

# Luận văn

**Định tuyến và gán bước sóng trong mạng  
WDM (Routing and Wavelength Assignment)**

# LỜI MỞ ĐẦU

Hệ thống thông tin quang ra đời cùng với những ưu điểm vượt trội của nó đã và đang áp dụng rộng rãi trên mạng lưới thông tin toàn cầu. Hiện nay, các hệ thống thông tin quang truyền dẫn tất cả các tín hiệu dịch vụ băng hẹp, băng rộng đáp ứng yêu cầu của mạng số tích hợp dịch vụ ISDN. Vì thế, hệ thống thông tin quang sẽ là mũi đột phá về tốc độ truyền dẫn và cấu hình linh hoạt cho các dịch vụ viễn thông cấp cao.

Đối với hệ thống thông tin quang, môi trường truyền dẫn chính là sợi quang, nó thực hiện truyền ánh sáng mang tín hiệu thông tin từ phía phát tới phía thu. Định tuyến và gán bước sóng trở thành chức năng không thể thiếu được trong mạng quang WDM. Vấn đề đặt ra là định tuyến đường đi cho ánh sáng và gán bước sóng cho nó trên mỗi tuyến như thế nào để đạt được một mạng tối ưu.

Trong đồ án kĩ thuật thông tin này, em xin trình bày về đề tài định tuyến và gán bước sóng trong mạng WDM (Routing and Wavelength Assignment). Đồ án được chia thành bốn chương:

- ❖ Chương 1: Tổng quan về hệ thống thông tin quang.
- ❖ Chương 2: Giới thiệu về hệ thống WDM.
- ❖ Chương 3: Định tuyến và gán bước sóng trong mạng WDM.
- ❖ Chương 4: Thực hiện mô phỏng định tuyến cho đường đi ánh sáng lightpath.

Đề tài “Định tuyến và gán bước sóng trong mạng WDM” của đồ án này đã phân tích sự cần thiết của chức năng định tuyến và gán bước sóng trong mạng quang WDM, trở thành chức năng không thể thiếu trong việc điều hành mạng quang.

Phương pháp nghiên cứu của đề tài: dựa vào chức năng của định tuyến và gán bước sóng trong WDM, thực hiện mô phỏng chức năng định tuyến trong mạng. Ánh sáng đi trong sợi quang phải đi qua nhiều node mạng trung gian để tới node đích, tức là qua các tuyến trung gian. Việc định tuyến với tiêu chí tối ưu hàm mục tiêu là các tham số quen thuộc như băng thông, độ trễ, chi phí tuyến,... Vì thế dùng thuật toán tìm đường ngắn nhất Dijkstra để thực hiện mô phỏng định tuyến tối ưu mạng.

Em xin chân thành cảm ơn thầy giáo Nguyễn Văn Phòng đã tận tình hướng dẫn, cung cấp tài liệu, đồng thời động viên trong thời gian em nghiên cứu đề tài này. Em xin cảm ơn tất cả các thầy cô giáo trong khoa Điện Tử Viễn Thông đã nhiệt tình dạy dỗ, cung cấp trang bị cho em những kiến thức quý báu, cảm ơn gia đình đã động viên em trong suốt thời gian vừa qua, cảm ơn các bạn đã góp những ý kiến chân thành góp phần giúp em hoàn thành đề án.

Trong thời gian thực hiện đề án khá ngắn đờ án, mặc dù có nhiều cố gắng nhưng đề án không khỏi tránh những thiếu sót. Kính mong các thầy cô giáo trong khoa cùng các bạn tận tình chỉ bảo và góp ý kiến để đề án được hoàn thiện hơn. Em xin chân thành cảm ơn.

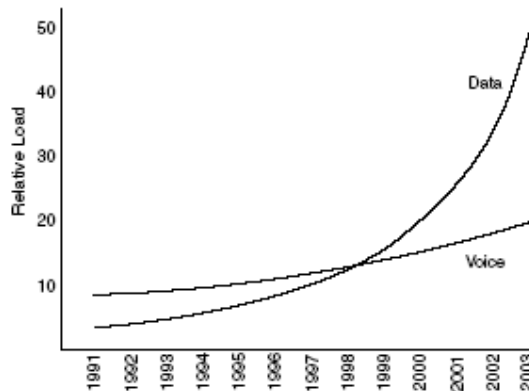
Đà Nẵng, ngày...tháng...năm 2007

## CHƯƠNG 1

### TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG.

#### 1.1. Giới thiệu chương

Lượng thông tin trao đổi trong các hệ thống thông tin ngày nay tăng lên rất nhanh. Bên cạnh gia tăng về số lượng, 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 được 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.



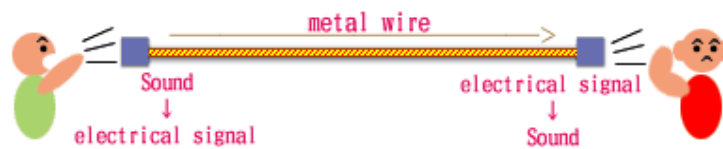
**Hình 1.1: Sự gia tăng lưu lượng dữ liệu và tiếng nói qua các năm.**

Kỹ thuật thông tin quang có thể được xem là vị cứu tinh của chúng ta trong việc giải quyết vấn đề trên. Bởi vì hệ thống thông tin quang ra đời với những khả năng vượt trội của nó: băng thông khổng lồ (gần 50Tbps), 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 được xem là kỹ thuật cho hệ thống thông tin băng rộng. Các hệ thống thông tin quang 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.

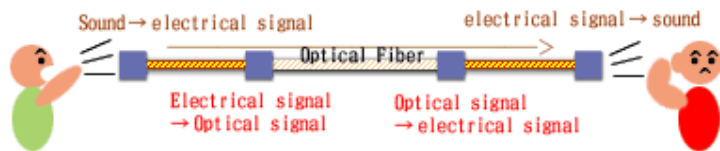
Vì vậy việc phát triển và xây dựng hệ thống thông tin sợi quang là cần thiết cho nhu cầu phát triển thông tin trong tương lai. Trong chương này sẽ nói rõ về hệ thống thông tin sợi quang và việc truyền ánh sáng trong sợi quang.

## 1.2. Giới thiệu về thông tin quang

Khác với thông tin hữu tuyến hay vô tuyến - các loại thông tin sử dụng các 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

### 1.2.1. Sự phát triển của thông tin quang

Các phương tiện sơ khai của thông tin quang là khả năng nhận biết của con người về chuyển động, hình dáng và màu sắc sự vật qua đôi mắt. Tiếp đó một hệ thống thông tin điều chế đơn giản xuất hiện bằng cách sử dụng các đèn hải đăng, các đèn hiệu. Sau đó, năm 1791, VC. Chape phát minh một máy điện báo quang. Thiết bị này sử dụng khí quyển như là một môi trường truyền dẫn, do đó chịu ảnh hưởng của các điều kiện về thời tiết. Để giải quyết hạn chế này, Marconi đã sáng chế ra máy điện báo vô tuyến có khả năng thực hiện thông tin giữa những người gửi và người nhận ở xa nhau.

Đầu năm 1880, A.G. Bell- người phát minh ra hệ thống điện thoại đã nghĩ ra một thiết bị quang thoại có khả năng biến đổi dao động máy hát thành ánh sáng.

Tuy nhiên, sự phát triển tiếp theo của hệ thống này đã bị bỏ bê do sự xuất hiện hệ thống vô tuyến.

Sự nghiên cứu hiện đại về thông tin quang được bắt đầu bằng sự phát minh thành công của Laser năm 1960 và bằng khuyến nghị của Kao và Hockham năm 1966 về việc chế tạo sợi quang có độ tổn thất thấp. Bốn năm sau, Kapron đã có thể chế tạo các sợi quang trong suốt có độ suy hao khoảng 20dB/km. Được cổ vũ bởi thành công này, các nhà khoa học và kỹ sư trên khắp thế giới đã bắt đầu tiến hành các hoạt động nghiên cứu và phát triển và kết quả là các công nghệ mới về giảm suy hao truyền dẫn, về tăng dải thông, về các Laser bán dẫn... đã được phát triển thành công trong những năm 70, độ tổn thất của suy hao đã được giảm đến 0.18dB/km. Hơn nữa trong những năm 70, Laser bán dẫn có khả năng thực hiện dao động liên tục đã được chế tạo, tuổi thọ của nó ước lượng khoảng 100 năm và cho phép tạo ra cự ly truyền xa hơn với dung lượng truyền lớn hơn mà không cần đến các bộ tái tạo. Cùng với công nghệ chế tạo các nguồn phát và thu quang, sợi dẫn quang đã tạo ra các hệ thống thông tin quang với nhiều ưu điểm vượt trội hơn hẳn so với các hệ thống thông tin cáp kim loại.

Hiện nay các hệ thống thông tin quang truyền dẫn tất cả các tín hiệu dịch vụ băng hẹp, băng rộng đáp ứng yêu cầu của mạng số liên kết đa dịch vụ ISDN.

### **1.2.2. Những ưu điểm của hệ thống thông tin quang**

Thông tin sợi quang có những ưu điểm vượt trội. Trong phần này, em đưa những ưu điểm thể hiện tính vượt trội của nó:

❖ **Băng thông khổng lồ đầy tiềm năng:** tần số sóng mang quang trong khoảng  $10^{13}$  đến  $10^{16}$  Hz (thường gần vùng hồng ngoại quanh giá trị  $10^{14}$  Hz), cung cấp băng thông truyền lớn hơn nhiều so với hệ thống cáp kim loại (băng thông của cáp đồng trục khoảng 500Mhz). Hiện tại, giá trị băng thông của hệ thống sợi quang chưa sử dụng hết nhưng việc ở một vài GHz qua khoảng cách vài km và hàng trăm Mhz qua khoảng cách hàng chục Km mà không cần sự can thiệp về điện (dùng bộ lặp) là có thể. Vì thế, dung lượng mang thông tin của hệ thống thông tin quang lớn hơn nhiều so với hệ thống cáp đồng tốt nhất. Do suy hao lớn ở băng thông rộng, hệ

thống cáp đồng trục giới hạn khoảng cách truyền với chỉ một vài km ở băng thông trên 100Mhz.

❖ **Sợi quang kích thước nhỏ và nhẹ:** sợi quang có bán kính rất nhỏ, thường bán kính này không lớn hơn bán kính sợi tóc con người. Vì thế, thậm chí khi sợi quang được phủ thêm những lớp bảo vệ thì chúng vẫn nhỏ và nhẹ hơn nhiều so với cáp đồng.

