

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Аналіз методів підвищення продуктивності
в AD-Нос мережах
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІМ-22-3

Широкий С.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Телекомунікації
та радіотехніка»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____
«Інформаційно-мережна інженерія»
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Бараннік В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис) Безрук В.М.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/ Широкий Є.В. /

Керівник

/ Бараннік В.В. /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова

Освітня програма «Інформаційно-мережна інженерія»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Широкому Євгену Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз методів підвищення продуктивності в AD-Hoc мережах

затверджена наказом університету від 18 березня 2024 р. № 232 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Провести аналіз технологій та принципів роботи бездротових локальних мереж. Дослідити параметри що можуть впливати на продуктивність роботи бездротової мережі. Провести рівень впливу таких параметрів та відзначити методи що дозволять підвищити ефективність роботи бездротової технології Ad-Hoc.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Огляд технологій бездротових мереж

2. Огляд методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах

3. Аналіз методів підвищення продуктивності AD-Hoc мереж

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) назва, мета і актуальність кваліфікаційної роботи; різновиди бездротових мереж; режими роботи WLAN-мереж; класифікація AD-Hoc мереж; чинники, що впливають на продуктивність бездротових мереж; технологія MIMO; аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням технології MIMO; кодування та модуляція сигналів; аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням збільшення ширини смуги пропускання каналу; використання протоколів маршрутизації; аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням використання протоколів маршрутизації; використання інтелектуальних антенних решіток; методи підвищення продуктивності AD-Hoc мереж, висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	18.03.24	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	19.03-01.04.24	виконано
3	Огляд технологій бездротових мереж	02.04-20.04.24	виконано
4	Огляд методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах	21.04-10.05.24	виконано
5	Аналіз методів підвищення продуктивності AD-Hoc мереж	11.05-13.06.24	виконано
6	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту в ЕК	14.06-18.06.24	виконано

Дата видачі завдання 18 березня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Бараннік В.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 67 с., 20 рис., 6 табл., 21 джерело, 2 додатки.

Об'єкт дослідження – бездротова мережа AD-Нос.

Мета роботи – аналіз параметрів підвищення продуктивності бездротової мережі.

У зв'язку з інтенсивним розвитком *Ad-hoc* мереж в останнє десятиліття і з урахуванням особливостей маршрутизації в цих мережах задача надійності при побудові і підтримці шляхів, що з'єднують віддалені вузли відправника і одержувача, особливо актуальна для них. У *Ad-hoc* мережах забезпечення надійності є складним завданням через те, що є велика ймовірність втрати або затримки пакетів в зв'язку з частими змінами топології, різними перешкодами, можливими атаками, які можуть впливати на коректність даних, що передаються. Алгоритми маршрутизації повинні чітко функціонувати в разі зміни топології мережі або непередбачених обставин, таких як відмови або вихід з ладу апаратури, умови високого навантаження мережі.

У роботі проведено аналіз методів підвищення продуктивності в Ad-Нос мережах. Досліджено основні принципи роботи самоорганізуючих бездротових мереж, відзначено їх особливості. Для покращення якості обслуговування проведено аналіз параметрів, що впливають на продуктивність та визначені їх оптимальні співвідношення.

БЕЗДРОТОВА МЕРЕЖА, РЕЖИМ РОБОТИ, AD-НОС, МІМО, АЛГОРИТМИ МАРШРУТИЗАЦІЇ, ПРОДУКТИВНІСТЬ МЕРЕЖІ.

THE ABSTRACT

Explanatory slip 67 p., 20 fig., 6 tab., 21 sources, 2 attach.

Object of research - AD-Hoc wireless network.

The purpose of the work - analysis of wireless network performance parameters.

In connection with the intensive development of Ad-hoc networks in the last decade and taking into account the peculiarities of routing in these networks, the task of reliability during the construction and maintenance of paths connecting remote nodes of the sender and recipient is especially relevant for them. In Ad-hoc networks, ensuring reliability is a difficult task due to the fact that there is a high probability of packet loss or delay due to frequent changes in topology, various obstacles, possible attacks that can affect the correctness of transmitted data. Routing algorithms must function clearly in the event of a change in network topology or unforeseen circumstances, such as failures or failure of equipment, conditions of high network load.

The paper analyzes the methods of increasing productivity in Ad-Hoc networks. The basic principles of self-organizing wireless networks have been studied, and their features have been noted. In order to improve the quality of service, an analysis of the parameters affecting productivity was carried out and their optimal ratios were determined.

WIRELESS NETWORK, OPERATION MODE, AD-HOC, MIMO,
ROUTING ALGORITHMS, NETWORK PERFORMANCE

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРотовИХ МЕРЕЖ	11
1.1 Класифікація технологій бездротових мереж	11
1.2 Бездротові персональні мережі	12
1.3 Бездротові міські мережі	14
1.4 Бездротові локальні мережі	16
1.5 Режими роботи WLAN-мереж	18
1.6 Мережі Ad-Нос	23
2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ В AD-НОС МЕРЕЖАХ	28
2.1 Чинники, що впливають на продуктивність бездротових мереж	28
2.2 Аналіз методів підвищення продуктивності в Ad-Нос мережах	29
2.2.1 Технологія MIMO	29
2.2.2 Кодування та модуляція сигналів	31
2.2.3 Методи підвищення продуктивності в Ad-Нос мережах на основі використання протоколів маршрутизації	35
2.2.4 Методи підвищення продуктивності в Ad-Нос мережах на основі використання інтелектуальних антенних решіток	41
2.3 Аналіз проблем мереж Ad-Нос	42
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ AD-НОС МЕРЕЖ	45
3.1 Аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням технології MIMO	45
3.2 Аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням збільшення ширини смуги пропускання каналу	46
3.3 Підвищення продуктивності з урахуванням використання протоколів маршрутизації	47
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51

ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	53
ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ.....	62

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- CDPD – Цифрова пакетна передача даних мережею мобільного зв'язку;
- DSSS – Метод розширення спектра методом прямої послідовності;
- FHSS – Технологія передачі сигналу з швидкою псевдовипадковою перебудовою частоти;
- MANET – Бездротова децентралізована мережа, що самоорганізується, що складається з мобільних пристроїв;
- MIMO – Технологія передачі даних за допомогою N антен та їх прийому M антенами;
- OFDM – Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів;
- PDA – Персональний цифровий помічник;
- QoS – Якість обслуговування;
- SDM – Просторовий поділ мультиплексування;
- TCP – Проткол транспортного рівня моделі OSI;
- VANET – Ad-Hoc мережа, яка використовується для зв'язку транспортних засобів один з одним;
- WLAN – Бездротова локальна мережа;
- WMAN – Бездротова регіональна мережа;
- WMN – Бездротова mesh-мережа;
- WPAN – Бездротова персональна мережа;
- WSN – Бездротова сенсорна мережа;
- WWAN – Бездротова глобальна мережа;
- АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

ВСТУП

Бездротові мережі дозволяють людям зв'язуватися та отримувати доступ до програм та інформації без використання дротових з'єднань. Це забезпечує свободу пересування та можливість використання додатків, що знаходяться в інших частинах будинку, міста або у віддаленому куточку світу. Існує безліч різновидів бездротового зв'язку, але найважливішою особливістю бездротових мереж є те, що зв'язок здійснюється між комп'ютерними пристроями. До них відносяться персональні цифрові помічники (personal digital assistance, PDA), ноутбуки, персональні комп'ютери (ПК), сервери та принтери. Зазвичай стільникові телефони не відносять до комп'ютерних пристроїв, проте новітні телефони і навіть головні гарнітури (навушники) вже мають певні обчислювальні можливості та мережні адаптери. Все йде до того, що незабаром більшість електронних пристроїв забезпечуватимуть можливість підключення до бездротових мереж [1].

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних мереж обумовлює необхідність пріоритетного використання бездротового доступу в мережах і впровадження самоорганізації. Нові мережі перестають володіти стійкою структурою і перетворюються в так звані бездротові самоорганізовані мережі (*Ad-hoc* мережі). Ці децентралізовані мережі не потребують використання дорогої інфраструктури для управління потоками даних, не мають постійної структури і маршрутизація в них проводиться динамічно на підставі зв'язності мережі в певний момент часу. Характеристики каналів мережі (пропускна здатність, частота появи помилок і т.п.) асиметричні і залежать від напрямку передачі [2].

У зв'язку з інтенсивним розвитком *Ad-hoc* мереж і з урахуванням особливостей їх маршрутизації задача ефективності та надійності при побудові і підтримці шляхів передачі даних особливо актуальна. Тому в кваліфікаційній роботі розглянемо варіанти підвищення ефективності самоорганізованих мереж.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Класифікація технологій бездротових мереж

Зазвичай бездротові мережі класифікують за:

- способом обробки первинної інформації (на аналогові та цифрові);
- шириною смуги передачі (на вузькосмугові, широкосмугові та надширокосмугові);
- видом інформації, що передається (на системи передачі мови, відеоінформації, та даних);
- радіусу дії (на персональні, локальні, регіональні (міські) та глобальні).

До цифрових відносять системи, у яких вхідна аналогова інформація (наприклад, голос, аналоговий телевізійний сигнал тощо) перетворюється на цифрову (дискретну) форму. З технічної точки зору система називається широкосмуговою, якщо передатна функція каналу у цій смузі істотно змінюється залежно від частоти. Також широкосмуговим доступом називають доступ до ресурсів з достатньою швидкістю, причому ця швидкість постійно збільшується. До мобільних систем зв'язку належать системи, у яких переміщення абонента у просторі незначно впливає на якість зв'язку. Серед найбільш відомих бездротових технологій можна виділити: Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, Wireless USB та ZigBee, яка спочатку розроблялася з орієнтацією на промислові застосування. У таблиці 1.1 наведені типи, сфера дії та сфери застосування бездротових технологій.

Таблиця 1.1 – Різновиди бездротових мереж

Тип	Радіус дії	Стандарти	Галузь застосування
Персональні бездротові мережі (WPAN)	До 100 м	Bluetooth, ZigBee, Wireless USB	Заміна кабелів периферійних пристроїв
Локальні бездротові мережі (WLAN)	До 300 м	IEEE 802.11, Wi-Fi	Мобільні розширення провідних мереж
Регіональні бездротові мережі (WMAN)	До 80 км	IEEE 802.16, WIMAX	Фіксований бездротовий зв'язок між будівлями та підприємствами та Internet
Глобальні бездротові мережі (WWAN)	По всьому світу	CDPD та стільникові системи телефонного зв'язку поколінь 2, 2,5 і 3	Мобільний доступ до Internet поза приміщеннями

1.2 Бездротові персональні мережі

Персональна бездротова мережа (Wireless Personal Area Network, WPAN) – це, як правило, домашні мережі для бездротової взаємодії домашньої апаратури. Радіус дії таких мереж близько 10 м. Такими стандартизованими мережами нині є Bluetooth, Zigbee, Wireless USB та ін. [3].

Технологія Bluetooth – виробнича специфікація бездротових персональних мереж. Вона забезпечує обмін інформацією між такими пристроями як кишенькові та персональні комп'ютери, мобільні телефони, ноутбуки, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, недорогій, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку (рис. 1.1). Bluetooth дозволяє цим пристроям повідомлятися, коли вони знаходяться в радіусі від 1 до 10 метрів один від одного (дальність сильно залежить від перешкод та перешкод), навіть у різних приміщеннях [3].

