

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Г.Г. Киричек

Конспект лекцій з дисципліни
«Сучасні технології мереж передачі даних»
для студентів спеціальності
123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання

Конспект лекцій з дисципліни «Сучасні технології мереж передачі даних» для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, усіх форм навчання / Укл. Г.Г Киричек. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2025. – 38 с.

Укладачі:

Г.Г. Киричек, доцент, к.т.н.

Рецензент:

М.Ю. Тягунова, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Г.Г. Киричек, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри КСМ
Протокол № 5 від 26.12.2024

Рекомендовано до видання
НМК КНТ
Протокол № 6 від 12.02.2025

ЗМІСТ

1 Транспортні мережі.....	4
1.1 Metro Ethernet.....	4
1.2 Первинні мережі.....	7
1.3 Optical Transport Network.....	11
1.4 Щільне хвильове мультиплексування.....	12
2 Технології магістральних мереж.....	14
2.1 Технології цифрової абонентської лінії.....	14
2.2 Технології FTTx.....	16
2.3 Технологія пасивних оптичних мереж.....	18
3 Пакетні технології.....	21
3.1 Загальні визначення технології MPLS.....	21
3.2 Протоколи розподілу міток.....	24
3.3 Ethernet операторського класу.....	26
4 IP-телефонія. VoIP (Voice over Internet Protocol).....	29
4.1 Архітектура VoIP.....	29
4.2 Стандарт H.323.....	31
4.3 Протокол ініціювання сеансів (SIP).....	34
Рекомендована література.....	38

1 ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ

Мета – розглянути та проаналізувати моделі, методи та технології, які застосовуються при реалізації та впровадженні сучасних транспортних магістральних мереж, а також яким чином реалізується кожна з таких технологій та послуг.

1.1 Metro Ethernet

Технологія Metro Ethernet визначає, як використовувати канали Ethernet між сайтами (або локальними мережами) клієнта та провайдером (SP). Для підтримки цієї технології у 2001р. створено організацію Metro Ethernet Forum (MEF), яка є міжнародним промисловим консорціумом, займається стандартизацією технологій транспортних магістральних мереж і мереж провайдерів. Служба Ethernet надається постачальником мережі Metro Ethernet (MEN), а обладнання користувача (Customer Equipment) підключається до мережі через інтерфейс користувача-мережі (User network interface) за допомогою стандартного інтерфейсу Ethernet - 10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с, 1 Гбіт/с або 10 Гбіт/с. З 2012 року технологію Metro Ethernet визначено як Carrier Ethernet (або Ethernet операторського класу). На даний час, Metro Ethernet Forum (MEF), як визначальна структура для Carrier Ethernet, є глобальним галузевим альянсом, який включає понад 220 організацій. Це є постачальники телекомунікаційних послуг, оператори кабельних мереж, постачальники напівпровідників та виробники мережевого обладнання/і програмного забезпечення. Metro Ethernet має свою архітектуру та технології.

До транспортних технологій рівня магістралі, відносимо:

- SONET/SDH (Synchronous optical network/Synchronous Digital Hierarchy. Синхронні оптичні мережі/Синхронна цифрова ієрархія);
- ATM (Asynchronous Transfer Mode);
- PoS (Provider of Service (POS) Network);
- EoSDH (Ethernet over SDH);
- WDM (Wavelength Division Multiplexing);
- DPT/RPR (Dynamic Packet Transport/ Resilient Packet Ring. Динамічне транспортування пакетів/ стійке пакетне кільце);
- різновиди Ethernet (FE, GE, xGE).

До транспортних технологій рівня доступу:

- VLAN (Virtual Local Area Network);
- Q-in-Q or Q-tunneling;
- STP (Spanning Tree Protocol);
- OSPF (Open Shortest Path First);
- MPLS (Multiprotocol label switching).

При цьому класичним на сьогоднішній день підходом до побудови міських мереж є функціональна декомпозиція на рівні доступу: спочатку опорна мережа, далі рівень розподілу/агрегації, і рівень доступу (рис.1.1).

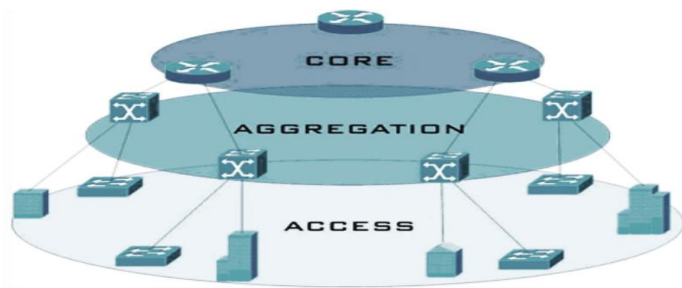


Рисунок 1.1 – Рівні доступу

Metro Ethernet діє приблизно так, як би WAN служба була б створена одним комутатором Ethernet. На рисунку 1.2 показано чотири сайти (локальні мережі) в одній компанії, кожен з цих сайтів має маршрутизатор. Кожен маршрутизатор підключено до WAN служби за допомогою Ethernet-з'єднання і ці канали Ethernet, зазвичай, використовують один із стандартів волоконно-оптичних мереж Ethernet, спираючись на ті відстані, які задіяні в даних з'єднаннях.

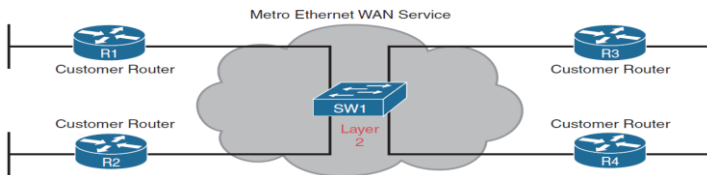


Рисунок 1.2 – Metro Ethernet, як WAN послуга

Кажучи простіше, стандарт, який використовується, залежить від відстані розташування віддаленого об'єкту. З точки зору замовника, служба WAN діє як LAN комутатор, оскільки пересилає кадри Ethernet. З точки зору SP, він має побудувати мережу для реалізації служби Metro Ethernet. І, щоб знизити витрати, SP розміщує пристрій фізично, поблизу якомога більшої кількості сайтів клієнтів у SP об'єкті, який має назву точки присутності PoP (Point of presence). Ці комутатори SP розміщуються близько до більшої кількості місць розташування клієнтів, щоб стандарт Ethernet підтримував відстань від PoP провайдера до кожного клієнтського сайту.

Окрім фізичного Ethernet-з'єднання від кожної локальної мережі до WAN послуги Metro провайдера, підприємство має вибирати між кількома можливими варіантами самої послуги Metro Ethernet. Ці варіанти використовують різні топології, які відповідають різним потребам клієнтів. MEF визначає стандарти для Metro Ethernet, включаючи специфікації для різних видів послуг MetroE. Для формалізації топології зв'язків вводиться поняття віртуальне з'єднання Ethernet (Ethernet Virtual Circuit, EVC). Кожне таке EVC зв'язує сайти користувачів в окрему VPN, поєднуючи при цьому UNI.

Служба Ethernet лінії, або E-Line, є найпростішою з усіх послуг Metro Ethernet. У цьому випадку замовник з'єднує між собою два сайти. Потім служба MetroE дозволяє двом клієнтським пристроям надсилати кадри Ethernet один одному. На рисунку 1.3 показано приклад із маршрутизаторами як граничними пристроями клієнтів.

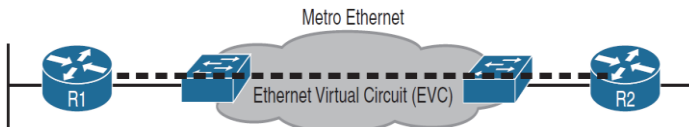


Рисунок 1.3 – Служба E-Line

Служба E-Line обіцяє доставляти фрейми Ethernet так, як якщо б між двома клієнтськими маршрутизаторами було підключено досить довгий перехресний кабель.

Одна служба E-LAN дозволяє всім пристроям, підключеним до цієї служби, надсилати кадри Ethernet безпосередньо на будь-який

інший пристрій – за принципом підключення до одного великого комутатора Ethernet. На рисунку 1.4 показано один E-LAN EVC. У цьому випадку одне віртуальне з'єднання EVC підключається до чотирьох сайтів клієнтів, створюючи одну E-LAN. Маршрутизатори R1, R2, R3 і R4 можуть надсилати кадри безпосередньо один одному і усі вони будуть в одній WAN підмережі третього рівня моделі OSI.

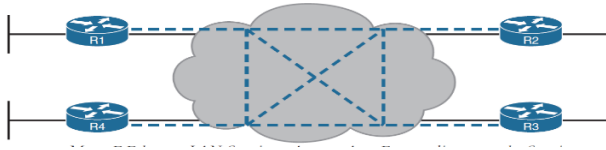


Рисунок 1.4 – Служба E-LAN

Сервіс E-LAN з'єднує сайти в повну мережу.

Сервіс Ethernet E-Tree створює WAN топологію, у якій пристрій центрального сайту надсилає кадри Ethernet безпосередньо до кожного віддаленого сайту, а вони надсилають їх лише до центрального сайту.

На рисунку 1.5 показана топологія з одним віртуальним з'єднанням EVC. У цьому випадку маршрутизатор R1 є кореневим сайтом і надсилає на всі три віддалені сайти. Маршрутизатори R2, R3 і R4 можуть надсилати лише на R1.

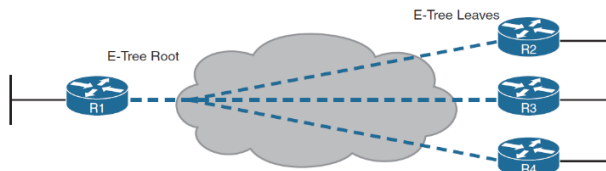


Рисунок 1.5 – Служба E-Tree

1.2 Первинні мережі

На даний час існує 4 покоління технологій первинних мереж, це:
– плезіохронна цифрова ієрархія (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH);

- синхронна цифрова ієрархія (Synchronous Digital Hierarchy, SDH), якій в Америці відповідає стандарт SONET;
- ущільнене хвильове мультиплексування (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM);
- оптична транспортна мережа (Optical Transport Network OTN).

