

Triển khai backbone (AS) với giao thức routing IGP

Phạm Huy Hoàng
SoICT/HUST
hoangph@soict.hust.edu.vn

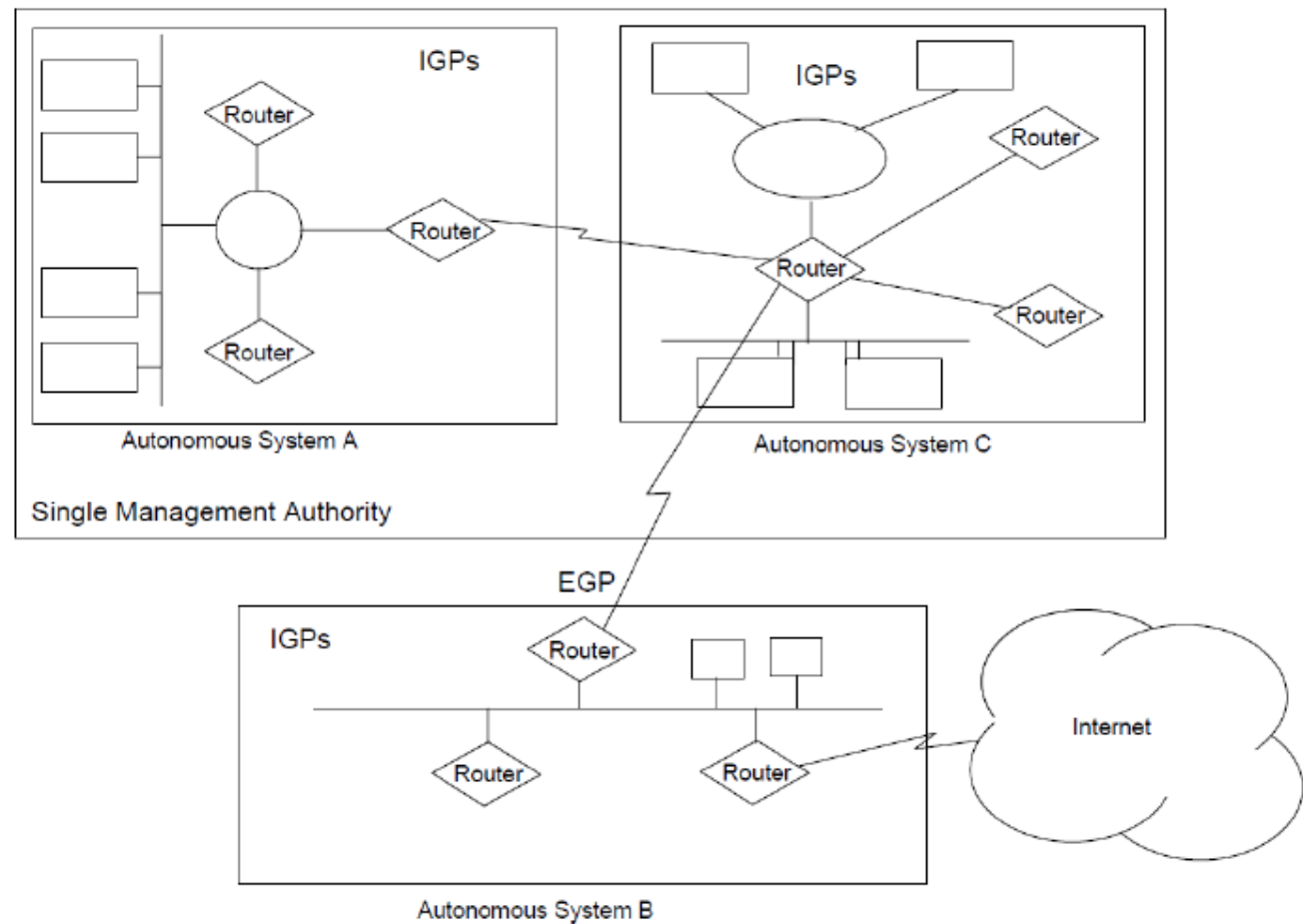
Nội dung

- Autonomous System
- Khái niệm IGP & EGP
- Routing tĩnh & Routing động
- RIP
- OSPF

c u hình nh tuy n t nh -> khó config khi có 1 m ng thay i

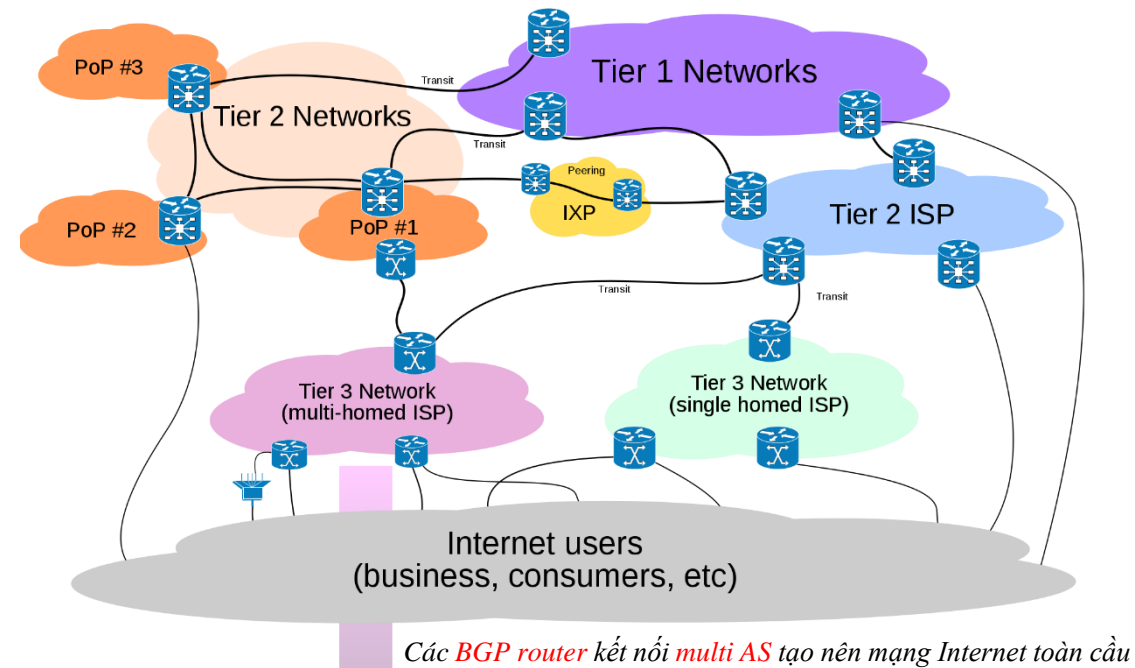
Autonomous System

- Khái niệm quản lý nhưng ảnh hưởng đến hành vi của các thiết bị định tuyến
- Hệ thống tự trị (Autonomous System – AS [1]) là tập hợp kết nối một số mạng IP mà được quản lý định tuyến dưới sự kiểm soát của một thực thể hành chính
- Do được quản lý chung bởi một tổ chức, cấu hình và sơ đồ kết nối mạng trong một AS là xác định
- Tổ chức quản lý một AS không nằm dưới qui hoạch mạng của một AS khác
- Internal Gateway Protocols (IGPs): phương pháp định tuyến nội bộ, dựa trên các thông tin qui hoạch mạng tổng thể của một AS
- Exterior Gateway Protocols (EGPs): phương pháp định tuyến kết nối giữa các AS

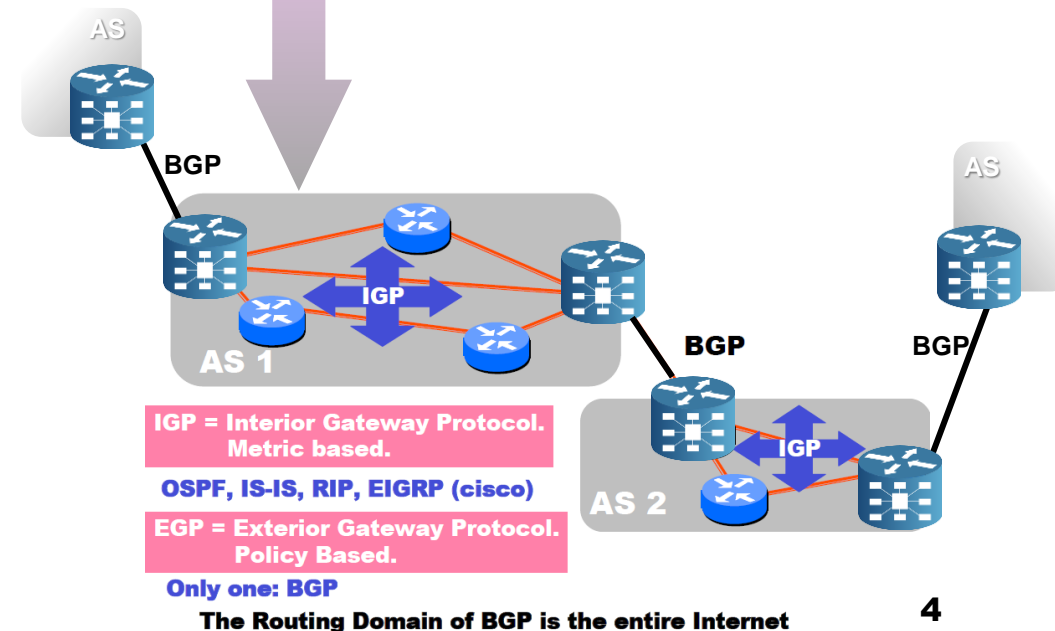


IGP & EGP

- Tier 1 Networks = cấu trúc lõi của Internet, gồm các backbone router mạnh, kết nối nhau bằng đường truyền tốc độ rất cao & phủ sóng toàn cầu.
- Định nghĩa (theo Wikipedia¹): là một mạng IP mà có thể kết nối với tất cả các mạng khác trên Internet.
- Mỗi Tier Network thường được đăng ký là một AS và được vận hành bởi một công ty kết nối mạng.
- Business với Internet Traffic (mua/thuê kết nối)
 - Liên kết Tier 1 khác (peering) để mở rộng vùng phủ sóng. Liên kết peering ở mức Tier 1 dựa trên Peering Policy và Default-free.
 - Kết nối xuống Tier 2 để “bán buôn” traffic. Tier 2 tiếp tục kết nối xuống các Tier 3 (thường là ISP) – down link/up link
 - ISP cuối cùng bán đường truyền kết nối Internet cho end-user
- EGP: BGP
 - Kết nối các tier network (AS)
 - Kết hợp với các IGP (RIP, OSPF, v.v..) để xây dựng các bảng routing đầy đủ cho Internet



Các **BGP** router kết nối **multi AS** tạo nên mạng Internet toàn cầu



[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Tier_1_network

Định tuyến tĩnh & định tuyến động

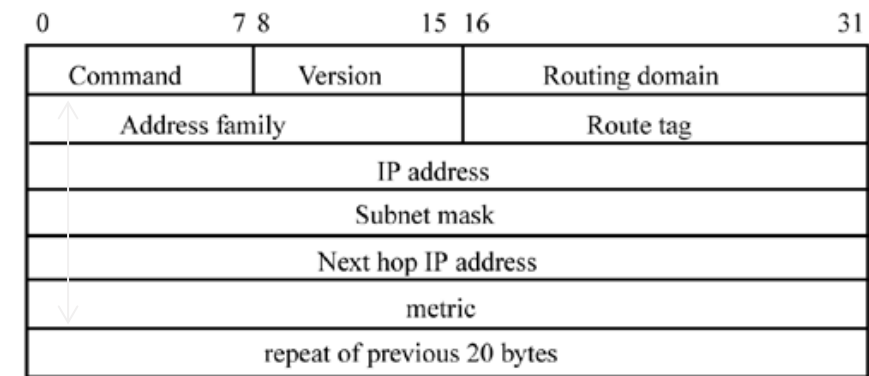
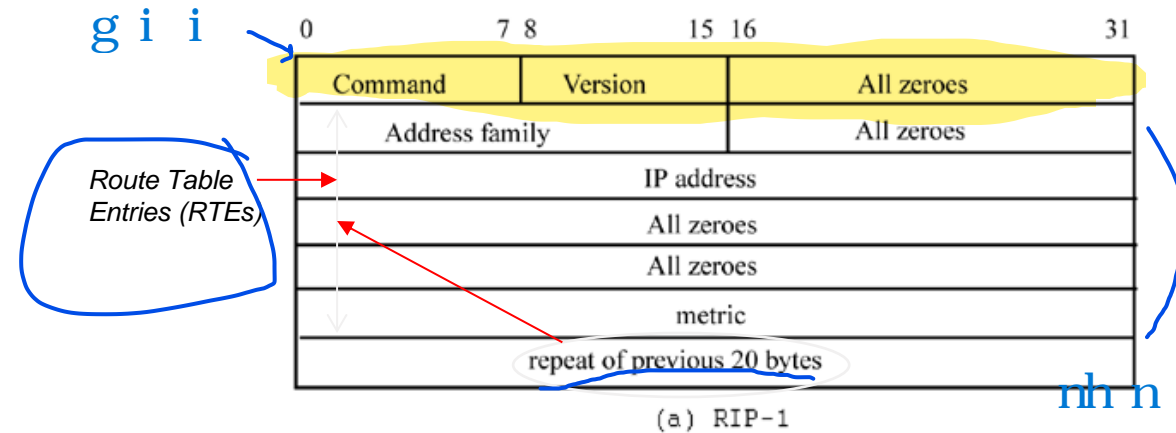
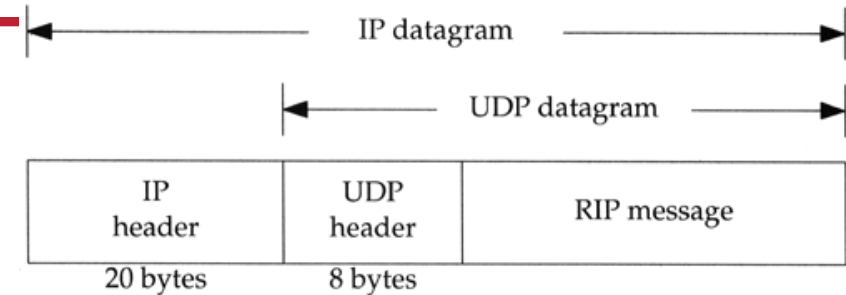
- Tĩnh (static routing): các đường định tuyến (giữa các mạng nghiệp vụ) được xác định sẵn (theo qui hoạch mạng tổng thể của AS) và được nhân viên quản trị mạng cấu hình sẵn trong các bảng routing.
- Động (dynamic routing): các thuật toán cài đặt trong router phép các chúng liên lạc với nhau để tự động phát hiện và duy trì thông tin về các đường định tuyến.
- Định tuyến động có thể được áp dụng bên trong một AS hoặc giữa các AS (cần chú ý vấn đề bảo mật)

Routing Information Protocol (RIP)

- Giới thiệu chung về RIP
- Metric & “vector khoảng cách”
- Hoạt động của RIP
- Cấu trúc gói tin RIP
- Demo RIP
- Thực hành

RIP Message Format

- RIPv1 (1988), RIPv2 (1993), RIPv2 (1997 – IPv6)
 - Cài đặt trên UDP cổng 520
 - RIPv1 sử dụng broadcast, RIPv2 sử dụng multicast 224.0.0.9 để yêu cầu cập nhật thông tin từ router láng giềng.
 - 2 loại message:
 - **Request:** yêu cầu router neighbor gửi routing table.
 - **Response:** gửi routing table của mình cho router neighbor. Mỗi dòng trong **bảng routing** được đóng gói bằng một RTE (Route Table Entry) trong gói tin RIP
 - RIPv1 chỉ hỗ trợ classfull IP address, RIPv2 hỗ trợ classless bằng trường *subnet mask*
- các routers dùng RIP gửi bảng routing của mình khi có request



RIP¹ Introduction

- Phương pháp véc tơ khoảng cách (**distance vector**): số đo khoảng cách từ vị trí của mình đến mỗi điểm đến (mạng đích) – số router trung gian trên đường truyền (giống khái niệm số đo TTL trong gói IP)
- Router sử dụng cột Metric trong bảng routing để thể hiện khoảng cách để đi từ nó tại đến mạng đích tương ứng
- Khoảng cách càng ngắn
→ đường đi càng nhanh (tương đối)
- Giải thuật routing:
tìm thấy nhiều đường đi có thể →
chọn đường đi ngắn nhất (giá trị Metric bé nhất)
- Router được cài đặt giao thức RIP để tự xây dựng và duy trì (cập nhật) bảng routing với thông số Metric
- Các router trao đổi thông tin theo kiểu lan truyền, mỗi router chỉ có thể kết nối với router láng giềng (neighbor) – có kế nối mạng trực tiếp

```
> route -n
```

Kernel IP routing table				
Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.128	U	0
192.168.2.128	192.168.2.2	255.255.255.128	UG	2
192.168.3.0	192.168.2.2	255.255.255.0	UG	3
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0

sử dụng ICMP type 9 và 10 xác minh router láng giềng

ICMP Router Discovery Protocol

- ICMP Internet Router Discovery Protocol (IRDP) [1]
- Hỗ trợ các router (và các host) phát hiện router kết nối trực tiếp (neighbor)
- Sử dụng 2 thông điệp ICMP [2]:

- ICMP Router Solicitation:

- type = 10
 - Gửi từ host để tìm router

- ICMP Router Advertisement

- type = 9
 - Gửi từ router để thông báo sự có mặt của mình

- Gửi đi đâu:

- Solicitation: Multicast/Broadcast
 - Advertisement: Multicast/Broadcast/Unicast

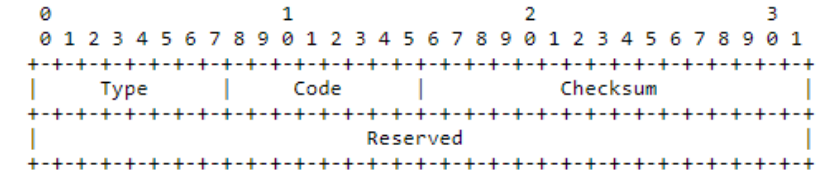
- Gửi khi nào:

- Khi bắt đầu kết nối
 - Theo chu kỳ refresh dữ liệu

TH1: router gửi type 10 (broadcast) xây dựng bảng các router láng giềng
gửi unicast (type 9) ngược lại
TH2: router vào mạng gửi type 9 (broadcast) thông báo sự có mặt của mình

Sử dụng iptables xem log các gói tin ICMP khi router liên lạc với nhau bằng RIP

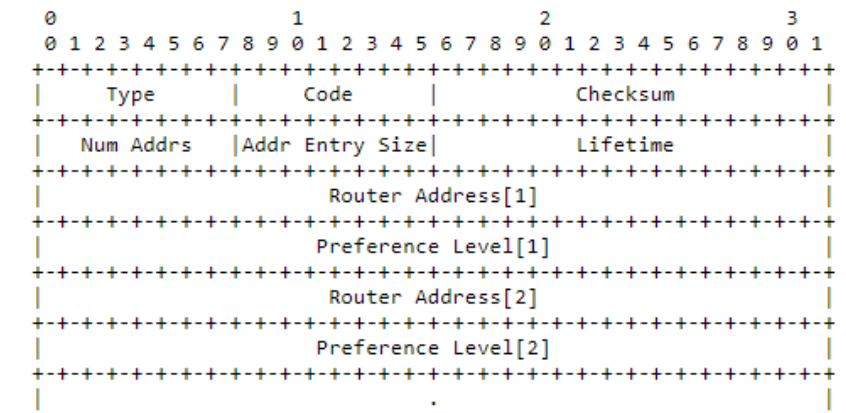
ICMP Router Solicitation Message



IP Fields:

- Source Address: An IP address belonging to the interface from which this message is sent, or 0.
- Destination Address: The configured SolicitationAddress.
- Time-to-Live: 1 if the Destination Address is an IP multicast address; at least 1 otherwise.