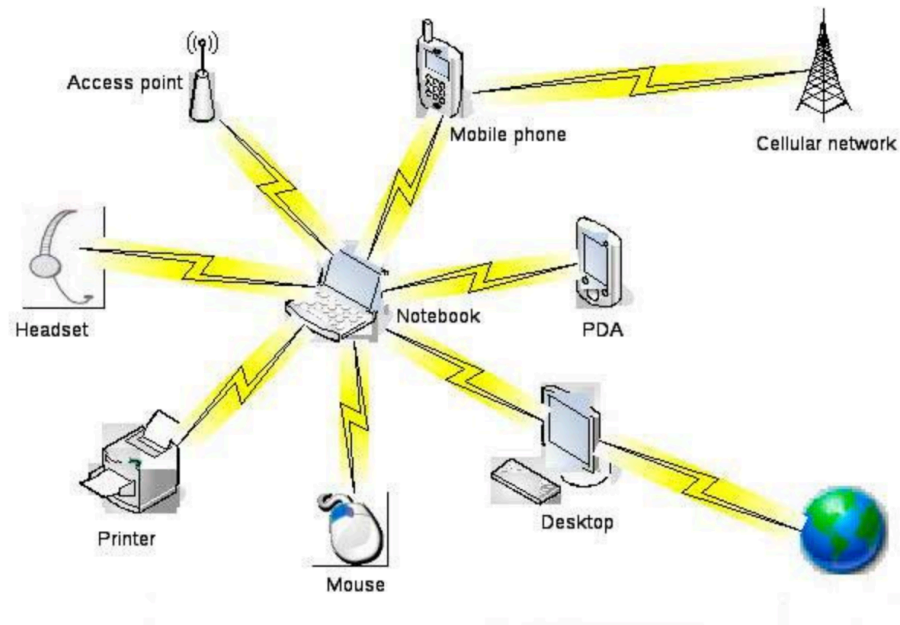
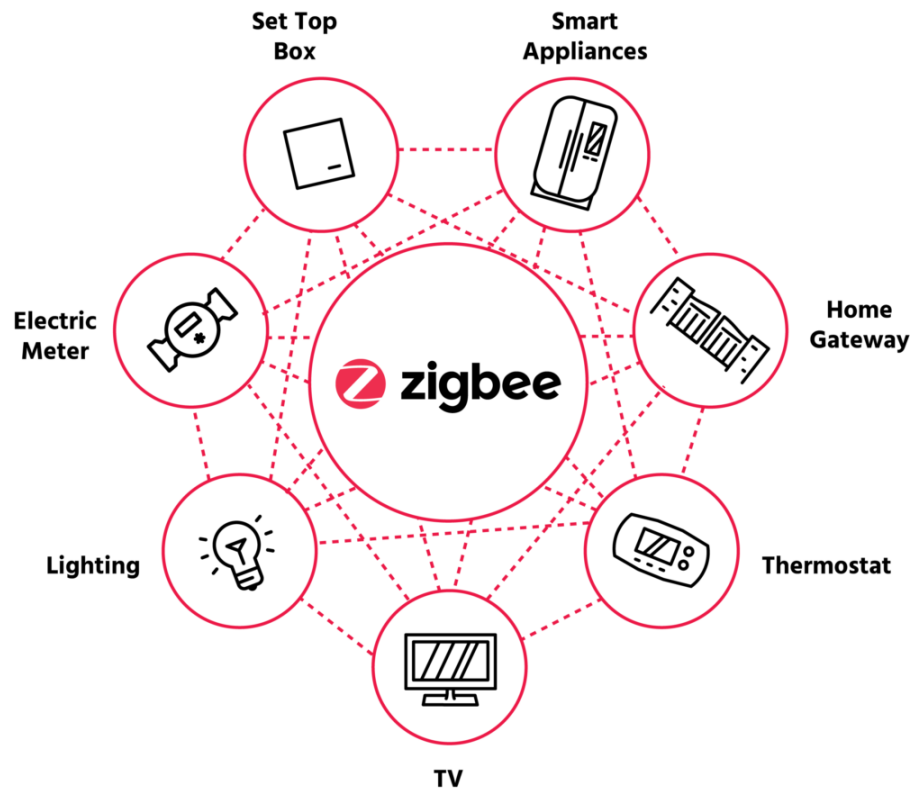


Рисунок 1.1 - Технологія Bluetooth

Технологія ZigBee – назва набору мережевих протоколів верхнього рівня, що використовують маленькі, малопотужні радіопередавачі, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. ZigBee націлена на програми, які потребують тривалий час автономної роботи від батарей і високої безпеки передачі даних, при невеликих швидкостях передачі даних (рис. 1.2). Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона за відносно невисокого енергоспоживання підтримує не лише прості топології бездротового зв'язку («точка-точка» та «зірка»), але й складні бездротові мережі з пористою топологією з ретрансляцією та маршрутизацією повідомлень. Области застосування даної технології - це побудова бездротових мереж датчиків, автоматизація житлових і приміщень, що будуються, створення індивідуального діагностичного медичного обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також при розробці побутової електроніки та персональних комп'ютерів [3].



Smart Home

Рисунок 1.2 - Технологія ZigBee

Wireless USB – це бездротова технологія, призначена для передачі даних на короткі відстані (до 10 метрів), з високою пропускнуою здатністю (до 480 Мбіт/с) та низькою споживаною потужністю. Wireless USB – це рішення для бездротової передачі високоякісного мультимедійного контенту, наприклад відео, між пристроями побутової електроніки та периферійними пристроями ПК. Одна з основних переваг технології Wireless USB полягає в тому, що вона не створює перешкод для інших бездротових технологій, що використовуються в даний час, таких як Wi-Fi, WiMAX та стільникового зв'язку [3].

1.3 Бездротові міські мережі

Бездротова мережа масштабу міста (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN) – це мережі рівня районів великого міста, всього міста чи деякого

регіону. Тут можуть бути об'єднані мережі різного типу та призначення. Такі мережі можуть мати радіус обслуговування від кількох сотень метрів до 50 і більше кілометрів. Реалізацією стандарту 802.16 є технологія WiMax. Технологія WiMax за своєю архітектурою представляє чудову можливість забезпечувати бездротовий доступ усім користувачам цифрового обладнання, включаючи обладнання бездротових мереж, технології Wi-Fi, до глобальних мереж, будучи сполучною ланкою між локальними та глобальними мережами. Стандарт 802.16 дозволяє забезпечити одночасно широкосмуговий доступ в Інтернет та передачу даних, а також послуги телефонії без використання кабельних ліній. На відміну від інших технологій радіодоступу, WiMax дозволяє працювати в умовах щільної міської забудови поза прямою видимістю базової станції. Це дуже актуально для великих мегаполісів, не потрібно встановлювати спеціальні вишки, а достатньо встановити базову станцію на дахах будівель або висотних споруд, що дозволяє швидко розгорнути таку мережу на великі відстані [4].

У загальному вигляді WiMAX мережі складаються з таких основних частин: базових та абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів та Інтернетом (рис. 1.3).

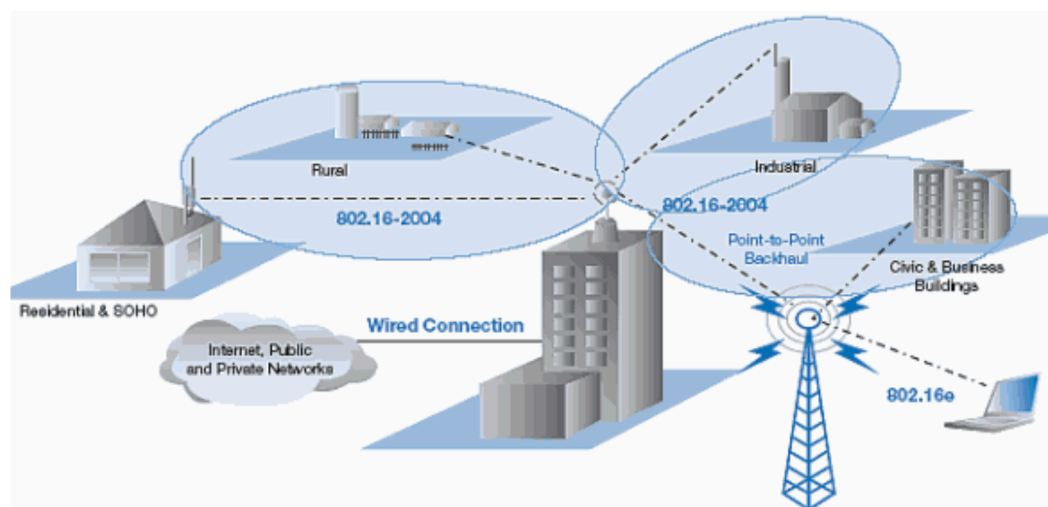


Рисунок 1.3 – Технологія WiMAX

Для з'єднання базової станції з абонентською використовується високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт/с, при цьому не потрібно забезпечення прямої видимості між базовою станцією та приймачем. WiMAX застосовується як для вирішення проблеми «останньої милі», так і для надання доступу до мережі офісних та районних мереж. Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 140 Мбіт/с. При цьому принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних провідних з'єднань. Проте, чим більше БС підключено до мереж провайдера, тим вище швидкість передачі даних і надійність мережі загалом [3].

1.4 Бездротові локальні мережі

Бездротова локальна мережа (Wireless Local Area Network, WLAN) — це мережі локального рівня обслуговування офісу чи кількох прилеглих приміщень. Бездротові локальні мережі особливо доцільні на підприємствах, де співробітники активно переміщуються по території під час робочого дня з метою обслуговування клієнтів або збору інформації (великі склади, агенції, офіси продажів та ін.) Завдяки функції роумінгу між точками доступу користувачі можуть переміщатися по території покриття мережі Wi-Fi без розриву з'єднання [2].

WLAN-мережі мають ряд переваг перед звичайними кабельними мережами:

- WLAN-мережа можна дуже швидко розгорнути, що дуже зручно під час проведення презентацій або в умовах роботи поза офісом;
- користувачі мобільних пристроїв, при підключенні до локальних бездротових мереж, можуть легко переміщатися в рамках діючих зон мережі;

- швидкості сучасних мереж досить високі (до 108 Мбіт/с), що дозволяє їх використовувати для вирішення дуже широкого спектра завдань;
- WLAN-мережа може бути єдиним виходом, якщо неможливе прокладання кабелю для звичайної мережі [1].

З усіх існуючих стандартів бездротової передачі даних IEEE 802.11, на практиці найчастіше використовуються всього чотири, визначені Інженерним інститутом електротехніки та радіоелектроніки (IEEE), це: 802.11b, 802.11a, 802.11g і 802.11n.

У стандарті 802.11b максимальна швидкість пропускної здатності становить 11 Мбіт/с. У бездротових мережах, важливим фактором є відстань від передавача до пристрою, тому що збільшення відстані позначається на якості зв'язку. Тому у 802.11b відбувається зниження швидкості при погіршенні якості сигналу до 1 Мбіт/с, 2 Мбіт/с чи 5,5 Мбіт/с. Стандарт 802.11b орієнтований працювати у сфері частот 2,4 ГГц. Фізично застосовується комплементарне кодування [5].

Стандарт 802.11a в ідеальних умовах має швидкість до 54 Мбіт/с. У менш ідеальних умовах пристрої можуть забезпечувати зв'язок зі швидкістю 48 Мб/с, 36 Мб/с, 24 Мб/с, 18 Мб/с, 12 Мб/с та 6 Мб/с. Висока пропускна здатність забезпечується, завдяки використанню методу модуляції: мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM), яке дозволяє передавати дані паралельно на множині підчастот. Це дозволяє підвищити стійкість до перешкод і оскільки одночасно надсилається більше одного потоку даних, реалізується висока пропускна здатність. На відміну від 802.11b, орієнтованого на область частот 2,4 ГГц, специфікаціями 802.11a передбачена робота у діапазоні 5 ГГц. Стандарт 802.11a не сумісний із 802.11b та 802.11g, але сумісний із 802.11n [5].

Стандарт IEEE 802.11g є логічним розвитком 802.11b і передбачає передачу даних у тому частотному діапазоні. Крім того, стандарт 802.11g складає 54 Мбіт/с. По суті стандарт IEEE 802.11g являє собою перенесення схеми модуляції OFDM, що чудово зарекомендувала себе в 802.11a, з діапазону

5 ГГц в область 2,4 при збереженні функціональності пристроїв стандарту 802.11b. Стандарт 802.11g сумісний з 802.11b та 802.11n [5].

Стандарт 802.11n підвищує швидкість передачі даних практично вчетверо порівняно з пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання режиму 802.11n усіма пристроями мережі 802.11n. Теоретично 802.11n здатний забезпечити швидкість передачі даних до 600 Мбіт/с застосовуючи передачу даних відразу з чотирьох антен. По одній антені можна передавати до 150 Мбіт/с. Пристрої 802.11n працюють у діапазонах 2,4 чи 5,0 ГГц. Це набагато підвищує гнучкість їх застосування, дозволяючи відмежовуватись від джерел радіочастотних перешкод. Крім того, пристрої 802.11n можуть працювати в трьох режимах:

- успадкованому (Legacy), в якому забезпечується підтримка пристроїв 802.11b/g та 802.11a;
- змішаному (Mixed), в якому підтримуються пристрої 802.11b/g/a/n;
- «чистому» режимі – 802.11n (саме в цьому режимі і можна скористатися перевагами підвищеної швидкості та збільшеною дальністю передачі даних, що забезпечуються стандартом 802.11n) [5].

