

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**Nguyễn Tài Lợi**

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN  
VÀ ỨNG DỤNG TRONG MẠNG VIỄN THÔNG HIỆN ĐẠI**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
*(Theo định hướng ứng dụng)*

HÀ NỘI – NĂM 2022

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**Nguyễn Tài Lợi**

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN  
VÀ ỨNG DỤNG TRONG MẠNG VIỄN THÔNG HIỆN ĐẠI**

**Chuyên ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**

**Mã số: 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**PGS.TS. NGUYỄN TIẾN BAN**

**HÀ NỘI – NĂM 2022**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi cam đoan bài luận văn tốt nghiệp này được tôi tự thực hiện trong khả năng của mình, không sao chép nội dung từ nguồn khác. Qua quá trình tìm kiếm và đọc hiểu các tài liệu tham khảo có chú thích rõ ràng cụ thể, cùng với sự chỉ dẫn của giáo viên hướng dẫn, tôi đã hoàn thành bài luận văn. Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm về nội dung được ghi trong này.

Tác giả luận văn

Nguyễn Tài Lợi

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
MỤC LỤC.....	ii
DANH MỤC BẢNG.....	iv
DANH MỤC HÌNH .....	v
THUẬT NGỮ VÀ TỪ VIẾT TẮT .....	vii
LỜI NÓI ĐẦU .....	1
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU MẠNG MPLS VÀ CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN .....	3
1.1 Tổng quan về mạng MPLS .....	3
1.2 Các yêu cầu của mạng viễn thông hiện đại .....	6
1.3 Các vấn đề còn tồn tại của mạng MPLS và hướng phát triển công nghệ định tuyến phân đoạn .....	8
1.4 Kết luận chương .....	8
CHƯƠNG 2: CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN.....	9
2.1 Giới thiệu.....	9
2.1.1 Định nghĩa .....	9
2.1.2 Lợi ích của định tuyến phân đoạn .....	10
2.2 Thành phần và cách hoạt động của định tuyến phân đoạn .....	12
2.2.1 Các loại phân đoạn .....	12
2.2.2 Kết hợp giữa định tuyến phân đoạn và LDP.....	18
2.2.3 Cơ chế tái định tuyến nhanh của định tuyến phân đoạn .....	20
2.3 Kết luận chương .....	35

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN TRONG MẠNG VIỄN THÔNG HIỆN ĐẠI .....	36
3.1 Ứng dụng định tuyến phân đoạn trong xu hướng sử dụng SDN để quản lý mạng .....	36
3.1.1 Yêu cầu mạng trong kĩ nguyên điện toán đám mây.....	36
3.1.2 Các thử thách mạng chính trong kỹ nguyên SDN .....	37
3.1.3 Hoạt động với bộ điều khiển dựa trên SDN.....	40
3.2 Ứng dụng định tuyến phân đoạn trong kiến trúc lát cắt mạng .....	43
3.2.1 Công nghệ 5G trong mạng viễn thông hiện đại .....	43
3.2.2 Lát cắt mạng .....	45
3.2.3 Các công nghệ hỗ trợ cắt mạng.....	48
3.2.4 Thuật toán linh hoạt .....	50
3.2.5 Hoạt động của thuật toán linh hoạt .....	52
3.3 Đề xuất mô hình mạng đô thị truyền tải 5G sử dụng định tuyến phân đoạn .....	55
3.3.1 Mô hình mạng đô thị đang chạy cho dịch vụ di động 2G/3G/4G.....	55
3.3.2 Đề xuất mô hình mạng sử dụng định tuyến phân đoạn đồng thời với LDP/RSVP để truyền tải mạng 5G .....	57
3.3.3 Hoạt động của mô hình .....	58
3.4. Kết luận chương .....	63
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	65
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	66

## **DANH MỤC BẢNG**

Bảng 2.1. So sánh định tuyến phân đoạn với MPLS .....	10
Bảng 2.2. Các thuật ngữ trong TI-LFA.....	24
Bảng 3.1. Định nghĩa các lát cắt mạng .....	60

## DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Ba trường hợp chính triển khai 5G .....	7
Hình 2.1. Định tuyến phân đoạn .....	12
Hình 2.2. Phân đoạn liền kề .....	13
Hình 2.3. Phân đoạn nhóm liền kề .....	13
Hình 2.4. Nhãn cho từng kết nối vật lý trong một nhóm kết nối .....	14
Hình 2.5. Phân đoạn nút .....	15
Hình 2.6. Phân đoạn nút với nhãn bắt đầu giống nhau .....	16
Hình 2.7. Phân đoạn anycast .....	17
Hình 2.8. Định tuyến phân đoạn kết hợp với LDP .....	18
Hình 2.9. Bảo vệ liên kết trong TI-LFA .....	24
Hình 2.10. Bảo vệ liên kết dự phòng cho bảo vệ nút trong TI-LFA .....	25
Hình 2.11. Dự phòng đa hướng trong TI-LFA .....	26
Hình 2.12. Không gian P và P mở rộng trong TI-LFA .....	31
Hình 2.13. Không gian P, P mở rộng và Q trong TI-LFA .....	32
Hình 2.14. TI-LFA không có sự chồng lấn giữa không gian P và Q .....	34
Hình 2.15. TI-LFA với bảo vệ nút .....	35
Hình 3.1. Sơ đồ cách triển khai SDN .....	41
Hình 3.2. Điều khiển tập trung với phần tử tính toán đường dẫn .....	42
Hình 3.3. Các lát cắt mạng .....	46
Hình 3.4. Cắt mạng theo bước sóng .....	48
Hình 3.5. Cắt mạng bằng phương pháp Ethernet linh hoạt .....	49
Hình 3.6. Cắt mạng với công nghệ định tuyến phân đoạn .....	50
Hình 3.7. Cấu trúc liên kết về định tuyến dịch vụ qua mạng sử dụng chính sách định tuyến phân đoạn .....	51
Hình 3.8. Cấu trúc liên kết về định tuyến dịch vụ qua mạng bằng thuật toán linh hoạt .....	51
Hình 3.9. Định dạng cho TLV phụ của thuật toán định tuyến phân đoạn .....	53
Hình 3.10. Cấu trúc mạng sau khi dùng thuật toán linh hoạt .....	53

Hình 3.11. Cấu trúc liên kết cho L3VPN qua định tuyến phân đoạn MPLS .....	54
Hình 3.12. Mô hình mạng đô thị hiện tại cho dịch vụ di động .....	56
Hình 3.13. Mô hình mạng sử dụng định tuyến phân đoạn để truyền tải mạng 5G...	58
Hình 3.14. Các miền báo hiệu truyền tải trong mô hình mới .....	59
Hình 3.15. Hình ảnh tính năng hiển thị chi tiết kết nối mạng một cách tự động .....	59
Hình 3.16. Giao thức PCE trong mô hình mạng .....	60
Hình 3.17. Mô hình kết nối vật lý mạng đô thị chạy định tuyến phân đoạn.....	61
Hình 3.18. Lát cắt mạng của FAD 128 .....	61
Hình 3.19. Lát cắt mạng của FAD 129 .....	62
Hình 3.20. Lát cắt mạng của FAD 130 .....	62
Hình 3.21. Lát cắt mạng của FAD 135 .....	62



## THUẬT NGỮ VÀ TỪ VIẾT TẮT

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Nghĩa tiếng Anh</b>	<b>Nghĩa tiếng Việt</b>
API	Application Programming Interface	Giao diện lập trình ứng dụng
BFD	Bidirectional Forwarding Detection	Phát hiện chuyển tiếp hai chiều
BGP	Border Gateway Protocol	Giao thức cổng biên
BGP-LS	BGP Link-State	Trạng thái link BGP
CFM	Connectivity Fault Management	Quản lý lỗi kết nối
CLI	Command-Line Interface	Giao diện dòng lệnh
CoS	Class of Service	Loại dịch vụ
CPU	Central Processing Unit	Bộ xử lý trung tâm
CSPF	Constrained Shortest Path First	Đường dẫn ngắn nhất đầu tiên có ràng buộc
ECMP	Equal Cost Multi Path Routing	Định tuyến đa đường với chi phí bằng nhau
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	Băng rộng di động nâng cao
FAD	Flexible Algorithm Definition	Định nghĩa thuật toán linh hoạt
IETF	Internet Engineering Task Force	Là một tổ chức tiêu chuẩn, trong đó phát triển và thúc đẩy tự nguyện tiêu chuẩn Internet.
IGP	Interior Gateway Protocol	Giao thức cổng nội bộ
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
IS-IS	Intermediate System - Intermediate System	Một trong các giao thức định tuyến IGP
LAG	Link Aggregation Group	Nhóm tập hợp liên kết
LDP	Label Distribution Protocol	Giao thức phân phối nhãn
LSDB	Link State Database	Dữ liệu trạng thái liên kết
LSP	Label-Switched Path	Đường dẫn chuyển mạch nhãn
LSR	Label Switching Router	Bộ định tuyến chuyển mạch nhãn
LTE	Long Term Evolution	Sự phát triển dài hạn
MBB	Mobile Broadband	Băng rộng di động
mMTC	Massive Machine Type Communication	Truyền thông máy số lượng cực lớn
MPLS	Multi Protocol Label Switching	Chuyển mạch nhãn đa giao thức
MTU	Maximum Transmission Unit	Đơn vị truyền tối đa
NBI	Northbound interfaces	Giao diện hướng bắc
NFV	Network Functions Virtualization	Ảo hóa chức năng mạng

OSPF	Open Shortest Path First	Một trong các giao thức định tuyến IGP
OTN	Optical Transport Network	Mạng lưới truyền tải quang
PCE	Path Computation Element	Phần tử tính toán đường dẫn
PCEP	Path Computation Element Protocol	Giao thức phần tử tính toán đường dẫn
PLR	Point of Local Repair	Điểm sửa lỗi cục bộ
QoS	Quality of Service	Chất lượng dịch vụ
RFC	Request for Comments	Yêu cầu nhận xét
RR	Route Reflector	Thiết bị ánh xạ tuyến đường
RSVP	Resource Reservation Protocol	Giao thức dành riêng tài nguyên
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering	Giao thức dành riêng tài nguyên – Kỹ thuật lưu lượng
SBI	Southbound interfaces	Giao diện hướng nam
SDN	Software-defined Networking	Phần mềm định nghĩa mạng
SID	Segment ID	Định danh phân đoạn
SPF	Shortest-path first	Tuyến đường ngắn nhất đầu tiên
SPRING	Source Packet Routing in Networking	Định tuyến nguồn gói tin trong mạng
SPT	Shortest-path tree	Cây tuyến đường ngắn nhất
SR	Segment Routing	Định tuyến phân đoạn
SRGB	Segment Routing Global Block	Khối toàn cầu định tuyến phân đoạn
TDM	Time Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo thời gian
TE	Traffic Engineering	Kỹ thuật lưu lượng
TI-LFA	Topology Independent Loop Free Alternate	Thay thế không có vòng lặp độc lập với cấu trúc liên kết
TLV	Type-Length-Value	Loại – Độ dài – Giá trị
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	Truyền thông độ trễ thấp độ tin cậy cực cao
VLAN	Virtual LAN	Mạng LAN ảo
VoIP	Voice over IP	Là công nghệ truyền tiếng nói của con người qua mạng máy tính sử dụng bộ giao thức TCP/IP
VPN	Virtual Private Network	Mạng riêng ảo
VRF	Virtual routing and forwarding	Định tuyến và chuyển mạch ảo
WAN	Wide Area Network	Mạng diện rộng

## LỜI NÓI ĐẦU

Cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đã diễn ra gần một thập kỉ. Ngày nay, chúng ta đã rất quen thuộc với các thuật ngữ như trí tuệ nhân tạo, xe tự hành, thành phố thông minh... Tất cả đều được xây dựng nhằm mục đích nâng cao chất lượng cuộc sống con người hiện tại và trong tương lai. Với sự phát triển nhanh chóng không ngừng nghỉ, các công nghệ mới đã mang lại cho cuộc sống con người rất nhiều lợi ích trong việc kết nối trao đổi thông tin, đơn giản hóa nhiều công việc trong cuộc sống hàng ngày cũng như tối ưu hóa. Do đó, nhu cầu sử dụng ngày càng tăng dẫn đến các yêu cầu phục vụ tốt về chất lượng như đường truyền tốc độ cao, độ trễ thấp, chi phí về băng thông hợp lý.

Để đảm bảo được các yêu cầu về những vấn đề trên, công nghệ truyền tải là vấn đề cần được quan tâm. Hiện nay công nghệ chuyển mạch nhãn IP/MPLS được sử dụng phổ biến trong nhiều nhà cung cấp dịch vụ viễn thông lớn. Nó giúp cho hệ thống của họ hoạt động tốt hơn trong việc truyền tải nhanh gói tin trong mạng lõi cũng như tính toán tốt hơn ở lớp mạng biên so với định tuyến IP thông thường. Mặc dù đã chứng minh được các ưu điểm vượt trội, công nghệ IP/MPLS vẫn còn đó những mặt hạn chế cần nâng cấp và cải tiến trong kiến trúc vì thiết bị trong hệ thống mạng vẫn phải chứa rất nhiều thông tin về cấu trúc liên kết, dữ liệu bảng định tuyến trong khi các dịch vụ truyền thông đa phương tiện phát triển liên tục. Điều đó khiến cho một lúc nào đó hệ thống mạng của nhà cung cấp dịch vụ sẽ quá tải dẫn đến hoạt động của hệ thống sẽ giảm dần.

Để giải quyết những yêu cầu ngày càng cao về mặt định tuyến và truyền tải của hệ thống mạng viễn thông hiện đại, các tổ chức viễn thông trên thế giới cùng nhiều nhà cung cấp giải pháp hạ tầng mạng đã có những thảo luận về công nghệ định tuyến phân đoạn. Hiểu được tầm quan trọng của công nghệ này trong mạng viễn thông ngày nay, tôi lựa chọn đề tài luận văn tốt nghiệp là “Nghiên cứu công nghệ định tuyến phân đoạn và ứng dụng trong mạng viễn thông hiện đại”. Luận văn này nhằm mục đích tìm hiểu về đặc điểm, tính năng của công nghệ định tuyến phân

đoạn, các ứng dụng của nó trong việc đơn giản hóa, tự động hóa cũng như quản lý mạng, nâng cao hiệu suất sử dụng hạ tầng mạng để từ đó tối ưu nguồn nhân lực trong việc vận hành hạ tầng mạng.

Về phần nội dung nghiên cứu, luận văn được chia thành 3 chương cụ thể như sau:

- Chương 1: Giới thiệu mạng MPLS và công nghệ định tuyến phân đoạn.
- Chương 2: Công nghệ định tuyến truyền phân đoạn.
- Chương 3: Ứng dụng công nghệ định tuyến phân đoạn trong mạng viễn thông hiện đại.

Em xin chân thành cảm ơn thầy PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban đã hướng dẫn tận tình để giúp em hoàn thành luận văn này. Do lượng kiến thức và trình độ chuyên môn của bản thân có hạn nên trong luận văn không thể tránh khỏi những sai sót. Kính mong quý thầy, cô cũng như bạn đọc sẵn lòng góp ý để luận văn được cải thiện tốt hơn.

Trân trọng.

# **CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU MẠNG MPLS VÀ CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN**

## **1.1 Tổng quan về mạng MPLS**

Chuyển mạch nhãn đa giao thức (MPLS) là phương thức chuyển tiếp gói tin đi qua một hệ thống mạng dựa vào nhãn thay vì địa chỉ IP nguồn và đích. MPLS hoàn toàn độc lập với bảng định tuyến hay bất kỳ giao thức định tuyến IP nào khác. Mạng MPLS hỗ trợ kỹ thuật lưu lượng (TE) và tạo mạng riêng ảo (VPN) [13].

Trong mạng IP truyền thống, gói tin được truyền với tiêu đề IP bao gồm địa chỉ nguồn và địa chỉ đích. Khi bộ định tuyến nhận được một gói tin như vậy, nó sẽ kiểm tra các bảng chuyển tiếp để tìm địa chỉ bước tiếp theo được liên kết với địa chỉ đích của gói tin và chuyển tiếp gói tin đến vị trí bước tiếp theo.

Trong mạng MPLS, mỗi gói tin được đóng gói bằng một tiêu đề MPLS. Khi một bộ định tuyến nhận được gói tin, nó sẽ sao chép tiêu đề dưới dạng chỉ mục vào một bảng chuyển tiếp MPLS riêng biệt. Bảng chuyển tiếp MPLS bao gồm các cặp giao diện gửi đến và thông tin đường dẫn. Mỗi cặp bao gồm thông tin chuyển tiếp mà bộ định tuyến sử dụng để chuyển tiếp lưu lượng và sửa đổi tiêu đề MPLS khi cần thiết.

Bởi vì bảng chuyển tiếp MPLS có ít chỉ mục hơn nhiều so với bảng chuyển tiếp chung nên việc tra cứu tốn ít thời gian và công suất xử lý hơn. Kết quả là tiết kiệm được thời gian và quá trình xử lý. Đây là một lợi ích đáng kể đối với lưu lượng chỉ sử dụng mạng để chuyển tiếp giữa các điểm đến bên ngoài.

Đường dẫn chuyển mạch nhãn (LSP) là đường dẫn một chiều thông qua mạng. Trong định tuyến IP thông thường, gói tin không có đường dẫn định trước. Thay vào đó, mỗi bộ định tuyến chuyển tiếp một gói tin đến địa chỉ bước tiếp theo được lưu trữ trong bảng chuyển tiếp của nó, chỉ dựa trên địa chỉ đích của gói tin. Sau đó, mỗi bộ định tuyến tiếp theo sẽ chuyển tiếp gói tin bằng cách sử dụng bảng chuyển tiếp của riêng nó. Ngược lại, các bộ định tuyến MPLS trong một hệ thống mạng sẽ xác định đường dẫn qua mạng thông qua việc trao đổi thông tin kỹ thuật lưu lượng MPLS. Sử dụng những đường dẫn này, các bộ định tuyến chuyển tiếp lưu

lượng truy cập qua mạng theo một tuyến đường đã thiết lập. Thay vì tự chọn bước kế tiếp dọc theo đường dẫn như trong định tuyến IP, mỗi bộ định tuyến chịu trách nhiệm chuyển tiếp gói tin đến một địa chỉ bước tiếp theo đã được xác định trước [1].

Bộ định tuyến trong một miền MPLS được gọi là bộ định tuyến chuyển mạch nhãn (LSR). Mỗi LSR phải được cấu hình để hiểu các tiêu đề MPLS và thực hiện các hoạt động cần thiết để truyền lưu lượng qua mạng. Trên một LSP có thể bao gồm bốn loại LSR:

- Bộ định tuyến đầu vào: còn được gọi là bộ định tuyến xâm nhập, là điểm lưu lượng đi vào của một LSP. Các gói tin IPv4 gốc được đóng gói thêm tiêu đề MPLS bởi bộ định tuyến đầu vào. Mỗi LSP chỉ có thể có một bộ định tuyến đầu vào.
- Bộ định tuyến chuyển tuyến: có thể là bất kỳ bộ định tuyến nào nằm ở giữa tuyến đường. Một LSP riêng lẻ có thể chứa từ 0 đến 253 bộ định tuyến chuyển tuyến. Bộ định tuyến này chuyển tiếp lưu lượng MPLS dọc theo LSP, chỉ sử dụng tiêu đề MPLS để xác định hướng gói tin được truyền đi.
- Bộ định tuyến áp chót: là bộ định tuyến ngay trước bộ định tuyến cuối cùng trong LSP. Bộ định tuyến áp chót trong LSP chịu trách nhiệm loại bỏ tiêu đề MPLS khỏi gói trước khi chuyển tiếp nó đến bộ định tuyến đầu ra.
- Bộ định tuyến đầu ra: là điểm cuối của một LSP. Bộ định tuyến đầu ra nhận các gói tin từ bộ định tuyến áp chót và thực hiện tra cứu tuyến IP. Sau đó, bộ định tuyến sẽ chuyển tiếp gói tin đến bước tiếp theo để đến được IP đích trong gói tin. Mỗi LSP chỉ có thể có một bộ định tuyến đầu ra.

Để chuyển tiếp lưu lượng thông qua mạng MPLS, bộ định tuyến MPLS đóng gói các gói tin, sau đó gán và quản lý các tiêu đề được gọi là nhãn. Nhãn là một số nguyên không dấu 20 bit trong phạm vi từ 0 đến 1,048,575. Bộ định tuyến sử dụng nhãn để lập chỉ mục trong bảng chuyển tiếp MPLS xác định cách gói tin được định tuyến qua mạng.

Khi bộ định tuyến đầu vào nhận được lưu lượng, nó sẽ chèn nhãn MPLS giữa gói tin IP và tiêu đề lớp 2 thích hợp cho liên kết vật lý. Nhãn chứa giá trị chỉ

mục xác định địa chỉ bước tiếp theo cho LSP cụ thể. Khi bộ định tuyến chuyển tuyến nhận được gói, nó sử dụng chỉ mục trong nhãn MPLS để xác định địa chỉ bước tiếp theo cho gói và chuyển tiếp gói đến bộ định tuyến tiếp theo trên LSP.

Khi gói tin đi qua mạng chuyển tiếp, mọi bộ định tuyến trên đường đi sẽ thực hiện tra cứu nhãn MPLS và chuyển tiếp gói đó tương ứng. Khi bộ định tuyến đầu ra nhận được một gói tin, nó sẽ kiểm tra tiêu đề để xác định rằng đó là bộ định tuyến cuối cùng trong LSP. Sau đó, bộ định tuyến đầu ra sẽ loại bỏ tiêu đề MPLS, thực hiện tra cứu tuyến IP thông thường và chuyển tiếp gói tin có tiêu đề IP của nó đến địa chỉ bước tiếp theo.

Mỗi một LSR sẽ chịu trách nhiệm kiểm tra nhãn MPLS, xác định bước tiếp theo của LSP và thực hiện các thao tác nhãn cần thiết. LSR có thể thực hiện năm hoạt động liên quan đến nhãn:

- **Đẩy:** thêm nhãn mới vào đầu gói tin. Đối với gói IPv4 mà bộ định tuyến đầu vào nhận được, nhãn mới là nhãn đầu tiên trong ngăn xếp nhãn. Đối với gói tin MPLS đã có nhãn, thao tác này sẽ thêm nhãn vào ngăn xếp và cài đặt bit xếp chồng thành 0, cho biết rằng có nhiều nhãn MPLS theo sau. Khi bộ định tuyến đầu vào nhận được gói tin, nó thực hiện tra cứu tuyến IP theo địa chỉ IP đích trên gói đó. Tiếp theo nó tra cứu bảng chuyển mạch nhãn rồi thực hiện đẩy nhãn phù hợp lên gói, sau đó chuyển tiếp gói đến bộ định tuyến tiếp theo.
- **Thay thế:** gỡ nhãn ở đầu ngăn xếp nhãn và thay bằng một nhãn mới. Khi một bộ định tuyến chuyển tuyến nhận được gói tin, nó sẽ thực hiện tra cứu bảng chuyển mạch nhãn. Việc tra cứu chỉ ra bước tiếp theo của LSP và bộ định tuyến tiếp theo trong LSP.
- **Gỡ:** tháo nhãn ngoài cùng khỏi ngăn xếp nhãn. Đối với gói tin đến bộ định tuyến áp chót, nhãn MPLS sẽ bị bóc khỏi ngăn xếp nhãn. Đối với gói tin MPLS có nhãn hiện có, thao tác này sẽ gỡ nhãn trên cùng khỏi ngăn xếp nhãn và sửa đổi bit xếp chồng khi cần thiết — ví dụ đặt nó thành 1 nếu chỉ còn một nhãn duy nhất trong ngăn xếp. Nếu nhiều LSP kết thúc tại cùng một bộ định tuyến đầu ra, bộ định tuyến này sẽ phải thực hiện rất nhiều hoạt động

nhãn MPLS cho tất cả lưu lượng đi trên các LSP. Để chia sẻ hoạt động giữa nhiều bộ định tuyến, hầu hết các LSP đều sử dụng lựa chọn bóc nhãn ở bộ định tuyến áp chót. Khi đó, bộ định tuyến đầu ra sẽ nhận được gói tin IP thông thường.

- Đẩy nhiều lần: thêm nhiều nhãn vào đầu ngăn xếp nhãn. Động tác này tương đương với việc thực hiện nhiều thao tác đẩy.
- Thay thế và đẩy: thay thế nhãn trên cùng bằng một nhãn mới rồi đẩy thêm nhãn khác nữa lên trên cùng của ngăn xếp.

