

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Телекомунікаційна мережа з використанням технології Docsis»

Виконавець: _____ Єлизавета ЖЕЛУДЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Олексій ЗУЄВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Желуденко Єлизавети Леонідівни

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Телекомунікаційна мережа з використанням технології Docsis»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз технології DOCSIS, вивчення історії, принципів роботи та стандартів технології DOCSIS; аналіз різних типів мережевих архітектур і топологій DOCSIS; оптимізація продуктивності мережі

4. Зміст пояснювальної записки: принципи побудови сучасних телекомунікаційних систем з використанням технології DOCSIS; глибокий аналіз технології DOCSIS; впровадження версії нового покоління DOCSIS 4.0

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

6. Календарний план-графік

| № пор. | Завдання | Термін виконання | Відмітка про виконання |
|--------|--|---------------------------|------------------------|
| 1 | Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи | 18.05.2023- 22.05.2023 | Виконано |
| 2 | Вступ | 23.05.2023 | Виконано |
| 3 | ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS | 24.05.2023- 26.05.2023 | Виконано |
| 4 | ГЛИБОКИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS | 27.05.2023- 02.06.2023 | Виконано |
| 5 | ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРСІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ DOCSIS 4.0 | 03.06.2023- 10.06.2023 | Виконано |
| 6 | Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи | 10.06.2023- 25.06.2023 | Виконано |

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис керівника)

Олексій ЗУЄВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Єлизавета ЖЕЛУДЕНКО

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Телекомунікаційна мережа з використанням технології Docsis» містить 80 сторінок, 16 рисунків, 4 таблиці, 16 використаних джерел.

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, DOCSIS, ТЕЛЕБАЧЕННЯ, КАНАЛ, МОДЕМ, ДІАПАЗОН, ІНФРАСТРУКТУРА, КОАКСІАЛЬНИЙ КАБЕЛЬ, РОЗПОДІЛЬНИЙ ВУЗОЛ, ПРОТОКОЛ, МЕРЕЖЕВА БЕЗПЕКА, МОНІТОРИНГ ТА ДІАГНОСТИКА, ОПТИМІЗАЦІЯ, МЕРЕЖЕВА ПРОДУКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – телекомунікаційна мережа з використанням технології Docsis.

Предмет дослідження – технологія спрямована на створення телекомунікаційної мережі з використанням DOCSIS та її застосування в наданні послуг високошвидкісного Інтернету та кабельного телебачення.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження та аналіз реалізації та оптимізації мережі на основі DOCSIS для надання послуг високошвидкісного Інтернету та кабельного телебачення.

Метод дослідження – експериментальний аналіз, який передбачає проведення експериментів для перевірки продуктивності мереж DOCSIS у контрольованих умовах.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати для практичного застосування при проектуванні та розгортанні мереж на основі DOCSIS, а також, результати дослідження та рекомендації можуть стати основою для порівняння технології DOCSIS з іншими широкосмуговими технологіями, такими як волоконно-оптичні та DSL.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ | 7 |
| ВСТУП | 9 |
| РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS..... | 12 |
| 1.1 Основна концепція телекомунікаційних мереж з підтримкою DOCSIS | 12 |
| 1.1.1 Штатні компоненти | 13 |
| 1.2 Технологія Triple Play..... | 14 |
| 1.3 Архітектура технології DOCSIS..... | 16 |
| 1.4 Як технологія DOCSIS забезпечує передачу даних для доступу до Інтернету ... | 22 |
| 1.5 Існуюча інфраструктура кабельних мереж, підтримуюча технологію DOCSIS ... | 23 |
| 1.6 Важливість забезпечення безпеки інформації в мережах, побудованих на DOCSIS... .. | 24 |
| РОЗДІЛ 2. ГЛИБОКИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS..... | 27 |
| 2.1 Особливості кожної версії DOCSIS | 27 |
| 2.1.1 Особливості DOCSIS 1.0..... | 27 |
| 2.1.2 Особливості DOCSIS 2.0..... | 31 |
| 2.1.3 Особливості DOCSIS 3.0..... | 37 |
| 2.1.4 Особливості DOCSIS 3.1..... | 44 |
| 2.1.5 Порівняння DOCSIS 3.0 та DOCSIS 3.1..... | 50 |
| 2.1.6 Переваги та обмеження технології DOCSIS..... | 51 |
| РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРСІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ DOCSIS 4.0...58 | 58 |
| 3.1 Приклади сучасних мереж, побудованих за технологією DOCSIS..... | 58 |
| 3.2 Розподіл пропускнуої здатності з забезпеченням QoS. | 64 |
| 3.3 Запропоноване розширення DOCSIS QoS..... | 71 |
| 3.4 Ролі CMTS та кабельних модемів..... | 72 |
| 3.5 Переваги розвитку наступного покоління DOCSIS..... | 74 |

| | |
|----------------------------------|----|
| ВИСНОВКИ | 78 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 80 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

| | | |
|-----------|---|---|
| DOCSIS | – | Data Over Cable Service Interface Specification |
| CPE | – | Customer Premises Equipment |
| CMTS | – | Cable Modem Termination System |
| DHCP | – | <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> |
| IP | – | Internet Protocol |
| VoIP | – | <i>Voice over IP</i> |
| ADSL | – | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| MPEG | – | <i>Moving Picture Experts Group</i> |
| CM | – | Cable modem |
| RF Link | – | <i>Radio Frequency Identification</i> |
| KM | – | Кабельний модем |
| HFC-cable | – | Hybrid fibre-coaxial cable |
| TDMA | – | Time Division Multiple Access |
| LLC | – | Logical Link Control |
| MAC | – | Media Access Control |
| PHY | – | Physical layer / фізичний рівень |
| FDMA | – | Frequency Division Multiple Access |
| S-CDMA | – | Synchronous Code Division Multiple Access |
| QoS | – | <i>Quality of service</i> |
| QAM | – | Quadrature Amplitude Modulation |
| QPSK | – | Quadrature Phase Shift Keying |
| QAM | – | Quadrature Modulation |
| BPIP | – | Baseline Privacy Interface Plus |
| AES | – | Advanced Encryption Standard |
| ACL | – | <i>Access Control List</i> |
| OFDM | – | Orthogonal frequency-division multiplexing |

| | | |
|-------|---|--|
| LDPC | – | Low-density parity-check code |
| LLD | – | Low-level design |
| WFQ | – | Weighted Fair Queuing |
| WRED | – | <i>Weighted random early detection</i> |
| ICP | – | Integrated development environment |
| DSLAM | – | Digital Subscriber Line Access Multiplexer |
| PoE | – | Power over Ethernet |

ВСТУП

Актуальність теми. Тема телекомунікаційної мережі з використанням технології DOCSIS дуже актуальна в сучасну цифрову епоху. DOCSIS (специфікація інтерфейсу служби передачі даних через кабель) — це стандарт, який забезпечує високошвидкісну передачу даних через мережі кабельного телебачення. Він використовується для надання послуг Інтернету та кабельного телебачення приватним і комерційним клієнтам.

Зі швидким розвитком Інтернету та зростанням попиту на високошвидкісну передачу даних використання технології DOCSIS стало важливим для телекомунікаційних компаній. Це дає змогу кабельним компаніям надавати своїм клієнтам послуги високошвидкісного Інтернету без необхідності масштабної модернізації інфраструктури.

Використання технології DOCSIS також дозволило кабельним компаніям пропонувати низку розширених послуг, таких як відео за запитом, онлайн-ігри та телеконференції. Ці послуги стають все більш важливими в нинішньому середовищі, де дистанційна робота та онлайн-навчання стали нормою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Мета і завдання дослідження. Дослідження та аналіз реалізації та оптимізації мережі на основі DOCSIS для надання послуг високошвидкісного Інтернету та кабельного телебачення.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Аналіз технології DOCSIS: це завдання передбачає вивчення історії, принципів роботи та стандартів технології DOCSIS.
2. Оцінка мережевих архітектур і топологій: це завдання передбачає аналіз різних типів мережевих архітектур і топологій DOCSIS.

3. Оптимізація продуктивності мережі: це завдання передбачає дослідження різних стратегій пом'якшення мережевих проблем, таких як перешкоди, ослаблення сигналу, перевантаження мережі та проблеми безпеки.

Об'єктом дослідження – Телекомунікаційна мережа з використанням технології Docsis.

Предметом дослідження – Предметом дослідження роботи, спрямованої на створення телекомунікаційної мережі з використанням технології DOCSIS, є сама технологія DOCSIS та її застосування в наданні послуг високошвидкісного Інтернету та кабельного телебачення.

Методи досліджень.

1. Огляд літератури: цей метод передбачає огляд і аналіз відповідної літератури, такої як наукові статті, підручники та галузеві звіти, щоб отримати розуміння технології та її застосування.

2. Тематичні дослідження: цей метод передбачає аналіз реальних прикладів мереж на основі DOCSIS та їх впровадження.

3. Симуляція та моделювання: цей метод передбачає імітацію та моделювання поведінки мереж DOCSIS за допомогою програмних засобів.

4. Експериментальний аналіз: цей метод передбачає проведення експериментів для перевірки продуктивності мереж DOCSIS у контрольованих умовах.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Внесок у сферу: результати дослідження можуть зробити внесок у сферу телекомунікацій, надаючи нове розуміння дизайну, розгортання та оптимізації мереж на основі DOCSIS.

2. Практичне застосування: результати дослідження та рекомендації можуть мати практичне застосування при проектуванні та розгортанні мереж на основі DOCSIS.

3. Порівняння з іншими технологіями: результати дослідження та рекомендації можуть стати основою для порівняння технології DOCSIS з іншими широкосмуговими технологіями, такими як волоконно-оптичні та DSL.

4. Майбутні напрямки досліджень: результати дослідження та рекомендації також можуть запропонувати майбутні напрямки досліджень у галузі телекомунікацій.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS

1.1 Основна концепція телекомунікаційних мереж з підтримкою DOCSIS

Телекомунікаційні мережі з підтримкою DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) базуються на ідеї поєднання доступу до Інтернету, телефонії та кабельного телебачення через одну і ту саму інфраструктуру і мережу. Головною концепцією таких мереж є забезпечення широкосмугового доступу до різних послуг шляхом використання кабельних ліній передачі даних, відомих як коаксіальний кабель.

DOCSIS визначає стандарти та протоколи для передачі даних через коаксіальний кабель, що дозволяє одночасно використовувати цю інфраструктуру для надання доступу до Інтернету, телефонії та кабельного телебачення. За допомогою DOCSIS провайдери послуг можуть надавати клієнтам високошвидкісний Інтернет, цифрове кабельне телебачення та телефонні послуги через єдине підключення.

Ця концепція дозволяє спростити інфраструктуру та зменшити витрати, оскільки одна мережа може обслуговувати всі ці послуги. Крім того, вона забезпечує зручність для користувачів, оскільки вони можуть отримати доступ до різних послуг через один модем або маршрутизатор.

Такий інтегрований підхід до телекомунікацій дозволяє підприємствам надавати для клієнтів різноманітні телекомунікаційні послуги з високою пропускнуою здатністю, а також забезпечувати зручність та ефективність управління мережею для провайдерів послуг.

1.1.1 Штатні компоненти

Телекомунікаційна мережа з використанням технології DOCSIS складається з різних компонентів, які спільно працюють для забезпечення передачі даних по кабельній мережі. Телекомунікаційна мережа з використанням технології DOCSIS включає наступні основні компоненти:

Основні компоненти:

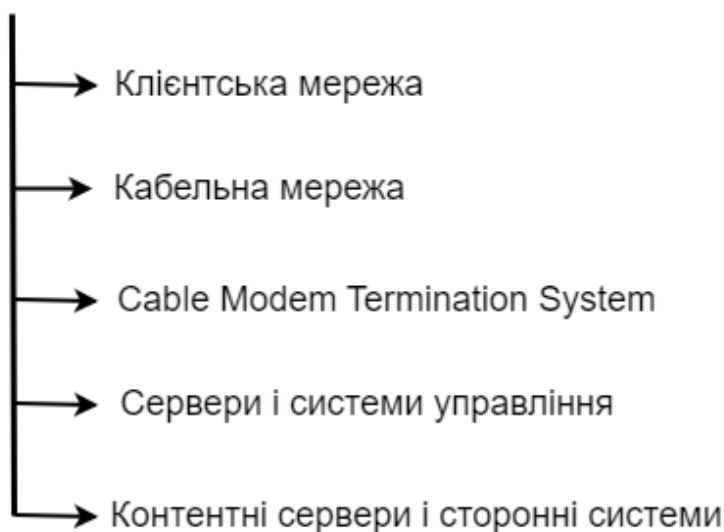


Рис. 1.1. Основні компоненти

1. *Клієнтська сторона* (CPE - Customer Premises Equipment). Це обладнання, яке встановлюється в приміщенні абонента і відповідає за з'єднання з мережею провайдера послуг. Для технології DOCSIS це зазвичай модем або маршрутизатор, який приймає сигнал з мережі провайдера і забезпечує підключення до послуг Інтернету, телефонії та кабельного телебачення.

2. *Кабельна мережа*. Це фізична інфраструктура, яка передає сигнали між провайдером послуг і клієнтською стороною. В технології DOCSIS використовується коаксіальний кабель, який передає сигнали даних від провайдера до абонента і навпаки. Кабельна мережа може включати кабелі, з'єднувальні пристрої, підсилювачі сигналу та інші компоненти, що забезпечують передачу сигналу.

3. *CMTS (Cable Modem Termination System)*. Це ключовий компонент мережі провайдера, який керує і керує передачею даних до і від клієнтської сторони. CMTS приймає сигнали від клієнтської сторони через кабельну мережу і здійснює комутацію трафіку до і від Інтернету, телефонії та кабельного телебачення. Він також відповідає за керування ресурсами мережі, включаючи розподіл пропускної здатності між клієнтськими пристроями.

4. *Сервери і системи управління*. Провайдери послуг DOCSIS використовують різні сервери і системи управління для забезпечення функціонування мережі і надання послуг. Ці системи включають DHCP-сервери (Dynamic Host Configuration Protocol), які призначають IP-адреси абонентам, сервери ідентифікації і автентифікації для контролю доступу до мережі, сервери керування послугами для активації та керування послугами, а також системи моніторингу і управління для нагляду та діагностики мережі.

5. *Контентні сервери і сторонні системи*. В деяких випадках, провайдери послуг DOCSIS використовують контентні сервери або сторонні системи для надання спеціалізованого контенту або додаткових послуг, таких як інтерактивне телебачення, відео по вимозі, VoIP-сервіси та інші.

Ці компоненти спільно працюють, щоб забезпечити надання послуг Інтернету, телефонії та кабельного телебачення через мережу DOCSIS. Кожен компонент виконує свою функцію для забезпечення безперебійної і ефективної передачі даних між провайдером послуг і абонентами.

1.2 Технологія Triple Play

Технологія Triple Play базується на основних принципах, що дозволяють надавати послуги доступу до Інтернету, телефонії та кабельного телебачення через одну мережу.

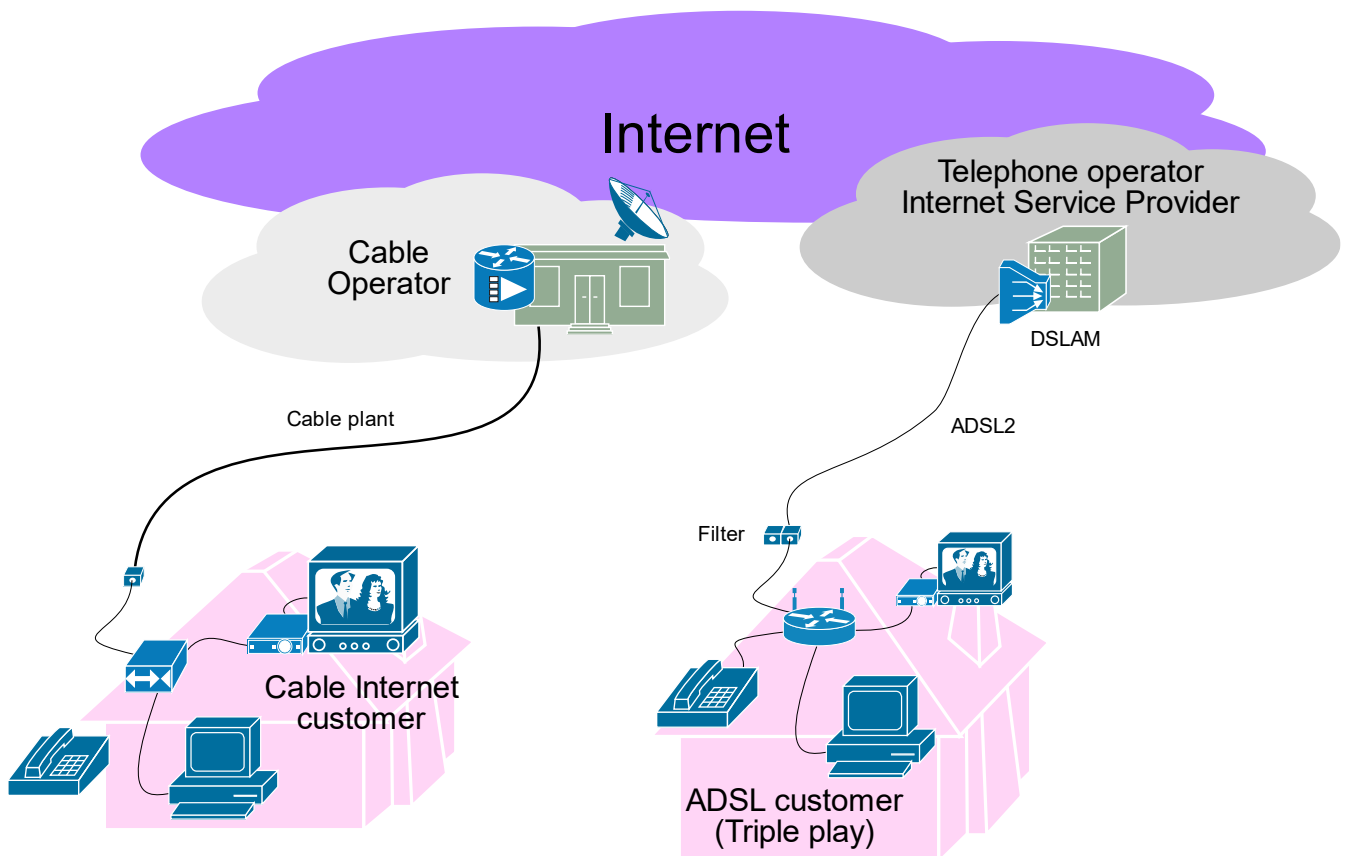


Рис. 1.2. Структура технології Triple Play

Технологія Triple Play поєднує в собі три основні послуги через одну телекомунікаційну мережу, а саме: доступ до Інтернету, телефонію та телевізійне мовлення. Кабельні оператори можуть спільно використовувати існуючу інфраструктуру та ресурси для надання трьох послуг одночасно. Це зменшує необхідність у будівництві окремих мереж для кожної послуги, що дозволяє економити час та кошти [1].