Початок PDH покладено розробкою мультиплексора T-1, який дозволив у цифровому вигляді мультиплексувати, передавати та комутувати голосовий трафік 24 абонентів. Для з'єднання великих телефонних станцій реалізована ідея створення каналів із так званою ієрархією швидкостей, яка мала назву системи T-каналів, була стандартизована Американським інститутом стандартів (ANSI) та міжнародним комітетом ССІТТ і, при стандартизації, отримала назву PDH. Аналогом систем T-каналів у міжнародному (Європейському) стандарті - є канали типу E1, E-2 та E-3 зі швидкостями - 2,048 Мбіт/с, 8,488 Мбіт/с та 34,368 Мбіт/с (рис.1.6).

Рівень цифрової ієрархії	Американський стандарт		Японський стандарт		Європейський стандарт	
	Мбіт/с	Позначення	Мбіт/с	Позначення	Мбіт/с	Позначення
1	1,544	T1	1,544	J1	2,048	E1
2	6,312	T2	6,312	J2	8,448	E2
3	44,736	T3	32,064	J3	34,368	E3
4	274,176	T4	97,728	J4	139,264	E4
5	-	-	397,200	J5	564,992	E5

Рисунок 1.6 – Ієрархія швидкостей PDH

В мережах доступу, переважно використовуються канали T-1/E-1 і T-3/E-3 та E-4. При цьому кожний наступний рівень поєднує певну кількість каналів попереднього рівня (за рахунок цього і збільшується швидкість). Фізичний рівень технології PDH підтримує різні види кабелів: вита пара, коаксіальний і волоконно-оптичний кабель.

Всі недоліки враховані та подолані розробниками технології синхронних оптичних мереж (Synchronous Optical NET, SONET), Метою є створення технології, здатної передавати трафік всіх існуючих цифрових каналів рівня PDH (американських T1-T3 і європейських E1-E4) високошвидкісною магістральною мережею на базі волоконно-оптичних кабелів із ієрархією швидкостей, яка перевищує ієрархії PDH

до швидкості в 40 Гбіт/с. В результаті роботи ITU-T та ETSI вдалося розробити міжнародний стандарт SDH (Synchronous Digital Hierarchy) (специфікації G.707-G.709), а також доопрацювати стандарти SONET так, що апаратура і стеки SDH і SONET стали сумісними і можуть мультиплексувати вхідні потоки стандартів PDH. Рівні швидкостей мають назву STM-N (Synchronous Transport Module level N) (рис.1.7).

SDH	SONET	Швидкість
	STS-1, OC-1	51,84 Мбіт/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мбіт/с
STM-3	OC-9	466,560 Мбіт/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбіт/с
STM-6	OC-18	933,120 Мбіт/с
STM-8	OC-24	1,244 Гбіт/с
STM-12	OC-36	1,866 Гбіт/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбіт/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбіт/с
STM-256	OC-768	39,81 Гбіт/с

Рисунок 1.7 – Ієрархія швидкостей SDH

Міжнародний стандарт визначив початкову швидкість ієрархії в 155,52 Мбіт/с, щоб зберігалася спадкоємність технології SDH із PDH. Канал SDH може передавати дані рівня DS-4 (E4), швидкість яких 139,264 Мбіт/с. Надмірність швидкості в 155,52 Мбіт/с, пояснюється накладними витратами на службові заголовки кадрів SONET/SDH.

Кадри STM-N технології SONET/SDH представляють у вигляді матриці, що складається з n рядків і m стовпців. Воно добре відображає структуру кадру, яка складається з підкадрів, або віртуальних контейнерів (Virtual Container). Розглянемо структуру цифрового групового сигналу першого рівня синхронної цифрової ієрархії, що зветься синхронний транспортний модуль першого рівня. Цей сигнал утворює цикл із періодом повторення 125 мкс (8 кГц), який складається із 270 стовпців і 9 рядків, причому кожне перетинання стовпця і рядка містить один байт (рис.1.8). Відповідно до цього можна визначити швидкість передачі синхронного транспортного модуля першого рівня як добуток $8 \text{ (кГц)} \times 8 \text{ (символів)} \times 270 \text{ (стовпців)} \times 9 \text{ (рядків)} = 155520 \text{ Кбіт/с}$. З цих 270 стовпців 9 для службових цілей, а інші 261 - для інформаційного сигналу. У 9 службових стовпцях розміщуються службові сигнали, які носять назву заголовків. Серед заголовків розрізняють мультиплексний і регенераційний.

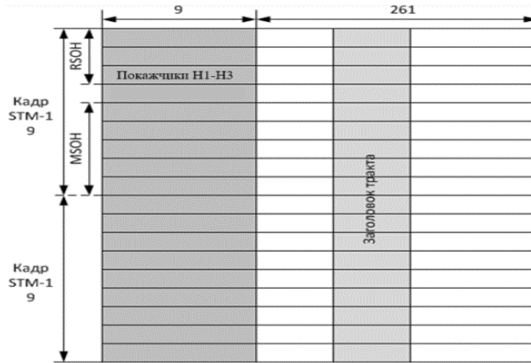


Рисунок 1.8 – Структура кадру STM-1

В технології SONET/SDH існує гнучка, але досить складна схема використання поля даних кадрів STS-n. Складність цієї схеми в тому, що потрібно «вкласти» в кадр найбільш раціональним способом мозаїку із віртуальних контейнерів різного рівня.

Мережі SDH стали використовувати рішення, характерні для глобальних мереж. На рисунку 1.9 представлена архітектура такої розгалуженої мережі, основний каркас якої сформований у вигляді одного мережного блоку, вузлами якого є комутатори типу SDXC, зв'язані «кожний з кожним». До магістралі приєднані різні периферійні мережі SDH: корпоративні, загальноміські мережі SDH, чи сегменти глобальних мереж. Таку структуру розглядаємо як транспортну мережу ATM, оскільки віртуальний контейнер, наприклад VC-4, може нести в упакованому вигляді потік комірок ATM як робоче навантаження.

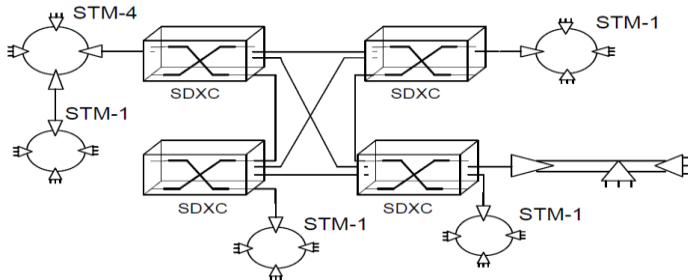


Рисунок 1.9 – Розгалужені мережі загального вигляду

«Магістраль» (backbone) і магістральна комірчата (mesh) структура, дозволяють провести віртуальні контейнери по альтернативному (резервному) шляху у випадку виникнення проблем при маршрутизації по основній магістралі. Разом із внутрішнім резервуванням це підвищує надійність усієї мережі в цілому.

1.3 Optical Transport Network

Оптична транспортна мережа (Optical Transport Network, OTN), описана в стандарті ITU G.709, як технологія цифрової інкапсуляції є ефективним способом передачі даних та мультиплексування послуг на оптичних лініях. Визначає вимоги до оптичної транспортної ієрархії (OTN), структуру кадрів, заголовки, бітові швидкості та формати корисного навантаження в оптичних мережах.

Стек протоколів OTN складається з чотирьох рівнів:

- OPU (Optical Channel Payload Unit, блок даних користувача оптичного каналу) - відповідальний за доставку даних між користувачами мережі. Інкапсуляція даних - кадри SDH або Ethernet, в блоки OPU, вирівнюванням швидкостей передачі даних і блоків OPU;
- ODU (Optical Channel Data Unit, блок даних оптичного каналу) - забезпечує контроль маршрутних даних із кінця в кінець;
- OTU (Optical Channel Transport Unit, транспортний блок оптичного каналу) - відповідає за корекцію помилок (FEC) і функції OAM для довжин хвиль, незалежно від типу трафіку, який передається та працює між двома сусідніми вузлами мережі OTN;
- Optical Channel, Och – спектральний канал DWDM.

Кадр OTN має 4080 стовпців (байт) та 4 рядків (рис.1.10). Складається з поля даних користувача (з 17 по 3824 стовпець, 4 рядки кадру) і службових полів OPU (стовпці 15 і 16 в 4 рядках), ODU і OTU.

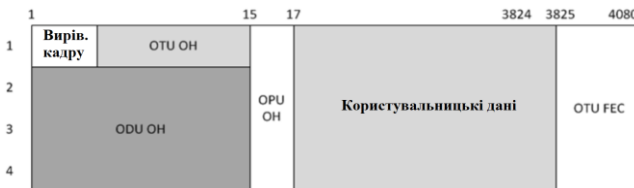


Рисунок 1.10 – Структура кадру OTN

Формат кадру не залежить від рівня швидкості OTN, є однаковим для OPU1/ODU1/OTU1 і OPU2/ODU2/OTU2 та займає декілька кадрів підряд. За рахунок розширених можливостей мультиплексування OTN підтримує різні типи трафіку: Ethernet, трафік систем зберігання даних, цифрове відео та SONET/SDH. Їх можна передавати в одному кадрі транспортної одиниці оптичного каналу (Optical Transport Unit, OTU).

1.4 Щільне хвильове мультиплексування

Щільне спектральне мультиплексування - DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) - метод об'єднання великого числа довжин хвиль. Більшість провідних виробників пропонують DWDM-обладнання, яке дозволяє мультиплексувати в С-діапазоні (1530-1565 нм) до 40 оптичних каналів при ширині одного каналу 100 ГГц або до 80 оптичних каналів при ширині кожного 50 ГГц. В цьому випадку максимальна ємність одного оптичного каналу становить 10 Гбіт/с (STM-64). У діапазоні L (1570-1605 нм) максимальне число оптичних каналів досягає 160 при ширині каналу 50 ГГц. Надщільне спектральне мультиплексування - HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing) - метод, який дозволяє збільшити кількість каналів ще в 2 - 4 рази, по відношенню до DWDM. На рисунку 1.11 наведені данні по методам спектрального мультиплексування.

