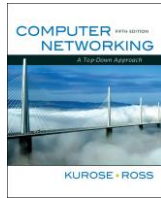


Chapter 4 Network Layer



A note on the use of these ppt slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a lot of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) in substantially unaltered form, that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides in substantially unaltered form on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2009
J.F. Kurose and K.W. Ross. All Rights Reserved

*Computer Networking:
A Top Down Approach
5th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, April
2009.*

Network Layer 4-1

Chapter 4: Tầng mạng

Mục đích:

- Hiểu được nguyên lý của các dịch vụ tầng mạng:
 - Các mô hình dịch vụ tầng mạng
 - Chuyên tiếp vs Định tuyến
 - Hoạt động của thiết bị định tuyến
 - Định tuyến (chọn đường)
 - Giải quyết vấn đề phạm vi
 - Các chủ đề nâng cao: IPv6, di động
- Hoạt động trong mạng Internet

Network Layer 4-2

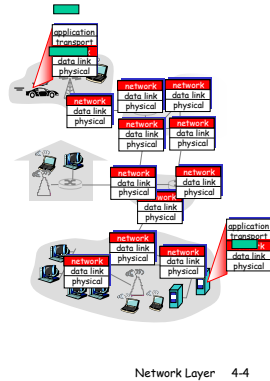
Chapter 4: Tầng mạng

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-3

Tầng mạng

- ❑ Vận chuyển phân đoạn từ trạm gửi tới trạm nhận
- ❑ Bên gửi đóng gói các phân đoạn vào các gói dữ liệu
- ❑ Bên nhận phân phát các phân đoạn tới tầng vận chuyển
- ❑ Giao thức tầng mạng có trong mỗi trạm và trong router
- ❑ router kiểm tra trường trong header của tất cả các gói IP chuyển qua nó

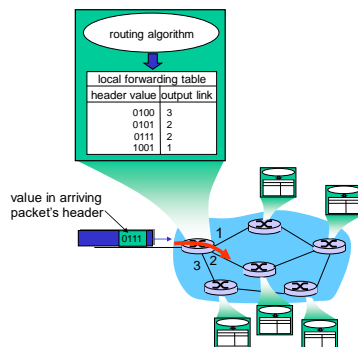


Hai chức năng chính của tầng mạng

- ❑ **Chuyển tiếp:** Di chuyển các gói tin từ đầu vào tới đầu ra tương ứng của router
- ❑ **Định tuyến:** Xác định đường đi từ nguồn tới đích của các gói tin.
 - Giải thuật định tuyến
- Sự tương tự:**
- ❑ **Định tuyến:** tiến trình xác định hành trình từ nguồn tới đích
- ❑ **Chuyển tiếp:** tiến trình chuyển qua giao điểm đơn

Network Layer 4-5

Tương tác giữa định tuyến và chuyển tiếp



Mô hình dịch vụ mạng

Q: Mô hình dịch vụ mạng như nào để kênh có thể chuyển các gói dữ liệu từ sender tới receiver?

Ví dụ dịch vụ cho các gói dữ liệu riêng biệt:

- Đảm bảo việc phân phát
- Đảm bảo phân phát có độ trễ bé hơn 40 msec

Ví dụ về một luồng các gói dữ liệu :

- Đề phân phát các gói dữ liệu
- Đảm bảo độ rộng băng thông tối thiểu cho luồng
- Thu hẹp khoảng cách giữa các gói

Network Layer 4-7

Các mô hình dịch vụ mạng:

Network Architecture	Service Model	Guarantees ?				Congestion feedback
		Bandwidth	Loss	Order	Timing	
Internet	best effort	none	no	no	no	no (inferred via loss)
ATM	CBR	constant rate	yes	yes	yes	no congestion
ATM	VBR	guaranteed rate	yes	yes	yes	no congestion
ATM	ABR	guaranteed minimum	no	yes	no	yes
ATM	UBR	none	no	yes	no	no

Network Layer 4-8

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-9

Dịch vụ tầng mạng không kết nối và kết nối

- ❑ Gói dữ liệu tầng mạng cung cấp dịch vụ không kết nối
- ❑ VC cung cấp cho tầng mạng dịch vụ kết nối
- ❑ Tương tự dịch vụ tầng vận chuyển nhưng:
 - **Dịch vụ:** Trạm-tới-Trạm
 - **Không chọn lựa:** tầng mạng cung cấp chọn một hoặc cái khác
 - **Thực hiện:** trong phần lõi của mạng

Network Layer 4-10

Kênh ảo

"Thiết lập kênh từ nguồn tới đích giống như kênh trong điện thoại"

- Thực hiện có chọn lựa
- Các thao tác mạng thông qua đường dẫn source-to-dest

- ❑ Thiết lập cuộc gọi, đóng mạch cho mỗi cuộc gọi trước khi luồng dữ liệu có thể được truyền đi
- ❑ Mỗi gói dữ liệu có gắn định danh kênh ảo (không phải địa chỉ trạm đích)
- ❑ Mỗi đường dẫn của router từ source-dest duy trì "trạng thái" cho mỗi liên kết chuyển qua
- ❑ Liên kết: tài nguyên của router (bandwidth, buffers) có thể dành cho VC (tài nguyên dành riêng = dịch vụ dự kiến)

Network Layer 4-11

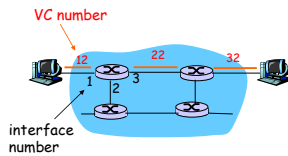
Thiết lập VC

a VC bao gồm:

1. **Đường đi từ nguồn tới đích**
 2. **Số hiệu kênh ảo, mỗi số dành cho một liên kết qua đường dẫn**
 3. **Đầu vào trong bảng chuyển tiếp của router thông qua đường dẫn**
- ❑ Gói tin thuộc kênh ảo chứa số hiệu kênh ảo thay vì chứa địa chỉ đích
 - ❑ Số hiệu VC có thể được thay đổi trên mỗi liên kết.
 - Số hiệu VC mới được thiết lập từ bảng chuyển tiếp

Network Layer 4-12

Bảng chuyển tiếp



Forwarding table in northwest router:

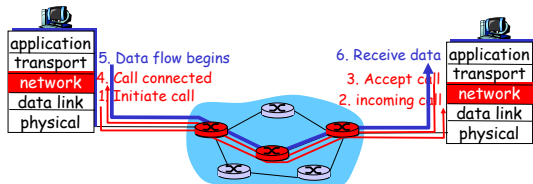
Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Routers maintain connection state information!