1.5 Режими роботи WLAN-мереж

Існує кілька базових режимів роботи WLAN-мереж:

- Ad-Hoc mode ("точка-точка");
- Infrastructure mode (інфраструктурний режим);
- WDS mode (розподілена бездротова система, режим моста);
- WDS with AP mode (розподілена бездротова система з точкою доступу);
- Repeater mode (режим повторювача);
- Client mode (Режим клієнта) [6].

У режимі Ad-Hoc клієнти встановлюють зв'язок безпосередньо один з одним. Встановлюється однорангова взаємодія на кшталт «точка-точка», і комп'ютери взаємодіють безпосередньо без маршрутизаторів (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Режим Ad-Hoc

При цьому створюється лише одна зона обслуговування, що не має інтерфейсу для підключення до локальної мережі. У режимі Ad-Hoc швидкість з'єднання, зазвичай, не більше 11 Мбіт/с, незалежно від обладнання, що використовується. Хоча реальна швидкість обміну даних завжди буде нижчою, і становитиме не більше $11/N$ Мбіт/с, де N – кількість пристроїв у мережі. Дальність зв'язку становить трохи більше ста метрів, а швидкість передачі швидко падає зі збільшенням відстані.

В інфраструктурному режимі Wi-Fi маршрутизатори (що також називаються точками доступу – в англ. Access Point - AP) забезпечують зв'язок клієнтських комп'ютерів. Тобто клієнтські станції вже не зв'язуються безпосередньо одна з одною, і весь трафік курсує через AP. Маршрутизатор має порти Ethernet, якими базова зона обслуговування підключається до проводової частини мережі (рис. 1.5).

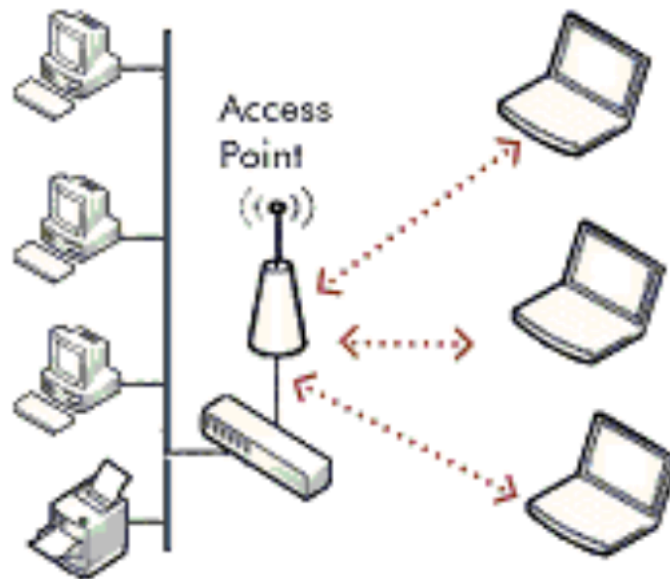


Рисунок 1.5 – Інфраструктурний режим

Термін WDS (Wireless Distribution System) розшифровується як "розподілена бездротова система". У цьому режимі точки доступу з'єднуються між собою, утворюючи мостове з'єднання. У цьому режимі кожна точка може з'єднуватися з кількома іншими точками. Всі точки в цьому режимі повинні використовувати однаковий канал, тому кількість точок, що беруть участь в утворенні моста, не повинна бути надмірно великою. Підключення клієнтів здійснюється тільки через проводову мережу через uplink-порти точок доступу. Бездротовий міст може використовуватися там, де прокладання кабелю між будинками небажане або неможливе [6].

Дане рішення дозволяє досягти значної економії коштів та забезпечує простоту налаштування та гнучкість конфігурації при переміщенні офісів. До точки доступу, що працює в режимі мосту, підключення бездротових клієнтів неможливе. Бездротовий зв'язок здійснюється лише між парою точок, що реалізують міст (рис. 1.6).

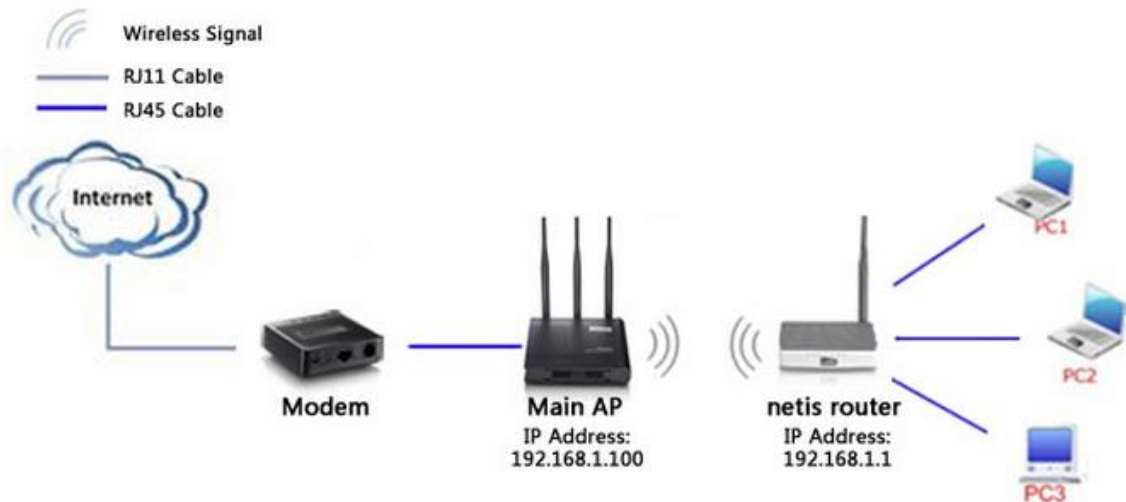


Рисунок 1.6 – Режим мосту

Термін WDS with AP (WDS with Access Point) означає «розподілена бездротова система, включаючи точку доступу», за допомогою цього режиму можна організувати як мостовий зв'язок між точками доступу, так і одночасно підключити клієнтські комп'ютери (рис. 1.7). Це дозволяє досягти суттєвої економії обладнання та спростити топологію мережі. Ця технологія підтримується більшістю сучасних точок доступу.

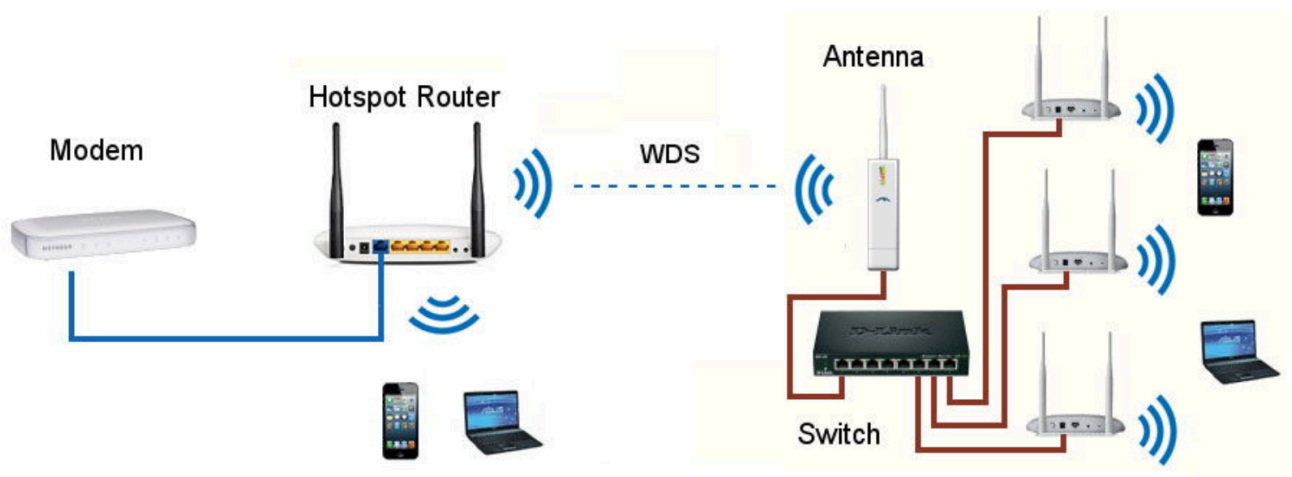


Рисунок 1.7 – Режим WDS with AP

У ситуації, коли виявляється неможливо, чи незручно, з'єднати маршрутизатор із проводовою інфраструктурою, або будь-яка перешкода

ускладнить здійснення зв'язку маршрутизатора з місцем розташування бездротових станцій клієнтів безпосередньо. У такій ситуації можна використовувати точку у режимі повторювача (Repeater). Аналогічно дротовому повторювачу, бездротовий повторювач просто ретранслює всі пакети, що надійшли на бездротовий інтерфейс. Ця ретрансляція здійснюється через той самий канал, через який вони були отримані (рал. 1.8) [6].

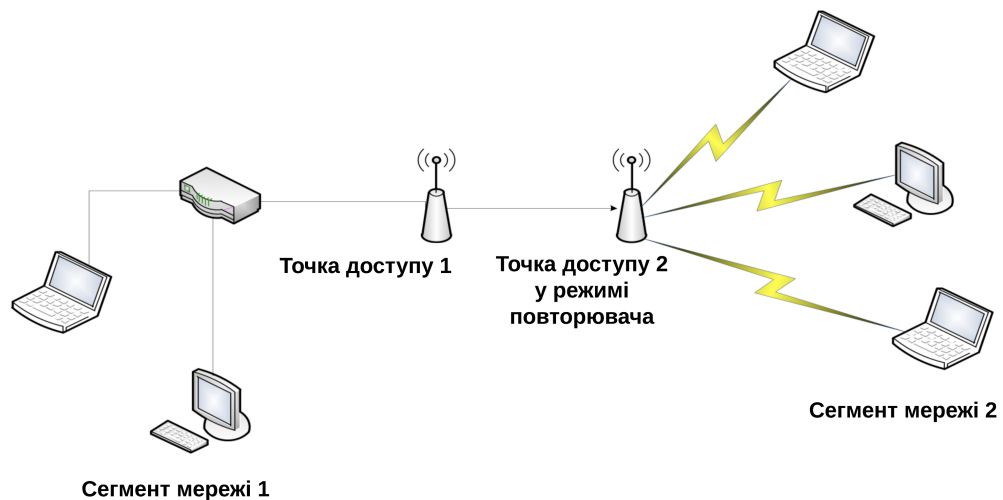


Рисунок 1.8 – Режим повторювача

При застосуванні точки доступу – повторювача слід пам'ятати, що накладання широкомовних доменів може призвести до скорочення пропускної спроможності каналу вдвічі, тому що початкова точка доступу також чує ретрансльований сигнал. Режим повторювача не включений до стандарту 802.11, тому для його реалізації рекомендується використовувати однотипне обладнання (включно до версії прошивки) від одного виробника. З появою WDS цей режим втратив свою актуальність, тому що функціонал WDS замінює його. При переході від дротової архітектури до бездротової іноді можна виявити, що наявні мережні пристрої підтримують дротову мережу Ethernet, але не мають інтерфейсних роз'ємів для бездротових мережних адаптерів. Для підключення таких пристроїв до бездротової мережі можна використовувати

точку доступу клієнта. За допомогою точки доступу-клієнта до бездротової мережі підключається лише один пристрій (рал. 1.9) [7].

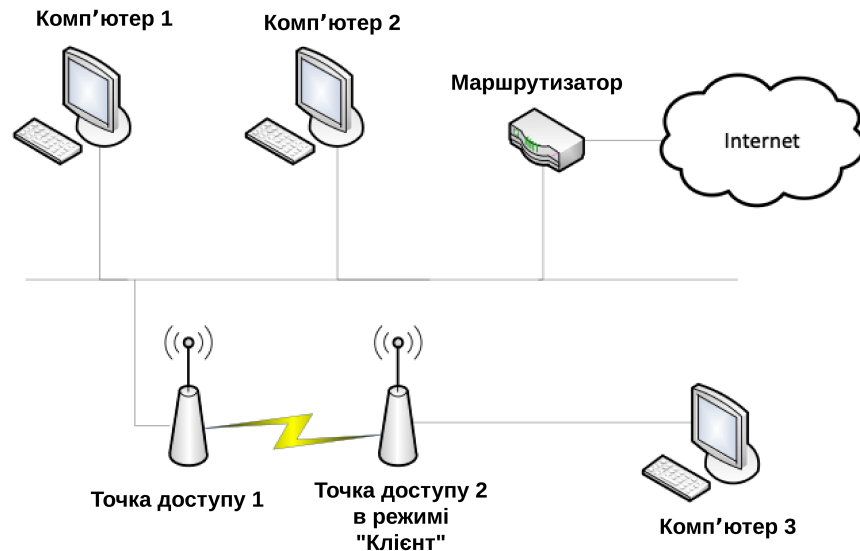


Рисунок 1.9 – Режим клієнта

1.6 Мережі Ad-Нос

Найбільш перспективним класом ширококугових бездротових мереж на сьогоднішній день є Ad-Нос мережі. Якщо у випадку традиційної бездротової мережі необхідно розгортати найчастіше дорогу інфраструктуру базових станцій, то у разі мереж, що самоорганізуються, достатньо однієї або декількох точок доступу. Всі мобільні вузли динамічно створюють спеціальну мережу (Ad-Нос мережу), не вимагаючи адміністративної підтримки. Таким чином, Ad-Нос виникають лише завдяки взаємодіям між вузлами, і лише за допомогою абонентських вузлів здійснюється контроль та керування в таких мережах [8].

