



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Mạng thông tin quang

Trương Diệu Linh

Bộ môn TTM- Viện CNTT & TT

linhtd@soict.hust.edu.vn

Mục đích của chương

- Giới thiệu về công nghệ mạng cáp quang
- Giới thiệu về các mô hình mạng cáp quang
- Giới thiệu về các vấn đề trong thiết kế mạng cáp quang

Nội dung

- Giới thiệu về mạng cáp quang
- Các kiến trúc mạng sử dụng cáp quang
- Các thành phần của mạng WDM
- Thiết kế mạng cáp quang
- Dự phòng và khôi phục
- Mạng truy nhập

Tài liệu tham khảo

- 1) Rajiv Ramaswami and Kumar N. Sivarajan, *Optical Networks: A practical perspective*, Morgan Kaufmann Publishers, 2nd edition, 2002.
☐ Có thể truy cập online từ thư viện book24x7 trong phạm vi trường Bách Khoa
- 2) Wayne D. Grover, *Mesh-based Survivable Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET and ATM Networking*, Prentice Hall, 2003
- 3) Biswanath Mukherjee, *Optical WDM Networks*, Springer, 2006

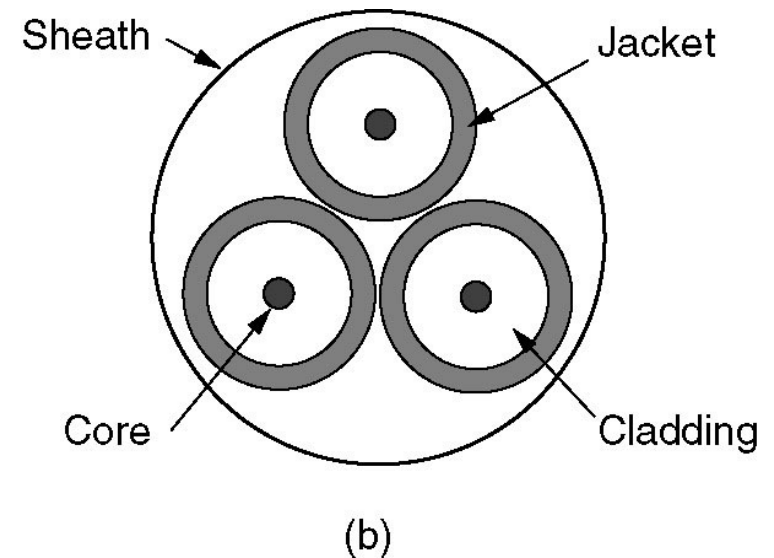
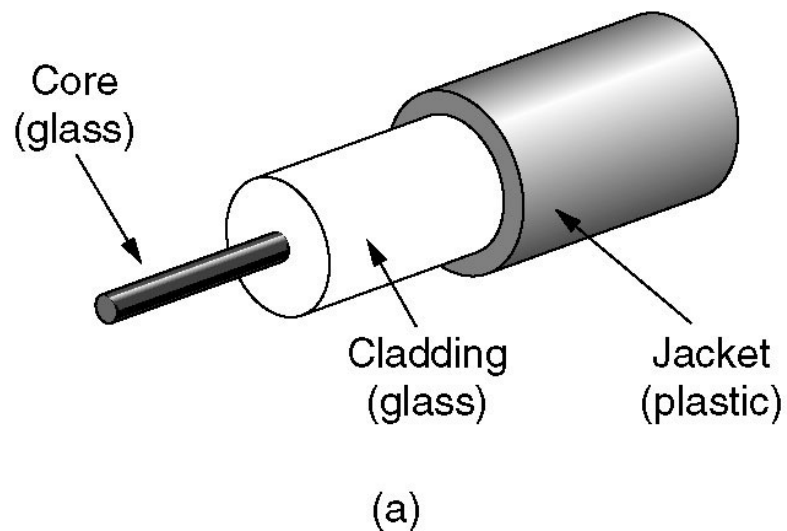
Chương 1: Giới thiệu về mạng thông tin quang



Nội dung

- Kiến trúc mạng truyền thông
- Công nghệ chuyển mạch kênh, gói
- Mạng cáp quang
 - Cáp quang
 - Các kỹ thuật dồn kênh dùng trong mạng cáp quang
 - Các thể hệ mạng cáp quang
 - Hiện trạng sử dụng mạng cáp quang trên thế giới
 - Các thiết bị trong mạng cáp quang

Cáp sợi quang



(a) Một sợi cáp

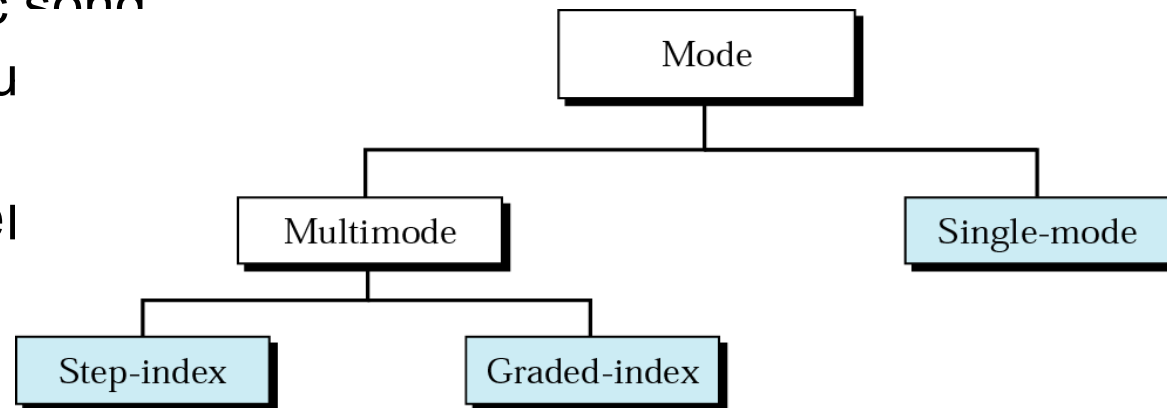
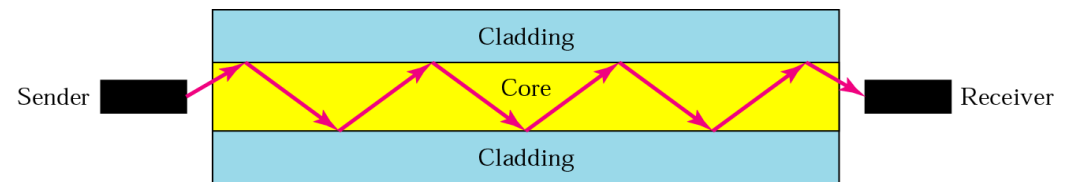
(b) Một đường cáp với 3 lõi

Cáp quang

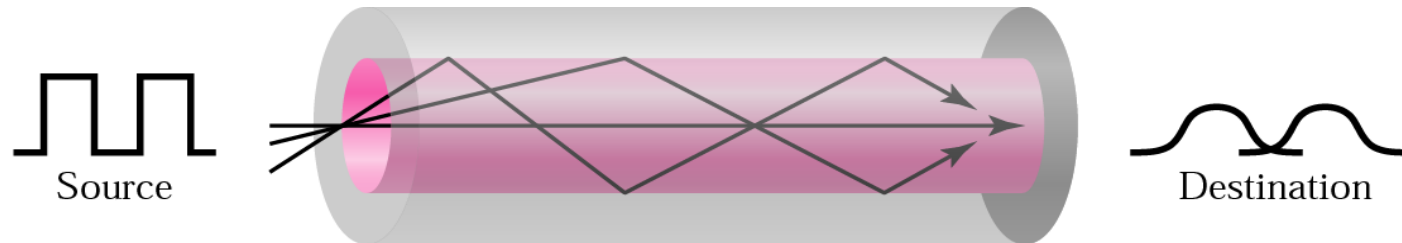
- Truyền tín hiệu ánh sáng trong cáp
- Ánh sáng
 - mang tính chất sóng: phản xạ, tán xạ, nhiễu, phân cực, suy yếu, mất mát...
 - Gồm nhiều bước sóng
 - Truyền đi theo hướng thẳng

■ Các chế độ truyền

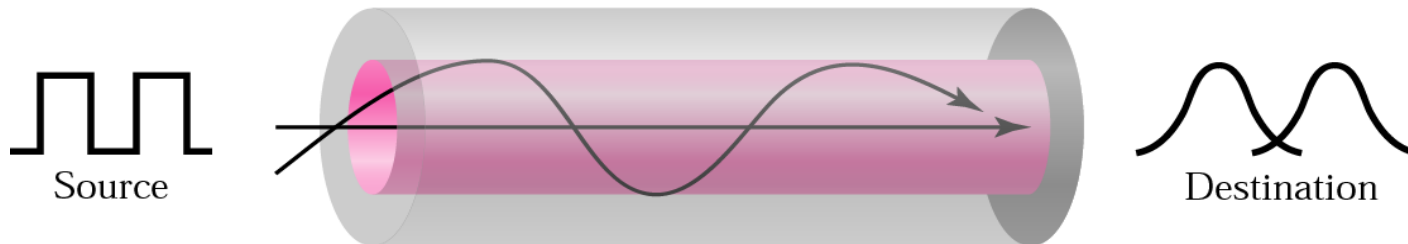
- Multimode:
 - Nhiều tia
- Single mode
 - 1 tia.



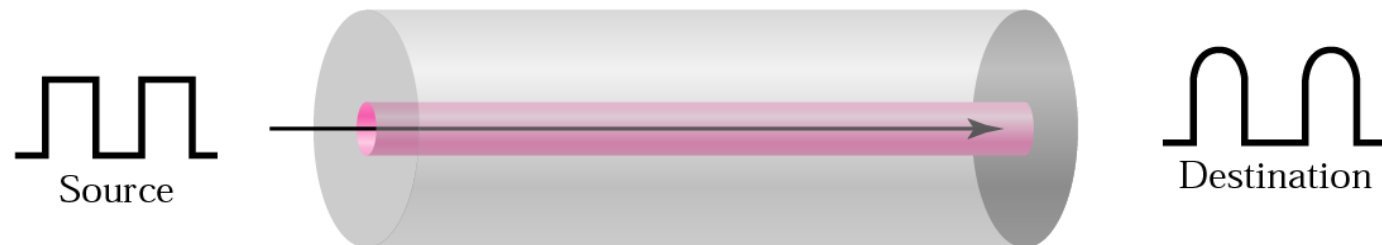
Truyền ánh sáng trong cáp quang



a. Multimode, step-index



b. Multimode, graded-index



c. Single-mode

Single-mode vs. Multi-mode

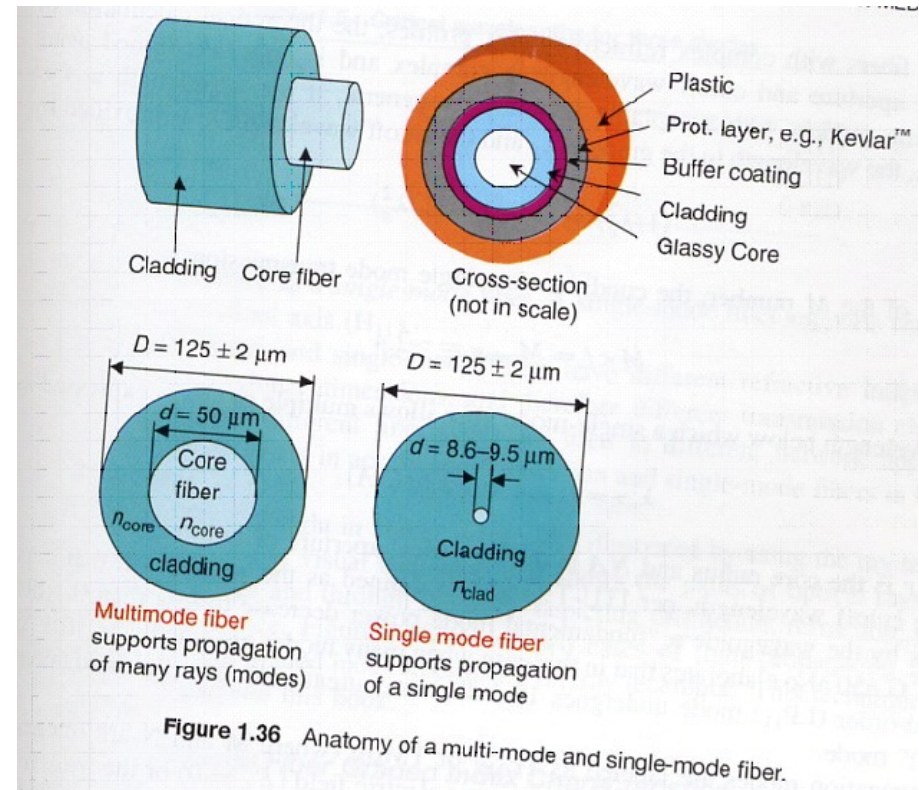
■ Multi-mode (cũ)

- Truyền nhiều tia sáng
- Lõi lớn, nguồn sáng rẻ
- Nhiều giữa các chế độ truyền
- Sinh lại tín hiệu sau mỗi 10km
- Tốc độ 32-140 Mbps
- Graded index: hệ số phản xạ thay đổi từ trung tâm lõi đến vỏ.

■ Single-mode (mới)

- Truyền một tia sáng
- Lõi nhỏ, nguồn sáng đắt tiền
- Loại bỏ nhiễu
- Sinh lại tín hiệu sau mỗi 40km

Tốc độ vài trăm Mbps



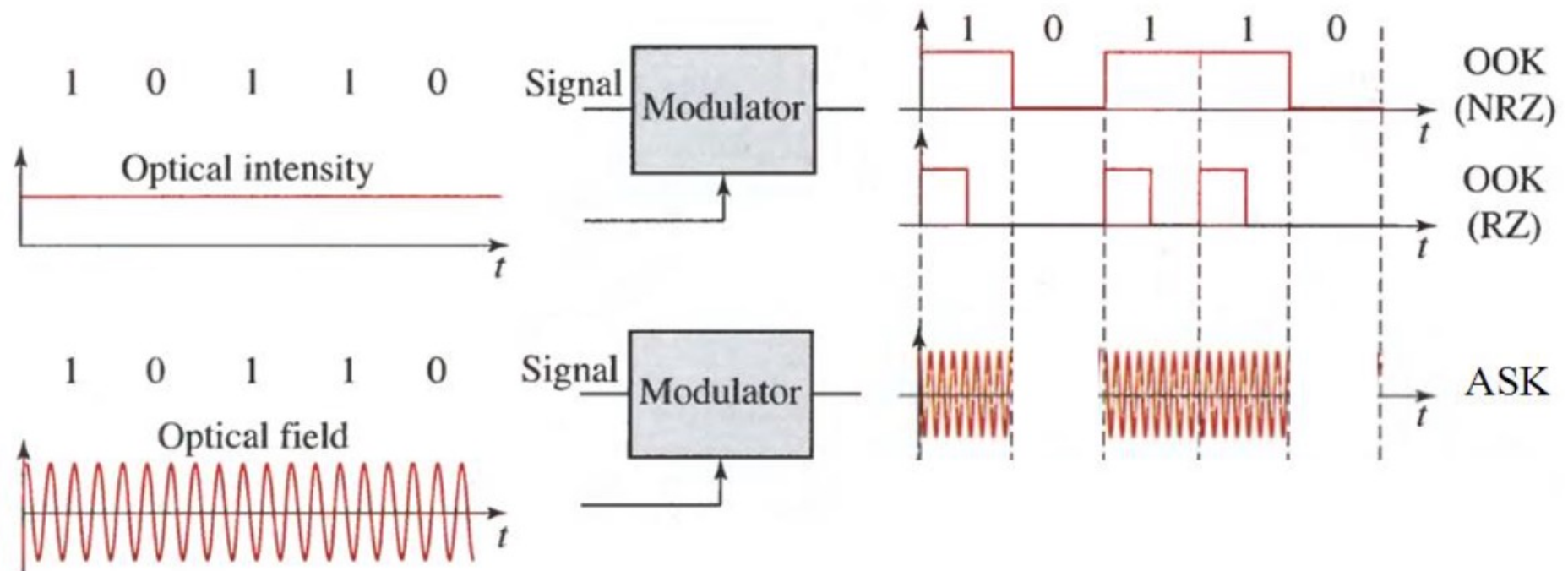
Nguồn phát

- Laser
 - Phát tín hiệu năng lượng cao
 - Tín hiệu có độ rộng phổ hẹp để có thể dồn nhiều kênh sát nhau trên đường truyền.
- MLM Laser: Multiple-Longitudinal Mode
 - Tín hiệu sinh ra có dải bước sóng rộng $\sim 10\text{nm}$
- SLM Laser: Single-Longitudinal Mode
 - Tín hiệu sinh ra có dải bước sóng hẹp.
- Turnable laser:
 - Bước sóng phát ra có thể thay đổi/điều khiển được
- LED: Light Emitting Diodes
 - Tín hiệu có độ rộng phổ rộng
 - Năng lượng thấp
 - Phù hợp khoảng cách truyền ngắn, tốc độ thấp

Phương pháp mã hóa

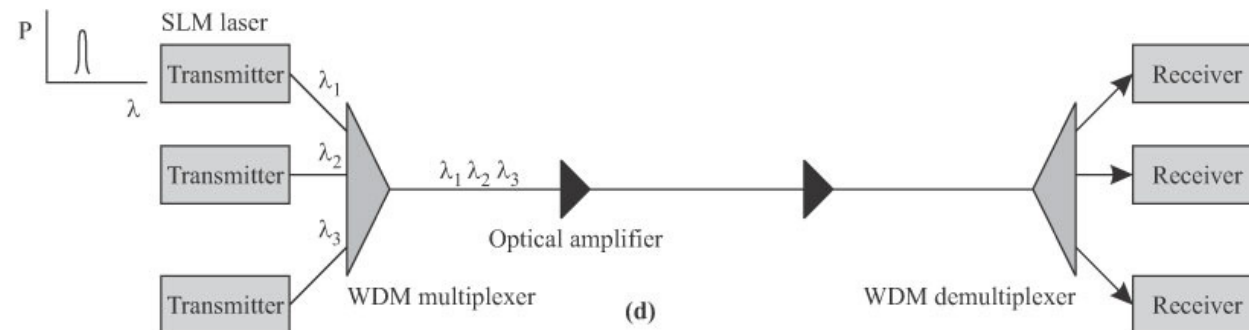
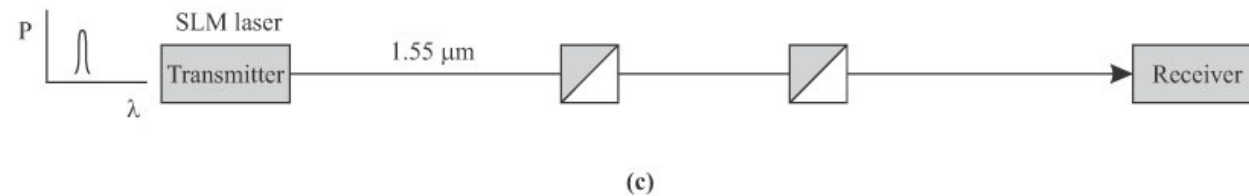
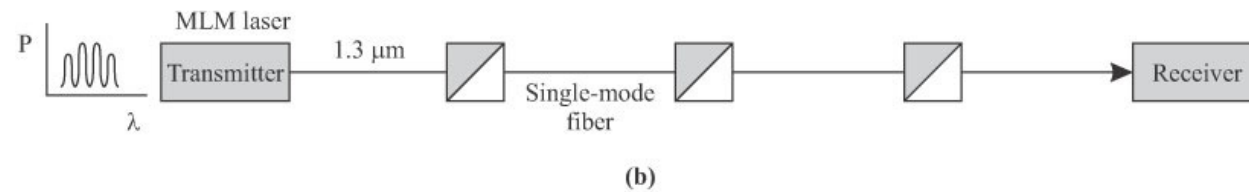
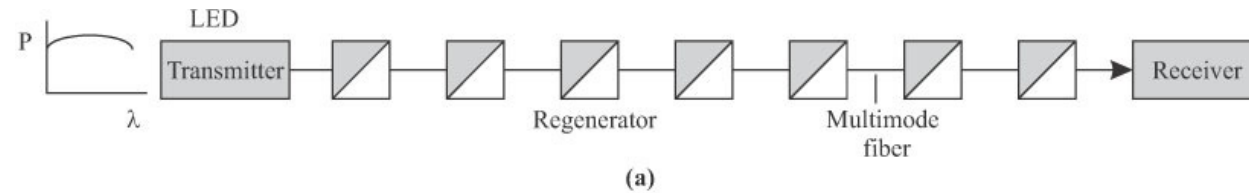
- Sử dụng phổ biến OOK:
 - On-Off keying
 - 1: Có tín hiệu ánh sáng trong thời gian bit
 - 0: Không có tín hiệu ánh sáng trong thời gian bit
- Dùng 2 dạng tín hiệu
 - Dạng NRZ: Xung rộng cả thời gian bit
 - Dạng RZ: Xung chỉ chiếm một phần thời gian bit

Mã On-Off Keying (OOK)



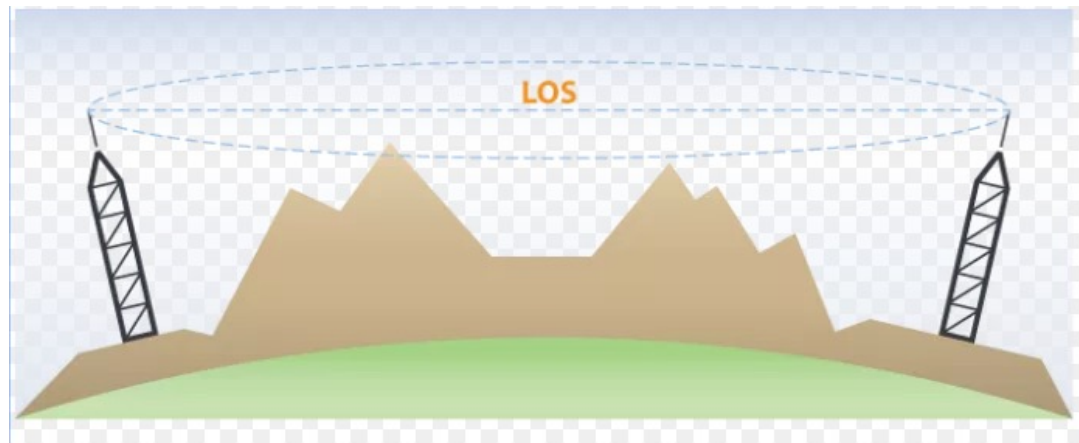
On off key nhìn từ phương diện cường độ sáng (hình trên)
và tín hiệu quang học (hình dưới)

Sự phát triển của hệ thống cáp truyền



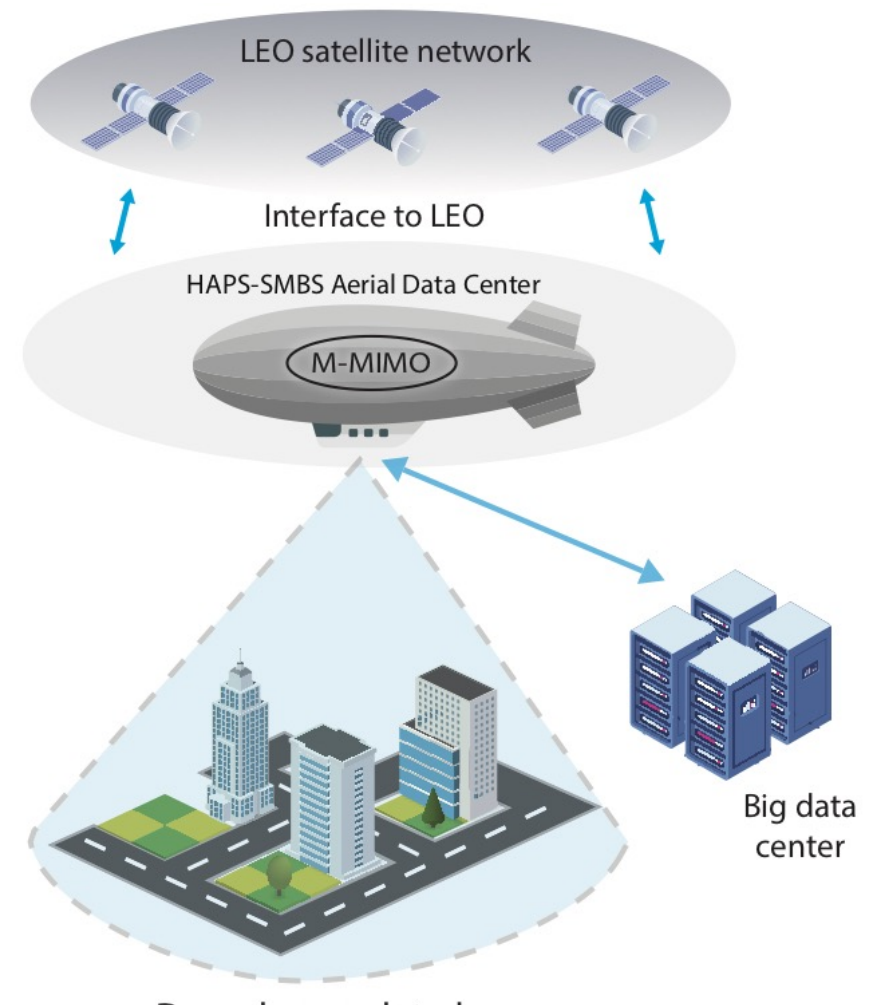
Free Space Optics

- Truyền tín hiệu quang trong không gian
- Yêu cầu 2 thiết bị đầu cuối nhìn thấy nhau:
Line of Sight
- Sử dụng phổ biến bước sóng 1550 nm.



Free Space Optics

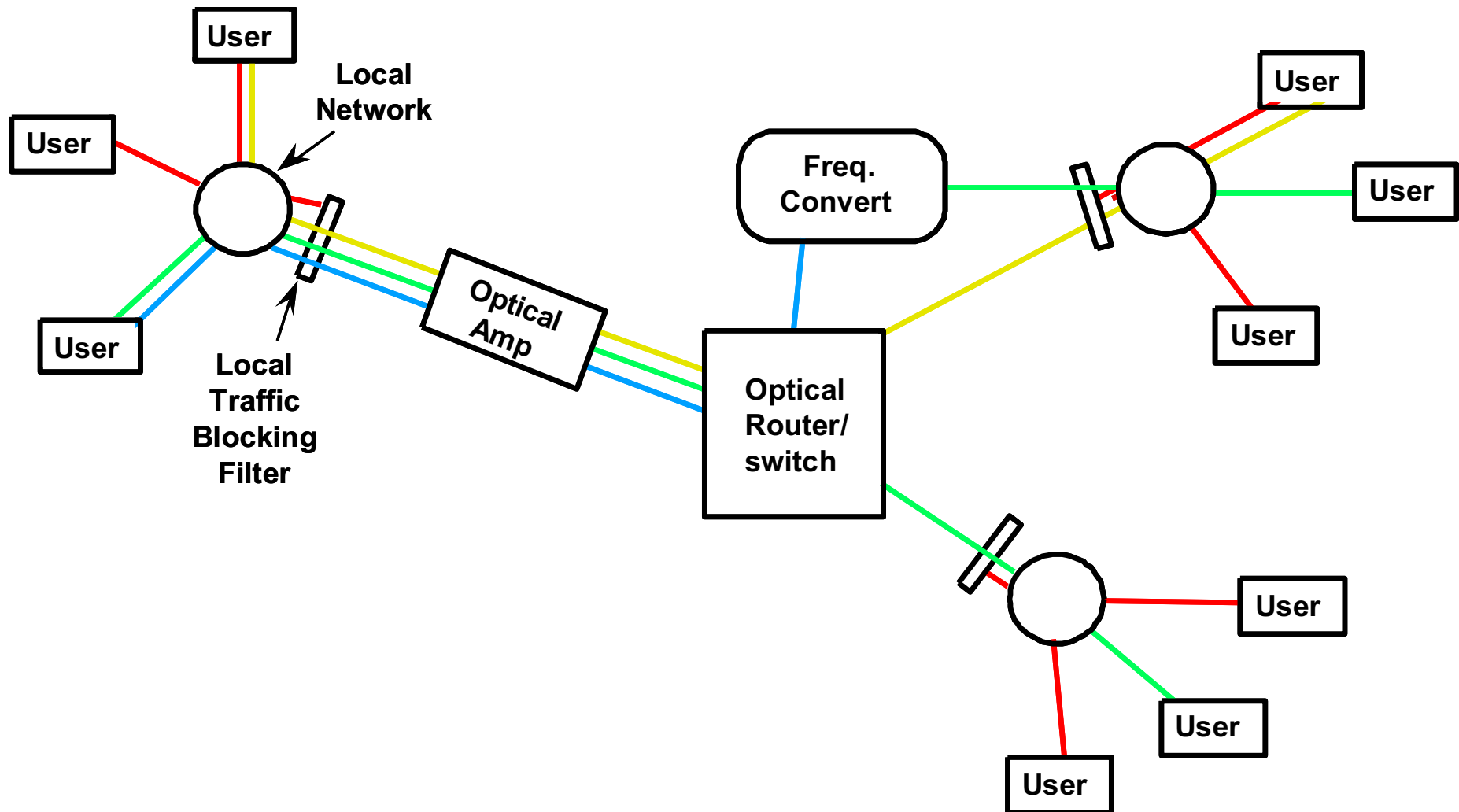
- Công nghệ đang phát triển và nghiên cứu sử dụng ở các khoảng cách khác nhau
 - FSO mặt đất đã được thương mại hóa
 - khoảng cách ~2km
 - Tiêu thụ điện 40W
 - Tốc độ truyền: 1-2 Gbps
 - FSO mặt đất và thiết bị bay trên cao (HAP)
 - Đô cao 20 km, ít gió
 - Phủ một vùng dưới mặt đất đường kính rộng hàng chục km.



