсна завада, що включає в себе випадкові короткочасні шумові імпульси, що виникають внаслідок різних джерел, таких як перешкоди перемикання, електромагнітні втручання або непридатне середовище передачі.

10

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Ідеальний імпульс та його спектр



Імпульсна шумова послідовність $n_i(m)$ складається з імпульсів короткої тривалості, випадкової амплітуди, тривалості та часу появи. Її можна змоделювати як вихід фільтра, збудженого амплітудно-модульованою випадковою двійковою послідовністю:

$$n_i(m) = \sum_{k=0}^{P-1} h(k)n(m-k)b(m-k).$$

Перехідні завади імпульси

перехідний імпульс випадковий сигнал



11

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Визначення завад у Wi-Fi мережах

Миттєве співвідношення сигнал/шум може бути визначено за допомогою цих параметрів і використовується для оцінки якості сигналу в присутності імпульсного шуму:

$$SINR(m) = \frac{P_s(m)}{P_i b(m)}.$$

Середнє відношення сигналу до імпульсного шуму можна визначити за допомогою параметра α , який представляє частку вибірок сигналу, що забруднені імпульсною завадою:

$$SINR = \frac{P_s}{\alpha P_i}.$$

12

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Визначення завад у Wi-Fi мережах

Модель у який сигнал піддавався перешкодам або спотворенню



Модель дозволяє аналізувати вплив імпульсних завад на безшумний сигнал, допомагаючи зрозуміти, як ці завади впливають на якість та достовірність інформації, переданої у сигналі.

$$x(m) = \sum_{k=1}^p \alpha_k x(m-k) + e(m).$$

13

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Визначення завад у Wi-Fi мережах

Модель у який сигнал піддавався перешкодам або спотворенню



Модель дозволяє аналізувати вплив імпульсних завад на безшумний сигнал, допомагаючи зрозуміти, як ці завади впливають на якість та достовірність інформації, переданої у сигналі.

$$x(m) = \sum_{k=1}^p \alpha_k x(m-k) + e(m).$$

Сумарний ефект від приросту у відношенні імпульсної завади до сигналу $INSR$ отримуємо наступним чином:

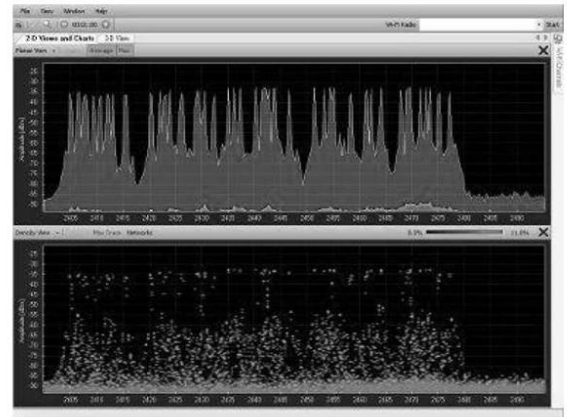
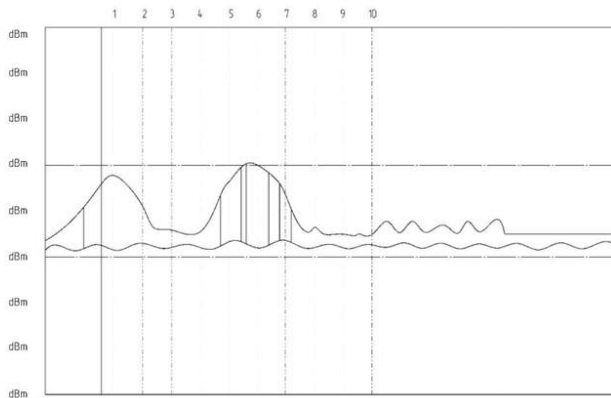
$$INSR = \frac{E[x^2(m)]}{E[e^2(m)]}.$$

14

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Метод вдосконалення Wi-Fi мережі з урахуванням ЕМС

Спектральний аналіз сигналу

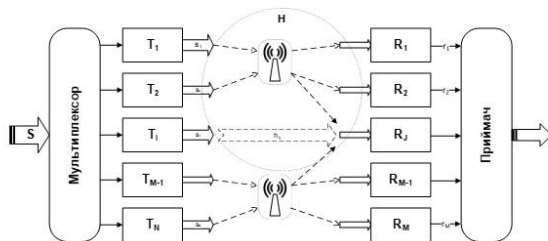


15

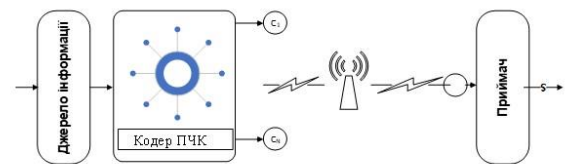
МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Метод вдосконалення Wi-Fi мережі за допомогою ПЧК