Основні принципи технології Triple Play включають:

1. *Інтегрована мережа.* Основна ідея полягає в тому, щоб об'єднати різні типи телекомунікаційних послуг - Інтернет, телефонію та кабельне телебачення - в одну інтегровану мережу. Це дозволяє провайдерам послуг використовувати одну фізичну інфраструктуру для надання різних послуг, зменшуючи витрати на будівництво та підтримку окремих мереж.

2. *Використання широкосмугового доступу.* Технологія Triple Play надає користувачам широкосмуговий доступ до різних послуг, забезпечуючи високу

пропускну здатність для передачі даних, яка необхідна для стрімкого Інтернету, якісної телефонії та високоякісного кабельного телебачення.

3. *Комутація і маршрутизація трафіку.* Для забезпечення послуг Triple Play провайдери використовують технології комутації та маршрутизації трафіку. Це дозволяє ефективно розподіляти трафік між різними послугами і забезпечувати якість обслуговування.

4. *Підтримка протоколів і стандартів.* Технологія Triple Play ґрунтується на використанні різних протоколів і стандартів для передачі даних. Наприклад, для передачі голосу використовуються протоколи VoIP (Voice over Internet Protocol), для передачі відео - стандарти компресії відео, а для передачі даних - протоколи Інтернету.

5. *Управління послугами.* Технологія Triple Play включає системи управління послугами, які дозволяють провайдерам керувати та активувати різні послуги для абонентів. Це включає управління підключенням, налаштуванням послуг, абонентськими планами та білінгом.

Застосування цих принципів дозволяє провайдерам послуг Triple Play надавати користувачам широкий спектр телекомунікаційних послуг через одну мережу, забезпечуючи зручність, ефективність та економічну вигідність для абонентів та самого провайдера.

1.3 Архітектура технології DOCSIS

Основною потребою в сучасному світі стала швидка передача даних, а Інтернет став центром комунікаційної екосистеми. Мобільні телефони, спроектовані для голосового зв'язку, тепер мають доступ до Інтернету, а ПК, ноутбуки та інші пристрої, що переважно використовуються для веб-серфінгу, також використовуються для голосового зв'язку. Таким чином, можна помітити злиття технологій, коли вони змішуються, щоб забезпечити швидкий і зручний зв'язок.

Аналогічна ситуація спостерігалася з кабельним телебаченням, яке спочатку було призначене для прийому телевізійних сигналів від кабельних операторів до побутових абонентів. Однак потреба в передачі та отриманні IP-даних виникла наявною інфраструктурою кабельного телебачення. Деякі кабельні модеми були розроблені постачальниками послуг для задоволення цієї потреби, але проблема недостатньої сумісності стала головним завданням. З метою стандартизації інфраструктури кабельного телебачення, що підтримує потік IP-даних з Інтернету до кабельного модему і навпаки, була розроблена технологія DOCSIS.

DOCSIS означає "Специфікація інтерфейсу передачі даних через кабельну систему". Вона визначає специфікації інтерфейсу для кабельних модемів, що використовуються для передачі високошвидкісних даних (MPEG і IP) по існуючій кабельній інфраструктурі.

Якщо мова йде про мережу DOCSIS, то в ній є дві основні компоненти: (1) CM - це кабельний модем, який розташований на боці абонента. До нього можуть бути підключені різні пристрої, такі як ПК, ноутбук, телефон тощо. (2) CMTS - це система припинення роботи кабельних модемів, розташована у кабельних операторів (також відома як головний вузол) і підключена до Інтернету [2].

Мережа DOCSIS забезпечує двонаправлений потік IP-даних між кабельним модемом і CMTS через гібридні оптоволоконно-коаксіальні кабельні системи.

ПРИМІТКА: DOCSIS має дві версії. Існує європейська версія DOCSIS, відома як EURODOCSIS. У той час як американська версія просто називається DOCSIS. Сертифікаційним органом DOCSIS в Америці є CableLabs, а в Європі - Excentis. Причиною існування двох окремих варіантів DOCSIS є різниця у ширині смуги розподілу частот між Європою та Америкою.

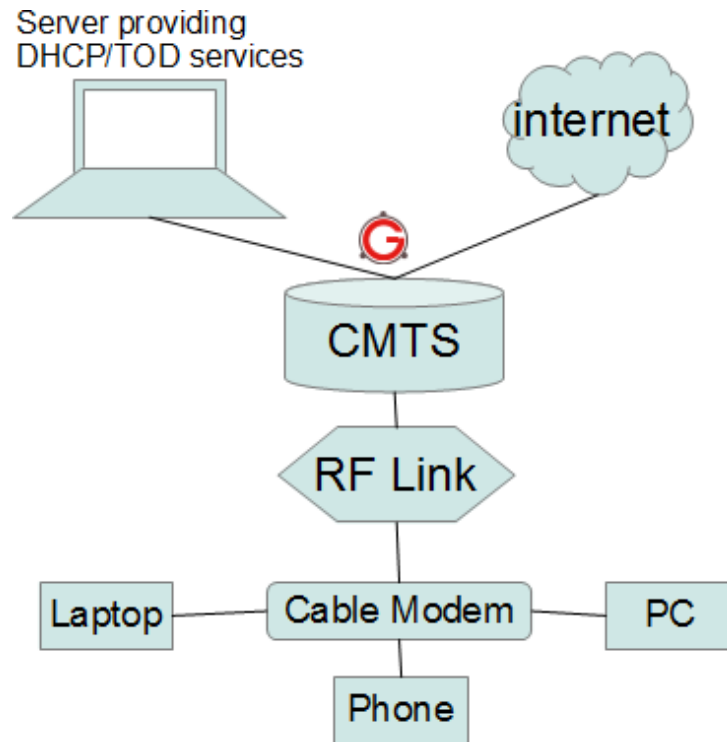


Рис. 1.3. Базова архітектура DOCSIS

Як можна бачити на зображенні вище, основна архітектура DOCSIS містить наступне:

- Система припинення роботи кабельних модемів (CMTS) на боці кабельного оператора (також відома як головний вузол).
- Кабельний модем (КМ / CM), розташований на боці абонента.
- Пристрої, підключені до кабельного модему.
- Підключення до Інтернету та інших серверів до CMTS.
- Комунікація між CM та CMTS через HFC-кабелі.
- Двонаправлений потік даних відбувається між CM та CMTS.
- Шлях від CM до CMTS відомий як зворотний канал, а шлях від CMTS до CM - як прямий канал.
- Дані у прямому каналі передаються по незалежних каналах шириною 6 МГц, тоді як у зворотньому каналі всі CM використовують один канал.

- У зворотньому каналі використовується технологія TDMA для багатокористувацького доступу, оскільки декілька СМ використовують один і той самий зворотний канал для передачі даних.
- Оскільки більшість потоку даних припускається в напрямку прямого каналу, пропускна здатність прямого каналу вища, ніж у зворотньому.
- Однак, зі зростанням таких тенденцій, як онлайн-геймінг і т. д., пропускна здатність зворотного каналу швидко наближається до пропускної здатності прямого каналу.

Варто відзначити, що до одного СМТS можна підключити кілька кабельних модемів (СМ). Цей СМТS забезпечує послуги, такі як DHCP, час доби (TOD) та інші для кабельних модемів (тому він підключений до різних серверів, як показано на зображенні).

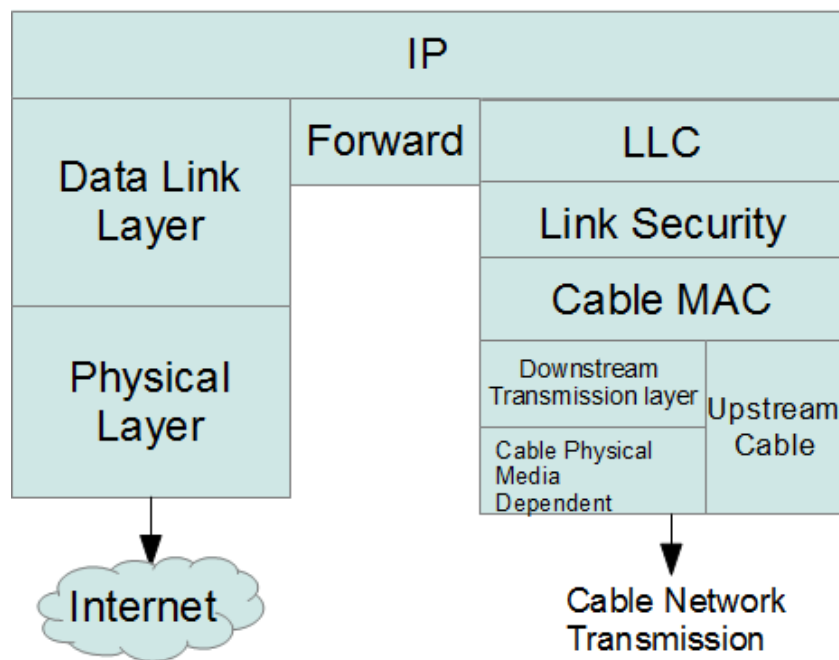


Рис. 1.4. Стек протоколів СМ/СМТS

Зазначене зображення показує лише частину стеку СМТS. Кабельний модем (СМ) і СМТS можуть виступати як кінцеві хости і маршрутизатори. При спільному використанні контрольної інформації пакети призначені лише для СМ і СМТS, тому в цьому випадку вони діють як кінцеві хости. Але якщо пристрій, підключений до

СМ, взаємодіє з іншим хостом в Інтернеті, то в цьому випадку СМ і СМТS виступають лише як маршрутизатори.

Оскільки СМ -СМТS може виступати як кінцевий хост і як маршрутизатор, для кожної ролі існує окремий стек протоколів в СМ /СМТS (як показано на зображенні). Взаємодія СМ -СМТS є ключем до плавного двонаправленого потоку ІР-даних по існуючій кабельній інфраструктурі. Для досягнення цього в мережі DOCSIS ІР-пакет проходить через повністю різний стек протоколів (як показано на зображенні) [3].

Розглянемо функцію кожного рівня:

- Рівень LLC (Logical Link Control) використовується для вирішення адрес (для ідентифікації вихідної та призначення адрес).
- Рівень безпеки використовується для забезпечення шифрування даних, щоб дані залишалися безпечними в мережі.
- Рівень Mac надає протокол для взаємодії СМ -СМТS. За допомогою повідомлень Mac СМТS і СМ обмінюються контрольною інформацією один з одним.
- Рівень РНУ відповідає за передачу та отримання даних в кабельній мережі.

У випадку потоку від абонента, рівень РНУ складається з US РМD-шару.

У випадку потоку до абонента, рівень РНУ складається з ТС-шару та РМD-шару.

У випадку потоку від абонента використовуються методи доступу, такі як FDMA/TDMA/S-CDMA.

Використання цих методів налаштовується СМТS за допомогою повідомлень MAC.

- Підрівень передачі DS (Downstream) збігається з безперервною послідовністю пакетів MPEG розміром 188 байтів, кожен з яких складається з заголовка розміром 4 байти, за яким слідує 184 байти навантаження.

Заголовок ідентифікує навантаження як належне MAC-протоколу передачі даних по кабелю.

Інші значення заголовка можуть вказувати на інші типи навантажень (наприклад, цифрове відео).

- Рівень DS-кабельного PMD CMTS відповідає за модуляцію, підсилення та передачу даних по кабельній мережі, тоді як DS-кабельний PMD CM приймає та демодулює дані та передає їх вгору по стеку протоколів.

На рисунку нижче, можна побачити основні версії DOCSIS:

| DOCSIS Version | Release Date | Downstream Frequency Range (MHz) | Upstream Frequency Range (MHz) | Minimum Number of Channels that Hardware Must Support |
|----------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| 1.0 | March 1997 | 50-860 | 5-42 | 1 |
| 2.0 | December 2001 | 50-864 | 5-42 | 1 |
| 3.0 | August 2006 | 50-1002 | 5-85 or 5-42 | 4 |
| 3.1 | October 2013 | 258-1218 | 5-204 | 2 |

Рис. 1.5. DOCSIS-версії

Поява DOCSIS-версій:

1. Перша версія 1.0 була випущена в березні 1997 року
2. У версії 1.1 у квітні 1999 року було додано якість обслуговування (QoS).
3. Щоб задовольнити високі вимоги до смуги пропускання вгору, у 2001 році було випущено DOCSIS 2.0.
4. DOCSIS 3.0 був випущений у 2006 році, і цього разу були додані такі функції, як підтримка високої пропускну здатності як у низхідній, так і вхідній частині, а також підтримка IPv6 тощо.

1.4 Як технологія DOCSIS забезпечує передачу даних для доступу до Інтернету

Технологія DOCSIS використовується для передачі даних у телекомунікаційних мережах, зокрема для доступу до Інтернету через кабельне з'єднання. Основні принципи, що забезпечують передачу даних за допомогою DOCSIS, включають:

1. *Модуляція сигналу.* DOCSIS використовує різні методи модуляції сигналу для передачі даних по коаксіальному кабелю. Це включає QAM (Quadrature Amplitude Modulation) для передачі даних з великою швидкістю та модуляцію QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) для керування сигналом.

2. *Розподіл пропускної здатності.* DOCSIS використовує розподіл пропускної здатності між різними абонентами в мережі. Це досягається шляхом використання часового розподілу доступу (Time Division Multiple Access - TDMA), який дозволяє розділити доступ до каналу між різними користувачами.

3. *Керування ресурсами.* DOCSIS має механізми для ефективного керування ресурсами мережі. Це включає керування швидкістю передачі даних (Traffic Shaping), призначення пріоритетів трафіку та механізми керування перевантаженням (Overload Control).

4. *Керування послугами.* DOCSIS надає платформу для керування різними телекомунікаційними послугами. Це дозволяє провайдерам налаштовувати та активувати послуги Інтернету з різною швидкістю передачі даних, підтримувати голосову телефонію (VoIP) та надавати кабельне телебачення.

5. *Забезпечення безпеки.* DOCSIS має механізми для забезпечення безпеки передачі даних, включаючи шифрування сигналу та аутентифікацію користувачів.

Ці принципи допомагають забезпечити ефективну та надійну передачу даних для доступу до Інтернету через мережу, побудовану на базі технології DOCSIS.

1.5 Існуюча інфраструктура кабельних мереж, підтримуюча технологію DOCSIS

Існуюча інфраструктура кабельних мереж, яка підтримує технологію DOCSIS, складається з різних компонентів, що спільно працюють для забезпечення ефективної передачі даних по цій мережі. Основні компоненти, що використовуються в інфраструктурі кабельних мереж DOCSIS, включають:

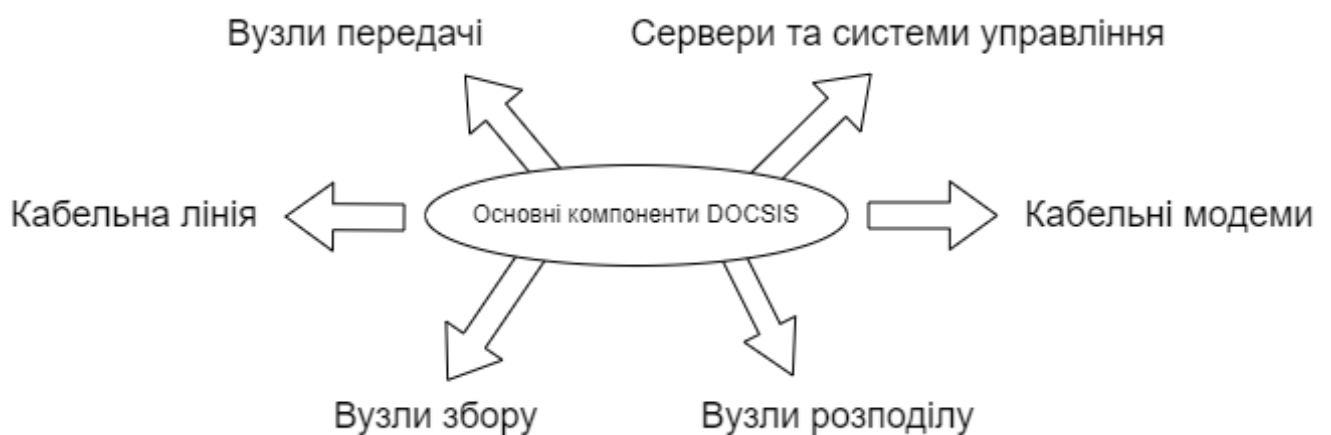


Рис. 1.6. Основні компоненти DOCSIS

1. *Кабельна лінія.* Основним елементом інфраструктури є фізична кабельна лінія, яка передає сигнали даних. Зазвичай використовується коаксіальний кабель, який забезпечує високу пропускну здатність та довгу дистанцію передачі сигналу.