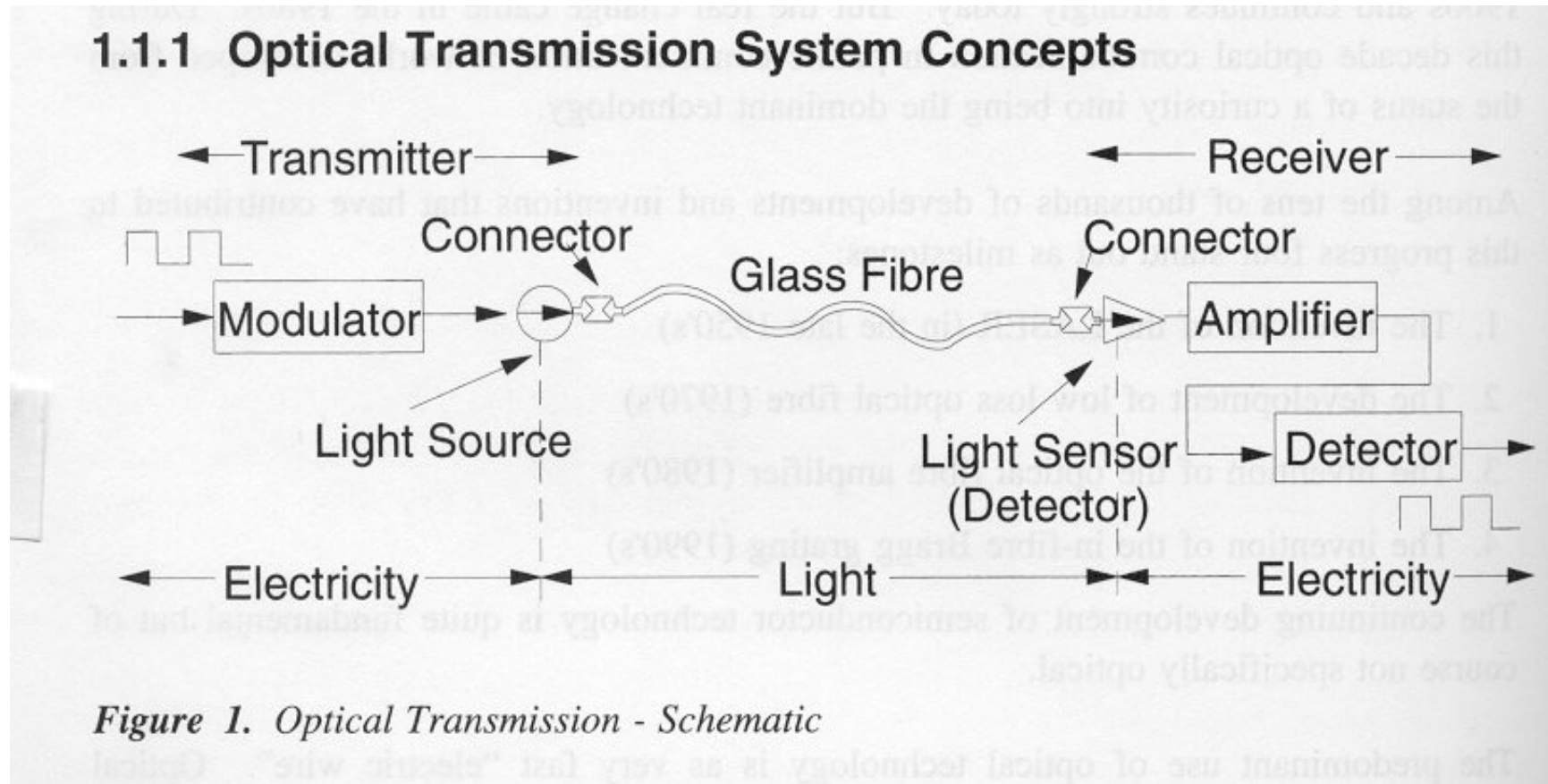
Mạng thông tin quang

- Sử dụng ánh sáng để truyền tín hiệu trên đường truyền
 - ☐ Dùng cáp quang để dẫn ánh sáng
 - ☐ Truyền trong môi trường không dây.
- Ưu điểm
 - ☐ Băng thông rộng
 - ☐ Truyền được xa với độ suy hao thấp: vài chục km
- Nhược điểm
 - ☐ Xử lý phức tạp vì chưa có bộ nhớ quang học (bộ nhớ hiện tại lưu tín hiệu ở dạng điện)
- Ứng dụng cho các mạng trục

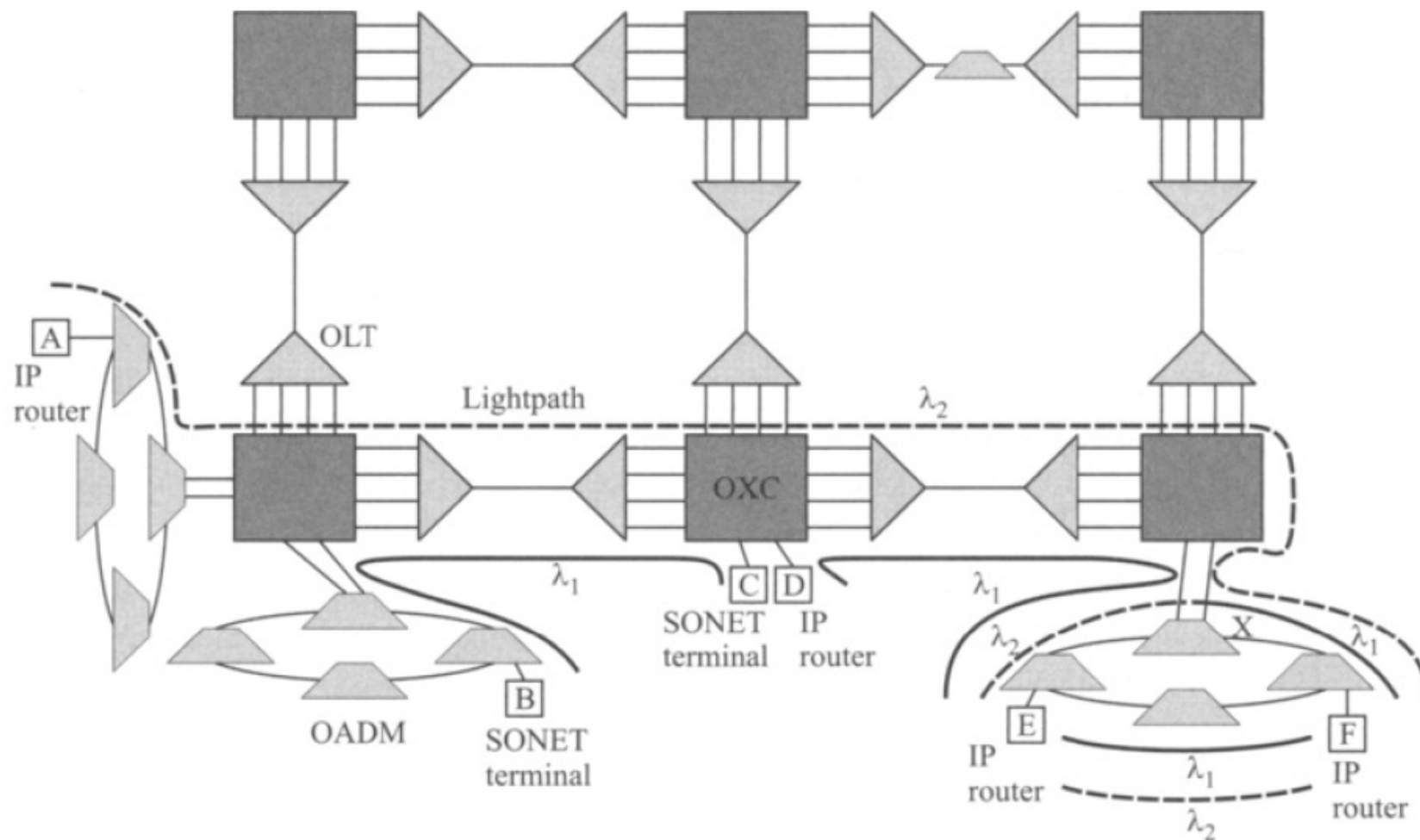
Mạng thông tin quang



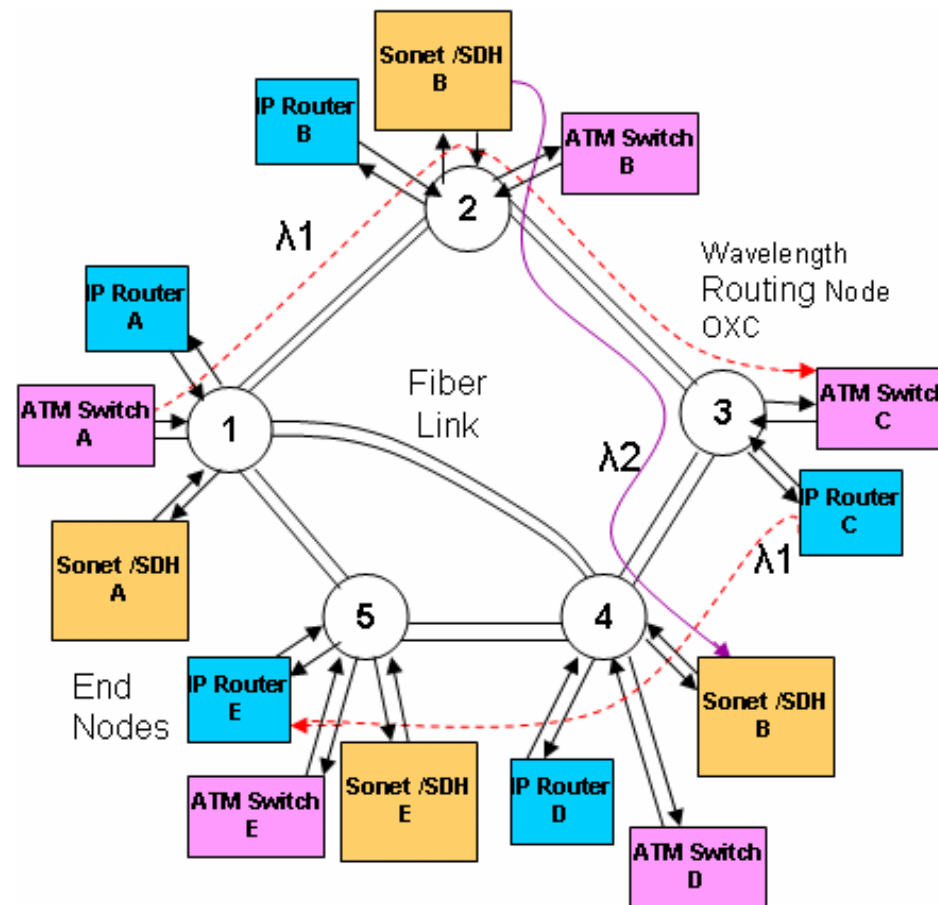
Hệ thống truyền dẫn thông tin quang



Ví dụ mạng WDM



Ví dụ mạng WDM



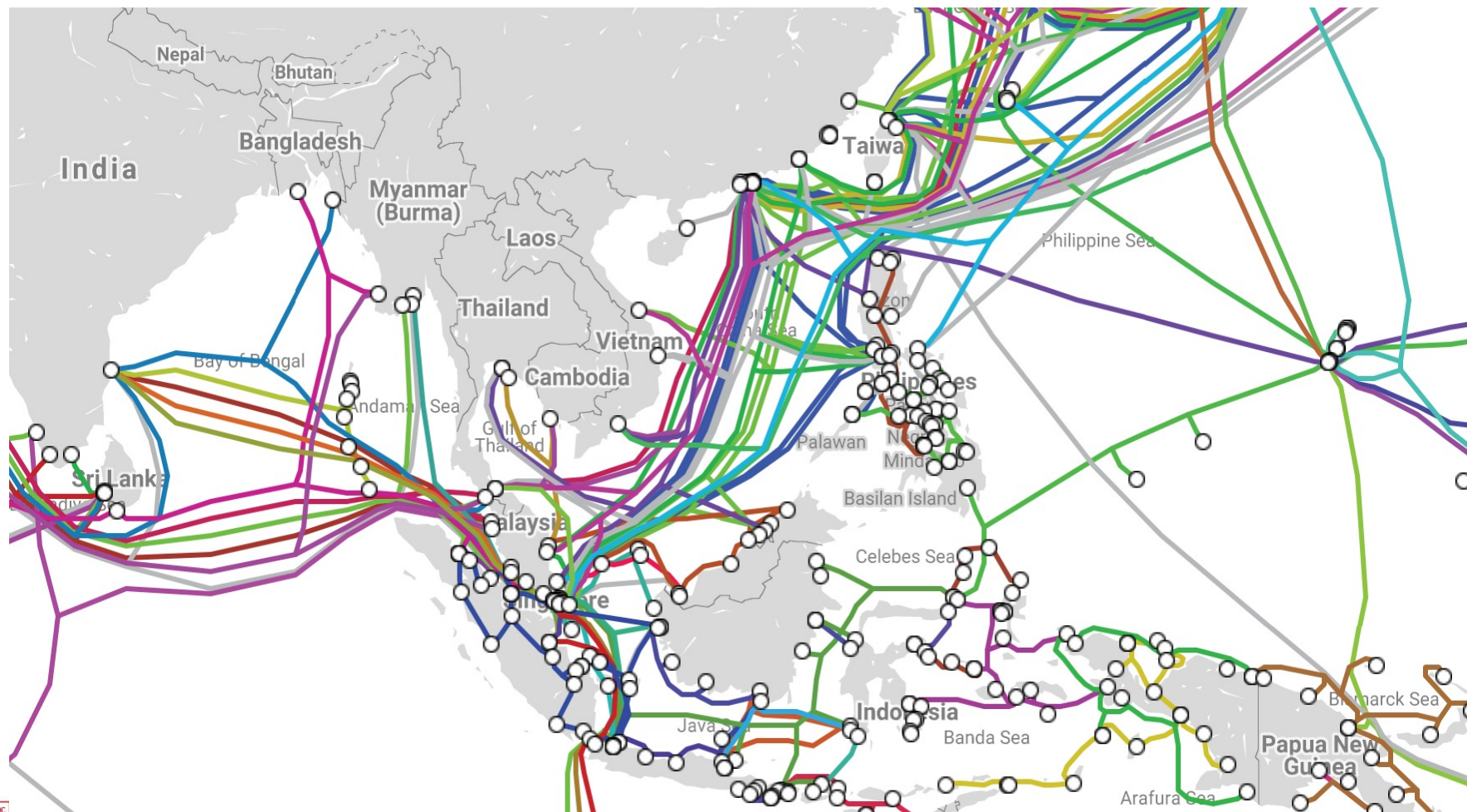
Lịch sử mạng thông tin quang

- 1960: Phát minh ra laser, là cơ sở cho nguồn phát quang sau này.
- 1966: Cáp quang được đề nghị để sử dụng cho truyền tin đường dài. Hai nhà khoa học Charles K. Kao và George A. Hockham của một công ty Anh quốc đã khẳng định rằng sự suy hao năng lượng của sợi quang chủ yếu là do tạp chất.
- 1970: Chế tạo thành công sợi quang với độ suy hao thấp 20dB/km.
- Thập kỷ 70-80: Sử dụng cáp quang trong mạng điện thoại với công nghệ mạng SONET

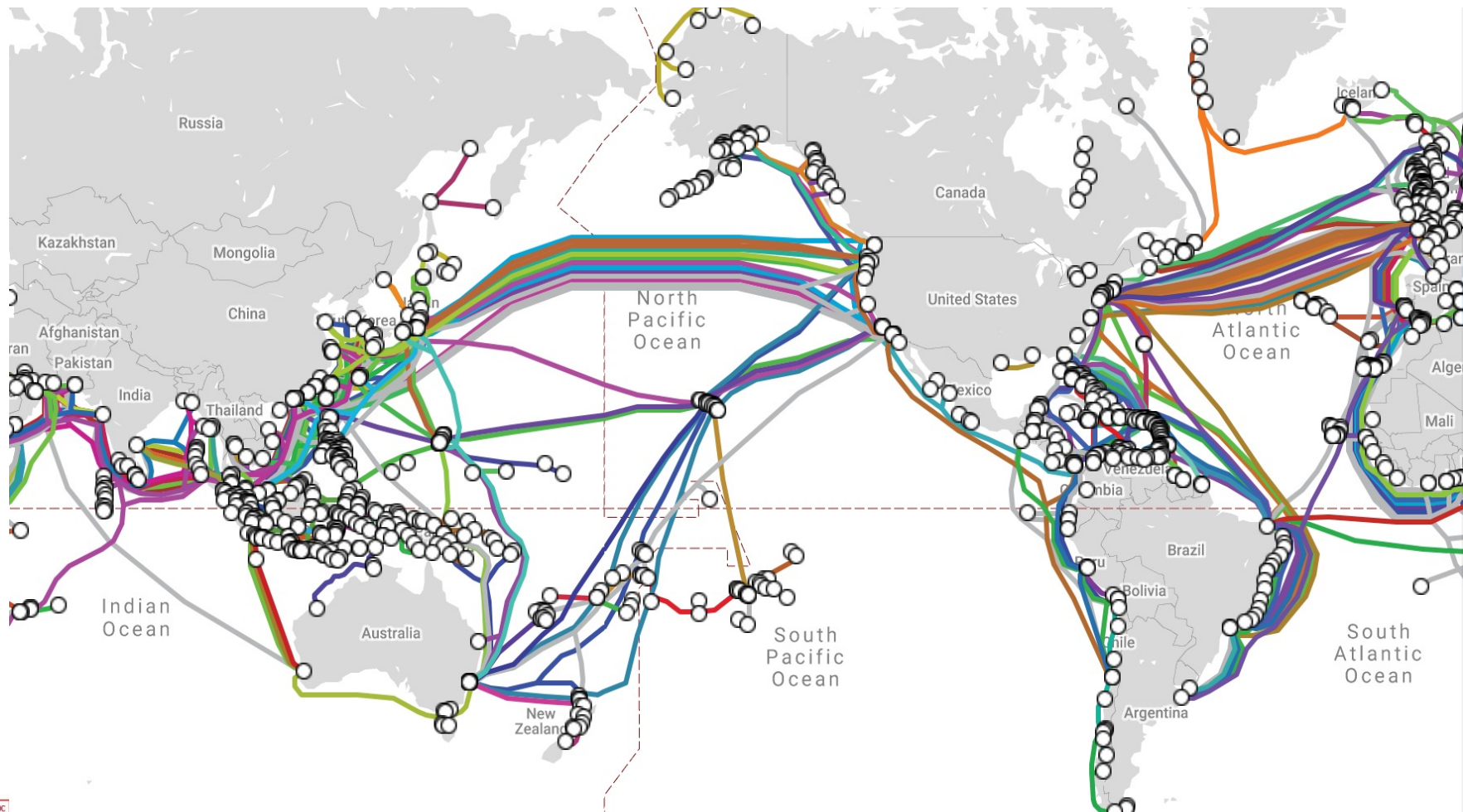
Lịch sử mạng thông tin quang

- Giữa những năm 80s: Sử dụng cáp quang trong một số kiến trúc mạng LAN và mạng đô thị.
- 1988: Đường cáp quang xuyên Đại Tây Dương đầu tiên được đặt.
- Cuối thập kỷ 80: Các bộ khuếch đại quang sử dụng công nghệ EDFA ra đời, cho phép truyền thông tin quang ở khoảng cách xa.
- 1995: Các hệ thống DWDM được triển khai.
- Cuối thập kỷ 90: Mạng quang thông minh bắt đầu được quan tâm phát triển.

Cáp quang biển thế giới



Cáp quang biển thế giới



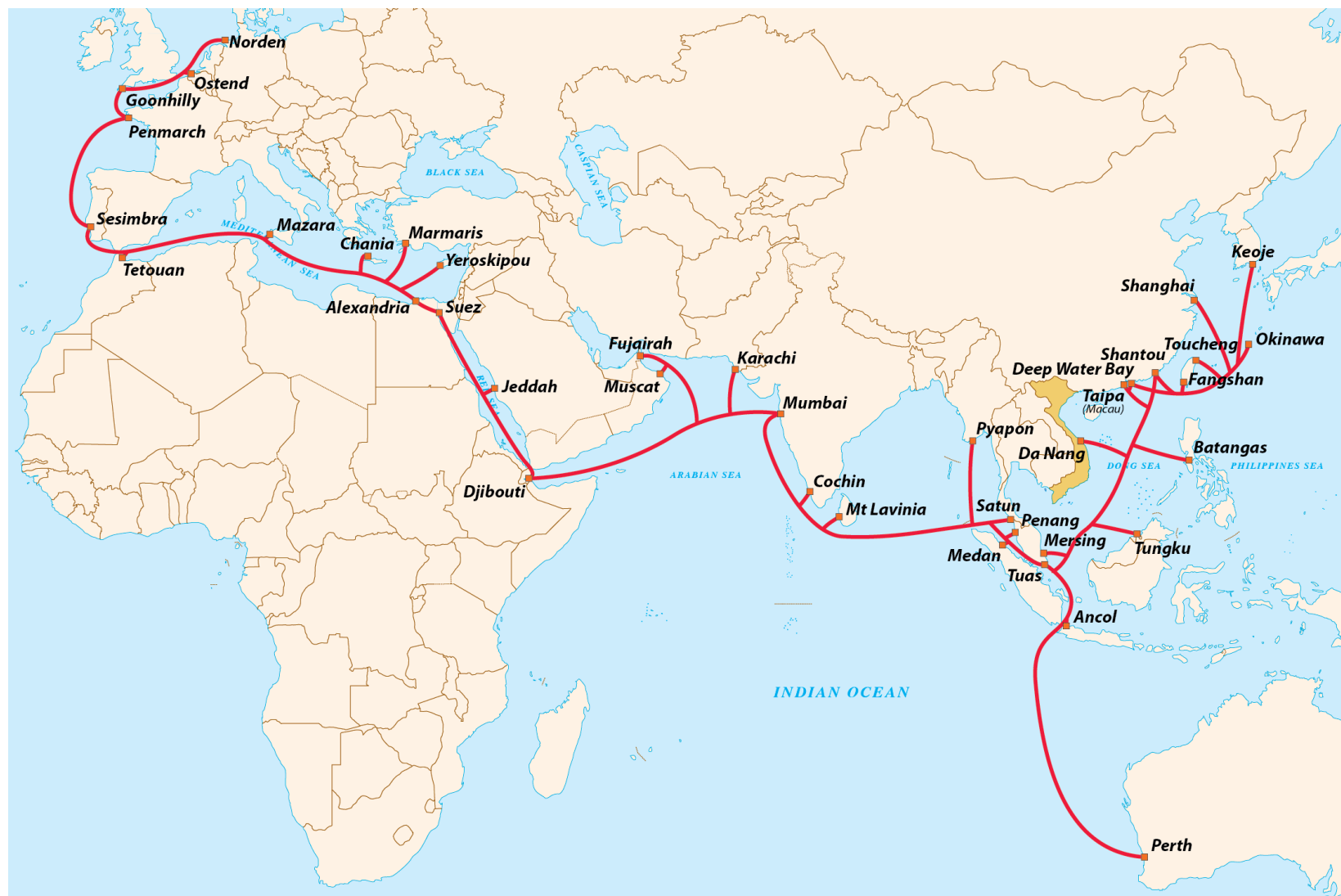
Cáp quang biển cáp bờ Việt nam

- Nguồn: <http://vnpti.vn/>
- Tuyến cáp quang biển SMW-3
- Tuyến cáp quang biển AAG
- Tuyến cáp quang biển APG
- Tuyến cáp quang AAE-1

Tuyến cáp quang biển SMW-3:

- Sử dụng công nghệ DWDM
- tổng dung lượng 320 Gbps
- nối liền Việt Nam với hơn 30 nước :Nhật Bản, Hàn Quốc qua Trung Quốc, Đông Nam Á tới Châu Âu
 - thường xuyên kết nối với Hong Kong, Singapore, Trung Quốc, Nhật Bản.
- Tại Việt Nam, tuyến SMW-3 cập bờ tại Đà Nẵng.

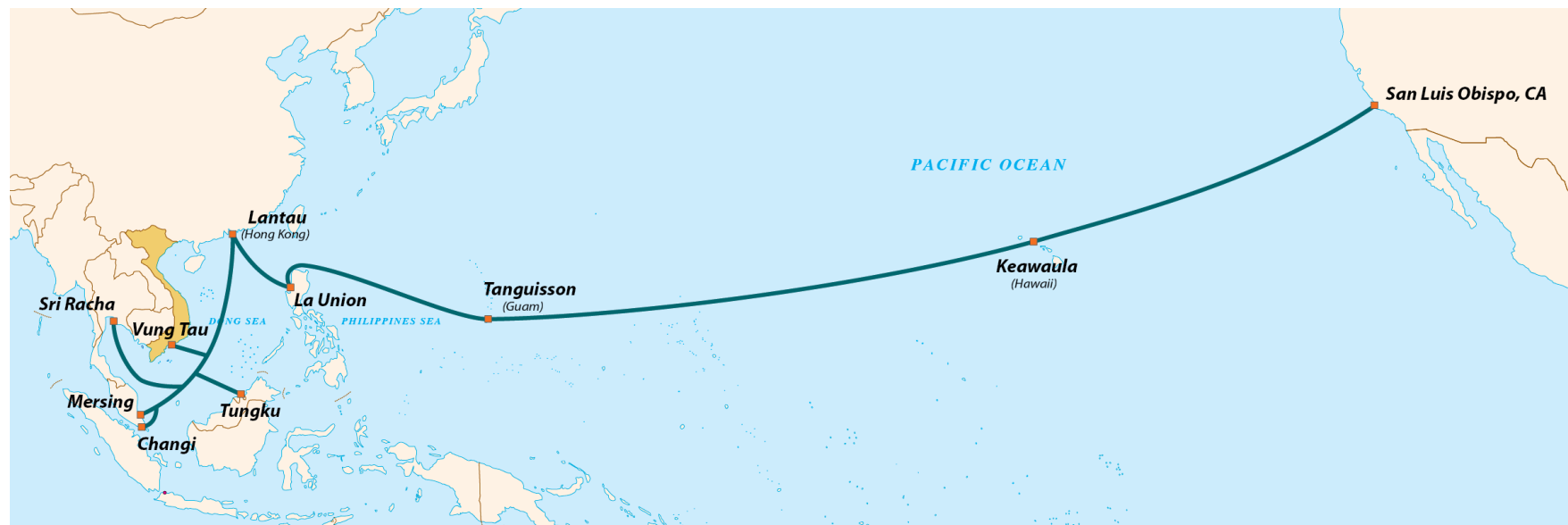
Tuyến cáp quang biển SMW-3



Tuyến cáp quang biển AAG

- Tuyến cáp quang biển AAG là tuyến cáp đầu tiên kết nối giữa Đông Nam Á và Hoa Kỳ,
- sử dụng công nghệ DWDM,
- Nối Việt Nam với các nước vùng lãnh thổ Malaysia, Singapore, Thái Lan, Brunei, Hong Kong, Philippines và Hoa Kỳ.
- Cáp bờ tại Vũng Tàu
- tổng dung lượng 29,5 Tbps và đang được tiếp tục mở rộng thêm trong thời gian tới.

Tuyến cáp quang biển AAG



Tuyến cáp quang biển APG

- Tuyến cáp quang biển APG kết nối giữa các nước và vùng lãnh thổ trong khu vực Châu Á - Thái Bình Dương là Trung Quốc, Hong Kong, Nhật Bản, Hàn Quốc, Malaysia, Đài Loan, Thailand, Việt Nam và Singapore.
- Tuyến APG cập bờ Đà Nẵng với dung lượng thiết kế lên tới 43,8 Tbps

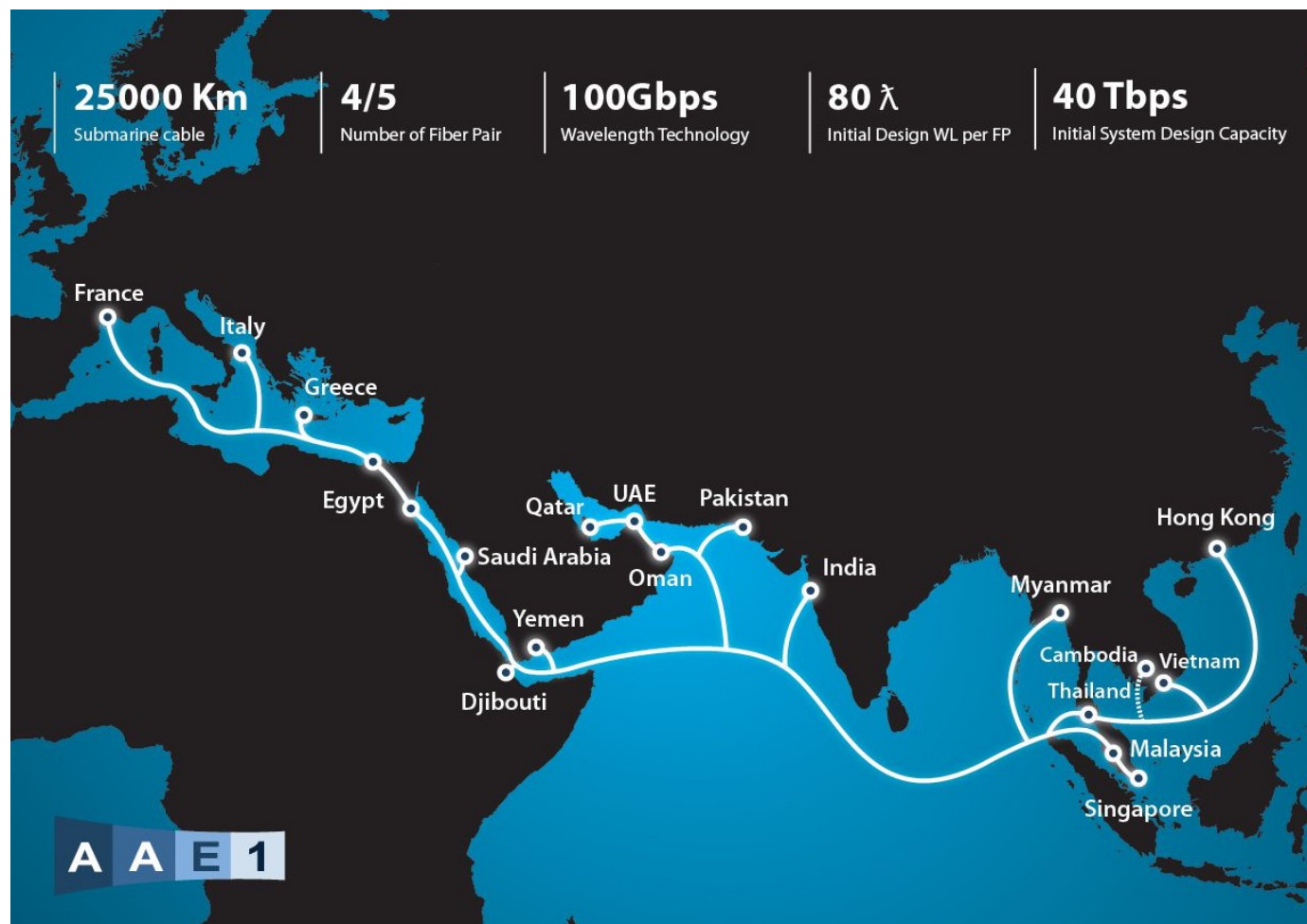
Tuyến cáp quang biển APG



Tuyến cáp quang AAE-1

- Tuyến cáp quang AAE-1 kết nối Hồng Kông, Việt Nam, Cam-pu-chia, Malaysia, Singapore, Thái Lan, Ấn Độ, Pakistan, Oman, các tiểu vương quốc Ả Rập, Qatar, Yemen, Djibouti, Saudi Arabia, Ai Cập, Hy Lạp, Ý và Pháp.
- Dung lượng thiết kế: 40 Terabytes
- Công nghệ 100Gbps/bước sóng,
- Dung lượng của VNPT là 298 Gbps. AAE-1 dự kiến đưa vào hoạt động trong Quý 1 năm 2017.