Network Layer 4-13

Kênh ảo: giao thức tín hiệu

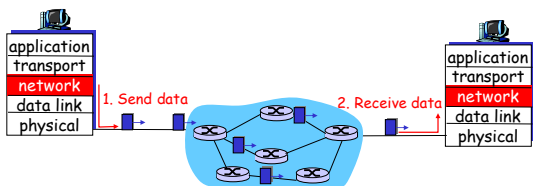
- Sử dụng để thiết lập, duy trì kênh ảo
- Sử dụng trong ATM, frame-relay, X.25
- Không sử dụng trong mạng Internet hiện nay



Network Layer 4-14

Gói dữ liệu mạng

- Không thiết lập cuộc gọi tại tầng mạng
- routers: không trạng thái về kết nối end-to-end
- Các gói được chuyển tiếp sử dụng địa chỉ trạm đích
 - Các gói tin giữa cùng một cặp source-dest có thể đi bằng các đường khác nhau



Network Layer 4-15

Bảng chuyển tiếp

4 billion
possible entries

Destination Address Range	Link Interface
11001000 00010111 00010000 00000000 through 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 through 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 through 11001000 00010111 00011111 11111111	2
otherwise	3
Network Layer 4-16	

Tiếp đầu ngữ so sánh dài nhất

Prefix Match	Link Interface
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
otherwise	3

Examples

DA: 11001000 00010111 00010110 10100001 Which interface?

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010 Which interface?

Network Layer 4-17

Gói dữ liệu hay kênh ảo: tại sao?

Internet (gói dữ liệu)

- Dữ liệu trao đổi giữa các máy tính
 - Dịch vụ mềm dẻo, không yêu cầu chặt chẽ thời gian.
- Hệ thống cuối thông minh (computers)
 - Có thể tương thích, thực hiện điều khiển, phục hồi lỗi
- Có nhiều kiểu liên kết
 - Đặc điểm khác nhau
 - Khó đồng bộ dịch vụ

ATM (kênh ảo)

- Phát triển từ điện thoại
- Hội thoại của con người:
 - Chặt chẽ về thời gian, yêu cầu độ tin cậy
 - Cần dịch vụ đảm bảo
- Hệ thống cuối không thông minh
 - Điện thoại
 - Phức tạp trong mạng

Network Layer 4-18

Chapter 4: Network Layer

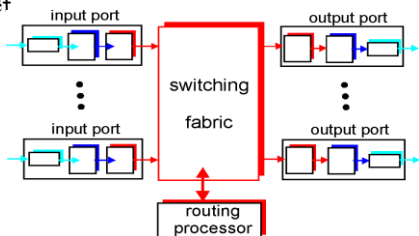
- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-19

Tổng quan kiến trúc của Router

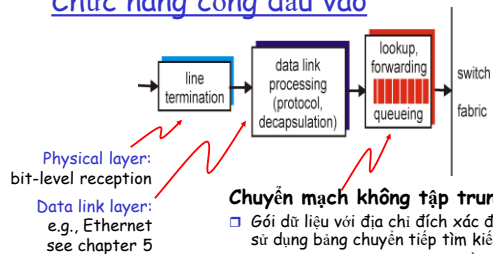
Hai chức năng chính của router:

- Thực hiện giải thuật/giao thức định tuyến (RIP, OSPF, BGP)
- Chuyển tiếp gói dữ liệu từ đầu vào tới đầu ra của liên kết



Network Layer 4-20

Chức năng cổng đầu vào

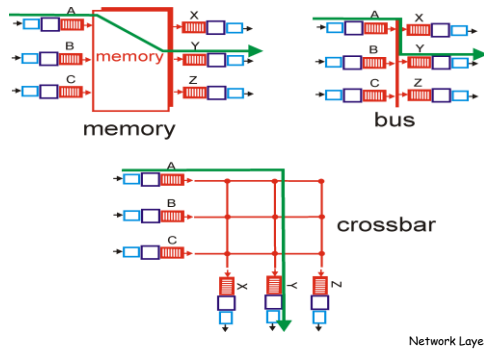


Chuyển mạch không tập trung:

- Gói dữ liệu với địa chỉ đích xác định trước, sử dụng bảng chuyển tiếp tìm kiếm công ra
- Mục đích: hoàn thành xử lý đầu vào công với tốc độ đường truyền
- Hàng đợi: nếu các gói dữ liệu đến nhanh hơn tốc độ chuyển tiếp chuyển sang cấu trúc

Network Layer 4-21

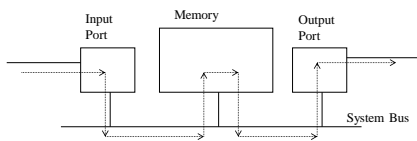
Ba dạng cấu trúc chuyển mạch



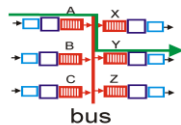
Chuyển mạch thông qua bộ nhớ

Thế hệ đầu tiên của các routers:

- các máy tính truyền thông chuyển mạch dưới sự điều khiển trực tiếp của CPU
- gói được sao chép tới bộ nhớ của hệ thống
- tốc độ bị giới hạn bởi độ rộng của bộ nhớ



Chuyển mạch thông qua Bus



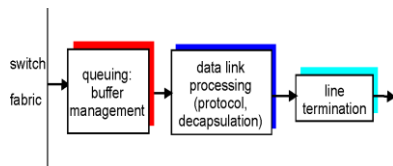
- Gói tin từ cổng vào bộ nhớ tới cổng ra của bộ nhớ thông qua một bus dùng chung
- **Cạnh tranh bus:** tốc độ chuyển mạch giới hạn bởi độ rộng bus
- 32 Gbps bus, Cisco 5600: tốc độ đủ cho các routers thương mại hóa.

