ЛЕКЦІЯ 3

Ethernet у мережах операторів

Агрегування каналів EtherChannel

Навчальна дисципліна

«Глобальні мережі»

Державний університет «Житомирська політехніка»
Кафедра кібербезпеки та захисту інформації

Що було й що буде сьогодні

Пригадуємо ключове з лекції 2 та плануємо лекцію 3

← Лекція 2: що знаємо

- IP — універсальний «клей» мереж
- IPv4: 32 біти, заголовок 20–60 байтів
- IPv6: 128 біт, фіксований заголовок 40 байтів
- 3 типи адрес IPv6: unicast, multicast, anycast
- Фрагментація й PMTUD (RFC 1191)
- CIDR + VLSM: > 950 тис. префіксів у BGP

Лекція 3: що вивчимо →

1. Еволюція Ethernet 10 Мбіт/с → 400 Гбіт/с
2. Carrier Ethernet — концепція
3. 5 атрибутів MEF
4. Інтерфейси UNI, NNI та EVC
5. 3 послуги: E-Line, E-LAN, E-Tree
6. EtherChannel — принцип роботи
7. Протоколи LACP та PAgP
8. Балансування навантаження

Еволюція Ethernet: від LAN до операторських мереж

Від 10 Мбіт/с у 1980-х до 400 Гбіт/с у сучасних магістралях

Чому Ethernet витіснив TDM у мережах операторів?

єдина технологія
від LAN до WAN — без перетворення протоколів

дешевше за TDM
нижчі CAPEX і OPEX при однаковій швидкості

гнучке масштабування
10 Мбіт/с → 400 Гбіт/с без заміни платформи

широка екосистема
багато виробників — конкуренція та нижчі ціни

1973	1983	1995	1998	2002	2010	2017
3 Мбіт/с	**10 Мбіт/с**	**100 Мбіт/с**	**1 Гбіт/с**	**10 Гбіт/с**	**100 Гбіт/с**	**400 Гбіт/с**
Xerox PARC	*IEEE 802.3*	*802.3u*	*802.3z*	*802.3ae*	*802.3ba*	*802.3bs*
перший експ.	LAN стандарт	Fast Ethernet	Gigabit	MAN/WAN	магістралі	5G/DC

Carrier Ethernet — що це таке

Розширення Ethernet для операторських (carrier) мереж

Ключова ідея

Carrier Ethernet перетворює традиційну локальну технологію на повноцінне рішення операторського класу — з надійністю, *масштабованістю та QoS, що були характерні лише для SDH/SONET.*

LAN Ethernet	Carrier Ethernet	SDH / SONET (TDM)
best effort доставка	SLA-гарантії, 99,999%	гарантована смуга завжди
без QoS	QoS з 8 класами	жорсткі TDM-канали
STP: конвергенція десятки сек	ERPS: < 50 мс	APS: < 50 мс
домен: одна організація	мільйони EVC та MAC-адрес	дороге, спеціалізоване облад-я

П'ять атрибутів Carrier Ethernet за MEF

Metro Ethernet Forum (з 2001 р.) — > 200 членів; ці 5 атрибутів визначають рівень «carrier»

1

Стандартизовані сервіси

чітко визначені типи послуг MEF (E-Line, E-LAN, E-Tree, E-Access) із стандартизованими параметрами та інтерфейсами

2

Масштабованість

від 1 Мбіт/с до 100 Гбіт/с; мільйони EVC та MAC-адрес в одному домені

3

Надійність

доступність 99,999% («5 дев'яток»); час перемикання < 50 мс завдяки ERPS (G.8032)

4

Якість обслуговування (QoS)

гарантії затримки, джитеру, втрат; до 8 класів обслуговування; підтримка голосу, відео, даних

5

Управління сервісами

OAM за IEEE 802.1ag (CFM) та ITU-T Y.1731: моніторинг SLA, виявлення й локалізація відмов

Інтерфейси Carrier Ethernet: UNI, NNI, EVC

Демаркаційні точки та логічні з'єднання між клієнтом та оператором

UNI

User-to-Network Interface

Що це? Точка демаркації між мережею клієнта та мережею оператора

Хто по обидва боки:

- CE — Customer Edge (клієнт)
- PE — Provider Edge (оператор)

Що визначає:

- UNI bandwidth (швидкість)
- Кількість і тип EVC
- Параметри QoS

NNI

Network-to-Network Interface

Що це? Інтерфейс між мережами операторів або доменами

Два типи:

- **E-NNI** (External) — між мережами РІЗНИХ операторів
- **I-NNI** (Internal) — між доменами ОДНОГО оператора

Навіщо E-NNI:

мультиоператорські Ethernet-послуги, коли трафік проходить через кілька операторів

EVC

Ethernet Virtual Connection

Що це? Логічне з'єднання між 2 або більше UNI

Аналог: PVC у Frame Relay

Атрибути EVC:

- тип (point-to-point або multipoint)
- bandwidth profile
- обробка CE-VLAN тегів
- CoS (клас обслуговування, до 8)
- параметри OAM

Три базові послуги MEF

E-Line · E-LAN · E-Tree — типи Ethernet-сервісів для операторських мереж

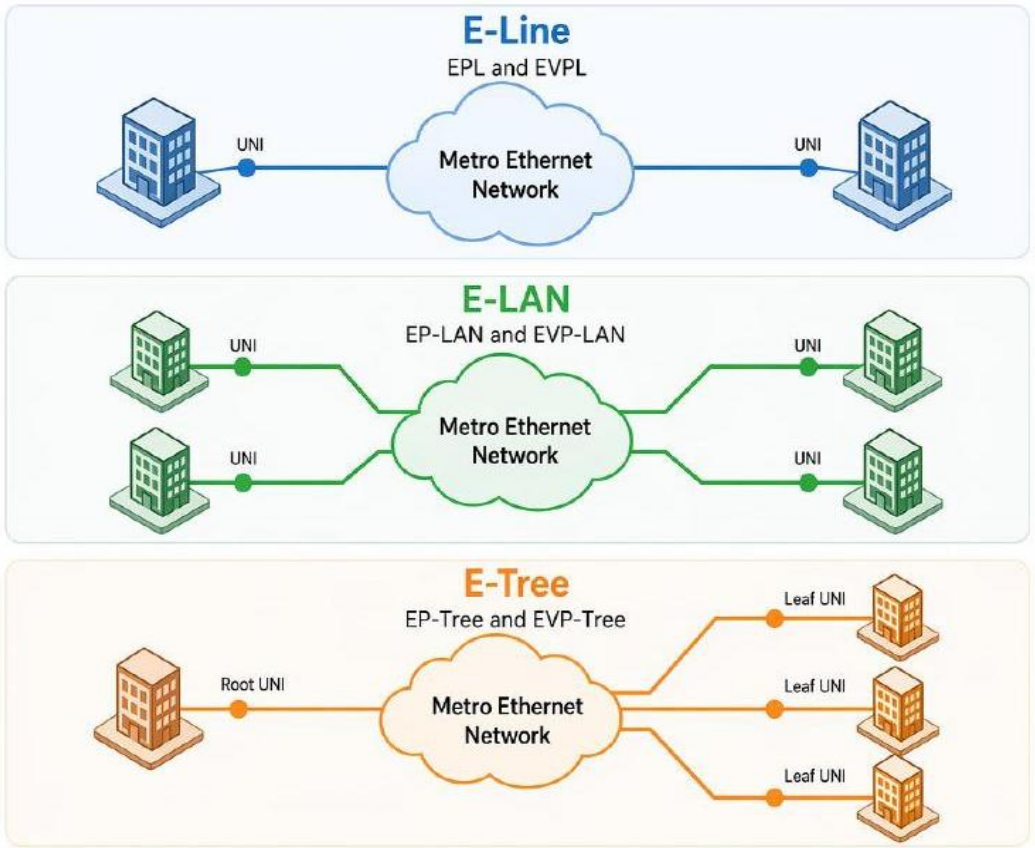


Рисунок 5.1 – Типи Ethernet-сервісів MEF: E-Line, E-LAN, E-Tree

E-Line

точка-точка

Ethernet Line Service

З'єднує ДВА UNI через один EVC. Аналог виділеного каналу (leased line).