	CWDM (грубе СМ)	DWDM (щільне СМ)	HDWDM (надщільне СМ)
Шаг каналів	20 нм	1,6 нм 200, 100, 50 ГГц	0,4 нм 25, 12,5 ГГц
Діапазони, що використовуються	O, E, S, C, L	S, C, L	C, L
Число каналів	до 18	десятки/сотні	десятки
Відносна вартість	низька	висока	висока

Рисунок 1.11 – Методи спектрального мультиплексування

Принцип мультиплексування, який використовує DWDM, подібний до того, як видиме людським оком світло складається із різних кольорів, на які можна його розкласти, а потім знову зібрати, так і переданий за технологією DWDM світловий потік, складається з різних довжин хвиль (λ). Дійсно, так як довжина хвилі обернено

пропорційна її частоті, то "змішування" світлових сигналів в одному оптоволокну із різною довжиною хвилі є "змішуванням" сигналів різної частоти, але тільки у терагерцовому діапазоні. Тобто, по одному оптоволокну можна передавати понад сотню стандартних каналів.

Для DWDM визначено три частотні плани:

- частотний план з рознесенням частот між сусідніми каналами 100 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,8$ нм), відповідно до якого для передачі даних застосовується 41 хвиля в діапазоні від 1528,77 нм (196,1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц);
- частотний план з кроком 50 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,4$ нм), що дозволяє передавати в цьому ж діапазоні 81 довжину хвилі;
- частотний план із кроком 25 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,2$ нм), що дозволяє передавати в цьому ж діапазоні 160 довжин хвиль – використовуючи обладнання високо-ущільненого хвильового мультиплексування (High-Dense WDM, HDWDM), або із кроком 12,5 ГГц ($\Delta\lambda \approx 0,1$ нм).

Загальний принцип передачі та прийому DWDM-системи представлено на рисунку 1.12. Для того щоб організувати в одному волокні кілька оптичних каналів сигнали SDH «фарбують», тобто змінюють довжину оптичної хвилі для кожного такого сигналу. "Пофарбовані" сигнали змішуються за допомогою мультиплексора і передаються в оптичну лінію. У кінцевому пункті відбувається зворотна операція – «забарвлені» сигнали SDH виділяються з групового сигналу і передаються споживачеві.



Рисунок 1.12 – Принцип передачі та прийому DWDM-систем

Головною перевагою DWDM є оптичні підсилювачі, які посилюють сигнали в діапазоні 1550 нм, без проміжного перетворення їх у електричну форму, як це роблять регенератори в мережах SDH.

Протяжність ділянки між оптичними підсилювачами може досягати 160 км і більше, і це забезпечує економічність створюваних магістралей DWDM, в яких довжина мультимплексної секції на сьогодні становить від 600 до 3000 км при застосуванні від одного до 7 проміжних оптичних підсилювачів.

2 ТЕХНОЛОГІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ МЕРЕЖ

2.1 Технології цифрової абонентської лінії

Назва DSL (Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія) – це сукупність технологій, які дозволяють значно розширити пропускну здатність абонентської лінії місцевої телефонної мережі шляхом використання ефективних лінійних кодів і адаптивних методів корекції викривлень лінії на базі досягнень мікроелектроніки і методів цифрової обробки сигналу. В аббревіатурі xDSL символ "x" використовують для позначення першого символу в назві конкретної технології (рис.).

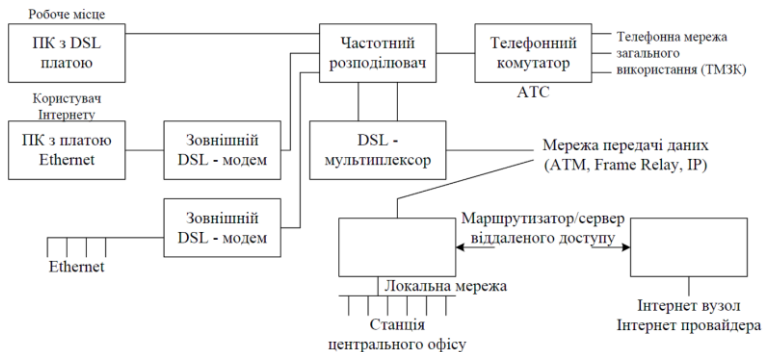


Рисунок 2.1 – Організація зв'язку при використанні xDSL

На рисунку ви бачите основний принцип організації зв'язку при використанні xDSL. Схема є простою, далі змінюється обладнання (технології) але сам підхід є достатньо поширеним. Для організації лінії в технології DSL використовуються існуючі телефонні лінії; тому вона не вимагає прокладання додаткових кабелів. У результаті замовник отримує цілодобовий доступ до мережі Інтернет зі збереженням нормальної роботи звичайного телефонного зв'язку. Завдяки наявності

великої кількості видів технологій Digital Subscriber Line користувач може вибрати ту, яка має швидкість передачі даних, що відповідає саме вимогам цього користувача - до більш ніж 100 Мбіт/с.

Асиметричні варіанти xDSL зазвичай використовуються для зв'язку в Інтернет і орієнтовані на квартирний сектор. Симетрична xDSL затребувана в комерційному секторі і застосовується там, де потрібні робочі характеристики, подібні спеціалізованим каналам точка-точка, або для високошвидкісних служб. На рисунку 2.2 наведені деякі із поширених технологій xDSL та їх основні характеристики. Безліч варіантів існують тому, що є певний розподіл потреб користувачів, вимог до швидкості і готовність платити за їх реалізацію.

DSL Технологія	Максимальна швидкість передачі (на стороні користувача)	Максимальна швидкість прийому (на стороні користувача)	Максимальна відстань	Число ліній
<i>ADSL</i>	800 Кбіт/с	8 Мбіт/с	5500 м	1
<i>ADSL-Lite (G-Lite)</i>	512 Кбіт/с	1.536 Мбіт/с	5500 м	1
<i>ADSL2</i>	3,5 Мбіт/с	12 Мбіт/с	200 м	1
<i>ADSL2+</i>	1,2 Мбіт/с	24 Мбіт/с	1500 м	1
<i>G.fast</i>	500 мбіт/с	1 Гбіт/с	400 м	1
<i>RADSL</i>	1 Мбіт/с	7 Мбіт/с	5500 м	1
<i>HDSL</i>	1.54 до 2 Мбіт/с	1.54 до 2 Мбіт/с	3650 м	2
<i>HDSL2</i>	1.54 до 2 Мбіт/с	1.54 до 2 Мбіт/с	3650 м	1
<i>SHDSL</i>	192 Кбіт/с до 2.3 Мбіт/с	192 Кбіт/с до 2.3 Мбіт/с	7500 м	1
<i>VDSL</i>	16 Мбіт/с	52 Мбіт/с	1200 м	1
<i>VDSL2</i>	100 Мбіт/с	100 Мбіт/с	150 м	1
<i>Vplus</i>	100 Мбіт/с	300 Мбіт/с	250 м	1
<i>SDSL</i>	2.3 Мбіт/с	2.3 Мбіт/с	6700 м	1
<i>MSDSL</i>	2 Мбіт/с	2 Мбіт/с	8800 м	1
<i>ISL</i>	144 Кбіт/с	144 Кбіт/с	10700 м	1

Рисунок 2.2 – Поширені технології xDSL

Технологія ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) - високошвидкісна технологія, яка вирішує проблему пропускної здатності абонентської лінії зв'язку між постачальником і споживачем послуг мереж передачі даних. Асиметрична цифрова абонентська лінія є одним із варіантів DSL, яка дозволяє передавати дані від станції користувачу ("вниз") зі швидкістю до 8,192 Мбіт/с, а від користувача до станції ("вгору") - зі швидкістю до 800 Кбіт/с. Використання такого методу пов'язане з тим, що більшість мережних додатків приймає у напрямку "вниз" набагато більше інформації ніж передає. Нові стандарти покращують ADSL та пропонують більш високі швидкості

даних для потоку "мережа/користувач", збільшуючи відстані при передачі даних. В ADSL2 при передачі потоку даних "мережа - користувач" швидкість збільшується до 12 Мбіт/с при відстані до 200 метрів. А ADSL2+ подвоює швидкість потоку даних в напрямку "мережа - користувач" (в порівнянні із ADSL2) приблизно до 25 Мбіт/с.

SHDSL (Simple High Digital Subscriber Line) - симетрична високошвидкісна цифрова абонентська лінія, забезпечує симетричне обслуговування цифрової абонентської лінії.

VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) - супершвидкісна цифрова абонентська лінія), забезпечує швидку передачу даних, включає: асиметричну передачу (до 52 Мбіт/с до користувача і до 16 Мбіт від користувача) та симетричну версію (в 100 Мбіт/с в обидва боки VDSL2 з'єднання). VDSL надає високі швидкості обміну, при коротких відстанях по стандартному мідному кабелю. Максимальна швидкість VDSL надається в межах мереж постачальника послуг. Щоб розширити частотну смугу VDSL2 використовує вищі частоти ніж 12 МГц, і це частотний діапазон десь до 30 МГц. Найбільшу ймовірність використання таких діапазонів, VDSL мають при застосуванні оптичних мереж або систем розподілу з оптичними вузлами (ONU - Optical Network Unit) в місцях концентрації абонентів.

2.2 Технології FTTx

Гібридні оптико-коаксіальні мережі дозволяють довести до абонентів телевізійні програми метрових (МВ) та дециметрових (ДМВ) діапазонів (у смузі 47...862 МГц), радіомовні програми (у смузі 76...108 МГц) і надають розширений сервіс такий як цифрове телебачення.