Chuyển mạch thông qua liên kết nối mạng

- ❑ Khắc phục được giới hạn độ rộng bus
- ❑ Cấu trúc kết nối từ nhiều bộ xử lý đơn thành mô hình ghép multiprocessors.
- ❑ Thiết kế tiên tiến: phân rã gói dữ liệu thành các cells có độ dài cố định, chuyển các cells qua cấu trúc.
- ❑ Cisco 12000: chuyển 60 Gbps thông qua liên kết nối mạng

Network Layer 4-25

Cổng ra



- ❑ **Bộ đệm** được yêu cầu khi mà dữ liệu đến từ bộ tạo nhanh hơn tốc độ truyền
- ❑ **Quy tắc thứ tự** chọn gói dữ liệu trong hàng đợi cho tiến trình truyền

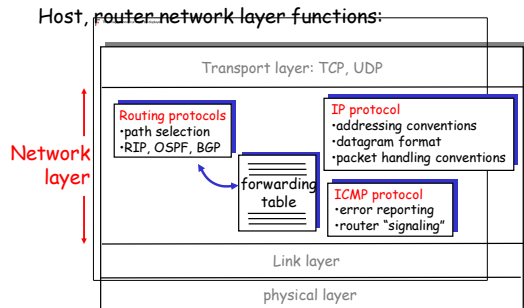
Network Layer 4-26

Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ **4.4 IP: Internet Protocol**
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-27

Tầng liên mạng



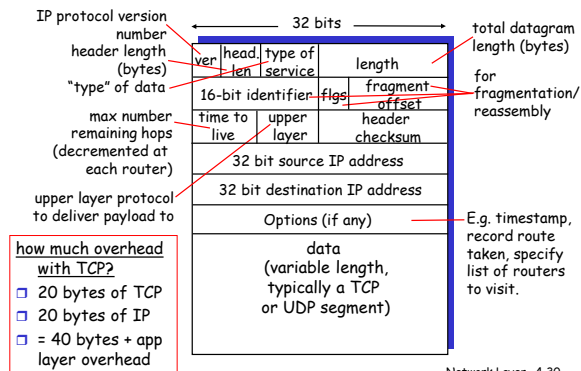
Network Layer 4-28

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-29

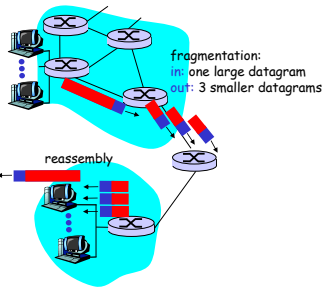
Định dạng gói dữ liệu IP



Network Layer 4-30

IP Phân đoạn & ghép lại

- Liên kết mạng có MTU (max.transfer size) - Khung có kích thước lớn nhất.
 - Các kiểu liên kết khác nhau có MTUs khác nhau
- Gói dữ liệu IP lớn được chia thành các gói nhỏ
 - Một gói trở thành một số gói
 - "ghép lại" chỉ thực hiện tại đích cuối cùng
 - Các bits trong IP header sử dụng để định danh, phân đoạn



Network Layer 4-31

IP phân đoạn và ghép lại

Ví dụ

- 4000 byte datagram
- MTU = 1500 bytes

1480 bytes in data field

offset = 1480/8

length	ID	fragflag	offset
=4000	=x	=0	=0

One large datagram becomes several smaller datagrams

length	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=0
=1500	=x	=1	=185
=1040	=x	=0	=370

Network Layer 4-32

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

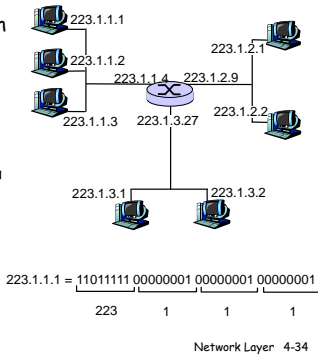
Network Layer 4-33

Địa chỉ IP : giới thiệu

- Địa chỉ IP: 32-bit định danh cho trạm, giao diện của router

- **Giao diện**: kết nối giữa host/router và liên kết vật lý

- Router thường có nhiều giao diện
- host thường có một giao diện
- Địa chỉ IP gán với mỗi giao diện



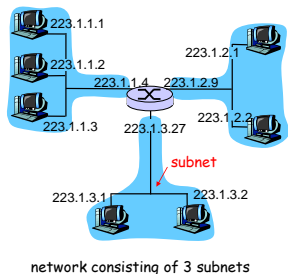
Mạng con

- Địa chỉ IP:

- Phần mạng con (phần bit cao)
- Phần trạm (phần bit thấp)

- **Mạng con là gì ?**

- Các giao diện thiết bị với cùng phân đoạn địa chỉ mạng con
- Có thể truyền thông mức vật lý với nhau mà không cần sự can thiệp của router

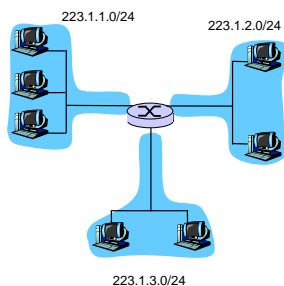


Network Layer 4-35

Mạng con

Cách làm

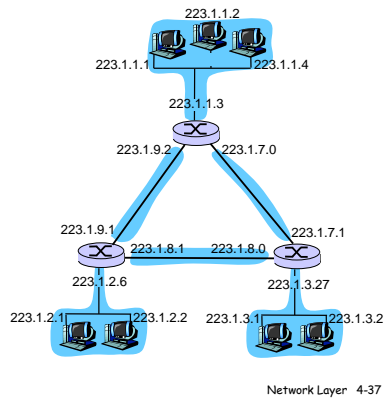
- Xác định các mạng con, phân tách các giao diện của trạm hoặc router tạo thành các mạng độc lập. Mỗi mạng độc lập đó gọi là một **mạng con**.