❖ **Sự cách li về điện:** sợi quang được chế tạo từ thủy tinh hoặc đôi lúc là chất dẻo, đó là những chất cách điện, vì thế không giống với dây dẫn kim loại, nó không cho thấy những trục trặc cơ bản. Hơn nữa, đặc tính này làm cho việc truyền thông tin của sợi quang trở nên phù hợp một cách lí tưởng cho sự thông tin trong những môi trường mạo hiểm về điện.

❖ **Không bị ảnh hưởng bởi nhiễu và xuyên âm:** sợi quang được chế tạo từ các chất điện môi phi dẫn nên chúng không bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ, các xung điện từ, nhiễu tần số vô tuyến. Vì thế hoạt động của hệ thống thông tin quang không bị ảnh hưởng khi truyền qua môi trường nhiễu điện. Điều đó có nghĩa là nó có thể lắp đặt cung ứng với cấp điện lực và có thể sử dụng trong môi trường phản ứng hạt nhân.

❖ **Bảo mật thông tin:** ánh sáng từ sợi quang bị bức xạ một cách không đáng kể nên chúng có tính bảo mật tín hiệu cao. Đặc tính này thu hút đối với quân đội, ngân hàng và các ứng dụng truyền dữ liệu.

❖ **Suy hao thấp:** sự phát triển của sợi quang qua nhiều năm đã đạt được kết quả trong việc chế tạo ra sợi quang có độ suy hao rất thấp. Sợi quang được chế tạo với độ suy hao 0.2dB/km và đặc tính này trở thành lợi thế chính của thông tin quang. Điều này thuận lợi cho việc đặt bộ khuếch đại cho mỗi khoảng cách trên đường truyền mà không cần chuyển sang tín hiệu điện ở bước trung gian, do đó giảm được cả giá thành và cả độ phức tạp của hệ thống.

❖ **Tính linh hoạt:** mặc dù các lớp bảo vệ là cần thiết, sợi quang được chế tạo với sức căng cao, bán kính rất nhỏ. Với lợi thế về kích thước và trọng lượng, sợi

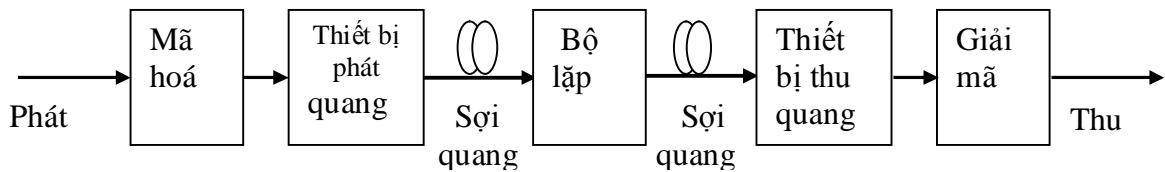
quang nói chung là tốt hơn trong việc lưu trữ, chuyên chở, xử lí và lắp đặt dễ hơn hệ thống cáp đồng.

❖ **Độ tin cậy của hệ thống và dễ bảo dưỡng:** do đặc tính suy hao thấp của sợi quang nên có thể giảm được yêu cầu số bộ lặp trung gian hoặc số bộ khuếch đại trên đường truyền. Vì thế, với một vài bộ lặp thì độ tin cậy của hệ thống có thể được nâng cao hơn hẳn hệ thống dẫn điện. Hơn nữa, độ tin cậy của các thiết bị quang không còn là vấn đề, các thiết bị quang có tuổi thọ rất cao, khoảng 20-30 năm.

❖ **Giá thành thấp đầy tiềm năng:** thủy tinh cung cấp cho thông tin quang được lấy từ cát, không phải là nguồn tài nguyên khan hiếm. Vì thế, sợi quang đem lại giá thành thấp.

Thông tin quang cũng cho phép truyền đồng thời các tín hiệu có bước sóng khác nhau. Đặc tính này cùng với khả năng truyền dẫn băng thông rộng của sợi quang sẵn có làm cho dung lượng truyền dẫn của tuyến trở nên rất lớn.

### 1.2.3. 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: Diod Laser (LD), Diod phát quang (LED: Light Emitting Diode). LED dùng phù hợp cho hệ thống thông tin quang có tốc độ bit 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 diod quang PIN và diod 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 ngoài 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

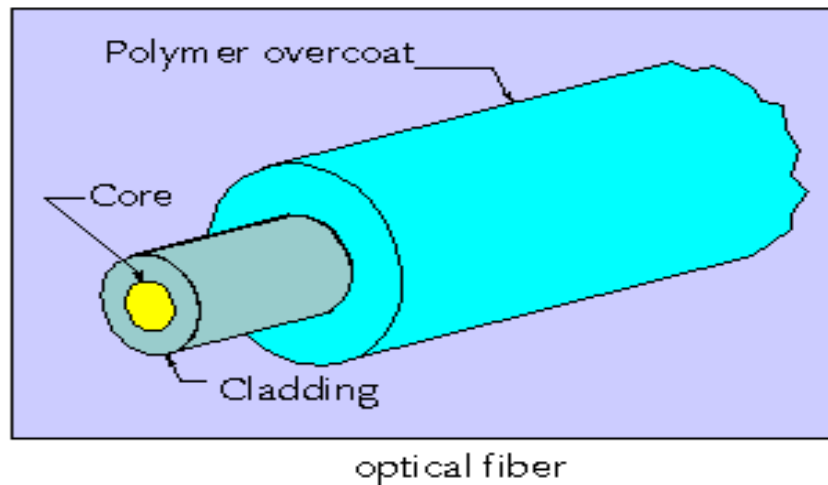
phát tới. Tín hiệu quang được biến đổi trở lại thành tín hiệu điện. Các Photodiode PIN và Photodiode thác APD đều có thể sử dụng làm các bộ tách sóng quang trong các hệ thống thông tin quang. Đặc tính quan trọng nhất của thiết bị thu quang là độ nhạy thu quang.

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. Sợi quang

#### 1.3.1. Sợi dẫn quang

Sợi quang là những dây nhỏ và dẻo truyền các ánh sáng nhìn thấy được và các tia hồng ngoại. Chúng có lõi ở giữa và có phần bao bọc xung quanh lõi. Để ánh sáng có thể phản xạ một cách hoàn toàn trong lõi thì chiết suất của lõi phải lớn hơn chiết suất áo một chút.



**Hình 1.5: Cấu tạo sợi quang**

Vỏ bọc phía ngoài áo bảo vệ sợi quang khỏi bị ẩm và ăn mòn, đồng thời chống xuyên âm với các sợi đi bên cạnh và làm cho sợi quang dễ xử lý. Để bọc ngoài ta dùng các nguyên liệu mềm.

Lõi và áo được làm bằng thủy tinh hay chất dẻo (silicat, chất dẻo, kim loại, Flour, sợi quang kết tinh). Ngoài ra chúng được phân loại thành các loại sợi quang

đơn mode và đa mode tương ứng với số lượng mode của ánh sáng truyền qua sợi quang. Ngoài ra chúng còn được phân loại thành sợi quang có chỉ số bước sóng và chỉ số lớp tùy theo hình dạng và chiết suất của các phần của lõi sợi quang.

### 1.3.2. Sự truyền ánh sáng trong sợi quang.

Sợi quang là môi trường truyền thông đặc biệt so với các môi trường khác như cáp đồng hay không gian tự do. Một sợi quang cho suy hao tín hiệu thấp trên một phạm vi tần số lớn, đặc tính này cho phép tín hiệu được truyền qua các khoảng cách xa ở tốc độ cao trước khi cần khuếch đại hoặc tái lập lại.

Một sợi quang gồm có một lõi hình trụ được bao quanh bởi lớp vỏ. Cả phần lõi và phần vỏ được làm chủ yếu từ silica ( $\text{SiO}_2$ ), có chỉ số khúc xạ (chiết suất) xấp xỉ 1.45. Chỉ số khúc xạ của vật liệu là tỉ số vận tốc ánh sáng trong chân không so với tốc độ ánh sáng trong vật liệu đó.

$$n = \frac{c}{v}$$

$n$ : chiết suất của môi trường, không có đơn vị.

$c$ : vận tốc ánh sáng trong chân không, đơn vị : m/s

$v$ : vận tốc ánh sáng trong môi trường, đơn vị : m/s.

Vì  $c \geq v$  nên  $n \geq 1$

Trong quá trình sản xuất sợi, một số tạp chất nào đó được đưa vào trong lõi hoặc vỏ để cho chỉ số khúc xạ trong lõi lớn hơn một tí so với vỏ. Các nguyên liệu như Germani hoặc Photpho làm tăng chiết suất silica và được dùng để thêm vào phần lõi của sợi quang, trong khi chất Bo hay Flo làm giảm chiết suất của Silica nên được dùng tạp chất cho lớp vỏ.

Ánh sáng có thể được xem như một chùm tia truyền theo những đường thẳng trong một môi trường và bị phản xạ hoặc khúc xạ ở bề mặt giữa hai vật liệu khác nhau. Một tia sáng từ môi trường 1 đến mặt phân cách của môi trường 2, góc tới là góc giữa tia tới và pháp tuyến với bề mặt chung của hai môi trường được biểu thị bằng  $\theta_1$ . Phần năng lượng bị phản xạ vào môi trường 1 là một tia phản xạ, phần còn

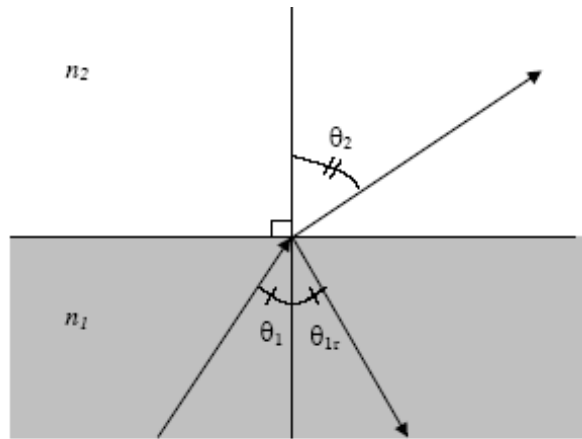
lại đi xuyên qua môi trường 2 là tia khúc xạ. Góc phản xạ  $\theta_{1r}$  là góc giữa tia phản xạ và pháp tuyến, tương tự góc khúc xạ là góc giữa tia khúc xạ và pháp tuyến.