Місцеві головні станції розподіляють інформаційні потоки транспортної магістралі серед груп абонентів, об'єднаних у різні деревоподібні структури. У подібних структурах застосовується зустрічна передача незалежних сигналів по одному оптичному кабелю і, за допомогою оптичних роздільників та відгалужувачів із загального потоку виводиться частина потужності та/або вводиться інший оптичний сигнал. І так традиційним фізичним середовищем передачі по магістральних мережах є оптичне волокно та основні технології, якими будується гібридна мережа HFC. Способи його застосування класифікують за назвою точки з'єднання зі споживачем та поєднують загальною назвою FTTx (Fiber To The x, оптичне волокно до точки "x").

Найчастіше застосовується: FTTB (Fiber To The Building) – оптика до будівлі та FTTH (Fiber To The Home) – оптика до житлового будинку (доведення волокна до квартири). Також є безліч варіантів, які по суті, дублюють FTTH і FTTB із невеликими змінами: FTTC (Fiber To The Curb) – оптика до розподільної шафи; FTTCab (Fiber To The Cabinet) – аналог FTTC; FTTN (Fiber to the Node) – доведення волокна до мережевого вузла; FTTO (Fiber To The Office) – волокно до офісу; FTTR (Fiber To The Remote) – оптика до якогось абстрактного виносного модуля; FTTOpt (Fiber To The Optimum) – волокно до оптимального пункту; FTTP (Fiber To The Premises) – волокно до точки присутності клієнта. Та окремо потрібно відзначити: FITB (Fiber In The Building) – організація розподільної мережі всередині будівлі. Усі вони відрізняються тим, наскільки близько до призначеного для користувача терміналу підходить оптичний кабель (рис.2.3).

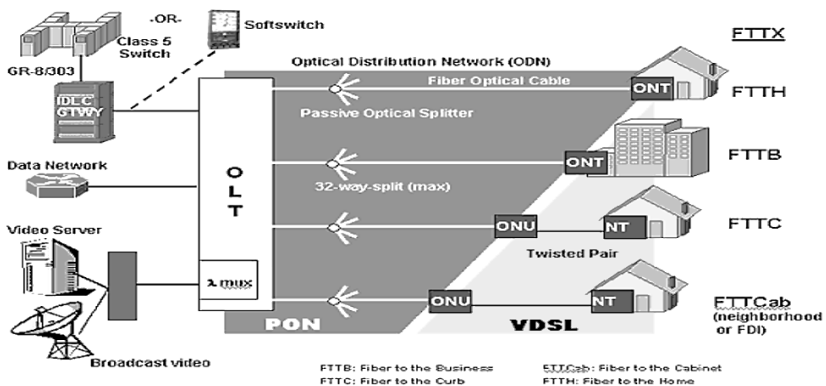


Рисунок 2.3 – Технології оптичного доступу FTTx

FTTB (Fiber To The Building) - оптика до будівлі. Технологія з'єднує магістральну оптичну мережу, яка подає сигнал прямо до будівлі, з коаксіальною розподільчою мережею всередині будівлі. У разі застосування FTTB оптичне волокно заводиться в будинок, як правило, на цокольний поверх або на горище і підключається до пристрою ONU (Optical Network Unit). На стороні оператора зв'язку встановлюється термінал оптичної лінії OLT (Optical Line Terminal). OLT є головним пристроєм і визначає параметри обміну трафіку

(інтервали часу прийому/передачі сигналу) з абонентськими пристроями Optical Network Unit (або ONT, у разі FTTH). Подальший розподіл мережі по дому відбувається вже по «витій парі».

Для варіантів побудови мережі широкосмугового доступу за концепцією FTTH оптична абонентська лінія у максимальній конфігурації складається зі станційної, магістральної, розподільної й абонентської ділянок (рис. 2.4). Станційна ділянка оптичної абонентської лінії знаходиться між активним обладнанням вузла доступу (ВА – вузол агрегації) та оптичним кросом (ODF) (Optical Distribution Frame).

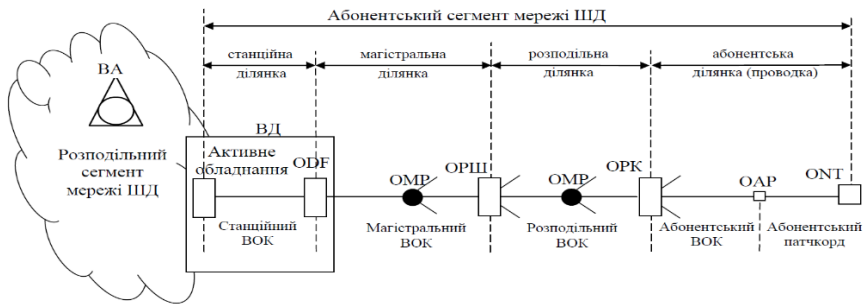


Рисунок 2.4 – Мережа широкосмугового доступу FTTH

Магістральна ділянка оптичної абонентської лінії (АЛ) знаходиться між вузлом доступу та оптичною розподільною шафою (ОПШ). Розподільна ділянка АЛ знаходиться між ОПШ й оптичною розподільною коробкою (ОПК), а абонентська проводка знаходиться між оптичною розподільною коробкою і кінцевим мережним пристроєм ONT (Optical Network Terminal), точніше його оптичною абонентською розеткою (ОАР) у приміщенні користувача.

2.3 Технологія пасивних оптичних мереж

Початок розвитку технології PON покладено в 1995 році. Метою консорціуму FSAN є розробка загальних рекомендацій і вимог до обладнання PON, щоб виробники устаткування і оператори, могли співіснувати разом на конкурентному ринку систем доступу PON. До теперішнього часу визначені декілька різновидів PON.

APON (Asynchronous Transfer Mode PON) - перший варіант технології, заснований на використанні протоколу ATM. Пізніше він удосконалений (швидкість збільшена до 622 Мбіт/с) та отримав назву Broadband PON (BPON). В 2001 р. в IEEE утворена робоча група Ethernet in the First Mile (EFM), зусилля якої спрямовані на стандартизацію симетричної технології Ethernet Passive Optical Networking (EPON), яка забезпечує швидкість передачі до 1,25 Гбіт/с і призначена для транспортування Ethernet трафіку. На сьогодні найбільш популярні види PON це:

- Gigabit PON (GPON) – використовує на другому рівні OSI власний метод інкапсуляції GEM для передачі TDM і Ethernet трафіку. Підтримує швидкості: 2,48 або 1,24 Гбіт/с до абонента та 622 Мбіт/с, 1,24 або 2,48 Гбіт/с від абонента до OLT. Для 32 ONT смуга на абонента складає більше 70 Мбіт/с. Є реалізації з підтримкою до 128 абонентів на волокно. Стандартизований в 2003 році як ITU-T G.984.1 і G.984.2;

- Ethernet PON (EPON), стандарт IEEE 802.3ah (EFM). Використовує кадри Ethernet із симетричною швидкістю 1 Гбіт/с. Швидкість на абонента - приблизно 30 Мбіт/с (при 32 ONT).

Для задоволення зростаючих вимог по збільшенню смуги пропускання, GPON системи модернізуються для підтримки 10 Гбіт/с у низхідному напрямку. Такі системи здатні одночасно передавати більше тисячі потоків HDTV з дуже швидким часом перемикавання між каналами внаслідок віщальної природи PON.

Розглядають два варіанти розвитку GPON: XG-PON1 і XGPON2, де «X» означає число «10». Перший варіант передбачає передачу даних зі швидкістю 10 Гбіт/с у низхідному потоці та 2,5 Гбіт/с у висхідному. На сьогоднішній день вже існують стандарти XG-PON або XGS-PON (G.987.2 і IEEE 802.3 для фізичного рівня), як проміжний крок на шляху до впровадження NG-PON2 (G.989.3).

Архітектура мережі XG-PON представляє собою один пасивний сегмент оптичної розподільчої мережі (ODN, optical distribution network) або групи пасивних ODN (optical distribution network), що зв'язані між собою за допомогою RE. Основною ідеєю архітектури PON є використання лише одного приймально-передавального модуля в центральному вузлі оператора для передачі інформації до абонентських пристроїв і прийому інформації від них. На рисунку 2.5 показані основні елементи архітектури PON.

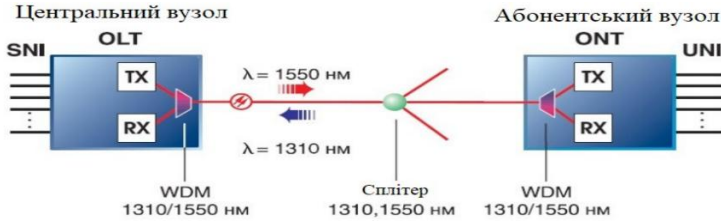


Рисунок 2.5 - Основні елементи архітектури PON

Центральний вузол або оптичний лінійний термінал (OLT) - пристрій, що встановлюється у центральному офісі. Цей пристрій приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси сервісних вузлів (Service Node Interfaces, SNI) і формує низхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) по дереву PON. Абонентський вузол або оптичний мережний термінал (Optical Network Terminal, ONT) має, абонентські інтерфейси для підключення обладнання абонента, та інтерфейс для підключення до дерева PON. ONT приймає дані від OLT, конвертує і передає абонентам через абонентські інтерфейси «користувач-мережа» (UNI). Таким чином, алгоритм роботи мережі PON після налаштування виглядає як вказано на рисунку 2.6: ONU «прослуховує лінію»; OLT одержує пакет стандарту IEEE 802.3 від глобальної мережі й модифікує його під стандарт IEEE 802.3ah; OLT відсилає пакет конкретному отримувачу (ONU); всі ONU одержують пакет, але тільки отримувач залишає його в буфері - інші пакети відкидають; ONU форматує пакет стандарту IEEE 802.3ah у стандарт IEEE 802.3 і персилає його клієнтському ПК.



Рисунок 2.6 - Алгоритм роботи мережі PON

Отримані пакети із клієнтського ПК ONU форматує зі стандарту IEEE 802.3 у стандарт IEEE 802.3ah і записує у буфер; OLT дозволяє передачу даних конкретній ONU; ONU передає накопичені пакети

певну кількість часу, а потім «замовкає» й знову «слухає» лінію; OLT одержує від ONU пакет стандарту IEEE 802.3ah, перетворює його під стандарт IEEE 802.3 та передає пристрою у глобальну мережу.