Network Layer 4-36

Mạng con

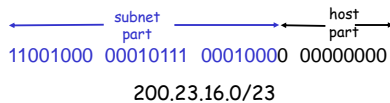
Bao nhiêu?



Địa chỉ IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing

- Phân đoạn của địa chỉ mạng con có độ dài tùy ý
- Khuôn dạng địa chỉ: **a.b.c.d/x**, trong đó x là số bits địa chỉ của mạng con



Network Layer 4-38

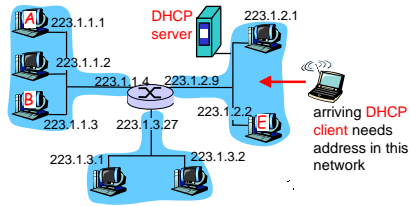
Địa chỉ IP: nhận địa chỉ như thế nào?

Q: Trăm nhận địa chỉ IP như thế nào?

- Mã hóa cứng bởi quản trị hệ thống trong một tệp
 - Windows: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
 - UNIX: /etc/rc.config
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol**: nhận địa chỉ động từ server
 - "plug-and-play"

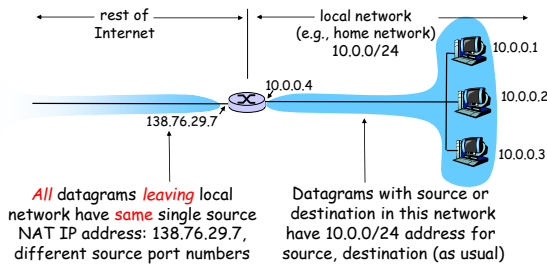
Network Layer 4-39

DHCP client-server



Network Layer 4-40

NAT: Dịch chuyển địa chỉ



Network Layer 4-41

NAT: Dịch chuyển địa chỉ

- **Mục đích:** Mạng cục bộ chỉ một địa chỉ IP là địa chỉ ngoài dùng cho Internet:
 - Không cần dãy địa chỉ từ ISP: chỉ cần một địa chỉ IP cho tất cả các thiết bị
 - Có thể thay đổi địa chỉ của các thiết bị trong mạng cục bộ mà không cần thông báo ra bên ngoài
 - Có thể thay đổi ISP mà không cần thay đổi địa chỉ của các thiết bị trong mạng cục bộ
 - Các thiết bị trong mạng cục bộ không được nhìn trực tiếp từ mạng ngoài (tăng thêm sự an toàn).

Network Layer 4-42

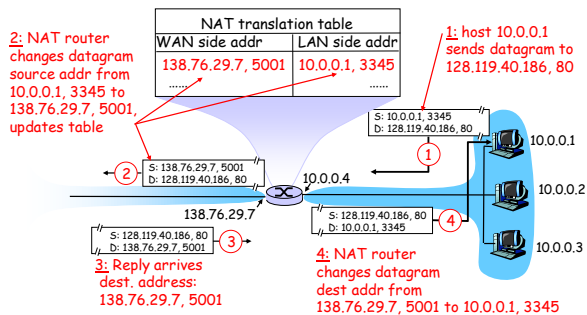
NAT: Dịch chuyển địa chỉ

Thực hiện: NAT router sẽ:

- Các gói tin đi ra: *Thay thế* (source IP address, port #) của mỗi gói tin đi ra bằng (NAT IP address, new port #)
 - ... Các clients/servers ngoài sẽ dùng (NAT IP address, new port #) là địa chỉ đích trong gói tin hồi đáp.
- *Ghi nhớ (trong bảng chuyển đổi NAT)* mỗi (source IP address, port #) mới (NAT IP address, new port #) cập chuyển đổi địa chỉ
- Các gói tin vào: *thay thế* (NAT IP address, new port #) trong gói tin đến bằng (source IP address, port #) được lưu trữ trong bảng chuyển đổi NAT

Network Layer 4-43

NAT: Dịch chuyển địa chỉ



Network Layer 4-44

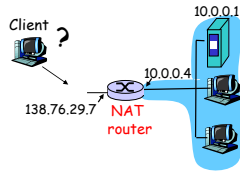
NAT: Dịch chuyển địa chỉ

- 16-bit cho trường port-number:
 - 60,000 kết nối đồng thời với một mạng LAN.
- Những vấn đề liên quan đến NAT:
 - Các routers chỉ xử lý đến tầng 3
 - Vi phạm nguyên lý end-to-end
 - NAT phải được thiết kế trong các ứng dụng, ví dụ: các ứng dụng dạng P2P
 - Sự thiếu hụt địa chỉ sẽ được giải quyết bởi IPv6

Network Layer 4-45

Một số vấn đề với NAT

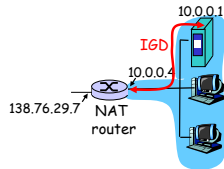
- client muốn kết nối tới server địa chỉ 10.0.0.1
 - Địa chỉ server 10.0.0.1 cục bộ trong mạng LAN
 - Chi hiện thị đối với mạng ngoài là địa chỉ NAT: 138.76.29.7
- Giải pháp 1: cấu hình tĩnh NAT chuyển kết nối tới cổng của server
 - Ví dụ: (123.76.29.7, port 2500) luôn chuyển tới 10.0.0.1 port 25000