Tuyến cáp quang AAE-1



Công nghệ dồn kênh trên cáp

■ TDM: Electronic Time Division Mux

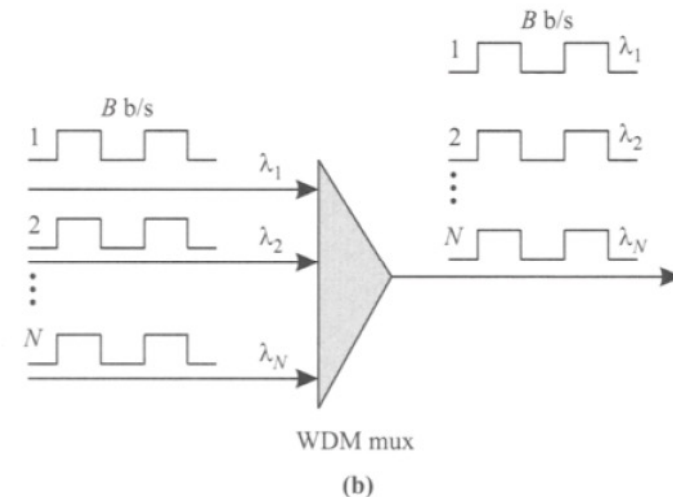
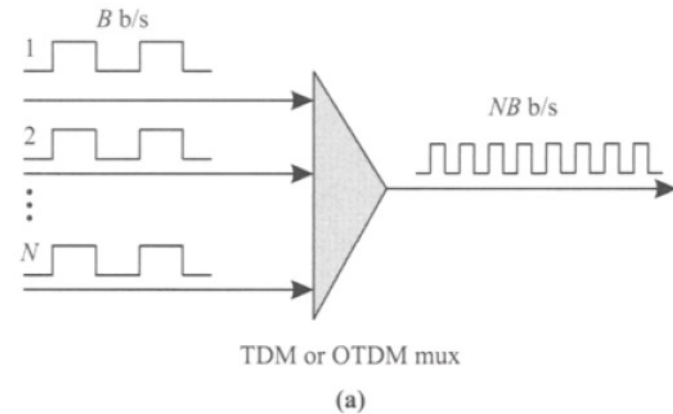
- Đưa xen kẽ các bit của các luồng tốc độ thấp vào một luồng tốc độ cao
- 10 Gbps-40Gbps
- SONET/SDH

■ OTDM: Optical Time Division Mux

- Cùng nguyên tắc với TDM nhưng thực hiện xen kẽ bit trong miền quang học
- 250 Gbps
- Đang trong thí nghiệm

■ WDM: Wavelength Division Mux

- Truyền nhiều bước sóng trên một cable
 - WDM: Sử dụng 2 bước sóng 1310,1550nm
 - Coarse WDM (CWDM): Sử dụng đến 16 bước sóng ở nhiều khoảng tần số.
 - Dense WDM (DWDM): Sử dụng các bước sóng trong khoảng 1530-1565 nm với mật độ dày. VD: 40 bước sóng khoảng cách 100 GHz, 80 bước sóng khoảng cách 50 GHz
- Sử dụng rộng rãi trong mạng trục, đi cáp dưới biển và dần đưa vào trong mạng đô thị



Mạng cáp quang thể hệ 1

- Tín hiệu sử dụng trên đường truyền là tín hiệu quang học
 - Tỷ lệ lỗi thấp
 - Dung lượng lớn
- Chuyển mạch và các chức năng mạng thông minh được xử lý trên **miền tín hiệu điện**
 - Tín hiệu được chuyển sang dạng điện trước khi được xử lý
- Thường dùng công nghệ dồn kênh TDM
- Sử dụng rộng rãi trong các mạng viễn thông
- VD: SONET/SDH

Mạng cáp quang thể hệ 2

- Định tuyến, chuyển mạch và các chức năng mạng thông minh được thực hiện trong **miền tín hiệu quang**
- Thường dùng công nghệ dồn kênh WDM
- Tín hiệu thường ở một bước sóng từ đầu đến cuối
 - cần có một bước sóng rồi dọc theo đường truyền → điều kiện liên tục về bước sóng
- Đã được đưa vào sử dụng và thường được gọi là Wavelength routed network hay All optical network

Sự phát triển của mạng quang thể hệ 2

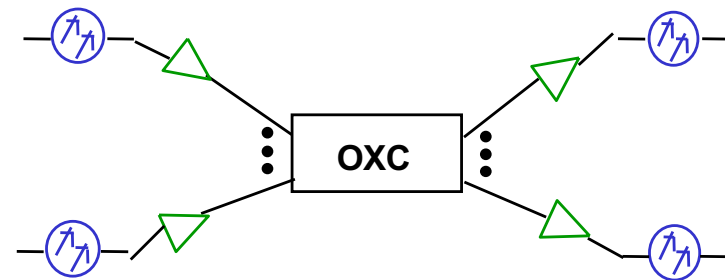
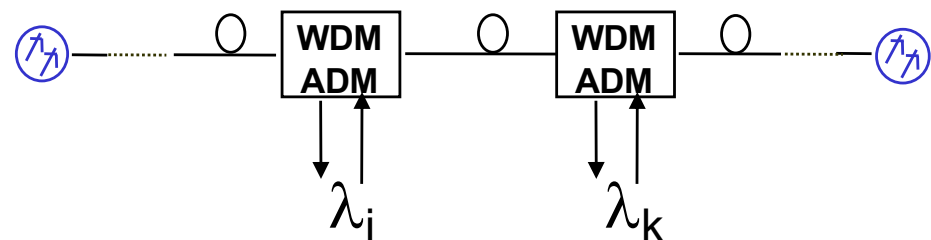
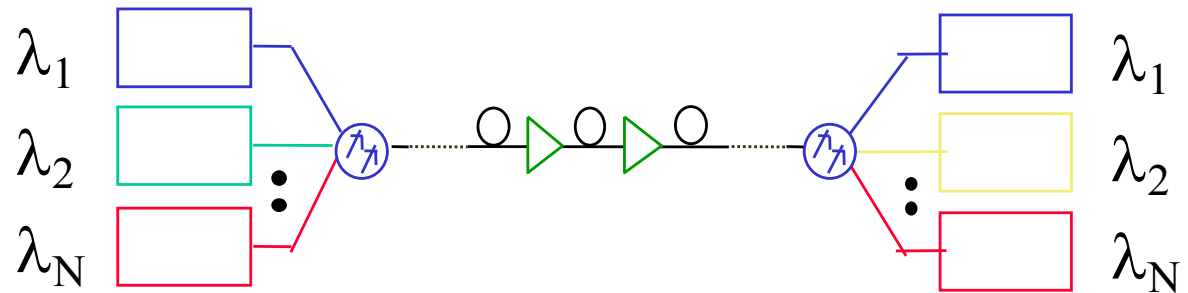
**Point-to-Point WDM
Line System**



**Multipoint Network
WDM Add/Drop**



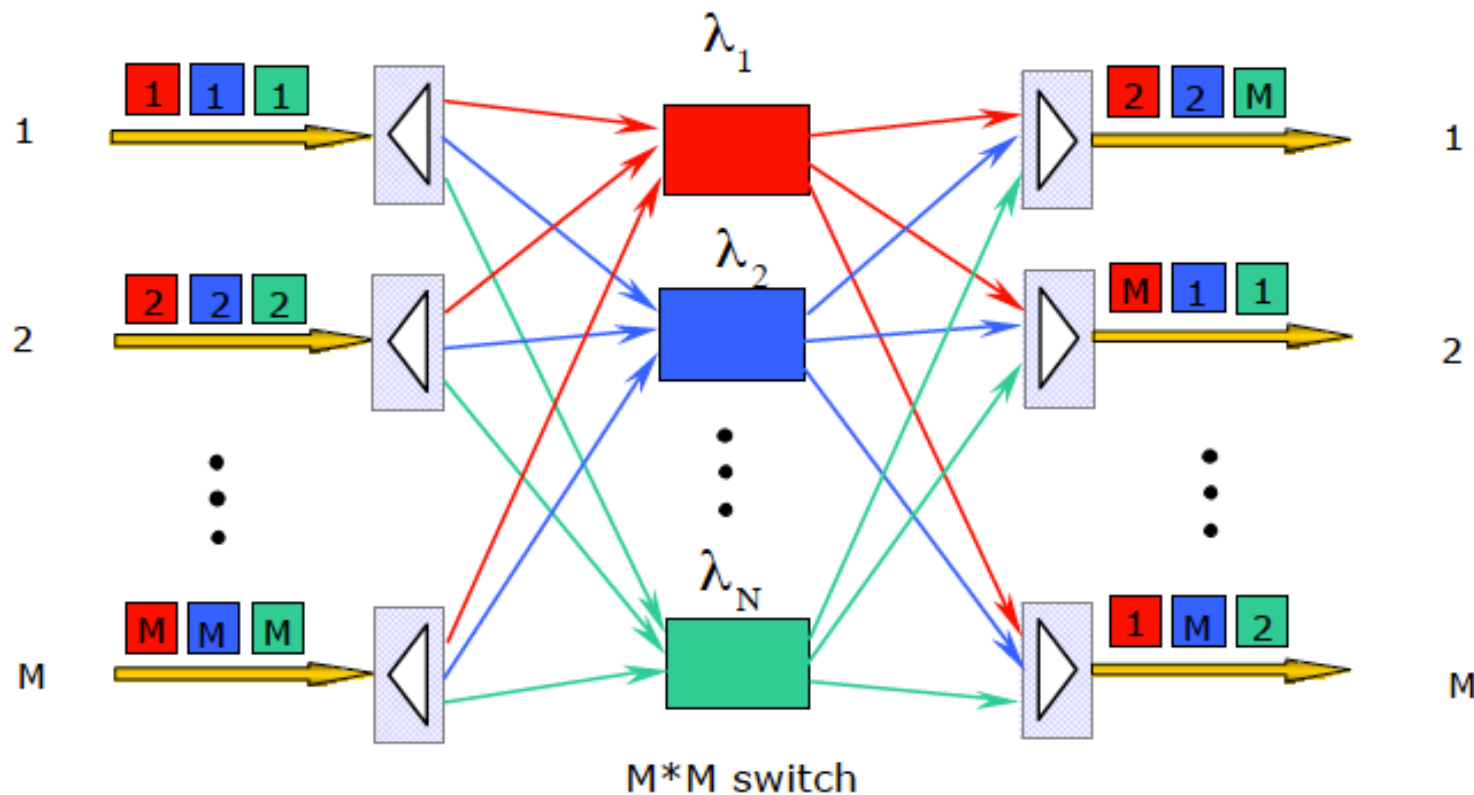
**Optical Cross-Connect
WDM Networking**



Các thiết bị của mạng thuần quang

- Optical Line Terminal (OLT)
 - Chuyển đổi dữ liệu đầu cuối sang dạng quang
 - Dồn kênh
- Optical Line Amplifier
 - Khuếch đại
- Optical Add/Drop Multiplexers (OADM)
 - Ghép thêm hoặc rẽ nhánh một phần băng thông
- Optical Cross-connect (OXC)
 - Chuyển mạch quang học

OXC thuần quang



Δ NM*NM Crossconnect without λ Conversion

Chuyển mạch

■ Chuyển mạch quang- Optical switch

- Thực hiện chuyển mạch trong miền quang học

■ Chuyển mạch điện - Electronic switch

- Thực hiện chuyển mạch trong miền điện

Table 3.3 Applications for optical switches and their switching time and port count requirements.

Application	Switching Time Required	Number of Ports
Provisioning	1–10 ms	> 1000
Protection switching	1–10 ms	2–1000
Packet switching	1 ns	> 100
External modulation	10 ps	1

Công nghệ chuyển mạch quang

Table 3.5 Comparison of different optical switching technologies. The mechanical, MEMS, and polymer-based switches behave in the same manner for 1.3 and 1.55 μm wavelengths, but other switches are designed to operate at only one of these wavelength bands. The numbers represent parameters for commercially available switches in early 2001.

Type	Size	Loss (dB)	Crosstalk (dB)	PDL (dB)	Switching Time
Bulk mechanical	8×8	3	55	0.2	10 ms
2D MEMS	32×32	5	55	0.2	10 ms
3D MEMS	1000×1000	5	55	0.5	10 ms
Thermo-optic					
silica	8×8	8	40	Low	3 ms
Bubble-based	32×32	7.5	50	0.3	10 ms
Liquid crystal	2×2	1	35	0.1	4 ms
Polymer	8×8	10	30	Low	2 ms
Electro-optic					
LiNbO ₃	4×4	8	35	1	10 ps
SOA	4×4	0	40	Low	1 ns

Công nghệ chuyển mạch điện

- Cũ hơn công nghệ chuyển mạch quang
- Vẫn đang được sử dụng rộng rãi hiện nay
- Hoạt động
 - Chuyển đổi tín hiệu quang → điện
 - Chiếm phần lớn giá thành của switch
 - Thực hiện chuyển mạch dữ liệu trong miền điện
 - Chuyển mạch với các dòng dữ liệu ở tốc độ thấp:
 - Dữ liệu được chuyển thành các dòng bit ở tốc độ 51 Mbps (STS-1) và chuyển mạch các dòng bit này một cách song song
 - Chuyển mạch với tốc độ đường truyền 2,5 Gbps hoặc hơn.

Thiết bị chuyển đổi bước sóng

- Chuyển dữ liệu từ một bước sóng đầu vào thành một bước sóng đầu ra
 - Giải phóng ràng buộc liên tục về bước sóng
 - Tăng khả năng tận dụng các bước sóng rỗi
- Chuyển đổi Optoelectronic
 - Chuyển tín hiệu sang dạng điện
 - Sinh lại tín hiệu và truyền trên một bước sóng khác
 - 1R: khuếch đại, không điều chế lại
 - 2R: khuếch đại, khôi phục lại dạng xung tín hiệu
 - 3R: khuếch đại, khôi phục lại dạng xung và độ rộng xung
 - Thường dùng hiện nay
- Chuyển đổi trong miền quang
 - Optical gating, interferometric, wave mixing
 - Chưa phát triển

Thiết bị chuyển đổi bước sóng

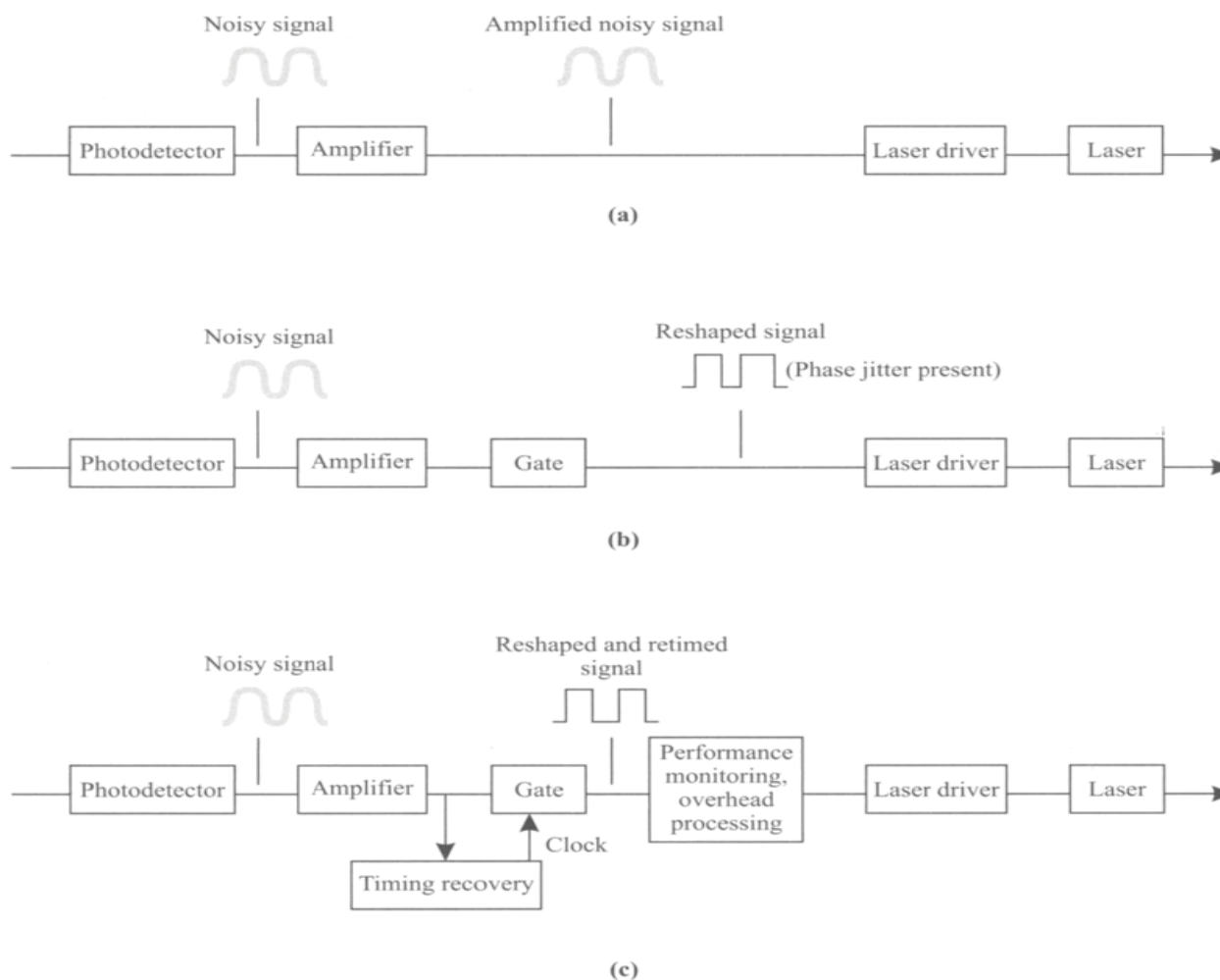


Figure 3.76 Different types of optoelectronic regeneration. (a) 1R (regeneration without reshaping or retiming). (b) 2R (regeneration with reshaping). (c) 3R (regeneration with reshaping and retiming).

Chuyển mạch kênh, gói

- Chuyển mạch kênh
 - Kênh: đường đi từ nguồn đến đích
 - Dữ liệu được truyền trên một kênh cố định
 - Đảm bảo băng thông không đổi cho mỗi kết nối
 - Băng thông tổng của các kết nối $\leq$ băng thông mỗi link
 - Không hiệu quả đối với luồng dữ liệu không ổn định
- Chuyển mạch gói
 - Dữ liệu được chia thành các gói
 - Các gói được chuyển mạch theo địa chỉ đích
 - Dồn kênh các gói trên cùng một link
 - Băng thông tổng của các kết nối $\geq$ băng thông mỗi link

Công nghệ chuyển mạch dùng trong mạng quang

■ Chuyển mạch kênh

- Thông thường các mạng cáp quang dùng công nghệ chuyển mạch kênh
- Định tuyến cần được xác định trước.
- Sử dụng trong SONET/SDH, WDM

■ Chuyển mạch gói → OPS

■ Chuyển mạch Burst → OBS

Chương 2: Các kiến trúc mạng sử dụng cáp quang

Các kiến trúc mạng dùng cáp quang

- Các mạng dùng công nghệ chuyển mạch kênh cho tầng quang
 - Mạng SONET/ SDH
 - Mạng ATM
 - Mạng WDM
- Optical Bust Switching
 - Đơn vị dữ liệu là các bust
- Optical Packet Switching
 - Đơn vị dữ liệu là các gói tin

Mạng SONET/SDH

- SONET (Synchronous Optical Network)
 - Đưa ra bởi Telcordia, USA
 - dùng ở Bắc Mỹ
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
 - Đưa ra bởi ETSI, tổ chức chuẩn Telecom châu Âu
 - dùng ở châu Âu, Nhật, Việt Nam
- Sử dụng cáp quang trên các kết nối
- Hoạt động theo cơ chế chuyển mạch kênh
- Dùng công nghệ TDM
- Sử dụng cơ chế dồn kênh đồng bộ tại các nút
 - Đồng hồ được đồng bộ trên toàn hệ thống
 - Dễ trích một kênh được dồn trong kênh lớn
- Định nghĩa khuôn dạng frame dữ liệu được dồn kênh
- Chuẩn SONET/SDH được phát triển kết hợp với một số topo và phương pháp dự phòng riêng
 - Khả năng khôi phục sau lỗi nhanh < 60ms

Mạng SONET/SDH

- Đơn vị truyền cơ bản là khung STS-1, kích thước 810 byte, phát trong khe thời gian kích thước 125 microseconds
 - → tốc độ kênh STS-1 = $8000 \text{ frame/s} \times 810 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 51.84 \text{ Mbps}$.
- STS-1 dùng các Virtual Tributaries (VT) để truyền các tốc độ nhỏ hơn
 - VT1.5, 2, 3, 6 (tốc độ 1.5, 2, 3, 6 Mbps)
 - VT1.5 chứa tín hiệu không đồng bộ DS1
- STM được dùng cho các tín hiệu E1, E3, E4
 - Virtual Container (VC) tương tự VT

Table 6.2 Transmission rates for SONET/SDH, adapted from [SS96].

SONET Signal	SDH Signal	Bit Rate (Mb/s)
STS-1		51.84
STS-3	STM-1	155.52
STS-12	STM-4	622.08
STS-24		1244.16
STS-48	STM-16	2488.32
STS-192	STM-64	9953.28
STS-768	STM-256	39,814.32

Table 6.1 Transmission rates for asynchronous and plesiochronous signals, adapted from [SS96].

Level	North America	Europe	Japan
0	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s
1	1.544 Mb/s	2.048 Mb/s	1.544 Mb/s
2	6.312 Mb/s	8.448 Mb/s	6.312 Mb/s
3	44.736 Mb/s	34.368 Mb/s	32.064 Mb/s
4	139.264 Mb/s	139.264 Mb/s	97.728 Mb/s



Mạng SONET/SDH

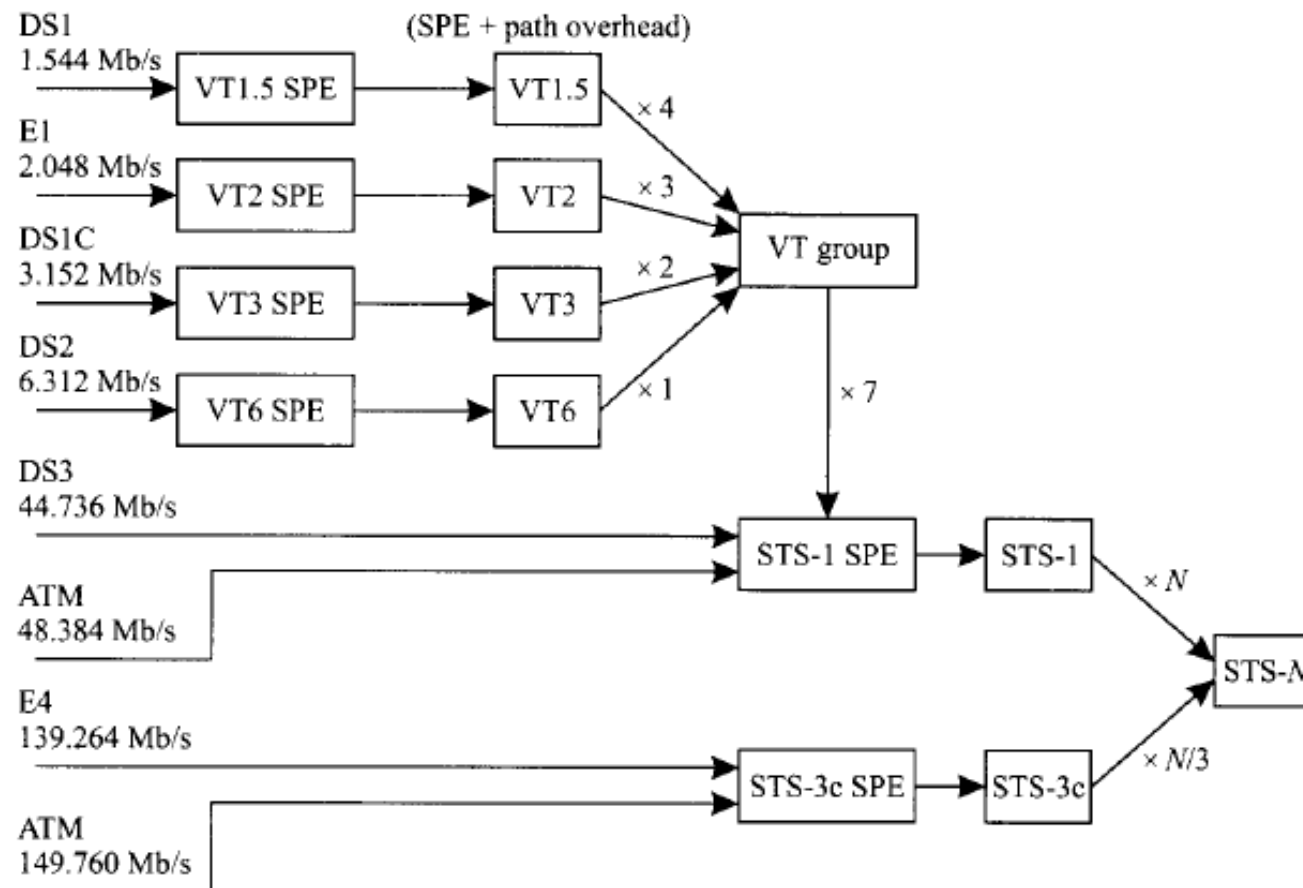


Figure 6.2 The mapping of lower-speed asynchronous streams into virtual tributaries in SONET.

Mạng SONET/SDH

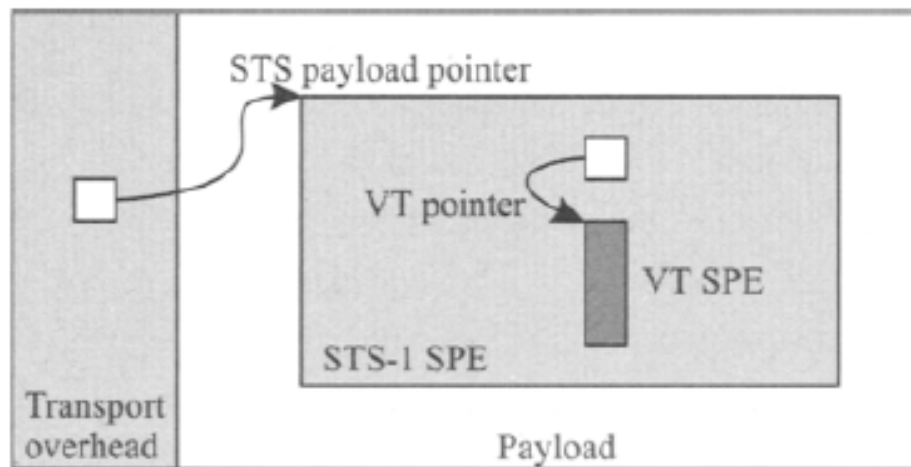


Figure 6.3 The use of pointers in a SONET STS-1 signal carrying virtual tributaries (VTs). The STS payload pointer in the transport overhead points to the STS-1 synchronous payload envelope (SPE) and the VT pointer inside the STS-1 SPE points to the VT SPE.