2. *Вузли збору.* Вузли збору (Headend) є центральними точками мережі, де знаходяться обладнання провайдера послуг. Вони виконують функції обробки, модуляції та розподілу сигналу до абонентських ліній.

3. *Вузли передачі.* Вузли передачі (Amplifiers) використовуються для підсилення сигналу на довгих ділянках кабельної лінії, щоб забезпечити якість передачі даних на велику відстань.

4. *Вузли розподілу.* Вузли розподілу (Nodes) розташовані на кінці кожної групи абонентів і використовуються для розподілу сигналу між окремими підключеними

абонентами. Вони забезпечують точку підключення абонента до мережі і можуть виконувати функції розподілу пропускної здатності та управління трафіком.

5. *Кабельні модеми.* Кабельні модеми встановлюються у приміщеннях абонентів і використовуються для прийому та передачі даних по кабельній мережі. Вони забезпечують з'єднання абонента з мережею та перетворюють сигнали DOCSIS на формат, зрозумілий для комп'ютерів та інших пристроїв.

6. *Сервери та системи управління.* Для керування мережею та надання послуг використовуються спеціалізовані сервери та системи управління. Вони дозволяють провайдерам контролювати підключення абонентів, налаштовувати послуги та моніторити стан мережі.

Ці компоненти спільно створюють інфраструктуру кабельної мережі, яка підтримує технологію DOCSIS для передачі даних та надання послуг доступу до Інтернету, телефонії та кабельного телебачення.

1.6 Важливість забезпечення безпеки інформації в мережах, побудованих на DOCSIS

Забезпечення безпеки в мережах є критично важливим аспектом. Безпека в мережах необхідна для забезпечення захисту інформації, приватності користувачів та надійності інфраструктури. Вона допомагає уникнути ризику втрати даних, несанкціонованого доступу, крадіжки інформації та кібератак. Забезпечення безпеки також сприяє збереженню довіри користувачів до мережі, що є важливим елементом успішної комунікації та використання мережевих послуг, тому, можна виділити основні варіанти, чому безпека є істотною:



Рис. 1.7. Варіанти забезпечення безпеки

1. *Конфіденційність даних.* У мережах DOCSIS передаються різноманітні дані, включаючи особисту інформацію, фінансові дані та конфіденційні корпоративні дані. Забезпечення конфіденційності цих даних є важливим для захисту приватності та запобігання несанкціонованому доступу до них.

2. *Цілісність даних.* Цілісність даних означає, що дані не піддаються несанкціонованій модифікації чи порушенню. У мережах DOCSIS важливо забезпечити, щоб передані дані не були змінені під час передачі, що гарантує їхню достовірність та недоступність для зловмисників.

3. *Аутентифікація та авторизація.* Безпека мережі DOCSIS включає механізми аутентифікації та авторизації, що дозволяють провайдерам перевіряти та підтверджувати ідентифікацію абонентів. Це допомагає запобігати несанкціонованому доступу до мережі та послуг і забезпечує лише правомірним користувачам отримання доступу.

4. *Захист від кібератак.* Мережі DOCSIS можуть стати мішенню для різноманітних кібератак, таких як DDoS-атаки, злам паролів, фішингові атаки тощо. Забезпечення безпеки включає в себе заходи захисту від таких атак, виявлення аномальної активності та вжиття заходів для забезпечення неперебільшеного функціонування мережі.

5. *Захист мережевої інфраструктури.* Безпека включає не лише захист клієнтських даних, але й захист самої мережевої інфраструктури. Це означає забезпечення безпеки серверів, комутаторів, маршрутизаторів та іншого мережевого обладнання, що використовується для побудови мережі DOCSIS.

Забезпечення безпеки в мережах DOCSIS є необхідним для захисту як користувачів, так і самої мережевої інфраструктури від ризиків, пов'язаних з несанкціонованим доступом, крадіжкою даних та іншими видами кіберзагроз.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі дипломної роботи були розглянуті основні аспекти сучасних телекомунікаційних мереж з використанням технології DOCSIS. Було розкрито концепцію телекомунікаційних мереж, включаючи штатні компоненти, які використовуються для побудови таких мереж.

Також було досліджено технологію Triple Play, яка надає можливість передавати голос, відео та дані за допомогою однієї інфраструктури. Архітектура технології DOCSIS була розглянута детально, зокрема її компоненти та протоколи, які забезпечують передачу даних для доступу до Інтернету.

Була проаналізована існуюча інфраструктура кабельних мереж, яка підтримує технологію DOCSIS. Важливість забезпечення безпеки в мережах, побудованих на базі технології DOCSIS, була підкреслена, оскільки зростаюча залежність від Інтернету і передача конфіденційної інформації вимагають надійного захисту даних.

Цей розділ надав загальний огляд телекомунікаційних мереж з використанням технології DOCSIS, розкривши їх основні принципи, архітектуру та значення безпеки. Отримані знання є важливою основою для подальшого дослідження і розвитку даної області.

РОЗДІЛ 2

ГЛИБОКИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ DOCSIS

2.1. Особливості кожної версії DOCSIS

2.1.1. Особливості DOCSIS 1.0

DOCSIS 1.0 (специфікація інтерфейсу служби передачі даних через кабель) — це стандарт, який використовується для надання високошвидкісного доступу до Інтернету через мережі кабельного телебачення. Він був вперше представлений у березні 1997 року компанією CableLabs і з тих пір широко використовується кабельними операторами по всьому світу [4].

Ось таблиця, яка підсумовує деякі ключові характеристики DOCSIS 1.0:

Таблиця 1.1

Характеристики DOCSIS 1.0

| <i>Специфікація</i> | <i>Опис</i> |
|----------------------------------|----------------------|
| Швидкість передачі даних | до 38 Мбіт/с |
| Вихідна швидкість передачі даних | до 10 Мбіт/с |
| Модуляція | QPSK, 16-QAM, 64-QAM |
| Ширина каналу | 6 МГц |
| Діапазон частот | 50-750 МГц |

DOCSIS 1.0 більше не використовується в сучасних кабельних мережах, оскільки були розроблені нові версії стандарту DOCSIS, які пропонують вищу швидкість і покращену продуктивність.

Протокол і архітектура DOCSIS 1.0 представили революцію в доставці високошвидкісного Інтернету через кабельні мережі. Основні аспекти цього протоколу і архітектури включали:

1. З версії DOCSIS 1.0 з'явився варіант встановлення двонаправленого зв'язку між кабельними модемами та кабельною головною станцією. Це було вирішальним для підтримки інтерактивних додатків і служб, що дозволяло користувачам передавати та отримувати дані через кабельну мережу.

2. Архітектура в версії DOCSIS 1.0 виглядає, як комбінація оптичного волокна та коаксіального кабелю. Оптичне волокно використовувалось для передачі даних на великі відстані, а коаксіальний кабель забезпечував з'єднання між головною станцією та будинками або підприємствами.

3. Використання окремих каналів для передачі даних у вхідному та вихідному напрямках. Це дозволило передавати дані від головної станції до модемів через вихідні канали та надсилати дані від модемів до головної станції через вхідні канали.

4. Використання метод множинного доступу з розподілом часу (TDMA) для розділення доступної пропускної здатності висхідного каналу на часові інтервали. Це дозволило кільком модемам використовувати один і той самий частотний діапазон та передавати дані з поділом часу, ефективно використовуючи наявну потужність.

5. Використання механізмів керування потоком послуг, які дозволяють операторам кабельного телебачення виділяти та контролювати пропускну здатність для різних послуг та програм. Цей механізм гарантує пріоритетність трафіку і забезпечує відповідну пропускну здатність та якість обслуговування для критично важливих служб.

6. DOCSIS 1.0 був розроблений з урахуванням масштабованості. Це дозволяє операторам кабельного телебачення додавати більше кабельних модемів до мережі без значних оновлень інфраструктури, також є важливим у зв'язку зі стрімким зростанням попиту на широкосмуговий доступ до Інтернету.

7. Використання зворотної сумісності надає можливість під'єднання нових мереж зі старими кабельними модемами, що в свою чергу дозволяє існуючим

клієнтам продовжувати використовувати своє обладнання, поки оператори оновлюють свої мережі для підтримки нового стандарту. Основна ідея: це мінімізувало би збої під час переходу до DOCSIS 1.0.

8. Об'єднання каналів є технікою, що дозволяє збільшити доступну пропускну здатність та швидкість передачі даних у кабельних мережах. DOCSIS 1.0 не підтримує об'єднання каналів і використання єдиного каналу для передачі даних. Це призводить до обмеження максимальної швидкості передачі даних порівняно з пізнішими версіями DOCSIS, які використовуються для зв'язування каналів.

Ці основні аспекти DOCSIS версії 1.0 забезпечують широкосмуговий доступ до Інтернету через кабельні мережі, революціонізуючи спосіб доставки високошвидкісного Інтернету та відкриваючи двері для подальшого розвитку та вдосконалення стандарту DOCSIS.

Необхідно відмітити, що DOCSIS версії 1.0 працює у тому ж діапазоні частот, що й сигнали аналогового кабельного телебачення. Це дозволило кабельним операторам використовувати існуючу інфраструктуру без значних додаткових інвестицій. Співіснування DOCSIS 1.0 і аналогових телевізійних сигналів дозволило клієнтам отримувати як телепрограми, так і високошвидкісний Інтернет через те саме коаксіальне кабельне підключення. У міру впровадження наступних версій стандарту DOCSIS зберігалася зворотна сумісність із DOCSIS 1.0. Це дозволило кабельним операторам поступово оновлювати свої мережі та перевести клієнтів на новіші версії DOCSIS, пропонуючи підвищену швидкість і покращені функції.

Хоча сумісність з DOCSIS 1.0 була важливою під час його початкового розгортання, важливо відзначити, що з розвитком кабельних мереж підтримка DOCSIS 1.0 стала менш поширеною.

Якість обслуговування (QoS) у DOCSIS 1.0 має основні механізми якості обслуговування (QoS), щоб допомогти визначити пріоритетність різних типів трафіку даних у кабельній мережі.

Розподіл смуги пропускання - надав можливість розподіляти та керувати смугою пропускання в кабельній мережі, в свою чергу, це дозволило кабельним

операторам визначати пріоритети та розподіляти різні обсяги смуги пропускання для різних служб і програм на основі їхніх вимог. Тому, була представлена концепція «потоків обслуговування» для керування QoS різних потоків даних. Потоки послуг — це логічні з'єднання між кабельними модемами та кабельною головною станцією, які передають певні типи трафіку, наприклад голос, відео або дані. Визначаючи різні потоки послуг, кабельні оператори можуть призначати окремі параметри QoS для кожного потоку, щоб забезпечити правильний пріоритет.

Підтримка основних механізмів класифікації трафіку- дозволило кабельним операторам ідентифікувати різні типи трафіку на основі таких характеристик, як IP-адреса джерела, IP-адреса призначення, номери портів або тип протоколу. Завдяки класифікації трафіку оператори можуть розрізняти різні служби та відповідно застосовувати політики якості обслуговування [5].

Процес увімкнення пріоритетності потоків послуг шляхом призначення різних рівнів пріоритету кожному потоку- гарантувало, що критичні або чутливі до часу дані, такі як голос або відео, отримували преференційний режим і могли передаватись із меншою затримкою та вищою надійністю. Крім того, DOCSIS 1.0 підтримує механізми планування для розподілу доступної пропускну здатності між різними потоками послуг на основі їх рівнів пріоритету й спрямований на мінімізацію затримки та тремтіння в кабельній мережі. Затримка означає затримку, яку зазнають пакети даних під час проходження мережею, тоді як тремтіння означає зміну затримки.

Зрозуміло, що DOCSIS 1.0 містить базові функції безпеки для захисту даних, що передаються через кабельну мережу, тому було представлено механізми шифрування даних для забезпечення конфіденційності даних користувача під час передачі. Щоб він використовував стандарт шифрування даних (DES) для шифрування пакетів даних, що переміщуються між кабельними модемами та кабельною головною станцією. Шифрування DES забезпечувало певний рівень безпеки, шифруючи дані за допомогою алгоритму симетричного ключа. Також DOCSIS 1.0 включив механізми аутентифікації для перевірки ідентичності кабельних

модемів і забезпечення доступу до мережі лише авторизованих пристроїв. Протоколи автентифікації, такі як Baseline Privacy Interface (BPI), використовувалися для автентифікації кабельних модемів і запобігання несанкціонованому доступу до кабельної мережі.

Було реалізовано механізми керування ключами для обробки ключів шифрування, які використовуються для шифрування даних. Вони включають механізми для створення, розповсюдження та оновлення ключів шифрування між кабельними модемами та кабельною головною станцією. Керування ключами має вирішальне значення для підтримки безпеки зашифрованих даних і запобігання несанкціонованому розшифруванню. Звісно, що DOCSIS 1.0 вирішив проблеми також і з конфіденційністю, забезпечивши, щоб кожен кабельний модем мав унікальну адресу контролю доступу до медіа (MAC). MAC-адреса використовувалася для ідентифікації пристрою та допомогла запобігти несанкціонованому доступу пристроїв до мережі. Унікальність MAC-адрес також полегшила відстеження та керування окремими кабельними модемами в кабельній мережі.

Підсумовуючи, можна сказати, що DOCSIS версії 1.0 став новаторським стандартом, який зробив революцію в доставці високошвидкісного Інтернету через кабельні мережі. У порівнянні з традиційним комутованим підключенням він запровадив значні переваги, пропонуючи вищу швидкість і покращені можливості

2.1.2. Особливості DOCSIS 2.0

DOCSIS 2.0 був розроблений компанією CableLabs як покращення початкової специфікації DOCSIS 1.0. Він був спрямований на задоволення зростаючого попиту на високошвидкісний доступ до Інтернету через кабельні мережі. Процес розробки передбачав співпрацю між кількома операторами кабельного телебачення, постачальниками та технологічними експертами [6].

Випуск DOCSIS 2.0 у грудні 2001 року став важливим проривом в кабельній промисловості. Тепер оператори кабельного телебачення можуть пропонувати своїм

абонентам швидші та надійніші Інтернет-послуги, створюючи низку нових програм і послуг, які вимагають більшої пропускної здатності.



Рис. 2.1 Приклад обладнання другого покоління

Приклади розгортання DOCSIS 2.0:

1. *Comcast* - як один із найбільших кабельних операторів у Сполучених Штатах, Comcast оновив інфраструктуру кабельної мережі для підтримки DOCSIS 2.0. Це дозволило їм запропонувати своїм клієнтам тарифні плани з високою швидкістю Інтернету, задовольнивши зростаючий попит на швидше підключення.

2. *Virgin Media: Virgin Media* - великий провайдер широкопasmового зв'язку у Сполученому Королівстві, розгорнув технологію DOCSIS 2.0 для підвищення продуктивності своєї кабельної мережі. Це оновлення дозволило їм забезпечити більш високу швидкість Інтернету та підтримувати послуги з інтенсивною пропускною здатністю, такі як потокове відео та онлайн-ігри.

3. *Rogers Communications: Rogers Communications* - провідна телекомунікаційна компанія Канади, прийняла DOCSIS 2.0 для модернізації інфраструктури кабельної мережі. Це оновлення дозволило їм запропонувати швидші плани Інтернету своїм приватним і бізнес-клієнтам, покращивши загальний досвід роботи з Інтернетом.

4. *Liberty Global* - Міжнародна телекомунікаційна компанія Liberty Global, що працює в кількох країнах, запровадила DOCSIS 2.0 у своїх кабельних мережах. Це оновлення допомогло їм надавати послуги високошвидкісного Інтернету та підтримувати передові мультимедійні програми для своїх абонентів.