MPLS hỗ trợ tính năng kỹ thuật lưu lượng, VPN, QoS ở cấp độ nhãn. Nhờ vậy MPLS cho phép công ty viễn thông cung cấp cho khách hàng các giải pháp ổn định, đảm bảo chất lượng dịch vụ cũng như một hệ thống mạng có hiệu suất hoạt động lớn.

## 1.2 Các yêu cầu của mạng viễn thông hiện đại

Mạng viễn thông hiện đại sẽ tập trung vào những công nghệ xu hướng sau đây:

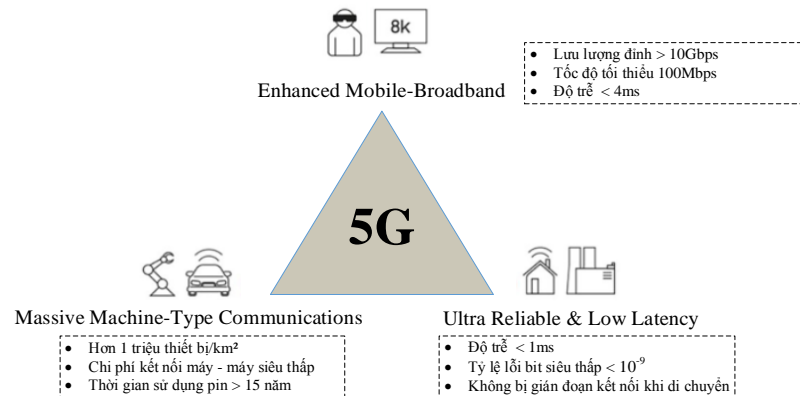
- Công nghệ 5G;
- Internet vạn vật (IoT);
- Trí tuệ nhân tạo và học máy;
- Điện toán đám mây;
- Mạng định nghĩa bằng phần mềm (SDN);
- Tính toán biên.

Mạng viễn thông hiện đại sẽ hướng tới các kết nối nhanh, liền mạch, đáng tin cậy với số lượng kết nối rất lớn, cũng như những yêu cầu về chất lượng dịch vụ ngày càng cao. Với việc 5G đang được tiếp tục triển khai, nghiên cứu về 6G đã được bắt đầu, thì dự kiến đến 2030 sẽ có khoảng 125 tỷ thiết bị được kết nối với nhau, dẫn đến sự gia tăng lớn về lưu lượng dữ liệu so với những năm trước [9]. Trong đó mạng 5G được xem là nền tảng để phát triển và tích hợp công nghệ mới. Việc triển khai 5G sẽ mang lại lợi ích trong 3 trường hợp chính như hình 1.1 mô tả, còn được gọi là “tam giác 5G”:

- eMBB: các trường hợp sử dụng tốc độ cao.



- mMTC: các trường hợp sử dụng truyền thông máy số lượng cực lớn.
- URLLC: các trường hợp sử dụng truyền thông độ tin cậy cao, độ trễ thấp.



**Hình 1.1. Ba trường hợp chính triển khai 5G**

Mạng 5G sẽ giải quyết và làm rõ ba điểm cần thực hiện:

- Tập trung vào người dùng, coi là trung tâm: sẽ cung cấp thiết bị hoạt động 24/7, dịch vụ mạng khi sử dụng không bị gián đoạn và trải nghiệm sẽ tốt hơn.
- Trung tâm cung cấp dịch vụ: cung cấp hệ thống đường truyền kết nối thông minh, dịch vụ giám sát và theo dõi nhiệm vụ quan trọng của mạng.
- Tập trung vào nhà điều hành mạng: cung cấp hiệu quả năng lượng, mở rộng được, cơ sở hạ tầng truyền thông chi phí thấp, giám sát tập trung, có thể lập trình và bảo mật.

Mục tiêu của mạng 5G là đáp ứng được phổ rộng nhất cho các dịch vụ. Tốc độ mà mạng 5G có thể đạt được nhanh hơn 10 lần so với 4G LTE. Và sẽ có nhiều dịch vụ, công nghệ và triển khai mới được giới thiệu. Như dự báo từ trước thì dữ liệu sẽ tăng rất nhanh khi 5G được đưa vào áp dụng. Nó tiết kiệm đến 90% năng lượng cho mỗi dịch vụ, tạo ra hệ thống mạng lưới an toàn, đáng tin cậy.

Như vậy với xu hướng công nghệ ảo hóa mạng, kết nối vạn vật, dữ liệu lớn cùng trí tuệ nhân tạo thì mạng viễn thông thế hệ mới phải đáp ứng được yêu cầu tính toán biên tốt, dễ dàng lập trình, kết hợp mạng vệ tinh, hệ thống truyền dẫn tốc độ cao cũng như dung lượng lớn để cung cấp được nhiều nhu cầu dịch vụ trong tương lai.

### **1.3 Các vấn đề còn tồn tại của mạng MPLS và hướng phát triển công nghệ định tuyến phân đoạn**

Hầu hết hạ tầng mạng của các nhà cung cấp dịch vụ hiện nay đều đang sử dụng công nghệ chuyển mạch nhãn đa giao thức (IP/MPLS), đây là công nghệ chuyển mạch tiên tiến ở thời điểm trước đây. MPLS là kỹ thuật mà thay vì gói tin được định tuyến bằng địa chỉ IP nguồn và đích thì nó sẽ được gán thêm các nhãn và chuyển mạch dựa trên nhãn đó. Một trong những tính năng chính mà MPLS hỗ trợ là kỹ thuật lưu lượng, quản lý QoS ở cấp độ nhãn, VRF và VPN [1]. Với sự phổ biến và ổn định, mạng MPLS khó có thể bị thay thế hoàn toàn trong vài năm tới [7]. Dù vậy mạng MPLS vẫn còn nhiều hạn chế cần được cải tiến. Cụ thể các giao thức LDP, RSVP là bộ giao thức phức tạp khi triển khai, bảo dưỡng, vận hành và xử lý lỗi khi xảy ra. Chúng tạo ra nhiều lưu lượng báo hiệu trên mạng, ít thông tin về cấu trúc mạng và gửi nhiều dữ liệu trên đường hầm MPLS. Các nhà điều hành mạng do vậy cần nhiều nhân lực có tay nghề cao để hỗ trợ việc vận hành mạng. Do đó mở rộng quy mô hệ thống mạng có thể nhanh chóng trở thành một nhiệm vụ quá sức.

Để đáp ứng các yêu cầu cho một mạng viễn thông hiện đại, các tổ chức viễn thông cũng như nhiều hãng cung cấp giải pháp đã tập trung nghiên cứu về định tuyến phân đoạn. Đây được xem như là công nghệ truyền tải kế cận phù hợp dần thay thế cho IP/MPLS truyền thống.

### **1.4 Kết luận chương**

Chương này đã giới thiệu tổng quan về các kỹ thuật trong mạng viễn thông hiện đại trong đó đề cập đến công nghệ IP/MPLS như là một giải pháp ứng dụng rộng rãi trong mạng lõi của các nhà cung cấp dịch vụ. Tuy nhiên công nghệ này vẫn còn một số hạn chế như có nhiều lưu lượng báo hiệu trong mạng, yêu cầu nhân lực trình độ cao để vận hành, việc mở rộng mạng còn nhiều phức tạp. Do đó, các công ty cung cấp giải pháp và công ty cung cấp dịch vụ viễn thông đang hướng đến sử dụng định tuyến phân đoạn trong việc phát triển hệ thống mạng. Công nghệ này được kỳ vọng sẽ có thể đáp ứng được những yêu cầu khắt khe trong việc truyền tải của mạng viễn thông hiện đại. Chương tiếp theo sẽ trình bày chi tiết hơn về công nghệ định tuyến phân đoạn.

## CHƯƠNG 2: CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN

### 2.1 Giới thiệu

#### 2.1.1 Định nghĩa

Định tuyến phân đoạn là một xu hướng mới trong việc đơn giản hóa mạng IP. Định tuyến phân đoạn chia một đường dẫn mạng thành nhiều phân đoạn và gán một mã định danh phân đoạn (Segment ID - SID) cho mỗi phân đoạn và nút chuyển tiếp. Các mã này được sắp xếp tuần tự thành một danh sách để tạo thành đường chuyển tiếp [8]. SID được mã hoá như là một nhãn MPLS, thứ tự của SID được mã hoá cũng giống như ngăn xếp nhãn. SID trên cùng được bộ định tuyến tra cứu trước và gỡ ra sau khi hoàn thành một phân đoạn mạng. Kỹ thuật này là sự kết hợp ý tưởng của kỹ thuật định tuyến nguồn IP và chuyển mạch nhãn.

Kỹ thuật định tuyến nguồn IP đã được nêu ra trong RFC 791. Đây là kỹ thuật mà đường đi của các gói tin IP sẽ được chỉ dẫn rõ ràng trong tiêu đề. Tiêu đề này do máy trạm đóng gói trước khi gửi đến bộ định tuyến giúp cho việc mở rộng mạng lưới và quản trị mạng dễ dàng hơn. Tuy nhiên do những lo ngại về vấn đề bảo mật nên IETF đã xuất bản một tài liệu khuyến nghị vô hiệu hóa khả năng định tuyến nguồn trong bộ định tuyến để tránh bất kỳ loại rủi ro nào như vậy. Cuối cùng nó không được dùng nữa và các thiết bị ngày nay không được bật tính năng định tuyến nguồn.

Chuyển mạch nhãn MPLS truyền thống là một ứng dụng rất hữu ích và đã được triển khai rộng rãi. Tuy vậy chúng lại gặp vấn đề về khả năng mở rộng và khả năng quản lý. Định tuyến phân đoạn là một công nghệ kết hợp được các ưu điểm của 2 kỹ thuật trên và đã được tổ chức IETF đưa ra thảo luận trong những bản nháp từ năm 2013 và được chuẩn hóa thành RFC 8402 vào tháng 7/2018.

Việc áp dụng công nghệ mới (định tuyến phân đoạn kết hợp SDN) trong quản lý mạng đang là xu thế chung của nhiều nước trên thế giới. Nó giúp các công ty cung cấp dịch vụ Internet phát triển hệ thống mạng linh hoạt hơn và có khả năng tự động hóa, đáp ứng được nhiều yêu cầu hơn trong việc phát triển mạng viễn thông hiện đại.

Định tuyến phân đoạn được chia thành hai loại dựa trên mặt phẳng chuyển tiếp. Định tuyến phân đoạn MPLS dựa trên mặt phẳng chuyển tiếp MPLS, trong khi định tuyến phân đoạn IPv6 (SRv6) dựa trên mặt phẳng chuyển tiếp IPv6. Đối với mạng IPv6, định tuyến phân đoạn được áp dụng bằng cách bổ sung tiêu đề mở rộng định tuyến. Ngày nay mạng IPv6 đang bước đến cơ hội có thể thay thế mạng IPv4, việc phát triển SRv6 đang ngày càng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và dự kiến SRv6 có thể sẽ là bước phát triển mạnh cho kỹ thuật định tuyến phân đoạn với việc cung cấp những khả năng lập trình trên mạng IPv6 cũng như hỗ trợ cực mạnh công nghệ ảo hoá, đám mây. Trong khuôn khổ của luận văn này sẽ chỉ đề cập đến định tuyến phân đoạn MPLS.

### ***2.1.2 Lợi ích của định tuyến phân đoạn***

Lợi ích chính của định tuyến phân đoạn là khả năng đơn giản hóa mạng và giảm việc sử dụng tài nguyên, giúp quản lý và vận hành mạng dễ dàng hơn. Định tuyến phân đoạn không yêu cầu triển khai giao thức LDP hoặc RSVP-TE. Thay vào đó, nó sử dụng IGP để phân phối nhãn và tính toán đường dẫn mà không thay đổi kiến trúc chuyển tiếp MPLS hiện có. Bảng 2.1 chỉ ra sự khác biệt cơ bản giữa định tuyến phân đoạn và MPLS truyền thống.

**Bảng 2.1. So sánh định tuyến phân đoạn với MPLS**

<b>Tiêu chí</b>	<b>Định tuyến phân đoạn</b>	<b>MPLS</b>
Giao thức điều khiển	IGP	LDP/RSVP/BGP/IGP
Phân phối nhãn	Nhãn được phân bổ cho mỗi liên kết hoặc nút và số lượng nhãn được phân phối độc lập với số lượng tuyến đường, làm giảm số lượng tài nguyên cần thiết.	Số lượng nhãn được phân phối tăng theo số lượng tuyến đường, đòi hỏi một lượng lớn tài nguyên.
Điều chỉnh và kiểm soát tuyến đường	Chỉ có nút đầu vào thực hiện tính toán lại để điều chỉnh và kiểm soát tuyến đường.	Cấu hình cần được phân phối từng nút để điều chỉnh và kiểm soát đường dẫn.

Kỹ thuật lưu lượng MPLS là công nghệ hướng kết nối. Để duy trì trạng thái kết nối, các nút cần trao đổi một số lượng lớn gói tin cập nhật. Điều này làm tăng tải của mặt phẳng điều khiển. Định tuyến phân đoạn chỉ kiểm soát các đường dẫn dịch vụ thông qua thao tác xử lý nhãn trên bộ định tuyến đầu vào. Nó không yêu cầu các nút chuyển tuyến duy trì thông tin đường dẫn, từ đó giảm tải cho mặt phẳng điều khiển.

Ngoài ra định tuyến phân đoạn còn cung cấp một số lợi ích được mong muốn sau trong hệ thống mạng:

- Định tuyến phân đoạn giảm số lượng các nút cần tác động vào để cung cấp và thay đổi đường dẫn. Hành động này cho phép định tuyến phân đoạn phản ứng nhanh hơn với thay đổi của mạng, làm cho nó nhanh nhẹn và linh hoạt hơn các giải pháp kỹ thuật lưu lượng khác.
- Kỹ thuật lưu lượng định tuyến phân đoạn cung cấp QoS của ứng dụng và ảnh xạ các dịch vụ mạng tới người dùng cuối khi chúng đi qua mạng.
- Định tuyến phân đoạn cung cấp khả năng phục hồi mạng nhanh thông qua kỹ thuật tính toán tuyến đường thay thế không có vòng lặp độc lập với cấu trúc liên kết (TI-LFA), giúp đảm bảo độ tin cậy của đường dẫn trong thời gian mạng ngừng hoạt động.

Đặc biệt định tuyến phân đoạn cung cấp khả năng phát triển mạng cùng với SDN. Nếu kết hợp với một bộ điều khiển, định tuyến phân đoạn sẽ cung cấp thêm các lợi ích sau:

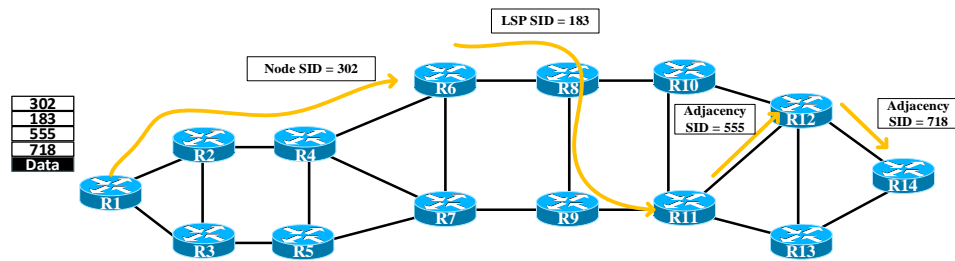
- Cung cấp bảo lưu băng thông với kỹ thuật lưu lượng đơn giản, vì bộ điều khiển có khả năng gán các thuộc tính liên kết và ràng buộc vào đường dẫn rồi sau đó thực hiện các tính toán đường đi ngắn nhất (CSPF).
- Giảm rủi ro khi thực hiện chuyển đổi mạng cho dù đang triển khai SRv6, SR-MPLS hay SRm6 trong mạng. Nó thực hiện điều này bằng cách cung cấp hỗ trợ không đồng nhất cho nhiều mặt phẳng chuyển tiếp, bao gồm MPLS và IPv6.
- Tạo điều kiện cho việc tự động hóa tối ưu mạng bằng cách liên tục đánh giá các điều kiện mạng theo thời gian thực, giám sát hành vi và hiệu suất mạng cũng như thực hiện các thay đổi khi có thể. Điều này được phân phối tự động

trên toàn mạng mà không cần phải đẩy các thay đổi lên nhiều bộ định tuyến thông qua giao diện câu lệnh (CLI).

- Nâng cao chất lượng trải nghiệm của người dùng cuối bằng cách xác định đường dẫn mạng cụ thể cho mỗi yêu cầu đặt ra (cũng được sử dụng để phân chia mạng thành các lát cắt).

## 2.2 Thành phần và cách hoạt động của định tuyến phân đoạn

Định tuyến phân đoạn cho phép tạo các đường dẫn từ đầu đến cuối trên mạng. Một đường dẫn có thể bao gồm nhiều thực thể cấu thành nên được gọi là phân đoạn. Do đó, đường dẫn bao gồm một chuỗi các phân đoạn như vậy. Gói tin được định tuyến nguồn có nghĩa là bộ định tuyến ở đầu đường dẫn gắn một chồng tiêu đề vào gói tin, mỗi tiêu đề biểu thị một phân đoạn kế tiếp trong tuyến đường đi của gói tin như hình 2.1 mô tả.



**Hình 2.1. Định tuyến phân đoạn**

Trong MPLS, mỗi phân đoạn được mã hoá như là một nhãn. Một ngăn xếp nhãn đại diện cho một danh sách phân đoạn. Nhãn trên cùng sẽ được xử lý trước tiên. Trong khi xử lý gói tin, các nhãn sẽ được gỡ khỏi ngăn xếp.

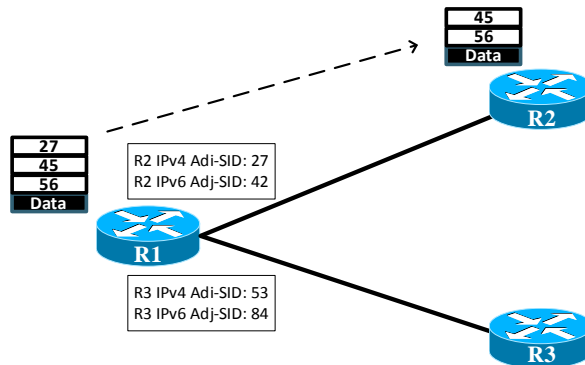
Trong IPv6, một tiêu đề định tuyến mới được định nghĩa cho định tuyến phân đoạn. Một phân đoạn được mã hoá trong địa chỉ IPv6. Một danh sách theo thứ tự các địa chỉ IPv6 đại diện cho danh sách phân đoạn.

### 2.2.1 Các loại phân đoạn

#### 2.2.1.1 Phân đoạn liền kề

Mỗi bộ định tuyến trong mạng sẽ quảng bá một nhãn được liên kết với từng kết nối IGP của nó với các bộ định tuyến lân cận. Những phân đoạn liền kề như vậy có ý nghĩa chuyển tiếp nghiêm ngặt. Điều này có nghĩa là trong mặt phẳng dữ liệu,

khi một gói tin xuất hiện với một nhãn liền kề, bộ định tuyến sẽ gỡ nó ra và gửi gói tin vào kết nối đã được liên kết với nhãn đó.

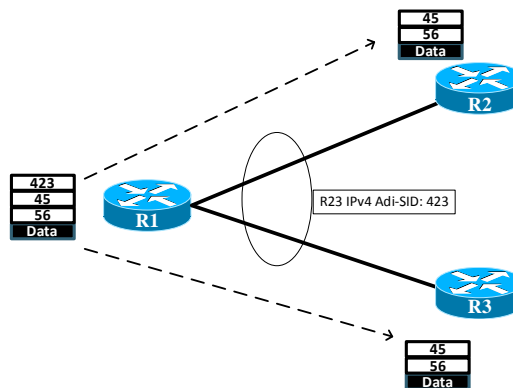


**Hình 2.2. Phân đoạn liền kề**

Ví dụ trong hình 2.2, khi bật tính năng định tuyến phân đoạn, trên R1 sẽ được kích hoạt để phân bổ hai nhãn cho mỗi hàng xóm IGP, một cho IPv4 và một cho IPv6. Có thể thấy đối với R2, R1 đã phân bổ nhãn 27 cho IPV4 và 42 cho IPv6. Các nhãn này được tự động sinh ra nên sẽ có giá trị khác nhau với mỗi trường hợp. Lúc này ví dụ R1 nhận được một gói tin có nhãn 27 ở trên cùng, R1 sẽ thực hiện bóc nhãn này ra và gửi gói tin đến R2 qua kết nối đã được liên kết với nhãn 27. Các nhãn này chỉ có giá trị cục bộ trong mỗi bộ định tuyến, vì thế nó có thể lặp lại ở các bộ định tuyến khác nhau.

### 2.2.1.2 Phân đoạn nhóm liền kề

Ngoài việc cấp nhãn riêng cho mỗi kết nối, có thể gom nhiều kết nối trực tiếp trên một bộ định tuyến và cấp nhãn chung cho chúng. Nhóm các kết nối như vậy được gọi là nhóm liền kề (Adj-Set).

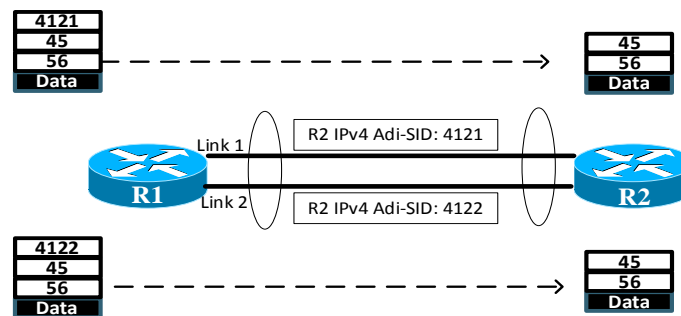


**Hình 2.3. Phân đoạn nhóm liền kề**

Ví dụ ở hình 2.3, kết nối từ R1 đến R2 và R3 đã được gộp chung lại và cấp nhãn chung là 423. Khi các gói tin đến R1 với nhãn 423 ở trên cùng. R1 sẽ thực hiện bóc nhãn 423 và gói tin sẽ được gửi đến R2 hoặc R3. Mặc định tỷ lệ gói tin giữa các hướng sẽ được chia đều, nhưng cũng có thể điều chỉnh tỷ lệ đó tùy theo nhu cầu để đạt được hiệu suất tốt nhất. Nhóm liên kết là một kỹ thuật thuận tiện để tối ưu tài nguyên kết nối trên 1 nút mạng nhất định.

### 2.2.1.3 Nhãn cho từng kết nối vật lý trong một nhóm kết nối

Trong trường hợp này, R1 và R2 sẽ kết nối với nhau bằng nhiều liên kết vật lý, và được cấu hình thành một kết nối ảo. Kết nối ảo này sẽ được liên kết với một nhãn, ví dụ 12. Khi gói tin đến R1 và có nhãn 12 trên cùng, R1 sẽ thực hiện bóc nhãn 12 và đẩy gói tin qua các kết nối vật lý trong kết nối ảo với tỷ lệ bằng nhau. Tuy nhiên, trong một vài trường hợp, yêu cầu dịch vụ mong muốn luồng lưu lượng chỉ đi vào kết nối vật lý cụ thể nào đó trong nhóm. Hoàn toàn có thể đạt được điều này bằng cách cấp một nhãn cụ thể cho từng kết nối vật lý. Các nhãn này sẽ phải cấu hình thủ công, không được quảng bá trong mạng mà chỉ có ý nghĩa cục bộ ở trong nút mạng.



**Hình 2.4. Nhãn cho từng kết nối vật lý trong một nhóm kết nối**

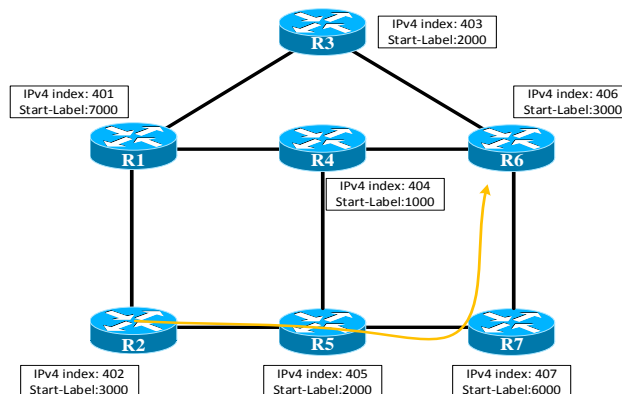
Trong hình 2.4, R1 kết nối đến R2 bằng hai liên kết vật lý (link 1 và link 2). Link 1 sẽ được liên kết với nhãn 4121, link 2 sẽ được liên kết với nhãn 4122. Khi một gói tin đến R1 với nhãn 4121 ngoài cùng, R1 sẽ bóc nhãn 4121 ra và gửi gói tin đến R2 qua link 1. Tương tự khi gói tin có nhãn 4122 ngoài cùng xuất hiện, R1 sẽ bóc nhãn 4122 và gửi gói tin đến R2 qua link2.