Chuyen mach SONET



Các thành phần và topo mạng SONET

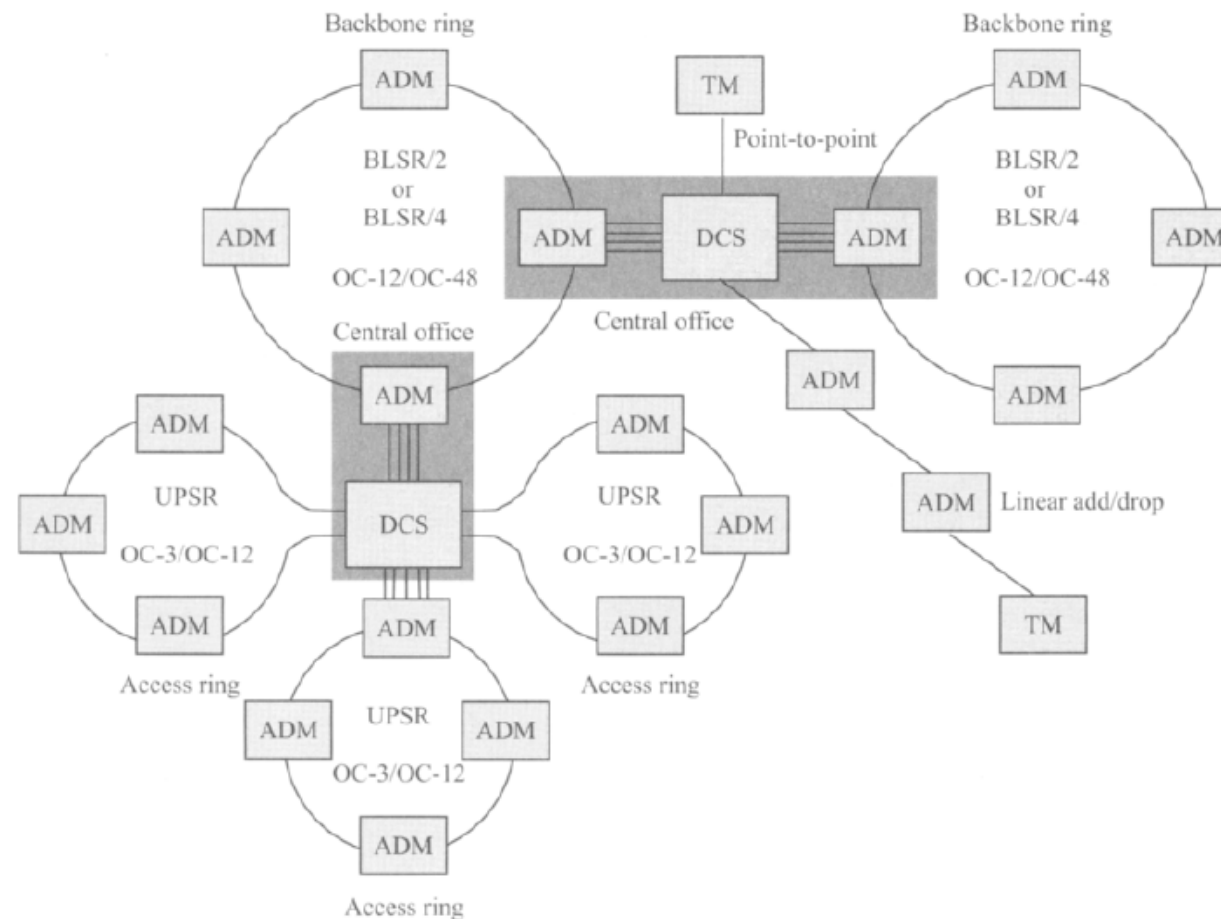


Figure 6.8 Elements of a SONET infrastructure. Several different SONET configurations are shown, including point-to-point, linear add/drop, and ring configurations. Both access and interoffice (backbone) rings are shown. The figure also explains the role of a DCS in the SONET infrastructure, to crossconnect lower-speed streams, to interconnect multiple rings, and to serve as a node on rings by itself.

Các thành phần và topo mạng SONET

■ Topo

- ☐ Ring, Point-to-point, linear ADM
- ☐ Mesh

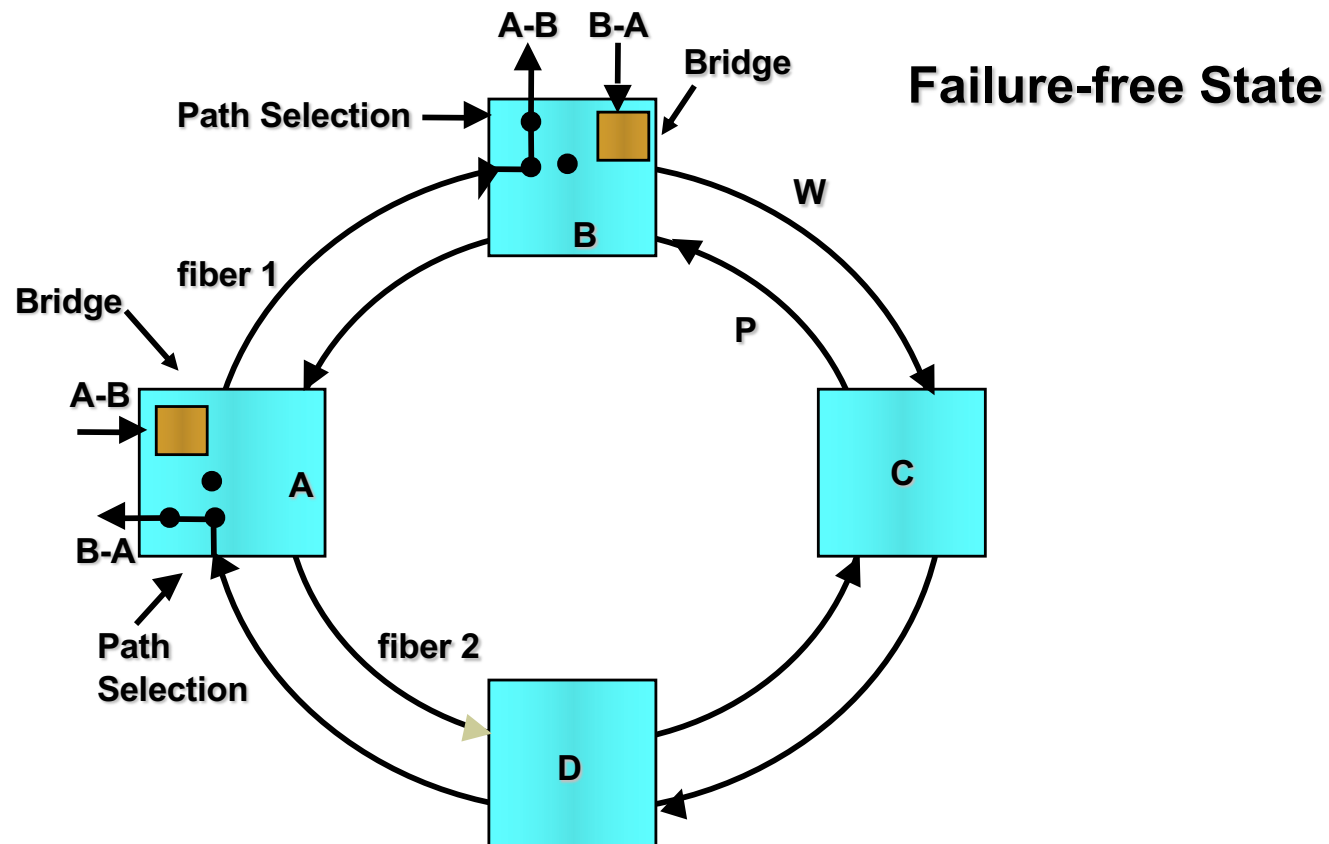
■ ADM: Add/drop mux

- ☐ Ghép, tách các luồng dữ liệu nhỏ vào đường truyền

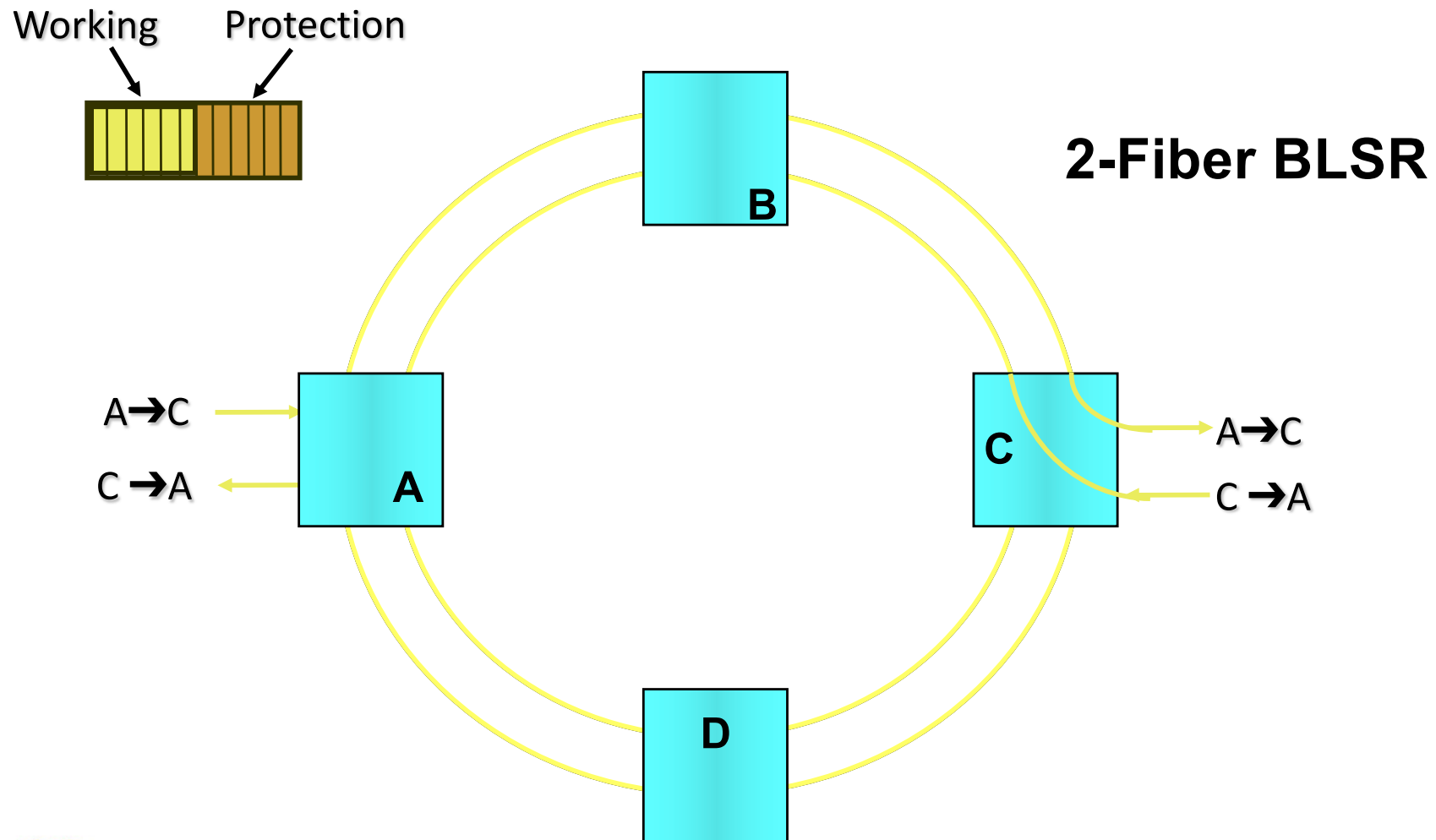
■ DCS: Digital Cross-connect

- ☐ Chuyển mạch điện
- ☐ Điều khiển bằng phần mềm
- ☐ Cho phép gộp (grooming) hoặc tách các luồng dữ liệu nhỏ đến mức DS-x
- ☐ Chuyển mạch các luồng này giữa các cổng

Mạng SONET hình vòng: Unidirectional Path Switched Ring



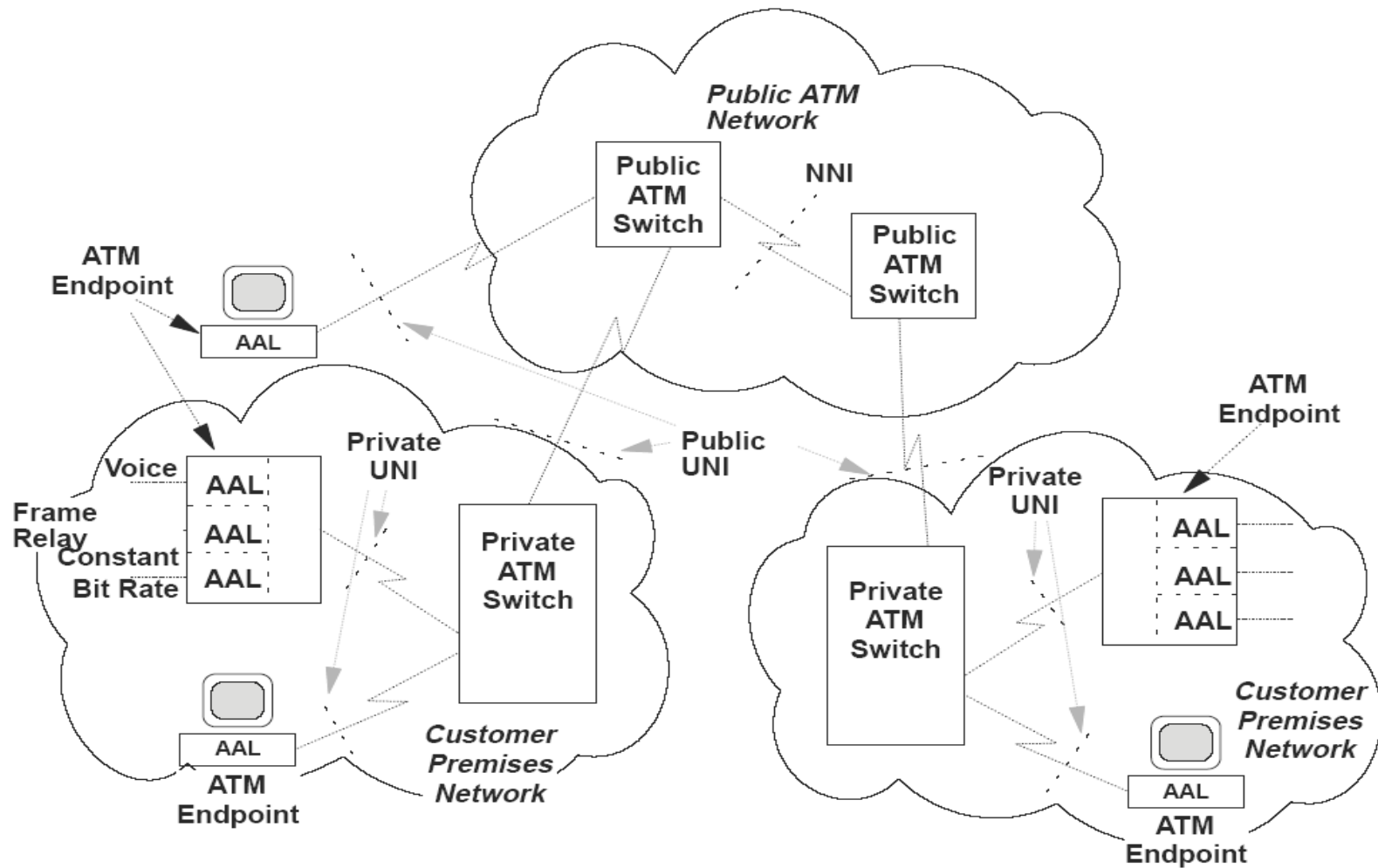
Mạng SONET hình vòng: Bidirectional Line Switched Ring



Mạng ATM

- ATM (asynchronous transfer mode)
- Truyền các đơn vị dữ liệu tế bào (cell)
 - 53 bytes
 - Không đồng bộ
 - Có thể dùng hạ tầng là mạng SONET/SDH để kết nối các node ATM với nhau trên giao diện UNI
 - Các cell ATM được đóng vào trong các frame SONET/SDH

Mạng ATM



Mạng WDM

- Wavelength routed network
 - Một bước sóng là đơn vị băng thông nhỏ nhất
 - Chuyển mạch bước sóng
 - Khai thác nhiều bước sóng trên 1 liên kết
 - Dung chuyển mạch thuận quang.
- Wavelength continuity
 - Ràng buộc sự liên tục về bước sóng dọc theo mỗi kết nối
- Wavelength conversion
 - Chuyển đổi bước sóng để giải phóng ràng buộc tại một số điểm

Triển khai IP trên nền WDM

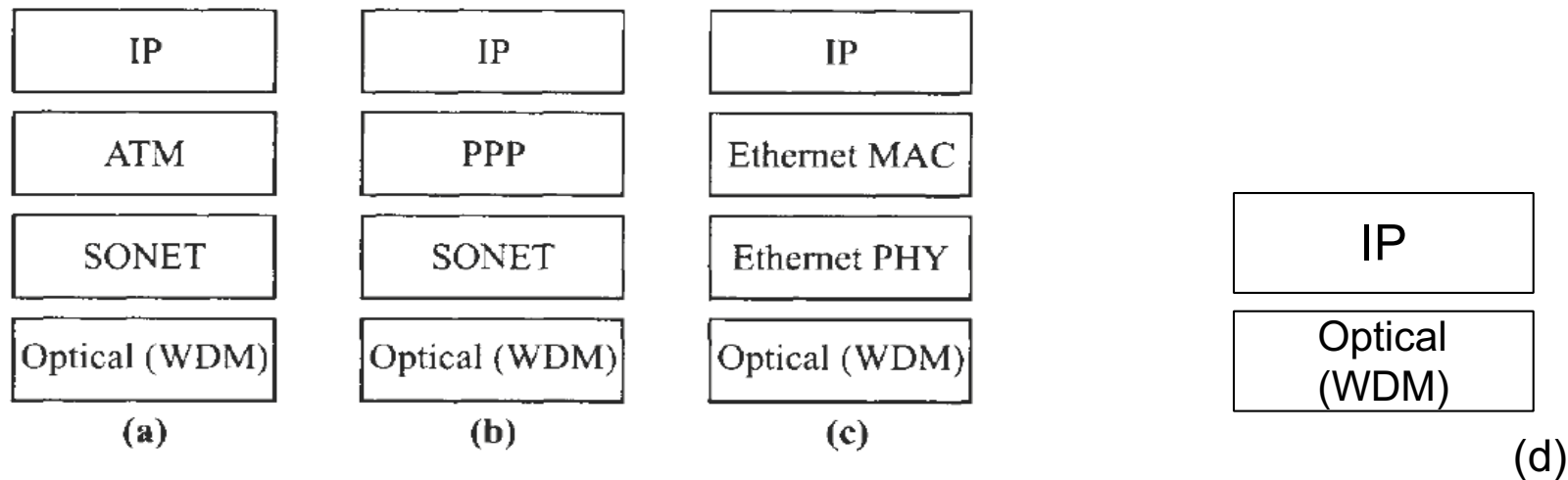


Figure 6.14 Various implementations of IP over WDM. (a) A traditional implementation, which maps IP packets into ATM cells, which are then encoded using SONET framing, before being transmitted over a wavelength. (b) The packet-over-SONET (POS) variant, where IP packets are mapped into PPP frames and then encoded using SONET framing. (c) Using Gigabit or 10-Gigabit Ethernet media access control (MAC) as the link layer and Gigabit or 10-Gigabit Ethernet physical layer (PHY) for encoding the frames for transmission over a wavelength.

IP/ATM/SONET/DWDM

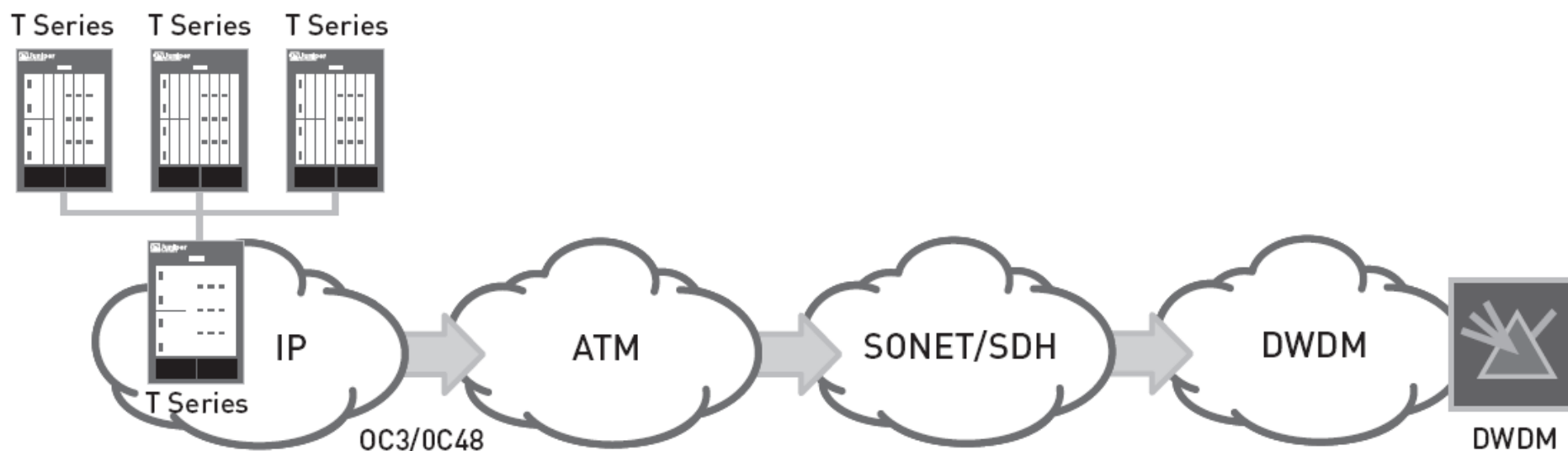
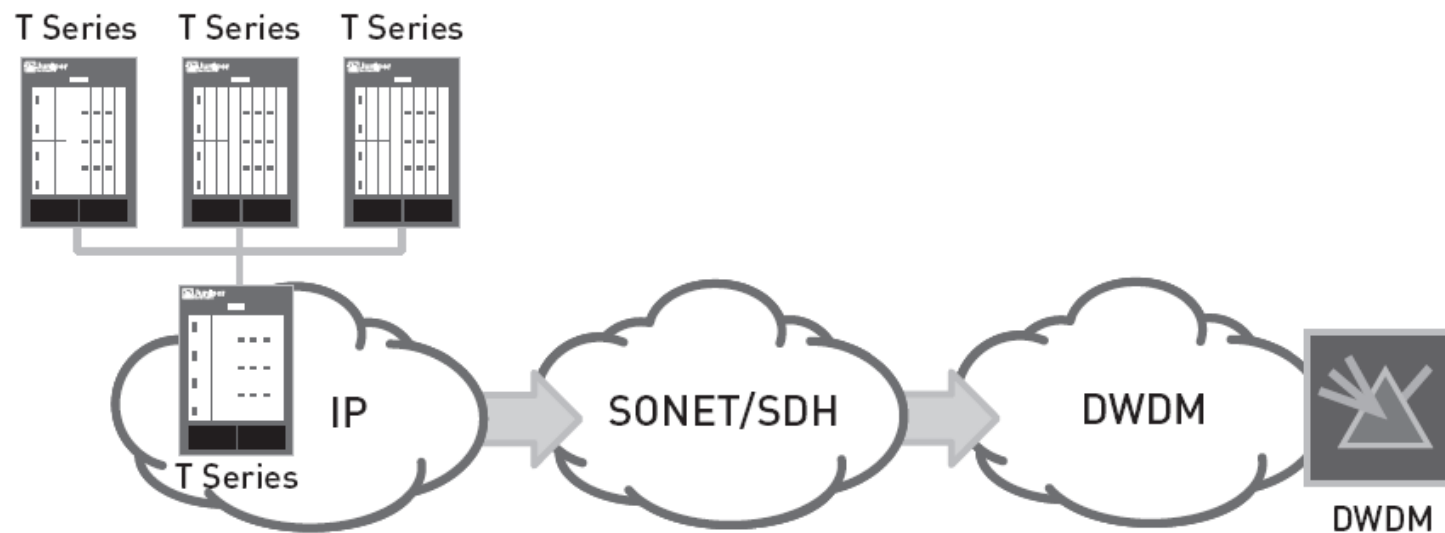
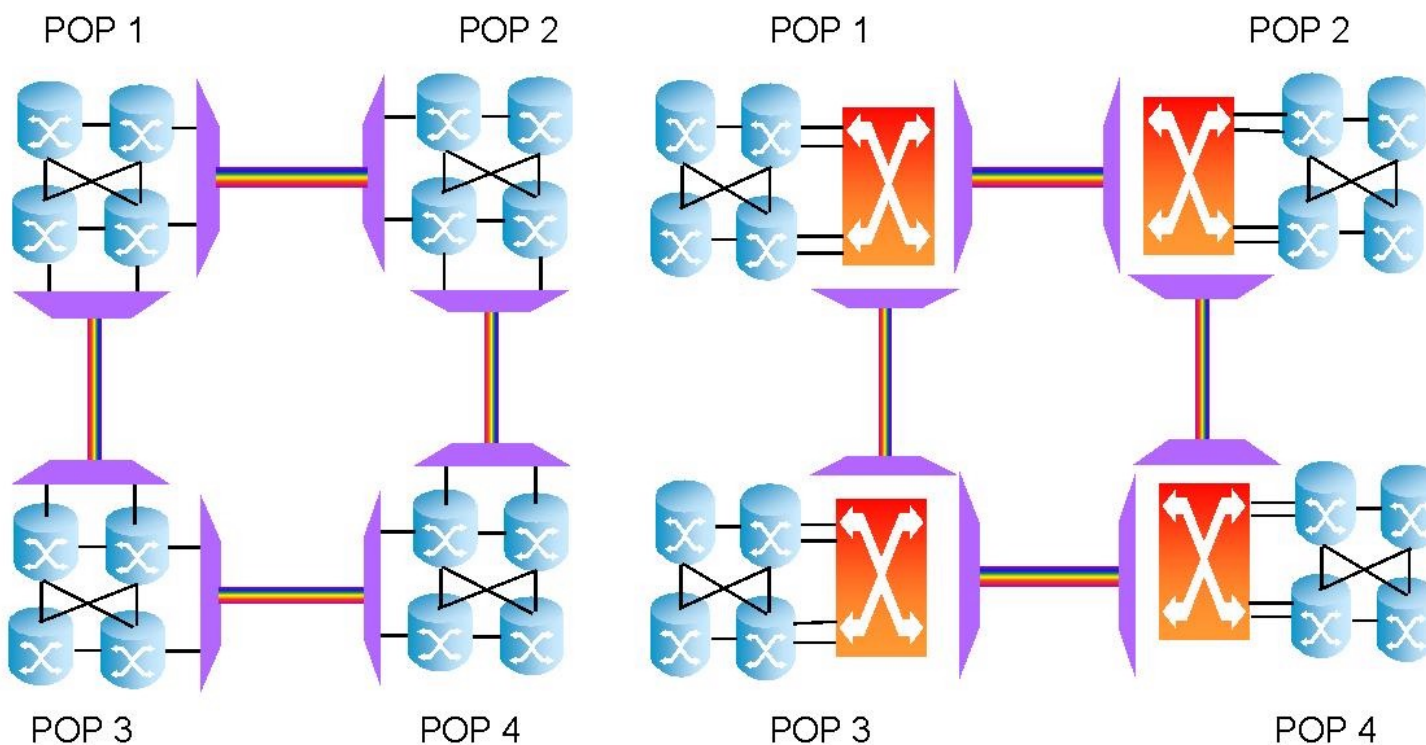


Figure 1: IP over ATM over SONET/SDH over DWDM

IP/SONET/WDM



Các kiểu kiến trúc



Architecture A:
Routers connected via DWDM links

Architecture B:
Routers connected via reconfigurable
OXC backbone

IP/WDM vs. IP/OTN

- IP/OTN (mô hình a, b, c)
 - IP (hoặc ATM, SONET/SDH/WDM) đóng vai trò là mạng truy cập của mạng OTN
 - Mạng lõi OTN có thể cấu hình được nhờ các chuyển mạch quang Optical Cross-connect (OXC).
 - **Chức năng chuyển mạch, dự phòng, thiết lập kết nối được thực hiện bởi OXC của tầng quang**
- IP/WDM (mô hình d)
 - Router IP kết nối với nhau trực tiếp bằng đường cáp quang
 - Dữ liệu IP được truyền thực sự trực tiếp trên các bước sóng mà không đóng gói trong một khuôn dạng khác.
 - Tầng quang chỉ bao gồm các phần tử thụ động không cấu hình lại được: cáp quang, MUX, OADM, khuếch đại
 - **Chức năng chuyển mạch, dự phòng, thiết lập kết nối được thực hiện nhờ IP hoặc giao thức hỗ trợ như MPLS**

IP/WDM: Ưu nhược điểm

Ưu

- Đáp ứng được nhu cầu băng thông ngày càng cao của tầng IP nhất là từ các ứng dụng High-Definition TV
- IP-routers có các giao diện quang OC-48c/OC-192c có thể tập hợp dữ liệu cỡ hàng trăm Gbps để truyền trên cáp quang
- Điều khiển việc thiết lập kết nối từ đầu đến cuối sử dụng chỉ thực hiện ở tầng IP → tập trung, hiệu quả

Nhược

- Công nghệ tạo các cổng router IP có dung lượng ngày càng lớn cỡ nhiều terabit sẽ có ảnh hưởng đến hiệu suất, tính an toàn và tốc độ phục hồi ???

IP-over-OTN: Pros and Cons

Ưu

- Khả năng cấu hình được của mạng lõi OTN đem lại tính mềm dẻo
- Lõi OTN có thể phục vụ nhiều mạng khác nhau ATM, Frame Relay, SONET/SDH.

