

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

-----



**ISO 9001:2008**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**NGÀNH: ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**Người hướng dẫn: Thạc sỹ Đoàn Hữu Chức**  
**Sinh viên : Mạc Văn Vũ**

**HẢI PHÒNG - 2010**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

-----

**NGHIÊN CỨU MẠNG IP/WDM**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC CHÍNH QUY  
NGÀNH : ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**Người hướng dẫn : Thạc sỹ Đoàn Hữu Chức  
Sinh viên : Mạc Văn Vũ**

**Hải Phòng - 2010**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

-----

**NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Sinh viên : Mạc Văn Vũ

Mã số : 100225.

Lớp : ĐT1001

Ngành: Điện tử viễn thông.

Tên đề tài : Nghiên cứu mạng IP/WDM.

## NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp.

Trung tâm Viễn thông Điện lực - Công ty TNHH MTV Điện lực Hải Dương

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

**Người hướng dẫn thứ nhất:**

Họ và tên : Đoàn Hữu Chức.

Học hàm, học vị: Thạc sỹ.

Cơ quan công tác : Trường Đại học Dân lập Hải Phòng.

Nội dung hướng dẫn

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Người hướng dẫn thứ hai:**

Họ và tên

.....

Học hàm, học vị

.....

Cơ quan công tác

.....

Nội dung hướng dẫn

.....  
.....  
.....  
.....



.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn (ghi cả số và chữ) :

.....  
.....  
.....

*Hải Phòng, ngày ..... tháng ..... năm 2010.*

**Cán bộ hướng dẫn**

**PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA NGƯỜI CHĂM PHẢN BIỆN**

1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu thập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lý luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lý luận và thực tiễn đề tài.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Cho điểm của cán bộ phản biện. (Điểm ghi cả số và chữ).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

*Hải Phòng, ngày ..... tháng ..... năm 2010.*

**Người chấm phản biện**



## MỤC LỤC

<b>Mục lục .....</b>	<b>1</b>
<b>BẢNG THUẬT NGỮ VIẾT TẮT.....</b>	<b>11</b>
<b>LỜI MỞ ĐẦU .....</b>	<b>14</b>
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG VÀ NGUYÊN LÝ GHÉP KÊNH THEO BƯỚC SÓNG WDM .....</b>	<b>16</b>
1.1. Giới thiệu chương .....	16
1.2. Giới thiệu thông tin quang .....	17
1.2.1. Định nghĩa .....	17
1.2.2. Cấu trúc và các thành phần chính của hệ thống thông tin quang .....	17
1.3. Giới thiệu Kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM .....	19
1.3.1. Định nghĩa .....	19
1.3.2. Sơ đồ khối tổng quát .....	20
1.3.3. Phân loại hệ thống WDM .....	21
1.3.4. Ưu điểm và nhược điểm của công nghệ WDM .....	22
1.3.5. Vấn đề tồn tại của hệ thống WDM và hướng giải quyết trong tương lai .....	23
1.3.6. Chuyển mạch quang trong hệ thống WDM .....	23
1.3.7. Các thành phần chính của hệ thống WDM.....	24
<b>CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN MẠNG IP/WDM.....</b>	<b>31</b>
2.1. Tổng quan mạng IP/WDM.....	31
2.1.1. Lý do chọn IP/WDM.....	31
2.1.2. Các thể hệ WDM.....	33
2.1.3. Các ưu điểm của mạng IP over WDM.....	34
2.1.4. Các giải pháp phát triển mạng IP over WDM.....	34
2.1.5. Các chuẩn của mạng IP/WDM .....	38
2.1.6. Các mô hình liên mạng IP/WDM.....	39
2.2. Tổng quan cấu trúc mạng IP/WDM.....	41
2.2.1. Kiến trúc tổng quát mạng IP/WDM .....	41
2.2.2. Các kiểu kiến trúc của mạng IP/WDM .....	42

## **CHƯƠNG 3: CÁC GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG**

<b>IP/WDM</b> .....	<b>47</b>
3.1. IP và giao thức định tuyến.....	47
3.1.1. IPv4 và IPv6.....	47
3.1.2. Các giao thức định tuyến IP .....	47
3.2. MPLS, GMPLS và $MP^\lambda S$ .....	51
3.2.1. MPLS .....	51
3.2.2. GMPLS và $MP^\lambda S$ .....	52
3.3. Định tuyến và gán bước sóng tĩnh trong IP/WDM .....	52
3.3.1. Giới thiệu bài toán.....	52
3.3.2. Bài toán Định tuyến và gán bước sóng tĩnh S-RWA .....	53
3.4. Định tuyến và gán bước sóng động trong IP/WDM (D-RWA).....	61
3.4.1. Giới thiệu bài toán.....	61
3.4.2. Bài toán Định tuyến động trong IP/WDM .....	62
3.4.3. Bài toán Gán bước sóng động trong IP/WDM .....	72
3.5. Sự giới hạn bước sóng (WR – Wavelength Reservation) trong IP/WDM.....	79
3.5.1. Phương pháp SIR.....	79
3.5.2. Phương pháp DIR.....	80
<b>CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT LƯU LƯỢNG TRONG MẠNG IP/WDM.....</b>	<b>83</b>
4.1. Khái niệm kỹ thuật lưu lượng IP/WDM.....	83
4.2. Mô hình hóa kỹ thuật lưu lượng IP/WDM.....	84
4.2.1. Kỹ thuật lưu lượng chồng lấn .....	84
4.2.2. Kỹ thuật lưu lượng tích hợp .....	86
4.2.3. Nhận xét.....	87
4.3. Mô hình chức năng của kỹ thuật lưu lượng IP/WDM .....	88
4.4. Tái cấu hình trong kỹ thuật lưu lượng IP/WDM .....	91
4.4.1. Các điều kiện tái cấu hình mạng IP/WDM.....	91
4.4.2. Tái cấu hình mô hình ảo đường đi ngắn nhất .....	92
4.4.3. Tái cấu hình cho các mạng WDM chuyển mạch gói.....	95
<b>KẾT LUẬN</b> .....	<b>99</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	<b>101</b>

## BẢNG THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

### A

APD	Avalanche Photodiode	Diode tách sóng quang thác lũ
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Kiểu truyền bất đồng bộ
APS	Automatic Protection Switching	Chuyển mạch bảo vệ tự động
AWG	Array Waveguide Grating	Lọc quang mảng ống dẫn sóng

### B

### C

CDM	Code Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo mã
CO	Central Office	Tổng đài trung tâm

### D

DWDM	Dense WDM	WDM mật độ cao
DSF	Dispersion Shifted Fiber	Sợi quang DSF
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Bộ khuếch đại quang sợi Erbium

### F

FEC	Forwarding Equivalence Class	Nhóm chuyển tiếp tương đương
-----	------------------------------	------------------------------

### I

ISDN	Integrated Service Digital Network	Mạng số tích hợp dịch vụ
ITU-T	International Telecommunication Union	Tổ chức viễn thông quốc tế
IETF	Internet Engineering Task Force	Nhóm đặc trách kỹ thuật Internet

### L

LED	Light Emitting Diode	Diode phát quang
LD	Diode Laser	Phân tử phát xạ ánh sáng
LOH	Line Over Head	Mào đầu đoạn

LP	Lightpath	Đường đi ánh sáng
LSA	Link State Advertisements	Thông điệp trạng thái liên kết

**M**

MPLS	Multi-protocol Label Switching	Chuyển mạch nhãn đa giao thức
MAC	Medium Access Control	Điều khiển truy nhập môi trường

**N**

NNI	Network-to-Network Interface	Giao diện liên mạng NNI
-----	------------------------------	-------------------------

**O**

OXC	Optical Cross Connect	Bộ nối chéo quang
OTN	Optical Transport Network	
OLT	Optical Line Terminator	Thiết bị đầu cuối quang
ONT	Optical Network Terminal	Bộ kết nối mạng cáp quang
OADM	Optical Add/Drop Multiplex	Bộ ghép kênh xen/rót quang
OIF	Optical Internetworking Forum	Các tổ chức và diễn đàn quốc tế
OLS	Optical Label Switching	Chuyển mạch nhãn quang
OBS	Optical Burst Switching	Chuyển mạch nhóm quang
OSC	Optical Supervisory Channel	Kênh giám sát quang
OAM&P	Operrations Adminnitration Maintenance And Provisioning	Khai thác, quản lý và bảo dưỡng
OSPF	Open Shortest Path First	Giao thức ưu tiên con đường ngắn
ONU	Optical Network Unit	Thiết bị mạng quang
ODN	Optical Distribution Network	Hệ thống phân phối mạng quang

**P**

PIN	Positive Intrinsic Negative	Diode bán dẫn PIN
POH	Path Over Head	Chuyển mạch gói
PDH	Plesiochronous Digital Hierachy	Ghép kênh cận đồng bộ số
PIM	Protocol Independent Multicast	Multicast độc lập giao thức
PIM-DM	Dense Mode	Chế độ độc lập
PIM-SM	Sparse Mode	Chế độ thưa thớt
POTS	Plain Old Telephone Service	Dịch vụ điện thoại truyền thống

<b>R</b>		
RIP	Routing Information Protocol	Giao thức thông tin định tuyến
<b>S</b>		
STM-n	Synchronous Transfer Module	Modul truyền đồng bộ thứ n
SDH	Synchronous Digital Hierachy	Ghép kênh đồng bộ số
<b>T</b>		
TDM	Time Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia thời gian
<b>U</b>		
UNI	User-to-Network Interface	Giao diện người sử dụng – mạng
<b>W</b>		
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng

## LỜI MỞ ĐẦU

Xu hướng giao thức IP trở thành tầng hội tụ cho các dịch vụ viễn thông ngày càng trở nên rõ ràng. Phía trên tầng IP, vẫn đang xuất hiện ngày càng nhiều các ứng dụng và dịch vụ dựa trên nền IP. Những ưu thế nổi trội của lưu lượng IP đang đặt ra vấn đề là các hoạt động thực tiễn kỹ thuật của hạ tầng mạng nên được tối ưu hoá cho IP. Mặt khác, quang sợi, như một công nghệ phân tán, đang cách mạng hoá ngành công nghiệp viễn thông và công nghiệp mạng nhờ dung lượng mạng cực lớn mà nó cho phép, qua đó cho phép sự phát triển của mạng Internet thế hệ sau. Sử dụng công nghệ ghép kênh theo bước sóng WDM dựa trên nền mạng hiện tại sẽ có thể cho phép nâng cao đáng kể băng thông mà vẫn duy trì được hiện trạng hoạt động của mạng. Nó cũng đã được chứng minh là một giải pháp hiệu quả về mặt chi phí cho các mạng đường dài.

Khi sự phát triển trên toàn thế giới của sợi quang và các công nghệ WDM, ví dụ như các hệ thống điều khiển và linh kiện WDM trở nên chín muồi, thì các mạng quang dựa trên WDM sẽ không chỉ được triển khai tại các đường trục mà còn trong các mạng nội thị, mạng vùng và mạng truy nhập. Các mạng quang WDM sẽ không chỉ còn là các đường dẫn điểm – điểm, cung cấp các dịch vụ truyền dẫn vật lý nữa mà sẽ biến đổi lên một mức độ mềm dẻo mới. Tích hợp IP và WDM để truyền tải lưu lượng IP qua các mạng quang WDM sao cho hiệu quả đang trở thành một nhiệm vụ cấp thiết.

Do vậy, đồ án tốt nghiệp của em là “*Nghiên cứu về mạng IP/WDM*”. Đồ án trình bày các vấn đề cơ bản, kiến trúc, các kỹ thuật định tuyến cũng như vấn đề truyền tải lưu lượng trong mạng IP/WDM. Đồ án bao gồm 4 chương:

✓ **Chương 1: Tổng quan về hệ thống thông tin quang và nguyên lý ghép kênh theo bước sóng WDM.** Chương này sẽ trình bày sơ đồ, các ưu nhược điểm và các thành phần chính của hệ thống WDM.

✓ **Chương 2: Tổng quan mạng IP/WDM.** Chương này sẽ trình bày khái niệm chung mạng IP/WDM, lý do chọn mạng IP/WDM, các thế hệ, ưu điểm, các giải pháp phát triển, các chuẩn và các kiểu kiến trúc của mạng IP/WDM.

✓ **Chương 3: Các giao thức định tuyến trong mạng IP/WDM.**

Chương này tập trung tìm hiểu việc định tuyến và gán bước sóng trong mạng IP/WDM. Trình bày chi tiết bài toán định tuyến và gán bước sóng tĩnh – động, sự giới hạn bước sóng WR trong mạng IP/WDM.

✓ **Chương 4: Kỹ thuật lưu lượng trong mạng IP/WDM.** Chương này chỉ ra khái niệm, mô hình hóa kỹ thuật lưu lượng, tái cấu hình mô hình ảo đường đi ngắn nhất, tái cấu hình cho mạng WDM chuyển mạch gói.

Thông qua đồ án em đã trình bày những hiểu biết của mình về một công nghệ mạng mới – mạng IP/WDM. Tuy nhiên, do năng lực và kiến thức còn nhiều hạn chế nên đồ án không tránh khỏi những thiếu sót, em rất mong nhận được những đóng góp quý báu của các Thầy – Cô giáo và toàn thể các bạn.

Em xin chân thành cảm ơn thầy giáo Thạc sĩ Đoàn Hữu Chức người đã trực tiếp hướng dẫn, chỉ bảo để em có thể hoàn thành đồ án tốt nghiệp này. Em cũng xin cảm ơn tất cả các Thầy – Cô, gia đình và các bạn đã tận tình giúp đỡ em trong suốt quá trình học tập tại trường.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, ngày 10 tháng 7 năm 2010

Sinh viên

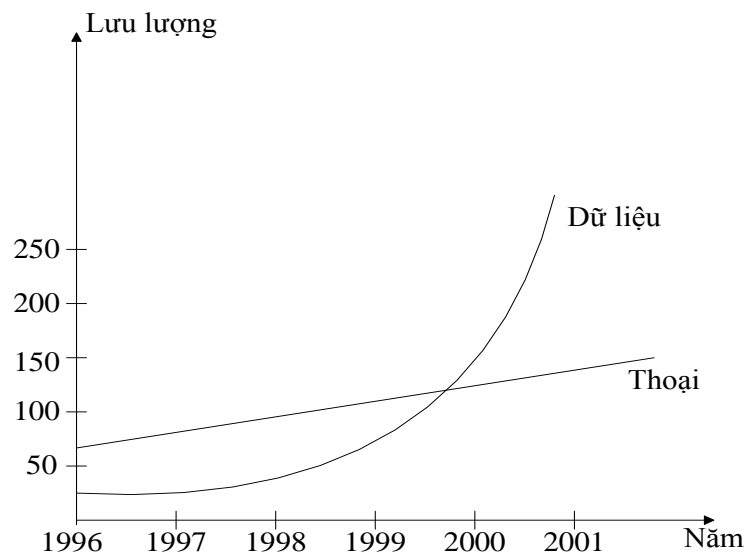
***Mạc Văn Vũ***

# CHƯƠNG 1:

## TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG VÀ NGUYÊN LÝ GHÉP KÊNH THEO BƯỚC SÓNG WDM

### 1.1. Giới thiệu chương

Lượng thông tin trao đổi trong các hệ thống thông tin ngày nay tăng lên rất nhanh. Bên cạnh việc gia tăng về số lượng thì dạng lưu lượng truyền thông trên mạng cũng thay đổi. Dạng dữ liệu chủ yếu là lưu lượng Internet. Số người sử dụng truy cập Internet ngày càng tăng và thời gian mỗi lần truy cập thường kéo dài gấp nhiều lần cuộc nói chuyện điện thoại. Chúng ta đang hướng tới một xã hội mà việc truy cập thông tin có thể đáp ứng ở mọi lúc, mọi nơi chúng ta cần. Mạng Internet và ATM ngày nay không đủ dung lượng để đáp ứng cho nhu cầu băng thông trong tương lai.



**Hình 1.1. Sự gia tăng lưu lượng dữ liệu và tiếng nói qua các năm**

Kỹ thuật thông tin quang và sự ra đời của kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM được xem là vị cứu tinh của chúng ta trong việc giải quyết vấn đề trên. Bởi vì hệ thống thông tin quang có những khả năng vượt trội như: băng thông khổng lồ (gần 50 Tbps), suy giảm tín hiệu thấp (khoảng 0.2dB/km), méo tín hiệu thấp, đòi hỏi năng lượng cung cấp thấp, không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ, khả năng bảo mật cao... Vì vậy thông tin quang nói chung và kỹ thuật WDM nói riêng được xem là kỹ thuật cho hệ thống thông tin băng rộng; không chỉ đặc biệt phù hợp với các tuyến thông tin đường dài, trung kế mà còn có tiềm



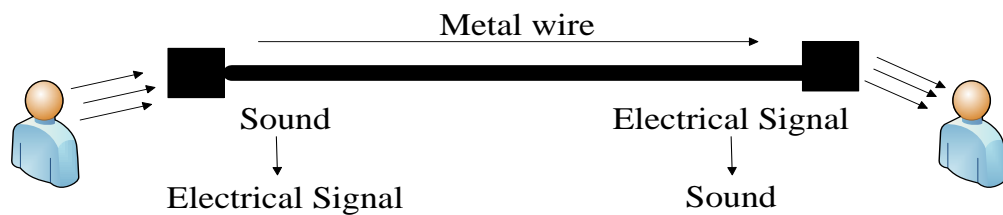
năng to lớn trong việc thực hiện các chức năng của mạng nội hạt và đáp ứng mọi loại hình dịch vụ hiện tại và trong tương lai.

Vì vậy việc nghiên cứu, xây dựng và phát triển hệ thống thông tin sợi quang là cần thiết cho nhu cầu phát triển thông tin trong tương lai. Trong chương này, chúng ta sẽ giới thiệu, tìm hiểu tổng quan hệ thống thông tin quang và kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM.

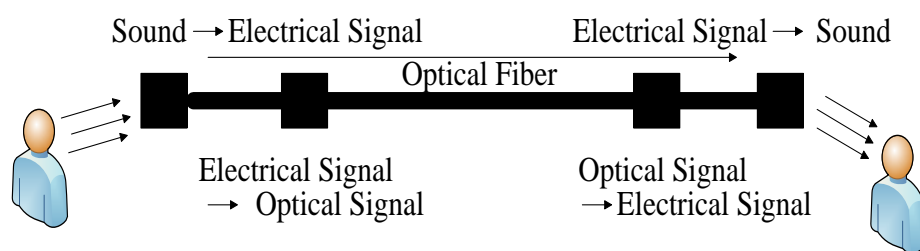
## 1.2. Giới thiệu thông tin quang

### 1.2.1. Định nghĩa

Khác với thông tin hữu tuyến hay vô tuyến – các loại thông tin sử dụng môi trường truyền dẫn tương ứng là dây dẫn và không gian như hình 1.2 – thì thông tin quang là hệ thống truyền tin qua sợi quang như hình 1.3. Điều đó có nghĩa là thông tin được chuyển thành ánh sáng và sau đó ánh sáng được truyền qua sợi quang. Tại nơi nhận, nó lại được biến đổi thành thông tin ban đầu.

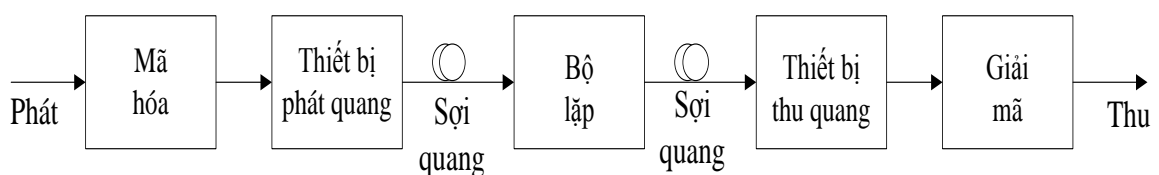


Hình 1.2. Thông tin hữu tuyến



Hình 1.3. Thông tin quang

### 1.2.2. Cấu trúc và các thành phần chính của hệ thống thông tin quang



Hình 1.4. Cấu trúc của hệ thống thông tin quang

Các thành phần của tuyến truyền dẫn quang bao gồm: phần phát quang, cáp sợi quang và phần thu quang.

➤ **Phần phát quang:** được cấu tạo từ nguồn phát tín hiệu quang và các mạch điều khiển liên kết với nhau. Phần tử phát xạ ánh sáng có thể là: Diode Laser (LD), Diode phát quang (LED). LED dùng phù hợp cho hệ thống thông tin quang có tốc độ không quá 200Mbps sử dụng sợi đa mode. LED phát xạ tự phát, ánh sáng không định hướng nên để sử dụng LED tốt trong hệ thống thông tin quang thì nó phải có công suất bức xạ cao, thời gian đáp ứng nhanh. LD khắc phục nhược điểm của LED, thường sử dụng LD cho truyền dẫn tốc độ cao. LD có nhiều ưu điểm hơn so với LED: phổ phát xạ của LD rất hẹp (khoảng từ 1 đến 4nm nên giảm được tán sắc chất liệu), góc phát quang hẹp ( $5-10^0$ ), hiệu suất ghép ánh sáng vào sợi cao.

➤ **Cáp sợi quang:** gồm các sợi dẫn quang và các lớp vỏ bọc xung quanh để bảo vệ khỏi tác động có hại từ môi trường bên ngoài. Có thể chọn các loại sợi sau: sợi quang đa mode chiết suất nhảy bậc, sợi quang đa mode chiết suất giảm dần, sợi quang đơn mode.

➤ **Phần thu quang:** do bộ tách sóng quang và các mạch khuếch đại, tái tạo tín hiệu hợp thành. Trong hệ thống thông tin quang, người ta quan tâm nhất đối với các bộ tách sóng quang là các diode quang PIN và diode quang kiểu thác APD được chế tạo từ các bán dẫn cơ bản Si, Ge, InP.

Ngoài các thành phần chủ yếu này, tuyến thông tin quang còn có các bộ nối quang, các mối hàn, các bộ chia quang và các trạm lặp. Tất cả tạo nên một tuyến thông tin hoàn chỉnh.

Tương tự như cáp đồng, cáp sợi quang được khai thác với điều kiện lắp đặt khác nhau, có thể được treo trên trời, chôn trực tiếp dưới đất hoặc đặt dưới biển,...tùy thuộc vào các điều kiện lắp đặt khác nhau mà độ chế tạo của cáp cũng khác nhau và các mối hàn sẽ kết nối các độ dài cáp thành độ dài tổng cộng của tuyến được lắp đặt. Tham số quan trọng nhất của cáp sợi quang tham gia quyết định độ dài tuyến là suy hao sợi quang theo bước sóng.

Nguồn phát quang ở thiết bị phát có thể sử dụng LED hoặc laser bán dẫn. Cả hai nguồn phát này đều phù hợp cho các hệ thống thông tin quang, với tín hiệu quang đầu ra có tham số biến đổi tương ứng với sự thay đổi của dòng điều biến. Bước sóng làm việc của nguồn phát quang cơ bản phụ thuộc vào vật liệu

chế tạo, đoạn sợi quang ra của nguồn phát quang phải phù hợp với sợi dẫn quang khai thác trên tuyến.

Tín hiệu ánh sáng đã được điều chế tại nguồn phát quang sẽ được lan truyền dọc theo sợi quang để tới phần thu quang. Khi truyền trên sợi dẫn quang, tín hiệu thường bị suy hao và méo do các yếu tố hấp thụ, tán xạ, tán sắc gây nên. Bộ tách sóng quang ở phần thu thực hiện tiếp nhận ánh sáng và tách lấy tín hiệu từ hướng phát tới. Tín hiệu quang được biến đổi trở lại thành tín hiệu điện. Các photodiode PIN và photodiode thác APD đều có thể sử dụng làm các bộ tách sóng quang trong các hệ thống thông tin quang. Đặc tính quan trọng nhất của thiết bị thu quang là độ nhạy thu quang.

Khi khoảng cách truyền dẫn khá dài, tới một cự ly nào đó, tín hiệu quang trong sợi bị suy hao khá nhiều thì cần thiết phải có các trạm lặp quang đặt trên tuyến. Những năm gần đây, các bộ khuếch đại quang đã được sử dụng để thay thế cho các thiết bị trạm lặp quang.

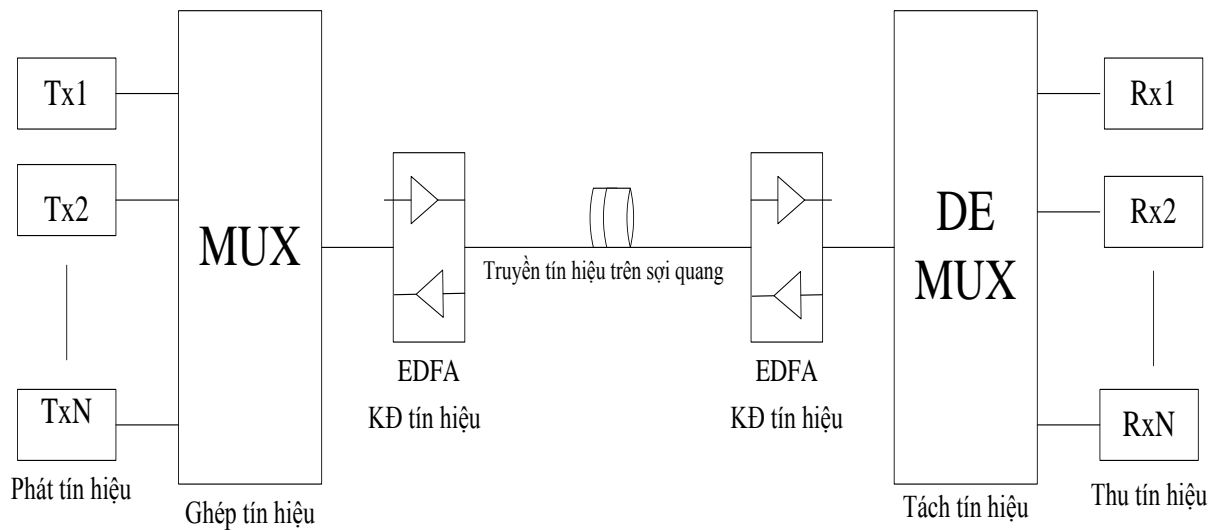
### **1.3. Giới thiệu Kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM**

#### **1.3.1. Định nghĩa**

Ghép kênh theo bước sóng WDM là công nghệ “Trong một sợi quang đồng thời truyền dẫn nhiều bước sóng tín hiệu quang”. Ở đầu phát nhiều tín hiệu quang có bước sóng khác nhau được tổ hợp lại “ghép kênh” để truyền đi trên một sợi quang. Ở đầu thu, tín hiệu tổ hợp đó được phân giải ra “tách kênh”, khôi phục lại tín hiệu gốc rồi đưa vào các đầu cuối khác nhau.

Hay nói cách khác, WDM cho phép ta tăng dung lượng kênh mà không cần tăng tốc độ bit của đường truyền và cũng không dùng thêm sợi dẫn quang. Thực tế có thể hiểu đơn giản là thay vì truyền một sóng quang trên một sợi quang, bây giờ ta ghép nhiều sóng quang có bước sóng khác nhau nhờ vào một MUX – multiplexing rồi truyền trên một sợi quang. Ở đầu bên kia ta dùng DEMUX – demultiplexing để tách các sóng ra khác nhau.

### 1.3.2. Sơ đồ khối tổng quát



**Hình 1.5. Sơ đồ chức năng hệ thống WDM**

➤ **Phát tín hiệu:** Trong hệ thống WDM, nguồn phát quang được dùng là laser. Hiện tại đã có một số loại nguồn như: laser điều chỉnh được bước sóng (Tunable Laser), Laser đa bước sóng... Yêu cầu đối với nguồn phát Laser là phải có độ rộng phổ hẹp, bước sóng phát ra ổn định, mức công suất phát định, bước sóng trung tâm, độ rộng phổ, độ rộng điều biến phải nằm trong giới hạn cho phép.

➤ **Ghép/tách tín hiệu:** Ghép tín hiệu WDM là sự kết hợp một số nguồn sáng khác nhau thành một luồng tín hiệu ánh sáng tổng hợp để truyền dẫn qua sợi quang. Tách tín hiệu WDM là sự phân chia luồng ánh sáng tổng hợp đó thành các tín hiệu ánh sáng riêng rẽ tại mỗi cổng đầu ra bộ tách. Hiện tại có rất nhiều bộ tách ghép như: bộ lọc màng mỏng điện môi, cách tử Bragg sợi, cách tử nhiễu xạ, linh kiện quang tổ hợp AWG, bộ lọc Fabry-Perot... Và khi đó ta cần xét đến các tham số như: khoảng cách giữa các kênh, tính đồng đều của kênh, suy hao xen, suy hao phản xạ Bragg, xuyên âm đầu vào đầu ra.

➤ **Truyền dẫn tín hiệu:** Quá trình truyền dẫn tín hiệu trong sợi quang chịu sự ảnh hưởng của nhiều yếu tố: suy hao sợi quang, tán sắc, các hiệu ứng phi tuyến, vấn đề liên quan đến khuếch đại tín hiệu.

Khuếch đại tín hiệu: hệ thống WDM hiện tại chủ yếu sử dụng bộ khuếch đại sợi quang EDFA. Tuy nhiên, bộ khuếch đại Raman hiện nay cũng đã được sử dụng trong thực tế. Có ba chế độ khuếch đại: khuếch đại công suất, khuếch

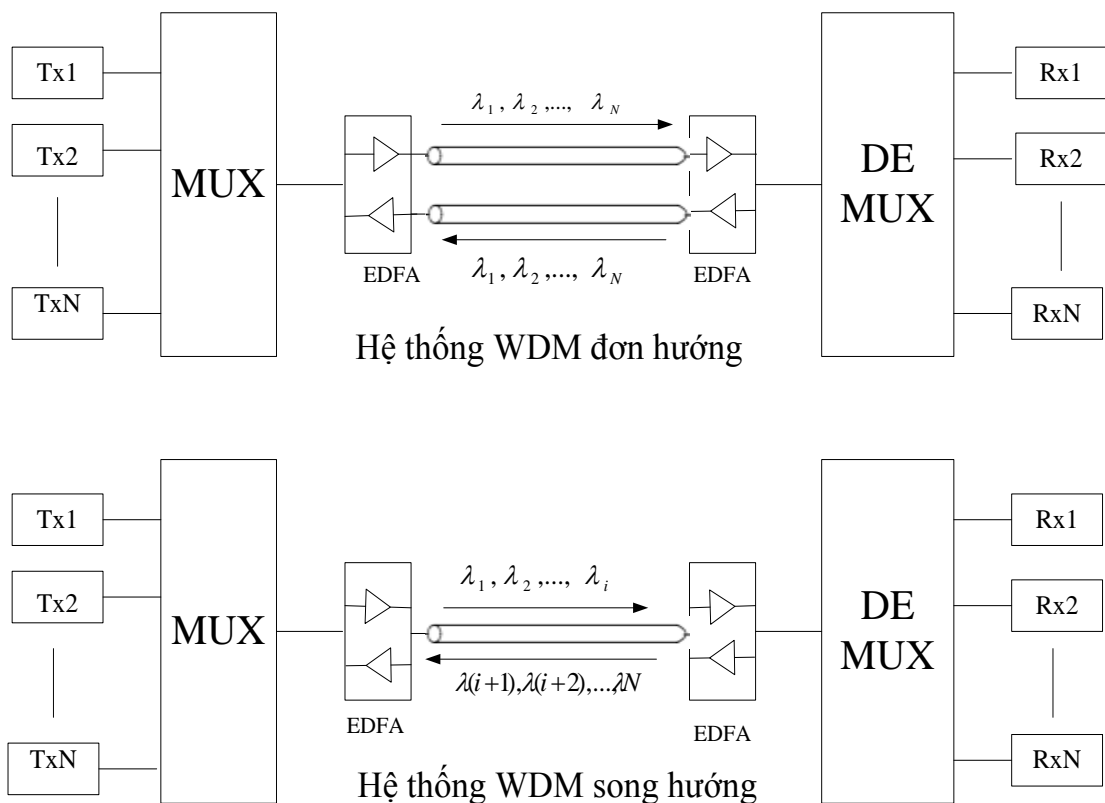
đại đường và tiền khuếch đại. Khi dùng bộ khuếch đại EDFA cho hệ thống WDM phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- ❖ Độ lớn khuếch đại đồng đều đối với tất cả các kênh của bước sóng (mức chênh lệch không quá 1dB).
- ❖ Sự thay đổi số lượng kênh bước sóng làm việc không được gây ảnh hưởng mức công suất đầu ra của các kênh.
- ❖ Có khả năng phát hiện sự chênh lệch mức công suất đầu vào để điều chỉnh lại các hệ số khuếch đại nhằm đảm bảo đặc tuyến khuếch đại là bằng phẳng đối với tất cả các kênh.

➤ **Thu tín hiệu:** Thu tín hiệu trong các hệ thống WDM cũng sử dụng các bộ tách sóng quang như trong hệ thống thông tin quang thường: PIN, APD.

### 1.3.3. Phân loại hệ thống WDM

Hệ thống WDM về cơ bản chia làm hai loại: hệ thống đơn hướng và hệ thống song hướng. Hệ thống đơn hướng chỉ truyền theo một hướng trên sợi quang. Do vậy, để truyền thông tin giữa hai điểm cần hai sợi quang. Hệ thống WDM song hướng, ngược lại truyền hai chiều trên một sợi quang lên chỉ cần một sợi quang để có thể trao đổi thông tin giữa hai điểm.



**Hình 1.6. Hệ thống ghép bước sóng đơn hướng và song hướng**

Cả hai hệ thống đều có ưu nhược điểm riêng: Giả sử rằng công nghệ hiện tại chỉ cho phép truyền  $N$  bước sóng trên một sợi quang, so sánh hai hệ thống ta thấy:

- Xét về dung lượng, hệ thống đơn hướng có khả năng cung cấp dung lượng cao gấp đôi so với hệ thống song hướng. Ngược lại, số sợi quang cần dùng gấp đôi so với hệ thống song hướng.
- Khi sự cố đứt cáp xảy ra, hệ thống song hướng không cần đến cơ chế chuyển mạch tự động APS (Automatic Protection Switching) vì cả hai đầu của liên kết đều có khả năng nhận biết sự cố một cách tức thời.
- Đứng về khía cạnh thiết kế mạng, hệ thống song hướng khó thiết kế hơn vì còn phải xét thêm các yếu tố như: vấn đề xuyên nhiễu do có nhiều bước sóng hơn trên một sợi quang, đảm bảo định tuyến và phân bố bước sóng sao cho cả hai chiều trên sợi quang không dùng chung một bước sóng.
- Các bộ khuếch đại trong hệ thống song hướng thường có cấu trúc phức tạp hơn trong hệ thống đơn hướng. Tuy nhiên, do số bước sóng khuếch đại trong hệ thống song hướng giảm  $\frac{1}{2}$  theo mỗi chiều nên ở hệ thống song hướng, các bộ khuếch đại sẽ cho công suất quang ngõ ra lớn hơn so với hệ thống đơn hướng.

#### **1.3.4. Ưu điểm và nhược điểm của công nghệ WDM**

Thực tế nghiên cứu và triển khai WDM đã rút ra được những ưu nhược điểm của công nghệ WDM như sau:

##### **► Ưu điểm của công nghệ WDM**

- ♦ Tăng băng thông truyền trên sợi quang với số lần tương ứng số bước sóng được ghép vào để truyền trên một sợi quang.
- ♦ Tính trong suốt: Do công nghệ WDM thuộc kiến trúc lớp mạng vật lý nên có thể hỗ trợ các định dạng số liệu và thoại như: ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, chuyển mạch kênh, IP,...
- ♦ Khả năng mở rộng: Những tiến bộ trong công nghệ WDM hứa hẹn tăng băng thông truyền trên sợi quang lên tới hàng Tbps, đáp ứng nhu cầu mở rộng mạng ở nhiều cấp độ khác nhau.
- ♦ Hiện tại chỉ có duy nhất công nghệ WDM là cho phép xây dựng mô hình mạng truyền tải quang OTN (Optical Transport Network) giúp truyền tải nhiều loại hình dịch vụ, quản lý mạng hiệu quả, định tuyến linh động,...