### 2.2.1.4 Phân đoạn nút

Mỗi nút trong hệ thống mạng sẽ có một phân đoạn nút được liên kết với địa chỉ IP Loopback. Một nút mạng bất kỳ có thể gửi gói tin đến một nút khác theo tuyến đường IGP tốt nhất bằng cách sử dụng phân đoạn nút này. Điều này cũng có điểm giống với giao thức phân phối nhãn LDP, tuy nhiên phân đoạn nút sẽ cung cấp một vài ưu điểm hơn so với LDP mà sẽ được chỉ ra trong phần tiếp theo.

Ví dụ trong hình 2.5, R2 muốn gửi gói tin đến R6 và sử dụng tuyến đường ngắn nhất theo tính toán của IGP. Nó xác định đường ngắn nhất đến R6 là qua R5. R2 sẽ đẩy nhãn liên kết với phân đoạn nút của R6 và gửi gói tin vào kết nối đến R5. R5 xác định R7 là tuyến đường ngắn nhất đến R6, R5 sẽ thay thế nhãn đó bằng nhãn – cái mà R7 liên kết với phân đoạn nút của R6. Khi R7 nhận được gói tin thì nó sẽ bóc nhãn ngoài cùng ra và gửi phần gói tin phía dưới cho R6.



**Hình 2.5. Phân đoạn nút**

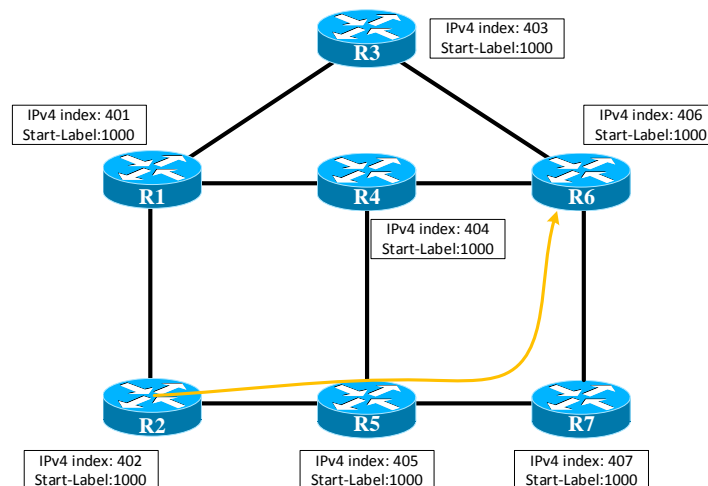
Để mỗi bộ định tuyến có liên quan biết nhãn đường dẫn ngắn nhất mà bộ định tuyến hàng xóm của nó mong đợi nhìn thấy để chuyển tiếp đến R6 thì chúng cần cấu hình với hai phần thông tin chính:

- Chỉ mục nút (node index): Mỗi bộ định tuyến phải có một chỉ số nút duy nhất. Đây còn được gọi là mã định danh phân đoạn nút (node-SID).
- Khối nhãn (label block): Khối này được xác định theo nhãn bắt đầu (start-label) và phạm vi nhãn (label-range). Phạm vi nhãn phải đủ rộng để chứa tất cả các bộ định tuyến trong miền (bao gồm cả sự phát triển dự kiến trong tương lai). Phạm vi nhãn này được gọi là khối toàn cầu định tuyến phân đoạn (SRGB).

Trong hình 2.5 sẽ có thông tin của chỉ số nút và nhãn bắt đầu cho mỗi bộ định tuyến trong mạng. Lưu ý rằng chỉ số nút là duy nhất trên toàn mạng. Tuy nhiên, các phạm vi nhãn có thể chồng chéo lên nhau. Ví dụ, R3 tình cờ sử dụng cùng một nhãn bắt đầu như R5. Thông tin về chỉ mục nút và phạm vi nhãn được phân phối trong IGP, vì vậy tất cả các bộ định tuyến trong mạng đều biết về nó. Quay trở lại ví dụ về việc R2 gửi các gói tin đến đích R6 dọc theo con đường ngắn nhất. R2 tính toán nhãn đường dẫn ngắn nhất mà hàng xóm R5 của nó liên kết với phân đoạn nút của R6. Điều này được tính như sau:

$$\begin{aligned} &\text{Nhãn bắt đầu trong khối nhãn của R5} + \text{chỉ số nút được quảng bá bởi R6} \\ &= 2000 + 406 = 2406 \end{aligned}$$

R2 đẩy nhãn 2406 vào gói và chuyển tiếp nó đến R5. R5 hoán đổi nhãn 2406 cho nhãn mà R7 liên kết với chỉ số nút của R6 ( $6000 + 406 = 6406$ ) và gửi nó đến R7. R7 gỡ nhãn ra và gửi phần còn lại của gói tin đến R6. Đây là một ví dụ mà trong đó các bộ định tuyến liên quan có phạm vi nhãn khác nhau được phân bổ cho các phân đoạn nút.



**Hình 2.6. Phân đoạn nút với nhãn bắt đầu giống nhau**

Trong ví dụ trên hình 2.6, mỗi bộ định tuyến được cấu hình với cùng một nhãn bắt đầu, 1000, và nó có tác dụng rất hữu ích là nhãn cần thiết để tới được R6 qua đường ngắn nhất sẽ giống nhau tại mỗi bước trong mạng ( $1000 + 406 = 1406$ ). Điều này làm cho việc khắc phục sự cố trở nên dễ dàng hơn nhiều. Khi xem các

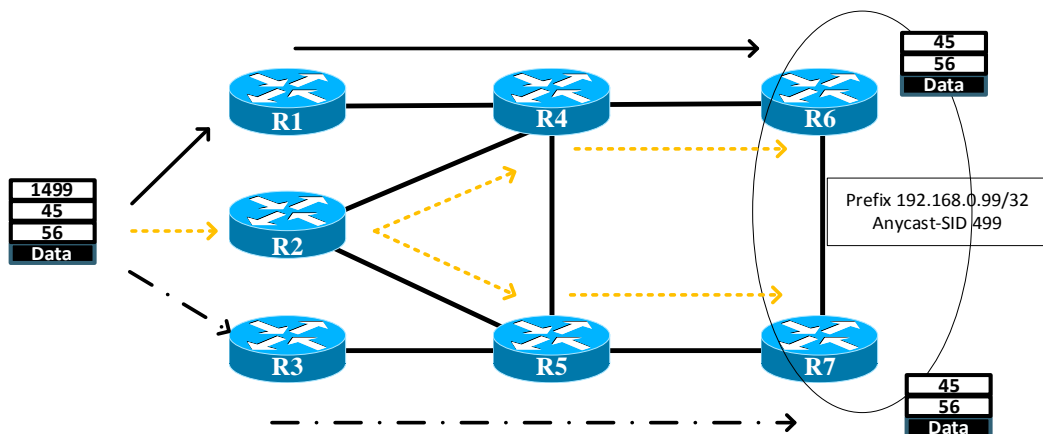
bảng định tuyến hoặc bảng chuyển tiếp trên bất kỳ bộ định tuyến nào trong mạng, nhãn 1406 có nghĩa là chuyển tiếp đường dẫn ngắn nhất đến R6. Như vậy, việc sử dụng phân đoạn nút sẽ có hai ưu điểm so với LDP:

- Nếu cấu hình cùng một nhãn bắt đầu trên mỗi bộ định tuyến, nhãn cần thiết để truy cập một bộ định tuyến nhất định là giống nhau trong toàn mạng, thay vì thay đổi từng bước như trong trường hợp LDP.
- Cần ít giao thức hơn để cấu hình và giám sát. Có thể xóa LDP khỏi mạng.

### 2.2.1.5 Phân đoạn anycast

Ở những phần trước, các trường hợp được xem xét đều là mỗi bộ định tuyến có một SID nút duy nhất được liên kết với địa chỉ loopback của nó. SID nút thực ra là trường hợp đặc biệt của SID tiền tố (prefix SID) vì SID tiền tố là bất kỳ tiền tố IP nào được liên kết với một nút.

Một ứng dụng của SID tiền tố là giúp thực hiện truyền gói tin đến bộ định tuyến gần nhất trong một nhóm các bộ định tuyến cụ thể. Có thể đăng ký cùng một địa chỉ IP và định danh phân đoạn anycast được liên kết cho nhiều nút. Trong mặt phẳng dữ liệu, nếu gói tin có nhãn anycast ở trên cùng đến một nút, thì nút đó sẽ chuyển tiếp gói tin tới thành viên gần nhất của nhóm đã liên kết với nhãn anycast đó. Trong triển khai thực tế, các bộ định tuyến trong một nhóm anycast cũng sẽ quảng bá các SID nút thông thường.

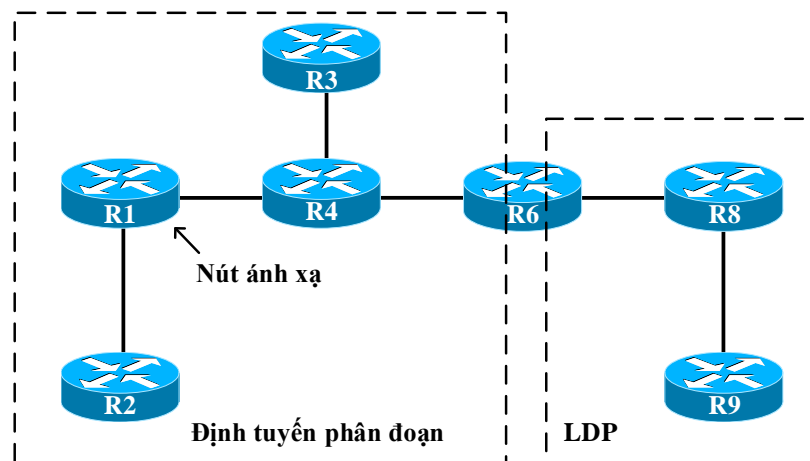


Hình 2.7. Phân đoạn anycast

Ví dụ ở hình 2.7, R6 và R7 cùng quảng bá địa chỉ 192.168.0.99 và liên kết với nhãn 499. Phạm vi nhãn (SRGB) được sử dụng giống như đã cấu hình ở ví dụ trước, khi áp dụng cấu hình phân đoạn nút. Giả sử mỗi bộ định tuyến được cấu hình với nhãn bắt đầu là 1000, nhãn cần thiết để tiếp cận nhóm anycast là  $1000 + 499 = 1499$ , cho dù ở nút nào trong mạng. Khi gói tin có nhãn 1499 ở trên cùng xuất hiện ở R1 thì R1 sẽ tìm đường ngắn nhất theo IGP để đến một trong số những thành viên của nhóm anycast này. Như vậy R1 sẽ đẩy gói tin về hướng kết nối với R4 để đến R6. Khi gói tin có nhãn 1499 ở trên cùng xuất hiện ở R2. Do từ R2 có hai hướng bằng nhau để đến R6 và R7, đều là thành viên của nhóm anycast. Bởi vậy R2 sẽ đẩy gói tin về hướng kết nối đi R4 và R5 để đến R6 và R7. Gói tin có nhãn 1499 ở ngoài cùng khi đến R3 sẽ được đẩy đến R5 và đi đến R7 vì đây là tuyến IGP ngắn nhất đến một thành viên trong nhóm anycast.

### 2.2.2 Kết hợp giữa định tuyến phân đoạn và LDP

Phần trước đã mô tả cách thức chuyển tiếp đường đi ngắn nhất có thể đạt được bằng cách sử dụng phân đoạn nút. Phần này sẽ xem xét sự kết hợp giữa định tuyến phân đoạn và giao thức LDP, một phương án hữu ích trong trường hợp một số bộ định tuyến trong mạng không hỗ trợ định tuyến phân đoạn nhưng lại hỗ trợ LDP. Cách tiếp cận này nhằm vào các tình huống trong đó một số bộ định tuyến trong mạng không hỗ trợ định tuyến phân đoạn và sẽ tiếp tục sử dụng LDP trong tương lai gần.



Hình 2.8. Định tuyến phân đoạn kết hợp với LDP

Cấu trúc mạng trong hình 2.8 minh họa một kịch bản trong đó R8 và R9 không hỗ trợ định tuyến phân đoạn, nhưng lại hỗ trợ LDP. Các bộ định tuyến R1, R2, R3 và R4 sẽ không sử dụng LDP, chỉ chạy định tuyến phân đoạn. Bộ định tuyến R6 nằm ở biên giới giữa hai vùng sẽ chạy cả LDP và định tuyến phân đoạn. R6 sẽ chịu trách nhiệm hoán đổi các nhãn MPLS từ LDP sang nhãn phân đoạn nút và ngược lại, để cho phép lưu lượng truy cập giữa hai vùng.

Trước tiên cần xem xét chiều gói tin từ miền sử dụng LDP sang miền sử dụng định tuyến phân đoạn. R6 sẽ phân bổ các nhãn LDP tương ứng với SID nút của R1, R2, R3 và R4. R6 sẽ quảng bá nhãn LDP cấp cho các nút trong miền định tuyến phân đoạn sang láng giềng LDP (trong trường hợp này là R8). Ví dụ, R6 cấp phát một nhãn LDP có giá trị 29 tương ứng với địa chỉ loopback của R2 là 192.168.0.2. Như các ví dụ trước, trong miền định tuyến phân đoạn, địa chỉ loopback R2 sẽ liên kết với SID là 1402.

Giả sử khi R6 nhận được gói tin có nhãn 29 ở ngoài cùng từ R8. R6 sẽ thực hiện thao tác hoán đổi nhãn đã được cài đặt, hoán đổi giá trị nhãn LDP là 29 tương ứng với R2 đã thấy ở trên cho giá trị SID nút là 1402 tương ứng với R2. Trong khi đó, R9 (hoặc là R8) không biết rõ ràng về thực tế là R6 đang thực hiện quá trình dịch nhãn LDP sang nhãn định tuyến phân đoạn, vì bảng nhãn trên R9 trông không khác gì tình huống mà trong đó LDP được bật ở toàn mạng và không có định tuyến phân đoạn nào trong mạng. R9 sẽ thấy các nhãn LDP có sẵn cho mỗi bộ định tuyến khác trong mạng.

Vấn đề tiếp theo cần xem xét là lưu lượng chuyển tiếp theo hướng ngược lại, từ miền định tuyến phân đoạn sang miền LDP. Giả sử R2 muốn gửi lưu lượng MPLS đến R9, sử dụng chuyển tiếp đường dẫn ngắn nhất. Tại thời điểm này, R2 không có thông tin nhãn định tuyến phân đoạn của R9 do R9 không bật tính năng này. Lúc này cần tạo SID nút liên kết với IP loopback của R8 và R9. Điều này đạt được bằng cách sử dụng một nút ánh xạ. Nếu R8 và R9 được bật định tuyến phân đoạn, một SID nút liên kết với IP loopback sẽ được cấu hình trên chúng. Thay vào đó, ở đây sẽ cấu hình thông tin tương tự trên nút ánh xạ. Nút ánh xạ có thể là bất kỳ

nút nào trong miền định tuyến phân đoạn. Ví dụ sử dụng R1 làm nút ánh xạ, vì nó không ở gần R6, R8 hoặc R9. Trong thực tế, sử dụng nhiều nút ánh xạ sẽ cung cấp khả năng dự phòng mạng, miễn là thông tin ánh xạ được cấu hình trên chúng nhất quán. Ví dụ R1 sẽ cấu hình khởi tạo SID nút 408 liên kết với IP loopback 192.168.0.8 của R8, SID nút 409 liên kết với IP loopback 192.168.0.9 của R9.

Như vậy khi một gói tin có nhãn 1408 trên cùng được gửi đến R6 thì nó sẽ thực hiện hành động bóc nhãn và đẩy gói tin về phía R8. Nếu R6 nhận được gói tin có nhãn 1409 trên cùng, nó sẽ thực hiện thay thế nhãn. Giả sử R8 quảng bá cho R6 thông tin nhãn 54 liên kết với IP loopback của R9. Khi đó R6 sẽ thay thế nhãn 1409 bằng nhãn 54 và đẩy gói tin về phía R8.

Sử dụng phân đoạn nút kết hợp với LDP là một giải pháp thuận tiện để giải quyết các tình huống trong đó một số nút trong mạng hỗ trợ LDP nhưng không hỗ trợ định tuyến phân đoạn.

### ***2.2.3 Cơ chế tái định tuyến nhanh của định tuyến phân đoạn***

Khi nói đến việc xây dựng mạng IP/MPLS để bảo vệ lưu lượng trong các lỗi mạng khác nhau, có hai cách tiếp cận chính:

- Bảo vệ dựa trên sửa lỗi toàn cục.
- Bảo vệ dựa trên sửa lỗi cục bộ.

Hai cách tiếp cận này đưa ra những khác biệt về khái niệm giải quyết vấn đề lỗi mạng và cách mà mạng phải được chuẩn bị trước để xử lý những lỗi đó. Chúng khác nhau về bộ công cụ được sử dụng để xử lý chuyển hướng lưu lượng khi mạng bị lỗi và thời gian chuyển đổi dự phòng có thể đạt được. Trong hầu hết các mạng ngày nay, cả hai phương pháp đều được sử dụng song song, nói cách khác, chúng bổ sung cho nhau [3].

#### ***2.2.3.1 Khái niệm sửa lỗi toàn cục***

Trong các sự kiện lỗi mạng, những hành động sau đây dẫn đến chuyển hướng lưu lượng truy cập qua đường dẫn mới để tránh một liên kết hoặc nút bị lỗi:

Bước 1. Phát hiện lỗi cục bộ:

- Khoảng thời gian cần thiết để phát hiện lỗi cục bộ.

- Có nhiều kỹ thuật phát hiện khác nhau (ví dụ: mất tín hiệu, lỗi CFM/BFD, v.v.), tùy thuộc vào công nghệ vận chuyển vật lý bên dưới.
- Có thể mất từ micro giây hoặc mili giây lên đến vài giây (ví dụ: phát hiện lỗi dựa trên việc mất bản tin IGP Hello) cho việc mất tín hiệu.

**Bước 2. Truyền bá trạng thái mới:**

- Khoảng thời gian cần thiết để truyền thông tin về liên kết hoặc nút bị lỗi thông qua mạng.
- Thông thường liên quan đến quảng bá IGP (IS-IS hoặc OSPF).
- Thời gian này phụ thuộc rất nhiều vào quy mô của mạng, khoảng cách liên kết và các yếu tố khác dành riêng cho môi trường mạng. Ví dụ, nó mất khoảng 5ms để gửi tín hiệu trên 1000 km. Ngoài ra, mỗi bộ định tuyến IGP chuyển tuyến có thể mất thêm một khoảng thời gian (thường là 10-100 ms) để đồng bộ các bản cập nhật và gửi đi tất cả cùng một lúc.

**Bước 3. Cập nhật cơ sở dữ liệu định tuyến và tính toán đường dẫn (và nhãn) mới:**

- Thời gian cần thiết để tính toán đường dẫn mới.
- Phụ thuộc vào kích thước cơ sở dữ liệu IGP. Trên các bộ định tuyến cao cấp, hiện đại, con số này có thể được tính gần đúng với khoảng 10  $\mu$ s mỗi nút (trong mạng có 1000 nút thì mất khoảng 10 ms để thực hiện phép tính đường đi ngắn nhất đầy đủ đầu tiên).

**Bước 4. Thiết lập cài đặt các bước tiếp theo và nhãn mới trong bảng dữ liệu cơ sở thông tin chuyển tiếp:**

- Thời gian cần thiết để lập trình bảng chuyển tiếp trong thiết bị cùng với các bước tiếp theo và nhãn mới vừa được tính toán.
- Tốc độ cài đặt phụ thuộc vào phần cứng.
- Có thể mất một khoảng thời gian tương đối dài (tính bằng giây) cho một số lượng lớn các bước nhảy tiếp theo.

Bằng cách điều chỉnh các tham số IGP (ví dụ: bộ định thời SPF và bộ định thời quảng bá lan truyền, xác định mức độ ưu tiên giữa các tiền tố với các bước tiếp theo liên quan đến vòng lặp, v.v.), có thể đạt được sự hội tụ trên toàn mạng sau khi

xảy ra lỗi trong khoảng thời gian vài trăm mili giây ở hầu hết hệ thống mạng hiện đại và lên đến vài giây trong mạng rất lớn với các thiết bị định tuyến cũ (do CPU chậm, thời gian lập trình cài đặt tuyến đường lâu). Tuy nhiên, việc đạt được hội tụ trên toàn mạng với thời gian dưới 100 ms là rất khó, vì việc truyền trạng thái, cập nhật cơ sở dữ liệu định tuyến, tính toán đường dẫn mới và cài đặt các bước nhảy tiếp theo mới trong bảng chuyển tiếp thực sự không thể bị ép xuống dưới 100 ms. Do đó, đối với các ứng dụng rất khắt khe đòi hỏi thời gian chuyển đổi dự phòng lưu lượng dưới 100ms trong khi mạng bị lỗi, việc điều chỉnh các thông số hội tụ toàn cục là không còn đủ. Trong những trường hợp này, sửa lỗi cục bộ sẽ có tác dụng [3].

### ***2.2.3.2 Khái niệm sửa lỗi cục bộ***

Ý tưởng của sửa lỗi cục bộ là bỏ qua hầu hết những bước phải xảy ra với sửa lỗi toàn cục khi có lỗi mạng. Nếu trên nút phát hiện lỗi (các nút này thường được gọi là điểm sửa lỗi cục bộ - PLR), một tuyến dự phòng chuyển hướng lưu lượng đi vòng qua điểm lỗi đã được cài đặt sẵn trong bảng chuyển tiếp, hành động duy nhất cần được thực hiện khi có lỗi xảy ra là tự phát hiện lỗi và loại bỏ các tuyến chính ban đầu đi qua điểm bị lỗi khỏi bảng chuyển tiếp. Tất cả các bước khác không còn cần thiết để sửa lỗi cục bộ. Với cách tiếp cận như vậy, thời gian cần thiết để sửa lỗi lưu lượng (chuyển hướng lưu lượng vòng qua điểm lỗi) có thể giảm từ con số hàng trăm miligiây (tương đương sử dụng cơ chế hội tụ toàn cục) xuống dưới 100 ms, hoặc thậm chí dưới 50 ms ở trong nhiều trường hợp. Nói một cách chính xác, sửa lỗi cục bộ là bổ sung chứ không phải thay thế cho sửa lỗi toàn cục. Chính xác hơn là sửa lỗi cục bộ và sửa lỗi toàn cục diễn ra song song. Sửa lỗi cục bộ nhanh chóng định tuyến lại lưu lượng vòng qua điểm lỗi bằng cách sử dụng đường dẫn dự phòng tạm thời đã được tính toán từ trước và cài đặt sẵn trong khi sửa lỗi toàn cục tính toán đường dẫn hội tụ cuối cùng. Trong khi việc tính toán dự phòng mạng cho hội tụ toàn cục thường đơn giản (về cơ bản điều chỉnh một số tham số), việc sửa lỗi cục bộ lại khó hơn nhiều. Tuyến đường dự phòng phải được chọn và cài đặt vào bảng chuyển tiếp ít nhất theo cách nào đó để tránh hiện tượng vòng lặp lưu lượng. Việc sửa lỗi cục bộ diễn ra rất nhanh. Thông thường, lưu lượng truy cập được chuyển



hướng qua tuyến dự phòng tiếp theo trong vòng 50 ms, do đó lưu lượng được chuyển hướng bởi PLR sẽ đi qua các nút vẫn đang sử dụng dữ liệu mạng cũ ở thời điểm chưa xảy ra lỗi, vì hội tụ toàn mạng chưa đạt được. Do đó, các nút này vẫn có thể tin rằng con đường ngắn nhất đến đích là thông qua liên kết hoặc nút bị lỗi. Như vậy, thách thức là làm thế nào để đảm bảo rằng vòng lặp trạng thái như vậy không xảy ra và điều đó sẽ được thảo luận trong phần tiếp theo của chương này.