Nhược

- Các tầng giữa IP và WDM tạo ra overhead dữ liệu và điều khiển.
- Vấn đề điều khiển luồng dữ liệu được thực hiện ở cả 2 miền
 - (i) Mạng IP định tuyến dữ liệu giữa các IP router (được nối logic với nhau thông qua các OXC)
 - (ii) Mạng quang tạo lập các lightpaths giữa các router IP
 - → Dữ liệu không được định tuyến hiệu quả toàn cục

Optical Burst Switching

- Mạng quang chuyển mạch burst
- Kỹ thuật cho phép chuyển mạch với đơn vị nhỏ hơn một bước sóng
- Kỹ thuật dung hòa giữa OPS và các kỹ thuật chuyển mạch kênh quang
- Một tập các gói được kết hợp tại biên mạng tạo thành burst
- Mỗi burst có phần điều khiển và phần dữ liệu

Optical Burst Switching

- Phần điều khiển được truyền trên 1 kênh quang riêng và được xử lý trong miền điện tại mỗi router OBS
- Phần dữ liệu được truyền trên một kênh quang khác luôn ở trong miền quang từ đầu đến cuối
- OBS sử dụng băng thông hiệu quả hơn các công nghệ chuyển mạch kênh quang
- OBS đòi hỏi chuyển mạch tốc độ cao hơn
- Vấn đề nghiên cứu:
 - thiết lập kênh dữ liệu cho burst,
 - xử lý phần điều khiển trước khi dữ liệu đến

Optical Packet Switching

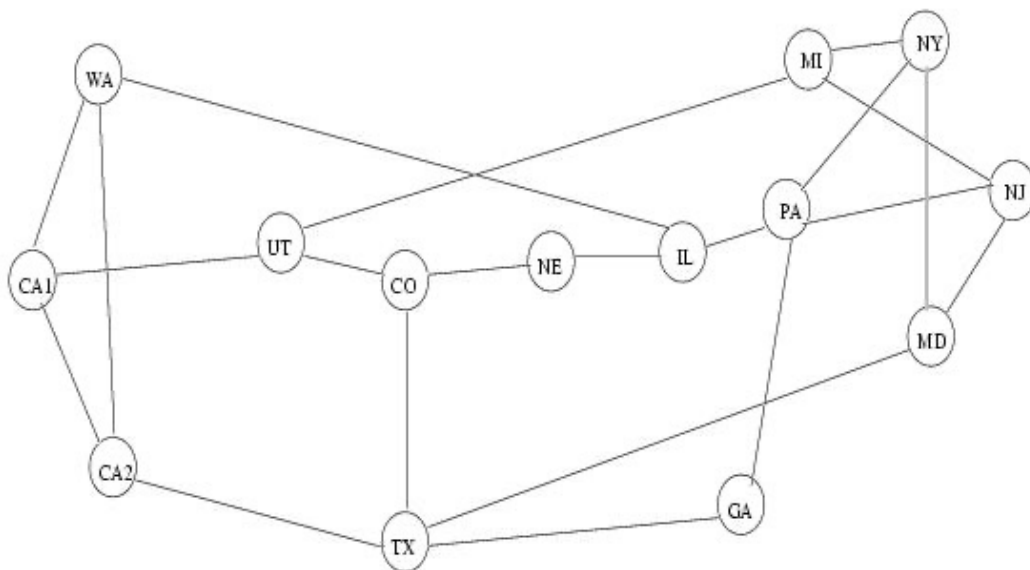
- Mạng quang chuyển mạch gói quang
- Dữ liệu được chia thành các gói nhỏ
- Mỗi gói được định tuyến độc lập tại các nút
- Không thực tế
 - Tốc độ xử lý gói tại các nút phải rất nhanh
 - Cần chuyển đổi OEO để xử lý phần điều khiển tại các nút → hiệu quả thấp khi packet rất nhỏ so với burst

Chương 4: Thiết kế mạng cáp quang

Thiết kế mạng WDM

- WDM hoạt động theo cơ chế chuyển mạch kênh
- Đường đi của dữ liệu từ đầu đến cuối phải được xác định trước khi truyền
- Các vấn đề thiết kế
 - Thiết kế vật lý: thiết kế đường đi cáp, điểm đặt nút mạng
 - Thiết kế logic: xác định các lightpath cần có
 - Định tuyến và gán bước sóng
 - Sử dụng các bộ chuyển đổi bước sóng

Thiết kế mạng WDM-Ví dụ

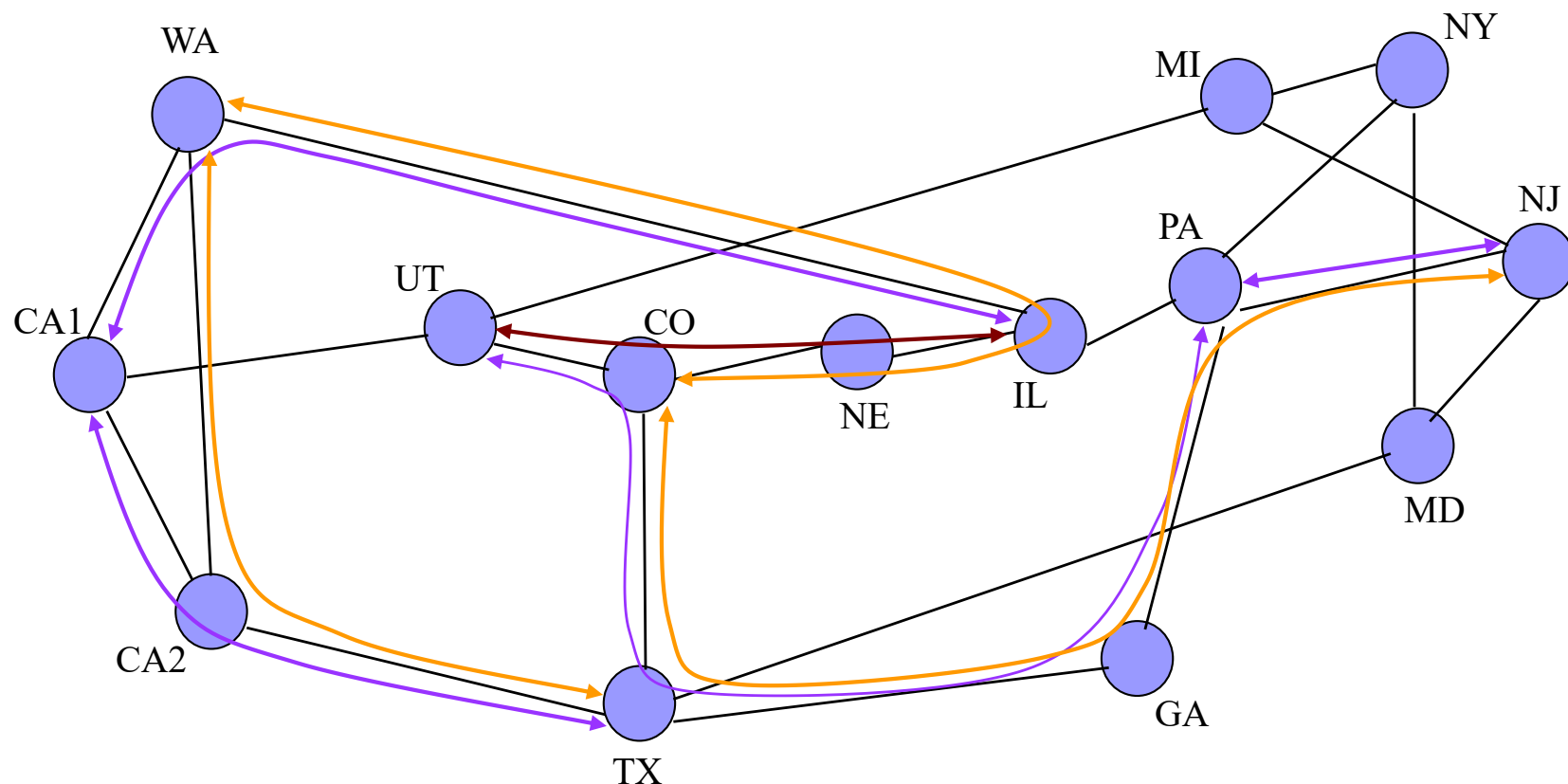


- Cho trước topo
- Cho trước yêu cầu thông lượng
 - WA-CO: x1 Gbps
 - WA-CA1: x2 Gbps
 - WA-CA2: x3 Gbps
 - WA-TX: x4 Gbps
 - CA1-GA: y1 Gbps
 -
- Định tuyến cho các thông lượng này

NSFNET Traffic Matrix (11:45 PM to midnight, ET, Jan. 12, 1992)

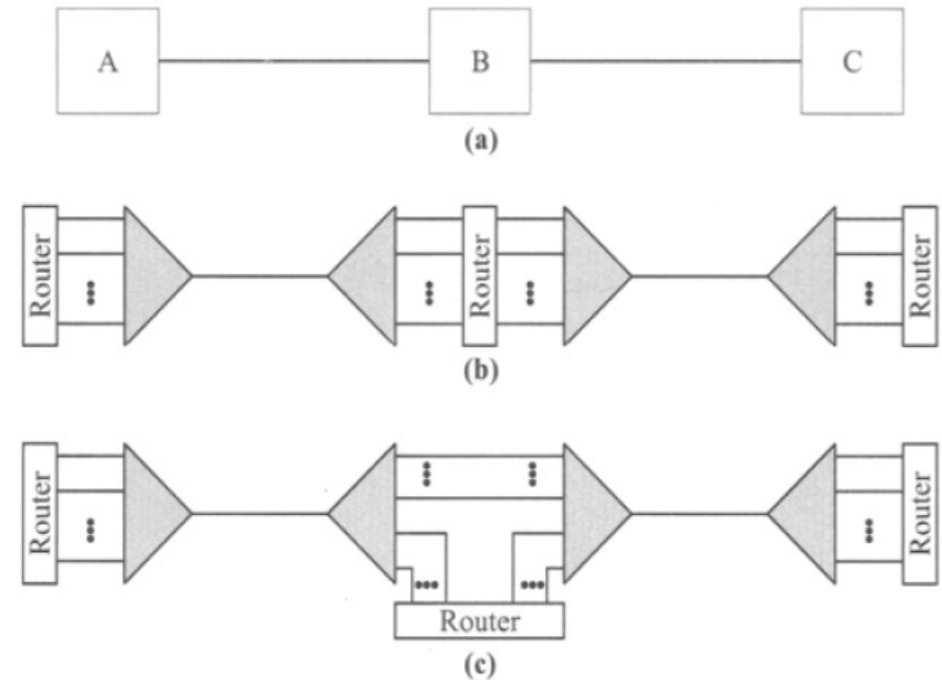
<i>Traffic Matrix (multiply by 1000 to get bytes per 15-minute interval)</i>														
	WA	CA1	CA2	UT	CO	TX	NE	IL	PA	GA	MI	NY	NJ	MD
WA	531	2682	1171	272	1966	88	538	2490	342	185	3118	967	442	1914
CA1	7191	391	6101	3013	5864	2618	3988	15497	1145	2141	7993	10314	5524	7759
CA2	1092	4757	4	4661	851	3637	866	8567	1003	462	5164	621	1392	2158
UT	702	621	1364	0	191	61	70	288	200	326	1311	1216	239	697
CO	12277	15999	1902	344	36	404	1078	6223	2402	1792	7211	11856	1318	2176
TX	184	1654	343	552	340	0	261	269	88	387	606	482	154	696
NE	3701	6201	10231	448	2204	790	0	11418	1983	2196	15403	9333	2367	16388
IL	1495	23455	21035	852	2822	267	9708	32	4395	3301	9006	7116	2020	8890
PA	8493	1994	3735	601	2499	681	2507	6102	0	3962	11069	14761	4567	6314
GA	186	4193	1026	374	2234	948	499	5708	685	14	3632	2617	1270	1437
MI	1117	3761	5830	507	945	1299	1879	3789	2048	2512	4550	5967	3228	3719
NY	3123	13184	1987	1462	4300	715	1732	5732	3960	2943	21164	7425	2800	6597
NJ	3937	5534	1860	754	842	85	449	2440	11768	3569	6918	7921	707	5220
MD	8191	22701	5429	2296	8928	3182	3270	9185	3061	166	12970	13760	6275	12163

Thiết kế mạng WDM – Ví dụ



Thiết kế mạng cáp quang WDM

- Thiết kế **tầng WDM**
- Căn cứ yêu cầu thông lượng của tầng trên SONET/SDH hoặc IP
- Căn cứ vào giới hạn số cổng → giới hạn số lightpath dừng tại mỗi nút
- Ví dụ
 - Cho trước A-B-C nối với nhau bằng cáp quang WDM
 - A,B,C nối với các router
 - Mỗi cổng router = 10 Gbps = 1 wavelength
 - Thông lượng yêu cầu:
 - A-B: 50 Gbps
 - B-C: 50 Gbps
 - A-C: 50 Gbps



Thiết kế mạng cáp quang WDM

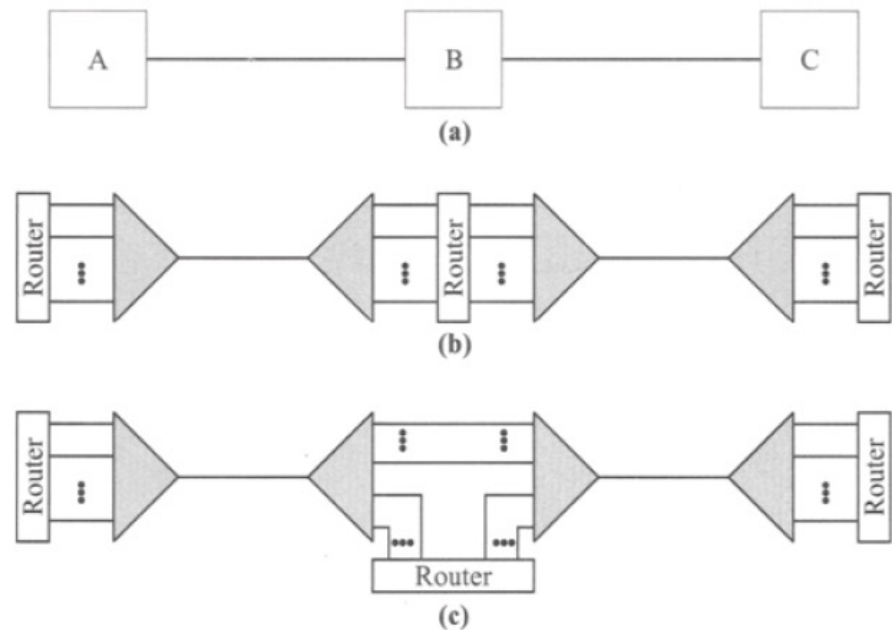
■ Không dùng OADM

- Thông lượng A-C sẽ đi trên link A-B xuống router B (chuyển đổi OEO) rồi lại đi từ B-C
- 10 bước sóng từ router A đến router B
- 10 bước sóng router B đến router C
- A, C: 10 cổng router
- B: 20 cổng router
- 5 chuyển đổi OEO

■ Dùng OADM

- 5 bước sóng từ router A-B
- 5 bước sóng từ router B-C
- 5 bước sóng đi thẳng từ router A đến C không xuống router B
- OADM phải dùng tại B để rẽ nhánh thông lượng xuống router B
- A, B, C: 10 cổng router
- Không có chuyển đổi OEO

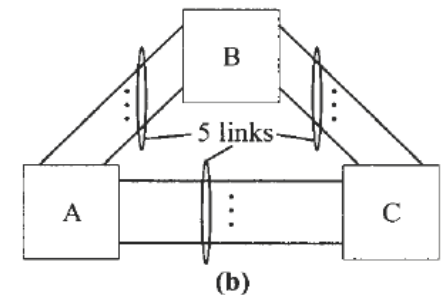
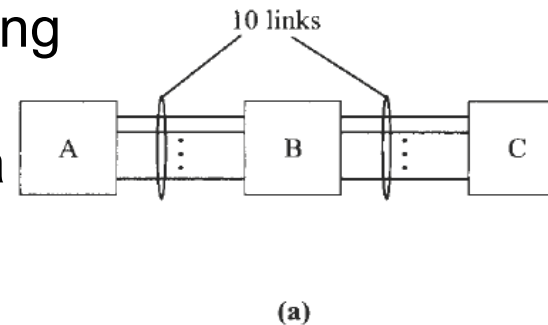
■ Giá của thiết bị OADM vs. cổng router



Thiết kế mạng cáp quang WDM

■ Lightpath:

- Một kết nối bằng 1 bước sóng giữa 2 điểm
- Lightpath có thể trải dài qua nhiều cáp nhờ các OADM

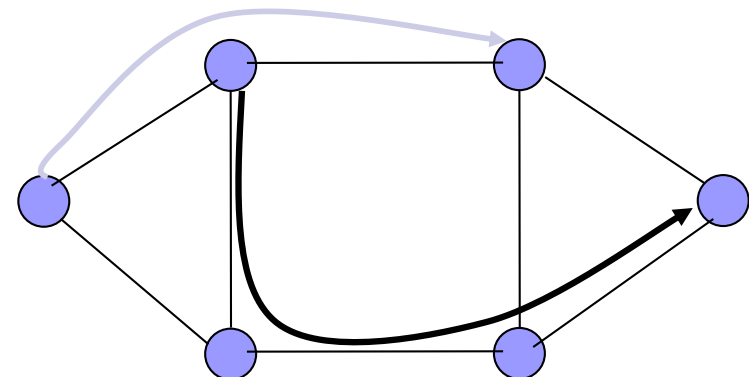


■ Lightpath Topology

- Xác định các lightpath của tầng WDM để thỏa mãn ma trận thông lượng
- Logical topo, virtual topo

■ Topo vật lý

- Topo của các cáp



Thiết kế mạng cáp quang WDM

■ Thiết kế vật lý

- Thiết kế các đường đi cáp, vị trí đặt các nút

■ Thiết kế logic

- Cho trước các nút truy cập (router), topo của cáp quang
- Cho trước ma trận thông lượng yêu cầu (giữa các router)
- Yêu cầu
 - Tìm các lightpath cần thiết lập (để kết nối các router), chưa quan tâm đến đường đi cụ thể của các lightpath
 - Lightpath Topology Design (LTD)
 - Định tuyến các lightpath này trên các cáp quang đã có và xác định bước sóng cho chúng
 - Routing and Wavelength Assignment (RWA)

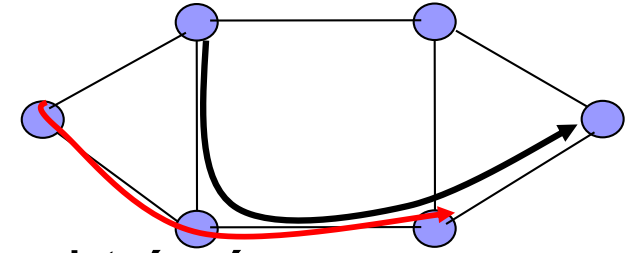
Lightpath Topology Design (LTD)

- Bài toán tương đối đơn giản
- Cho trước ma trận thông lượng giữa các nút (router)
- Cho trước các router
- Yêu cầu:
 - Xác định các lightpath nào cần xây dựng giữa các router
 - Lightpath chính là các link ảo giữa các router là nút của topo ảo
 - Ánh xạ thông lượng vào các lightpaths
 - Phân bố thông lượng của mỗi cặp router vào các lightpath
- Ràng buộc
 - Các thông lượng yêu cầu được thỏa mãn
- Mục tiêu
 - Giảm thiểu tắc nghẽn → tải trên các lightpath là nhỏ nhất
 - Có thể có các mục tiêu khác tùy bài toán.

Lightpath Topology Design (LTD)

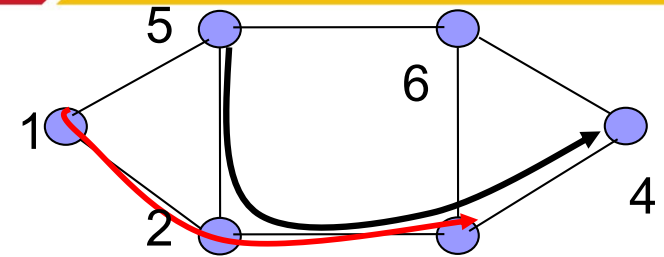
- Bài toán LTD là bài toán multi-commodity
- Thường được giải bằng cách sử dụng phương trình tuyến tính (LP) để mô hình hóa
- Sử dụng các công cụ giải LP để giải
- Có thể dùng các heuristic để giải không tối ưu.

RWA (routing and wavelength assignment)



- Cho trước các lightpath và topo các cáp, vị trí các chuyển mạch quang
- Yêu cầu
 - Xác định đường đi các lightpath trên topo các cáp → Routing
 - Gán bước sóng cho từng lightpath → Wavelength Assignment
- Mục tiêu
 - Dùng ít bước sóng nhất
 - Có thể có mục tiêu khác tùy bài toán
- Ràng buộc
 - Hai lightpath không thể cùng dùng 1 bước sóng trên một link
 - Nếu không dùng bộ chuyển đổi bước sóng thì một lightpath phải dùng cùng một bước sóng trên tất cả các link dọc theo nó.
- Dùng hay không các bộ chuyển đổi bước sóng? Số lượng bao nhiêu?
 - Thường bị hạn chế

RWA



- Để giảm độ phức tạp Định tuyến và Gán bước sóng thường được giải trong 2 bước riêng biệt
- Định tuyến
 - Fixed path routing, Alternate-path routing, adaptive routing, multicommodity flow formulation, randomized routing
- Gán bước sóng
 - Sử dụng thuật toán tô màu đồ thị, First Fit, Random Fit, Least Used, Most Used, Min Product, Least Loaded, Max Sum ...
- Giải hai bài toán đồng thời sẽ đem lại kết quả tối ưu hơn, nhưng đây là bài toán NP-đầy đủ nên khó có thể có lời giải chính xác

Định tuyến động cho mạng cáp quang

■ Phát biểu bài toán

- ☐ Cho trước một mạng đang có tải
- ☐ Có thêm 1 yêu cầu kết nối mới từ $s \rightarrow d$ với băng thông w
- ☐ Định tuyến cho yêu cầu kết nối này

■ Ràng buộc

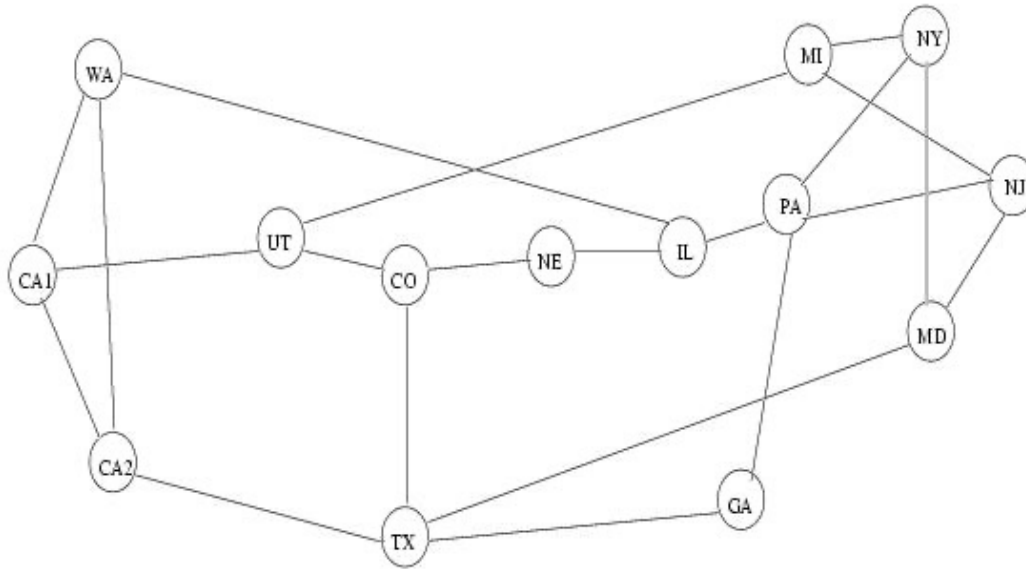
- ☐ Không thay đổi các kết nối đang tồn tại trong mạng

■ Có nhiều tiêu chí định tuyến khác nhau

- ☐ Tiết kiệm tài nguyên nhất
- ☐ Dành nhiều khả năng chấp nhận các yêu cầu khác trong tương lai nhất
- ☐ ...

■ Định tuyến động khó phân bổ tài nguyên toàn cục một cách tối ưu như định tuyến tĩnh

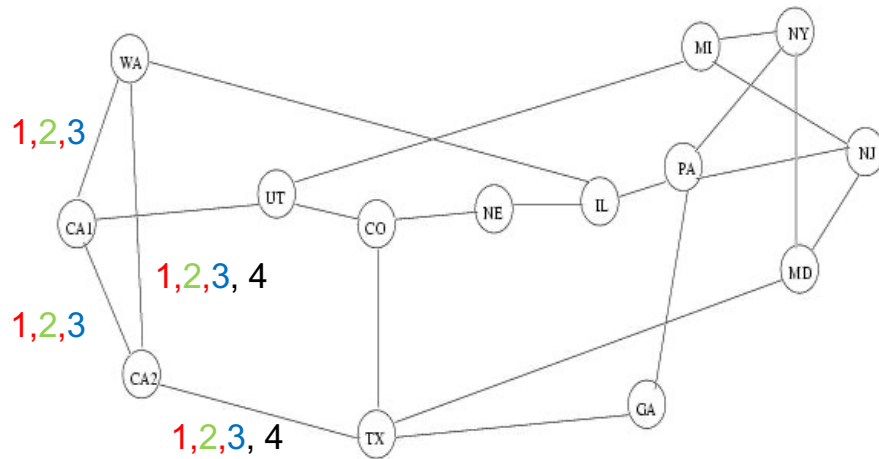
Bài tập



- Sử dụng Fixed path routing với đường đi được chọn là ngắn nhất
- Gán bước sóng sử dụng First Fit.

- Cho trước topo
- Cho trước yêu cầu thông lượng
 - WA-CO: 10 Gbps
 - WA-CA1: 20 Gbps
 - WA-CA2: 30 Gbps
 - WA-TX: 40 Gbps
 - CA1-GA: 10 Gbps
 -
- Định tuyến cho các thông lượng này
- Số bước sóng trên mỗi liên kết $W=4$
- Mỗi bước sóng tải: 10 Gbps

Bài tập (tiếp)



- Sử dụng Fixed path routing với đường đi được chọn là ngắn nhất
- Gán bước sóng sử dụng First Fit.

- Các lightpaths cần thiết lập (LTD)
 - WA-CO: 1 lightpath
 - WA-CA1: 2 LP
 - WA-CA2: 3 LP
 - WA-TX: 4 LP
 - CA1-GA: 5 LP
- Định tuyến (Fixed path routing)
 - WA-CO: WA-CA1-UT-CO
 - WA-CA1: WA-CA1
 - WA-CA2: WA-CA2
 - WA-TX: WA-CA2-TX
 - CA1-GA: CA1-CA2-TX-GA
- Gán bước sóng (First Fit)
 - Đánh số cho các bước sóng là 1,2,3,4.
 - WA-CO: dùng bước sóng 1
 - WA-CA1: dùng 2,3
 - WA-CA2: 1,2,3
 - WA-TX: còn mỗi bước sóng 4 rảnh → thiết lập được 1 LP, còn lại 3 LP không thiết lập được
 - CA1-GA: chỉ thiết lập được 3 LP, dùng 1,2,3, còn lại 2 LP không thiết lập được

Chương 5: Dự phòng và khôi phục

Dự phòng và khôi phục

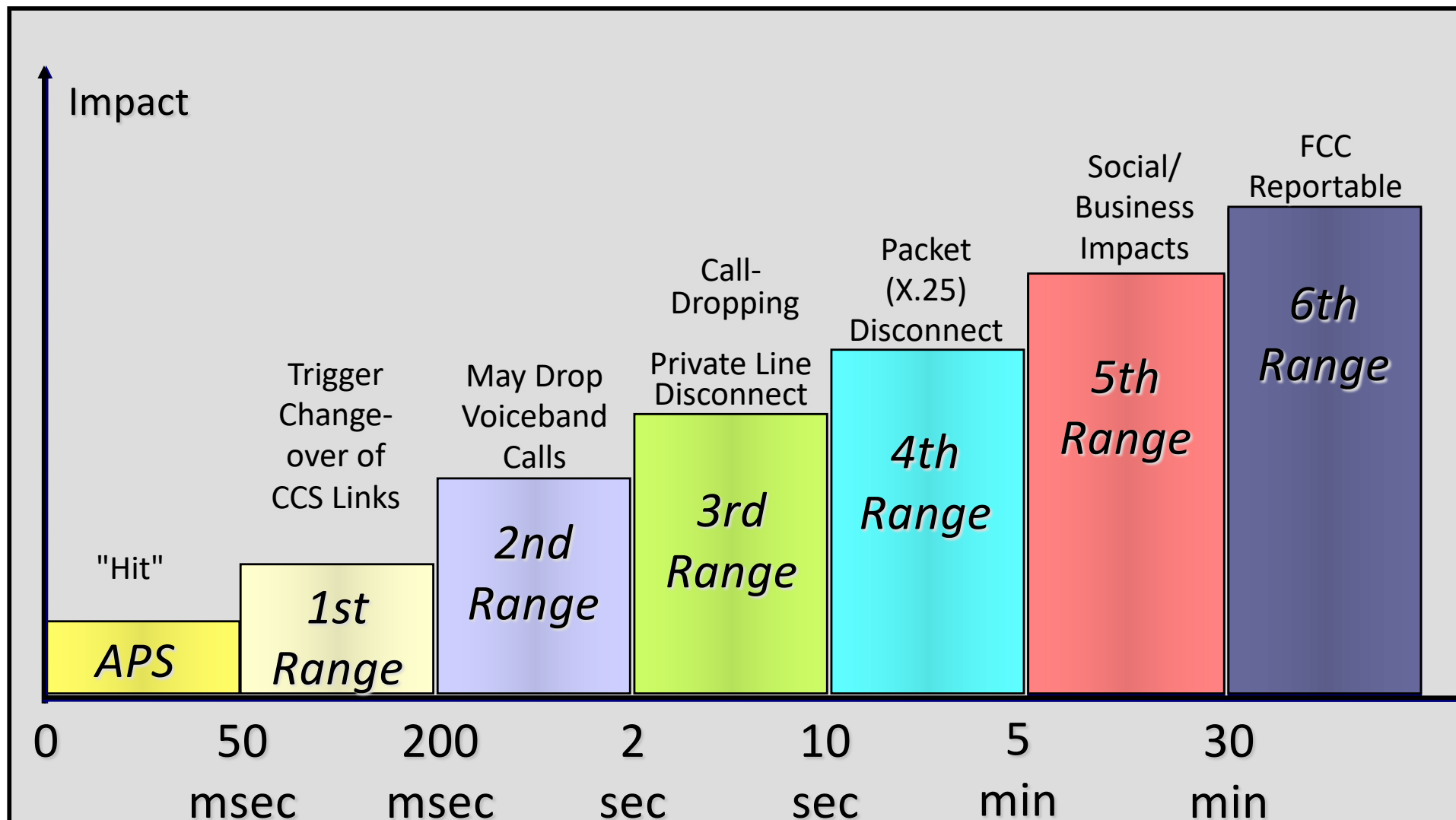
- ☐ Khái niệm cơ bản
 - Tính sẵn sàng
 - Các loại lỗi
 - Dự phòng vs khôi phục
 - Dự phòng dành riêng
 - Dự phòng chia sẻ
- ☐ Dự phòng trong SONET/SDH
- ☐ P-cycle

Khái niệm cơ bản

- Các sự cố trên mạng làm gián đoạn hoạt động của mạng
 - Đứt cáp
 - Hỏng thiết bị
- Thời gian gián đoạn càng nhỏ càng tốt
 - Mean Time to Repair: MTR
- Tần suất xảy ra sự cố
 - Mean Time between Failures: MTF
- Khả năng duy trì dịch vụ khi xảy ra lỗi → Survivability



Ảnh hưởng của việc gián đoạn



Yếu tố thị trường của Survivability

- Quan hệ với khách hàng
- Lợi thế cạnh tranh
- Lợi nhuận
 - Bất lợi – Phải tăng chi phí để mạng có tính tự phục hồi sau lỗi
 - Ưu điểm – Tạo các dịch vụ cao cấp đem lại lợi nhuận lớn
 - Dịch vụ dành cho doanh nghiệp
 - Dịch vụ cho các tổ chức y tế
 - Dịch vụ dành cho các tổ chức chính phủ
- Vận hành phức tạp hơn

Network Survivability

- Tính sẵn sàng
 - 99.999% (5 con 9) => dưới 5 phút gián đoạn/năm
- Cần có kế hoạch đối phó với lỗi
 - Thêm tài nguyên thay thế, phát hiện lỗi và tự động định hướng các luồng dữ liệu vòng qua lỗi
- Khôi phục:
 - Chỉ bổ sung băng thông, thiết bị thay thế khi sự cố đã xảy ra
 - Tiết kiệm tài nguyên
 - Chậm → thời gian gián đoạn lớn
- Dự phòng: fast time-scale:
 - Chuẩn bị sẵn tài nguyên dự phòng để thay thế tài nguyên chính khi xảy ra sự cố
 - Chuyển luồng dữ liệu từ đường truyền bị lỗi sang đường dự phòng khi có sự cố xảy ra
 - Nhanh: khoảng hàng chục đến hàng trăm ms...