Ось основні функції та характеристики технології DOCSIS 2.0:

Таблиця 1.2

Ключові функції та характеристики DOCSIS 2.0

| <i>Специфікація</i> | <i>Опис</i> |
|-----------------------------|--|
| Швидкість передачі даних | до 38 Мбіт/с в вихідній частині, до 30 Мбіт/с у вихідній |
| Методи модуляції | 256-QAM, 64-QAM |
| Об'єднання каналів | Підтримка декількох вхідних і вихідних каналів |
| Безпека | Шифрування VPI+ для підвищення конфіденційності даних |
| Якість обслуговування (QoS) | Покращена пріоритезація різних типів |

Основні характеристики DOCSIS 2.0:

- Збільшені швидкості передачі даних: DOCSIS 2.0 підтримує вищі швидкості передачі даних порівняно з DOCSIS 1.x. Він забезпечує швидкість передавання даних до 38 Мбіт/с і вихідну швидкість до 30 Мбіт/с. Ці вдосконалення забезпечують швидшу швидкість Інтернету для абонентів кабельного модему.
- Розширені методи модуляції: DOCSIS 2.0 представляє передові методи модуляції, такі як 256-QAM (квадратурна амплітудна модуляція) для каналів вихідного потоку та 64-QAM для каналів висхідного потоку. Ці методи збільшують обсяг даних, які можна передати через кабельну мережу, підвищуючи ефективність і пропускну здатність.
- Об'єднання каналів: одним із значних удосконалень у DOCSIS 2.0 є запровадження зв'язування каналів. Це дозволяє кабельним модемам використовувати кілька вихідних і вихідних каналів одночасно, ефективно

збільшуючи доступну пропускну здатність. Об'єднання каналів допомагає підтримувати вищу швидкість передачі даних і покращує продуктивність мережі.

DOCSIS 2.0 має деякі переваги об'єднання каналів такі як збільшення швидкості передачі даних: використовуючи кілька каналів, кабельні модеми можуть досягти вищої швидкості передачі даних, забезпечуючи високу швидкість Інтернету для абонентів. Покращена пропускну здатність мережі: об'єднання каналів збільшує доступну пропускну здатність, дозволяючи кабельним операторам підтримувати більше абонентів і пропонувати послуги з більшою пропускну здатністю. Зменшення перевантаження мережі: розподіляючи трафік між декількома каналами, об'єднання каналів зменшує перевантаження на окремих каналах, покращуючи загальну продуктивність мережі.

У другій версії DOCSIS була розроблена зворотна сумісність з попередніми версіями DOCSIS, забезпечуючи плавний перехід і співіснування з існуючою мережевою інфраструктурою та кабельними модемами.

Кабельні модеми, сертифіковані на сумісність з DOCSIS 2.0, проходять перевірку сумісності, щоб переконатися, що вони можуть бездоганно працювати з мережами різних кабельних операторів. Це допомагає абонентам мати широкий вибір сумісних кабельних модемів на вибір. DOCSIS 2.0 містить стандартизовані механізми надання та конфігурації, що дозволяє операторам кабельного телебачення ефективно керувати та надавати кабельні модеми у своїй мережі. Ця стандартизація спрощує процеси розгортання та керування для кабельних операторів, незалежно від конкретного постачальника кабельного модема [7].

Іншою перевагою є підтримка гнучкого розподілі спектру, що дозволяє кабельним операторам розподіляти та ефективно керувати вихідними та вхідними каналами. Ця гнучкість забезпечує сумісність з різними планами розподілу спектру, які впроваджують кабельні оператори у своїх мережах. Оновлення до DOCSIS 2.0-сумісних кабельних модемів забезпечує найкращу продуктивність і доступ до повних можливостей стандарту.

Друга версія технології DOCSIS- містить кілька механізмів якості обслуговування (QoS), які допомагають кабельним операторам визначати пріоритети та керувати трафіком у своїх мережах. QoS має важливе значення для забезпечення сталого та надійного Інтернету для абонентів, особливо в періоди пікового використання.

Іншою перевагою є використання потоків обслуговування, які є логічними каналами, які дозволяють операторам кабельного телебачення визначати політики QoS для конкретних типів трафіку. Кожен потік служби можна налаштувати за допомогою різних параметрів QoS, таких як гарантована мінімальна пропускну здатність, максимальна пропускну здатність і рівні пріоритету. Це дозволяє кабельним операторам ефективно розподіляти мережеві ресурси на основі потреб різних програм і послуг. DOCSIS 2.0 підтримує формування трафіку, що є процесом регулювання потоку трафіку в мережі, щоб запобігти перевантаженням і забезпечити справедливий доступ до пропускну здатності. Формування трафіку можна використовувати для встановлення пріоритетів чутливого до часу трафіку, такого як голос і відео, і обмеження впливу не чутливого до часу трафіку, такого як завантаження файлів і оновлення програмного забезпечення.

DOCSIS 2.0- містить механізми класифікації пакетів, які дозволяють кабельним операторам ідентифікувати та розрізнити трафік на основі його джерела, призначення, протоколу та інших атрибутів. Класифікація пакетів дозволяє операторам кабельного телебачення застосовувати різні політики QoS залежно від типу трафіку, наприклад надавати пріоритет трафіку в реальному часі, як-от VoIP і потокове відео. DOCSIS 2.0 містить механізми управління перевантаженнями, які дозволяють кабельним операторам виявляти перевантаження мережі та реагувати на них. Методи керування перевантаженнями можуть включати затримку неперіоритетного трафіку, відкидання пакетів або зменшення швидкості потоку трафіку для запобігання перевантаження мережі. DOCSIS 2.0 підтримує механізми контролю доступу, які дозволяють кабельним операторам керувати кількістю активних потоків послуг у мережі. Контроль доступу гарантує, що мережа не

перевантажена, що може призвести до погіршення продуктивності та збоїв у наданні послуг.

Загалом, механізми QoS у DOCSIS 2.0 дозволяють кабельним операторам ефективно керувати своїми мережами, гарантуючи, що абоненти мають надійний і послідовний Інтернет. Встановлюючи пріоритети та керуючи трафіком, кабельні оператори можуть ефективно розподіляти мережеві ресурси та запобігати перевантаженням мережі, дозволяючи їм надавати високоякісні послуги своїм абонентам [8].

Безпека є ключовим аспектом будь-якої комунікаційної системи, і DOCSIS 2.0 вирішує це за допомогою різних механізмів. Ось ключові функції безпеки у цій технології:

1. Baseline Privacy Interface Plus (BPIP) - є механізмом шифрування, призначеним для підвищення конфіденційності даних користувача, що передаються через кабельну мережу. BPIP шифрує пакети даних, що надсилаються між кабельним модемом і головною станцією, гарантуючи, що інформація не може бути легко перехоплена або доступна неавторизованим особам.

2. Використання та розповсюдження й керування ключами шифрування для BPIP. Система керування ключами гарантує, що лише авторизовані пристрої можуть отримати доступ до зашифрованих даних, і забезпечує безпечний механізм обміну ключами між кабельним модемом і головною станцією.

3. Використання механізмів контролю доступу для запобігання несанкціонованому доступу до кабельної мережі. Кабельні модеми повинні пройти автентифікацію на головній станції, перш ніж їм буде надано доступ до мережевих служб. Цей процес автентифікації гарантує, що лише законні кабельні модеми можуть підключатися до мережі та отримувати доступ до послуг, які надає кабельний оператор.

4. Потреба в наданні конфіденційності користувачів, розділяючи трафік різних абонентів у кабельній мережі. Кожному кабельному модему присвоюється унікальний ідентифікатор, і мережа розроблена таким чином, щоб дані, призначені

для одного абонента, були недоступні іншим. Ця функція конфіденційності запобігає несанкціонованому доступу до даних абонента іншими користувачами кабельного модему.

5. Визначення безпечної конфігурації та методів керування кабельними модемами. Це включає механізми захисту від несанкціонованої зміни конфігурації кабельного модему, забезпечення цілісності та безпеки пристрою.

Важливо зазначити, що хоча DOCSIS 2.0 містить функції безпеки, підтримка безпечного мережевого середовища вимагає належного впровадження, регулярних оновлень програмного забезпечення та дотримання найкращих практик безпеки кабельними операторами та виробниками обладнання.

2.1.3. Особливості DOCSIS 3.0:

DOCSIS 3.0, представлений у 2006 році, був серйозним оновленням у порівнянні зі своїм попередником DOCSIS 2.0. Він став важливою новинкою в еволюції кабельних широкосмугових технологій та був розроблений у відповідь на зростаючий попит на високу швидкість Інтернету та потребу кабельних операторів надавати своїм абонентам якісніші послуги [9].

До третьої версії DOCSIS поширеним стандартом був DOCSIS другої версії, який пропонував максимальну швидкість вхідного потоку до 38 Мбіт/с і вихідну швидкість до 30 Мбіт/с. Однак із зростанням популярності додатків, які потребують пропускну здатності, таких як потокове відео, онлайн-ігри та хмарні сервіси, виникла потреба у більш надійному та швидшому рішенні.



Рис. 2.2 Приклад обладнання третього покоління

Розробка DOCSIS 3.0 почалася на початку 2000-х років під керівництвом CableLabs та її компаній-членів, серед яких були великі кабельні оператори та виробники обладнання. Основна мета полягала в тому, щоб розширити можливості кабельних мереж для надання високошвидкісних широкосмугових послуг і конкурувати з новими технологіями, такими як волоконно-оптичні мережі.

Одним із значних досягнень, представлених у DOCSIS 3.0, було зв'язування каналів. За допомогою зв'язування каналів можна об'єднати кілька вхідних і вихідних каналів, що забезпечує більшу пропускну здатність. Це дозволило кабельним операторам надавати своїм клієнтам більш високу швидкість Інтернету.

DOCSIS 3.0 також представив покращені схеми модуляції, такі як 256-QAM (квадратурна амплітудна модуляція), яка збільшила кількість даних, які можна було передати по кожному каналу. Він також запровадив підтримку IPv6, враховуючи зростаючу кількість пристроїв і перехід на Інтернет-протокол наступного покоління.

Випуск DOCSIS 3.0 у 2006 році проклав шлях для операторів кабельного телебачення, щоб пропонувати своїм абонентам значно більшу швидкість Інтернету. Це відкрило можливості для нових послуг і програм, які вимагали вищої пропускну здатності, таких як потокове відео високої чіткості, відеоконференції та онлайн-ігри. Він запропонував значні покращення з точки зору швидкості передачі даних і пропускну здатності мережі. DOCSIS 3.0 почав підтримувати швидкість вихідного потоку до 1 Гбіт/с і швидкість вхідного потоку до 200 Мбіт/с, забезпечуючи значний приріст підключення до Інтернету порівняно з попередніми версіями.

DOCSIS 3.0 підтримує кілька вхідних і вихідних каналів. Вхідні канали передають дані від кабельної мережі до абонента, тоді як вихідні канали передають дані від абонента до кабельної мережі. Кількість каналів може змінюватися в залежності від реалізації та можливостей кабельної інфраструктури. Також DOCSIS 3.0 підтримує розширені схеми модуляції для підвищення ефективності передачі даних. Він використовує методи квадратурної амплітудної модуляції (QAM), причому 256-QAM є найпоширенішою схемою модуляції. QAM дозволяє кодувати кілька бітів даних в один символ, що забезпечує вищу швидкість передачі даних і покращену спектральну ефективність.

Об'єднання каналів є ключовою функцією, представленою в DOCSIS 3.0, яка значно покращує можливості передачі даних у мережах кабельного телебачення. Це дозволяє об'єднувати кілька вихідних і висхідних каналів для збільшення доступної смуги пропускання та підвищення продуктивності мережі.

У DOCSIS 3.0 кабельні модеми можуть поєднувати кілька вихідних каналів для одночасного прийому даних. Це означає, що замість того, щоб покладатися на один канал для передачі даних, кабельний модем може використовувати кілька каналів для одночасного завантаження даних. Кожен вихідний канал має власну частоту та розподіл смуги пропускання.

Об'єднуючи кілька вихідних каналів, DOCSIS 3.0 забезпечує вищу швидкість завантаження. Наприклад, якщо один вихідний канал має максимальну швидкість передачі даних 50 Мбіт/с, об'єднання чотирьох каналів може забезпечити загальну швидкість передачі даних до 200 Мбіт/с ($50 \text{ Мбіт/с} \times 4$).

Подібно до з'єднання вихідних каналів, DOCSIS 3.0 також підтримує агрегацію кількох вихідних каналів. Кабельні модеми можуть передавати дані, використовуючи кілька вихідних каналів одночасно, збільшуючи таким чином доступну смугу пропускання.

З'єднання висхідних каналів особливо корисне для додатків, які вимагають вищої швидкості завантаження, таких як відеоконференції, онлайн-ігри та завантаження файлів. Це дозволяє більш ефективно використовувати доступний

спектр і допомагає запобігти перевантаженням у висхідному напрямку. Щоб увімкнути об'єднання каналів у DOCSIS 3.0, кабельні модеми та інфраструктура кабельної мережі повинні підтримувати це. Кабельні оператори налаштовують своє мережеве обладнання для розподілу та синхронізації з'єднаних каналів.

Процес з'єднання передбачає об'єднання окремих каналів у віртуальний канал. Кабельний модем розглядає приєднаний канал як єдиний більш широкий канал, що ефективно збільшує доступну пропускну здатність. Процес з'єднання каналів вимагає координації між кабельними модемами та кабельною головною станцією або концентратором.

Загалом зв'язування каналів є важливою функцією DOCSIS 3.0, яка дозволяє кабельним операторам забезпечувати більш високу швидкість Інтернету та покращувати продуктивність мережі. Це максимізує використання доступних каналів, що призводить до покращення пропускну здатності та кращого досвіду користувача для передплатників.

Сумісність є важливим аспектом DOCSIS 3.0, оскільки вона забезпечує повну інтеграцію та взаємодію між різними компонентами кабельної мережі. DOCSIS 3.0 розроблено для зворотної сумісності з попередніми версіями DOCSIS, включаючи DOCSIS 2.0 і DOCSIS 1.x. Це означає, що оператори кабельного телебачення можуть оновити свої мережі до DOCSIS 3.0, зберігаючи підтримку старіших пристроїв DOCSIS і обладнання в приміщеннях клієнтів (CPE). Він забезпечує плавний шлях переходу, дозволяючи співіснувати в мережі DOCSIS 3.0 і старіших пристроїв DOCSIS. Щоб забезпечити сумісність і взаємодію між обладнанням різних постачальників, CableLabs, організація, відповідальна за розробку та підтримку специфікацій DOCSIS, проводить програми сертифікації. Постачальники подають свої пристрої DOCSIS 3.0, такі як кабельні модеми та системи термінації кабельних модемів (CMTS), для тестування та сертифікації. Цей процес сертифікації підтверджує, що пристрої відповідають специфікаціям DOCSIS 3.0, забезпечуючи взаємодію та сумісність в екосистемі кабельної мережі.

Кабельні модеми DOCSIS 3.0 сумісні як з DOCSIS 3.0, так і з попередніми версіями DOCSIS. Вони можуть працювати в режимі DOCSIS 3.0 або повернутися до відповідного режиму залежно від можливостей мережі. Це гарантує, що абоненти можуть продовжувати використовувати наявні модеми DOCSIS 2.0 або DOCSIS 1.x навіть після оновлення мережі до DOCSIS 3.0. Однак, щоб повністю скористатися перевагами та функціями DOCSIS 3.0, абонентам може знадобитися оновити свої модеми до пристроїв, сумісних з DOCSIS 3.0. Щоб підтримувати DOCSIS 3.0, кабельним операторам необхідно оновити свою мережеву інфраструктуру, включаючи систему термінації кабельного модема (CMTS) та інші елементи мережі. Оновлена інфраструктура має бути здатна працювати зі збільшеними швидкостями, з'єднанням каналів та іншими функціями, які пропонує DOCSIS 3.0.

Таким чином, DOCSIS 3.0 забезпечує зворотну сумісність із попередніми версіями DOCSIS, дозволяючи плавний перехід та співіснування різних пристроїв DOCSIS у кабельній мережі. Програми сертифікації та тестування сумісності допомагають гарантувати сумісність обладнання різних постачальників. Абонентам може знадобитися оновити свої кабельні модеми, щоб повною мірою скористатися функціями DOCSIS 3.0, тоді як кабельним операторам потрібно оновити свою мережеву інфраструктуру для підтримки пропозицій послуг DOCSIS 3.0 [10].

Якість обслуговування (QoS) є важливим аспектом DOCSIS 3.0, який дозволяє кабельним операторам визначати пріоритети та керувати мережевим трафіком, щоб забезпечити послідовну та задовільну взаємодію з користувачем.

DOCSIS 3.0 підтримує класифікацію трафіку на основі різних критеріїв, таких як потоки послуг, ідентифікатори пакетів і класифікації пакетів. Потоки послуг визначають логічний зв'язок між кабельним модемом і CMTS для певних типів трафіку. Ідентифікатори та класифікації пакетів використовуються для розрізнення та пріоритезації різних типів трафіку, наприклад голосу, відео та даних. DOCSIS 3.0 містить механізми для розподілу пропускну здатності для забезпечення справедливого розподілу доступної пропускну здатності між користувачами. Він використовує комбінацію множинного доступу з розділенням часу каналу (TDMA) і

профілів якості обслуговування для розподілу пропускної здатності для різних потоків послуг. Це дозволяє операторам кабельного телебачення контролювати обсяг смуги пропускання, виділеної конкретним службам або абонентам, гарантуючи, що критичні служби отримують необхідні ресурси.

