

УДК 004.73

Каганюк О.К. к.т.н., доц., Христинець Н.А., асистент., Гришук Св. Б.  
Луцький національний технічний університет

## ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ WiMAX.

**Каганюк О.К., Христинець Н.А., Гришук Св.Б. Технологія бездротового зв'язку WiMax.** За останні роки розвиток мережевих технологій призвів до значного розширення списку і можливих способів об'єднання персональних комп'ютерів в мережі, і видів підключень до глобальної мережі Інтернет. Практично будь-який персональний пристрій, що володіє обчислювальною потужністю, достатньою для обробки текстової та графічної інформації, від сервера до кишенькового комп'ютера, оснащено тим чи іншим мережевим інтерфейсом, від модемного до WiMAX.

**Ключові слова:** WIMAX, БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, СТАНДАРТ IEEE 802.16E, WIMAX FORUM, ТЕХНОЛОГІЯ WIMAX.

**Каганюк О.К., Христинець Н.А., Гришук Св.Б. Технология беспроводной связи WiMax.** За последние годы развитие сетевых технологий привело к значительному расширению списка и возможных способов объединения персональных компьютеров в сети, и видов подключений к глобальной сети Интернет. Практически любой персональный устройство, обладающее вычислительной мощностью, достаточной для обработки текстовой и графической информации, от сервера к карманному компьютеру, оснащены тем или иным сетевым интерфейсом, от модемного до WiMAX.

**Ключевые слова:** WIMAX, БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ, СТАНДАРТ IEEE 802.16, WIMAX FORUM, ТЕХНОЛОГИЯ WIMAX.

**Kaganyuk A.K., Hrystinets N.A., Gryshchuk Sv. B. Wireless technology WiMax.** In recent years, the development of network technologies has led to a significant expansion of the list and the possible ways of combining personal computers on the network, and the kinds of connections to the Internet. Almost any personal device having computing power, sufficient for processing text and graphical information from the server to PDA, equipped with one or another network interface from the modem to WiMAX.

**Keywords:** WIMAX, WIRELESS CONNECTION, STANDARD IEEE 802.16, WIMAX FORUM, TECHNOLOGY WIMAX.

**Актуальність.** Інтенсивний розвиток бездротових мереж створює проблеми «останньої милі», збільшення їх продуктивності, необхідність розробки алгоритмів, забезпечення своєчасної і надійної передачі інформації, це є **актуальним** в підвищенні коефіцієнту використання смуги пропускання, скоротять час реагування базової станції на запити абонентських станцій, забезпечить якість обслуговування (QoS) для різних видів трафіку.

Важливими **проблемами** в галузі забезпечення якості обслуговування є проблеми планування і управління доступом, вирішення яких є метою даної роботи. У процесі забезпечення QoS необхідно планування кадру для того, щоб визначити який пакет буде обслуговуватися першим в конкретній черзі. Для подальшого поліпшення якості та ефективності передачі даних в мережах WiMAX потрібна розробка нового алгоритму планування, який дозволить використовувати смугу пропускання більш ефективно для різних типів трафіку. Також потрібно розробити новий алгоритм управління доступом для обмеження числа з'єднань з метою запобігання можливості переповнення та блокування фонових потоків.[1]

Набір переваг властивий всьому сімейству WiMAX, однак його версії, фіксована і мобільна, істотно відрізняються. Розроблювачі стандарту шукали оптимальні рішення як для фіксованого, так і для мобільного застосування, але сполучити всі вимоги в рамках одного стандарту не вдалося. При збігу ряду базових вимог, націленість технологій на рішення різних завдань привела до створення двох окремих версій стандарту. Кожна зі специфікацій WiMAX визначає свої робочі діапазони частот, ширину смуги пропускання, потужність випромінювання, методи передачі й доступу, способи кодування й модуляції сигналу, принципи повторного використання радіочастот та інші показники. Основне розходження двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки «статичних» абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 120 км/год. [2]