Ta có:  $\theta_{1r} = \theta_1$

Theo định luật Snell:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

Khi góc tới  $\theta_1$  tăng lên thì góc khúc xạ  $\theta_2$  cũng tăng theo. Nếu  $\theta_2 = 90^\circ$  thì  $\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$ , lúc này góc  $\theta_1$  được gọi là góc tới hạn có giá trị  $\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ , với  $n_1 > n_2$ .

Với những giá trị  $\theta_1 > \theta_c$ , sẽ không có tia khúc xạ và tất cả năng lượng từ tia tới được phản xạ hết. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng phản xạ toàn phần.

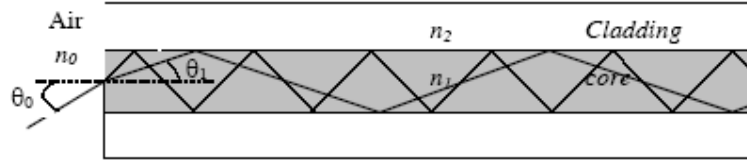


**Hình 1.6: Sự phản xạ và khúc xạ các tia sáng tại mặt phân cách hai môi trường.**

Điều kiện để xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần:

- ❖ Các tia sáng phải đi từ môi trường có chiết suất lớn sang môi trường có chiết suất nhỏ hơn.
- ❖ Góc tới của tia sáng phải lớn hơn góc tới hạn.

Ánh sáng truyền trong sợi quang do hiện tượng phản xạ toàn phần xảy ra giữa bề mặt phân lõi và vỏ.



**Hình 1.7: Ánh sáng trong sợi quang**

Hình trên cho thấy ánh sáng được ghép từ môi trường bên ngoài (không khí với chiết suất  $n_0$ ) vào sợi.

### 1.3.3. Các thông số của sợi quang.

Để xác định tốc độ truyền dẫn và khoảng cách trạm lặp của hệ thống thông tin sợi quang, có hai tham số cần phải nghiên cứu là tổn hao quang và độ rộng băng truyền dẫn. Đo tổn hao quang để xác định tổn hao công suất ánh sáng lan truyền trong sợi quang.

#### 1.3.3.1. Suy hao của sợi quang

##### 1.3.3.1.1. Định nghĩa

Công suất quang truyền tải sợi cũng giảm dần theo cự ly với quy luật hàm số mũ tương ứng như tín hiệu điện. Biểu thức của hàm số truyền công suất có dạng:

$$P_{(z)} = P_{(0)} \times 10^{-\frac{\alpha}{10} z}$$

Trong đó:

$P_{(0)}$ : Có công suất ở đầu sợi.

$P_{(z)}$ : công suất ở cự ly  $z$  tính từ đầu sợi.

$\alpha$  : hệ số suy hao.

- Hệ số suy hao của sợi được tính theo công thức:

$$A_{(dB)} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

Trong đó:

$P_1$ : Công suất đưa vào sợi.

$P_2$ : Công suất ở cuối sợi.

- Hệ số suy hao trung bình:

$$\alpha(\text{dB/km}) = \frac{A(\text{dB})}{L(\text{km})}$$

Trong đó:

A: Suy hao của sợi.

L: Chiều dài của sợi.

### 1.3.3.1.2. Đặc tuyến suy hao

Đặc tuyến suy hao của sợi quang khác nhau tùy thuộc vào loại sợi. Hình dưới cho thấy suy hao trong sợi quang như một hàm theo bước sóng. Ta thấy rằng suy hao nhỏ nhất ở ba dải bước sóng dùng trong thông tin quang:  $0.8 \mu\text{m}$ ,  $1.3 \mu\text{m}$  và  $1.55 \mu\text{m}$ .

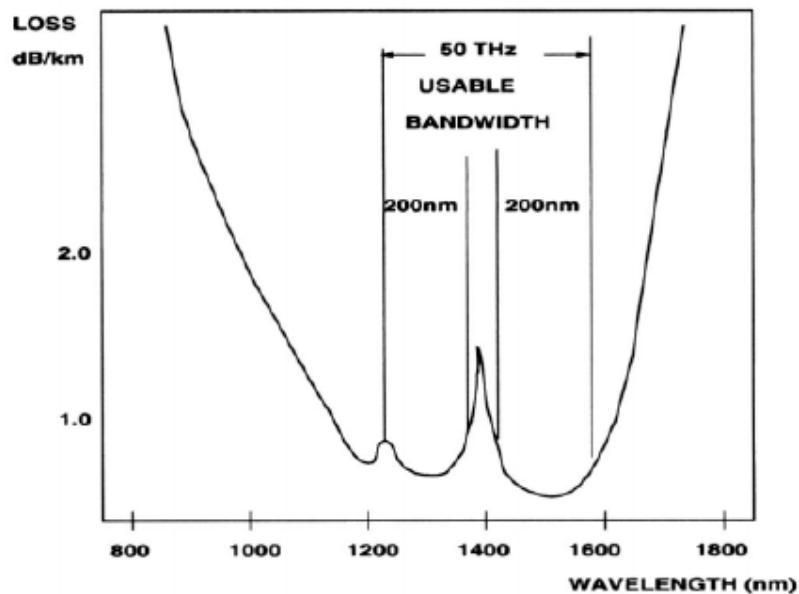


Figure 1.1 The low-attenuation regions of an optical fiber.

### Hình 1.8: Đặc tuyến suy hao của sợi quang

### 1.3.3.1.3. Các nguyên nhân gây suy hao trên sợi quang

❖ **Suy hao do hấp thụ:** Sự hấp thụ ánh sáng xảy ra do các nguyên nhân sau gây ra: suy hao do sự hấp thụ của các tạp chất kim loại, sự hấp thụ của ion OH, sự hấp thụ bằng cực tím và hồng ngoại.

Sự hấp thụ của các tạp chất kim loại: các tạp chất kim loại trong thủy tinh là một trong những nguồn hấp thụ năng lượng ánh sáng, các tạp chất thường gặp là sắt (Fe), đồng (Cu), mangan (Mn), chromium (Cr), cobar (Co), niken (Ni). Mức độ hấp thụ của từng tạp chất phụ thuộc vào nồng độ tạp chất và bước sóng ánh sáng truyền qua nó. Để có sợi quang có độ suy hao nhỏ hơn 1dB/km cần phải có thủy tinh thật tinh khiết với nồng độ tạp chất không quá một phần tỷ ( $10^{-9}$ ).

Sự hấp thụ của ion OH: các liên kết giữa  $\text{SiO}_2$  và các ion OH của nước còn sót lại trong vật liệu khi chế tạo sợi quang cũng tạo ra mật độ suy hao hấp thụ đáng kể. Đặc biệt độ hấp thụ tăng vọt ở các bước sóng gần 950nm, 1240nm và 1400 nm.

Sự hấp thụ bằng cực tím và hồng ngoại: ngay cả khi sợi quang được chế tạo từ thủy tinh có độ tinh khiết cao thì sự hấp thụ vẫn xảy ra. Bản thân thủy tinh tinh khiết cũng hấp thụ ánh sáng vùng cực tím và hồng ngoại. Sự hấp thụ trong vùng hồng ngoại gây trở ngại cho khuynh hướng sử dụng các bước sóng dài trong thông tin quang.

❖ **Suy hao do tán xạ:** Suy hao do tán xạ bao gồm tán xạ Rayleigh, tán xạ do mặt phân cách giữa lõi và lớp bọc không hoàn hảo.

Tán xạ Rayleigh: khi sóng điện từ truyền trong môi trường điện môi gặp những chỗ không đồng nhất trong sợi quang do cách sắp xếp các phần tử thủy tinh, các khuyết tật như bọt không khí, các vết nứt sẽ xảy ra hiện tượng tán xạ. Khi kích thước của vùng không đồng nhất vào khoảng một phần mười bước sóng thì chúng trở thành những nguồn điểm để tán xạ. Các tia truyền qua những chỗ không đồng nhất này sẽ tạo ra nhiều hướng, chỉ một phần năng lượng ánh sáng truyền theo hướng cũ, phần còn lại truyền theo hướng khác thậm chí còn truyền ngược lại nguồn quang. Độ tiêu hao do tán xạ Rayleigh tỉ lệ nghịch với lũy thừa bậc bốn của bước sóng.

Tán xạ do mặt phân cách giữa lõi và lớp bọc không hoàn hảo: khi tia sáng truyền đến những chỗ không hoàn hảo giữa lõi và lớp bọc tia sáng bị tán xạ. Lúc đó 1 tia tới có nhiều tia phản xạ với nhiều góc phản xạ khác nhau.

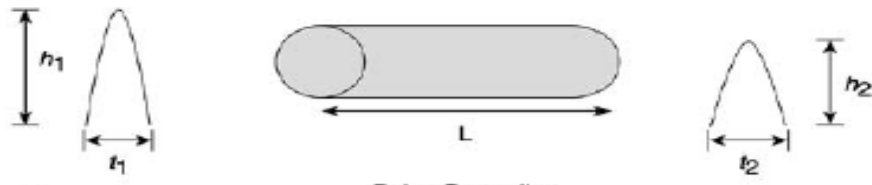
❖ **Suy hao do bị uốn cong:** bao gồm suy hao do vi uốn cong và do uốn cong.

Suy hao do vi uốn cong: sợi quang bị chèn ép tạo nên những chỗ uốn cong nhỏ thì suy hao của sợi cũng tăng lên. Suy hao này xuất hiện do tia sáng bị lệch trục đi qua những chỗ vi uốn cong đó. Sợi đơn mode rất nhạy với những chỗ vi uốn cong nhất là về phía bước sóng dài.

Suy hao do uốn cong: khi bị uốn cong với bán kính cong càng nhỏ thì suy hao càng tăng.

### 1.3.3.2. Tán sắc ánh sáng

Tương tự như tín hiệu điện, tín hiệu quang truyền qua sợi quang cũng bị biến dạng. Hiện tượng này được gọi là tán sắc. Sự tán sắc méo dạng tín hiệu analog và làm xung bị chồng lấp trong tín hiệu digital. Sự tán sắc làm hạn chế dải thông của đường truyền dẫn quang.



**Hình 1.9: Dạng xung vào và ra do tán sắc**

➤ **Tán sắc mode:** trong sợi đa mode, do xung ánh sáng vào mặc dù chỉ có một bước sóng nhưng lan truyền với vài mode khác nhau với tốc độ truyền khác nhau, nó làm khoảng trống thời gian giữa các xung cạnh nhau trở nên ngắn hơn và tăng theo khẩu độ số của sợi. Hiện tượng này gọi là tán sắc mode. Do đó, độ rộng băng truyền dẫn của nó bị giới hạn chủ yếu do tán sắc mode.