Реалізація: *EPL — Ethernet Private Line*
EVPL — Ethernet Virtual Private Line

Приклад: з'єднання 2 офісів; підключення до дата-центру

E-LAN

багато-до-багатьох

Ethernet LAN Service

З'єднує N UNI через multipoint EVC. Емулює звичайний Ethernet-комутатор на відстані.

Реалізація: *EP-LAN, EVP-LAN*
технології: VPLS (RFC 4761/4762), EVPN (RFC 7432)

Приклад: об'єднання множини офісів в єдину корпоративну LAN

E-Tree

корінь → листки

Ethernet Tree Service

Root UNI спілкується з усіма Leaf UNI; листкові — тільки з коренем, не між собою.

Реалізація: *EP-Tree, EVP-Tree*

Приклад: «головний офіс — філії»; розсилка контенту

Проблема: одного каналу вже мало

Як збільшити пропускну здатність і надійність без переходу на швидший стандарт

Ситуація в операторській мережі

- Між двома комутаторами — 1 Гбіт/с канал. *Трафіку — 3 Гбіт/с. Що робити?*
- Купити 10 Гбіт/с обладнання? — *дорого, часто заміна цілої платформи*
- Один канал — єдина точка відмови (SPOF). *STP-конвергенція повільна.*

Рішення: агрегація каналів (Link Aggregation)

Об'єднати кілька фізичних каналів в один логічний канал



Пропускна здатність

сума швидкостей усіх каналів (2×1 Гбіт/с = 2 Гбіт/с)



