

Куклінський М.В., к.т.н., Гиза І.С.,
Амірханов Е.Д., к.т.н., Шемчук В.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНФІГУРАЦІЇ ЗМІШАНОЇ БЕЗДРОТОВО-ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ВИРІШЕННІ «ПРОБЛЕМИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ»

Національний авіаційний університет

maximum_inc@ua.fm
iryngyza@gmail.com
ed88.84@mail.ru
valentin-shemchuk@i.ua

В даний час доступ до мережі за допомогою радіохвиль являється одним з найбільш дешевих способів вирішення «проблеми останньої милі». Дане рішення особливо ефективно в тих районах, де кабельні мережі розвинені недостатньо або відсутні зовсім. За допомогою розміщення базових станцій в ключових точках, які забезпечують максимальну площу покриття території, забезпечується надання цілого ряду сервісів кінцевим користувачам. Проте поєднання бездротової абонентської частини мережі з провайдером, який надає послуги, як правило забезпечується за допомогою кабельних технологій, що дає змогу віднести таку мережу до гібридного бездротово-оптичного типу. У статті розглянуті питання проектування і розгортання мереж доступу гібридного типу, а також розроблено програмний засіб для оптимізації конфігурації такої мережі

Ключові слова: мережа передачі даних, конфігурація, волоконно-оптична мережа, бездротова мережа, оптимізація

Вступ

На сьогодні існує велика кількість технологій передачі даних. За фізичним середовищем передачі їх можна розділити на технології дротового і бездротового зв'язку. Кожна із них характеризується своїми перевагами і недоліками, та своєю, притаманною лише для неї, користю для кінцевого користувача.

Але особливий інтерес зараз викликають технології, які поєднують у собі переваги як дротового, так і бездротового зв'язку. Це пов'язано, насамперед, з вирішенням так званої «проблеми останньої милі» [1].

Взагалі, ця проблема має безліч рішень, проте у більшій частині з них є один загальний недолік – усі вони вимагають прокладення кабелів. А вартість прокладення кабелю у цьому випадку, зазвичай, складає більшу частину вартості налашки мережі. Крім цього завжди існує вірогідність необхідності прокладання додатково кабелю вже після налашки мережі.

Інша річ технології, які дозволяють обійтися без прокладення нових кабелів. Серед таких є – супутниковий доступ, пакетна передача даних в мережах стільникового зв'язку, передача даних за допомогою радіохвиль Wi-Fi і WiMAX [2], або технології бездротового широкосмугового доступу.

Тому поєднання властивостей обох технологій у змішану технологію завжди буде актуальною, а програмні засоби для оптимізації побудови і розрахунку устаткування такої змішаної мережі завжди будуть затребувані.

Постановка завдання

Змішана бездротово-оптична мережа (ЗБОМ) є перспективною технологією для мереж доступу майбутнього. Конфігурація ЗБОМ використовує краще з обох технологій:

- з дротово-оптичної – надійність, міцність і високу якість зв'язку;
- з бездротової – гнучкість (підхід: «у будь-який час, у будь-якому місці») та економію. Саме бездротова частина при-

значена вирішити «проблему останньої милі».

Зараз ЗБОМ стали приділяти все більше уваги [3]. На сьогодні ранні версії її бездротової частини використовуються як самоврядні (автономні) рішення доступу, які можуть виключити встановлення абонентських бездротових маршрутизаторів в приміщенні замовника. Ця конфігурація дозволяє заощадити на вартості прокладення мережі, оскільки волокно не завжди повинно охоплювати кожного кінцевого користувача.

Підхід спільної оптимізації ЗБОМ припускає конструкційну взаємодію між оптичною та бездротовою технологіями. Методика належної оптимізації перед прокладенням такої гібридної мережі може заощадити дорогі оптичні і бездротові засоби, а, отже і гроші, які потрібні для побудови цього типу мережі. Тому актуальним на даний момент є розробка засобів та пошук нових рішень для оптимізації конфігурації змішаної бездротово-оптичної мережі.