DOCSIS 3.0 надає різні інструменти керування трафіком для контролю перевантаження мережі та оптимізації продуктивності мережі. Кабельні оператори можуть запроваджувати політики та правила для керування використанням пропускної здатності в години пік або за сценаріїв високого попиту. Методи формування трафіку, обмеження швидкості та управління перевантаженнями можуть бути використані для підтримки постійного рівня обслуговування та запобігання монополізації мережевих ресурсів будь-яким окремим користувачем або програмою. Функції DOCSIS 3.0 QoS задовольняють конкретні вимоги різних програм. Це гарантує, що додатки, чутливі до затримки, такі як передача голосу через IP (VoIP) і потокове відео, отримують необхідний пріоритет і ресурси для безперебійної роботи. Крім того, це дозволяє кабельним операторам надавати диференційовані рівні обслуговування, пропонуючи більш високі гарантії якості обслуговування для преміальних послуг або окремих програм. DOCSIS 3.0 підтримує управління QoS на основі політик, дозволяючи кабельним операторам визначати та застосовувати політики QoS у своїх мережах. Ці політики можна налаштувати відповідно до конкретних потреб різних абонентів, рівнів обслуговування або програм. Кабельні оператори можуть впроваджувати гнучкі політики для контролю та керування параметрами QoS, забезпечуючи оптимальну продуктивність і використання ресурсів.

Безпека є ключовим аспектом DOCSIS 3.0, метою якого є захист кабельної мережі та забезпечення конфіденційності та цілісності даних користувача. Декілька прикладів функцій безпеки в DOCSIS 3.0:

1. *Baseline Privacy Interface Plus (BPIP)*. DOCSIS 3.0 містить *Baseline Privacy Plus (BPIP)*, покращену версію протоколу безпеки, який використовувався в попередніх версіях DOCSIS. BPIP забезпечує механізми шифрування та

аутентифікації для захисту даних, що передаються через кабельну мережу. Це гарантує, що дані користувача залишаються конфіденційними, і запобігає несанкціонованому доступу до конфіденційної інформації.

2. *Шифрування.* DOCSIS 3.0 використовує Advanced Encryption Standard (AES) із 128-бітними ключами для шифрування трафіку даних між кабельним модемом і системою завершення кабельного модема (CMTS). Це шифрування гарантує, що дані користувача не можуть бути перехоплені або розшифровані неавторизованими сторонами, зберігаючи конфіденційність спілкування користувачів.

3. *Автентифікація.* DOCSIS 3.0 використовує механізми аутентифікації для перевірки ідентичності кабельних модемів перед тим, як дозволити їм доступ до мережі. Це гарантує, що лише авторизованим пристроям дозволено підключатися та спілкуватися з кабельною інфраструктурою. Автентифікація допомагає запобігти несанкціонованому доступу та захищає від злому мережі.

4. *Керування ключами.* DOCSIS 3.0 як і DOCSIS 2.0 містить надійні механізми керування ключами для безпечного створення, розповсюдження та обробки ключів шифрування, які використовуються для захисту комунікацій.

5. *Контроль доступу до мережі.* DOCSIS 3.0 підтримує механізми контролю доступу для обмеження доступу до мережі для авторизованих пристроїв. Оператори кабельного телебачення можуть налаштувати списки контролю доступу (ACL), щоб вказати, яким пристроям дозволено підключатись до мережі. Це запобігає несанкціонованим пристроям отримати доступ до інфраструктури та послуг кабельної мережі.

6. *Сертифікат постачальника послуг.* DOCSIS 3.0 представляє концепцію сертифіката постачальника послуг (SPC), який є цифровим сертифікатом, виданим кабельним оператором. SPC використовується для автентифікації та підтвердження ідентичності компонентів інфраструктури кабельного оператора, таких як CMTS. Це допомагає переконатися, що кабельні модеми підключаються до законних і надійних елементів мережі.

7. *Аудит безпеки.* DOCSIS 3.0 містить положення щодо аудиту та моніторингу безпеки. Кабельні оператори можуть проводити регулярні аудити та оцінки своєї мережевої інфраструктури, щоб виявити та усунути будь-які потенційні вразливості безпеки. Інструменти моніторингу та протоколи безпеки допомагають виявляти та пом'якшувати загрози безпеці, забезпечуючи загальну безпеку кабельної мережі.

Тому можна сказати, що DOCSIS 3.0 революціонізував технологію кабельного широкопasmового зв'язку, запровадивши з'єднання каналів, забезпечивши вищу швидкість передачі даних і покращену продуктивність мережі. Він забезпечив суттєве оновлення порівняно з попередніми версіями, пропонуючи збільшену ємність, вдосконалені методи модуляції та підтримку IPv6. Зворотна сумісність DOCSIS 3.0 забезпечила плавний перехід для кабельних операторів, дозволяючи їм поступово оновлювати свої мережі. Завдяки надійним функціям безпеки та механізмам якості обслуговування DOCSIS 3.0 забезпечував конфіденційність, цілісність та ефективне керування мережевим трафіком. Загалом DOCSIS 3.0 зіграв вирішальну роль у наданні швидких і надійних послуг широкопasmового зв'язку, задовольнивши зростаючий попит на високошвидкісний доступ до Інтернету та покращивши користувацький досвід для абонентів кабельного телебачення.

2.1.4. Особливості DOCSIS 3.1:

DOCSIS 3.1 є наступником DOCSIS 3.0 і був розроблений для задоволення зростаючого попиту на більш високу швидкість і покращену продуктивність кабельних широкопasmових мереж. Він являє собою значний стрибок у технологіях і пропонує кілька покращень порівняно зі своїм попередником.

Розробка DOCSIS 3.1 почалася на початку 2010-х років, а компанія CableLabs очолила роботу у співпраці з кабельними операторами та постачальниками обладнання. Основна мета полягала в тому, щоб дозволити кабельним мережам забезпечувати мультигігабітну швидкість і підтримувати зростаючі вимоги до пропускної здатності сучасних програм і послуг [11].

Одним із ключових досягнень у DOCSIS 3.1 є використання модуляції мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM), яка замінила старішу квадратурну амплітудну модуляцію (QAM), використовувану в попередніх версіях. OFDM — це більш ефективна схема модуляції, яка дозволяє збільшити пропускну здатність даних і покращити використання спектру.

На додаток до OFDM, DOCSIS 3.1 представив корекцію помилок перевірки парності низької щільності (LDPC), яка забезпечує кращу стійкість до шуму та перешкод у кабельній мережі. LDPC покращує загальну продуктивність і надійність передачі даних, особливо в складних умовах.

DOCSIS 3.1 також розширив доступний спектр частот для передачі даних. Він представив концепцію повного дуплексу DOCSIS (FDX), яка забезпечує одночасну передачу даних вгору та вниз на одній частоті, фактично подвоюючи доступну смугу пропускання.

Випуск DOCSIS 3.1 у 2013 році став важливою віхою в технології кабельного широкопasmового зв'язку. Він запропонував суттєве збільшення максимальних швидкостей із підтримкою швидкості вихідного потоку до 10 Гбіт/с і швидкості вихідного потоку до 1 Гбіт/с. Ці швидкості здатні задовольнити вимоги додатків, які потребують пропускну здатності, таких як потокове передавання відео 4K і 8K, віртуальна реальність і хмарні ігри.

DOCSIS 3.1 також покращив пропускну здатність мережі, дозволивши кабельним операторам обслуговувати більше користувачів і надавати послуги вищої якості. Це покращило загальну ефективність передачі даних, зменшивши затримку та підвищивши швидкість реагування.

З моменту появи DOCSIS 3.1 широко використовувався кабельними операторами в усьому світі для модернізації своїх мереж і надання вищої швидкості Інтернету для своїх клієнтів. Це дозволило кабельному широкопasmовому зв'язку залишатися конкурентоспроможним з іншими високошвидкісними технологіями, такими як волоконно-оптичні мережі.

Розвиток технології DOCSIS продовжується з постійними зусиллями для підвищення продуктивності, підвищення швидкості та підтримки нових технологій. DOCSIS 4.0 зараз знаходиться в розробці, обіцяючи ще більшу швидкість і покращені можливості мережі, щоб задовольнити зростаючі вимоги цифрової епохи.

Ось деякі помітні функції та характеристики DOCSIS 3.1:

1. Даний стандарт- запропонував значно вищу швидкість порівняно зі своїм попередником. Він підтримував швидкість вихідного потоку до 10 Гбіт/с і швидкість вихідного потоку до 1 Гбіт/с, забезпечуючи надшвидке підключення до Інтернету.

2. DOCSIS 3.1 реалізував нові методи модуляції, такі як мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM) і кодування з перевіркою парності з низькою щільністю (LDPC), щоб підвищити спектральну ефективність і оптимізувати передачу даних.

3. Стандарт 3.1- збільшив кількість доступних частотних каналів, дозволяючи операторам кабельного телебачення пропонувати вищу пропускну здатність для більшої кількості користувачів одночасно.

4. З версії 3.1- з'явилися розширені механізми корекції помилок і перешкодостійкості, що дозволяє покращити продуктивність у середовищах із високим рівнем перешкод.

DOCSIS 3.1 забезпечує більшу гнучкість у використанні спектру. Це дозволяє операторам кабельного телебачення використовувати для передачі даних більшу смугу пропускання каналів, наприклад 96 МГц або навіть 192 МГц. Це дозволяє підвищити швидкість передачі даних і збільшити пропускну здатність, оскільки для передачі даних можна об'єднати більше каналів. Використання розширеного спектру в DOCSIS 3.1 полегшує передачу мультигігабітних швидкостей через кабельну мережу.

Одним із помітних досягнень у DOCSIS 3.1 є впровадження повного дуплексу DOCSIS (FDX). FDX забезпечує одночасну передачу даних вгору та вниз на одній частоті, фактично подвоюючи доступну смугу пропускання. Це означає, що як

абонент, так і кабельна мережа можуть передавати та отримувати дані одночасно, підвищуючи ефективність мережі та зменшуючи затримку.

DOCSIS 3.1 підвищує пропускну здатність і ефективність мережі, використовуючи різні методи. До них належать розширене придушення відлуння, покращене пряме виправлення помилок і краще керування мережевими ресурсами. Ці вдосконалення дозволяють кабельним операторам підтримувати більшу кількість абонентів і забезпечувати стабільну продуктивність навіть у періоди пікового використання.

Зв'язування каналів є фундаментальною функцією в DOCSIS 3.1, яка дозволяє об'єднувати кілька вихідних і висхідних каналів для збільшення доступної пропускну здатності та підвищення продуктивності мережі. DOCSIS 3.1 розширює можливості зв'язування каналів, представлені в DOCSIS 3.0, забезпечуючи ще вищу швидкість і підвищену ефективність.

У DOCSIS 3.1 кабельні модеми можуть об'єднувати кілька вихідних каналів для одночасного прийому даних. Це означає, що замість того, щоб покладатися на один канал для передачі даних, кабельний модем може використовувати кілька каналів для одночасного завантаження даних.

DOCSIS 3.1 представляє концепцію ширшої смуги пропускання каналу, такої як 96 МГц або навіть 192 МГц, що забезпечує більшу швидкість передачі даних. Збільшена пропускну здатність каналу в поєднанні з використанням передових схем модуляції, таких як квадратурна амплітудна модуляція (QAM), дозволяє операторам кабельного телебачення забезпечувати швидкість передачі даних у кілька гігабіт. Завдяки об'єднанню кількох вихідних каналів DOCSIS 3.1 значно підвищує швидкість завантаження, дозволяючи абонентам насолоджуватися швидшим підключенням до Інтернету та підтримкою програм, які потребують великої пропускну спроможності, таких як потокове відео надвисокої чіткості та віртуальна реальність.

DOCSIS 3.1 робить більший акцент на взаємодію, запроваджуючи нові програми сертифікації та процедури тестування. CableLabs вдосконалив процес

сертифікації, щоб переконатися, що пристрої DOCSIS 3.1 від різних постачальників можуть бездоганно працювати разом у кабельній мережі. Ця суворя сертифікація сприяє підвищенню сумісності, зменшує потенційні проблеми під час розгортання та дає можливість кабельним операторам мати більший вибір обладнання.

Оператори кабельного телебачення ретельно планують оновлення своїх мереж і перехід на DOCSIS 3.1, враховуючи такі фактори, як готовність мережі, попит абонентів і доступні ресурси. Перехід на DOCSIS 3.1 передбачає координацію між кабельним оператором, постачальниками обладнання та абонентами для забезпечення плавного переходу. Оператори кабельного телебачення спілкуються з абонентами, надаючи інформацію про сумісні пристрої, доступність послуг і будь-які необхідні кроки для оновлення свого обладнання [12].

DOCSIS 3.1 пропонує розширені можливості QoS порівняно з DOCSIS 3.0. Він надає більш складні механізми для класифікації трафіку, пріоритезації та керування, що дозволяє кабельним операторам надавати послуги вищої якості та оптимізувати роботу мережі.

DOCSIS 3.1 має на меті зменшити затримку, що має вирішальне значення для додатків у реальному часі, таких як онлайн-ігри, відеоконференції та інтерактивні служби. Він представляє функції з низькою затримкою, включаючи методи активного керування чергою (AQM), такі як DOCSIS CoDel (контрольована затримка) і PIE (пропорційно-інтегральний контролер, розширений). Ці механізми допомагають мінімізувати затримки в черзі та підвищити швидкість реагування на чутливі до часу програми.

DOCSIS 3.1 надає розширені можливості формування трафіку, дозволяючи кабельним операторам формувати та контролювати потік різних типів трафіку. Це дозволяє операторам динамічно розподіляти пропускну здатність на основі вимог абонентів і вимог QoS. Механізми формування трафіку допомагають оптимізувати використання мережі та гарантують, що критичні програми отримують необхідні ресурси.

DOCSIS із низькою затримкою (LLD) — це додаткова функція, представлена в DOCSIS 3.1. Це ще більше зменшує затримку для додатків із наднизькою затримкою, таких як онлайн-ігри чи віртуальна реальність. LLD оптимізує вихідні та вихідні шляхи передачі, мінімізує затримки обробки та запроваджує механізми для визначення пріоритетів чутливого до часу трафіку, що забезпечує надзвичайно низьку затримку з'єднань [13].

DOCSIS 3.1 представляє концепцію швидкості потоку послуг (SFR), яка дозволяє кабельним операторам гарантувати певну мінімальну швидкість передачі даних для конкретного потоку послуг. Це дозволяє операторам запроваджувати певні вимоги до QoS і гарантувати, що критично важливі служби отримують необхідну пропускну здатність і продуктивність навіть в умовах перевантаженої мережі. Містить положення для покращення моніторингу якості та звітування. Він надає кабельним операторам механізми для моніторингу продуктивності мережі, відстеження показників QoS, а також завчасного виявлення та вирішення проблем, які можуть вплинути на якість обслуговування. Ці можливості моніторингу допомагають забезпечити постійне та надійне обслуговування абонентів.

DOCSIS 3.1 представляє концепцію безпечного завантаження, яка гарантує, що кабельні модеми запускають лише авторизоване та автентифіковане мікропрограмне забезпечення. Безпечне завантаження перевіряє цілісність і автентичність програмного забезпечення модему під час процесу завантаження, захищаючи від виконання неавторизованого або шкідливого коду. DOCSIS 3.1 містить механізми безпечного завантаження програмного забезпечення на кабельні модеми. Він забезпечує безпечну передачу оновлень прошивки та файлів конфігурації з мережі кабельного оператора на модем, запобігаючи втручанню або несанкціонованому доступу під час процесу завантаження. Це допомагає підтримувати цілісність програмного забезпечення модему. DOCSIS 3.1 розширює можливості шифрування, запроваджуючи AES-256 (розширений стандарт шифрування з 256-бітними ключами). AES-256 забезпечує надійне шифрування, ніж 128-бітне шифрування, яке

використовується в DOCSIS 3.0, пропонуючи вищий рівень безпеки для передачі даних через кабельну мережу.

DOCSIS 3.1 представляє покращену ієрархію ключів, яка підвищує безпеку керування ключами. Він встановлює окремі ключі для різних цілей, таких як шифрування даних, обмін ключами та контрольні повідомлення. Ця ієрархічна структура ключів допомагає запобігти несанкціонованому доступу до конфіденційного ключового матеріалу та забезпечує кращий захист від криптографічних атак.

DOCSIS 3.1 наголошує на конфіденційності та захисті даних шляхом включення заходів для запобігання несанкціонованому розголошенню або перехопленню даних користувача. Це включає використання шифрування, безпечних протоколів і технологій підвищення конфіденційності для захисту конфіденційності спілкування користувачів і захисту конфіденційної інформації від несанкціонованого доступу. DOCSIS 3.1 заохочує регулярні оновлення безпеки та виправлення для усунення нових загроз і вразливостей. Оператори кабельного телебачення тісно співпрацюють з постачальниками обладнання, щоб гарантувати, що кабельні модеми отримують своєчасні оновлення безпеки для захисту від відомих ризиків безпеки. Регулярні оновлення мікропрограми допомагають підтримувати безпеку та цілісність кабельної мережі.

2.1.5 Порівняння DOCSIS 3.0 та DOCSIS 3.1

Ось таблиця, у якій узагальнено основні відмінності та порівняння між стандартами DOCSIS 3.0 і DOCSIS 3.1:

Порівняння стандартів DOCSIS 3.0 та DOCSIS 3.1

| <i>Функція</i> | <i>DOCSIS 3.0</i> | <i>DOCSIS 3.1</i> |
|--|--|--|
| Максимальна швидкість вхідного потоку | до 1 Гбіт/с | до 10 Гбіт/с |
| Максимальна швидкість вихідного потоку | до 200 Мбіт/с | до 1 Гбіт/с |
| Об'єднання каналів | підтримується | підтримується |
| Методи модуляції | QAM (квадратурна амплітудна модуляція) | OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом) |
| Виправлення помилок | Рід-Соломон | LDPC (перевірка парності низької щільності) |
| Ємність мережі | обмежена | більша ємність завдяки більшій кількості частотних каналів |
| Підтримка IPv6 | підтримується | підтримується |
| Безпека | шифрування AES | - |

2.1.6. Переваги та обмеження технології DOCSIS

Технологія DOCSIS революціонізувала спосіб доступу до Інтернету, забезпечивши високошвидкісний доступ до Інтернету через мережу кабельного телебачення. Він зробив високошвидкісний доступ до Інтернету широко доступним, економічно ефективним і масштабованим, дозволяючи користувачам насолоджуватися вищою швидкістю Інтернету та підтримувати декілька пристроїв.

