

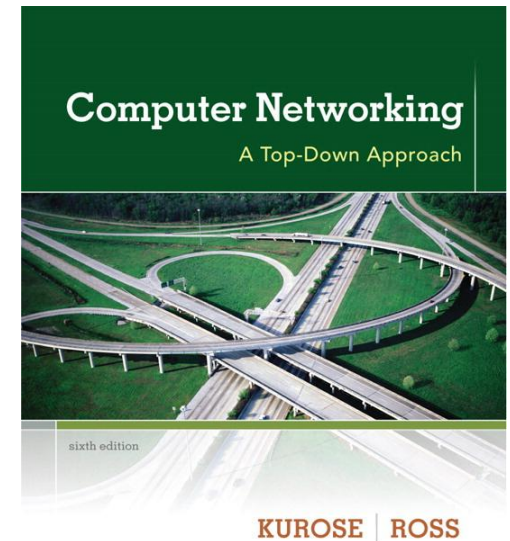
Chương 5

Tầng liên kết

Người dịch: Nguyễn Thanh Thủy

Tài liệu được dịch cho mục đích giảng dạy (được sự đồng ý của tác giả).

© All material copyright 1996-2012
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



*Computer
Networking: A Top
Down Approach
6th edition
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley
March 2012*

Chương 5: Tầng liên kết

Mục tiêu:

- ❖ Hiểu được các nguyên lý của các dịch vụ tầng liên kết
 - Phát hiện và sửa lỗi
 - Chia sẻ kênh truyền chung (broadcast channel): đa truy nhập
 - Định địa chỉ tầng liên kết
 - Các mạng cục bộ: Ethernet, VLANs
- ❖ Cài đặt và hiện thực các công nghệ tầng mạng khác nhau

Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

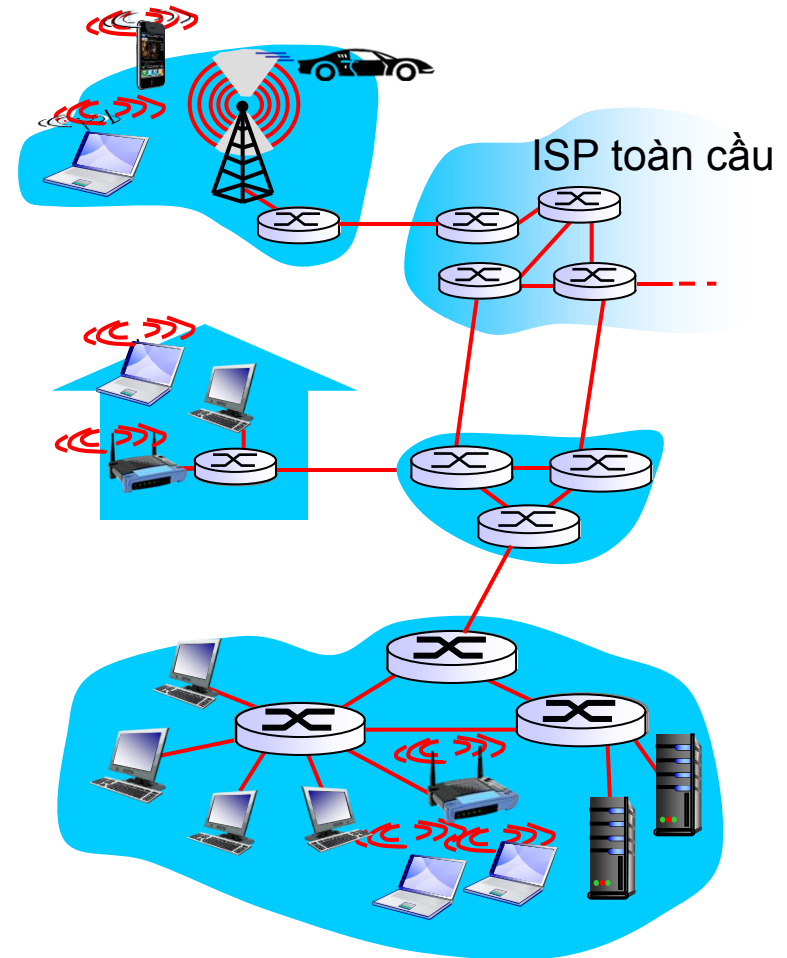
5.7 Vòng đời của một yêu cầu web

Tầng liên kết: giới thiệu

Thuật ngữ:

- ❖ Các host và các router: **các nút mạng (node)**
- ❖ Các kênh truyền thông kết nối giữa các nút lân cận theo đường truyền thông: gọi là các liên kết (hay các kết nối, **link**)
 - Các liên kết có dây
 - Các liên kết không dây
 - Các LAN
- ❖ Gói tin tầng 2: **khung (frame)**, đóng gói datagram

Tầng liên kết dữ liệu có trách nhiệm truyền datagram từ một nút đến nút **vật lý lân cận** qua một liên kết



Tầng liên kết: ngữ cảnh

- ❖ Datagram được truyền bởi các giao thức liên kết khác nhau qua các liên kết khác nhau:
 - Ví dụ: Ethernet trên liên kết thứ nhất, frame relay trên các liên kết trung gian, 802.11 trên liên kết cuối cùng.
- ❖ Mỗi giao thức liên kết cung cấp các dịch vụ khác nhau.
 - Ví dụ: có thể hoặc không cung cấp truyền tin cậy (rdt) qua liên kết

Tương tự giao thông:

- ❖ Chuyển đi từ Princeton tới Lausanne
 - Ô tô: Princeton tới JFK
 - Máy bay: JFK tới Geneva
 - Tàu điện: Geneva tới Lausanne
- ❖ Khách du lịch = **datagram**
- ❖ Đoạn đường đi = **liên kết truyền thông**
- ❖ Kiểu vận chuyển = **Giao thức tầng giao vận**
- ❖ Đại lý du lịch = **Giải thuật định tuyến**

Các dịch vụ tầng liên kết

❖ *Tạo khung dữ liệu, truy nhập liên kết*

- Đóng gói datagram vào trong frame, thêm phần tiêu đề (header), phần đuôi (trailer)
- Truy nhập kênh truyền nếu được chia sẻ
- Các địa chỉ “MAC” được sử dụng trong các tiêu đề của khung để xác định địa chỉ nguồn, đích
 - Khác với địa chỉ IP!

❖ *Truyền tin cậy giữa các nút lân cận*

- Đã được học (trong chương 3)!
- Ít khi được dùng trên liên kết có tỷ lệ lỗi thấp (cáp quang, một số loại cáp xoắn)
- Các liên kết không dây: tỷ lệ lỗi cao
 - *Hỏi:* Tại sao cần truyền tin cậy trên cả mức liên kết và mức đầu cuối-đến-đầu cuối?

Các dịch vụ tầng liên kết (tiếp)

❖ *Điều khiển luồng*

- Điều khiển tốc độ giữa các nút gửi và nhận kề nhau

❖ *Phát hiện lỗi*

- Lỗi là do suy giảm tín hiệu, nhiễu
- Bên nhận phát hiện ra sự xuất hiện của các lỗi:
 - Thông báo cho bên gửi truyền lại hoặc loại bỏ frame đó

❖ *Sửa lỗi*

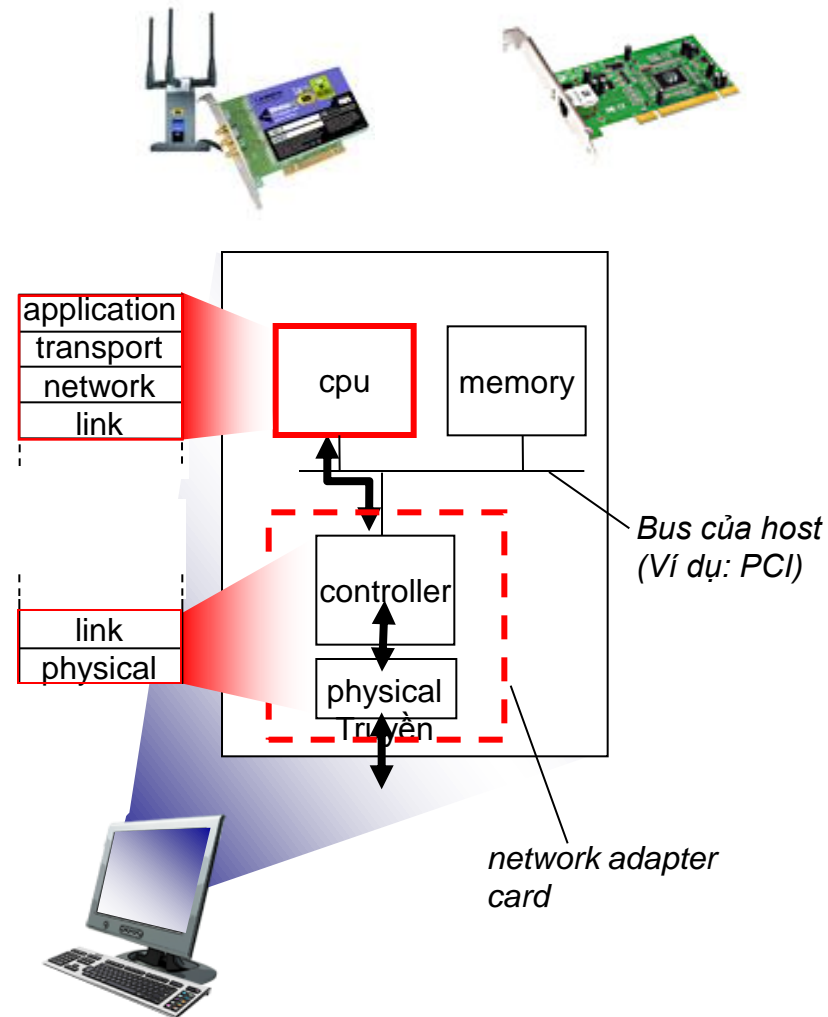
- Bên nhận xác định *và sửa* các lỗi bit mà không cần phải yêu cầu truyền lại

❖ *Bán song công (half-duplex) và song công (full-duplex)*

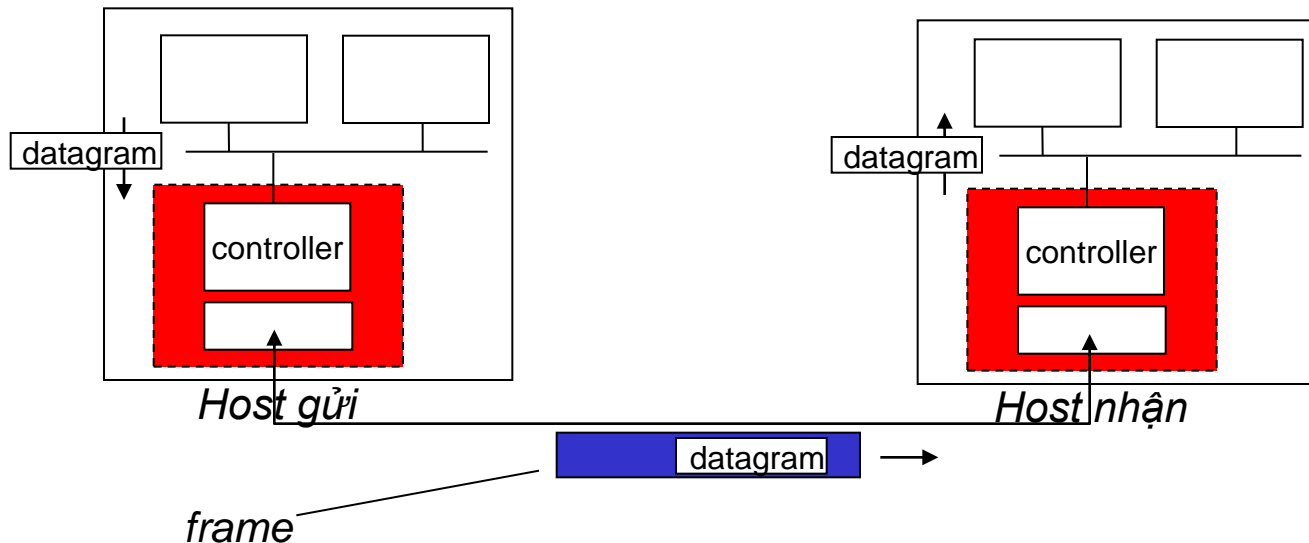
- Với bán song công, cả hai đầu cuối của liên kết đều có thể truyền, nhưng không được truyền tại cùng một thời điểm.

Tầng liên kết được cài đặt ở đâu?

- ❖ Tại tất cả các host
- ❖ Tầng liên kết được cài đặt tại “adaptor” (còn được gọi là *thẻ giao diện mạng (network interface card - NIC)* hoặc trên chip
 - Ethernet card, 802.11 card; Ethernet chipset
 - Cài đặt tầng liên kết và tầng vật lý
- ❖ Gắn vào bên trong các bus hệ thống của host
- ❖ Kết hợp phần cứng, phần mềm, phần sụn (firmware)



Các adaptor truyền thông



❖ Phía gửi:

- Đóng gói datagram trong frame
- Bổ sung kiểm tra lỗi bit, rdt, điều khiển luồng,...

❖ Phía nhận:

- Kiểm tra lỗi, rdt, điều khiển luồng,...
- Trích xuất datagram, chuyển lên tầng cao hơn tại phía nhận

Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

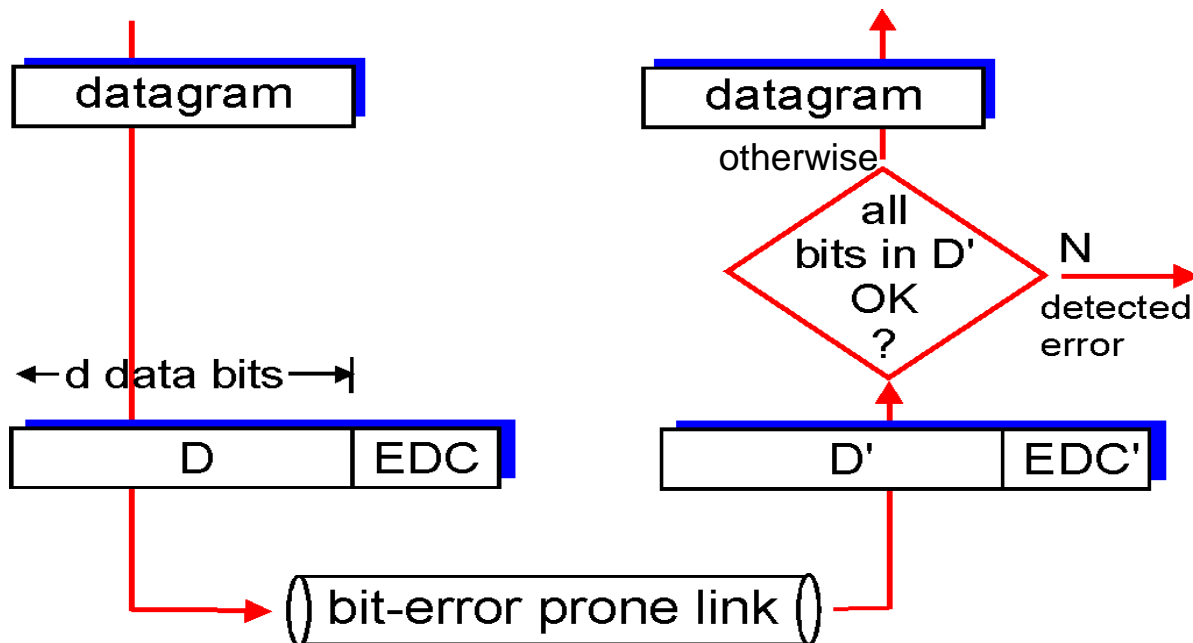
Phát hiện lỗi

EDC= Các bit dùng để phát hiện và sửa lỗi (Error Detection and Correction bits) (dư thừa)

D = Dữ liệu được bảo vệ bằng cách kiểm tra lỗi, có thể bao gồm cả các trường trong phần tiêu đề.

Phát hiện lỗi không thể đảm bảo tin cậy 100%!

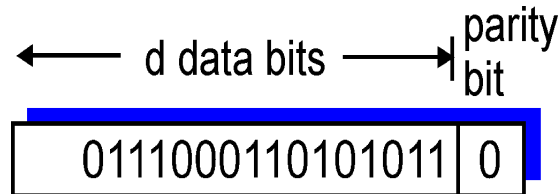
- Giao thức có thể bỏ lỡ một vài lỗi, nhưng rất hiếm khi
- Trường EDC càng lớn thì càng tốt hơn cho việc phát hiện và sửa lỗi.



Kiểm tra Parity

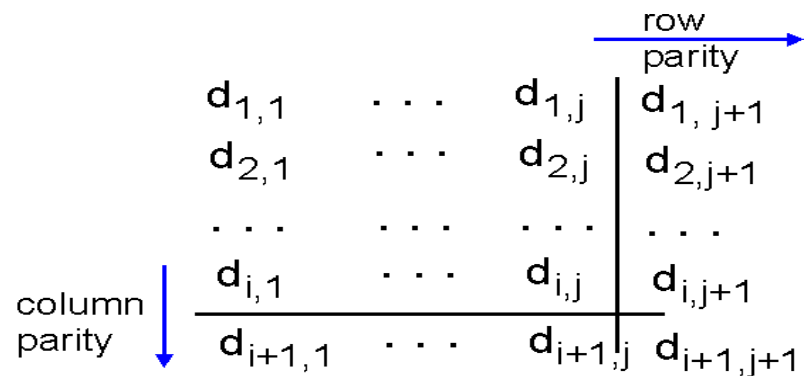
Bit parity đơn:

- ❖ Phát hiện các lỗi bit đơn



Bit parity hai chiều:

- ❖ Phát hiện và sửa các lỗi bit đơn



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

no errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

parity error

*correctable
single bit error*

Internet checksum (xem lại)

Mục tiêu: phát hiện “các lỗi” (ví dụ: các bit bị đảo ngược) trong gói tin được truyền (chú ý: *chỉ* được dùng tại tầng giao vận).

Bên gửi:

- ❖ Xử lý các nội dung segment như là chuỗi các số nguyên 16-bit
- ❖ checksum: bổ sung (tổng bù 1) vào nội dung của segment
- ❖ Bên gửi đặt giá trị checksum vào trong trường UDP checksum

Bên nhận:

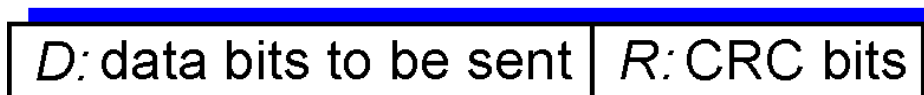
- ❖ Tính toán checksum của segment nhận được
- ❖ Kiểm tra xem checksum đã được tính có bằng giá trị của trường checksum hay không:
 - KHÔNG – có phát hiện lỗi
 - Có – không phát hiện ra lỗi. *Nhưng có thể có những lỗi khác?*

Kiểm tra dư thừa theo chu kỳ

(Cyclic redundancy check - CRC)

- ❖ Có nhiều tiềm năng phát hiện lỗi hơn
- ❖ coi các bit dữ liệu **D** như là số nhị phân
- ❖ Chọn mẫu **G** có $r+1$ bit
- ❖ Mục tiêu: chọn r bit CRC, **R**, như sau:
 - $\langle D, R \rangle$ chia hết cho G (theo mô đun 2)
 - Bên nhận biết G , chia $\langle D, R \rangle$ cho G . Nếu số dư khác 0: phát hiện lỗi!
 - Có thể phát hiện tất cả các lỗi nhỏ hơn $r+1$ bit
- ❖ Được sử dụng phổ biến trong thực tế (Ethernet, 802.11 WiFi, ATM)

← d bits → ← r bits →



*bit
pattern*

$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

*mathematical
formula*

Ví dụ CRC

Muốn:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

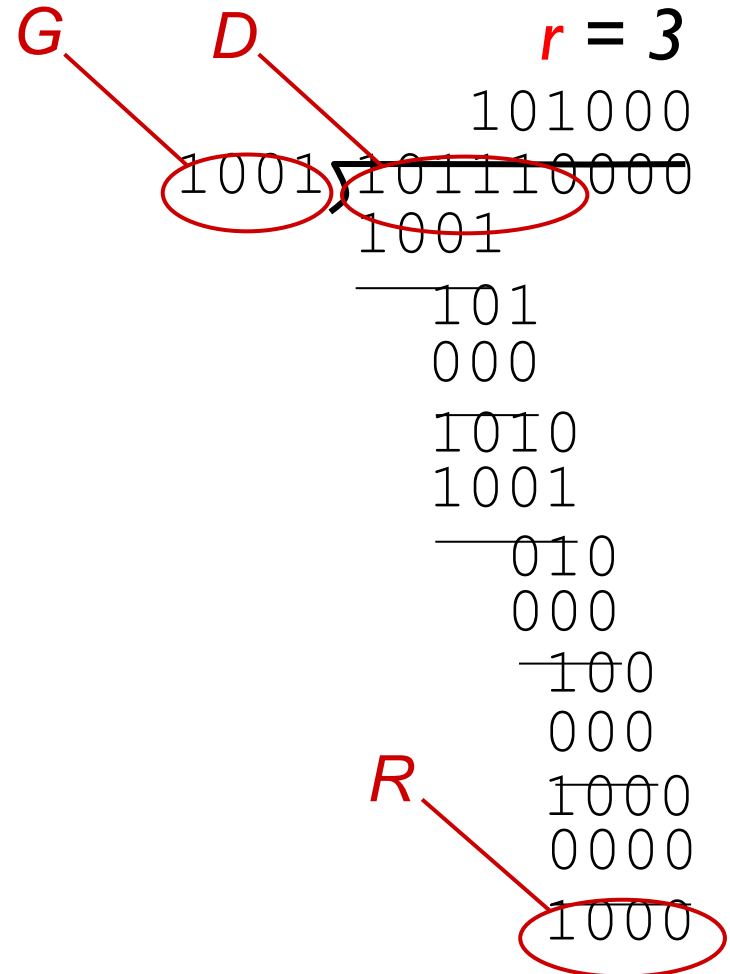
Tương đương:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

Tương đương:

Nếu lấy G chia cho $D \cdot 2^r$,
muốn phần còn lại R
thỏa mãn:

$$R = \text{phần dư của } \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

Các giao thức và các liên kết đa truy nhập

Có hai loại “liên kết”:

❖ Điểm-nối-điểm (Point-to-point)

- PPP cho truy nhập dial-up
- Liên kết point-to-point giữa các host, switch Ethernet

❖ *Quảng bá (broadcast) (chia sẻ đường truyền chung)*

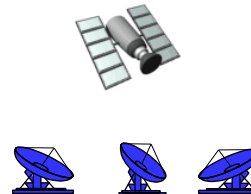
- Ethernet mô hình cũ
- upstream HFC
- 802.11 wireless LAN (LAN không dây)



Chia sẻ đường truyền
(Ví dụ: cabled Ethernet)



Chia sẻ RF
(Ví dụ: 802.11 WiFi)



Chia sẻ RF
(vệ tinh)



Con người tại bữa tiệc
cocktail (chia sẻ không
khí, âm thanh)

Các giao thức đa truy nhập

- ❖ Kênh quảng bá (broadcast) được chia sẻ
- ❖ Hai hoặc nhiều nút muốn truyền: giao thoa
 - *Tranh chấp (đụng độ, collision)* xảy ra khi nút nhận được hai hay nhiều tín hiệu tại cùng một thời điểm.