### ➤ **Nhược điểm của công nghệ WDM**

- ♦ Vẫn chưa khai thác hết băng tần hoạt động có thể của sợi quang (chỉ mới tận dụng được băng C và băng L). Thường bước sóng nằm trong khoảng từ 1269nm đến 167nm.
- ♦ Quá trình khai thác, bảo dưỡng phức tạp hơn gấp nhiều lần.
- ♦ Nếu hệ thống sợi quang đang sử dụng là sợi DSF – Dispersion Shifted Fiber theo chuẩn G.653 thì rất khó triển khai WDM vì xuất hiện hiện tượng trộn bước sóng khá gay gắt.

### **1.3.5. Vấn đề tồn tại của hệ thống WDM và hướng giải quyết trong tương lai**

Với hệ thống WDM, sợi quang cung cấp cho chúng ta tốc độ truyền mong muốn nhưng băng thông mang lại bị giới hạn bởi tốc độ xử lý ở các nút, do tốc độ xử lý ở các nút được thực hiện bằng điện tử, mà tốc độ điện tử lại thấp hơn rất nhiều so với tốc độ thông tin truyền trong sợi quang (khoảng vài Gbps). Như vậy, tín hiệu quang trên sợi khi đến nút sẽ được chuyển thành tín hiệu điện để thực hiện xử lý điện tử (sự chuyển đổi quang – điện O/E), sau đó được chuyển lại thành tín hiệu quang để truyền đi. Điều này đã làm giảm tốc độ mạng, giải pháp đặt ra là xây dựng mạng mà trong đó tín hiệu được xử lý hoàn toàn trong miền quang, gọi là mạng toàn quang.

Trong mạng toàn quang, dữ liệu đi từ nguồn đến đích hoàn toàn dưới dạng quang mà không cần bất cứ sự chuyển đổi quang - điện nào trên đường đi, việc điều khiển xử lý chuyển mạch cũng được thực hiện dưới dạng quang. Tuy nhiên, mạng toàn quang hiện tại vẫn chưa được tiến hành thành công bởi những tồn tại của nó. Các thiết bị logic hoàn toàn trong miền quang khó thực hiện hơn nhiều so với các thiết bị logic điện tử. Bởi vì, khác với các electron thì các photon không tương tác ảnh hưởng lẫn nhau, thường thì các thiết bị logic phức tạp đều được tạo ra bằng cách sử dụng công nghệ điện tử. Bên cạnh đó, các trạm lặp bằng quang cũng rất khó thực hiện hơn nhiều so với các trạm lặp điện tử mặc dù các trạm lặp trong mạng toàn quang được đặt ở những khoảng cách định kỳ rất xa nhau.

### **1.3.6. Chuyển mạch quang trong hệ thống WDM**

Hầu hết các thiết bị mạng ngày nay đều dựa trên tín hiệu điện, điều đó có nghĩa tín hiệu quang cần chuyển đổi sang tín hiệu điện để được khuếch đại, tái tạo hoặc chuyển mạch và sau đó được chuyển đổi trở lại tín hiệu quang. Điều này nói đến sự chuyển đổi optical-to-electronic-to-optical (O-E-O) và là công

việc cốt lõi hết sức có ý nghĩa trong việc truyền tín hiệu. Số lượng lớn tín hiệu đi qua mạng quang cần được chuyển mạch qua các điểm khác nhau, được gọi là các node. Thông tin đến node sẽ được chuyển về phía trước theo hướng đến nơi mà nó được gửi tới qua đường tốt nhất có thể, con đường này có thể xác định bởi các yếu tố như khoảng cách, chi phí, độ tin cậy, băng thông... của tuyến đó. Cách chuyển đổi tín hiệu để thực hiện chuyển mạch là để tách ánh sáng từ những đầu vào sợi quang, chuyển đổi nó sang tín hiệu điện và sau đó chuyển đổi trở lại tín hiệu ánh sáng laser, tín hiệu này được gửi đi trong sợi quang.

Vấn đề cơ bản của chuyển mạch quang là thay thế sự tồn tại của chuyển mạch mạng điện bằng mạng toàn quang, sự cần thiết của việc chuyển đổi O-E-O được loại bỏ. Những thuận lợi của khả năng này khi tránh được việc chuyển đổi O-E-O là điều hết sức ý nghĩa. Đầu tiên chuyển mạch quang có thể rẻ hơn bởi vì không cần nhiều tín hiệu điện tốc độ cao đắt tiền.

Các bộ chuyển mạch quang cho nhiều ứng dụng trong mạng quang. Một ứng dụng của chuyển mạch quang là cung cấp các lightpath. Với ứng dụng này, chuyển mạch được sử dụng bên trong bộ kết nối chéo nhằm cấu hình lại chúng để cung cấp các lightpath mới. Một phần mềm được thêm vào để quản lý mạng từ đầu cuối đến đầu cuối. Vì thế với ứng dụng này, các bộ chuyển mạch với thời gian chuyển mạch *ms* có thể chấp nhận, nhưng các bộ chuyển mạch ở đây đòi hỏi phải có kích thước lớn.

Một ứng dụng quan trọng khác là chuyển mạch bảo vệ. Ở đây các chuyển mạch được sử dụng để chuyển các luồng lưu lượng từ sợi chính sang sợi khác trong trường hợp sợi chính gặp sự cố. Toàn bộ hoạt động như thời gian tìm ra lỗi, thông tin lỗi đến các phần tử mạng điều khiển việc chuyển mạch và quá trình chuyển mạch thực sự đòi hỏi phải hoàn thành trong thời gian rất ngắn. Có thể có nhiều dạng chuyển mạch bảo vệ khác nhau, phụ thuộc vào phương pháp được sử dụng, số các cổng chuyển mạch cần thiết có thể thay đổi từ hàng trăm đến hàng nghìn cổng khi sử dụng trong các bộ kết nối chéo bước sóng.

### **1.3.7. Các thành phần chính của hệ thống WDM**

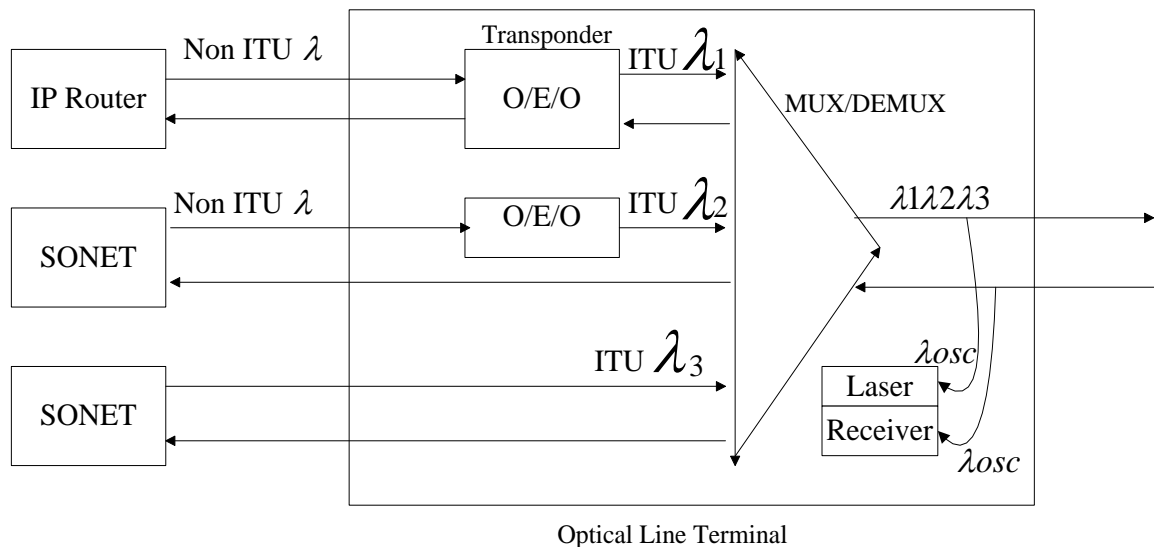
Cấu trúc của mạng WDM gồm có các thành phần: thiết bị đầu cuối OLT, các bộ ghép kênh xen/rót quang OADM, các bộ kết nối chéo quang OXC liên kết với nhau qua các kết nối sợi quang. Ngoài ra còn có bộ khuếch đại để bù suy hao trên đường truyền.



**a) Thiết bị đầu cuối OLT**

Thiết bị đầu cuối OLT (Optical Line Terminator) là thiết bị được dùng ở đầu cuối của một liên kết điểm nối điểm để ghép và phân kênh các bước sóng. Thiết bị đầu cuối gồm có ba phần tử: bộ tiếp sóng (transponder), bộ ghép kênh các bước sóng (wavelength multiplexer) và bộ khuếch đại (optical amplifier).

Bộ tiếp sóng làm nhiệm vụ thích ứng tín hiệu đi vào từ một người sử dụng mạng thành một tín hiệu phù hợp sử dụng trong mạng. Và ở hướng ngược lại nó làm thích ứng tín hiệu từ mạng quang thành tín hiệu phù hợp với người sử dụng. Giao diện giữa người sử dụng và bộ tiếp sóng có thể thay đổi dựa vào người sử dụng, tốc độ bit và khoảng cách hoặc suy hao giữa người dùng và bộ chuyển tiếp. Giao diện phổ biến nhất là giao diện SONET/SDH.



**Hình 1.7. Mô hình thiết bị đầu cuối OLT**

Sự thích ứng bao gồm nhiều chức năng, tín hiệu có thể được chuyển đổi thành bước sóng thích hợp hơn trong mạng quang, nó cũng có thể thêm vào các phần đầu header nhằm quản lý mạng. Bộ tiếp sóng cũng có thể giám sát tỷ lệ lỗi bit của tín hiệu ở điểm đi vào và đi ra trong mạng. Vì những lý do này nên bộ chuyển tiếp thực hiện chuyển đổi quang-điện-quang.

Tín hiệu ra khỏi bộ tiếp sóng được ghép kênh với các tín hiệu khác ở các bước sóng khác nhau sử dụng bộ ghép kênh theo bước sóng trên một sợi quang. Thêm vào đó bộ khuếch đại có thể được dùng để khuếch đại công suất lên nếu cần thiết trước khi chúng được đưa đến bộ phân kênh. Những bước sóng này lại

được kết thúc trong một bộ tiếp sóng nếu có hoặc kết thúc trực tiếp trong thiết bị người sử dụng.

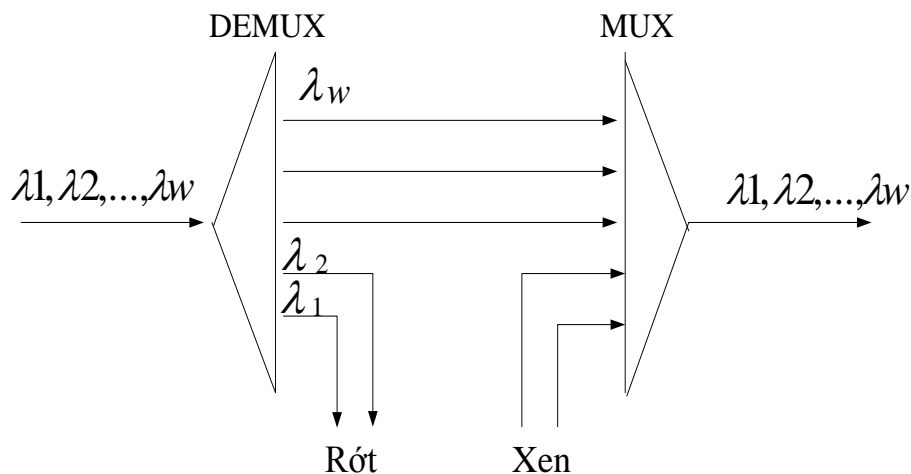
Cuối cùng OLT cũng kết thúc một kênh giám sát quang (OSC). OSC được mang bước sóng riêng lẻ, khác với các bước sóng mang lưu lượng thực sự. Nó dùng để giám sát việc thực hiện của các bộ khuếch đại dọc theo liên kết cũng như cho các chức năng quản lý khác.

**b) Bộ ghép kênh xen/rót quang OADM**

Bộ ghép kênh xen/rót quang cung cấp một phương tiện điều khiển lưu lượng trong mạng. OADM có thể được dùng ở các vị trí khuếch đại trong các mạng đường dài nhưng cũng có thể sử dụng ở những phần tử mạng độc lập.

Hiện nay có nhiều cấu trúc để cấu thành lên OADM đã được đưa ra, trong đó phần tử cơ bản vẫn là một hay nhiều bộ lọc. Một cách cơ bản có 3 cấu trúc OADM: cấu trúc song song, cấu trúc nối tiếp và cấu trúc xen/rót theo băng sóng.

➤ **Cấu trúc song song:**

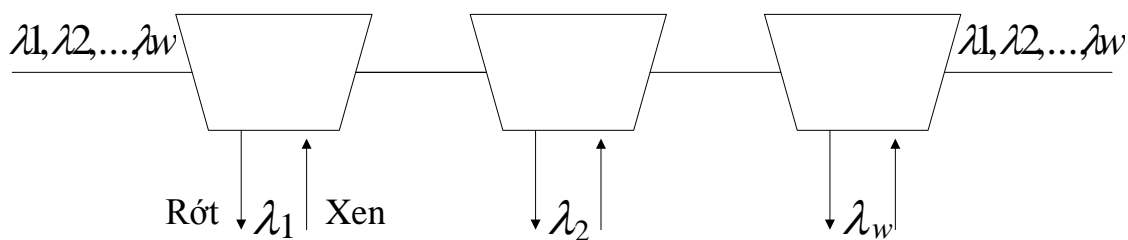


**Hình 1.8a. Kiến trúc OADM dạng song song.**

Trong cấu trúc song song, tất cả các kênh tín hiệu đều được giải ghép kênh. Sau đó một số kênh tùy ý được cấu hình rút, các kênh còn lại được cấu hình cho đi xuyên qua một cách thích hợp. Như vậy số kênh thực hiện xen/rót, cụ thể kênh nào thực hiện xen/rót là không cố định. OADM chế tạo theo cấu trúc song song sẽ không tạo ra nhiều ràng buộc khi thiết lập một đường quang giữa các nút trong mạng. Đồng thời, do OADM xử lý đối với tất cả các kênh bước sóng đi và suy hao thêm vào của tín hiệu khi đi qua OADM là cố định, không phụ thuộc vào số lượng kênh xen/rót tại điểm nút. Hơn nữa việc xem rút thêm các kênh không làm gián đoạn các kênh đang hoạt động. Tuy nhiên, so với

điều kiện thực tế, cấu trúc này không mang tính kinh tế do số lượng kênh xen/rót tại mỗi nút thường không đáng kể so với số lượng kênh truyền trên sợi quang.

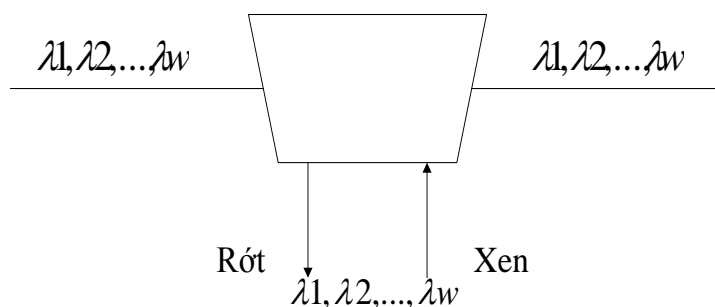
➤ **Cấu trúc nối tiếp:**



**Hình 1.8b. Kiến trúc OADM dạng nối tiếp**

Trong cấu trúc nối tiếp, một kênh đơn được thực hiện rút và xen từ tập hợp các kênh đi vào OADM. Người ta gọi thiết bị này là OADM kênh đơn SC-OADM. SC-OADM là yếu tố cơ bản nhất cấu thành nên hệ thống OADM hoàn chỉnh bằng cách ghép nối tiếp nhiều SC-OADM lại với nhau. Trên thực tế thiết bị kiểu này cho tính kinh tế cao hơn so với cấu trúc song song nhưng suy hao thêm vào lớn do mắc nối tiếp các SC-OADM theo nhiều chặng. Việc xen/rót các kênh mới sẽ làm gián đoạn các kênh khác. Do đó cần có kế hoạch phân bố bước sóng để hạn chế việc gián đoạn này.

➤ **Cấu trúc xen/rót theo băng sóng:**



**Hình 1.8c. Kiến trúc OADM dạng xen/rót theo băng sóng**

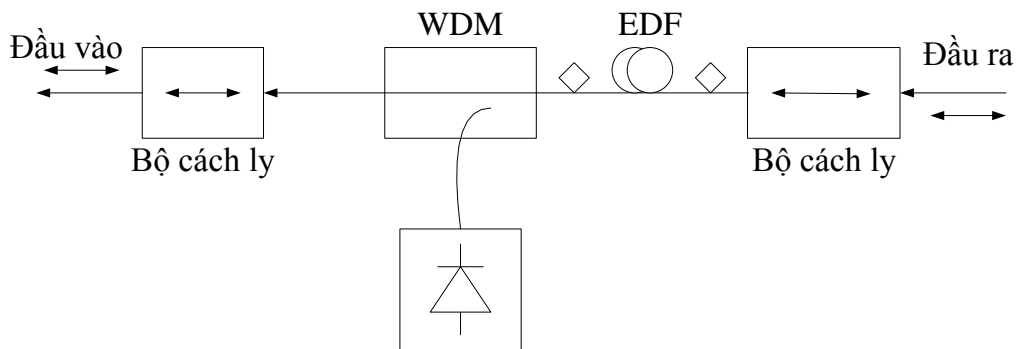
Trong cấu trúc này, một nhóm cố định kênh bước sóng được thực hiện xen/rót tại mỗi nút mạng OADM. Các kênh được thiết lập thực hiện xen/rót là các kênh liên tiếp nhau trong một băng sóng, sẽ được lọc bởi một bộ lọc có băng thông là các dải sóng,... Sau đó chúng được đưa lên mức ghép kênh quang cao hơn và từ đó giải ghép kênh thành các kênh bước sóng riêng lẻ. Đây là cấu trúc trung hòa giữa hai cấu trúc trên. Số lượng tối đa kênh bước sóng được xen/rót phụ thuộc vào băng thông của bộ lọc và nhà quản lý hệ thống trang thiết bị có bao nhiêu bộ chuyên đổi tín hiệu nút OADM. Tuy nhiên, số lượng các kênh

xen/rút là bao nhiêu cũng không ảnh hưởng đến quá trình tính toán các đường quang khác trong mạng và độ suy hao của tín hiệu khi đi qua OADM.

**c) Bộ khuếch đại quang**

Nhằm bù lại sự suy hao tín hiệu trên đường truyền sợi quang cũng như tại các thiết bị (như các bộ ghép kênh) thì các bộ khuếch đại được đặt giữa các kết nối sợi quang ở những khoảng cách định kỳ. Loại khuếch đại quang điển hình là bộ khuếch đại quang sợi EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier – khuếch đại quang sợi có pha tạp Erbium).

Bộ EDFA thực chất là sợi quang pha tạp có chức năng khuếch đại được tín hiệu ánh sáng, chúng có thể thay đổi các đặc tính vật lý của sợi theo nhiệt độ, áp suất và có tính chất bức xạ ánh sáng. Đặc điểm của sợi này là chúng có khả năng tự khuếch đại hoặc tái tạo tín hiệu khi có kích thích phù hợp.



**Hình 1.9. Bộ khuếch đại quang EDFA**

Theo hình vẽ thì ánh sáng bơm vào từ laser được kết hợp với tín hiệu vào nhờ sử dụng một bộ ghép WDM. Ánh sáng bơm này được truyền dọc theo sợi có pha Erbium và tín hiệu bơm này kích thích các ion Erbium lên mức năng lượng cao hơn. Sự dịch chuyển mức năng lượng của điện tử từ cao xuống thấp sẽ phát ra photon, được gọi là bức xạ tự phát nếu không có bất cứ tác động nào từ phía bên ngoài, còn gọi là bức xạ kích thích khi có mặt các photon chứa năng lượng bằng năng lượng dịch chuyển. Khi tín hiệu dữ liệu được truyền đến EDFA, tín hiệu dữ liệu này đến gặp các ion  $Er^{3+}$  đã được kích thích ở mức năng lượng cao. Quá trình này làm cho các ion nhảy từ trạng thái năng lượng cao xuống mức trạng thái năng lượng thấp nên phát ra photon, do đó sẽ khuếch đại công suất tín hiệu lên rồi truyền đi tiếp trong sợi quang.

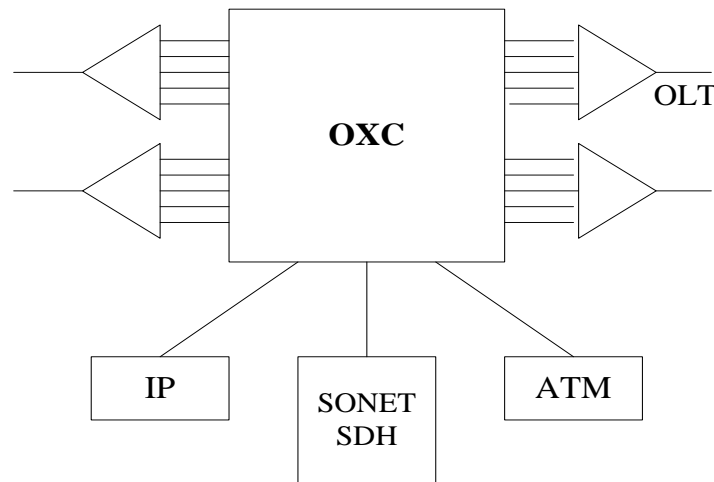
Thông thường, một bộ cách ly được dùng ở trước ngõ vào hoặc ngõ ra của bộ khuếch đại EDFA để ngăn cản sự phản xạ vào trong bộ khuếch đại này.

EDFA cho hệ số khuếch đại lớn, công suất ra lớn và nhiễu thấp, nó làm việc ở bước sóng  $1500nm$ . Trong các hệ thống thông tin quang, để cho các EDFA hoạt động thì cần có nguồn bơm. Các nguồn bơm thực tế là các diode laser bán dẫn công suất cao dùng để cung cấp nguồn ánh sáng cho EDFA.

**EDFA có các đặc điểm sau:**

- Không có mạch tái tạo thời gian, mạch phục hồi (bộ chuyển đổi O/E và E/O). Do đó mạch sẽ trở nên linh hoạt hơn.
- Công suất nguồn nuôi nhỏ nên khi áp dụng cho các tuyến thông tin vượt biên, cáp sẽ có cấu trúc nhỏ và nhẹ hơn cáp thường.
- Giá thành của hệ thống thấp do cấu trúc của EDFA đơn giản, trọng lượng nhỏ, khoảng lặp và dung lượng truyền dẫn được nâng cao.
- Ngoài ra do EDFA có khả năng khuếch đại nhiều bước sóng trong cùng một sợi nên nó có khả năng tăng dung lượng tốc độ lên đến 20Gbps hoặc cao hơn khi sử dụng kỹ thuật WDM.

**d) Bộ nối chéo quang OXC**



**Hình 1.10. Minh họa một mạng dùng OXC**

OXC cung cấp chức năng chuyển mạch và định tuyến để hỗ trợ các liên kết logic giữa hai node. Một OXC làm nhiệm vụ truyền thông tin trên mỗi bước sóng ở một đầu vào và nó có thể chuyển mạch đến một cổng ra riêng biệt. Một OXC với N cổng vào – N cổng ra mà các cổng này có khả năng xử lý W bước sóng trên mỗi cổng OXC (Optical Cross Connect) là thành phần chủ yếu để điều khiển các cấu trúc mắt lưới phức tạp và một số lượng lớn các bước sóng. OXC là thành phần mạng chính cho phép cấu hình lại mạng quang, mà ở đó các lightpath có thể thiết lập và kết thúc khi cần thiết mà không phải được cung cấp

cố định. OXC được cấu trúc với mạch tích hợp rất lớn và khả năng kết nối hàng ngàn đầu vào với hàng ngàn đầu ra tạo nên chức năng chuyển mạch và định tuyến. Trong thông tin quang, 40 kênh quang có thể được truyền đi trong một sợi đơn, OXC là thiết bị cần thiết để có thể tiếp nhận nhiều bước sóng khác nhau ở các đầu vào và định tuyến các bước sóng này đến các đầu ra thích hợp trong mạng. Như vậy có thể coi OXC là phần tử trung tâm của mạng.

## **CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN MẠNG IP/WDM**

### **2.1. Tổng quan mạng IP/WDM**

Mạng IP/WDM được thiết kế để truyền dẫn lưu lượng IP trong một mạng quang, cho phép WDM tận dụng tối đa khả năng kết nối IP và dung lượng băng thông cực lớn của WDM.

Kết hợp IP và WDM có nghĩa là, ở trong mặt phẳng dữ liệu ta có thể yêu cầu các tài nguyên mạng chuyển tiếp lưu lượng IP một cách hiệu quả; còn trong mặt phẳng điều khiển ta có thể xây dựng một mặt phẳng điều khiển đồng bộ. IP/WDM cũng đánh địa chỉ tất cả các mức trung gian của các mạng quang intra-, inter-WDM và các mạng IP.

#### **2.1.1. Lý do chọn IP/WDM**

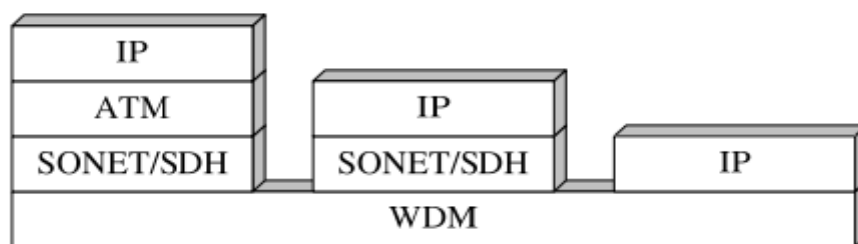
Giao thức Internet (IP) đã trở thành giao thức chuẩn phổ biến cho các dịch vụ mạng mới, do đó lưu lượng IP không ngừng tăng nhanh và dần thay thế các loại giao thức khác. Hằng năm, lưu lượng số tăng hơn lưu lượng thoại gấp  $2 \div 4$  lần. Đến năm 2009, lưu lượng số đã đạt đến gấp 30 lần lưu lượng thoại.

Trong khi IP được xem như công nghệ lớp mạng phổ biến thì công nghệ WDM cung cấp khả năng dung lượng truyền dẫn lớn. Hơn nữa, khả năng cấu hình mềm dẻo của các bộ nối chéo quang OXC (Optical Cross Connect) đã cho phép xây dựng mạng quang linh hoạt hơn, nhờ đó các đường quang (lightpath) có thể được thiết lập theo nhu cầu. Một trong những thách thức quan trọng đó là vấn đề điều khiển các lightpath này, tức là phát triển các cơ chế và thuật toán cho phép thiết lập các lightpath nhanh và cung cấp khả năng khôi phục khi có sự cố, trong khi vẫn đảm bảo được tính tương tác giữa các nhà cung cấp thiết bị.

Đã có nhiều phương pháp để cung cấp dịch vụ gói IP trên mạng WDM được đề nghị: IP/ATM/SDH over WDM, IP/SDH over WDM, v.v.v... Tuy nhiên việc quản lý mạng theo các phương pháp trên gặp không ít khó khăn. Nguyên nhân chủ yếu gây nên sự phức tạp trong quản lý chính là sự phân lớp theo truyền thống của các giao thức mạng. Các mạng truyền thống có rất nhiều lớp độc lập, do đó có nhiều chức năng chồng chéo nhau ở các lớp và thường xuyên có sự mâu thuẫn lẫn nhau. Vì vậy, một trong những giải pháp để giảm chi phí xây dựng và quản lý mạng một cách triệt để đó là giảm số lớp giao thức.

Hơn nữa, khi dung lượng và khả năng kết nối mạng trong cả công nghệ IP và WDM tăng lên thì càng cần thiết tối ưu mạng IP và bỏ qua tất cả các công nghệ lớp trung gian để tạo nên mạng Internet quang thật sự hiệu quả và mềm dẻo. Tuy nhiên, các lớp trung gian cũng cung cấp một số chức năng có giá trị như kỹ thuật lưu lượng (Traffic Engineering) và khôi phục. Những chức năng này cần phải được giữ lại trong mạng IP/WDM bằng cách đưa chúng lên lớp IP hoặc xuống lớp quang.

Từ đó người ta tiến hành nghiên cứu công nghệ IP over WDM. Đây là một công nghệ mới tuy rằng còn nhiều vấn đề chưa giải quyết nhưng với lợi ích của nó, thị trường rộng lớn và tương lai sáng sủa, các tổ chức viễn thông quốc tế đang triển khai công tác nghiên cứu công nghệ này. IP over WDM cung cấp khả năng truyền dẫn trực tiếp gói số liệu IP trên kênh quang, giảm sự trùng lặp chức năng giữa các lớp mạng, giảm bộ phận trung tâm dư thừa tại các lớp SDH/SONET, ATM; giảm thao tác thiết bị, dẫn đến giảm chi phí bảo dưỡng và quản lý. Do không phải qua lớp SDH và ATM nên gói số liệu có hiệu suất truyền dẫn cao nhất, đồng nghĩa với chi phí thấp nhất. Ngoài ra còn có thể phối hợp với đặc tính lưu lượng không đối xứng của IP, tận dụng băng tần nhằm giảm giá thành khai thác. Từ đó gián tiếp giảm chi phí cho thuê bao. Rõ ràng đây là một kết cấu mạng trực tiếp nhất, đơn giản nhất, kinh tế nhất, rất thích hợp sử dụng cho các mạng đường trục.



**Hình 2.1. Xu hướng tích hợp mạng Internet và quang.**

Một trong những thách thức lớn nhất ngày nay mà các nhà nghiên cứu chuyên mạch quang đó là việc phát triển các giao thức báo hiệu cho điều khiển động và hoạt động liên mạng của lớp quang. Dẫn đến phải có những chuẩn hóa riêng. Các tổ chức và diễn đàn quốc tế OIF (Optical Internetworking Forum), IETF và ITU đều đang nỗ lực gấp rút để thiết lập nên các phương pháp xác định việc điều khiển và kết nối giữa mạng WDM và IP.



## 2.1.2. Các thế hệ WDM

### *a) Thế hệ WDM thứ nhất*

Thế hệ WDM đầu tiên được sử dụng trong mạng WAN. Cấu hình mạng WAN/WDM được cài đặt nhân công hoặc cố định. Đường truyền WDM cung cấp các điểm kết nối điểm nối điểm với tốc độ thấp. Kỹ thuật chính trong WDM thế hệ đầu tiên là thiết kế và phát triển các Laser WDM, các kỹ thuật khuếch đại quang, các giao thức truy nhập và định tuyến tĩnh. Các thiết bị xen, rẽ bước sóng quang WADM cũng được sử dụng trong mạng MAN. Các thiết bị đầu nối chéo quang OXC được sử dụng để kết nối các vòng Ring WADM. Các kết nối này có thể là băng thông rộng hoặc băng thông hẹp. Ứng dụng của các hệ thống WDM thế hệ đầu tiên là các trung kế chuyên mạch cho tín hiệu thoại, các đường truyền E1, T1 (hiện nay vẫn còn rất nhiều ứng dụng trong viễn thông, đặc biệt là trong thông tin liên lạc).

### *b) Thế hệ WDM thứ hai*

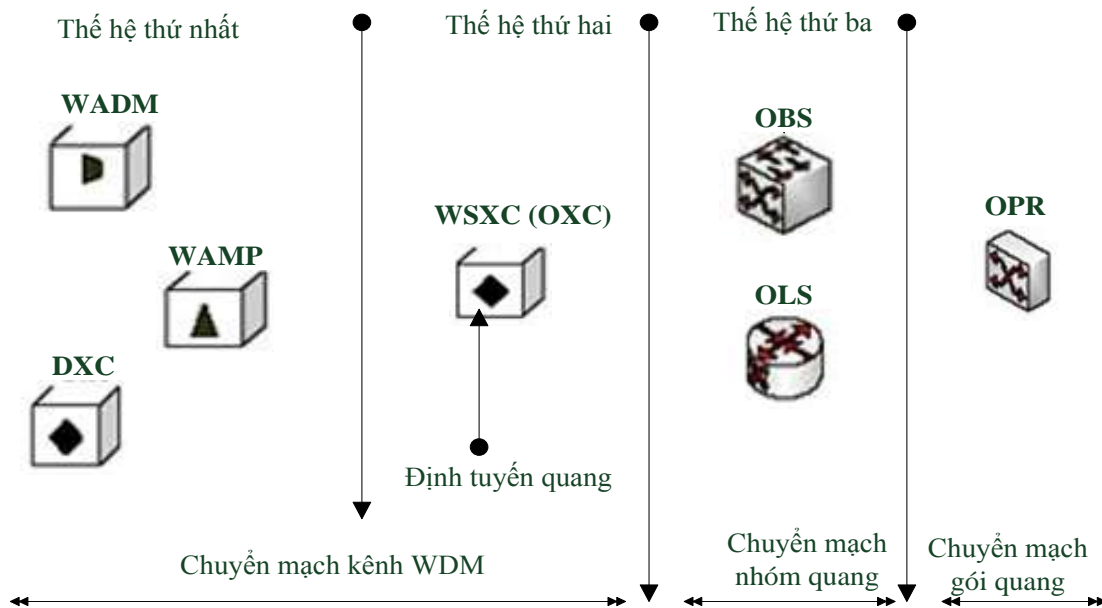
Thế hệ WDM thứ hai có khả năng thiết lập các kết nối từ đầu cuối đến đầu cuối trên lớp quang bằng cách sử dụng WXSC. Các đường quang này có cấu trúc (topology) ảo trên topology vật lý của cáp sợi quang. Cấu hình các bước sóng ảo này được cài đặt mềm dẻo hơn theo yêu cầu sử dụng. Kỹ thuật chính của thế hệ WDM thứ hai là xen, rẽ bước sóng quang, các thiết bị đầu nối chéo, bộ biến đổi bước sóng quang tại các bộ đầu nối chéo, định tuyến động và phân bố bước sóng quang, các giao diện để kết nối với các mạng khác.

### *c) Thế hệ WDM thứ ba*

Thế hệ WDM thứ ba phát triển theo hướng mạng chuyển mạch gói quang không có kết nối. Trong mạng này, các nhãn hoặc mào đầu quang được gắn kèm với số liệu, được truyền cùng với tải và được xử lý tại các bộ chuyển mạch quang WDM quang. Căn cứ vào tỷ số của thời gian xử lý gói tin mào đầu và thời gian xử lý toàn bộ gói tin, các bộ chuyển mạch quang WDM có thể chia thành hai loại: chuyển mạch nhãn (OLS) hoặc chuyển mạch nhóm (OBS). Một số ví dụ thiết bị WDM thế hệ ba là: bộ định tuyến (Router) quang chuyển mạch nhãn, Router quang Gigabit, chuyển mạch quang nhanh.

Khả năng kết hợp với nhau trong vận hành giữa mạng WDM và mạng IP là vấn đề trọng tâm trong mạng WDM thế hệ ba. Kết hợp định tuyến và phân bố bước sóng trên cơ sở chuyển mạch nhãn đa giao thức tổng quát (Generalized MPLS) thể hiện nhiều ưu điểm vượt trội. Nhiều kỹ thuật phần mềm quan trọng

như quản lý băng thông, đặt cấu hình, khôi phục, hỗ trợ chất lượng dịch vụ cũng đã được thực hiện.