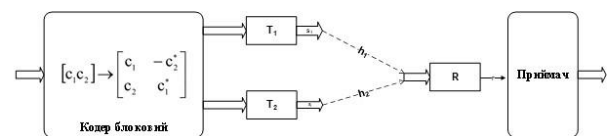
Структура роботи системи MIMO



Модель роботи Wi-Fi-мережі з ПЧК кодуванням



Модель роботи блокового кодування у каналі MIMO



16

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ WI-FI-МЕРЕЖ

Таким чином, методи просторово-часового кодування мають такі переваги:

1. У ПЧК, для сигналів-переносників, на відміну від широкосмугових сигналів, не потрібно значного розширення смуги частот за умови збереження однакового рівня стійкості до завад. Ця перевага є критичною для операторів систем бездротового зв'язку в умовах зростаючого попиту на послуги бездротового зв'язку, де дефіцит спектра стає гострішим, а вартість виділення частотних смуг для бездротових систем постійно зростає.

2. Універсальність та гнучкість методів ПЧК [30] надають найкращі можливості для обміну енергоефективності на частотну ефективність у багатопробієвих каналах.

3. Можливість комбінування методів ПЧК разом з високошвидкісними сигналами цифрової модуляції гарантує високі показники частотної ефективності.

4. Можливість подальшого підвищення стійкості до перешкод у системах із ПЧК передбачається за умови впровадження адаптивного регулювання рівнів переданих сигналів.

5. Можливість вбудовування ПЧК у структуру сигналів у багатокористувачьких мережах.

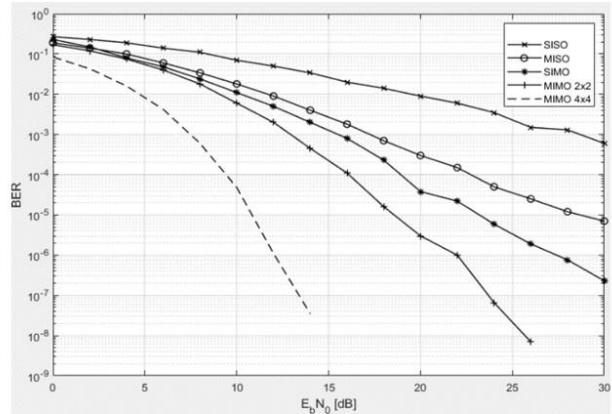
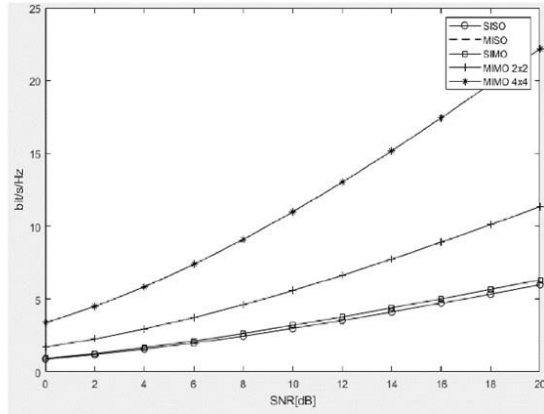
При аналізі алгоритмів підвищення пропускної здатності мережі шляхом використання методів адаптивної просторової обробки сигналів та пошуку балансу між підвищенням пропускної здатності технології MIMO було виявлено, що збільшення кількості незалежних радіоканалів призводить до зниження енергії на біт переданого повідомлення, що в свою чергу може підвищити ймовірність помилок на біт при прийнятті повідомлення.

Застосування наведених методів значно підвищує завадостійкість та швидкість передачі даних у WiFi-мережах. Оптимізація розташування точок доступу та вибір частотних каналів з урахуванням електромагнітної сумісності мінімізує внутрішні перешкоди, забезпечуючи стабільне та швидке з'єднання. Аналіз електромагнітної обстановки дозволяє ідентифікувати та уникати джерел перешкод, що підвищує загальну якість зв'язку.