Network Layer 4-46

Một số vấn đề với NAT

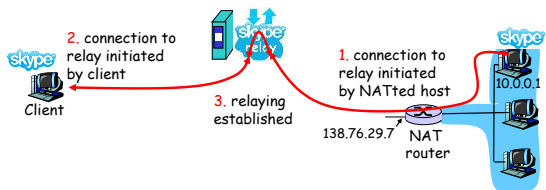
- Giải pháp 2: dung giao thức vạn năng: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD). Cho phép NAT trảm tới:
 - ❖ Địa chỉ IP ngoài (138.76.29.7)
 - ❖ add/remove ánh xạ cổng



Network Layer 4-47

Một số vấn đề với NAT

- Giải pháp 3: chuyển tiếp (sử dụng trong Skype)
 - NAT client thiết lập kết nối tới chuyển tiếp
 - client ngoài kết nối với chuyển tiếp
 - Cầu chuyển tiếp các gói giữa các kết nối



Network Layer 4-48

Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-49

ICMP: Giao thức điều khiển thông báo liên mạng

- ❑ Sử dụng bởi hosts & routers truyền thông tin tầng mạng
 - Báo lỗi: unreachable host, network, port, protocol
 - Báo hiệu lại request/reply (sử dụng bởi ping)
 - ❑ Thuộc tầng mạng:
 - ICMP msgs được mang trong gói tin IP
 - ❑ Thông báo ICMP: Kiểu, mã thêm vào 8 bytes đầu của gói tin IP gây nên lỗi
- | Type | Code | description |
|------|------|---|
| 0 | 0 | echo reply (ping) |
| 3 | 0 | dest. network unreachable |
| 3 | 1 | dest host unreachable |
| 3 | 2 | dest protocol unreachable |
| 3 | 3 | dest port unreachable |
| 3 | 6 | dest network unknown |
| 3 | 7 | dest host unknown |
| 4 | 0 | source quench (congestion control - not used) |
| 8 | 0 | echo request (ping) |
| 9 | 0 | route advertisement |
| 10 | 0 | router discovery |
| 11 | 0 | TTL expired |
| 12 | 0 | bad IP header |

Network Layer 4-50

Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-51

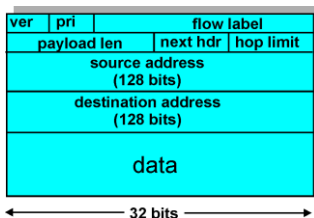
IPv6

- ❑ **Mục đích:** không gian địa chỉ 32-bit sắp cạn kiệt.
- ❑ Một số ý nghĩa khác:
 - Định dạng header giúp tăng tốc độ trong xử lý/chuyển tiếp
 - Thay đổi header giúp cho QoS thực hiện dễ dàng hơn
- IPv6 định dạng gói tin:**
 - Có định độ dài 40 byte header
 - Không được phép phân đoạn

Network Layer 4-52

IPv6 Header (Cont)

Priority: xác định ưu tiên của các gói trong cùng một luồng
Flow Label: xác định các gói cùng luồng.
Next header: xác định giao thức tầng trên cho dữ liệu



Network Layer 4-53

Một số thay đổi so với IPv4

- ❑ **Checksum:** loại bỏ toàn bộ để tăng tốc độ xử lý tại các nodes
- ❑ **Options:** cho phép, nhưng ngoài header, xác định bởi trường "Next Header"
- ❑ **ICMPv6:** phiên bản mới của ICMP
 - Bổ sung kiểu thông báo, ví dụ: "Packet Too Big"
 - Chức năng quản trị nhóm

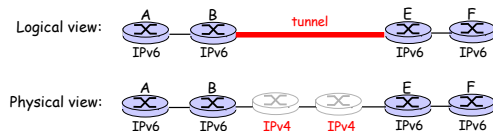
Network Layer 4-54

Chuyển tiếp từ IPv4 tới IPv6

- ❑ Không phải tất cả routers có thể được nâng cấp đồng thời
 - Không có ngày hiệu lệnh đồng loạt thực hiện
 - Mạng hoạt động như thế nào với cùng IPv4 và IPv6 routers?
- ❑ **Tunneling**: IPv6 được mang đi như phụ tải trong gói IPv4 trong các IPv4 routers

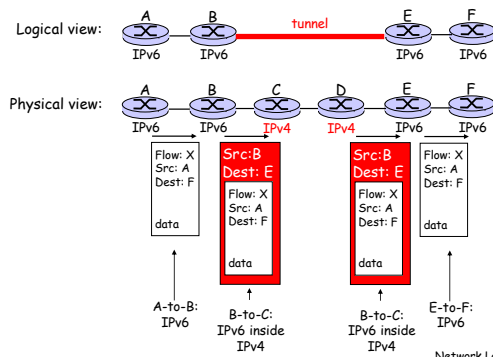
Network Layer 4-55

Tunneling



Network Layer 4-56

Tunneling



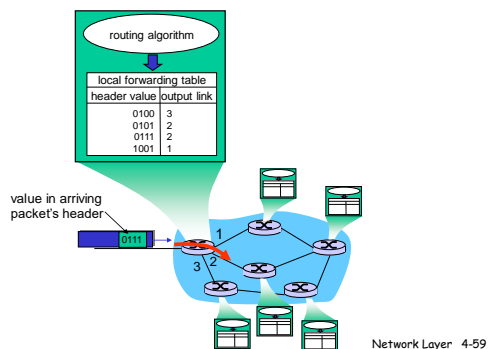
Network Layer 4-57

Chapter 4: Network Layer

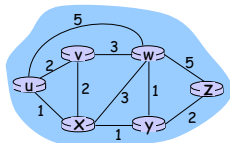
- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-58

Tác động qua lại giữa định tuyến và chuyển tiếp

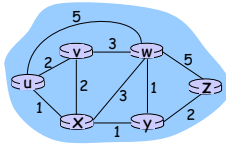


Đồ thị biểu diễn sơ đồ mạng



Network Layer 4-60

Đồ thị: chi phí



• $c(x, x')$ = chi phí của liên kết (x, x')

- e.g., $c(w, z) = 5$

• chi phí có thể là 1, hoặc nghịch đảo của băng thông, hoặc nghịch đảo của SỰ tắc nghẽn

Chi phí của đường $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

Câu hỏi: chi phí thấp nhất cho đường đi từ u đến z ?