Технології вирішення «проблеми останньої милі»

У якості дротової частини ЗБОМ використовуються волоконно-оптичні лінії передачі. Вони, як правило, складаються із пасивних та активних елементів. З економічної точки зору для забезпечення широкосмугової передачі інформації, високої пропускної здатності та необхідної ефективності нарощування вузлів мережі повністю задовольняє архітектура пасивної оптичної мережі (PON, Passive optical network).

Ця архітектура складається з таких основних елементів:

- Оптичного лінійного терміналу OLT (Optical Line Terminal), якій містить у собі певну кількість портів PON (типово від 4 до 112) та порти Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet для підключення до транспортної IP мережі.

- Оптичного (абонентського) пристрою мережі ONU (Optical Network Units), або оптичного (абонентського) терміналу мережі ONT (Optical Network

Terminal). ONT може бути розрахованим на одного користувача, на групу користувачів, або на організацію, та мати порти для різних мережевих технологій.

- Повністю пасивної оптичної розподільчої мережі між ними, яка складається зі сплітерів з коефіцієнтом розділення від 1:2 до 1:64, що розташовані централізовано, або розподілено.

Оптичний лінійний термінал OLT встановлюється в центральному офісі та здатний приймати потоки даних з боку магістральних мереж і формувати низхідний потік до абонентських терміналів по дереву PON. Абонентський термінал ONT є інтерфейсом для підключення до дерева PON і абонентських портів, які воно має.

Пасивна оптична мережа може розгортуватися практично за усіма топологіями звичайної локальної мережі, проте, як правило, розгортають її згідно з цілим сімейством різних технологій, таких як: APON, BPON, EPON і GPON [4-5]. Ці технології відрізняються, головним чином, швидкістю передачі, кількістю абонентських вузлів на одне закінчення OLT, а також інтерфейсами сполучення з устаткуванням користувача.

Початок кожного сегменту PON веде до оптичного-лінійного терміналу OLT, який знаходиться в центральному офісі. Кінець кожного сегменту PON містить деяку кількість оптичних вузлів мережі ONU, які зазвичай встановлені у кінцевих користувачів в стандартній конфігурації PON. Для бездротової частини ЗБОМ, ONU будуть сформовані за допомогою бездротових базових станцій (БС) або точок доступу. Бездротові БС, які безпосередньо пов'язані з ONU виступають бездротовими «мережевими шлюзами» тому що вони є шлюзами як для оптичної так для бездротової частини мережі. Крім того, ці шлюзи – бездротові закінчення ЗБОМ бо вони складаються з інших бездротових маршрутизаторів, що забезпечує ефективне управління мережею [6].

Таким чином, передня (абонентська) частина ЗБОМ по-перше вирішує «про-

блему останньої милі», а по-друге являється по суті багатократним повторювачем бездротової мережі з декількома бездротовими маршрутизаторами і шлюзами.

У бездротовій частині ЗБОМ можуть використовуватися стандартні технології, такі як Wi-Fi або WiMAX (рис. 1.) [7].