➤ **Tán sắc thể:** bao gồm tán sắc chất liệu và tán sắc dẫn sóng.

Tán sắc chất liệu: ánh sáng sử dụng trong thông tin quang không phải là ánh sáng hoàn toàn đơn sắc. Chiết suất của thủy tinh thay đổi theo bước sóng nên vận



tốc truyền của ánh sáng có bước sóng khác nhau cũng khác nhau. Chính vì thế, ánh sáng có phân bố tốc độ lan truyền khác nhau của các thành phần bước sóng ánh sáng khác nhau. Hiện tượng này được gọi là tán sắc chất liệu.

Tán sắc dẫn sóng: sự phân bố năng lượng ánh sáng trong sợi quang phụ thuộc vào bước sóng. Sự phân bố này gây nên tán sắc ống dẫn sóng.

#### 1.3.4. Ảnh hưởng của tán sắc đến dung lượng truyền dẫn trên sợi quang

Tán sắc gây ra méo tín hiệu và điều này làm cho các xung ánh sáng bị giãn rộng ra khi được truyền dọc theo sợi dẫn quang. Khi xung bị giãn ra sẽ dẫn tới chồng lấp lên xung bên cạnh. Nếu vượt quá một giá trị nào đó thì thiết bị thu sẽ không còn phân biệt các xung kề nhau nữa và lúc này xuất hiện lỗi. Như vậy, các đặc tính tán sắc sẽ xác định giới hạn dung lượng truyền dẫn của sợi dẫn quang.



**Hình 1.10: Ảnh hưởng của tán sắc.**

#### 1.4. Kết luận chương

Qua chương này, chúng ta đã tìm hiểu tổng quan về hệ thống thông tin quang với những ưu nhược điểm của nó. Hệ thống thông tin quang dựa vào những ưu điểm vượt trội của mình đang phát triển mạnh mẽ đáp ứng nhu cầu thông tin băng rộng hiện nay.

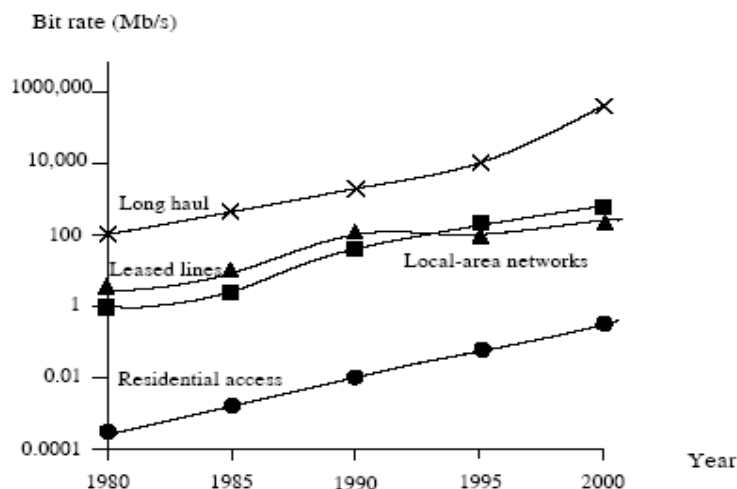
## CHƯƠNG 2

### GIỚI THIỆU MẠNG WDM.

#### 2.1. Giới thiệu chương

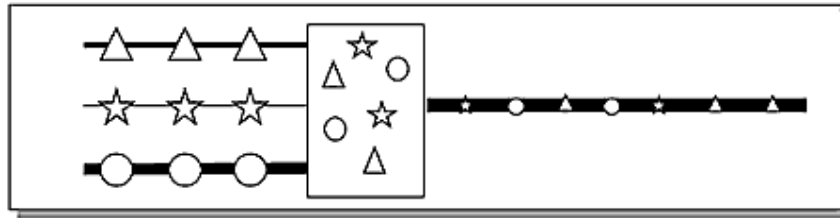
Kĩ thuật mạng ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM (Wavelength Division Multiplexing) được coi là cuộc cách mạng về băng thông trong mạng xương sống Internet và hơn thế nữa. Nhu cầu băng thông đang gia tăng một cách nhanh chóng với nhiều ứng dụng mới phong phú, chẳng hạn như thương mại điện tử, video theo yêu cầu, các công việc đòi hỏi hoạt động đồng bộ trên toàn cầu. Mạng quang WDM đã đưa ra hứa hẹn hết sức ý nghĩa cho nhu cầu bức thiết trên.

Khi sợi quang được sử dụng để truyền thông tin thì thách thức được đặt ra đối với chúng ta trong giai đoạn mới trước nhu cầu thông tin ngày càng tăng mạnh mẽ của con người. Khi mà ngày càng có nhiều người bắt đầu sử dụng các mạng dữ liệu và cứ mỗi lần sử dụng đó cũng đã chiếm một băng thông đáng kể trong các ứng dụng thông tin của họ chẳng hạn như đọc lướt thông tin trên các trang web, các ứng dụng sử dụng Java, hội nghị truyền hình, ... Từ đó cho thấy nhu cầu thông tin băng rộng đặt ra hết sức bức thiết, và nhu cầu này còn vượt xa hơn nữa trong tương lai. Hình 2.1 cho thấy sự gia tăng băng thông của các mạng khác nhau qua các năm. Sự phát triển mạnh mẽ này chủ yếu là do sự triển khai các hệ thống thông tin quang.

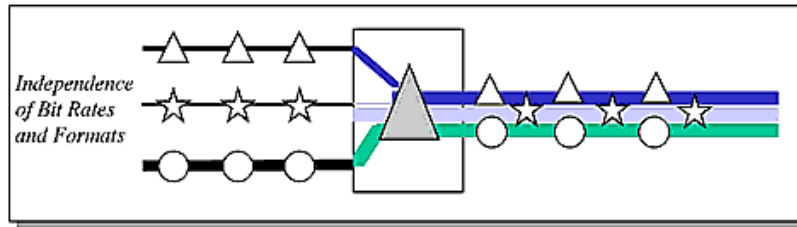


Hình 2.1: Sự gia tăng băng thông của các mạng khác nhau qua các năm

Để thích ứng với sự phát triển không ngừng đó và thoả mãn yêu cầu tính linh hoạt về thay đổi mạng, các công nghệ truyền dẫn khác nhau đã được nghiên cứu, triển khai thử nghiệm và đưa vào ứng dụng như kỹ thuật TDM, CDM. Công nghệ ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM được ưa chuộng hơn cả. Điều này là do công nghệ TDM có chi phí kỹ thuật và thiết bị lắp đặt hệ thống tương đối cao, đặc biệt trong TDM gây lãng phí một số kênh thông tin khi mỗi khe thời gian được dự trữ ngay cả khi không có dữ liệu để gửi và phía thu khó khăn khi phân biệt các khe thời gian thuộc về kênh nào để giải ghép kênh tín hiệu. Bên cạnh đó, ghép kênh phân chia theo mã CDM còn tồn tại những hạn chế về kỹ thuật như tốc độ điều chế và suy hao trong mã hoá cũng như giải mã cao. WDM là tiến bộ rất lớn trong công nghệ truyền thông quang, nó cho phép tăng dung lượng kênh mà không cần tăng tốc độ bit đường truyền cũng như không cần dùng thêm sợi dẫn quang.



Hình 2.2: Hệ thống TDM

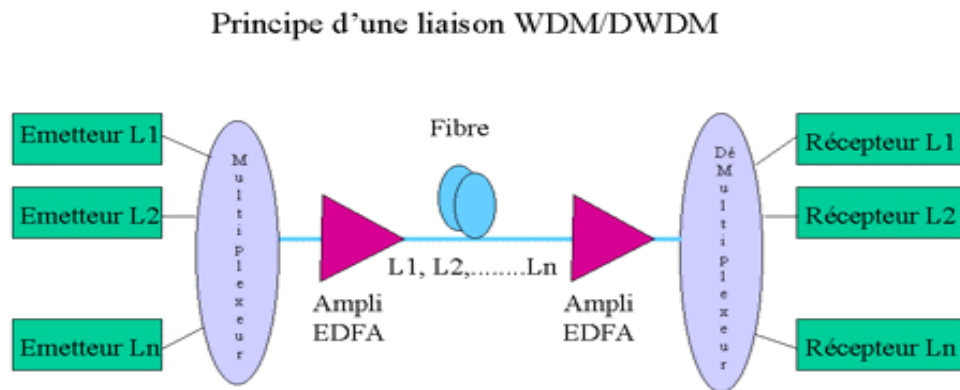


Hình 2.3: Hệ thống WDM

Với WDM, mỗi kênh với một bước sóng khác nhau và các bước sóng ánh sáng này không ảnh hưởng lẫn nhau bởi vì chu kỳ dao động của các các kênh khác nhau là hoàn toàn độc lập nhau. Khác với hệ thống TDM, mỗi phần tử kênh WDM có thể hoạt động ở tốc độ bất kỳ và mỗi kênh cũng có thể mang đầy dung lượng của mỗi bước sóng. Chương này sẽ trình bày rõ nguyên lý hoạt động của hệ thống WDM và các thành phần của nó.

## 2.2. Nguyên lí hoạt động của hệ thống WDM

Ngày nay, nhu cầu của con người về các dịch vụ thông tin bằng rộng ngày một tăng lên, thì mạng ghép kênh đa bước sóng WDM đã thoả mãn được nhu cầu đó. Theo kĩ thuật này, các luồng ánh sáng với các bước sóng khác nhau được truyền trên cùng một sợi quang. Mỗi bước sóng mang một dung lượng điện hình, thường là 2.5Gbps.