Giải thuật định tuyến: giải thuật tìm đường đi ngắn nhất

Network Layer 4-61

Phân loại giải thuật định tuyến

Tập trung và phân tán?

Tập trung:

- Tất cả các routers có thông tin đầy đủ về topo, chi phí liên kết
- Giải thuật "trạng thái liên kết"

Phân tán:

- router biết các kết nối vật lý đến các routers lân cận, chi phí kết nối
- Tiến trình tính toán lặp sẽ trao đổi thông tin với routers lân cận
- Giải thuật "vector khoảng cách"

Tĩnh hoặc động?

Tĩnh:

- routes thay đổi chậm theo thời gian

Động:

- routes thay đổi nhanh
 - Chu kỳ cập nhật
 - Tương ứng với thay đổi chi phí

Network Layer 4-62

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-63

Một giải thuật trạng thái liên kết

Giải thuật Dijkstra

- Từ Topo mạng tính chi phí kết nối, thông báo cho tất cả các nodes
 - Thực hiện thông qua "quảng bá trạng thái kết nối"
 - Đồng bộ tin trên các nodes
- Tính chi phí thấp nhất cho đường đi từ một node đến tất cả các nodes còn lại
 - Đưa ra **bảng chuyển tiếp** cho các nodes
- Lập k lần xác định chi phí thấp nhất cho k đích

Ký hiệu:

- $c(x,y)$: chi phí từ node x tới y; $= \infty$ nếu không nối trực tiếp
- $D(v)$: chi phí hiện thời từ nguồn tới đích v
- $p(v)$: node trước theo chiều từ nguồn tới v
- N' : tập các nodes đã xác định đường đi với chi phí thấp nhất

Network Layer 4-64

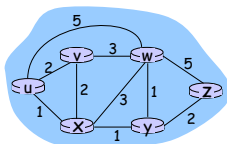
Giải thuật Dijkstra

- 1 **Initialization:**
- 2 $N' = \{u\}$
- 3 for all nodes v
- 4 if v adjacent to u
- 5 then $D(v) = c(u,v)$
- 6 else $D(v) = \infty$
- 7
- 8 **Loop**
- 9 find w not in N' such that $D(w)$ is a minimum
- 10 add w to N'
- 11 update $D(v)$ for all v adjacent to w and not in N' :
- 12 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$
- 13 /* new cost to v is either old cost to v or known
- 14 shortest path cost to w plus cost from w to v */
- 15 **until all nodes in N'**

Network Layer 4-65

Giải thuật Dijkstra: ví dụ

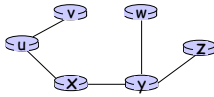
Step	N'	$D(v), p(v)$	$D(w), p(w)$	$D(x), p(x)$	$D(y), p(y)$	$D(z), p(z)$
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					



Network Layer 4-66

Giải thuật Dijkstra: ví dụ (cont)

Resulting shortest-path tree from u:



Resulting forwarding table in u:

destination	link
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)

Network Layer 4-67

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-68

Giải thuật Vector khoảng cách

Bellman-Ford Equation (dynamic programming)

Define

$d_x(y) :=$ cost of least-cost path from x to y

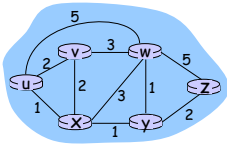
Then

$$d_x(y) = \min \{ c(x,v) + d_v(y) \}$$

where min is taken over all neighbors v of x

Network Layer 4-69

Bellman-Ford ví dụ



Clearly, $d_v(z) = 5$, $d_x(z) = 3$, $d_w(z) = 3$

B-F equation says:

$$\begin{aligned} d_u(z) &= \min \{ c(u,v) + d_v(z), \\ &\quad c(u,x) + d_x(z), \\ &\quad c(u,w) + d_w(z) \} \\ &= \min \{ 2 + 5, \\ &\quad 1 + 3, \\ &\quad 5 + 3 \} = 4 \end{aligned}$$

Node that achieves minimum is next hop in shortest path → forwarding table

Network Layer 4-70

Giải thuật Vector khoảng cách

- $D_x(y)$ = ước lượng chi phí thấp nhất từ x tới y
- Node x chứa thông tin chi phí tới mỗi node kề v:
 $c(x,v)$
- Node x duy trì khoảng cách vector $D_x = [D_x(y): y \in N]$
- Node x cũng duy trì vector khoảng cách tới các nodes kề
 - Với mỗi node kề v, x duy trì
 $D_v = [D_v(y): y \in N]$

Network Layer 4-71

So sánh giữa hai giải thuật LS và DV

Độ phức tạp

- **LS:** với n nodes, E links, $O(nE)$ msgs gửi đi
- **DV:** chỉ trao đổi giữa các nodes kề nhau
 - Thời gian hội tụ thay đổi

Tốc độ hội tụ

- **LS:** $O(n^2)$ yêu cầu $O(nE)$ msgs
 - Có thể thay đổi chút ít
- **DV:** thời gian hội tụ thay đổi
 - Có thể gặp routing loops
 - Hoặc count-to-infinity

Độ bền: điều gì xảy ra nếu router trục trặc?