ICMP Router Advertisement Message



IP Fields:

- Source Address: An IP address belonging to the interface from which this message is sent.
- Destination Address: The configured AdvertisementAddress or the IP address of a neighboring host.
- Time-to-Live : 1 if the Destination Address is an IP multicast address; at least 1 otherwise.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/ICMP_Router_Discovery_Protocol

[2] <https://tools.ietf.org/html/rfc1256>

Sử dụng multicast 224.0.0.9

- Thay cho việc dùng ICMP Discovery Protocol để phát hiện router láng giềng, các router RIP có thể liên lạc trực tiếp qua địa chỉ multicast 224.0.0.9
- Router gửi các gói tin RIP (chứa nội dung là các RTE) đến 224.0.0.9 qua các local network interface
- Các router RIP láng giềng đều nhận được và xử lý gói tin RIP này

➔ tiết kiệm được thời gian phát hiện láng giềng cũng như giảm số gói tin RIP cần gửi (từ unicast sang multicast)

Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Multicast_address

Notable IPv4 multicast addresses [edit]

The following table is a list of notable well-known IPv4 addresses that are reserved for IP multicasting and that are registered with the Internet Assigned Numbers Authority (IANA).^[5]

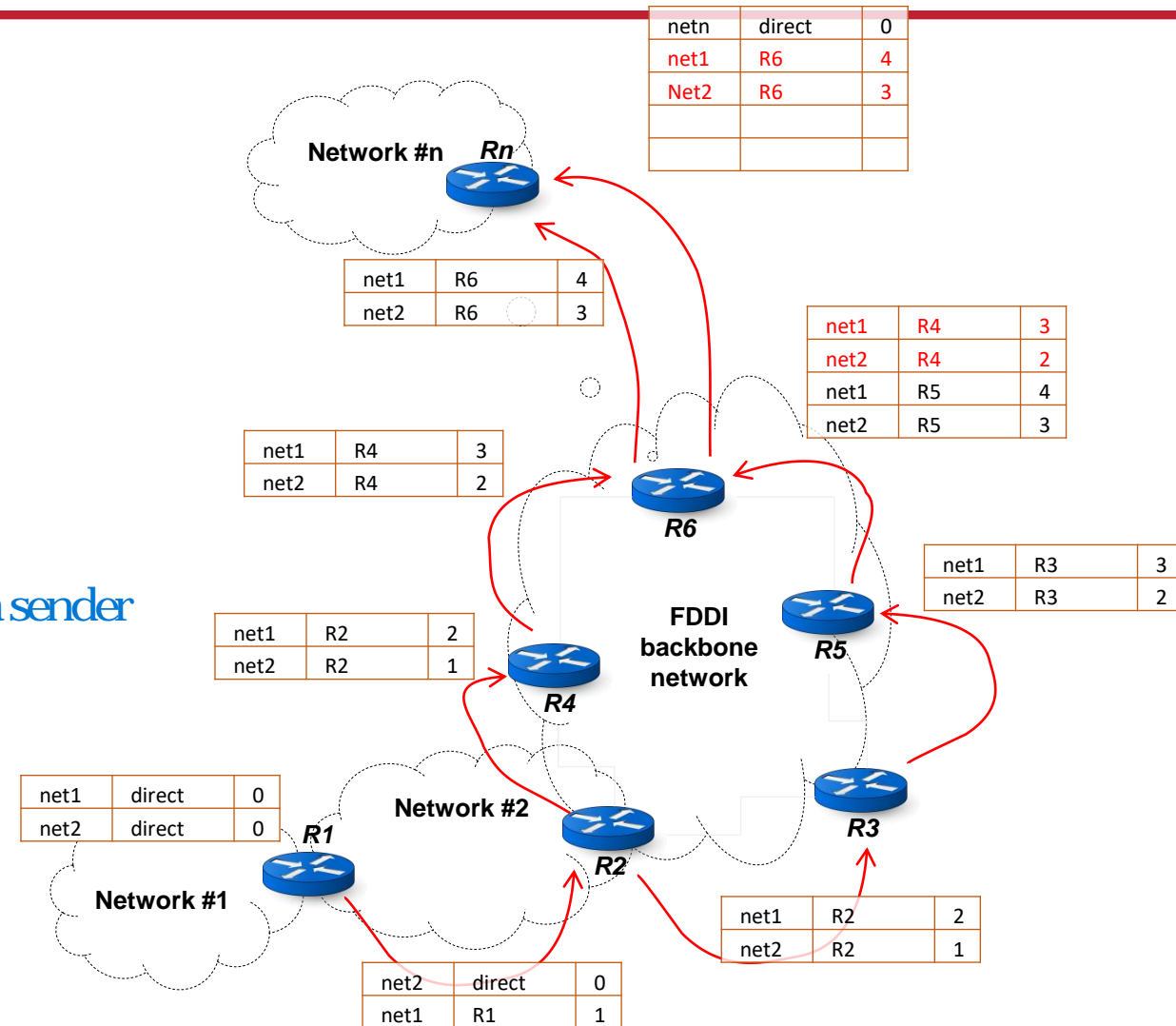
IP multicast address	Description	Routable
224.0.0.0	Base address (reserved)	No
224.0.0.1	The <i>All Hosts</i> multicast group addresses all hosts on the same network segment.	No
224.0.0.2	The <i>All Routers</i> multicast group addresses all routers on the same network segment.	No
224.0.0.4	This address is used in the Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP) to address multicast routers.	No
224.0.0.5	The Open Shortest Path First (OSPF) <i>All OSPF Routers</i> address is used to send Hello packets to all OSPF routers on a network segment.	No
224.0.0.6	The OSPF <i>All Designated Routers</i> (DR) address is used to send OSPF routing information to designated routers on a network segment.	No
224.0.0.9	The Routing Information Protocol (RIP) version 2 group address is used to send routing information to all RIP2-aware routers on a network segment.	No
224.0.0.10	The Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) group address is used to send routing information to all EIGRP routers on a network segment.	No

Hoạt động của RIP

trong môi trường không dùng discovery mà dùng broadcast

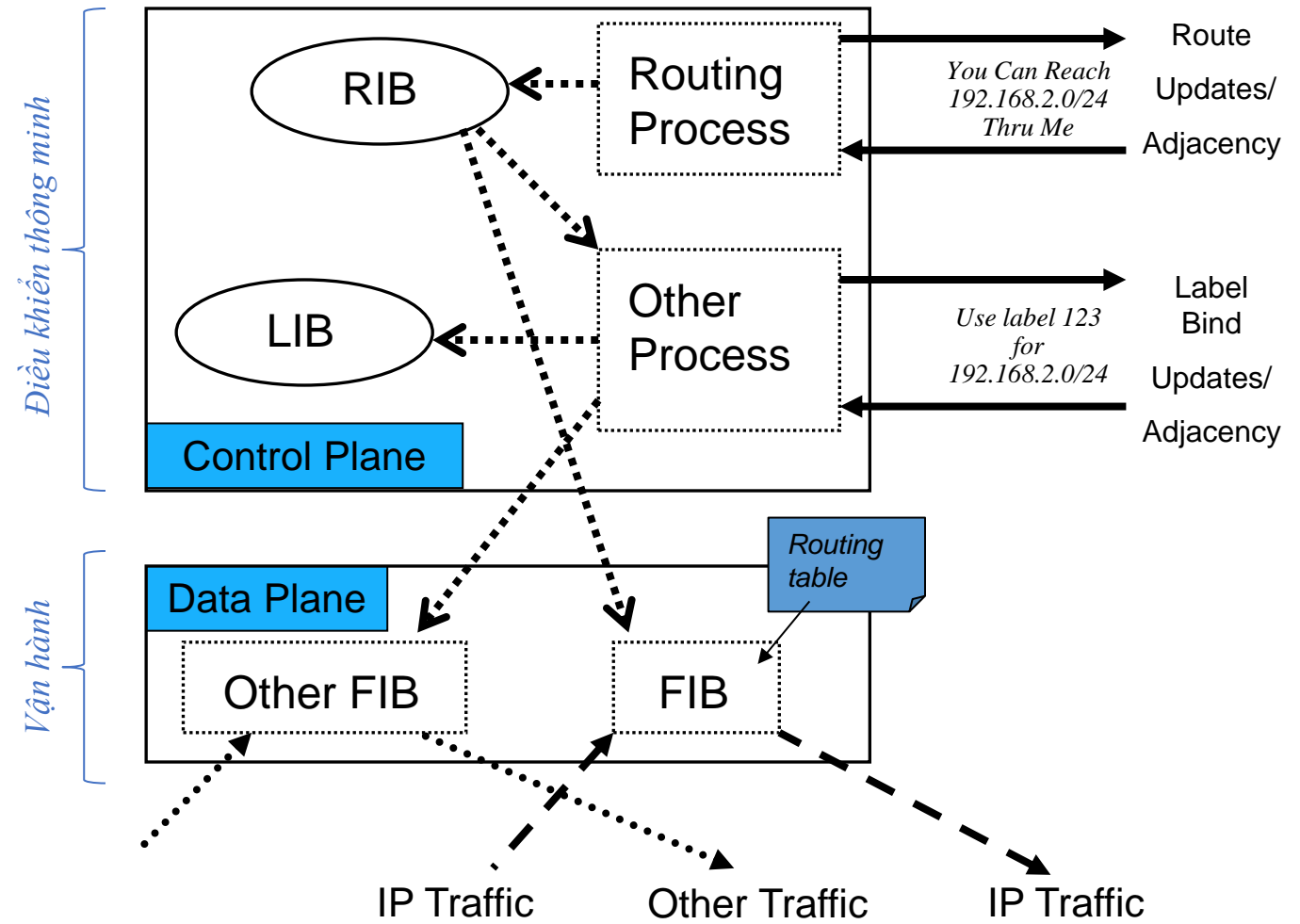
- Sử dụng Router Discovery Protocol để xác định router láng giềng rồi gửi RIP request yêu cầu cập nhật bảng routing (thực tế có thể broadcast, bỏ qua bước Router Discovery)
- Router nhận được yêu cầu sẽ trả lời bằng RIP Response message với nội dung là toàn bộ bảng routing hiện tại của mình (thông qua các Route Table Entries - RTEs)
- Xử lý nhận được RIP Response:
 - Trích xuất từng RTE, so sánh với RTE đang có trong bảng routing của mình
 - Nếu đã có (trùng cả network & gateway), so sánh giá trị Metric để loại đi dòng có Metric cao hơn
 - Nếu chưa có, thêm dòng routing mới
 - Thiết lập gateway của dòng mới là router láng giềng đã gửi RTE
 - Thiết lập giá trị Metric của dòng mới = Metric (RTE) + 1
- Quá trình lan tỏa bảng routing thông qua RIP message sẽ đi đến một điểm hội tụ (convergence) mà tất cả các mạng nghiệp vụ đã được cập nhật vào bảng routing của tất cả router → hoàn thành.

các gói tin RIP có thể gửi đi



Router insight: Control & (Data) Forward plane

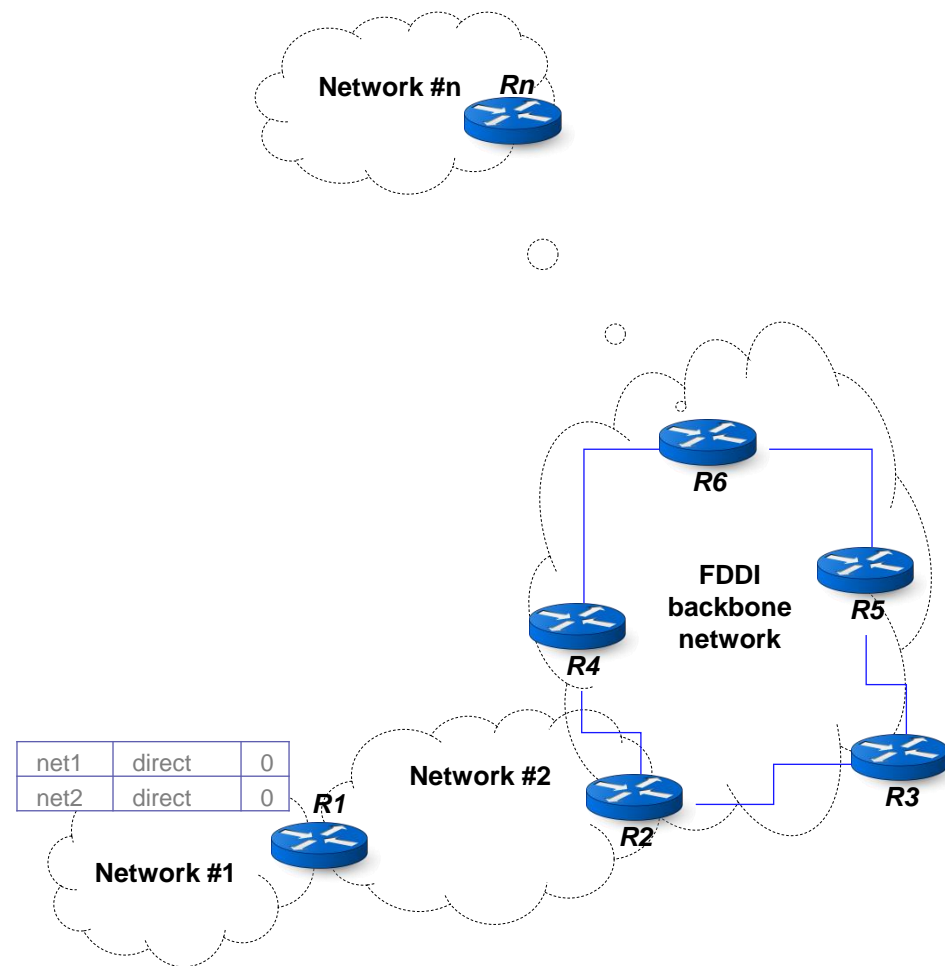
- Control plan:
 - Preparing phase
 - Building rules
 - Works with routing protocols
- Data forward plane
 - Acting phase
 - Matching rules with packets to forward to the next hope
- IP routing:
 - RIB: Routing Information Base
 - FIB: Forwarding Information Base
- Other (MPLS) switching:
 - LIB: Label Information Base
 - LFIB: Label Forward Information Base



RIP Demonstration

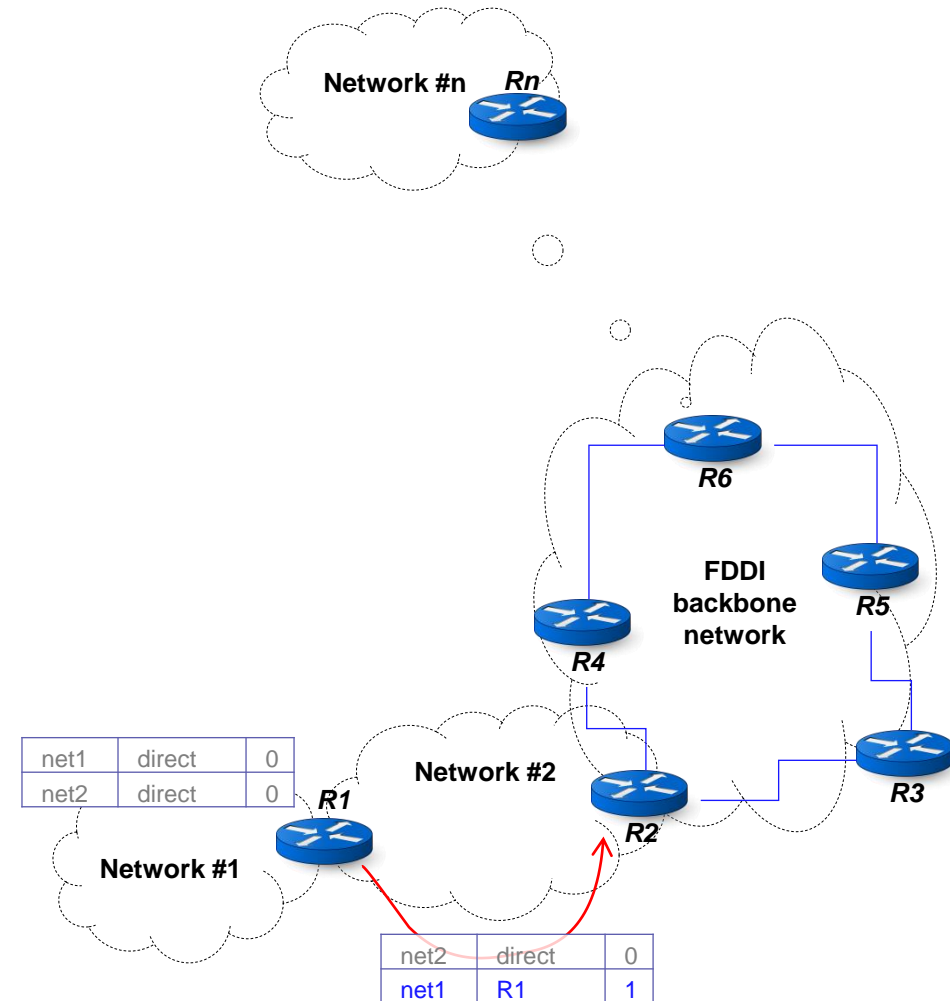
■ R1: tự động khởi tạo routing table:

- net1, direct, 0
- net2, direct, 0



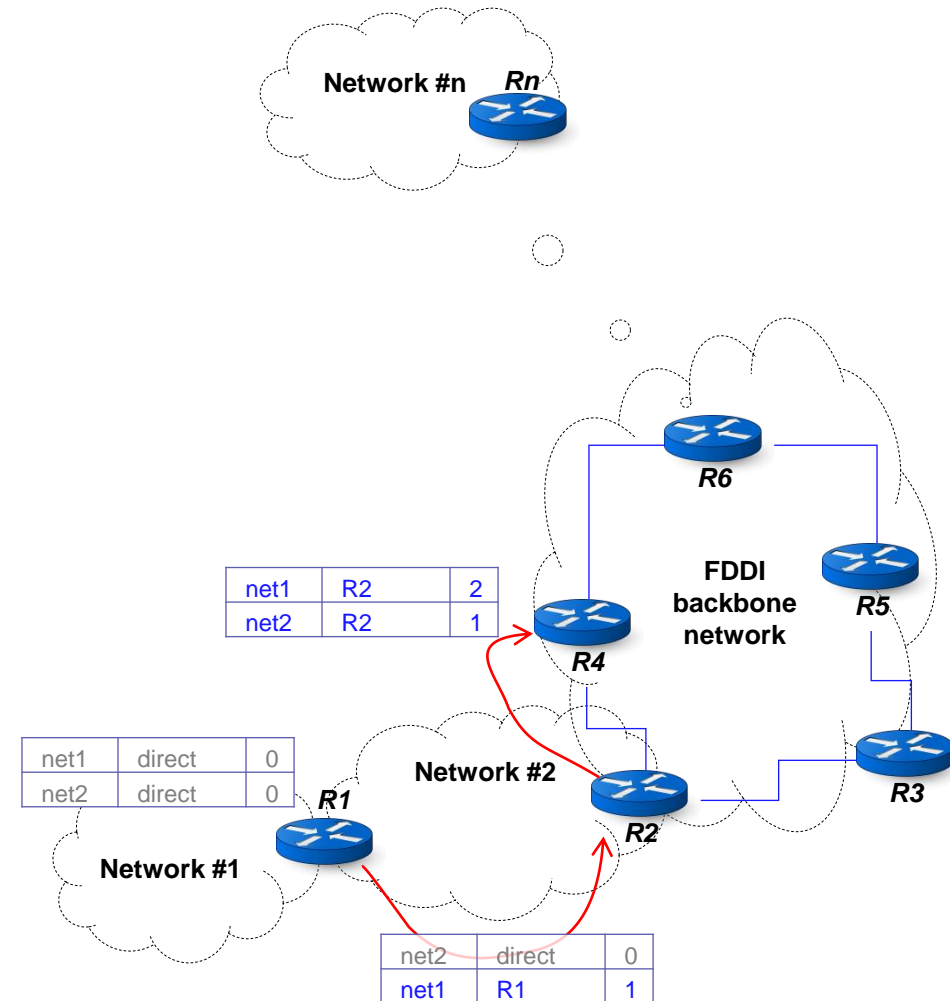
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0



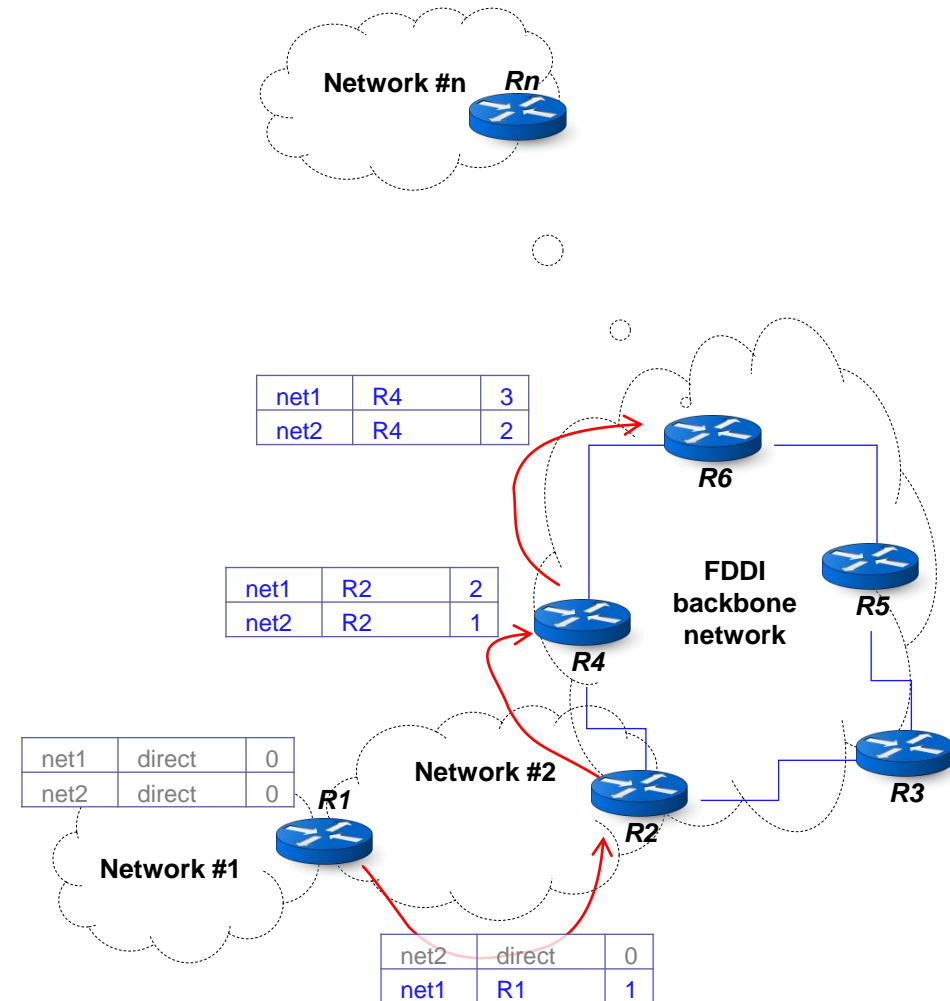
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1