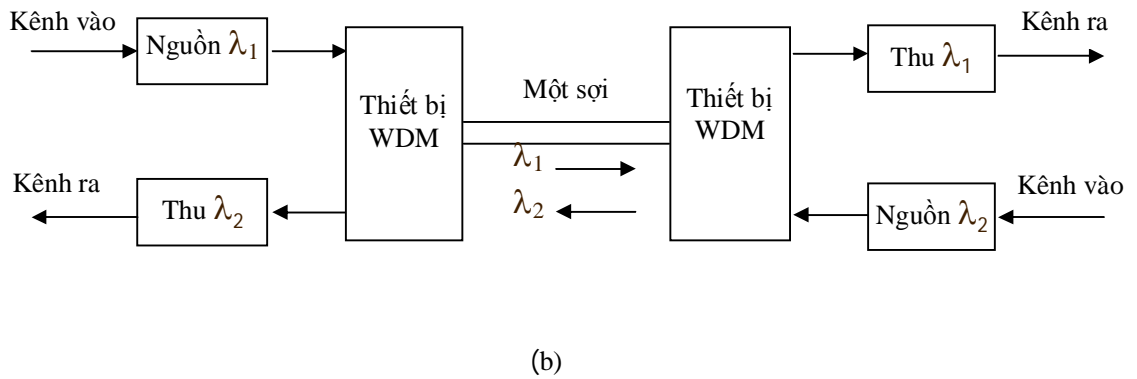
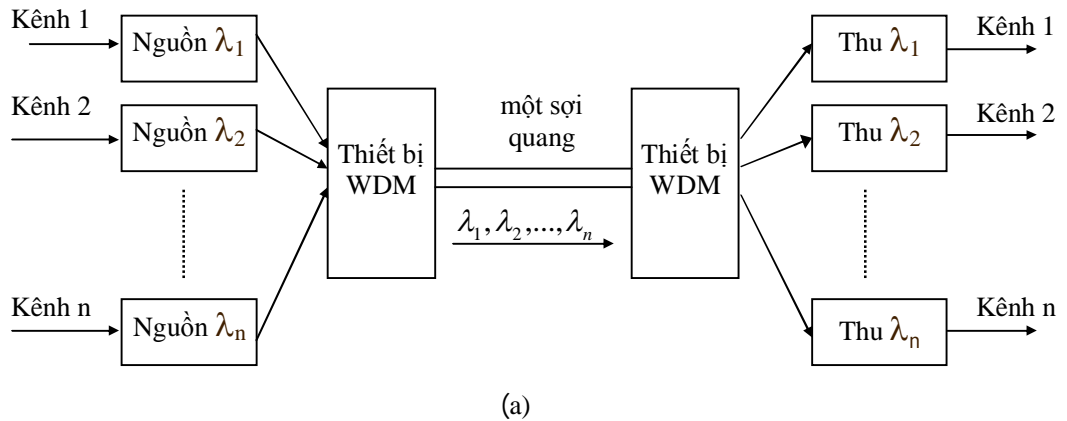
**Hình 2.4: Nguyên lí ghép kênh phân chia theo bước sóng**

Nguyên lí cơ bản của ghép kênh theo bước sóng là ghép tất cả các bước sóng khác nhau của nguồn phát quang vào cùng một sợi dẫn quang nhờ bộ ghép kênh MUX và truyền dẫn các bước sóng này trên cùng sợi quang. Khi đến đầu thu, bộ tách kênh quang sẽ phân tách để thu nhận lại các bước sóng đó.

Với cùng một nguyên lí hoạt động có hai loại truyền dẫn trong WDM, đó là: truyền dẫn một chiều và truyền dẫn hai chiều một sợi.

❖ **Hệ thống WDM một chiều:** có nghĩa là tất cả các kênh cùng trên một sợi quang truyền dẫn theo cùng một chiều.

❖ **Hệ thống WDM hai chiều:** có nghĩa là kênh quang trên mỗi sợi quang truyền dẫn theo hai hướng khác nhau, dùng các bước sóng tách rời nhau để thông tin hai chiều.



**Hình 2.5: Hệ thống WDM theo một hướng (a) và hai hướng (b)**

So với hệ thống WDM một chiều, hệ thống WDM hai chiều giảm được số lượng bộ khuếch đại và đường dây. Tuy nhiên, hệ thống WDM hai chiều thường bị can nhiễu nhiều kênh, ảnh hưởng phản xạ quang, vấn đề cách li giữa các kênh hai chiều, trị số và loại hình xuyên âm,... đồng thời phải sử dụng bộ khuếch đại quang hai chiều.

### 2.3. Ưu điểm của hệ thống WDM

❖ Có khả năng tạo dung lượng lớn chỉ trên một sợi quang, và có thể đạt dung lượng lớn hơn khi sử dụng kỹ thuật DWDM (Dense WDM: ghép kênh phân chia theo bước sóng mật độ cao).

❖ Hệ thống WDM thuận tiện khi cho phép truyền dẫn đồng thời tín hiệu không đồng nhất.

❖ Có khả năng truyền dẫn tín hiệu hai chiều.

#### **2.4. 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 mạng 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 kì rất xa nhau.

#### **2.5. Chuyển mạch quang**

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. Mỗi ứng dụng yêu cầu thời gian chuyển mạch và số cổng chuyển mạch khác nhau. 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 ngàn cổng khi sử dụng trong các bộ kết nối chéo bước sóng.

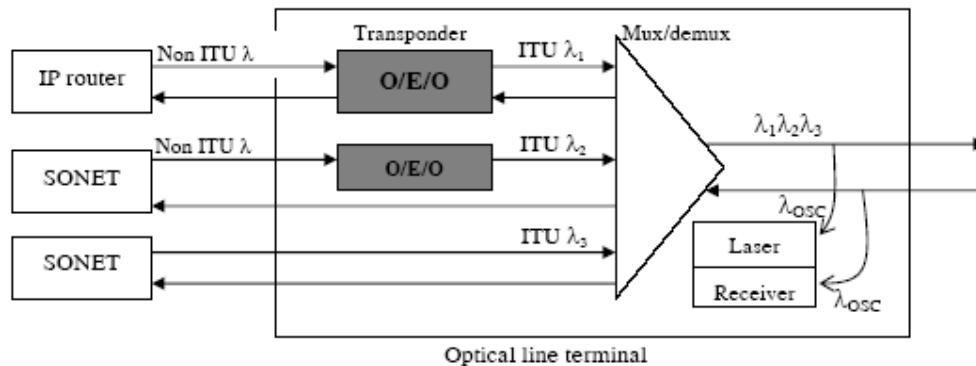
## 2.6. Các thành phần chính của hệ thống WDM

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.

### 2.6.1. 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 2.6: OLT

Sự thích ứng bao gồm nhiều chức năng, tín hiệu có thể được chuyển đổi thành bước sóng thích hợp 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 tỉ lệ lỗi bit của tín



hiệu ở điểm đi vào và đi ra trong mạng. Vì những lí do này nên bộ chuyển tiếp thực hiện chuyển đổi quang-điện-quang.

Ở hình trên, sự làm thích ứng chỉ cho theo hướng đi vào và bước sóng ở hướng ngược lại được gửi trực tiếp đến hướng người dùng. Trong một số trường hợp, ta có thể tránh sử dụng bộ tiếp sóng bằng cách thực hiện chức năng thích ứng bên trong thiết bị người dùng, như phần tử mạng SONET như hình trên, điều này làm giảm được chi phí đáng kể.

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 lí khác.

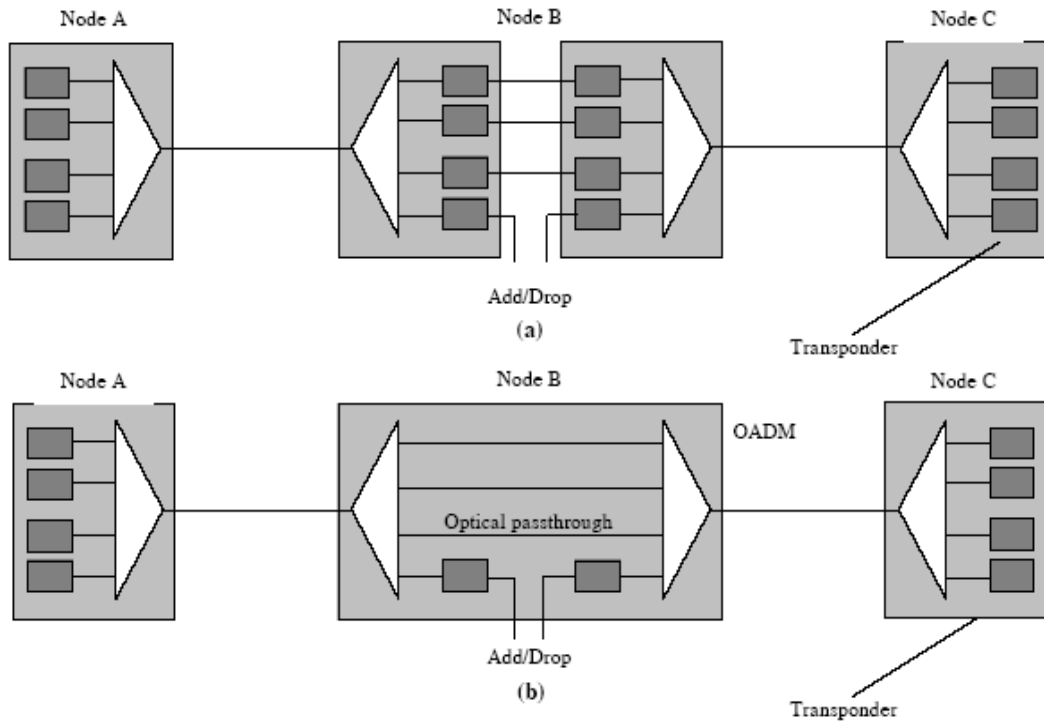
### **2.6.2. Bộ ghép kênh xen/rót quang OADM**

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. Để hiểu được lợi ích của bộ xen/rót quang, ta xét một mạng giữa ba node A, B và C như hình vẽ dưới, lưu lượng mạng giữa A và C đi qua node B, giả thiết các tuyến liên kết hoàn toàn song công.

Giả sử yêu cầu lưu lượng như sau: một bước sóng giữa A và B, một bước sóng giữa B và C, ba bước sóng giữa A và C. Bây giờ triển khai các hệ thống WDM điểm nối điểm để cung cấp nhu cầu lưu lượng này. Với giải pháp trong hình (a), hai hệ thống điểm nối điểm được triển khai, một giữa A và B, một giữa B và C. Mỗi liên kết điểm nối điểm sử dụng một OLT ở cuối liên kết. Node B có hai OLT, mỗi

OLT kết thúc bốn bước sóng, vì thế cần yêu cầu bốn bộ tiếp sóng. Tuy nhiên chỉ có một trong bốn bước sóng là dành cho node B, các bộ tiếp sóng còn lại dùng để cung cấp lưu lượng giữa A và C. Vì thế sáu trong tám bộ tiếp sóng ở node B được dùng để điều khiển lưu lượng. Đây là việc rất tốn kém.