Giao thức đa truy nhập

- ❖ Giải thuật phân quyền xác định cách các nút chia sẻ kênh truyền, ví dụ: xác định khi nào nút có thể được truyền.
- ❖ Truyền thông về chia sẻ kênh phải dùng chính kênh đó!
 - Không có kênh riêng để điều phối

Một giao thức đa truy nhập lý tưởng

Cho: Kênh quảng bá có tốc độ R bps

Mong muốn:

1. Khi một nút muốn truyền, nó có thể gửi đi với tốc độ R .
2. Khi M nút muốn truyền, mỗi nút có thể gửi đi với tốc độ trung bình là R/M .
3. Phân quyền hoàn toàn:
 - Không có nút đặc biệt cho việc điều phối truyền
 - Không có các khe (slot) hay đồng hồ đồng bộ
4. Đơn giản

Các giao thức MAC: Phân loại

Gồm 3 loại chính:

❖ *Phân chia kênh*

- Chia kênh thành các “phần” nhỏ hơn (khe thời gian, tần số, mã)
- Cấp phát các phần cho các nút để dùng riêng

❖ *Truy nhập ngẫu nhiên*

- Kênh không được phân chia, cho phép tranh chấp
- “Giải quyết” các tranh chấp

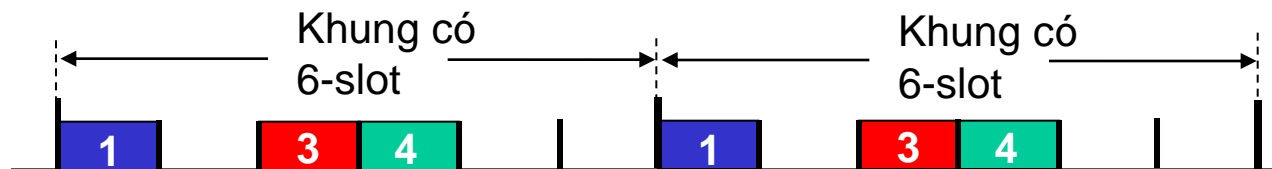
❖ *“Xoay vòng”*

- Các nút lần lượt xoay vòng, nhưng nút gửi nhiều hơn được nắm quyền truyền lâu hơn.

Giao thức MAC phân chia kênh: TDMA

TDMA: Đa truy nhập phân chia theo thời gian (time division multiple access)

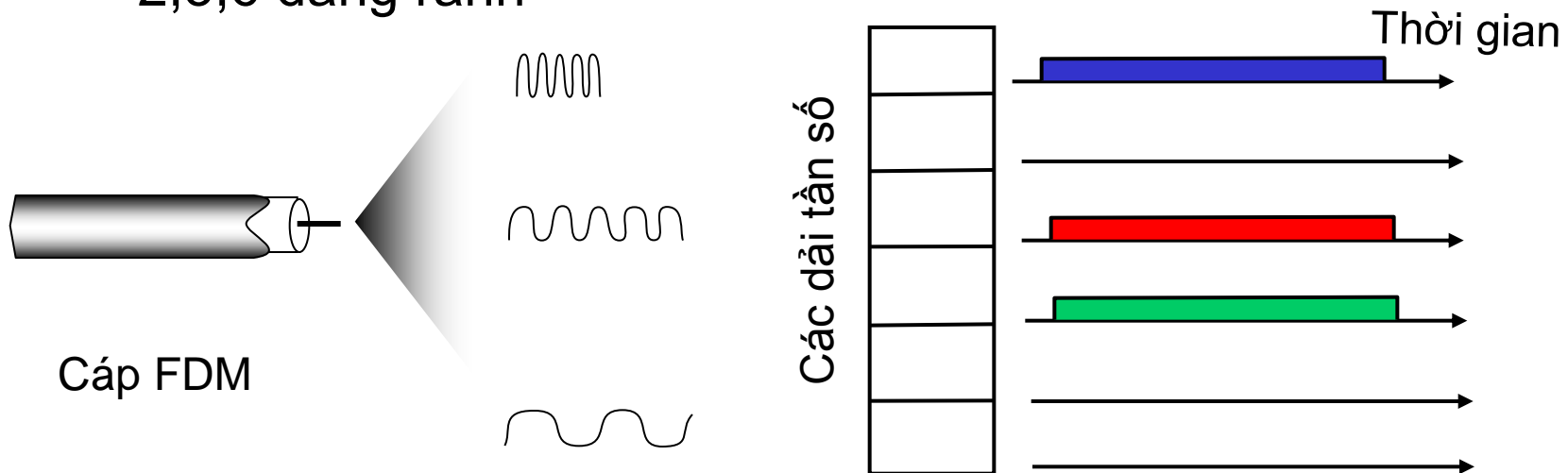
- ❖ Truy nhập tới kênh theo “các vòng”
- ❖ Mỗi trạm có một khe thời gian (slot) có độ dài cố định (độ dài = thời gian truyền gói) trong mỗi vòng
- ❖ Không được dùng các khe đang “rảnh” (không hoạt động - idle)
- ❖ Ví dụ: LAN có 6 trạm, các trạm 1,3,4 có các gói tin, các khe 2,5,6 đang rảnh.



Giao thức MAC phân chia kênh: FDMA

FDMA: Đa truy nhập phân chia theo tần số (frequency division multiple access)

- ❖ Phổ kênh truyền được chia theo các dải tần số
- ❖ Mỗi trạm được gán một dải tần số cố định
- ❖ Trong lúc truyền không được dùng các dải tần số “rảnh” khác.
- ❖ Ví dụ: LAN có 6 trạm, các trạm 1,3,4 có gói tin, các dải tần 2,5,6 đang rảnh



Giao thức truy nhập ngẫu nhiên

- ❖ Khi nút có gói cần gửi đi
 - Truyền dữ liệu với tốc độ của kênh truyền R.
 - Không có điều phối *ưu tiên* giữa các nút
- ❖ Khi hai hoặc nhiều nút truyền → “tranh chấp”,
- ❖ **Giao thức MAC truy nhập ngẫu nhiên** xác định:
 - Cách phát hiện ra tranh chấp
 - Cách giải quyết các tranh chấp (Ví dụ: thông qua truyền lại)
- ❖ Các ví dụ của giao thức MAC truy nhập ngẫu nhiên:
 - Chia slot ALOHA
 - ALOHA thuần nhất
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Chia Slot ALOHA

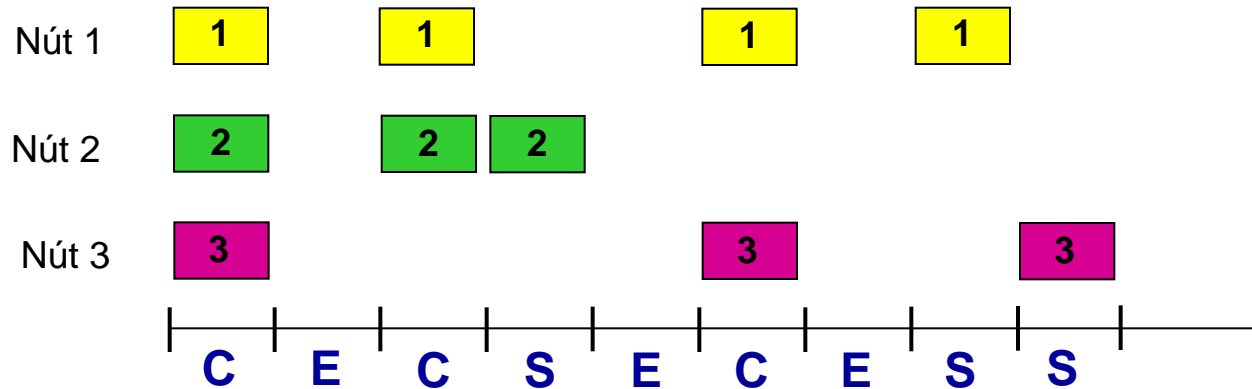
Giả thiết:

- ❖ Tất cả các frame có cùng kích thước
- ❖ Thời gian được chia thành các slot có kích thước bằng nhau (thời gian đủ để truyền 1 frame)
- ❖ Các nút bắt đầu truyền chỉ khi slot bắt đầu
- ❖ Các nút được đồng bộ hóa
- ❖ Nếu có 2 hoặc nhiều nút truyền trong một slot, thì tất cả các nút đều phát hiện có tranh chấp.

Hoạt động:

- ❖ Khi nút có một khung mới, nó được phép truyền trong slot tiếp theo.
 - *Nếu không có tranh chấp:* nút có thể gửi khung mới trong slot kế tiếp
 - *Nếu có tranh chấp:* nút truyền lại frame trong mỗi slot kế tiếp với xác suất bằng p cho đến khi thành công

Chia Slot ALOHA



Ưu điểm:

- ❖ Nút kích hoạt có thể truyền liên tục với tốc độ tối đa của kênh.
- ❖ Phân quyền cao: chỉ các slot trong các nút cần được đồng bộ
- ❖ Đơn giản

Nhược điểm:

- ❖ Có tranh chấp,
- ❖ Lãng phí các slot không hoạt động
- ❖ Các nút có thể phát hiện tranh chấp với thời gian ít hơn truyền gói
- ❖ Cần đồng hồ đồng bộ hóa

Chia slot ALOHA: Hiệu suất

Hiệu suất: là phần slot truyền thành công trong số nhiều frame cần truyền của nhiều nút.

- ❖ *Giả sử:* N nút với nhiều frame cần truyền, mỗi cuộc truyền trong slot có xác suất là p .
- ❖ Xác suất để một nút truyền trong một slot thành công là $p(1-p)^{N-1}$
- ❖ Xác suất để một nút *bất kỳ* truyền thành công là $Np(1-p)^{N-1}$

- ❖ Để tìm hiệu suất tối đa: tìm p^* để $Np(1-p)^{N-1}$ đạt giá trị lớn nhất
- ❖ Với nhiều nút, tìm giới hạn của $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ khi N tiến đến vô cùng:

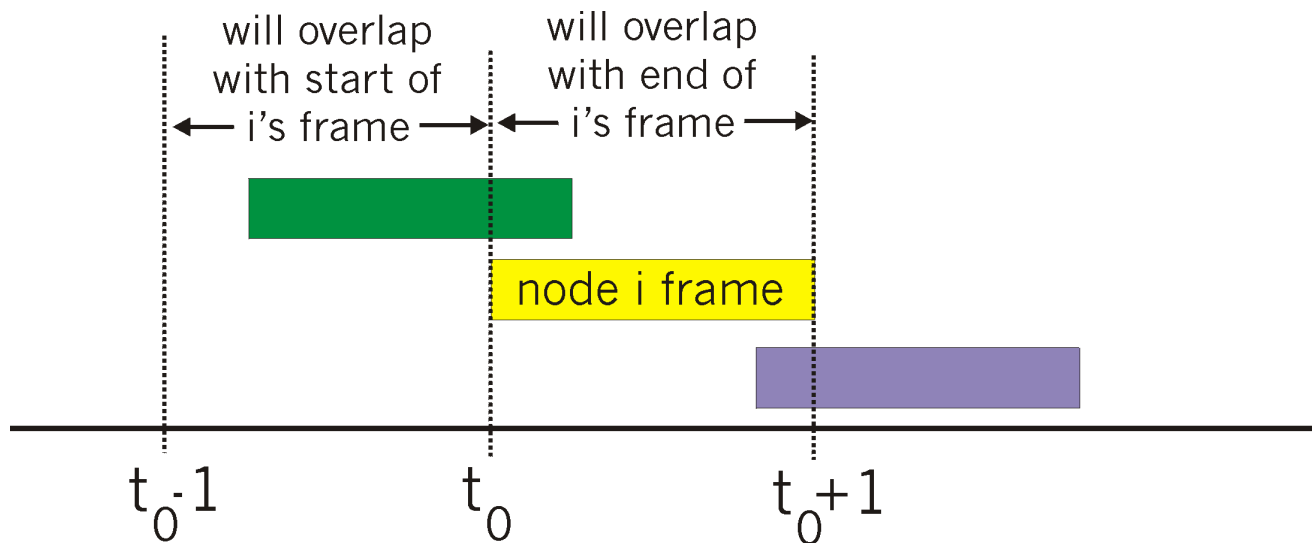
Hiệu suất tối đa = $1/e = .37$

Tốt nhất: kênh hữu dụng truyền trong khoảng 37% thời gian!



ALOHA thuần nhất (không chia slot)

- ❖ Aloha không chia slot: đơn giản hơn, không đồng bộ
- ❖ Khi frame đầu tiên đi đến
 - Truyền đi ngay lập tức
- ❖ Khả năng tranh chấp tăng lên:
 - Frame gửi tại thời điểm t_0 xung đột với các frame khác được gửi trong thời điểm $[t_0-1, t_0+1]$



Hiệu suất của ALOHA thuần nhất

$P(\text{thành công của một nút}) = P(\text{nút truyền}) \cdot$

$P(\text{không có nút nào khác truyền trong } [t_0-1, t_0]) \cdot$

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$$

$$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

... chọn p tối ưu sau đó cho $n \rightarrow \infty$

$$= 1/(2e) = .18$$

Thậm chí hiệu suất còn kém hơn chia slot Aloha!

Đa truy nhập sóng mang CSMA

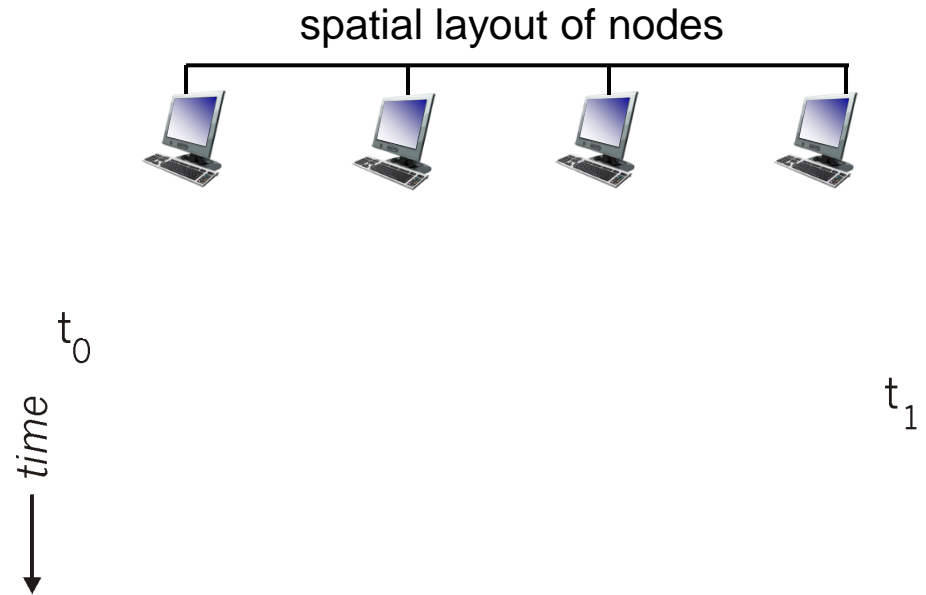
(carrier sense multiple access)

CSMA: nghe trước khi truyền:

- ❖ Nếu kênh truyền đang rảnh: truyền toàn bộ frame
- ❖ Nếu kênh truyền đang bận, trì hoãn việc truyền
- ❖ Tương tự với giao tiếp của con người: không ngắt lời khi người khác đang nói!

Các tranh chấp trong CSMA

- ❖ **Tranh chấp vẫn có thể xảy ra:** do trễ lan truyền, nghĩa là hai nút không “nghe” thấy việc truyền của nhau.
- ❖ **Tranh chấp:** toàn bộ thời gian truyền gói tin bị lãng phí
 - Chú ý vai trò của khoảng cách và trễ lan truyền trong việc xác định khả năng có tranh chấp.

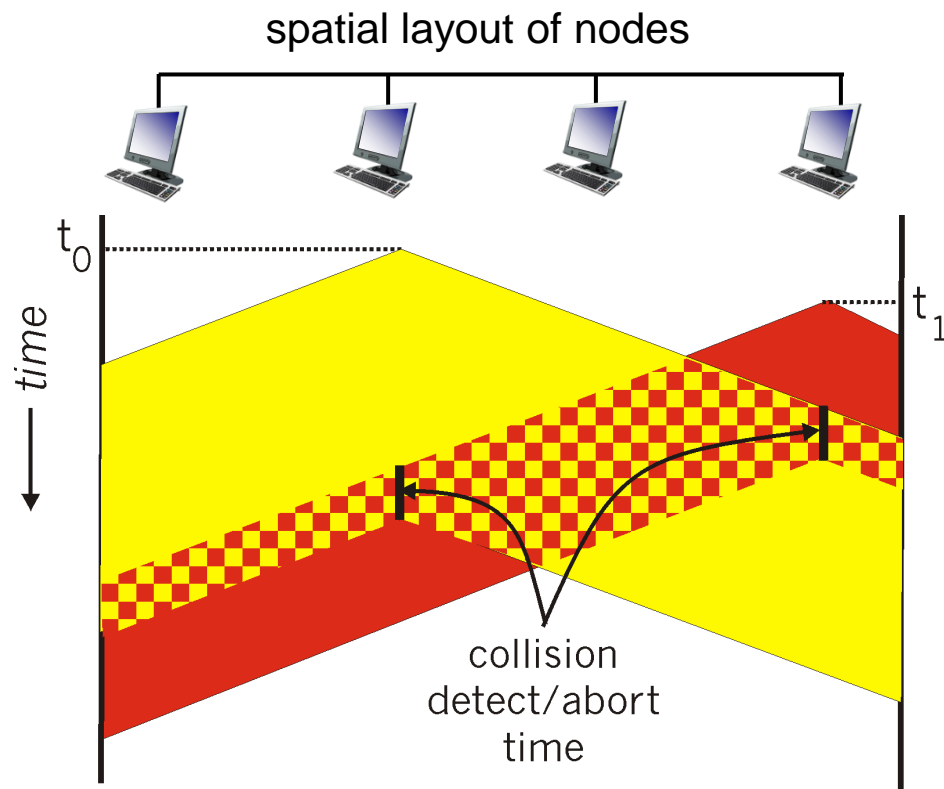


Đa truy nhập sóng mang có phát hiện tranh chấp CSMA/CD (collision detection)

CSMA/CD: trì hoãn như trong CSMA

- Tranh chấp *được phát hiện* trong thời gian ngắn
- Tranh chấp đường truyền được bỏ qua, giảm sự lãng phí kênh truyền
- ❖ Phát hiện tranh chấp:
 - Dễ dàng trong các mạng LAN không dây: đo cường độ tín hiệu, so sánh với các tín hiệu đã truyền, đã nhận.
 - Khó khăn trong các mạng LAN có dây: cường độ tín hiệu nhận được bị áp đảo bởi cường độ truyền cục bộ
- ❖ Tương tự với con người: đàm thoại lịch sự

Đa truy nhập sóng mang có phát hiện tranh chấp CSMA/CD (collision detection)



Giải thuật CSMA/CD trong Ethernet

1. NIC nhận datagram từ tầng mạng, tạo ra frame
2. Nếu NIC nhận thấy kênh truyền đang rảnh, sẽ bắt đầu truyền frame. Nếu NIC nhận thấy kênh truyền đang bận, sẽ đợi cho đến khi kênh truyền rảnh thì mới truyền.
3. Nếu NIC truyền toàn bộ frame mà không phát hiện thấy bất kỳ cuộc truyền nào khác, thì NIC sẽ hoàn thành việc truyền frame!
4. Nếu NIC phát hiện thấy có cuộc truyền khác trong khi đang truyền thì sẽ hủy bỏ và không gửi tín hiệu nữa
5. Sau khi hủy bỏ, NIC thực hiện *quay trở lại theo cơ chế (mũ) nhị phân*:
 - Sau tranh chấp thứ m , NIC chọn K ngẫu nhiên trong $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. NIC chờ trong khoảng thời gian $K \cdot 512$ bit, quay trở lại bước 2
 - Khoảng thời gian chờ quay trở lại sẽ lâu hơn nếu có nhiều tranh chấp hơn.

Hiệu suất CSMA/CD

- ❖ T_{prop} = trễ lan truyền lớn nhất giữa 2 nút trong LAN
- ❖ t_{trans} = thời gian truyền frame có kích thước lớn nhất

$$HieuSuat = \frac{1}{1 + 5t_{prop}/t_{trans}}$$

- ❖ Hiệu suất sẽ tiến đến 1
 - khi t_{prop} tiến đến 0
 - khi t_{trans} tiến đến vô cùng
- ❖ Hiệu suất tốt hơn ALOHA: và đơn giản, chi phí thấp và phân quyền!

Giao thức MAC “xoay vòng”

Các giao thức MAC phân chia kênh:

- Chia sẻ kênh *hiệu quả* và *công bằng* với tải cao
- Không hiệu quả với tải thấp: trễ trong việc tiếp cận kênh, băng thông được cấp phát bằng $1/N$ ngay cả khi chỉ có 1 nút cần truyền!

Các giao thức MAC truy nhập ngẫu nhiên:

- Hiệu quả với tải thấp: một nút có thể dùng hết khả năng của kênh
- Với tải cao: có tranh chấp.