Tính sẵn sàng

Availability là xác suất thiết bị hoạt động bình thường

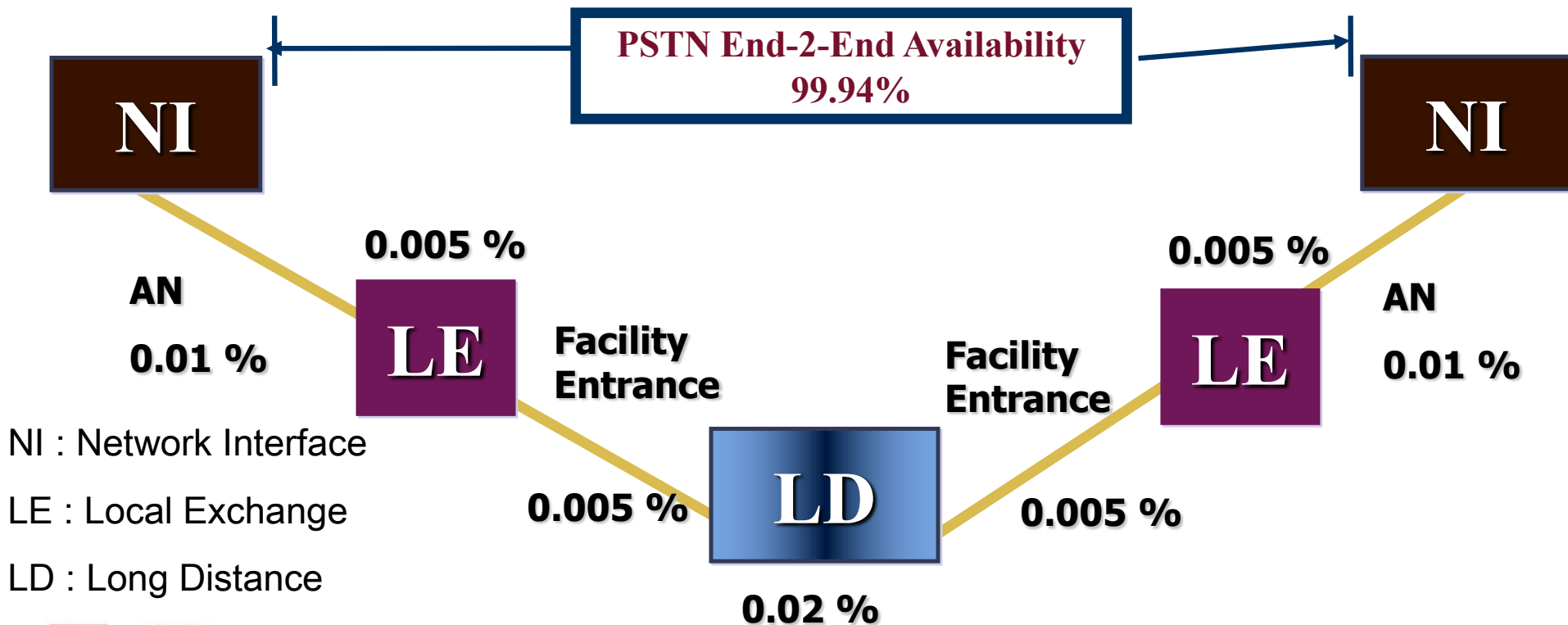
$$\text{Availability} = \frac{\text{Reliability}}{\text{Reliability} + \text{Recovery}}$$

Định lượng tính sẵn sàng

99%	2-Nines	5,000 Min/Yr
99.9%	3-Nines	500 Min/Yr
99.99%	4-Nines	50 Min/Yr
99.999%	5-Nines	5 Min/Yr
99.9999%	6-Nines	0.5 Min/Yr

Ví dụ mạng PSTN

- Mỗi thành phần của mạng có tính sẵn sàng 99.99%
- One cut off call in 8000 calls (3 min for average call). Five ineffective calls in every 10,000 calls.



Sự cố

■ Các loại sự cố

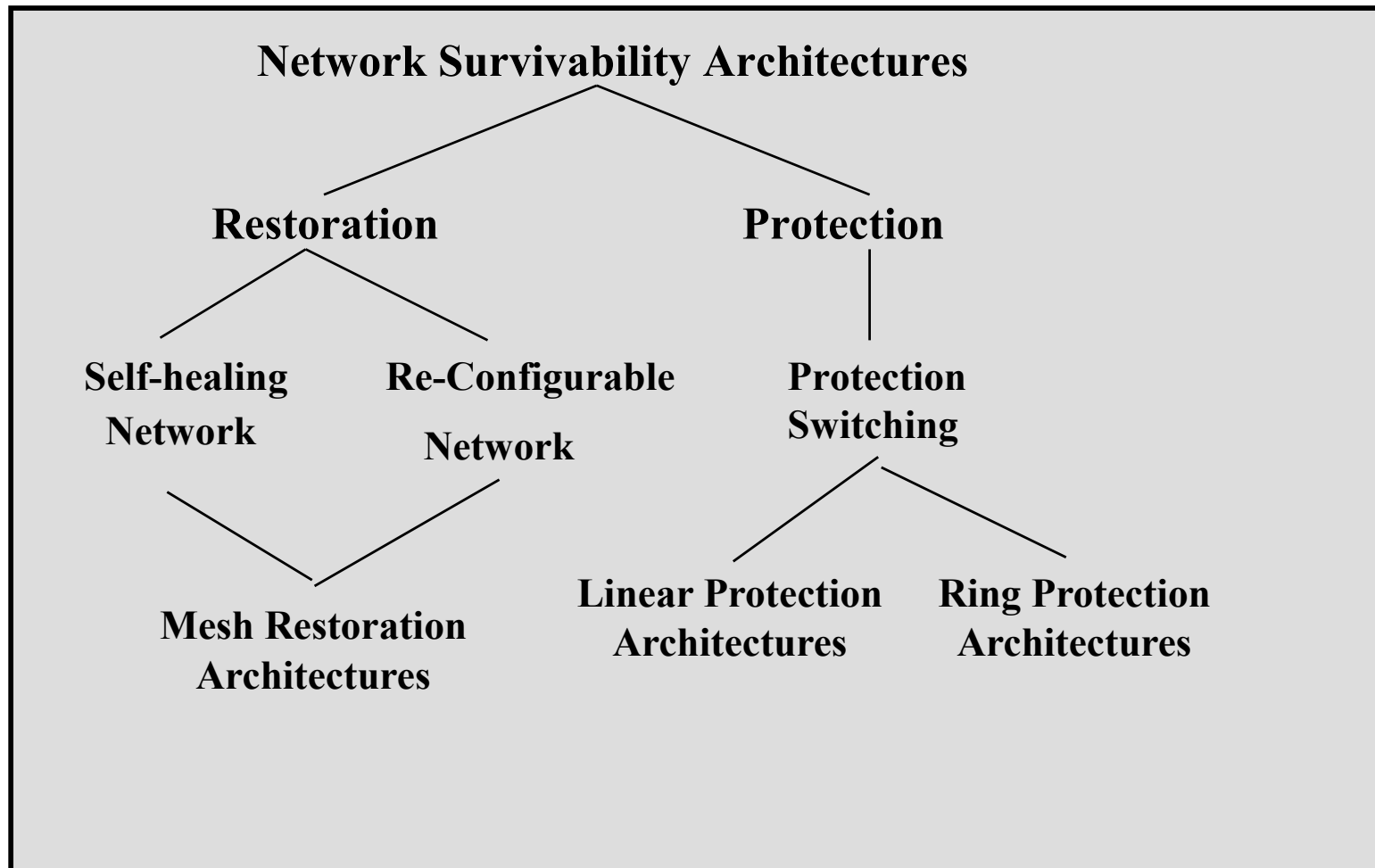
- Sự cố thành phần: trên link, nút, kênh WDM, phần mềm...
- Sự cố hệ thống: Thảm họa có thể hủy hoại toàn bộ trung tâm kết nối

■ Lỗi đơn vs. nhiều lỗi đồng thời

- 4.39 cáp đứt/năm/1000 dặm cáp
- Thông thường giả thiết mạng chỉ có lỗi đơn

■ Dự phòng và khôi phục có thể thực hiện ở nhiều mức

Các phương pháp bảo vệ mạng



Phân loại các phương pháp dự phòng

■ Theo topo

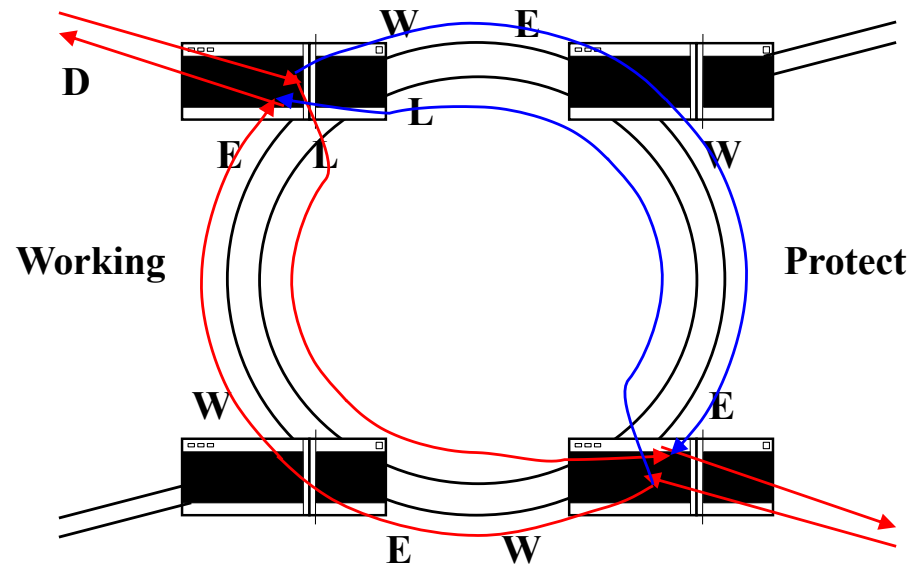
- ☐ Vòng
- ☐ Tuyến tính: link, đoạn, đường

■ Theo sử dụng tài nguyên

- ☐ Dự phòng dành riêng
- ☐ Dự phòng chia sẻ

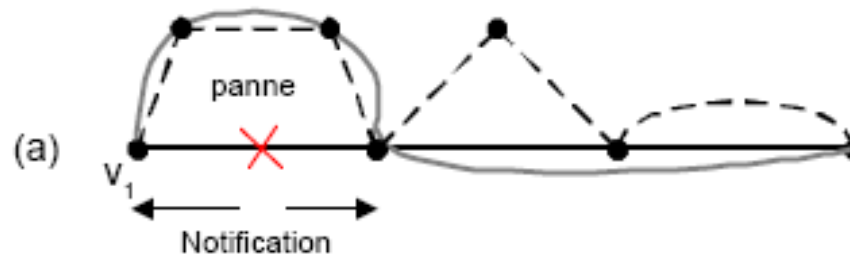
Topo dự phòng - vòng

- Các nút được nối với nhau qua các link tạo thành vòng tròn
 - Dữ liệu được truyền theo chiều ngược lại khi có sự cố

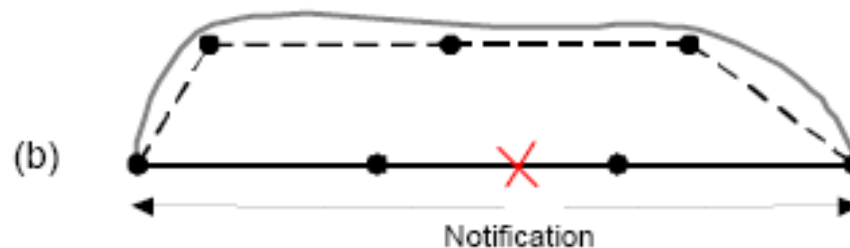


Topo dự phòng– *Tuyến tính*

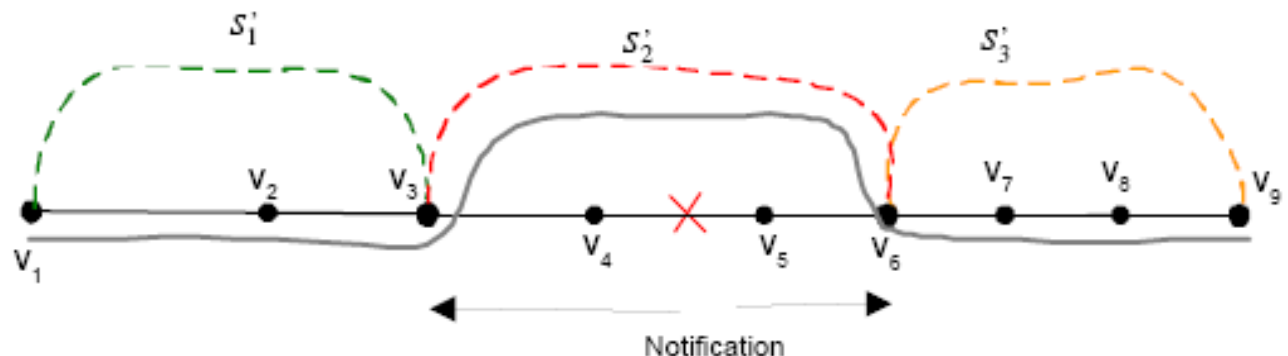
Dự phòng theo liên kết



Dự phòng theo đường



Dự phòng theo đoạn(c)



Dự phòng dành riêng vs. chia sẻ

■ Dự phòng dành riêng

- Một tài nguyên dự phòng chỉ dùng để bảo vệ một đường truyền chính

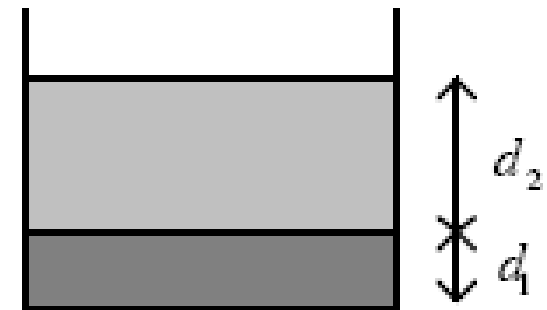
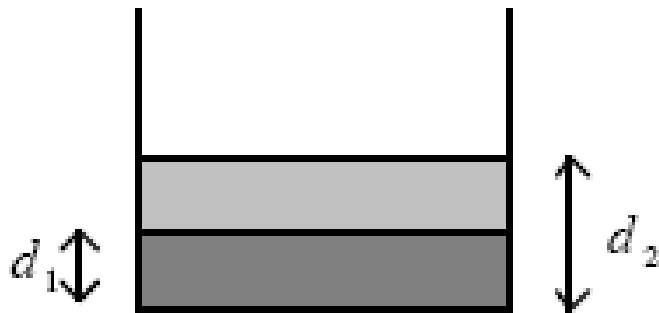
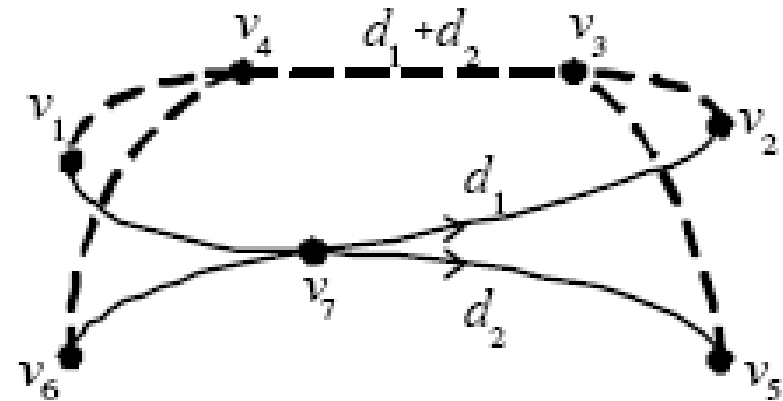
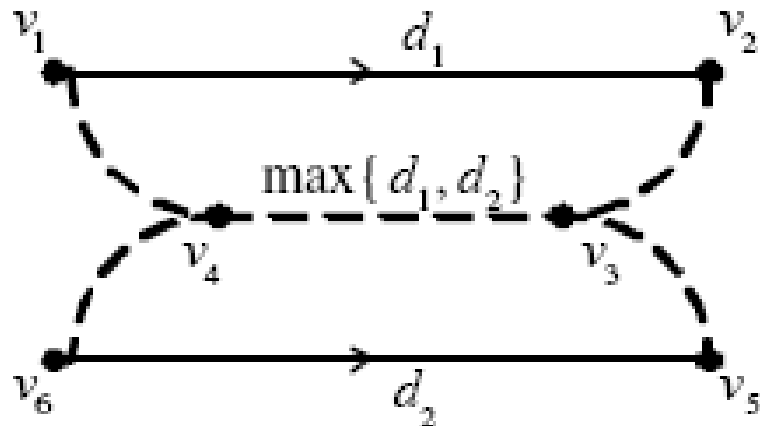
■ Dự phòng chia sẻ

- Một tài nguyên dự phòng có thể được dùng trong nhiều đường dự phòng để bảo vệ nhiều đường truyền chính

■ Dự phòng chia sẻ có tốc độ khôi phục chậm hơn dự phòng dành riêng

- Mất thời gian thành lập đường dự phòng từ các tài nguyên dự phòng khi sự cố xảy ra

Dự phòng dành riêng vs. chia sẻ



Bảng thông cần thiết cho các đường bảo vệ trên link chung v3-v4

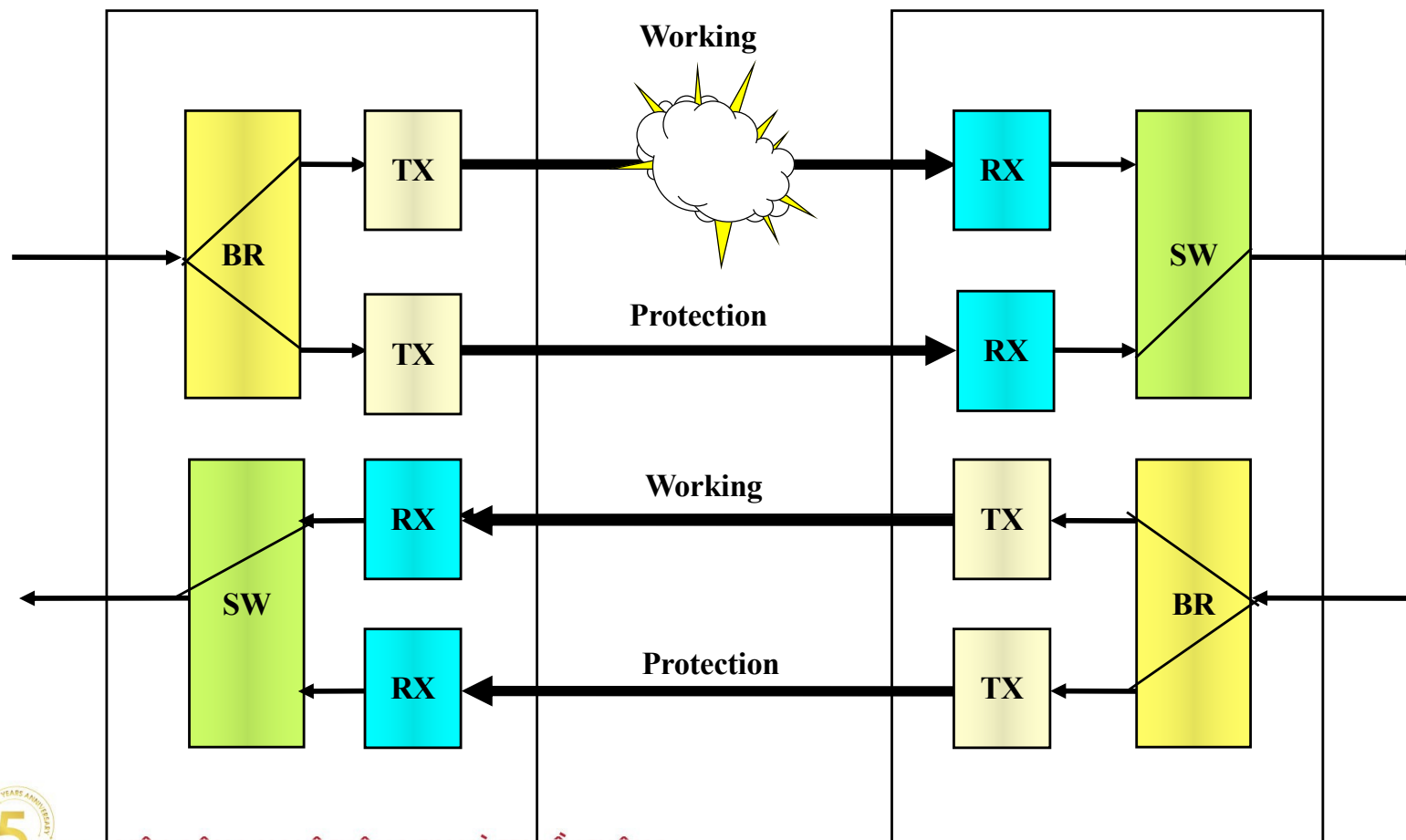
Dự phòng trong SONET/SDH

Table 10.1 A summary of protection schemes in SONET and SDH. N denotes the number of working interfaces that share a single protection interface. The schemes operate either in the path layer or in the SONET line layer/SDH multiplex section (MS) layer. Path layer ring schemes include unidirectional path-switched ring (UPSR) or 1 + 1 subnetwork connection protection (SNCP). Line layer ring schemes include bidirectional line-switched ring (BLSR) or, equivalently, multiplexed section-shared protection ring (MS-SPRing).

SONET Term SDH Term	1 + 1 1 + 1	1:N 1:N	Protection Scheme		BLSR MS-SPRing
			UPSR	SNCP	
Type	Dedicated	Shared	Dedicated	Dedicated	Shared
Topology	Point-point	Point-point	Ring	Ring/mesh	Ring
Layer	Line/MS	Line/MS	Path/-	-/path	Line/MS