Відмовостійкість

відмова каналу — трафік іде іншими; без STP-конвергенції



Спрощення

STP і маршрутизація бачать один логічний порт



Економія

не потрібно міняти платформу на швидшу

EtherChannel — об'єднання каналів у логічний порт

Стандарт IEEE 802.1AX · також відома як Link Aggregation, Port-Channel, LAG

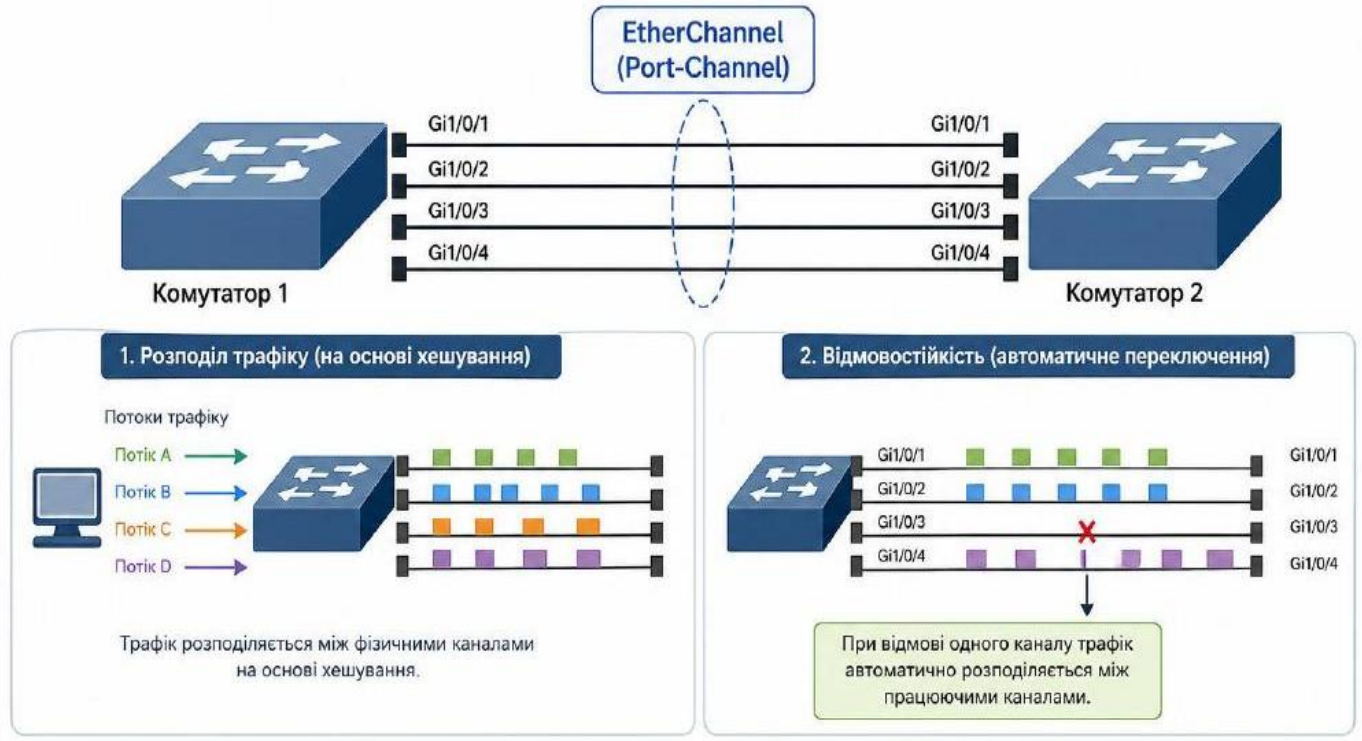


Рисунок 5.4 – EtherChannel: об'єднання фізичних каналів у логічний канал

Ключові факти

Стандарт
IEEE 802.1AX (раніше 802.3ad)

Кількість портів
від 2 до 8 у групі

Умова портів
однакова швидкість, дуплекс, VLAN

Для STP
один логічний інтерфейс

Для маршрутизації
один логічний інтерфейс

Сценарії
switch↔switch, switch↔server, switch↔router

Принцип роботи: комутатор обчислює хеш поля (MAC/IP/порт), і всі пакети одного потоку йдуть через **той самий фізичний канал** — це зберігає порядок кадрів.

Протоколи агрегації: LACP та PAgP

Автоматичне узгодження параметрів агрегації між двома комутаторами

LACP

Link Aggregation Control Protocol

СТАНДАРТ

Стандарт: IEEE 802.1AX (відкритий, вендоронезалежний)

Сумісність: усі виробники (Cisco, Juniper, Huawei, HP, Arista …)

Режими:

- active — активно ініціює LACPDU
- passive — тільки відповідає на LACPDU

Особливість: «hot standby» — до 16 портів у групі: 8 активних + 8 у режимі очікування

PAgP

Port Aggregation Protocol

CISCO ONLY

Стандарт: пропрієтарний протокол Cisco

Сумісність: тільки між пристроями Cisco

Режими:

- desirable — активно ініціює (аналог active)
- auto — тільки відповідає (аналог passive)

Статус: зберігається переважно для сумісності з існуючими мережами

⚠ **Правило: щоб група утворилася — хоча б ОДИН із двох комутаторів має бути в активному режимі**

✓ **active + active, active + passive, desirable + desirable, desirable + auto → група утвориться**

✗ **passive + passive, auto + auto → група НЕ утвориться;** *mode on (статичний) — без узгодження, не рекомендується*

Балансування навантаження в EtherChannel

Алгоритми хешування визначають, через який фізичний канал піде кожен потік

Алгоритм	Хешується за	Коли доцільно
`src-mac`	MAC-адреса джерела	багато клієнтів → один сервер
`dst-mac`	MAC-адреса призначення	один клієнт → багато серверів
`src-dst-mac`	обидві MAC-адреси	L2-мережа, різноманітний трафік
`src-ip`	IP-адреса джерела	багато користувачів → один ресурс
`dst-ip`	IP-адреса призначення	один вихід у Інтернет
`src-dst-ip`	**обидві IP-адреси (рекомендовано за замовч.)**	**загальний L3-трафік — найкращий баланс**
`src-dst-port`	IP-адреси + TCP/UDP порти	детальний розподіл трафіку між сервісами

⚠ Не гарантує рівномірного розподілу

Один потік → завжди один канал.