### ***2.2.3.3 Các khái niệm cơ bản về phục hồi lưu lượng nhanh***

Ý tưởng cơ bản về tính năng bảo vệ của kỹ thuật định tuyến nguồn IP rất đơn giản. Phương án truyền thống là chuyển tạm hướng lưu lượng truy cập vòng qua điểm lỗi bằng một số đường dẫn tạm thời rồi sau khi sự hội tụ toàn cục xảy ra, chuyển hướng trở lại lưu lượng truy cập bằng cách sử dụng đường dẫn tốt nhất mới được tính toán. Giải pháp mới sẽ là nút sửa lỗi cục bộ sẽ tạo đường dẫn dự phòng, ngay từ điểm đầu bằng đường đi ngắn nhất sau hội tụ. Ý tưởng này được nâng cao với các chi tiết bổ sung, được mô tả trong [10].

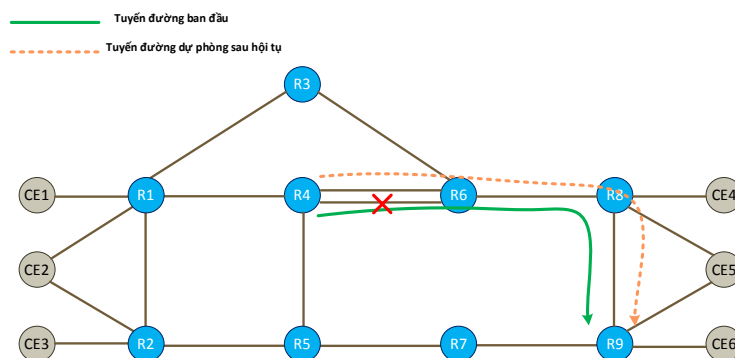
Cách thức này đã được sử dụng trong mạng IP/MPLS trong nhiều năm. Cụ thể, [12] đã giới thiệu một kỹ thuật có tên là dự phòng một - một. Kỹ thuật này sử dụng các đường dẫn SPF sau hội tụ cho mục đích dự phòng. Sự khác biệt chính giữa dự phòng RSVP một - một và định tuyến nhanh của kỹ thuật định tuyến nguồn IP là cách thiết lập đường dẫn dự phòng. RSVP sử dụng báo hiệu để phân bổ nhãn và tạo trạng thái trên tất cả các nút chuyển tuyến dọc theo đường dẫn dự phòng từ PLR đến đích cuối cùng. Trong khi với kỹ thuật định tuyến nguồn IP thì đường dẫn dự phòng được thực thi bằng cách sử dụng ngăn xếp nhãn thích hợp được PLR đẩy lên trên cùng của gói tin. Trong cả hai trường hợp (RSVP 1:1 và kỹ thuật định tuyến nguồn IP), đường dẫn dự phòng ngắn nhất sau hội tụ có thể được tạo và thực thi trong bất kỳ cấu trúc liên kết tùy ý nào - nó là cấu trúc liên kết độc lập. Việc tính toán đường đi sau hội tụ sẽ sử dụng cơ sở dữ liệu về trạng thái liên kết đã sửa đổi. Trong đó tài nguyên mạng (liên kết hoặc nút) đang được bảo vệ sẽ bị xóa khỏi cơ sở dữ liệu trạng thái liên kết. Khi thảo luận về tái định tuyến nhanh trong kỹ thuật định tuyến nguồn IP, các thuật ngữ sử dụng được liệt kê như trong bảng 2.2.

**Bảng 2.2. Các thuật ngữ trong TI-LFA**

LSDB_old	Cơ sở dữ liệu mạng ở trạng thái ban đầu (trước khi có điểm lỗi).
LSDB_new(X)	Cơ sở dữ liệu mạng ở trạng thái sau lỗi (sau khi phần tử X lỗi).
SPT_old(R)	Sơ đồ cây tuyến ngắn nhất với gốc tại R lúc mạng ở trạng thái ban đầu
SPT_new(R,X)	Sơ đồ cây tuyến ngắn nhất với gốc tại R lúc mạng ở trạng thái sau khi phần tử X bị lỗi..
Dist_old(A,B)	Khoảng cách theo chỉ số metric từ nút A đến nút B lúc mạng ở trạng thái chưa lỗi.
Dist_new(A,B)	Khoảng cách theo chỉ số metric từ nút A đến nút B lúc mạng ở trạng thái sau khi phần tử X bị lỗi.

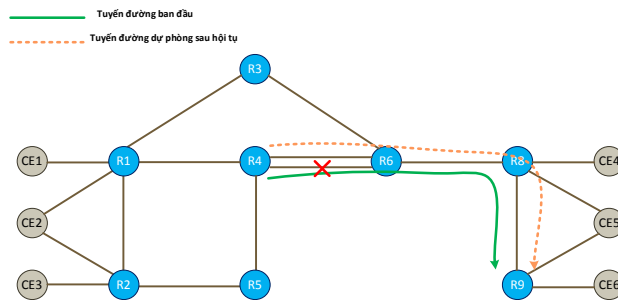
### Bảo vệ kết nối và bảo vệ nút mạng

TI-LFA mặc định sẽ sử dụng tính năng bảo vệ kết nối. Ví dụ trong hình 2.9, lưu lượng từ R4 đến R9 sẽ đi qua R6. Có thể thấy cả kết nối chính và kết nối dự phòng đều đi đến R6, chỉ khác kết nối vật lý. Do đó, khi kết nối chính ở dưới bị đứt, kết nối thứ hai sẽ được sử dụng. Tuy nhiên nếu nút mạng R6 bị lỗi, lúc đó lưu lượng sẽ không được bảo vệ, dù rằng có một kết nối dự phòng khác đi qua hướng R5 để dự phòng. Lúc này cần phải bật tính năng bảo vệ nút mạng, khi đó lưu lượng không chỉ được bảo vệ khỏi việc đứt kết nối R4-R6 mà còn bảo vệ lưu lượng khỏi việc nút mạng R6 bị lỗi.

**Hình 2.9. Bảo vệ liên kết trong TI-LFA**

Nếu bật tính năng bảo vệ nút thì R5 sẽ nằm trên đường dẫn hậu hội tụ ngắn nhất, còn nếu chưa bật tính năng bảo vệ nút thì R5 sẽ không nằm trong đường dẫn dự phòng. Nguyên nhân là vì cách lựa chọn loại dữ liệu trạng thái liên kết sau hội tụ được sử dụng LSDB\_new(X). Trong trường hợp bảo vệ liên kết được bật, tài nguyên 'X' là liên kết, vì vậy bước tiếp theo được xác định bằng cách chạy thuật toán SPF trên dữ liệu trạng thái liên kết với liên kết bị xóa. Tuy nhiên, khi bảo vệ nút được sử dụng, cơ sở dữ liệu được sửa đổi bằng cách tạm thời loại bỏ nút R6. Trong một dữ liệu đã được sửa đổi như vậy, R5 là bước nhảy tiếp theo trên con đường sau hội tụ ngắn nhất.

Một trường hợp khác cần đặc biệt lưu ý là cấu trúc liên kết mạng không có bộ định tuyến R7 như trong hình 2.10. Trong cấu trúc liên kết này, khi bảo vệ nút TI-LFA được bật thì sẽ không có tuyến dự phòng nào trong bảng chuyển tiếp, bởi vì đi qua nút R6 là cách duy nhất để đến R9. Do đó, sẽ tốt hơn nếu quay lại sử dụng bảo vệ liên kết khi không thể dùng bảo vệ nút. TI-LFA cung cấp 2 lựa chọn, có thể sử dụng bảo vệ nút nghiêm ngặt hoặc nói lỏng.

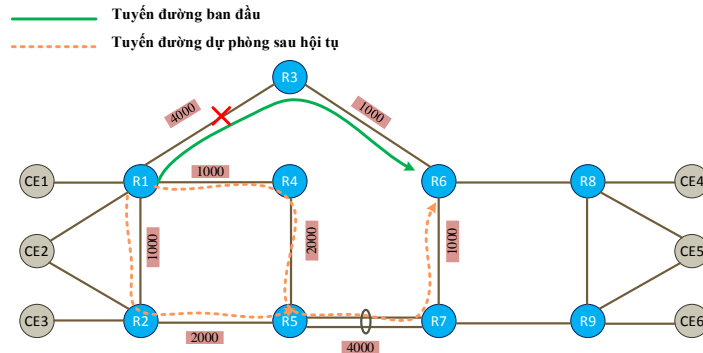


**Hình 2.10. Bảo vệ liên kết dự phòng cho bảo vệ nút trong TI-LFA**

Với chế độ bảo vệ nút nghiêm ngặt, nút được bảo vệ hoàn toàn bị xóa khỏi LSDB trong quá trình tính toán tuyến đường ngắn nhất để xác định tuyến dự phòng sau hội tụ. Với chế độ bảo vệ nút nói lỏng, thay vì xóa hoàn toàn nút được bảo vệ khỏi LSDB, giá trị chi phí của tất cả các liên kết tới nút được bảo vệ sẽ tăng lên ngoại trừ liên kết chính đang được sử dụng. Do đó, việc sử dụng các liên kết phụ đi qua nút được bảo vệ trong tính toán dự phòng sẽ không được ưu tiên do giá trị chi

phí đã được cấu hình lên cao, nhưng các liên kết phụ đó sẽ vẫn được coi là một lựa chọn để tính toán tuyến dự phòng, nếu lựa chọn bảo vệ nút không khả dụng.

### Dự phòng đa hướng



**Hình 2.11. Dự phòng đa hướng trong TI-LFA**

Như hình 2.11 mô tả, từ R1 có thể tiếp cận R6 thông qua R3, là hướng đi chính với tổng chi phí đường dẫn là 5000 và đi qua R2 hoặc R4, là các tuyến dự phòng với tổng chi phí đường dẫn là 8000. Tuy nhiên, mặc định chỉ có một trong hai hướng dự phòng có thể được sử dụng. Vì thế cần phải kích hoạt chế độ dự phòng đa hướng để có thể cài đặt nhiều hơn một tuyến đường dự phòng vào bảng chuyển tiếp. Nhờ đó, khi liên kết hướng tới R3 bị gián đoạn, lưu lượng truy cập sẽ được chuyển hướng qua cả hai hướng dự phòng là R2 và R4.

### Chia sẻ trạng thái

Để một đường dẫn dự phòng hoạt động hiệu quả, nó không được dùng chung tài nguyên vật lý với đường dẫn chính, như thế đảm bảo rằng nếu xảy ra lỗi sẽ không ảnh hưởng đồng thời đến đường dẫn chính và đường dẫn dự phòng.

Chia sẻ trạng thái cho phép mở rộng cơ sở dữ liệu cục bộ (mặc định không được phân phối giữa các bộ định tuyến) mà TI-LFA sử dụng để tính toán đường dẫn dự phòng. Các mục chia sẻ trạng thái mô tả mối quan hệ giữa các phần tử của mạng, chẳng hạn như bộ định tuyến và liên kết. Trong một nhóm chia sẻ trạng thái, nên chỉ định ít nhất hai mục nhập (ví dụ hai liên kết) để cho biết chúng đang chia sẻ trạng thái.

Mỗi nhóm chia sẻ trạng thái ngoài việc được liên kết với ít nhất hai phần tử mạng chia sẻ trạng thái, cũng được liên kết với một số giá trị chi phí có thể cấu hình

(mặc định là 1, nếu không được cấu hình rõ ràng). Khi TI-LFA tính toán các đường dẫn dự phòng, giá trị chi phí của tất cả phần tử mạng chia sẻ trạng thái với các phần tử mạng của đường dẫn chính sẽ tăng lên thêm một giá trị như vậy. Do đó, việc sử dụng các phần tử mạng chia sẻ trạng thái sẽ không được khuyến khích (nếu giá trị chi phí chia sẻ trạng thái đã được cấu hình cao lên), nhưng các phần tử mạng này sẽ vẫn được coi là dự phòng nếu không có lựa chọn nào khác. Do đó, thông qua chia sẻ trạng thái, có thể cấu hình các đường dẫn dự phòng để giảm thiểu càng nhiều càng tốt số lượng liên kết chia sẻ chung tài nguyên với các đường dẫn chính. Điều đó đảm bảo rằng nếu sợi quang nào đó bị lỗi, một lượng dữ liệu tối thiểu sẽ bị mất và vẫn tồn tại đường dẫn khác đi đến đích.

### **Ngăn xếp nhãn cho tuyến đường dự phòng TI-LFA**

Trong một số trường hợp, bước tiếp theo dự phòng sử dụng một nhãn duy nhất. Nhưng trong vài trường hợp khác, một chồng nhãn gồm hai nhãn được liên kết với bước tiếp theo dự phòng. Lúc này ngăn xếp nhãn cho đường dẫn dự phòng được xác định bằng cách sử dụng mã định danh phân đoạn liên kế cho mỗi liên kết dọc theo đường dẫn dự phòng để thực thi định tuyến đường dẫn nghiêm ngặt qua mạng. Với phương pháp này, có thể dễ dàng xác định ngăn xếp nhãn bắt buộc bằng cách lấy kết quả của phép tính  $SPT\_new(R, X)$ , xác định tất cả các liên kết được cung cấp bởi phép tính này và sử dụng mã định danh phân đoạn liên kế được gán cho mỗi liên kết để tạo một ngăn xếp nhãn. Ngăn này sẽ được đẩy lên gói tin chuyển tiếp theo tuyến đường dự phòng. Cách tiếp cận này gặp một số vấn đề khi triển khai trong mạng thực tế. Khó khăn lớn nhất với cách tiếp cận này là nó có thể tạo ra các ngăn xếp nhãn rất lớn (chứa số lượng lớn các SID điều chỉnh) mà bộ định tuyến sẽ đẩy lên trên gói tin. Có một số vấn đề sau:

- Nút sửa lỗi cục bộ có thể không đẩy được các ngăn xếp nhãn lớn trên gói. Các thiết bị phần cứng điển hình chỉ có thể đẩy tối đa 3-5 nhãn, trong khi các phần cứng hiện đại hơn mới có thể đẩy nhiều nhãn hơn.
- Bộ định tuyến chuyển tuyến trên đường dự phòng có thể không tách nhỏ được toàn bộ ngăn xếp nhãn và tiêu đề IP phía trong ngăn xếp đó cho mục

đích cân bằng tải. Do đó, khi nhu cầu cân bằng tải phát sinh ở đâu đó trên đường truyền (ví dụ: cân bằng tải qua các liên kết thành viên của giao diện LAG), nó có thể có vấn đề.

- Kích thước gói có thể tăng đáng kể. Đối với gói lớn, việc đẩy các tiêu đề lớn bổ sung có thể có tác động đến đơn vị truyền tối đa (MTU). Có thể xảy ra trường hợp kích thước gói có tiêu đề lớn hơn kích thước MTU thực, gây ra sự cố với việc truyền gói hoặc yêu cầu phân mảnh, điều này không bao giờ tốt và thậm chí không được hỗ trợ trong các giao thức mới hơn như IPv6. Đối với gói nhỏ, hệ quả có thể là làm tăng băng thông qua đường dẫn dự phòng. Ví dụ nếu có lưu lượng truy cập 1 Gbps (chủ yếu sử dụng các gói nhỏ, chẳng hạn như VoIP) trên đường dẫn chính. Do một số lỗi mạng, lưu lượng này phải chuyển hướng qua đường dẫn dự phòng. Nó có thể đột ngột trở thành 2 Gbps, do tiêu đề lớn (liên quan đến kích thước gói tin chính nó) gắn lên các gói tin nhỏ trên đường dẫn dự phòng. Có thể dễ dàng hình dung nguyên nhân là do các gói VoIP nhỏ (codec G.729, thường được sử dụng trong mạng di động, sử dụng các gói chỉ có độ lớn 20 byte) với tiêu đề MPLS lớn (tiêu đề MPLS gồm 10 nhãn chiếm 40 byte) trên đường dẫn dự phòng. Do đó, kết luận là các tiêu đề MPLS lớn không bao giờ tốt và nên tránh nếu có thể. Đó là quy tắc vàng trong bất kỳ thiết kế mạng nào.

Bây giờ, hãy quay lại kỹ thuật định tuyến nguồn IP và TI-LFA. Cách tiếp cận đơn giản này (điều chỉnh SID cho mỗi liên kết trên đường dẫn dự phòng) sẽ không được sử dụng. Trong tất cả các ví dụ đã thảo luận trước đó, có thể tìm thấy các đường dẫn dự phòng đi qua 3, 4 hoặc 5 bộ định tuyến. Tuy nhiên, ngăn xếp nhãn được liên kết với bước tiếp theo dự phòng trong các ví dụ này chỉ có 1 hoặc 2 nhãn – bởi vậy chắc chắn kích thước ngăn xếp nhãn không phản ánh độ dài của đường dẫn dự phòng.

Vấn đề thực sự quan trọng của các đường dẫn dự phòng TI-LFA là ngăn xếp nhãn đủ để chuyển tiếp gói tin từ nút sửa chữa cục bộ đến đích cuối cùng thông qua đường dẫn hội tụ ngắn nhất sau hội tụ (được tính dựa trên LSDB\_new(X)), và các

bộ định tuyến chuyển tiếp trên đường dự phòng sẽ sử dụng kết quả của phép tính SPF dựa trên cơ sở dữ liệu trước hội tụ (LSDB\_old). Nói cách khác, việc chuyển lưu lượng sang bước tiếp theo dự phòng (khoảng ~ 50 ms) nhanh hơn nhiều so với hội tụ IGP (vài trăm mili giây đến vài giây), vì vậy tất cả các bộ định tuyến chuyển tiếp sẽ chuyển hướng lưu lượng dựa trên thông tin mạng lưới trước khi xảy ra lỗi LSDB (LSDB\_old). Vì vậy, ngăn xếp nhãn khi không bắt buộc chỉ ra các bước tiếp theo rõ ràng (không cần mã định danh phân đoạn của mỗi liên kết) cần đạt được chuyển tiếp qua đường dẫn dự phòng không vòng lặp.

Phương pháp thực tế để xác định danh sách các phân đoạn có độ dài tối thiểu, nhưng vẫn đáp ứng yêu cầu tránh vòng lặp về cơ bản là độc quyền của nhà cung cấp giải pháp. Mỗi nhà cung cấp có thể có cách riêng của họ để xác định nó. Điều này không yêu cầu tiêu chuẩn hóa cho nên chỉ cần ý nghĩa hành động các nhãn trong ngăn xếp nhãn được đáp ứng, thì gói tin có thể được chuyển tiếp thành công khi đi qua mạng.

Trong [10] cung cấp một số gợi ý về cách xác định nhãn có thể được thực hiện. Để xác định danh sách các phân đoạn (ngăn xếp nhãn) được đẩy lên gói tin để chuyển qua đường dẫn dự phòng, các khái niệm sau được sử dụng:

- Không gian P: đây là tập hợp các bộ định tuyến có thể truy cập được từ bộ định tuyến PLR (ký hiệu là S) sử dụng đường dẫn ngắn nhất (sử dụng LSDB\_old) và không đi qua liên kết được bảo vệ. Trong trường hợp của ECMP, yêu cầu này áp dụng cho tất cả các đường đi ngắn nhất có chi phí bằng nhau từ S đến một nút trong không gian P. Không có đường dẫn nào trong số này có thể đi qua liên kết được bảo vệ; nếu không, nút không nằm trong không gian P.
- Không gian P mở rộng: sự kết hợp của không gian P được tính toán cho bộ định tuyến PLR (ký hiệu là S) cũng như không gian P được tính toán cho từng hàng xóm trực tiếp của S, không bao gồm bộ định tuyến bước tiếp theo chính (ký hiệu là E).

- Không gian Q: đây là tập hợp các bộ định tuyến có thể đến bước tiếp theo chính (ký hiệu là E) bằng cách sử dụng một con đường ngắn nhất (sử dụng LSDB\_old) và không đi qua liên kết được bảo vệ. Trong trường hợp của ECMP, yêu cầu này áp dụng cho tất cả các đường đi ngắn nhất có chi phí bằng nhau từ một nút trong không gian Q đến E.
- Nút PQ: đây là nút nằm trong cả không gian P mở rộng và không gian Q. Nút PQ không cần kết nối trực tiếp với S (hoặc E).

Để xác định các nút PQ, nút sửa lỗi cục bộ thực hiện nhiều phép tính SPF sau (sử dụng LSDB\_old):

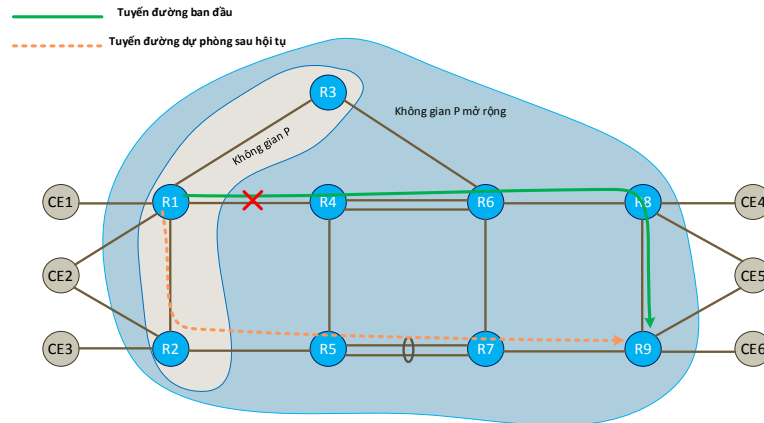
- Một phép tính SPF chính, sử dụng chính nó (PLR) làm gốc của cây SPF. Bộ định tuyến luôn thực hiện các loại tính toán SPF này, bất kể LFA có được bật hay không, để xác định các bước nhảy tiếp theo chính.
- Nhiều phép tính SPF dự phòng, mỗi phép tính sử dụng một nút lân cận IGP trực tiếp khác nhau làm gốc của cây SPF. Bộ định tuyến thực hiện tính toán này chỉ để xác định các bước tiếp theo dự phòng, nếu tính năng LFA được bật.

### **Không cần bổ sung nhãn cho đường dẫn dự phòng TI-LFA**

Hình 2.12 cho thấy một ví dụ về không gian P và không gian P mở rộng trong cấu trúc liên kết mạng được sử dụng ở chương này. Bộ định tuyến R1 chỉ có thể tiếp cận các bộ định tuyến R2 và R3 nếu không đi qua liên kết R1-R4 (liên kết được bảo vệ). Nó là không gian P của R1 cho liên kết R1-R4. Mặt khác, có thể tiếp cận phần còn lại của mạng từ R2 hoặc R3 - các hàng xóm trực tiếp của R1, mà không cần đi qua liên kết đang được bảo vệ. Đây là không gian P mở rộng của R1 cho liên kết R1-R4.

Nếu đường dự phòng TI-LFA sau hội tụ hướng tới đích (trong trường hợp này là R9) chỉ đi qua các nút được tìm thấy trong không gian P mở rộng, thì không cần tính toán không gian Q. Do đó, trong ví dụ này, R1 chỉ thực hiện ba phép tính SPF, mỗi lần đặt các bộ định tuyến khác nhau (R1, R2, R3) làm gốc của cây SPF.





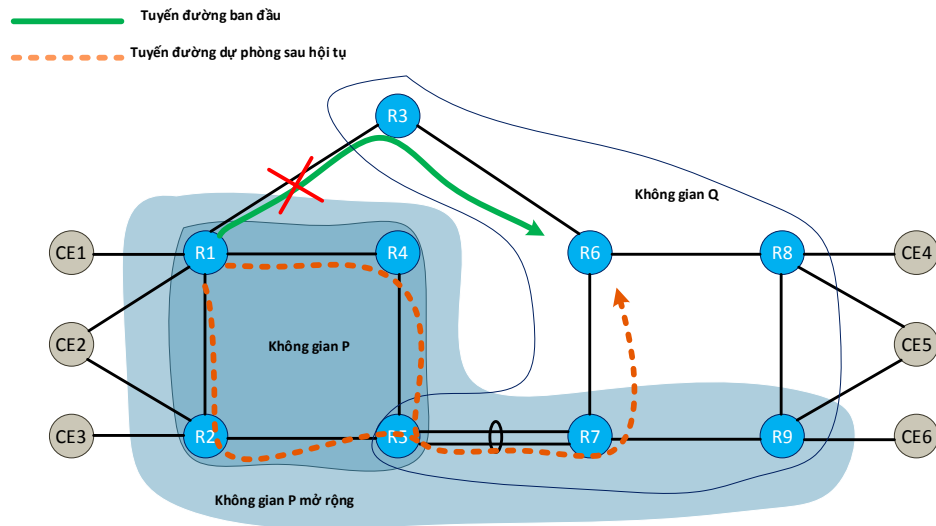
**Hình 2.12. Không gian P và P mở rộng trong TI-LFA**

Nếu đường dẫn dự phòng TI-LFA chỉ sử dụng các nút trong không gian P, tính toán SPF đơn là đủ - không cần phải khám phá không gian P mở rộng. Nếu đường dẫn dự phòng TI-LFA tới đích của nó chỉ sử dụng các bộ định tuyến trong không gian P hoặc không gian P mở rộng (bao gồm cả bộ định tuyến đích), khi lưu lượng truy cập được chuyển hướng qua đường dẫn dự phòng trong lúc mạng lỗi, thì không có nhãn bổ sung nào được đẩy vào gói tin cần chuyển hướng.