Мобільність означає наявність функцій роумінгу й перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента, як відбувається в мережах стільникового зв'язку. В окремому випадку мобільний WiMAX може застосовуватися й для обслуговування фіксованих користувачів. Погодні умови та інші бездротові системи можуть перешкодити нормальному функціонуванню радіодоступу, для роботи можуть бути використані абсолютно різні діапазони частот, швидкість передачі даних швидко падає зі збільшенням відстані між базовою станцією і клієнтським обладнанням, апаратура вимоглива до електроживлення і споживає досить велику потужність. [3]

Таким чином, **актуальною** є задача розробки більш ефективних алгоритмів планування та управління доступом, для того щоб отримати більш високу пропускну здатність при не збалансованому трафіку і знизити затримку пакетів.

**Аналіз останніх досліджень.** WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN. Назва «WiMAX» було створено WiMAX Forum - організацією, яка була заснована в червні 2001 року з метою просування і розвитку WiMAX. Форум описує WiMAX як «засновану на стандарті технологію, яка надає високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, альтернативний виділенням лініям і DSL». [4]

На фізичному рівні в стандарті IEEE 802.16-2004 визначені три методи передачі даних: метод модуляції однієї несучої (SC), метод ортогонального частотного мультиплексування (OFDM) і метод множинного доступу на основі такого мультиплексування (OFDMA).

Для просування і розвитку WiMAX був сформований WiMAX-форум на базі робочої групи IEEE 802.16, створеної в 1999 році. В форум увійшли такі фірми, як Nokia, Harris Corporation, Ensemble, Crossspan і Aperto. До травня 2005 року форум об'єднував вже більше 230 учасників. У тому ж році Всесвітній з'їзд з питань інформаційного суспільства (World Summit on Information Society, WSIS) сформулював наступні завдання, які були покладені на технологію WiMAX.

У тому ж році Всесвітній з'їзд з питань інформаційного суспільства (World Summit on Information Society, WSIS) сформулював наступні завдання, які були покладені на технологію WiMAX.

1. Забезпечити за допомогою WiMAX доступ до послуг інформаційних і комунікаційних технологій для невеликих поселень, віддалених регіонів, ізольованих об'єктів, враховуючи при цьому, що в країнах, що розвиваються 1,5 мільйона поселень з кількістю жителів понад 100 чоловік не підключені до телефонних мереж та не мають кабельного повідомлення з великими містами.[5]

2. Забезпечити за допомогою WiMAX доступ до послуг інформаційних і комунікаційних технологій більше половини населення планети в межах своєї досяжності, враховуючи при цьому, що загальне число користувачів Інтернету в 2005 році становило приблизно 960 млн. Чоловік, або близько 14,5 відсотка всього населення Землі.

**Виклад основного матеріалу.** Критерієм оцінки створення мережі WiMax є новітня технологія в бездротовій передачі сигналу на відстань яка отримала назву WirelessMAN-OFDM і являється найбільш цікавою з точки зору практичної реалізації. Вона базується на технології OFDM, що значно розширює можливості обладнання, зокрема, дозволяє працювати на відносно високих частотах в умовах відсутності прямої видимості. Крім того, в неї включена підтримка топології «кожен з кожним» (mesh), при якій абонентські пристрої можуть одночасно функціонувати і як базові станції, що значною мірою знижує розгортання мережі і допомагає подолати проблеми прямої видимості.

У загальному вигляді WiMAX мережі складаються з наступних основних частин: базових і абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів і з Інтернетом.

Для з'єднання базової станції з абонентською використовується височастотний 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 і приймачем.

Як вже говорилося вище, WiMAX застосовується як для вирішення проблеми «останньої милі», так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам.

Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 120 Мбіт / с. При цьому, принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вища швидкість передачі даних і надійність мережі в цілому.

Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 схожа з традиційними GSM мережами (базові станції діють на відстанях до десятків кілометрів, для їх установки не обов'язково будувати вежі - допускається установка на дахах будинків при дотриманні умови прямої видимості між станціями).[6]



Рис.1 – Базове представлення мережі WiMax.