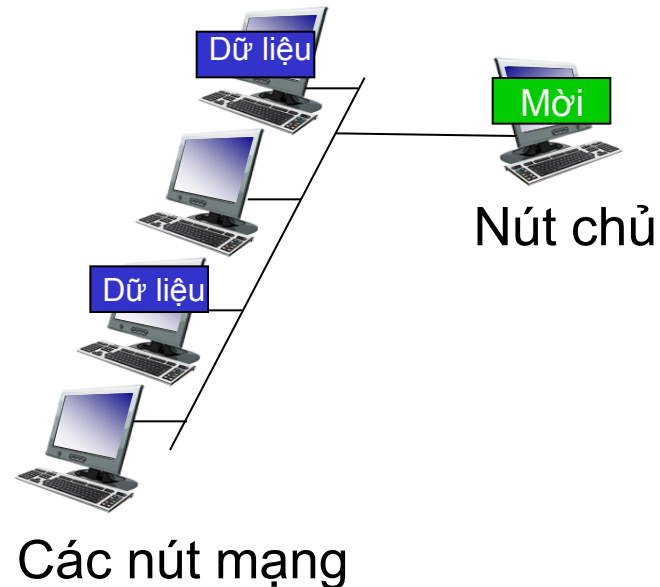
Các giao thức MAC “xoay vòng”

Tìm kiếm giải pháp tốt nhất!

Giao thức MAC “xoay vòng”

Mời tuần tự:

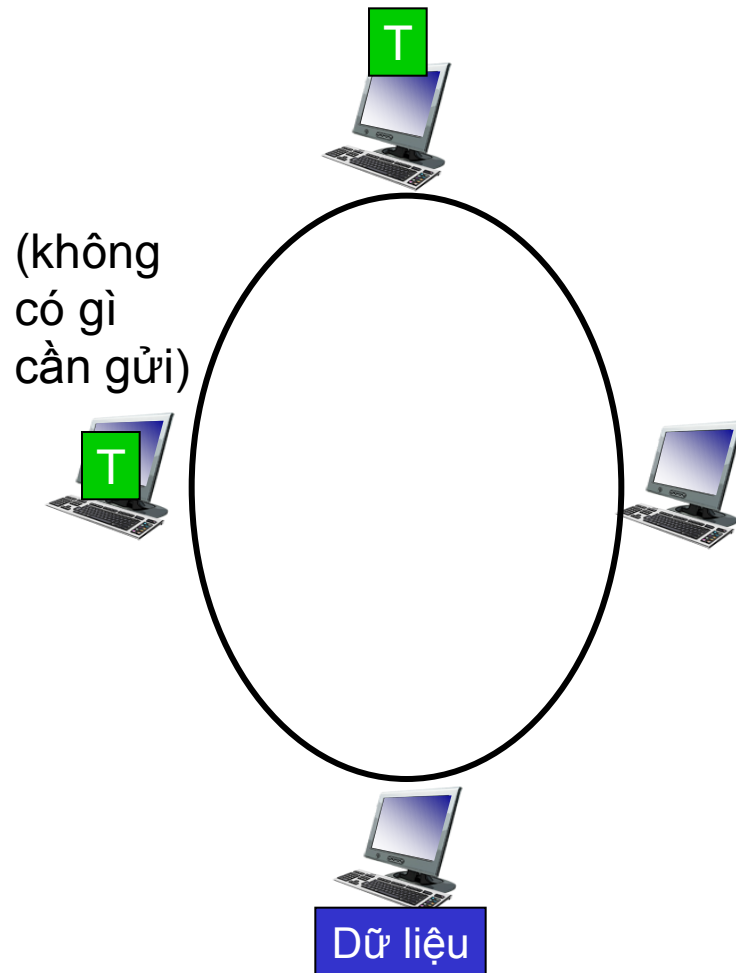
- ❖ Nút chủ “mời” các nút truyền theo lượt tuần tự.
- ❖ Liên quan:
 - Việc mời truyền
 - Độ trễ
 - Một điểm chịu lỗi (Nút chủ)



Giao thức MAC “xoay vòng”

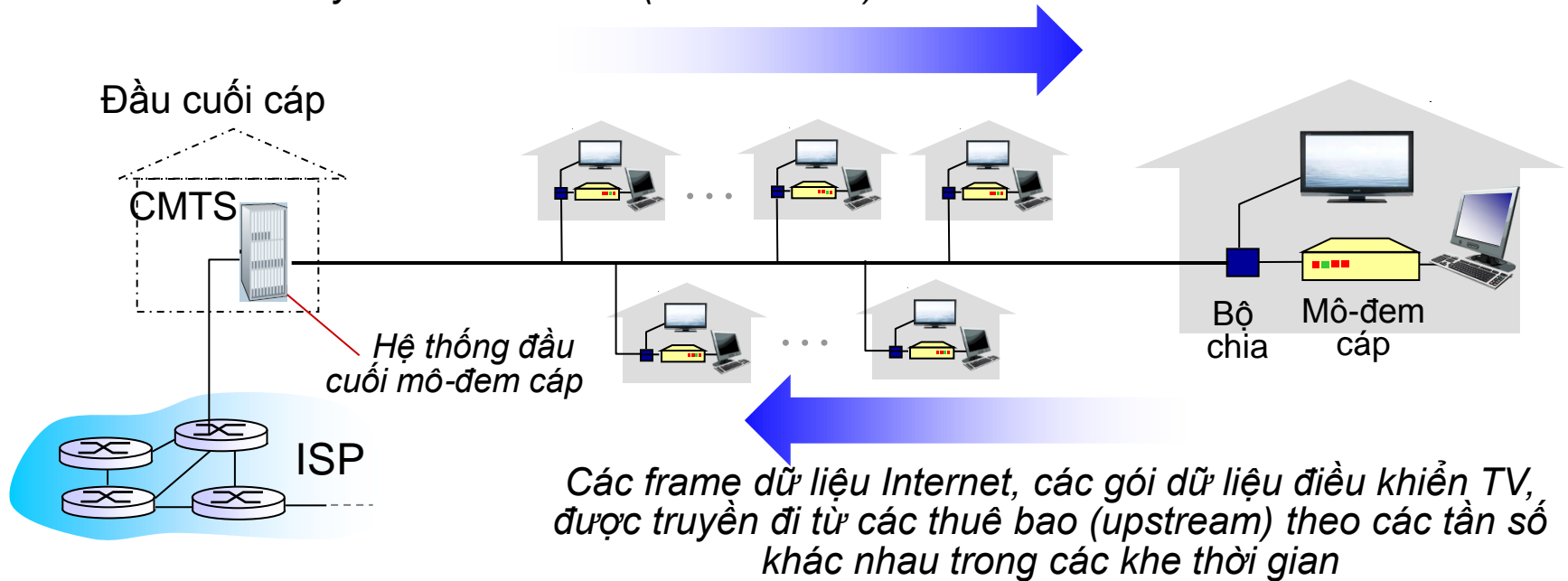
Chuyển thẻ bài (token):

- ❖ Điều khiển *thẻ bài* chuyển tuần tự từ một nút đến nút kế tiếp.
- ❖ Thông điệp thẻ bài
- ❖ Liên quan:
 - Thẻ bài
 - Độ trễ
 - Một điểm chịu lỗi (thẻ bài)



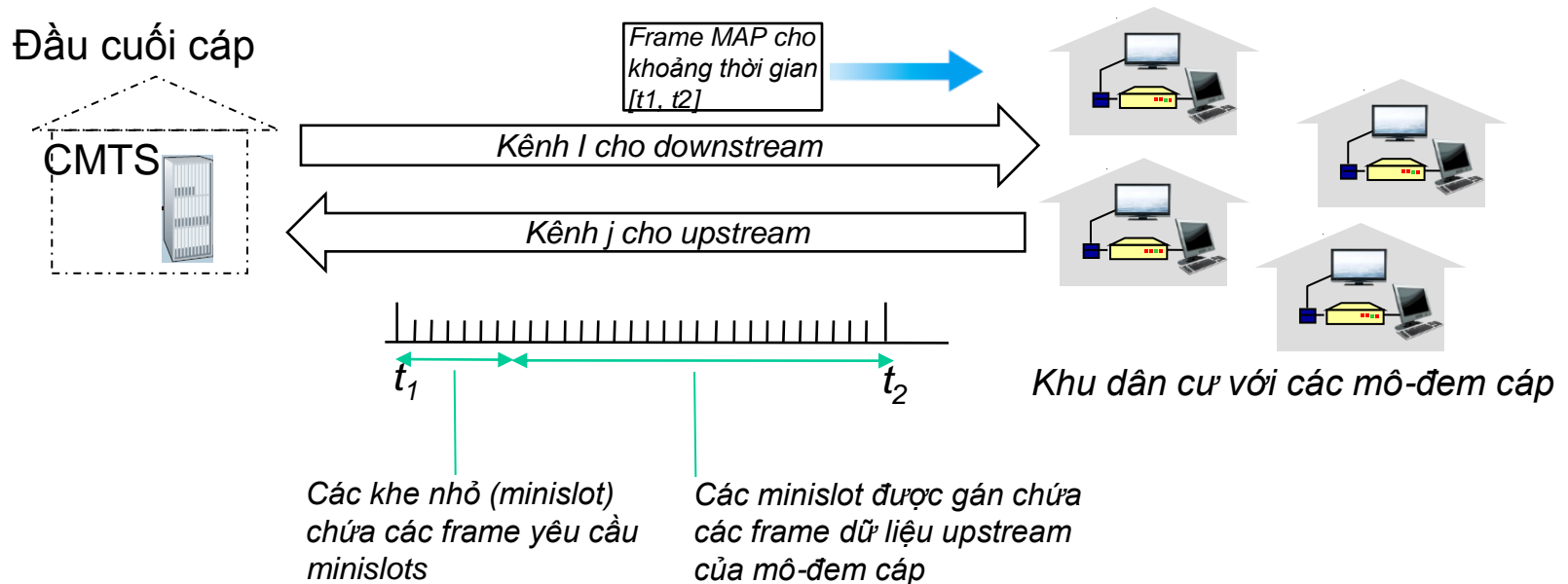
Mạng truy nhập cáp

Các frame Internet, các kênh TV hay gói dữ liệu điều khiển được truyền đến thuê bao (downstream) theo các tần số khác nhau



- ❖ **Nhiều** kênh downstream (broadcast) 40 Mbps
 - Từ CMTS đơn truyền vào trong các kênh
- ❖ **Nhiều** kênh upstream 30 Mbps
 - **Đa truy nhập:** Tất cả người dùng đều có thể tranh kênh upstream nào đó trong các khe thời gian (mà những người khác đã được gán).

Mạng truy nhập cáp



DOCSIS: chuẩn dữ liệu tốc độ cao cho hệ thống cáp (data over cable service interface specifications).

- ❖ FDM trên các kênh tần số upstream, downstream
- ❖ TDM upstream: một số slot được gán, một số có tranh chấp
 - Các khung MAP downstream: gán các slot upstream
 - Yêu cầu cho các slot upstream (và dữ liệu) được truyền truy cập ngẫu nhiên trong các khe thời gian đã được chọn

Tổng kết về các giao thức MAC

- ❖ *Phân chia kênh*, theo thời gian, tần số hoặc mã
 - TDMA, FDMA
- ❖ *Truy nhập ngẫu nhiên* (động),
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
 - Sóng mang: dễ dàng trong một số công nghệ (có dây), khó khăn trong một số khác (không dây)
 - CSMA/CD được dùng trong Ethernet
 - CSMA/CA được dùng trong 802.11
- ❖ *Xoay vòng*
 - Trạm trung tâm mời các trạm truyền, chuyển thẻ bài
 - Bluetooth, FDDI, token ring

Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

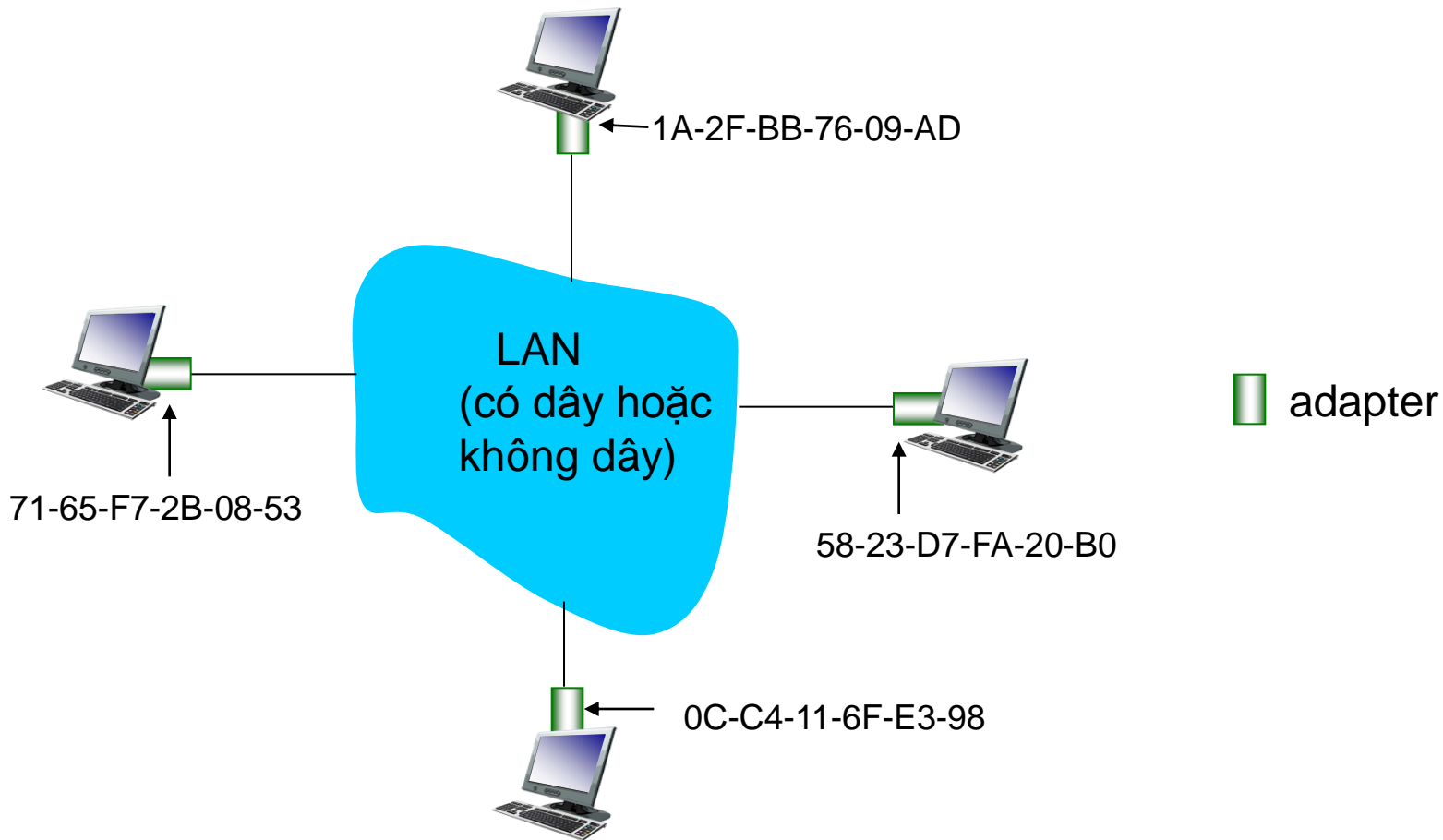
Địa chỉ MAC và ARP

- ❖ Địa chỉ IP 32-bit:
 - Địa chỉ *tầng mạng* cho giao diện
 - Được dùng cho việc chuyển tiếp gói tin tại tầng 3 (tầng mạng)
- ❖ Địa chỉ MAC (hoặc LAN/vật lý/Ethernet):
 - Chức năng: *được dùng “cục bộ” để lấy frame từ một giao diện với một giao diện được kết nối vật lý khác (cùng mạng)*
 - Địa chỉ MAC có 48 bit (cho hầu hết các LAN) được ghi sẵn trong bộ nhớ ROM của NIC, (đôi khi cũng được thiết lập bởi phần mềm)
 - Ví dụ: 1A-2F-BB-76-09-AD

Ký hiệu trong hệ cơ số 16
(mỗi “số” biểu diễn cho 4 bit)

Địa chỉ LAN và ARP

Mỗi adapter trên LAN có duy nhất một địa chỉ **LAN**

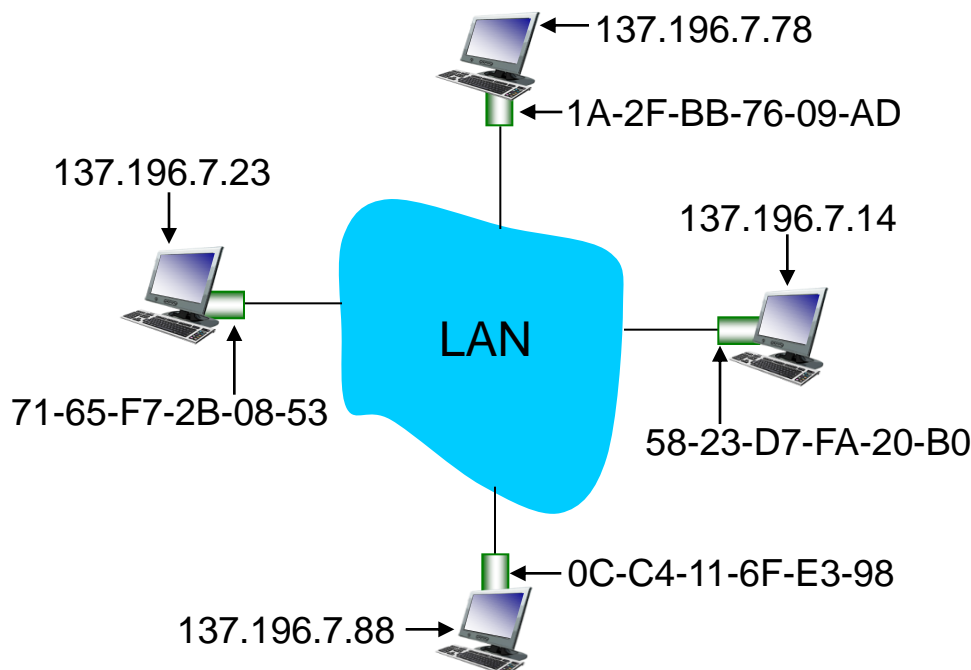


Địa chỉ LAN (tiếp)

- ❖ Việc cấp phát địa chỉ MAC được quản lý bởi IEEE
- ❖ Nhà sản xuất mua phần không gian địa chỉ MAC (để đảm bảo là duy nhất)
- ❖ So sánh:
 - Địa chỉ MAC: như số chứng minh nhân dân
 - Địa chỉ IP: như số điện thoại
- ❖ Địa chỉ MAC phẳng → có thể di chuyển
 - Có thể chuyển card từ LAN này sang LAN khác
- ❖ Địa chỉ phân cấp IP *không thể* di chuyển
 - Địa chỉ IP phụ thuộc vào IP subnet mà nút được gắn vào

ARP: address resolution protocol

Hỏi: Làm thế nào để xác định địa chỉ MAC của một giao diện khi biết địa chỉ IP?



Bảng ARP: mỗi nút IP (host, router) trên LAN có một bảng ARP.

- Ánh xạ địa chỉ IP/MAC cho một số nút LAN:
< địa chỉ IP; địa chỉ MAC; TTL >
- TTL (Time To Live): thời gian sau đó ánh xạ địa chỉ sẽ bị hủy (thường là 20 phút)

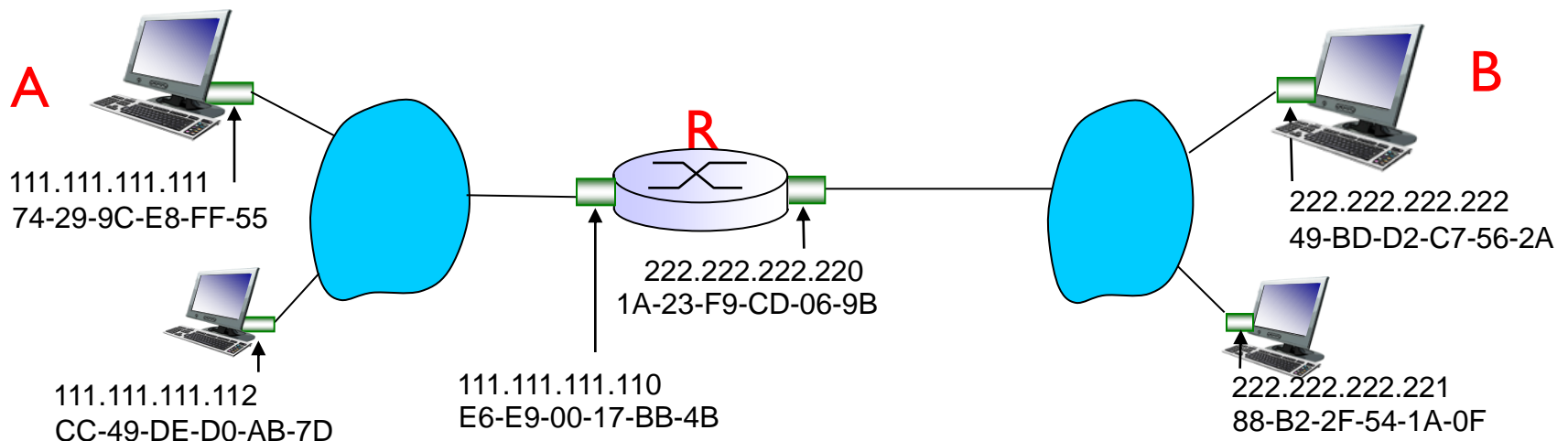
Giao thức ARP: cùng LAN

- ❖ A muốn gửi datagram tới B
 - Địa chỉ MAC của B không có trong bảng ARP của A.
- ❖ A **quảng bá (broadcasts)** gói tin truy vấn ARP, chứa địa chỉ IP của B
 - Địa chỉ MAC đích = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Tất cả các nút trên LAN đều nhận truy vấn ARP
- ❖ B nhận được gói tin ARP, sẽ trả lời A với địa chỉ MAC của mình.
 - Frame được gửi tới địa chỉ MAC của A (unicast)
- ❖ A ghi lại cặp địa chỉ IP-to-MAC trong bảng ARP của nó cho đến khi thông tin bị timeout.
 - Trạng thái mềm: thông tin này sẽ bị timeout trừ khi được làm mới lại.
- ❖ ARP là “plug-and-play”:
 - Các nút tạo ra bảng ARP của nó *mà không cần bất kỳ sự can thiệp nào từ nhà quản trị mạng.*

