

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ AIRMAX

*Анотація. При побудові бездротової мережі вибір розташування ретрансляторів зазвичай проводиться на основі результатів натурного моделювання, пов'язаного з проведенням численних експериментів, що істотно підвищує трудомісткість і вартість процесу розгортання, тому використання імітаційної моделі є актуальним. Об'єктом даного дослідження є трафік бездротової мережі, а предметом - розробка ефективних методів і засобів їх проектування, що включають оптимізацію, порівняння і аналіз проходження трафіка і його якісних характеристик. За результатами моделювання та дослідження експериментальних даних бездротової мережі з використанням технології AIRMAX зроблено висновок, що для підвищення якості сигналу та пропускної здатності бездротового мосту, у разі розширення локальної мережі рекомендується більш точне позиціювання приймаючої станції відносно точки доступу, що дозволить максимізувати показники передачі трафіку у бездротовій мережі (відстань прямої видимості, чистота зони та максимальний радіус зони Френеля, швидкість передачі/отримання даних для технології AirMax, якість сигналу, продуктивність).*

*Ключові слова:* бездротова мережа, топологія, оптимізація, передача, трафік, AIRMAX, модель.

Вікт.В. ГНАТУШЕНКО, В.А. ДВОРЕЦЬКИЙ  
Национальная металлургическая академия Украины, Днепрпетровск

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ AIRMAX

*При построении беспроводной сети выбор расположения ретрансляторов обычно проводится на основе результатов натурного моделирования, связанного с проведением многочисленных экспериментов, что существенно повышает трудоемкость и стоимость процесса развертывания, поэтому использование имитационной модели является актуальным. Объектом данного исследования является трафик беспроводной сети, а предметом - разработка эффективных методов и средств их проектирования, включая оптимизацию, сравнение и анализ прохождения трафика и его качественных характеристик. По результатам моделирования и исследования экспериментальных данных беспроводной сети с использованием технологии AIRMAX сделан вывод, что для повышения качества сигнала и пропускной способности беспроводного моста, в случае расширения локальной сети рекомендуется более точное позиционирование принимающей станции относительно точки доступа, что позволит максимизировать показатели передачи трафика в беспроводной сети (расстояние прямой видимости, чистота зоны и максимальный радиус зоны Френеля, скорость передачи/получения данных для технологии AirMax, качество сигнала, производительность).*

*Ключевые слова:* беспроводная сеть, топология, оптимизация, передача, трафик, AIRMAX, модель.

VIKT.V.HNATUSHENKO, V.O. DVORETSKIY  
National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk

## OPTIMIZATION TOPOLOGY WIRELESS NETWORK USING AIRMAX

*When building a wireless network repeaters location choice is usually made based on the results of model simulations related to the conduct numerous experiments, which significantly increases the complexity and cost of the deployment and the use of simulation models is important. The present study is the wireless network traffic, and the subject - development of effective methods and means of their design, including optimization, comparison and analysis of passing traffic and its quality characteristics. According to the simulation results and experimental research data use is a wireless network technology AIRMAX concluded that to improve the signal quality and throughput of wireless bridge, in the case of LAN extensions, recommended a more accurate positioning relative to the receiving station access points that will maximize the traffic in Wireless LAN (distance line of sight, purity and maximum radius Fresnel zone, speed / receiving data technology AirMax, signal quality, productivity).*

*Keywords:* wireless network, topology optimization, transfer, traffic, AIRMAX, model.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день великий розвиток в області передачі даних отримали бездротові мережі - мережі радіозв'язку. Це пояснюється зручністю їх використання, дешевизною і прийнятною пропускною здатністю. Проектування раціональної топології бездротової мережі стикається з двома проблемами: власне

розрахунком такої топології з урахуванням великої кількості факторів, що впливають на роботу мережі, і практичною реалізацією побудованого таким чином рішення. Остання проблема обумовлена можливими відмінностями критеріїв оптимальності маршрутизації в реальній мережі від аналогічних критеріїв, які використовуються при побудові раціонального рішення. При побудові бездротової мережі (БМ) вибір розташування ретрансляторів зазвичай проводиться на основі результатів натурного моделювання, пов'язаного з проведенням численних експериментів, що істотно підвищує трудомісткість і вартість процесу розгортання БМ. Виходячи з поточної динаміки розвитку, можна зробити висновок про те, що за кількістю та поширеністю бездротові мережі незабаром перевершать провідні мережі. Продуктивність комп'ютерної мережі [1, 2] - це ефективність виконання її функцій, таких як забезпечення швидкої і безпомилкової передачі даних, спільне використання ресурсів, забезпечення захисту даних, обмін електронною поштою в межах підприємства і в глобальних масштабах та ін. Однак на практиці реальна швидкість прийому/передачі даних виявляється істотно нижче, ніж бітова швидкість, підтримувана використовуваною мережевою технологією.