*Hình 2.2. Mạng WDM qua các thế hệ.*

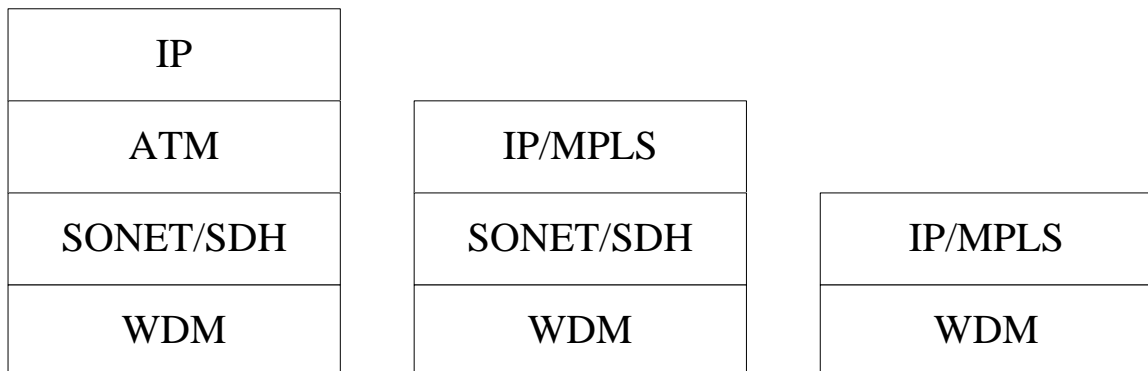
### 2.1.3. Các ưu điểm của mạng IP over WDM

- ✓ IP/WDM thừa kế tất cả sự mềm dẻo và khả năng tương thích của giao thức điều khiển IP.
- ✓ IP/WDM thay đổi băng thông động theo yêu cầu trong mạng cáp quang (Cung cấp các dịch vụ đáp ứng thời gian thực).
- ✓ Cùng với sự hỗ trợ giao thức IP, IP/WDM sẽ đáp ứng được sự cùng hoạt động với nhau, cung cấp dịch vụ các nhà cung cấp thiết bị, dịch vụ.
- ✓ IP/WDM có thể thực hiện khôi phục động bằng kỹ thuật điều khiển phân phối trong mạng (đây chính là kỹ thuật lưu lượng trong mạng IP/WDM mà chúng ta sẽ nghiên cứu cụ thể trong chương tiếp theo).
- ✓ Đứng trên quan điểm dịch vụ, mạng IP/WDM có các ưu điểm về quản lý chất lượng, các chính sách và các kỹ thuật dự kiến sẽ sử dụng và phát triển trong mạng IP.

### 2.1.4. Các giải pháp phát triển mạng IP over WDM

Mạng IP/WDM được thiết kế truyền lưu lượng IP trong mạng cáp quang để khai thác tối đa ưu điểm về khả năng đầu nối đa năng đối với mạng IP và dung lượng băng thông rộng của mạng WDM.

Hình 2.3 mô tả ba giải pháp IP over WDM là: Truyền IP trên ATM (IP over ATM), IP/MPLS over SONET/SDH và WDM, và IP/WDM sử dụng IP/MPLS trên WDM.



**Hình 2.3. Ba giải pháp IP over WDM (Mặt phẳng số liệu)**

**a) Giải pháp truyền IP trên ATM (IP over ATM)**

Giải pháp thứ nhất là truyền IP trên ATM (IP over ATM), sau đó trên SONET/SDH và mạng quang WDM. Đối với giải pháp này, WDM được sử dụng như công nghệ truyền song công trên lớp vật lý. Ưu điểm của giải pháp này là sử dụng ATM có khả năng truyền nhiều loại tín hiệu khác nhau trong cùng đường truyền với yêu cầu chất lượng dịch vụ khác nhau. Một ưu điểm khác khi sử dụng ATM là tính mềm dẻo khi cung cấp dịch vụ mạng. Tuy nhiên, giải pháp này rất phức tạp, quản lý và điều khiển IP over ATM phức tạp hơn so với quản lý và điều khiển IP qua mạng thuê riêng (IP – Leased line).

ATM sử dụng công nghệ chuyển mạch tế bào. Tế bào ATM có độ dài cố định 53 byte, trong đó có 5 byte mào đầu và 48 byte số liệu. Số liệu được gói hóa thành các tế bào để truyền và tái hợp ở đích. Lớp phụ (Sublayer) ATM SAR (Phân mảnh và tái hợp) thực hiện chức năng đóng gói này. Từ byte 48 trở lên thực hiện SAR rất khó khăn. Lớp ATM ở giữa lớp IP và WDM dường như không cần thiết. Quan điểm này được khẳng định bằng kỹ thuật MPLS của lớp IP. Các đặc điểm chính của MPLS là:

- Sử dụng nhãn đơn giản, có độ dài cố định để nhận dạng đường dẫn (flows/paths).
- Tách biệt đường điều khiển và đường truyền số liệu, đường điều khiển được sử dụng để khởi tạo đường dẫn, các gói tin được chuyển tới các nút mạng (hop) kế tiếp theo nhãn trong bảng chuyển tiếp.

- Nhãn đơn giản và duy nhất, mào đầu IP được xử lý và kiểm tra tại biên của mạng MPLS, sau đó các gói tin MPLS được chuyển tiếp dựa vào nhãn (thay vì phân tích mào đầu gói tin IP).

- MPLS cung cấp đa dịch vụ. Ví dụ, mạng riêng ảo VPN được thiết lập bởi MPLS có mức ưu tiên được xác định bởi nhóm chuyển tiếp tương đương (FEC).

- Phân loại các gói tin dựa theo quy luật, các gói tin được tập hợp vào nhóm chuyển tiếp tương đương dựa vào nhãn. Sắp xếp các gói tin vào FEC được thực hiện tại biên, ví dụ dựa theo nhóm của dịch vụ hoặc địa chỉ đích trong mào đầu gói tin.

- Cung cấp khả năng điều khiển lưu lượng, nhờ đó có thể sử dụng để cân bằng tải bằng cách giám sát lưu lượng và điều khiển luồng trực tiếp hoặc theo tiến trình định trước. Trong mạng IP hiện tại, kỹ thuật điều khiển lưu lượng rất khó khăn định trước. Trong mạng IP hiện tại, kỹ thuật điều khiển lưu lượng rất khó khăn nếu không muốn nói là không thể thực hiện được bởi vì định tuyến lại không hiệu quả bằng điều chỉnh định tuyến gián tiếp và nó có thể là nguyên nhân gây tắc nghẽn tại một nơi khác trong mạng. MPLS cung cấp định tuyến nguồn (explicit path routing). Vì vậy nó có tính hội tụ cao và có khả năng chuyển tiếp theo nhóm. Ngoài ra, MPLS còn có một số công cụ khác như tạo kênh an toàn (Tunneling), ngăn ngừa, tránh vòng lặp (Loop), hợp nhất các luồng để điều khiển lưu lượng.

### ***b) Giải pháp IP/ MPLS over SONET/SDH và WDM***

Giải pháp thứ hai là IP/MPLS over SONET/SDH và WDM. SONET/SDH có một số ưu điểm sau:

Thứ nhất, SONET/SDH có cấu trúc tách ghép tín hiệu quang tiêu chuẩn, nhờ đó tín hiệu tốc độ thấp có thể ghép, tách thành tín hiệu có tốc độ cao.

Thứ hai, SONET/SDH cung cấp khung truyền chuẩn.

Thứ ba, mạng SONET/SDH có khả năng bảo vệ, khôi phục, nhờ đó tín hiệu được truyền trong suốt tới lớp cao hơn (như lớp IP).

Mạng SONET/SDH thường sử dụng cấu hình mạng vòng (Ring). Một số cấu hình bảo vệ có thể sử dụng là:

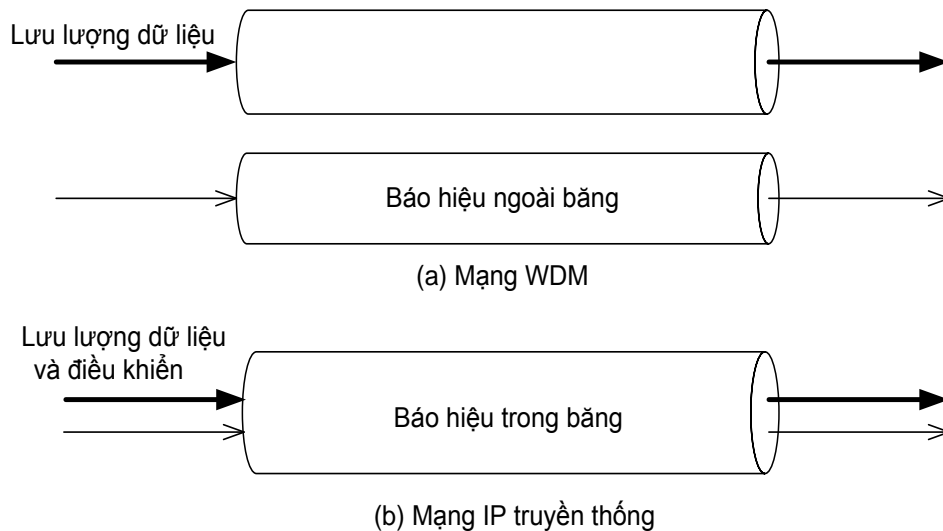
- Cấu hình 1+1 có nghĩa là số liệu được truyền trên hai đường trong hai hướng ngược chiều nhau, tín hiệu có chất lượng tốt hơn sẽ được chọn ở đích.
- Cấu hình 1:1 có nghĩa là đường dự phòng tách biệt đối với đường hoạt động.
- Cấu hình  $n:1$  có nghĩa là  $n$  đường hoạt động sử dụng chung một đường dự phòng.

Khai thác, quản lý, bảo dưỡng OAM&P là tính năng nổi bật của mạng SONET/SDH để truyền cảnh báo, điều khiển, các thông tin về chất lượng ở cả mức hệ thống và mức mạng. Tuy nhiên SONET/SDH mang số lượng thông tin mào đầu đáng kể, thông tin mào đầu này được mã hóa ở nhiều mức. Mào đầu đoạn POH được truyền từ đầu cuối tới đầu cuối. mào đầu đường LOH được sử dụng cho tín hiệu giữa các thiết bị đầu cuối như các bộ phận tách ghép kênh OC- $n$  (STM- $n$ ). Mào đầu nhân đoạn SOH được sử dụng để thông tin giữa các phần tử mạng lân cận như các bộ lặp. Đối với tín hiệu OC-1 có tốc độ truyền 51.84Mb/s, tải của nó là đường truyền DS-3 chỉ có tốc độ 44.736Mb/s.

### ***c) IP/WDM sử dụng IP/MPLS trên WDM***

Giải pháp thứ ba IP/WDM sử dụng IP/MPLS trên WDM. Đây là giải pháp hiệu quả nhất trong ba giải pháp. Tuy nhiên nó yêu cầu lớp IP phải kiểm tra đường bảo vệ và khôi phục. Nó cũng cần dạng khung đơn giản để xử lý lỗi đường truyền. Có nhiều dạng khung IP over WDM. Một số hãng trên thế giới đã phát triển tiêu chuẩn khung mới như Slim SONET/SDH. Dạng khung này có chức năng tương tự như SONET/SDH nhưng với kỹ thuật mới hơn khi thay thế mào đầu và tương thích kích thước khung với kích thước gói. Một ví dụ khác là thực hiện dạng khung Gigabit Ethernet. 10 Gigabit Ethernet được thiết kế đặc biệt cho hệ thống ghép bước sóng quang mật độ cao DWDM. Sử dụng dạng khung Ethernet, kết nối Ethernet không cần thiết phải ghép tín hiệu sang dạng giao thức khác (như ATM) để truyền dẫn.

Mạng IP truyền thống sử dụng báo hiệu trong băng (In band), trong phương thức báo hiệu này lưu lượng dữ liệu và lưu lượng điều khiển được truyền cùng nhau trên cùng đường nối. Mạng quang WDM có mạng truyền số liệu riêng cho bản tin điều khiển. Vì vậy, nó sử dụng báo hiệu ngoài băng (Out of band) như trên hình 2.3.



**Hình 2.3. Báo hiệu trong băng và báo hiệu ngoài băng**

Trong mặt phẳng điều khiển, IP over WDM có thể cung cấp nhiều kiểu kiến trúc mạng. Kiến trúc mạng được lựa chọn phụ thuộc vào mạng hiện tại, người quản lý và người sở hữu.

### **2.1.5. Các chuẩn của mạng IP/WDM**

Hai tổ chức đưa ra tiêu chuẩn IP/WDM là nhóm đặc trách kỹ thuật Internet IETF (Internet Engineering Task Force) ([www.ietf.org](http://www.ietf.org)) và nhóm tiêu chuẩn hóa viễn thông, Tổ chức viễn thông quốc tế ITU-T (International Telecommunication Union).

Các nhà kỹ thuật làm việc theo nhóm, mỗi nhóm giải quyết một lĩnh vực. Nhóm giải quyết lĩnh vực IP/WDM thuộc IETF nghiên cứu các vấn đề sau:

- ❖ MPLS/MP $\lambda$ S (Chuyển mạch bước sóng đa giao thức)/ GMPLS (Generalized MPLS).
- ❖ Chức năng lớp 2 và lớp 3 trong mạng quang.
- ❖ Các tiêu chuẩn kết nối mạng NNI quang (Network to Network Interface).

Nhóm giải quyết lĩnh vực IP/WDM thuộc ITU-T nghiên cứu các vấn đề: Đặc điểm lớp 1 trong mô hình OSI, Kiến trúc và các giao thức mạng quang thế hệ sau (OTN), Kiến trúc của mạng quang chuyển mạch tự động.

Với các ưu điểm của mạng quang này, ngày 20/04/1998, Cisco Systems và Ciena Corporation đưa ra diễn đàn kết nối mạng quang (Optical Internetworking Forum – OIF) ([www.oiforum.org](http://www.oiforum.org)). Đây là diễn đàn mở, quan tâm đến việc thúc đẩy nhanh việc triển khai mạng Internet quang. Các thành viên của diễn đàn là: AT&T, Bellcore (Nay là Telcordia Technologies), Ciena

Corporation, Cisco Systems, Hewlett-packard, Qwest, Sprint và Worldcom (Nay là MCI Worldcom). OIF là nơi gặp gỡ của các nhà sản xuất thiết bị, người sử dụng, người cung cấp dịch vụ cùng nhau đưa ra các giải pháp và các vấn đề khác nhau để đảm bảo sự cùng hoạt động của các mạng quang. Hiện tại, có 5 nhóm làm việc trong OIF: Kiến trúc (Architecture), truyền dẫn (Carrier), khai thác, bảo dưỡng (OAM&P), lớp vật lý và kết nối (Physical and link layer), báo hiệu (Signalling). OIF đang triển khai các công việc thuộc lĩnh vực: Giao diện quang với người sử dụng (Optical UNI – User to Network Interface), Giao diện quang giữa các mạng (Optical NNI – Network to Network Interface).

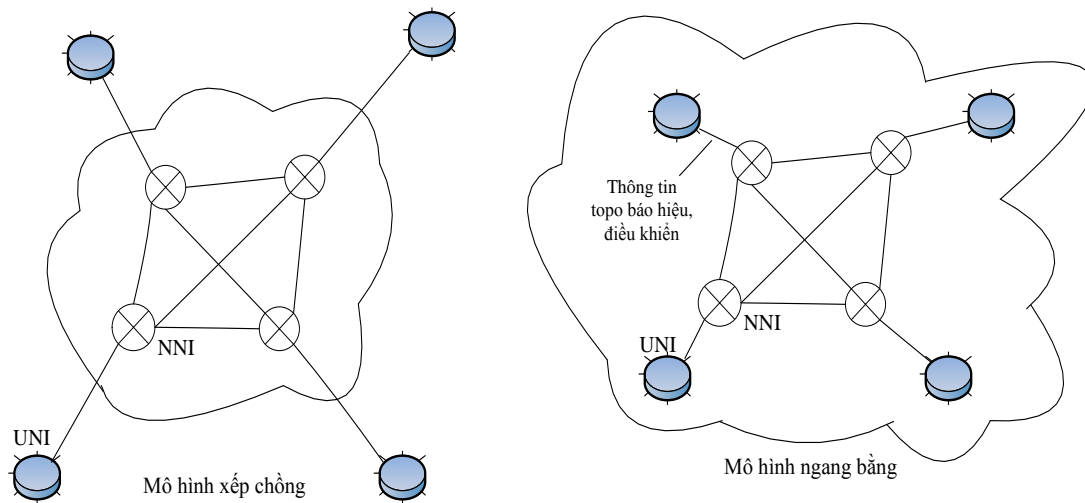
### **2.1.6. Các mô hình liên mạng IP/WDM**

Hiện nay có hai xu hướng xây dựng mô hình tích hợp liên mạng IP/WDM. Đó là mô hình xếp chồng (Overlay) hay còn gọi là mô hình khách – chủ (Client-Server), tức là đặt toàn bộ sự điều khiển cho lớp quang ở chính lớp quang. Xu hướng thứ hai là mô hình ngang hàng (Peer), tức là dịch chuyển một phần điều khiển lên bộ định tuyến IP.

Hình 2.4 minh họa hai mô hình tích hợp IP vào mạng WDM đang được các tổ chức chuẩn hóa theo dõi. Mô hình ngang hàng dựa trên giả thiết là việc điều khiển ở lớp quang được chuyển sang thực hiện ở lớp IP. Mô hình này xem xét kiến trúc mạng dưới quan điểm “định tuyến gói”. Trong khi đó mô hình xếp chồng dựa trên giả thiết điều khiển lớp quang là độc lập và lớp quang tạo nên một nền mở cho kết nối động của nhiều loại tín hiệu khác nhau bao gồm cả IP. Mô hình này xem xét kiến trúc mạng trên quan điểm “chuyển mạch kênh”.

Cả hai mô hình đều giả định phát triển mạng quang thế hệ sau có topology dạng mắt lưới với nền điều khiển IP dựa trên chuyển mạch nhãn đa giao thức MPLS. Ứng dụng cụ thể của MPLS cho mô hình xếp chồng còn gọi là chuyển mạch đa giao thức tổng quát GMPLS. Kiến trúc điều khiển GMPLS cung cấp một tập các giao thức đơn giản, hoàn thiện tương thích với mạng IP đáp ứng cho mạng thế hệ sau. Quá trình điều khiển thống nhất xuyên suốt các lớp số liệu và quang sẽ đơn giản quá trình quản lý mạng có nhiều lớp và cải thiện hiệu quả sử dụng tài nguyên thông qua kỹ thuật lưu lượng giữa các lớp. Trong bối cảnh này, các giao thức định tuyến IP làm đòn bẩy cho việc nhận biết topology mạng và các giao thức báo hiệu MPLS được sử dụng cho thiết lập tự động. Ngoài ra, sử dụng các giao thức này cho điều khiển lớp quang sẽ giúp các nhà sản xuất thiết bị đảm bảo tính tương thích nhờ có các tiêu chuẩn rất phổ biến. Do vậy xu hướng chung

là sử dụng IP cho cả ba mặt phẳng chức năng của mạng: dữ liệu, điều khiển và quản lý.



**Hình 2.4. Hai cấu trúc tích hợp mạng quang**

Mặc dù các mô hình tích hợp đều sử dụng kiến trúc theo kiểu IP, nhưng chúng quản lý các ứng dụng khác nhau. Chẳng hạn, mặt phẳng điều khiển quang sẽ điều khiển quá trình thiết lập bước sóng quang động nhờ các Router ở biên được nối với mạng quang. Khi tại Router xảy ra tắc nghẽn thì hệ thống quản lý mạng hay chính Router sẽ yêu cầu thiết lập luồng quang động. Sau đó các chuyên mạch quang sẽ tạo kênh quang mới để đáp ứng nhu cầu của Router. Vì vậy, thiết lập bước sóng động có thể thích nghi được với nhu cầu lưu lượng.

Với mô hình xếp chồng thì cho phép mỗi Router giao tiếp trực tiếp với mạng thông qua giao diện UNI. Giao diện giữa các mạng con được thực hiện thông qua giao diện NNI. Mô hình giao diện UNI tương tự như mô hình trong mạng chuyển mạch kênh truyền thống như mạng ISDN. Trong mô hình này, mỗi mạng con sẽ tiến triển độc lập, nhờ đó cho phép các nhà khai thác mạng đưa các công nghệ mới mà không bị gánh nặng của các công nghệ cũ. Các nhà khai thác còn có thể đáp ứng được các cơ sở hạ tầng kế thừa hiện có. Quan trọng hơn là các nhà khai thác có thể tìm thấy được trong môi trường mạng quang nhiều nhà cung cấp, nó cho phép thực hiện được tính tương thích trong tương lai gần nhờ các giao diện UNI và NNI.

Với mô hình ngang hàng cũng hỗ trợ cho thiết lập luồng động bằng cách sử dụng các luồng đầu cuối ở biên mạng quang và cho phép quản lý chúng từ xa. Mô hình ngang hàng giả định rằng các Router điều khiển lớp mạng quang. Mọi quan hệ giữa IP Router và OXC là bình đẳng về mặt điều khiển. Vì vậy về mặt



báo hiệu và định tuyến sẽ không có sự phân biệt nào giữa UNI, NNI và giao diện giữa các Router. Trong mô hình này cần một khối lượng lớn thông tin trạng thái và điều khiển chuyển qua lại giữa lớp IP và quang. Do đó sẽ khó hơn cho việc kết nối trong môi trường có nhiều nhà khai thác so với mô hình xếp chồng.

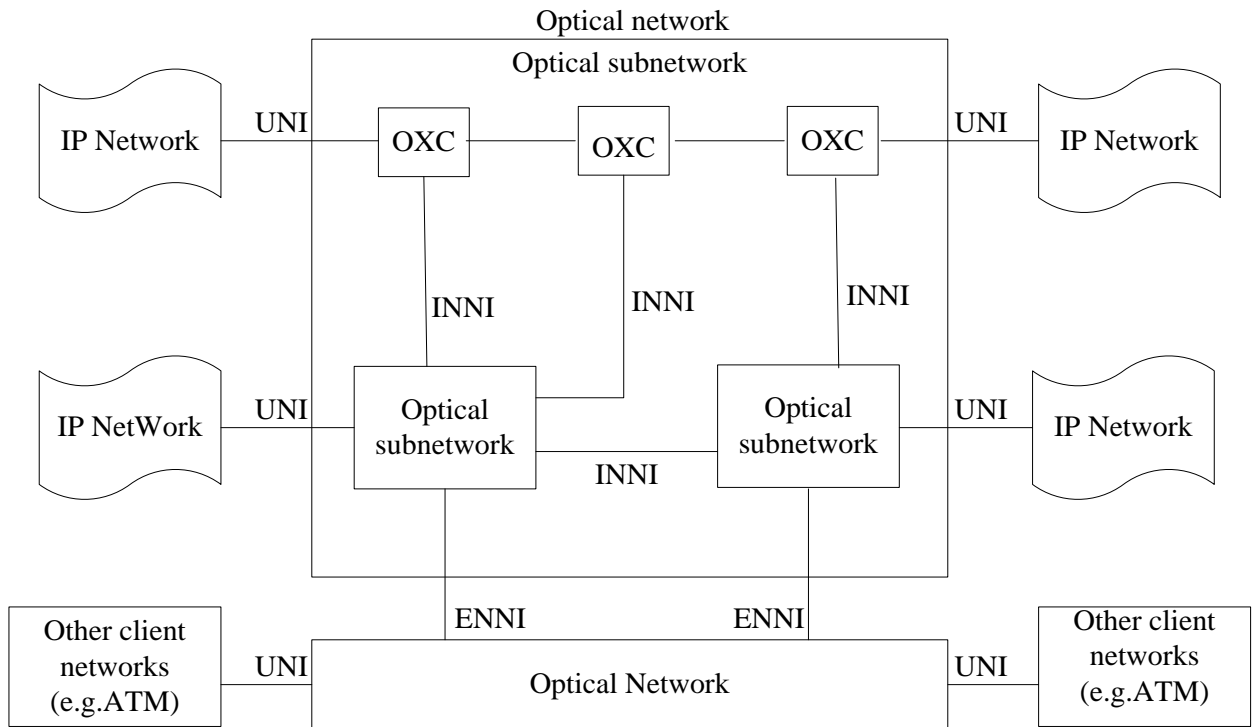
Mỗi mô hình có ưu điểm riêng, đặc biệt mô hình xếp chồng có ưu điểm nổi trội là khả năng tương thích dễ dàng. Về kiến trúc thì mô hình xếp chồng trực tiếp và đơn giản hơn. Với kiến trúc ngang hàng cần có thêm các thông tin giữa lớp IP và quang để quản lý các luồng đầu cuối chuyển lên luồng quang. Khối lượng lớn thông tin trạng thái và điều khiển này bao gồm sự truyền thông trực tiếp giữa các Router biên của mạng quang và sự truyền thông tin trong bản thân mạng quang.

Mô hình xếp chồng cho phép đổi mới tại lớp quang độc lập với lớp IP trong khi vẫn cung cấp khả năng kết nối tương thích cần thiết cho các dịch vụ nhanh mà vẫn duy trì tính toàn vẹn thông tin của nhà khai thác mạng quang. Tuy nhiên, mô hình ngang hàng cho phép tích hợp hoàn toàn IP/quang tạo nên mạng Internet quang thống nhất. Do đó việc sử dụng và quản lý mạng trở nên hiệu quả hơn, phù hợp với các ISP hơn. Ngoài ra mô hình ngang hàng gần hơn với xu hướng chuyển mạch gói quang trong tương lai.

## **2.2. Tổng quan cấu trúc mạng IP/WDM**

### **2.2.1. Kiến trúc tổng quát mạng IP/WDM**

Kiến trúc tổng quát của các mạng quang IP over WDM (Internet quang) được mô tả như hình 2.5. Hình 2.5 thể hiện nhiều mạng quang tồn tại trong miền quang, trong đó giao diện ENNI (External Network-to-Network Interface) được sử dụng để báo hiệu giữa các mạng quang với nhau. Một mạng quang riêng lẻ bao gồm các mạng quang nhỏ hơn và báo hiệu giữa chúng sử dụng giao diện INNI (Internal Network-to-Network Interface). Và một mạng quang nhỏ hơn đó gồm nhiều nút mạng quang (các bộ OXC) được nối với nhau bởi sợi quang. Các mạng khách hàng như IP, ATM, SONET giao tiếp với mạng quang thông qua giao diện UNI (User-to-Network Interface). Các kỹ thuật chuyển mạch quang quyết định loại dịch vụ mà mạng quang có thể cung cấp cho các mạng khách hàng.



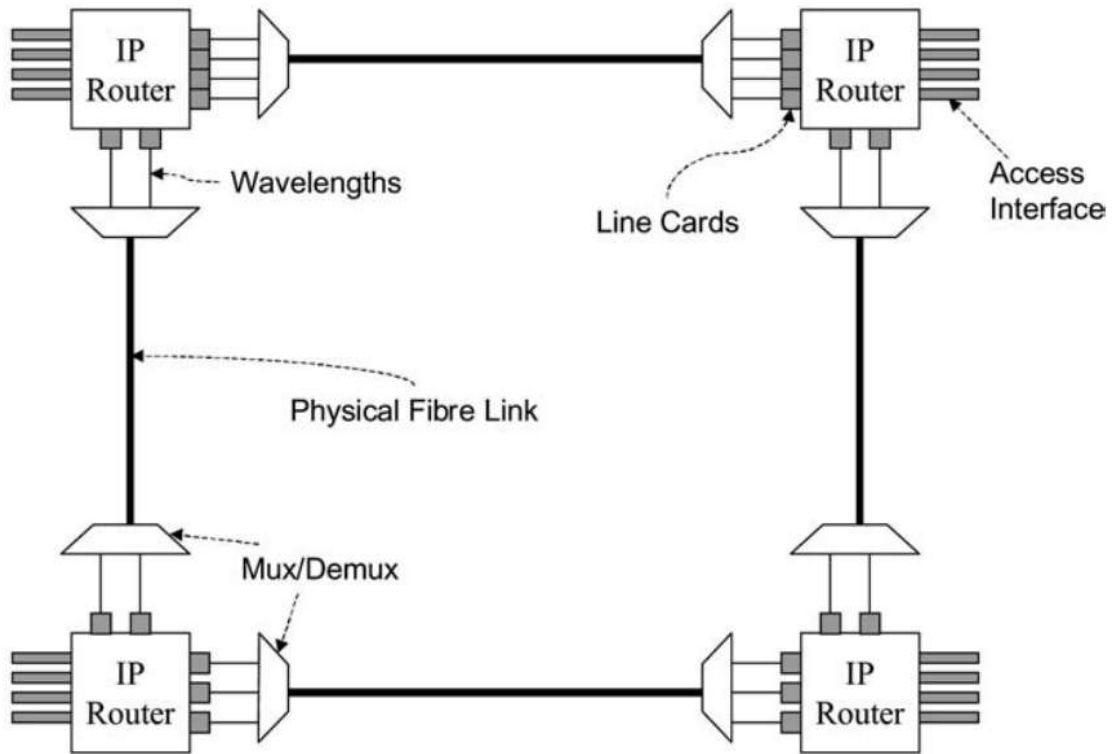
**Hình 2.5. Kiến trúc tổng quát của mạng IP over WDM**

### 2.2.2. Các kiểu kiến trúc của mạng IP/WDM

Như ta đã biết IP đã trở thành một lớp không thể thiếu trong các máy tính và mạng truyền thông. Nhiệm vụ quan trọng là tìm ra kết quả của việc truyền tải lưu lượng IP trong mạng IP/WDM.

#### a) IP over point-to-point WDM

Theo kiểu kiến trúc này, mạng WDM cho phép liên kết quang điểm – điểm được sử dụng để cung cấp, phục vụ cho việc truyền tải lưu lượng IP. Các thiết bị của mạng WDM như OADM không tạo thành một mạng lưới riêng. Thay vào đó, họ cung cấp một lớp liên kết vật lý giữa các bộ định tuyến IP. SONET có thể sử dụng làm khung truyền trên các kênh WDM. Các gói tin IP được đóng gói trong khung SONET sử dụng hệ thống Packet-over-SONET. Nhiều bộ định tuyến IP và các nhà cung cấp thiết bị, sản phẩm WDM ngày nay có thể hỗ trợ tích cực cho mạng IP over point-to-point. Hệ thống mạng IP over point-to-point WDM hiện nay đã triển khai một cách rộng rãi trong các mạng đường dài và các mạng đa truy cập.



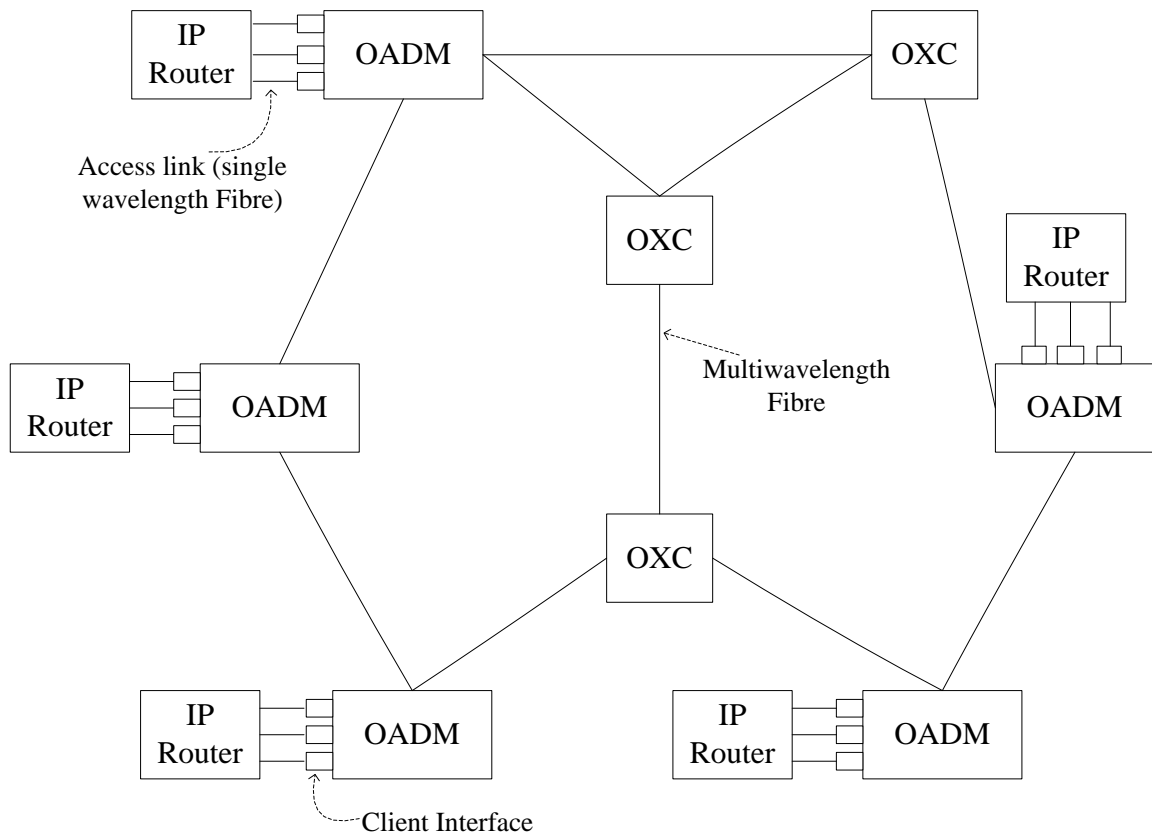
**Hình 2.6. IP over point-to-point WDM**

Đối với IP over point-to-point WDM, tôpô mạng được cố định và tất cả cấu hình mạng là tĩnh. Như vậy việc quản lý hệ thống mạng thường tập trung và tương tác giữa các lớp IP và WDM là tối thiểu.

**b) IP over reconfigurable WDM**

IP over reconfigurable WDM là kiểu kiến trúc thiết lập lại cấu hình mạng IP/WDM. Đối với kiểu kiến trúc này thì các giao diện định tuyến từ bộ định tuyến IP được kết nối đến giao diện chủ của mạng WDM. Hình 2.7 minh họa kiểu kiến trúc của mạng IP over reconfigurable WDM. Trong kiểu kiến trúc này, mạng WDM được kết nối chéo và giao diện của bộ ghép kênh xen/rẽ tự kết nối với nhau tạo thành mạng WDM là các liên kết sợi đa bước sóng. Do đó, bản thân mạng WDM là một dạng tôpô vật lý và tôpô dạng đường đi ánh sáng. Tôpô vật lý WDM bao gồm các *Nes* được kết nối với nhau bằng sợi quang *Nes*, tôpô dạng đường đi ánh sáng được hình thành từ sự kết nối của các kênh bước sóng. Cấu hình WDM là một công nghệ chuyển mạch để thiết lập nên các kênh bước sóng và làm đứt đoạn các kết nối kể trên duy trì trong một giai đoạn cụ thể nào đó. Điều quan trọng là phải chỉ ra được rằng lưu lượng IP chuyển đổi và bước sóng chuyển đổi không cùng hoạt động trong một lớp của mạng IP over reconfigurable WDM. Điều này có thể tạo ra một mạng phủ kín.

Đường đi của ánh sáng trong mạng IP over reconfigurable WDM được thiết kế sao cho phù hợp với các tập IP. Bằng cách tích hợp cấu hình các bộ kết nối chéo, khi đó một giao diện của bộ định tuyến có thể được kết nối với bất kỳ giao diện của bộ định tuyến nào tại một bộ định tuyến bất kỳ. Kết quả là, các bộ định tuyến lân cận cũng có cấu hình giao diện theo kiểu kiến trúc này. Điều này đi đến kết luận rằng các mạng vật lý có thể hỗ trợ một số tập ảo chịu sự ràng buộc của cùng một tài nguyên mạng.