Theo định nghĩa của không gian P và P mở rộng, lưu lượng truy cập từ một nút có thể đến các nút khác trong không gian đó (bao gồm cả nút đích) mà không cần vượt qua liên kết đang được bảo vệ - và vẫn sử dụng cơ sở dữ liệu IGP cũ trước khi xảy ra sự cố. Vì vậy, không có chú ý đặc biệt nào liên quan đến việc ngăn chặn vòng lặp. Nói cách khác, không cần danh sách các bước tiếp theo rõ ràng cho đường dẫn dự phòng TI-LFA vẫn có thể chuyển hướng lưu lượng truy cập một cách đơn giản.

### **Bổ sung nhãn đơn cho đường dẫn dự phòng TI-LFA**

Ví dụ thứ hai trong hình 2.13 sử dụng cấu trúc liên kết mạng trong quá trình thảo luận về bước dự phòng ECMP tiếp theo, có thể nhận ra rằng nút đích R6 không thuộc không gian P hoặc không gian P mở rộng. Có nghĩa là, cả từ R1 hoặc từ các hàng xóm trực tiếp của R1 (R2 hoặc R4), không thể tiếp cận R6 mà không cần qua liên kết R1-R3. Do đó, chuyển hướng đơn giản như trường hợp trước sẽ không hữu ích vì lưu lượng sẽ bị quay vòng lặp lại về phía R1.



**Hình 2.13. Không gian P, P mở rộng và Q trong TI-LFA**

Giải pháp của vấn đề này là tìm các bộ định tuyến trên đường dẫn dự phòng TI-LFA sau khi mạng hội tụ thuộc cả không gian P, P mở rộng và Q. Các bộ định tuyến như vậy được gọi là nút PQ. Trong ví dụ trên, nút PQ là các bộ định tuyến R5, R7 và R9. Từ nút PQ, dựa trên định nghĩa không gian Q, con đường ngắn nhất đến đích sẽ không sử dụng liên kết được bảo vệ.

Nhưng câu hỏi quan trọng là không gian Q được xác định như thế nào dưới góc độ tính toán. Việc tính toán SPF tại mỗi bộ định tuyến trong mạng để xác minh rằng có thể đến được R3 mà không cần đi qua liên kết R1-R3 sẽ rất phức tạp về mặt tính toán. Một hệ thống mạng lớn gồm vài nghìn bộ định tuyến sẽ cần chạy hàng nghìn phép tính SPF. Điều đó không thực sự tốt khi quy mô mạng mở rộng. Tuy nhiên, có một cách làm khá dễ dàng là sử dụng tính toán SPF ngược, tức là đặt R3 ở gốc của cây SPF. Đảo ngược ở đây có nghĩa là các chỉ số chi phí liên kết đi vào R3 được sử dụng trong quá trình tính toán SPF. Với thủ thuật nhỏ này, chỉ cần thực hiện một phép tính SPF duy nhất để xác định không gian Q là đủ.

Trong các tính toán không gian Q, chỉ có nút tiếp theo chính được tính đến, không tính đến nút đích thực tế. Trường hợp tính toán không gian Q cho mọi nút đích sẽ yêu cầu tính toán SPF ngược trên nhiều nút cho mỗi nút đích, điều này dẫn đến không thể mở rộng quy mô trong các mạng lớn. Do đó, không gian Q của E (nút tiếp theo chính) được sử dụng làm đại diện cho không gian Q của mỗi nút đích.

Ở hình 2.13, từ R1 đến R6 sẽ chỉ cần sử dụng 1 nhãn 1406 để đến R6. Tuy nhiên dự phòng sẽ sử dụng 2 nhãn 1406 (mã định danh phân đoạn nút của R6) và nhãn trên cùng 1407 (mã định danh phân đoạn nút của R7). Mỗi mã định danh phân đoạn nút là một đại diện của bước tiếp theo nói lỏng trong LSP. Vì vậy, về cơ bản, hai nhãn này có nghĩa là: gửi gói tin qua đường ngắn nhất hướng tới R7 (nhãn trên cùng). Tiếp theo, từ R7 gửi gói tin qua đường ngắn nhất tới R6 (nhãn dưới). Theo định nghĩa của không gian P và P mở rộng, từ hàng xóm của R1 là R2 hoặc R4 có thể đến được R7 (thuộc không gian P mở rộng) mà không cần qua liên kết R1 > R3. Hơn nữa cũng có thể tiếp cận R6 từ R7 mà không cần đi qua liên kết R1- R3, bởi vì R7 thuộc không gian Q.

#### **Bổ sung nhãn đôi cho đường dẫn dự phòng TI-LFA**

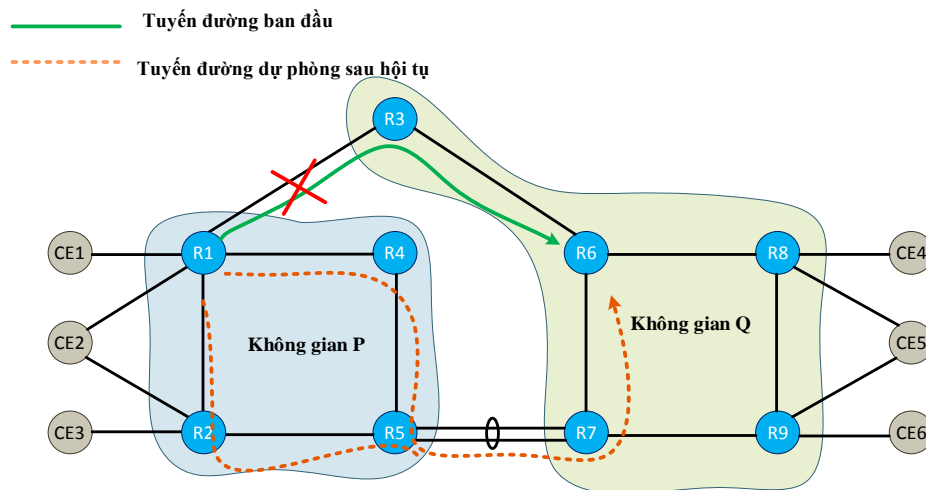
Ở trường hợp như trong hình 2.14, không có sự chồng chéo giữa không gian P và P mở rộng (trong ví dụ này, không gian P bằng không gian P mở rộng) với không gian Q. Do đó, không có nút PQ. Lưu lượng truy cập có thể được chuyển tiếp trong một kịch bản như sau:

- Gửi gói tin qua đường ngắn nhất tới nút P, nút này có nút Q là láng giềng trực tiếp. Các nút như vậy trong cấu trúc liên kết là nút R5 (nút P) và nút R7 (nút Q).
- Tiếp theo, từ nút P, sử dụng nút Q như một bước tiếp theo nghiêm ngặt. Tức là nút P sẽ gửi lưu lượng truy cập qua một liên kết trực tiếp tới nút Q.
- Tiếp theo, từ nút Q (R7), gửi gói tin qua đường ngắn nhất đến đích.

Như vậy theo kịch bản trên, nhãn trên cùng sẽ là nhãn 1405, mã định danh phân đoạn nút của R5. Gói tin sẽ đi theo đường ngắn nhất đến R5. Nhãn tiếp theo là nhãn liên kết với kết nối trực tiếp R5-R7. Nhãn dưới cùng là mã định danh phân đoạn nút của R6. Do đó, có thể kết luận rằng cần có hai nhãn bổ sung để lập trình đường dẫn dự phòng TI-LFA trong trường hợp sử dụng này.

Tóm lại, ba trường hợp sử dụng để bảo vệ liên kết TI-LFA được thảo luận cho đến nay là:

- Trường hợp 1: đường dẫn dự phòng TI-LFA chỉ đi qua các nút P - không cần thêm nhãn dự phòng MPLS để bảo vệ.
- Trường hợp 2: đường dẫn dự phòng TI-LFA đi qua nút PQ - cần có thêm một nhãn dự phòng MPLS để bảo vệ.
- Trường hợp 3: các đường dẫn dự phòng TI-LFA đi ngang qua các nút P và nút Q liền kề (được kết nối trực tiếp) - và hai nhãn dự phòng MPLS (mã định danh phân đoạn nút của nút P và mã định danh phân đoạn liền kề liên kết với kết nối trực tiếp giữa nút P và nút Q liền kề) cần thêm vào để bảo vệ lưu lượng.



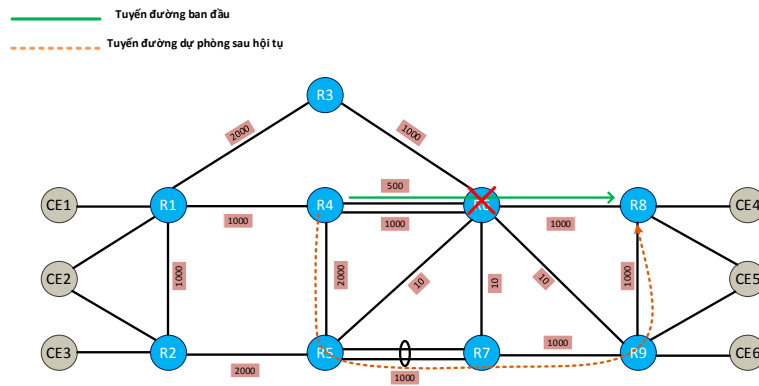
**Hình 2.14. TI-LFA không có sự chồng lấn giữa không gian P và Q**

Lưu ý rằng để bảo vệ liên kết, TI-LFA trong các trường hợp từ 1 đến 3 được thảo luận đã cung cấp phạm vi bảo vệ đầy đủ trong bất kỳ cấu trúc liên kết mạng dự phòng tùy ý nào với các chỉ số liên kết đối xứng, yêu cầu tối đa hai nhãn MPLS bổ sung để bảo vệ. Đối với các loại bảo vệ khác nhau cùng chỉ số liên kết đối xứng hoặc không đối xứng, có thể yêu cầu ngăn xếp nhãn có nhiều hơn hai nhãn.

### **Bổ sung thêm nhiều nhãn cho đường dẫn dự phòng TI-LFA**

Trong mô hình mạng như hình 2.15, TI-LFA với tính năng bảo vệ nút được cấu hình. Hướng chính chỉ có một nhãn duy nhất (mã định danh phân đoạn nút của R8). Tuy nhiên, hướng dự phòng lần này cần có một chồng nhãn gồm 3 nhãn. Các nhãn này là mã định danh phân đoạn liền kề (đã được cấu hình theo cách thủ công) cho các kết nối liền kề trên đường dẫn dự phòng TI-LFA (ví dụ: nhãn 50007 là mã

định danh cho kết nối R5-R7). Về cơ bản, lần này đường dẫn dự phòng được mã hóa dưới dạng chuỗi ba bước tiếp theo nghiêm ngặt, được đại diện bởi ba mã định danh. Nếu nhìn vào cấu trúc mạng, đặc biệt chú ý đến chỉ số chi phí, thực sự không có khả năng nào khác để mã hóa một đường dẫn dự phòng bằng cách sử dụng một số bước nhảy tiếp theo nói lỏng. Do chỉ số chi phí thấp giữa R5/R7/R9 đến R6, việc sử dụng bước tiếp theo nói lỏng sẽ dẫn đến lưu lượng được chuyển hướng ngược trở lại nút R6 từ bất kỳ nút R5/R7/R9 nào.



**Hình 2.15. TI-LFA với bảo vệ nút**

## 2.3 Kết luận chương

Chương này đã giới thiệu được định nghĩa và các khái niệm mới trong công nghệ định tuyến phân đoạn. Bên cạnh đó là sự so sánh cơ bản giữa định tuyến phân đoạn và các công nghệ đang được sử dụng trong hệ thống mạng hiện nay, từ đó có thể nhìn ra được các lợi ích khi triển khai công nghệ định tuyến phân đoạn trong mạng lưới như đơn giản hóa, tăng tính linh hoạt, tạo điều kiện để tăng tính tự động hóa... Ngoài ra nội dung phần sau của chương đã trình bày chi tiết thành phần và cách hoạt động của công nghệ này cùng các ví dụ đi kèm. Chương tiếp theo sẽ đề cập đến một số ứng dụng nổi bật của định tuyến phân đoạn trong mạng viễn thông hiện đại.

## **CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐỊNH TUYẾN PHÂN ĐOẠN TRONG MẠNG VIỄN THÔNG HIỆN ĐẠI**

### **3.1 Ứng dụng định tuyến phân đoạn trong xu hướng sử dụng SDN để quản lý mạng**

#### **3.1.1 Yêu cầu mạng trong kỷ nguyên điện toán đám mây**

Theo dữ liệu chỉ số đám mây toàn cầu của Cisco, theo dõi lưu lượng IP của trung tâm dữ liệu bằng trung tâm dữ liệu đám mây và trung tâm dữ liệu truyền thống, dữ liệu đám mây chiếm 2/3 lưu lượng truy cập IP của trung tâm dữ liệu vào năm 2015 và tăng lên 80% IP trung tâm dữ liệu vào năm 2019. Xu hướng ban đầu được thúc đẩy bởi các công ty Internet trên mạng (Google, Facebook, Amazon, v.v.), nhưng ngày nay gần như tất cả mọi người đều sử dụng điện toán đám mây - bao gồm cả các nhà cung cấp dịch vụ, nhà khai thác viễn thông truyền thống và doanh nghiệp [5].

Việc dịch chuyển sang điện toán đám mây đang dẫn đến những thay đổi lớn về phương thức mạng viễn thông được xây dựng và vận hành. Các yêu cầu chính đối với những nhà khai thác mạng trong kỷ nguyên điện toán đám mây bao gồm:

- Quy mô công suất: đang có một sự thay đổi lớn trong mạng đô thị hiện nay, từ tốc độ 10 Gbps đang chuyển thành 100 Gbps.
- Sự linh hoạt của mạng và dịch vụ: mô hình đám mây dựa trên việc chia sẻ bộ nhớ và tài nguyên máy tính trên các khu vực địa lý với tính năng tự động hóa và theo yêu cầu. Tuy nhiên, để các tài nguyên này được chia sẻ một cách hiệu quả, mạng lưới viễn thông bên dưới phải vừa năng động vừa linh hoạt - một sự thay đổi đáng kể so với mô hình kết nối tĩnh trước đây. Khả năng tái cấu hình nhanh chóng và tự động hóa cần được đưa vào chính mạng viễn thông.
- Tính mở: các công ty khai thác mạng đã kết luận rằng mạng viễn thông hiện nay yêu cầu tính đáp ứng và mở rộng quy mô nhanh chóng, vì thế mạng cần phải trở nên mở theo cách chưa từng tồn tại trước đây. Khả năng tương tác là

bắt buộc trên các miền, lớp và nhà cung cấp. Để đạt được khả năng tương tác này, cần có các tiêu chuẩn mở. Vì thế các giao thức và tiến trình độc quyền sẽ làm chậm sự phát triển trong kỷ nguyên điện toán đám mây.

Với những thay đổi cơ bản trong các yêu cầu về mạng, không có gì ngạc nhiên khi ngành viễn thông đã xác định hai xu hướng công nghệ mới về cơ bản là phương tiện chính để giải quyết chúng là SDN và chức năng mạng ảo hóa (NFV).

Theo nhận định của các chuyên gia, cả SDN và NFV là chìa khóa để làm cho mạng tự động hóa và có thể lập trình được. SDN và NFV không phải là mục tiêu. Mục tiêu là một mạng linh hoạt, tự động và có thể lập trình để giảm các chi phí vận hành và phân phối nhanh hơn ra thị trường. Đó là mục tiêu, và SDN cùng NFV là công cụ để đạt được điều đó [4].

### ***3.1.2 Các thử thách mạng chính trong kỷ nguyên SDN***

Mặc dù kỷ nguyên mới của SDN và ảo hóa đã đến nhưng nó vẫn đang còn nhiều khó khăn. Trong một cuộc khảo sát toàn cầu về các nhà khai thác mạng, 74% người được hỏi báo cáo rằng họ vẫn đang trong giai đoạn tiền thương mại hóa của việc triển khai SDN. Hiện nay, ngay cả đối với các nhà khai thác đã thương mại hóa SDN, việc triển khai có xu hướng bị hạn chế về phạm vi và dấu ấn thương hiệu.

Sự phức tạp của mạng là một trong những lý do tại sao việc triển khai bị hạn chế ngay cả khi SDN và ảo hóa được triển khai thương mại. Mạng WAN của nhà cung cấp dịch vụ phức tạp hơn nhiều so với môi trường trung tâm dữ liệu và vì lý do này, SDN có thể mở rộng trong các triển khai nội bộ trung tâm dữ liệu nhưng lại bị đình trệ khi tiến hành thử nghiệm vào mạng WAN. Lưu lượng truy cập nội bộ trung tâm dữ liệu là rất lớn, nhưng lưu lượng lớn không quyết định độ phức tạp tổng thể của mạng. Mạng di động có hàng trăm nghìn nút trải dài trên các khu vực địa lý rộng rãi (quốc gia và toàn cầu), nhiều dịch vụ và giao thức, các mẫu lưu lượng không thể đoán trước và hàng triệu người dùng.

Sự hiện diện ít ỏi của SDN trong mạng WAN phản ánh mức độ phức tạp của hệ thống mạng lớn này. Các sản phẩm SDN của nhà cung cấp nhắm mục tiêu đến các trung tâm dữ liệu đã có sẵn trên thị trường trong nhiều năm và việc triển khai

còn nhiều hơn, nhưng các sản phẩm WAN SDN của nhà cung cấp còn quá mới so với thị trường và việc triển khai thương mại cho đến nay là rất ít.

Sự khác biệt về trung tâm dữ liệu và mạng WAN của nhà cung cấp dịch vụ - bao gồm các giao thức được sử dụng và tính khả dụng SDN tạo ra một thách thức khác. Nhiều nhà khai thác coi SDN là một cơ hội để kết nối các trung tâm dữ liệu của họ với mạng WAN, để nhu cầu của các ứng dụng dựa trên trung tâm dữ liệu có thể được đáp ứng một cách thích hợp và nhanh chóng. Tuy nhiên, cho đến nay, các trung tâm dữ liệu và mạng WAN đã nằm trên quỹ đạo và mốc thời gian phát triển khác nhau, gây khó khăn trong việc kết nối hiệu quả các miền này. Nếu không có sự kết hợp chặt chẽ giữa các ứng dụng và mạng, lợi ích của ảo hóa và SDN sẽ bị giảm đáng kể.

Phần mềm điều khiển là một thách thức khác và là thách thức phản ánh giai đoạn đầu của quá trình phát triển. Bộ điều khiển tập trung là thành phần cơ bản của SDN, nhưng làm thế nào để đạt được hiệu quả kiểm soát tập trung tốt nhất vẫn còn là một chủ đề tranh luận. Ban đầu, tất cả SDN đều dựa trên OpenFlow, vì vậy vẫn đề lựa chọn giao thức hỗ trợ điều khiển rất đơn giản. Tuy nhiên, các doanh nghiệp, nhà cung cấp dịch vụ và nhà khai thác mạng nhanh chóng nhận ra rằng OpenFlow có nhiều hạn chế khi sử dụng trên mạng WAN (bao gồm khả năng mở rộng và khả năng phục hồi) nên đã bắt đầu khám phá các giao thức thay thế.

Các nhà khai thác đã thử nghiệm kiểm soát tập trung trong phòng thí nghiệm và môi trường cô lập, nhưng việc chuyển sang mạng thương mại quy mô lớn diễn ra rất chậm. Ngày nay, các giao thức tốt nhất của phần mềm điều khiển thay đổi tùy theo nhà cung cấp và ứng dụng. Đây vẫn là một câu hỏi mở chưa có lời giải rõ ràng.

Thách thức cuối cùng xuất phát từ thực tế là các nhà khai thác đã không chọn OpenFlow làm giao thức SDN phổ biến cho tất cả ứng dụng. Trên thực tế, đã có sự gia tăng lớn các đề xuất giao thức và tiêu chuẩn cho SDN trong nhiều năm qua, dẫn đến một thách thức mới gọi là "đại dương các giao thức" xung quanh SDN. Hai vấn đề đã nảy sinh từ việc có quá nhiều các giao thức:



- Sự phân vân của công ty viễn thông: với quá nhiều sự lựa chọn, các công ty viễn thông không biết sự khác biệt giữa các lựa chọn hoặc công nghệ nào là công nghệ phù hợp. Kết quả cuối cùng là họ đã kéo dài thời hạn triển khai khi đánh giá tất cả các tùy chọn này.
- Thiếu khả năng tương tác và khả năng tương thích: các giao thức và kiến trúc có thể tách biệt với nhau, nhưng các mạng trong thế giới thực bao gồm nhiều giao thức và hệ thống. Nếu công nghệ mới không tương thích với các công nghệ nền tảng đang được sử dụng, nhiều nhà khai thác sẽ thấy việc nâng cấp không có nhiều giá trị. Do đó, việc đảm bảo khả năng tương thích (đặc biệt với các mạng và công nghệ đang có sẵn) là điều tối quan trọng đối với các nhà khai thác mạng.

Trong bối cảnh nhu cầu về lưu lượng truy cập cùng kỷ nguyên ảo hóa và SDN sắp tới, định tuyến phân đoạn đã nổi lên như một giải pháp thực tế và có triển vọng cao. Kỹ thuật lưu lượng là một ứng dụng ví dụ của định tuyến phân đoạn. Các nhà khai thác sử dụng kỹ thuật lưu lượng để tạo ra hoạt động trong mạng IP hiệu quả và đáng tin cậy, và để tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên mạng và hiệu suất mạng. Các lợi ích chung chính của kỹ thuật lưu lượng bao gồm:

- Giảm thiểu nghẽn mạng để tránh tắc nghẽn lưu lượng và tăng cường hiệu suất mạng.
- Tăng hiệu quả mạng tổng thể. Thực tế kỹ thuật lưu lượng không tạo ra năng lực mới mà nó cho phép công suất hiện có đạt được mức sử dụng cao hơn. Do đó nó giúp trì hoãn nhu cầu bổ sung dung lượng và giảm quy mô mạng.
- Giảm chi phí vận hành thông qua việc tự động hóa định tuyến lưu lượng.
- Xác định đường dẫn khôi phục trong trường hợp không đảm bảo độ tin cậy và thời gian mạng hoạt động. Tái định tuyến nhanh MPLS là một ví dụ về điều này.
- Xác định lớp dịch vụ (CoS): kỹ thuật lưu lượng có thể được sử dụng để tạo các đường dẫn và mức ưu tiên khác nhau cho các loại lưu lượng khác nhau, dựa trên mức độ ưu tiên được chỉ định cho những luồng lưu lượng đó.

Như đã phân tích ở các phần trước, với kỹ thuật lưu lượng MPLS truyền thống, sử dụng RSVP-TE, tất cả bộ định tuyến dọc theo tuyến đường phải duy trì cập nhật thông tin trạng thái về đường dẫn đầu cuối tới đầu cuối và các nút. Tuy nhiên, việc duy trì trạng thái bộ định tuyến trong toàn bộ công việc mạng sẽ làm tăng thêm độ phức tạp cho hoạt động của mạng và sự khó khăn chung này đã cản trở rất nhiều đến khả năng mở rộng mạng bằng kỹ thuật lưu lượng.