Однак, як і будь-яка технологія, DOCSIS має свої переваги та обмеження, які необхідно враховувати.

Технологія DOCSIS широко використовується в міських і приміських районах, де широко розповсюджені мережі кабельного телебачення. Його архітектура базується на трирівневій моделі, яка включає фізичний (PHY) рівень, рівень керування доступом до медіа (MAC) і протоколи вищого рівня. Ці рівні працюють разом, щоб забезпечити надійну та ефективну передачу даних між кабельним модемом та Інтернетом [14].

У цьому контексті важливо розуміти переваги та обмеження технології DOCSIS, щоб приймати обґрунтовані рішення щодо її розгортання та використання. Ці знання особливо важливі для тих, хто займається розробкою, впровадженням і керуванням високошвидкісним доступом до Інтернету через мережу кабельного телебачення.

Переваги технології DOCSIS:

1. Високошвидкісний доступ до Інтернету: технологія DOCSIS дозволяє користувачам насолоджуватися більшою швидкістю завантаження, що особливо важливо для програм із високою пропускнуою здатністю, таких як потокове відео та онлайн-ігри. Наприклад, за допомогою технології DOCSIS 3.1 користувачі можуть насолоджуватися швидкістю завантаження до 10 Гбіт/с, що значно вище, ніж традиційні широкосмугові технології.

2. Широке охоплення: технологія DOCSIS широко доступна в міських і приміських районах, де вже є мережі кабельного телебачення. Це полегшує провайдерам кабельного телебачення розгортання технології DOCSIS без необхідності будувати нову інфраструктуру. Наприклад, у США більше 90% домогосподарств мають доступ до технології DOCSIS.

3. Рентабельність: технологія DOCSIS є економічно ефективною, оскільки мережі кабельного телебачення вже існують. Це робить вартість розгортання технології DOCSIS нижчою, ніж інші технології доступу до Інтернету, такі як волоконна оптика. Наприклад, технологію DOCSIS 3.1 можна розгорнути за нижчою

ціною, ніж волоконно-оптичну мережу, що робить її більш доступним варіантом для провайдерів кабельного телебачення.

4. Підтримка кількох пристроїв: технологія DOCSIS дозволяє кільком пристроям одночасно підключатися до Інтернету, що робить її ідеальною для домогосподарств з кількома користувачами. Ця функція особливо важлива в сучасному світі, де одночасно використовується кілька пристроїв, таких як смартфони, ноутбуки та планшети.

5. Масштабованість: технологія DOCSIS має високу масштабованість, що дозволяє провайдерам кабельного телебачення збільшувати швидкість і пропускну здатність Інтернету в міру зростання попиту. Наприклад, за допомогою технології DOCSIS 3.1 провайдери кабельного телебачення можуть збільшити швидкість Інтернету до 10 Гбіт/с, забезпечуючи перспективне рішення для високошвидкісного доступу до Інтернету.

Можна виділити наступні характерні обмеження технології DOCSIS:



Рис. 2.3. Обмеження технології DOCSIS

1. *Спільна пропускну здатність.* Технологія DOCSIS використовує спільну мережу, тобто на швидкість Інтернету може впливати кількість користувачів у мережі та рівень мережевого трафіку. Це може призвести до зниження швидкості Інтернету під час пікового використання. Наприклад, якщо кілька користувачів у родині одночасно транслюють відео, швидкість Інтернету може сповільнитися для всіх членів родини.

2. *Обмеження відстані.* Технологія DOCSIS підлягає обмеженню відстані, тобто швидкість Інтернету може знизитися на великих відстанях мережі кабельного телебачення. Це може призвести до зниження швидкості Інтернету для користувачів, які знаходяться далі від кабельного модему. Наприклад, користувачі, які живуть далеко від кабельного модему, можуть мати нижчу швидкість Інтернету, ніж користувачі, які живуть ближче.

3. *Залежність від інфраструктури мережі.* Технологія DOCSIS залежить від інфраструктури мережі кабельного телебачення, що може обмежити її доступність у сільській місцевості, де мережі кабельного телебачення недоступні. Наприклад, у сільській місцевості, де мережі кабельного телебачення недоступні, технологія DOCSIS може бути недоступною для високошвидкісного доступу до Інтернету.

4. *Контроль постачальників послуг.* Постачальники кабельного телебачення контролюють інфраструктуру та можуть обмежувати доступ до певних зон або контролювати рівень наданих послуг. Це може призвести до обмеження доступу для користувачів у певних областях. Наприклад, якщо провайдер кабельного телебачення вирішить не розгорнути технологію DOCSIS у певній області, користувачі в цій області можуть не мати доступу до високошвидкісного Інтернету.

5. *Обмежена швидкість завантаження.* Технологія DOCSIS забезпечує вищу швидкість завантаження, ніж швидкість завантаження, що може обмежити продуктивність певних програм, таких як відеоконференції або хмарні обчислення. Це обмеження може бути особливо складним для підприємств, які покладаються на високошвидкісний доступ до Інтернету. Наприклад, компанії, яким потрібна висока швидкість завантаження для відеоконференцій, можуть зіткнутися із затримкою або низькою якістю відео через обмежену швидкість завантаження, яку забезпечує технологія DOCSIS.

Технологія DOCSIS революціонізувала спосіб доступу до Інтернету через мережі кабельного телебачення. Однак, як і будь-яка технологія, вона має власний набір обмежень, які можуть вплинути на її продуктивність і взаємодію з користувачем. Ці обмеження з'явилися через різні фактори, такі як інфраструктура,

попит користувачів і технологічний прогрес. Однак ці обмеження можна вирішити та уникнути за допомогою різних методів покращення якості та надійності технології DOCSIS.

Щоб уникнути обмежень технології DOCSIS, провайдери кабельного телебачення можуть вжити таких заходів, як модернізація своєї інфраструктури, впровадження методів якості обслуговування та розгортання нових версій DOCSIS. Ці методи можуть допомогти збільшити пропускну здатність, зменшити втрати сигналу та покращити продуктивність мережі. Уряди також можуть заохочувати провайдерів розширювати покриття своєї мережі на сільську місцевість і регулювати галузь, щоб забезпечити всім користувачам доступ до високошвидкісного Інтернету. Усуваючи обмеження технології DOCSIS, ми можемо покращити взаємодію з користувачем і розширити можливості Інтернету для всіх користувачів. Залежно від мережевої інфраструктури: у регіонах, де мережі кабельного телебачення недоступні, для забезпечення високошвидкісного доступу до Інтернету можна використовувати альтернативні технології, такі як оптоволокно або бездротові технології. Уряди можуть також стимулювати провайдерів кабельного телебачення розгорнути свою інфраструктуру в сільській місцевості для розширення доступу до високошвидкісного Інтернету.

Контроль постачальника послуг: користувачі можуть перейти до іншого постачальника кабельного телебачення або вибрати альтернативні технології, якщо їхній поточний постачальник не пропонує технологію DOCSIS у їхньому регіоні. Уряди також можуть регулювати галузь, щоб забезпечити доступ до високошвидкісного Інтернету в усіх регіонах.

Обмежена швидкість завантаження: постачальники послуг кабельного телебачення можуть запропонувати симетричні швидкості завантаження та завантаження за допомогою технології DOCSIS 3.1 Full Duplex, яка забезпечує до 10 Гбіт/с симетричної швидкості. Постачальники також можуть запровадити з'єднання висхідних каналів для збільшення швидкості завантаження. Підприємства також

можуть вибрати волоконно-оптичні з'єднання, які забезпечують вищу швидкість завантаження, ніж технологія DOCSIS.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

DOCSIS 1.0 і DOCSIS 2.0 — це два найперших покоління стандартів кабельних модемів, які використовуються для надання високошвидкісного доступу до Інтернету через мережі кабельного телебачення.

І DOCSIS 1.0, і DOCSIS 2.0 відіграли вирішальну роль у розвитку та розширенні послуг кабельного Інтернету. Вони забезпечували швидші та надійніші з'єднання порівняно з попередніми технологіями, такими як комутовані модеми. Однак, оскільки використання Інтернету та вимоги до пропускної здатності продовжували зростати, нові версії DOCSIS були представлені для задоволення зростаючих вимог щодо швидкості та пропускної здатності.

На завершення, хочу сказати, що завдяки своїй здатності забезпечувати гігабітні та мультигігабітні швидкості DOCSIS 3.1 задовольняє постійно зростаючий попит на високошвидкісний доступ до Інтернету, дозволяючи користувачам безперешкодно насолоджуватися програмами, які потребують великої пропускної здатності. Запровадження розширених схем модуляції, ширшої смуги пропускання каналу та покращених методів зв'язування каналів максимізує пропускну здатність мережі та спектральну ефективність, оптимізуючи використання доступної смуги пропускання.

Крім того, фокус DOCSIS 3.1 на низькій затримці та покращенні якості обслуговування забезпечує безперебійну та швидку роботу користувачів у додатках у реальному часі, таких як ігри та відеоконференції. Крім того, підвищений акцент на безпеці завдяки таким функціям, як безпечне завантаження, безпечне завантаження програмного забезпечення та надійніші алгоритми шифрування, допомагає захистити конфіденційність користувачів і цілісність даних, забезпечуючи безпечну та надійну широкопasmову послугу. Зворотна сумісність DOCSIS 3.1 забезпечує плавний

перехід для кабельних операторів, дозволяючи їм поступово оновлювати свої мережі, підтримуючи існуючі пристрої DOCSIS 3.0.

РОЗДІЛ 3

ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРСІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ DOCSIS 4.0

3.1. Приклади сучасних мереж, побудованих за технологією DOCSIS

Архітектура системи відноситься до її загального дизайну та організації, включаючи її компоненти, функції та зв'язки між ними. Вона служить схемою для побудови, впровадження та експлуатації системи. У випадку технології DOCSIS її архітектура має вирішальне значення для досягнення високошвидкісного доступу до Інтернету через мережу кабельного телебачення. Архітектура технології DOCSIS включає трирівневу модель, яка складається з фізичного (PHY) рівня, рівня керування доступом до середовища (MAC) і протоколів вищого рівня. Ці рівні працюють разом, щоб забезпечити надійну та ефективну передачу даних між кабельним модемом та Інтернетом. На додаток до рівнів, архітектура DOCSIS також включає два ключових компоненти, кабельний модем (CM) і систему завершення кабельного модему (CMTS), які відповідають за підключення кабельного модему до Інтернету та керування зв'язком між ними. Розуміння архітектури технології DOCSIS має вирішальне значення для всіх, хто зацікавлений у розробці, реалізації або управлінні високошвидкісним доступом до Інтернету через мережу кабельного телебачення.

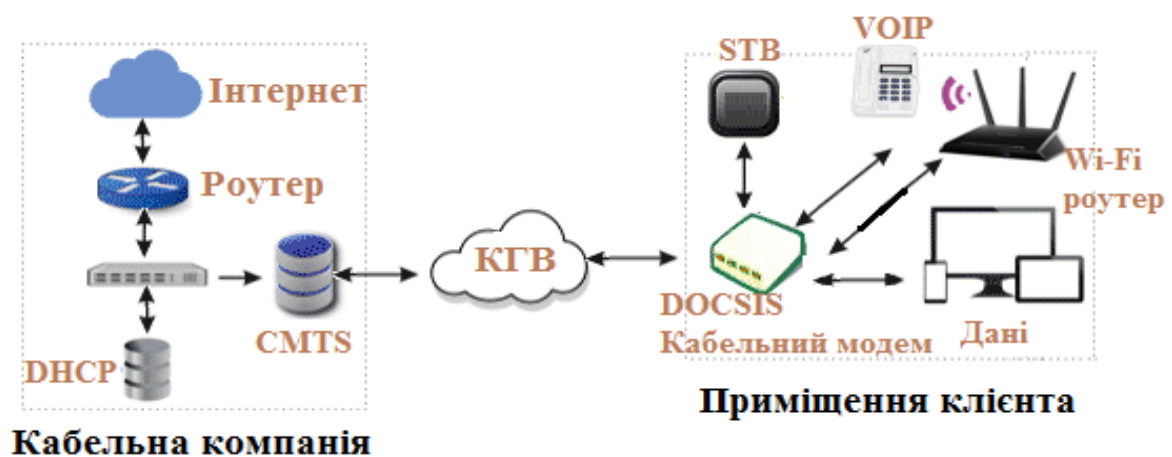


Рис. 3.1 Архітектура технології DOCSis

Рівень РНУ відповідає за передачу та прийом даних через мережу кабельного телебачення. Він визначає схеми модуляції та виправлення помилок, які використовуються для кодування та декодування даних, що забезпечує високу швидкість передачі даних через мережу кабельного телебачення. Рівень MAC керує доступом до спільної мережі кабельного телебачення, використовуючи схему TDMA, щоб розділити доступну смугу пропускання на часові інтервали та розподілити їх між різними кабельними модемами. Він також надає різні функції QoS, щоб забезпечити належний рівень обслуговування для різних типів трафіку [15].

Рівень MAC технології DOCSIS відповідає за керування доступом до спільної мережі кабельного телебачення. Він використовує схему багаторазового доступу з розділенням часу (TDMA), щоб розділити доступну смугу пропускання на часові інтервали та розподілити їх між різними кабельними модемами. Рівень MAC також надає ряд функцій якості обслуговування (QoS), включаючи пріоритетні черги, розподіл смуги пропускання та формування трафіку, які допомагають забезпечити належний рівень обслуговування для різних типів трафіку.

Кабельний модем (CM) — це пристрій, який підключається до мережі кабельного телебачення та надає кінцевому користувачеві високошвидкісний доступ до Інтернету. Він включає DOCSIS-сумісний модем, який відповідає за модуляцію та демодуляцію сигналів, що передаються по мережі кабельного телебачення. Модем зв'язується з системою завершення кабельного модема (CMTS) для встановлення зв'язку з Інтернетом.

Система термінації кабельного модема (CMTS) — це пристрій, який підключається до мережі кабельного телебачення на стороні оператора та керує зв'язком між кабельними модемами та Інтернетом. Він включає в себе DOCSIS-сумісний CMTS, який відповідає за планування передачі даних між кабельними модемами та Інтернетом, а також за керування функціями QoS, що надаються рівнем MAC.

Розуміння архітектури технології DOCSIS має важливе значення для всіх, хто зацікавлений у розробці, впровадженні або управлінні високошвидкісним доступом

до Інтернету через мережу кабельного телебачення. Він забезпечує чітке розуміння компонентів технології, їхніх функцій і взаємозв'язків, що дозволяє розробникам і інженерам створювати та експлуатувати високоякісні, надійні та масштабовані системи.

До найновішої версії можна віднести наступну: DOCSIS v4.0 — це еволюція гібридної оптоволоконно-коаксіальної (HFC) мережі, яка має здатність забезпечувати мультигігабітну симетричну швидкість (завантаження та вивантаження). Зокрема, специфікація DOCSIS 4.0 розроблена для забезпечення пропускної здатності до 10 гігабіт на секунду (Гбіт/с) у вихідному каналі та 6 Гбіт/с у вихідному каналі.



Рис. 3.2 Четверте покоління DOCSis

Досягаючи швидкості низхідного потоку 10 Гбіт/с, DOCSIS 4.0 утворює частину ширшого бренду «10G», який є підходом до оновлення кабельної галузі для майбутнього кабельних мереж. Окрім швидкості, DOCSIS 4.0 підтримує високу надійність і безпеку, а також з'єднання з низькою затримкою.

Технологія DOCSIS «розділяє» низхідний і висхідний спектр, який вона використовує для передачі даних із високою пропускною здатністю через кабельні мережі. Це означає, що пропускна здатність стандарту визначається обсягом доступного спектру.

Щоб покращити попередні випуски, специфікація DOCSIS 4.0 досягає більшої ємності, забезпечуючи більшу доступність спектру, одночасно значно покращуючи ефективність використання спектру. У свою чергу, DOCSIS 4.0 може забезпечити багатогігабітну симетричну швидкість.

Технологічний стандарт DOCSIS 4.0 не встановив конкретної дати випуску, однак він, ймовірно, стане доступним у мережах, якими користуються споживачі, наприкінці 2024 або 2025 року. Цей майбутній графік залежить від роботи кабельних операторів із постачальниками обладнання та систем на чіпі (виробники SoC) для розробки необхідних мережевих компонентів, а також для тестування технології в лабораторних умовах.

DOCSIS 4.0 є першим стандартом DOCSIS, який включає як повний дуплекс (FDX), так і розширений спектр DOCSIS (ESD), які є двома основними архітектурами, що використовуються для вдосконалення існуючих гібридних волоконно-коаксіальних (HFC) мереж.