#### **Аналіз останніх досліджень**

Особливо гостро ця проблема існує в бездротових мережах [3-5]. Реальна пропускна здатність бездротової комп'ютерної мережі залежить від використовуваної технології, кількості абонентів у мережі, протяжності і якості каналів зв'язку, рівня електромагнітних завад, використовуваного мережевого обладнання, протоколів і багатьох інших факторів. Наявність наведених проблем обумовлює актуальність задачі оптимізації топології та налаштування БМ, вирішення цього завдання на практичному рівні дозволить значною мірою знизити трудовитрати і фінансові витрати при впровадженні систем моніторингу.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою роботи є зниження ресурсозатрат при проектуванні, розгортанні та експлуатації БМ за допомогою розрахунку топології мережі з урахуванням можливості її практичного відтворення, а також проведення імітаційного моделювання, що забезпечує отримання цього рішення. Предметом дослідження є розробка ефективних засобів проектування, які містять порівняння та аналіз можливостей підвищення пропускної здатності мережі.

#### **Основна частина**

**Технологія AirMax.** AirMAX - це технологія, що забезпечує швидкість передачі даних поза приміщеннями для протоколу TCP/IP - 150 Мб/с і вище. Стандартно рішення, що ефективно використовують радіодіапазон, працювали на Wi-Fi протоколах. Для невеликих мереж вони були оптимальним вибором, але мали серйозні труднощі з швидкодією при збільшенні числа підключених користувачів. Технологія AirMax - це особливий внутрішньо фірмовий протокол, за допомогою якого ведеться бездротова передача даних, який був розроблений компанією Ubiquiti Networks. Даний протокол є закритою розробкою, інформація про яку може розголошуватися лише всередині компанії. Це означає, що пристрої інших виробників не зможуть працювати з даним протоколом, як і деякі види обладнання виробництва компанії Ubiquiti Networks. Основна відмінність від WiFi b/g/n режиму базової станції міститься в тім, що при активації AirMax пристрої замість CSMA (множинний доступ з контролем несучої) переходять на TDMA (множинний доступ з часовим поділом). Протокол TDMA позбавлений від проблем колізій, що виникають при засміченому ефірі CSMA, який у випадковому порядку намагається почати передачу (періодично посилаючи пакети з проханням звільнити ефір) та чекає. У той час як базова станція (БС) з TDMA видає кожному клієнту певний тайм-слот для передачі, одночасна передача клієнтів цієї БС в загальному випадку не можлива. Однак існує проблема, коли на одній частоті знаходяться дві БС з TDMA протоколом, але вона вирішується шляхом синхронізації цих БС від джерела часу (у загальному випадку GPS). Іншою перевагою AirMax режиму є TDMA VOIP/VideoQoS інтелектуальний планувальник. Цей алгоритм автоматично визначає VOIP і відео пакети і дає їм високий пріоритет. У AirMax режимі так само доданий функціонал Dual TDMA, який дозволяє призначати різний пріоритет для клієнтів з поганим рівнем сигналу і для «хороших» клієнтів, що виключає проблему «повільного клієнта», який знижує загальну продуктивність усіх абонентів БС.

Експериментальні дослідження проводились на ділянці мережі, що складається з дротових частин та бездротової – AirMAX мосту, який з'єднує два населені пункти на відстані 9.75 км один від одного. Основну увагу приділено бездротовій ділянці мережі. Ubiquiti AirMax пропонує вихід з ситуації, коли різко збільшується кількість підключених робочих станцій. Рішення основане на використанні протоколу TDMA з апаратним прискоренням, яке включає координатор черг з внутрішнім детектуванням пакетів VoIP і «розумним» складанням розкладів. В результаті була створена мережа, яка може масштабуватись до декількох сотень клієнтів на одну базову станцію з високою пропускною здатністю, збереженням малої затримки і якісної передачі голосу.

Загальна умовна схема мережі представлена на рисунку 1 та складається з таких основних частин:

- Інтернет провайдер (не розглядається у даному дослідженні);
- маршрутизатор;
- точка доступу бездротової мережі;

- станція доступу бездротової мережі;
- локальна мережа (у межах населеного пункту), що складається з комутаторів та обладнання абонентів (ПК або WiFi маршрутизатори малого радіусу дії);
- з'єднувальні лінії (оптоволоконні лінії, кручена пара та бездротова передача).