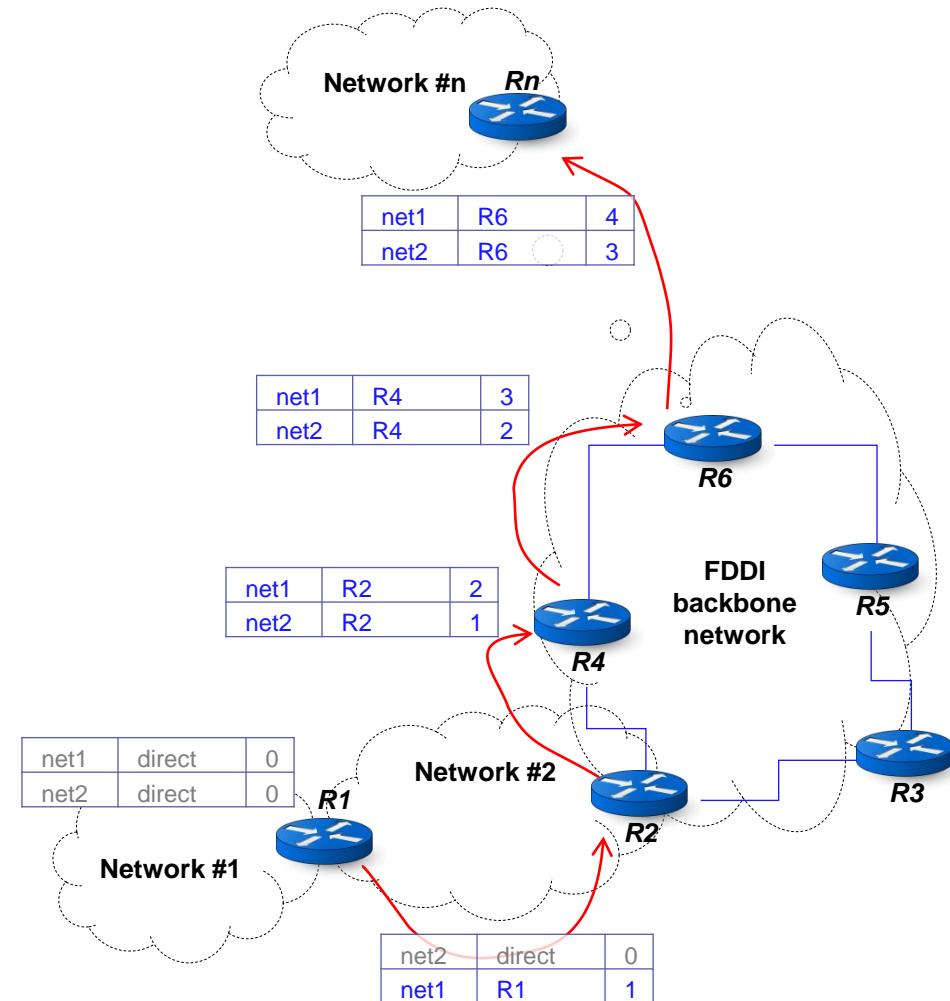
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R4 → R6:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1



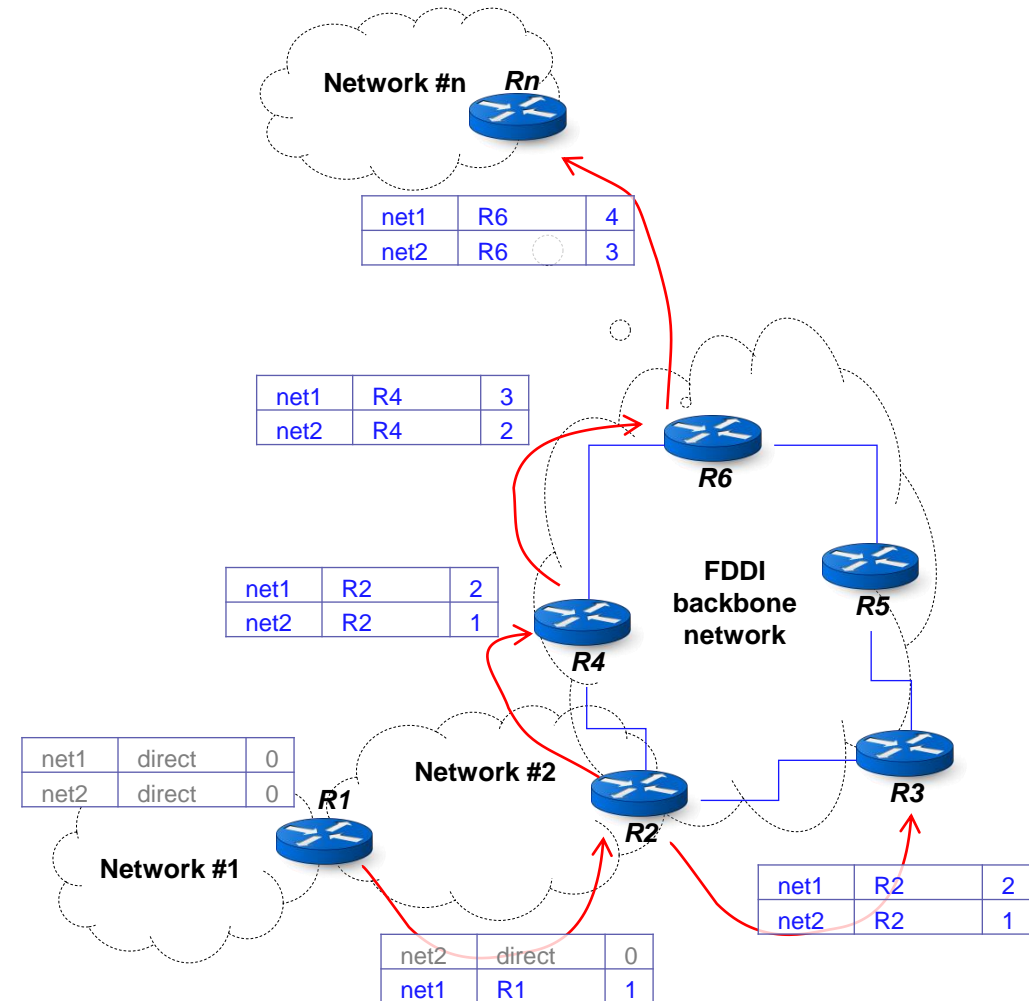
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R4 → R6:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1
- R6 → Rn:
 - RTE: net1, R4, 3 → (+) net1, R6, 3+1
 - RTE: net2, R4, 2 → (+) net2, R6, 2+1



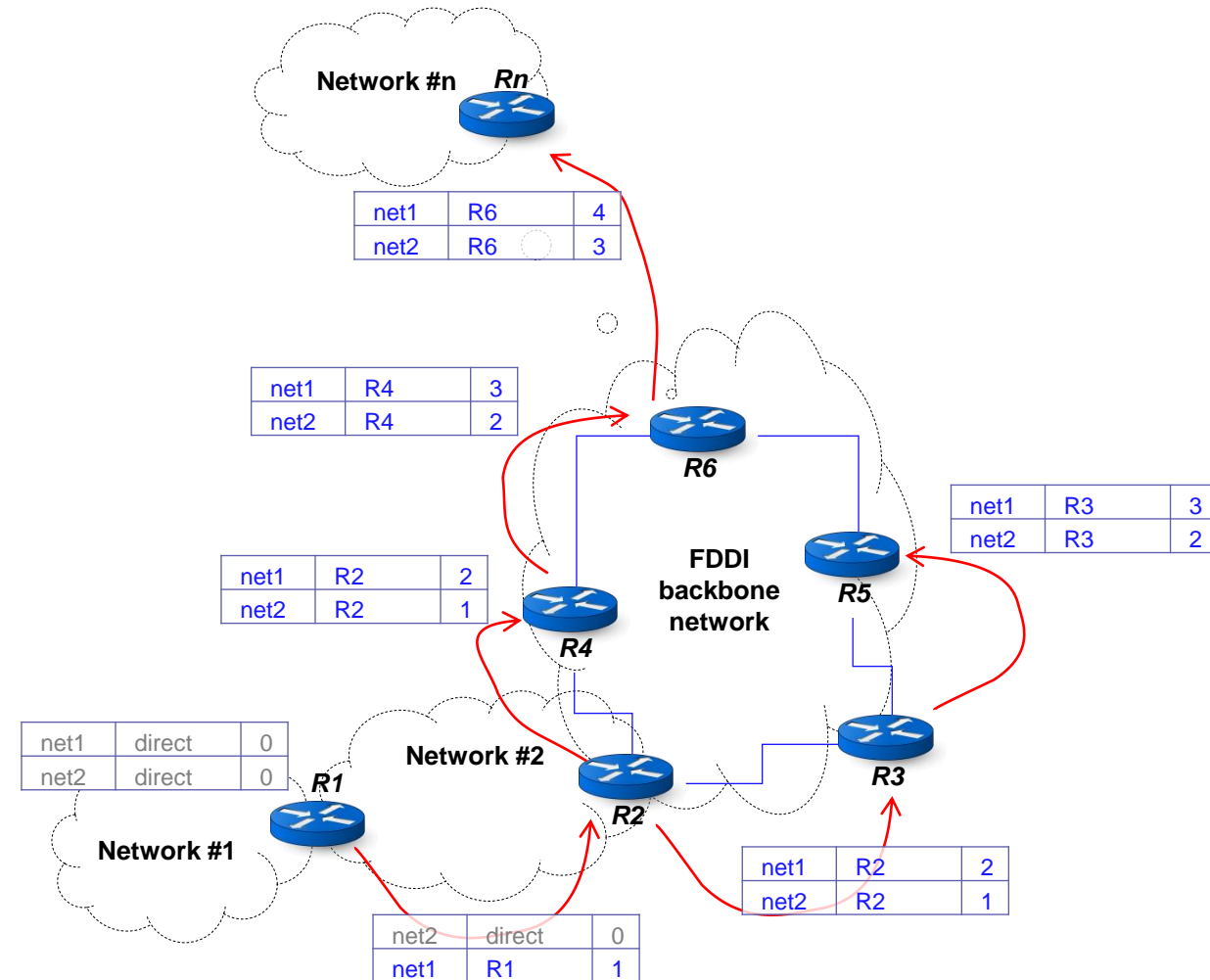
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R4 → R6:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1
- R6 → Rn:
 - RTE: net1, R4, 3 → (+) net1, R6, 3+1
 - RTE: net2, R4, 2 → (+) net2, R6, 2+1
- R2 → R3:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R2, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1



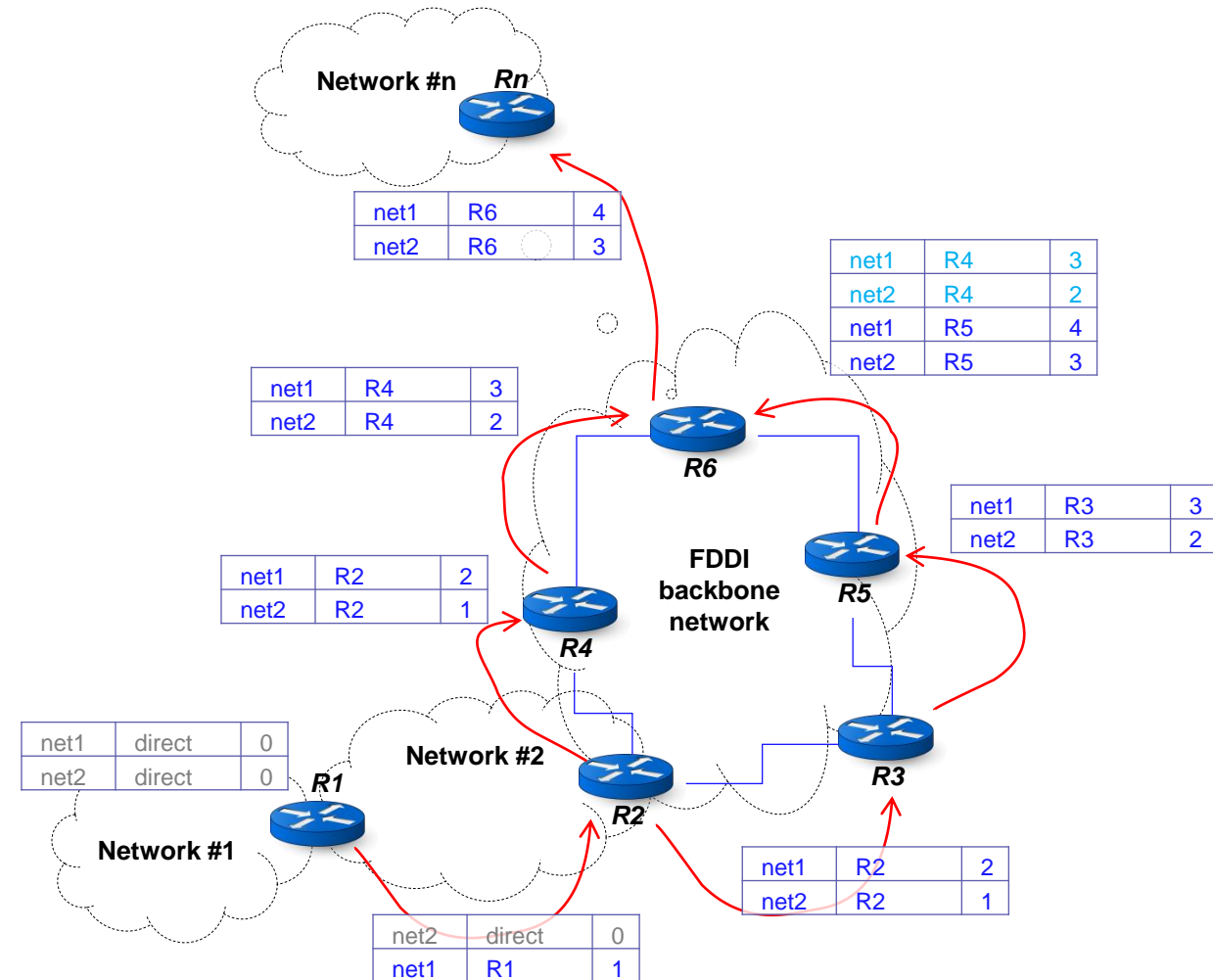
RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R4 → R6:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1
- R6 → Rn:
 - RTE: net1, R4, 3 → (+) net1, R6, 3+1
 - RTE: net2, R4, 2 → (+) net2, R6, 2+1
- R2 → R3:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R3 → R5:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R3, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R3, 1+1



RIP Demonstration

- R1: tự động khởi tạo routing table:
 - net1, direct, 0
 - net2, direct, 0
- R1 → R2:
 - RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0
- R2 → R4:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R4 → R6:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1
- R6 → Rn:
 - RTE: net1, R4, 3 → (+) net1, R6, 3+1
 - RTE: net2, R4, 2 → (+) net2, R6, 2+1
- R2 → R3:
 - RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
 - RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1
- R3 → R5:
 - RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R3, 2+1
 - RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R3, 1+1
- R5 → R6:
 - RTE: net1, R3, 3 → (+) net1, R5, 3+1
 - RTE: net2, R3, 2 → (+) net2, R5, 2+1



RIP Demonstration

■ R1: tự động khởi tạo routing table:

- net1, direct, 0
- net2, direct, 0

■ R1 → R2:

- RTE: net1, direct, 0 → (+) net1, R1, 0+1
- RTE: net2, direct, 0 → (-) net2, direct, 0

■ R2 → R4:

- RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
- RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1

■ R4 → R6:

- RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R4, 2+1
- RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R4, 1+1

■ R6 → Rn:

- RTE: net1, R4, 3 → (+) net1, R6, 3+1
- RTE: net2, R4, 2 → (+) net2, R6, 2+1

■ R2 → R3:

- RTE: net1, R1, 1 → (+) net1, R2, 1+1
- RTE: net2, direct, 0 → (+) net2, R2, 0+1

■ R3 → R5:

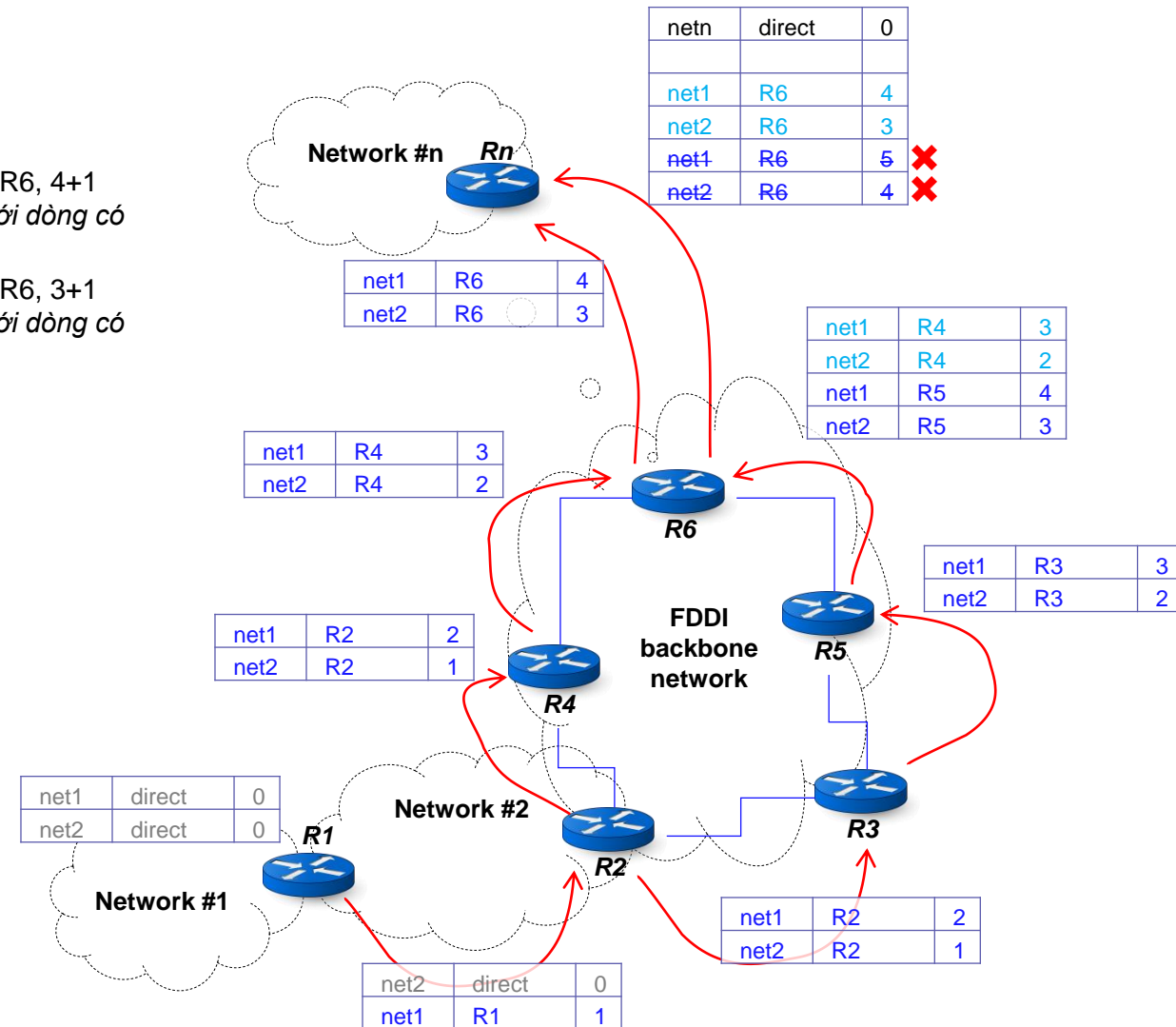
- RTE: net1, R2, 2 → (+) net1, R3, 2+1
- RTE: net2, R2, 1 → (+) net2, R3, 1+1

■ R5 → R6:

- RTE: net1, R3, 3 → (+) net1, R5, 3+1
- RTE: net2, R3, 2 → (+) net2, R5, 2+1

■ R6:

- net1, R5, 4 → (-) net1, R6, 4+1
(trùng net & gateway với dòng có metric bé hơn)
- net2, R5, 3 → (-) net2, R6, 3+1
(trùng net & gateway với dòng có metric bé hơn)



RIP by FRR

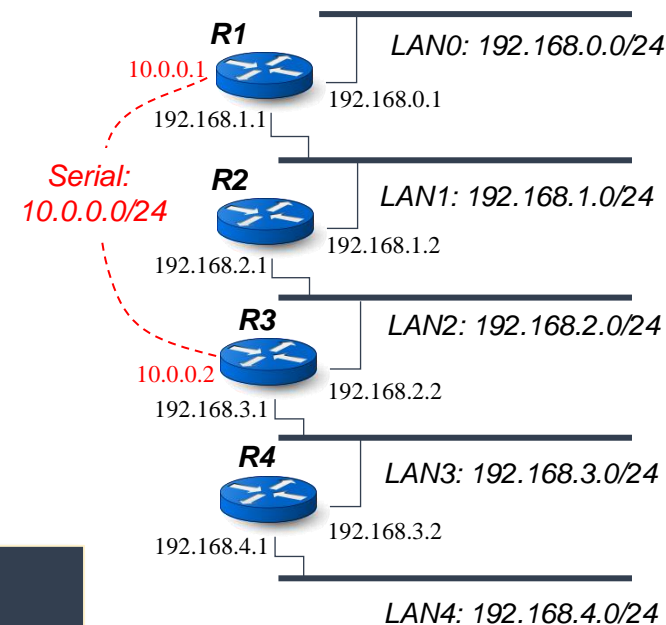
- FRR (FRRouting Project)
 - <https://frrouting.org>
 - FRR has its roots in the Quagga project.
 - Free and open source routing protocol for Linux and Unix platforms.
 - Implements BGP, OSPF, RIP, IS-IS, PIM, LDP, BFD, Babel, PBR, OpenFabric and VRRP, with alpha support for EIGRP and NHRP.
- Tự động đáp ứng thay đổi hình trạng mạng
 - Có kết nối serial
 - Ngắt kết nối serial

```
R4# show ip route
R>* 192.168.0.0/24 [120/4] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:01:28
R>* 192.168.1.0/24 [120/3] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:01:28
R>* 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:01:28
C>* 192.168.3.0/24 is directly connected, enp0s3, 00:01:50
C>* 192.168.4.0/24 is directly connected, enp0s8, 00:01:50

R4:~$ tracepath -n 192.168.0.1
1?: [LOCALHOST] pmtu 1500
1: 192.168.3.1 2.228ms
1: 192.168.3.1 0.576ms
2: 192.168.2.1 1.475ms
3: 192.168.0.1 3.888ms reached
Resume: pmtu 1500 hops 3 back 3
```

```
R4# show ip route
R>* 10.0.0.0/24 [120/2] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:01:43
R>* 192.168.0.0/24 [120/3] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:01:38
R>* 192.168.1.0/24 [120/3] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:25:33
R>* 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.3.1, enp0s3, 00:25:33
C>* 192.168.3.0/24 is directly connected, enp0s3, 00:25:55
C>* 192.168.4.0/24 is directly connected, enp0s8, 00:25:55

R4:~$ tracepath -n 192.168.0.1
1?: [LOCALHOST] pmtu 1500
1: 192.168.3.1 1.325ms
1: 192.168.3.1 3.056ms
2: 192.168.0.1 3.438ms reached
Resume: pmtu 1500 hops 2 back 2
```