Định địa chỉ: định tuyến tới LAN khác

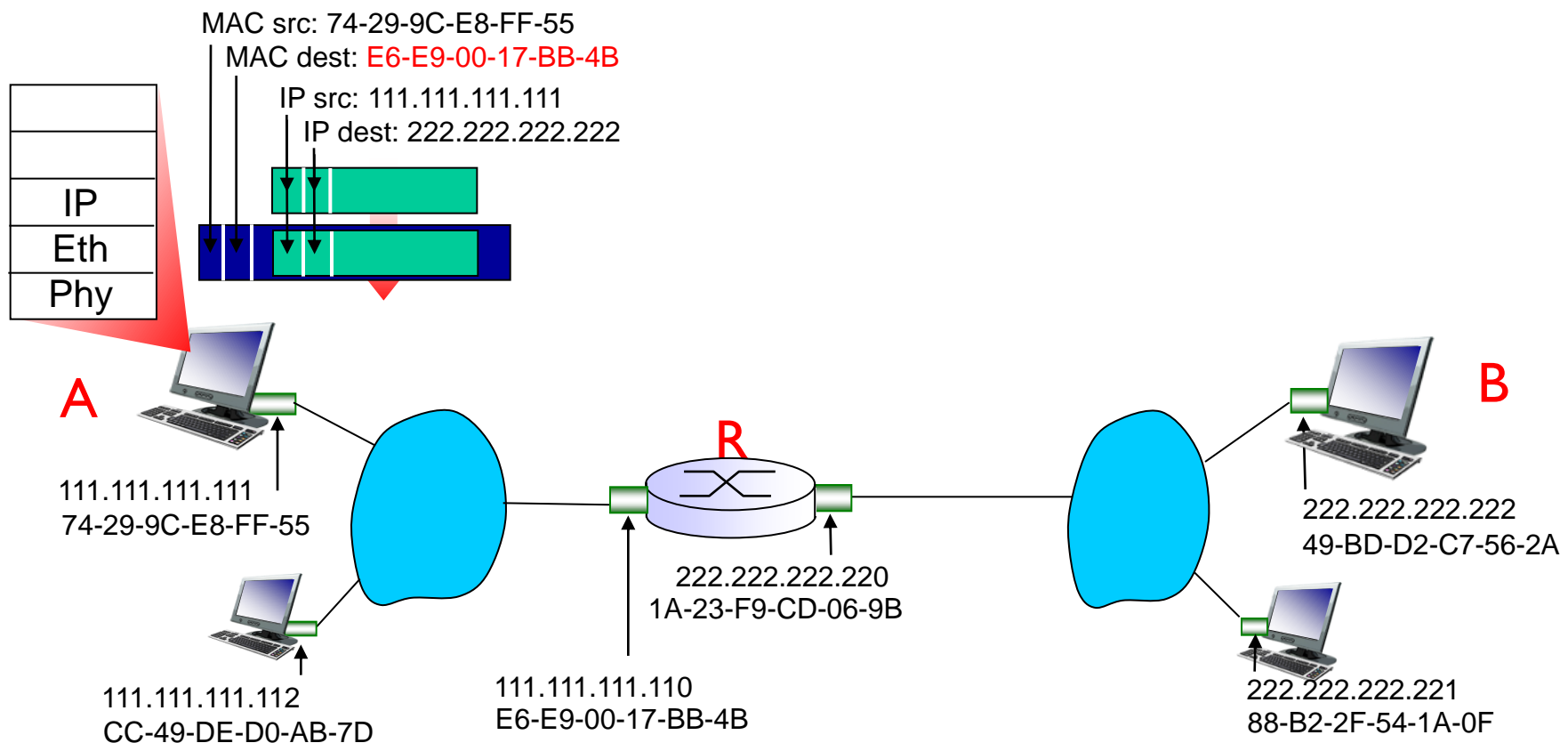
Tình huống: **gửi datagram từ A tới B qua R**

- Tập trung vào định địa chỉ – tại IP (datagram) và tầng MAC (frame)
- Giả thiết A biết địa chỉ IP của B
- Giả thiết A biết địa chỉ IP của router hop đầu tiên, là R (thì như thế nào?)
- Giả thiết A biết địa chỉ MAC của R (thì như thế nào?)



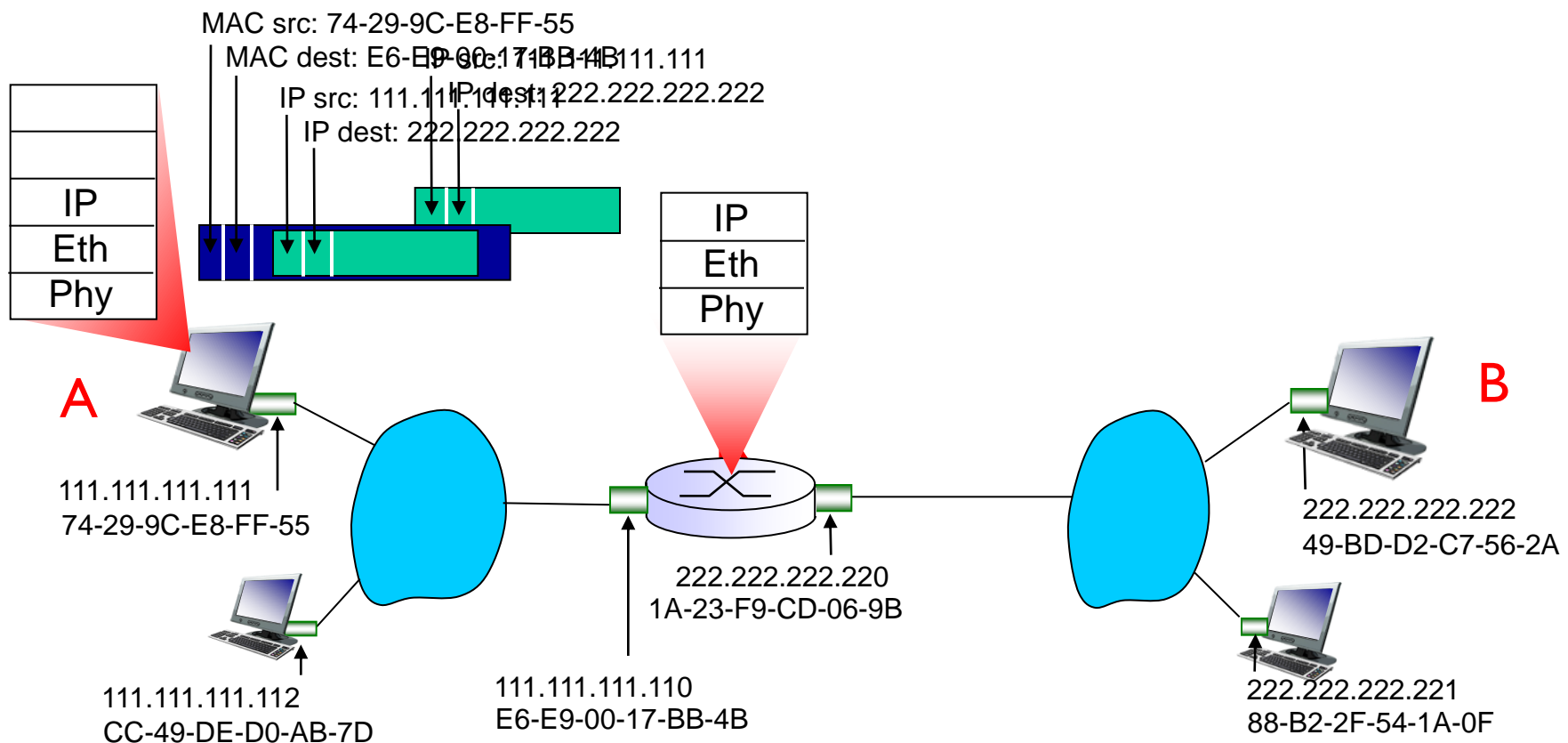
Định địa chỉ: định tuyến tới LAN khác

- ❖ A tạo IP datagram với IP nguồn A, đích B
- ❖ A tạo frame tầng liên kết với địa chỉ MAC của R là đích, frame chứa IP datagram từ A-tới-B



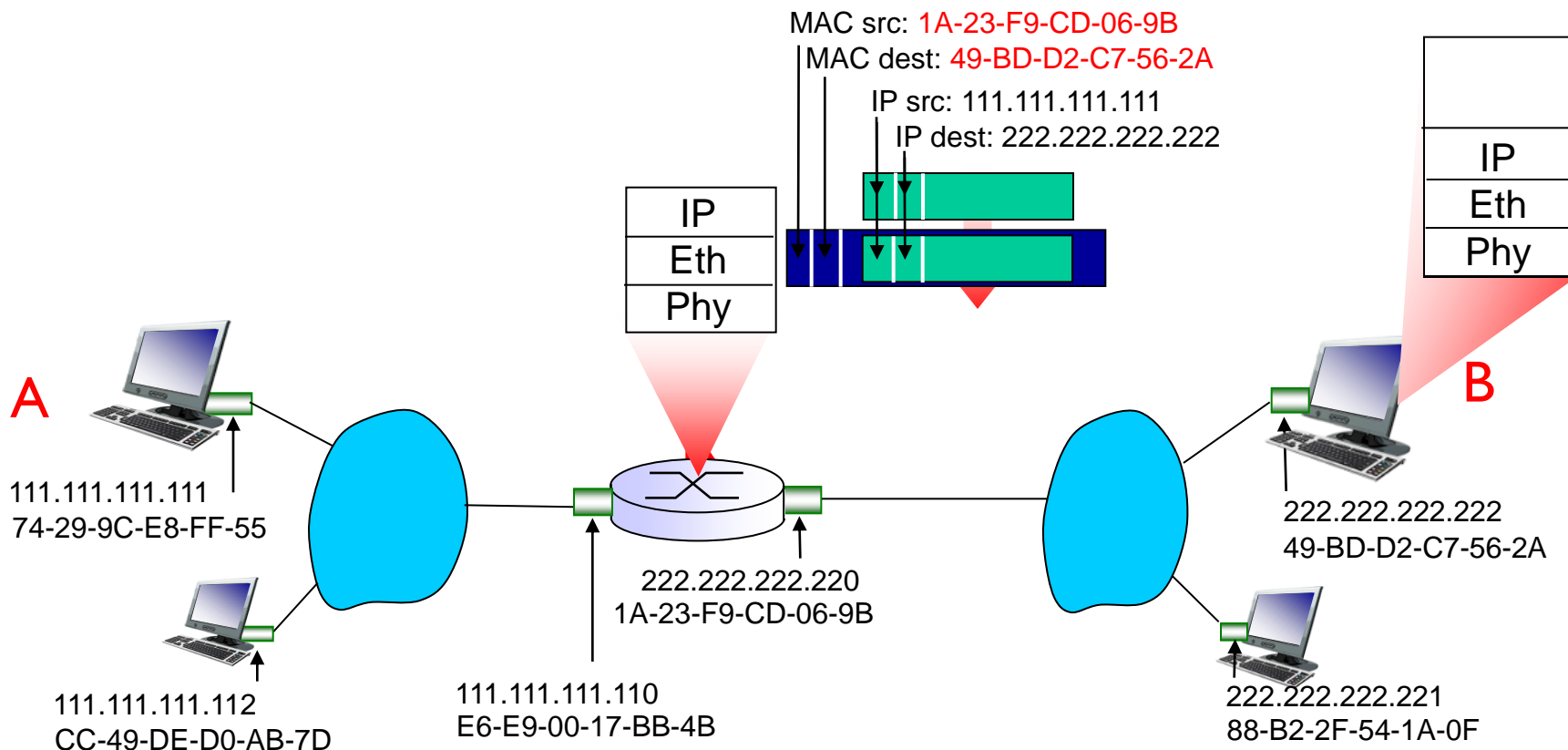
Định địa chỉ: định tuyến tới LAN khác

- ❖ Frame được gửi từ A tới R
- ❖ Frame được nhận tại R, datagram được chuyển lên tầng IP



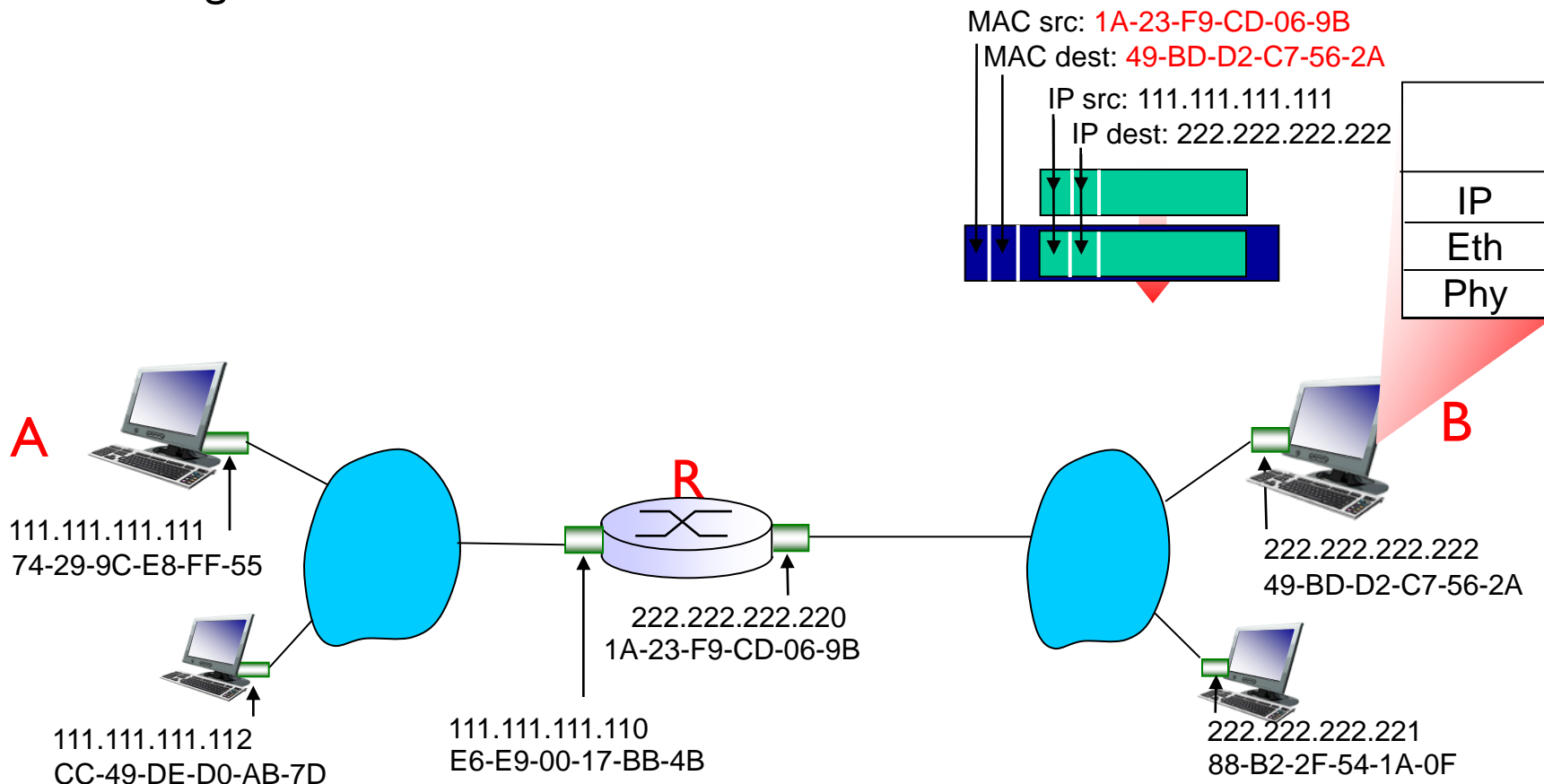
Định địa chỉ: định tuyến tới LAN khác

- ❖ R chuyển tiếp datagram với địa chỉ IP nguồn A, đích B
- ❖ R tạo frame tầng liên kết với địa chỉ MAC của B là đích, frame chứa IP datagram từ A-tới-B



Định địa chỉ: định tuyến tới LAN khác

- ❖ R chuyển tiếp datagram với địa chỉ IP nguồn A, đích B
- ❖ R tạo frame tầng liên kết với địa chỉ MAC của B là đích, frame chứa IP datagram từ A-tới-B



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

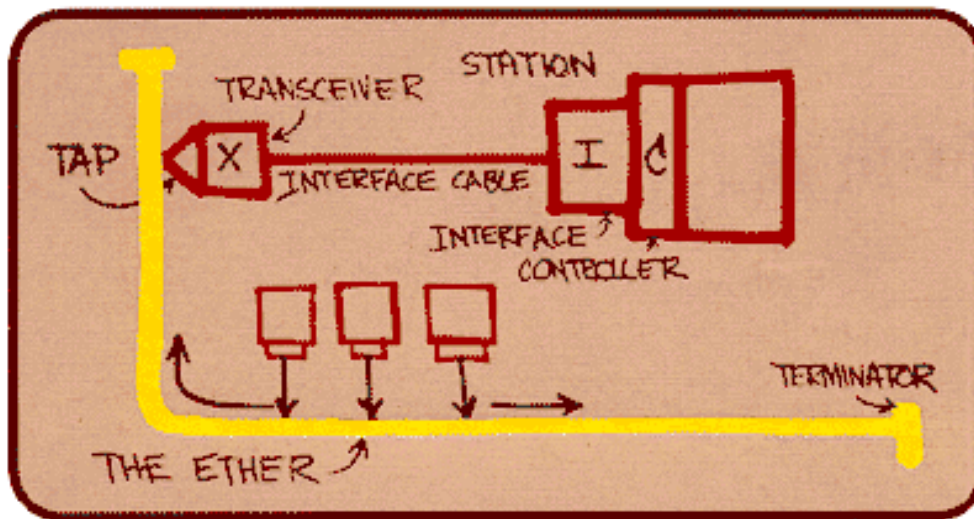
5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

Ethernet

“Thống trị” công nghệ mạng LAN có dây:

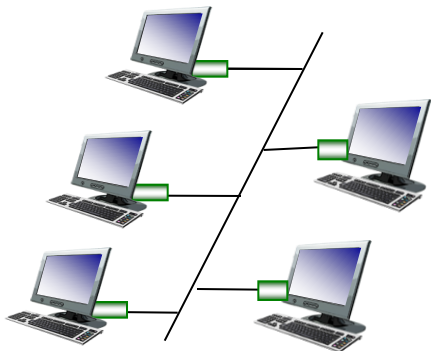
- ❖ Rẻ hơn \$20 cho NIC
- ❖ Công nghệ LAN được sử dụng phổ biến đầu tiên
- ❖ Đơn giản, rẻ hơn so với token LAN và ATM
- ❖ Giữ tốc độ trung bình từ: 10 Mbps – 10 Gbps



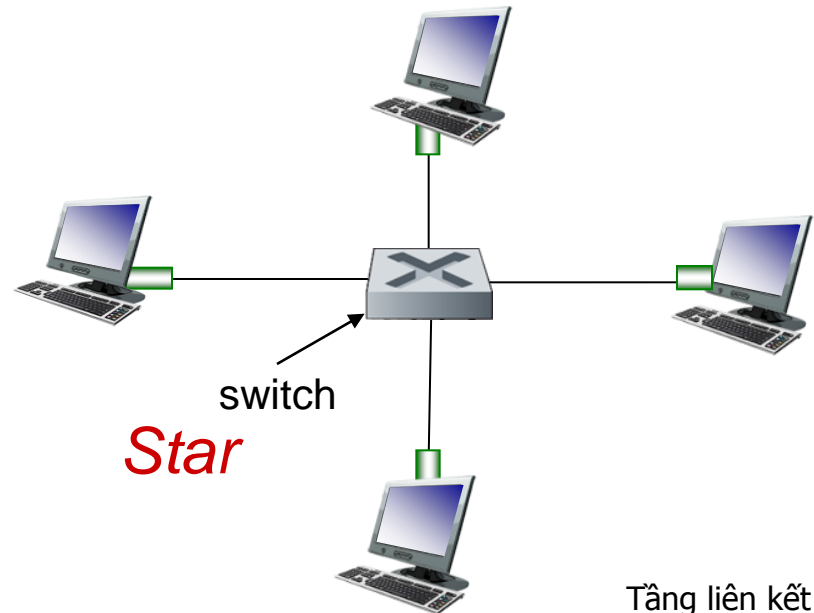
Phác họa Ethernet của Metcalfe

Ethernet: cấu trúc vật lý

- ❖ **Bus**: phổ biến cho đến giữa thập niên 90
 - Tất cả các nút đều nằm trong vùng tranh chấp (có thể tranh chấp với các nút khác)
- ❖ **Star (hình sao)**: chiếm ưu thế hiện nay
 - **Switch** hoạt động ở trung tâm
 - Mỗi “chi nhánh” (*văn phòng, spoke*) chạy một giao thức Ethernet (riêng) (các nút không tranh chấp với nút khác)



Bus: cáp đồng trục



Cấu trúc Frame của Ethernet

Gửi IP datagram (hoặc gói giao thức tầng mạng khác) đã được đóng gói trong **frame** của **Ethernet**



Trường **preamble**:

- ❖ 7 byte với mẫu 10101010 được theo sau bởi một byte với mẫu 10101011.
- ❖ Được dùng để đồng bộ tốc độ của bên nhận, bên gửi.