Розглянемо кожен елемент мережі детальніше. Керуючим пристроєм у мережі виступає маршрутизатор MikroTik RB850Gx2 [6]. В обов'язки маршрутизатора входить контроль усього трафіку, що йде з локальної мережі через бездротовий міст, а також забезпечення VPN сервера для зручного доступу до веб-інтерфейсу налаштувань точки доступу та станції бездротової ділянки. Маршрутизатор з'єднано з антеною, що виступає точкою доступу за допомогою кабелю «кручена пара», при цьому швидкість обміну даними між цією антеною та маршрутизатором може досягати 1 Гб.

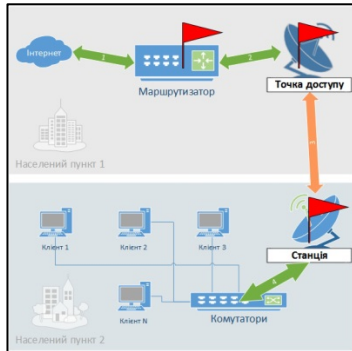


Рис. 1. Умовна схема досліджуваної мережі

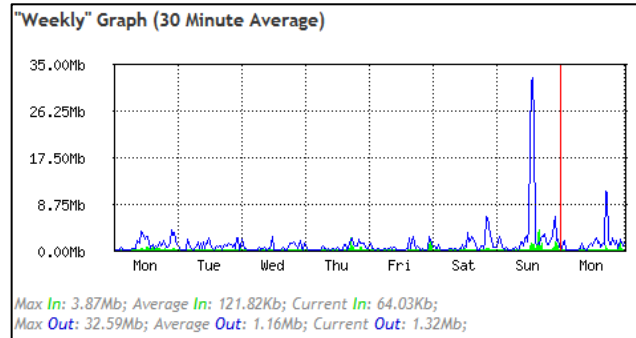


Рис. 2. Експериментальні дані по трафіку за тиждень

У якості точки доступу та станції використовуються два однакових пристрої - Ubiquiti NanoBeam M5 NBE-M5-400 [7]. По специфікації це точка доступу, яка також має можливість працювати як станція. Працює в частотному діапазоні 5GHz і має вбудовану антену з підвищеним коефіцієнтом посилення, рівним 25dBi, і спеціальний корпус у вигляді відбивача с діаметром 400мм. Тим самим, дозволяючи пристрою створювати вузькоспрямований промінь, з шириною в 20° по вертикалі і горизонталі. Пристрій підтримує всі найсучасніші протоколи бездротового зв'язку IEEE802.11a/n, а також протокол Ubiquiti AirMAX і безліч прогресивних технологій, які дозволяють створювати якісне бездротове з'єднання з мінімальними затримками і високою пропускну здатністю.

Всі пристрої серії NanoBeam M, побудовані на базі сучасного мережевого процесора Atheros MIPS 74KC, з тактовою частотою 560MHz. Мають 64MB вбудованої DDR2 оперативної пам'яті і 8MB Flash пам'яті. Що дозволяє NBE-M5-400 справлятися з високими навантаженнями і забезпечувати широку пропускну здатність бездротового каналу зв'язку.

**Station 1 Setup**

Equipment Characterization   Location   Environment

Center map on this station

Specify By: ☐ Address ☒ Latitude / Longitude

Latitude: 48.493424  
48 29'36.327" N

Longitude: 35.941748  
35 56'30.294" E

**Station 2 Setup**

Equipment Characterization   Location

Center map on this station

Specify By: ☐ Address ☒ Latitude / Longitude

Latitude: 48.521515  
48 31'17.453" N

Longitude: 36.067200  
36 4'1.920" E

Рис. 3. Географічні координати: а – точки доступу, б – базової станції

Для з'єднання з дротовими мережами NBE-M5-400 має один 10/100/1000 Mbit/s Gigabit Ethernet порт, через який так само подається живлення на пристрій за протоколом PoE з напругою до 24V постійного струму. А його споживана потужність не перевищує 8W. Точкам доступу і станціям при використанні протоколу 802.11n необхідно вести узгодження просторових потоків (Spatial Streams) і ширини каналу. Залежно від кількості антен виникають кілька просторових потоків. Повну теоретично можливу пропускну здатність стандарту 802.11n в 600 Мбіт/с можна досягти лише при використанні чотирьох передавальних і чотирьох прийомних антен (конфігурація "4x4"). Стандарт 802.11n визначає Індекс модуляції і схеми кодування MCS (Modulation and Coding Scheme). MCS - просте ціле число, що привласнюється кожному варіанту модуляції (всього можливо 32 варіанти). Кожен варіант визначає тип модуляції радіочастоти (Type), рівень кодування (Coding Rate), захисний інтервал (Guard Interval) і ширину каналу. Поєднання всіх цих факторів визначає теоретичну швидкість передачі даних, починаючи від 6,5 Мбіт/с до 600 Мбіт/с (дана

швидкість може бути досягнута за рахунок використання всіх можливих опцій стандарту 802.11n). Після станції, згідно схеми, розташовані комутатори, до яких під'єднані абоненти.