Loop Routing & Split Horizon

■ Rn:

- netn, direct, 0
- net1, R6, 4
- net2, R6, 3

RIPv2 trong gói tin có nexthop
-> lo i b c loop routing n u 2 router n i tr c t i p

■ R6 → Rn:

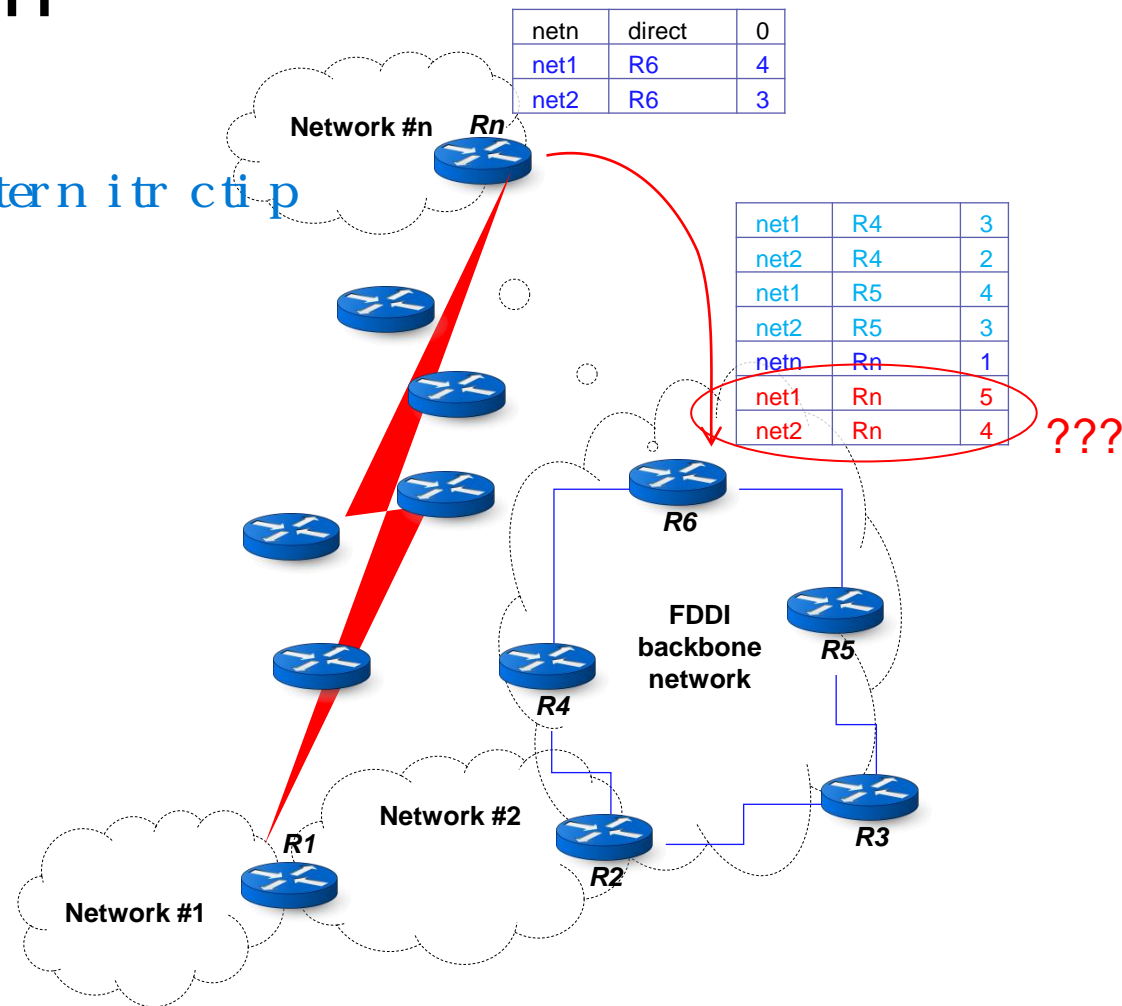
- RTE: netn, direct, 0 → (+) netn, R6, 0+1
- RTE: net1, R6, 4 → (?) net1, Rn, 4+1
- RTE: net2, R6, 3 → (?) net2, Rn, 3+1

- Khả năng có thể có một kết nối khác từ Rn đến network #1 (mà không phải đi qua R6), và cần duy trì nhiều đường đi để backup khi có sự cố mạng → R6 chấp nhận 2 RTE đi đến net1 & net2 được gửi đến từ Rn

■ Tiềm ẩn vòng lặp routing giữa Rn & R6:

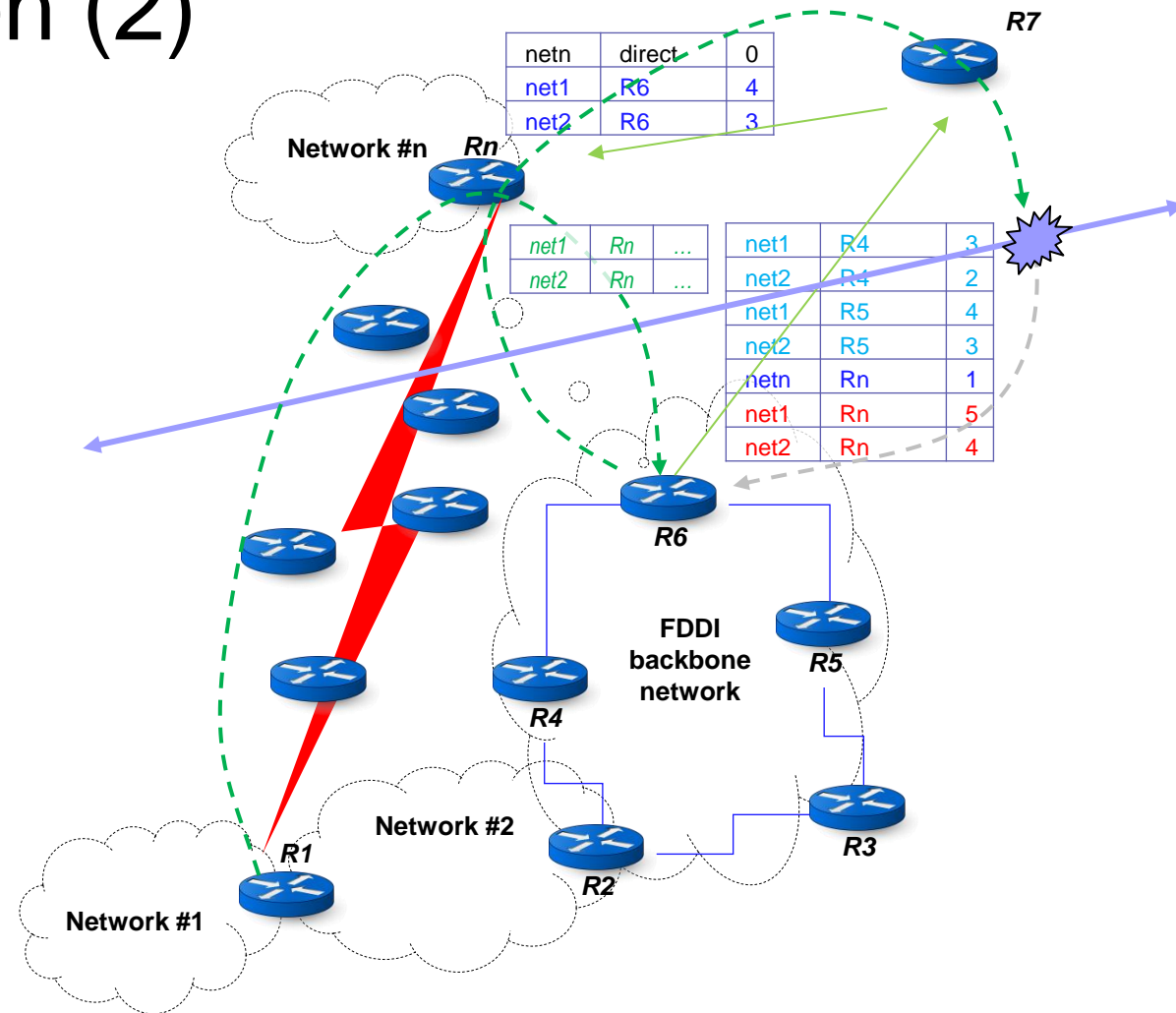
- Gói tin cần gửi từ Rn đến net1 hoặc net2
- Rn → R6
- Lựa chọn Metric bé nhất, R6 → R4
- Kết nối đến R4 và R5 có lỗi, R6 cập nhật trạng thái → còn duy nhất các RTE net1 & net2 đi qua Rn → loop routing giữa R6 & Rn

- Giải pháp “Split Horizon” [1]: không gửi RTE mà đã nhận từ chính router láng giềng này



Loop Routing & Split Horizon (2)

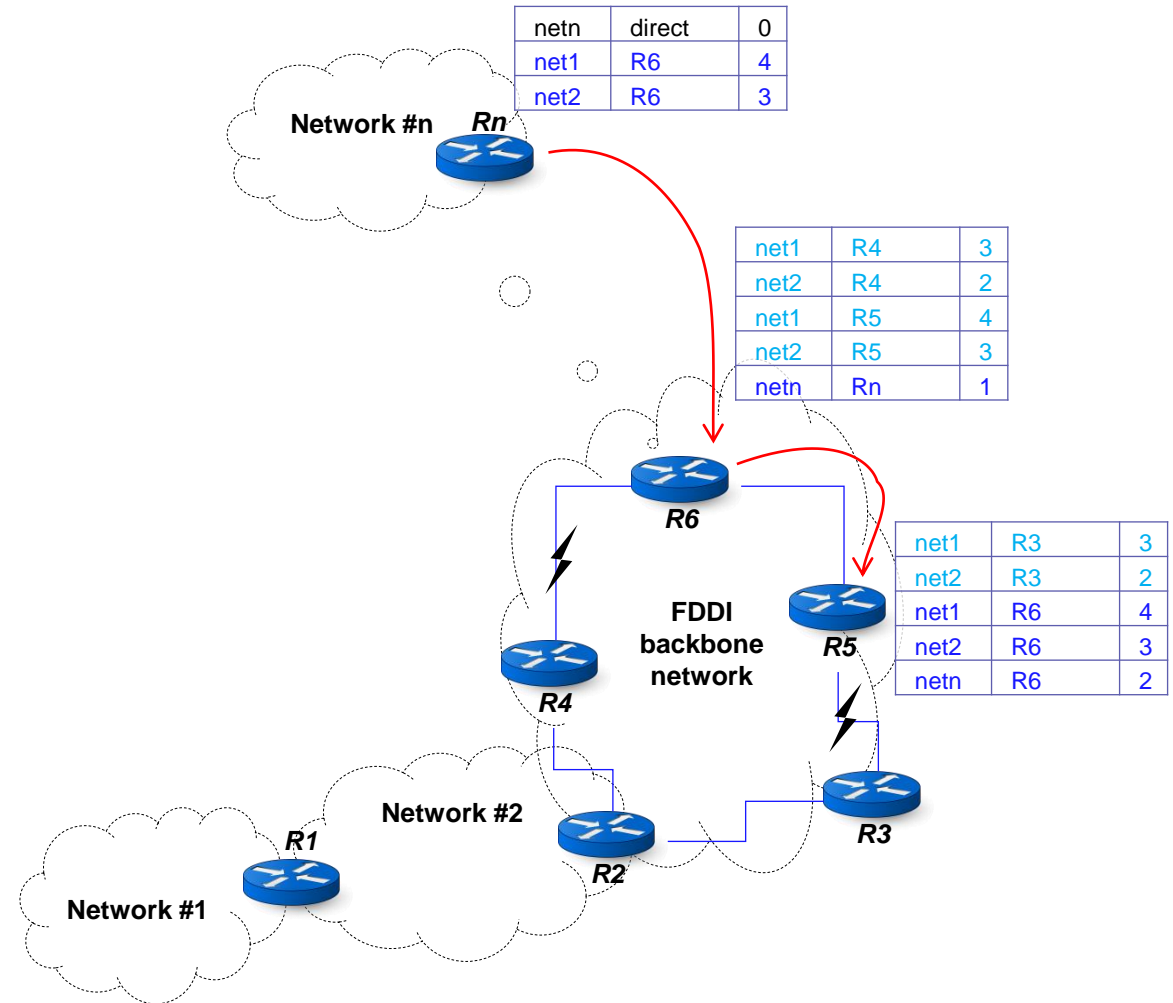
- Giải pháp “Split Horizon” [1]: không gửi lại RTE mà đã nhận từ router này
- Giải pháp:
 - Mỗi khi chuyển tiếp một RTE đến router láng giềng, router cần ghi lại toàn bộ lịch sử di chuyển của RTE (ví dụ, bằng danh sách địa chỉ IP của TẤT CẢ các router mà nó đã được chuyển tiếp qua)
 - Khi một router cần chuyển tiếp RIP (RTE) đến router láng giềng, nếu chưa nằm trong danh sách chuyển tiếp → OK. Nếu router đã nằm trong danh sách → không thực hiện



[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Split_horizon_route_advertisement

Route Poisoning

- Vòng lặp routing vẫn xuất hiện khi các router kết nối dạng loop
- Rn → R6 có xử lý “Split Horizon”: ok
- R6 → R5 có xử lý “Split Horizon”: tránh được các RTE đã gửi từ R5 nhưng vẫn chấp nhận các RTE gửi từ R4:
 - net1, R6, 4
 - net2, R6, 3
- Tình huống loop routing lại xuất hiện giữa R6 & R5 đối với net1 & net2, khi link (R6,R4) và (R5,R3) cùng xảy ra sự cố
- Giải pháp “Route Poisoning” [1]: phát hiện link down, router gửi thông báo Metric = ∞ đến router láng giềng nhằm tránh route qua đường này:
 - Link (R4, R6) down. R6 → R5: (net1, R6, ∞)
 - R5 phải update RTE này (ngược với qui tắc lấy Metric bé !!!)
 - R5 không route gói tin net1 đến R6 nữa
 - Tương tự khi link (R3,R5) down, R6 cũng sẽ không route gói tin net1, net2 qua R5 nữa.

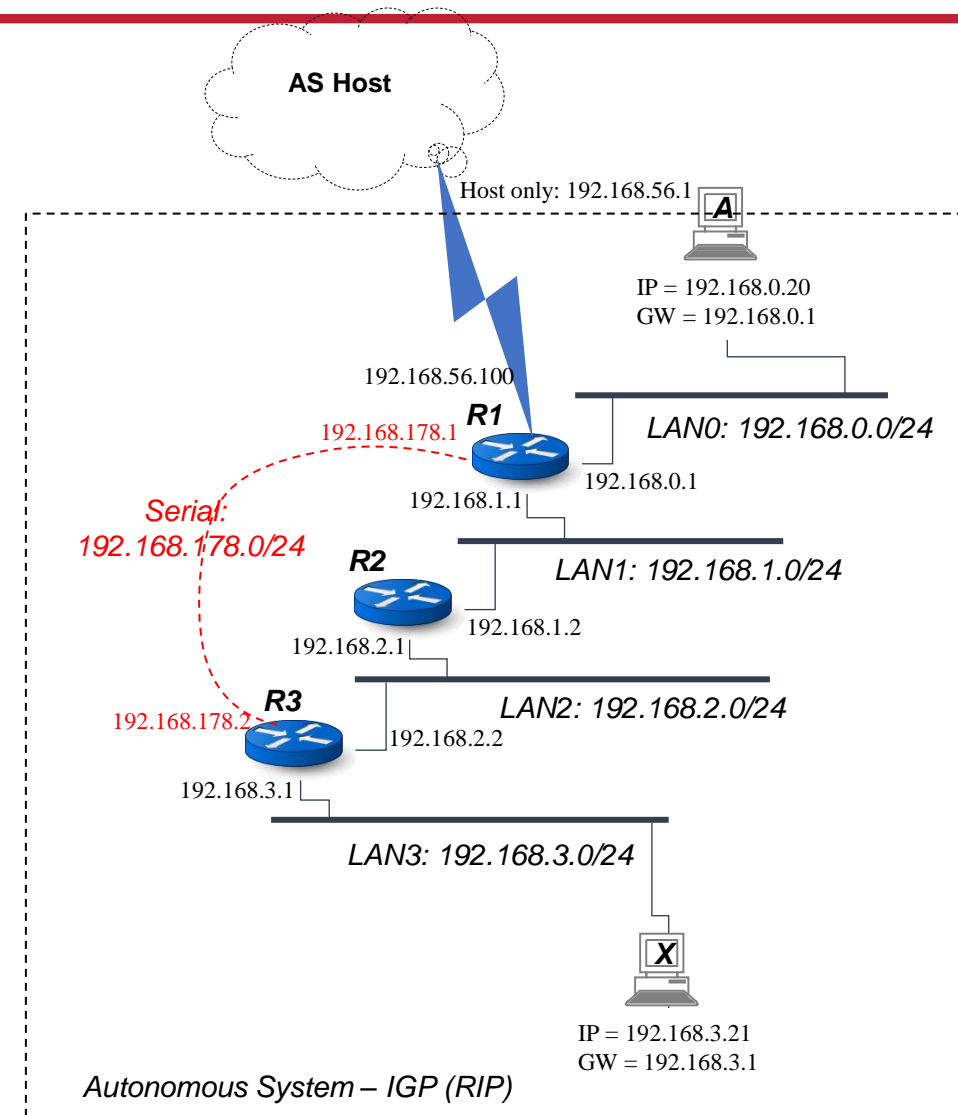


Tối ưu RIP

- Holddown timer: Khi router nhận được “poisoned RTE”, nó khởi tạo Holddown timer (180 giây) để ignore tất cả các request update RTE này từ các router khác, ngoại trừ router đã gửi “poisoned RTE”. Nếu trong khoảng thời gian Holddown timer này, đường link được phục hồi, router khởi tạo “poisoned RTE” cần gửi lại yêu cầu update RTE với Metric được phục hồi.
- Trong giai đoạn quảng bá thông tin giữa các router, cần một khoảng thời gian (gọi là khoảng thời gian hội tụ - convergence time) để tất cả các thiết bị router trong mạng tính toán và đi đến thiết lập bảng định tuyến thống nhất. Trên qui mô lớn, các mạng phức tạp sử dụng thuật toán vector khoảng cách có thể đòi hỏi khoảng thời gian hội tụ quá lớn. Trong thời gian các bảng định tuyến chưa được hội tụ, hệ thống mạng dễ bị định tuyến theo các đường đi không phù hợp. Điều này có thể gây ra các vòng lặp định tuyến hoặc các tình huống chuyển tiếp gói tin không ổn định.
- Để giảm thời gian hội tụ, một giới hạn thường được đặt ra dựa trên số lượng tối đa các bước nhảy trên một đường định tuyến đến mạng đích. Điều này dẫn đến tính huống các đường định tuyến hợp lệ nhưng vượt quá giới hạn này lại không thể được sử dụng trong các mạng sử dụng định tuyến theo vector khoảng cách.

giới hạn convergence time -> giới hạn khoảng không gian các router RIP trao đổi vs nhau
(các router trong khoảng không gian trao đổi vs nhau),
hiện nay max cho 1 khoảng không gian là 15 router rip trao đổi vs nhau

- Cài đặt *frr* cho các router để hỗ trợ RIP
- Tạo môi trường ảo gồm 4 mạng (192.168.x.0/24) kết nối với nhau thông qua 3 router R1, R2, R3
- Cấu hình RIP (zebra & ripd) trên các router
- Vận hành RIP & kiểm tra các bảng routing trên router
- Kiểm tra tính đáp ứng khi hệ thống mạng thay đổi
 - Thêm kết nối serial R1-R3 theo địa chỉ mạng 192.168.178.0/24
 - Kiểm tra đường đi của gói tin giữa A & X trước và sau khi có kết nối mới bằng *traceroute*
 - Ngắt kết nối serial R1-R3 & kiểm tra đường đi của gói tin giữa A & X
- Kết nối với bên ngoài Autonomous System
 - AS được thiết lập gồm các mạng trên và kết nối với máy host bằng network interface Host only của router R1 (mạng 192.168.56.0/24)
 - Máy Host đóng vai trò là một hệ thống AS khác cần được kết nối thông suốt với AS hiện tại → cần lan tỏa kết nối mạng Host only (192.168.56.0/24) đến các router R2, R3
 - Khai báo “redistribute connected” trong file *ripd.conf* của R1
- Bắt & phân tích các gói tin RIP