**Hình 2.7. IP over reconfigurable WDM**

### c) IP over Switched WDM

Trong kiểu kiến trúc này, mạng WDM trực tiếp hỗ trợ khả năng chuyển đổi cho mỗi gói, trái ngược với việc chỉ đơn giản là cung cấp đường đi ánh sáng tại ngõ vào và ngõ ra. Như vậy, nó cho phép chia sẻ nhiều kết cấu nhỏ hơn cấu hình WDM. Các phương pháp tiếp cận WDM đã được đề xuất bao gồm:

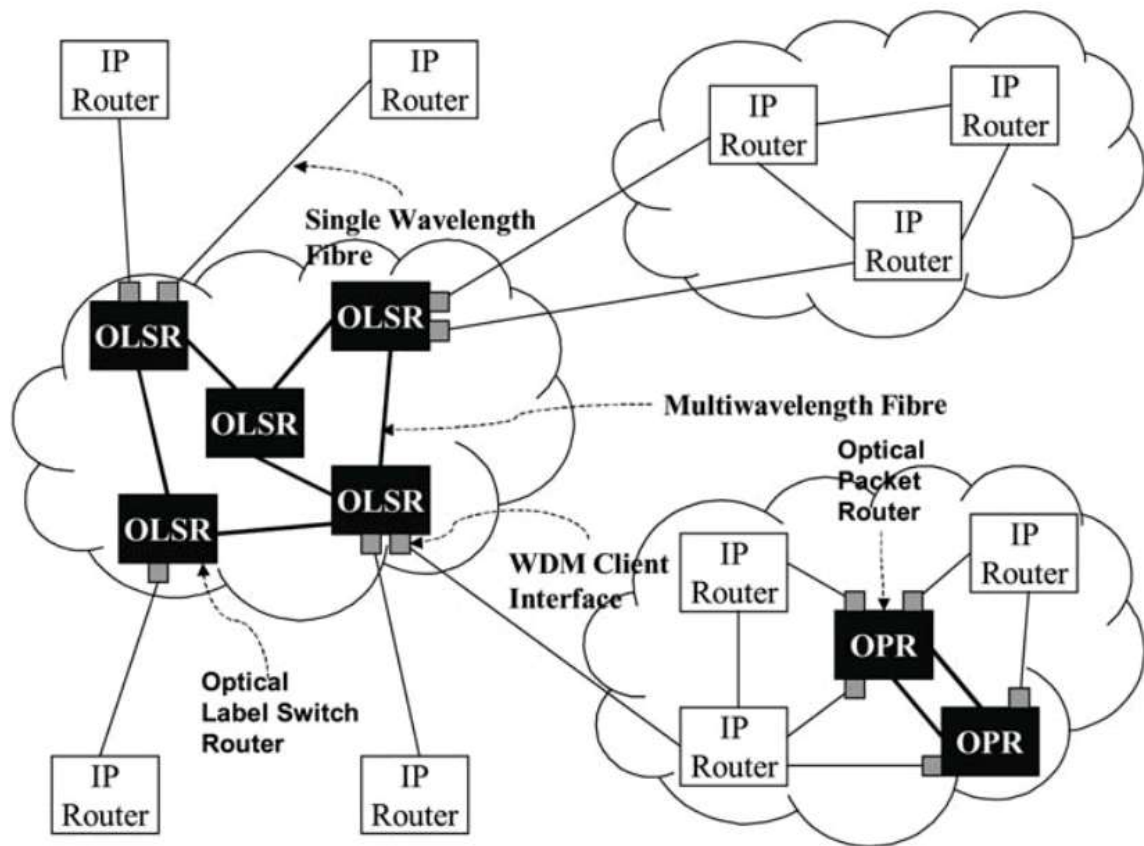
- Optical Burst Switching (OBS): chuyển mạch nhóm quang
- Optical Label Switching (OLS): chuyển mạch nhãn quang
- Optical Packet Routing (OPR) : định tuyến gói quang

OBS và OLS sử dụng mô hình chuyển đổi gói nhanh/chậm (fat-packet/flow), đó là sự khác nhau so với việc định tuyến các gói tin IP thông thường. Chính bản thân IPv4 tự định tuyến dựa trên một điểm đến nhất định. IP đã giới thiệu mạng MPLS như là một dịch vụ giá trị gia tăng để chuyển đổi thành các dòng ứng dụng. OLS cũng tương tự như MPLS nhưng thông thường nó không hỗ trợ địa chỉ IP đích dựa trên việc chuyển tiếp gói tin. Nói cách khác, OBS và OLS (tức là các thiết bị chuyển mạch lõi) không hiểu các tiêu đề gói tin IP và do đó không thể chuyển tiếp gói tin IP. Ngoài ra, thực tế thì OBS và OLS thường đưa ra lưu lượng trung bình một cách chi tiết thay vì chia nhỏ lưu lượng như hiện tại trong gói tin IP.

OPR đại diện cho việc truyền dẫn quang của định tuyến IP truyền thống, nó có thể hỗ trợ đầy đủ các chức năng IP. Kể từ khi việc nghiên cứu, tìm hiểu về logic quang học và công nghệ dữ liệu đệm quang còn chưa phát triển thì khi chuyển sang hệ thống WDM có các bộ đệm điển hình hơn. Mặc dù, những dự án liên quan đến chuyển mạch gói quang được đưa ra để cố gắng thiết kế các bộ đệm quang, nhưng những mẫu thiết kế này còn rất phức tạp. Vì vậy hầu hết các nghiên cứu hệ thống WDM chuyển sang thiết kế một bộ đệm mẫu. Dòng quang trễ được sử dụng để mô phỏng các bộ đệm. Những dòng quang trễ này lại ít nhiều phức tạp hơn so với bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên.

Tương tự như vậy, hệ thống WDM dựa trên quá trình xử lý điện tử của mào đầu gói tin để điều khiển, kiểm soát hoạt động hệ thống. Ta có thể hiểu rằng, OPR không phát triển bằng OBS và OLS. Ngoài các bộ đệm quang, các yếu tố ảnh hưởng đến tính thương mại của OPR bao gồm tốc độ chuyển đổi, độ tin cậy và sự suy giảm của tín hiệu cần chuyển đổi.

Hình 2.8 cho chúng ta thấy mô hình mạng IP over Switched WDM. OBS và OLS được mô tả như OLSR. Điểm khác biệt chính giữa OBS và OLS là OBS sử dụng chuyển mạch gói nhanh còn OLS sử dụng chuyển mạch gói chậm. Thông thường OBS sử dụng việc suy giảm của các bước sóng để mang thông tin điều khiển, ví dụ như mào đầu dòng. Như đã chỉ ra trên hình vẽ, OLSR thường triển khai trong một nhóm. Trong một nhóm, OLSR kế tiếp sẽ yêu cầu hoàn thành việc thực hiện giao thức IP. Các OLSR kế tiếp cũng cung cấp các bộ đệm điện tử để đến các gói tin IP và có thể phải chờ trong trường hợp thiết lập LSP động.



**Hình 2.8. IP over Switched WDM**

OLSRs được kết nối với nhau bằng sợi hỗ trợ nhiều kênh bước sóng. OLSRs chỉ có thể được triển khai như các bộ định tuyến IP điện trừ khi OPR có một số giao diện (tức là có nhiều hơn số giao diện bộ định tuyến IP thông thường). Trong thực tế, việc tiết kiệm giao diện là một trong những trình điều khiển chính phía sau OPR trên một bộ định tuyến IP điện.

Ba kiểu kiến trúc trình bày ở trên có liên quan khác nhau đến việc quản lý phần cứng, phần mềm và điều khiển. Kiến trúc IP over point-to-point WDM sẽ dần được thay thế bằng kiến trúc IP over Reconfigurable WDM. Kể từ kiến trúc thứ hai có thể cung cấp nhiều tính năng hơn so với kiến trúc đầu tiên. Mặt khác, kiến trúc thứ hai có tính linh hoạt hơn. Thông qua phần mềm thiết kế cho phép kiểm soát mạng và kỹ thuật lưu lượng một cách cẩn thận, kiến trúc thứ hai có thể sử dụng nhiều hơn nguồn tài nguyên mạng và giảm chi phí hoạt động hơn kiểu kiến trúc đầu tiên.

## CHƯƠNG 3: CÁC GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG IP/WDM

### 3.1. IP và giao thức định tuyến

#### 3.1.1. IPv4 và IPv6

IP address là địa chỉ giao thức mạng hay địa chỉ IP. Địa chỉ IPv4 gồm có 32 bit, chia thành bốn octet, mỗi octet là một byte. Địa chỉ IP được chia thành năm lớp *A, B, C, D* và *E*. Giả sử *Net\_ID* và *Host\_ID* lần lượt là phần định danh mạng và trạm. Địa chỉ IP được biểu diễn dưới dạng  $\langle \text{Net\_ID} \rangle \langle \text{Host\_ID} \rangle$ . Có thể biểu diễn địa chỉ IP dưới dạng nhị phân và thập phân. Giả sử *n* và *h* lần lượt là bit chỉ mạng và trạm. Địa chỉ IP được phân lớp, với bit lớp của lớp *A, B, C, D, E* lần lượt là 0, 10, 110, 1110, 11110.

Với IPv4 chúng ta có  $2^{32}$  (4,3 tỷ) địa chỉ. Với sự phát triển của công nghệ hiện nay, hầu như tất cả các thiết bị điện tử trong tương lai sẽ tích hợp dịch vụ IP, vì thế không gian địa chỉ của IPv4 trở nên chật hẹp.

IPv6 là sự mở rộng của IPv4, trong đó nó dùng 64 bit cho phần định danh mạng và 64 bit cho phần định danh trạm. Như vậy với IPv6 chúng ta sẽ có  $2^{128}$  địa chỉ. Điều này có nghĩa là trung bình một cá nhân trên thế giới sẽ có vào khoảng  $5 \times 10^{28}$  địa chỉ IP (xem như trên thế giới vào khoảng 6,5 tỷ người). Như vậy với IPv6 chúng ta có thể đảm bảo đủ không gian địa chỉ cho tất cả các thiết bị điện tử tích hợp dịch vụ IP trong tương lai. Điều này làm tiền đề cho sự phát triển lưu lượng số ngày càng mạnh mẽ và bền vững.

#### 3.1.2. Các giao thức định tuyến IP

##### *a) Khái niệm*

Định tuyến IP là quá trình chuyển lưu lượng người dùng từ nguồn đến đích. Rất nhiều loại thông tin có thể được định tuyến như thư điện tử, cuộc gọi thoại, ... Trong mạng, bộ định tuyến (router) là thiết bị được dùng để định tuyến cho lưu lượng. Router cần dựa vào bảng định tuyến để tìm ra tuyến đường chuyển gói tin đi. Bảng định tuyến thường gồm ba thành phần chính là kiểu giao thức mạng, địa chỉ mạng đích và giao diện gói ra.

Định tuyến có ba chức năng chính. Chức năng đầu tiên là đóng gói và phân tán các thông tin trạng thái lưu lượng người dùng và mạng. Thông tin trạng thái này bao gồm vị trí hiện tại và các yêu cầu dịch vụ người dùng; các dịch vụ được cung cấp và các tài nguyên có sẵn trong mạng; các quyền về việc sử dụng

các dịch vụ và tài nguyên này. Các thông tin trạng thái có thể bao gồm giá trị độ đo từ mạng hay từ các nguồn bên ngoài. Các thông tin này sẽ được dùng để tạo ra các quyết định chọn đường.

Chức năng thứ hai là tạo ra và lựa chọn các đường thích hợp (và có thể là tối ưu) dựa trên các thông tin trạng thái của người dùng và mạng. Đường tối ưu là con đường thích hợp “tốt nhất” ứng với từng giao thức định tuyến cụ thể.

Chức năng cuối cùng là chuyển tiếp lưu lượng người dùng trên các con đường đã chọn. Lưu lượng có thể được chuyển tiếp theo hướng kết nối hay không kết nối. Chuyển tiếp hướng kết nối yêu cầu hướng chuyển tiếp phải được thiết lập trước và sau đó dữ liệu sẽ được truyền đi trên các hướng đã thiết lập này. Chuyển tiếp không kết nối để cho lưu lượng người dùng được chuyển đi dựa vào các thông tin chuyển tiếp của chính nó, các gói dữ liệu có thể đi theo các hướng khác nhau để đến đích.

### ***b) Định tuyến tĩnh và định tuyến động***

Dựa vào cách thức cũng như tốc độ phản hồi lại các thay đổi về trạng thái của mạng hay trạng thái của lưu lượng người dùng, định tuyến được chia ra làm hai loại là định tuyến tĩnh và định tuyến động.

*Định tuyến tĩnh:* Hệ thống định tuyến tĩnh là hệ thống mà sự định tuyến luôn giữ cố định, độc lập với trạng thái hiện thời của mạng cũng như các lưu lượng người dùng. Định tuyến tĩnh được dựa trên sự dự đoán hơn là dựa vào các hoạt động thực tế của người dùng và mạng. Trong hầu hết các hệ thống định tuyến tĩnh, định tuyến là một phần không thể thiếu trong quá trình thiết kế mạng. Tuy nhiên, quá trình định tuyến lại xảy ra không thường xuyên.

*Định tuyến động:* Định tuyến động tự động cập nhật vị trí định tuyến bằng cách áp dụng ngay nhận thức về sự thay đổi trạng thái của người dùng và mạng. Sự thay đổi không chỉ là trạng thái của các liên kết mà còn là sự dao động giữa lưu lượng người dùng và mạng. Tuy nhiên định tuyến động lại đòi hỏi bộ nhớ và tài nguyên tính toán trong mạng cho việc thu thập các thông tin thời gian thực và đưa ra các quyết định điều khiển.

### ***c) Định tuyến vectơ khoảng cách và định tuyến trạng thái liên kết***

Giao thức định tuyến cung cấp cấu hình định tuyến động. Hầu hết các giao thức định tuyến có thể được phân thành một trong hai loại cơ bản: định tuyến vectơ khoảng cách (distance-vector) và định tuyến trạng thái liên kết (link-state). Giao thức định tuyến vectơ khoảng cách xác định một đường đi tốt



nhất tới một đích dựa trên hướng (vector) và khoảng cách (distance) tới đích đó. Giao thức định tuyến trạng thái liên kết tính lại cấu hình chính xác của liên mạng hiện tại hay ít nhất là vị trí của các router.

Định tuyến vectơ khoảng cách hoạt động bằng cách mỗi router duy trì một bảng cho biết khoảng cách tốt nhất được biết tới mỗi đích đến và liên kết nào được dùng để đi đến đó. Những bảng này được cập nhật bằng cách trao đổi thông tin với router láng giềng. Mỗi bản tin thường gồm các thông tin có trong ba trường (đích đến, khoảng cách, hop kế tiếp).

Trong khi thuật toán vectơ khoảng cách không có thông tin đặc biệt gì về những mạng ở xa thì thuật toán trạng thái liên kết duy trì đầy đủ thông tin về những router ở xa và cách chúng liên kết với nhau. Định tuyến trạng thái liên kết dùng thông điệp quảng cáo trạng thái liên kết LSA (Link State Advertisements), một cơ sở dữ liệu cấu hình mạng, thuật toán SPF và một bảng định tuyến gồm các con đường cùng ngõ ra tương ứng đến các mạng. Giao thức định tuyến trạng thái liên kết trao đổi thông tin định tuyến như sau:

**Bảng 3.1. Tóm tắt những điểm đặc trưng của định tuyến vectơ khoảng cách và định tuyến trạng thái liên kết.**

VÉCTƠ KHOẢNG CÁCH	TRẠNG THÁI LIÊN KẾT
Đơn giản, dễ cài đặt.	Phức tạp.
Lấy dữ liệu cấu hình mạng từ thông tin trong bảng định tuyến của các láng giềng.	Hiểu cấu hình của liên mạng hiện tại bằng cách tích lũy tất cả các LSA.
Mỗi router xác định con đường tốt nhất bằng cách cộng những giá trị đo (metric), thường là số hop mà nó nhận được khi thông tin định tuyến được chuyển từ router tới router.	Mỗi router làm việc một cách độc lập để tính con đường ngắn nhất của nó tới mạng đích.
Cập nhật thông tin định tuyến một cách định kỳ	Chỉ cập nhật khi có sự thay đổi về cấu hình mạng.
Thông điệp cập nhật thông tin định tuyến lớn, do sao chép toàn bộ bảng định tuyến.	Chỉ gửi những thông tin cập nhật cần thiết, tức chỉ gửi những thay đổi mà thôi.
Thông tin định tuyến chỉ được trao đổi với láng giềng bằng cách broadcast.	Thông tin định tuyến được gửi cho tất cả các router bằng cách flooding.

***d) Giao thức thông tin định tuyến RIP***

Giao thức thông tin định tuyến RIP (Routing Information Protocol) là một trong những giao thức định tuyến bên trong từng AS. RIP dùng định tuyến vectơ khoảng cách nên chọn hop count làm metric (ma trận) và dùng thuật toán Bellman - Ford để xây dựng bảng định tuyến. RIP là một giao thức định tuyến vectơ khoảng cách, chỉ dùng hop count khi thiết lập quyết định định tuyến. Khi một gói dữ liệu đi qua một router thì RIP xem như là một hop. Nếu tồn tại hai tuyến có tốc độ hoặc băng thông không bằng nhau đến cùng một đích nhưng cùng hop count, thì RIP xem cả hai tuyến cùng là khoảng cách, đây rõ ràng là một hạn chế của giao thức định tuyến này.

Router sẽ broadcast thông tin định tuyến của mình sau một chu kỳ, chẳng hạn là 30s. Mỗi thông tin cập nhật tuyến thường gồm hai phần là địa chỉ mạng và khoảng cách đến được mạng này. Đồng thời, các router sẽ lắng nghe các thông tin định tuyến trên bảng để cập nhật bảng định tuyến của mình dựa vào khoảng cách ngắn nhất tức là số hop nhỏ nhất.

***e) Giao thức ưu tiên con đường ngắn nhất mở rộng OSPF***

Giao thức ưu tiên con đường ngắn nhất mở rộng OSPF (Open Shortest Path First) là một trong những giao thức định tuyến bên trong từng hệ tự trị AS. OSPF dùng định tuyến trạng thái liên kết nên dùng metric dựa trên băng thông và thuật toán Dijkstra để xây dựng bảng định tuyến. OSPF được dùng để định tuyến trong một vùng hay giữa nhiều vùng. OSPF có độ hội tụ nhanh.

***f) Giao thức định tuyến multicast vectơ khoảng cách DVMRP***

Giao thức định tuyến multicast vectơ khoảng cách DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) là giao thức định tuyến multicast đầu tiên được phát triển cho Internet. DVMRP có thể thực thi trong một môi trường ở đó không phải tất cả các router trong mạng có khả năng chuyển tiếp và định tuyến multicast. Điều này đạt được bởi DVMRP chạy một thuật toán định tuyến unicast riêng, tương tự như RIP, để quyết định các con đường ngắn nhất giữa tất cả các router có khả năng multicast. DVMRP sử dụng kỹ thuật (flood-and-prune) để thiết lập các cây dựa trên nguồn.

***g) Multicast độc lập giao thức – chế độ thừa thớt PIM-SM***

Multicast độc lập giao thức PIM (Protocol Independent Multicast) bao gồm hai chế độ là multicast độc lập giao thức – chế độ dày đặc PIM-DM (Protocol Independent Multicast – Dense Mode) và multicast độc lập giao thức –

chế độ thừa thớt PIM-SM (Protocol Independent Multicast – Sparse Mode). PIM có thể hoạt động trên đỉnh của bất cứ giao thức định tuyến nào, vì lý do đó mà có tên giao thức multicast độc lập. Nhưng PIM yêu cầu tất cả các router trong mạng có khả năng multicast. PIM-DM và PIM-SM, theo thứ tự, thì có nhiều mặt tương tự như DVMRP và CBT. Vì thế, phần này chỉ trình bày PIM-SM.

PIM-SM sử dụng cây phân phối chia sẻ để phân phối các luồng dữ liệu multicast. Trong cây chia sẻ có một điểm hội tụ là RP chịu trách nhiệm liên lạc với các nguồn multicast và liên lạc với các trạm con nhằm xây dựng đường đi ngắn nhất từ nguồn đến đích để phân phối dữ liệu multicast. Có thể có nhiều RP nhưng chỉ có một RP duy nhất cho mỗi nhóm multicast.

### **3.2. MPLS, GMPLS và $MP^{\lambda}S$**

#### **3.2.1. MPLS**

Một khuyết điểm của định tuyến IP là khả năng kém linh hoạt trong việc thay đổi đường truyền dữ liệu dẫn đến tình trạng “nghẽn nút cổ chai”. Nguyên nhân là do các gói IP chỉ truyền theo một đường cố định dựa theo quá trình định tuyến ban đầu. Chính vì vậy, vấn đề cân bằng traffic khó thực hiện khi lưu lượng tập trung vào một tuyến nào đó. Thêm vào đó việc định tuyến giữa các gói IP độc lập với nhau mặc dù trong thực tế nhiều gói IP có mối quan hệ với nhau, ví dụ có cùng đích đến, cùng một loại lưu lượng, cùng một cấp ưu tiên v.v. Ngoài ra, sự khác biệt giữa kỹ thuật định tuyến và chuyển mạch đã bộc lộ nhiều điểm yếu trong xu hướng mở rộng và hội tụ của mạng máy tính ngày nay. Các nhược điểm đó bao gồm: khả năng mở rộng, xây dựng mạng riêng ảo, quản lý chất lượng dịch vụ, điều khiển lưu lượng mạng v.v...

Chính vì lẽ đó kỹ thuật MPLS (*Multi-protocol Label Switching*) chuyển mạch nhãn đa giao thức ra đời để vận chuyển các gói IP qua các mạng bằng phương pháp chuyển mạch gói ảo. MPLS là công nghệ kết hợp những đặc điểm tốt nhất giữa định tuyến linh hoạt ở lớp ba và chuyển mạch ở lớp hai cho phép truyền gói nhanh trong mạng lõi. Trước khi thâm nhập vào mạng MPLS thì các gói IP sẽ được các thiết bị định tuyến ở biên của mạng MPLS gắn thêm các nhãn để vận dụng kỹ thuật nói-chuyển mạch ảo. Và trước khi rời khỏi mạng MPLS, các nhãn này sẽ bị cắt bỏ để trả lại dạng nguyên thủy của các gói IP bởi các thiết bị định tuyến ở vùng biên. Phương pháp này dùng để vận chuyển dữ liệu nhanh với băng thông lớn (như là âm thanh, phim ảnh v.v.) và nó có thể hoạt động trong trường hợp có sự vận chuyển nhiều loại dữ liệu trong cùng một mạng.

Chuyển mạch kênh ảo dựa vào nhãn giúp cho việc định tuyến dữ liệu diễn ra một cách nhanh chóng so với trường hợp định tuyến IP truyền thống, vì nó không phải xử lý các mào đầu quá phức tạp như trong mạng IP và ngoài ra nó có thể thực hiện quá trình chuyển mạch mềm một cách linh động.

### **3.2.2. GMPLS và $MP^{\lambda}S$**

Như đã trình bày ở trên ứng dụng cụ thể của MPLS cho mô hình xếp chồng còn gọi là chuyển mạch đa giao thức tổng quát GMPLS. Kiến trúc điều khiển GMPLS cung cấp một tập các giao thức đơn giản, hoàn thiện tương thích với mạng IP đáp ứng cho mạng thế hệ sau. Mạng GMPLS không chỉ có khả năng chuyển các gói tin mà còn có thể chuyển mạch các dữ liệu TDM, lamda quang (nên còn được gọi là  $MP^{\lambda}S$ ). Trong GMPLS, mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng dữ liệu được tách riêng, đồng thời các lớp sử dụng chung một mặt phẳng điều khiển giúp cho GMPLS có khả năng thiết lập các đường quang (lightpath) một cách nhanh chóng và chuẩn xác theo yêu cầu của lớp IP.

## **3.3. Định tuyến và gán bước sóng tĩnh trong IP/WDM**

### **3.3.1. Giới thiệu bài toán**

Hiện có ba kỹ thuật chuyển mạch quang trong mạng IP: chuyển mạch kênh quang (OCS – Optical Circuit Switching), chuyển mạch gói quang (OPS – Optical Packet Switching), chuyển mạch khối quang (OBS – Optical Burst Switching), ứng với mỗi loại chuyển mạch sẽ có một số kỹ thuật định tuyến và chọn bước sóng. Trong đồ án này, em chỉ đề cập đến chuyển mạch kênh quang (Optical Circuit Switching – OCS), bài toán định tuyến và chọn bước sóng chỉ giới hạn cho mạng OCS. Trong mạng OCS có sử dụng khái niệm lightpath dùng để chỉ kênh bước sóng nối nút nguồn với nút đích thông qua các nút trung gian. Các dữ liệu muốn truyền từ nút này đến nút khác trong mạng chuyển mạch kênh quang thì cần thiết lập lightpath trước. Quá trình thiết lập lightpath cần thỏa mãn hai ràng buộc:

- Ràng buộc về tính liên tục bước sóng (Wavelength – Continuity Constraint): mỗi kết nối chia sẻ chung một sợi phải sử dụng bước sóng khác nhau.
- Ràng buộc về sự gán kênh tách biệt nhau (Distinct Channal Assignment Constraint): mỗi kết nối phải sử dụng cùng một bước sóng theo tuyến của nó.

Cho một tập các yêu cầu kết nối, để thiết lập được các kết nối quang, trước hết chúng ta cần tìm một đường đi “tốt nhất” giữa hai nút đầu cuối (bài toán định tuyến – Routing). Sau đó, ta cần xác định chọn bước sóng nào để thiết lập lightpath (bài toán gán bước sóng - Wavelength Assignment). Có hai loại yêu cầu kết nối tiêu biểu là yêu cầu tĩnh và yêu cầu động. Để thiết lập các lightpath với mỗi loại yêu cầu này, ta cũng có hai loại bài toán định tuyến và gán bước sóng tĩnh (Static – RWA) và động (Dynamic – RWA).

### **3.3.2. Bài toán Định tuyến và gán bước sóng tĩnh S-RWA**

Bài toán Định tuyến và gán bước sóng tĩnh S-RWA hay còn được gọi là bài toán Thiết lập lightpath tĩnh (SLE – Static Lightpath Establishment) được khái quát như sau:

#### ***Đặc điểm:***

- Cho trước tôpô vật lý, tức là các nút mạng và các liên kết vật lý được cho trước.
- Cho trước tập các yêu cầu kết nối hoặc ma trận lưu lượng tĩnh để từ đó xác định các yêu cầu kết nối.
- Thích hợp cho dạng trạng thái lưu lượng được biết trước và có tính ổn định, sự thay đổi chỉ diễn ra trong khoảng thời gian dài (như trong các mạng đường trục).
- Trong bài toán S-RWA, đường dẫn và bước sóng được xác định trước cho từng kết nối, không phụ thuộc vào sự thay đổi thông tin trạng thái đang diễn ra trên mạng. Khi đường dẫn và bước sóng đã được xác định, các bộ OXC tại các nút mạng được lập trình để thiết lập các lightpath đã được chỉ định trước.

#### ***Mục tiêu:***

- Tối thiểu hóa số bước sóng cần sử dụng.
- Hoặc tối đa số kết nối có thể thiết lập ứng với một số lượng bước sóng và một tập kết nối cho trước.

Với công nghệ hiện đại, ta luôn có một giới hạn trên về số lượng bước sóng có thể có trong một sợi quang (hay liên kết). Và nếu giải pháp tìm được sử dụng được nhiều bước sóng hơn giới hạn này thì xem như không khả thi trong thực tế. Vì vậy, việc giải bài toán S-RWA cũng sẽ trả lời câu hỏi liệu tôpô vật lý hiện tại có thể đáp ứng được yêu cầu lưu lượng đó hay không. Nếu không thì ta phải thêm vào mạng các liên kết mới.

Sau đây, ta sẽ xét đến mô hình toán của bài toán S-RWA. Ứng với mỗi mục tiêu trong hai mục tiêu ở trên, ta có một mô hình tính toán riêng.

Trước hết ta xét các phương trình toán của mô hình nhằm thỏa mãn mục tiêu tối thiểu số lượng bước sóng sử dụng trên một liên kết.

- Đặt  $\lambda_{sdw}$  là lưu lượng (hay số yêu cầu kết nối) từ một nút nguồn  $s$  đến một nút đích  $d$  sử dụng bước sóng  $w$ . Ta giả sử rằng có thể có hai hay nhiều hơn các lightpath cần thiết lập giữa mỗi cặp nút, nhưng mỗi lightpath phải sử dụng một bước sóng riêng. Do đó.  $\lambda_{sdw} \leq 1$ .

- Đặt  $F_{ij}^{sdw}$  là lưu lượng (hay số yêu cầu kết nối) từ một nút nguồn  $s$  đến một nút đích  $d$  đi qua tuyến  $ij$  và sử dụng bước sóng  $w$ . Tương tự, ta cũng có  $F_{ij}^{sdw} \leq 1$  vì một bước sóng trên một liên kết chỉ được phép gán cho một lightpath.

- Cho trước một tập đồ thị vật lý, một tập các bước sóng và một ma trận lưu lượng  $A$ , trong đó mỗi phần tử  $A_{sd}$  chỉ số kết nối cần thiết lập giữa nguồn  $s$  và đích  $d$ .

- Bài toán S-RWA có thể được công thức hóa như sau:

Mục tiêu: tối thiểu hóa  $F_{\max}$

Sao cho:

$$F_{\max} \geq \sum_{s,d,w} F_{ij}^{sdw} \quad \forall i, j$$

$$\sum_i F_{ij}^{sdw} - \sum_k F_{jk}^{sdw} = \begin{cases} -\lambda_{sdw} & (s = j) \\ \lambda_{sdw} & (d = j) \\ 0 & (s \neq j \wedge d \neq j) \end{cases}$$

$$\sum_{ij} \lambda_{sdw} = \wedge_{sd}$$

$$F_{ij}^{sdw} = 0,1 \quad \sum_{sd} F_{ij}^{sdw} \leq 1$$

Cách tiếp cận này được sử dụng để đạt được số lượng bước sóng cần dùng nhỏ nhất. Hoặc với một tập bước sóng cho trước, ta có thể giải mô hình này xem thử có tìm được lời giải không. Nếu không tìm được lời giải thì thử lại với một

tập bước sóng lớn hơn và lặp lại cho đến khi số bước sóng nhỏ nhất được tìm thấy.

Với mục tiêu thứ hai (tối đa hóa số lượng kết nối được thiết lập cho một tập bước sóng cố định và một tập các yêu cầu kết nối cho trước), ta cũng có thể có mô hình toán như sau:

**Trường hợp không có bộ chuyển đổi bước sóng:**

- $N_{sd}$  : số lượng cặp nút nguồn đích.
- $L$  : số liên kết có trong mạng.
- $W$  : số bước sóng có thể có trên một liên kết.
- $m = \{m_i\}, i=1,2,\dots,N_{sd}$ : số kết nối được thiết lập cho mỗi cặp nguồn-đích  $i$ .
- $\rho$  : tải yêu cầu (số yêu cầu kết nối).
- $q = \{q_i\}, i=1,2,\dots,N_{sd}$  : tỉ lệ tải được đáp ứng. Như vậy  $q_i\rho =$  số kết nối được thiết lập cho mỗi cặp nút nguồn – đích  $i$ .
- $P$  : tập các đường mà một kết nối có thể được định tuyến trên đó.
- $a = (a_{ij})$ : là một ma trận  $P \times N_{sd}$ , trong đó  $a_{ij} = 1$  nếu đường  $I$  nằm giữa cặp nguồn – đích  $i$  và  $a_{ij} = 0$  nếu trái lại.
- $b = (b_{ij})$ : là một ma trận  $P \times L$ , trong đó  $b_{ij} = 1$  nếu liên kết  $j$  nằm trên đường  $I$ , và  $b_{ij} = 0$  nếu trái lại.
- $c = (c_{ij})$ : ma trận định tuyến và gán bước sóng  $P \times W$ , trong đó  $c_{ij} = 1$  nếu bước sóng  $j$  được gán vào đường  $I$ , ngược lại thì  $c_{ij} = 0$ .

Mục tiêu: cực đại hóa  $C_0(\rho, q) = \sum_{i=1}^{N_{sd}} m_i$

Sao cho:

$$m_i \geq 0 \quad (\text{số nguyên, } i=1,2,\dots,N_{sd})$$

$$c_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,P; j=1,2,\dots,W$$

$$C^T B \leq 1_{W \times L}$$

$$m \leq 1_W C^T A$$

$$m_i \leq q_i \rho \quad i=1,2,\dots,N_{sd}$$

$C_0(\rho, q)$  là số kết nối được thiết lập trong mạng. Bất phương trình  $C^T B \leq 1_{W \times L}$  có nghĩa là một bước sóng chỉ được dùng tối đa một lần trong một liên kết.  $1_{W \times L}$  là ma trận  $W \times L$  trong đó các phần tử đều bằng 1. Bất phương trình  $m \leq 1_w C^T A$  và  $m_i \leq q_i \rho$  đảm bảo rằng số kết nối được thiết lập phải nhỏ hơn yêu cầu kết nối.  $1_w$  là ma trận  $1 \times W$  trong đó các phần tử đều bằng 1.

### **Trường hợp có chuyển đổi bước sóng**

Trong mạng WDM định tuyến theo bước sóng, ràng buộc về tính liên tục bước sóng có thể được loại bỏ nếu như ta có sử dụng các bộ chuyển đổi bước sóng để chuyển dữ liệu đến trên một bước sóng ở một liên kết thành một bước sóng khác tại một nút trung gian trước khi chuyển tiếp đến các liên kết kế tiếp. Các mạng định tuyến theo bước sóng như vậy được gọi là wavelength-convertible networks. Một lightpath trong mạng này có thể sử dụng các bước sóng khác nhau dọc theo đường đi. Như đã đề cập ở trên, sự chuyển đổi bước sóng làm cải thiện hiệu suất của mạng bằng việc giải quyết vấn đề xung đột bước sóng giữa các lightpath. Thông thường, với một giải thuật định tuyến cho sẵn, sự chuyển đổi bước sóng cung cấp một giới hạn dưới về xác suất tắc nghẽn có thể đạt được ứng với một giải thuật gán bước sóng.

Sau đây là mô hình toán của bài toán S-RWA khi bỏ đi các ràng buộc về tính liên tục bước sóng:

Mục tiêu: tối thiểu hóa  $F_{\max}$

Sao cho:

$$F_{\max} \geq \sum_{s,d,w} F_{ij}^{sdw} \quad \forall i, j$$

$$\sum_i F_{ij}^{sdw} - \sum_k F_{ij}^{sdw} = \begin{cases} -\lambda_{sdw} & (s = j) \\ \lambda_{sdw} & (d = j) \\ 0 & (s \neq j \wedge d \neq j) \end{cases}$$

Trong đó  $\lambda_{sdw}$  là lưu lượng (hay số yêu cầu kết nối) từ một nút nguồn  $s$  đến một nút đích  $d$  sử dụng bước sóng  $w$ .

$F_{ij}^{sdw}$  là lưu lượng (hay số yêu cầu kết nối) từ một nút nguồn  $s$  đến một nút đích  $d$  đi qua tuyến  $ij$  và sử dụng bước sóng  $w$ .



Thông thường, bài toán S-RWA được chia thành hai bài toán riêng rẽ: bài toán định tuyến và bài toán gán bước sóng.

► **Vấn đề định tuyến**

Phương pháp truyền thống để giải quyết vấn đề định tuyến trong bài toán S-RWA là đầu tiên phải xác định đường cho toàn bộ kết nối và sau đó gán bước sóng cho chúng. Ngay cả khi những công đoạn này là không độc lập, ta cũng thu được một cấu hình ngắn nhất tương đối tốt bằng cách này. Những kết nối thường được gán một đường ngắn nhất nối hai điểm đầu cuối (bằng các thuật toán thông dụng như Dijkstra hay Floyd) vì những đường dài hơn thì sử dụng nhiều tài nguyên mạng và thường mang lại một cấu hình mạng có hiệu suất thấp hơn. Nếu có nhiều đường ngắn nhất giữa hai điểm thì việc chọn đường sẽ mang tính ngẫu nhiên. Thông thường, cấu hình tối ưu thu được bằng cách chọn các đường ngắn nhất, tuy nhiên không nhất thiết kết nối nào cũng là đường ngắn nhất (đôi khi dùng đường dài hơn ta có thể tránh những tắc nghẽn không đáng có trên một liên kết nào đó).