Основною перевагою технології WiMAX, яка розроблялася як міська обчислювальна мережа (MAN), є протокол IEEE 802.16, що дозволяє забезпечити одночасно високошвидкісний доступ в Інтернет і передачу даних, а також послуги телефонії без використання кабельних ліній. На відміну від інших технологій радіодоступу, WiMAX сприяє функціонуванню в умовах щільної міської забудови поза прямої видимості базової станції. Відсутність необхідності встановлювати спеціальні вишки актуальна для великих мегаполісів: достатньо установити базову станцію на дахах будинків або висотних споруд, що дозволить швидко розгорнути таку мережу на великі відстані.[7]

На відміну від Wi-Fi, радіус покриття якої не перевищує 100 метрів, зона покриття WiMAX, за певних умов, досягає 50 км. Тому вона може бути корисна мешканцям віддалених районів, для яких недоступні Інтернет або навіть звичайна телефонія через неможливість проведення кабельної мережі або DSL.

Питання безпеки в мережах WiMAX (стандарт IEEE 802.16), як і в мережах WiFi (стандарт IEEE 802.11), загострено легкістю підключення до мережі. Безпека WiMax - мережі забезпечується на фізичному рівні спеціально розробленими чіпами ASIC, які убудовані в пристрої бездротового зв'язку й управляють процесом передачі даних радіоканалом, запобігаючи:

1. спробам порушення конфіденційності;
2. порушенню цілісності даних;
3. порушенню автентичності джерела – споживача;
4. відмови в обслуговуванні.[9]

Якість зв'язку у WiMAX вища, чим в WiFi. При підключенні декількох користувачів до точки доступу Wi-Fi виникає проблема черговості доступу до каналу зв'язку. Технологія WiMAX забезпечує кожному користувачеві постійний доступ, використовуючи алгоритм установлення обмеження на число користувачів для однієї точки доступу. При наближенні базової станції WiMAX до максимуму свого потенціалу, вона автоматично розподіляє «надлишкових» користувачів на іншу базову станцію.

Таблиця1.Порівняння Wi-Fi та WiMax.

<b>Wi-Fi (IEEE 802.11)</b>	<b>WiMAX (IEEE 802.16)</b>
<b>Порівняння за масштабом та охопленням</b>	
бездротові рішення усередині будинків	бездротові рішення поза будинками
точка – до точки (Pt -Point to point)	точка – до багатьох точок (PtMp – Point to multipoint)
мережі невеликого масштабу (приблизно 100м)	великі бездротові мережі ( 7-10 км)
проблема «схованого» вузла (CSMA/CA)	Відсутність проблеми «схованого» вузла ( DAMA-TDMA)

<b>Wi-Fi (IEEE 802.11)</b>	<b>WiMAX (IEEE 802.16)</b>
Прості модуляції (64 біт)	Комплексна техніка модуляції (256 біт)
Побудова бездротових мостів на далекі відстані із застосуванням ретрансляторів	Далекі бездротові мости без застосування ретрансляторів
<b>Порівняння за масштабованістю і пропускною здатністю</b>	
Фіксована ширина смуги пропускання каналу (20МГц)	Гнучка ширина смуги пропускання (1.5 - 20 МГц)
Кілька пересічних каналів (3-5)	Множина пересічних каналів
Максимальна швидкість передачі даних – 54Мбіт/с (залежить від ширини смуги)	Максимальна швидкість передачі даних – 70Мбіт/с при ширині смуги 20 МГц

802.16-2005 (відомий також як 802.16e і мобільний WiMAX). Специфікація затверджена в 2005 році. Це - новий виток розвитку технології фіксованого доступу (802.16d). Оптимізована для підтримки мобільних користувачів версія підтримує ряд специфічних функцій, таких як хендовер, idle mode і роумінг. Застосовується масштабований OFDM-доступ (SOFDMA), можлива робота при наявності або відсутності прямої видимості. Плановані частотні діапазони для мереж Mobile WiMAX такі: 2,3; 2,5; 3,4-3,8 ГГц. У світі реалізовані кілька пілотних проектів, а нещодавно оператор Sprint анонсував старт проекту національного масштабу. Конкурентами 802.16e є всі мобільні технології третього покоління (наприклад, EV-DO, HSPA).[8]



Рис. 2 – Базове представлення мобільного WiMax.