Cấu trúc Frame của Ethernet (tiếp)

- ❖ Các trường *địa chỉ (nguồn và đích)*: 6 byte địa chỉ MAC nguồn và đích
 - Nếu adapter nhận frame với địa chỉ đích phù hợp, hoặc địa chỉ quảng bá (ví dụ: gói ARP), thì nó sẽ chuyển dữ liệu trong frame tới giao thức tầng mạng.
 - Ngược lại, adapter sẽ bỏ qua frame
- ❖ Trường *type*: chỉ ra giao thức tầng cao hơn (thường là IP nhưng cũng có thể là giao thức khác, ví dụ như Novell IPX, AppleTalk)
- ❖ Trường *CRC*: kiểm tra mã vòng dư thừa tại phía nhận
 - Phát hiện có lỗi: hủy bỏ frame

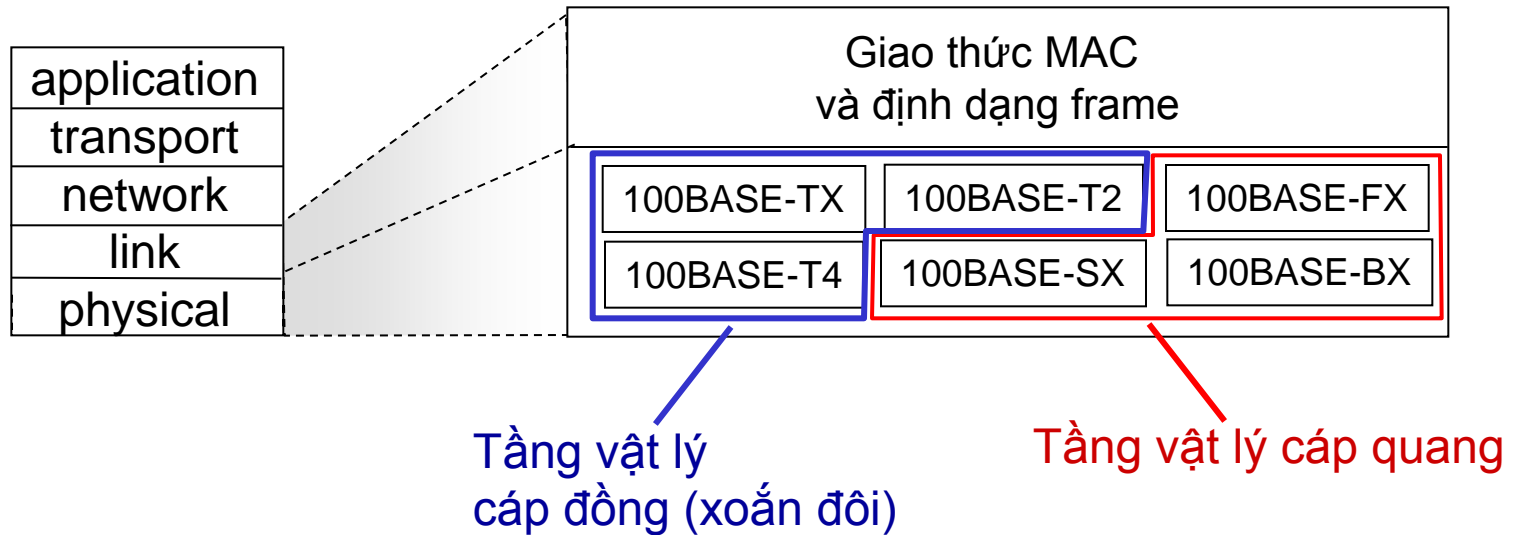


Ethernet: truyền không tin cậy, không hướng kết nối

- ❖ *Không hướng kết nối*: không có bắt tay giữa bên NIC gửi và bên NIC nhận
- ❖ *Không tin cậy*: NIC nhận không gửi báo nhận (ACK hoặc NACK) cho NIC gửi
 - Dữ liệu trong các frame đã bị hủy chỉ được khôi phục lại khi bên gửi khởi tạo việc dùng giao thức truyền tin cậy (rdt) ở tầng trên (ví dụ: TCP), còn không thì dữ liệu đó sẽ bị mất.
- ❖ Giao thức MAC của Ethernet: *CSMA/CD*

Chuẩn Ethernet 802.3: tầng liên kết và tầng vật lý

- ❖ *Có nhiều* chuẩn Ethernet khác nhau
 - Giao thức MAC và định dạng frame chung
 - Tốc độ khác nhau: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10G bps
 - Phương tiện tầng vật lý khác nhau: cáp quang, cáp



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

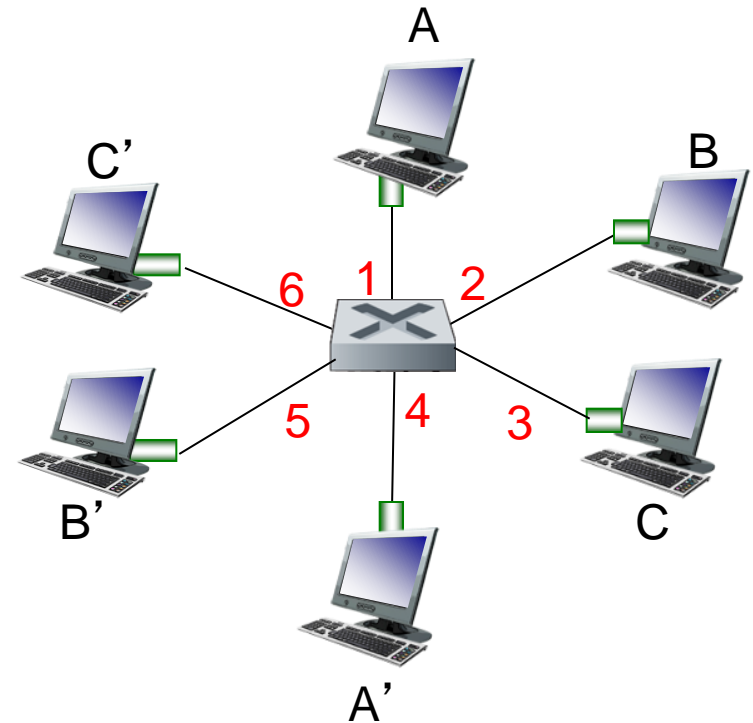
5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

Switch Ethernet

- ❖ **Thiết bị tầng liên kết: có nhiệm vụ**
 - Lưu và chuyển tiếp các frame Ethernet
 - Kiểm tra địa chỉ MAC của frame đến, **chọn** và chuyển tiếp frame tới một hoặc nhiều liên kết ra
 - Khi frame được chuyển tiếp trên segment, dùng CSMA/CD để truy nhập segment
- ❖ ***Trong suốt***
 - Các host không cần biết đến sự có mặt của các switch
- ❖ ***Plug-and-play, tự học***
 - Các switch không cần được cấu hình

Switch: Đa truyền đồng thời

- ❖ Các host trực tiếp kết nối với switch
- ❖ Các gói tin đệm trong switch
- ❖ Giao thức Ethernet được dùng trên *mỗi* liên kết đến, nhưng không tranh chấp; truyền song công.
 - Mỗi liên kết là vùng tranh chấp của riêng nó.
- ❖ **Chuyển mạch:** A-tới-A' và B-tới-B' có thể truyền đồng thời, mà không bị tranh chấp.



switch với 6 giao diện
(1,2,3,4,5,6)

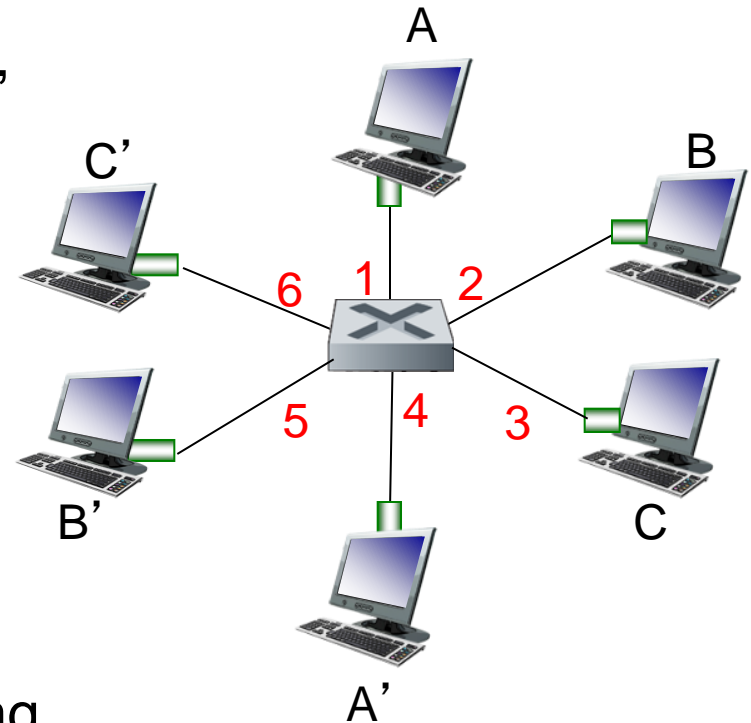
Bảng chuyển tiếp trong Switch

Hỏi: Làm thế nào switch biết được A' có thể truy cập thông qua giao diện 4, B' có thể truy cập được thông qua giao diện 5?

- ❖ **Trả lời:** Mỗi switch có một **bảng chuyển mạch**, mỗi mục:
- (Địa chỉ MAC của host, giao diện tới host, nhãn thời gian)
 - Nhìn giống như bảng định tuyến!

Hỏi: Cách tạo các mục và duy trì trong bảng chuyển mạch như thế nào?

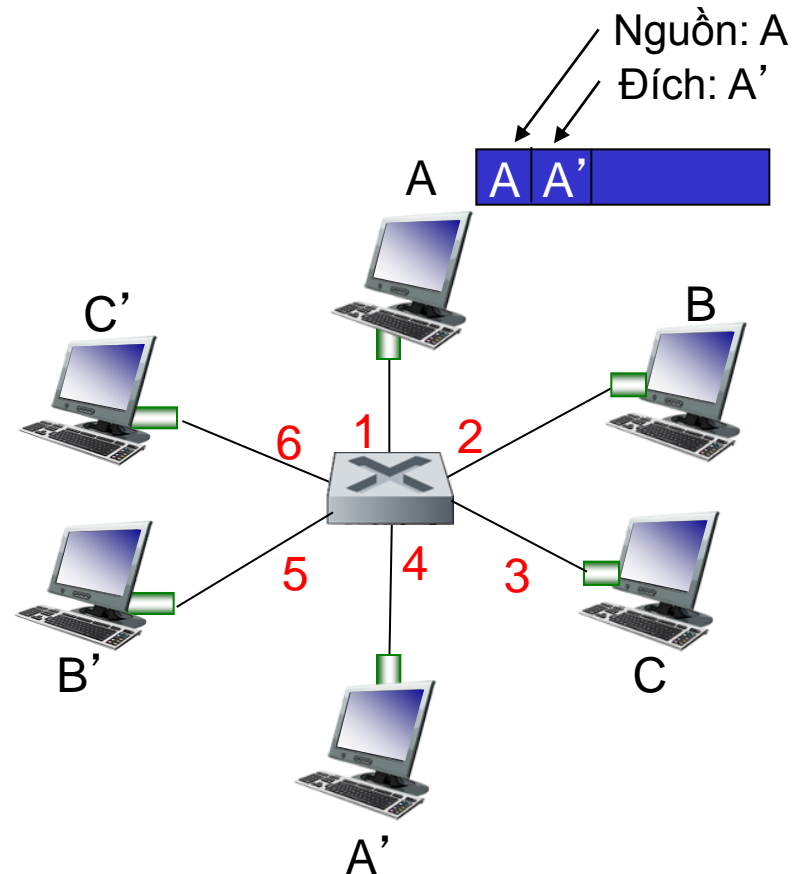
- Một số giống như giao thức định tuyến?



switch với 6 giao diện
(1,2,3,4,5,6)

Switch: tự học

- ❖ Switch *học* để biết những host nào có thể được truy nhập đến thông qua những giao diện nào
 - Khi nhận được frame, switch “học” vị trí của bên gửi: segment LAN đi đến
 - Ghi cặp bên gửi/vị trí vào trong bảng chuyển mạch



Địa chỉ MAC	Giao diện	TTL
A	1	60

*Bảng chuyển mạch
(khởi tạo rỗng)*

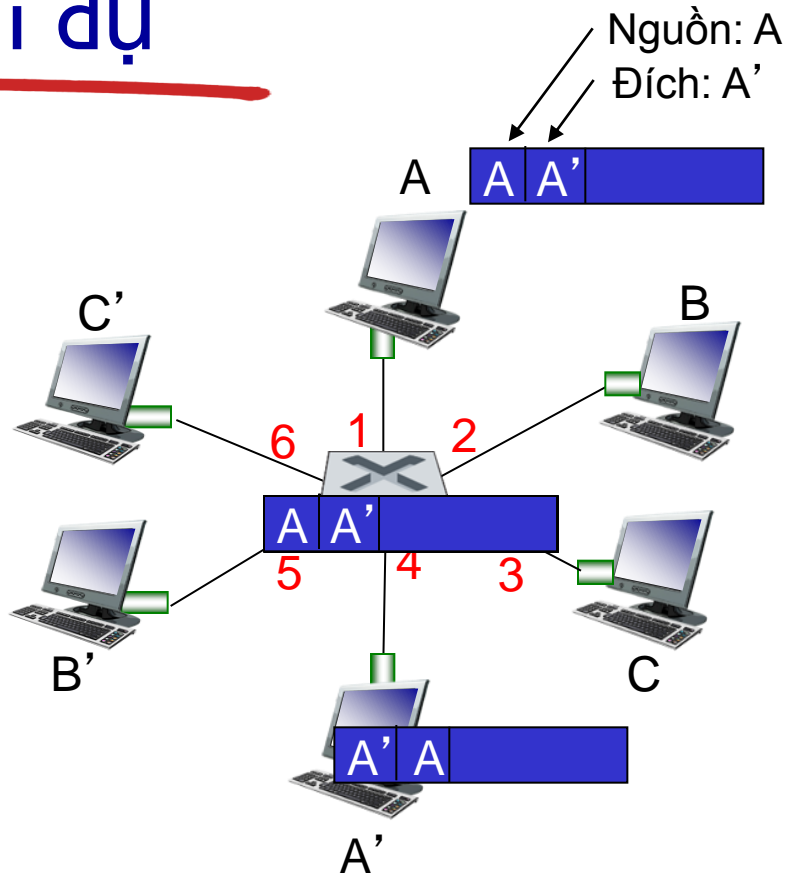
Switch: lọc/chuyển tiếp frame

Khi switch nhận được frame:

1. Ghi lại liên kết đến, địa chỉ MAC của host gửi
2. Đánh chỉ mục bảng chuyển mạch dùng địa chỉ MAC đích
3. **if** mục được tìm thấy cho đích
 then {
 if đích trên segment mà từ đó frame đến
 then bỏ qua frame
 else chuyển tiếp frame trên giao diện được xác định bởi mục
 }
 else ngập tràn /* chuyển tiếp trên tất cả các giao diện ngoại trừ giao diện đến*/

Tự học, chuyển tiếp: Ví dụ

- ❖ Đích frame, A', vị trí không được biết: *tràn ngập*
- ❖ Vị trí đích A được biết:
Lựa chọn gửi chỉ trên một liên kết

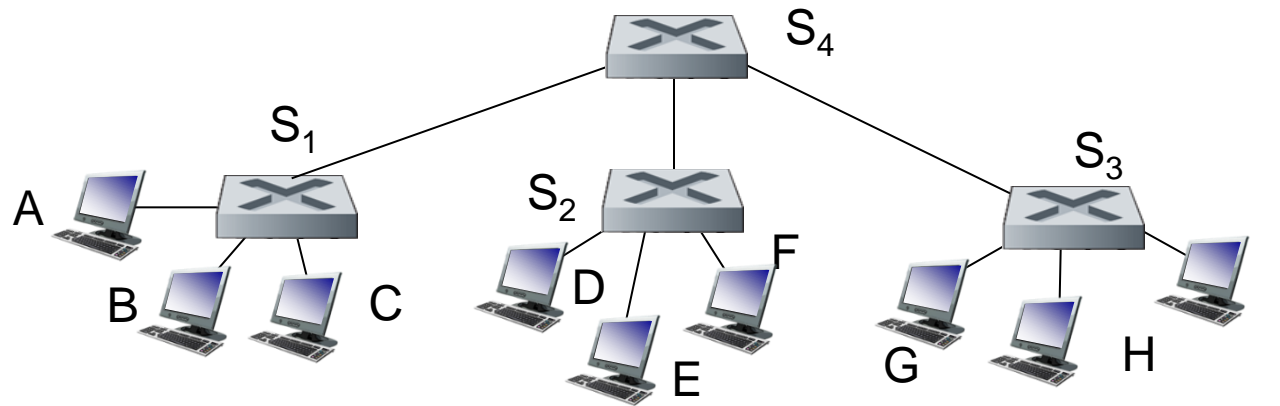


Địa chỉ MAC	Giao diện	TTL
A	1	60
A'	4	60

*Bảng chuyển mạch
(khởi tạo rỗng)*

Kết nối các switch

- ❖ Các switch có thể được kết nối với nhau

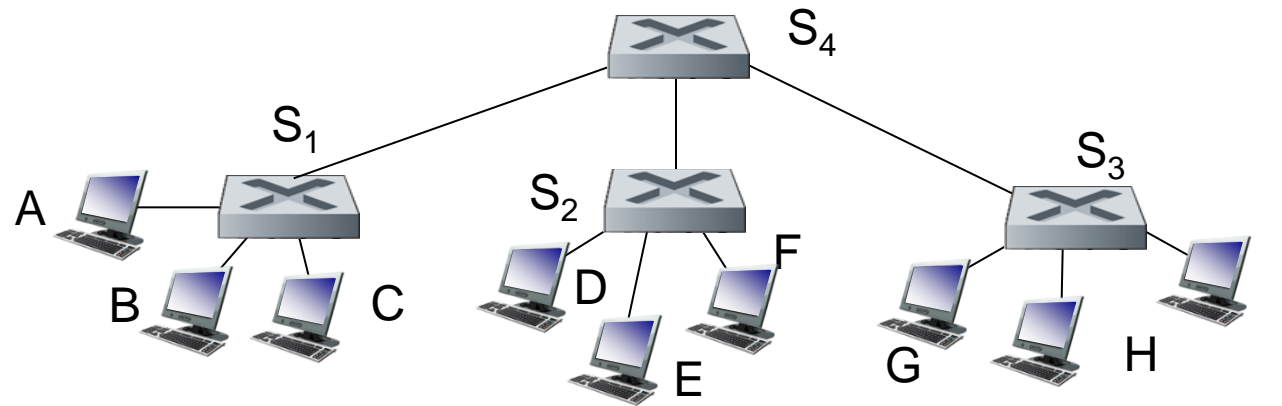


Hỏi: gửi từ A đến G – Làm thế nào S₁ biết cách chuyển tiếp frame hướng đích G qua S₄ và S₃?

- ❖ **Trả lời:** tự học! (làm theo đúng cách trong trường hợp switch đơn!)

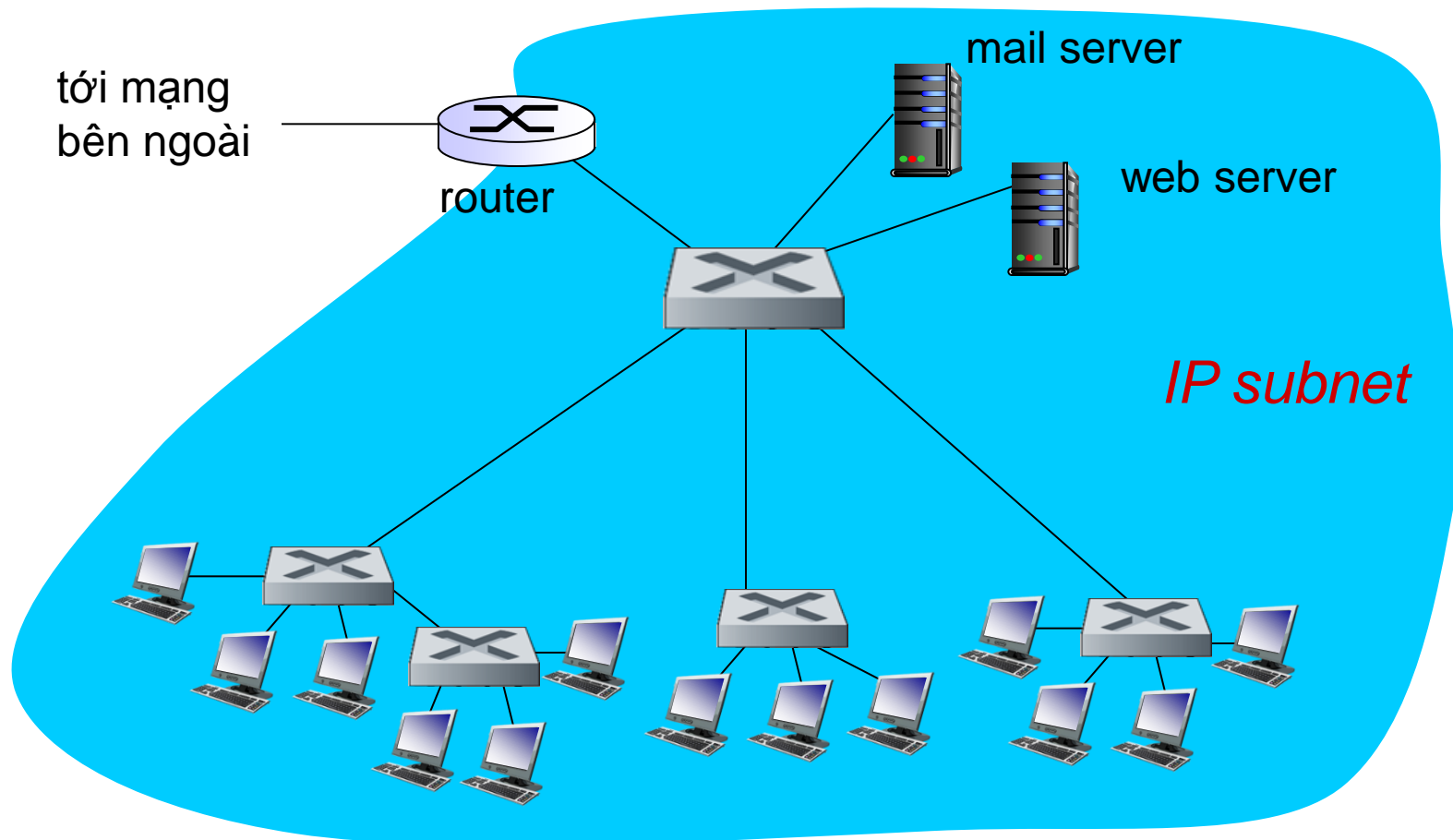
Ví dụ tự học nhiều switch

Giả sử C gửi frame tới I, I trả lời lại C



- ❖ Hỏi: Đưa ra các bảng chuyển mạch và chuyển tiếp gói tin trong S_1 , S_2 , S_3 , S_4