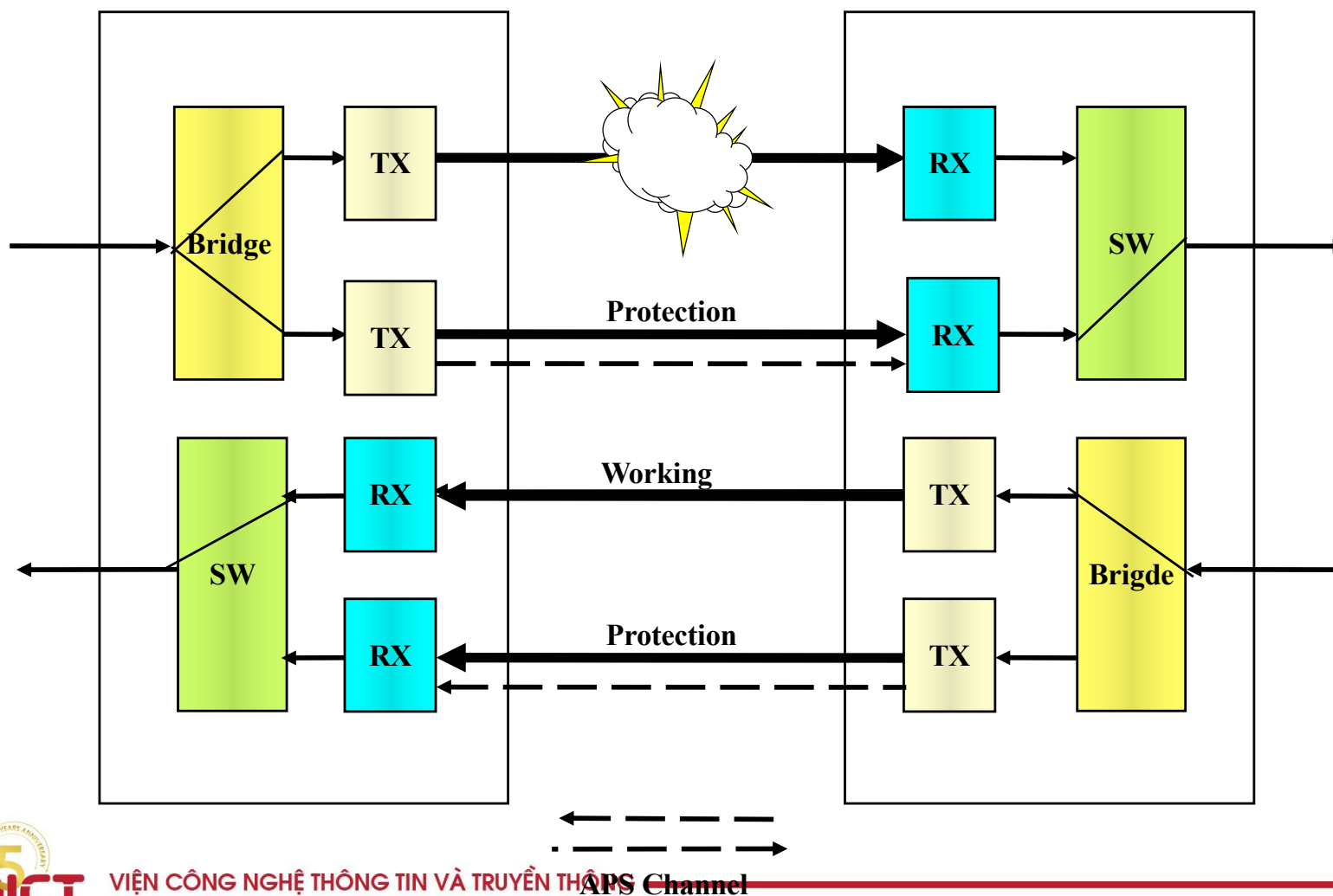
Dự phòng 1+1 theo link của SONET/SDH

Dữ liệu được truyền đồng thời trên cả đường chính và đường dự phòng



Dự phòng 1:1 theo link của SONET/SDH

Dữ liệu được truyền trên đường chính và chuyển sang đường dự phòng khi có sự cố

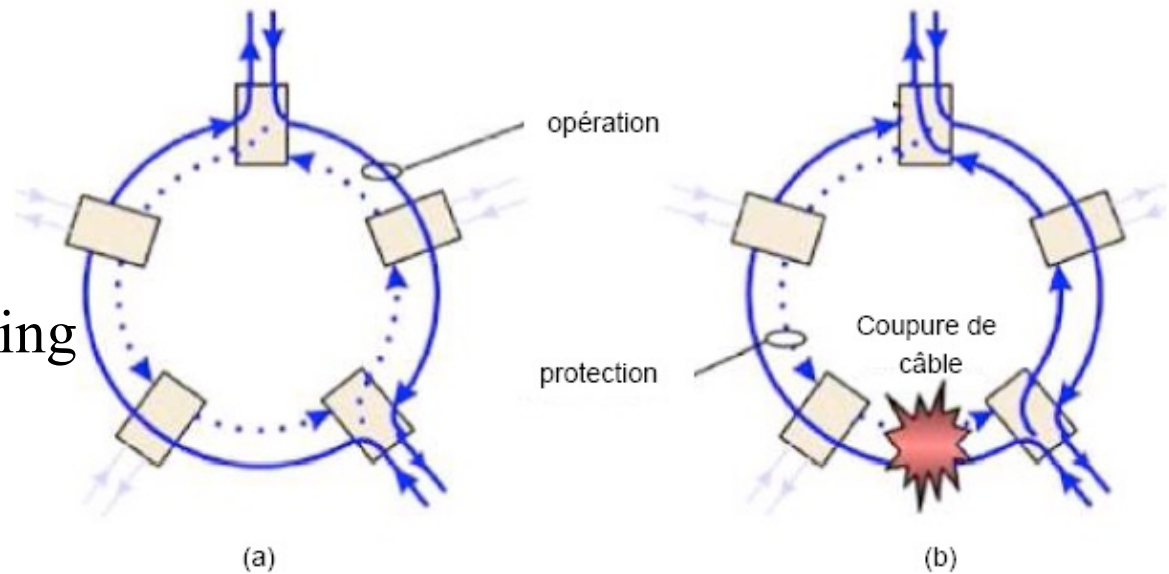


Automatic Protection Switching của SONET/SDH

Tốc độ khôi phục 60ms

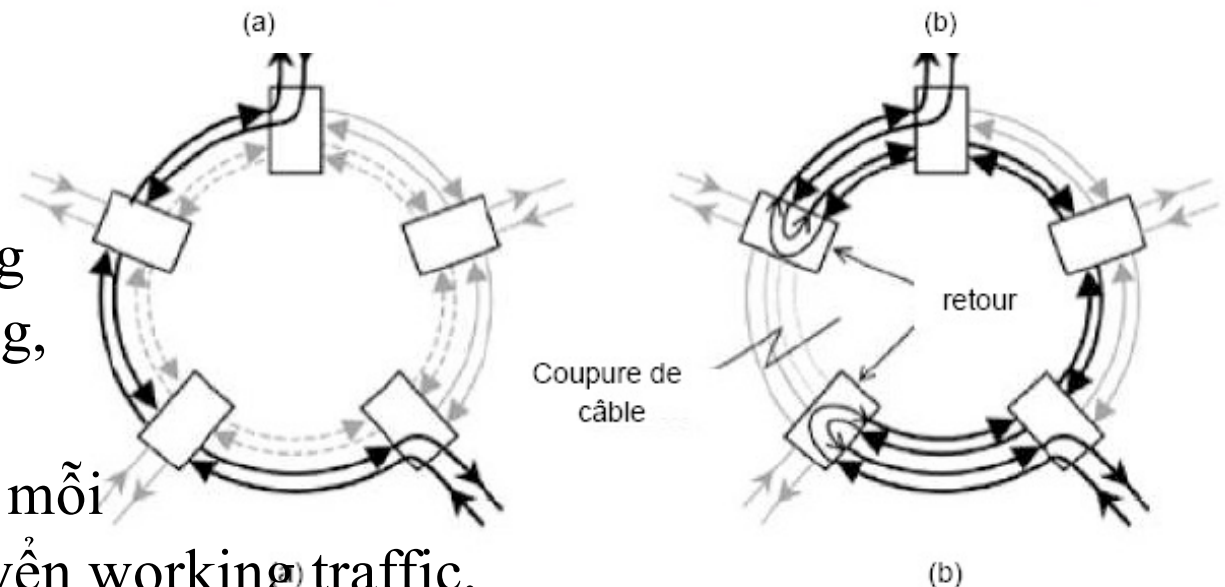
Unidirectional path-switched ring
UPSR

1 cáp cho working,
1 cáp cho protection



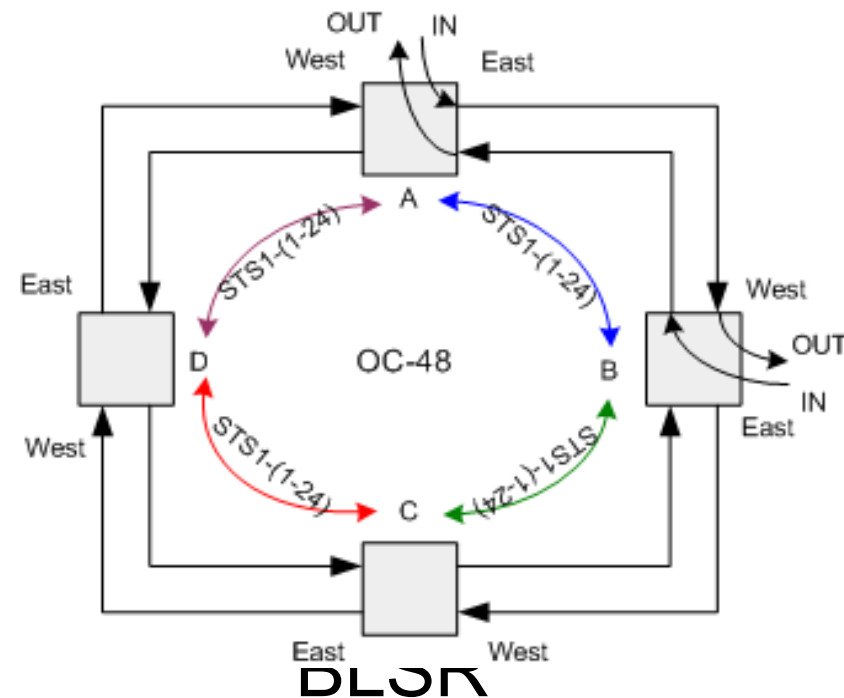
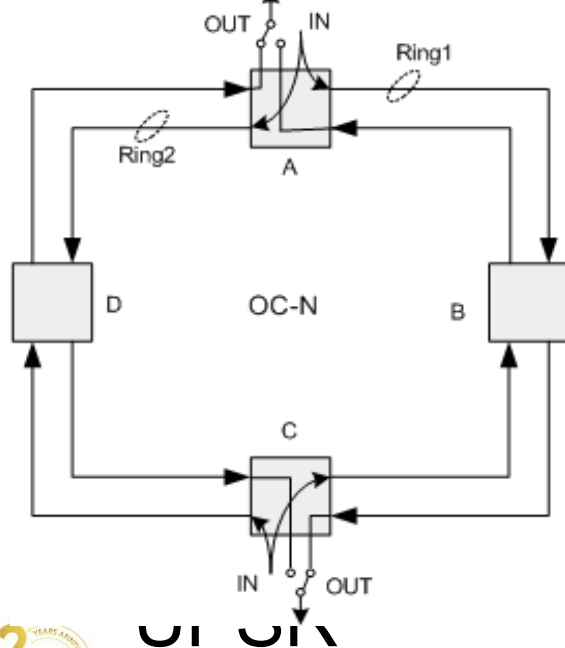
Bidirectional line-switched ring
BLSR 4 cáp: 2 cáp cho working,
2 cáp cho protection

BLSR 2 cáp: Băng thông trên mỗi
cáp được chia đôi, $\frac{1}{2}$ vận chuyển working traffic,
 $\frac{1}{2}$ vận chuyển protection traffic



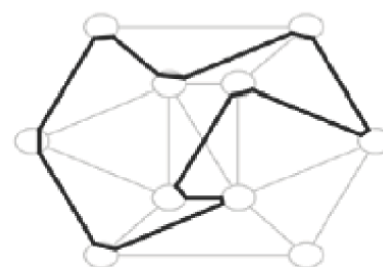
UPSR vs. BLSR

- URPS, mọi kết nối dùng toàn bộ vòng cho traffic theo 2 chiều
- BLSR: Mọi kết nối dùng 1 phần của 2 vòng cho traffic theo 2 chiều
 - Có thể tại nhiều kết nối hơn khi các điểm nguồn, đích khác nhau

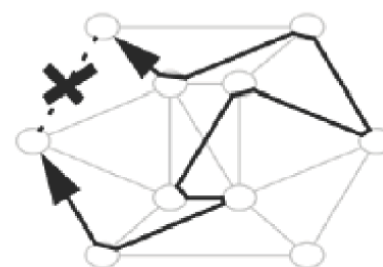


P-cycle

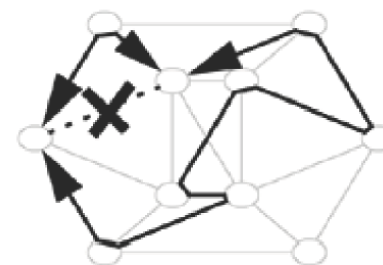
- Mạng mesh không có topo hình vòng
- Tạo các vòng trong mạng $\rightarrow$ p-cycle
- Sử dụng cơ chế bảo vệ theo topo vòng
- Các link trên p-cycle và các đoạn cắt p-cycle được bảo vệ



(a) A p -cycle, X



(b) A span *on* the cycle fails, p -cycle X contributes one protection path (BLSR-like behavior)



(c) (d) Spans *straddling* the p -cycle fail. p -cycle X contributes two protection paths (mesh-like).

Bài toán định tuyến có dự phòng

- Tìm kiếm đường đi chính và đường đi dự phòng cho mỗi kết nối
- Ràng buộc
 - Đường đi chính và đường đi dự phòng phải không bị ảnh hưởng đồng thời bởi một lỗi đơn
 - Hai đường đi không dùng chung 1 cáp
 - Hai đường đi không dùng chung một thiết bị
 - Tốc độ khôi phục chấp nhận được
 - Đường đi dự phòng không quá dài làm ảnh hưởng độ trễ
- Tiêu chí
 - Tiết kiệm tài nguyên tổng cộng
- Có 2 dạng tĩnh và động tương ứng với bài toán định tuyến thông thường

Bài toán định tuyến có dự phòng

■ Hướng tiếp cận

- Tách thành 2 bước định tuyến:
 - Định tuyến cho đường chính trước sau đó tìm đường dự phòng
- Định tuyến đồng thời cho cả đường chính và dự phòng
 - Rất khó trong trường hợp định tuyến động

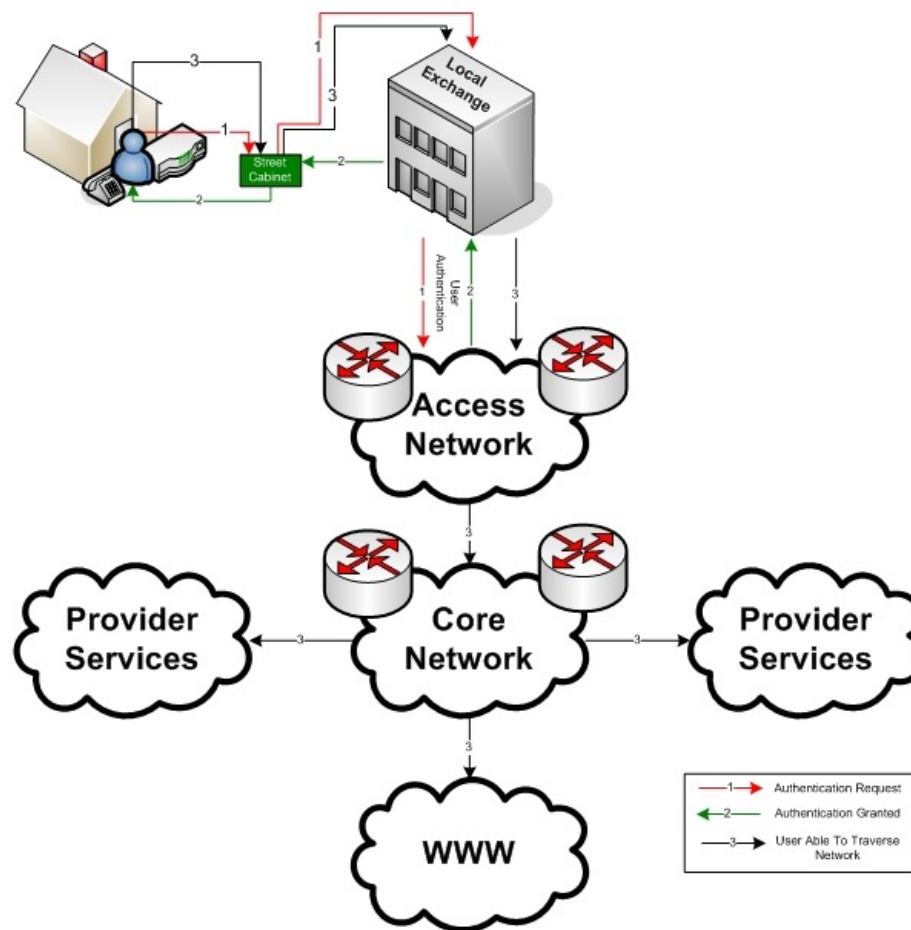
Chương 6: Mạng truy nhập



Mạng truy nhập quang và dịch vụ

- Mạng truy nhập thu thập dữ liệu từ phía người dùng và cung cấp cho mạng lõi
- Các dịch vụ phổ biến từ phía người dùng
 - Điện thoại
 - Mạng truyền hình cáp
 - Internet trên nền điện thoại (xDSL) hoặc cáp

Mạng truy nhập



Kiến trúc của mạng truy nhập

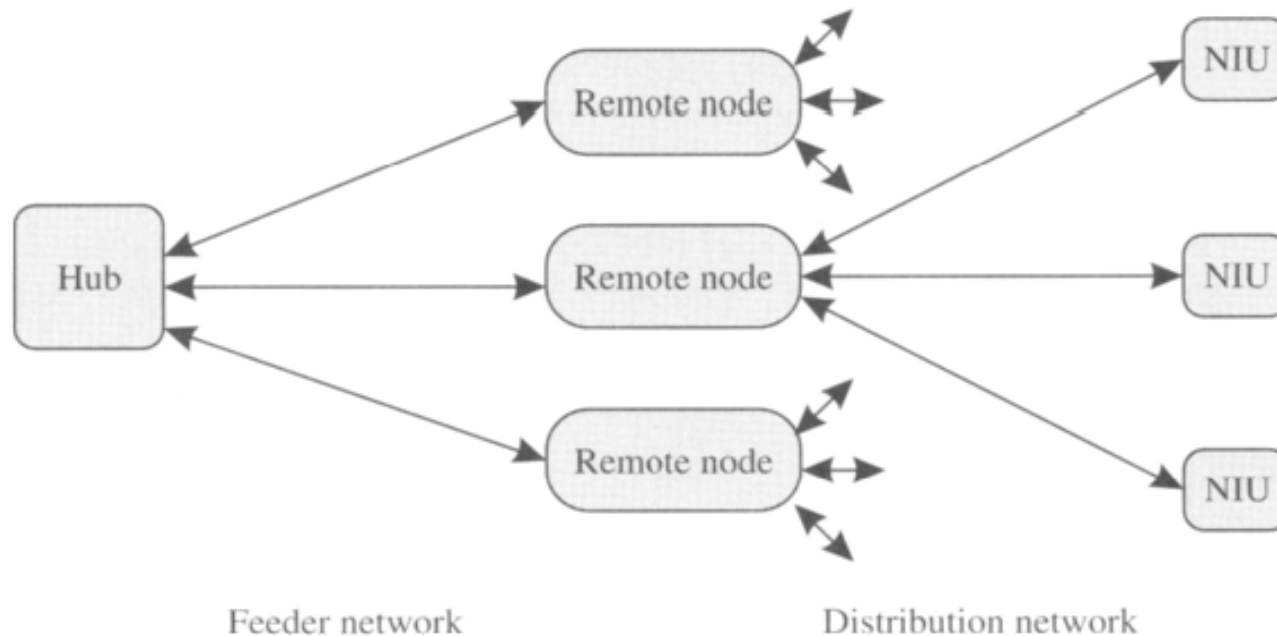


Figure 11.1 Architecture of an access network. It consists of a hub, which is a telephone company central office or cable company head end, remote nodes deployed in the field, and network interface units that serve one or more individual subscribers.

Kiến trúc mạng truy nhập

- Hub
 - Nằm phía nhà cung cấp
- NIU: Network Interface Unit
 - Nằm phía người sử dụng
 - Nối với 1 người dùng hoặc 1 doanh nghiệp
- Remote Node
 - Trong mạng broadcast, RN phân phối dữ liệu từ Hub đến mọi NIU
 - Trong mạng switched, RN nhận dữ liệu từ Hub và phân phối các luồng khác nhau đến các NIU

Phân loại mạng truy nhập

Distribution Network	Feeder Network	
	Shared BW	Dedicated BW
Broadcast	CATV (HFC), TPON	WPON
Switched		Telephony, DSL, WRPON

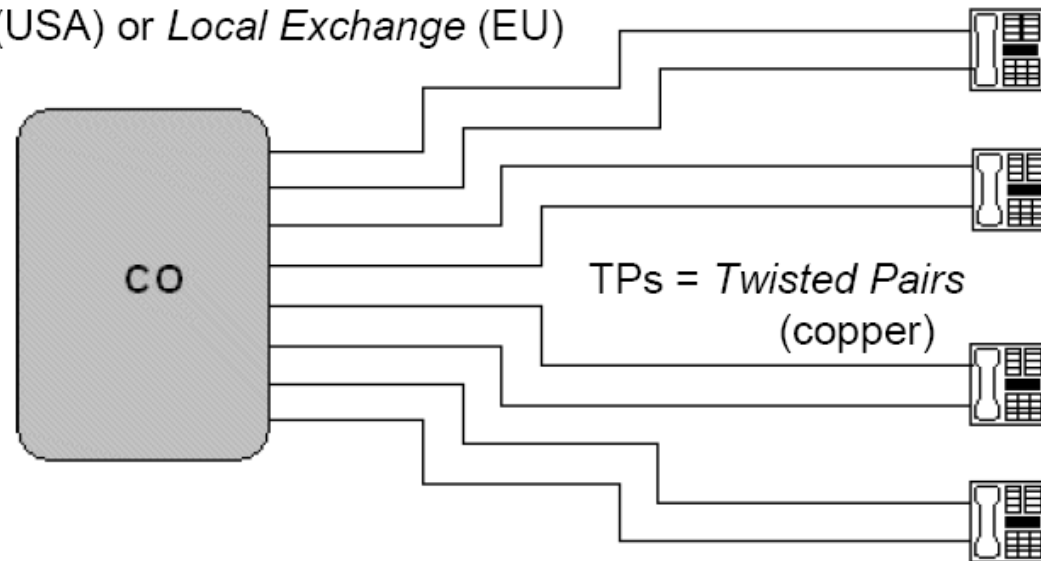
HFC = *Hybrid Fiber Coaxial*; DSL : *Digital Subscriber Loop*; PON : *Passive Optical Network*;
T = *Telephony*; W : *Wavelength*; WR = *Wavelength Routed*; BW = *BandWidth*.

- Mạng điện thoại
- Mạng truyền hình cáp
- Mạng FTTH

Mạng điện thoại nội bộ

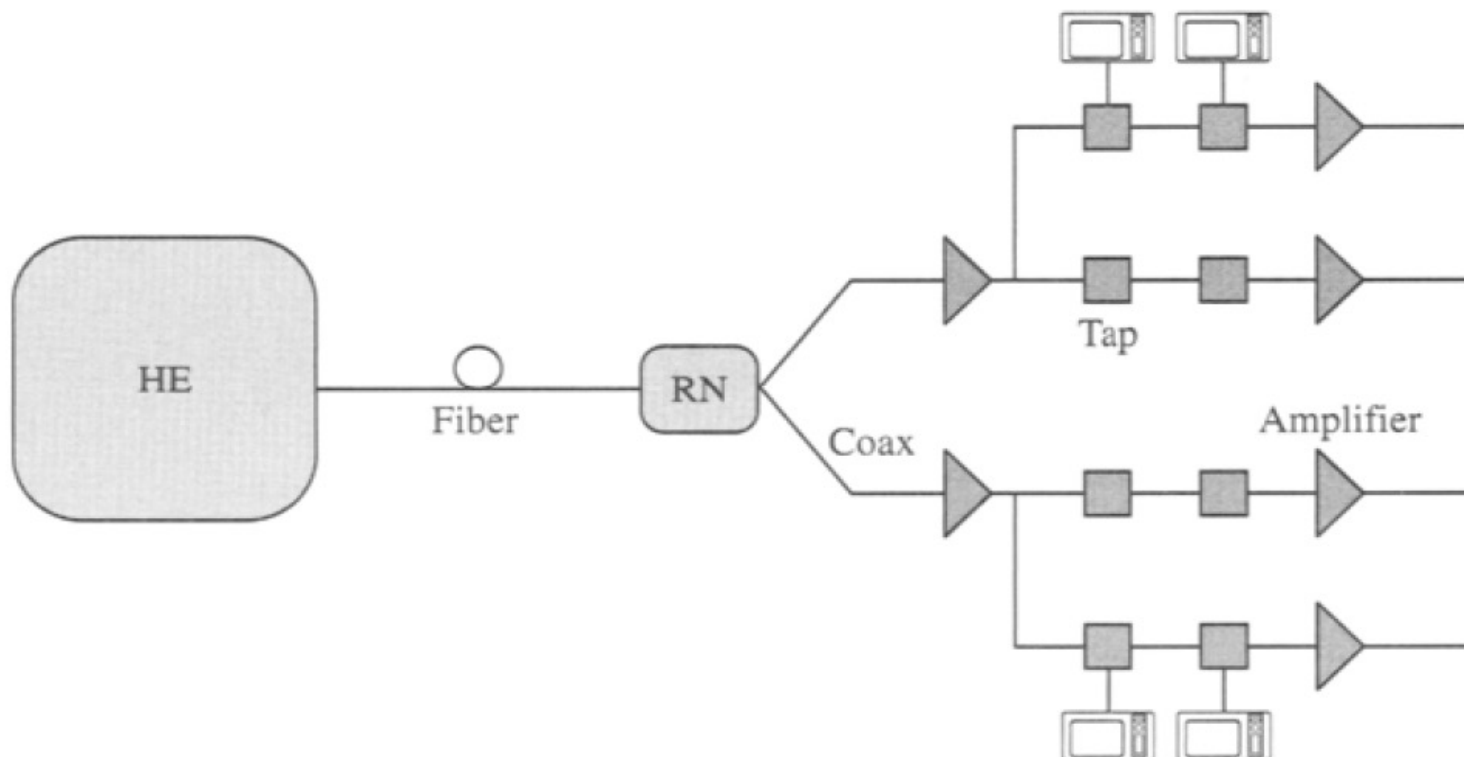
- Sử dụng cáp xoắn

CO = *Central Office (USA) or Local Exchange (EU)*



Mạng truyền hình cáp

- Dùng cả cáp đồng trục và cáp quang
 - Hybrid Fiber Coaxial cable: HFC
- HE: headend



Mạng truy nhập quang: FTTx

- Dữ liệu được truyền trên cáp quang trong mạng phân phối (distribution network) cho đến ONU (Optical Network Unit)
 - Mong muốn: Cáp quang đến gần thuê bao nhất
- **FTTCab** (*Fiber To The Cabinet*): Cáp quang kết thúc ở một cabinet, dưới 1km cuối đến thuê bao dùng mạng phân phối cáp đồng.
- **FTTC** (*Fiber To The Curb*) / **FTTB** (*Fiber To The Building*); ONU phục vụ một số thuê bao (8 to 64); từ ONU đến NIU dùng cáp đồng (dưới 100m)
- **FTTH** (*Fiber To The Home*); ONUs thực hiện chức năng của NIUs;

Mạng truy nhập quang: FTTx

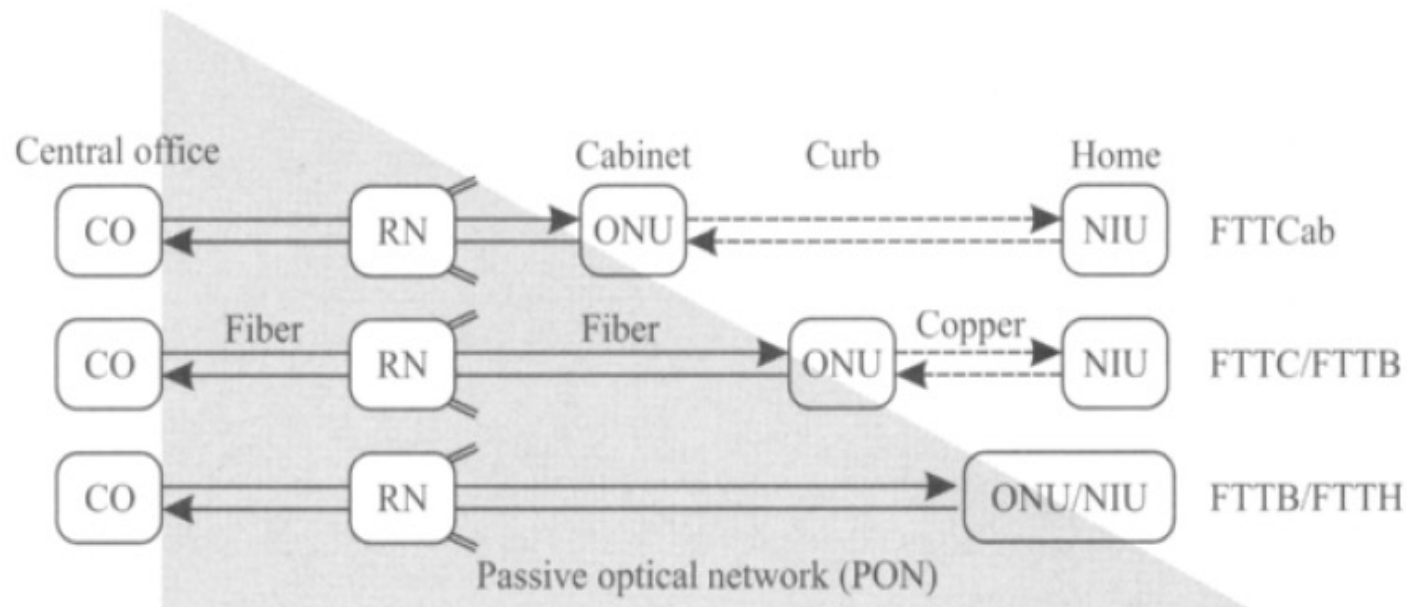
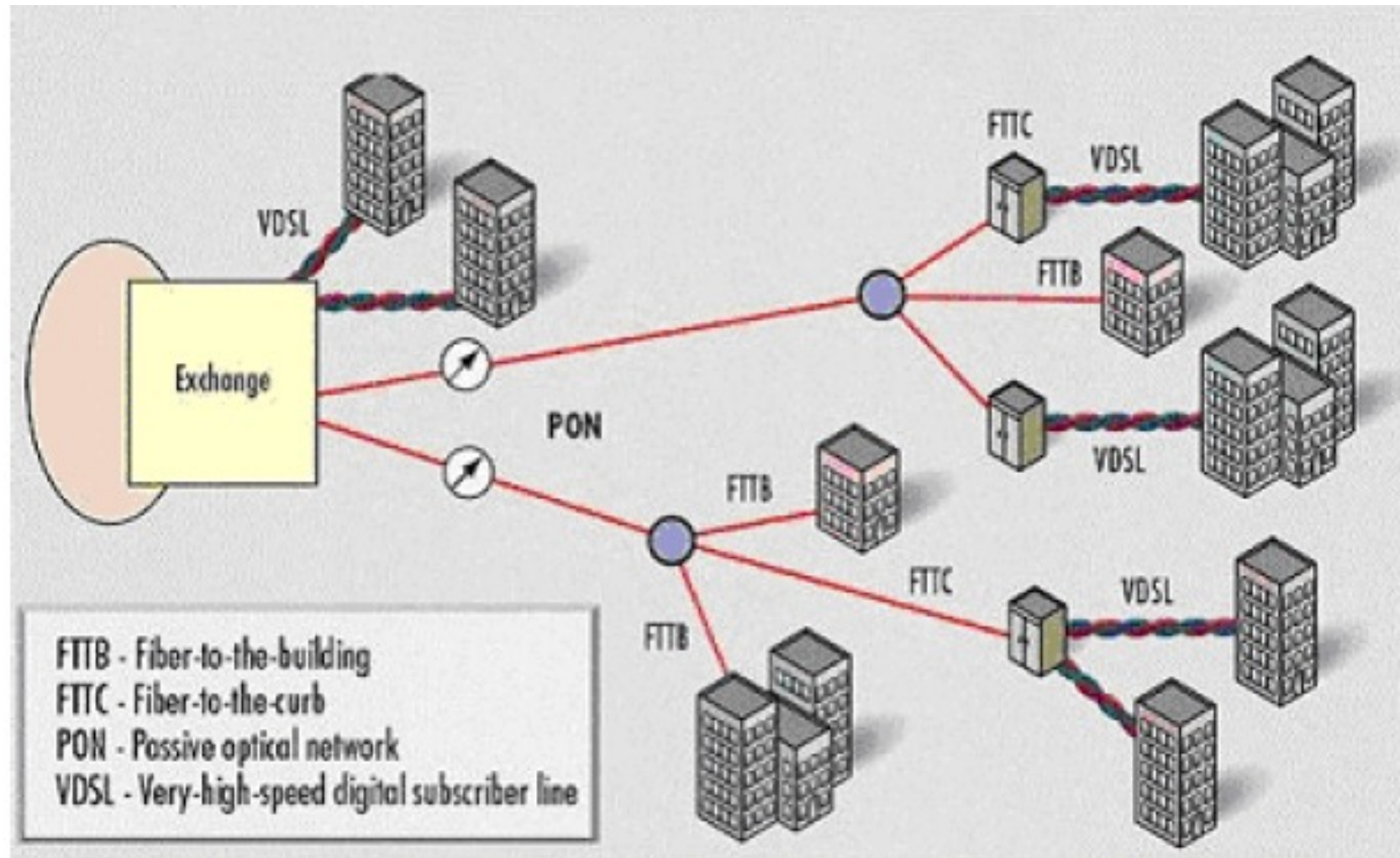


Figure 11.5 Different types of fiber access networks, based on how close the fiber gets to the end user. In many cases, the remote node may be located at the central office itself. The ONUs terminate the fiber signal, and the links between the ONUs and the NIUs are copper based.

Mạng truy cập FTTx



AON vs. PON

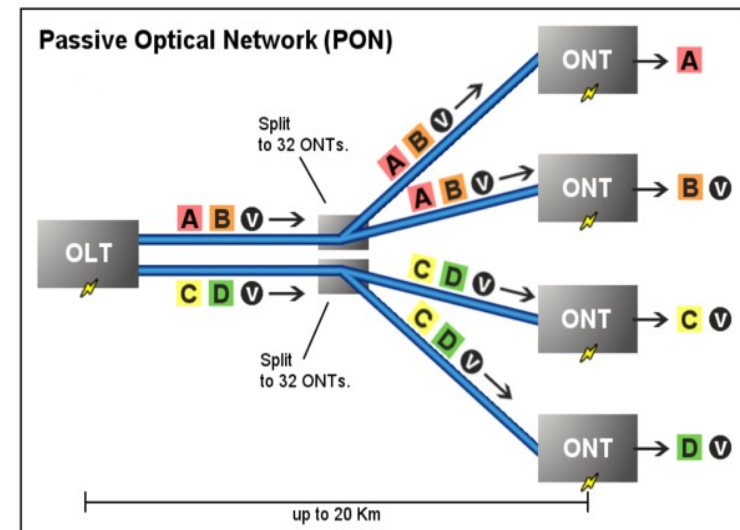
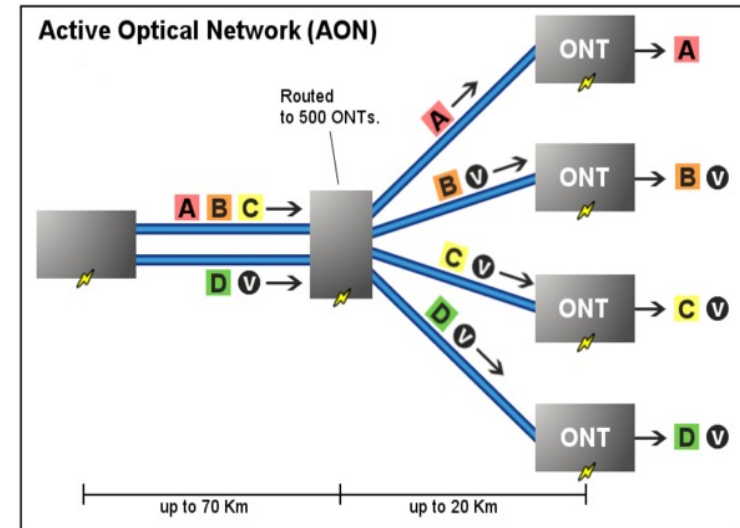
Remote Node (Distribution nodes) chia dữ liệu về các đích.