Với giải pháp trong hình (b), thay vì sử dụng các hệ thống WDM điểm nối điểm, ta triển khai một mạng định tuyến bước sóng. Mạng sử dụng một OLT ở node A và C, một OADM ở node B. OADM rút một trong bốn bước sóng, sau đó kết thúc ở các transponder. Ba bước sóng còn lại đi xuyên qua trong miền quang mà không cần kết thúc trong các transponder. Điều này thấy được hiệu quả là chỉ sử dụng hai transponder thay vì sử dụng đến tám transponder như giải pháp (a), do đó giảm được chi phí đáng kể.



**Hình 2.7: Vai trò của OADM trong mạng**

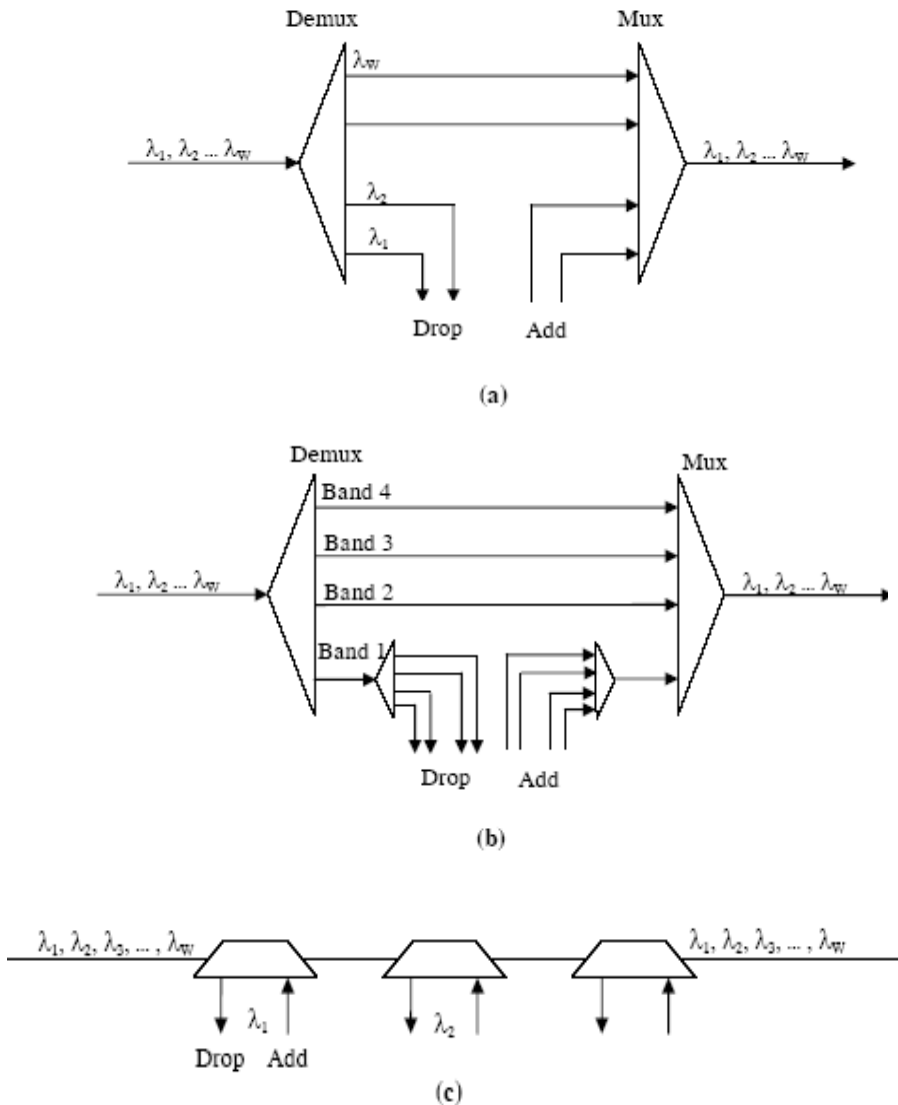
Câu hỏi đặt ra là tại sao các bộ tiếp sóng cần thiết ở giải pháp (a) để điều khiển lưu lượng đi qua. Nói cách khác là tại sao chúng ta không đơn giản loại bỏ các bộ tiếp sóng và thực hiện kết nối trực tiếp các bộ ghép kênh và tách kênh WDM giữa

hai bộ tiếp sóng ở node B như trong hình (b), hơn là thiết kế một OADM riêng biệt. Điều này là có thể, các OLT được thiết kế để hỗ trợ khả năng này. Lớp vật lý được xây dựng trong các mạng phức tạp hơn nhiều các hệ thống điểm nối điểm.

Có nhiều kiến trúc để xây dựng nên OADM, các kiến trúc này điển hình sử dụng các bộ ghép/bộ lọc. Ta xét OADM như một hộp đen có hai cổng mang một tập hợp các bước sóng và một số cổng nội bộ. Các thuộc tính chính của OADM gồm có:

- Tổng số bước sóng có thể cung cấp được là bao nhiêu.
- Số bước sóng lớn nhất có thể xen/ rớt là bao nhiêu.
- Có ràng buộc trên một bước sóng nào đó được xen/rớt. Một kiến trúc chỉ cho phép một số bước sóng xác định nào đó được xen/ rớt chứ không phải bất kì bước sóng tùy ý nào cũng được.
- Có dễ dàng xen/ rớt các kênh thêm vào. Có cần thiết phá vỡ một kênh đang tồn tại để xen/ rớt các kênh thêm vào.
- Tính đến chi phí.
- Tính phức tạp của việc thiết kế OADM ở lớp vật lý và khi thêm vào các kênh mới thì ảnh hưởng đến việc thiết kế này như thế nào.

Hình dưới đây cho ta thấy các kiến trúc của OADM:



**Hình 2.8: Các kiến trúc OADM**

Ở hình 2.8(a), một số kênh được chọn có thể được tách ra và những kênh khác được đi qua. Vì thế không có sự ràng buộc trên các kênh được rút và xen. Vì vậy cấu trúc này áp đặt những ràng buộc nhỏ nhất trong việc thiết lập các lightpath trong mạng. Ngoài ra suy hao qua OADM cố định, độc lập với số kênh được rút và xen là bao nhiêu. Tuy nhiên kiến trúc này lại không hiệu quả về chi phí trong việc điều khiển một số nhỏ các kênh được rút, vì bất kể bao nhiêu kênh được rút, tất cả các kênh đều cần phải được tách và ghép lại với nhau. Do đó ta phải tốn chi phí cho

việc tách và ghép cho tất cả những kênh đi vào. Điều này cũng dẫn đến suy hao cao hơn. Tuy nhiên khi một số lượng lớn số kênh được rút và linh hoạt trong việc thêm vào hoặc lấy ra bất cứ kênh nào thì cấu trúc này cũng cho ta hiệu quả kinh tế.

Hình 2.8(b) là sự cải tiến của hình 2.8(a) nhằm giảm chi phí thiết kế trên, việc ghép và tách kênh được thực hiện qua hai giai đoạn. Giai đoạn thứ nhất tách riêng các bước sóng thành những dải (bands), giai đoạn thứ hai tách những dải thành các bước sóng riêng lẻ. Ví dụ như hệ thống 16 kênh, có thể thực hiện sử dụng bốn dải, mỗi dải gồm bốn kênh. Nếu chỉ có bốn kênh được rút ở một vị trí, thì 12 kênh có thể giữ nguyên trong các dải, thay vì phải tách xuống thành từng kênh riêng lẻ. Điều này cho thấy ta đã tiết kiệm được chi phí cho bộ MUX và DEMUX. Ngoài ra, việc sử dụng các dải cho phép tín hiệu được đi qua với suy hao quang thấp hơn. Khi mạng có số kênh lớn thì cấu trúc hình 2.8(b) ghép kênh nhiều giai đoạn trở nên cần thiết.

Trong cấu trúc hình 2.8(c), một kênh riêng lẻ được tách và ghép từ một tập các kênh đi vào. Ta gọi thiết bị này là bộ xen rút đơn kênh (SC - OADM). Để tách và ghép nhiều kênh thì các SC - OADM được nối liên tiếp nhau. Kiến trúc này bổ sung cho kiến trúc của hình 2.8(a). Việc tách và ghép kênh ảnh hưởng đến các kênh đang tồn tại, nên nhằm giảm tối thiểu ảnh hưởng này thì lên kế hoạch tập bước sóng nào cần được lấy ra ở từng vị trí. Tuy nhiên nếu số kênh cần được tách ra là lớn thì kiến trúc này không còn phù hợp nữa, do chúng ta phải sử dụng nhiều thiết bị riêng lẻ nối lại với nhau. Điều đó cho thấy nó không hiệu quả về kinh tế. Ngoài ra suy hao cũng gia tăng theo.

### **2.6.3. Bộ khuếch đại quang**

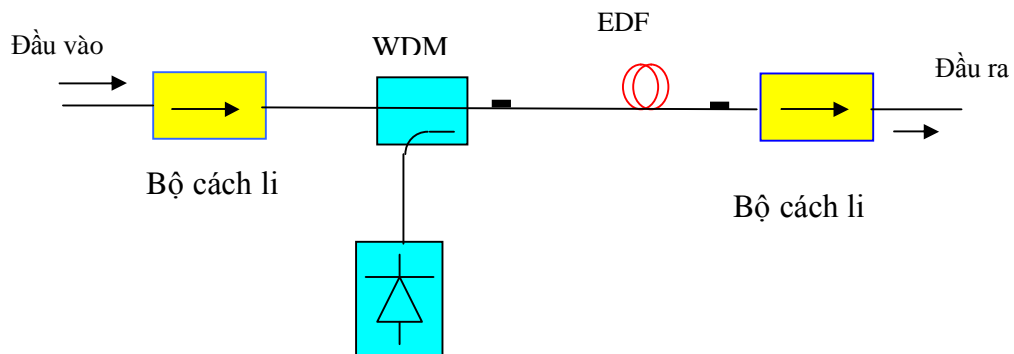
Nhằm bù lại sự suy hao tín hiệu trên đường truyền sợi quang cũng như tại các thiết bị (như các bộ ghép kênh) thì các bộ khuếch đại được đặt giữa các kết nối sợi quang ở những khoảng cách định kì. Trước khi các bộ khuếch đại quang ra đời thì lựa chọn duy nhất là tái tạo lại tín hiệu, nghĩa là nhận tín hiệu và sau đó phát lại nó. Quá trình này được thực hiện bằng các bộ lặp tái sinh. Một bộ lặp chuyển tín hiệu

quang thành tín hiệu điện, khôi phục sau đó chuyển lại thành tín hiệu quang để truyền tiếp. Điều này hạn chế tính trong suốt và tăng chi phí bảo trì của hệ thống.