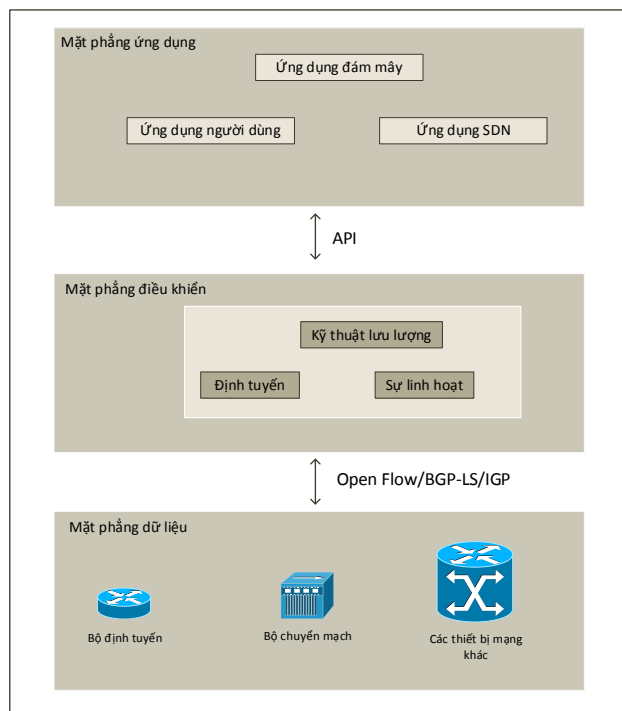
Tuy nhiên, định tuyến phân đoạn loại bỏ giới hạn về khả năng mở rộng, độ phức tạp bằng cách yêu cầu chỉ bộ định tuyến đầu vào mới giữ dữ liệu trạng thái. Tất cả thông tin trạng thái cần thiết cho kết nối đầu cuối đến đầu cuối đều có trong danh sách phân đoạn, vì vậy cả bộ định tuyến chuyển tuyến và bộ định tuyến đầu ra đều không cần phải giữ thông tin trạng thái. Đây là lý do lớn nhất duy nhất tại sao định tuyến phân đoạn đã cải thiện khả năng mở rộng.

### ***3.1.3 Hoạt động với bộ điều khiển dựa trên SDN***

Mặt phẳng điều khiển cho định tuyến phân đoạn có thể được quản lý theo cách phân tán hoặc tập trung. Phần này tập trung vào cách tiếp cận tập trung, kết hợp định tuyến phân đoạn với SDN. Định tuyến phân đoạn không yêu cầu một bộ điều khiển SDN trong mạng, thực chất đây là hai công nghệ bổ sung lẫn nhau. Cụ thể hơn, các nhà khai thác có thể đạt được lợi ích ngay lập tức bằng cách sử dụng định tuyến phân đoạn trên mạng mà mặt phẳng điều khiển định tuyến phân đoạn là phân tán, không có bộ điều khiển SDN tập trung. Một trường hợp sử dụng định tuyến phân đoạn được đánh giá cao là hoạt động và đơn giản hóa giao thức so với MPLS truyền thống. Trường hợp thứ hai là bảo vệ dịch vụ gián đoạn dưới 50 ms ở lớp 3.

Việc kết hợp định tuyến phân đoạn với bộ điều khiển SDN sẽ mở rộng các trường hợp sử dụng có sẵn và cho phép các nhà khai thác đạt được lợi ích tối đa từ công nghệ định tuyến nguồn. Đối với đa số các nhà khai thác, điều khiển SDN là mục tiêu cuối cùng cần đạt ngay cả khi họ chỉ sử dụng kiểm soát phân tán cho triển khai ban đầu của họ.

Sơ đồ minh họa cách triển khai SDN được chỉ ra trên hình 3.1. Khái niệm cơ bản của SDN là sự tách rời các chức năng điều khiển và chuyển tiếp mạng, cho phép cơ sở hạ tầng bên dưới được trừu tượng hóa và có thể lập trình được trong mặt phẳng điều khiển. Chức năng điều khiển mạng được tập trung một cách hợp lý trong một thực thể được gọi là bộ điều khiển, cung cấp một cái nhìn trừu tượng và tập trung về mạng tổng thể cho các ứng dụng SDN chạy trên mặt phẳng điều khiển. Giao diện giữa mặt phẳng ứng dụng và mặt phẳng điều khiển được gọi là “giao diện hướng Bắc” (NBI), trong khi giao diện giữa mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng dữ liệu được gọi là “giao diện hướng Nam” (SBI) [4].



**Hình 3.1. Sơ đồ cách triển khai SDN**

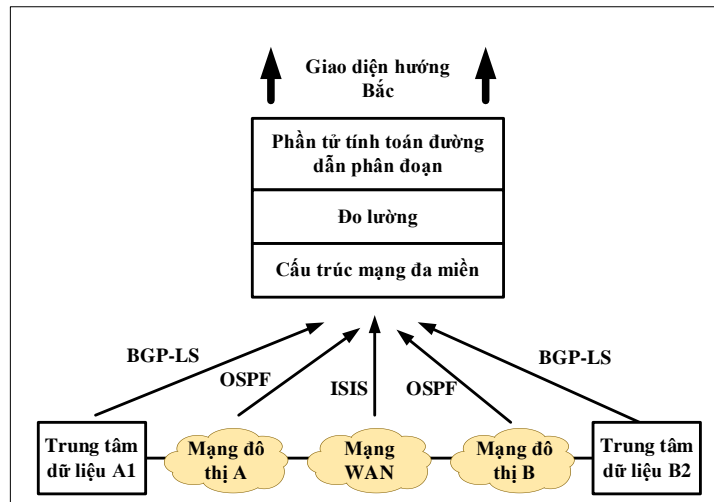
Ở hệ thống này, bộ điều khiển sẽ đảm nhận việc thực hiện tất cả các chức năng như là định tuyến, thực thi chính sách và bảo mật. Đây chính là phần điều khiển SDN, được triển khai trong một hoặc nhiều máy chủ.

Ở phần điều khiển, bộ điều khiển sẽ xác định và điều khiển luồng dữ liệu xảy ra tại đây. Khi mỗi luồng qua mạng, đầu tiên phải được sự cho phép từ bộ điều khiển, có nghĩa là việc trao đổi luồng thông tin đã được chính sách mạng cho phép. Nếu bộ điều khiển cho phép một luồng, nó sẽ thực hiện tính toán định tuyến cho

luồng đó và thêm một chỉ mục hướng dẫn luồng trong mỗi bộ chuyển mạch dọc theo đường dẫn. Cho nên bộ định tuyến và chuyển mạch chỉ đơn giản là quản lý bảng chuyển tiếp mà các chỉ mục được đưa xuống từ bộ điều khiển. Bộ điều khiển giao tiếp với bộ chuyển mạch sẽ phải sử dụng giao thức chuẩn hóa và API.

Đặc biệt, bộ điều khiển tập trung có thể chủ động thu thập và giám sát các thay đổi về cấu trúc liên kết và trạng thái kỹ thuật lưu lượng với chế độ xem toàn cầu của mạng. Sau đó, giao thức tính toán phần tử đường dẫn (PCEP) có thể được sử dụng để hiển thị các góc nhìn gần như ngay lập tức của việc triển khai cấu trúc mạng. PCE có thể được chứa trong bộ điều khiển SDN của nhà cung cấp, qua đó các lệnh điều khiển mạng có thể được đưa ra và thực hiện [2].

Hình 3.2 minh họa khả năng thu thập và báo cáo tập trung của PCE cùng với kỹ thuật lưu lượng dựa trên định tuyến phân đoạn trên mạng.



**Hình 3.2. Điều khiển tập trung với phần tử tính toán đường dẫn**

Một lợi ích của việc sử dụng định tuyến phân đoạn với SDN là có những cải tiến đáng kể về thời gian hội tụ, do lượng thông tin trạng thái giới hạn cần phân phối bởi bộ điều khiển SDN. Đó là bởi vì với định tuyến phân đoạn, tất cả thông tin trạng thái bắt buộc đều được tạo trong tiêu đề ở bộ định tuyến đầu vào thay vì tất cả bộ định tuyến.

Một lợi ích khác của việc sử dụng định tuyến phân đoạn là khả năng tương tác giữa các nhà cung cấp mới với mạng hiện có. Các nhà phát triển định tuyến

phân đoạn đã cố tình chọn xây dựng công nghệ này với các giao thức đã biết và không tạo ra một giao thức mặt phẳng điều khiển mới. Họ cũng xây dựng định tuyến phân đoạn trên mạng MPLS – công nghệ được các nhà khai thác trên thế giới triển khai rộng rãi (ngoài ra còn hỗ trợ IPv6 cho tương lai).

Việc sử dụng MPLS kết hợp với những giao thức hiện có như BGP, PCEP, NETCONF/YANG, v.v., có nghĩa là định tuyến phân đoạn có thể dễ dàng được triển khai thêm vào và tương tác với các mạng IP hiện có. Hơn nữa, định tuyến phân đoạn đang được chuẩn hóa trong IETF, đảm bảo hỗ trợ nhiều nhà cung cấp.

Điểm quan trọng cuối cùng là sự kết hợp giữa định tuyến phân đoạn với PCE tập trung cho phép xác định các đường dẫn được thiết kế theo lưu lượng trên nhiều miền - xác định các đường dẫn từ mạng đô thị đến mạng lõi, nhưng cũng kết nối các trung tâm dữ liệu với mạng WAN. Trong khi một số kỹ thuật định tuyến khác được kết hợp chặt chẽ với SDN dựa trên OpenFlow dẫn đến các kỹ thuật này sẽ bị giới hạn chỉ hoạt động khi OpenFlow có mặt trong mạng. Với định tuyến phân đoạn được chuẩn hóa bởi IETF, hạn chế này không còn tồn tại.

## **3.2 Ứng dụng định tuyến phân đoạn trong kiến trúc lát cắt mạng**

### **3.2.1 Công nghệ 5G trong mạng viễn thông hiện đại**

Nếu 5G đạt được đầy đủ tiềm năng của nó, chắc chắn nó sẽ cách mạng hóa nhiều lĩnh vực và ngành công nghiệp. Công nghệ này hứa hẹn khả năng kết nối, dung lượng, độ tin cậy và độ trễ tốt hơn rất nhiều, cùng với một loạt các dịch vụ hoàn toàn mới vượt trội hơn hẳn so với bất kỳ thứ gì đã có trước đây. Nhưng với bước nhảy vọt về công nghệ như vậy, mức độ phức tạp hoàn toàn mới - từ tính toán truy cập lớp biên đồng bộ hóa đến bảo mật. Công nghệ 5G sẽ cho phép một loạt các dịch vụ và ứng dụng mới mà trước đây không thể sử dụng được với 4G. Không chỉ cho người tiêu dùng, mà cho doanh nghiệp, dịch vụ công cộng và tất nhiên các ngành công nghiệp. Những dịch vụ mới này sẽ mở ra cơ hội cho tất cả nhà khai thác mạng di động mở rộng danh mục đầu tư và tạo ra các dòng doanh thu mới. Những lĩnh vực lớn được thiết lập để tận dụng tối đa 5G bao gồm:

- Các ngành chiến lược: 5G sẽ rất cần thiết cho cơ sở hạ tầng quan trọng trong sứ mệnh phát triển. Vì vậy các ngành công nghiệp chiến lược sẽ tạo ra, quản lý và phân phối năng lượng và nhiều tiện ích khác có thể tận dụng tối đa các thiết bị đo lường thông minh và lưới điện thông minh, lưới điện đa hướng cùng nguồn năng lượng khác như gió và mặt trời.
- Xe tự lái: các thử nghiệm cho phương tiện tự hành hỗ trợ 5G đang được tiến hành. Kết nối 5G sẽ cung cấp dữ liệu thời gian thực từ nhiều nguồn để kích hoạt công nghệ tránh va chạm, thông tin di chuyển hiện tại, hệ thống quản lý giao thông, cảm biến bên đường, báo cáo thời tiết và các dịch vụ khác.
- Phương tiện và giải trí: các dịch vụ thực tế tăng cường và thực tế ảo chất lượng cao bao gồm cả chơi game. Tải xuống nội dung 4k sẽ chỉ mất vài giây và sẽ có cơ hội mới cho các đài truyền hình để nâng cao trải nghiệm xem hoặc trải nghiệm trực tiếp.
- Công nghiệp 4.0: công nghệ 5G sẽ cho phép thu thập và truyền dữ liệu cũng như giám sát và kiểm soát liên tục cho công nghiệp 4.0 - IoT, robot, phân tích và trí tuệ máy móc trên quy mô lớn.
- Thành phố thông minh: các khu đô thị siêu kết nối nơi có hệ thống quản lý giao thông, dịch vụ vận tải, ô tô không người lái, tiện ích, nhà ở, dịch vụ chăm sóc sức khỏe và thành phố, cắt giảm chi phí và tiêu dùng, cải thiện dịch vụ, phúc lợi và chất lượng cuộc sống cho người dân.
- Chăm sóc sức khỏe: các thiết bị hỗ trợ 5G có thể giúp xác định bệnh tật, cấp phát thuốc và gọi người ứng cứu trong các trường hợp khẩn cấp y tế. Với khả năng độ trễ cực thấp của 5G, chẩn đoán từ xa, phẫu thuật từ xa và điều khiển thuốc gây mê từ xa đang khả thi hơn bao giờ hết, mặc dù có lẽ vẫn còn cần một khoảng thời gian nữa.
- Giao dục và đào tạo: một lần nữa, thực tế tăng cường và thực tế ảo có thể sẽ có nhiều tính năng, cũng như kế hoạch học tập được cá nhân hóa, lớp học từ xa và các dịch vụ nhu cầu đặc biệt tốt hơn cho sinh viên.

Nhiều nhà khai thác mạng di động có tầm nhìn tương lai đang nắm bắt thực tế về các cơ hội 5G (và những thách thức của nó). Trên thực tế, một số nhà khai thác đã có những bước tiến đáng kể với các kế hoạch chiến lược của họ về nơi họ muốn hoạt động trong bối cảnh mới này, những dịch vụ mới nào họ muốn cung cấp và những dịch vụ hiện tại mà họ có thể phát triển để tận dụng lợi thế của công nghệ và vượt lên trên đối thủ của họ. Tuy nhiên, có rất nhiều sự phức tạp liên quan và dễ có sự nhầm lẫn. Và một vài thuật ngữ trong hỗn hợp công nghệ 5G dường như gây ra nhiều bối rối và khó hiểu hơn, ví dụ: 'tính toán truy cập lớp biên', 'Xhaul' hoặc 'đồng bộ hóa' ... và đặc biệt là "lát cắt mạng".

### **3.2.2 Lát cắt mạng**

Lát cắt mạng là một khái niệm về mặt kiến trúc cho phép cắt một cơ sở hạ tầng vật lý thành nhiều mạng ảo. Mỗi phần sau đó được tùy chỉnh để đáp ứng nhu cầu cụ thể của các ứng dụng, dịch vụ và tài nguyên cần chạy trên nó [15]. Trong nhiều trường hợp, điều này tương đương với xây dựng các mạng khác nhau cho từng loại dịch vụ được cung cấp. Nhưng trong thế giới 5G, điều đó sẽ cực kỳ đắt đỏ và bất khả thi về mặt thương mại. Thay vào đó, ý tưởng đưa ra là phân bổ một tập hợp tài nguyên mạng theo loại hình dịch vụ cung cấp.

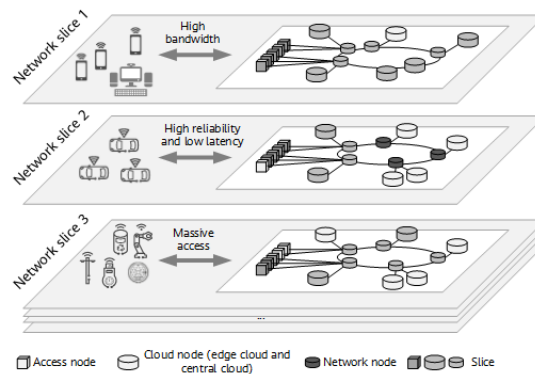
Ví dụ, đối với dịch vụ băng rộng nâng cao sẽ cần nhiều dung lượng nhưng độ trễ không cần quá thấp. Vì vậy, sẽ không cần thêm sức mạnh tính toán ở lớp biên. Tuy nhiên, đối với các dịch vụ có độ trễ thấp siêu đáng tin cậy, tài nguyên cần được phân bổ theo cách cung cấp dịch vụ có độ tin cậy cao, khả năng phục hồi và bảo mật. Điều này đồng nghĩa với việc cần tính toán biên tốt để đảm bảo giám sát và điều khiển thời gian thực đối với các dữ liệu đầu vào nhận được từ cảm biến.

Có một số cuộc tranh luận về số lượng lát sẽ được yêu cầu, nhưng ít nhất một lát cho mỗi loại dịch vụ - băng rộng nâng cao, IoT và các dịch vụ quan trọng. Và có thể là một hoặc hai mạng ảo phụ (lát cắt phụ) để sử dụng các loại dịch vụ khác nhau trong lát cắt đó.

Hình 3.3 mô tả các lát cắt mạng, mỗi lát là một tập hợp nhiều phần tử được tạo thành từ các chức năng mạng vật lý, chức năng mạng ảo, kết nối, băng thông và

tính toán. Bằng cách kết hợp những phần tử này, có thể tạo thành lát cắt mạng với một tập hợp các thông số hoạt động cụ thể phù hợp với những gì được yêu cầu. Tất cả đều đủ linh động để cho phép tăng công suất xử lý và các chức năng ảo dễ dàng được tùy chỉnh khi yêu cầu dịch vụ thay đổi.

Mỗi lát cắt được tách biệt với lát khác nên hiệu suất và tải của một lát cắt sẽ không ảnh hưởng đến hiệu suất và tải các lát khác. Nói cách khác, các tài nguyên và phần tử được gán cho mỗi lát cắt sẽ được dành riêng cho dịch vụ chạy trên phần lát cắt đó và không thể được sử dụng bởi các lát khác. Trên thực tế, lát cắt mạng được tạo ra giống như việc xây dựng một mạng riêng cho từng loại dịch vụ, nhưng một phần tử có thể được chia sẻ trên nhiều lát cắt miễn là chúng có thể được tách biệt. Ví dụ phần tử tính toán do mạng cung cấp có thể được sử dụng bởi nhiều lát, với lát này chạy hai máy ảo và lát khác chạy ba máy ảo trên phần tử này. Hoặc một lát có thể yêu cầu dung lượng 100G thông qua một nút và lát khác có thể yêu cầu dung lượng 200G, miễn là dung lượng được để dành thì điều này có thể chấp nhận được.



**Hình 3.3. Các lát cắt mạng**

(Nguồn: Huawei.com)

Như vậy, ưu điểm chính của “Cắt mạng” là có thể cung cấp các mạng ảo từ đầu cuối đến đầu cuối bao gồm không chỉ kết nối mạng mà còn cả các chức năng tính toán và lưu trữ. Mục tiêu là cho phép một nhà khai thác mạng di động có hạ tầng vật lý phân vùng tài nguyên mạng của mình để cho phép những người dùng rất khác nhau, được gọi là người thuê, ghép kênh trên một cơ sở hạ tầng vật lý. Ví dụ thường được trích dẫn nhất trong các cuộc thảo luận về 5G là chia sẻ mạng vật lý nhất định để chạy đồng thời Internet vạn vật (IoT), băng thông rộng di



động (MBB) và các ứng dụng có độ trễ rất thấp (ví dụ: xe tự hành). Các ứng dụng này rõ ràng có các đặc điểm truyền dẫn rất khác nhau. Ví dụ, IoT thường sẽ có một số lượng rất lớn thiết bị, nhưng mỗi thiết bị có thể có thông lượng rất thấp. Băng thông rộng di động có các đặc tính gần như ngược lại vì nó sẽ có số lượng thiết bị ít hơn nhiều, nhưng mỗi thiết bị sẽ truyền hoặc nhận nội dung băng thông rất cao. Mục đích của việc phân chia mạng là có thể phân vùng mạng vật lý ở mức đầu cuối tới đầu cuối để cho phép tối ưu nhóm lưu lượng, tách biệt với các đối tượng thuê khác và cấu hình tài nguyên ở cấp vĩ mô.

Có một số câu hỏi được đặt ra như tại sao không dùng QoS để phân loại lưu lượng chạy trên mạng, tại sao không dùng VPN, IP tunneling để tách lưu lượng trên mạng hay tại sao không dùng NFV để cung cấp các phần tử mạng riêng trên cùng hạ tầng ảo hoá. “Cắt mạng” được đưa ra với hai lý do chính:

- Vấn đề kinh doanh;
- Vấn đề kỹ thuật.

### **Vấn đề kinh doanh**

“Cắt mạng” trong mạng 5G kỳ vọng mở ra những cơ hội kinh doanh sinh lời mới cho các nhà khai thác mạng. Nhà khai thác mạng có thể cắt nhỏ mạng lưới thành các mạng ảo và cho thuê những lát cắt mạng này. Một công ty điện lực có thể muốn thuê lâu dài một lát cắt mạng phục vụ cho các thiết bị thông minh của họ bao gồm cảm biến, đồng hồ đo, các bộ điều khiển và lát cắt đó được tùy biến, tối ưu cho các thiết bị IoT. Bên cạnh đó, nhà tài trợ cho một buổi hòa nhạc có thể muốn thuê một lát cắt mạng trong một thời gian ngắn và tối ưu lát cắt đó phục vụ cho việc quay phát trực tiếp.

“Cắt mạng” cũng kỳ vọng cho phép các mô hình kinh doanh mới thâm nhập vào thị trường di động. Ví dụ các nhà cung cấp hạ tầng đám mây như Google, Amazon có thể thông qua “cắt mạng” để tham gia cuộc chơi trong thị trường di động. “Cắt mạng” cũng cho phép các nhà khai thác mạng cho thuê mạng lưới và tập trung vào những thế mạnh của mình như tập trung làm tăng trải nghiệm khách hàng. Điều này khác với hiện tại một nhà khai thác không thể tách một phần mạng và tối

ưu cho các mạng di động ảo khác nhau, đều chạy chung trên cùng một mạng với nhà khai thác.

### Vấn đề kỹ thuật

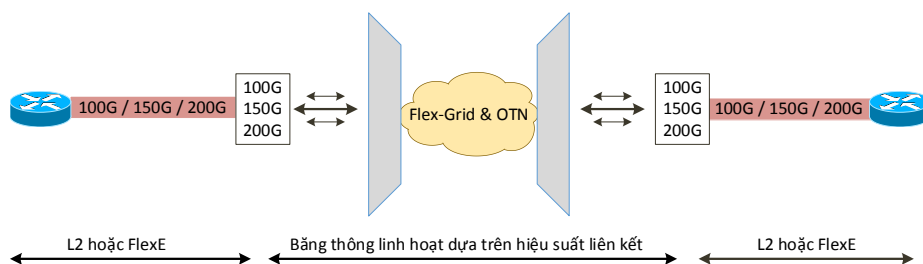
Sự khác biệt chính trong cách ứng dụng “cắt mạng” là có thể cung cấp một mạng ảo đầu cuối tới đầu cuối cho một khách hàng cụ thể và các kỹ thuật QoS hiện tại không thể thực hiện được điều đó. Ví dụ trong các giải pháp QoS có thể phân biệt được các loại lưu lượng VoIP, HD Video, Web tuy nhiên lại không thể phân biệt và ứng xử khác nhau đối với cùng một loại lưu lượng (ví dụ như VoIP) từ các khách hàng khác nhau.

#### 3.2.3 Các công nghệ hỗ trợ cắt mạng

Để đáp ứng nhu cầu thương mại, 5G phải hỗ trợ các dịch vụ có thể yêu cầu dung lượng cực cao, độ tin cậy cực cao hoặc độ trễ cực thấp [15]. Nhưng để đạt được những yêu cầu rất khác nhau này trên cùng một mạng có nghĩa là phải sắp xếp rất khéo léo hệ thống vốn đã phức tạp theo cách mà mỗi lát cắt có những ràng buộc và chính sách vận hành khác nhau. Nói cách khác, tìm đúng đường dẫn trên mạng cho từng loại dịch vụ và sử dụng công nghệ truyền tải tốt nhất. Tùy thuộc vào mục tiêu cuối cùng là gì, sẽ có những công nghệ hỗ trợ lát cắt phù hợp.