3 ПАКЕТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

3.1 Загальні визначення технології MPLS

Multiprotocol Label Switching (MPLS) є технологією багатопроTOCOLьної комутації за допомогою міток. Вона поєднує техніку віртуальних каналів із функціональністю стека TCP/IP, є універсальним вирішенням проблем QoS у пакетних мережах, забезпечує високу швидкість передачі, масштабованість, оптимізацію розподілу трафіку та ефективну маршрутизацію у пакетних мережах IP, ATM та FRelay. RFC стандарти 2702, 3031-38, 3107 описують функціональність технології та протоколів MPLS. Архітектура MPLS забезпечує побудову магістральних мереж, які мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіку і гнучкість з точки зору організації додаткових сервісів.

БагатопроTOCOLьність MPLS у тому, що вона використовує протоколи маршрутизації не тільки стеку TCP/IP, але й будь-якого іншого стеку (наприклад, IPX/SPX). Вона реалізується як спосіб побудови високошвидкісних IP-магістралей, однак область її застосування не обмежується протоколом IP, а поширюється на трафік будь-якого протоколу маршрутизації. MPLS є незалежною від протоколів 2 і 3 рівнів в мережах IP, ATM, Frame Relay, тощо. Вона як би «вклинюється» в ці технології між 2-м та 3-м рівнями моделі OSI. MPLS називають протоколом рівня 2.5, оскільки він додає свій заголовок (заголовок MPLS) між заголовком канального (рівень 2) і заголовком IP мережевого (рівень 3) рівнів.

Комітет IETF (Internet Engineering Task Force) визначив три основні елементи технології MPLS: мітка; FEC (Forwarding Equivalence Class) – клас еквівалентного пересилання; LSP (Label Switching Path) – комутований за мітками тракт. У випадку застосування MPLS, один і той же мережевий пристрій, що здійснює комутацію за мітками (Label Switch Router, LSR), одночасно виконує функції IP-маршрутизатора і комутатора віртуальних каналів (рис.3.1). LSR на межі мережі мають назву прикордонні маршрутизатори, які комутують за мітками (Label Switch Edge Router, LER).

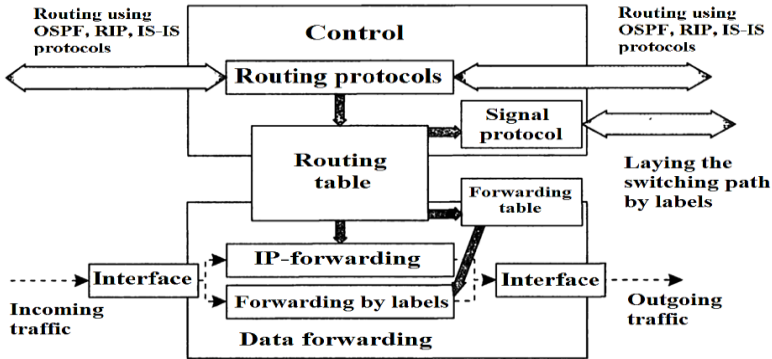


Рисунок 3.1 – Label Switch Router

Блок просування за мітками передає IP-пакет не на основі IP-адреси призначення, а на основі поля мітки. Мітки не прив'язані до конкретного протоколу 2 рівня (базової мережевої технології). Значення мітки унікальне лише для між сусідніми вузлами мережі MPLS. Щоб ухвалити рішення про вибір інтерфейсу наступного мережевого пристрою, блок просування за мітками використовує таблицю комутації, якою в MPLS є таблиця просування.

LSR отримує інформацію про наявні мережі, беручи участь в роботі алгоритму маршрутизації одного з протоколів маршрутизації (OSPF, BGP, IS-IS). Потім він взаємодіє з сусідніми маршрутизаторами, розподіляючи мітки, які в подальшому будуть застосовуватися для комутації. Таблиці LSR формуються сигнальним протоколом. MPLS використовує два сигнальні протоколи: протокол розподілу міток (Label Distribution Protocol, LDP) та модифікація протоколу резервування ресурсів RSVP (Resource ReSerVation Protocol).

Формуючи таблиці просування на LSR, сигнальний протокол прокладає віртуальні маршрути, які мають назву шляхи комутації за мітками (Label Switching Path, LSP). LSP є односпрямованим віртуальним каналом, тому для передачі трафіку між LER потрібні два шляхи комутації за мітками - по одному у кожному напрямку.

Архітектура MPLS не залежить від протоколу, тому в мережі застосовуються різні протоколи мережевої сигналізації (рис.3.2). Вихідний LER видаляє мітку і передає пакет у наступну мережу вже у стандартній формі IP-пакету. Мережа MPLS є прозорою для IP-мереж.

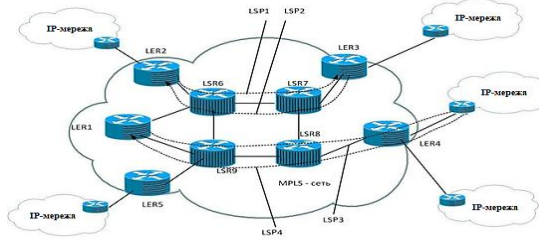


Рисунок 3.2 – Архітектура MPLS-мережі (RFC 3031)

LER виконує функцію направлення вхідного трафіку в один із вихідних з цього маршрутизатора шляхів комутації за мітками LSP. Для реалізації цієї функції в MPLS введено поняття клас еквівалентності просування (Forwarding Equivalence Class, FEC). LER підтримує базу даних класів FEC. Після ухвалення рішення про належність пакета до певного класу FEC його потрібно зв'язати з LSP. LER використовує таблицю FTN (FEC To Next hop, відображення класу FEC на наступний хоп). Кожному вхідному пакету надається відповідна мітка і пакет не відрізняється у домені MPLS від інших пакетів того ж класу FEC, всі вони просуваються по тому самому шляху всередині домену. Мітка має локальне значення в межах кожного LER та LSR. При передачі пакета з вхідного інтерфейсу на вихідний відбувається зміна мітки (рис. 3.3).

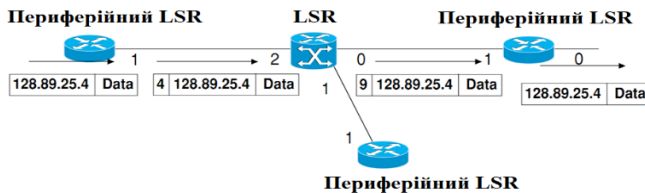


Рисунок 3.3 – Зміна мітки

Заголовок MPLS складається з декількох полів: мітка (20 біт), вибір відповідного шляху комутації за мітками; час життя (TTL, Time To Live), 8 біт; клас послуги (Class of Service, CoS), 3 біти; ознака дна стека міток (S, Bottom of Stack) займає 1 біт. Може існувати 220 міток. З них є кілька зарезервованих. Як це виглядає при передачі наведено на рисунку 3.4.

```

# Frame 30: 118 bytes on wire (944 bits), 118 bytes captured (944 bits) on interface 0
# Ethernet II, Src: cc:04:11:04:00:00 (cc:04:11:04:00:00), Dst: cc:01:11:04:00:01 (cc:01:11:04:00:01)
# MultiProtocol Label Switching Header, Label: 20, Exp: 0, S: 1, TTL: 254
  0000 0000 0000 0001 0100 .... = MPLS Label: 20
  .... 0000 .... = MPLS Experimental Bits: 0
  .... 0001 .... = MPLS Bottom Of Label Stack: 1
  .... 1111 1110 = MPLS TTL: 254
# Internet Protocol Version 4, Src: 1.1.1.1 (1.1.1.1), Dst: 6.6.6.6 (6.6.6.6)
# Internet Control Message Protocol

```

Рисунок 3.4 – Заголовок MPLS при передачі даних

Заголовок MPLS міститься між заголовком каналного рівня та заголовком IP (рис. 3.5). Тому MPLS називається технологією 2,5 рівня, а заголовок – Shim-header, заголовок-клин.

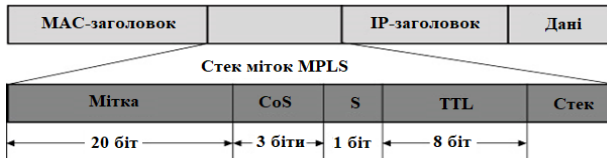


Рисунок 3.5 – Розміщення заголовку

Над мітками виконуються операції, які визначені в полі дій таблиці просування: push - помістити мітку у стек; swar - замінити поточну мітку на нову; pop - видалення верхньої мітки, в результаті мітки піднімаються на один рівень. Стек міток дозволяє створювати систему агрегованих шляхів LSP із будь-якою кількістю рівнів ієрархії. Просування MPLS-кадра завжди відбувається на основі мітки, яка знаходиться зараз на вершині стека. Функціональні можливості стека MPLS дозволяють об'єднувати кілька шляхів LSP в один.

3.2 Протоколи розподілу міток

Архітектура MPLS не передбачає застосування якогось єдиного протоколу розподілу міток. В одній мережі можуть використовуватися:

- спеціальний протокол розподілу міток Label Distribution Protocol (LDP) –перетворює IP-адреси одержувача, на мітки;
- протокол сигналізації RSVP (Resource Reservation Protocol, резервування мережевих ресурсів) і CR-LDP (Constraintbased Routing

Label Distribution Protocol, розподіл міток з маршрутизацією на основі обмежень) – обидва протоколи використовуються для оптимізації розподілу трафіку в мережі та резервування ресурсів;

– розширення можливостей протоколів маршрутизації, наприклад протоколу міждоменної маршрутизації Border Gateway Protocol (BGP) – працює із зовнішніми мітками VPN.

Розглянемо MPLS-мережу з LSR (комутуючими за мітками маршрутизаторами), які підтримують протокол LDP (рис. 3.6).