Ad-hoc мережі пропонують унікальні переваги та універсальність для певних умов та для певних додатків. Так як немає фіксованої інфраструктури, базових станцій, такі мережі можуть бути створені і використовуватися в будь-який час і в будь-якому місці. Ad-hoc мережі можуть бути стійкими до відмови через те, що їх топологія не є фіксованою. Якщо всі вузли мобільні, то склад

Ad-Нос мереж динамічно змінюється в часі. Додавання та видалення вузлів відбувається тільки при взаємодії з іншими вузлами, жоден інший пристрій у цьому участі не бере. Такі переваги Ad-Нос мереж спочатку викликали інтерес у військових, рятувальних служб для використання у зонах збройних конфліктів, стихійних лих тощо [9].

Однак, останнім часом Ad-Нос мережі стали використовувати і для дому, для невеликих офісів, для спільних обчислень комп'ютерів, розташованих на невеликій території. У загальному випадку структура найпростішої мережі, що самоорганізується, являє собою велику кількість абонентів на деякій площі, яку спрощено можна назвати площею покриття мережі, і одну або кілька точок доступу до зовнішніх мереж. Кожен із абонентських пристроїв, залежно від його потужності, має свій радіус дії. Якщо абонент, перебуваючи «на периферії», посилає пакет абоненту, що знаходиться в центрі мережі або на точку доступу, відбувається так званий багатоскачковий процес передачі пакета через вузли, що знаходяться на шляху заздалегідь прокладеного маршруту. Таким чином можна сказати, що кожен новий абонент за рахунок своїх ресурсів збільшує радіус дії мережі. Отже, потужність кожного окремого пристрою може бути мінімальною. А це передбачає як менші вартості абонентських пристроїв, так і найкращі показники безпеки та електромагнітної сумісності [9].

Ad-нос мережі можуть бути класифіковані відповідно до їх застосування:

- мобільні мережі, що самоорганізуються (Mobile Ad-hoc Networks, MANET);
- бездротові mesh-мережі (Wireless Mesh Networks, WMN);
- бездротові сенсорні мережі (Wireless Sensor Networks, WSN) [9].

Мобільна бездротова мережа (MANET), яку іноді називають мобільною mesh-мережею, є мережею, що самоналаштовується, яка складається з мобільних пристроїв. Всі вузли використовують для зв'язку бездротові з'єднання. (рис. 1.10).

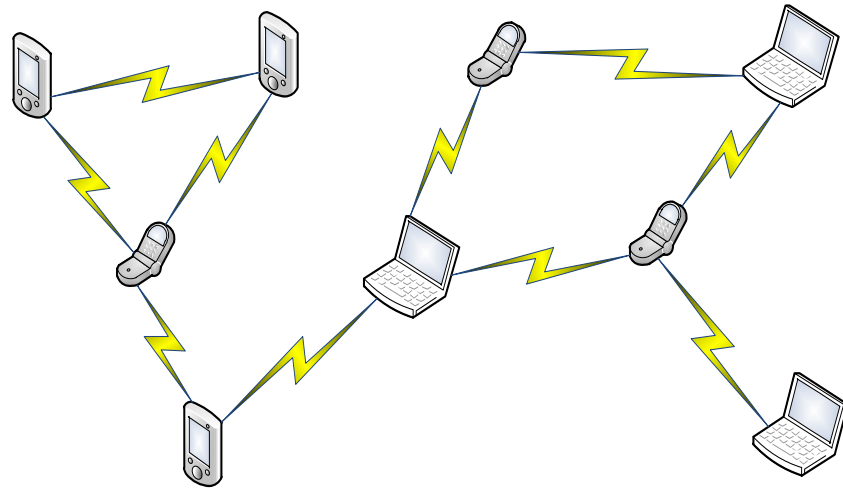


Рисунок 1.10 – Приклад архітектури мережі MANET

Всі пристрої в MANET постійно переміщуються, а отже, в мережі постійно змінюються зв'язки. Кожен вузол повинен передавати як свій вузол, отже, він виконує і функції маршрутизатора. Головне завдання створення такої мережі – зробити так, щоб усі пристрої могли постійно підтримувати актуальну інформацію для правильної маршрутизації трафіку [10].

MANET мережу також можна розділити на кілька класів:

- Vehicular Ad Hoc Network (VANET) - Ad-Нос мережа, яка використовується для зв'язку транспортних засобів один з одним, а також для їх з'єднання з придорожнім обладнанням;

- Intelligent vehicular Ad-Hoc network (InVANET) – свого роду штучний інтелект, що допомагає керувати автомобілем під час різних непередбачених ситуацій;

- Internet Based Mobile Ad hoc Network (iMANET) – Ad-Нос мережа, яка з'єднує мобільні вузли з фіксованими Internet-шлюзами. Для цього мережі звичайні алгоритми ad-hoc маршрутизації не придатні [10].

Бездротові mesh-мережі (Wireless Mesh Network, WMN) – це особливий вид Ad-Нос мереж, який має більш сплановану конфігурацію. Mesh-мережі складаються з клієнтів (ноутбуки, мобільні телефони тощо), маршрутизаторів та шлюзів (рис. 1.11) [10].

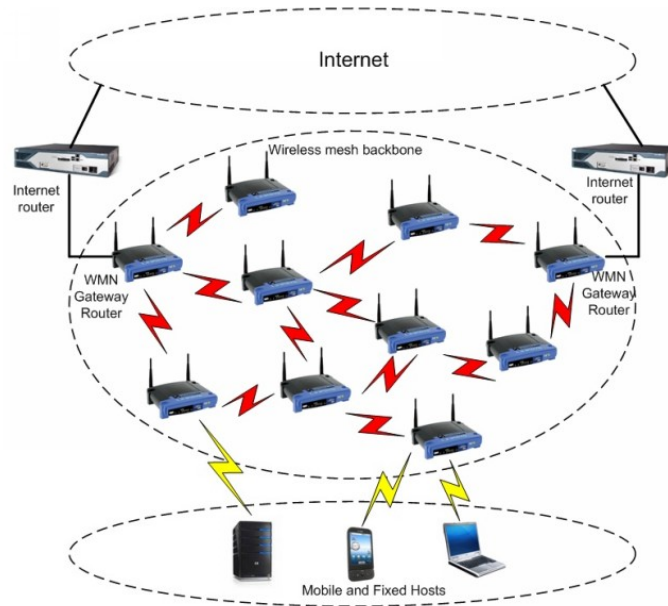


Рисунок 1.11 – Приклад бездротової mesh-мережі

Mesh-мережі надійні але мають деяку надмірність. Коли один вузол стає несправним або просто відключається від мережі, решта завжди матиме інші шляхи для зв'язку між собою. Маршрутизатори часто не обмежені з точки зору ресурсів, тому вони можуть виконувати складніші функції.

Бездротові сенсорні мережі (Wireless Sensor Network, WSN) – бездротова сенсорна мережа, що складається з просторово розподілених автономних датчиків для моніторингу фізичних та екологічних умов, таких як температура, звук, вібрації, тиск, рух, рівень забруднюючих речовин, а також для передачі спільних даних через мережу до одержувача (рис. 1.12) [10].

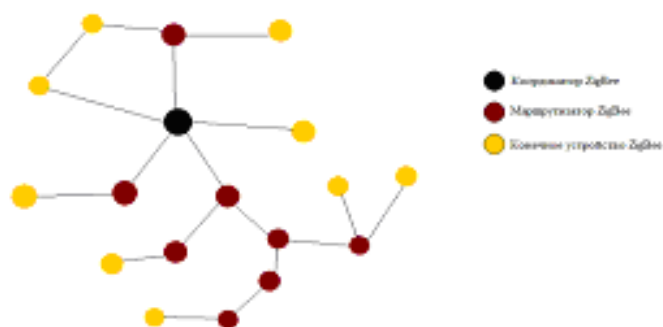


Рисунок 1.12 – Приклад архітектури бездротової сенсорної мережі

Більш сучасні мережі є двоспрямованими, що дозволяє контролювати діяльність датчиків.

Одна WSN мережа може складатись від кількох до кількох тисяч вузлів, де кожен вузол з'єднаний з одним або кількома датчиками. Кожен вузол сенсорної мережі зазвичай має кілька частин: приймач-передавач з антеною, мікроконтролером, електронною схемою для сполучення з датчиками та джерело енергії, як правило, батарея. Основні характеристики WSN:

- потужність вузлів обмежується батареєю;
- здатність справлятися із вузловими несправностями;
- мобільність вузлів;
- динамічна топологія мережі;
- неоднорідність вузлів;
- здатність витримувати суворі умови довкілля;
- простота у використанні [11].

Таблиця 1.2 – Основні характеристики стандартів бездротової мережі

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії
Bluetooth	802.15.1	WPAN	До 1Мбіт/с	До 10 м
ZigBee	802.15.4	WPAN	Від 20 до 250 Кбіт/с	1 – 100 м
WiMax	802.16	WMAN	До 75 Мбіт/с	До 80 км
Wi-Fi	802.11b	WLAN	До 11 Мбіт/с	До 300 м
Wi-Fi	802.11a	WLAN	До 54 Мбіт/с	До 300 м
Wi-Fi	802.11g	WLAN	До 54 Мбіт/с	До 300 м
Wi-Fi	802.11n	WLAN	До 600 Мбіт/с	До 300 м

Однак незважаючи на безліч переваг бездротових мереж, основною проблемою є їхня невисока продуктивність. У зв'язку з цим у роботі були проаналізовані методи підвищення продуктивності бездротових локальних мереж Ad-Hoc, тому вони є найбільш перспективними та зручними для застосування.

2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ В AD-НОС МЕРЕЖАХ

2.1 Чинники, що впливають на продуктивність бездротових мереж

У Ad-нос мережах забезпечення надійності є складним завданням через те, що є велика ймовірність втрати або затримки пакетів в зв'язку з частими змінами топології, різними перешкодами, можливими атаками, які можуть впливати на коректність даних, що передаються. Алгоритми маршрутизації повинні чітко функціонувати в разі зміни топології мережі або непередбачених обставин, таких як відмови або вихід з ладу апаратури, умови високого навантаження мережі [15].

Пропускні здібності каналів зв'язку в сучасних провідних і бездротових технологіях значно різняться, тому що дані в бездротових мережах передаються за допомогою радіохвиль, які схильні до значних спотворень у ході передачі інформації. Продуктивність бездротових мереж і, зокрема, мереж Ad-Нос залежить від низки факторів:

- співвідношення сигнал/шум;
- розташування сусідніх пристроїв;
- конструкція будівлі;
- архітектура бездротової мережі;
- тип клієнтів (їх сумісність);
- інтерференція.

Виходячи з цього, нижче будуть наведені відомі на даному етапі розвитку бездротових мереж методи, які можуть підвищити продуктивність Ad-Нос мереж.

2.2 Аналіз методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах

У сучасних бездротових мережах є необхідність підвищення пропускної спроможності. Пропускна здатність може бути збільшена за допомогою розширення смуги частот або підвищення випромінюваної потужності. Тим не менш, застосування цих методів має недоліки, так як через вимоги біологічного захисту та електромагнітної сумісності підвищення потужності і розширення смуги частот обмежено. Тому, якщо в системах зв'язку можливі підвищення випромінюваної потужності і розширення смуги частот не забезпечують необхідну швидкість передачі даних, то одним з найефективніших способів вирішення цієї проблеми може бути застосування адаптивних решіток з антенними елементами. Системи зв'язку, які використовують такі антени, отримали назву MIMO систем (Multiple Input Multiple Output) [10].