► **Vấn đề gán bước sóng**

Xét mạng định tuyến theo bước sóng không có khả năng chuyển đổi bước sóng. Nét đặc trưng của mạng WDM là không cho phép hai kết nối sử dụng bước sóng giống nhau dùng chung một đường nối (sự xung đột bước sóng). Khi các tuyến đã được cố định thì việc còn lại là gán bước sóng khả thi cho chúng sao cho số lượng bước sóng được sử dụng trên mạng là nhỏ nhất để có thể thỏa mãn các yêu cầu công nghệ về số lượng bước sóng tối đa trên một sợi quang.

Bài toán gán bước sóng tĩnh trong một mạng liên tục bước sóng tương đương với bài toán tô màu cho các nút của một đồ thị và được thực hiện bằng cách xây dựng một đồ thị  $G(V,E)$ , trong đó  $V$  là tập các đỉnh,  $E$  là tập các cạnh. Theo đó, bài toán gán bước sóng tĩnh được thực hiện như sau:

- Xây dựng một đồ thị  $G(V,E)$ , trong đó mỗi lightpath trong hệ thống thể hiện bằng một đỉnh trong đồ thị  $G$  và tồn tại một cạnh vô hướng giữa hai đỉnh trong đồ thị  $G$  nếu các lightpath tương ứng cùng đi qua một liên kết sợi quang vật lý.

- Tô màu cho các đỉnh của đồ thị  $G$  sao cho không có hai đỉnh kề cận nào có màu giống nhau và số màu sử dụng là ít nhất.

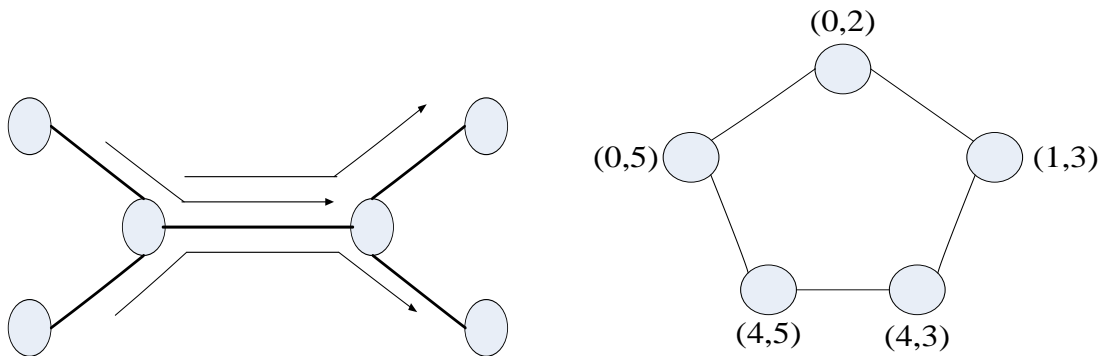
Hình 3.2 minh họa cách chuyển từ một bài toán gán bước sóng thành một bài toán tô màu đồ thị. Giả sử có 5 lightpath cần thiết lập là (0,5), (0,2), (1,3),

(4,3), (4,5). Lightpath (0,5),(0,2) cùng đi qua liên kết vật lý (0,1) vì thế có một cạnh nối hai đỉnh (0,5) và (0,2). Tương tự, chúng ta xây dựng được đồ thị như trong hình 3.2.

Các thuật toán tô màu đồ thị sẽ thực hiện việc tô màu cho các đỉnh  $V(G)=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  của đồ thị  $G$  theo một thứ tự nào đó. Các thuật toán này bao gồm ba bước cơ bản sau:

1. Sắp xếp các đỉnh
2. Chọn đỉnh kế tiếp để tô màu
3. Chọn màu

Có nhiều thuật toán tô màu đồ thị khác nhau, việc chọn lựa giải thuật nào tùy thuộc vào quyết định của nhà quản lý dựa trên đặc điểm của mạng. Sau đây là một số phương pháp tô màu thông dụng (mỗi màu tương ứng với một bước sóng).



**Hình 3.2. Yêu cầu thiết lập kết nối và đồ thị chuyển đổi tương ứng**

**a) Thuật toán Longest – First**

Phương pháp Longest – First (tuyến dài nhất trước) này khá đơn giản. Các lightpath sẽ được sắp xếp theo thứ tự từ tuyến dài nhất đến tuyến ngắn nhất. Một bước sóng sẽ được gán cho các tuyến theo thứ tự này sao cho thỏa mãn điều kiện về xung đột bước sóng. Sau đó, ta chuyển sang gán bước sóng. Quá trình này tiếp tục cho đến khi hết số lightpath.

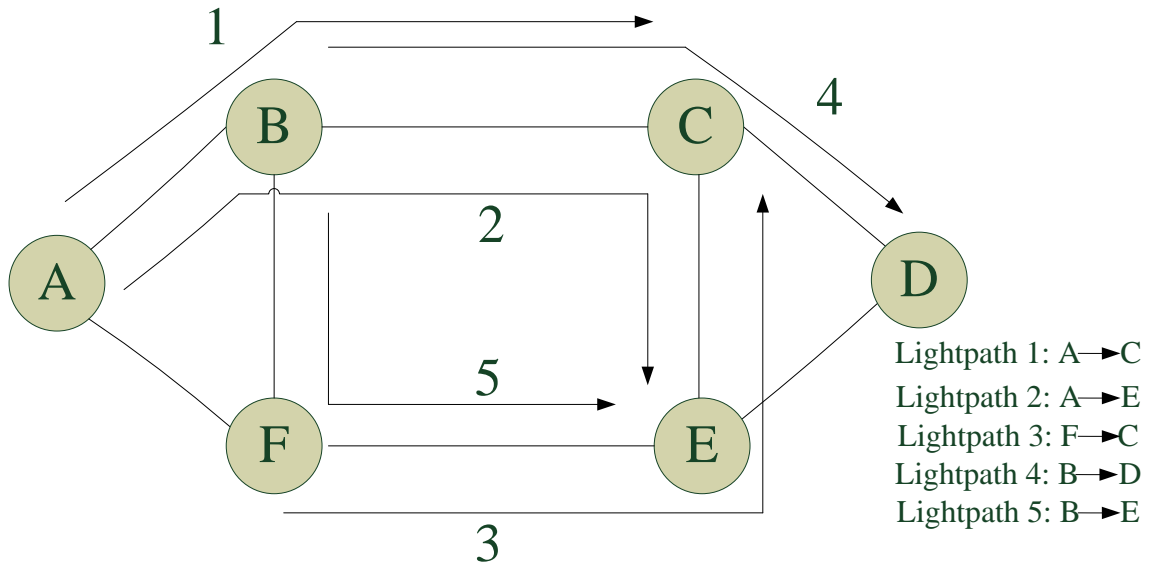
**b) Thuật toán Largest – First**

Trong phương pháp này, các đỉnh của đồ thị được gán lại nhãn là  $v_1, v_2, \dots, v_n$  sao cho  $\deg(v_i) \geq \deg(v_{i+1})$  với  $i = 1, 2, \dots, n-1$  ( $n$  là số nút của đồ thị  $G$ ). Tại mỗi bước, nút có bậc lớn nhất được gán một màu và xóa đi những đường nối tới nó. Vì vậy, sau mỗi bước sẽ có một nút bị giảm bậc. Điều này đảm bảo rằng số màu dùng để tô đồ thị là ít nhất.

Ta có thể tính được số màu cần thiết để tô đồ thị bằng công thức sau:

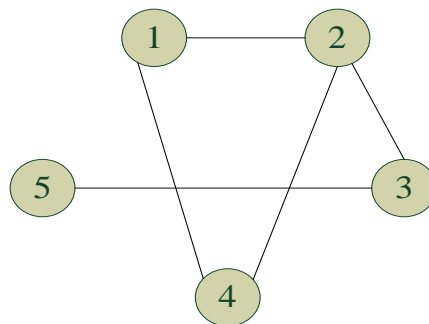
$$X(G) \leq \max_{1 \leq i \leq n} \{\min(i, 1 + \deg(v_i))\}$$

Để rõ ràng hơn, ta hãy xét một ví dụ sau: gán bước sóng cho mạng với yêu cầu kết nối như trong hình 3.3.



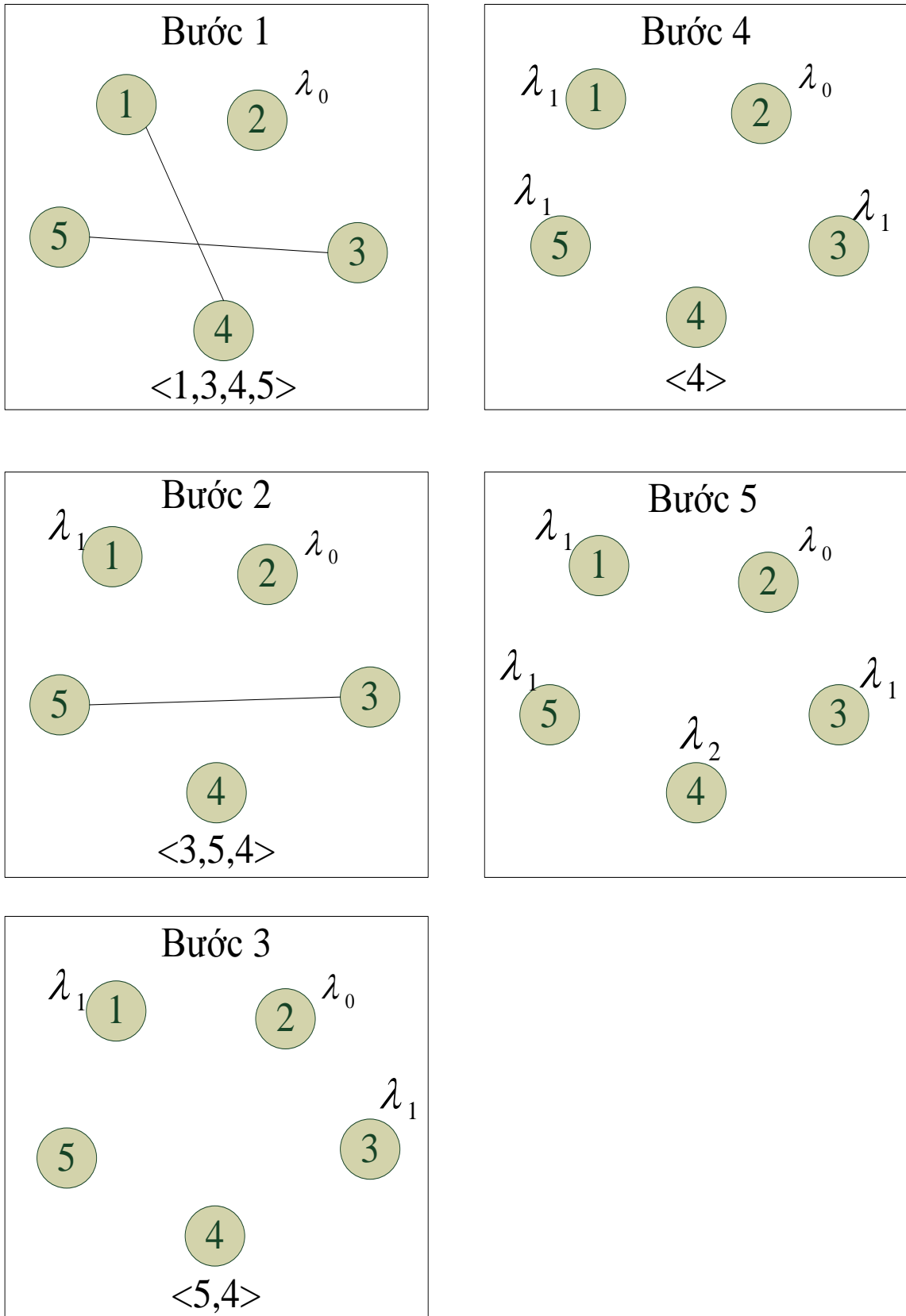
Hình 3.3. Yêu cầu kết nối cho ví dụ minh họa

Đầu tiên, ta chuyển đổi tập yêu cầu kết nối thành một đồ thị (hình 3.4).



Hình 3.4. Đồ thị chuyển đổi từ tập yêu cầu kết nối

Dựa vào bậc của các đỉnh, ta sắp xếp lại theo thứ tự  $\langle 2, 1, 3, 4, 5 \rangle$ . Ta thực hiện gán bước sóng (tô màu) cho đỉnh có bậc cao nhất, sau đó loại nó ra khỏi đồ thị. Sắp xếp lại các nút còn lại trong đồ thị và tiếp tục quá trình cho đến khi tất cả các nút đều được gán bước sóng (hình 3.5). Cuối cùng ta có được kết quả gán bước sóng như ở bước 5.



**Hình 3.5. Minh họa thuật toán Largest – First**

### **3.4. Định tuyến và gán bước sóng động trong IP/WDM (D-RWA)**

#### **3.4.1. Giới thiệu bài toán**

Trong bài toán định tuyến và gán bước sóng động D-RWA hay còn được gọi là bài toán thiết lập lightpath động (DLE – Dynamic Lightpath Establishment), ta xem xét lưu lượng mạng là động. Các yêu cầu kết nối xuất hiện một cách ngẫu nhiên tùy theo nhu cầu liên lạc giữa các nút mạng. Các kết nối này được yêu cầu tồn tại trong một khoảng thời gian cũng ngẫu nhiên. Vì thế, các lightpath không chỉ được thiết lập động mà còn phải được giải phóng động.

Việc định tuyến và gán bước sóng phụ thuộc vào trạng thái của mạng ở thời điểm yêu cầu kết nối xảy ra. Mỗi khi có yêu cầu kết nối xuất hiện, các thuật toán D-RWA phải thực hiện để xem xét tài nguyên mạng có đủ để đáp ứng yêu cầu kết nối đó hay không. Nếu có thể thì thực hiện quá trình định tuyến và gán bước sóng tại nút trung gian cần thiết để thiết lập lightpath. Còn nếu một yêu cầu kết nối không được đáp ứng do thiếu tài nguyên thì xem như bị nghẽn.

Khi quá trình liên lạc kết thúc, kết nối được giải phóng và vì vậy, bước sóng đã sử dụng có thể được sử dụng lại cho một kết nối khác. Như vậy, ta thấy định tuyến động tận dụng bước sóng tốt hơn. Về mặt kinh tế, điều này sẽ đem lại lợi nhuận nhiều hơn cho các nhà kinh doanh mạng, gián tiếp giảm chi phí cho các thuê bao.

Bài toán D-RWA có thể được khái quát như sau:

***Đặc điểm:***

- Các yêu cầu kết nối xuất hiện ngẫu nhiên và tồn tại trong một khoảng thời gian nào đó.

- Việc định tuyến và gán bước sóng phụ thuộc vào trạng thái mạng hiện tại và phải được thực hiện mỗi khi có yêu cầu kết nối xuất hiện.

***Mục tiêu:***

- Tận dụng hiệu quả tài nguyên mạng để cực đại hóa xác suất thiết lập thành công lightpath hay tối thiểu hóa số yêu cầu bị nghẽn.

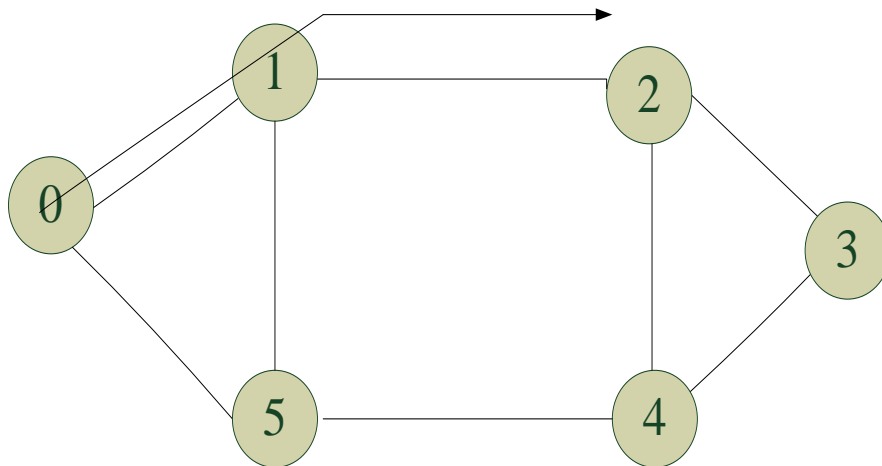
Vì nhu cầu phải đáp ứng nhanh với sự thay đổi của mạng, các giải thuật D-RWA đòi hỏi phải đơn giản, độ phức tạp tính toán càng nhỏ càng tốt. Việc kết hợp giữa định tuyến và gán bước sóng là rất khó để giải quyết cùng một lúc. Do đó, thông thường bài toán D-RWA cũng được chia thành hai bài toán riêng rẽ: bài toán định tuyến và bài toán gán bước sóng.

### 3.4.2. Bài toán Định tuyến động trong IP/WDM

#### a) Định tuyến cố định (Fixed Routing)

Phương pháp đơn giản nhất để định tuyến một kết nối là luôn chọn cùng một tuyến cố định cho một cặp nguồn – đích cho trước. Một trong những ví dụ như thế là định tuyến tìm đường đi ngắn nhất cố định (Fixed Shortest – Path Routing). Đường đi ngắn nhất có một cặp nút được tính off-line, sử dụng các thuật toán tìm đường ngắn nhất thông dụng như Dijkstra hay Bellman-Ford. Bất kỳ kết nối nào giữa một cặp nút cụ thể đều được thiết lập bằng cách sử dụng đường đi được xác định trước. Hình 3.6 minh họa đường đi ngắn nhất cố định từ nút 0 đến nút 2.

Phương pháp định tuyến này rất đơn giản nhưng có nhược điểm là nếu nguồn tài nguyên (bước sóng) dọc theo đường đi đã được sử dụng hết sẽ dẫn đến xác suất tắc nghẽn cao trong trường hợp lưu lượng tĩnh. Ngoài ra, định tuyến cố định cũng không thể xử lý các tình huống lỗi khi một hay nhiều liên kết trong mạng bị hỏng. Để xử lý trường hợp liên kết trong mạng bị hỏng, việc định tuyến cần phải xét đến các đường đi thay thế hoặc phải có khả năng tìm ra một tuyến mới một cách linh động. Ví dụ trong hình 3.6, tất cả các yêu cầu từ nút 0 đến nút 2 sẽ bị tắc nghẽn nếu có một trong hai liên kết  $(0,1)$ ,  $(1,2)$  bị hỏng.



**Hình 3.6. Đường đi ngắn nhất cố định từ nút 0 đến nút 2**

Trong các thuật toán tìm đường ngắn nhất, người ta quan tâm nhiều đến chi phí (cost) hay còn gọi là trọng số (weight) của liên kết giữa các nút. Tùy theo cách các trọng số này được tính toán như thế nào mà người ta có các quan điểm khác nhau về đường ngắn nhất. Các cách tính trọng số thường dựa trên đặc điểm và trạng thái của mạng.

Gọi  $w_{ij}$  là trọng số (chi phí) của liên kết trực tiếp giữa hai nút  $i$  và  $j$ , nếu giữa  $i$  và  $j$  không có liên kết trực tiếp thì xem như  $w_{ij}$  vô cùng lớn,  $\lambda_{ij}^a$  là số lượng bước sóng rỗi trên liên kết tại thời điểm tập hợp các thông tin về trạng thái liên kết,  $\lambda_{ij}^T$  là tổng số bước sóng có trong liên kết.

➤ **Hàm trọng số dựa trên chặng (HW – Hop-based Weight):**

Trong hàm này,  $w_{ij}=1$ . Có nghĩa là các đường được chọn hoàn toàn dựa trên số lượng chặng (hop) nhỏ nhất. Đường ngắn nhất sẽ là đường có số chặng nhỏ nhất. Bằng trực quan, ta có thể nhận xét là khi có ít chặng hơn thì khả năng tìm được một bước sóng chung cho tất cả các liên kết trung gian là lớn hơn.

➤ **Hàm trọng số dựa trên khoảng cách (DW – Distance-base Weight):**

$w_{ij} = d_{ij}$ , với  $d_{ij}$  là khoảng cách vật lý giữa hai nút  $i$  và  $j$ .  $d_{ij}$  được đánh giá bởi độ trễ truyền dẫn. Như vậy, với hàm trọng số này, đường ngắn nhất chính là đường có độ trễ truyền dẫn nhỏ nhất.

➤ **Hàm trọng số dựa trên bước sóng sẵn có (AW – Available wavelengths-base Weight):**

$$w_{ij} = \begin{cases} -\log\left(1 - \frac{1}{\lambda_{ij}^a}\right) & \lambda_{ij}^a > 1 \\ 1 & \lambda_{ij}^a < 1 \end{cases}$$

$\frac{1}{\lambda_{ij}^a}$  có ý nghĩa như độ cản trở của một liên kết khi thiết lập một yêu cầu kết nối, càng có nhiều bước sóng rỗi trên liên kết thì độ cản trở càng thấp, tức là khả năng thiết lập kết nối trên liên kết càng cao. Do đó  $\left(1 - \frac{1}{\lambda_{ij}^a}\right)$  là khả năng chấp nhận yêu cầu kết nối của một liên kết. Vì ta mong muốn cực đại hóa tính sẵn có hoặc độ tin cậy của toàn bộ đường dẫn nên cần phải cực đại hóa các giá trị này của các liên kết trung gian. Do bản chất của thuật toán Dijkstra là ưu tiên cho đường đi nào có trọng số nhỏ hơn nên hàm trọng lượng phải là phủ định âm của hàm  $\log$ . Hàm trọng số này phụ thuộc vào bước sóng rỗi trên liên kết nên có phụ thuộc vào trạng thái mạng.

➤ **Hàm trọng số dựa trên số bước sóng sẵn có và số chặng (HWA – Hop count and Available wavelengths-base Weight):**

$$w_{ij} = \begin{cases} \alpha - \beta \log\left(1 - \frac{1}{\lambda_{ij}^a}\right) & \lambda_{ij}^a > 1 \\ \alpha + \beta & \lambda_{ij}^a < 1 \end{cases} \quad (\alpha, \beta > 0)$$

$\alpha$  và  $\beta$  lần lượt là các trọng số liên quan đến số chặng và số bước sóng sẵn có. Tùy theo ta quan niệm rằng số chặng hay số bước sóng sẵn có là quan trọng hơn mà có các giá trị  $\alpha, \beta$  phù hợp.

➤ **Hàm dựa trên tổng số bước sóng và số bước sóng sẵn có (TAW – Total wavelengths and Available wavelength-based Weight):**

$$w_{ij} = \begin{cases} -\log\left(1 - \left(1 - \frac{\lambda_{ij}^a}{\lambda_{ij}^T}\right)^{\lambda_{ij}^a}\right) & \lambda_{ij}^a < \lambda_{ij}^T \\ 1 & \lambda_{ij}^a = \lambda_{ij}^T \end{cases}$$

Nếu gọi  $p$  là xác suất sử dụng một bước sóng, thì  $p^{\lambda_{ij}^a}$  ( $p$  mũ  $\lambda_{ij}^a$ ) là xác suất mà tất cả các bước sóng sẽ sử dụng cùng một thời điểm trong tương lai. Từ trạng thái hiện tại của mạng, có thể ước lượng xác suất này bằng  $\left(1 - \frac{\lambda_{ij}^a}{\lambda_{ij}^T}\right)$ . Xác suất lớn nhất có một bước sóng sẵn có trên liên kết trong tương lai là  $(1 - p^{\lambda_{ij}^a})$ . Do đó khi một đường dẫn có nhiều liên kết, ta mong muốn cực đại hóa các giá trị  $(1 - p^{\lambda_{ij}^a})$  của tất cả các liên kết thuộc đường dẫn đó. Do thuật toán Dijkstra chọn lựa đường đi tối ưu theo trọng số tăng dần, nên hàm trọng số phải là phủ định âm của hàm  $\log$ , nghĩa là tối thiểu hóa giá trị này.

➤ **Hàm trọng số dựa trên số chặng, tổng số bước sóng và số bước sóng sẵn có (HTAW – Hop count and Total wavelengths and Available wavelengths-based Weight):**

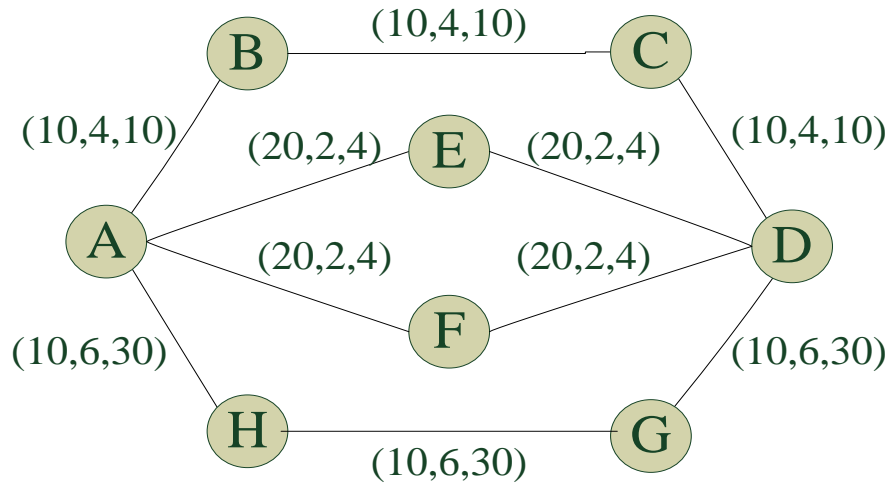
$$w_{ij} = \begin{cases} \alpha - \beta \log\left(1 - \left(1 - \frac{\lambda_{ij}^a}{\lambda_{ij}^T}\right)^{\lambda_{ij}^a}\right) & \lambda_{ij}^a < \lambda_{ij}^T \\ \alpha + \beta & \lambda_{ij}^a = \lambda_{ij}^T \end{cases} \quad (\alpha, \beta > 0)$$

với  $\alpha$  và  $\beta$  lần lượt là các trọng số liên quan đến số chặng và số bước sóng sẵn có.



**Ví dụ minh họa:**

Sau đây, ta sẽ xét một ví dụ để thấy sự lựa chọn hàm trọng số sẽ dẫn đến các kết quả định tuyến theo đường dẫn ngắn nhất khác nhau. Xét một tô pô được cho trên hình 3.7. Giả sử mỗi cạnh của tô pô được gán một nhãn bao gồm ba tham số  $(d_{ij}, \lambda_{ij}^a, \lambda_{ij}^r)$  tương ứng với độ trễ liên kết  $(i, j)$ , số bước sóng sẵn có (rỗi) trên liên kết và tổng số bước sóng trên liên kết.



**Hình 3.7. Tô pô mạng được sử dụng trong ví dụ định tuyến với các hàm trọng số khác nhau**

Ta cần xác định đường đi từ nút A đến nút D. Bảng 3.2 cho thấy các đường đi có thể từ nút A đến nút D và chi phí trên mỗi đường đi được tính bởi các hàm trọng số khác nhau. Giá trị  $\alpha$  và  $\beta$  được giả sử bằng 1.

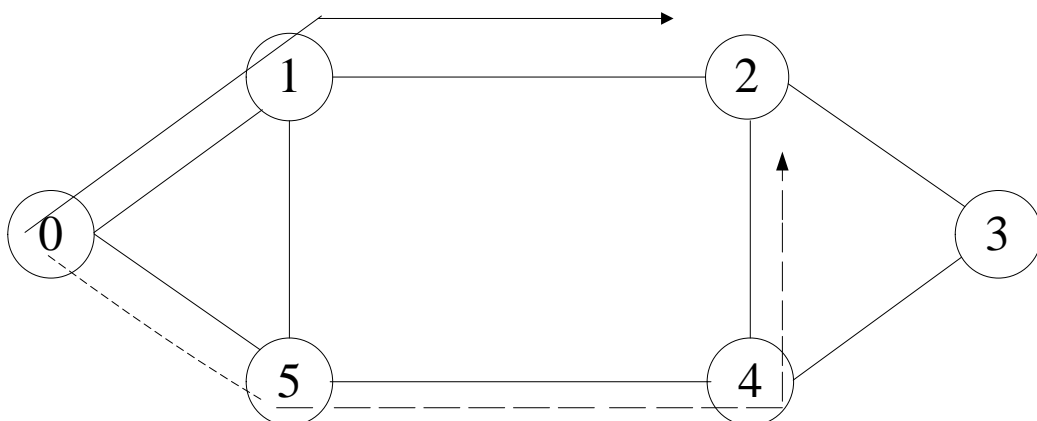
**Bảng 3.2: Chi phí của các đường đi khác nhau tính theo các hàm trọng số khác nhau:**

Đường đi	Chi phí ứng với các hàm trọng số					
	$HW$	$DW$	$AW$	$HAW$	$TAW$	$HTAW$
$A-B-C-D$	3	30	0.375	3.375	0.181	3.181
$A-E-D$	2	40	0.602	2.602	0.250	2.250
$A-F-D$	2	40	0.250	2.250	0.458	2.458
$A-G-H-D$	3	30	0.238	3.396	0.396	3.396

Từ bảng 3.1, ta thấy rằng sử dụng hàm trọng số  $HW$  có thể chọn một trong hai đường  $A-E-D$  hoặc  $A-F-D$ . Trong khi sử dụng hàm trọng số  $DW$  có thể chọn đường đi  $A-B-C-D$  hoặc  $A-G-H-D$ . Nếu sử dụng hàm trọng số là  $AW$ , ta sẽ chọn đường đi là  $A-G-H-D$  vì đường này có số lượng bước sóng sẵn có lớn nhất (6 trên tất cả các liên kết). Nếu chọn hàm trọng số là  $TAW$  thì đường đi được chọn là  $A-B-C-D$ , mặc dù đường đi  $A-E-D$  có các liên kết với các hệ số sử dụng thấp nhất. Tương tự, đường đi được chọn khi sử dụng hàm trọng số là  $HAW$  sẽ là  $A-F-D$  vì đường này có số bước sóng rỗi nhiều hơn đường  $A-E-D$ . Cuối cùng, nếu hàm trọng số là  $HTAW$  thì đường đi được chọn là  $A-F-D$  (với số chạng thấp nhất) bởi vì nó có các liên kết với hệ số sử dụng thấp nhất (50%).

**b) Định tuyến thay thế cố định (Fixed Alternate Routing)**

Phương pháp định tuyến này cải tiến hơn định tuyến cố định bằng cách tìm nhiều đường đi giữa một cặp nút nguồn – đích. Trong phương pháp này, mỗi nút trong mạng phải duy trì một bảng định tuyến chứa danh sách có thứ tự  $K$  đường đi cố định đến mỗi nút. Ví dụ thứ tự trong danh sách có thể được sắp xếp theo đường đi ngắn nhất thứ nhất, đường đi ngắn nhất thứ hai, thứ ba... Đường đi ngắn nhất thứ nhất sẽ được chọn làm đường đi chính thức giữa một cặp nút nguồn – đích, trong khi các đường còn lại được xem là các đường đi phụ hay các đường thay thế. Một đường đi thay thế giữa nút nguồn và đích là đường đi mà không chia sẻ bất kỳ một liên kết vật lý nào với đường đi ngắn nhất chính thức. Hình 3.8 minh họa một đường đi thay thế giữa nút 0 và nút 2.



**Hình 3.8. Đường đi chính thức (liền nét) và đường thay thế (nét gạch) từ nút 0 đến nút 2**

Khi một yêu cầu kết nối đến, nút nguồn cố gắng thiết lập lightpath trên mỗi đường đi theo tuần tự trong bảng định tuyến, cho đến khi một đường đi với một bước sóng xác định được tìm thấy. Nếu không tìm được đường nào thỏa mãn từ danh sách trong bảng định tuyến thì yêu cầu kết nối xem như bị nghẽn và mất đi. Thông thường, bảng định tuyến được sắp xếp theo số chặng (hop) mà mỗi đường phải đi qua để đến được nút đích. Do đó, đường đi ngắn nhất tới nút đích là đường đi qua ít số chặng nhất. Trong giải thuật tìm đường ngắn nhất theo số chặng, chi phí cho mỗi liên kết đều bằng một đơn vị. Trường hợp các đường đi khác nhau có cùng số chặng thì đường đi ngắn nhất sẽ được chọn một cách ngẫu nhiên.

Định tuyến thay thế cố định đơn giản trong việc điều khiển thiết lập và xóa bỏ các đường quang và có thể được sử dụng để cung cấp một khả năng chịu đựng sự đứt liên kết trong mạng ở một mức độ nào đó. Một ưu điểm khác trong định tuyến thay thế cố định là làm giảm đáng kể xác suất tắc nghẽn so với định tuyến cố định.

### **c) Định tuyến thích nghi (Adaptive Routing)**

Định tuyến thích nghi sử dụng thông tin trạng thái mạng tại thời điểm yêu cầu kết nối đến. Nhờ có chú ý đến sự thay đổi của trạng thái mạng, định tuyến thích nghi làm tăng khả năng thực hiện thành công việc thiết lập một kết nối. Dựa vào tính chất thông tin về trạng thái mạng được sử dụng, định tuyến thích nghi được chia làm 2 loại: định tuyến thích nghi dựa trên thông tin tổng thể (Adaptive routing based on global information) và định tuyến thích nghi dựa trên thông tin cục bộ (Adaptive routing based on local information).

Các quyết định định tuyến dựa trên thông tin tổng thể thường cho lời giải tối ưu nhất. Tuy nhiên, thông tin cần được cập nhật thường xuyên và lượng thông tin cập nhật thường rất lớn. Khi lưu lượng trong mạng quang ngày càng tăng và đến một lúc nào đó sẽ bị đột biến thì tại lớp quang, yêu cầu về việc ghép kênh và tính linh hoạt cũng phải ở mức độ cao hơn. Vì thế bản chất việc thiết lập đường quang cũng trở nên động hơn, số lượng yêu cầu kết nối nhiều hơn và các đường quang được duy trì trong khoảng thời gian ngắn hơn. Trong trường hợp này, việc duy trì, cập nhật thông tin tổng thể là rất khó khăn. Các giải quyết nghiêng về định tuyến thích nghi dựa trên thông tin cục bộ. Ưu điểm của việc dùng thông tin cục bộ là các nút không cần phải duy trì một lượng lớn thông tin

về trạng thái mạng. Sau đây ta sẽ xem xét lần lượt hai loại định tuyến này và các giải thuật định tuyến thuộc hai loại này.

➤ **Định tuyến thích nghi dựa trên thông tin tổng thể**

- **Định tuyến theo trạng thái liên kết (Link – state routing):** Trong phương pháp định tuyến này, mỗi nút mạng phải duy trì toàn bộ thông tin trạng thái mạng. Mỗi nút có thể tìm một đường đi cho mỗi yêu cầu kết nối. Bất cứ khi nào trạng thái mạng thay đổi thì phải thực hiện việc thông báo cho tất cả các nút. Vì thế việc thiết lập hay loại bỏ các lightpath đều có thể dẫn đến việc quảng bá các thông tin cập nhật cho tất cả các nút trong mạng. Nhu cầu quảng bá các thông tin này có thể dẫn đến tổng chi phí cho điều khiển tăng lên. Hơn nữa, nếu có một nút nào đó có thông tin chưa được cập nhật cũng sẽ làm cho một nút khác có quyết định định tuyến sai.