Mạng nội bộ trong một tổ chức



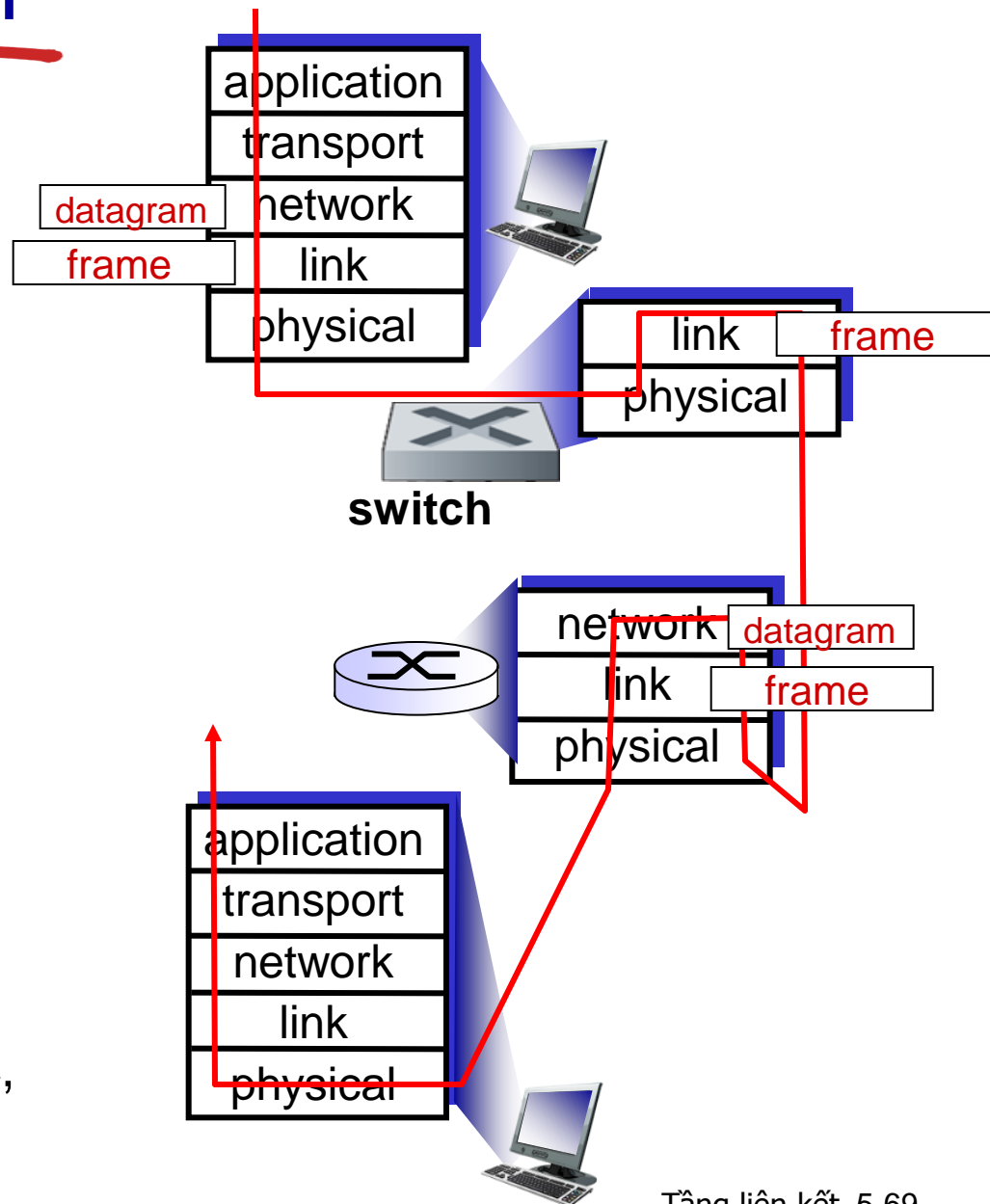
Các switch và router

Cả hai đều có chức năng lưu và chuyển tiếp (store-and-forward):

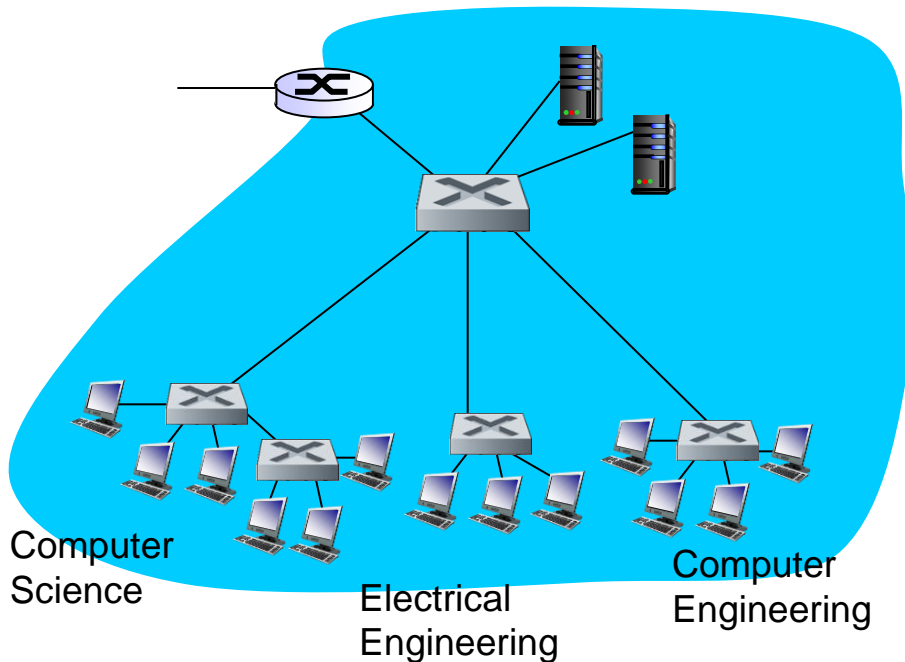
- **router**: thiết bị tầng mạng (kiểm tra phần tiêu đề tầng mạng)
- **switch**: thiết bị tầng liên kết (kiểm tra phần tiêu đề tầng liên kết)

Cả hai đều có bảng chuyển tiếp:

- **router**: tính toán bảng chuyển tiếp dùng các giải thuật định tuyến và địa chỉ IP
- **switch**: học bảng chuyển tiếp dùng kỹ thuật ngập lụt, tự học, và địa chỉ MAC



VLAN: Động lực



Xem xét:

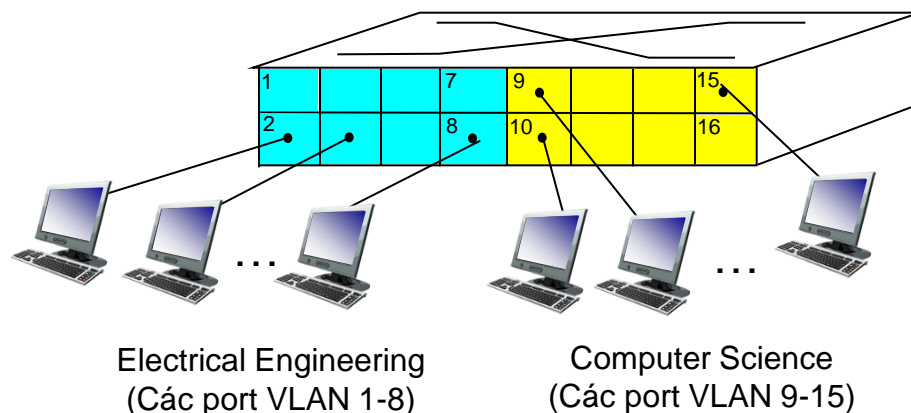
- ❖ Người dùng CS chuyển văn phòng tới EE, nhưng muốn kết nối với switch của CS?
- ❖ Miền quảng bá đơn:
 - Tất cả lưu lượng quảng bá tầng 2 (ARP, DHCP, không biết vị trí của địa chỉ MAC đích) đều phải đi qua toàn bộ LAN.
 - Các vấn đề an toàn/sự riêng tư và hiệu suất.

VLAN

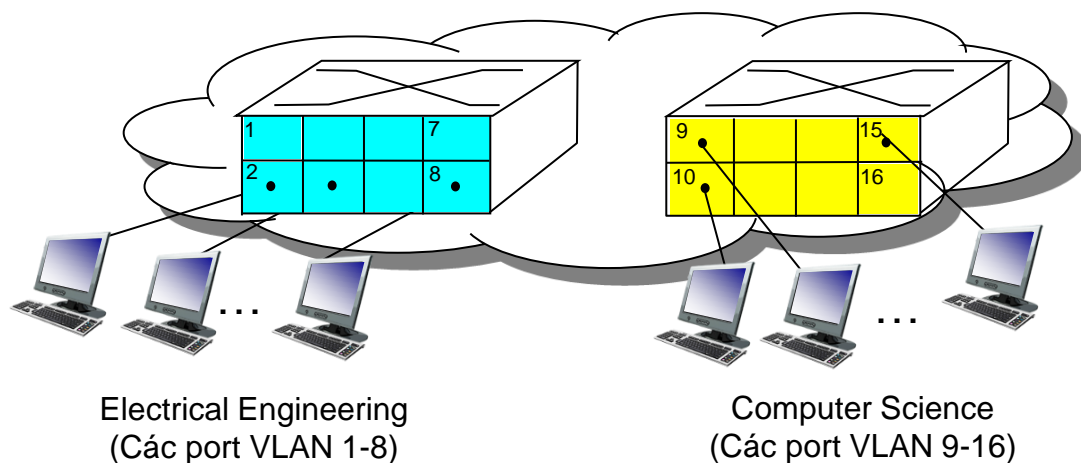
Virtual Local Area Network

Các switch hỗ trợ khả năng VLAN có thể được cấu hình để xác định nhiều mạng LAN **ảo** trên cơ sở hạ tầng mạng LAN vật lý duy nhất.

VLAN dựa trên cổng: Các port switch được nhóm lại (bởi phần mềm quản lý switch) để thành một switch vật lý **duy nhất**

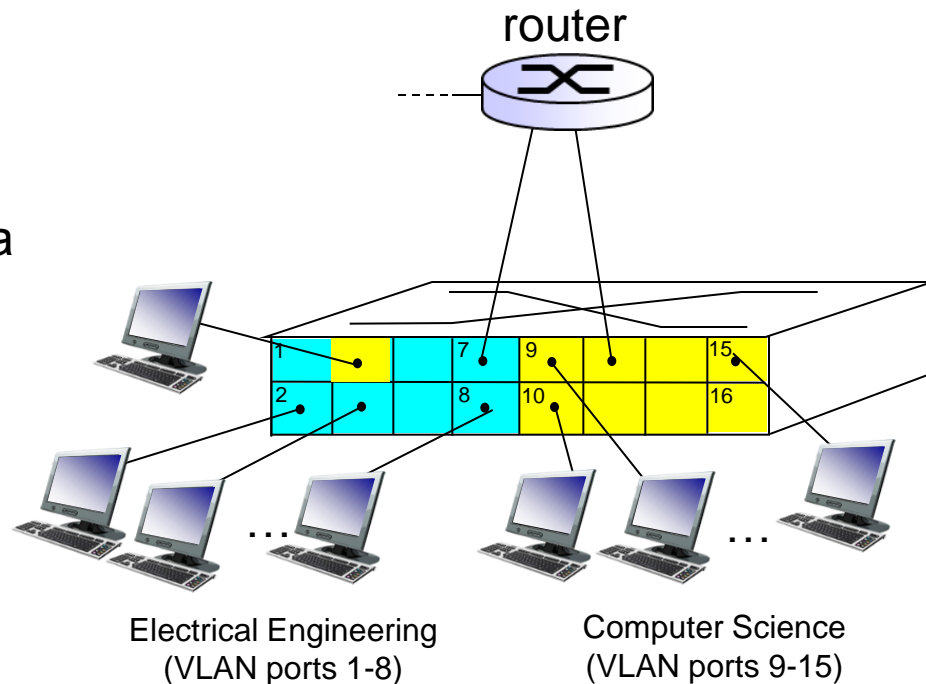


... hoạt động giống như là **nhiều** switch ảo

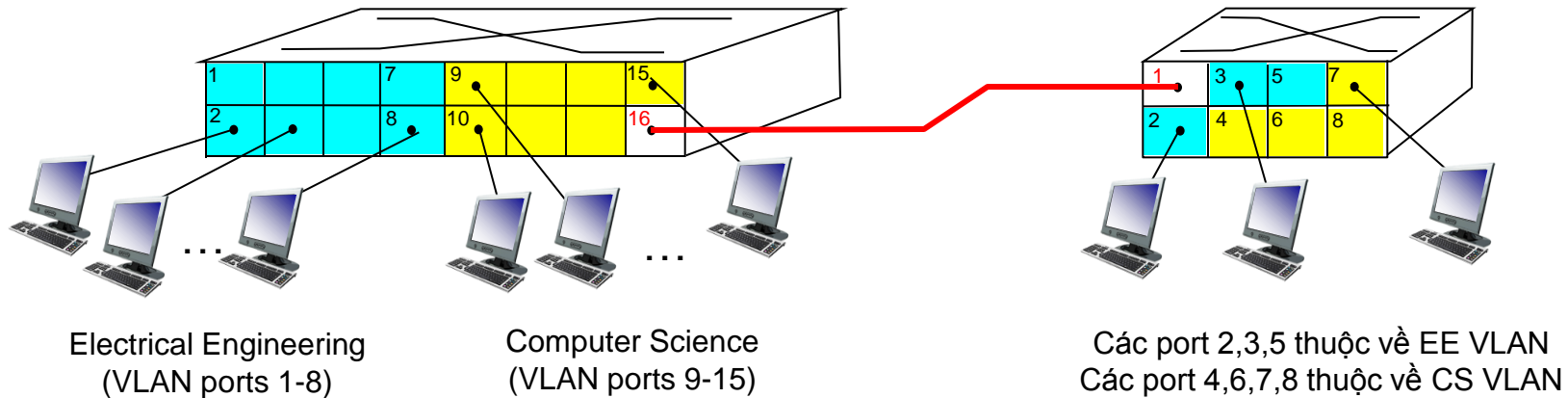


VLAN dựa trên cổng

- ❖ **Cô lập lưu lượng:** các frame tới/từ các port 1-8 *chỉ* có thể tới các port 1-8
 - Cũng có thể xác định VLAN dựa trên địa chỉ MAC của các điểm cuối (endpoint), thay vì các port của switch
- ❖ **Thành viên động:** các port có thể được gán động giữa các VLAN
- ❖ **Chuyển tiếp giữa các VLAN:** được thực hiện thông qua định tuyến (chỉ như là các switch riêng)
 - Thực tế các nhà cung cấp bán các switch được kết hợp với các router



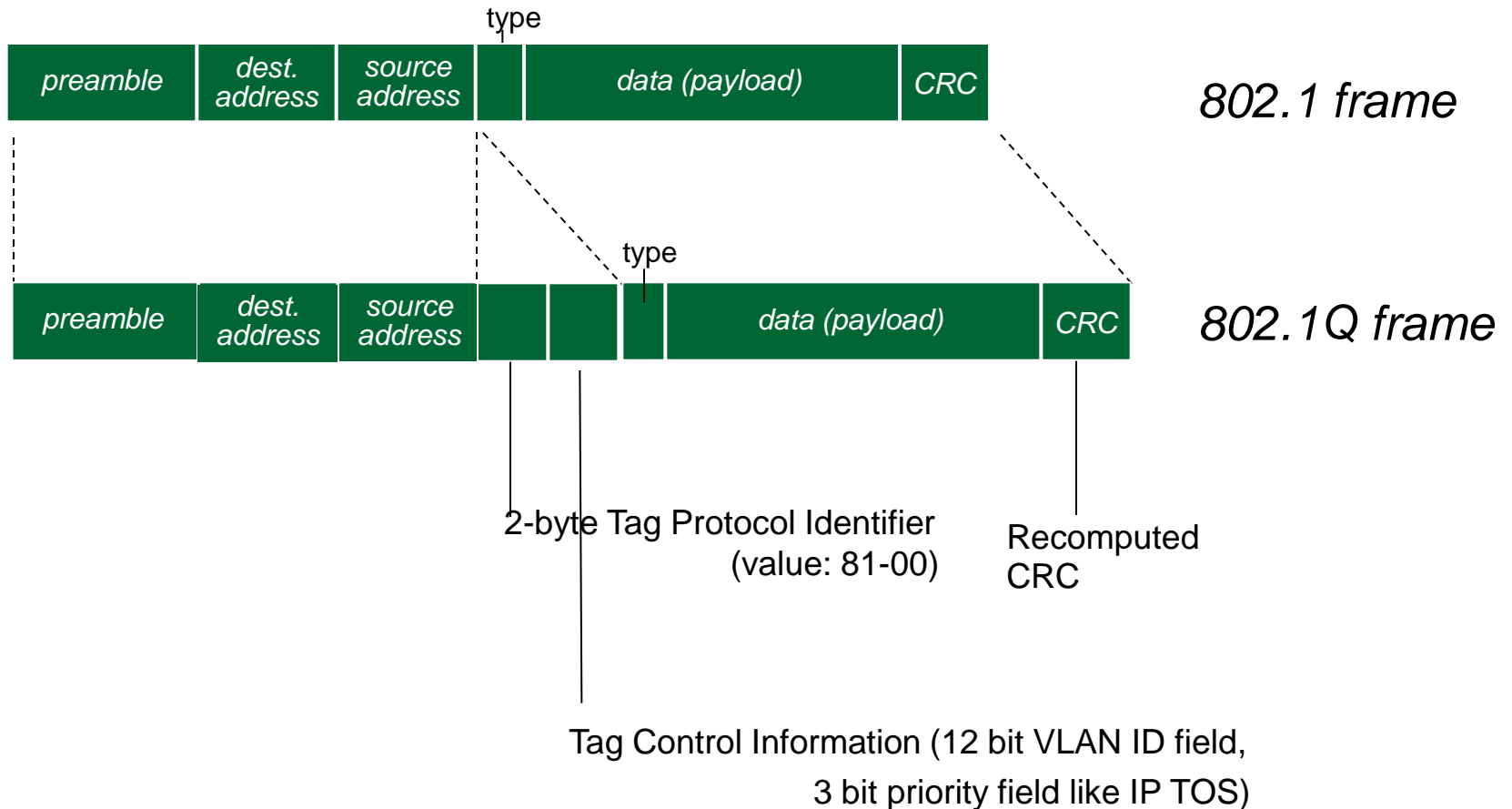
VLAN mở rộng qua nhiều switch



❖ **Trunk port:** mang các frame giữa các VLAN được xác định qua nhiều switch vật lý.

- Các frame được chuyển tiếp bên trong VLAN giữa các switch cần mang thông tin ID của VLAN.
- Giao thức 802.1q thêm/xóa các trường tiêu đề bổ sung của frame được chuyển tiếp giữa các trunk port.

Định dạng frame 802.1Q VLAN



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

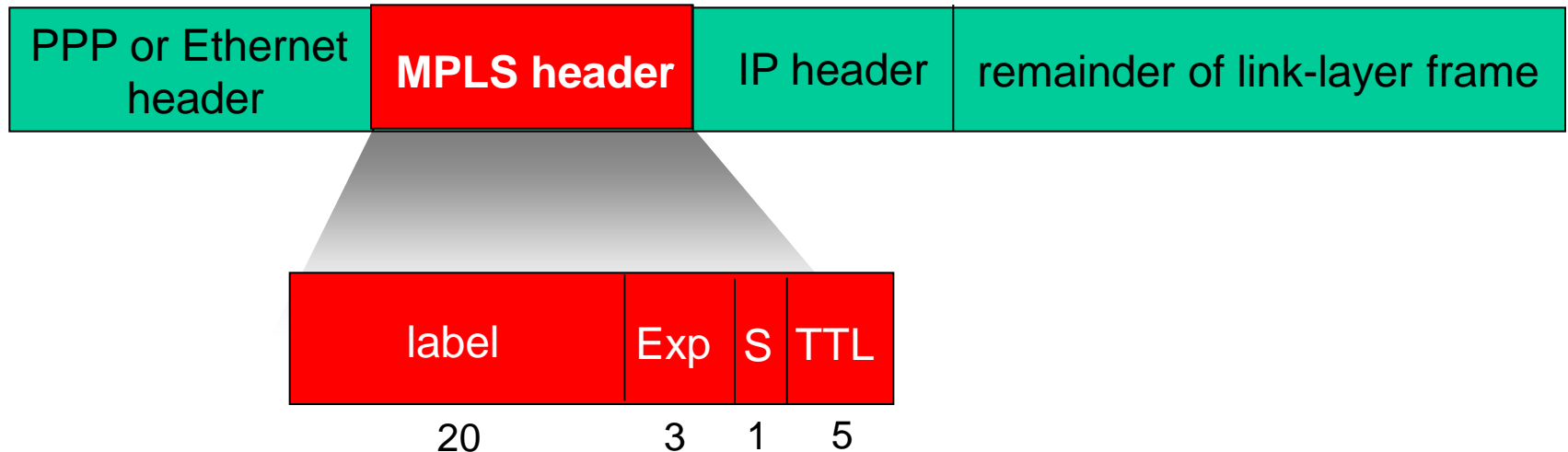
5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

Chuyển mạch nhãn đa giao thức

(Multiprotocol label switching - MPLS)

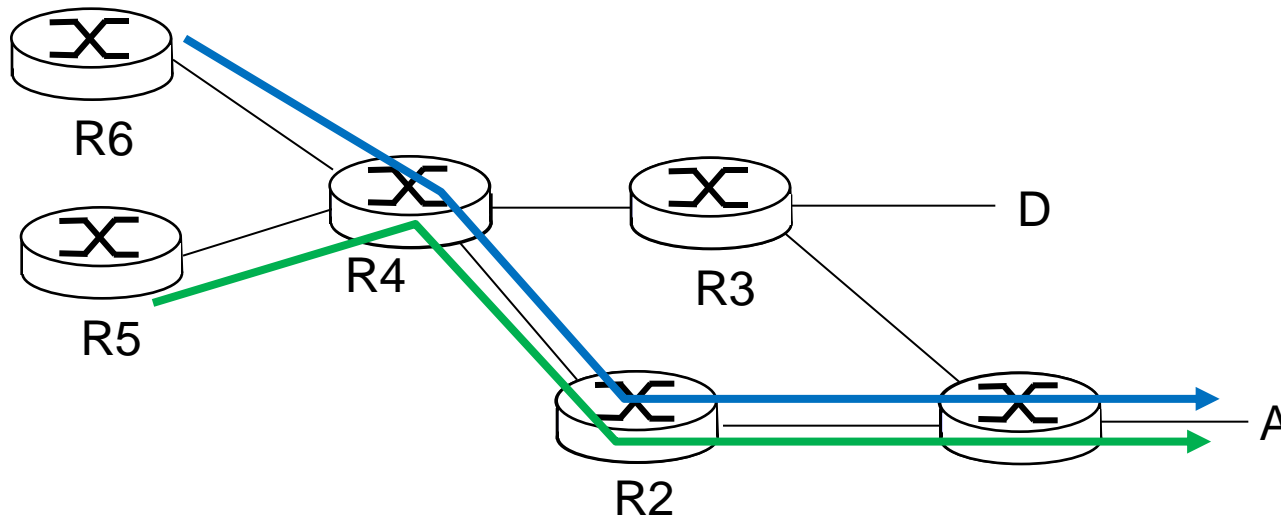
- ❖ Mục tiêu ban đầu: chuyển mạch IP tốc độ cao sử dụng nhãn chiều dài cố định (thay vì dùng địa chỉ IP)
 - Tìm kiếm nhanh sử dụng định danh chiều dài cố định (thay vì so khớp prefix ngắn nhất)
 - Dựa theo cách tiếp cận mạch ảo (VC)
 - Nhưng IP datagram vẫn giữ địa chỉ IP!