2.2.1 Технологія MIMO

Технологія MIMO була вперше застосована і відіграла важливу роль у роботі Wi-Fi стандарту 802.11n. При використанні MIMO для передачі застосовуються кілька антен різного роду, що налаштовані на один і той самий канал. При цьому кожна антена передає сигнал із різними просторовими характеристиками. Таким чином, технологія MIMO використовує спектр радіохвиль більш ефективно та без шкоди для надійності роботи.

Кожен Wi-Fi приймач «прислухається» до всіх сигналів від кожного Wi-Fi передавача, що дозволяє робити шляхи передачі більш різноманітними (рис. 2.1). Таким чином, кілька шляхів можуть бути перекомбіновані, що призведе до підсилення необхідних сигналів бездротових мережах [10].

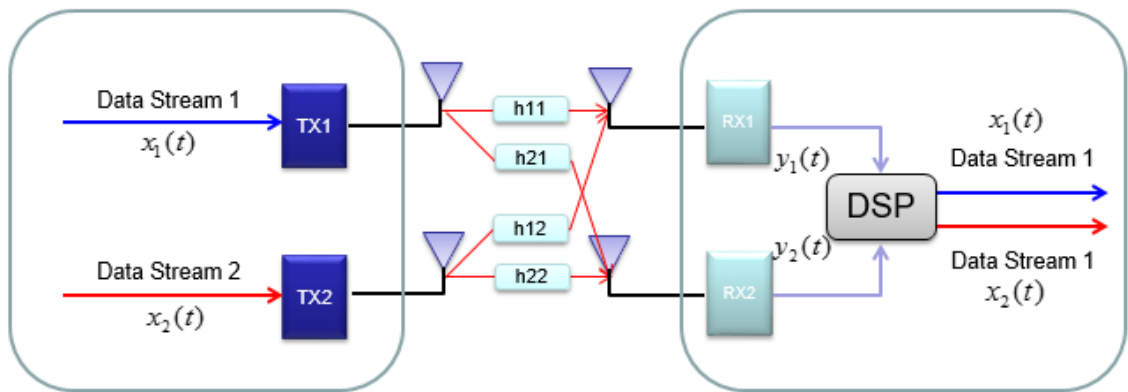


Рисунок 2.1 – Принцип передачі сигналів у технології MIMO

Ще один плюс технології MIMO в тому, що ця технологія забезпечує просторовий розподіл мультиплексування (Spatial Division Multiplexing, SDM). SDM просторово ущільнює кілька незалежних потоків даних одночасно (в основному, віртуальних каналів) всередині спектральної смуги пропускання каналу. По суті, кілька антен передають різні потоки даних з індивідуальним кодуванням сигналів (просторові потоки). Ці потоки, рухаючись паралельно у просторі сумарно передають більше даних по заданому каналу. На приймачі кожна антена фіксує поєднання сигнальних потоків, після чого проводиться їх демультимплексування.

MIMO SDM може значно збільшити пропускну здатність передачі даних, якщо збільшити кількість просторових потоків даних. Кожному просторовому потоку необхідні свої власні передавальні/приймаючі (TX/RX) антенні пари на кожному кінці передачі. Також для реалізації технології MIMO потрібен окремий радіочастотний ланцюг та аналого-цифровий перетворювач (АЦП) для кожної антени. Реалізації, що вимагають більше двох антен у ланцюгу, повинні бути ретельно спроектовані для того, щоб не збільшувати витрати при збереженні належного рівня ефективності [11].

Важливим інструментом для підвищення фізичної швидкості передачі даних у бездротових мережах є також розширення смуги пропускання спектральних каналів. Завдяки використанню ширшої смуги пропускання каналу з ортогональним частотним розподілом мультиплексування (Orthogonal

frequency-division multiplexing, OFDM) передача даних здійснюється з максимальною продуктивністю. OFDM є цифровою модуляцією, яка чудово себе зарекомендувала як інструмент для здійснення двонаправленої високошвидкісної бездротової передачі даних у WiMAX/Wi-Fi мережах [8].

На сьогоднішній день метод розширення пропускної спроможності каналів є найкращим варіантом реалізації з урахуванням співвідношення ціна/якість. Так при його застосуванні в стандарті 802.11n досягли подвоєння частоти смуги пропускання з 20 МГц каналу на 40 МГц. Методом варіації використання різних рівнів QAM-модуляції також можна забезпечити більш ніж удвічі збільшену пропускну здатність каналів.

Завдяки об'єднанню MIMO архітектури з ширшою смугою пропускання каналу виходить дуже потужний та економічно доцільний підхід для підвищення фізичної швидкості передачі. Спільне застосування технологій MIMO та розширення каналу відповідає всім вимогам користувача і є досить надійним тандемом. У цілому технологія MIMO дозволяє підвищити продуктивність роботи мережі у 1,5 – 1,8 раз.

2.2.2 Кодування та модуляція сигналів

Для підвищення продуктивності та якості бездротових мереж також застосовуються різні види кодування та модуляції сигналу. Розглянемо варіанти, що прописані в стандарті 802.11.

Сенс методу розширення спектра прямої псевдовипадковою послідовністю (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) полягає у приведенні вузькосмугового спектру сигналу до його широкосмугового виду, що дозволяє збільшити стійкість переданих даних до перешкод. При використанні методу широкосмугової модуляції з прямим розширенням 2483,5 МГц ділиться на 11 каналів, що перекриваються або три таких, що не перекриваються, з проміжком в 25 МГц (рис. 2.2). Фактично це означає, що різне обладнання може для передачі паралельно використовувати три канали, при цьому не заважаючи працювати один одному. Для пересилання даних використовується лише один

канал. Щоб підвищити якість передачі і знизити споживану при цьому енергію (за рахунок зниження потужності сигналу, що передається), використовується послідовність Баркера, яка характеризується досить великою надмірністю. Надмірність коду дозволяє уникнути повторної передачі даних, навіть якщо пакет частково пошкоджений [8].

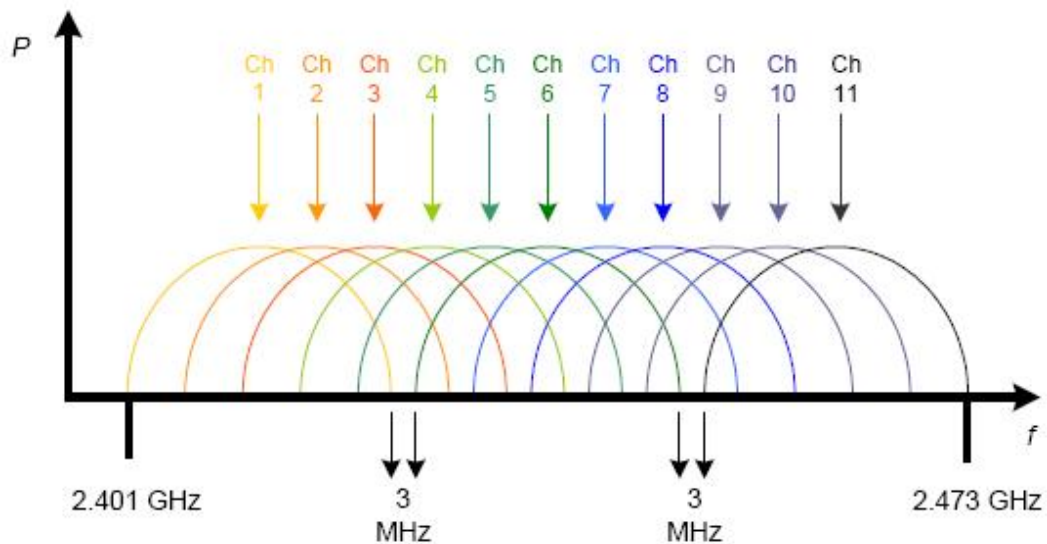


Рисунок 2.2 – Розбиття смуги пропускання у методі DSSS

На відміну від DSSS, при використанні методу широкопasmової модуляції зі стрибкоподібним перебудовою (Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS) частотний діапазон 2400-2483,5 МГц ділиться на 79 каналів шириною по 1 МГц. Дані передаються послідовно різними каналами, створюючи певну схему перемикавання між каналами (рис. 2.3). Усього існує 22 такі схеми, причому схему перемикавання узгоджують відправник та одержувач даних. Схеми перемикавання розроблені в такий спосіб, що мінімізувати шанс використання одного каналу різними відправниками. Перемикавання між каналами відбувається дуже часто, та з малою шириною каналу (1 МГц). Тому метод FHSS у роботі використовує весь доступний діапазон частот, отже, і всі канали [8].

Крім DSSS та FHSS у стандарті прописано використання методу ортогонального частотного мультимплексування (Orthogonal frequency-division

multiplexing, OFDM), що є одним із швидкісних методів передачі даних. На відміну від методів DSSS і FHSS, за його допомогою можна паралельно передавати дані у кількох частотах радіодіапазону (рис. 2.4). При цьому інформація розбивається на частини, що дозволяє не тільки збільшити швидкість, а й покращити якість передачі. Даний метод модуляції сигналу може працювати у двох діапазонах – 2,4 та 5 ГГц [9].

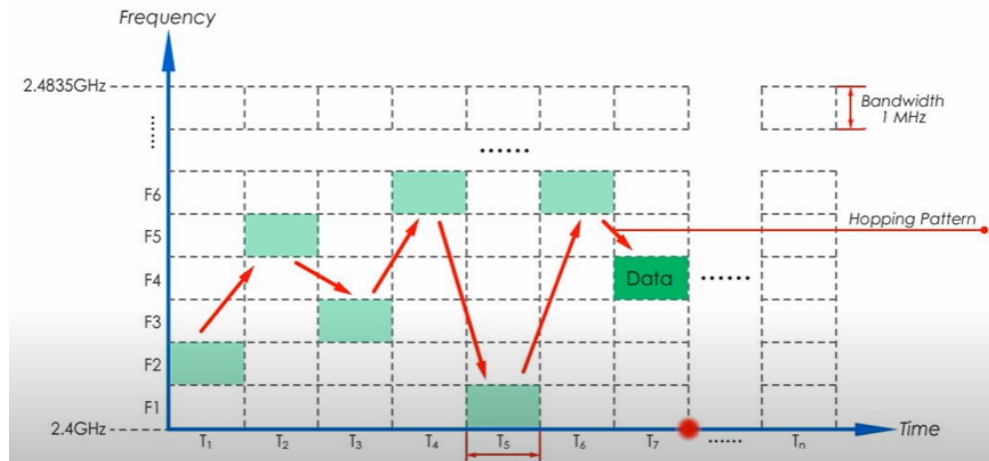


Рисунок 2.3 – Схема перемикання між каналами у FHSS

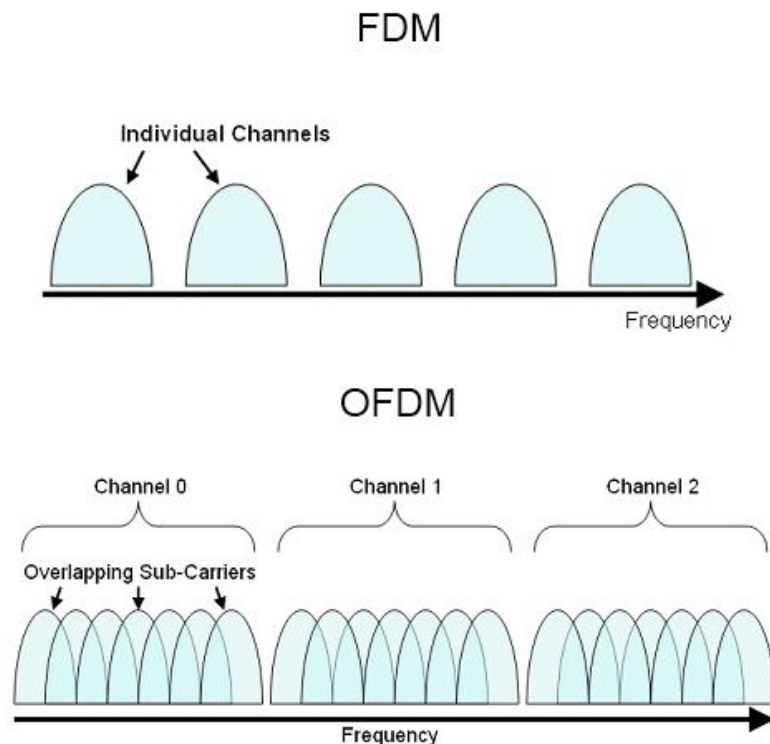


Рисунок 2.4 – Розбиття частот на піддіапазони у OFDM

Щоб підвищити завадостійкість сигналу, що передається, тобто збільшити ймовірність безпомилкового розпізнавання сигналу на приймальній стороні в умовах шуму, можна скористатися методом переходу до широкосмугового сигналу, додаючи у вихідний сигнал надмірність. Для цього в кожен інформаційний біт, що передається, «вбудовують» певний код, що складається з послідовності так званих чіпів. Отже, після підбору спеціальних поєднань послідовності чіпів і перетворення вихідного сигналу практично в шум, що не розпізнається в процесі передачі, при прийомі такий сигнал множиться на спеціальну кореляційну функцію (код Баркера). В результаті цього всі шуми стають в 11 разів слабшими, і залишається тільки корисна частина сигналу - безпосередньо дані [9].