Основними досягненнями мобільного режиму можна вважати наведені нижче фактори:

1. Стійкість до багатопроменевого розповсюдження сигналу і власним перешкод.
2. Масштабна пропускна здатність каналу.
3. Технологія Time Division Duplex (TDD), яка дозволяє ефективно обробляти асиметричний трафік і спрощує управління складними системами антен за рахунок естафетної передачі сесії між каналами.
4. Технологія Hybrid-Automatic Repeat Request (H-ARQ), яка дозволяє зберігати стійке з'єднання при різкій зміні напрямку руху клієнтського обладнання.
5. Розподіл виділених частот і використання субканалов при високому завантаженні дозволяє оптимізувати передачу даних з урахуванням сили сигналу клієнтського обладнання.
6. Управління енергозбереженням дозволяє оптимізувати витрати енергії на підтримку зв'язку портативних пристроїв в режимі очікування або простою.
7. Технологія Network-Optimized Hard Handoff (ННО), яка дозволяє до 50 мілісекунд і менше скоротити час на перемикання клієнта між каналами.
8. Технологія Multicast and Broadcast Service (MBS), яка об'єднує функції DVB-H, MediaFLO і 3GPP E-UTRA для:
  - досягнення високої швидкості передачі даних з використанням одночастотної мережі;

- гнучкого розподілу радіочастот;
- низького споживання енергії портативними пристроями;
- швидкого перемикання між каналами.

9. Технологія Smart Antenna, що підтримує субканалові і естафетну передачу сесії між каналами, що дозволяє використовувати складні системи антен, включаючи формування діаграми спрямованості, просторово-тимчасове маркування, просторове мультиплексування (ущільнення).[9]

10. Технологія Fractional Frequency Reuse, яка дозволяє контролювати накладення / перетин каналів для повторного задіяння частот з мінімальними втратами.

11. Розмір фрейму в 5 мілісекунд створює оптимальний компроміс між надійністю передачі даних за рахунок використання малих пакетів і накладними витратами за рахунок збільшення числа пакетів (і як наслідок, заголовків).

**Управління ресурсами і доступом в мережах WiMax.** Для проектування протоколу управління ресурсами перспективно використання так званих "м'яких" обчислювальних методик, наприклад, заснованих на нечіткій логіці або генетичних алгоритмах. Це дозволяє задовільнити вимоги QoS для користувачів і в той же час максимально використовувати ресурси системи. Для вирішення проблеми управління ресурсами і управління доступом в мережах WiMAX використовувати апарат нечіткої логіки. При використанні апарату нечіткої логіки інтелектуальний спосіб міркувань, що спирається на природну мову спілкування людини, не може бути описаний в рамках традиційних математичних формул.

Формальному підходу властива суворі однозначність інтерпретації, а все, що пов'язане із застосуванням природної мови, має багатозначну інтерпретацію. При створенні такої системи управління доступом з метою її тестування розроблена модель вхідного трафіку відповідно пуассонівським процесом, модульованим за законом Маркова (MMPP, Markov Modulated Poisson Process). Процес функціонування нечіткої системи управління доступом виглядає наступним чином. При встановленні нового з'єднання відповідний мобільний вузол повідомляє на базову станцію приблизні параметри джерела трафіку (тобто інтенсивність надходження пакетів від АС) і затримку черги. Потім БС вимірює середнє відношення сигнал / перешкода (SNR) нового з'єднання і переводить його в значення лінгвістичних змінних.