Open Shortest Path First (OSPF)

có bao nhiêu router có bấy nhiêu LSA

OSPF Introduction

- Version 1 - RFC 1131 (1989), V2 - RFC 2328 (1998), V3 - RFC 5340 (2008) hỗ trợ IPv6. Cài đặt trên router các hãng khác nhau
- Dựa trên trạng thái đường truyền (**link state**) thay vì khoảng cách như RIP → khắc phục nhược điểm đường đi ngắn nhưng băng thông hẹp.
- Tương tự RIP, dựa trên kết nối láng giềng nhưng không lan truyền bảng routing mà lan truyền toàn bộ topo mạng → mọi router đều lưu giữ topo mạng đầy đủ dưới dạng một đồ thị (đỉnh đồ thị là các router & các mạng nghiệp vụ, cạnh là các kết nối mạng của router)
- Giá (cost) của các cạnh đồ thị thể hiện trạng thái kết nối mạng (network interface) của router.

$$\text{Cost} = 10^8 / \text{interface bandwidth (bps)}$$

56-kbps serial link = 1785

T1 (1.544-Mbps serial link) = 64

Ethernet = 10

64-kbps serial link = 1562

E1 (2.048-Mbps serial link) = 48

Fast Ethernet = 1

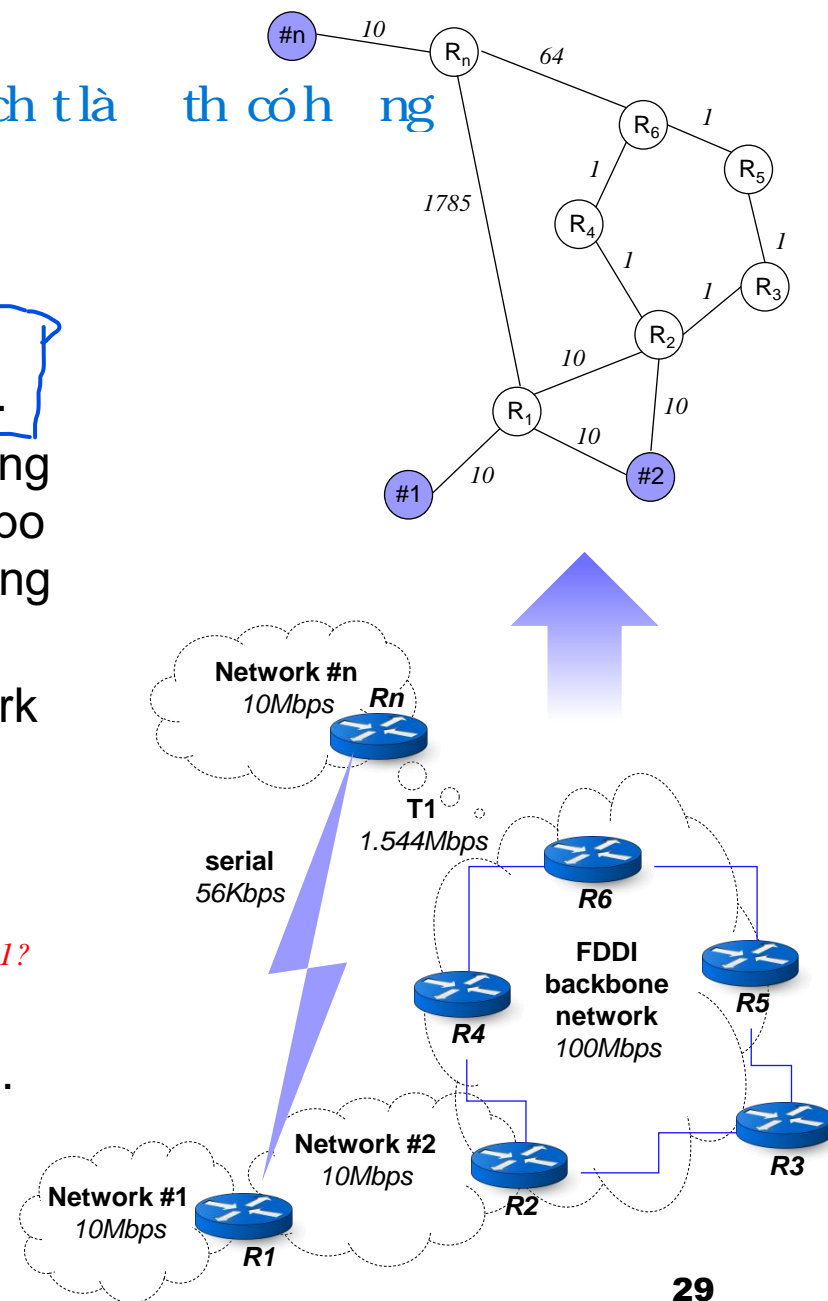
128-kbps serial link = 781

Token Ring (4-Mbps) = 25

Problem: Gigabit Ethernet and faster = 1?

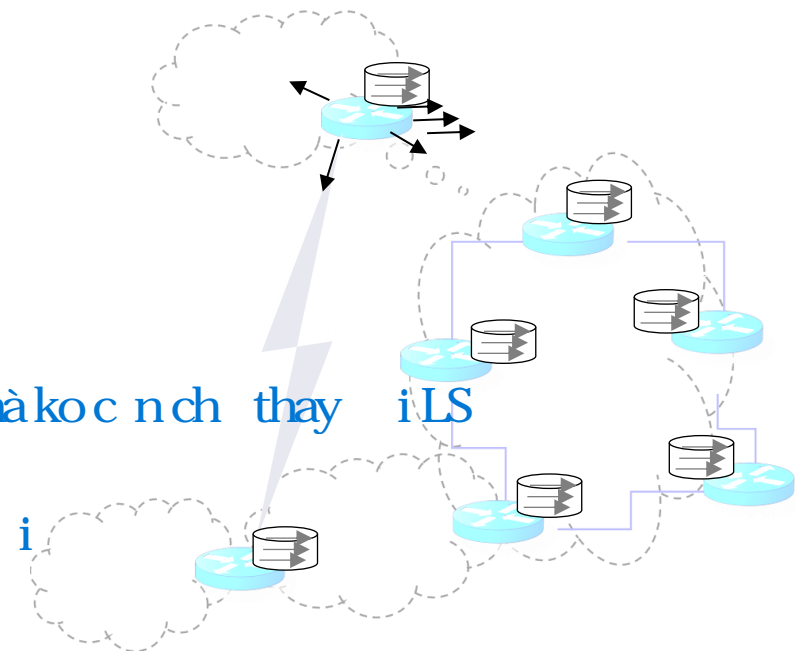
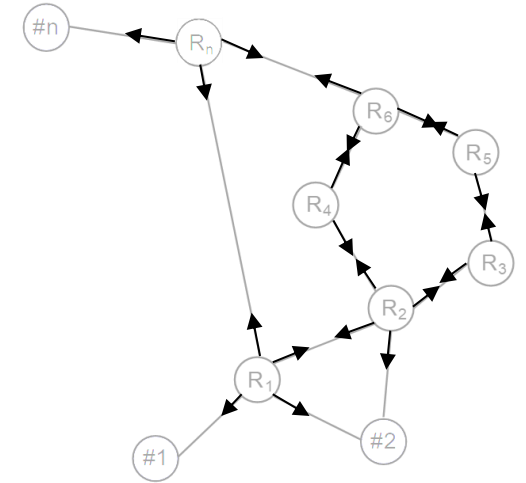
- Mỗi router OSPF sử dụng thuật toán **SFP** (Shortest Path First¹ – **Dijkstra**) để tính toán đường đi có tổng cost ngắn nhất đến mạng đích.
- Các router đều giữ bản đồ topo giống nhau → đường đi có tổng cost ngắn nhất không tạo loop routing

b n h t l à t h c ó h n g



Link State, LS Database & Advertisement

- **Link State** *kiểm soát trạng thái của mạng*
 - Link: kết nối mạng của mỗi router
 - Link State: router giám sát trạng thái kết nối mạng của mình để phát hiện có sự thay đổi
- **Link State Database** *số liệu nghi ngờ router*
 - Tập các Link State của toàn bộ mạng
 - Mỗi router lưu giữ một bản copy đầy đủ của LS Database
 - có thể “tái tạo” đồ thị topo mạng đầy đủ
 - Cho phép tìm đường đi có tổng cost nhỏ nhất giữa 2 nút
 - Đường đi “ngắn nhất” loại bỏ chu trình (tránh loop routing)
- **Link State Advertisement** *gửi*
 - Router phát hiện thay đổi Link State của mình và gửi cho láng giềng
 - Router láng giềng tiếp tục lan truyền Link State đến các router khác
 - quá trình lan truyền Link State (flooding propagation) có thể nhanh mà không cần thay đổi LS
 - Router kích hoạt quá trình lan truyền gọi là Advertisement Router



router kích hoạt, broadcast link state thay đổi

Hoạt động chung

vì hình ảnh n sau ã có LSD -> ko sd "hello protocol"

LSA = Link State Advertisement

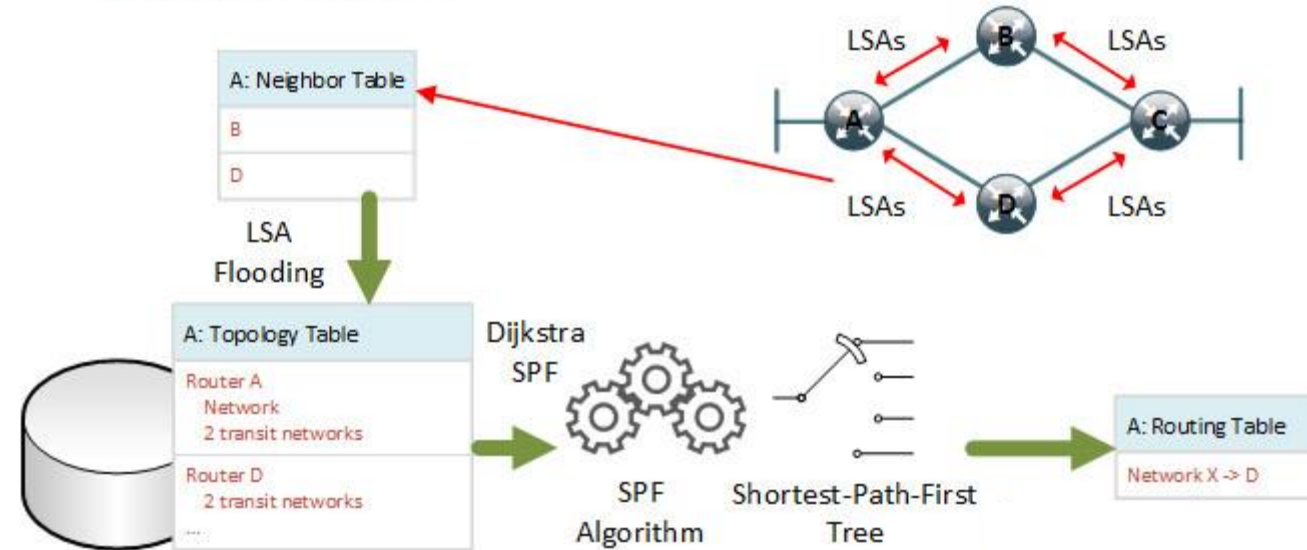
- Sent from original advertising router
- Flooded by all other routers

Source: Learn Cisco
(<https://www.learnCisco.net/courses/icnd-2/an-overview-of-ospf/ospf-data-overview.html>)

- Khi router được kết nối mạng, nó chạy "hello protocol" để thiết lập quan hệ láng giềng
 - Gửi bản tin Hello đến các router láng giềng
 - Nhận bản tin Hello & thiết lập danh sách láng giềng (neighbor).

- Khi có thay đổi trong mạng (làm topo mạng thay đổi hoặc link state thay đổi)
→ router gửi thông tin về trạng thái liên kết (link state) cho láng giềng bằng bản ghi LSA (Link State Advertisement).

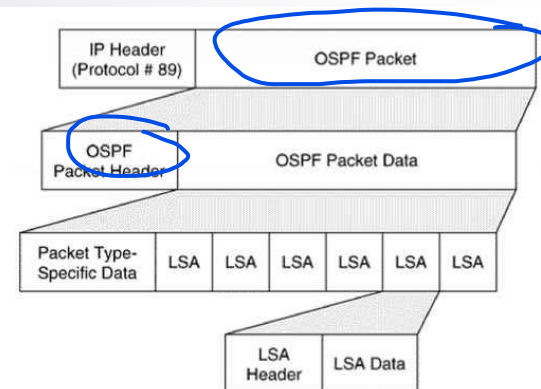
- LSA được tiếp tục lan truyền (flooding propagation) trên toàn vùng mạng để thống nhất mọi router đều cập nhật trạng thái liên kết mới này vào đồ thị topo mạng mà nó đang lưu giữ (dưới dạng một cơ sở dữ liệu trạng thái liên kết – Link State Database).
- Các router láng giềng cũng thường xuyên đồng bộ LS Database bằng cách gửi nhau các bản tin Database description, mỗi bản tin chứa một tập các LSA.
- Router có thể chủ động yêu cầu cập nhật LS Database bằng cách gửi LSA request cho láng giềng.
- Sau khi cập nhật LS Database, giải thuật Dijkstra SPF được chạy để tính toán đường đi có cost nhỏ nhất đến tất cả các mạng trong hệ thống & cập nhật vào bảng routing.



OSPF Packet Format

RIP chạy trên UDP

- OSPF chạy trực tiếp trên IP (Protocol number = 89)
- Trường Type xác định mục đích & nội dung (data) packet:
 - 1: Hello
 - 2: Database Description
 - 3: Link-State Request
 - 4: Link-State Update
 - 5: Link-State Acknowledgment
- Định danh trong topo mạng:
 - **Area ID:** tối ưu thời gian hội tụ (convergence time), chia AS thành nhiều vùng (Area), mỗi vùng được định danh bằng một Area ID phân biệt.
 - **Router ID:** định danh cho router, được gán tự động theo địa chỉ IP cao nhất của router, hoặc được admin cấu hình theo giá trị tùy ý
 - **Link State ID:** định danh của LSA.
- LSA: đơn vị dữ liệu OSPF
 - **LS age:** rất giống TTL trong gói tin IP nhưng tính bằng giây, hỗ trợ lưu trữ & loại bỏ trong Link-State DB. Có giá trị bằng 0 khi vừa được tạo, tăng lên trong mỗi bước lan truyền (flooding propagation hop) & bị loại bỏ khi đến giá trị MaxAge.
 - **LS Sequence number:** dùng để xác định phiên bản LSA. Có giá trị InitialSequenceNumber (0x80000001) khi được khởi tạo & tăng lên 1 sau mỗi lần update
 - **Advertising Router:** router chịu trách nhiệm giám sát trạng thái LSA và kích hoạt quá trình lan truyền LSA. Adv Router duy trì phiên bản hiện tại của LSA và tăng lên 1 mỗi khi kích hoạt lan truyền một phiên bản mới của LSA này.
 - **LSA là "các mảnh ghép dữ liệu" của toàn bộ hệ thống (lưu trữ & lan truyền)**
→ quan trọng nhất & cũng phức tạp nhất của hệ thống



OSPF Packet header:

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
Version #	Type	Packet length	
Router ID			
Area ID			
Checksum		AuType	
Authentication			
Authentication			

có nhiều loại LSA khác nhau

LSA header:

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
LS age		Options	LS type
Link State ID			
Advertising Router router ID			
LS sequence number			
LS checksum		length	

Các loại OSPF Packet

Version#	1	Packet length	
Router ID			
Area ID			
Checksum		AuType	
Authentication			
Authentication			
Network mask			
Hello interval		Options	Rtr Pri
Router dead interval			
Designated router			
Backup designated router			
Neighbor			

Hello

Link-state Request

Version#	3	Packet length
Router ID		
Area ID		
Checksum	AuType	
Authentication		
Authentication		
LS type		
Link-state ID		
Advertising router		

Database Description

Version#	2	Packet length											
Router ID													
Area ID													
Checksum				AuType									
Authentication													
Authentication													
Interface MTU				Options		0	0	0	0	0	1	M	M
DD sequence number													
LSA header													

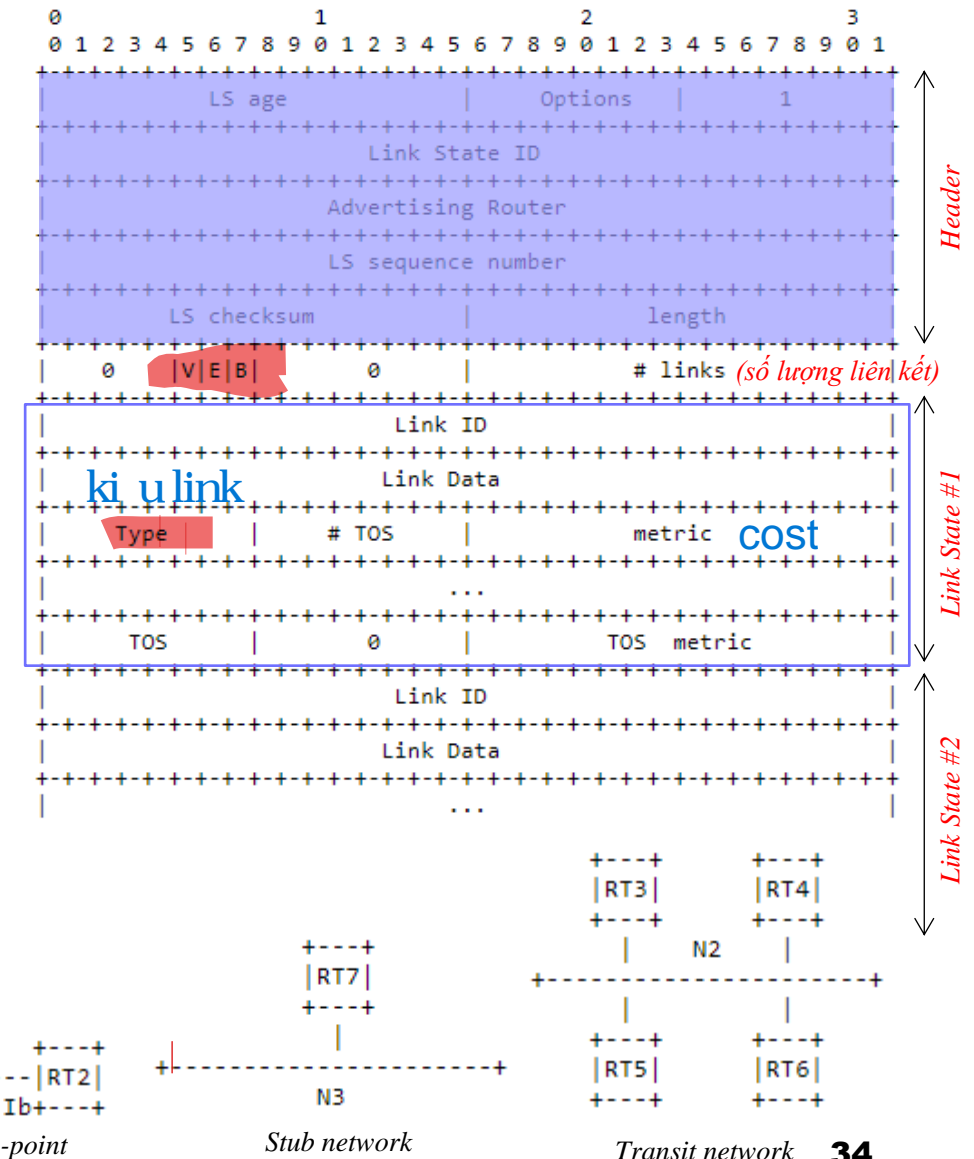
Link-State Update

Version#	4	Packet length
Router ID		
Area ID		
Checksum	AuType	
Authentication		
Authentication		
No. of Advertisements		
List of LSAs		

Router-LSA & Router Network Interface

g i i các link LSA

- Có nhiều loại LSA để phục vụ các tình huống lan truyền và lưu trữ khác nhau (trong vùng, giữa các vùng, v.v.). **Router-LSA** là LSA cơ bản nhất (LS Type=1), được dùng để mỗi router thông báo về các liên kết mạng của nó đến các router khác trong hệ thống.
- **Link State ID = Router ID** (router khởi tạo LSA này).
- **# links: số kết nối mạng của router**, cũng là số bản ghi Link State được gửi trong phần Data của packet.
- Các trường bit: **1AS có nhi u area**
 - bit V (virtual link): router kết nối với một liên kết ảo (virtual link – kết nối trực tiếp 2 Area mà không đi qua Area 0)¹
 - bit E (external): router biên của AS (có kết nối với một AS khác - ASBR router)
 - bit B (border): router biên của một Area (ABR router)
- Router kết nối mạng bằng các network interface thuộc 1 trong 4 kiểu (xác định bằng trường Type):
 - 1: kết nối point-to-point với một router khác. Link ID là địa chỉ IP router láng giềng.
 - 2: kết nối vào mạng vận chuyển (transit network) cùng nhiều router khác. Link ID là IP của router được chỉ định (Desinated Router²) trong transit network này.
 - 3: kết nối vào mạng nghiệp vụ (OSPF gọi là stub network – deadend network) – không có router nào khác kết nối vào mạng này. Link ID là địa chỉ IP của mạng stub.
 - 4: Virtual link. Link ID là địa chỉ IP của router láng giềng trong virtual link này