Для стиснення біт даних застосовується технологія шифрування з використанням комплементарних кодів (Complementary Code Keying), що дозволяє досягти підвищення швидкості передачі інформації. Спочатку ця технологія використовувалася в стандарті IEEE 802.11b, що дозволило досягти швидкості передачі даних 5,5 та 11 Мбіт/с. За допомогою ССК можна кодувати кілька бітів в один символ. Зокрема, при швидкості передачі даних 5,5 Мбіт/с 1 символ дорівнює чотирьом бітам, а при швидкості 11 Мбіт/с один символ дорівнює 8 бітам даних. Даний спосіб кодування можна описати досить складними системами – математичними рівняннями, в основі яких лежать комплементарні восьмирозрядні комплексні послідовності [9].

Технологія гібридного кодування ССК-OFDM використовується при роботі обладнання як з обов'язковими, так і з можливими швидкостями передачі даних. Як згадувалося, під час передачі інформації застосовуються пакети даних, що мають спеціальну структуру із службовим заголовком. При використанні гібридного кодування ССК-OFDM службовий заголовок пакета будується за допомогою ССК-кодування, а самі дані – за допомогою OFDM-кодування [12].

Технологія квадратурної амплітудної модуляції (QAM) використовується при високих швидкостях передачі даних (починаючи зі швидкості 24 Мбіт/с). Її суть полягає в тому, що швидкість передачі даних підвищується за рахунок одночасної зміни двох показників: фази сигналу та його амплітуди. При цьому у мережах Wi-Fi раніше використовувалися модуляції 16-QAM та 64-QAM, які дозволяють кодувати 4 біти в одному символі при 16 різних станах сигналу (у першому випадку) та 6 бітів в одному символі при 64 різних станах сигналу (у другому). Зазвичай 16-QAM забезпечує швидкості передачі даних 24 і 36 Мбіт/с, а 64-QAM - швидкості передачі даних 48 і 54 Мбіт/с. На сьогоднішній день у нових стандартах застосовуються QAM до 256 рівня. Застосування різних видів кодування та модуляції підвищує продуктивність мереж в середньому в 0,6 - 0,8 разів.

2.2.3 Методи підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах на основі використання протоколів маршрутизації

В Ad-Hoc мережах продуктивність можна підвищити за рахунок використання протоколів маршрутизації. У такій мережі кожен вузол може виконувати функції маршрутизатора та брати участь у ретрансляції пакетів даних. Для цієї технології, як і будь-яких бездротових систем, характерні обмежена смуга пропускання і зона радіовидимості. У результаті протоколи та технічні рішення, що використовуються в класичних дротових мережах, наприклад, централізована маршрутизація з ієрархією заздалегідь призначених маршрутизаторів, у мережах Ad-Hoc виявляються неефективними і не забезпечують потрібну продуктивність [13].

Для успішного застосування в Ad-Hoc мережах протоколи маршрутизації повинні мати такі якості:

- бути розподіленими. Всі вузли в мережі повинні бути здатні здійснювати маршрутизацію та не мати жорстко закріплених за собою функцій;

- забезпечувати надійну доставку пакетів в умовах топології мережі, що постійно змінюється, коли затруднено використання класичних механізмів гарантованої доставки, як, наприклад, на транспортному рівні в протоколі TCP;
- забезпечувати малий час побудови маршруту в умовах топології мережі, що постійно змінюється;
- мати механізми оперативного виявлення розриву маршруту та його відновлення;
- не допускати утворення петель у маршрутах;
- розсилати при функціонуванні якомога менший обсяг службової інформації;
- мати високу масштабованість, тобто забезпечувати високу продуктивність мережі при різних її розмірах;
- підтримувати QoS.

Підвищити надійність *Ad-hoc* мереж можна за рахунок використання алгоритмів багатошляхової маршрутизації, які, на відміну від алгоритмів одношляхової маршрутизації, дозволяють балансувати завантаженість мережі, забезпечувати більшу відмовостійкість і надійність. Недолік багатошляхової маршрутизації в тому, що таблиці маршрутизації займають більший об'єм, ніж при використанні одношляхової маршрутизації, а самі алгоритми стають складніше [15].

Протягом останніх років було запропоновано і розроблено безліч багатошляхових протоколів і методів маршрутизації для *Ad-hoc* мереж. Існуючі на даний момент протоколи прийнято класифікувати за принципом роботи [2–4, 7]. Тут виділяють три основні групи – проактивні, реактивні і гібридні протоколи.

Кожен клас протоколів має свої переваги і недоліки при використанні в умовах бездротових *Ad-hoc* мереж. В проактивній маршрутизації (протоколи *OSPF*, *OLSR*, *TBRPF*, *FSR* і ін.) адресація може бути простою в реалізації, але вона не може масштабуватися для великих мереж. Реактивні протоколи (*AODV-BR*, *AOMDV*, *TORA*, *ROAM*, *MDSR*, *SMR*) також мають проблеми з

масштабуванням. Щоб підвищити показник масштабування, необхідно контролювати виявлення і обслуговування маршруту. Це може бути досягнуто шляхом локалізації поширення керуючого повідомлення в певному сегменті, де знаходиться пункт призначення [2].

Гібридні протоколи маршрутизації (*SPREAD*, *ZRP*, *NAMP*, *E-NAMP*, *H-SPREAD*) є протоколами нового покоління. Ці протоколи комбінують механізми проактивних і реактивних протоколів. Як правило, вони розбивають мережу на безліч мереж (зон), всередині яких функціонує проактивний протокол, а взаємодія між цими мережами здійснюється реактивними методами. Перевага цих протоколів полягає в тому, що вони підтримують сильний мережевий зв'язок (проактивно) в зонах маршрутизації при визначенні віддаленого маршруту (за межами зони маршрутизації) швидше, ніж інші, а також вони можуть взаємодіяти з іншими протоколами маршрутизації для підвищення продуктивності і надійності [2].

Окрім різниці по принципу роботи між протоколами маршрутизації існують також інші відмінності, що впливають на надійність.

На підставі дослідження існуючих протоколів у наукових джерелах виявлено, що у всіх протоколах значний вплив на забезпечення надійності маршрутизації здійснюють такі характеристики як методика пошуку маршруту, ступінь контролю зміни топології та наявність резервування [4–12]. Тому приведемо результати дослідження саме цих показників протоколів.

Багатошляхові протоколи використовують різні варіанти пошуку шляхів до одержувача. Найвідоміші варіанти: пошук маршруту від джерела, покроковий і гібридний. Характеристики кожної з груп зведені в табл. 2.1.

Метод покрокової маршрутизації використовується багатошляховими протоколами *AOMDV*, *CHAMP*, *MSR*, *SMR* і *ROAM*.

Розглядаючи характеристики кожної з підгруп (табл. 2.1), можна відзначити, що через постійно змінну топологію *Ad-hoc* мереж при маршрутизації від джерела можливі втрати пакетів даних. Тому більш надійними будуть протоколи покрокової і гібридної маршрутизації. У них

кожний вузол передає пакет на наступний тільки після перевірки можливості передачі. Гібридний спосіб дозволяє також вибирати ключові (більш надійні) вузли, через які буде здійснюватися передача. Ймовірність втрат пакетів при маршрутизації від джерела можливо зменшити при використанні тимчасового кешування даних (така можливість є у протоколі *CHAMP*).

Таблиця 2.1 – Характеристика протоколів багатошляхової маршрутизації по вузлу пошуку маршруту

Пошук маршрута		
Від джерела (англ. <i>source routing</i>)	Покроковий (англ. <i>intermediate routing</i>)	Гібридний (англ. <i>hybrid</i>)
Пошук шляху для передачі пакетів здійснює вузол, який є джерелом. У заголовку переданого пакета міститься інформація про увесь шлях просування пакета. Проміжні вузли здійснюють лише пересилання пакета без додаткової обробки і побудови своєї таблиці маршрутизації.	Весь шлях до одержувача не будується відразу. Джерело передає пакет на кожний наступний проміжний вузол. Проміжні вузли направляють пакет до одержувача.	Вузол джерела шукає непересічні шляхи до одержувача через проміжні вузли і спочатку відправляє пакети до них, а звідти вони будуть спрямовані до одержувача. При цьому важливим моментом є вибір ключових вузлів, через які здійснюється передача.
Недоліки – погана масштабованість Переваги – забезпечує знаходження непересічних шляхів	Недоліки – ускладнюється і подовжується процедура прокладання маршруту Переваги – може застосовуватися в великих масштабованих мережах та мережах зі змінною топологією.	Переваги – об'єднує позитивні якості двох інших методик

При виборі оптимального протоколу маршрутизації важливим фактором є базовий алгоритм пошуку шляхів. У багатошляховій маршрутизації можна виділити два основні види алгоритмів: статичні і динамічні.

Принципова різниця між статичними і динамічними протоколами – у рівні контролю зміни топології і навантаженні мережі при виборі маршруту. Відмінності динамічних і статичних протоколів, приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика протоколів за ступенем контролю зміни топології

Протоколи маршрутизації			
Динамічні			Статичні
Дистанційно-векторні (англ. <i>Distance Vector Algorithms, DVA</i>)	На основі стану зв'язку (англ. <i>Link State Algorithms, LSA</i>)	Гібридні	
Пристрої періодично широкомовно розсилають по мережі вектор (відстань від даного пристрою до всіх відомих йому мереж (число хопів) або час проходження пакетів по мережі між сусідніми пристроями). При отриманні вектора від сусіда пристрій нарощує відстані до зазначених в векторі мереж на відстань до даного сусіда.	Протоколи забезпечують кожен пристрій інформацією, достатньою для побудови точного графу зв'язків мережі. Широкомовлення між сусідами використовується тільки при змінах стану зв'язків	Гібридні протоколи працюють за принципами дистанційно-векторних протоколів, але будують таблиці маршрутизації, як протоколи стану зв'язку	Припускають знаходження декількох шляхів між кожною парою «джерело – одержувач» заздалегідь. Дані маршрути записуються в таблицю маршрутизації і використовуються при передачі даних
Недоліки – зміни конфігурації обробляються за цим алгоритмом не завжди коректно. У великих мережах засмічують лінії зв'язку інтенсивним широкомовним трафіком. Переваги – добре працюють в невеликих мережах.	Недоліки – при зміні конфігурації засмічують лінії зв'язку інтенсивним широкомовним трафіком. Переваги – робота пристроїв на підставі однакових графів робить процес маршрутизації стійкішим до змін конфігурації	Недоліки – при зміні конфігурації засмічують лінії зв'язку інтенсивним широкомовним трафіком. Переваги – стійкі до змін конфігурації	Недоліки – володіють великою обчислювальною складністю, не мають гнучкості при зміні топології або навантаження в мережі. Переваги – дозволяють враховувати кілька критеріїв при виборі маршруту

Приведені характеристики показують, що статичні алгоритми не найкращий вибір для використання в *Ad-hoc* мережах, адже вони не володіють достатньою гнучкістю при динамічній зміні топології і навантаженні в мережі через велику обчислювальну складність. Такі алгоритми найкраще

використовувати в стабільних мережах, де рідко відбуваються зміни і потрібно постійно підтримувати жорстко заданий коефіцієнт готовності передачі даних.

А от динамічні протоколи, що засновані на лавинних алгоритмах маршрутизації, навпаки, здатні динамічно реагувати на зміни топології мережі, і відповідно будуть більш ефективними в таких умовах роботи. Протоколами цієї групи є *AOMDV*, *AODV*, *OLSR*, *IGRP* та *EIGRP*.