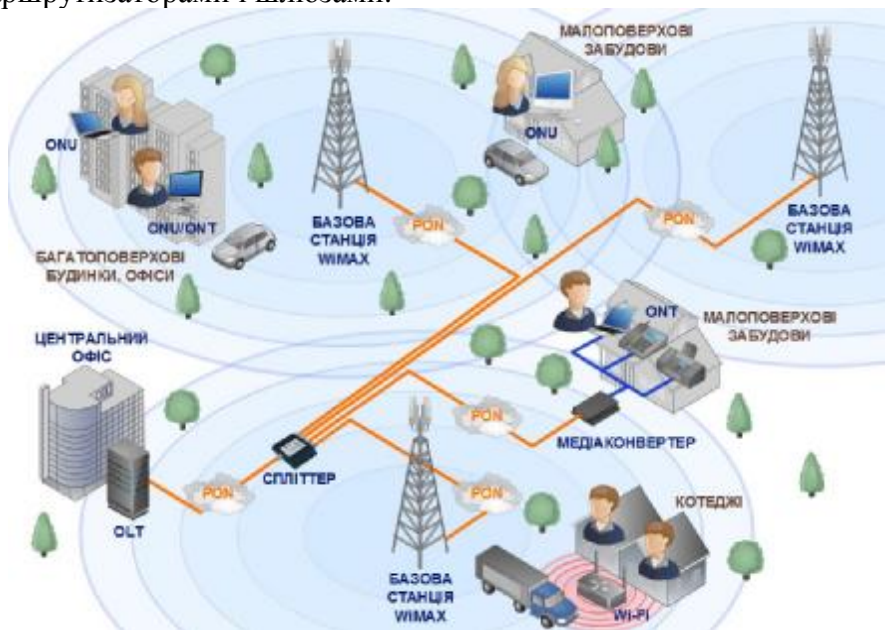


Рис.1. Конфігурація змішаної бездротово-оптичної мережі

Але іноді надання бездротового доступу від центрального офісу до кожного кінцевого користувача може виявитися неможливим із-за обмеженої дії БС. Таким чином, за рахунок використання високої місткості оптоволоконної інфраструктури на одному кінці, ЗБОМ потенційно може підтримувати набагато більшу базу користувачів з більш високою пропускною спроможністю на іншому, в порівнянні з традиційними бездротовими рішеннями.

У типовій ЗБОМ, кінцевий користувач відправляє дані до найближчого бездротового маршрутизатора, який, у свою чергу, пересилає пакети далі у бездротову мережу ЗБОМ. Причому у випадку багатократного повторювання, пакет може декілька раз пересилатися (повторюватися) через шлюзи поки не потрапить до оптичної частини ЗБОМ.

ЗБОМ є мультидоменною змішаною мережею. По суті це інтегрована мережа деревовидної архітектури де оптичний лінійний термінал OLT є початком дерева.

Налаштування змішаного бездротово-оптичного широко-смугового мережевого доступу

Продуктивність мережі багато в чому залежить від впровадження ONU, тобто шлюзових маршрутизаторів, де перетинається оптична і бездротова частини мережі. Правильне розміщення ONU має вирішальне значення для оптимізації витрат ЗБОМ. З метою вирішення цієї проблеми, використовуються наступні алгоритми розташування ONU в ЗБОМ:

- довільне розташування ONU;
- детермінований підхід за заздалегідь спланованою схемою (як правило симетричне розташування ONU);
- поглинаючий або жадібний алгоритм – полягає в прийнятті локально оптимальних рішень на кожному етапі прокладення мережі, допускаючи, що кінцеве рішення також виявиться оптимальним;
- підхід умовного відпалу або комбінаційна оптимізація – виконує локальну оптимізацію кожного ONU після визначення преміум користувачів для цього ONU;

- підхід обмеженого програмування або спільна оптимізація – полягає в оптимальному синхронному розміщенні в абонентській частині БС і ONU і оптоволоконному устаткуванні від ONU до OLT в провайдерській частині.

Враховуючи розташування «бездротових» користувачів, ці алгоритми орієнтовані на те, щоб знайти «хороше», найбільш рентабельне розташування для ONU [6].

Проте, коли ЗБОМ сконфігурована, виникає проблема з тим як ефективно передати інформацію через неї. Існує декілька алгоритмів маршрутизації в абонентській частині бездротової мережі ЗБОМ:

- алгоритм маршрутизації мінімальної кількості стрибків;
- алгоритм маршрутизації найкоротшого шляху;
- алгоритм маршрутизації по прогнозованій пропускній спроможності каналу;
- алгоритм маршрутизації заснований на затримці пакетів.

Ці алгоритми є в кожному бездротовому маршрутизаторі і шлюзі мережі.

Практична реалізація конфігурації змішаної бездротово-оптичної мережі

Враховуючи конструкційну взаємодію між оптичною та бездротовою технологіями, для практичної реалізації оптимізації конфігурації ЗБОМ слід використовувати підхід спільної оптимізації, або підхід обмеженого програмування. Така модель, при застосуванні її в цій предметній області може розглядатися, як першочинна.

Метою цієї моделі – є оптимальне синхронне розміщення БС і ONT/ONU в абонентській частині і оптоволоконного устаткування від БС до ONT/ONU та до OLT в провайдерській частині [8]. Цей підхід досліджує аналітичні моделі, які розраховують витрати на ONT/ONU і БС та вартість прокладення волокна.