Ці точні значення вхідних змінних перетворюються на значення лінгвістичних змінних за допомогою певних функцій приналежності (ФП). Запитувані ресурси використовують цю інформацію, щоб отримати число підканалів, які будуть призначені. Число підканалів обмежено, щоб гарантувати те, що при сполученні буде не дуже велика і не дуже маленька кількість ресурсів передачі. [10]

На цьому етапі здійснюється перехід від нечітких значень величин (тобто запитуваних ресурсів, і числа отриманих з'єднань) до приймальної ймовірності. На основі цієї ймовірності БС приймає або відкидає нове з'єднання.

Модуль Fuzzy Logic дозволяє будувати нечіткі системи двох типів - Мамдані і Сугено. Основна відмінність між цими системами полягає в різних способах завдання значень вихідних змінних в правилах, що утворюють базу знань.

Наведений приклад використовує систему виводу Сугено. Для завдання ФП необхідно встановлювати діапазон зміни і відображення для змінних входів. Для кожного входу задаються три ФП гаусового типу, кожна з яких характеризує вхід, відповідно, як «великий», «середній» і «малий». Наступним кроком у формуванні завдання являється складання правил типу «якщо ..., то». Наприклад, якщо інтенсивність надходження пакетів від АС – низька і затримка черги – низька і середнє відношення сигнал / перешкода - погане, то запитувані ресурси - середні.

**Висновок.** На основі проведеного аналізу і досліджень по використанню бездротової мережі передачі даних WiMax можна зробити наступні висновки:

1. WiMax – це технологія майбутнього безпроводного з'єднання, що дозволяє забезпечити швидкий доступ у великому місті чи у віддаленому селищі, але з ряду причин на даний час ця технологія тільки починає розвиватися.

2. Стандарт IEEE 802.11e (Wireless LAN) на даний час не має стабільної законодавчої бази і постійно змінюється.

Проблема управління ресурсами та контролю доступом, що розглядається у даній статті може бути вирішена за допомогою обчислювальних методик, що базуються на основі використання нечіткої логіки.

Отже в майбутньому використання технології WiMax для бездротового зв'язку та доступу в інтернет являється найбільш доцільним методом зв'язку та передачі даних.

1. Технология WiMAX: текущее состояние. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.thg.ru/network/wimax\\_2007/](http://www.thg.ru/network/wimax_2007/). – Назва з екрану.
2. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.wireless-e.ru/articles/wifi/2006\\_3\\_14.php](http://www.wireless-e.ru/articles/wifi/2006_3_14.php). – Назва з екрану.
3. Что такое технология WiMax? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://shkolazhizni.ru/computers/articles/4495/>. – Назва з екрану.
4. Порівняння технологій бездротового зв'язку wimax та Wi – Fi. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://www.rusnauka.com/12\\_ENXXI\\_2010/Informatica/65223.doc.htm](http://www.rusnauka.com/12_ENXXI_2010/Informatica/65223.doc.htm). – Назва з екрану.
5. What is WiMAX technology? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org). – Назва з екрану.
6. Что такое WiMAX? Принципы работы WiMAX. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.broadband.org.ua/tekhnologii-bystrogo-interneta/1311-chto-takoe-wimax-printsipy-raboty-wimax>. – Назва з екрану.
7. Технология WiMAX. Принцип работы WiMAX. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://www.thg.ru/network/wimax\\_2007/wimax\\_2007-01.html](http://www.thg.ru/network/wimax_2007/wimax_2007-01.html). – Назва з екрану.
8. WiMAX - первая ласточка 4G. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.tsonline.ru/articles2/podv/wimax-perv-lastochka-4g>. – Назва з екрану.
9. Сравнение Беспроводных Технологий WI-FI и WiMAX. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.getwifi.ru/pwifivswimax.html>. – Назва з екрану.
10. Исследование и разработка алгоритмов планирования и приоритетного управления доступом в сетях WiMAX. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://miet.ru/upload/content/rnd/da/d02/2010/09a\\_02\\_2010.pdf](https://miet.ru/upload/content/rnd/da/d02/2010/09a_02_2010.pdf). – Назва з екрану.