Таблиця 2.3 – Характеристика протоколів багатошляхової маршрутизації за типом резервування

Протоколи маршрутизації по типу резервування		
Без виділеного резерву		З резервуванням
Рівномірний розподіл балансування навантаження (лавинна маршрутизація)	Виважений розподіл балансування навантаженням (критеріальний підхід)	
Пакети рівномірно розподіляються по всім знайденим шляхам незалежно від адрес джерела і призначення (пакетний розподіл). Якщо при направленні пакетів виконується аналіз адреси одержувача, говорять про рівномірний розподіл за адресою одержувача.	Передбачає розрахунок деяких критеріїв (смуга пропускання, значення затримки і т.п.), на підставі яких знайденим шляхам присвоюються коефіцієнти розподілу трафіку. І в разі відмови одного або декількох шляхів дані критерію враховуються при перерозподілі трафіку зі шляху, що відмовив.	Алгоритми, в яких виділяється додатковий резервний канал. Цей канал може бути спільно використовуваним з іншою групою шляхів (<i>shared-link</i>) або відноситися тільки до однієї групи. Дана умова дозволяє управляти коефіцієнтом готовності шляху для забезпечення необхідних гарантій якості обслуговування.
Переваги – вибрані шляхи забезпечують саморезервування і не вимагають виділення додаткових ресурсів.	Недоліки – значно зростає складність алгоритму і час розрахунку маршруту. Переваги – забезпечується більша гнучкість з точки зору задоволення вимог якості.	Недоліки – вимагають виділення додаткових ресурсів. Переваги – забезпечується додаткова гарантія надійності передачі пакетів даних.

Ще однією типовою ознакою надійності протоколів багатошляхової маршрутизації є наявність резервування даних при передачі.

Найбільшого поширення набули методи без виділеного резервування. В цьому випадку вибрані шляхи забезпечують саморезервування і не вимагають виділення додаткових ресурсів. При цьому всі шляхи використовуються з

оптимальним розподілом навантаження по ним, що є перевагою таких методів [15].

У протоколах з виділеним резервуванням, формується додатковий маршрут передачі. При цьому він може використовуватися спільно з іншою групою шляхів або може відноситися тільки до однієї групи. Дана умова дозволяє управляти коефіцієнтом готовності шляху для забезпечення необхідних гарантій якості обслуговування. HSR і PRP є новітніми протоколами даної групи, в останій час вони отримали найбільшу поширеність серед протоколів з виділеним резервуванням [15].

У таблиці 2.3 представлено характеристики протоколів за типом резервування. Обидві групи протоколів, з саморезервуванням чи виділенням додаткового резервного каналу, вже сприяють підвищенню показника надійності так як резервування входить в загальний принцип забезпечення надійності.

2.2.4 Методи підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах на основі використання інтелектуальних антенних решіток

Найпростіші інтелектуальні антени, що призначені для прийому радіосигналів, широко використовуються в точках доступу і адаптерах бездротових локальних мереж. Така антена складається з двох елементів (випромінювачів) та внутрішнього комутатора, що приєднує до приймача той елемент, який приймає потужніший сигнал. Вона допомагає зменшити негативний ефект багатопроменевого поширення радіохвиль, викликаного їх відбиттям від різних предметів, внаслідок чого один і той же переданий радіосигнал багаторазово (з різною часовою затримкою) надходить на вхід приймача точки доступу, і це призводить до сильного ослаблення сигналу [14].

Для збільшення зони дії бездротової мережі потрібні ще більш інтелектуальні антени, до яких відносяться фазовані антенні ґрати (рис. 2.5). Така антена функціонує як точка доступу, а його ґрати наводять радіопромінь на клієнтський пристрій стандарту 802.11. Така антенна система значно підвищує дальність зв'язку (особливо надворі). Однак фазовані антенні решітки, як правило, мають значні габаритні розміри та коштують дорого.

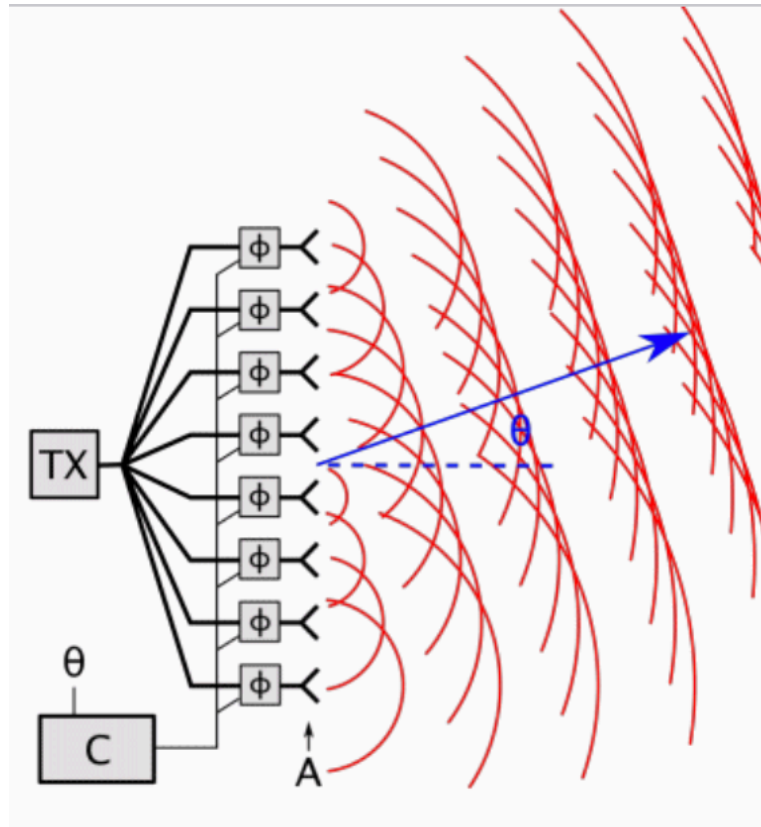


Рисунок 2.5 - Фазовані антенні ґрати

Ще один варіант реалізації інтелектуальної антени – адаптивні ґрати. Вони представляють собою елементи решітки, за допомогою яких сигнали множаться на певні вагові коефіцієнти, а потім сумуються. Адаптивна решітка може бути реалізована у вигляді додаткової підсистеми, що приєднується до пристрою Wi-Fi. Використання інтелектуальних або фазованих антенних ґрат дозволяє підвищити продуктивність бездротової мережі в 1,3 – 1,7 разів.

2.3 Аналіз проблем мереж Ad-Нос

Оскільки мережі, що самоорганізуються, бездротові, то їм притаманні і проблеми традиційних бездротових мереж. Зокрема, це проблеми, пов'язані з енергоефективністю, синхронізацією, електромагнітною сумісністю, безпекою та іншими. При вирішенні даних проблем у різних технологіях доступу можуть застосовуватись завадостійкі види модуляції, апаратні та програмні технології MIMO [4].

За результатами проведеного в роботі аналізу слід зазначити, що більшість проблем у мережах, що самоорганізуються, є взаємопов'язаними і повинні вирішуватися комплексно. Так в ході аналізу встановлено, що в даний час однією з важливих проблем залишається місцезнаходження вузлів. Без вирішення цієї проблеми практично неможливо вирішити завдання формування повної топології мережі, та ще й тієї що може постійно змінюватися. Зараз для вирішення цієї проблеми існує безліч підходів, зокрема, метод триангуляції, який дозволяє досить точно визначити місце розташування вузлів мережі навіть в умовах динамічної топології мережі.

Існують також проблеми, пов'язані з управлінням мережею, оскільки методи, що застосовуються в мережі Ad-Hoc повинні враховувати її динаміку і своєчасно реагувати на всі зміни. Крім цього, як було зазначено вище, у таких мережах часто неможливо застосовувати методи управління, які застосовуються у традиційних мережах через орієнтованість на централізоване управління. Одним із можливих рішень цієї проблеми є використання позитивних властивостей централізованого та децентралізованого підходів управління мережею. Крім цього, технології доступу, що використовуються в самоорганізованих мережах також мають ряд недоліків, які призводять до обмеження в застосуванні [16].

В даний час однією з важливих проблем є пошук та створення ефективних протоколів маршрутизації, оскільки більшість існуючих протоколів ефективні тільки в невеликих мережах і стикаються з проблемою масштабованості. При цьому залежно від виду мережі, що самоорганізується, їх використання може призвести до неефективного розподілу ресурсів мережі, а іноді і до її непрацездатності. Вирішення проблем ефективною маршрутизацією присвячені роботи [9 - 11], але питання залишається відкритим.

Також, відзначимо важливість вирішення наступних завдань та усунення низки проблем [4]:

1. Проблема пропускної спроможності каналів від абонента до абонента («точка»-«точка»), і пропускної спроможності мережі загалом.
2. Забезпечення стійкості до перешкод в умовах щільної забудови, пересування абонентів і високого рівня інтерференції між пристроями мережі.
3. Забезпечення безпеки трафіку, що передається, та його захист від перехоплення та фальсифікації.

4. Проблема ефективної маршрутизації залежно від заданих умов оточення та типу пересування абонентів.

5. Проблема високого навантаження на вузли в центрі мережі.

6. Конструктивні проблеми виготовлення портативних абонентських пристроїв із використанням МІМО.

7. Завдання взаємодії із зовнішніми мережами.

Таким чином, в даний час існує безліч завдань без вирішення, яких ефективність самоорганізованих мереж буде досить низькою. При цьому спроби вирішити більшість проблем, пов'язаних з самим бездротовим середовищем, такі як енергоефективність, синхронізація, електромагнітна сумісність, безпека були вже зроблені в різних стандартах, таких як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee. Тому в основному ключовими проблемами мереж Ad-Hoc на сьогоднішній день залишаються проблеми управління зокрема завдання маршрутизації.

3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ AD-НОС МЕРЕЖ

У ході дослідження методів підвищення продуктивності Ad-Нос мереж було з'ясовано, що кожен з них по різному впливає на продуктивність бездротової мережі. Виходячи з даних аналізу та на основі відомостей, отриманих із використовуваної літератури, проведемо аналіз трьох основних методів підвищення продуктивності в Ad-Нос мережах.

3.1 Аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням технології МІМО

Технологія МІМО дозволяє значно збільшити продуктивність бездротових мереж. Однак використання даної технології спричиняє ускладнення структури антенних систем, що, у свою чергу, призводить до збільшення габаритів пристроїв, збільшення кількості передавачів, що призводить до збільшення енергоспоживання або зменшення часу роботи приладу, якщо мова йде про портативну роботу з живленням від батарей. Крім того, суттєве збільшення продуктивності буде доступне тільки в діапазоні 5 ГГц через кількість каналів, що використовується, та при використанні всіх можливих сегментів антен, наприклад 4x4 у стандарті 802.11n. Технологія МІМО почала застосовуватися в стандарті 802.11n, що дозволило забезпечувати більш високу пропускну здатність, ніж мережі попередніх стандартів 802.11b/g. Нижче наведено залежність пропускну здатності від використовуваної технології (рис. 3.1).

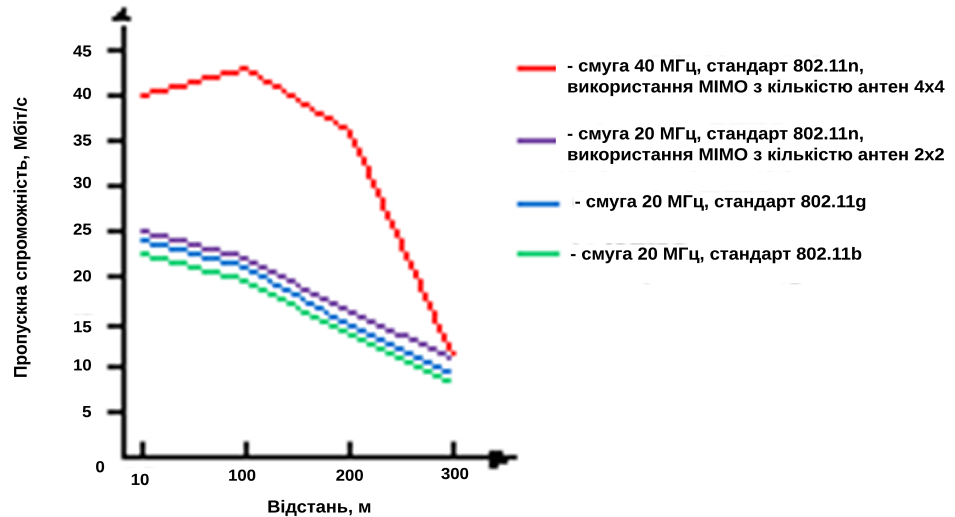


Рисунок 3.1 – Залежність продуктивності стандартів 802.11b/g і 802.11n, основою якого покладено технологію MIMO

Використовуючи симулятор-лабораторію eWeek Labs, де можна задавати відстань між точками доступу та стандарти 802.11b/g та 802.11n була порівняна принципова продуктивність точок доступу, що свідчить про те, що вся бездротова мережа в цілому буде мати продуктивність вище якщо використовуватиметься технологія MIMO. З рис. 3.1 видно, що продуктивність мережі під час використання технології MIMO збільшується у 1,5 – 1,8 рази.