Kỹ thuật khuếch đại quang chiếm ưu thế hơn nhiều các bộ lặp. Bộ khuếch đại quang không phụ thuộc vào tốc độ bit và các định dạng tín hiệu. Một hệ thống sử dụng khuếch đại quang có thể dễ nâng cấp hơn nhiều, ví dụ đến một tốc độ bit cao hơn mà không cần phải thay thế bộ khuếch đại. Hơn nữa các bộ khuếch đại quang có băng thông lớn nên có thể được dùng để khuếch đại đồng thời nhiều tín hiệu WDM. Nếu không với mỗi bước sóng ta phải sử dụng một bộ lặp.

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 có 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 chúng 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 2.9: EDFA**

Theo hình vẽ thì ánh sáng bơm vào từ laser được kết hợp với tín hiệu vào nhờ sử dụng bộ ghép WDM trên hệ thống sử dụng một bộ ghép. 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 do sự 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 li được dùng ở trước ngõ vào hoặc ngõ ra của bộ khuếch đại tín hiệu EDFA để ngăn 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 1550nm. 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 diod laser bán dẫn công suất cao dùng để cung cấp nguồn ánh sáng cho EDFA.

EDFA có các đặc điểm sau:

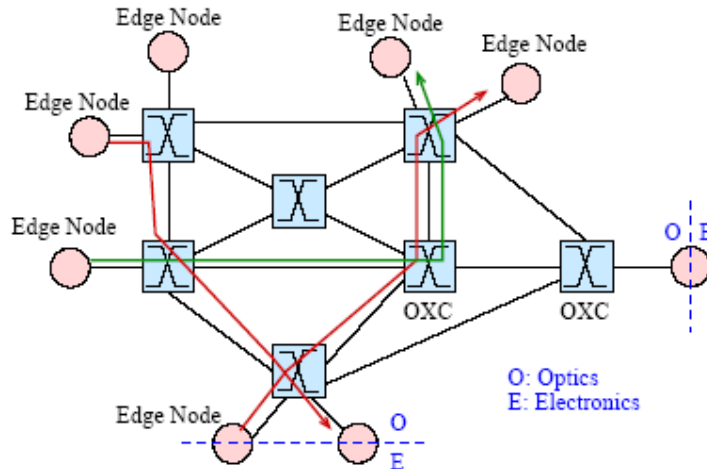
- Không có mạch tái tạo thời gian, mạch phục hồi (bộ chuyển đổi O/E và E/O). Do đó mạch sẽ trở nên linh hoạt hơn.
- Công suất nguồn nuôi nhỏ nên khi áp dụng cho các tuyến thông tin vượt biển, cáp sẽ có cấu trúc nhỏ và nhẹ hơn cáp thường.
- Giá thành của hệ thống thấp do cấu trúc của EDFA đơn giản, trọng 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.

Ngoài loại khuếch đại EDFA còn có dạng khuếch đại SOA (Semiconductor Optical Amplifiers- bộ khuếch đại quang bán dẫn). Về cơ bản, SOA là một mối nối P-N. Lớp giữa được hình thành ở mối nối hoạt động như là một vùng tích cực. Ánh sáng được khuếch đại do sự phát xạ kích thích khi nó lan truyền qua vùng tích cực này. Đối với một bộ khuếch đại, hai đầu cuối của vùng tích cực được phủ một lớp không phản xạ để loại bỏ gọn sóng trong độ lợi bộ khuếch đại.

## 2.6.4. Giới thiệu về bộ kết nối chéo quang OXC

### 2.6.4.1. Chức năng OXC



**Hình 2.10: Mạng WDM định tuyến bước sóng**

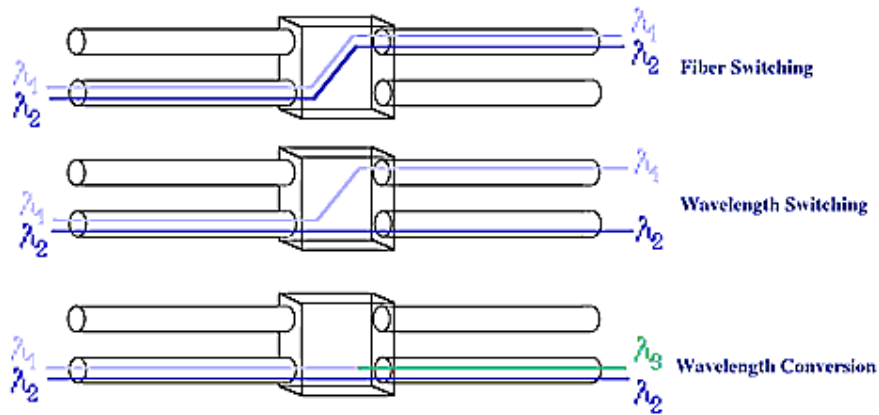
Trong mạng định tuyến bước sóng WDM, ở hình trên gồm có hai loại node là: OXC và Edge node. OXC là node mà đóng vai trò kết nối các sợi quang trong mạng. Edge node đóng vai trò cung cấp giao diện giữa những hệ thống kết cuối phi quang (như là các IP Router, chuyển mạch ATM, hay các siêu máy tính) với lõi quang. Các Edge node thường nằm ở đầu cuối của hệ thống và các lightpath được thiết lập giữa hai edge node qua các node trung gian như hình trên. Đây được mong đợi mang lại cấu trúc của mạng toàn quang, thông tin truyền đi trên lightpath không cần sự chuyển đổi nào từ tín hiệu điện sang quang hoặc ngược lại từ quang sang tín hiệu điện.

OXC cung cấp chức năng chuyển mạch và định tuyến để hỗ trợ các liên kết logic giữa hai Edge. 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 dùng 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 nối kết hàng ngàn đầu vào với hàng ngàn đầu ra tạo nên chức năng chuyển mạch và định tuyến. Trong thông tin quang, bốn mươi 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. Để thực hiện điều này, OXC cần thiết xây dựng các khối chức năng:

- Chuyển mạch sợi: khả năng định tuyến tất cả các bước sóng trên một sợi quang đầu vào tới một sợi quang khác ở ngõ ra.
- Chuyển mạch bước sóng: khả năng chuyển mạch các bước sóng cụ thể từ một sợi quang đầu vào tới nhiều sợi quang khác ở đầu ra.
- Chuyển đổi bước sóng: khả năng nhận các bước sóng đầu vào và chuyển đổi chúng thành tần số quang khác ở ngõ ra, điều này là cần thiết thoả mãn các kiến trúc bất đồng khối khi sử dụng chuyển mạch bước sóng.



**Hình 2.11: Các khối chức năng của OXC**

Một OXC có các chức năng sau:

- Cung cấp dịch vụ: Một OXC có thể dùng để cung cấp các lightpath trong một mạng lớn một cách tự động, mà không phải thao tác bằng tay. Khả năng này trở nên quan trọng khi giải quyết số bước sóng lớn trong một nút hoặc với số nút trong

mạng lớn. Nó cũng quan trọng khi các lightpath trong mạng cần cấu hình lại để đáp ứng với sự thay đổi lưu lượng của mạng.

- **Bảo vệ:** Chức năng quan trọng của bộ kết nối chéo là bảo vệ các lightpath khi sợi bị đứt hoặc thiết bị gặp sự cố trong mạng. Bộ OXC là phần tử mạng thông minh mà nó có thể phát hiện sự cố trong mạng và nhanh chóng định tuyến lại các lightpath.

- **Trong suốt đối với tốc độ bit:** khả năng chuyển mạch các tín hiệu với tốc độ bit.

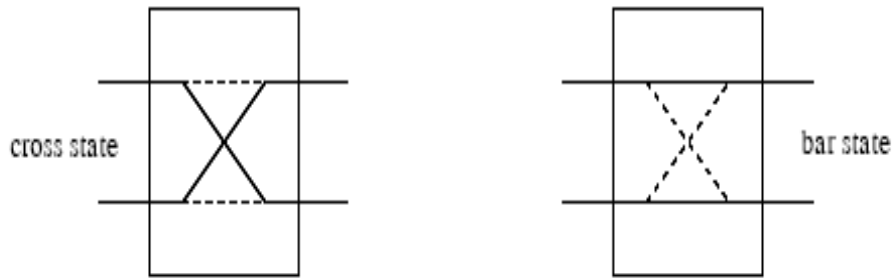
- **Giám sát thực hiện, định vị lỗi:** OXC cho thấy tham số của một tín hiệu ở những nút trung gian, OXC cho phép kiểm tra thiết bị và giám sát các tín hiệu đi xuyên qua nó.

- **Chuyển đổi bước sóng:** ngoài khả năng chuyển tín hiệu từ cổng này sang cổng khác, OXC còn khả năng có thể chuyển đổi bước sóng bên trong.

- **Ghép kênh:** các OXC điều khiển các tín hiệu ngõ vào và ngõ ra ở tốc độ đường dây quang, tuy nhiên nó có khả năng ghép kênh để chuyển mạch lưu lượng nội tại.

Một OXC được phân theo chức năng thành một trung tâm chuyển mạch và một khu liên hợp cổng. Trung tâm chuyển mạch chứa bộ chuyển mạch mà nó thực hiện chức năng kết nối chéo thực sự. Khu liên hợp cổng chứa các card được dùng như các giao diện để liên lạc với các thiết bị khác. Các cổng giao tiếp có thể bao gồm các bộ chuyển đổi quang- điện, điện- quang hoặc không.

Một phần tử kết nối chéo cơ bản  $2 \times 2$  gửi các tín hiệu quang từ hai ngõ vào đến hai ngõ ra và có hai trạng thái, đó là: trạng thái cross và trạng thái bar. Trong trạng thái cross, tín hiệu từ cổng vào phía trên được gửi đến cổng ra phía dưới, và tín hiệu từ cổng vào phía dưới được gửi đến ngõ ra phía trên. Trong trạng thái bar, tín hiệu từ cổng vào phía trên được gửi đến cổng ra phía trên, và tín hiệu từ cổng phía dưới được gửi tới cổng ra bên dưới.



Hình 2.12: Trạng thái của OXC

#### 2.6.4.2. Phân loại OXC

OXC được chia làm hai loại:

- **Hybrid OXC** (hay OXC không trong suốt): hiện đang rất phổ biến, nó thực hiện chuyển đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện, thực hiện kết nối bằng cách sử dụng kỹ thuật kết nối điện tử và sau đó lại chuyển đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang.