#### Công nghệ 1: OTN và cắt theo bước sóng (cắt cứng)

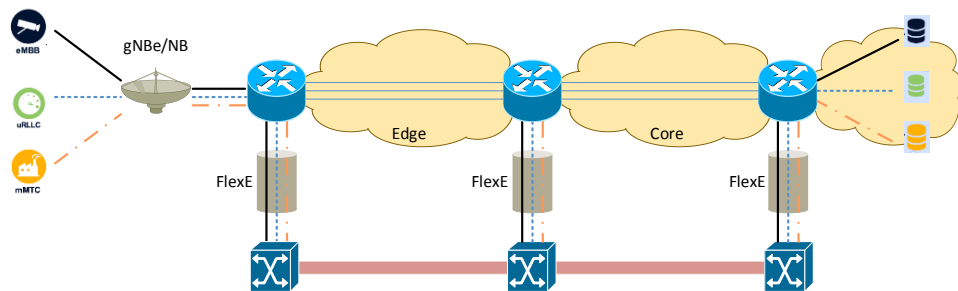
Sử dụng hệ thống truyền tải quang hay cắt theo bước sóng có thể được sử dụng để tạo các lát mạng trực tiếp trên mạng truyền tải quang như mô tả trong hình 3.4. Sau đó, bộ định tuyến có thể được sử dụng cho các dịch vụ truyền trực tiếp từ biên đến lõi, để cung cấp độ trễ thấp nhất có thể và giải phóng cổng trên bộ định tuyến. OTN có tính xác định và dựa trên bước sóng.



**Hình 3.4. Cắt mạng theo bước sóng**

## Công nghệ 2: Ethernet linh hoạt (FlexE) (cắt mềm)

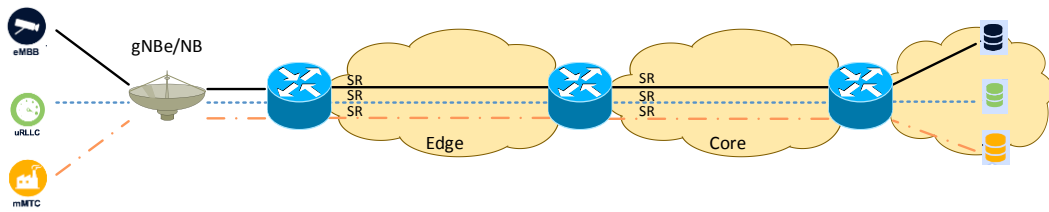
FlexE cung cấp khả năng vận chuyển được xác định bằng cách sử dụng các nguyên tắc ghép kênh phân chia theo thời gian (TDM) để loại bỏ điều khiển luồng khi ánh xạ các dịch vụ gói IP lên lớp quang. Hình 3.5 mô tả hoạt động của FlexE giống như một cơ chế ly hợp giữa các lát IP và lát OTN. Trên thực tế, FlexE bổ sung cấu trúc khung TDM, cho phép dung lượng băng thông hoạt động hiệu quả hơn so với kết hợp liên kết truyền thống - nhưng không có độ trễ liên quan đến điều khiển luồng. Đó là cách đường ống FlexE tạo ra kết nối băng thông cố định liên kết các phần tử mạng cụ thể cho từng lát cắt mạng.



Hình 3.5. Cắt mạng bằng phương pháp Ethernet linh hoạt

## Công nghệ 3: Cung cấp dịch vụ (cắt lớp 3) bằng định tuyến phân đoạn và VPN nâng cao

Định tuyến phân đoạn là một yếu tố quan trọng để phân chia mạng và bổ sung cách cắt mạng để đảm bảo độ trễ và độ tin cậy. Nó sử dụng định tuyến nguồn được kiểm soát bởi phân tử tính toán đường dẫn tập trung (PCE) cho phép tạo các đường dẫn xác định, chính xác trên toàn mạng. Bộ điều khiển có đầy đủ thông tin về tài nguyên truyền tải. Hình 3.6 mô tả định tuyến phân đoạn tạo lát cắt mạng đáp ứng các nhu cầu cụ thể của loại dịch vụ đang được truyền tải. Ví dụ lát cắt được tạo ra để đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về độ tin cậy của dịch vụ sẽ đi theo các con đường rất khác so với lát cắt cung cấp dịch vụ yêu cầu chi phí thấp nhưng băng thông cao.

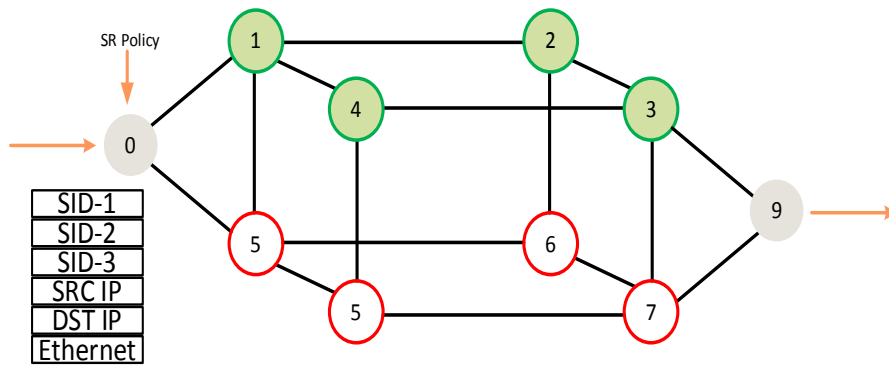


**Hình 3.6. Cấu mạng với công nghệ định tuyến phân đoạn**

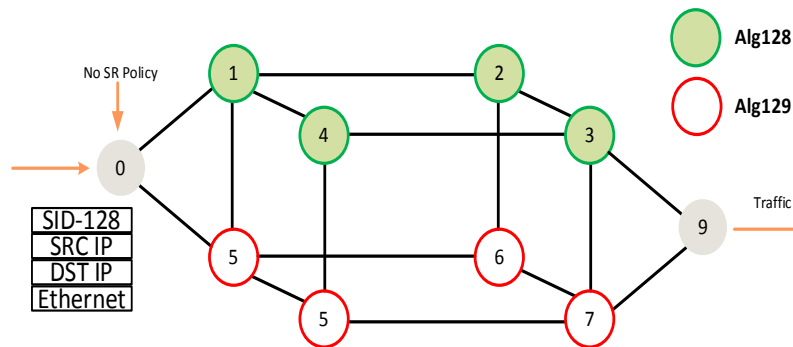
### 3.2.4 Thuật toán linh hoạt

Thuật toán linh hoạt (Flex-Algo) là một công nghệ mới nổi bật trong định tuyến phân đoạn. Nó tối ưu hóa mạng vật lý với các lát cắt dựa trên những ràng buộc khác nhau và tự động điều hướng lưu lượng thông qua bất kỳ cấu trúc liên kết/đường dẫn nào dựa trên chính sách do nhà điều hành xác định. Thuật toán linh hoạt là sự bổ sung mới nhất cho kỹ thuật lưu lượng định tuyến phân đoạn. Đây được kỳ vọng là một trong những công nghệ quan trọng để kích hoạt cơ sở hạ tầng phân chia mạng được xác định bằng phần mềm cho các mạng truyền thông 5G [6].

Thuật toán linh hoạt cho phép các giao thức IGP độc lập tính toán đường dẫn dựa trên ràng buộc đi qua mạng lưới. Nó cho phép tính toán đường dẫn kỹ thuật lưu lượng mà không liên quan đến bộ điều khiển mạng. Nó cũng đơn giản hóa hoạt động bằng cách cung cấp các đường dẫn bị giới hạn theo chính sách dựa trên một nhãn định tuyến phân đoạn duy nhất. Ví dụ trong hình 3.7 và hình 3.8 mô tả về trường hợp sử dụng mạng hai mặt phẳng sẽ giải thích cách thuật toán linh hoạt sẽ hoạt động so với công nghệ kỹ thuật lưu lượng định tuyến phân đoạn thông thường. Trong hai mặt phẳng này, giả sử muốn giới hạn lưu lượng cho dịch vụ màu xanh lá cây ở 4 nút trên cùng, trong khi đối với dịch vụ màu đỏ là 4 nút dưới cùng. Dịch vụ ở đây có thể là bất kỳ yêu cầu gì như độ trễ thấp, băng thông cao hoặc đường dẫn qua các nút ở vị trí địa lý cụ thể.



**Hình 3.7. Cấu trúc liên kết về định tuyến dịch vụ qua mạng sử dụng chính sách định tuyến phân đoạn**



**Hình 3.8. Cấu trúc liên kết về định tuyến dịch vụ qua mạng bằng thuật toán linh hoạt**

Trong ví dụ đầu tiên ở hình 3.7, mạng không sử dụng thuật toán linh hoạt. Hệ thống mạng sử dụng chính sách định tuyến phân đoạn để triển khai dịch vụ. Bộ điều khiển SDN sẽ cần tính toán đường dẫn cần thiết và cài đặt chính sách định tuyến phân đoạn trong nút nhập. Chính sách đó cần có ít nhất 3 nhãn nhận dạng phân đoạn để xác định đường dẫn sao cho lưu lượng truy cập chỉ truyền ở mặt phẳng phía trên. Nhãn đầu tiên tiếp cận các nút ở mặt phẳng trên và những nhãn khác giữ cho lưu lượng truyền ở mặt phẳng này. Danh sách SID này có thể dài hơn nếu cấu trúc liên kết thay đổi.

Trong trường hợp sử dụng thuật toán linh hoạt như trong hình 3.8, mọi nút đều có thể quảng bá sự tham gia của chúng vào một thuật toán cụ thể. Chuyển tiếp lưu lượng có thể bị hạn chế chỉ đối với những nút hoặc liên kết tham gia vào thuật toán đó. Nút đầu vào ở biên có thể chuyển tiếp lưu lượng chỉ với một mã phân đoạn xác định thuật toán linh hoạt và chuyển tiếp gói sẽ được IGP thực hiện tự động theo

các quy tắc chuyển tiếp cho mặt phẳng đó. Ngoài ra, nút xâm nhập không cần biết đường dẫn kỹ thuật lưu lượng đầy đủ.

Trong [11], mỗi thuật toán linh hoạt được định nghĩa là sự kết hợp của ba tham số. Ba tham số này là:

- Các ràng buộc trên cấu trúc liên kết (ví dụ sử dụng một tập hợp các nút cụ thể)
- Kiểu tính toán (ví dụ sử dụng SPF mặc định, SPF bị ràng buộc)
- Kiểu số liệu (số liệu IGP mặc định, độ trễ liên kết được xác định bởi RFC 8570, v.v.)

Mỗi thuật toán linh hoạt được định danh bằng một số, trong khoảng 128-255. Một hệ thống mạng này có thể sử dụng thuật toán linh hoạt 128 để xác định một lát mạng cho yêu cầu độ trễ tối thiểu và tránh các nút X, Y, Z. Trong khi một mạng khác có thể sử dụng cùng thuật toán linh hoạt 128 để xác định một phần mạng nhằm đáp ứng yêu cầu giảm thiểu chi phí IGP và tránh các liên kết X-Y, Y-Z.

### ***3.2.5 Hoạt động của thuật toán linh hoạt***

**Quảng bá định nghĩa thuật toán linh hoạt (FAD):** FAD là một tham số TLV phụ. Không phải tất cả các bộ định tuyến đều được yêu cầu xác định FAD. Chỉ một bộ định tuyến cần xác định nó và quảng bá tràn ngập nó trong ISIS. Nếu nhiều bộ định tuyến xác định FAD cho thuật toán linh hoạt, thì mức ưu tiên cao nhất xác định định nghĩa nào được chọn. TLV phụ FAD có thể có thêm TLV phụ của phụ để xác định các ràng buộc trong cấu trúc liên kết mạng. Các TLV phụ của phụ này được sử dụng để loại trừ hoặc thêm vào các liên kết trong cấu trúc liên kết thuật toán linh hoạt.

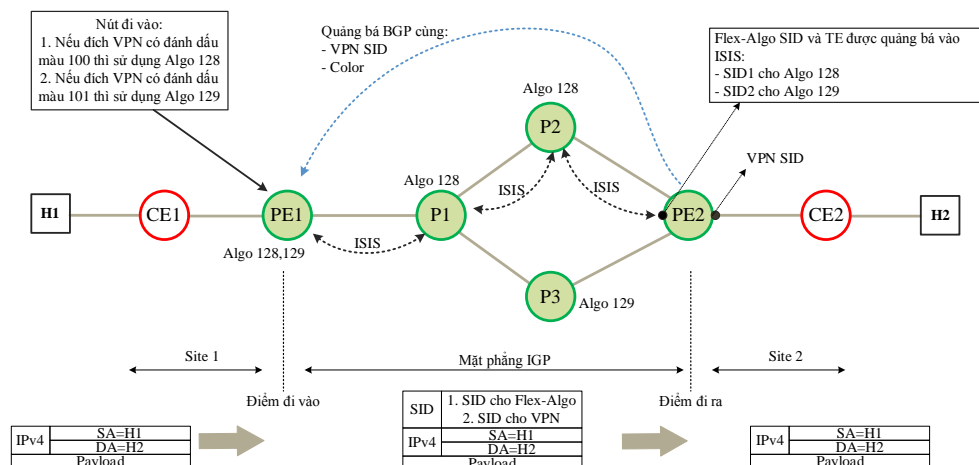
**Thông báo về việc tham gia thuật toán linh hoạt:** mỗi bộ định tuyến muốn tham gia vào một thuật toán linh hoạt cần phải quảng bá thuật toán linh hoạt trong TLV phụ của nó. Hình 3.9 mô tả định dạng cho TLV phụ của thuật toán định tuyến phân đoạn. Có thể thấy một bộ định tuyến có thể quảng bá nhiều thuật toán linh hoạt. Các cài đặt này thường được cung cấp bởi nhà khai thác trong mỗi bộ định tuyến.



**Cài đặt ECMP và đường dẫn dự phòng:** mỗi bộ định tuyến tính toán ECMP và đường dẫn dự phòng bao gồm cả các đường dẫn TI-LFA dựa trên cấu trúc liên kết đã thu gọn. Đây là ưu điểm vốn có của công nghệ thuật toán linh hoạt. Bộ định tuyến đi vào không cần phải bận tâm về việc điều chỉnh các lỗi mạng mà vẫn đảm bảo yêu cầu dịch vụ. Lưu lượng truy cập được tự động định tuyến lại trong mặt phẳng mới trong trường hợp có lỗi.

**Hoạt động VPN trên thuật toán linh hoạt:** các phần trên mô tả cách IGP được sử dụng để thiết lập mạng định tuyến phân đoạn lớp dưới. Hình 3.11 mô tả cách BGP được sử dụng để cung cấp các dịch vụ VPN ở trên lớp định tuyến phân đoạn thuật toán linh hoạt này.

Có một số bộ định tuyến trong mặt phẳng IGP nơi thuật toán linh hoạt được cấu hình. PE1 và PE2 là các bộ định tuyến đi vào và đi ra. PE2 quảng bá tham gia vào thuật toán linh hoạt 128 và 129, cùng với SID để tiếp cận nó thông qua các thuật toán đó. Thông tin đó được truyền trong ISIS. Nút đi vào PE1 có các đường dẫn đến PE2 thông qua cấu trúc mạng đã được chỉnh sửa bởi thuật toán linh hoạt. Ví dụ: PE1 sẽ sử dụng SID2 nếu nó muốn đi đến PE2 trong thuật toán linh hoạt 129.



**Hình 3.11. Cấu trúc liên kết cho L3VPN qua định tuyến phân đoạn MPLS**

Đối với dịch vụ VPN, bộ định tuyến đầu ra PE2 gửi các tuyến VPN trong BGP cùng với một giá trị màu. Giá trị màu xác định dịch vụ mà PE2 muốn cho



tuyến VPN đó. Bộ định tuyến đi vào PE1 cần có cách liên kết màu với thuật toán linh hoạt. Điều này có thể được thực hiện thông qua cấu hình trong PE1.

Khi các gói dữ liệu đến nút PE1 cho dịch vụ VPN, nó sẽ đóng gói thêm hai SID. SID đầu tiên là SID VPN được PE2 quảng bá cho tuyến đường đó. SID thứ hai là SID được PE2 quảng bá cho thuật toán linh hoạt được chỉ định bằng giá trị màu trong tuyến VPN. Sau đó gói được gửi đến bộ định tuyến tiếp theo để đến được PE2 qua cấu trúc mạng mới này. Các bộ định tuyến trung gian chuyển tiếp gói tin dựa trên nhãn thuật toán linh hoạt bên ngoài. Khi gói đến PE2, nó được giải mã và khung dữ liệu ban đầu được gửi đến đích VPN.

### **3.3 Đề xuất mô hình mạng đô thị truyền tải 5G sử dụng định tuyến phân đoạn**

Hiện nay các công ty cung cấp mạng viễn thông đang sử dụng phổ biến công nghệ IP/MPLS kết hợp LDP/RSVP. Việc xây dựng một mạng hoàn toàn mới chỉ chạy định tuyến phân đoạn là khó khả thi. Vì vậy có thể áp dụng cách tiếp cận theo từng giai đoạn để chuyển đổi sang công nghệ mới định tuyến phân đoạn kết hợp SDN.

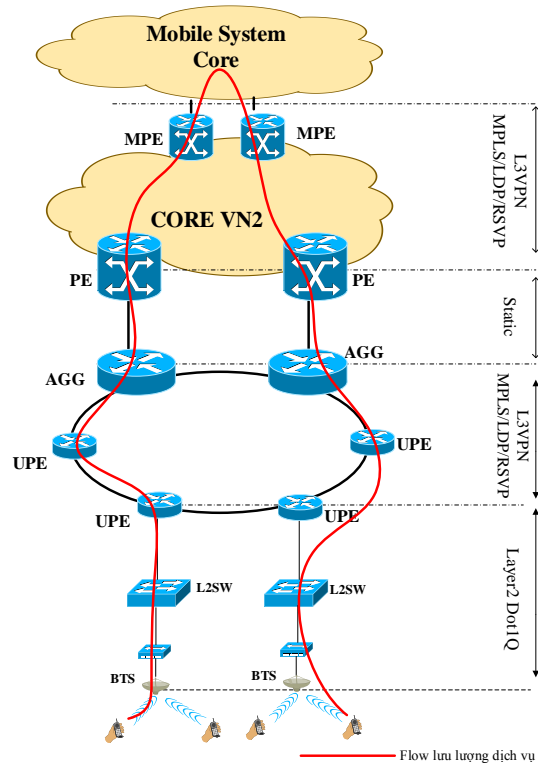
Bước 1 là giữ lại mạng MPLS đang vận hành nhưng bắt đầu thêm định tuyến phân đoạn để các nhóm kiến trúc, kỹ sư quản lý và vận hành có thể bắt đầu làm quen với công nghệ mới. Bước 2 là bắt đầu giới thiệu kiểm soát tập trung, thông qua PCEP, trên một số phân vùng độc lập trong mạng để bắt đầu thử nghiệm các tính năng. Bước 3 là triển khai định tuyến phân đoạn trên toàn bộ cơ sở hạ tầng. Với định tuyến phân đoạn được thiết lập trong mạng, bộ giao thức có thể đơn giản hóa đi bằng cách loại bỏ LDP và RSVP-TE. Tiếp theo sẽ là bước triển khai IPv6 vào mạng lõi, với định tuyến phân đoạn chạy trên IPv6 mới và mạng MPLS kế thừa. Giai đoạn cuối cùng sẽ là loại bỏ hoàn toàn MPLS.

Nội dung phần này sẽ tập trung vào bước 1 và bước 2 – giải pháp để đưa định tuyến phân đoạn vào chạy song song cùng với mạng MPLS/LDP/RSVP.

#### **3.3.1 Mô hình mạng đô thị đang chạy cho dịch vụ di động 2G/3G/4G**

Mạng đô thị cung cấp hạ tầng để kết nối các trạm di động đặt tại các tỉnh thành về các hệ thống quản lý (BSC, RNC, MME,...) trong mạng lõi di động đặt tại thành phố lớn như Hà Nội, Hồ Chí Minh. Các dịch vụ 2G,3G chạy trên một kênh

L3VPN riêng, còn dịch vụ 4G chạy trên hai kênh L3VPN, bao gồm một kênh L3VPN kết nối cho phần dịch vụ 4G, một kênh L3VPN kết nối cho phần giám sát 4G. Như vậy trên hạ tầng mạng đô thị sẽ có ba kênh L3VPN cho dịch vụ di động.



**Hình 3.12. Mô hình mạng đô thị hiện tại cho dịch vụ di động**

Mô hình kết nối mạng đô thị cung cấp dịch vụ di động hiện tại được trình bày như trên hình 3.12, có một số đặc điểm sau:

- Mạng đô thị cung cấp hạ tầng truyền tải thông qua cấu hình MPLS L3VPN
- Với dịch vụ 2G, 3G thì AGG thiết lập phiên BGP trong L3VPN với PE.
- Với dịch vụ 4G thì AGG và PE cấu hình định tuyến tĩnh.

Tuy nhiên mô hình này có các hạn chế sau khi sử dụng:

- Lưu lượng các loại dịch vụ 3G/4G, giám sát, đồng bộ...chưa có phân loại mức độ ưu tiên.
- Mô hình chạy trên nhiều phân đoạn, gây khó khăn khi mở rộng hay vận hành.

### ***3.3.2 Đề xuất mô hình mạng sử dụng định tuyến phân đoạn đồng thời với LDP/RSVP để truyền tải mạng 5G***

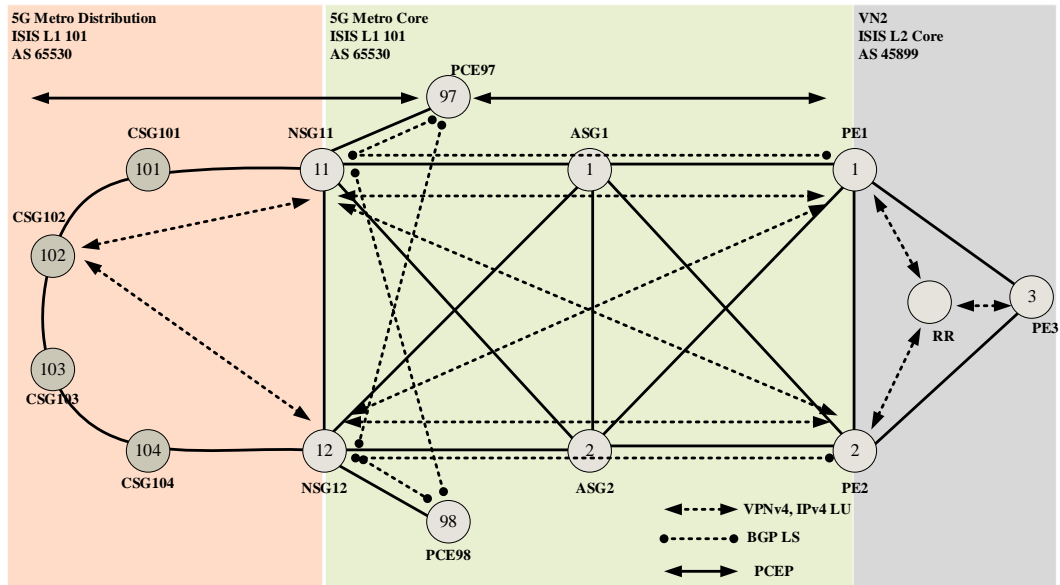
Công nghệ 5G với các yêu cầu về độ linh hoạt cũng như có nhiều yêu cầu về chất lượng dịch vụ hơn nên mô hình mạng trên không thể đáp ứng. Hình 3.13 mô tả mô hình mạng đề xuất sử dụng định tuyến phân đoạn để truyền tải 5G. Mô hình được chia làm 3 miền:

- Miền phân phối mạng đô thị: bao gồm các bộ định tuyến CSG được kết nối thành vòng tròn để tăng tính dự phòng, các trạm di động sẽ kết nối trực tiếp vào bộ định tuyến CSG. Các bộ định tuyến trong miền này chạy giao thức ISIS level 1 tiến trình 101 (tiến trình riêng cho miền phân phối), BGP sử dụng hệ tự trị quy hoạch cho mạng nội bộ, không quảng bá ra mạng Internet.
- Miền lõi mạng đô thị: gồm các bộ định tuyến NSG có nhiệm vụ gom lưu lượng từ bộ định tuyến CSG. Hai bộ định tuyến ASG có nhiệm vụ gom lưu lượng từ các bộ định tuyến NSG. Bộ định tuyến PE là biên giữa miền lõi mạng đô thị và miền lõi VN2 (miền lõi liên miền, kết nối các tỉnh thành với nhau). Các bộ định tuyến trong miền này chạy ISIS level 1 tiến trình lõi (tiến trình cho miền lõi, tách biệt với miền phân phối), BGP sử dụng hệ tự trị quy hoạch cho mạng nội bộ, không quảng bá ra mạng Internet.
- Miền lõi VN2: gồm các bộ định tuyến PE tại tỉnh, các bộ định tuyến P để truyền tải lưu lượng liên vùng có khoảng cách địa lý xa. Các bộ định tuyến MPE kết nối với hệ thống lõi di động.