«Слон-потік» (elephant flow) може перевантажити свій канал, поки інші простоюють.

→ Оператор має моніторити утилізацію КОЖНОГО фізичного каналу.

Практична порада щодо вибору

- Для більшості випадків → **src-dst-ip**
- Для маршрутизаторів → **src-dst-ip або src-dst-port**
- Змінити: port-channel load-balance <алгоритм>

Відмовостійкість та Multi-Chassis EtherChannel

Що відбувається при відмові каналу — і як захиститися від відмови цілого комутатора

Швидке перемикання (failover)

Сценарій: у групі 4 канали по 1 Гбіт/с, один канал падає.

1. Комутатор виявляє втрату несучої (link down) — миттєво
2. Порт видаляється з групи агрегації
3. Трафік перерозподіляється між 3 каналами, що залишились
4. Загальна процедура — кілька мілісекунд
5. STP і маршрутизація нічого не помічають — логічний порт активний

★ Швидше за STP у 100-1000 разів!

Multi-Chassis EtherChannel (MCEC)

EtherChannel на кілька фізичних комутаторів одночасно

Проблема звичайного EtherChannel:

Якщо ВЕСЬ комутатор виходить з ладу — усі канали недоступні.

Рішення — MCEC:

Пристрій підключається до ДВОХ фізичних комутаторів, які виглядають як один логічний.

Реалізації Cisco:

- **vPC** (Virtual Port Channel) — Nexus
- **VSS** (Virtual Switching System) — Catalyst

Що захищає: не лише від відмови каналу, а й від відмови ***цілого комутатора***

Порівняння: EtherChannel vs окремі канали

Таблиця 5.2 з навчального посібника

Критерій	EtherChannel	Окремі канали
Пропускна здатність	сума каналів (до 8 × 10 Гбіт/с)	один канал
Відмовостійкість	автоматичне перемикання (мс)	STP (секунди–десятки секунд)
STP	один логічний порт	кожен порт окремо
Балансування трафіку	хеш (MAC / IP / порт)	немає
Протоколи узгодження	LACP / PAgP	не потрібні
Максимум портів	8 активних + 8 у standby (LACP)	N/A
Сфера застосування	магістралі, uplink до серверів	звичайні кінцеві підключення

→ **Головний висновок: EtherChannel** = більша смуга **+** швидка відмовостійкість **+** простота управління