17

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ

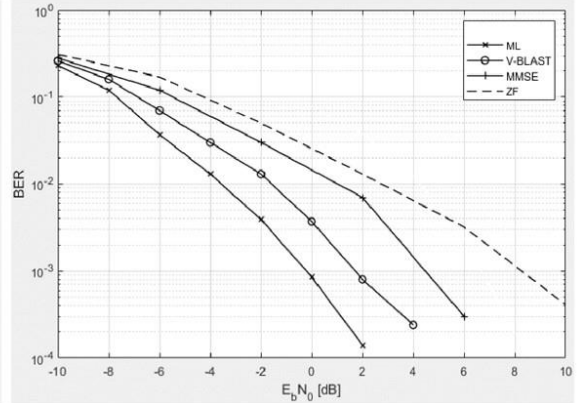
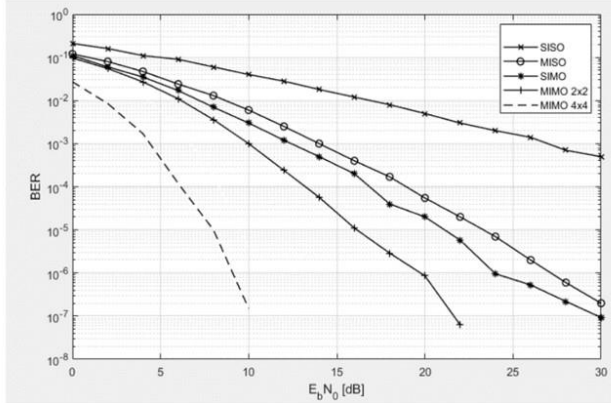
Залежність пропускної здатності систем від відношення сигнал/шум (а) та ймовірності помилки на біт від відношення сигнал/шум для різних варіантів рознесення на прийомі та модуляції QPSK (б)



18

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ

Залежність імовірності помилки на біт від відношення сигнал/шум для різних варіантів рознесення на прийомі та передачі (а) та імовірності помилки на біт від відношення сигнал/шум за різними алгоритмами демодуляції (б)



19

ПУБЛІКАЦІЇ



вул. Ірпави, 6/1,
м. Сквира, Україна, 65101
www.helvetica.ua
mailto:info@helvetica.ua

Станція: 048 709 38 69
Voicemail: 095 934 48 28
Kyivstar: 097 723 04 08

ДОВІДКА

Виданням дім «Гельветика» за дозволеньстю з Міжрегіонального Академічного управління персоналом є офіційним видавцем журналу «Інформаційні технології та суспільство» та займається усіма видавничо-копіграфічними процесами, до яких належать: вибір статей до журналу; рецензування; перевірка на плагиат; коректорська виправка; верстка; проєктування козювального матеріалу DOI; розміщення електронної версії видання на офіційному сайті журналу; надсилання електронної версії видання до Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського на репозитарій зберігання та представлення на порталі в інформаційному ресурсі «Наукова періодика України»; розсилка обов'язкового безоплатного примірника до наукових установ України.

Цією довідкою повідомляємо, що наукова стаття Тимчука Сергія, Баранової Ірини, Піскарьова Олексія, Радченка Станіслава, Курченка Тараса «Поліпшення завантаженості та збільшення швидкості передачі даних у Wi-Fi-мережах» прийнята редакцією журналу «Інформаційні технології та суспільство» для розміщення в Випуску 1 (12) за 2024 рік.

Директор
Видавничого дому «Гельветика»



Олег ГОЛОВКО

УДК 604.77

Сергій ТИМЧУК
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри інформаційних технологій
Одеської державної університету, s.timchuk@odessa.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8660-4234

Ірина БАРАНОВА
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій
Одеської державної університету, i.baranova@odessa.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3767-6999

Олексій ПІСКАРЬОВ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронних обчислювальних машин
Харківської національної технічної університету радіоелектроніки,
o.piskarov@npu.ua
ORCID: 0000-0002-6980-984X

Станіслав РАДЧЕНКО
асистент кафедри коли-торних інформаційних систем і технологій
Харківської національної технічної університету радіоелектроніки,
stanislav.radchenko@npu.ua
ORCID: 0000-0003-2320-6120

Тарас КУРЧЕНКО
Здобувач РВО магістр-науковець
Харківської національної технічної університету радіоелектроніки,
taras.kurchenko@npu.ua

Поліпшення завантаженості та збільшення швидкості передачі даних
у Wi-Fi-мережах

АНотація. На теперішній час відбувається активний розвиток систем бездротового зв'язку, у тому числі когнітивних (ЦК) мереж. У контексті радіо-зв'язку таких систем діє комплекс парадоксів і суперпарадоксів. Для покращення таких параметрів як швидкодія та пропускна здатність, особливо в умовах інтенсивного використання достатньо обмеженого частотного каналу, існує необхідність вдосконалення існуючих методів, та створення принципово нових.