Методика оптимізації мережі дозволить ще перед її прокладенням звести до мінімуму вартість конструкції ЗБОМ за

рахунок скорочення числа БС і ONT/ONU, а також провести ефективне планування схеми прокладення волокна.

Так як ЗБОМ складається з оптичної мережі, у якості PON, в задній (провайдерській) частині, та підтримується бездротовою мережею, у якості технології Wi-Fi або WiMAX, в передній (абонентській) частині, то для неї треба враховувати специфіку бездротових мереж. Тому проектуючи та оптимізуючи конфігурацію ЗБОМ необхідно приділяти увагу площі покриття бездротової частини мережі з урахуванням кількості БС, та обмежень, пов'язаних з перетинанням їх зон для забезпечення роумінгу [9].

Крім цього, для належних операцій з ЗБОМ, первинна модель повинна забезпечити обрахунок обмежень, що задовольняють заданим умовам:

- обмеження встановлюваних БС і ONT/ONU;
- обмеження розподілу користувачів;
- обмеження пропускної спроможності;
- обмеження характеристики сигнал/якість, тощо.

Ще однією умовою є те, що керуючись запропонованою моделлю, оператори мережі повинні мати можливість підрахунку своїх витрат по прокладенню ЗБОМ.

Враховуючи умови та специфіку проектування конфігурації ЗБОМ, для практичної реалізації оптимізації мережі розроблено програмний засіб, який за початковими даними використовуваного устаткування формує найбільш прийнятні види конфігурації мережі і передає результати обробки користувачеві. Крім цього засіб дозволяє вносити зміни або доповнювати вже існуючу базу устаткування.

Користувачеві надається можливість вибирати критерії для формування конфігурації мережі. База даних зберігається локально та зв'язана з засобом через інтегровані в Microsoft Visual Studio адаптери для роботи з базами даних.

У якості системи управління базою даних використовується PostgreSQL, середовищем розробки є Microsoft Visual Studio 2015, а програмною платформою виступає .NET Framework 4.6.

Засіб складається з основної форми у якій працює користувач, декількох допоміжних форм та бази даних для збереження інформації про доступні пристрої. Основна форма дозволяє користувачеві оперативно переглядати усі доступні на даний час елементи, які знаходяться у базі. Крім цього через дану форму користувач може додавати нові, видаляти або редагувати вже існуючі елементи у базі даних. Інформація про кожний елемент знаходиться у відповідних вкладках основної форми.

Безпосереднє додавання або редагування відбувається через допоміжні фор-

ми, які прописані для кожного елементу мережі окремо, та враховують притаманні лише для цього елементу характеристики. Результат додавання можна одразу переглянути натиснувши на тип елементу із запропонованих вкладок.

Для виведення результатів та розрахунків елементів мережі використовується вкладка основної форми «Розрахувати». Але перед безпосереднім розрахунком користувач повинен ввести обмеження, які накладаються на мережу у вигляді площі покриття мережі та відстані розташування центрального офісу. Також користувач повинен задати критерії по яким буде вестися розрахунок необхідної конфігурації мережі та використовуваного устаткування (рис. 2).

Розрахувати БС ОМТ Спліттер Медіаконвертер Кабель

Параметри

Розташування

Довжина, км: 25

Ширина, км: 15

Відстань до ЛО, км: 10

Інше

Переднічесько: 0

Технологія: WIMAX

Критерій оцінки: Максимальна швидкість

Варіанти

№	СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧІ, МБІТ/С	СТОИМОСТЬ, \$
1	10	11203
2	10	49320
3	9	11203
4	8	49325

Елементи мережі

Базова станція

Назва	PC TEL MPEL200V
Категорія	WIMAX
Радіус дії, км	5
Робоча частота, ГГц	2,7000
Посилання антени, дБ	7
Швидкість передачі, Мбіт/с	13
Вартість, \$	120
Кількість	5
Сума, \$	720