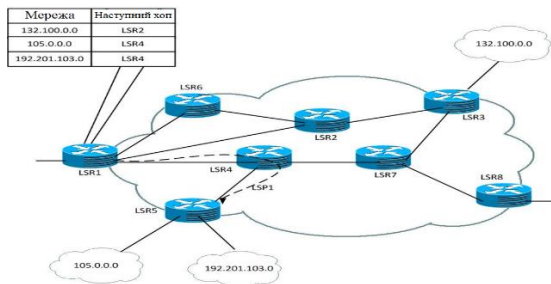


Рисунок 3.6 – MPLS-мережа з LSR, які підтримують LDP

У наведеному прикладі всі LSR підтримують сигнальний протокол розподілу міток (LDP). Від LSR1 в мережі вже встановлено один шлях LSP1, яким йде трафік до мереж 105.0.0.0 і 192.201.103.0.

При прокладанні нового шляху комутуючий за мітками маршрутизатор LSR1:

- автоматично ініціює процедуру прокладання нового шляху;
- запитує по протоколу LDP мітку для нової мережі 132.100.0.0 у маршрутизатора (LSR2, LSR6,...). IP-адресу маршрутизатора вказано для цієї мережі в таблиці маршрутизації, як адресу наступного хопу;

Щоб скористатися роботою протоколу LDP, потрібно встановити між цими пристроями сеанс LDP:

- сесія LDP встановлюється автоматично;
- кожен комутуючий за мітками маршрутизатор LSR, із протоколом LDP, посилає своїм сусідам повідомлення Hello;
- повідомлення надсилаються за груповою адресою 224.0.0.2;
- за адресою 224.0.0.2 пакет адресується всім маршрутизаторам підмережі, використовуючи порт UDP;

- якщо сусідній маршрутизатор підтримує протокол LDP, він встановлює сеанс TCP (порт 646, закріплений за протоколом LDP);
- після встановлення LDP сеансу між LSR1 і LSR2, LSR1 просить LSR2 призначити локальну мітку для нового шляху до мережі 132.100.0.0 (вибирається сусідом, що розташований нижче за потоком);
- якщо у LSR2 немає шляху до мережі 132.100.0.0, він передає LDP-запит наступному LSR (поки не дійде до граничного LSR);
- останній LSR, виявляє, що на шляху до 132.100.0.0 він граничний і призначає мітку, не зайняту інтерфейсом, повідомивши LSR верхнього рівня в LDP-повідомленні (до LSR1), це мітка 231;
- новий LSP від LSR1 до мережі 132.100.0.0 прокладено, тепер пакети передаються на основі міток і таблиць просування.

3.3 Ethernet операторського класу

23 лютого 2012 року у рамках організації Metro Ethernet Forum (MEF). винахідник Ethernet Боб Меткалф представив нове покоління Ethernet – Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0). Ethernet операторського є послугами Ethernet, які оператори зв'язку надають у глобальній мережі та технології, на основі яких ці послуги організують. До технологій відносимо: удосконалену Ethernet; MPLS; PS-SDH, OTN та DWDM. І до послуг Carrier Ethernet відносимо: EthernetVPN, VPLS, ELINE, ELAN, ETREE, E-Access. MEF визначає ключові компоненти CEthernet: стандартизовані сервіси, масштабованість, надійність, керування послугами та якість QoS. В Carrier Ethernet стандартизовані сервіси:

- E - Line – відповідає поняттю виділена лінія;
- E - LAN - відповідає поняттю виділена мережа;
- E - Tree - передача мультикастингового трафіку - «дерево»;
- на основі OVC (Operator Virtual Connection) нова специфікація MEF33 визначає послугу E-Access.

Послуга CEthernet надається локально чи глобально через стандартизоване обладнання. Тип послуги може асоціюватися із Ethernet портом пристрою, або з VLAN тегом цього порту (рис. 3.7).

Незалежно від внутрішньої реалізації глобальна послуга Ethernet надається за допомогою набору стандартних інтерфейсів Ethernet (Ethernet UNI) на каналах доступу до мережі провайдера.

MEF сервіс	на основі Ethernet порту	на основі VLAN
E – Line	Ethernet Private Line (EPL)	Ethernet Virtual Private Line (EVPL)
E – LAN	Ethernet Private LAN (EP – LAN)	Ethernet Virtual Private LAN (EVP – LAN)
E – Tree	Ethernet Private Tree (EP – Tree)	Ethernet Virtual Private Tree (EVP – Tree)

Рисунок 3.7 – Відповідність MEF сервісів портам та VLAN

Інтерфейси підтримують одну із специфікацій Ethernet фізичного рівня: 100Base-FX, 1000Base-LX і стандартні кадри Ethernet. Існує опис послуги, який визначає її параметри, топологію взаємодії мереж користувачів, пропускну спроможність логічного з'єднання або гарантований рівень якості обслуговування кадрів. Наведемо три основні варіанти організації послуги Ethernet у мережі провайдера, залежно від внутрішньої транспортної технології:

- Ethernet поверх MPLS (Ethernet over MPLS, EoMPLS) – використовує MPLS-тунелі та є основним транспортним механізмом провайдера, який дозволяє емулювати послугу Ethernet для клієнтів;
- Ethernet через Ethernet – транспорт Ethernet операторського класу (CEthernet Transport, CET), заснований на використанні в мережі провайдера покращеної Ethernet – стандарту 802 IEEE;
- Ethernet поверх транспорту (Ethernet over Transport, EOT) – під транспортом розуміється транспорт, оснований на техніці комутації каналів (для створення первинних мереж операторів (SDH, OTN)).

Стандарти IETF описують два типи послуг Ethernet, які будуються за допомогою технології MPLS: VPWS (Virtual Private Wire Service) и VPLS (Virtual Private LAN Service). Відмінність: VPWS емулює з'єднання Ethernet із двоточновою топологією (канал Ethernet), а VPLS емулює поведінку локальної мережі (з'єднання із повнозв'язною топологією в стилі локальної мережі Ethernet).

У термінології MEF послуга VPLS (Virtual Private LAN Service) відповідає E-LAN, а VPWS (Virtual Private Wire Service) – E-LINE. Обидві послуги MPLS VPN L2 дозволяють надавати послуги VPN, взаємодіючи із мережами користувачів на другому рівні моделі OSI, на відміну від послуг MPLS L3VPN. Основним будівельним елементом

послуг є псевдоканали. Вони з'єднують граничні маршрутизатори PE провайдера. На рисунку 3.8 організовано 3 псевдоканали, які з'єднують між собою граничні маршрутизатори PE1, PE2, PE3, PE4.

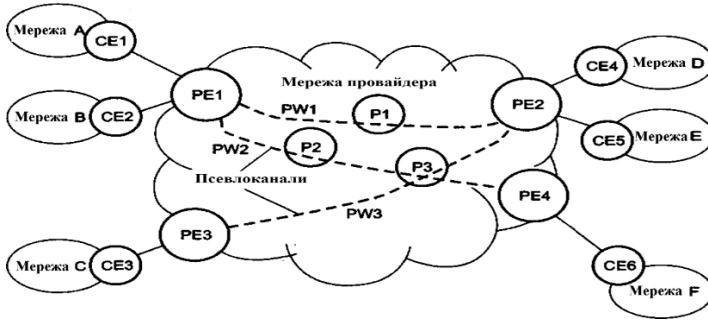


Рисунок 3.8 – Відповідність MEF сервісів портам та VLAN

У прикладі, псевдоканал PW2 створено для організації з'єднання між мережами А і F через мережу провайдера. Кадри Ethernet, які відправляються між цими мережами, інкапсулюються граничним маршрутизатором PE1 в кадри псевдоканалу і відправляються до PE2, який декапсулює кадри і відправляє їх в початковому вигляді.

Призначення псевдоканалу ширше за емуляцію Ethernet. Це може бути як емуляція сервісів виділених каналів за технологіями OTN чи SDH, так і емуляція віртуальних каналів технологій ATM чи FRelay; але все одно емуляція послуги виконується через пакетну мережу. Тип пакетної мережі будь який: класична мережа IP (без MPLS); мережа IP/MPLS, або мережа ATM. Головне, що псевдоканал приховує від користувачів сервісу деталі пакетної мережі провайдера, з'єднуючи граничні PE, начебто вони з'єднуються виділеним каналом чи кабелем.

Постачальник послуг Carrier Ethernet має в своєму розпорядженні набір керованих рішень, він підтримує різні фізичні середовища передачі та механізми QoS, які знижують операційні витрати одночасно із забезпеченням гарантованих рівнів обслуговування.

Портфель рішень оператора Ethernet може містити рішення Carrier Ethernet доступу із великою функціональністю, включаючи передачу Ethernet через xDSL, Ethernet через PDH/SDH/SONET, Ethernet через ATM та радіо-Ethernet.

4 IP-ТЕЛЕФОНІЯ. VOIP (VOICE OVER INTERNET PROTOCOL)

4.1 Архітектура VoIP

VoIP (Voice over IP; IP телефонія) - система зв'язку, або технологія, яка використовує мережу з пакетною комутацією на базі протоколу IP та забезпечує передачу голосового сигналу в режимі реального часу через IP мережу. Під час розмови голосові сигнали перетворюються на пакети даних, які потім стискаються. Далі ці пакети надсилаються через мережу Інтернет. Коли пакети даних досягають одержувача, вони декодуються в аналоговий сигнал. IP-телефонія в чистому вигляді застосовується в якості ліній передачі голосових повідомлень, використовуючи спеціально виділені цифрові канали.

На рисунку 4.1 маємо приклад організації мережі з використанням IP-телефонії:

- А, В – абоненти, які обмінюються інформацією по мережі;
- K_A , K_B – комп'ютери абонентів А та В відповідно;
- Π_A та Π_B – шлюзи абонентів А та В;
- FAX_A та FAX_B – телефакси абонентів А та В;
- TA_A та TA_B – телефони абонентів А та В.

Як раз така відкрита архітектура і є ще однією важливою особливістю VoIP.