Куди все це вписується: архітектура Metro Ethernet

Трирівнева архітектура: доступ → агрегація → ядро. EtherChannel — між ярусами

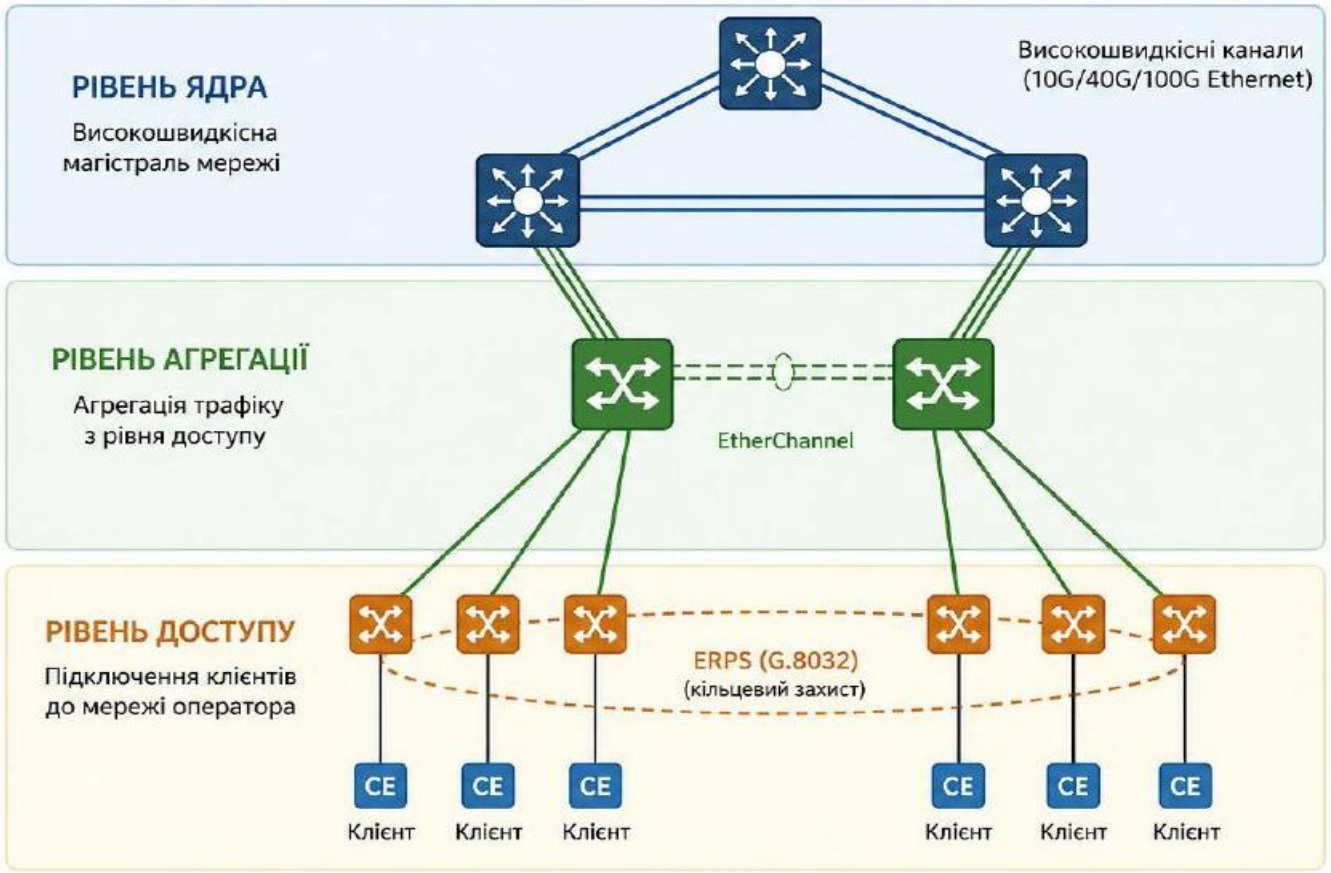


Рисунок 5.5 – Трирівнева архітектура Metro Ethernet: доступ, агрегація, ядро

Ядро (Core)

високошвидкісний транспорт між вузлами агрегації

10G / 40G / 100G Ethernet
повнозв'язна топологія

Агрегація (Aggregation)

об'єднання трафіку від рівня доступу, міжвузловий OAM, складна QoS

EtherChannel між комутаторами
агрегація EVC

Доступ (Access)

підключення клієнтського обладнання CE через UNI

10 Мбіт/с — 10 Гбіт/с
ERPS (G.8032) для кільцевого захисту

Підсумок лекції

Ключові поняття, які знадобляться на Лабораторній роботі №2

01 **Carrier Ethernet**

розширення Ethernet до операторського класу; стандарти MEF; 99,999% доступності

02 **5 атрибутів MEF**

стандартизовані сервіси, масштабованість, надійність, QoS, управління (OAM)

03 **UNI · NNI · EVC**

інтерфейс клієнт-оператор · між операторами · логічний канал (аналог PVC)

04 **3 послуги MEF**

E-Line (точка-точка), E-LAN (multipoint), E-Tree (root-leaf)

05 **EtherChannel = LAG**

IEEE 802.1AX; 2–8 портів у групу; STP бачить один логічний порт

06 **LACP vs PAgP**

LACP — стандарт (802.1AX); PAgP — тільки Cisco; хоч один порт має бути active

Лабораторна №2: *агрегування EtherChannel*

→ **Наступна лекція:** *Metro Ethernet та QinQ*



Ваші запитання

Обговорення матеріалу лекції

Дякую за увагу!