[1] <https://tools.ietf.org/html/rfc2328#section-15>: Virtual Links

[2] <https://tools.ietf.org/html/rfc2328#section-7.3>: The Designated Router

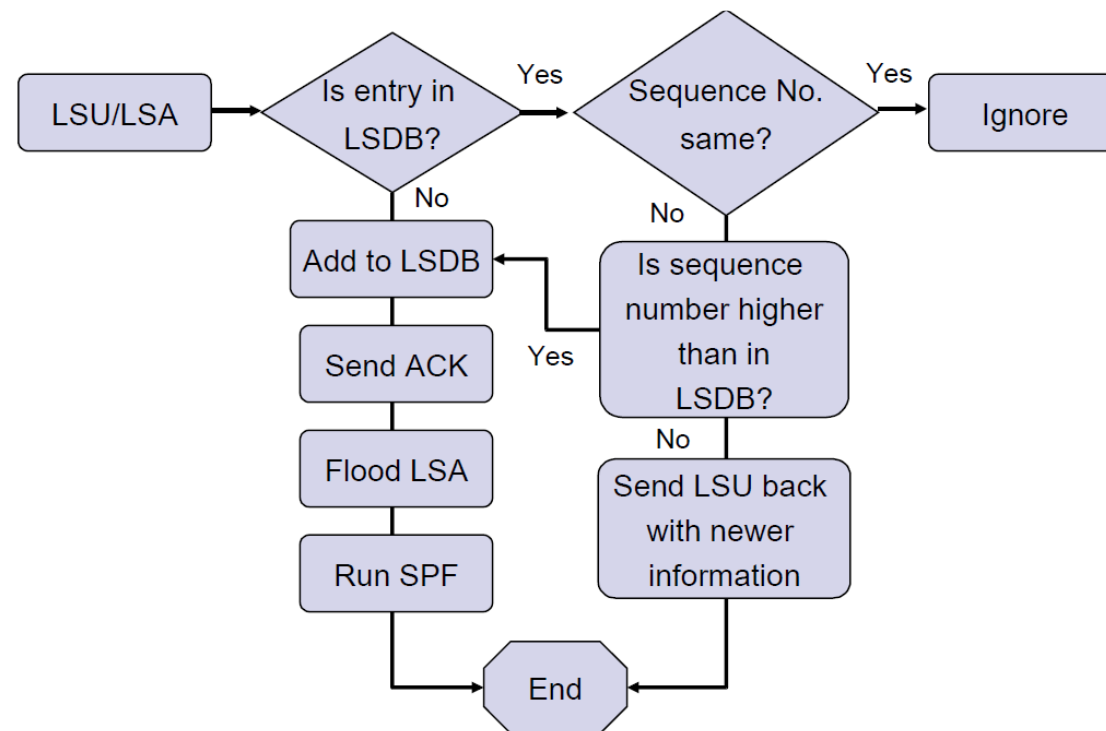
Các loại LSA

Link-state type	OSPF function
1	Router link states
2	Network link states
3	Summary link states
4	ASBR link state
5	External link advertisement
7	NSSA external link state
8	External attributes for BGP
9, 10, 11	Opaque LSA



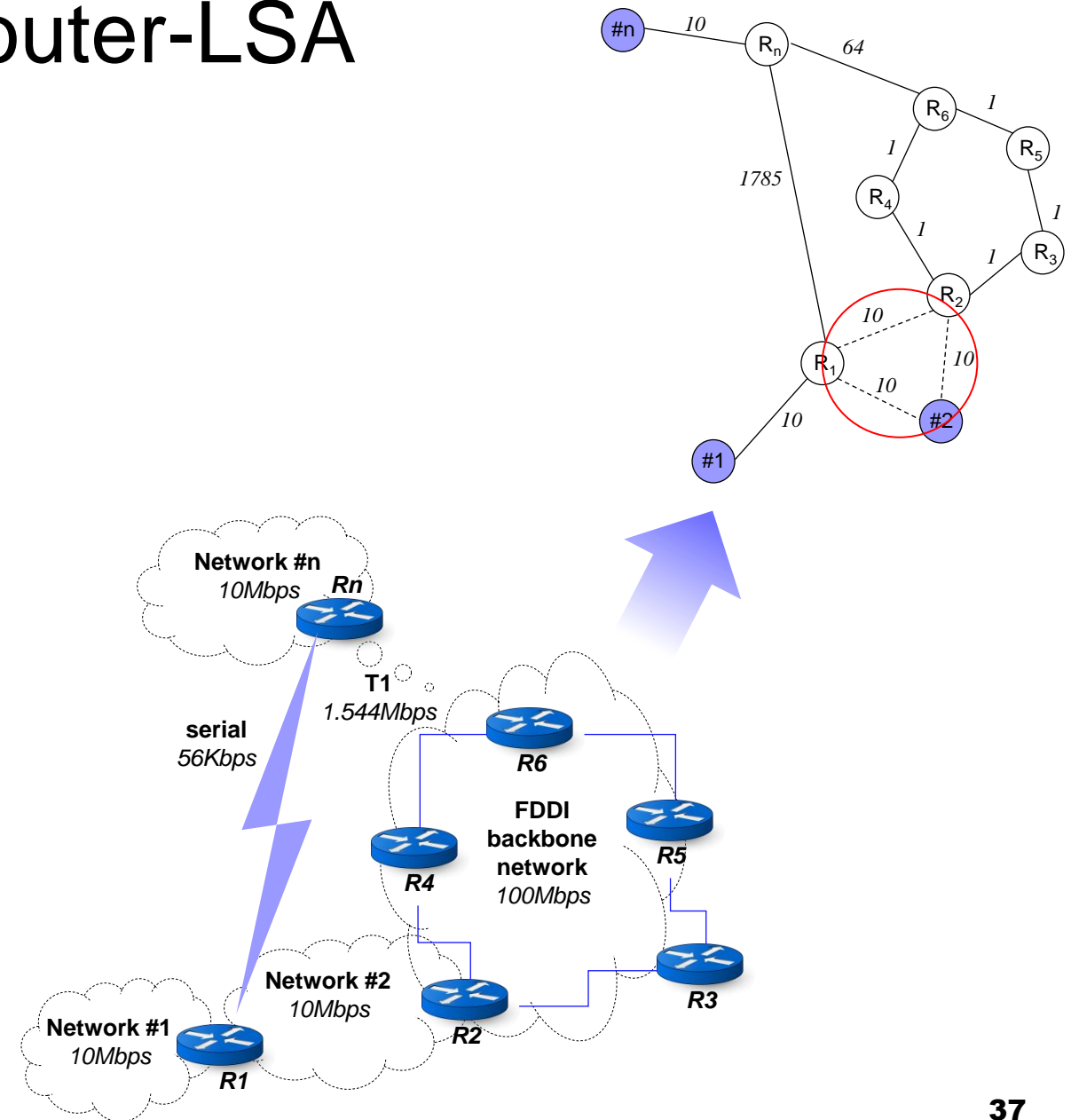
Thuật toán cập nhật Link-state DB theo LSA

1. Router nhận OSPF Packet type=4 (Link State Update) hoặc các loại packet khác, lấy LSA từ trường Data
2. Kiểm tra Link State ID để xác định LSA đã có trong link-state database?
3. Nếu chưa có, cập nhật ngay vào database, gửi ACK (OSPF Type=5) và lan truyền (flood) LSA này tiếp cho các router láng giềng. Chạy thuật toán Shortest Path First để cập nhật bảng routing
4. Nếu đã có, kiểm tra Sequence Number để xác định LSA vừa nhận là cũ hay mới. Nếu LSA nhận được cũ hơn trong database, trả lời bằng OSPF Link State Update (type=4) với LSA mới (lấy trong link-state database).
5. Nếu LSA nhận được mới hơn trong database, cập nhật vào database và xử lý tiếp như bước 3.



Link-state Database by Router-LSA

- R1-LSA: #link = 3
 - Interface #1 – stub network #1: cost=10, #seq
 - Interface #2 – transit network #2: cost=10, #seq
 - Interface #3 – point-to-point Rn: cost=1785, #seq
- R2-LSA: #link = 3
 - Interface #1 – transit network #2: cost=10, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R4: cost=1, #seq
 - Interface #3 – point-to-point R3: cost=1, #seq
- R3-LSA: #link = 2
 - Interface #1 – point-to-point R2: cost=1, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R5: cost=1, #seq
- R4-LSA: #link = 2
 - Interface #1 – point-to-point R2: cost=1, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R6: cost=1, #seq
- R5-LSA: #link = 2
 - Interface #1 – point-to-point R3: cost=1, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R6: cost=1, #seq
- R6-LSA: #link = 3
 - Interface #1 – point-to-point R4: cost=1, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R5: cost=1, #seq
 - Interface #3 – point-to-point Rn: cost=64, #seq
- Rn-LSA: #link = 3
 - Interface #1 – stub network #n: cost=10, #seq
 - Interface #2 – point-to-point R6: cost=64, #seq
 - Interface #3 – point-to-point R1: cost=1785, #seq



Network-LSA & Designated Router

■ Bài toán topo mạng transit

- Nhiều router cùng kết nối vào một mạng (transit) để chuyển tiếp gói tin IP
- Nếu áp dụng Router-LSA: các router đôi một láng giềng & kết nối trực tiếp trong mạng transit → đồ thị topo hiểu là kết nối đầy đủ point-to-point (sai !!!)
- Cần một loại LSA khác để “vẽ” đúng topo mạng
- 2 router nối trực tiếp với nhau cũng có thể coi là một mạng transit đặc biệt

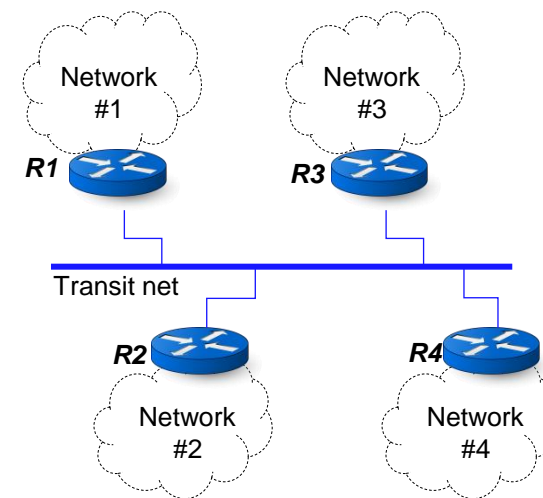
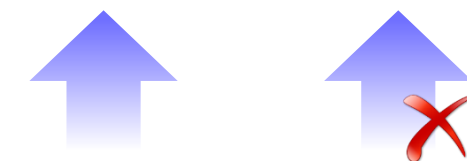
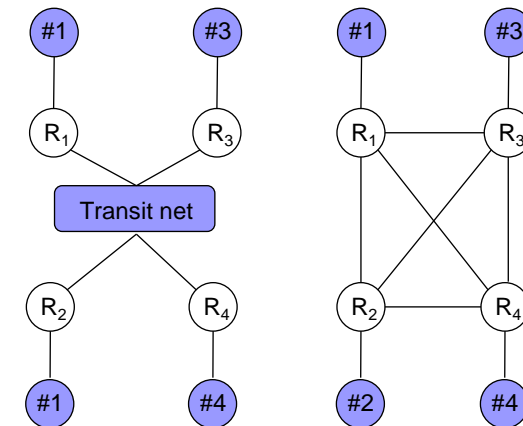
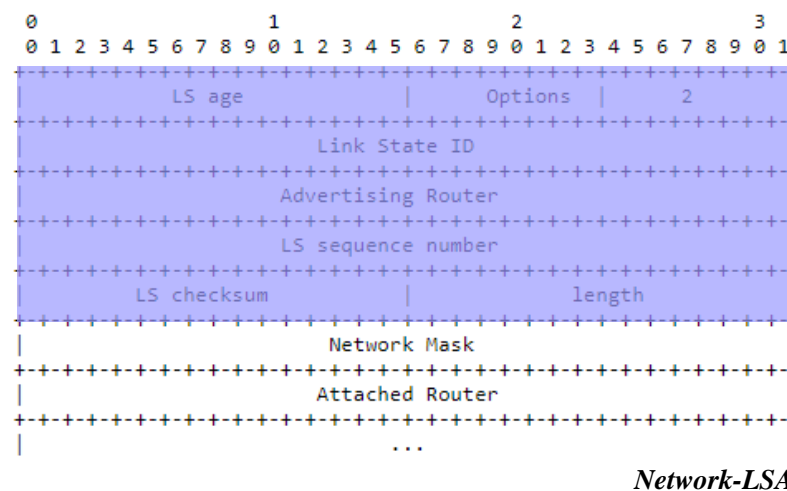
■ Designated Router (router được chỉ định) **max IP**

- Chịu trách nhiệm giám sát & kích hoạt quá trình lan truyền LSA của transit network
- Designated router được chỉ định bằng giao thức OSPF Hello giữa các router kết nối trong transit network

■ Network-LSA (Type=2)

- Lan truyền thông tin của transit net
- Link State ID = IP kết nối vào mạng transit của Designated Router (prefix địa chỉ mạng được xác định bằng trường Network Mask)
- Adv Router = ID của Designated Router
- Danh sách các router trong transit net
- **Không quan tâm đến metric!!!**

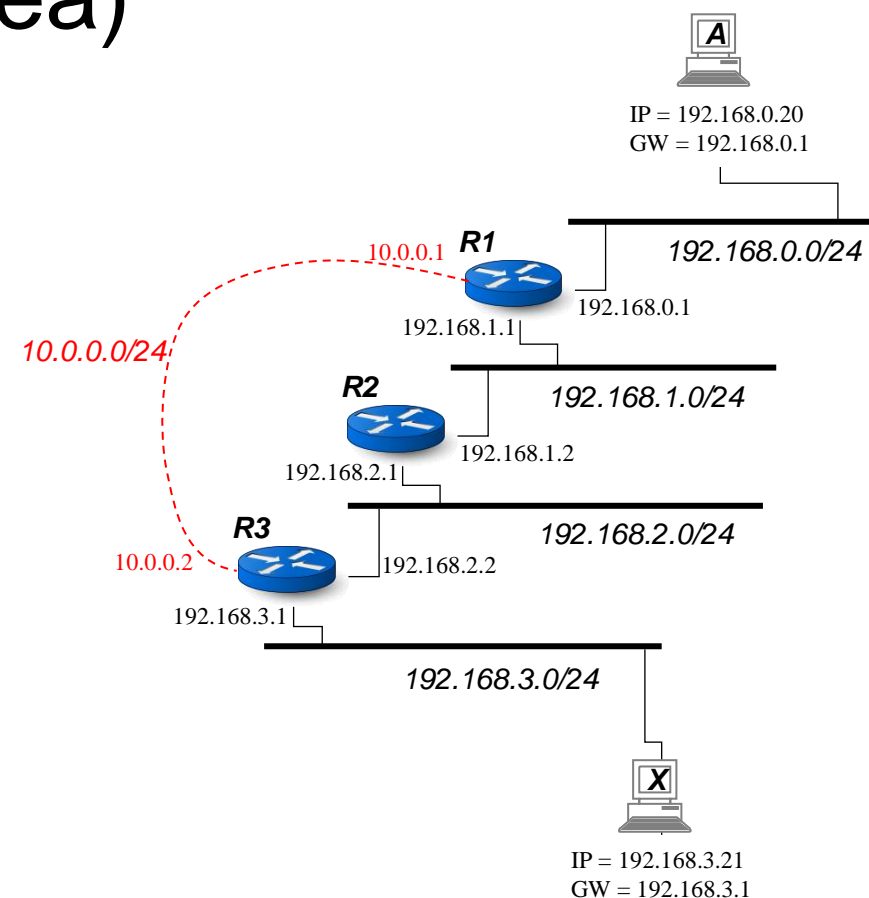
- Các router sử dụng Network-LSA để hiểu đúng về topo mạng & phục vụ thuật toán SPF. Cost (metric) vẫn sử dụng giá trị trong các Router-LSA



thực hành:

OSPF cơ bản (Single Area)

- Cấu hình *ospf* cho các router (đã cài *quagga*)
- Sử dụng môi trường mạng & router như đã thực hành với RIP
- Vận hành OSPF & kiểm tra các bảng routing trên router
- Kiểm tra tính đáp ứng khi hệ thống mạng thay đổi
 - Thêm kết nối serial R1-R3 theo địa chỉ mạng 10.0.0.0/24, đặt Cost của link là 10 (giống các kết nối khác)
 - Kiểm tra đường đi của gói tin giữa A & X trước và sau khi có kết nối mới bằng *traceroute*
 - Thay đổi Cost của kết nối serial R1-R3 thành 64 (đường T1) & kiểm tra đường đi của gói tin giữa A & X
- Sử dụng *telnet* vào *ospfd* (cổng 2604) để xem các thông tin link-state database Router-LSA và Network-LSA
 - telnet 127.0.0.1 2604
 - show ip ospf database router
 - show ip ospf database network

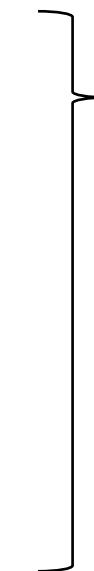


Các loại LSA

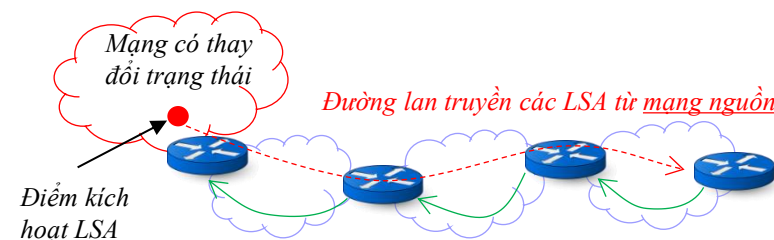
Link-state type	OSPF function
1	Router link states
2	Network link states
3	Summary link states
4	ASBR link state
5	External link advertisement
7	NSSA external link state
8	External attributes for BGP
9, 10, 11	Opaque LSA



Dùng để lan truyền trạng thái từng kết nối mạng (link state) nhằm xây dựng một bản đồ mạng thống nhất trên toàn bộ các router & hỗ trợ tìm đường cost thấp nhất



Dùng để thông báo sự có mặt của một mạng đích và xây dựng đường đi đến nó từ mỗi router trong hệ thống.

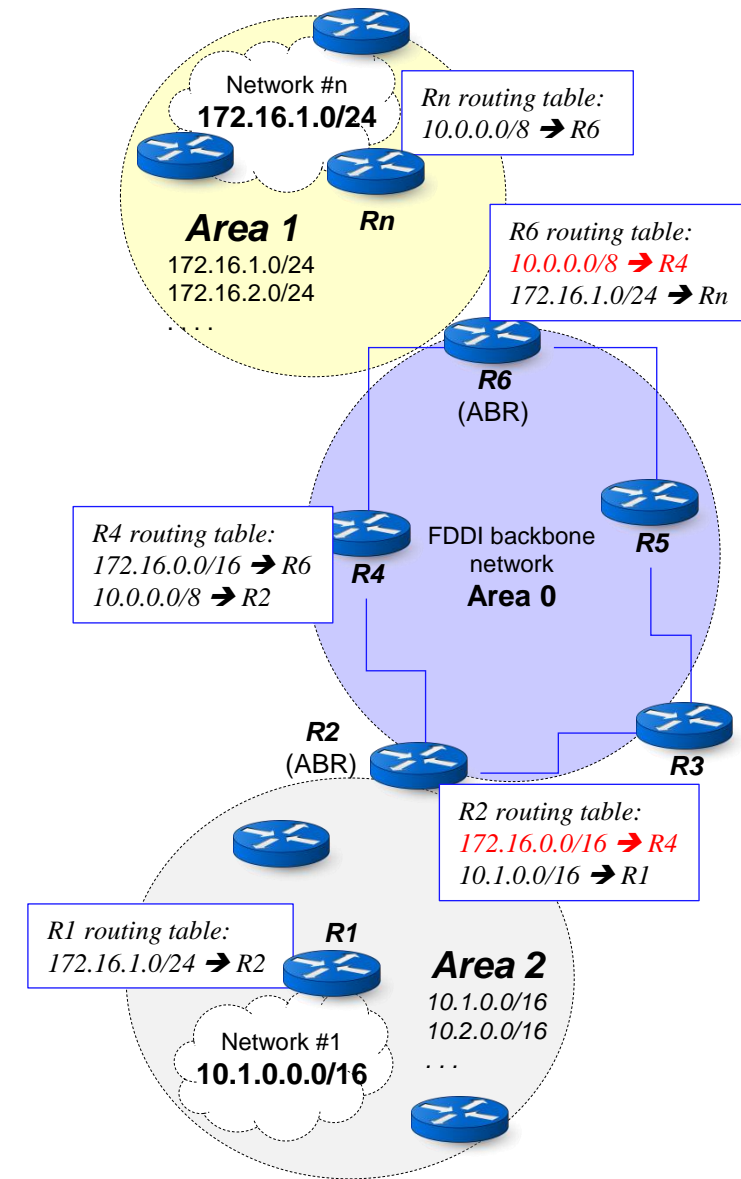


- Đường routing được xây dựng từ các router đến mạng đích bằng các RTE "học" được khi router lan truyền LSA
- Khác với RIP, đường routing không nhất thiết trùng với đường lan truyền LSA