Bộ điều khiển sẽ sử dụng NorthStar do hãng Juniper phát triển. Theo [14] thì bộ điều khiển NorthStar cung cấp khả năng hiển thị chi tiết về các luồng lưu lượng mạng, đồng thời tối ưu hóa dung lượng mạng thông qua tự động hóa. Nó giám sát mạng trong thời gian thực, thu thập dữ liệu đo từ xa, IGP và BGP-LS trực tuyến từ mạng và phân tích dữ liệu để cung cấp đường dẫn dịch vụ mới dựa trên các ràng buộc do người dùng xác định.

Thiết bị NSG là bộ định tuyến biên của 2 miền trong mạng đô thị đồng thời đóng vai trò là RR-inline (vừa đóng vai trò RR vừa là thiết bị tham gia vào chuyển tiếp

lưu lượng). Các thiết bị CSG, ASG và PE sẽ thiết lập phiên BGP với NSG. Hai thiết bị NSG sẽ thiết lập phiên BGP-LS với bộ điều khiển tập trung để cung cấp dữ liệu.



**Hình 3.13. Mô hình mạng sử dụng định tuyến phân đoạn để truyền tải mạng 5G**

### 3.3.3 Hoạt động của mô hình

#### Báo hiệu định tuyến

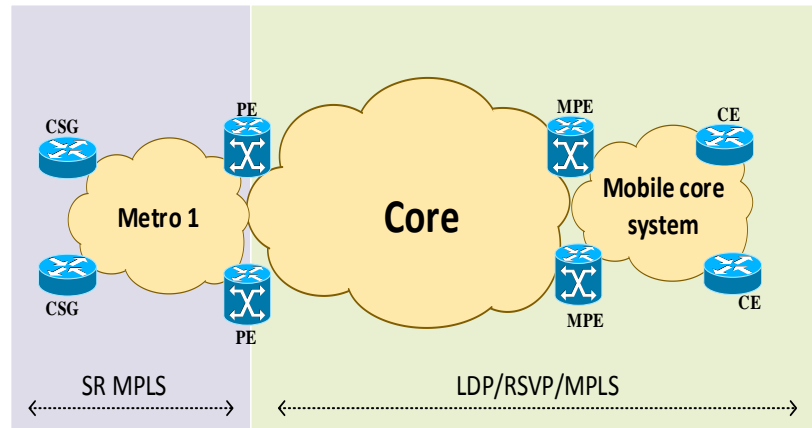
PE1 và PE2 thiết lập phiên BGP với RR trong miền VN2 và RR trong mạng đô thị, nên PE1/PE2 sẽ có thông tin định tuyến BGP của phần dịch vụ cả hai miền. Thông qua PE, hai miền mạng đô thị và VN2 sẽ học được thông tin định tuyến BGP của nhau. Các thông tin tuyến đường từ VN2 sẽ được PE quảng bá vào mạng đô thị với địa chỉ kế tiếp là PE1/PE2, ngược lại các tuyến đường trong mạng đô thị sẽ được PE1/PE2 quảng bá vào VN2 với địa chỉ kế tiếp là PE.

Lấy ví dụ dịch vụ di động chạy từ CSG102 đến PE3, lúc này do CSG có thiết lập phiên BGP với RR mạng đô thị nên sẽ học được rằng muốn đi đến PE3 sẽ phải đi đến PE1 hoặc PE2.

Để lưu lượng truy cập đi từ CSG102 đến PE1/PE2, bộ định tuyến sẽ tìm kiếm trong bảng chuyển mạch để tìm tuyến đường đã được cài đặt.

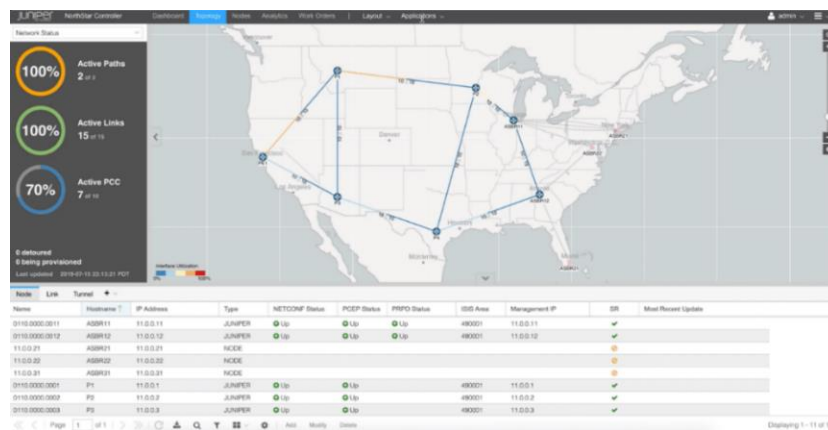
#### Báo hiệu truyền tải

Về mặt truyền tải, mô hình được chia làm hai miền như hình 3.14. Ở mạng đô thị sẽ truyền tải bằng định tuyến phân đoạn và ở VN2 sẽ truyền tải bằng MPLS/LDP/RSVP.



**Hình 3.14. Các miền báo hiệu truyền tải trong mô hình mới**

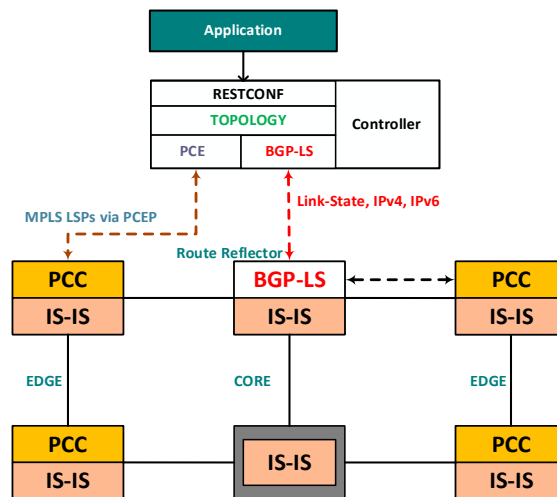
Truyền tải ở miền VN2 vẫn sẽ sử dụng công nghệ MPLS/LDP/RSVP. Ở mạng đô thị, công nghệ truyền tải sử dụng định tuyến phân đoạn, loại bỏ hoàn toàn LDP và RSVP giúp đơn giản việc quản lý vận hành và mở rộng trong tương lai. Ý tưởng thực hiện là sẽ thiết lập láng giềng BGP giữa bộ định tuyến NSG với bộ điều khiển thông qua giao thức BGP-LS. Từ đó bộ điều khiển có tất cả thông tin định tuyến và xây dựng nên một cấu trúc mạng hoàn chỉnh. Người quản trị có thể có cái nhìn bao quát hệ thống mạng thông qua giao diện web hoặc ứng dụng như hình 3.15.



**Hình 3.15. Hình ảnh tính năng hiển thị chi tiết kết nối mạng một cách tự động**

(Nguồn: Juniper.net)

Từ những thông tin này bộ điều khiển tập trung sẽ thực hiện tính toán đường dẫn cho kỹ thuật lưu lượng và được cập nhật xuống các bộ định tuyến CSG và PE bởi giao thức PCEP. Ngoài ra người quản trị có thể tự lựa chọn tuyến đường theo các điều kiện đặt ra từ trước thông qua ứng dụng có giao tiếp với bộ điều khiển bằng API. Tham khảo hình 3.16, có thể thấy rằng bộ điều khiển thiết lập phiên BGP-LS với RR để cập nhật thông tin kết nối mạng, nó cũng thiết lập phiên PCE với các bộ định tuyến biên để sử dụng làm phương thức có thể đẩy đi các tuyến đường đã tính toán.



**Hình 3.16. Giao thức PCE trong mô hình mạng**

### Cắt mạng cho các dịch vụ khác nhau

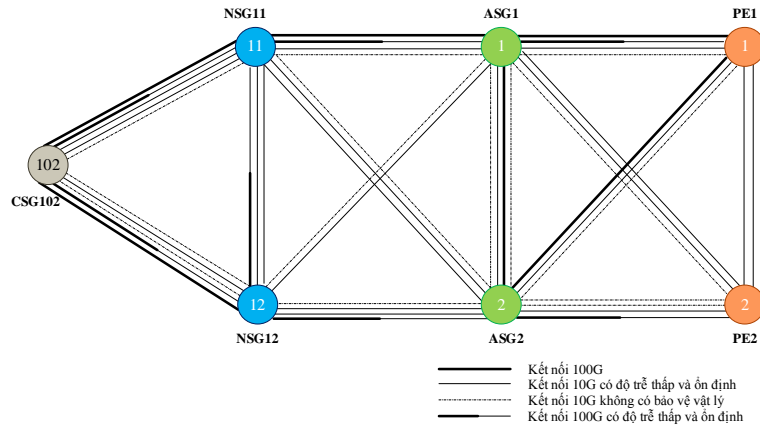
Để thực hiện chia mạng thành các lát cắt cho dịch vụ khác nhau, thuật toán linh hoạt sẽ được sử dụng. Giả sử mạng được chia thành các lát cắt như bảng 3.1 sau đây.

**Bảng 3.1. Định nghĩa các lát cắt mạng**

<b>Flex Algorithm Definition (FAD)</b>	<b>Điều kiện</b>	<b>Yêu cầu dịch vụ</b>
128	Gồm các kết nối 100G	Dịch vụ cần băng thông lớn
129	Gồm các kết nối được bảo vệ về mặt vật lý	Dịch vụ cần độ tin cậy cao
130	Gồm các kết nối có độ trễ thấp, ổn định	Dịch vụ cần độ trễ thấp
135	Gồm các kết nối 100G và có độ	Dịch vụ cần băng thông lớn

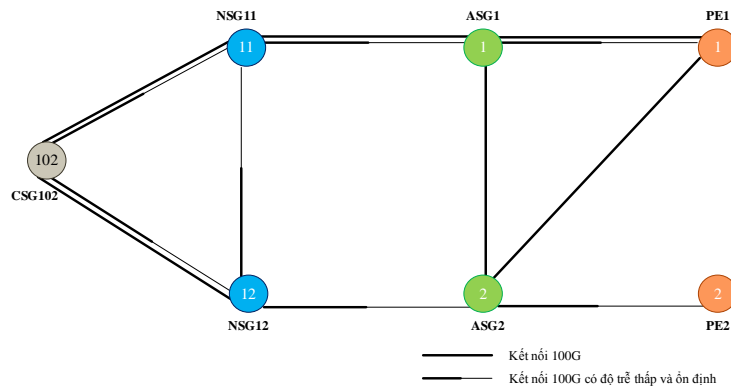
	trễ thấp, ổn định	và độ trễ thấp
--	-------------------	----------------

Hình 3.17 mô tả trực quan kết nối chi tiết của mạng, với các kết nối 100G, kết nối 10G cũng như một vài tham số về độ trễ, tính sẵn sàng (được bảo vệ vật lý hay không).



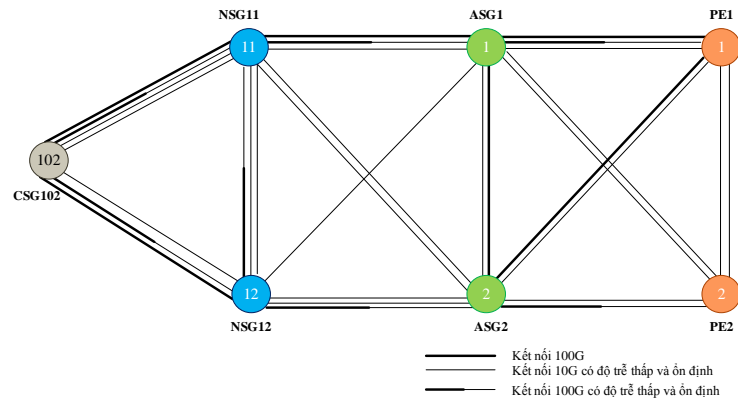
**Hình 3.17. Mô hình kết nối vật lý mạng đô thị chạy định tuyến phân đoạn**

Hình 3.18 mô tả lát cắt mạng đối với dịch vụ yêu cầu băng thông lớn sau khi bị loại bỏ các liên kết không nằm trong FAD 128.



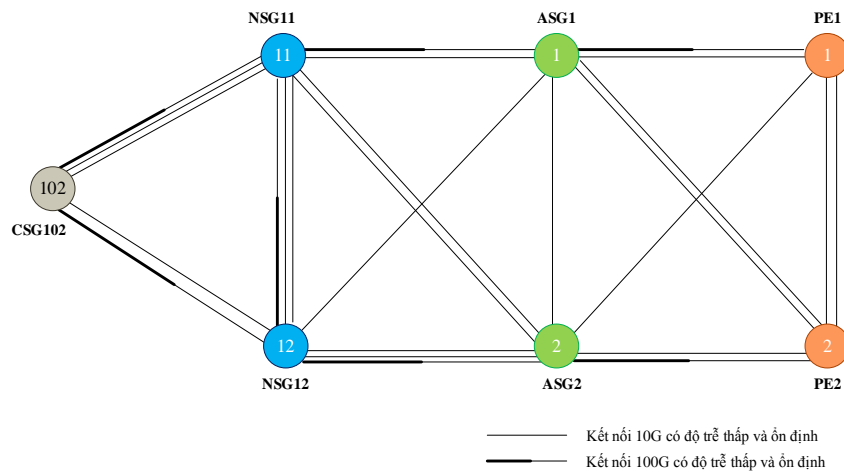
**Hình 3.18. Lát cắt mạng của FAD 128**

Hình 3.19 mô tả lát cắt mạng khi thuật toán linh hoạt 129 tính toán đường đi cho dịch vụ cần độ tin cậy cao (không đi qua các kết nối không có bảo vệ vật lý).



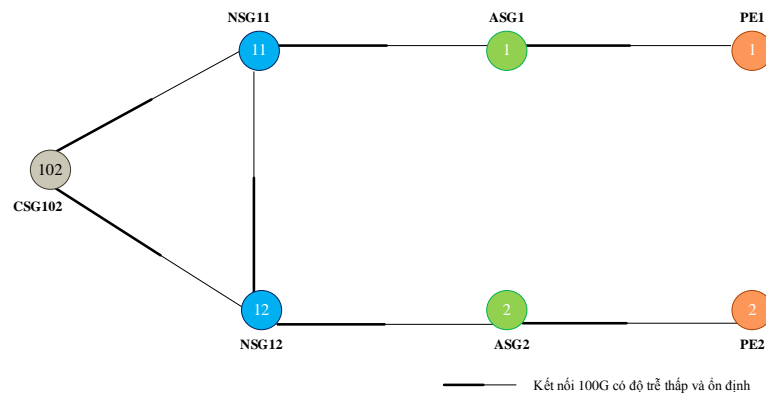
**Hình 3.19. Lát cắt mạng của FAD 129**

Hình 3.20 là lát cắt mạng bao gồm các kết nối có độ trễ thấp và ổn định.



**Hình 3.20. Lát cắt mạng của FAD 130**

Hình 3.21 mô tả lát cắt mạng dành cho các dịch vụ có yêu cầu có băng thông lớn và độ trễ thấp.



**Hình 3.21. Lát cắt mạng của FAD 135**



Như vậy về cơ bản đề xuất này đã tiếp cận được việc chia nhỏ một hạ tầng mạng chung thành những mạng nhỏ hơn cho các dịch vụ có yêu cầu khác nhau. Tuy nhiên công nghệ này vẫn cần phát triển tích hợp với bộ điều khiển hơn để tăng tính tự động hoá, giảm việc cấu hình thủ công.

### **3.4. Kết luận chương**

Ứng dụng SDN trong quản lý hệ thống mạng viễn thông đang là xu hướng mới với nhiều triển vọng. Việc triển khai định tuyến phân đoạn sẽ giúp tận dụng được nhiều ưu điểm hơn của SDN. Việc kết hợp định tuyến phân đoạn và SDN sẽ hỗ trợ tích cực cho việc lập trình mạng cũng như tối ưu mạng một cách tự động hóa, giúp tối ưu nhân lực trong vận hành mạng.

Lát cắt mạng là một khái niệm trừu tượng mô tả việc chia hạ tầng mạng vật lý chung thành nhiều cấu trúc mạng khác nhau đáp ứng các yêu cầu khác nhau. Định tuyến phân đoạn là một trong các công nghệ hiện thực hóa khái niệm này. Qua đó giúp giải quyết yêu cầu về một hạ tầng mạng linh hoạt cho nhiều dịch vụ khác nhau.

Trong mô hình mạng truyền tải 5G đề xuất đã giới thiệu được giải pháp kết hợp triển khai định tuyến phân đoạn vào trong kiến trúc mạng MPLS tạo ra sự đơn giản trong quản lý thông tin nhãn và kỹ thuật lưu lượng được ứng dụng trực tiếp đến mạng MPLS mà không cần tác động quá nhiều về sự thay đổi trong kiến trúc. Định tuyến phân đoạn tận dụng khả năng mở rộng trong các giao thức định tuyến trạng thái liên kết để mang thông tin mà trong trường hợp này là giao thức IS-IS. Từ đó loại bỏ sự cần thiết sử dụng các giao thức báo hiệu thông tin nhãn như là LDP/RSVP để giảm thiểu lượng lớn trạng thái giao tiếp giữa các bộ định tuyến trong mạng lõi. Bên cạnh đó, sự kết hợp giữa định tuyến nguồn và quản lý nút mạng tập trung của bộ điều khiển SDN và định tuyến phân đoạn đã giúp cho mạng MPLS dễ dàng quản lý hơn.

Tuy nhiên, phạm vi của mô hình đề xuất này chỉ dừng lại ở giới thiệu giải pháp triển khai định tuyến phân đoạn vào trong kiến trúc mạng MPLS. Hạn chế còn tồn tại là vì các ứng dụng giả lập hệ thống mạng lớn sẽ cần hệ điều hành mới kèm

thiết bị phần cứng có cấu hình cao, vì vậy chưa thử nghiệm được hết các tính năng quan trọng của định tuyến phân đoạn.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Mạng IP/MPLS vẫn đang cung cấp rất nhiều ứng dụng cho mạng của nhà cung cấp như giảm thiểu kết nối BGP, VPN, kỹ thuật lưu lượng, ... Song song với sự phát triển trong hạ tầng mạng để hỗ trợ cho các dịch vụ mới, mạng MPLS vẫn cần phải phát triển để không làm tăng thêm sự phức tạp trong cấu trúc và chi phí vận hành. Nội dung luận văn đề cập đến sự kết hợp giữa MPLS và định tuyến phân đoạn nhằm giảm số lượng thông tin mạng quản lý, loại bỏ sự phức tạp và một số ứng dụng hữu ích khác. Ngoài ra, SDN đang ngày càng được phát triển mạnh mẽ bởi khả năng quản lý tập trung và tối ưu phân cứng mạng.

Bộ điều khiển SDN có khả năng quản lý tập trung cấu hình các nút mạng biên để tạo ra các tuyến đường phục vụ cho kỹ thuật lưu lượng. Hơn nữa, khả năng của SDN còn quản lý được tất cả các thông tin như VPN, chính sách định tuyến, các giao thức báo hiệu mạng để giám sát như SMNP, quản lý băng thông liên kết, báo hiệu mức hiệu suất của thiết bị, ... Sự đóng góp của SDN và định tuyến phân đoạn vào kiến trúc mạng IP/MPLS như trình bày đã làm tăng những lợi ích đáng kể trong việc nâng cao hiệu năng và đơn giản hoá mạng IP/MPLS. Hai công nghệ mạng này đã tác động trực tiếp một cách tích cực vào mạng MPLS trong các hệ thống lớn cùng với khả năng thích ứng với công nghệ mới, khả năng ảo hoá và tự động hoá trong hạ tầng mạng. Đó cũng chính là những thách thức của IP/MPLS trong mạng viễn thông hiện đại.

Hướng phát triển tiếp theo cho đề tài là tiếp tục khai thác tận dụng tối đa SDN và định tuyến phân đoạn trong kiến trúc mạng IP/MPLS. Thêm vào đó, mở rộng thêm khả năng lập trình cho mạng nhằm cung cấp sự tự động hoá, khả năng thích ứng và triển khai nhanh chóng các dịch vụ. Ngoài ra, sự kết hợp giữa SDN và công nghệ ảo hoá chức năng mạng cũng được thúc đẩy mạnh mẽ.

Hệ thống mạng hiện đại hoạt động cùng NFV là một lựa chọn không thể thiếu. NFV có thể ứng dụng các công nghệ mạng ảo hoá, điện toán đám mây dựa trên nền tảng máy chủ và các thiết bị mạng để triển khai. Điều này giúp giảm số lượng thiết bị chuyên dụng mà vẫn cung cấp đủ các dịch vụ truyền thống. Sự kết hợp SDN, NFV, định tuyến phân đoạn và MPLS sẽ là hướng tiếp cận đáng được quan tâm.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tài liệu tiếng Việt:

- [1] Nguyễn Tiến Ban, *Công nghệ IP/MPLS và các mạng riêng ảo*, Nhà xuất bản Thông tin và Truyền thông, 2011.

### Tài liệu tiếng Anh:

- [2] Grzegorz Rzym, Krzysztof Wajda, Piotr Cholda1 (2017), *Sdn-based Wan optimization: PCE implementation Inmulti-domain MPLS networks supported by BGP-LS, image processing & communications, vol.22, no.1.*
- [3] Julian Lucek and Krzysztof Szarkowicz (2018), *DAY ONE: CONFIGURING SEGMENT ROUTING WITH JUNOS*, Vervante Corporation, USA.
- [4] Luca Davoli, Luca Veltri, Pier Luigi Ventre, Giuseppe Siracusano, Stefano Salsano (2015), *Traffic Engineering with Segment Routing:SDN-based Architectural Design and Open Source Implementation, Version 4*, Extended version of poster paper presented at EWSDN 2015.
- [5] Sterling Perrin (2016), *Making Network SDN-Ready With Segment Routing*, A heavy Reading white paper produced for Cisco Systems Inc.

### Tài liệu tham khảo từ Internet:

- [6] Anirban Bhattacharya (2020), SDN-Based Network Slicing for 5G Transport Networks. [https://blogs.keysight.com/blogs/tech/traf-gen.entry.html/2020/10/08/sdn-based\\_networksl-LBDV.html](https://blogs.keysight.com/blogs/tech/traf-gen.entry.html/2020/10/08/sdn-based_networksl-LBDV.html). Truy cập tháng 3/2022.
- [7] Greg Bryan (2020), Schrodinger's MPLS and Why Predicting the Future is Hard. <https://blog.telegeography.com/schrodingers-mpls-and-why-predicting-the-future-is-hard>. Truy cập tháng 3/2022.
- [8] Huawei Technologies Company (2019), Segment Routing. <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100092117>. Truy cập tháng 3/2022.
- [9] Liên Hoa (2017), Số lượng các thiết bị kết nối IoT sẽ đạt 125 tỉ vào năm 2030. <https://congnghe.tuoitre.vn/so-luong-cac-thiet-bi-ket-noi-iot-se-dat-125-ti-vao-nam-2030-20171029132829656.htm>. Truy cập tháng 3/2022.

- [10] IETF (2019), draft-bashandy-rtgwg-segment-routing-ti-lfa. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-bashandy-rtgwg-segment-routing-ti-lfa>. Truy cập tháng 3/2022.
- [11] IETF (2020), draft-ietf-lsr-flex-algo. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-lsr-flex-algo/>. Truy cập tháng 3/2022.
- [12] IETF, RFC 4090, Part 3.1. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4090>. Truy cập tháng 3/2022.
- [13] Juniper Network (2019), MPLS Overview. [https://www.juniper.net/documentation/en\\_US/junos/topics/concept/mpls-security-overview.html](https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/concept/mpls-security-overview.html). Truy cập tháng 3/2022.
- [14] Juniper Network (2019), NorthStar Controller. <https://www.juniper.net/us/en/products/network-automation/northstar-controller.html>. Truy cập tháng 3/2022.
- [15] Ribbon Communications Operating Company (2019), Network Slicing. <https://telecom.economictimes.indiatimes.com/files/cp/269/cdoc-1571827451-Network%20slicing-WP-F.pdf>. Truy cập tháng 3/2022.