Збір даних для досліджень проводиться за допомогою сторінки налаштувань маршрутизатору, а також за допомогою веб-інтерфейсу точки доступу та станції. Точки зняття трафіку помічено червоними прапорцями на рисунку 1. На рисунку 2 наведено приклад отриманого фактичного трафіку розглянутої ланки бездротової мережі.

**Дослідження надійності передачі даних.** Для дослідження мережі було обрано метод імітаційного моделювання, на базі проблемно-орієнтованої системи, розробленої виробником точок доступу Ubiquiti – «AirLink» [7]. Для початку за допомогою електронної карти визначаються географічні координати будівель, на яких встановлено точку доступу та станцію. Для точки доступу (station 1) та станції (station 2) вводяться координати (див. рис. 3). Географічне розміщення станцій можна побачити на аерокосмічній карті. Згідно з розташуванням точки доступу та станції заповнюються «Equipment Characterization/Характеристики обладнання»:

- частотний діапазон, на якому працює точка доступу – 5.8 ГГц.
- висота будівлі (з урахуванням стійки на даху 9-ти поверхової будівлі), на якій розташовано точку доступу – приблизно 30 метрів, а для станції (розміщена на даху 5 поверхової будівлі) приблизно 15 м.

Заповнені поля для точки доступу та станції зображені на рисунку 4.

Рис. 4. Налаштування характеристик: а – точки доступу, б – базової станції

Після введення параметрів наводяться розрахункові показники (рис. 5). На графіку є така інформація:

- Point-to-Point Profile (профіль точка-точка);
- Line of Sight (LoS) Path (шлях прямої видимості);
- First Fresnel Zone (перша зона Френеля);
- 60% of First Fresnel Zone (60% першої зони Френеля);

Зона Френеля - це еліпсоїд навколо прямої лінії (LoS/Line of Sight), що зв'язує випромінювач радіосигналу і приймач. Не менш 60% зони Френеля повинно залишатися чистою від будь-яких перешкод, інакше починаються істотні втрати сигналу в каналі. Рекомендується чистота зони від 60% до 80. Як видно з графіку, на шляху сигналу немає жодних перешкод, тобто зона Френеля повністю чиста, що дозволяє передавати максимально якісний сигнал. Також розраховані такі дані:

- LoS Distance (відстань прямої видимості) – 9.8 км;
- FZ Clearance (чистота зони Френеля) – 10м (86%);
- FZ Max Radius (максимальний радіус зони Френеля) – 11.4м.

Нижче, для кожної точки доступу представлені наступні розрахункові дані:

- Signal Strength (Сила сигналу);
- Noise Floor (Рівень власних перешкод);
- Transmit CCQ TX/RX Rate (Швидкість передачі/отримання даних для технології AirMax);
- AirMax Quality (якість сигналу);
- AirMax Capacity (продуктивність).

Як видно на рисунку 5, всі розрахункові рівні знаходяться на максимумі, тобто забезпечено найкращий рівень сигналу та можна досягти максимальної швидкості передачі даних. Якщо порівнювати отримані розрахункові дані з реальними, зображеними на рис. 6, які отримані для доби, тижня та місяця, можна зробити висновок, що реальний трафік у мережі є гіршим, ніж отримані розрахункові значення. Це може бути пов'язано з неправильним позиціонуванням антен (тобто вони можуть бути не точно направлені одна на одну), що спричинило погіршення якості сигналу. Також спостерігається підвищення рівня перешкод, що може бути наслідком засміченого ефіру через використання в області видимості точки доступу великої кількості бездротових мереж. Також, на великих дистанціях відіграє роль погодний стан. Доведено, що підвищення вологості повітря погіршує якість радіосигналу, що передається.