Các vấn đề của OSPF Single Area

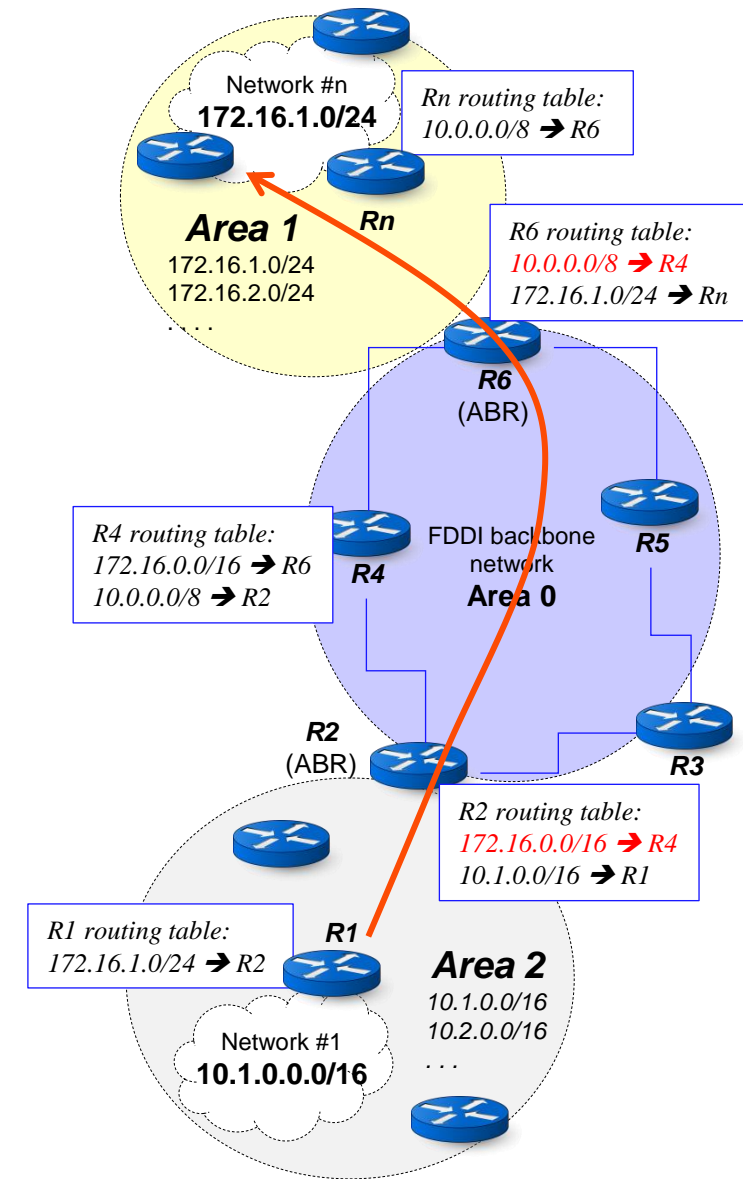
- Điều gì xảy ra khi số router lớn (hàng trăm hoặc hàng nghìn?)
 - Dữ liệu LS Database quá lớn, vượt khả năng lưu trữ tại các router
 - Thời gian lan truyền LSA lâu.
 - Nhiều LSA ở mạng xa hoặc mạng riêng, không liên quan đến router nhưng khi nhận được trạng thái mới của LSA này, router vẫn phải chạy lại thuật toán SPF
 - Bảng routing dài (trăm hay nghìn dòng) làm giảm hiệu suất routing, mặc dù nhiều dòng routing sẽ không dùng đến
- OSPF lãng phí tài nguyên LSA trong nhiều qui hoạch mạng IP:
 - 2 vùng mạng (1&2) sử dụng 2 dải địa chỉ (10.0.0.0/8 & 172.16.0.0/16) chia thành các subnet nội bộ trong vùng (10.x.0.0/16 & 172.16.x.0/24) → trong mỗi vùng, các router sử dụng OSPF để lan truyền các LSA ở cấp subnet để tính cost routing nội vùng.
 - Các router “gateway vùng” kết nối nhau hoặc qua backbone → không cần quan tâm subnet, chỉ quan tâm IP lớp mạng lớn khi cần chuyển gói tin giữa các vùng.
 - Việc lan truyền LSA (subnet) trong một vùng sang vùng khác là không cần thiết

thay thế n routing thành switching layer 3



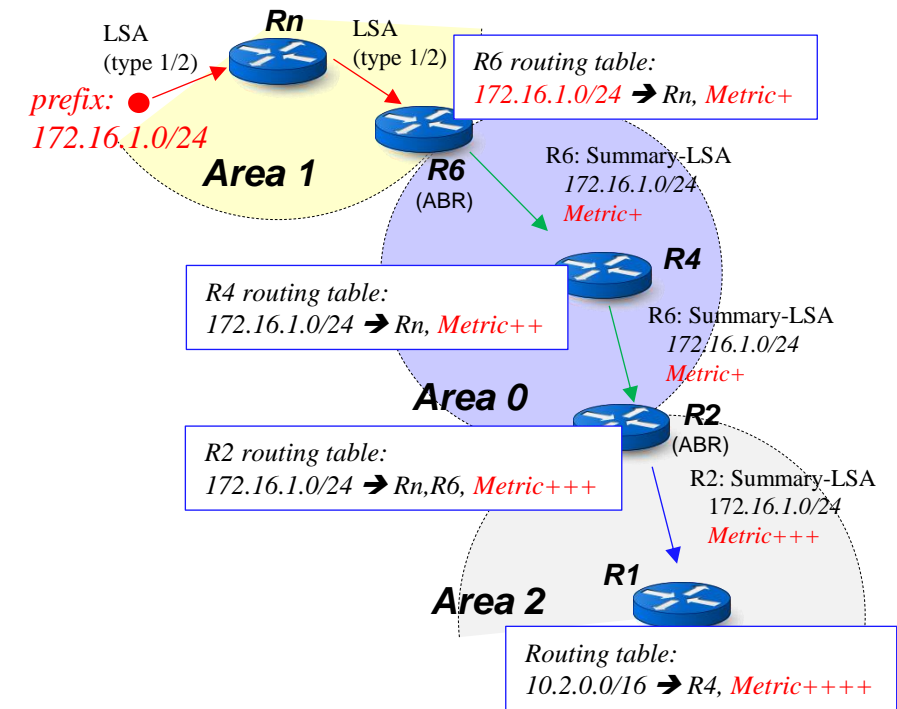
OSPF Multi Area

- Giảm thiểu triển khai thuật toán SPF!!!
- Thiết kế phân vùng:
 - Mạng được phân chia thành nhiều vùng (area)
 - Vùng trung tâm (vùng backbone – area 0) dùng để kết nối các vùng
 - Các vùng không kết nối trực tiếp với nhau mà luôn thông qua cùng backbone
- Quy tắc routing liên vùng:
 - Đường đi từ một router (R1) đến một mạng đích ở vùng xa (172.16.1.0) được phân tách thành các đường đi trong từng vùng
 - ARB là các điểm “chia cắt” đường routing
 - Trong mỗi vùng: tính toán đường đi tối ưu đến các ARB
 - Mỗi vùng được cập nhật bản đồ đầy đủ của riêng vùng đó. Vùng khác nhau không có bản đồ của nhau mà chỉ có thông tin cost để hỗ trợ tối ưu định tuyến.
- Area 0 (area backbone): chứa các cackbone router (R2, R3, R4)
- Area border rouser (ABR): R2, R4
- Internal area router: R1, R5



Summary-LSA

- Router-LSA và Network-LSA chứa các thông tin để xây dựng đồ thị topo mạng → không được lan truyền ra ngoài Area.
- Summary-LSA được sử dụng để lan truyền giữa các Area về sự có mặt của các mạng bên trong một Area (giúp cho việc định tuyến, không dùng để xây dựng đồ thị topo mạng).
- Cấu trúc gói tin Summary-LSA
 - Type = 3
 - Link State ID = prefix
 - Advertising Router = ID của ABR router mà sinh ra summary-LSA
 - Metric: cost của đường đi ngắn nhất từ adv router (ABR) đến prefix
- Hoạt động:
 - Vùng khởi phát: có thay đổi LSA → lan truyền Router-LSA hoặc Network-LSA. ABR nhận LSA trong vùng, cập nhật LS Database & chạy thuật toán SPF để tính cost cho bảng routing. Kích hoạt Summary-LSA (mới hoặc update với #sequence +1) với Link State ID = IP mạng khởi phát và lan truyền vào Area 0.
 - Vùng backbone: các router trong Area 0 nhận được Summary-LSA, cập nhật LS Database, update routing table với cost mới đến mạng khởi phát. Lan truyền tiếp Summary-LSA này trong Area 0.
 - Vùng khác: khi Summary-LSA đi đến ABR để chuyển từ Area 0 vào một vùng khác, ABR không tiếp tục lan truyền Summary-LSA này mà kích hoạt Summary-LSA mới: adv router là chính nó, link state ID giữ nguyên (là IP mạng khởi phát), Metric là cost từ ABR đến network khởi phát và lan truyền vào vùng riêng



Summary-LSA

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1								
LS age										Options										3 or 4																			
Link State ID																																							
Advertising Router																																							
LS sequence number																																							
LS checksum															length																								
Network Mask																																							
0										metric																													
TOS										TOS metric																													

Tối ưu OSPF liên vùng với Summary-LSA

■ Hoạt động của ABR router:

- Chặn các LSA type 1&2 để chỉ lan truyền trong nội vùng, giúp các router xây dựng đồ thị topo mạng của vùng.
- Kích hoạt Summary-LSA (để tóm tắt sự có mặt của một mạng & cost đi đến mạng này từ ABR) & lan truyền từ trong vùng ra ngoài hoặc từ ngoài vùng vào trong (tùy thuộc mạng cần thông báo nằm ở vị trí nào trên toàn bộ “liên vùng”)
- ➔ Các router không biết topo chi tiết của vùng khác, nhưng có thông tin routing đến các mạng trong liên vùng (giống RIP)

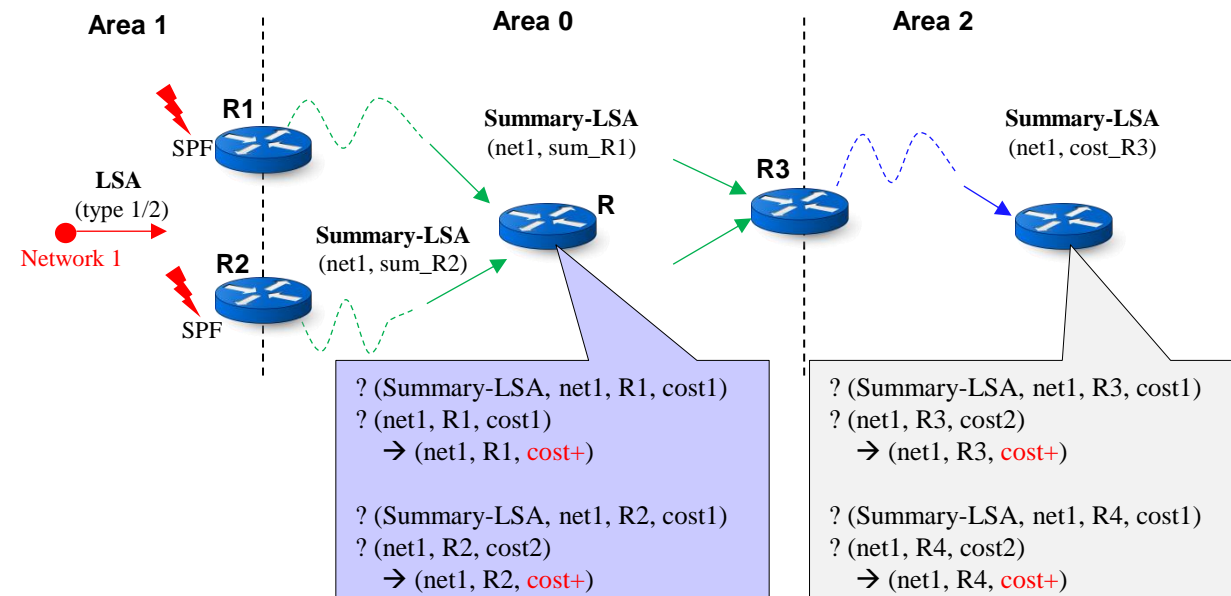
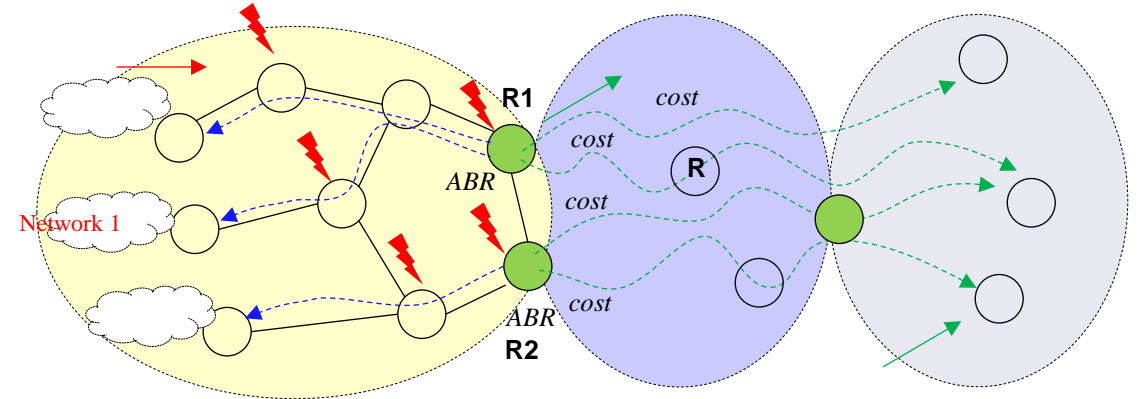
■ Summary-LSA không đòi hỏi chạy lại thuật toán SPF

- Lan truyền LSA (type 1,2) trong vùng, đến các ABR (R1, R2)
- Xử lý prefix: Net1
- Các ABR chạy thuật toán SPF để tính cost mới đi đến prefix Net1 (tương ứng là sum_R1 & sum_R2) và kích hoạt các Summary-LSA ($net1, sum_R1$) và ($net1, sum_R2$) vào Area 0
- Router trong Area 0 nhận được Summary-LSA từ ABR R1, chạy thuật toán update routing để tính cost mới đến prefix Net1:

$$cost_mới = cost_cũ - cost_đến_ABR + sum_R1$$

- Lan truyền Summary-LSA trong Area 0 đến các ABR (R3, R4)
- Router ABR update routing như các router khác trong Area 0, kích hoạt Summary-LSA vào vùng riêng
- Router trong vùng riêng nhận được các Summary-LSA, chạy thuật toán update routing:

$$cost+ = cost2 - cost1 + cost_R3$$



thực hành: Summary-LSA

- Các router được tổ chức thành 3 vùng:
 - Area 0: R1, R2, R3, R4
 - ABR: R1 với Area 1, R3, R4 với Area 2
- Kiểm tra LS database của R2 lọc theo Summary-LSA: thấy R3 và R4 đều kích hoạt Summary-LSA cho mạng 192.168.3.0/25 và lan truyền vào Area 0 nhưng với Metric khác nhau

```
R2> show ip ospf database summary adv-router 3.3.3.3

OSPF Router with ID (2.2.2.2)

Summary Link States (Area 0.0.0.0)

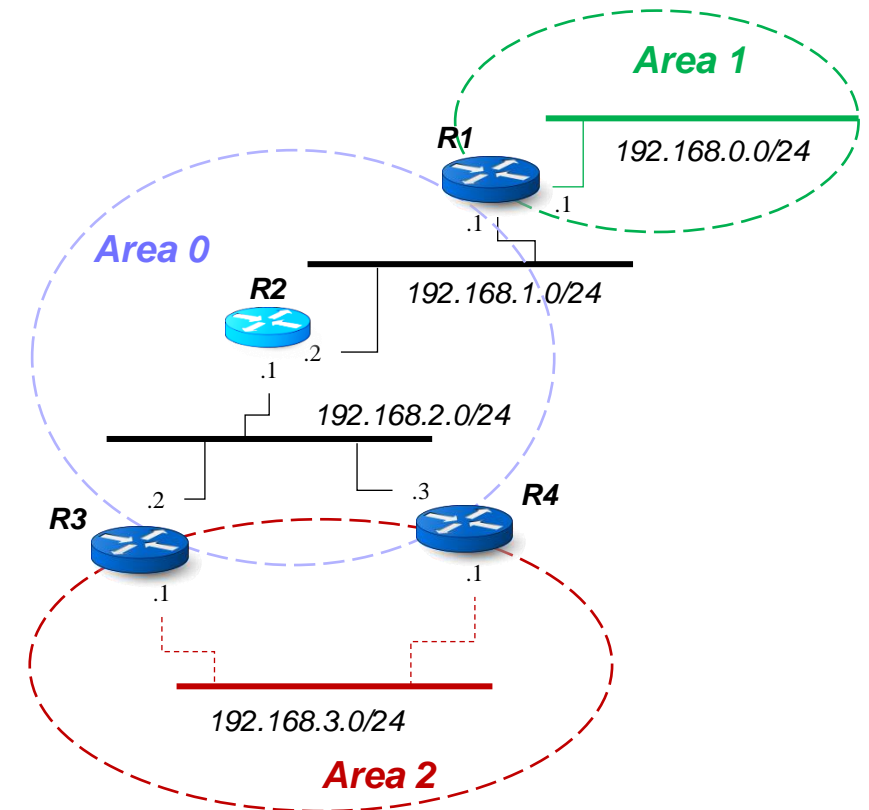
LS age: 519
Options: 0x2 : *i-l-l-l-l-l-E!*
LS Flags: 0x6
LS Type: summary-LSA
Link State ID: 192.168.3.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 3.3.3.3
LS Seq Number: 80000015
Checksum: 0x7dc8
Length: 28
Network Mask: /25
TOS: 0 Metric: 10
```

```
R2> show ip ospf database summary adv-router 4.4.4.4

OSPF Router with ID (2.2.2.2)

Summary Link States (Area 0.0.0.0)

LS age: 728
Options: 0x2 : *i-l-l-l-l-l-E!*
LS Flags: 0x6
LS Type: summary-LSA
Link State ID: 192.168.3.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 4.4.4.4
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x3f1d
Length: 28
Network Mask: /25
TOS: 0 Metric: 3
```



- Kiểm tra LS Database của R1 trong Area 1, thấy R1 kích hoạt Summary-LSA cho các network trong hệ thống. Với network 192.168.3.0/25, lấy cost bằng đường đi qua R4 (nhỏ hơn đi qua R3)

```
LS age: 1033
Options: 0x2 : *i-l-l-l-l-l-E!*
LS Flags: 0x3
LS Type: summary-LSA
Link State ID: 192.168.1.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 1.1.1.1
LS Seq Number: 80000015
Checksum: 0xcc04
Length: 28
Network Mask: /24
TOS: 0 Metric: 10
```

```
LS age: 212
Options: 0x2 : *i-l-l-l-l-l-E!*
LS Flags: 0x3
LS Type: summary-LSA
Link State ID: 192.168.2.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 1.1.1.1
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x4c8c
Length: 28
Network Mask: /24
TOS: 0 Metric: 20
```

```
LS age: 1164
Options: 0x2 : *i-l-l-l-l-l-E!*
LS Flags: 0xb
LS Type: summary-LSA
Link State ID: 192.168.3.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 1.1.1.1
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x62f1
Length: 28
Network Mask: /25
TOS: 0 Metric: 23
```

Kết nối OSPF với bên ngoài

- Kết nối các AS:

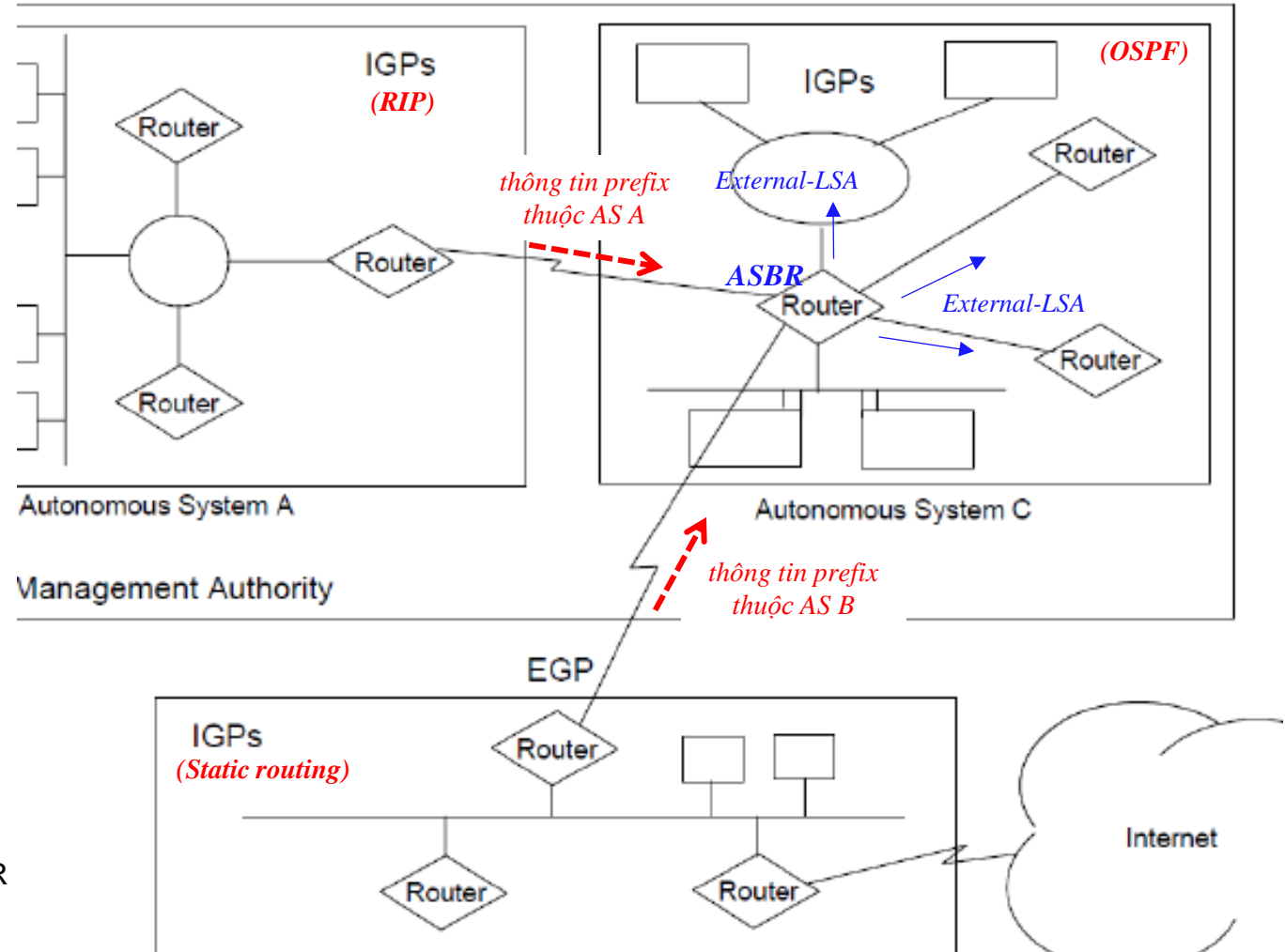
- ❑ Mỗi AS được vận hành bằng một cơ chế IGP riêng (A: RIP, B: static, C: OSPF, v.v..)
- ❑ Các prefix nằm trong A và B có thể tự động được cập nhật thông tin vào AS C (OSPF)?