Таблиця, яка підсумовує деякі ключові характеристики DOCSIS 4.0:

Таблиця 1.4

Ключові функції та характеристики DOCSIS 4.0

| <i>Специфікація</i> | <i>Опис</i> |
|--|---------------------|
| Максимальна швидкість вхідного потоку | до 10 Гбіт/с |
| Максимальна швидкість вихідного потоку | до 6 Гбіт/с |
| Затримка | менше 1 мілісекунди |
| Пропускна здатність каналу | до 1,2 ГГц |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Діапазон спектру | розширено до 1,8 ГГц |
| Модуляція | OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом) |
| Підтримка IPv6 | підтримується |
| Безпека | шифрування AES, розширена автентифікація |
| Підтримка якості обслуговування (QoS) | підтримується |
| Керування мережею | підтримка SNMP (Простий протокол керування мережею). |

Щоб досягти збільшення пропускну здатності DOCSIS 4.0, необхідні зміни в активних і пасивних компонентах у гібридній волоконно-коаксіальній (HFC) мережі, щоб підтримувати нові вихідні та низхідні частоти. Зокрема, до таких компонентів відносяться:

- Активні: підсилювачі, вузли, віддалені пристрої РНУ (RPD)
- Пасивні: крани, розгалужувачі



Рис. 3.3 Використання компонентів

DOCSIS використовує механізми розподілу пропускної здатності та забезпечення якості обслуговування (QoS), щоб ефективно управляти трафіком та надавати пріоритети різним послугам. Ось деякі засоби, якими забезпечується цей розподіл:

1. *QoS-параметри.* DOCSIS використовує різні параметри якості обслуговування, такі як пріоритет, максимальна швидкість, мінімальна гарантована швидкість та затримка, для класифікації трафіку та встановлення пріоритетів для різних послуг. Наприклад, відео- або голосовий трафік може мати вищий пріоритет, ніж загальний трафік веб-серфінгу.

2. *Розподіл пропускної здатності.* DOCSIS використовує методи розподілу пропускної здатності, такі як Time Division Multiple Access (TDMA) та Frequency Division Multiple Access (FDMA), для поділу доступної пропускної здатності між різними каналами та абонентськими модемами. Це дозволяє ефективно використовувати канал та надавати різним послугам необхідну швидкість передачі даних.

3. *Планування ресурсів.* DOCSIS використовує механізми планування ресурсів для оптимізації використання доступної пропускної здатності та забезпечення вимог QoS різних послуг. Планування ресурсів включає в себе розподіл пропускної здатності між різними каналами та абонентськими модемами з урахуванням потреб кожної послуги та їх пріоритетів.

4. *Traffic Shaping.* DOCSIS також використовує механізми формування трафіку (Traffic Shaping), які контролюють потік даних та обмежують його швидкість відповідно до встановлених QoS-параметрів. Це допомагає забезпечити рівномірний розподіл пропускної здатності та уникнути перевантажень на мережі.

Загалом, DOCSIS використовує комплексний набір механізмів, щоб ефективно розподіляти пропускну здатність між різними послугами та забезпечувати потрібну якість обслуговування для кожної з них. Це дозволяє мережам на основі DOCSIS успішно надавати доступ до мультимедійних даних через одну мережу.

3.2. Розподіл пропускної здатності з забезпеченням QoS

DOCSIS визначає набір параметрів якості обслуговування (QoS), включаючи:

- пріоритет трафіку;
- максимальну стабільну швидкість трафіку;
- мінімальну зарезервовану швидкість трафіку;
- максимальний спалах трафіку;
- максимальну затримку низхідного потоку;
- пікову швидкість трафіку.

Низхідні потоки послуг використовують параметри QoS, щоб визначити бажаний QoS, такі послуги, як формування трафіку, забезпечення смуги пропускання, пріоритезація трафіку та гарантія смуги пропускання. Параметри потоку служби DOCSIS зіставляються з параметрами черги пакетів і забезпечуються відповідною підтримкою QoS для черг пакетів для підтримки параметрів DOCSIS.

Підтримуються такі параметри DOCSIS QoS:

- Пріоритет руху
- Максимальна стабільна швидкість трафіку
- Мінімальна зарезервована норма трафіку.

Надійна і детальна підтримка QoS є ключовим фактором величезного успіху, якого досягла DOCSIS як зріла технологія в наданні послуг передачі даних, голосу і відео. Базова архітектура DOCSIS QoS- побудована на основі концепції потоку послуг, яка була визначена чотирнадцять років тому як частина DOCSIS 1.1. З тих пір фундаментальна структура DOCSIS QoS залишилася в основному незмінною.

Нещодавно в рамках галузевого діалогу, що веде до створення CCAP та DOCSIS 3.1, кабельні оператори звернулися попросили просити застосовувати політики QoS до агрегації потоків послуг на додаток до QoS окремих потоків послуг. Хоча методи HQoS вже застосовувалися в інших технологіях широкосмугового доступу, інтеграція HQoS з DOCSIS ніколи раніше не була спробою. Така інтеграція створює низку унікальних технічних і бізнес-викликів, які заслуговують на ретельне

вивчення. На прикладі типових прикладів використання в цій статті розглядається, як технологія HQoS забезпечує бізнес-цінність для кабельних операторів при розширенні послуг до гігабітних і вище швидкостей, також розглядається ряд питань і потенційних рішень, необхідних для забезпечення безперешкодної інтеграції ієрархічного QoS в розгортання SSAP і полегшення елементарної взаємодії різних постачальників, включаючи необхідний протокол сигналізації і елементи стандартної конфігурації CMTS/SSAP.

Наприкінці 90-х років кабельні системи розгорталися без QoS. Вважалося, що 27 Мбіт/с по цифровому кабельному каналу 64QAM є більш ніж достатньою пропускну здатністю, і коли немає перевантажень, немає необхідності в QoS. Виявляється, що це припущення не відповідає дійсності; TCP/IP, який є транспортною складовою інтернету, є "жадібним" за своєю природою (тобто він намагається повністю використати будь-яку наявну трубу). Крім того, значний відсоток абонентів кабельного телебачення використовують такі "жадібні" програми, як файлообмінники та сервери. QoS стало конкурентним питанням; телекомунікаційні компанії випустили рекламу, в якій стверджувалося, що діяльність сусіда може обмежити пропускну здатність абонента. Це не було справедливим твердженням (телекомунікаційні компанії мали власне вузьке місце агрегації на виході DSLAM, і в деяких випадках швидкість не перевищувала 27 Мбіт/с), але це продемонструвало необхідність включення механізмів QoS в кабельний доступ.

Оскільки потреба в QoS стала очевидною, перша версія DOCSIS (1.0) підтримувала базовий QoS. Кожен абонент мав "клас обслуговування QoS" з угодою про рівень обслуговування (SLA), визначеною для кожного кабельного модему для висхідного та низхідного потоків. Хоча вищезгадана модель допомогла вирішити проблеми перевантаження, вона явно не підтримувала мультимедійні типи послуг для кабельних модемів, наприклад, передачу голосу/відео/даних. Вимога підтримки голосу представила чітку і прибуткову причину для визначення механізмів QoS, які забезпечать якість голосу, навіть коли мережа стає перевантаженою [16].

Для підтримки голосу та інших мультимедійних визначень DOCSIS 1.1 суттєво змінює модель QoS:

1. Клас послуг DOCSIS 1.0 був застарілим, і замість нього DOCSIS 1.1 визначає "односпрямовані потоки послуг", які можуть бути створені окремо для США і ДС

2. Визначено нові режими планування для US, щоб мінімізувати затримки для мультимедійних додатків

3. Передбачені/санкціоновані/допущені /активовані стани, якщо вони визначені для потоків обслуговування Потрібно звернути увагу, що специфікації DOCSIS визначають поведінку, а не реалізацію.

Ієрархічний QoS дозволяє оператору визначати політику QoS для сукупності потоків. Ієрархічний QoS визначається як сувора деревоподібна структура, де пропускна здатність фізичного інтерфейсу, як правило, є кореневим (або "батьківським") вузлом. Слово "сувора" означає, що для даного дочірнього вузла може бути один і тільки один батьківський вузол. Ієрархічний QoS може бути реалізований за допомогою управління, формування та/або планування. Деякі методи включають обмеження швидкості, формування швидкості та/або маркування пакетів для зваженого випадкового раннього відкидання (WRED). Деякі методи планування включають визначення пріоритетів та/або зважену справедливую чергу (Weighted Fair Queuing, WFQ). Поточні визначення DOCSIS QoS не підтримують агреговані політики QoS, але можна стверджувати, що агрегація всіх потоків послуг DOCSIS в один фізичний канал утворює просту дворівневу ієрархію, де фізичний рівень (у цьому випадку канал QAM) є батьківським вузлом, а потоки послуг DOCSIS - дочірніми вузлами.

Це показано на рисунку нижче:

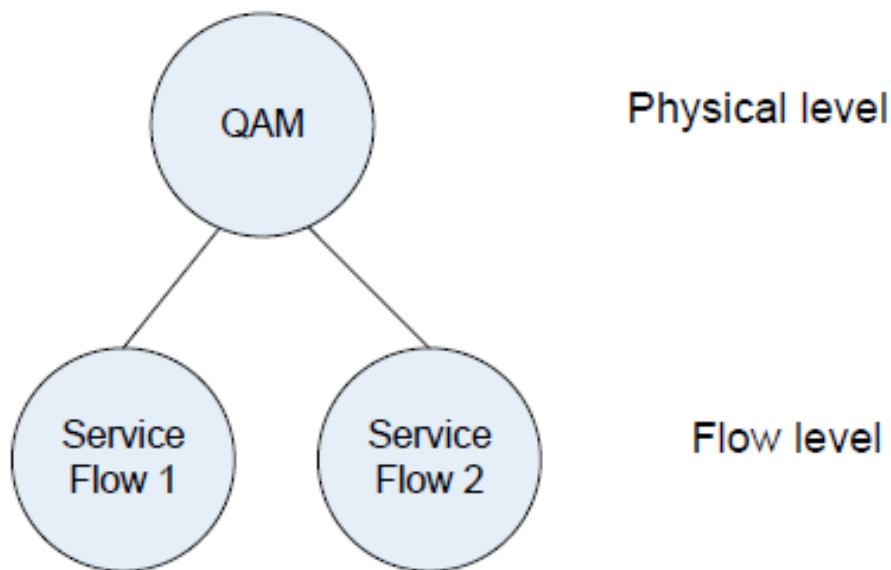


Рис. 3.4. Проста дворівнева ієрархія

Ієрархія може бути вкладена для створення більш складних дерев. Ієрархічна QoS забезпечує справедливість між дочірніми елементами на певному рівні, але не нижче або вище. Наступний приклад може допомогти пояснити тип справедливості, яку можна отримати у порівнянні з моделлю справедливості DOCSIS 3.0.

Справедливість у поточній, плоскій моделі QoS DOCSIS: якщо 1000 потоків з однаковим пріоритетом ділять один перенасичений інтерфейс, то кожен потік отримує $1/1000 = 0,1\%$ пропускної здатності.

Можна припустити, що ми розділили трафік на дві віртуальні трубки, одну для постачальника послуг ICP А і одну для постачальника послуг ICP В, кожна з яких обмежена 50% від загальної пропускної здатності і використовуємо ієрархічну QoS:

Якщо у постачальника послуг ICP А є лише 1 активний потік, а у постачальника послуг ICP В - інші 999 потоків, то:

- Одинокий потік постачальника послуг ICP А отримає $1/2 = 50\%$ пропускної здатності.

- Кожен потік постачальника послуг ICP В отримає $(1/2) / 999 = 0,05\%$ пропускної здатності.

Іншими словами, ієрархічна QoS може забезпечувати справедливість в межах віртуальних трубок, які вона створює, але не між ними.

У телекомунікаційному світі ієрархічне планування використовується протягом багатьох років через кілька точок перенасичення між BRAS (маршрутизатором агрегації широкосмугового доступу) та CPE (пристроєм на підключеному об'єкті абонента). Серед них входять інтерфейс до DSLAM (цифрового підписника лінії доступу) та віта пара до CPE. Кожна з цих точок затору може бути модельована як "логічна трубка" у ієрархічному планувальнику. Цей сценарій використання не був необхідним для абонентів кабельного зв'язку. Однак, з'явилися інші сценарії використання, що відновили інтерес до ієрархічної QoS.

Під час початкових обговорень кабельні оператори ідентифікували кілька сценаріїв використання для ієрархічної QoS. Хоча ці сценарії відрізняються деякими деталями, такими як масштабність, клас обслуговування (для домашніх або бізнес-клієнтів) або типи послуг (дані, відео, голос), вони сводяться до двох основних сценаріїв обслуговування. Нижче детально описано ці два сценарії: ієрархічна QoS на рівні абонента та ієрархічна QoS на рівні групи обслуговування.

Сценарії використання:

1) *Агреговане QoS на рівні абонента.*

Нещодавно, для ефективної підтримки різноманітних послуг кабельні оператори запитали можливість застосовувати керування трафіком не тільки до окремих потоків послуг, але й до груп SF, які належать до певного CM або IP-хоста. Агреговані обмеження QoS повинні бути дотримані на додаток до обробки QoS для кожного потоку послуг. Агрегована QoS дозволяє кабельним операторам пропонувати SLA з простішою зовнішньою структурою та більш ефективно конкурувати з іншими постачальниками Інтернету, які вже багато років надають доступ до Інтернету з ієрархічно організованими послугами.

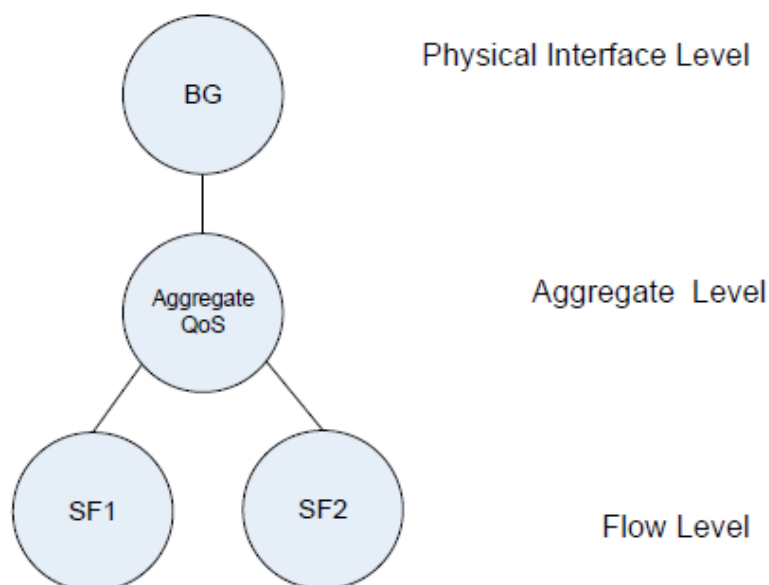


Рис. 3.5. Агрегована QoS

Як типовий приклад сценарію використання 1, на рисунку 3.2. можна сприймати зображення конструкцій QoS для домашньої послуги на спрямованість з двома застосуваннями QoS та загальною, агрегованою політикою QoS. Індивідуальні застосування обладнані потоками послуг, щоб їхній трафік мав незалежну обробку QoS.

Розглянемо наступні налаштування:

- SF 1 представляє послугу швидкого доступу до даних з максимальною підтримуваною швидкістю трафіку 20 Мб/с з пріоритетом трафіку 1.
- SF 2 представляє послугу управління відео з максимальною швидкістю трафіку 9 Мб/с з пріоритетом трафіку 5, а також з мінімальною зарезервованою швидкістю трафіку 3 Мб/с.
- Налаштування агрегованої QoS обмежують комбіновану швидкість трафіку обох потоків до 20 Мб/с.

Угода про рівень обслуговування (SLA), яка має два рівні керування QoS, надає абоненту загальну швидкість послуги на рівні 20 Мб/с, але дозволяє послугі управління відео працювати з вищим пріоритетом та зарезервованою пропускну здатністю для гарантії мінімального рівня QoS. Коли через потік відео не передається жоден трафік, послуга швидкого доступу до даних може використовувати всю

доступну швидкість 20 Мб/с. Коли активний управління відео, його трафік використовує доступну пропускну здатність для послуги швидкого доступу до даних. Без обмежень агрегованої QoS, обидва запропоновані застосування працювали б незалежно та потенційно споживали пропускну здатність на вищому кумулятивному рівні до 29 Мб/с.

2) Віртуальне розбиття фізичного інтерфейсу або групи послуг.

З розширенням асортименту послуг кабельні оператори бажають керувати пропускну здатністю, виділеною для кожної послуги з загального пулу, доступного у групі послуг DOCSIS. Оскільки бізнес-модель HFC в значній мірі ґрунтується на концепції перепроєктування, під час періодів високого навантаження (годин пік) послуги конкурують за пропускну здатність і можуть негативно впливати одна на одну. Саме тут перетинаються питання справедливості та бізнес-моделі. Наприклад, кумулятивне використання пропускну здатності послугою з вищим пріоритетом трафіку може обмежити пропускну здатність для послуги з нижчим пріоритетом трафіку DOCSIS.

Для операторів важливо мати ефективні інструменти для вирішення таких проблем. На сьогоднішній день конфігурація DOCSIS 3.0 пропонує кабельним операторам зручний механізм для цієї цілі. Оператори можуть розділяти послуги, створюючи спільні групи прив'язки з окремого набору каналів та відповідним чином "направляти" трафік, що належить кожній послугі. Таке рішення, засноване на розподілі ресурсів каналу, здається доцільним, враховуючи, що пул DS-каналів DOCSIS 3.0 у групі послуг має десятки, а кожен канал має відносно невелику пропускну здатність (38,8 Мб/с).