Các router có khả năng MPLS

- ❖ Còn được gọi là các router chuyển mạch nhãn
- ❖ Chuyển tiếp các gói tin tới giao diện ra chỉ dựa trên giá trị nhãn (không *kiểm tra* địa chỉ IP)
 - Bảng chuyển tiếp MPLS khác với bảng chuyển tiếp IP
- ❖ **Tính mềm dẻo:** các quyết định chuyển tiếp MPLS có thể khác với các quyết định chuyển tiếp của IP
 - Dùng địa chỉ đích và nguồn để định hướng luồng tới cùng đích theo các cách khác nhau (kỹ thuật luồng)
 - Định tuyến lại luồng nhanh chóng nếu liên kết bị lỗi: có các đường đi dự phòng được tính toán từ trước (hữu dụng cho VoIP).

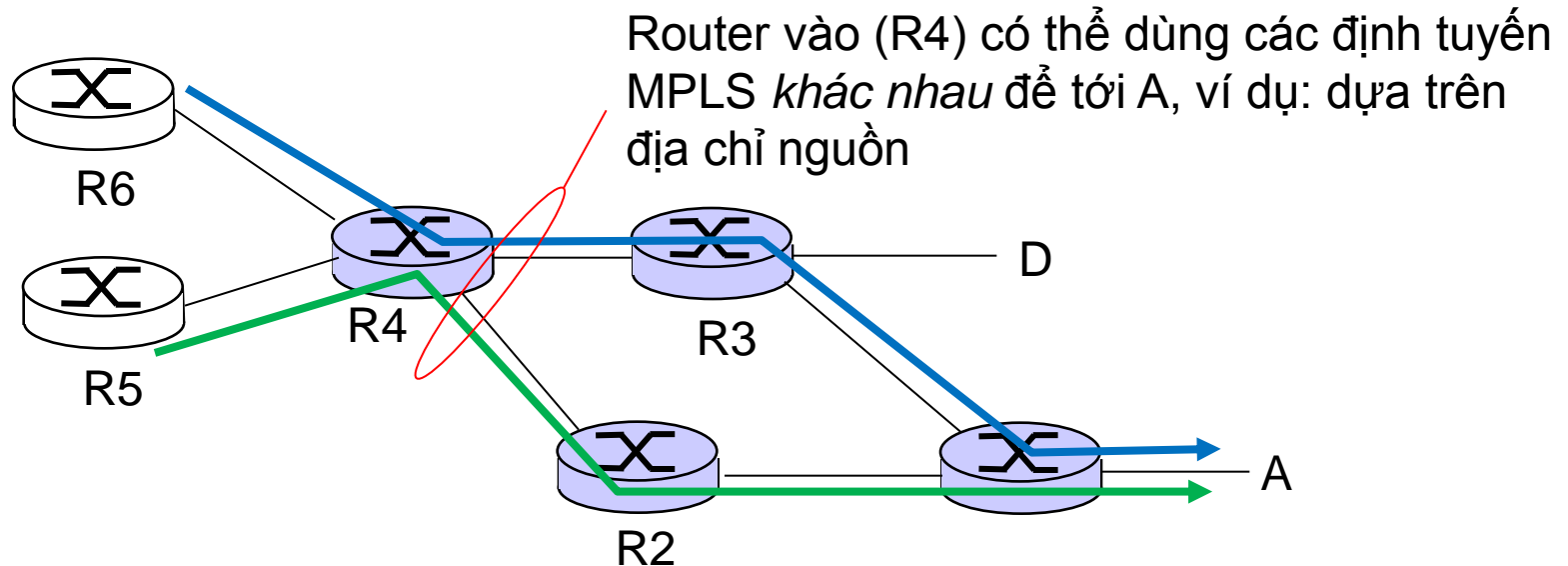
So sánh đường đi của MPLS với IP



- ❖ **Định tuyến IP:** đường đi tới đích chỉ được xác định bởi địa chỉ đích



So sánh đường đi của MPLS với IP



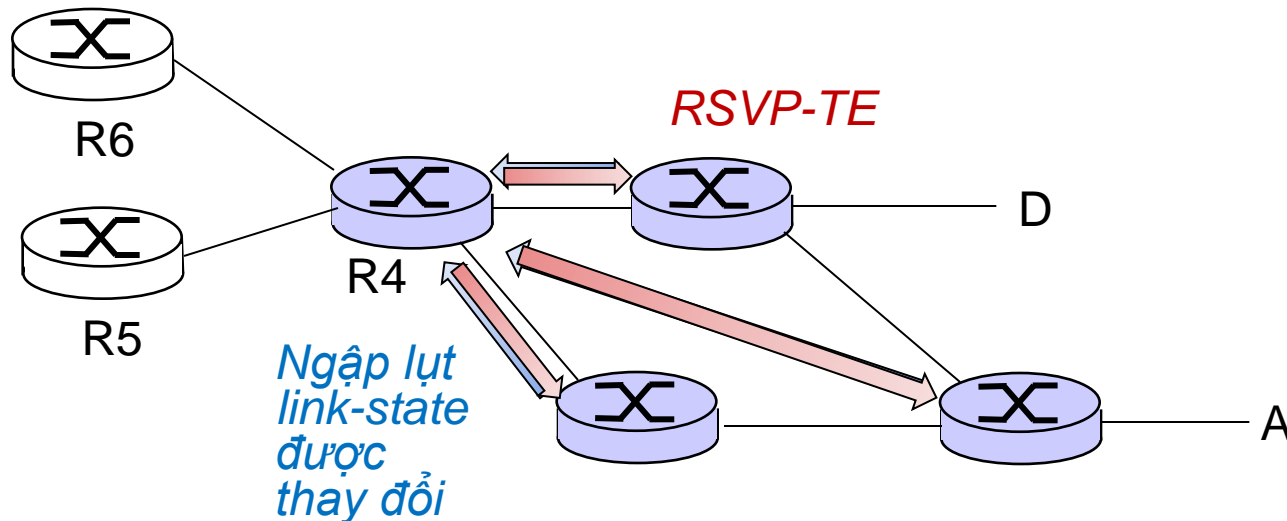
- ❖ **Định tuyến IP:** đường đi tới đích chỉ được xác định bởi địa chỉ đích
- ❖ **Định tuyến MPLS:** đường đi tới đích có thể được xác định dựa trên địa chỉ nguồn và địa chỉ đích
 - **Định tuyến lại nhanh:** có đường đi dự phòng trong trường hợp liên kết bị lỗi

 Router chỉ IP

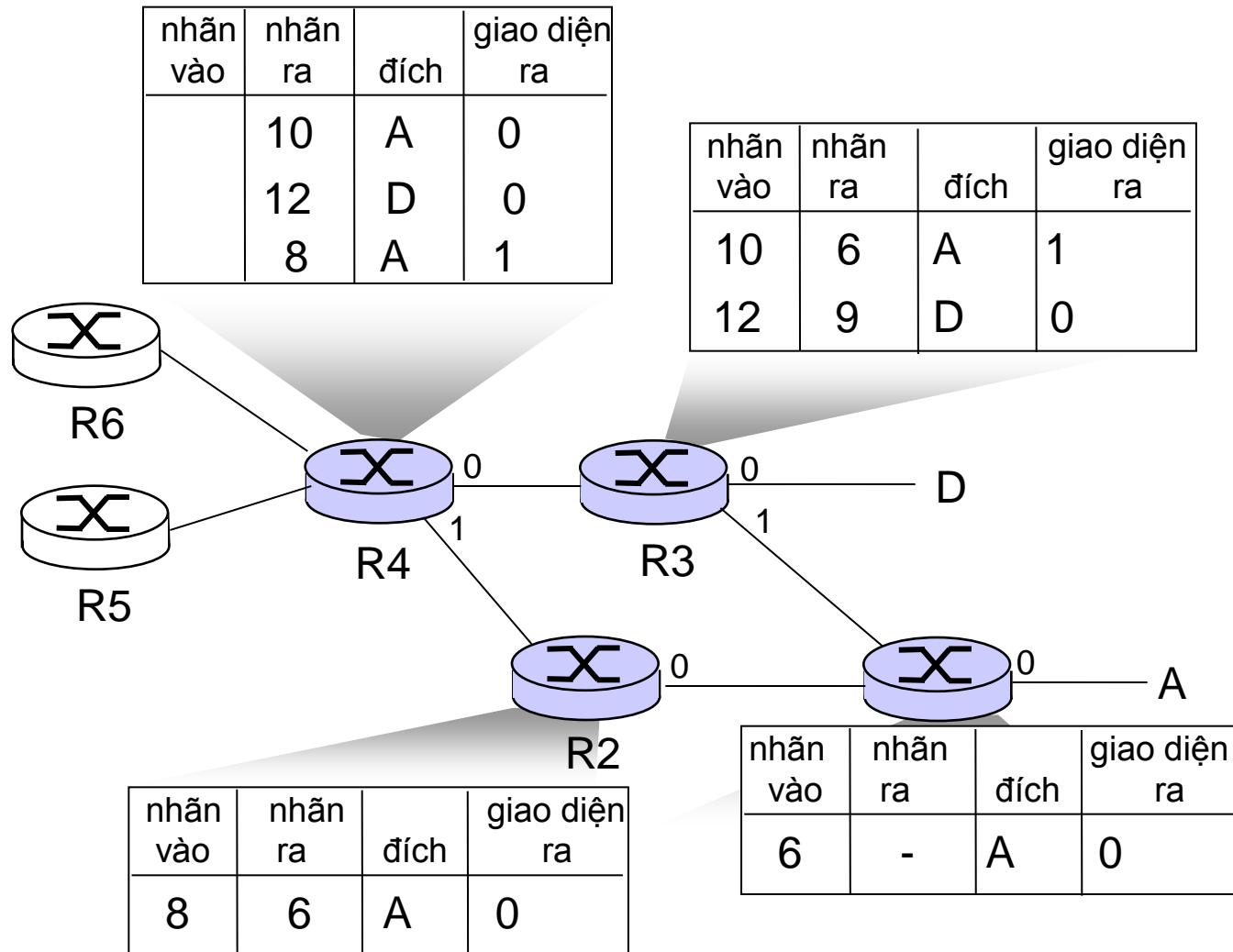
 Router MPLS và IP

Báo hiệu trong MPLS

- ❖ Thay đổi OSPF, các giao thức ngáp lụt link-state IS-IS để mang thông tin cho định tuyến MPLS
 - Ví dụ: bảng thông liên kết, tổng bảng thông của liên kết “dự phòng”
- ❖ Mục router MPLS sử dụng giao thức báo hiệu RSVP-TE để thiết lập chuyển tiếp MPLS tại dòng downstream của các router.



Các bảng chuyển tiếp MPLS



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

Mạng trung tâm dữ liệu (Data center networks)

- ❖ 10 đến 100 nghìn host, thường được kết hợp chặt chẽ:
 - Thương mại điện tử (e-business) (ví dụ: Amazon)
 - Các máy chủ nội dung (content-server) (Ví dụ: YouTube, Akamai, Apple, Microsoft)
 - search engines, khai phá dữ liệu (Ví dụ: Google)
- ❖ Thách thức:
 - Nhiều ứng dụng, mỗi ứng dụng phục vụ một số lượng rất lớn các client
 - Quản lý/cân bằng tải, xử lý các vấn đề về mạng, tắc nghẽn dữ liệu.

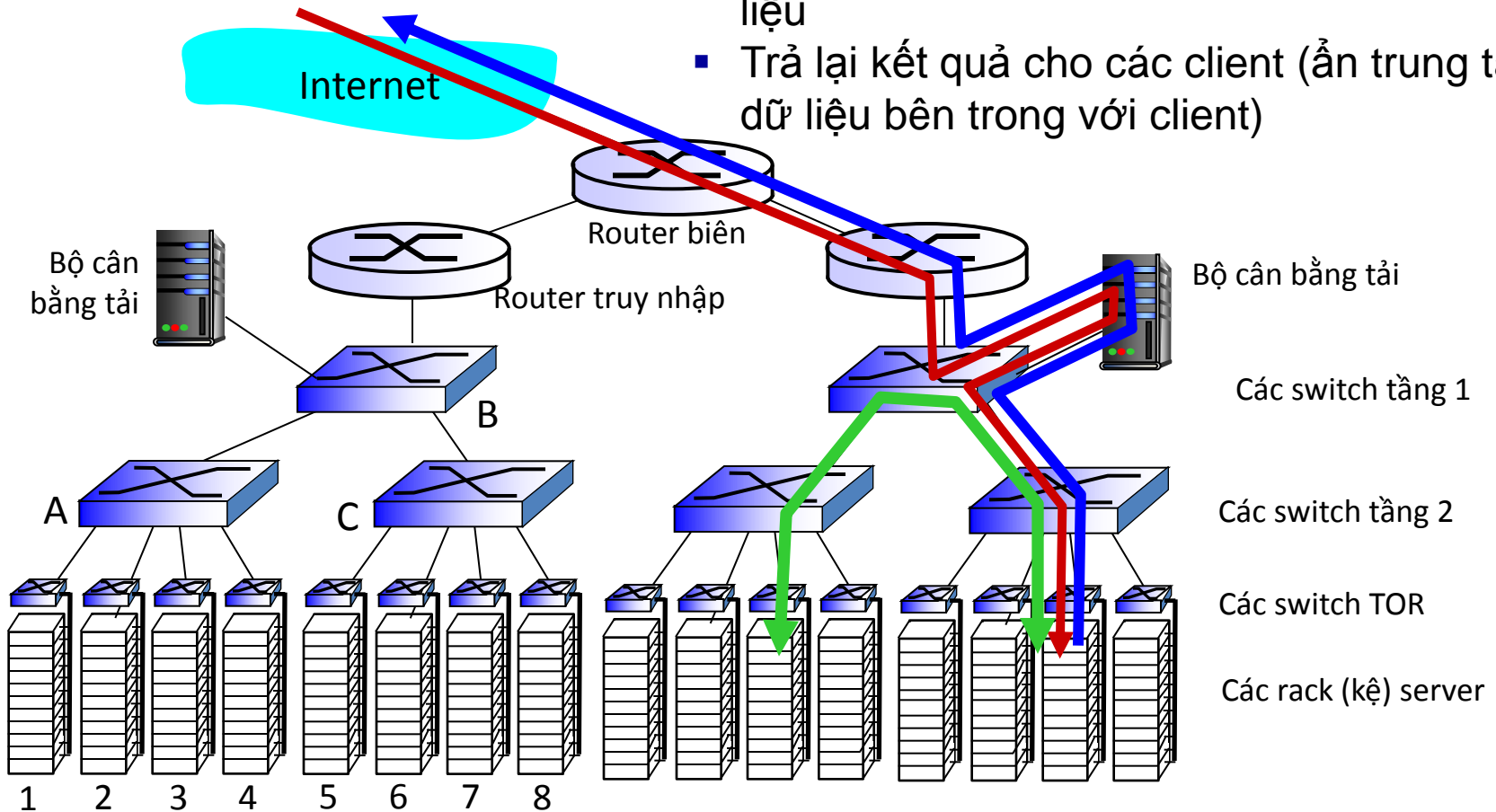


Bên trong một container 40-ft của Microsoft, tại trung tâm dữ liệu ở Chicago

Mạng trung tâm dữ liệu

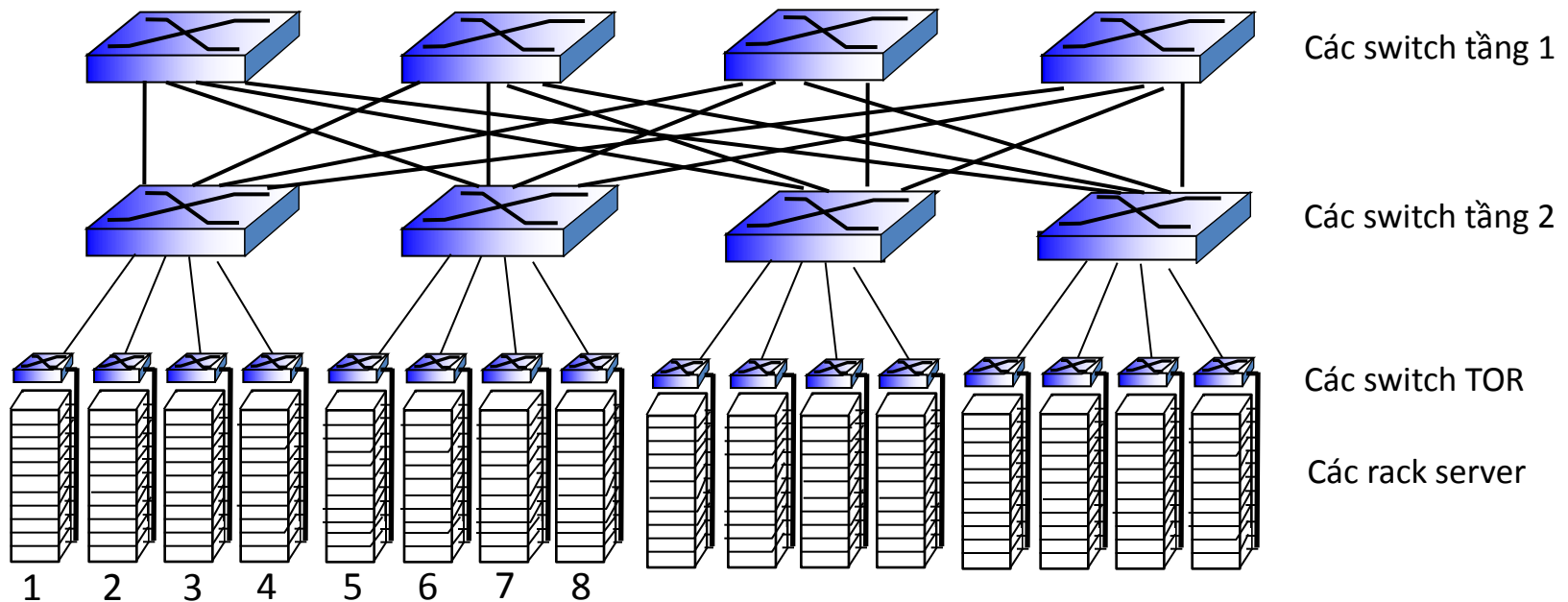
Bộ cân bằng tải: định tuyến tầng ứng dụng

- Nhận các yêu cầu từ client ở phía ngoài
- Chỉ đạo công việc bên trong trung tâm dữ liệu
- Trả lại kết quả cho các client (ẩn trung tâm dữ liệu bên trong với client)



Mạng trung tâm dữ liệu

- ❖ Kết nối rất nhiều các switch và các kệ (rack):
 - Tăng thông lượng giữa các kệ (có thể có nhiều đường đi)
 - Tăng độ tin cậy thông qua dự phòng.