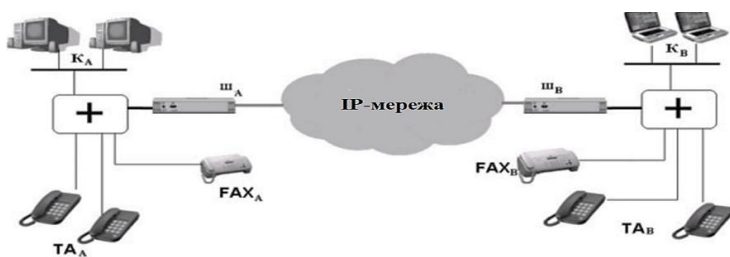


Рисунок 4.1 – Організація мережі з використанням IP-телефонії

Архітектура мережі VoIP представлена у вигляді двох площин. Нижня площина це базова IP мережа із маршрутизацією пакетів, верхня площина – програмні засоби керування обслуговуванням дзвінків. Нижня відображає транспортний механізм негарантованої доставки мультимедійного трафіку у вигляді ієрархії протоколів RTP/UDP/IP: де

RTP (Real Time Transport Protocol, який використовується при передачі трафіку реального часу), функціонує поверх протоколу транспортного рівня UDP, який працює у стеку TCP/IP поверх протоколу IP.

Таким чином, ієрархія протоколів RTP/UDP/IP є своєрідним транспортним механізмом для голосового трафіку. Зверніть увагу, що у мережах з маршрутизацією IP пакетів, при передачі даних, завжди передбачається використання механізмів повторної передачі пакетів у разі їх втрати. При передачі голосової інформації в реальному часі цей прийом не застосовується, тому що ця інформація чутлива до затримок, але менш чутлива до втрат, ось тому при передачі використовується механізм негарантованої доставки інформації RTP/UDP/IP.

Транспортний протокол реального часу (Real Time Protocol, RTP) надає транспортні послуги мультимедійним даним, працює поверх UDP і реалізує розпізнавання типу трафіку, роботу з мітками часу, контроль передачі та нумерацію послідовності пакетів. RTP працює спільно із протоколом управління реального часу (Real Time Control Protocol, RTCP), котрий забезпечує управління потоком даних та контроль перевантаження каналу. Верхня площина архітектури VoIP відображає механізм управління обслуговуванням викликів, керує обслуговуванням запитів зв'язку, адресацією, куди виклик направлено та способом, яким встановлене з'єднання між абонентами. Інструментом керування є телефонні системи сигналізації. Ключовими протоколами верхньої площини є H.323, SIP, MGCP, різні реалізації обслуговування дзвінків у мережах IP-телефонії.

На рисунку 4.2 маємо процес передачі виключно голосових даних та видно, що в стеку VoIP відсутній верхній прикладний рівень.

6.	Рівень представлення	G.729 / G.711
5.	Рівень сеансу	H.323 / H.323, шлюз /SIP/SDP
4.	Транспорний рівень, протоколи	RTP/UDP/RSVP
3.	Мережевий	IP/LLQ рівень
2.	Канальний рівень	MLPPP/FR/ATM AAL5
1.	Фізичний рівень	

Рисунок 4.2 – Стек протоколів VoIP

На фізичному рівні здійснюється передача потоку біт по фізичному середовищу через відповідний інтерфейс. При цьому IP телефонія повністю спирається на інфраструктуру мереж – дотримуючись принципу конвергенції телекомунікаційних мереж.

На каналному рівні застосовуються комутатори, які на основі MAC адресації забезпечують передачу кадрів та використання механізму VLAN із тегуванням трафіку, або стандарт IEEE 802.1Q. Voice VLAN, що застосовується для ізоляції голосового трафіку IP-телефонів, від інших даних. На мережному рівні визначається шлях даних до одержувача вже із використанням потрібних IP-адрес.

Оскільки для передачі голосу використовується протокол UDP, системі не вистачає механізму встановлення черговості пакетів, щоб пакети доставлялися в необхідній послідовності. Транспортний протокол реального часу (Real-Time Transport Protocol, RTP) для виконання цієї вимоги додає в послідовності передачі номер пакету і механізм розстановки часових міток. Сеансовий рівень підтримує роботу протоколів ініціювання сеансів: H.323, Session Initiation Protocol (SIP) і протокол опису сеансу (Session Description Protocol, SDP).

Шостим рівнем моделі є рівень представлень. Як визначено в моделі OSI, цей рівень аналізує та інтерпретує формати даних. При передачі голосових даних, рівень представлень забезпечує методи кодування і стискання, які використовуються при передачі голосу.

4.2 Стандарт H.323

Протокол H.323 найбільш освоєний серед мультимедійних стандартів та має п'ять версій. Рекомендація H.323, передбачає підтримку наступних функцій: управління смугою пропускання; використання стандартних кодеків; підтримка взаємодії різнотипних мереж; підтримка багатоточкових конференцій і багатоадресної передачі; платформної незалежності та управління сеансами зв'язку.

Для проведення телефонних розмов один з одним абоненти А та Б повинні мати доступ до Інтернету або іншої мережі за протоколом IP. Розберемо можливий алгоритм організації зв'язку між цими абонентами на прикладі протоколу H.323 (рис. 4.3):

- абонент А запускає програму IP-телефонії, яка підтримує протокол H.323;

- абонент Б також заздалегідь запустив програму IP-телефонії, яка підтримує протокол H.323;
 - абонент А знає доменне ім'я абонента Б, вводить це ім'я в розділ "кому зателефонувати" у додатку IP-телефонії, натискає Return;
 - додаток IP-телефонії звертається до DNS-сервера (ПК абонента А) для перетворення доменного імені абонента Б на IP-адресу;
 - сервер DNS повертає IP-адресу абонента Б;
 - додаток IP-телефонії абонента А отримує IP-адресу абонента Б і надсилає на цю адресу сигнальне повідомлення H.225 Setup;
 - при отриманні повідомлення H.225 Setup програма сигналізує абоненту Б про вхідний дзвінок;
 - абонент Б приймає виклик і додаток IP-телефонії надсилає повідомлення у відповідь H.225 Connect;
 - додаток IP-телефонії абонента А починає взаємодію з додатком абонента Б відповідно до рекомендації H.245;
 - після закінчення взаємодії за H.245 та відкриття логічних каналів абоненти А та Б розмовляють один з одним через IP-мережу.
- Блок "Управління та сигналізація" керує пакетизацією та депакетизацією переданих даних і здійснює контроль при їх передачі.

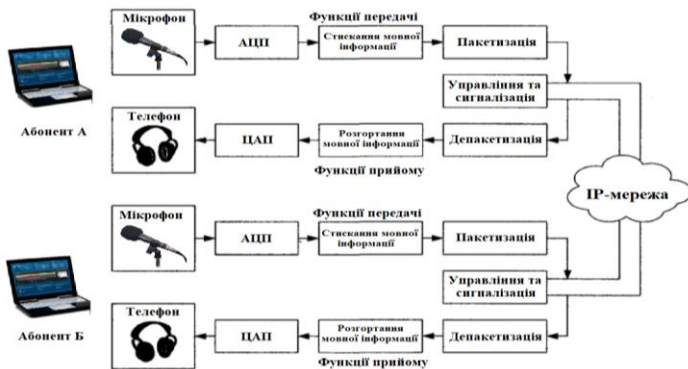


Рисунок 4.3 – Алгоритм організації зв'язку

Основними елементами мережі стандарту H.323 є термінали (terminal), шлюзи (gateway), привратники (gatekeeper) та пристрої керування конференціями (Multipoint Control Units, MCU).

Термінал Н.323 є кінцевим мультимедійним пристроєм, який забезпечує зв'язок із іншим терміналом, шлюзом або MCU в режимі реального часу. Н.323-термінал забезпечує підтримку протоколів:

- Н.245 для встановлення функцій терміналів та створення каналу обміну аудіо інформацією;
- Н.225 для сигналізації виклику і встановлення зв'язку;
- RAS для реєстрації терміналу користувача та встановлення додаткових параметрів керування контролером зони;
- RTP/RTCP для впорядкування звукових та відеопакетів.

Шлюз Н.323 перетворює мультимедійну та керуючу інформацію, яка надходить із різномірних мереж. Контролер зони виконує функції керування зоною мережі Н.323, куди входять термінали, шлюзи та MCU, які зареєстровані на контролері. Функції: перетворення alias (імені абонента, телефонного номера, тощо) в адресу мережі із маршрутизацією IP пакетів (IP-адреса і номер порту TCP); контроль доступу користувачів до послуг IP-телефонії, авторизація; контроль, керування та резервування пропускнуої спроможності мережі; керування викликами між терміналами в одній зоні. MCU застосовується для створення конференцій між трьома та більше абонентами, для узгодження параметрів обробки аудіо і відео потоків.

Стек Н.323 складають 7 груп протоколів, які підтримують:

- управління та сигналізацію (Н.225.0, Н.225.0/RAS, Н.245);
- обробку звукових сигналів (G.711, G.722, G.723.1, G.728, G.729);
- обробку відеосигналів (Н.261, Н.263);
- передачу мультимедійної інформації (RTP, RTCP);
- конференц зв'язок (Т.120);
- забезпечення інформаційної безпеки (Н.235);
- додаткові послуги (Н.450.1, Н.450.2, Н.450.3, Н.450.4, Н.450.5, Н.450.6, Н.450.7, Н.450.8, Н.450.9).

Площина обслуговування дзвінків стандарту Н.323 включає три основні протоколи.

Протокол RAS (Registration, Admission and Status), застосовується для організації взаємодії компонентів мережі Н.323 із привратником. Процедури, які виконуються кінцевим обладнанням та привратником за допомогою RAS, це: виявлення привратника; реєстрація кінцевого обладнання у привратника; контроль доступу

кінцевого обладнання до мережевих ресурсів; місцезнаходження кінцевого обладнання у мережі; зміна смуги пропускання у процесі обслуговування виклику; опитування та індикація поточного стану кінцевого обладнання; оповіщення привратника про звільнення смуги пропускання, яка раніше займалася обладнанням.