- **Định tuyến đường dẫn luân phiên (Alternate – path routing):** Loại định tuyến này cũng giống như định tuyến luân phiên cố định đã nói ở trên. Tuy nhiên, ở đây, trạng thái trạng thái mạng được cập nhật thường xuyên và danh sách các đường ngắn nhất cũng vậy. Tiêu chuẩn để chọn đường đi thường dựa trên chiều dài đường dẫn hoặc độ tắc nghẽn của đường dẫn. Nguyên tắc chọn đường dẫn theo độ tắc nghẽn là xác định các tài nguyên (thường là bước sóng) sẵn có trên mỗi đường dẫn luân phiên và chọn đường dẫn nào có số lượng tài nguyên sẵn có nhiều nhất. Việc lựa chọn đường đi với đường dẫn ngắn nhất thường dùng ít tài nguyên nhất nhưng có thể dẫn đến lượng tải cao trên một vài liên kết trong mạng. Còn việc lựa chọn đường đi với độ tắc nghẽn thấp nhất sẽ dẫn đến việc sử dụng đường dẫn có thể dài hơn nhưng tải được phân bố đều đặn trên mạng hơn.

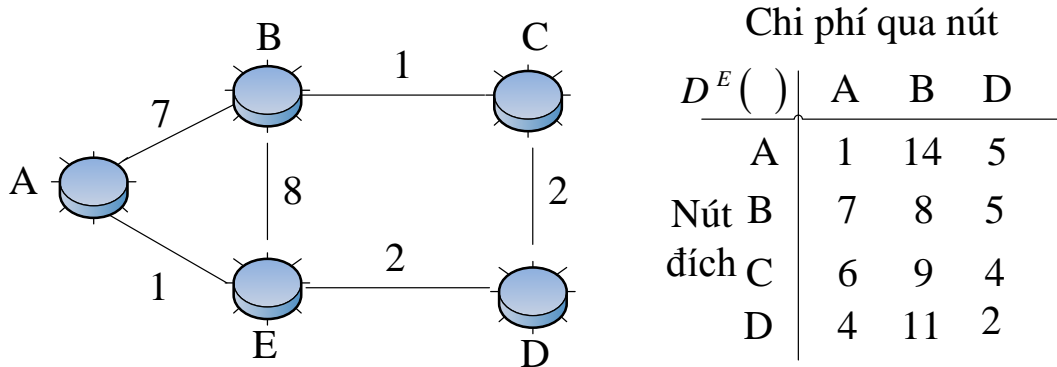
➤ **Định tuyến thích nghi dựa trên thông tin cục bộ**

- **Định tuyến theo khoảng cách vector (distance – vector routing):**

Phương pháp này không yêu cầu mỗi nút duy trì toàn bộ thông tin trạng thái liên kết của mọi nút trong mạng. Thay vào đó, mỗi nút có một bảng khoảng cách (distance table). Mỗi bảng khoảng cách của một nút có một hàng cho mỗi đích đến trong mạng và một cột cho các nút có liên kết trực tiếp với nút đó. Gọi  $D^X(Y, Z)$  là một phần tử trong bảng khoảng cách của nút X.  $D^X(Y, Z)$  chính là chi phí để đi từ nút X đến nút đích Y qua nút Z. Gọi  $c(X, Z)$  là chi phí đi từ nút X đến nút “láng giềng” Z. Do vậy  $D^X(Y, Z)$  được tính theo công thức sau:

$$D^X(Y, Z) = c(X, Z) + \min_w \{D^Z(Y, W)\}$$

Hình 3.9 minh họa một bảng khoảng cách của nút  $E$  trong mạng nằm kế bên. Các phần tử được khoanh tròn chính là chi phí nhỏ nhất để đi đến nút đích. Như vậy, từ bảng khoảng cách, ta có thể dễ dàng suy ra bảng chuyển tiếp (forwarding table), trong đó chỉ rõ cần sử dụng liên kết ra ngõ nào để đến một nút đích tương ứng.



Hình 3.9. Bảng khoảng cách của nút nguồn  $E$

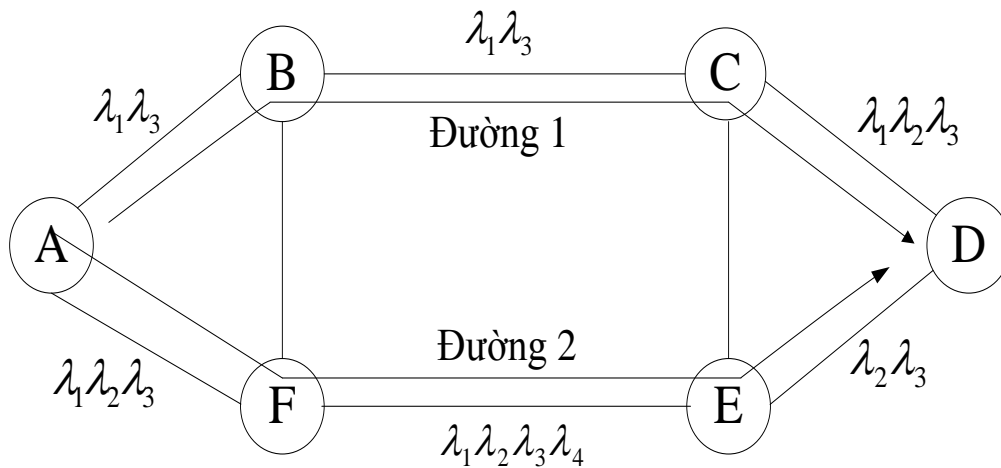
**- Định tuyến đường dẫn luân phiên theo thông tin cục bộ:**

Xét tiêu chuẩn để chọn lựa đường đi là xác suất tắc nghẽn thấp nhất. Ý tưởng cũng giống với phương pháp định tuyến đường dẫn luân phiên theo thông tin tổng thể. Điểm khác biệt là ở chỗ chỉ phải tập trung thông tin về tài nguyên mạng (bước sóng sẵn có) chỉ trên  $k$  chặng đầu tiên của nó.

Ví dụ, trong hình 3.10, nếu ta xét hai đường đi luân phiên từ nút nguồn  $A$  đến nút đích  $D$ , với phương pháp dựa trên thông tin tổng thể thì hai bước sóng  $\lambda_1$  và  $\lambda_3$  sẵn có dọc theo toàn bộ chiều dài của đường 1, trong khi chỉ có bước sóng  $\lambda_2$  sẵn có dọc theo toàn bộ chiều dài của đường 2. Do đó, đường 1 sẽ được chọn.

Với phương pháp dựa trên thông tin cục bộ, nếu  $k = 2$  thì đường 2 sẽ được chọn vì trên hai chặng đầu tiên của đường này có ba bước sóng  $\lambda_1, \lambda_2$  và  $\lambda_4$  sẵn có, trong khi trên hai chặng đầu tiên của đường 1 thì chỉ có hai bước sóng  $\lambda_1$  và  $\lambda_3$  sẵn có.

Mặc dù thông tin cục bộ có thể cung cấp sự ước lượng khá chính xác về độ tắc nghẽn dọc đường dẫn nhưng không đảm bảo rằng bất kỳ bước sóng nào sẵn có trên  $k$  chặng đầu tiên đều sẵn có trên toàn bộ đường dẫn.

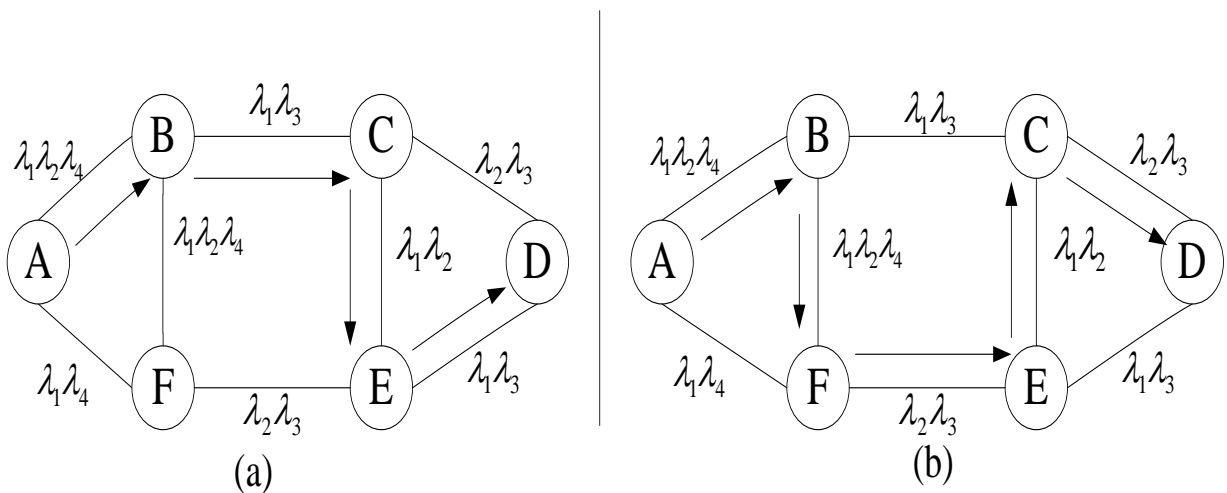


Hình 3.10. Minh họa định tuyến luân phiên

**- Định tuyến chuyển hướng (Deflection routing):**

Một phương pháp khác để định tuyến thích nghi với thông tin bị hạn chế là định tuyến chuyển hướng. Phương pháp định tuyến này chọn đường đi từ các liên kết luân phiên theo từng chặng (hop-by-hop) hơn là từ các đường đi luân phiên giữa hai điểm đầu cuối (end-to-end). Việc định tuyến được thực hiện bằng cách mỗi nút phải duy trì bảng định tuyến có chỉ rõ một hoặc nhiều liên kết ngõ ra luân phiên để đi đến từng nút đích. Các liên kết luân phiên này được sắp thứ tự sao cho ưu tiên các liên kết có tài nguyên (bước sóng sẵn có) nhiều nhất. Như vậy, mỗi nút sẽ chỉ duy trì thông tin về trạng thái của việc sử dụng bước sóng trên các liên kết ngõ ra riêng của nó. Khi chọn một liên kết ngõ ra luân phiên để định tuyến, việc quyết định có thể được xác định dựa trên chọn lựa số chặng ít nhất hoặc xác suất nghẽn thấp nhất. Nếu dựa trên tiêu chuẩn số chặng ít nhất, trước hết, giải thuật định tuyến này sẽ cố gắng chọn một liên kết ngõ ra nào đi đến nút đích với số chặng ít nhất. Nếu liên kết vừa chọn không có sẵn bước sóng khả thi thì giải thuật định tuyến sẽ cố gắng chọn một liên kết ngõ ra luân phiên khác có đường dẫn có số chặng ít nhất kế tiếp. Giải thuật tiến hành như vậy cho đến khi tới nút đích hoặc kết nối bị nghẽn. Hình 3.11(a) minh họa phương pháp định tuyến chuyển hướng theo tiêu chuẩn số chặng ít nhất. Đường dẫn đầu tiên được chọn là  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ . Tuy nhiên khi yêu cầu đến nút C, nó không thể tiếp tục qua liên kết CD vì không có một bước sóng chung nào sẵn có trên toàn tuyến. Vì thế yêu cầu được chuyển sang nút F. Ở đây nó có thể tiếp tục đi đến nút đích dọc theo liên kết FD.

Nếu dựa trên tiêu chuẩn xác suất tắc nghẽn thấp nhất, giải thuật định tuyến sẽ chọn liên kết nào có số bước sóng khả thi lớn nhất trong số các ngõ ra liên kết luân phiên. Tập bước sóng khả thi bao gồm các bước sóng sẵn có trên tất cả các chặng đã đi qua và trên liên kết ngõ ra tiếp theo. Hình 3.11(b) minh họa cho phương pháp này. Ta cũng có yêu cầu kết nối từ A đến D. Trên chặng đầu tiên, liên kết AB được chọn vì có ba bước sóng sẵn có, trong khi liên kết AE chỉ có hai bước sóng sẵn có. Khi yêu cầu kết nối đến nút B, nó sẽ được định tuyến đến nút E vì có đến ba bước sóng khả thi ( $\lambda_1, \lambda_2$  và  $\lambda_4$ ) sẵn có trên liên kết BE và chỉ có một bước sóng khả thi  $\lambda_1$  sẵn có trên liên kết BC. Phương pháp định tuyến chuyển hướng theo tiêu chuẩn xác suất tắc nghẽn thấp nhất thường tạo ra đường dẫn dài hơn so với phương pháp ở trên. Tuy nhiên phương pháp này giúp cân bằng tải đều trên các liên kết của mạng, tránh tình trạng tải tập trung vào một số ít liên kết gây tắc nghẽn.



**Hình 3.11. Minh họa định tuyến chuyển hướng**

Có nhiều vấn đề nảy sinh khi thực hiện định tuyến chuyển hướng. Một trong những vấn đề đó là sự lặp vòng (looping), tức là một bản tin yêu cầu kết nối trở về lại nút nào đó mà nó đã đi qua rồi. Việc chuyển hướng lặp vòng được khắc phục bằng cách mỗi bản tin yêu cầu kết nối phải duy trì một vector đường dẫn để chứa danh sách các nút mà nó đã đi qua. Nếu một nút nào đó nhận bản tin yêu cầu kết nối mà chỉ rõ rằng bản tin đã đi qua nút này rồi thì kết nối xem như bị tắc nghẽn. Một giải pháp khác là tận dụng trường time-to-live, tức thời gian sống của các bản tin yêu cầu kết nối. Trường này sẽ giúp cho các bản tin yêu cầu kết nối không bị lặp vòng vô tận trong mạng.

Một vấn đề khác nữa là yêu cầu kết nối có thể được chuyển hướng nhiều lần dẫn đến một đường dẫn quá dài cho lightpath. Các giải pháp khắc phục vấn đề này là giới hạn về chiều dài hoặc số chặng lớn nhất trong một lightpath, hoặc giới hạn về số lần chuyển hướng có thể có của một đường đi.

### 3.4.3. Bài toán Gán bước sóng động trong IP/WDM

Trước hết, ta cần định nghĩa một số ký hiệu sau:

- $L$ : tổng số liên kết trong mạng.
- $M_i$ : số sợi quang có tại liên kết  $i$  (dành cho các mạng đa sợi (multi-fiber networks)).
- $M$ : số sợi quang trên một liên kết nếu tất cả các liên kết đều có cùng số sợi .
- $W$ : số bước sóng có thể có trên một sợi quang.
- $\pi(p)$ : tập các liên kết của đường  $p$ .
- $S_p$ : tập các bước sóng sẵn có dọc theo đường  $p$ .
- $D$ : ma trận  $L \times W$ , trong đó  $D_{ij}$  chỉ số sợi quang có bước sóng  $j$  đã được gán tại liên kết  $i$ . Chú ý là  $0 \leq D_{ij} \leq M_i$ .

#### a) Giải thuật Random

Đây là giải thuật gán bước sóng đơn giản nhất, theo đó, nút nguồn sẽ tìm kiếm tất cả các bước sóng để xác định tập bước sóng rỗi trên đường đi đã được xác định. Sau đó, một bước sóng sẽ được chọn ngẫu nhiên (với xác suất như nhau) để gán bước sóng cho lightpath đó. Trong trường hợp thiếu thông tin về tình trạng bước sóng trong mạng thì phương pháp này sẽ dẫn đến kết quả cân bằng được số lượng các bước sóng được sử dụng.

#### b) Giải thuật First – Fit

Trong giải thuật này, tất cả các bước sóng đều được đánh số thứ tự. Trong tất cả các bước sóng rỗi, bước sóng có chỉ số thấp hơn sẽ được xem xét trước các bước sóng có chỉ số cao hơn. Như vậy, bước sóng rỗi đầu tiên sẽ được chọn. Thuật toán này không cần thông tin tổng thể.

So sánh với giải thuật Random thì First – Fit có chi phí tính toán ít hơn do không cần phải duyệt qua tất cả các bước sóng cho mỗi tuyến. Ý tưởng của giải thuật này là ép tất cả các bước sóng đang sử dụng về đầu cuối của danh sách các bước sóng để các đường dài hơn có xu hướng sử dụng các bước sóng ở phía trên của danh sách, do đó xác suất thiết lập thành công cao hơn. Giải thuật này cho

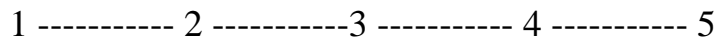


kết quả khá tốt về khía cạnh xác suất nghẽn và thường được sử dụng trong thực tế do đơn giản.

Nhìn chung, phương pháp First – Fit sẽ tốt hơn so với phương pháp Random khi có đầy đủ thông tin về trạng thái mạng. Tuy nhiên, trong trường hợp thông tin bị hạn chế hoặc được cập nhật không kịp thời thì việc cấp phát bước sóng theo phương pháp Random có thể tốt hơn. Lý do là trong phương pháp First – Fit, nếu cùng một lúc có nhiều yêu cầu kết nối muốn thiết lập lightpath, thì hầu như chúng sẽ chọn một bước sóng giống nhau dẫn đến một hoặc nhiều kết nối bị nghẽn.

**Ví dụ minh họa:**

Giả sử ta có 5 nút với 4 liên kết. Mỗi liên kết có thể có 3 bước sóng.

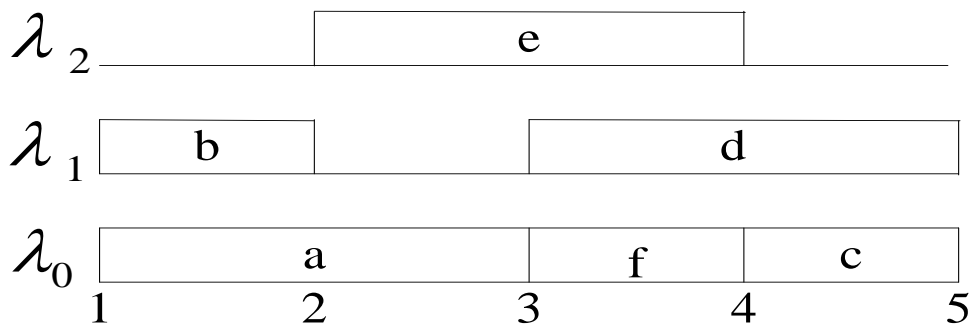


Giả sử các yêu cầu lightpath là như sau:

- {1,3}, {1,2}, {4,5}, {3,5}, {2,4}, {3,4}

Ký hiệu:

Các bước sóng được gán theo giải thuật First – Fit như hình 3.12.



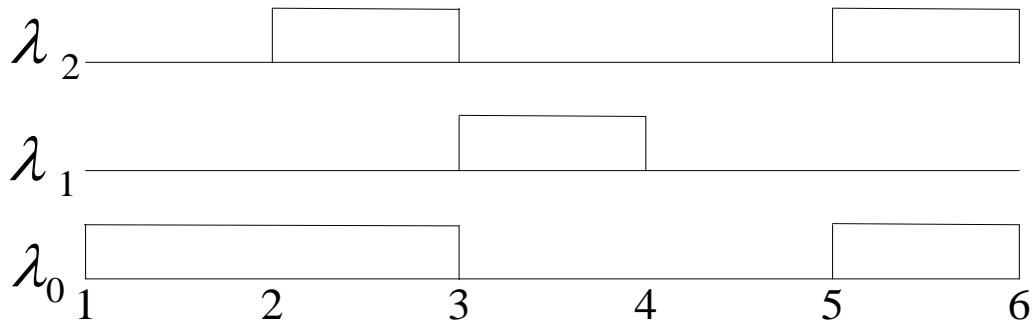
**Hình 3.12. Các bước sóng được gán bởi giải thuật First – Fit**

**c) Giải thuật Least – Used (LU)**

Giải thuật này chọn ra bước sóng ít được sử dụng nhất trong mạng nhằm cố gắng cân bằng tải giữa các bước sóng. So với giải thuật Random thì LU kém hiệu quả hơn trong khi yêu cầu thông tin tổng thể và độ phức tạp tính toán cao hơn, do đó ít được ưu chuộng trong thực tế.

**Ví dụ minh họa:**

Cho trạng thái sử dụng hiện thời của đường đi như trong hình 3.13.



**Hình 3.13. Trạng thái sử dụng bước sóng hiện thời của đường đi**

Giả sử ta cần cấp phát bước sóng cho yêu cầu kết nối  $\{4,5\}$ . Ta thấy  $w_1$  được sử dụng ở ba liên kết,  $w_2$  dùng ở một liên kết,  $w_3$  dùng ở hai liên kết. Do đó giải thuật LU sẽ gán bước sóng  $w_2$  cho yêu cầu này.

**d) Giải thuật Most – Used (MU)**

Giải thuật này ngược lại với LU. Nó cố gắng chọn ra bước sóng được sử dụng nhiều nhất trong mạng tại thời điểm đó nhằm tạo ra nhiều bước sóng rảnh cho các yêu cầu về sau. Độ phức tạp tính toán và hiệu quả của giải thuật này cũng tương tự như LU. Như vậy, ta thấy trên hình vẽ 3.13 thì giải thuật MU sẽ gán bước sóng  $w_1$  cho yêu cầu kết nối  $\{4,5\}$  do  $w_1$  được sử dụng ở nhiều liên kết nhất.

**e) Giải thuật Min – Product (MP)**

Giải thuật này được đưa ra chủ yếu cho các mạng đa sợi. Trong mạng đơn sợi, giải thuật này tương đương với giải thuật First – Fit. Mục đích của giải thuật này là cố gắng gán các bước sóng vào cùng các sợi quang nhằm hạn chế số lượng sợi sử dụng trong mạng. Để thực hiện việc này, giải thuật MP tính tích

$\prod_{l \in \pi(p)} D_{lj}$  cho mỗi bước sóng  $j$  ( $1 \leq j \leq W$ ). MP sẽ chọn bước sóng có tích nhỏ nhất. Tuy nhiên, đã có nghiên cứu chứng tỏ được rằng giải thuật MP không hiệu quả bằng giải thuật First – Fit phiên bản cho mạng đa sợi (trong đó cả sợi và bước sóng đều được đánh số). Mặt khác, MP lại có chi phí tính toán cao hơn.

**Ví dụ minh họa:**

Xét một đường gồm 5 liên kết. Mỗi liên kết có 3 bước sóng và được giả sử có nhiều sợi quang. Bảng ma trận  $D$  được cho như sau:

**Bảng 3.3. Ma trận  $D$  trong ví dụ giải thuật Min – Product**

Liên kết	Bước sóng 1	Bước sóng 2	Bước sóng 3
1	2	3	1
2	3	2	2
3	1	4	1
4	3	1	2
5	5	2	1

Các tích được tính cho mỗi bước sóng:

Với bước sóng 1:  $2*3*1*3*5 = 90$ .

Với bước sóng 2:  $3*2*4*1*2 = 48$ .

Với bước sóng 3:  $1*2*1*2*1 = 4$ .

Như vậy bước sóng 3 sẽ được gán. Rõ ràng khi bước sóng 3 được gán thì ta chỉ sử dụng 3 sợi, trong khi nếu bước sóng 1 hoặc 2 được gán thì phải cần đến 6 hoặc 5 sợi quang.

**f) Giải thuật *Least – Loaded (LL)***

Giải thuật này cũng được đưa ra chủ yếu cho các mạng đa sợi. LL sẽ chọn bước sóng có dung lượng dư lớn nhất (residual capacity), tức là ít được sử dụng trên các sợi nhất, của liên kết có tải có tải nhiều nhất trên đường  $p$ . Với mạng đơn sợi, giá trị của residual capacity là 0 hoặc 1, do đó giải thuật chọn bước sóng có chỉ số thấp nhất với residual capacity bằng 1. Như vậy, giải thuật LL cũng trở thành FF trong mạng đơn sợi. Tóm lại, LL sẽ chọn bước sóng  $j$  nào thỏa mãn:

$$\max_{j \in S_p} \{ \min_{l \in \pi(p)} (M_l - D_{lj}) \}.$$

Giải thuật LL đã được chứng minh là hiệu quả

hơn MU và FF trong việc giảm xác suất tắc nghẽn trong mạng đa sợi.

**Ví dụ minh họa:**

Ta cũng xét bảng ma trận  $D$  được cho trong phần giải thuật Min – Product. Giả sử mỗi liên kết có tối đa 7 sợi quang ( $M_l = 7 \forall l = 1, \dots, 5$ ). Giả sử ta cần thiết lập một lightpath qua hai liên kết 1 và 2.

Với bước sóng 1:  $\min \{(M_1 - D_{11}), (M_1 - D_{21})\} = \min \{(7 - 2), (7 - 3)\} = 4$ .

Với bước sóng 2:  $\min \{(M_2 - D_{12}), (M_2 - D_{22})\} = \min \{(7 - 3), (7 - 2)\} = 4$

Với bước sóng 3:  $\min \{(M_3 - D_{13}), (M_1 - D_{21})\} = \min \{(7 - 1), (7 - 2)\} = 5$ .

Vậy ta chọn bước sóng 3.

**g) Giải thuật Max – Sum ( $M\Sigma$ )**

Giải thuật ( $M\Sigma$ ) được đề xuất cho các mạng đa sợi nhưng cũng có thể áp dụng cho mạng đơn sợi. Giải thuật này xem xét tất cả các đường có thể và cố gắng gán bước sóng sao cho cực đại hóa dung lượng đường còn lại sau khi lightpath được thiết lập. Giải thuật này giả sử rằng ma trận lưu lượng được biết trước và đường đi cho mỗi kết nối đã được lựa chọn trước. Yêu cầu này có thể đạt được nếu giả sử ma trận lưu lượng là ổn định trong một khoảng thời gian nào đó.

Gọi  $\psi$  là trạng thái mạng với các lightpath đang tồn tại. Trong ( $M\Sigma$ ), dung lượng liên kết (link capacity) của bước sóng  $j$  tại liên kết  $l$  được định nghĩa là số lượng sợi tại liên kết  $l$  mà bước sóng  $j$  còn rỗi trên đó.

$$r(\psi, l, j) = M_l - D(\psi)_{lj}$$

trong đó  $D(\psi)$  là ma trận  $D$  ở trạng thái  $\psi$ .

Dung lượng đường đi (path capacity)  $r(\psi, p, j)$  của bước sóng  $j$  là số sợi mà bước sóng  $j$  không được sử dụng tại liên kết bị nghẽn nhiều nhất trên đường  $p$ .

$$r(\psi, p, j) = \min_{l \in \pi(p)} \{r(\psi, l, j)\}$$

Dung lượng đường dẫn của đường  $p$  tại trạng thái  $\psi$  là tổng của dung lượng đường dẫn của tất cả các bước sóng.

$$R(\psi, p) = \sum_{j=1}^{\max} r(\psi, p, j)$$

Gọi  $\psi'(j)$  là trạng thái kế tiếp của mạng nếu bước sóng  $j$  được gán cho kết nối. Giải thuật ( $M\Sigma$ ) sẽ chọn bước sóng nào làm cực đại giá trị:

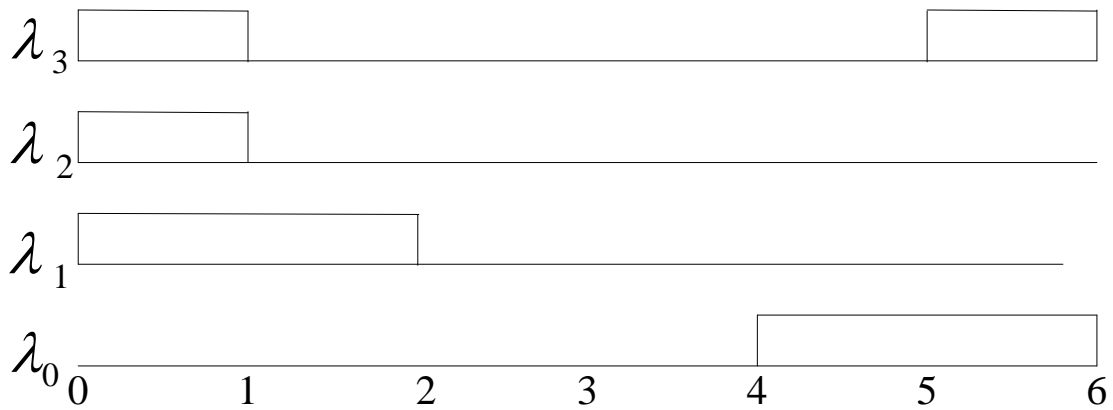
$$\sum_{p \in P} R(\psi'(j), p)$$

Trong đó  $P$  là tập các đường của các yêu cầu kết nối ở trạng thái hiện tại.

Một khi lightpath đã được thiết lập thì trạng thái mạng sẽ được cập nhật và đến lượt yêu cầu kết nối tiếp theo được xem xét.

**Ví dụ minh họa:**

Xét một đường gồm 6 nút được đánh số từ 0 đến 6 liên tiếp. Có một số bước sóng đã được gán như trên hình 3.14.



**Hình 3.14. Ví dụ minh họa cho giải thuật Max – Sum**

Để đơn giản, ta giả sử mỗi liên kết chỉ gồm 1 sợi quang và 4 bước sóng. Giả sử ta cần thiết lập lightpath  $P1$ :  $\{2,4\}$ . Các lightpath cần được thiết lập sau đó là  $P2$ :  $(1,5)$ ,  $P3$ :  $(3,6)$ , và  $P4$ :  $(0,3)$ . Bảng 3.3 cho ta tồn thất dung lượng tổng cộng khi chọn lần lượt các bước sóng để thiết lập lightpath  $P1$ .

Ta thấy rằng nếu thiết lập lightpath  $P1$  trên bước sóng  $\lambda_0$  thì sẽ làm tắc nghẽn  $P4$  trên  $\lambda_0$ . Nếu thiết lập lightpath  $P1$  trên bước sóng  $\lambda_1$  sẽ làm tắc nghẽn  $P3$ . Thiết lập  $P1$  trên  $\lambda_2$  sẽ làm tắc nghẽn cả  $P2$  và  $P3$ . Thiết lập  $P1$  trên  $\lambda_3$  sẽ làm tắc nghẽn  $P2$ . Như vậy chọn bước sóng  $\lambda_2$  sẽ khiến cho tồn thất dung lượng tổng cộng lớn nhất, tức là khả năng nghẽn mạch của các kết nối tương lai cao hơn. Do đó, bất kì trong ba bước sóng còn lại với tồn thất dung lượng tổng cộng như nhau đều có thể được chọn bởi  $(M\Sigma)$ .

**Bảng 3.4. Tồn thất dung lượng tổng cộng trong giải thuật  $(M\Sigma)$ :**

Bước sóng	Tồn thất dung lượng cho từng đường			Tồn thất dung lượng tổng cộng cho mỗi bước sóng
	$P2$ : $(1,5)$	$P3$ : $(3,6)$	$P4$ : $(0,3)$	
$\lambda_3$	1	0	0	1
$\lambda_2$	1	1	0	2
$\lambda_1$	0	1	0	1
$\lambda_0$	0	0	1	1

**h) Giải thuật Relative Capacity Loss (RCL)**

Giải thuật này dựa trên giải thuật  $M\Sigma$ . Giải thuật  $M\Sigma$  có thể được nhìn theo quan điểm chọn bước sóng  $j$  sao cho tối thiểu hóa tồn thất dung lượng trên tất cả các bước sóng.

$$\sum_{p \in P} (R(\psi(j), p) - R(\psi'(j), p))$$

Do chỉ có dung lượng của bước sóng  $j$  là thay đổi sau khi lightpath được thiết lập trên bước sóng  $j$  nên có nghĩa là  $M \Sigma$  sẽ chọn bước sóng  $j$  nào làm tối thiểu hóa tổn thất dung lượng tổng cộng trên bước sóng này.

$$\sum_{p \in P} (r(\psi, p, j) - r(\psi', p, j))$$

Giải thuật RCL chọn bước sóng sao cho tối thiểu hóa tổn thất dung lượng tương đối (Relative Capacity Loss), được tính bởi công thức:

$$\sum_{p \in P} \frac{(r(\psi, p, j) - r(\psi', p, j))}{r(\psi, p, j)}$$

Giải thuật RLC dựa trên lý luận là việc tối thiểu hóa tổn thất dung lượng tổng cộng đôi khi chưa đưa đến một sự lựa chọn bước sóng tốt nhất. Chẳng hạn như việc chọn một bước sóng  $I$  nào đó có thể là tắc nghẽn lightpath  $P1$ , trong khi nếu chọn bước sóng  $j$  khác có thể làm giảm dung lượng  $P2$  và  $P3$  nhưng không làm tắc nghẽn chúng. Do đó, bước sóng  $j$  nên được chọn lựa mặc dù tổn thất dung lượng tổng cộng của bước sóng  $j$  cao hơn là của bước sóng  $i$ . Trong đa số các trường hợp thì giải thuật RLC hiệu quả hơn  $M \Sigma$ .

#### **Ví dụ minh họa:**

Ta hãy tiếp tục xem xét tiếp ví dụ trong phần giải thuật  $M \Sigma$  để làm rõ hơn. Theo kết quả ở trên, bất kỳ trong 3 bước sóng còn lại với tổn thất dung lượng tổng cộng như nhau đều có thể được chọn bởi  $M \Sigma$ . Tuy nhiên, chú ý rằng, nếu chọn  $\lambda_0$  thì đường  $P4$  sẽ bị tắc nghẽn trên mọi bước sóng. Trong khi đó, nếu ta chọn  $\lambda_1$  hay  $\lambda_3$ , mỗi đường còn lại đều có ít nhất một bước sóng mà chúng không bị tắc nghẽn trên đó. Do đó rõ ràng không nên chọn bước sóng  $\lambda_2$ .

Bây giờ ta sử dụng giải thuật RLC. Ta quan sát thấy rằng đường  $P2$  có thể chọn một trong hai bước sóng  $\lambda_2$  và  $\lambda_3$ . Do đó nếu  $P1$  được thiết lập một trong hai bước sóng này thì tổn thất dung lượng tương đối cho  $P2$  sẽ là  $1/2$ . Tương tự,  $P3$  có hai bước sóng có thể thiết lập được, và tổn thất dung lượng tương đối trên các bước sóng này cũng bằng  $1/2$ .  $P4$  thì chỉ có thể thiết lập được trên  $\lambda_0$ , do đó tổn thất dung lượng tương đối là bằng 1 cho bước sóng  $\lambda_0$ . Các kết quả tính toán

được trình bày trong bảng 3.5. Giải thuật RLC chọn bước sóng với tổn thất dung lượng tương đối nhỏ nhất, tức là chọn bước sóng  $\lambda_1$  hoặc  $\lambda_3$ .

**Bảng 3.5. Tổn thất dung lượng tương đối trong giải thuật RLC**

Bước sóng	Tổn thất dung lượng cho từng đường			Tổn thất dung lượng tương đối cho mỗi bước sóng
	$P2: (1,5)$	$P3: (3,6)$	$P4: (0,3)$	
$\lambda_3$	0.5	0	0	0.5
$\lambda_2$	0.5	0.5	0	1
$\lambda_1$	0	0.5	0	0.5
$\lambda_0$	0	0	1	1

### 3.5. Sự giới hạn bước sóng (WR – Wavelength Reservation) trong IP/WDM

Phương pháp WR thường được sử dụng hai phương pháp quen thuộc là Forward Reservation hay còn gọi là Source – Initiated Reservation (SIR) và Backward Reservation hay Destination – Initiated Reservation (DIR).