AON: Active Optical Network

- là mạng sử dụng công nghệ chủ động (Remote Node tiêu thụ điện)
- Remote node phân tích và định tuyến riêng các gói tin theo địa chỉ đích
- Khoảng chạy cáp có thể dài đến 100km

PON: Passive Optical Network

- Là mạng sử dụng công nghệ thụ động, (Remote Node không tiêu thụ điện)
- Remote node (Splitter) không phân tích mà chỉ lặp tín hiệu trên tất cả các cổng ra
- Upstream: MUX từ các nguồn khác nhau bằng TDM (TDM PON) hoặc WDM (WDM PON)
- Khoảng chạy cáp giới hạn 20km



Key: A - Data or voice for a single customer. V - Video for multiple customers.

Kiến trúc PON

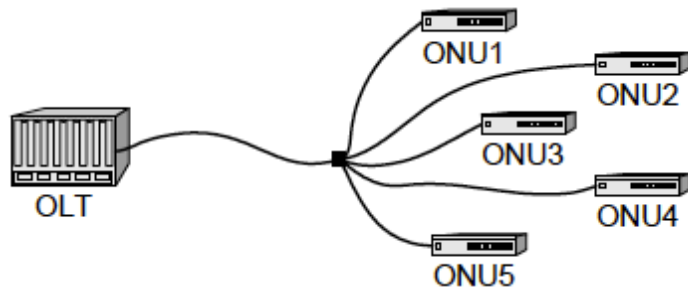
- Kiến trúc mạng giữa CO và ONU
- RN: thiết bị thụ động, là một bộ chia nhánh hình sao hoặc bộ định tuyến tĩnh theo bước sóng
- Tín hiệu thường được broadcast giữa CO-ONU và chia sẻ băng thông theo cơ chế TDM tại ONU

Architecture	Shared Fiber	Power Splitting	Data Rate at the ONU	Node Synchronization	Shared CO
AF (<i>All Fiber</i>)	No	None	1	No	No
TPON	Yes	$1/N$	N	Yes	Yes
WPON	Yes	$1/N$	1	Yes	No
WRPON	Yes	None	1	Yes	Yes

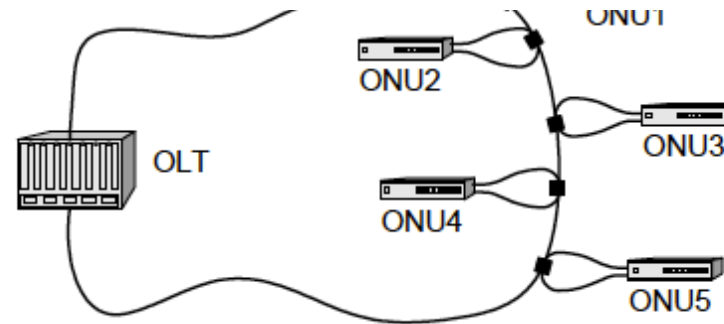
N : number of ONUs in the network.

Data Rate: 1 means that ONU operates at the rate of the traffic delivered to it, instead of the aggregate rate N .

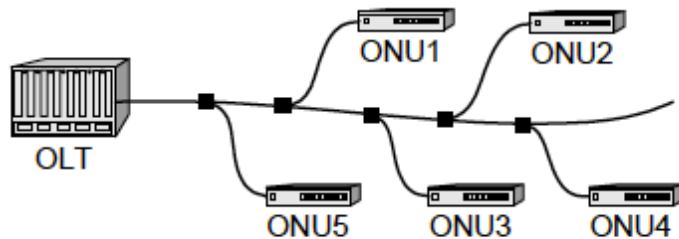
Topo PON



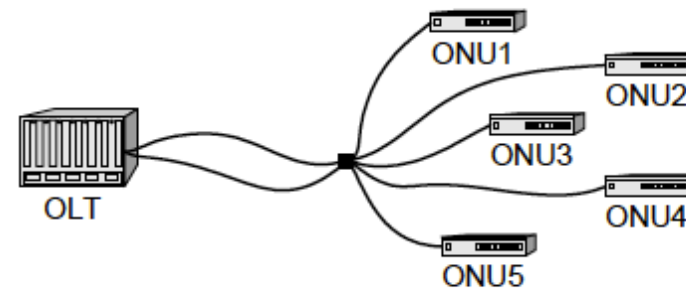
(a) Tree topology (using 1:N splitter)



(c) Ring topology (using 2x2 tap couplers)



(b) Bus topology (using 1:2 tap couplers)

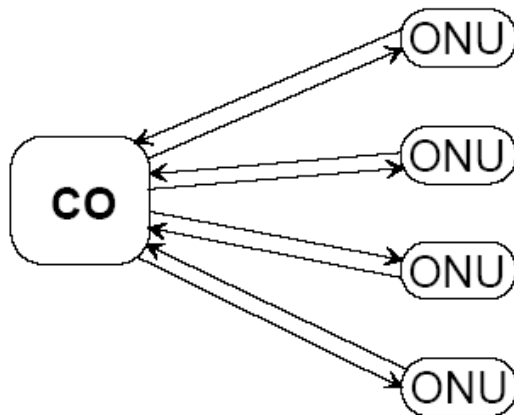


(d) Tree with redundant trunk (using 2:N splitter)

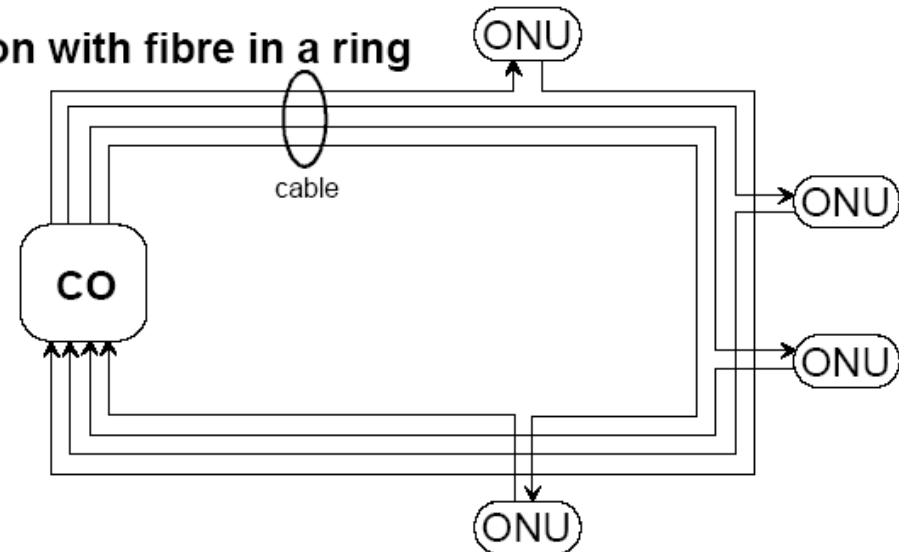
Kiến trúc AF (all fiber)

- Một cặp cáp nối CO với mỗi ONU
- Giá thành tỉ lệ với số ONU và chi phí bảo trì cáp
- Sử dụng trong phạm vi nhỏ như doanh nghiệp

Solution with point-to-point fibre



Solution with fibre in a ring



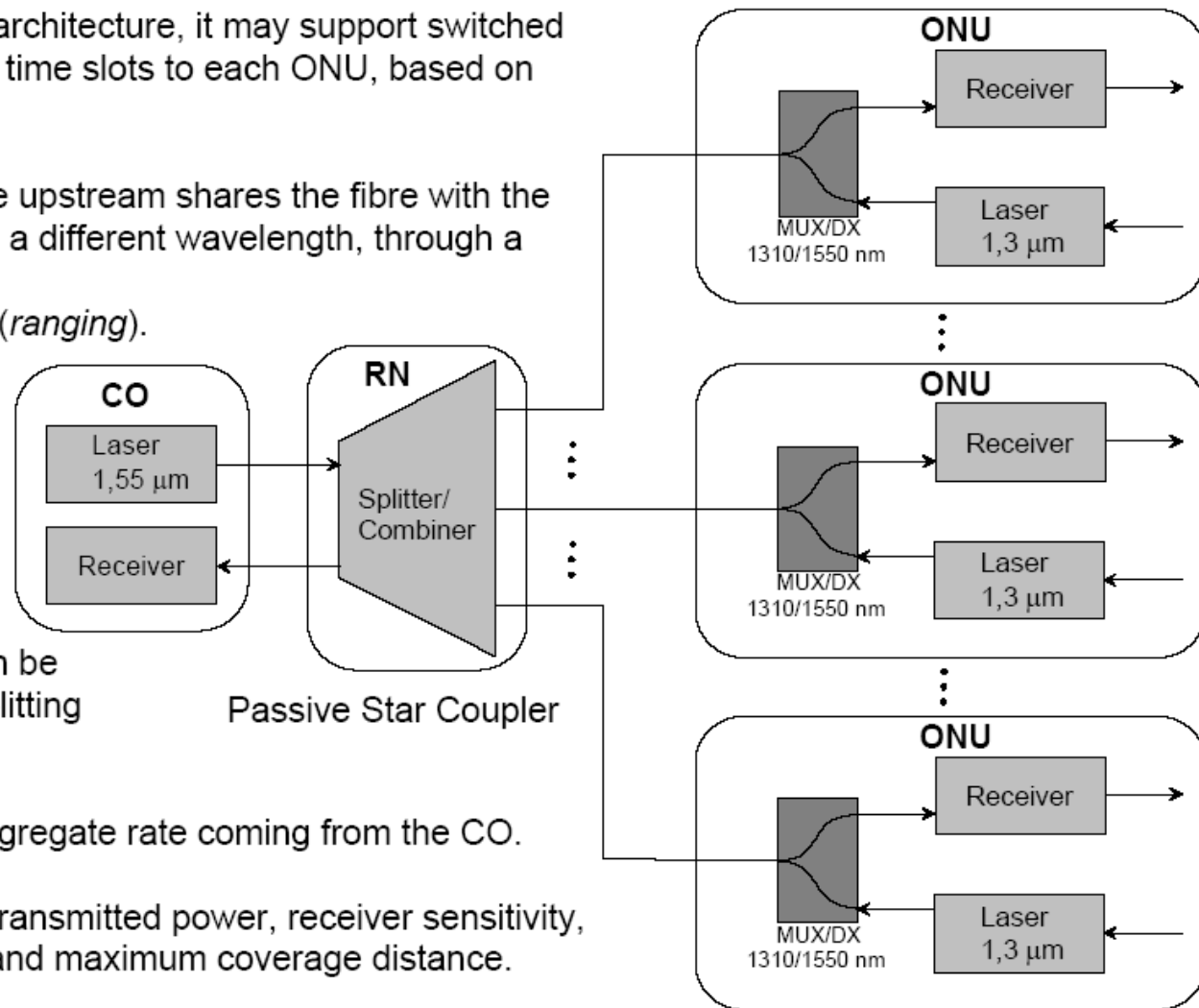
Kiến trúc Telephone PON (TPON)

- In spite of being a broadcast architecture, it may support switched services by assigning specific time slots to each ONU, based on its bandwidth needs.
- In the distribution network, the upstream shares the fibre with the downstream by using TDM, in a different wavelength, through a coupler.
- ONUs must be synchronized (*ranging*).

ONU

Rx: pin FET
Tx: LED or FP laser

- The number of ONUs that can be supported is limited by the splitting losses at the RN.
- ONUs must operate at the aggregate rate coming from the CO.
- There is a trade off between transmitted power, receiver sensitivity, data rate, number of ONUs, and maximum coverage distance.

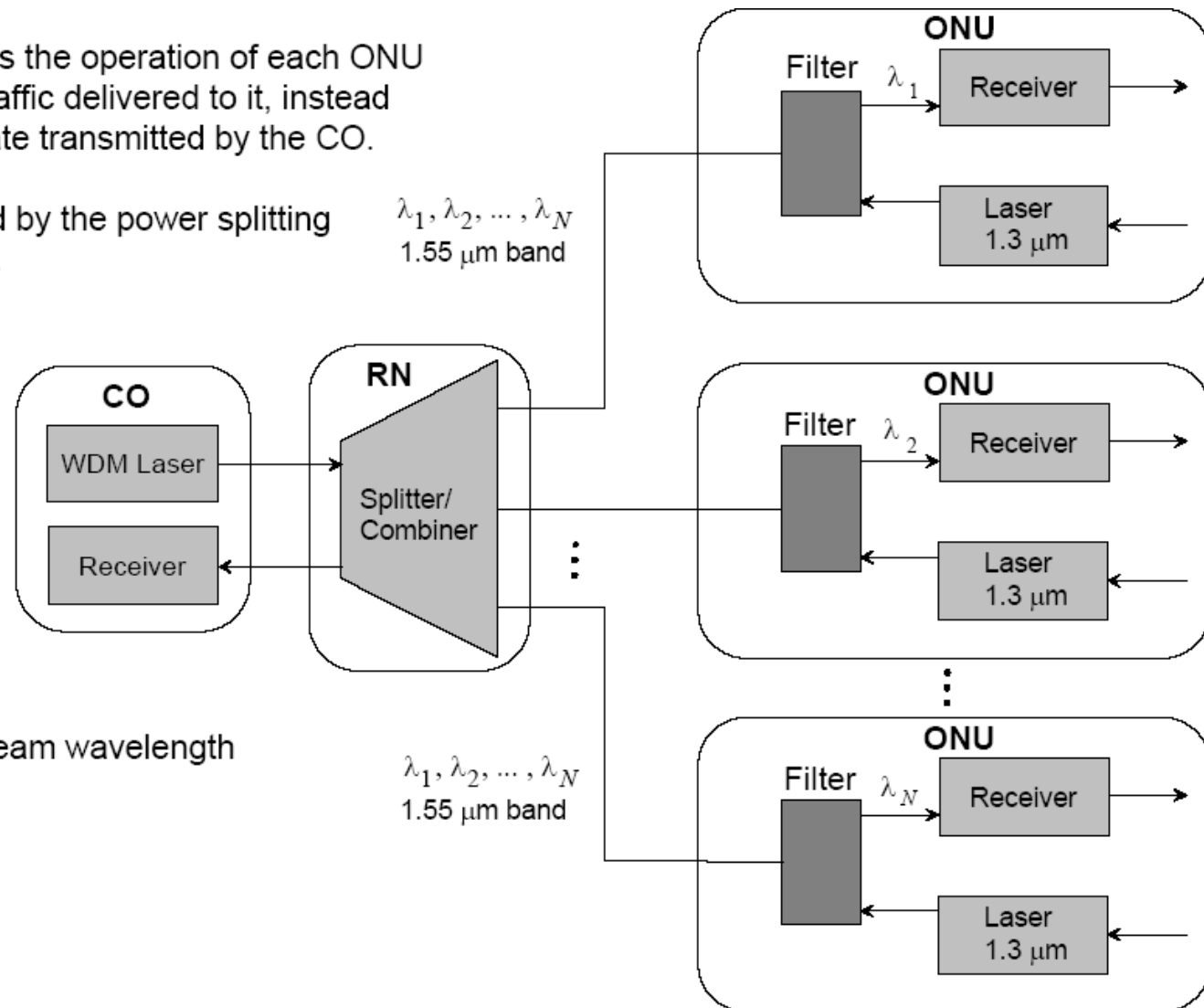


WPON (WDM PON)

- This architecture enables the operation of each ONU at the data rate of the traffic delivered to it, instead of the aggregate data rate transmitted by the CO.
- However, it is still limited by the power splitting at the star coupler (RN).

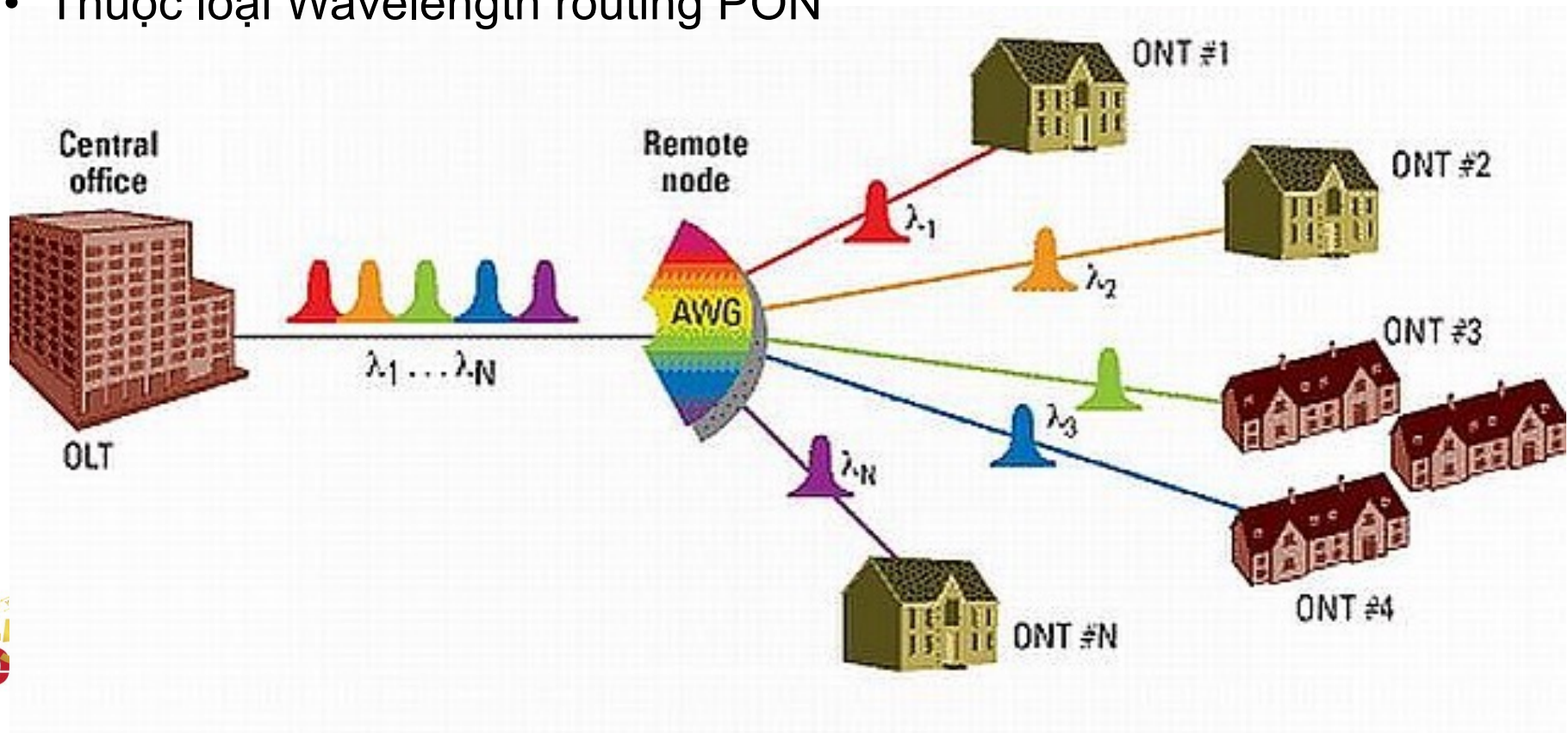
Tx at the CO:
Array of Lasers
or Tuneable Laser

- ONUs share the upstream wavelength of 1.3 μm , with TDM.



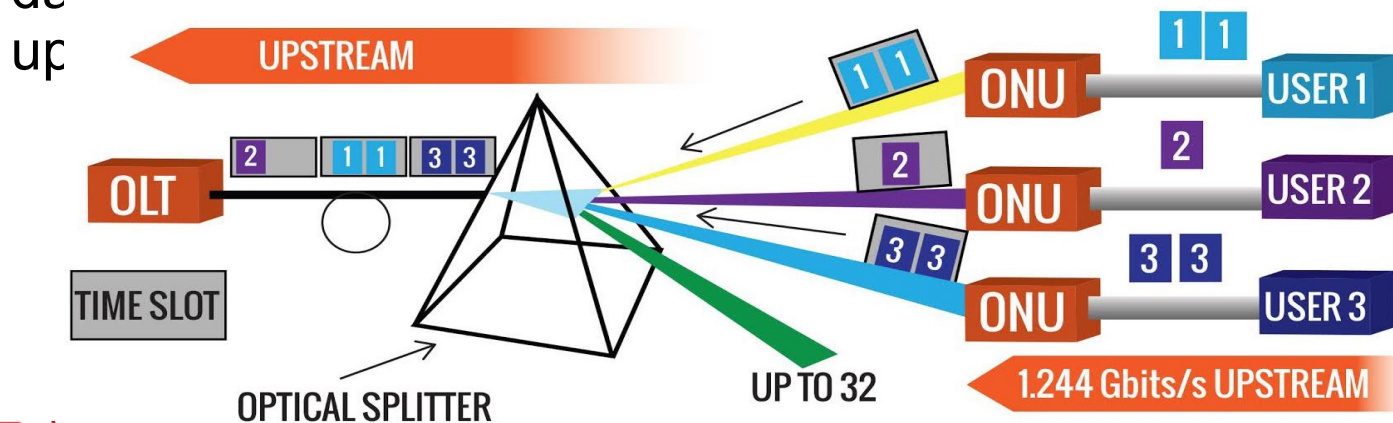
WRPON (Wavelength Routed PON)

- Được phát triển bởi các công ty, chưa chuẩn hóa
- Mỗi ONT sử dụng một bước sóng để truyền dữ liệu
- Remote node là AWG thiết bị có khả năng tách ghép các bước sóng, thực hiện MUX/DEMUX theo bước sóng chiều xuống và lên.
- Thuộc loại Wavelength routing PON



GPON: Gigabit Capable PON

- GPON có thể dùng để tải nhiều dữ liệu của các giao thức khác nhau: Ethernet, ATM, voice ...
- Dữ liệu từ OLT đến người dùng chia sẻ kênh chung giữa OLT và RN
 - Downstream broadcast
 - Upstream TDM
 - Các gói được đóng trong khung dữ liệu GPON có trường định danh người nhận (chỉ dành cho downstream), người gửi (chỉ dành cho upstream)



EPON: Ethernet PON

- EPON: PON vận chuyển dữ liệu là các frame Ethernet
- Chiều xuống (down stream)
 - Quảng bá dữ liệu chung

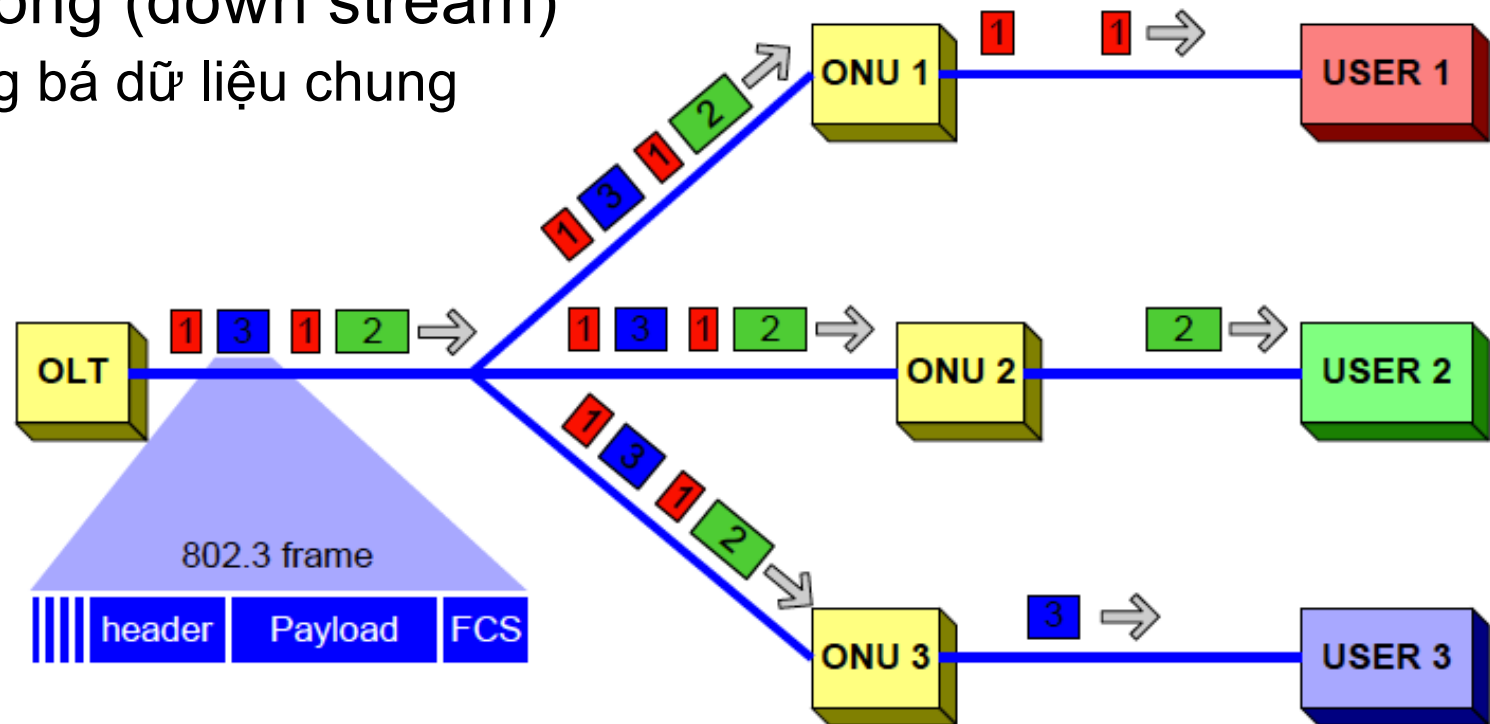


Figure 8-6. Downstream traffic in EPON.

EPON

- Chiều lên (Upstream): dồn kênh theo thời gian (TDM) trực tiếp các gói Ethernet của người dùng từ các nguồn khác nhau vào kết nối chung OLT-RN
- EPON thuộc loại TDM PON

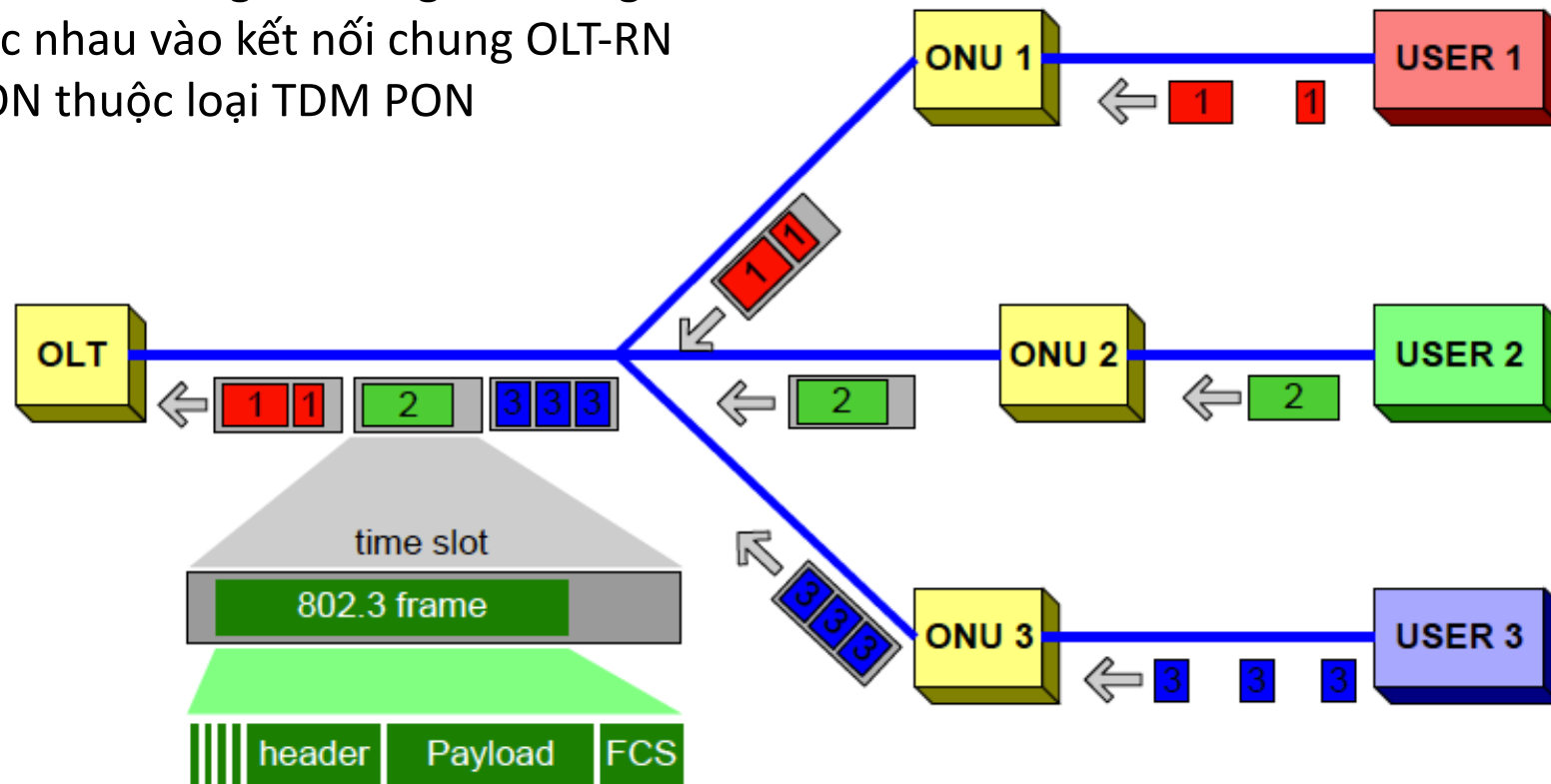


Figure 8-7. Upstream traffic in EPON.