LS:

- node có thể báo chi phí kết nối sai
- Mỗi node chỉ tính bảng định tuyến của mình

DV:

- DV node có thể báo chi phí đường sai
- Mỗi bảng của một nút có thể dung bởi các nodes khác
 - Lỗi lan truyền ra toàn mạng

Network Layer 4-72

Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-73

Định tuyến phân cấp

Những nguyên lý định tuyến đang ở dạng lý tưởng hóa

- ❑ Tất cả các routers đều đồng nhất
- ❑ Mạng "phẳng"

... không đúng trong thực tế

Phạm vi: với 200 triệu

đích:

- ❑ Không thể lưu trữ tất cả trong bảng định tuyến
- ❑ Trao đổi bảng định tuyến sẽ làm quá tải các liên kết

Quản trị tự trị

- ❑ internet = mạng của các mạng
- ❑ Mỗi mạng quản trị chỉ muốn định tuyến trong phạm vi của mình

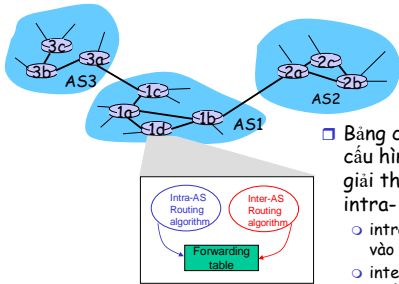
Network Layer 4-74

Định tuyến phân cấp

- ❑ Tập hợp các routers vào các vùng, "vùng tự trị" (AS)
- ❑ Các routers trong cùng AS chạy cùng kiểu giao thức định tuyến
 - "intra-AS" giao thức định tuyến
 - routers trong các AS khác nhau có thể chạy giao thức intra-AS định tuyến khác nhau
- Gateway router**
- ❑ Kết nối trực tiếp tới router trong AS khác

Network Layer 4-75

Kết nối giữa các vùng tự trị



- Bảng chuyển tiếp được cấu hình bởi cả hai loại giải thuật định tuyến intra- và inter-AS
 - intra-AS thiết lập đầu vào cho đích trong
 - inter-AS & intra-AS thiết lập đầu vào cho đích ngoài

Network Layer 4-76

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-77

Định tuyến Intra-AS

- Được xem là **Interior Gateway Protocols (IGP)**
- Giao thức phổ thông nhất của Intra-AS:
 - RIP: Routing Information Protocol
 - OSPF: Open Shortest Path First
 - IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (Cisco proprietary)

Network Layer 4-78

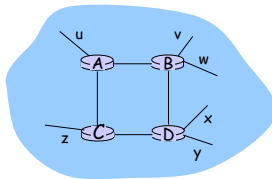
Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-79

RIP (Routing Information Protocol)

- ❑ Giải thuật vector khoảng cách
- ❑ Chứa trong BSD-UNIX năm 1982
- ❑ Khoảng cách theo mét: số hops (max = 15 hops)



From router A to subnets:

destination	hops
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

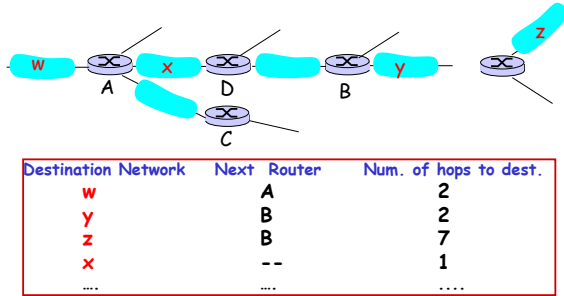
Network Layer 4-80

RIP thông báo

- ❑ distance vectors: trao đổi giữa các nodes kề nhau sau mỗi 30 giây thông qua Response Message (còn gọi là **quảng cáo**)
- ❑ Mỗi thông báo: có thể tới 25 mạng con đích trong AS

Network Layer 4-81

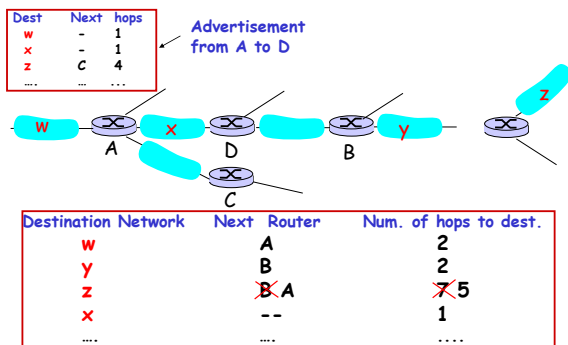
RIP: Ví dụ



Routing/Forwarding table in D

Network Layer 4-82

RIP: Ví dụ



Routing/Forwarding table in D

Network Layer 4-83

RIP: liên kết hỏng và phục hồi

Nếu sau 180 giây không có quảng cáo nào được cập nhật -
 -> neighbor/link xem như đã hỏng

- Định tuyến qua neighbor hết hiệu lực
- Quảng cáo mới được gửi tới neighbors
- neighbors sẽ gửi quảng cáo mới (nếu có sự thay đổi)
- Thông tin về liên kết hỏng sẽ nhanh chóng truyền đi trong mạng
- *poison reverse* sử dụng ngăn chặn vòng lặp ping-pong (khoảng cách vô hạn = 16 hops)

Network Layer 4-84

Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-85

OSPF (Open Shortest Path First)

- "mở": dùng được một cách công khai
- Sử dụng giải thuật trạng thái liên kết
 - Phân tán gói LS
 - Sơ đồ topo tại mỗi node
 - Định tuyến sử dụng giải thuật Dijkstra
- Quảng cáo phân tán tới toàn bộ AS (thông qua flooding)
 - Mang trong OSPF messages trực tiếp qua IP (tốt hơn TCP hoặc UDP)

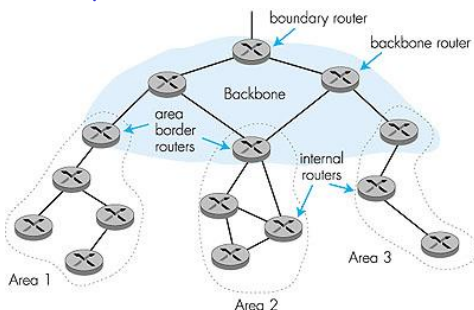
Network Layer 4-86

OSPF đặc tính "tiên tiến" (không có trong RIP)

- An toàn: tất cả bản tin OSPF đều được xác thực
- Cho phép nhiều đường cùng chi phí (duy nhất một đường trong RIP)
- Tích hỗ trợ uni- và multicast:
 - Multicast OSPF (MOSPF) sử dụng cùng cơ sở dữ liệu như OSPF
- Phân cấp OSPF trong miền rộng.