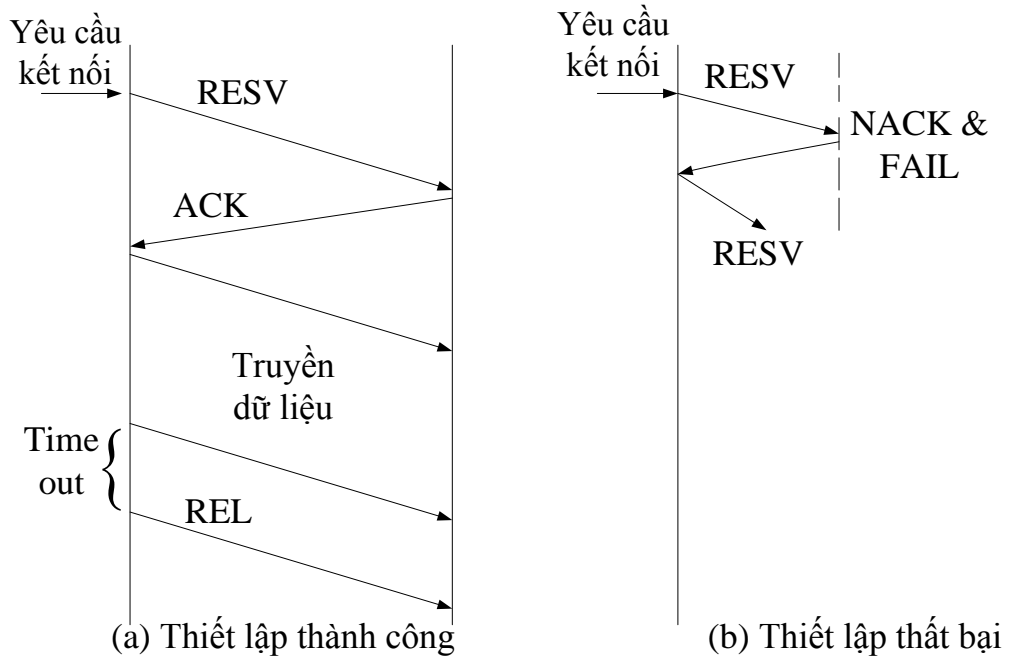
#### 3.5.1. Phương pháp SIR

Trong phương pháp SIR, nút nguồn gửi gói RESV (Reserve Packet) khi xuất hiện yêu cầu thiết lập lightpath. Gói RESV sẽ dành trước một bước sóng từ nút nguồn đến nút đích. Quá trình dành trước được thực hiện tại nút trung gian. Đầu tiên, nút nguồn chọn một bước sóng để dành trước từ các tập bước sóng rỗi bằng giải thuật gán bước sóng và gửi gói RESV về phía nút đích. Khi các nút trung gian nhận được gói RESV, nó sẽ xem bước sóng cần được dành trước có rỗi hay không cho liên kết kế tiếp hay không. Nếu có thì nút trung gian này dành trước (khóa) bước sóng này lại và chuyển tiếp gói RESV đến nút kế tiếp. Quá trình thiết lập lightpath hoàn tất khi gói RESV đến được nút đích. Khi đó một gói ACK (Acknowledgment) được gửi trả về nút nguồn để thông báo cho nút nguồn biết lightpath đã được thiết lập. Khi không còn dữ liệu truyền trên lightpath, nút nguồn chờ trong một khoảng thời gian timeout rồi sau đó gửi gói REL về phía nút đích để giải phóng lightpath.

Do nút nguồn chỉ biết được bước sóng nào rảnh ở các liên kết lân cận nên không thể đảm bảo được bước sóng được chọn đó có rảnh trên các liên kết khác hay không. Nếu không, quá trình dành trước sẽ thất bại và nút trung gian loại bỏ gói RESV, gửi trả về nút nguồn một gói NACK (Negative ACK Packet) và một gói FAIL. Gói NACK thông báo cho nút nguồn biết là quá trình dành trước đã thất bại

tại một nút trung gian nào đó. Trong trường hợp này, khi nhận được gói NACK, nút nguồn sẽ truyền lại gói RESV để thử dành trước một bước sóng khác.

Tình huống thất bại vừa nêu cho ta thấy nhược điểm của phương pháp SIR. Nhược điểm này có thể khắc phục được nếu ta dành trước nhiều bước sóng (over-reservation) thay vì chỉ một. Tuy nhiên, như vậy thì rất lãng phí tài nguyên mạng và có thể gây tắc nghẽn cho các yêu cầu khác.



Hình 3.15. Mô tả phương pháp SIR

### 3.5.2. Phương pháp DIR

Trong phương pháp này, đầu tiên nút nguồn gửi gói PROBE về phía nút đích. Gói PROBE sẽ thu thập các thông tin về trạng thái bước sóng tại các nút trung gian mà nó đi qua. Khi nút đích nhận được gói PROBE, nó sẽ có được tất cả thông tin về việc sử dụng bước sóng tại các liên kết trung gian. Dựa trên các thông tin này, nút đích thực hiện giải thuật gán bước sóng và quyết định chọn một bước sóng để dành trước. Sau đó nó gửi gói RESV trở ngược lại về phía nút nguồn. Khi nút nguồn nhận được gói RESV thì đồng nghĩa với việc lightpath đã được thiết lập xong, nút nguồn bắt đầu truyền dữ liệu. Khi kết thúc việc truyền dữ liệu, nút nguồn cũng đợi một khoảng thời gian timeout trước khi quyết định gửi gói REL để giải phóng lightpath.

Tuy nhiên, quá trình dành trước bước sóng không phải lúc nào cũng thành công. Với phương pháp này, có thể có ba tình huống thất bại.



***a) Tình huống thất bại thứ nhất***

Tình huống thất bại thứ nhất, khi gói PROBE đi qua một nút trung gian, nếu tại nút đó không còn bước sóng nào rảnh thì nút đó sẽ loại bỏ gói PROBE và gửi gói NACK về báo cho nút nguồn biết quá trình thiết lập đã bị thất bại. Khi này nút nguồn có thể sử dụng một đường thay thế và truyền lại gói PROBE trên đường mới hoặc kết nối sẽ bị tắc nghẽn.

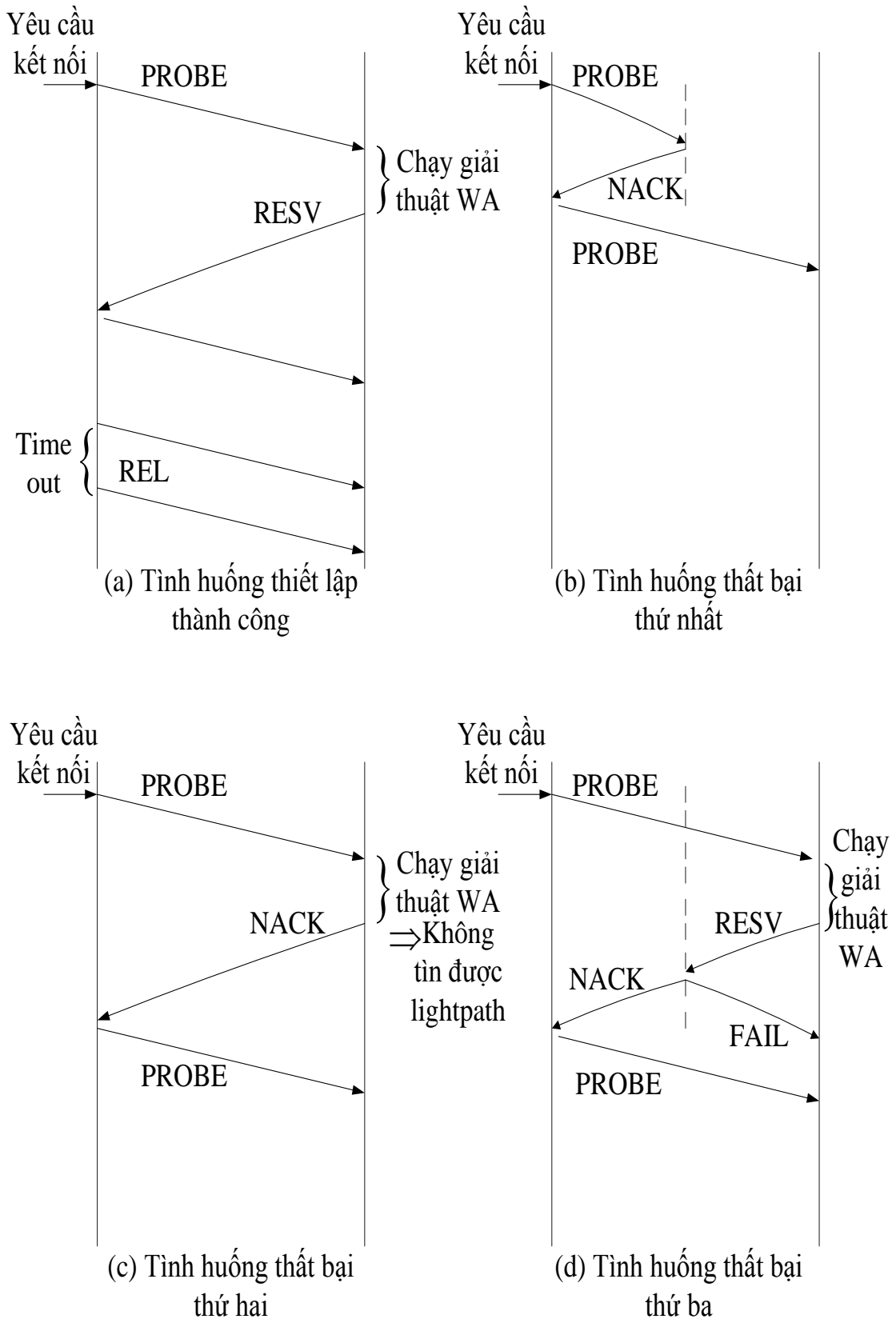
***b) Tình huống thất bại thứ hai***

Tình huống thất bại thứ hai, gói PROBE đã đến được nút đích, tuy nhiên giải thuật gán bước sóng không thể tìm được lightpath nào còn rảnh trong toàn bộ các liên kết trên đường. Khi này, nút đích sẽ gửi gói NACK về nút nguồn. Nút nguồn có thể sử dụng một đường thay thế và truyền lại gói PROBE trên đường mới hoặc kết nối sẽ bị tắc nghẽn.

***c) Tình huống thất bại thứ ba***

Tình huống thất bại thứ ba, giải thuật gán bước sóng đã tìm được bước sóng thích hợp và nút đích gửi gói RESV trở về. Tuy nhiên ta hãy chú ý là giữa thời điểm gói PROBE thu thập thông tin về trạng thái bước sóng tại một nút trung gian đến thời điểm gói RESV đến được nút trung gian này là một khoảng thời gian được gọi là vulnerable time. Trong khoảng thời gian này, trạng thái của nút có khả năng bị thay đổi và bước sóng sắp được dành trước thì có thể đã bị một gói RESV khác đến chiếm mất. Khi đó việc thiết lập lightpath cũng xem như bị thất bại, nút trung gian đó sẽ gửi gói NACK về phía nguồn và gói FAIL về phía nút đích để giải phóng các bước sóng đã được dành trước. Khi nút nguồn nhận được gói NACK trong trường hợp này, nó sẽ truyền lại gói PROBE.

Như vậy, ta thấy tình huống thất bại thứ ba cho ta thấy được nhược điểm của phương pháp DIR. Đó là do khoảng thời gian vulnerable time mà việc dành trước bước sóng có thể sử dụng các thông tin cũ (outdated information). Giữa hai phương pháp DIR và SIR thì DIR được đánh giá cao hơn do giải thuật gán bước sóng được cung cấp nhiều thông tin về trạng thái đường truyền hơn.

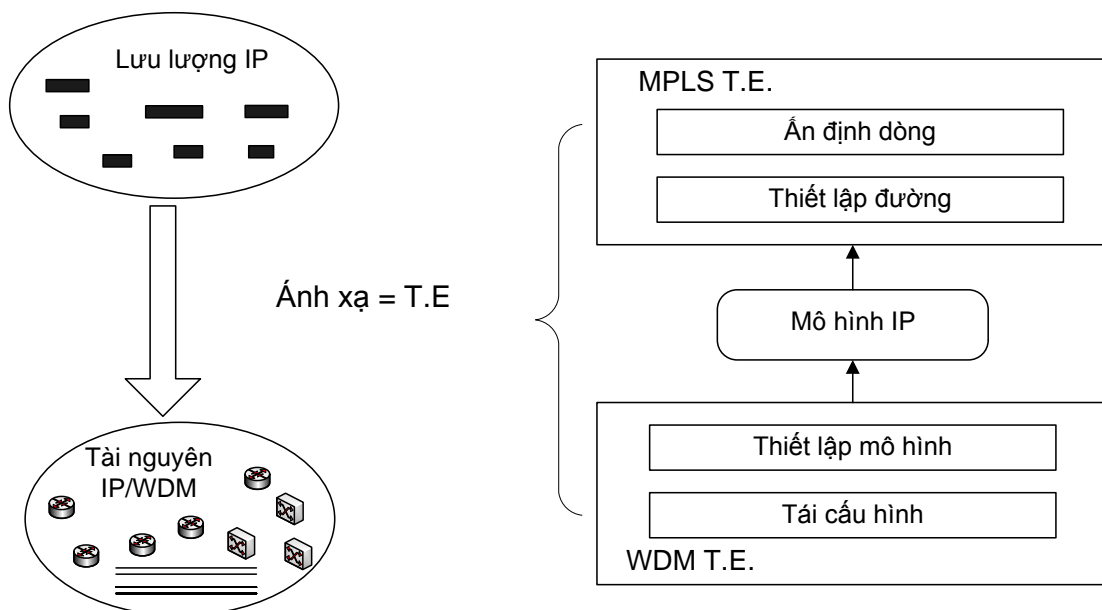


**Hình 3.16. Mô tả phương pháp DIR**

## CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT LƯU LƯỢNG TRONG MẠNG IP/WDM

### 4.1. Khái niệm kỹ thuật lưu lượng IP/WDM

Kỹ thuật lưu lượng IP/WDM là kỹ thuật để tận dụng các tài nguyên IP/WDM (ví dụ như các bộ định tuyến IP, các bộ đệm, các chuyển mạch WDM, các sợi quang và các bước sóng) một cách hiệu quả, để truyền dẫn các gói tin và dòng lưu lượng IP. Kỹ thuật lưu lượng IP/WDM bao gồm kỹ thuật lưu lượng IP/MPLS và kỹ thuật lưu lượng WDM được chỉ ra trong hình vẽ 4.1.



**Hình 4.1. Mô hình kỹ thuật lưu lượng IP/WDM**

Kỹ thuật lưu lượng MPLS giải quyết các vấn đề về phân bổ dòng và thiết kế nhãn đường. Sử dụng kỹ thuật điều khiển đường hiệu MPLS, kỹ thuật lưu lượng MPLS cho phép cân bằng tải trên mô hình IP hiện có. Các MPLS LSP làm việc như là các tuyến ảo cùng chia sẻ một mô hình IP cố định.

Trong khi đó kỹ thuật lưu lượng WDM lại đưa ra các giả định về một mô hình IP tĩnh trên nền mạng WDM. Kỹ thuật lưu lượng WDM giải quyết các vấn đề về thiết kế mô hình đường đi ngắn nhất và dịch chuyển mô hình IP. Trong các mạng WDM có khả năng tái cấu hình, kỹ thuật lưu lượng MPLS và kỹ thuật WDM làm việc ở các tầng khác nhau, nghĩa là ở một tầng IP và một ở tầng WDM. Trong các chuyển mạch gói quang, các kỹ thuật lưu lượng MPLS và WDM có thể được dùng theo mô hình chồng lấn hoặc theo mô hình tích hợp. Xu

hướng đầu tương tự như IP chồng lấn trên nền các mạng WDM có khả năng tái cấu hình (mặt phẳng dữ liệu), trong khi các MPLS LSP (các đường đi ảo) được ấn định cho các mạng quang WDM cố định. Xu hướng thứ hai xây dựng cho các đường đi ngắn nhất, ấn định các dòng trên các đường đi ngắn nhất đó và chuyển tiếp lưu lượng theo một mô hình tích hợp.

#### **4.2. Mô hình hóa kỹ thuật lưu lượng IP/WDM**

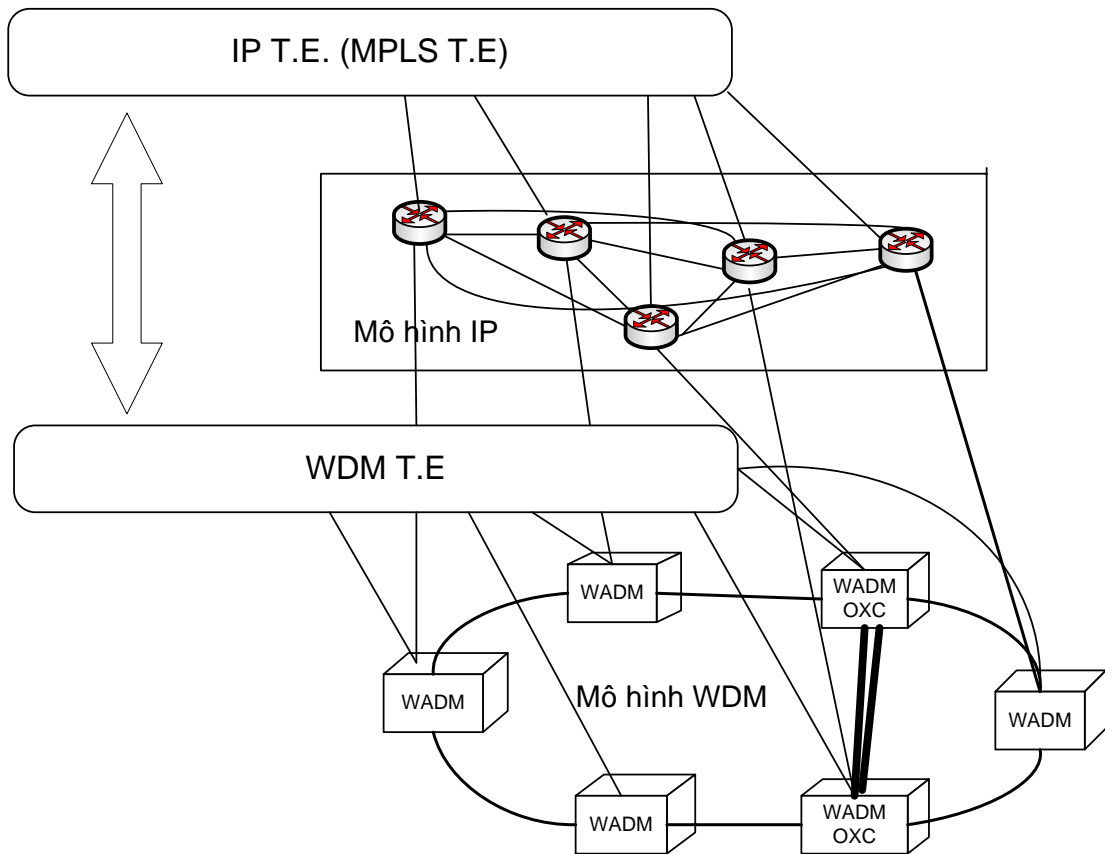
Như đã trình bày ở trên kỹ thuật lưu lượng trong các mạng IP/WDM có thể thực hiện theo hai phương pháp: kỹ thuật chồng lấn và kỹ thuật tích hợp.

Với kỹ thuật lưu lượng IP/WDM chồng lấn, mỗi tầng IP và WDM có một khối kỹ thuật lưu lượng riêng. Sự hoạt động của mỗi mạng có thể độc lập với mạng còn lại. Các giải pháp kỹ thuật lưu lượng được phát triển cho các mạng IP hoặc các mạng WDM có thể được ứng dụng trực tiếp cho mỗi tầng một cách tương ứng. Về mặt tính chất thì mạng khách – chủ chồng lấn là một ví dụ cho kỹ thuật lưu lượng chồng lấn.

Với kỹ thuật lưu lượng tích hợp, sự tối ưu hoá hiệu năng mạng đối với một mục tiêu nhất định đạt được nhờ sự kết hợp giữa cả hai thành phần mạng IP và WDM. Với sự xuất hiện của các phần cứng ngày càng tinh vi cho phép tích hợp chức năng của cả IP và WDM tại mỗi thành phần mạng (NE) nên kỹ thuật lưu lượng tích hợp có thể hoạt động hiệu quả hơn.

##### **4.2.1. Kỹ thuật lưu lượng chồng lấn**

Nguyên lý của kỹ thuật lưu lượng chồng lấn là sự tối ưu hoá đạt được ở từng tầng một. Điều này có nghĩa là sự tối ưu hoá trong một không gian nhiều chiều là kết quả của một quá trình tìm kiếm lần lượt theo các chiều khác nhau. Rõ ràng là kết quả tối ưu hoá phụ thuộc vào thứ tự tìm kiếm và không đảm bảo đó là kết quả tối ưu hoá toàn cục. Chiều nào càng xuất hiện sớm trong chuỗi tìm kiếm thì càng đạt được sự tối ưu hoá tốt hơn. Một lợi thế của kỹ thuật lưu lượng chồng lấn là các cơ chế có thể được điều chỉnh để đáp ứng tốt nhất nhu cầu của một tầng cụ thể (IP hoặc WDM) tùy theo các mục tiêu được lựa chọn. Hình 4.2 mô tả kỹ thuật lưu lượng chồng lấn.



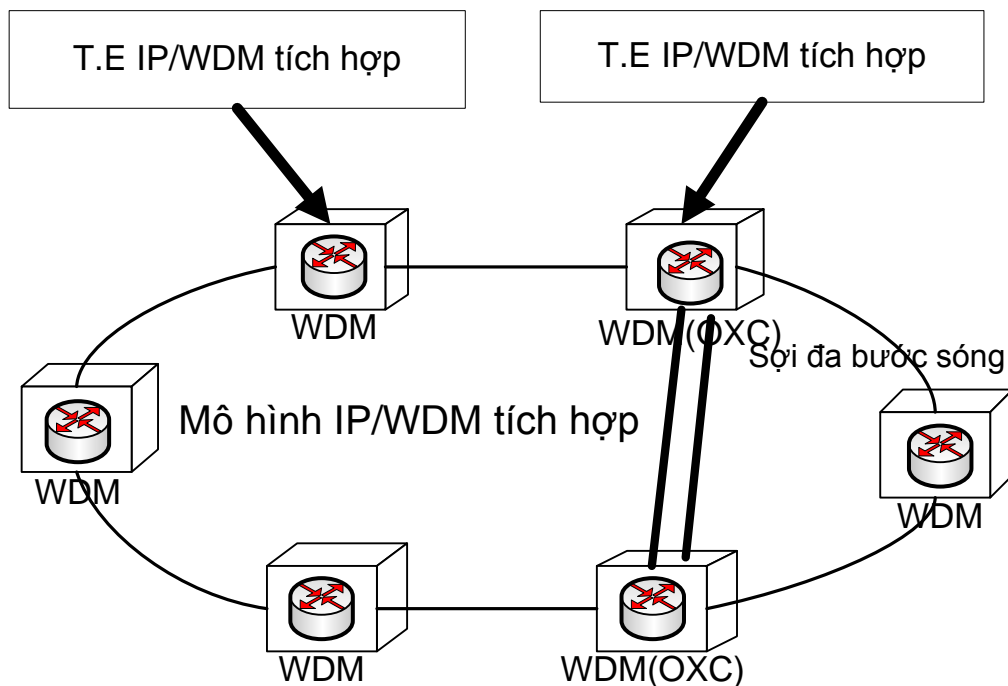
**Hình 4.2. Kỹ thuật lưu lượng chồng lấn**

Kỹ thuật lưu lượng chồng lấn có thể xây dựng bằng việc kết nối các bộ định tuyến IP với mạng WDM dựa trên OXC thông qua một OADM. Các mạng IP/WDM được xây dựng theo phương pháp này thể hiện một mạng WDM dựa trên OXC, tầng chủ được hỗ trợ bởi mạng vật lý trong đó tầng mạng vật lý này được tạo nên bởi các NE quang và các sợi quang. Mỗi sợi quang mang nhiều bước sóng mà việc định tuyến chúng là có khả năng tái cấu hình một cách mềm dẻo. Tầng khách (nghĩa là mạng ảo) hình thành bởi các bộ định tuyến IP được kết nối bởi các đường đi ngắn nhất dựa trên mạng vật lý đó. Mô hình của một mạng ảo có khả năng tái cấu hình được là nhờ khả năng tái cấu hình các đường đi ngắn nhất trong tầng máy khách. Các giao diện của một bộ định tuyến IP kết nối với OADM là các giao diện có khả năng tái cấu hình được. Điều này có nghĩa là các IP lân cận kết nối với một giao diện có khả năng tái cấu hình như vậy có thể được thay đổi bằng cách cập nhật cấu hình đường đi ngắn nhất cơ sở. Trong các mạng IP/WDM, điều khiển tắc nghẽn không chỉ được thực hiện ở tầng dòng sử dụng cùng một mô hình mà còn có thể được thực hiện ở tầng mô hình nhờ sử dụng tái cấu hình đường đi ngắn nhất. Do đó, không chỉ một nguồn lưu lượng điều chỉnh dòng các gói tin của nó trước khi gửi nó vào mạng mà

chính bản thân mạng cũng có khả năng thích ứng trước một kiểu lưu lượng sau một thời gian tùy chọn. Trong tầng IP, điều khiển tắc nghẽn cung cấp nền tảng cho kỹ thuật lưu lượng, nghĩa là làm cách nào để truyền dẫn các dòng bit theo đường đi của chúng một cách nhanh nhất tới đích. Trong tầng WDM, điều khiển ấn định được sử dụng để quản lý các tài nguyên mạng (ví dụ như là bước sóng) và ấn định chúng cho các kết nối IP ảo. Điều khiển ấn định tầng WDM có thể là tĩnh, nghĩa là cố định tại thời điểm bắt đầu của yêu cầu kết nối, hoặc có thể là động và được thay đổi trong thời gian kết nối. Chính sự mềm dẻo này cho phép tầng WDM cung cấp các kết nối cho tầng phía trên với chất lượng dịch vụ khác nhau.

#### 4.2.2. Kỹ thuật lưu lượng tích hợp

Nguyên lý của kỹ thuật lưu lượng tích hợp là sự tối ưu hoá được thực hiện tại cả hai mạng WDM và IP đồng thời. Điều này có nghĩa là đã tìm kiếm được kết quả tối ưu hoá toàn cục trong một không gian nhiều chiều. Kỹ thuật lưu lượng tích hợp có thể ứng dụng cho các mạng trong đó chức năng của cả IP và WDM được tích hợp tại mỗi NE. Khi chức năng IP và WDM được tích hợp, một mặt phẳng điều khiển tích hợp cho cả hai mạng là khả thi. Điều này lại cung cấp sự phù hợp tự nhiên cho một mô hình kỹ thuật lưu lượng tích hợp. Quản lý lưu lượng IP và quản lý và điều khiển tài nguyên WDM được xem xét cùng nhau. Hình 4.3 chỉ ra kỹ thuật lưu lượng tích hợp.



Hình 4.3. Kỹ thuật lưu lượng tích hợp

### 4.2.3. Nhận xét

Sự khác biệt giữa hai xu hướng chồng lấn và tích hợp thể hiện ở mối quan hệ giữa tối ưu hoá hiệu năng và ấn định tài nguyên. Với kỹ thuật lưu lượng chồng lấn, tối ưu hoá hiệu năng, ví dụ như cân bằng tải và định tuyến lưu lượng, có thể được thực hiện ở tầng IP và hoàn toàn tách biệt khỏi ấn định tài nguyên vật lý WDM, được thực hiện ở tầng WDM. Do vậy, tối ưu hoá hiệu năng ở tầng IP có thể sử dụng tái cấu hình và các cơ chế truyền thống không hề liên quan tới tái cấu hình. Khi không sử dụng tái cấu hình thì điều đó có nghĩa là tối ưu hoá hiệu năng đạt được với một tập các tài nguyên cố định (cho một mô hình IP cố định). Khi sử dụng tái cấu hình, nghĩa là đã sử dụng ấn định tài nguyên động cho một mô hình ảo. Sau đó tối ưu hoá hiệu năng tại tầng IP sẽ lựa chọn dựa trên lượng tài nguyên mà nó muốn để xem xét trạng thái tài nguyên của tầng WDM. Chính tầng WDM là nơi xảy ra ấn định tài nguyên vật lý trong thực tế. Mặt khác, tối ưu hoá hiệu năng và ấn định tài nguyên mạng được kết hợp trong mô hình kỹ thuật lưu lượng tích hợp. Nếu như tối ưu hoá hiệu năng có liên quan tới một tập các tài nguyên mạng biến đổi thì ấn định tài nguyên sẽ tự động điều chỉnh trong quá trình tối ưu hoá.

Các mô hình kỹ thuật lưu lượng có thể được triển khai dưới dạng tập trung hay phân tán. Bảng 4.1 thể hiện bốn lựa chọn cho triển khai các mô hình kỹ thuật lưu lượng. Theo trực giác thì xu hướng chồng lấn sẽ thích hợp với dạng tập trung hoặc phân cấp, trong đó có một TE tầng IP và một TE tầng WDM và hai TE này sẽ giao tiếp thông qua UNI ở biên giới WDM hoặc các giao diện giữa IP NMS và WDM NMS. Trong mô hình chồng lấn tập trung, khối quản lý NC&M tầng IP trung tâm và khối quản lý NC&M tầng WDM trung tâm sẽ chia sẻ thông tin trạng thái về tầng của nó. Tuy nhiên, xu hướng này không có tính mềm dẻo vì rõ ràng là sẽ xuất hiện các thắt cổ chai ở các bộ quản lý NC&M tại cả tầng IP lẫn tầng WDM. Xu hướng tích hợp phù hợp một cách tự nhiên với mô hình phân tán cho kỹ thuật lưu lượng. Nghĩa là mỗi điểm đều có khả năng khai thác điều khiển tắc nghẽn và thực hiện ấn định tài nguyên dựa trên thông tin trạng thái mạng IP/WDM được lưu trữ cục bộ. Mô hình phân tán của kỹ thuật lưu lượng nâng cao tính sẵn sàng và tính mềm dẻo nhưng lại phải đối mặt với khó khăn là đồng bộ hoá phức tạp gây ra bởi bản chất của quyết định song song được thực hiện tại các địa điểm phân tán.

**Bảng 4.1. Các mô hình triển khai TE**

	Mô hình chồng lán	Mô hình tích hợp
Triển khai tập trung	TE chồng lán tập trung	TE tích hợp tập trung
Triển khai phân tán	TE chồng lán phân tán	TE tích hợp phân tán

Tóm lại, xu hướng chồng lán sẽ không thể thực hiện một cách hiệu quả khi kích cỡ của mạng tăng vì các máy chủ IP và WDM NMS đều trở thành các thắt cổ chai tiềm tàng. Xu hướng tích hợp sẽ gặp phải vấn đề lớn về độ phức tạp của triển khai. Đồng bộ hoá giữa một lượng lớn các node IP/WDM về trạng thái mạng và thông tin cấu hình đòi hỏi một khoảng thời gian dài để hội tụ. Lựa chọn kỹ thuật lưu lượng chồng lán hay tích hợp và mô hình triển khai tương ứng phụ thuộc vào lưu lượng ứng dụng và mạng vận hành. Mô hình khối chức năng kỹ thuật lưu lượng được trình bày trong đồ án sẽ bao quát cả hai mô hình của hai dạng thức triển khai. Các thành phần trong mô hình khối là chung cho các ứng dụng kỹ thuật lưu lượng trong mạng IP/WDM.

#### **4.3. Mô hình chức năng của kỹ thuật lưu lượng IP/WDM**

Cơ chế cho phép cơ bản trong mô hình khối kỹ thuật lưu lượng là đường đi ngắn nhất và giám sát đường đi ảo theo nhu cầu. Một đặc tính độc nhất vô nhị trong một mạng WDM là khả năng tái cấu hình đường đi ngắn nhất và mô hình ảo. Điều đó có nghĩa là đối với một mô hình sợi quang vật lý, mạng WDM vật lý có thể hỗ trợ một số mô hình ảo được hình thành từ các đường đi ngắn nhất. Hình 4.4 chỉ ra các thành phần chức năng chính của một mô hình khối kỹ thuật lưu lượng có khả năng tái cấu hình và nó bao gồm các thành phần sau:

*Khối giám sát lưu lượng:* thành phần này có nhiệm vụ thu thập các số liệu thống kê lưu lượng (ở đây là lưu lượng IP) từ các bộ chuyển mạch và định tuyến hay trên các tuyến truyền dẫn. Để hỗ trợ tính năng này, các mạng IP/WDM sẽ giám sát lưu lượng IP.

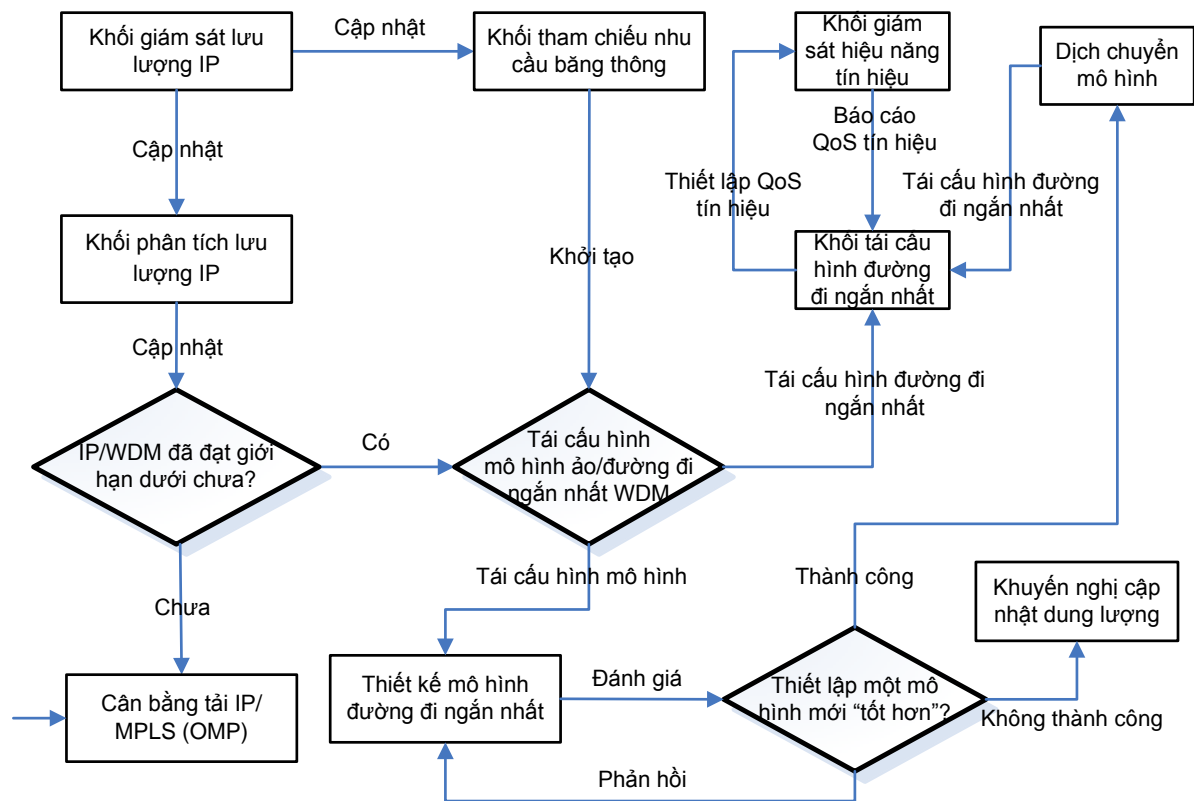
*Khối phân tích lưu lượng:* thành phần này sẽ đưa ra các quyết định dựa trên các số liệu thống kê thu thập được. Mỗi khi có cập nhật, bộ phận này cũng đưa ra các báo cáo phân tích.

*Khối dự đoán băng thông:* thành phần này được sử dụng để dự đoán nhu cầu băng thông trong tương lai gần dựa trên các đặc tính lưu lượng và các kết quả đo kiểm hiện tại và trong quá khứ.