Сигнальний канал Н.225.0 підтримує процедури управління з'єднаннями в мережах Н.323, що специфіковано у рекомендації Н.225.0. У цьому випадку транспортування сигнальних повідомлень забезпечує протокол ТСП. У Н.323 версій 1,2 для кожного нового виклику відкривається окремий сигнальний канал. Починаючи із Н.323 версії 3 один сигнальний канал Н.225.0 може переносити повідомлення, які стосуються різних викликів, і це дозволяє зменшити час встановлення з'єднання та обсяг службової інформації.

Керуючий канал Н.245 керує інформаційними каналами між пристроями мережі Н.323, підтримує ряд процедур: визначення ведучого та відомого пристроїв; обміну даними про функціональні можливості; відкриття та закриття односпрямованих логічних каналів; відкриття та закриття двоспрямованих логічних каналів; визначення подвійної затримки, що виникає при передачі інформації від джерела до приймача та у зворотному напрямку; вибору режиму обробки інформації. Перенесення керуючої інформації Н.245 здійснюється ТСП.

4.3 Протокол ініціювання сеансів (SIP)

Протокол призначений для організації, модифікації і завершення сеансів зв'язку, використовується для організації мультимедійних конференцій, розподілу мультимедійної інформації та телефонних з'єднань. В основу SIP закладені такі принципи, як:

- мобільність користувачів – їм надається унікальний ідентифікатор, а мережа надає їм послуги зв'язку незалежно де вони є;
- масштабованість мережі – збільшення кількості елементів мережі під час її розширення;
- розширення протоколу – можливість доповнення функціями при введенні нових послуг, адаптація до роботи із різними програмами;
- інтегрований у стек протоколів Інтернет – включає протоколи: резервування ресурсів (Resource Reservation Protocol, RSVP); транспортний протокол реального часу (RTP); протокол передачі

поточної інформації у реальному часі (Real-Time Streaming Protocol, RTP), тощо. Функції SIP не залежать від жодного із протоколів;

– підтримка взаємодії з іншими протоколами сигналізації. SIP може використовуватись спільно із протоколами стандарту H.323.

Система з SIP, може складатися із клієнтів, серверів та індивідуальних мережеских елементів. У протоколі SIP встановлюються такі основні компоненти: це агенти користувача (User Agents або SIP Clients), проху-сервери, сервери переадресації та сервери реєстрації (або визначення розташування).

Агенти користувача є додатками термінального обладнання, вони включають: агент-клієнт (UAC, user agent client) – посилає запити та отримує відповіді; агент-сервер (UAS, user agent server) – приймає запити та надсилає відповіді. Проксі-сервер поєднує в собі функції UAC та UAS. Він інтерпретує та перезаписує заголовки запитів перед відправкою їх іншим серверам. Вони відповідають за маршрутизацію повідомлень, автентифікацію та авторизацію користувачів. У стандарті описані два типи SIP-проксі-серверів: без урахування стану (stateless) – не відслідковують стан SIP-сесій і передають повідомлення, використовуючи внутрішні правила маршрутизації та із урахуванням стану (stateful) – відстежують стан кожної SIP-сесії від моменту її створення до завершення. Використовуються для інтелектуальної маршрутизації (перенаправлення дзвінків, голосова пошта, додаткова обробка дзвінків) і самостійного повторного пересилання пакетів.

Сервер переадресації визначає положення абонента, який викликається, і повідомляє про нього користувачу. Сервер реєстрації підтримує базу даних адресної інформації. Перед роботою в мережі пристрої реєструються, повідомляючи серверу ім'я у форматі: IP-адреса, порт, SIP-URI та пароль доступу, які потім і використовуються для визначення розташування користувачів. SIP сумісний з обома протоколами адресації IPv4 та IPv6.

На рисунку 4.4 наведений приклад побудови SIP мережі. Необхідно звернути увагу на те, що SIP-сервери є окремими функціональними елементами мережі. Фізично вони можуть бути реалізовані на базі серверів локальної мережі, які, окрім виконання своїх основних функцій обробляють SIP повідомлення. Термінали використовуються двох типів: персональний комп'ютер із звуковою платою та програмним забезпеченням SIP-клієнта (UA), або SIP-

телефон, який підключається безпосередньо до мережі Ethernet (наприклад, SIP-телефони, які виробляються Cisco Systems).

Таким чином, користувач локальної мережі передає всі запити до свого SIP-сервера, а сервер їх обробляє і забезпечує встановлення з'єднань. Шляхом програмування, сервер можна налаштувати на різні алгоритми роботи: може обслуговувати частину користувачів (керівництво підприємства) за одними правилами, а іншу частину за іншими правилами. Сервер може враховувати категорію і терміновість виклику, а також враховувати оплату за розмови.

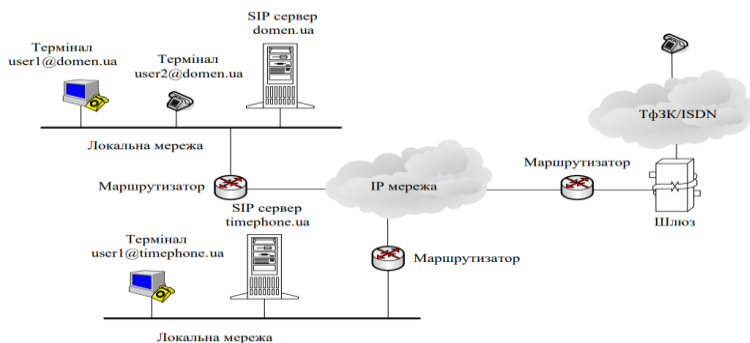


Рисунок 4.4 – Побудова SIP мережі

Для організації взаємодії SIP використовує адресу, яка подібна до адреси електронної пошти, а як адреси пристроїв універсальні покажчики ресурсів SIP URL (Universal Resource Locators). SIP-адреса використовується чотирьох типів: ім'я@домен; ім'я@хост; ім'я@IP-адреса; №телефону@шлюз. Адреса завжди складається із двох частин. Коли перша є ім'ям зареєстрованого користувача, то друга; ім'я домену; робочої станції або шлюзу. Якщо друга частина адреси є шлюз, то у першій є телефонний номер. На початку адреси "sip:". SIP підтримує два типи сигнальних повідомлень: запит і відповідь та 6 процедур:

- INVITE (запрошення) – запрошує користувача взяти участь у сеансі зв'язку. В основному містить SDP – опис сеансу зв'язку, в якому вказується вид інформації, яка приймається та параметри (список можливих варіантів параметрів), які необхідні для прийому інформації, а також може вказуватися вид інформації, яку користувач може

передавати. У відповіді на запит INVITE вказується вид інформації, яка приймається користувачем, і може вказувати вид інформації, яку користувач збирається передати. У повідомленні можуть міститися дані, які необхідні для аутентифікації абонента та надання доступу клієнтів до SIP-серверу. Якщо потрібно змінити характеристики організованих каналів, то передається запит INVITE з новим описом сеансу зв'язку. Для запрошення нового учасника до вже встановленого з'єднання також використовується повідомлення INVITE;

- BYE (роз'єднання) – завершує з'єднання між двома користувачами. Передається будь-якою із сторін, які приймають участь у сеансі. Сторона, яка отримала запит BYE, повинна завершити передачу голосової (мультимедійної) інформації та підтвердити його виконання відповіддю 200 OK;

- OPTIONS (параметри) – для передачі інформації про характеристики, які підтримуються (передача безпосередньо між двома агентами користувачів або через сервер SIP);

- ACK (підтвердження) – використовується для підтвердження отримання повідомлення або для позитивної відповіді на команду INVITE. Використовується тільки разом із запитом INVITE, тобто цим повідомленням обладнання користувача підтверджує, що отримало кінцеву відповідь на свій запит INVITE. У повідомленні ACK міститься кінцевий опис сеансу зв'язку, який передається користувачам;

- CANCEL (відміна) - відмінює обробку запитів, які передані раніше, але не впливає на запити, які вже закінчили обробку. CANCEL застосовується тоді, коли проксі-сервер розмножує запити для пошуку користувача по декільком напрямкам і в одному його не знаходить;

- REGISTER (реєстрація) – передає місцезнаходження користувача на сервер SIP – може транслювати її на сервер адрес.

Третій спосіб побудови мережі IP-телефонії спирається на протокол Media Gateway Control Protocol (MGCP), запропонований робочою групою MEGACO комітету IETF. При розробці даного протоколу керування шлюзами застосовується принцип декомпозиції – шлюз розбивається на функціональні блоки. В архітектурі MGCP-мережі є дві основні функціональні компоненти: транспортний шлюз (Media Gateway, MG) або IP-телефон та пристрій керування викликами (контролер сигналізації, контролер шлюзу (Media Gateway Controller, MGC) або програмний контролер, SS).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Odom, W. CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 1. Cisco Press. 2019.
2. Odom, W. CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 2. Cisco Press. 2019.
3. Santitoro, R. Metro Ethernet Services–A Technical Overview. In Metro Ethernet Forum (Vol. 2006). 2003.
4. Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Комп'ютерні мережі. Частина 1. Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 336 с.
5. Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Комп'ютерні мережі. Частина 2. Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 372 с.
6. Блозва А.І. Комп'ютерні мережі [навчальний посібник] / А.І.Блозва, Ю.В.Матус, В.В.Смолій, Б.С.Гусєв, Д.Ю.Касаткін, Т.Ю.Осипова, Я.А.Савицька. К.: Компрінт, 2017. 821 с.
7. Odom, W. Cisco CCENT/CCNA ICND1 100-101. Indianapolis: Cisco Press. 2013.
8. Odom, W. CCNA Routing and Switching ICND2 200-101 Official Cert Guide. Cisco Press. 2013.
9. Hucaby D. CCNP Routing and Switching SWITCH 300-115 Official Cert Guide. 2nd Edition. USA: Cisco Press, 2015. 578 p.
10. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Транспортні телекомунікаційні технології. Вінниця: ВНТУ, 2017. 162 с.
11. Балашов В. О. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу: [навчальний посібник для дипломного проектування та виконання магістерських робіт]: [В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков] //Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. ОС Попова. 2012.