Network Layer 4-87

Phân cấp OSPF



Network Layer 4-88

Phân cấp OSPF

- ❑ **Phân cấp hai mức:** vùng cục bộ, trục chính.
 - Quảng cáo Link-state chỉ trong vùng
 - Mỗi node có chi tiết về topo vùng; chỉ biết hướng tới mạng trong vùng khác.
- ❑ **Các routers viền:** "tóm lược" khoảng cách tới các mạng trong vùng, quảng cáo tới các routers viền khác.
- ❑ **Routers trục chính:** chạy định tuyến OSPF trên trục chính.
- ❑ **Các routers biên:** kết nối tới vùng AS khác.

Network Layer 4-89

Chapter 4: Network Layer

- ❑ 4.1 Introduction
- ❑ 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- ❑ 4.3 What's inside a router
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- ❑ 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ❑ 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-90

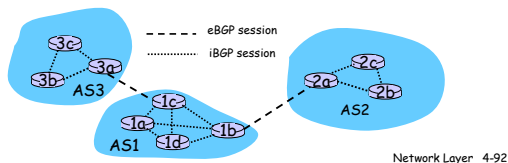
Định tuyến liên mạng, liên hệ thống tự trị : BGP

- ❑ BGP (Border Gateway Protocol): *chuẩn thực tế*
- ❑ BGP quản lý mỗi AS:
 1. Thu nhận thông tin về mạng con có thể truyền tới được từ các ASs lân cận.
 2. Truyền thông tin trên cho tất cả các routers trong AS.
 3. Xác định định tuyến "tốt" tới các mạng con dựa trên chính sách và thông tin thu được.
- ❑ Cho phép mạng con quảng cáo sự tồn tại của nó tới phần còn lại của Internet: *"I am here"*

Network Layer 4-91

BGP Cơ sở

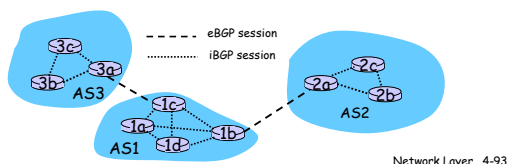
- ❑ Cặp routers (BGP ngang hàng) trao đổi thông tin định tuyến qua các kết nối bán cố định của TCP : *phiên BGP*
 - Các phiên BGP không cần tương ứng với các liên kết vật lý.
- ❑ khi AS2 quảng cáo một tiền tố tới AS1:
 - AS2 *hứa* nó sẽ chuyển các gói tin tới tiền tố đó.
 - AS2 có thể tập hợp các tiền tố của mình và quảng cáo



Network Layer 4-92

Phân tán thông tin về phạm vi

- ❑ Sử dụng phiên eBGP giữa 3a và 1c, AS3 gửi thông tin về các tiền tố tới AS1.
 - 1c sau đó dùng iBGP phân tán thông tin tiền tố mới tới mọi routers trong AS1
 - 1b sau đó tiếp tục quảng cáo thông tin mới tới AS2 thông qua phiên 1b-to-2a eBGP
- ❑ khi router biết được tiền tố mới, nó tạo đầu vào cho tiền tố đó trong bảng chuyển tiếp.



Network Layer 4-93

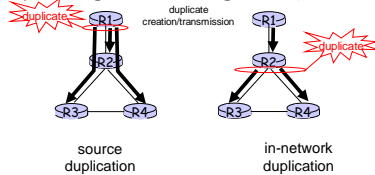
Chapter 4: Network Layer

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-94

Định tuyến quảng bá

- Phân phát các gói tin từ nguồn tới tất cả các nodes khác
- Gặp đôi nguồn là không hiệu quả:



- Gặp đôi nguồn: nguồn xác định địa chỉ của các trạm nhận như thế nào?

Network Layer 4-95

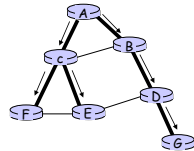
Lắp trong mạng

- flooding: khi node nhận được brdcst pkt, sẽ gửi bản sao chép tới tất cả lân cận
 - Problems: chu trình lặp & bão quang bá
- Điều khiển flooding: node chỉ gửi brdcsts pkt nếu chưa từng brdcst gói này trước đây
 - Node lưu vết của pkt ids đã quảng bá
 - Hoặc ngược đường chuyển tiếp (RPF): chỉ chuyển tiếp pkt nếu nó đến từ đường đi ngắn nhất giữa node và nguồn
- Cây mở rộng
 - Không có bất kỳ node nào nhận gói tin dư thừa

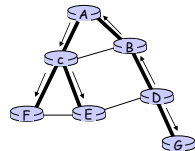
Network Layer 4-96

Cây mở rộng - Spanning Tree

- Đầu tiên xây dựng cây mở rộng
- Các Nodes chỉ chuyển tiếp bản sao dọc theo cây mở rộng



(a) Broadcast initiated at A

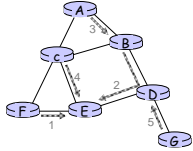


(b) Broadcast initiated at D

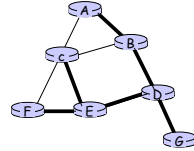
Network Layer 4-97

Spanning Tree: Tạo lập

- Node trung tâm
- Mỗi node gửi gói tin unicast kết nối tới node trung tâm
 - Gói tin được chuyển tiếp cho đến khi tới được node thuộc cây mở rộng



(a) Stepwise construction of spanning tree



(b) Constructed spanning tree

Network Layer 4-98

Chapter 4: summary

- 4.1 Introduction
- 4.2 Virtual circuit and datagram networks
- 4.3 What's inside a router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Routing algorithms
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- 4.6 Routing in the Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Broadcast and multicast routing

Network Layer 4-99