*Khối giám sát hiệu năng tín hiệu:* thành phần này có nhiệm vụ giám sát QoS tín hiệu quang ứng với mỗi kênh bước sóng. QoS tín hiệu là một tập hợp phức tạp của các yếu tố động liên quan tới định tuyến bước sóng và quản lý lỗi. Quản lý lỗi WDM không phải là nhiệm vụ chính của TE nên QoS tín hiệu chỉ được sử dụng bởi tái cấu hình đường đi ngắn nhất.

*Khối khởi tạo tái cấu hình kỹ thuật lưu lượng:* thành phần này bao gồm một tập hợp các quy định. Các quy định này sẽ quyết định khi nào sự tái cấu hình ở mức mạng nên được thực hiện. Quyết định này có thể dựa trên các điều kiện lưu lượng, các dự đoán về băng thông và các yếu tố vận hành khác như là giảm thiểu ảnh hưởng của các thông số chuyển tiếp và đảm bảo thời gian hội tụ mạng phù hợp.



**Hình 4.4. Mô hình khối chức năng kỹ thuật lưu lượng IP/WDM**

*Khối thiết kế mô hình đường đi ngắn nhất:* thành phần này sẽ tính toán một mô hình mạng dựa trên các dự đoán và kết quả đo kiểm lưu lượng. Việc này có thể được coi như việc tối ưu hoá một sơ đồ (các bộ định tuyến IP được kết nối bởi các đường đi ngắn nhất trong tầng WDM) cho những mục tiêu nhất định (ví dụ như là cực đại hoá thông lượng), tùy theo các điều kiện ràng buộc cụ thể (ví dụ như cấp độ node, dung lượng giao diện), đối với một ma trận nhu cầu cho

trước (nghĩa là tải lưu lượng trên mạng). Tìm kiếm một sơ đồ tối ưu yêu cầu lưu lượng tính toán rất lớn. Do việc thay đổi kiểu lưu lượng sẽ khởi tạo tái cấu hình nên một sơ đồ tối ưu hoá có thể sẽ không còn là tối ưu nữa khi sự tái cấu hình của nó hoàn thành trong thực tế. Một xu hướng thực tế hơn là sử dụng các thuật toán kinh nghiệm. Chúng chỉ tập trung vào các mục tiêu cụ thể chẳng hạn như hiệu quả về mặt chi phí, tốc độ hội tụ hoặc giảm thiểu ảnh hưởng lên lưu lượng đang truyền thay vì tìm kiếm tối ưu hoá toàn cục.

*Khởi dịch chuyển cấu hình:* thành phần này bao gồm các thuật toán để lập thời gian biểu cho việc chuyển đổi cấu hình mạng từ cấu hình cũ sang cấu hình mới. Ngay cả khi các tài nguyên tầng WDM là đủ để hỗ trợ bất cứ dịch chuyển nào kế tiếp (tất cả các kết nối mới đều có thể thêm vào trước khi loại bỏ các kết nối không cần thiết) thì vẫn còn các vấn đề khác liên quan tới sự dịch chuyển. Ví dụ như khi tái cấu hình WDM đối với các kênh có dung lượng lớn (ví dụ như lên tới OC-192 trên một bước sóng) thì việc thay đổi ấn định các tài nguyên đối với các lượng lớn như thế sẽ có ảnh hưởng đáng kể lên một số lượng lớn lưu lượng người sử dụng. Một thủ tục dịch chuyển bao gồm một chuỗi các thiết lập và loại bỏ từng đường đi ngắn nhất WDM riêng rẽ. Các dòng lưu lượng phải thích nghi với các thay đổi về đường đi ngắn nhất trong suốt cũng như sau khi diễn ra mỗi bước dịch chuyển.

*Khởi tái cấu hình đường đi ngắn nhất:* thành phần này được sử dụng để tái cấu hình các đường đi ngắn nhất riêng lẻ, nghĩa là thiết lập và huỷ bỏ đường.

*Thuật toán định tuyến đường đi ngắn nhất:* dùng để tính toán đường đi ngắn nhất. Khi tuyến đường đi ngắn nhất là chưa xác định, thành phần này sẽ tính toán đường đi định tuyến hiện có. Nếu đã có sẵn một giao thức định tuyến (ví dụ như giao thức OSPF với các mở rộng cho quang), đường đi định tuyến có thể lấy ra từ bảng định tuyến cục bộ đó.

*Cơ chế huỷ bỏ/thiết lập đường:* dùng để thiết lập hoặc huỷ bỏ một tuyến và nó có thể là một giao thức báo hiệu.

*Quản lý giao diện:* có nhiệm vụ giao diện và cập nhật các thông tin liên quan tới nó. Sự tái cấu hình đường đi ngắn nhất có thể gán lại các giao diện khách WDM cho một đường đi ngắn nhất khác. Điều đó sẽ ảnh hưởng tới giao diện giữa WDM và mạng IP. Định tuyến IP đòi hỏi các địa chỉ IP và chỉ cho phép gói tin được chuyển tiếp trong một mạng con IP. Vì thế một mô hình IP mới có thể đòi hỏi các thay đổi địa chỉ giao diện IP.

## 4.4. Tái cấu hình trong kỹ thuật lưu lượng IP/WDM

### 4.4.1. Các điều kiện tái cấu hình mạng IP/WDM

Kỹ thuật lưu lượng dựa trên MPLS có thể được ứng dụng cho tái cấu hình LSP trong tầng cao hơn. Khi một bộ định tuyến biên vào cần thiết lập một LSP tới một bộ định tuyến biên ra, LSP đó sẽ được tính toán trong mô hình dư thừa có được bằng cách áp dụng tất cả các điều kiện ràng buộc có thể áp dụng vào mô hình đường đi ngắn nhất. Nếu như LSP mới cần đặt trước một băng thông  $B$  nhất định, mô hình dư thừa có thể được rút ra từ mô hình đường đi ngắn nhất. Trong mô hình này các tuyến nối với băng thông sẵn sàng nhỏ hơn  $B$  sẽ bị loại bỏ. Dựa theo mô hình dư thừa, một đường đi ngắn nhất từ bộ định tuyến biên vào tới bộ định tuyến biên ra sẽ được xác định. Nói chung, đường đi này sẽ khác với đường đi ngắn nhất giữa cùng cặp bộ định tuyến đó trong mô hình đường đi ngắn nhất. Cơ chế báo hiệu MPLS đảm bảo sự thiết lập của đường đi được tìm thấy dọc theo các node trung gian mong muốn. Bằng cách kết hợp định tuyến dựa trên điều kiện ràng buộc và thiết lập đường hiện, MPLS tại tầng này có thể khai thác dung lượng giữa một cặp node bất kỳ tới giới hạn được xác định bởi điểm cắt giữa hai node đó. Một khi điểm cắt nhỏ nhất đó đạt được nhưng vẫn cần các LSP từ bộ định tuyến biên vào tới bộ định tuyến biên ra đó thì một trong các hành động sau sẽ xảy ra:

- ✓ Hành động 1: Một số LSP hiện có được loại bỏ trước để giải phóng dung lượng tại thắt cổ chai để chứa các LSP mới nếu như chúng có độ ưu tiên thiết lập cao hơn.
- ✓ Hành động 2: Các yêu cầu thiết lập LSP mới sẽ bị từ chối.

Ở một mức độ nào đó, trường hợp thứ nhất có thể xem như một khó khăn định tuyến dựa trên các điều kiện ràng buộc cụ thể. Trong khi đó trường hợp thứ hai yêu cầu cân bằng tải MPLS đạt được giới hạn của nó.

Với công nghệ WDM hiện nay, có một lớp kỹ thuật lưu lượng khác phục vụ cho LSP lớp trên. Vì mô hình đường đi ngắn nhất được cấu thành từ các kết nối kênh vật lý có khả năng tái cấu hình nên sẽ tồn tại các trường hợp trong đó các thành phần không kết nối được trong mô hình dư thừa có thể tái kết nối. Mô hình đường đi ngắn nhất mới này cùng lúc có thể thoả mãn các yêu cầu kết nối cho tất cả các LSP hiện có.

#### 4.4.2. Tái cấu hình mô hình ảo đường đi ngắn nhất

Trong các mạng WDM có khả năng tái cấu hình, liên kết IP được xây dựng trên các đường đi ngắn nhất WDM đa hop. Một lợi ích về mặt chi phí của mạng quang WDM là nó có thể hoạt động mà chỉ cần sự hỗ trợ tương đối nhỏ (đặc biệt là trong mạng đường trục). Điều này có nghĩa là nhiều kết nối IP khác nhau có thể chia sẻ cùng một tuyến nối vật lý chung và tuyến nối ảo IP sẽ được định tuyến qua các hop chuyển mạch WDM.

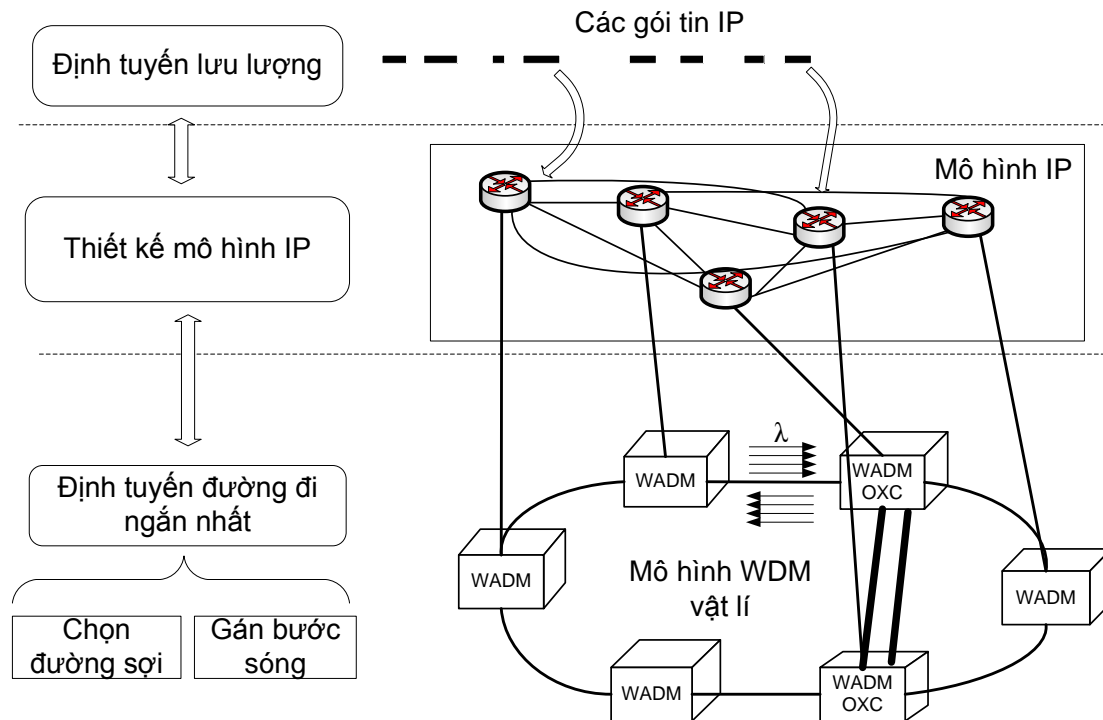
Hình 4.5 mô tả mô hình ảo và định tuyến trong các mạng WDM tái cấu hình được. Có ba thành phần chính trong sơ đồ:

- Định tuyến lưu lượng
- Thiết lập cấu hình IP
- Định tuyến đường đi ngắn nhất

Định tuyến lưu lượng chính là định tuyến gói tin truyền thống, ví dụ như OSPF. Thiết lập cấu hình IP sẽ được trình bày trong phần này. Trong khi đó định tuyến đường đi ngắn nhất cung cấp khả năng ánh xạ từ mô hình IP ảo sang mô hình WDM vật lý. Định tuyến đường đi ngắn nhất bao gồm hai mặt liên quan mật thiết với nhau: chọn đường đi trong sợi và gán bước sóng. Định tuyến đường đi ngắn nhất có thể được triển khai theo một trong hai cách sau:

*Định tuyến đường đi ngắn nhất tĩnh:* phương pháp này tính toán trước và lưu trữ các đường đi định tuyến. Các đường dự phòng thay thế cho mỗi đường đi chính cũng có thể được tính toán và lưu trữ sẵn. Gán bước sóng được thực hiện ngay khi có yêu cầu kết nối đường đi ngắn nhất. Phương pháp này sử dụng các cơ chế gán bước sóng rất đơn giản. Gán bước sóng có thể thực hiện theo cơ chế ngẫu nhiên hoặc cơ chế chọn kênh sóng phù hợp đầu tiên.

*Định tuyến đường đi ngắn nhất thích ứng:* phương pháp này sử dụng thuật toán SPF (chọn đường đi ngắn nhất đầu tiên) động để định tuyến. Thuật toán này đòi hỏi thông tin về trạng thái tuyến nối phải được phổ biến tới các node. Vì sự xuất hiện của các cơ sở dữ liệu trạng thái tuyến nối mang tính cục bộ nên gán bước sóng có thể trở nên phức tạp hơn. Một số cơ chế gán bước sóng là: chọn kênh bước sóng có tải ít nhất, được sử dụng nhiều nhất hay có tốc độ dữ liệu kết nối phù hợp nhất.



**Hình 4.5. Thiết kế và định tuyến mô hình ảo**

Thiết kế mô hình IP và định tuyến đường đi ngắn nhất là các chức năng mặt phẳng điều khiển trong khi đó định tuyến lưu lượng là thành phần duy nhất được sử dụng để chuyển tiếp gói tin cũng như định tuyến gói tin.

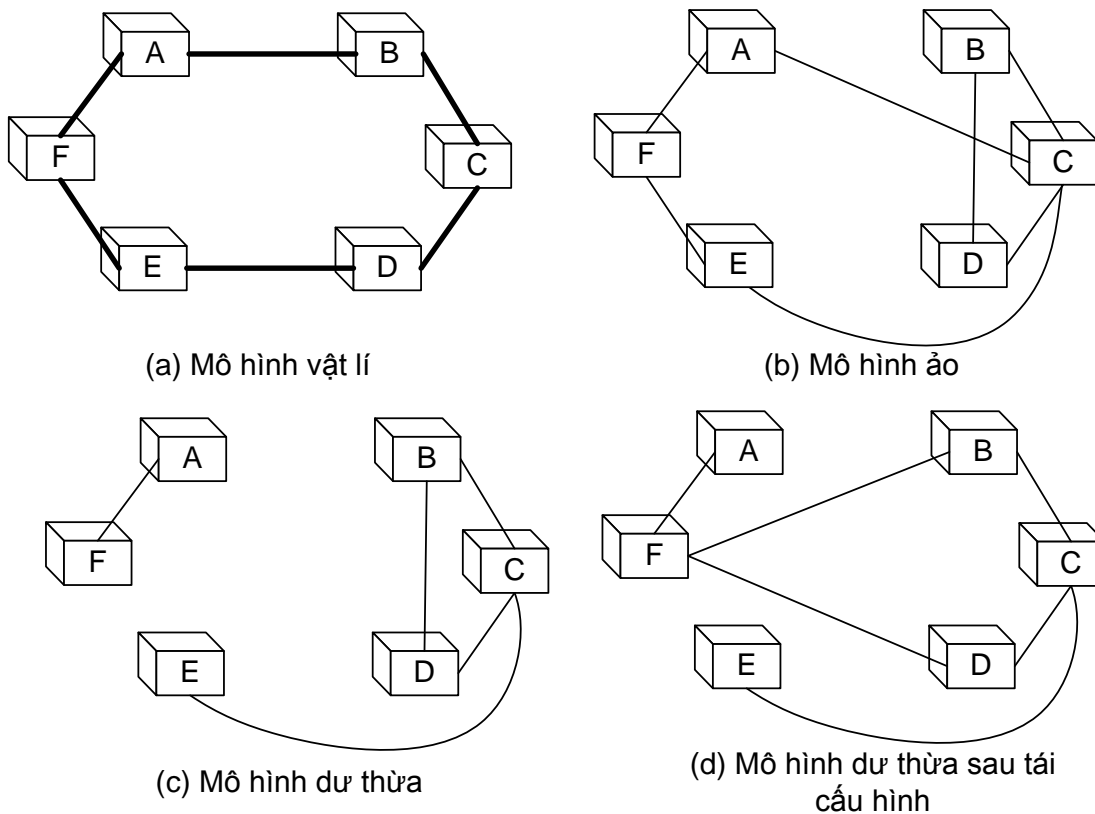
Vì cả thiết kế mô hình ảo và định tuyến đường đi ngắn nhất là các chức năng mặt phẳng điều khiển nên hai thành phần này có thể được kết hợp hoặc kết nối rất gần nhau. Phương pháp kết nối gần nhau dùng cho giải pháp kỹ thuật lưu lượng IP/WDM chồng lấn trong khi phương pháp kia dùng cho giải pháp kỹ thuật lưu lượng IP/WDM tích hợp. Trong một ứng dụng kỹ thuật lưu lượng riêng rẽ thì định tuyến đường đi ngắn nhất dựa trên các điều kiện ràng buộc có thể bổ sung như là một công cụ đánh giá cho thuật toán thiết kế mô hình. Phương pháp này đảm bảo rằng mô hình được thiết kế có thể trở thành hiện thực trong tầng WDM với các dung lượng hiện có.

Trong mạng IP/WDM chồng lấn, tầng chủ có thể do một nhà cung cấp dịch vụ truyền dẫn cung cấp. Họ cung cấp cho nhiều khách hàng dịch vụ khác nhau, chẳng hạn như các khách hàng VPN. Với hình thức như thế thì một khách hàng tại tầng IP sẽ thuê các dịch vụ truyền dẫn từ mạng WDM. Trong hợp đồng dịch vụ, khách hàng sẽ chỉ rõ một tập các bộ định tuyến IP cố định kết nối trực tiếp với mạng WDM. Tầng WDM cung cấp các kết nối ngắn nhất giữa các bộ định tuyến đó. Tuy nhiên, không giống các kết nối đường dây thuê riêng trong các VPN hiện nay, sự sắp xếp của các kết nối ngắn nhất ảo ấy là không cố định.

Trong khi số lượng các kết nối ngắn nhất ấy là cố định hoặc có giới hạn thì mỗi kết nối đường đi ngắn nhất có thể được gán lại để kết nối một cặp bộ định tuyến khác nhau, đáp ứng theo sự thay đổi động các kiểu yêu cầu lưu lượng khác nhau. Điều này đòi hỏi một thuật toán thiết kế mô hình ảo tại tầng IP. Ở đây, mô hình ảo là một sơ đồ chứa các node và các tuyến nối. Các node này là các bộ định tuyến trong khi các tuyến nối là các kết nối đường đi ngắn nhất WDM.

**Ví dụ minh họa thực tế:**

Xét ví dụ một mạng WDM dạng ring có 6 node. Trong hình, các đường biểu diễn các sợi quang, mỗi đường như vậy được hỗ trợ bởi hai bước sóng. Hình 4.6(b) mô tả mô hình đường đi ngắn nhất tương ứng.



**Hình 4.6. Sử dụng tái cấu hình đường đi ngắn nhất để tạo thêm LSP**

Tại một thời điểm node C cần thiết lập một LSP mới tới node F, và mô hình đường đi ngắn nhất dư thừa mà node C thấy tại thời điểm nó đang cố gắng thiết lập LSP mới đó được biểu diễn trên hình 4.6(c). Rõ ràng là, các tài nguyên hiện có sẵn cho node C là không đủ để hỗ trợ LSP đang yêu cầu. Bây giờ câu hỏi đặt ra là liệu có khả năng tái cấu hình một số đường đi ngắn nhất để chứa được LSP mới đó không. Câu trả lời là có thể có. Tuy nhiên, một câu trả lời chắc chắn chỉ có sau một vài các bước kiểm tra. Bước kiểm tra đầu tiên là xem liệu tồn tại một giải pháp tái cấu hình có thể kết nối hai thành phần chưa được kết

nối lại với nhau không. Bước kiểm tra tiếp theo là kiểm tra xem liệu các LSP đang tồn tại có bị tác động và LSP đang được yêu cầu có thể được đáp ứng bởi giải pháp mới hay không. Trong ví dụ này, một giải pháp (và chỉ một giải pháp) có thể vượt qua được bước kiểm tra thứ nhất để tái cấu hình kết nối đường đi ngắn nhất giữa node  $B$  và node  $D$ . Một đặc tính có liên quan quan trọng của đường đi ngắn nhất này là các đầu cuối của nó thuộc một thành phần và đường đi vật lý của đường đi ngắn nhất này vượt qua thành phần khác. Do vậy, một giải pháp tái cấu hình mềm dẻo là phá vỡ đường đi ngắn nhất ở thành phần thứ hai. Có thể chọn để phá vỡ đường đi ngắn nhất tại node  $F$  để đường đi ngắn nhất  $BD$  ban đầu trở thành hai đường đi ngắn nhất  $BF$  và  $FD$ . Khi đó mô hình đường đi ngắn nhất dư thừa sau khi tái cấu hình sẽ như hình 4.6(d).

Ảnh hưởng lên tất cả các LSP đang tồn tại do sự tái cấu hình này gây ra là rất nhỏ. Đặc biệt chỉ các LSP đang sử dụng đường đi ngắn nhất  $BD$  trước khi tái cấu hình là chịu một số tác động nhất định. Sau khi tái cấu hình, mỗi một trong các LSP sẽ đi thêm một node và không LSP hiện có nào được định tuyến lại trên một tuyến đi khác. Hơn thế, nhiều khả năng các LSP hiện có sẽ vẫn đi theo các tuyến ban đầu. Điều này sẽ đảm bảo cho bước kiểm tra thứ hai được thoả mãn. Bây giờ thì việc thiết lập LSP vừa được yêu cầu giữa node  $C$  và node  $F$  được tiến hành bình thường. Ví dụ này loại bỏ tính có hướng của các LSP để làm giảm tính phức tạp của sự giải thích. Nếu xem xét đến tính hướng thì kết quả cũng hoàn toàn không thay đổi.

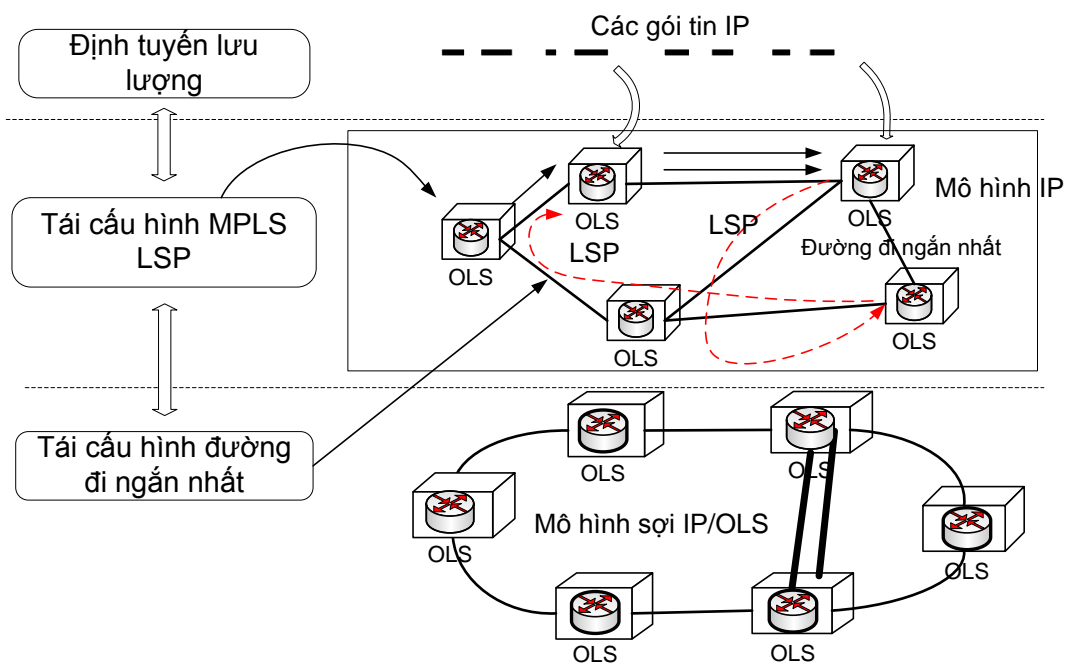
#### **4.4.3. Tái cấu hình cho các mạng WDM chuyển mạch gói**

Rõ ràng là có sự giống nhau giữa các mạng WDM chuyển mạch gói và các mạng chuyển mạch gói khác, chẳng hạn như các bộ định tuyến IP điện. Tuy nhiên, các gói quang sẽ có khuôn dạng bản tin khác. Các khuôn dạng bản tin này sẽ tương tự như các mào đầu nhãn MPLS. Hơn thế, các hệ thống chuyển mạch gói quang phù hợp cho kích thước gói tin lớn hơn so với lưu lượng đầu cuối người sử dụng được hỗ trợ bởi các bộ định tuyến IP điện.

Trong các mạng IP thì nhu cầu hỗ trợ là cả chuyển mạch gói lẫn chuyển mạch kênh. Một mạng IP/OLS có thể được thiết kế theo cách nào đó sao cho bất kỳ bước sóng nào trong sợi quang ở tầng WDM cũng có thể thiết lập động ở chế độ kênh hay chế độ gói. Trong chế độ gói, OLS làm việc giống như chuyển mạch nhãn MPLS làm việc trong các bộ định tuyến chuyển mạch nhãn ở miền điện. Nhưng các hoạt động của OLS xảy ra ở miền quang. Trong chế độ chuyển

mạch kênh, OLS làm việc giống như mạng đầu nối chéo quang. Điều này đòi hỏi phải báo hiệu riêng để thiết lập kênh liên lạc.

Hình 4.7 chỉ ra một tái cấu hình mạng WDM chuyển mạch gói. Như được chỉ ra trên hình, tồn tại một mô hình sợi IP/OLS tích hợp ngay phía trên các MPLS LSP và các đường đi ngắn nhất. Tái cấu hình OLS có liên quan tới tái cấu hình kết nối và tái cấu hình MPLS LSP. Hiện nay các mạng OLS không hỗ trợ hoàn toàn chuyển tiếp dựa trên IP đích, nghĩa là trong mặt phẳng dữ liệu, OLSR không đọc cũng như không hiểu mào đầu IP datagram.



**Hình 4.7. Tái cấu hình trong mạng WDM chuyển mạch gói**

Thuật toán tái cấu hình thực hiện kỹ thuật tích hợp tầng IP và tầng WDM sẽ được xem xét trong phần này. Thuật toán này là phù hợp nhất cho các mạng IP/WDM tích hợp trong đó một giao thức trung tâm IP được sử dụng để điều khiển các giao diện bộ định tuyến vật lý. Một giao thức định tuyến IP trạng thái tuyến, ví dụ như OSPF với các mở rộng hợp lý, được sử dụng để giúp các thành phần mạng phát hiện ra mô hình vật lý. Các bước sóng trong một sợi quang được điều khiển nhờ sử dụng một cơ chế dựa trên MPLS (nghĩa là chọn bước sóng cục bộ). Thông tin liên quan tới kết nối đường đi ngắn nhất và chế độ hoạt động của mỗi một bước sóng trong tất cả các sợi cũng được truyền thông qua các OSPF mở rộng. Mỗi thành phần mạng duy trì hai mô hình mạng. Một mô hình là mô hình vật lý mô tả các thành phần mạng vật lý và các kết nối sợi



quang giữa chúng. Mô hình còn lại là mô hình đường đi ngắn nhất trong đó xác định các kết nối đường đi ngắn nhất. Khi một thành phần mạng quyết định thiết lập một kết nối đường đi ngắn nhất mới, đầu và cuối của đường đi ngắn nhất đó sẽ có trách nhiệm định tuyến đường đi ngắn nhất thông qua mô hình vật lý thoả mãn các điều kiện ràng buộc của mạng. Khi một node nguồn muốn gửi dữ liệu tới một node đích, có thể tồn tại hoặc không tồn tại một đường đi ngắn nhất trực tiếp giữa chúng. Hơn thế nữa, việc thiết lập một đường đi ngắn nhất mới có thể hoặc không thực hiện được tùy theo độ khả dụng kênh và các điều kiện ràng buộc khác. Trong MPLS điện truyền thống, các LSP là các kênh ảo do đó chúng có thể được thiết lập để hỗ trợ kết nối hình lưới hoàn toàn. Do vậy, dữ liệu chuyên mạch nhãn trong MPLS có thể được phân phát trong một hop LSP.

Cho các kết nối không hoàn toàn trong OLS, cần có định tuyến dữ liệu tại mỗi thành phần mạng và không gian định tuyến tương ứng là mô hình đường đi ngắn nhất. Do đó ở đây tồn tại hai tầng định tuyến. Cấu trúc xếp tầng này là kết quả tự nhiên của việc gắn một mô hình gói (IP) trong một miền chuyển mạch kênh (WDM chéo). Kết quả là kỹ thuật lưu lượng có thể được thực hiện ở mỗi tầng. Trong khi tại tầng cao hơn, nghĩa là mô hình đường đi ngắn nhất, các giải pháp kỹ thuật lưu lượng MPLS điện hiện có có thể được ứng dụng. Tầng thấp hơn cần một thuật toán lý thuyết để xác định cấu hình và tái cấu hình đường đi ngắn nhất trong mô hình vật lý của mạng WDM. Hơn thế, cũng cần các tương tác kết hợp của hoạt động kỹ thuật lưu lượng giữa tầng thấp và tầng cao.

Có hai phương pháp để thiết lập một đường mới. Đường mới này có thể là đường đi ngắn nhất hoặc LSP. Với xu hướng thứ nhất, bất cứ khi nào một node cần thiết lập một LSP tới một node khác thì đầu tiên, node đầu cuối đó sẽ cố gắng thiết lập đường đi ngắn nhất trực tiếp tới node đầu cuối. Nếu như tầng vật lý không thể hỗ trợ đường đi ngắn nhất đó, node đầu cuối đó sẽ cố gắng định tuyến LSP đó thông qua mô hình đường đi ngắn nhất hiện tại, nghĩa là thiết lập một LSP điện. Nếu quá trình này cũng thất bại, tái cấu hình đường đi ngắn nhất sẽ được sử dụng. Xu hướng thứ hai có xu hướng tận dụng tối đa các tài nguyên WDM đã được cấu hình trước khi thực hiện cấu hình các tài nguyên bổ sung. Khi một node cần phải thiết lập một LSP tới một node khác, node đầu cuối luôn luôn cố gắng định tuyến LSP đó thông qua mô hình đường đi ngắn nhất hiện có, nghĩa là thiết lập một LSP điện. Nếu quá trình này thất bại, node đầu cuối đó sẽ cố gắng thiết lập một đường đi ngắn nhất trực tiếp tới node đầu cuối, nghĩa là

thiết lập một LSP quang. Nếu quá trình này vẫn không thành công thì tái cấu hình đường đi ngắn nhất sẽ được kích hoạt. Các thuật toán thiết lập đường đi ngắn nhất và tái cấu hình có thể được sử dụng ở cả hai xu hướng. Ý tưởng cơ bản là định tuyến đường đi ngắn nhất qua mô hình vật lý đáp ứng các điều kiện ràng buộc như là độ khả dụng bước sóng, tính liên tục bước sóng và chất lượng tín hiệu quang.

## KẾT LUẬN

Như vậy, sau một thời gian tìm hiểu, nghiên cứu em đã hoàn thành đồ án **“Nghiên cứu mạng IP/WDM”**. Đồ án đã đưa ra một cách tổng quát về hệ thống thông tin quang, hệ thống ghép kênh theo bước sóng WDM, tổng quan mạng IP/WDM: nguyên lý, mô hình, các giao thức định tuyến, kỹ thuật lưu lượng trong mạng và nhiều vấn đề liên quan.

Do tính đơn giản về mặt kỹ thuật và không cần thay đổi nhiều về phần cứng khi áp dụng vào các hệ thống hiện có, chắc chắn mạng IP/WDM sẽ là giải pháp cho mạng Internet đang đòi hỏi tốc độ cao và cung cấp các dịch vụ phong phú. Mạng IP/WDM chính là sự kết hợp ưu điểm của các mạng truyền dẫn tốc độ cao với các giao thức điều khiển, định tuyến đơn giản. Do đó, mạng IP/WDM còn có thể áp dụng được cho nhiều kiểu mạng khác nhau: từ các mạng đa truy cập đến các mạng lõi dung lượng lớn.

Tuy nhiên, mạng IP/WDM vẫn còn một số hạn chế, cũng có nhiều lý do mà mạng IP/WDM còn chưa được áp dụng rộng rãi. Một trong những lý do đó là giá thành và trong nhiều trường hợp thì việc định tuyến trong mạng IP/WDM tốn kém hơn nhiều so với định tuyến thông thường.

Nhưng có thể nói rằng ưu điểm của mạng IP/WDM là không thể phủ nhận, nó sẽ là một công nghệ mạng mới cho tương lai. Mạng IP/WDM đang là điểm tập trung nghiên cứu của các nhà khoa học và nhiều hãng trên thế giới nhằm đưa các sản phẩm ứng dụng của mạng IP/WDM vào hoạt động trong các môi trường mạng khác nhau.

IP/WDM nói chung và các kỹ thuật liên quan đến mạng nói riêng là những vấn đề mới và rộng, đặc biệt là tại Việt Nam. Chính vì thế còn rất nhiều vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu sâu hơn như:

- Các thuật toán mới để áp dụng cho tình trạng nghẽn mạch trong mạng IP/WDM cũng như những ảnh hưởng của chúng lên hiệu năng mạng.
- Kiểu định tuyến, xu hướng lưu lượng và tình trạng cụ thể của mạng viễn thông Việt Nam. Từ đó, đưa ra các ứng dụng phù hợp – điều này sẽ tạo ra những lợi ích rất lớn trong mạng băng rộng trong tương lai.

Đồ án **“Nghiên cứu mạng IP/WDM”** mới chỉ là bước đầu xem xét nghiên cứu về một giải pháp mạng mới. Do thời gian có hạn, việc nghiên cứu lại chủ yếu dựa trên lý thuyết nên đồ án của em chắc chắn sẽ có nhiều thiếu sót. Em

rất mong nhận được những ý kiến đánh giá, góp ý của các Thầy – Cô và các bạn để đồ án của em được hoàn thiện hơn.

Cuối cùng, em xin gửi lời cảm ơn chân thành tới thầy giáo ThS Đoàn Hữu Chúc người đã trực tiếp hướng dẫn và giúp đỡ em hoàn thành đồ án tốt nghiệp này. Đồng thời, em cũng gửi lời cảm ơn đến toàn thể Thầy – Cô, các bạn và gia đình đã giúp đỡ, ủng hộ em rất nhiều trong suốt thời gian qua.

Em xin chân thành cảm ơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1- **ThS Đỗ Văn Việt Em**, “Kỹ thuật thông tin quang 2”, Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông, 2007.

2- **Kevin H.Liu**, “IP over WDM”, Qoptics Inc, Oregon, USA.

3- **George N. Rouskas**, “Routing and Wavelength Assignment in Optical WDM Networks”, Department of Computer Science, 2000.

4- **ThS Hoàng Văn Bình, ThS Vũ Long Oanh**, “Lựa chọn công nghệ phù hợp cho mạng truy nhập cố định NGN”, 2006.

5- **Presented by Dr. Knut Ovsthus, Telenor R&D**, “IP optimised network architectures and their evaluation”, 2008.

6- **ThS Nguyễn Bá Hưng**, “Chuyển mạch gói quang và khả năng ứng dụng trong mạng viễn thông Việt Nam”, Theo tập san ”Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ 2006”, Viện Khoa học Kỹ thuật Bưu điện.

7- **Nguyễn Thế Cường**, Đồ án “Kỹ thuật lưu lượng mạng IP/WDM”, Học viện Bưu chính Viễn thông I, 2005.

8- **Sudhir Dixit**, IP Over WDM Building the Next Generation Optical Internet, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2008.

9- **Một số trang web:**

<http://www.2cool4u.ch/>

<http://HowStuffWork/HowRoutingAlgorithmsWork>

<http://en.wikipedia.org/wiki/>

<http://vi.wikipedia.org/wiki/>