За допомогою програми для контролю маршрутизатора, визначимо швидкість відгуку станції командою «Ping», що дасть уявлення про якість зв'язку між точкою доступу та приймаючою станцією. Результат приведено на рисунку 7. Як видно з рис. 7, з 100 пакетів, що передалися до приймаючої станції з боку маршрутизатора не було втрачено жодного пакету, при цьому середній час відгуку склав 1 мс, максимальний 7 мс, а мінімальний час менше 1 мс, що є досить прийнятним результатом та говорить про надійний бездротовий зв'язок. Проте, приведені результати актуальні при умові, що сумарний трафік на лінії не перевищує 30 Мбіт/с. При більшому завантаженні каналу швидкість відгуку має знизитись. Однак, статистичні дані по навантаженню мережі, зібрані на маршрутизаторі за добу, тиждень та місяць, говорять про те, що максимальне зафіксоване навантаження склало 32.59 Мбіт/с, що не могло перевантажити канал. При теперішніх масштабах локальної мережі, що обслуговується, якості рівня сигналу та його якості - цілком достатньо.

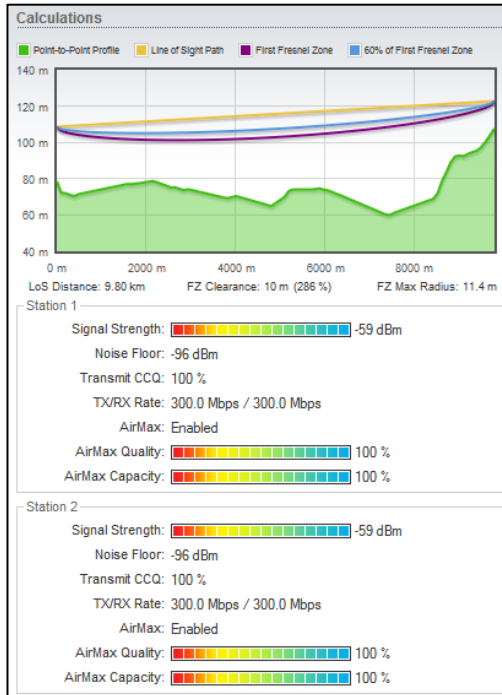


Рис. 5. Розрахункові показники бездротової ланки

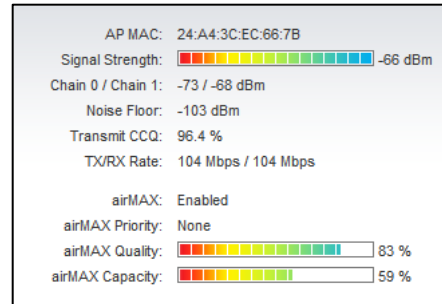


Рис. 6. Реальні показники бездротової мережі

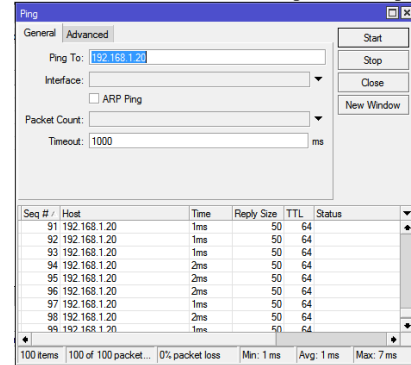


Рис. 7. Результат виконання команди «Ping»

### Висновки та перспективи подальших досліджень

В рамках дослідження отримав подальший розвиток підхід до вирішення задачі оптимізації топології бездротової мережі, що припускає вибір раціонального розташування ретрансляторів мережі і аналіз інформаційних потоків між ними. Проведений порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних трафіку ланки мережі з результатами імітаційного моделювання підтвердив продуктивність запропонованих засобів підвищення якості передачі. Для підвищення якості сигналу та пропускної здатності бездротового мосту, у разі розширення локальної мережі рекомендується більш точне позиціонування приймаючої станції відносно точки доступу, що дозволить максимізувати показники передачі трафіку у бездротовій мережі (відстань прямої видимості, чистота зони Френеля, максимальний радіус зони Френеля, швидкість передачі/отримання даних для технології AirMax, якість сигналу, продуктивність). Ця реалізація надзвичайно приваблива, особливо для бездротових мереж, які застосовуються на великих виробничих об'єктах та моніторингу навколишнього середовища у зв'язку, як правило, з великим розмахом цих мереж та кількістю користувачів.

### Список використаної літератури

- Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2009 – 958 с.
- Олифер Н. Качество обслуживания Электронный ресурс. / Н. Олифер. Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.olifer.ru/articles/ip2/ip2.html>, свободный.
- M. Gast. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. – O'Reilly, 2002 – 464 p.
- Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / П. Рошан, Д.Лиэре. – М.: Вильямс, 2004 – 296 с.
- Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович М.: Техносфера, 2005. - 591 с.
- «RB850Gx2» [електронний ресурс] // режим доступу: <http://routerboard.com/RB850Gx2>
- «NanoBeam M» [електронний ресурс] // режим доступу: <https://www.ubnt.com/airmax/nanobeam/>