Tầng liên kết và các mạng LAN: Nội dung

5.1 Giới thiệu, các dịch vụ

5.2 Phát hiện và sửa lỗi

5.3 Các giao thức đa truy
nhập

5.4 Các mạng LAN

- Định địa chỉ, ARP
- Ethernet
- Các switch
- Các VLAN

5.5 Chuyển mạch nhãn đa
giao thức (MPLS)

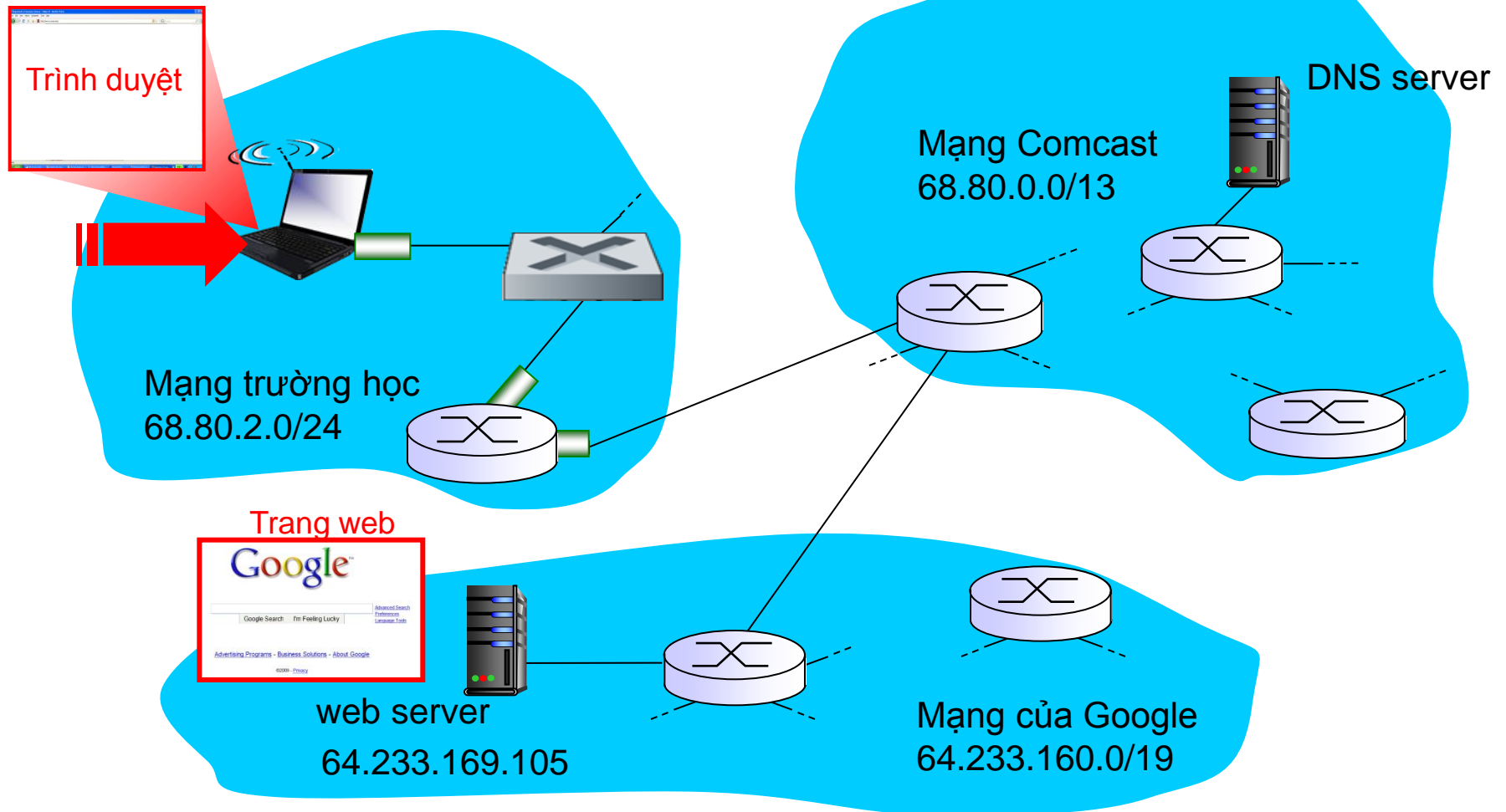
5.6 Mạng trung tâm dữ liệu

5.7 Vòng đời của một yêu
cầu web

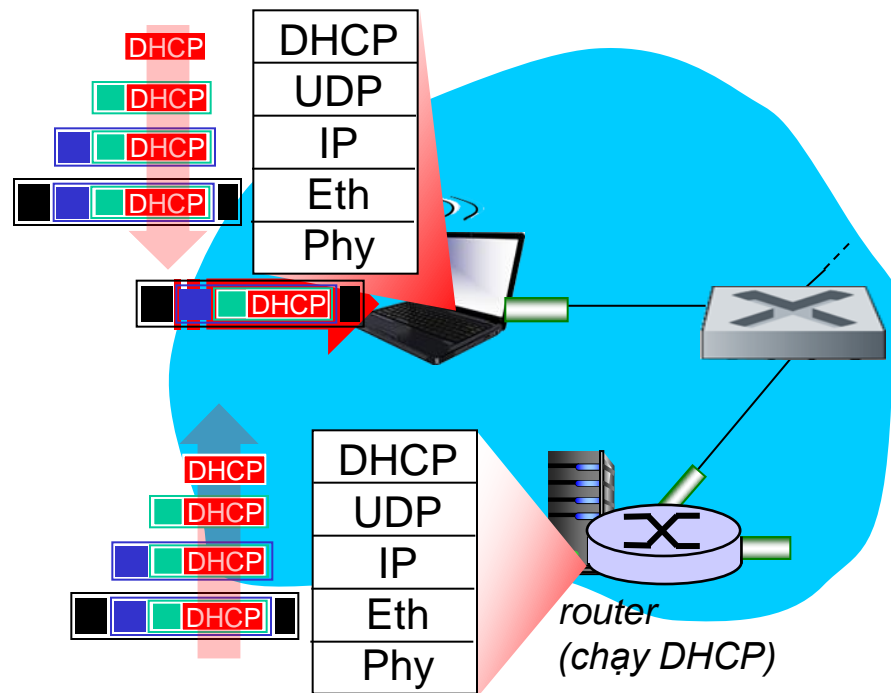
Tổng hợp: Vòng đời của một yêu cầu web

- ❖ Hành trình đi xuống chồng giao thức đã hoàn thành!
 - Tầng ứng dụng, tầng giao vận, tầng mạng, tầng liên kết.
- ❖ Đặt tất cả mọi thứ lại cùng nhau: tổng hợp!
 - *Mục đích:* xác định, xem xét, hiểu các giao thức (tại tất cả các tầng) liên quan trong một kịch bản khá đơn giản: yêu cầu một trang web.
 - *Kịch bản:* Sinh viên thực hiện yêu cầu/đáp ứng từ hệ thống mạng trong trường: www.google.com

Kịch bản: Vòng đời của một yêu cầu web

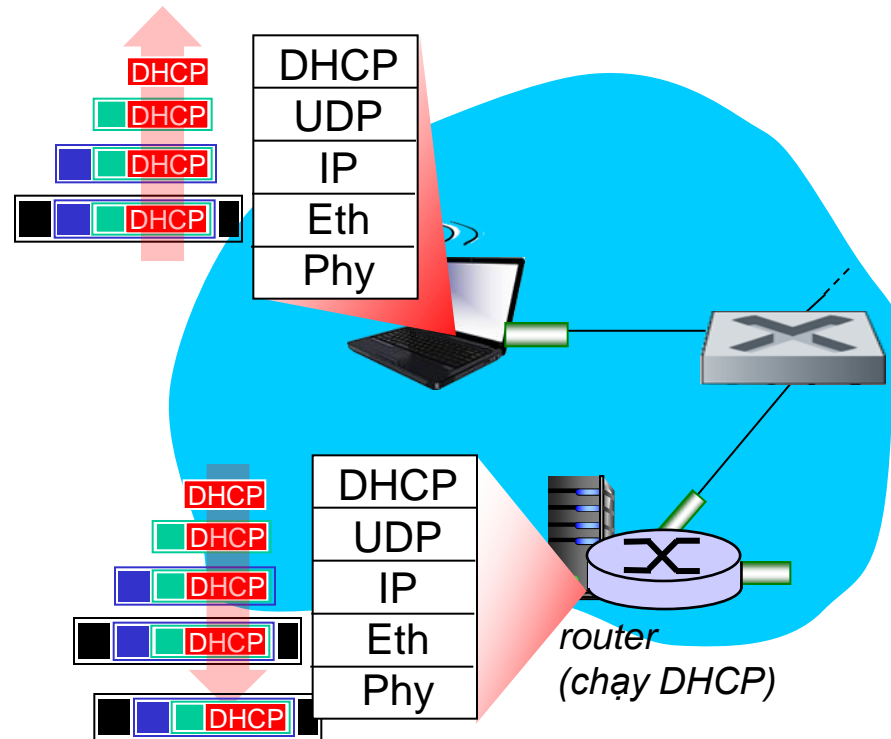


Kết nối đến Internet



- ❖ Việc kết nối đến máy tính cần có địa chỉ IP của máy, địa chỉ của router hop đầu tiên, địa chỉ của DNS server: dùng **DHCP**
- ❖ DHCP request *được đóng gói* trong **UDP**, được đóng gói trong **IP**, được đóng gói trong **802.3 Ethernet**
- ❖ Ethernet frame *quảng bá* (dest: FFFFFFFFFFFFFFFF) trên LAN, được nhận tại router đang chạy **DHCP** server
- ❖ Ethernet *mở gói* thành IP, IP mở gói thành UDP, UDP mở gói thành DHCP

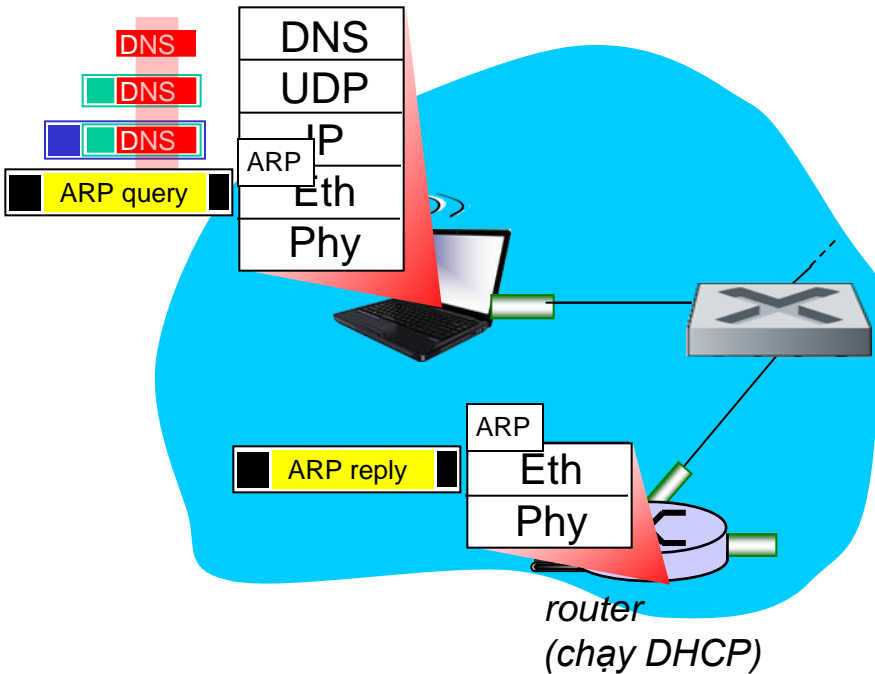
Kết nối đến Internet



- ❖ DHCP server định dạng **DHCP ACK** chứa địa chỉ IP của client, địa chỉ IP của router hop đầu tiên cho client, tên và địa chỉ IP của DNS server
- ❖ Đóng gói tại DHCP server, frame được chuyển tiếp (**học chuyển mạch**) qua LAN, việc mở gói tại client
- ❖ DHCP client nhận trả lời DHCP ACK

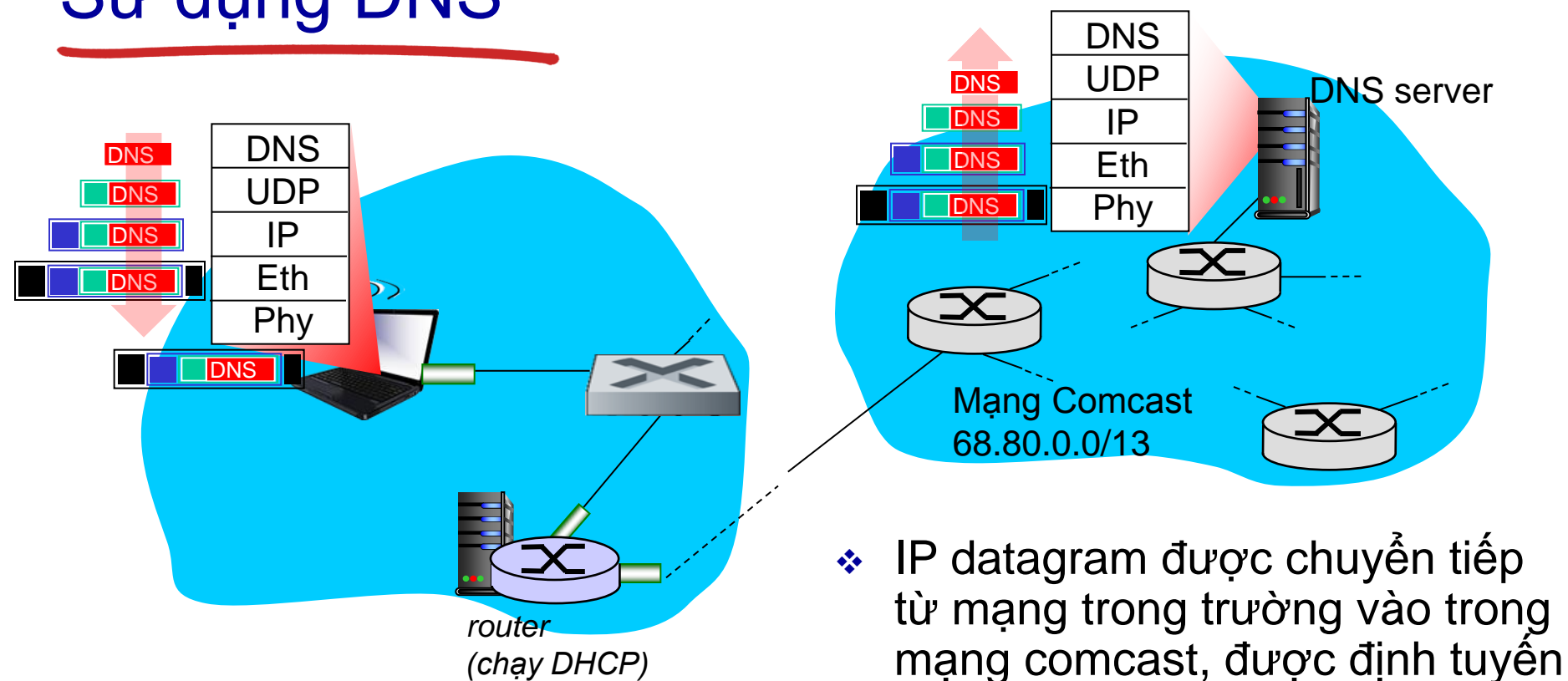
Bây giờ, client có địa chỉ IP, biết được tên và địa chỉ của DNS server, địa chỉ IP của router của hop đầu tiên của nó.

ARP (trước DNS, trước HTTP)



- ❖ Trước khi gửi yêu cầu **HTTP**, cần địa chỉ IP của `www.google.com`: **DNS**
- ❖ Truy vấn DNS được tạo ra, được đóng gói trong UDP, được đóng gói trong IP, được đóng gói trong Ethernet. Để gửi frame tới router, cần địa chỉ MAC của giao diện router: **ARP**
- ❖ **ARP query** quảng bá, được nhận bởi router mà sẽ trả lời với **ARP reply**, cho biết địa chỉ MAC của giao diện router.
- ❖ Lúc này, client biết địa chỉ MAC của router hop đầu tiên, do đó có thể gửi frame chứa truy vấn DNS

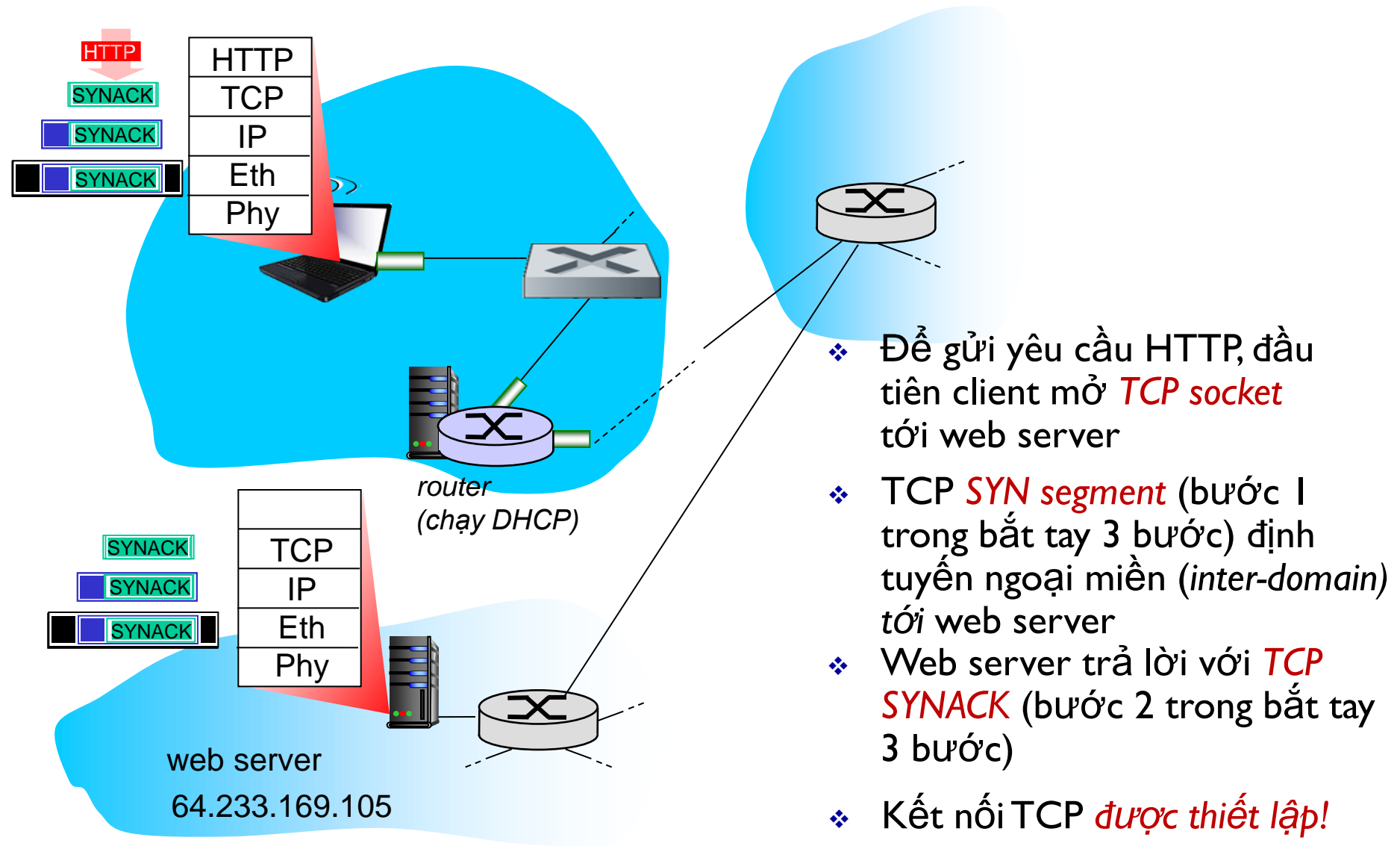
Sử dụng DNS



- ❖ IP datagram chứa truy vấn DNS được chuyển tiếp qua switch LAN từ client tới router hop đầu tiên

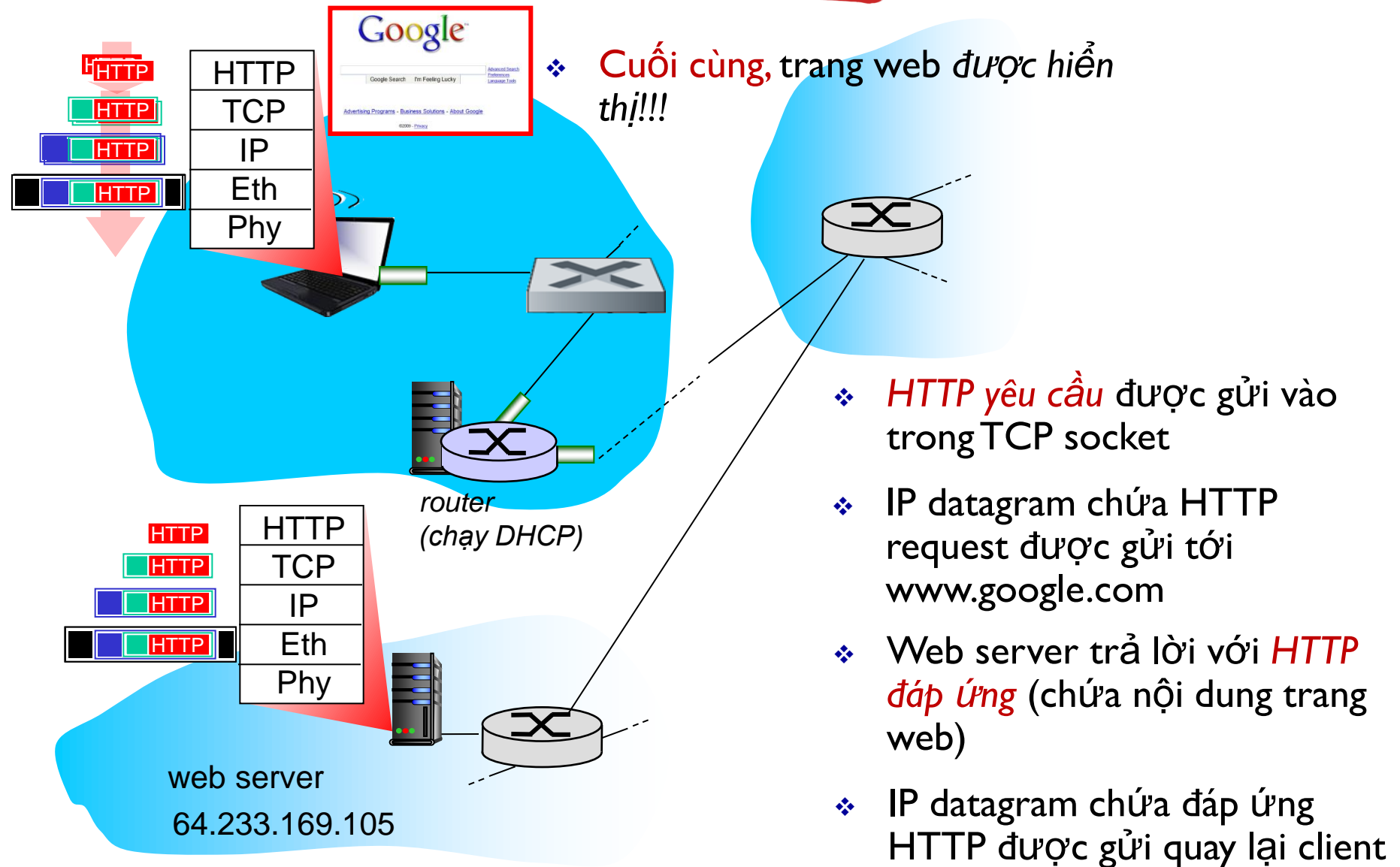
- ❖ IP datagram được chuyển tiếp từ mạng trong trường vào trong mạng comcast, được định tuyến (các bảng được tạo ra bởi các giao thức định tuyến **RIP, OSPF, IS-IS** và/hoặc **BGP**) tới DNS server
- ❖ DNS server trả lời lại client với địa chỉ IP của www.google.com

Kết nối TCP mang thông điệp HTTP



- ❖ Để gửi yêu cầu HTTP, đầu tiên client mở **TCP socket** tới web server
- ❖ TCP **SYN segment** (bước 1 trong bắt tay 3 bước) định tuyến ngoại miền (*inter-domain*) tới web server
- ❖ Web server trả lời với **TCP SYNACK** (bước 2 trong bắt tay 3 bước)
- ❖ Kết nối TCP **được thiết lập!**

HTTP yêu cầu/đáp ứng



Chương 5: Tổng kết

- ❖ Nguyên lý các dịch vụ bên trong tầng liên kết dữ liệu:
 - Phát hiện và sửa lỗi
 - Chia sẻ các kênh truyền chung: đa truy nhập
 - Định địa chỉ tầng liên kết
- ❖ Hiện thực và cài đặt một số công nghệ tầng liên kết
 - Ethernet
 - switched LANS, VLANs
 - MPLS
- ❖ Tổng hợp: Vòng đời của một yêu cầu web

Chương 5: Tổng kết

- ❖ Còn *rất nhiều* chủ đề thú vị đáng quan tâm!
 - Mạng không dây
 - Đa phương tiện (multimedia)
 - An ninh mạng
 - Quản trị mạng
 - ...