Метою статті є огляд методів передачі інформації в сучасних системах бездротового доступу та дослідження алгоритми підвищення пропускної здатності мережі за різних застосувань методів адаптивної просторової обробки сигналу і пакунок базису між підвищенням пропускної здатності технології MIMO та зменшення ширини помилки на прийомі. **Методи** дослідження: під час дослідження використовуються методи передачі інформації в сучасних системах бездротового доступу на основі алгоритми підвищення пропускної здатності мережі. **Наукова новизна** дослідження полягає в тому, що проведений аналіз сучасних методів бездротової передачі інформації, виявив, що просторово-часові кодування вказує на певні переваги методів просторової рознесення з можливістю використання виправлення помилок корисувальним кодом при використанні оптимальних алгоритмів декодування, при цьому ефективність дослідження та розробки нових методів просторово-часового кодування значною мірою залежать від того, наскільки моделі каналу відповідають реальним умовам. Одним з перспективних методів підвищення пропускної здатності мережі – є метод синтезу адаптивних-блокових симетрично-кодових конструкцій з використанням експертних знань з галузі просторово-часового блокового кодування в зовнішніх симетричних конструкціях, який є ефективним технічно для зменшення впливу завадань на сигнал, поліпшення якості передачі в просторово-часовій системі (PST) зв'язку. **Висновки.** Розробка цих алгоритмів та методів відкриває широкі перспективи для майбутнього розвитку бездротових комунікаційних систем. **Об'єкти** з'ясування перспектив є подальше вдосконалення методів адаптивної просторової обробки сигналу та оптимізація базису між підвищенням пропускної здатності та зменшенням ширини помилки на прийомі. **Додатково,** можливості адаптивних-блокових симетрично-кодових конструкцій можуть бути розширені шляхом дослідження та впровадження нових технологій, виправдані, використанням мінімальною навантаження для оптимізації параметрів кодування та декодування сигналу. Також існують можливості застосування цих методів у високочастотних мережах мобільного зв'язку, таких як мережі 5G/6G, що дозволять поліпшити швидкість передачі, де висока пропускна здатність та ефективність передачі даних становлять ключові вимоги.

Ключові слова: PST-мережа, просторово-часове кодування, технологія MIMO, декодування даних, двіркова фазова модуляція

Serhii Tymchuk, Iryna Baranova, Oleksiy Piskarov, Stanislav Radchenko, Taras Kurchenko

Improving noise immunity and increasing data transmission speed in Wi-Fi networks

Abstract Wireless communication systems, including computer Wi-Fi networks, are currently undergoing intensive development. The radio communication channels

20

ДОДАТОК Б

Публікації



вул. Інглезі, 6/1,
м. Одеса, Україна, 65101
www.helvetica.ua
mailbox@helvetica.ua

Стационар: 048 709 38 69
Vodafone: 095 934 48 28
Kyivstar: 097 723 06 08

ДОВІДКА

Видавничий дім «Гельветика» за домовленістю з Міжрегіональною Академією управління персоналом є офіційним видавцем журналу «Інформаційні технології та суспільство» та займається усіма видавничо-поліграфічними процесами, до яких належить: набір статей до чергового випуску; рецензування; перевірка на плагіат; коректорська вичитка; верстка; присвоєння кожному матеріалу DOI; розміщення електронної версії видання на офіційному сайті журналу; надсилання електронної версії видання до Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського на репозитарне зберігання та представлення на порталі в інформаційному ресурсі «Наукова періодика України»; розсилка обов'язкового безоплатного примірника до наукових установ України.

Цією довідкою повідомляємо, що наукова стаття Тимчука Сергія, Баранової Ірини, Піскарьова Олексія, Радченка Станіслава, Юрченка Тараса «Поліпшення завадостійкості та збільшення швидкості передачі даних у Wi-Fi-мережах» прийнята редакцією журналу «Інформаційні технології та суспільство» для розміщення у Випуску 1 (12) за 2024 рік.

Директор
Видавничого дому «Гельветика»



Олег ГОЛОВКО