- ASBR & External-LSA

- ❑ ASBR: router liên kết AS (AS Border Router)
- ❑ Nhận thông tin các prefix bên ngoài và lan tỏa vào OSPF bằng External-LSA
- ❑ Các router OSPF nhận External-LSA có đủ thông tin prefix bên ngoài cùng với đường đi đến prefix này
➔ cập nhật vào bảng routing

- Cú pháp “*redistribute*”

- ❑ Cho phép cấu hình ASBR để lấy các external prefix ở đâu (nói cách khác, xác định external là hệ thống nào)
- ❑ *redistribute static* → hệ thống external là các RTE trong routing table mà được cấu hình static
- ❑ *redistribute connected* → hệ thống external là các kết nối trực tiếp đến ASBR
- ❑ *redistribute rip* → hệ thống external là RIP chạy trong ASBR
- ❑ V.v...



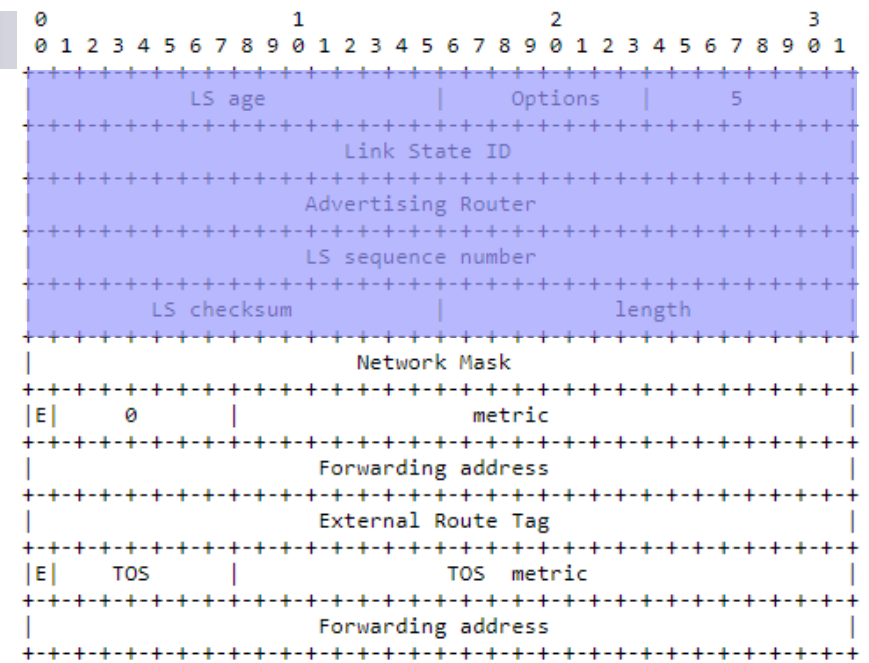
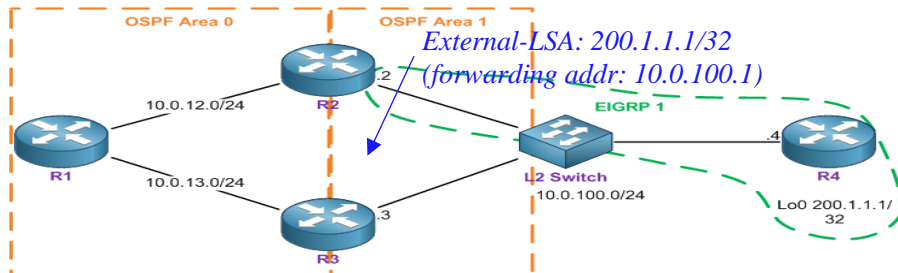
External-LSA

■ Cấu trúc External-LSA

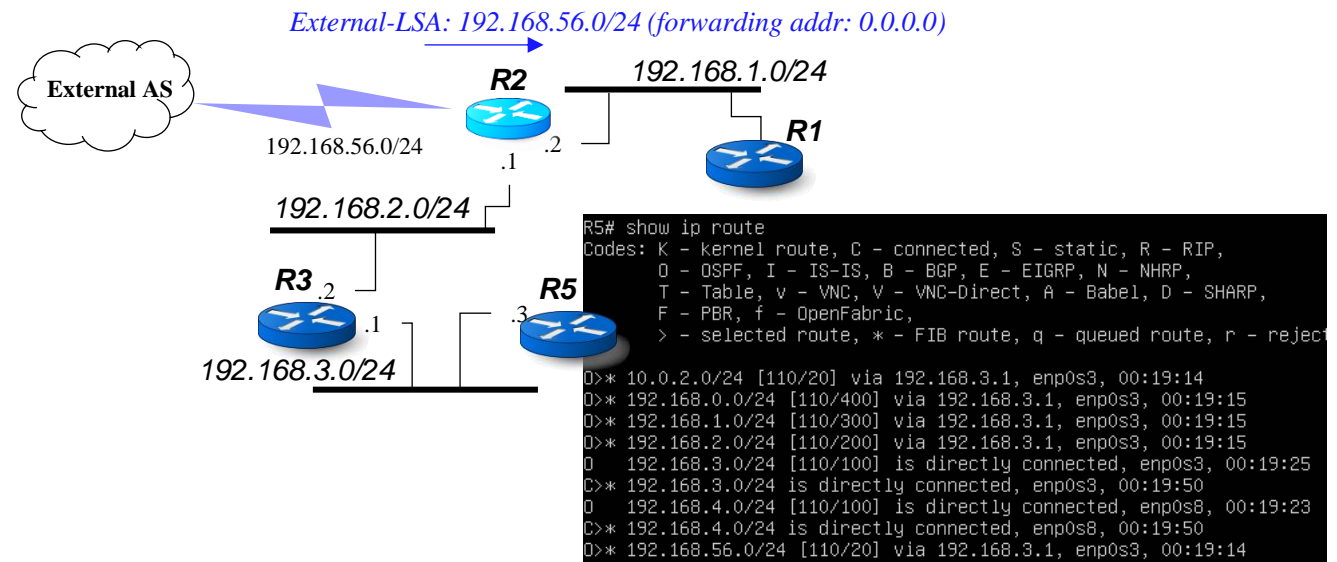
- Type=5
- Link State ID = IP mạng ngoài (+Network Mask → network prefix mạng ngoài)
- Bit E: Metric Type
 - = 0: hệ thống Metric mạng ngoài giống mạng trong
 - = 1: hệ thống Metric mạng ngoài khác mạng trong
- Forwarding address: next hope đi đến mạng ngoài
Nếu = 0.0.0.0 thì gateway chính là adv router

■ Hoạt động

- OSPF router nhận được External-LSA
- Kiểm tra forwarding address
 - = 0.0.0.0 (cần route prefix qua adv router)
 - tìm đường đến adv router
 - xác định next hop
 - đưa next hop vào bảng routing
 - != 0.0.0.0 (cần route prefix qua địa chỉ này)
 - Tìm đường đi đến địa chỉ forwarding address
 - xác định next hop
 - Đưa next hop vào bảng routing

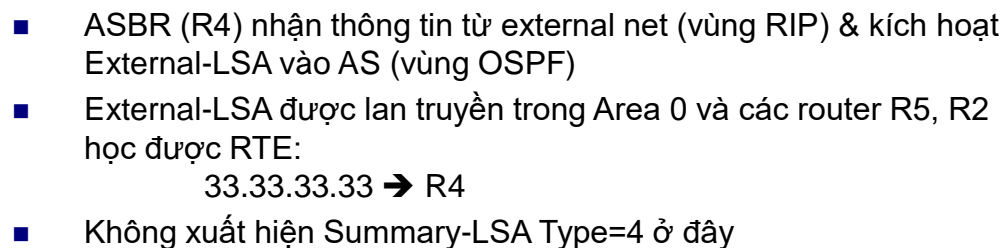


External-LSA

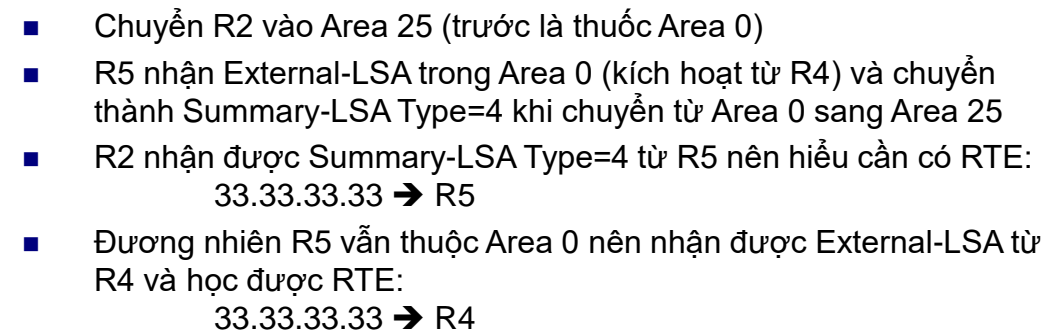


Summary-LSA Type 4

- Có thể hiểu Summary-LSA Type=3 dùng để báo cho router nhận (receiver) biết route đến một network đích (nơi đã khởi tạo LSA này) thì cần đi qua router đang gửi LSA này (Advertising Router). Điều này giống với mục đích của External-LSA, chỉ khác là network đích là một external network (nằm ngoài AS)
- Summary-LSA Type=4 được ABR (không phải ASBR) kích hoạt vào bên trong Area khi cần thông báo đường đi đến external net cần được forward qua ASBR.
- Cấu trúc giống Summary-LSA Type=3, khác Link State ID:
 - Type 3: Link State ID = IP của mạng nguồn (đã khởi tạo LSA)
 - Type 4: Link State ID = Router ID của ASBR
- ➔ Trùng lặp chức năng & hoạt động của External-LSA và Summary-LSA Type 4(?)¹



Thực nghiệm trên Quagga OSPF cho thấy Type 5 vẫn đi vào các Area riêng (không chỉ Area 0) và không xuất hiện Type 4



thực hành:

External-LSA

- Kết nối mạng ngoài bằng kiểu Host-only Adapter
- R2: ASBR
- R2 kích hoạt External-LSA để lan truyền vào Area 0 và các area khác

```
R2> show ip ospf database external

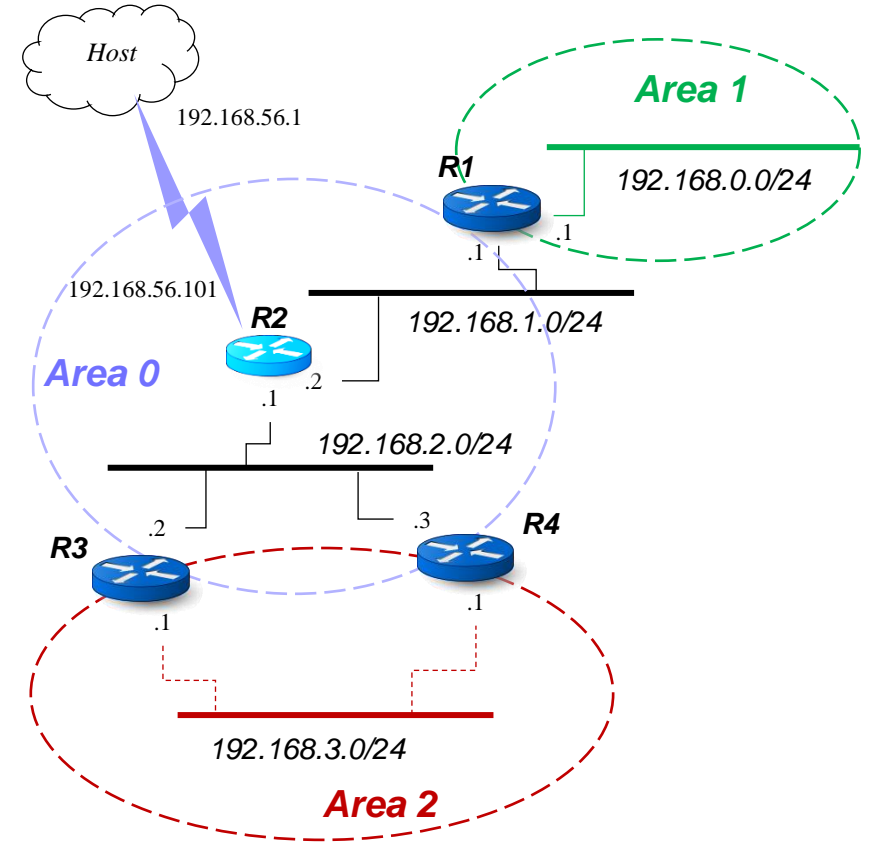
OSPF Router with ID (2.2.2.2)

AS External Link States

LS age: 76
Options: 0x2 : *i--i--i--iE!*
LS Flags: 0xb
LS Type: AS-external-LSA
Link State ID: 192.168.56.0 (External Network Number)
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000004
Checksum: 0x1dc4
Length: 36
Network Mask: /24
Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
TOS: 0
Metric: 20
Forward Address: 0.0.0.0
External Route Tag: 0
```

- Các router nhận được External-LSA tạo đường route đi ra mạng ngoài dựa trên thông tin forward address

```
[root@R3 ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
192.168.3.0 0.0.0.0 255.255.255.128 U 0 0 0 eth2
192.168.3.128 192.168.3.3 255.255.255.128 UG 20 0 0 eth2
192.168.2.0 0.0.0.0 255.255.255.0 U 0 0 0 eth1
192.168.1.0 192.168.2.1 255.255.255.0 UG 20 0 0 eth1
192.168.0.0 192.168.2.1 255.255.255.0 UG 30 0 0 eth1
192.168.56.0 192.168.2.1 255.255.255.0 UG 20 0 0 eth1
```



Các loại Area & Tối ưu vùng OSPF

■ Stub Area (vùng kết thúc – nhớ lại “stub network”):

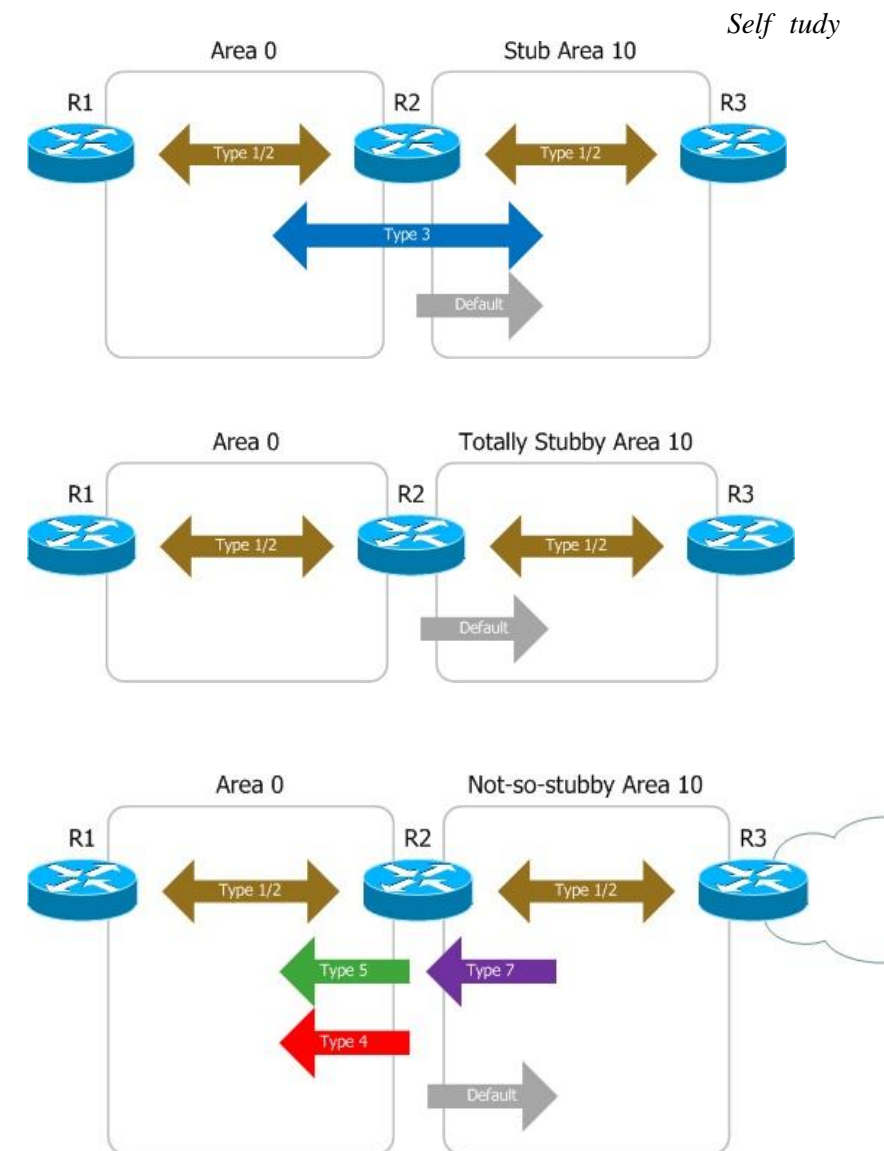
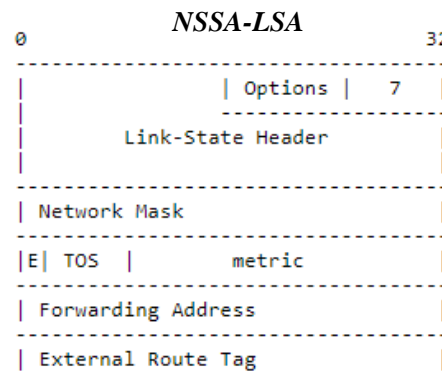
- Trong đồ thị mạng của một AS, Stub Area có vị trí là “lá” của đồ thị. Tức là chỉ có duy nhất một ABR kết nối vùng này với Area 0.
- Đối với các route để đi ra mạng ngoài (được lan truyền bằng External-LSA), đa phần không quan tâm đến Metric thì Stub Area có thể xử lý bằng RTE Default Gateway.
- Tuy nhiên, Stub Area vẫn cần lan truyền các Summary-LSA trong AS để có LS Database thống nhất với các router khác (bên ngoài Stub Area)
- ➔ ABR chặn External-LSA và kích hoạt Summary-LSA với Link State ID = 0.0.0.0 để báo các router bên trong Stub Area áp dụng qui tắc default gateway cho các route đi ra mạng ngoài

■ Totally Stub Area

- Stub Area mà áp dụng cơ chế default gateway không chỉ với các route ra mạng ngoài mà cả các route đi ra các Area khác (tính “totally” ở chỗ này).
- ➔ ABR chặn cả External-LSA và Summary-LSA, đồng thời kích hoạt Summary-LSA với Link State ID = 0.0.0.0 để báo các router bên trong Stub Area áp dụng qui tắc default gateway cho các route đi ra mạng ngoài & các Area khác


■ Not so stubby area (NSSA):

- Stub Area nhưng có kết nối mạng ngoài - RFC3010 (2003)¹
- Do Stub Area đã cấm lan truyền External-LSA (type=5) nên cơ chế External Network này không áp dụng được
- ➔ Đưa ra NSSA-LSA Type=7 để xử lý.
Cấu trúc gói tin và hoạt động của NSSA-LSA giống như External-LSA



[1] The OSPF Not-So-Stubby Area (NSSA) Option: <https://tools.ietf.org/html/rfc3101>

Các loại LSA

Link-state type	OSPF function	
1	Router link states	✓
2	Network link states	✓
3	Summary link states	✓
4	ASBR link state	✓
5	External link advertisement	✓
7	NSSA external link state	✓
8	External attributes for BGP	} 
9, 10, 11	Opaque LSA	

thực hành:

OSPF Multi Area & Tối ưu vùng

- Thiết lập để Area 2 có duy nhất router R3 kết nối ra Area 0, thiết lập Area 2 là Stub Area
- Kiểm tra bảng routing trên R5 thấy xuất hiện default gateway cho route ra mạng ngoài

```
[root@R5 ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
192.168.3.0 0.0.0.0 255.255.255.128 U 0 0 0 eth1
192.168.3.128 0.0.0.0 255.255.255.128 U 0 0 0 eth2
192.168.2.0 192.168.3.1 255.255.255.0 UG 20 0 0 eth1
192.168.1.0 192.168.3.1 255.255.255.0 UG 30 0 0 eth1
192.168.0.0 192.168.3.1 255.255.255.0 UG 40 0 0 eth1
0.0.0.0 192.168.3.1 0.0.0.0 UG 11 0 0 eth1
```

- Thiết lập Area 2 là Totally Stub
- Kiểm tra bảng routing trên R5 thấy default gateway được áp dụng cho tất cả các route đi ra ngoài Area (cả mạng ngoài lẫn mạng trong liên vùng)

```
[root@R5 ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
192.168.3.0 0.0.0.0 255.255.255.128 U 0 0 0 eth1
192.168.3.128 0.0.0.0 255.255.255.128 U 0 0 0 eth2
0.0.0.0 192.168.3.1 0.0.0.0 UG 11 0 0 eth1
```