Цей метод має свої недоліки, оскільки він не застосовний для напрямку передачі у вгору в кабельних мережах з низьким розщепленням і середнім розщепленням. Крім того, фізично розділені групи послуг підтримують нижчі пікові швидкості трафіку і не ділять надлишкову пропускну здатність. Крім того, з DOCSIS 3.1 така схема розділення послуг вже не є практичною, оскільки ширина каналу різко

зростає (1,7 Гб/с), а кількість каналів може зменшитися до кількох без достатньої деталізації для ефективного використання їх у трафік-інженерінгу.

3.3. Запропоноване розширення DOCSIS QoS

Плануючи розширення існуючого мережевого протоколу, особливо коли він вже широко застосовується, як DOCSIS, необхідно ретельно розглянути ряд факторів, що визначають загальну відповідність нової функціональності до існуючої архітектури. Ці критерії, включаючи зворотну сумісність, послідовність з поточною методологією, взаємопрацездатність багатопостачальників, а також можливість підтримки поетапного впровадження, були враховані при виборі підходу до впровадження HQoS в DOCSIS.

Отже, після аналізу видно, що структура HQoS демонструє гарний компроміс між вимогами кабельних операторів та їх вписанням у існуючу архітектуру DOCSIS. Запропонована структура включає визначення ролей пристроїв, ключових конструкцій, сигналізації протоколу та загальної конфігурації CMTS.

З іншого боку, пропозиція не деталізує реалізацію або внутрішні алгоритми, використовувані для чергування та планування. Крім того, остання складова запропонованої структури, конфігурація CMTS, може бути розширена у вендор-власний спосіб для відповіді на потреби кожного виробника і забезпечення рішення, відмінне від інших.

Також, необхідно відмітити, що HQoS впливає на функції, які не вимагають реального часу, такі як контроль прийому та керування ресурсами. Ці функції повинні враховувати HQoS та нові політичні контролі, які HQoS надає. Однак, оскільки ці функції виходять за рамки поточних стандартів DOCSIS, немає необхідності включати їх до запропонованої структури HQoS.

Наостанок, можна зауважити, що ідеї, описані в цій пропозиції, є симетричними і однаково застосовними до керування трафіком в напрямку угору та у напрямку вниз.

3.4. Ролі CMTS та кабельних модемів

HQoS пропонується як функція лише CMTS. CMTS відповідає за всю конфігурацію та управління HQoS. Усі функції контролю політики QoS, включаючи планування та чергування трафіку в реальному часі, виконуються тільки CMTS. CMTS надає всі можливості мережевого управління, необхідні для звітності про стан, пов'язаний з HQoS.

В свою чергу, кабельні модеми повинні передавати інформацію HQoS з файлу конфігурації CM у запит реєстрації без необхідності інтерпретування переданої інформації. Кабельні модеми потребують реалізувати лише певні функції QoS, пов'язані з поліціюванням запитів на пропускну здатність у напрямку угору на основі кожного SF, як це вже реалізовано в DOCSIS сьогодні.

Оскільки пропозиція послуг диверсифікується, кабельні оператори хотіли б керувати пропускну здатністю, виділеною для кожної послуги із загального пулу, доступного в групі послуг DOCSIS. Оскільки бізнес-модель HFC значною мірою ґрунтується на концепції надлишкового надання послуг, у періоди високого навантаження (години пік) послуги конкурують за пропускну здатність і можуть негативно впливати одна на одну. Саме тут перетинаються питання справедливості та бізнес-моделі. Наприклад, кумулятивне використання пропускну здатності службою з вищим пріоритетом трафіку може обмежити пропускну здатність служби, що працює з нижчим пріоритетом трафіку DOCSIS. Вкрай важливо, щоб оператори мали ефективні інструменти для вирішення таких проблем. Сьогодні конфігурація DOCSIS 3.0 пропонує кабельним операторам зручний механізм для цього. Оператори можуть відокремлювати послуги, створюючи групи зв'язування з різних наборів каналів, і відповідним чином "керувати" трафіком, що належить кожній послугі. Таке рішення, засноване на поділі каналних ресурсів, видається доцільним, враховуючи, що пул каналів DOCSIS 3.0 DS в SG вимірюється десятками і що кожен канал має відносно невелику пропускну здатність (38,8 Мбіт/с).

Крім того, фізично розділене обслуговування групи підтримують нижчі пікові швидкості трафіку і не ділять надлишкову пропускну здатність. У DOCSIS 3.1 така

схема поділу послуг вже не є практичною, оскільки пропускна здатність каналу різко зростає (1,7 Гбіт/с), а кількість каналів може скоротитися до декількох, без достатньої деталізації для ефективного використання їх для інженерії трафіку.

Плануючи розширення існуючого мережевого протоколу, особливо коли він розгорнутий так широко, як DOCSIS, необхідно ретельно розглянути ряд факторів, які визначають загальну відповідність нової функціональності існуючій архітектурі.

Ці критерії, включаючи зворотну сумісність, узгодженість з поточною методологією, сумісність з різними постачальниками, а також здатність підтримувати поетапне розгортання, були враховані при виборі підходу до впровадження HQoS в DOCSIS. Зрештою, можна вважати, що структура HQoS, представлена в цьому документі, демонструє здоровий компроміс між вимогами кабельних операторів і тим, як вони вписуються в існуючу архітектуру DOCSIS.

Запропонована структура включає визначення ролей пристроїв, ключові конструкції, сигналізацію протоколів і загальну конфігурацію CMTS. З іншого боку, пропозиція не заглиблюється в деталі реалізації або внутрішні алгоритми, що використовуються для формування черг та планування. Крім того, останній компонент запропонованої структури, конфігурація CMTS, може бути розширена у власний спосіб постачальника, щоб задовольнити індивідуальні потреби постачальника та забезпечити диференціацію рішень. HQoS впливає на функції, що не працюють в реальному часі, такі як контроль доступу та управління ресурсами. Ці функції повинні пристосовуватися до HQoS і нових засобів контролю політики, які забезпечує HQoS. Однак, оскільки ці функції виходять за рамки поточних стандартів DOCSIS, ми вважаємо, що немає необхідності включати їх в запропоновану структуру HQoS. Нарешті, може бути корисно зазначити, що ідеї, описані в цій пропозиції, є симетричними; вони однаково застосовні до управління рухом як у напрямку вгору, так і вниз за течією річки.

Нещодавно специфікації DPOE ввели в DOCSIS концепцію сукупних потоків послуг (ASF). ASF були додані до власне DOCSIS (MULPI) з метою резервування номерів TLV. ASF в DPOE і SATC, запропоновані тут для DOCSIS, забезпечують в

основному еквівалентну функціональність і резервуються аналогічним чином. Вони відрізняються середовищем, для якого вони були розроблені, і певними експлуатаційними вимогами. Наприклад, ASF в DPoE можуть бути пов'язані з повним набором параметрів QoS потоку послуг, в деяких випадках ці параметри замінюються еквівалентними параметрами MEF. AQP, запропоновані для SATC включають менше параметрів.

DOCSIS був дуже успішним протоколом. Підтримка QoS в DOCSIS є частиною цього успіху і може продовжувати бути такою, особливо якщо її функції можуть бути адаптовані для кращого обслуговування нового спектру послуг. Тому було запропоновано природне розширення DOCSIS QoS для надання кабельним операторам контролю над політиками QoS на рівні агрегату. Розширення створює інструменти, що дозволяють операторам пропонувати нові та краще структуровані послуги своїм клієнтам, а також більш ефективно управляти розподілом одного з найцінніших ресурсів, що вони мають: пропускну здатність DOCSIS в HFC мережі.

3.5. Переваги розвитку наступного покоління DOCSIS

Підприємницькі рішення та послуги, що використовують доступ до Інтернету, дійсно мають велике значення для сучасних бізнесів. Інтернет відкриває безмежні можливості для підприємств у всіх галузях і дозволяє їм ефективно використовувати інструменти та ресурси, щоб забезпечити успіх і конкурентну перевагу.

Однією з найважливіших переваг Інтернету для бізнесу є можливість досягти глобальної аудиторії. Завдяки Інтернету компанії можуть просувати свої товари і послуги на міжнародному рівні, залучати нових клієнтів і розширювати свою базу клієнтів за межами традиційних ринків. Це дозволяє підприємствам збільшити свій потенціал для зростання і отримання більшого прибутку.

Інтернет також надає бізнесам доступ до великої кількості інформації, що допомагає їм в прийнятті обґрунтованих рішень. Аналітичні інструменти та програми дозволяють підприємствам збирати, аналізувати і використовувати дані про своїх

клієнтів, ринки та конкурентів для покращення стратегій маркетингу, продажів і обслуговування клієнтів. Це дозволяє підприємствам бути більш гнучкими і реагувати на зміни вимог ринку швидше і ефективніше. Тому завжди є кілька причин, чому доступ до Інтернету є важливим для домашніх користувачів:

1) DOCSIS надає широкосмуговий доступ до Інтернету для домашніх користувачів через кабельні мережі.

2) Користувачі можуть насолоджуватись високою швидкістю передачі даних та стабільним підключенням.

3) DOCSIS дозволяє провайдером послуг забезпечувати різні пакети швидкості та послуги залежно від потреб користувачів.

Передача мультимедійного контенту є однією з найважливіших причин, чому потрібний доступ до Інтернету для домашніх користувачів. Мультимедійний контент включає в себе відео, аудіо, фотографії, стрімінгові послуги та багато іншого. Інтернет також розширює можливості комунікації та співпраці між бізнесами. Віртуальні конференції, вебінари, онлайн-інструменти спільної роботи дозволяють підприємствам спілкуватися та співпрацювати на відстані, що є особливо корисним у сучасному глобалізованому світі. Усі ці фактори підкреслюють важливість доступу до Інтернету для сучасних бізнесів. Підприємництво, що базується на Інтернеті, допомагає компаніям розширити свої горизонти, покращити ефективність та досягти успіху у глобальному масштабі.

Технологія DOCSIS є стандартом, що використовується для передачі даних по кабельних мережах, зокрема для надання послуг доступу до Інтернету. Ця технологія має декілька переваг, які роблять її привабливою для домашніх користувачів, а саме:



Рис. 3.6. Переваги DOCSIS

1. *Висока швидкість передачі даних.* DOCSIS дозволяє досягати високої швидкості передачі даних через кабельні мережі, що забезпечує швидкий та ефективний доступ до Інтернету та інших послуг.

2. *Гнучкість та масштабованість.* DOCSIS може бути легко розширена та адаптована до змінних потреб користувачів та провайдерів послуг. Вона підтримує різні швидкості передачі даних, пакети послуг та технології.

3. *Підтримка різноманітних послуг.* DOCSIS забезпечує підтримку широкого спектру послуг, включаючи доступ до Інтернету, телефонію, інтерактивне телебачення, потокове відео та інші мультимедійні послуги.

4. *Зручне управління та контроль.* DOCSIS надає провайдерам послуг засоби для керування та контролю якості обслуговування, призначення пропускної здатності, розподілу ресурсів та встановлення політик QoS.

5. *Висока надійність та стабільність.* DOCSIS забезпечує надійну та стабільну роботу мережі, що дозволяє користувачам насолоджуватись безперебійним доступом до послуг та мультимедійного контенту.

Отже, використання технології DOCSIS відкриває широкі можливості для надання різноманітних послуг і забезпечує провайдерам контроль над якістю обслуговування та розподілом пропускної здатності.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

У цьому розділі дипломної роботи було розглянуто приклади сучасних мереж, побудованих за технологією DOCSIS, та дослідили питання якості обслуговування (QoS) в рамках цього стандарту. DOCSIS, або Data Over Cable Service Interface Specification, є стандартом, що використовується для передачі даних по кабельній мережі, також було розглянуто декілька прикладів успішного застосування технології DOCSIS, таких як кабельні мережі для передачі високошвидкісного Інтернету, телевізійне розповсюдження контенту та надання послуг голосового зв'язку та інтерактивних додатків. Ці приклади демонструють важливість технології DOCSIS в сучасному світі зв'язку, що дозволяє ефективно використовувати кабельні інфраструктури для передачі різноманітних послуг.

Окрім того, було розглянуто питання якості обслуговування (QoS) в мережах DOCSIS. Використання механізмів QoS дозволяє провайдерам забезпечити ефективну передачу даних і підтримувати високу якість послуг для користувачів. Механізми QoS допомагають пріоритизувати та керувати трафіком, забезпечуючи необхідну пропускну здатність та низьку затримку для різних типів послуг.

Застосування механізмів QoS разом з технологією DOCSIS покращує якість обслуговування, забезпечує задоволення користувачів і ефективне використання ресурсів мережі. Розуміння і ефективне використання механізмів QoS у мережах DOCSIS є важливим для забезпечення стабільної та надійної передачі даних та розвитку мереж у сучасному світі зв'язку.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було детально проаналізовано технологію DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) та наведено її застосування у сучасних телекомунікаційних мережах. Розділ 1 розкрив основну концепцію телекомунікаційних мереж, включаючи штатні компоненти та архітектуру технології DOCSIS, також було розглянуто важливість забезпечення безпеки в мережах, побудованих на базі DOCSIS та існуючу інфраструктуру кабельних мереж, що підтримують цю технологію.

Також, було розглянуто важливість безпеки інформації в технології DOCSIS. З моменту зростання залежності від Інтернету та передачі конфіденційної інформації, захист даних стає вирішальним аспектом будь-якої мережі, побудованої на базі DOCSIS. Також, було досліджено потенційні загрози та вразливості, які можуть бути використані зловмисниками для незаконного доступу до інформації. Додатково, були проаналізовані заходи безпеки, які розробники DOCSIS впроваджують для запобігання таким атакам. Вирішення проблем безпеки передбачає використання механізмів шифрування, аутентифікації, контролю доступу та захисту від несанкціонованого доступу до мережі. Ці заходи гарантують конфіденційність, цілісність та доступність даних для користувачів.

Підсумовуючи, безпека інформації в технології DOCSIS є невід'ємною частиною розгортання та експлуатації цих мереж. Розробники технології продовжують працювати над вдосконаленням заходів безпеки, забезпечуючи високий рівень захисту даних у сучасних телекомунікаційних мережах.

У другому розділі було проведено аналіз різних версій DOCSIS, зокрема 1.0, 2.0, 3.0 і 3.1, описано їх особливості та переваги. Кожна наступна версія DOCSIS принесла значні поліпшення в швидкості передачі даних, підтримці нових послуг та покращенні якості обслуговування. Дослідження цих версій дозволило оцінити переваги і обмеження технології DOCSIS в цілому.

У третьому розділі було розглянуто впровадження наступного покоління DOCSIS 4.0 й доведено його потенціал. Приклади реальних мереж, побудованих на базі DOCSIS, були розглянуті, підкреслюючи успішність технології у наданні доступу до мультимедійних даних через одну мережу. Окрім того, було досліджено розподіл пропускну здатності з забезпеченням якості обслуговування (QoS) та запропоновано розширення DOCSIS QoS. Ролі CMTS та кабельних модемів були проаналізовані, а переваги розвитку DOCSIS 4.0 були виділені.

Результатом виконання роботи є глибокий огляд технології DOCSIS та її важливості для сучасних телекомунікаційних мереж. Вивчення різних версій DOCSIS та їх аналіз дозволяють розуміти еволюцію цієї технології і її вплив на якість обслуговування. Впровадження наступного покоління DOCSIS 4.0 відкриває нові можливості для ще більш швидкої та надійної передачі даних в мережах, побудованих на цій технології. Знання, отримані з цієї кваліфікаційної роботи, можуть бути корисними для подальшого розвитку телекомунікаційних мереж і покращення якості обслуговування для користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов О. Телекомунікаційні мережі з використанням технології DOCSIS.
2. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 267 с
3. Wong D. Cable Networks, Services, and Management.
4. Next-Generation PON Evolution Huawei Technologies Co., Ltd. 2010
5. Петренко М. Технологія Triple Play в телекомунікаційних мережах.
6. Сидоров І. Архітектура технології DOCSIS.
7. Zheng W. Broadband Cable TV Access Networks: From Technologies to Applications.
8. Мартиненко В. І. Захист мереж інформаційного зв'язку в умовах кібербезпеки: монографія. – К.: Аграр Медіа Груп, 2020.
9. Rodman R. Computer Speech Technology, 2009.
10. Львівський С. В., Білоус О. О., Виноградов О. В. Захист комп'ютерних мереж: підручник. – К.: КНЕУ, 2020.
11. Самойленко А. А., Єрмолаєв О. І. Комп'ютерна безпека: підручник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: НТУУ «КПІ», 2021.
12. Коваленко В. Існуюча інфраструктура кабельних мереж, підтримуюча технологію DOCSIS.
13. Іванов В. Еволюція DOCSIS: доступ до швидкісного інтернету.
14. Large D, Farmer J. Broadband Cable Access Networks: The HFC Plant.
15. Балабанов О. Г., Лук'янова Н. В., Пархоменко А. А. Інформаційна безпека: теорія та практика: монографія. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2020.
16. Косенко В. О., Курганський В. С. Кібербезпека: основні аспекти захисту від кіберзлочинів та кібертероризму. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2020.