Медіаконвертер

Назва	D-Link DMC-5155C
Макс. довжина кабелю, км	15
Вартість, \$	62
Кількість	3
Сума, \$	372

Оптимальні мережеві термінали

Назва	EPON Rack + Module
Кількість плат	1
Кількість користувачів на плату	32
Вартість, \$	1111
Кількість	1
Сума, \$	1111

Спліттер

Назва	ODN Splitter
Макс. кількість користувачів	4
Вартість, \$	60
Кількість	1
Сума, \$	60

Кабель

Назва	MSX708V
Швидкість Гбіт/с	2
Кількість довж.	4
Вартість, \$	200
Кількість	75
Сума, \$	15000

Сума: 17302 \$

Рис.2. Форма для розрахунку елементів мережі

Після вводу усіх обмежень, програмний засіб оперативно виконує розрахунок за даними, які знаходяться у базі да-

них, та задовольняють вибраним критеріям. Крім результатів розрахунку засіб показує площу покриття в залежності від

підрахованих БС, а також дає змогу переглянути інші варіанти, які не є оптимальними.

З урахуванням того, що загальна площа покриття має форму прямокутника, підрахунок кількості БС відбувається за допомогою варіанта покриття зонами в формі квадрата. Це дає змогу враховувати проблему забезпечення роумінгу і виникнення явища колізій, які притаманні бездротовим мережам [9].

Висновки

В сучасному суспільстві існує потреба в своєчасному та якісному доступі до мереж передачі даних. Саме тому, технології доступу до цих мереж розвиваються дуже швидко. Нові стандарти доступу вирішують не лише проблеми підвищення швидкості та якості надання послуг, але й питання зручності їх використання. Одним з таких стандартів є змішана бездротово-оптична мережа. Технологія ЗБОМ являє собою поєднання дротового (оптичного) та бездротового (Wi-Fi або WiMAX) зв'язку, що дозволяє забезпечити ширококутний доступ на великих відстанях. Крім цього ЗБОМ є одним із способів вирішення «проблеми останньої милі». Дане рішення особливо ефективно в тих місцях, де кабельні мережі розвинені недостатньо або відсутня можливість з'єднання кабелем абонентської частини мережі.

Проте, для легкого розгортання доступу до мережі за технологією ЗБОМ в короткі терміни, необхідний засіб оптимізації та розрахунку елементів конфігурації цієї ЗБОМ. На сьогодні, існує небагато програмних засобів, які можуть надавати яку-небудь допомогу при формуванні та проектуванні мереж з використанням бездротових та оптичних технологій передачі даних. Розроблений програмний засіб може за допомогою початкових даних формувати найбільш прийнятні види конфігурації мережі і устаткування, яке використовується для його побудови, забезпечуючи користувачу оперативну обробку результатів.

Дане рішення дасть змогу забезпечити високу пропускну спроможність та економічну ефективність мережі, а також забезпечить інформаційну безпеку операторів зв'язку та його клієнтам. Крім цього дозволить в майбутньому проектувати мережі за схожим принципом, зазначаючи при цьому незначні зміни в технології або устаткуванні і як наслідок істотно наблизить досягнення цілі глобальної інформатизації суспільства.

Список використаних джерел

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Остання_миля [Електронний ресурс]
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводные_технологии [Електронний ресурс]
3. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 468 с.
4. Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку: навч. посіб. / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловійов. – 2-е вид., перероб. і допов. – К.: Кафедра, 2012. – 344 с.
5. Манікін В.В. Путівник по FTTH / Манікін В.В. – М.: EXFO, 2009. – 191 с.
6. Вишне夫斯基 В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. Вишне夫斯基, А. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 592 с.
7. Никульский И.Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа / Никульский И.Е. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с.
8. Галеев Э.М. Оптимизация / Э.М.Галеев, В.М. Тихомиров. – М.: Эдиториал, 2000. – 320 с.
9. Рудаков Д.В. К вопросу о проектировании беспроводных локальных сетей WLAN / Д.В. Рудаков, В.П. Комагоров, О.Б. Фофанов // Управление, вычислительная техника и информатика: доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 1, декабрь 2010, г. Томск. – С. 278-282.