3.2 Аналіз методу підвищення продуктивності з урахуванням збільшення ширини смуги пропускання каналу

Розширення спектра сигналу шляхом об'єднання двох 20 МГц каналів в один 40 МГц робить спектр сигналу більш широкосмуговим, при цьому зберігаючи обмеження на випромінювану потужність і дозволяючи збільшити продуктивність бездротової мережі, так само як і технологія MIMO, в 1,5 - 1,8 рази (рис. 3.2).

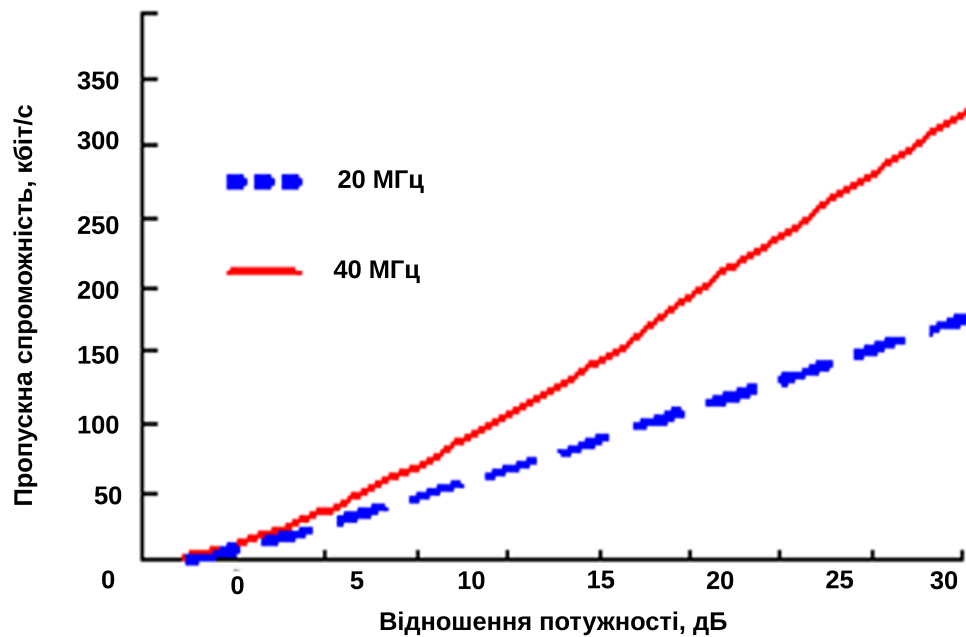


Рисунок 3.2 - Залежність пропускної спроможності каналу від смуги частот

Як видно з рисунка: збільшенням смуги частот дозволяє збільшити пропускну здатність приблизно у 1,5 рази.

3.3 Підвищення продуктивності з урахуванням використання протоколів маршрутизації

Підвищити продуктивність Ad-Hoc мереж можна за рахунок використання алгоритмів багатошляхової маршрутизації, які, на відміну від алгоритмів маршрутизації найкоротшого маршруту, дозволяють балансувати завантаженість мережі, збільшуючи її продуктивність у 1,5 – 2 рази. При маршрутизації найкоротшого маршруту кожному адресату відповідає лише один шлях. У алгоритмах багатошляхової маршрутизації для кожного адресата обчислюється кілька шляхів. Це дозволяє оптимально використовувати ємність каналу зв'язку та підвищити загальну пропускну здатність. Додатково забезпечується деяка стійкість до відмови мережі. Недолік багатошляхової

схеми в тому, що таблиці маршрутизації займають більший обсяг, а самі алгоритми стають складнішими.

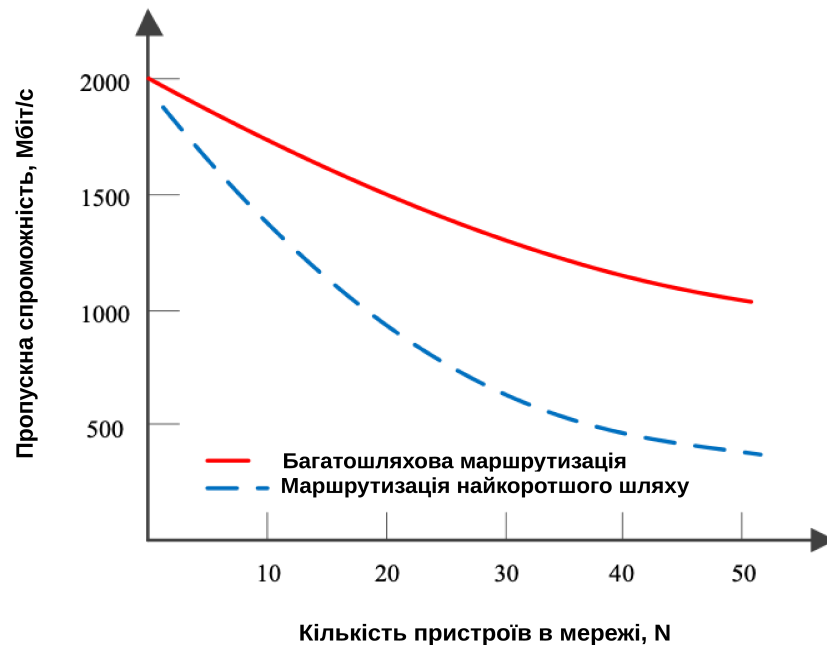


Рисунок 3.3 - Залежність продуктивності від типу використовуваної маршрутизації

З рисунка видно, що продуктивність бездротової мережі підвищується при використанні багатошляхової маршрутизації, у порівнянні з маршрутизацією найкоротшого шляху, практично вдвічі завдяки тому, що завантаженість мережі була більш збалансованою. У табл. 3.1 наведено основні способи підвищення продуктивності Ad-Нос мереж та їх ефективність. Виходячи з даних, наведених на графіках можна зробити висновок, що кожен із розглянутих методів значно підвищує ефективність бездротових мереж. До того ж ці методи використовуються на різних рівнях мережної моделі OSI, що дає можливість застосувати їх одночасно і збільшувати продуктивність мережі в багато разів.

Таблиця 3.1 – Методи підвищення продуктивності Ad-Hoc мереж

Рівні моделі OSI	Методи підвищення продуктивності	Підвищення продуктивності
Мережевий рівень	Маршрутизація	до 1,5-2 рази
Канальний рівень	Використання технології MIMO. Об'єднання каналів	до 1,5 -1,8 разів
Фізичний рівень	Використання технології інтелектуальних антенних ґрат. Зміна територіального розташування станцій. Рознесення сигналу по поляризації.	До 1,3-1,7 разів

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах.

У першому розділі розглянуто типи бездротових мереж, наведено їхню класифікацію. Розглянуто основні технології мереж WPAN, WLAN, WMAN. Наведено режими роботи WLAN-мереж, зокрема: режим Ad-Hoc, інфраструктурний режим, режим моста, розподілена система з точкою доступу, режим повторювача та режим клієнта. Докладно розглянуто найперспективніший на даному етапі розвитку клас бездротових мереж – Ad-Hoc мережі, класифікація Ad-Hoc мереж (MANET, WMN, WSN). Наведено основні характеристики стандартів бездротової мережі.

У другому розділі наведено фактори, що впливають на продуктивність бездротових мереж. Проведено огляд існуючих методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах: описано принцип роботи технології MIMO, принцип збільшення ширини смуги пропускання каналу, основні види кодування та модуляції в бездротових мережах, методи підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах на основі використання протоколів маршрутизації, використання інтелектуальних антенних ґрат.

У третій частині було проведено аналіз основних методів підвищення продуктивності в Ad-Hoc мережах: технології MIMO, збільшення смуги пропускання каналу та використання протоколів багатоколіїної маршрутизації. Було відзначено, що найефективнішим методом підвищення продуктивності є застосування протоколів багатошляхової маршрутизації. Продуктивність Ad-Hoc мереж можна значно підвищити, конвергуючи методи, що використовуються різних рівнях мережної моделі OSI. Це може забезпечити збільшення ефективності роботи Ad-Hoc мережі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Столінгс В. Бездротові лінії зв'язку та мережі.: Пер. з англ. [Текст] - М.: Видавничий дім "Вільямс", 2003. - 640 с.
2. Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Підручник для вишів. 3-тє вид. [Текст] - СПб.: Пітер, 2006. - 958 с.
3. Методи збільшення продуктивності у бездротових мережах Wi-Fi [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.ixbt.com/comm/tech-80211g-super_1.shtml
4. Рошан Пенджман, Лієрі Джонатан. Основи побудови бездротових локальних мереж стандарту 802.11. [Текст]: Пер з англ. - М.. Видавничий дім "Вільямс", 2004. - 304 с.
5. Evlanov M.V., Neumyvakina O.E., Karamysheva A.Yu. 2013. Analiz vozmozhnostey primeneniya podkhodov k samoorganizatsii otdel'nykh servisov v servis-orientirovannykh informatsionnykh sistemakh. Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. № 16: 22-26.
6. Pathan A. S. K. (ed.). 2010. Security of self-organizing networks: MANET, WSN, WMN, VANET. CRC press, 638.
7. Беспроводные самоорганизующиеся сети. Электронный ресурс. Режим доступу: <http://crossgroup.ru/solutions/adhoc.html> (16 травня 2024)
8. Santi P. 2005. Topology control in wireless ad hoc and sensor networks. ACM computing surveys (CSUR). Т. 37. № 2: 164-194.
9. Li N., Hou J. C., Sha L. 2005. Design and analysis of an MST-based topology control algorithm. Wireless Communications, IEEE Transactions on. Т. 4. № 3: 1195-1206.
10. Seguí C. et al. 2006. Evolution of unicast routing protocols in data networks. IEEE The 25 th Conference on Computer Communications.
11. Sarkar S. K., Basavaraju T. G., Puttamadappa C. 2007. Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications. CRC Press, 349.
12. Князева Н. А. Производительность протоколов многопутевой маршрутизации в беспроводных Ad-hoc сетях / Н. А. Князева, Ю. С. Казак // ИКСЗТ, 2017. — Вып. No 4. — С. 21–27.

13. Минович А.И., Романюк В.А. Многопутевая маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – No 6.
14. Sung-Ju Lee and Mario Gerla, “AODV-BR: Backup routing in ad hoc networks,” in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2000), Chicago, IL, September 2000.
15. Князева Н. О. Використання базових структурних характеристик мережі невизначеної топології для оцінки її структурної надійності / Князева Н. О., Колу-мба І. В. // Системи навігації та зв'язку — Збірник наукових праць ПНТУ, 2018. – Вып. No6 (52) – С. 130–135.
16. Samir R. Das, Charles E. Perkins, and Elizabeth M. Royer, “Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks,” in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), Tel Aviv, Israel, March 2010.
17. A. Nasipuri and S.R. Das, On-Demand Multi-path Routing for Mobile Ad Hoc Networks, IEEE ICCCN'99, pp. 64–70.
18. M. Li et al., "An Energy-Aware Multipath Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", ACM Sigcomm, April, Beijing, China, pp. 10–12, 2015.
19. W. Yang et al., "A Bandwidth Aware Multi-path Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks", Journal of Computational Information Systems, vol. 7, no. 3, pp. 685– 696, 2011.
20. Al-Sakib Pathan, Muhammad Monowar, Md. Rabbi, Muhammad Alam and Choong Hong, “NAMP: Neighbor Aware Multicast Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”, The International Arab Journal of Information Technology, Vol. 5, No. 1, January 2008, pp. 102–107.
21. Sudip Misra, Isaac Woungang, Subhas Chandra Misra, “Guide to Wireless Ad Hoc Networks”, ISBN 978-1-84800-328-6, Springer-Verlag London, 2009.