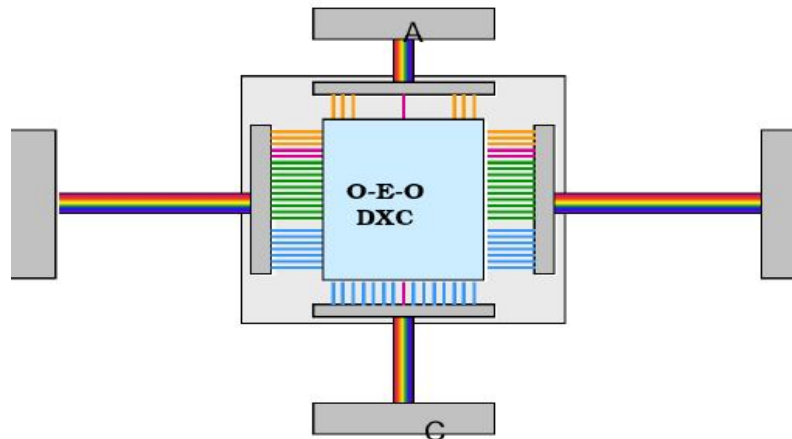


Figure 6-1: Hybrid OXC

Hình 2.13: Hybrid OXC

- **All optical OXC** (hay OXC trong suốt): là cách kết nối trực tiếp các kênh quang trong miền photonic. Tín hiệu ở dạng photonic trong suốt quá trình chuyển mạch mà không cần thiết quá trình chuyển đổi O-E-O. OXC này có thể phân thành các thành phần thiết bị chuyển mạch quang Free Space, thiết bị quang trạng thái rắn và các thiết bị gương cơ điện. Trong số các thiết bị chuyển mạch phổ biến nhất kết nối nhiều đầu vào với nhiều đầu ra là WRG. Với thiết bị này, một bước sóng cho trước

ở cổng vào bất kỳ sẽ xuất hiện ở một cổng ra xác định như hình 2.13. Loại chuyển mạch quang Free Space này được biết như là chức năng định tuyến bước sóng.

- Các thiết bị chuyển mạch quang Free Space: nó được hiểu là làm nhiệm vụ định tuyến bước sóng, một loại khác thì chùm laser được chiếu một cách cơ học vào một trong những sợi quang. Trong trường hợp này, một ma trận của các chùm tia trên đến kết hợp một ma trận của các sợi quang, lúc đó một trong những chùm tia năng lượng và một sợi quang thu sẽ được định hướng để chúng kết hợp với nhau để đạt được một kết nối trong không gian.

- Các thiết bị quang ở trạng thái rắn: là các cặp thiết bị bán dẫn định hướng, các thiết bị này có thể thay đổi một trong những đặc tính quang trên đường đi dựa vào các ứng dụng điều khiển tín hiệu như nhiệt độ, ánh sáng, dòng điện hay điện áp. Các đặc tính quang bao gồm sự phân cực, sự truyền ánh sáng, sự hấp thụ, chỉ số khúc xạ.

- Hệ thống vi cơ điện: dựa vào sự phản xạ ánh sáng trên một bề mặt sáng bóng làm thay đổi tính định hướng của ánh sáng. Kỹ thuật này dựa trên hệ thống gương cơ điện (MEMS – Micro Electro Mechanical Systems).

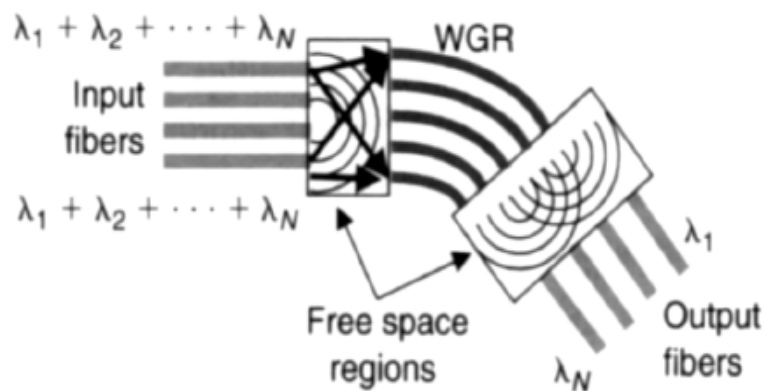


Figure 6-2: Mach-Zehnder WGR

### Hình 2.14: OXC toàn quang WGR

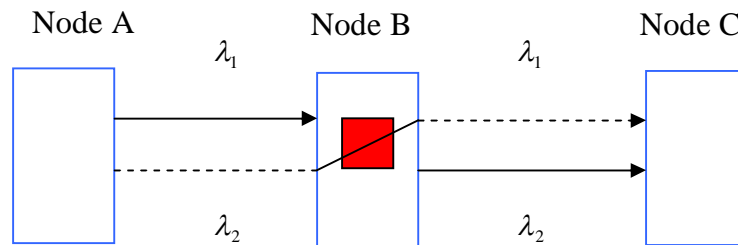
Xét một trung tâm cung cấp dịch vụ lớn, ở đây có thể kết thúc nhiều kết nối, ở mỗi kết nối mang nhiều bước sóng. Một số bước sóng này không cần được kết thúc

ở vị trí đó mà muốn đi đến node khác. OXC thực hiện chức năng này, nó làm việc kế bên các phần tử mạng SONET/ SDH, bộ định tuyến IP và các chuyển mạch ATM, các thiết bị đầu cuối WDM và bộ ghép kênh xen/ rút. Một cách điển hình, một số cổng OXC được kết nối đến các thiết bị WDM, các cổng khác được nối đến các thiết bị kết cuối. Vì thế OXC cung cấp dung lượng hiệu quả hơn nhiều.

### 2.7. Sự chuyển đổi bước sóng

Chuyển đổi bước sóng là khả năng chuyển tín hiệu từ bước sóng này ( $\lambda_1$ ) trên một ngõ vào sang bước sóng khác tại ngõ ra ( $\lambda_2$ ). Bộ chuyển đổi rất có ích trong việc giảm xác suất tắc nghẽn mạng. Nếu các bộ chuyển đổi được tích hợp vào trong bộ kết nối chéo quang trong mạng WDM, các kết nối có thể được thiết lập giữa nguồn và đích ngay cả khi trên tất cả các tuyến của đường đi không có sẵn cùng một bước sóng. Các bộ chuyển đổi bước sóng giúp loại trừ sự bất buộc tính liên tục về bước sóng.

Bộ chuyển đổi bước sóng đầy đủ giúp cho việc giảm xác suất tắc nghẽn tốt hơn nhưng thực tế bộ chuyển đổi này rất khó thực hiện bởi các lí do về chi phí và giới hạn kĩ thuật. Trong một mạng có rất ít node mạng được trang bị bộ chuyển đổi bước sóng, do đó cần phải có sự lựa chọn các node đặt các bộ chuyển đổi bước sóng ở các vị trí thích hợp sao cho tối ưu mạng, thường đặt các bộ chuyển đổi bước sóng ở những node mà lưu lượng mạng xảy ra cực đại.



**Hình 2.15: Sự chuyển đổi bước sóng**

Ví dụ như hình trên, một lightpath được thiết lập giữa Node A và Node B trên bước sóng  $\lambda_1$ , và một đường lightpath khác được thiết lập giữa Node B với Node C trên bước sóng  $\lambda_2$ . Nếu có một yêu cầu ở Node A đến Node C, yêu cầu không thể

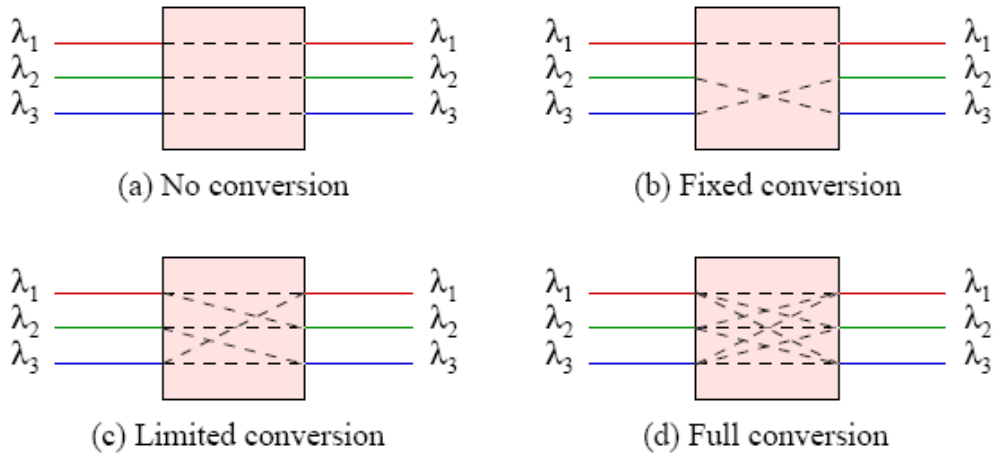
thiết lập được về sự bắt buộc tính liên tục về bước sóng. Nếu có bộ chuyển đổi bước sóng được đặt ở Node B mà nó có khả năng chuyển đổi từ bước sóng  $\lambda_1$  sang  $\lambda_2$ , thì yêu cầu có thể thực hiện thành công. Rõ ràng các bộ chuyển đổi bước sóng có thể cải thiện được hiệu suất khi các bước sóng rời có sẵn trên các tuyến, và một bước sóng chung thì không có.

Chuyển đổi bước sóng được chia ra làm hai loại:

➤ **Chuyển đổi bước sóng quang - điện:** theo phương pháp này, tín hiệu trước tiên được chuyển sang tín hiệu điện sử dụng bộ tách sóng. Luồng bit được lưu trữ trong bộ đệm. Sau đó tín hiệu điện được dùng để lái ngõ ra của một tunable laser để tạo thành một bước sóng mong muốn ở ngõ ra. Phương pháp này không thích hợp cho tốc độ bit cao hơn 10Gbps, tiêu hao công suất lớn và thực hiện phức tạp hơn các phương pháp khác.

➤ **Chuyển đổi bước sóng toàn quang:** quá trình chuyển đổi bước sóng được thực hiện hoàn toàn trong miền quang. Phương pháp này dựa vào hiệu ứng trộn bước sóng để tạo ra một bước sóng khác.

Khả năng chuyển đổi bước sóng có thể thực hiện qua nhiều mức khác nhau. Hình dưới đây minh họa sự khác nhau giữa đầu vào và đầu ra, trường hợp nhiều cổng thì càng phức tạp hơn nhưng cũng tương tự. Khả năng chuyển đổi bước sóng hoàn toàn tức là có thể chuyển đổi một bước sóng ở ngõ vào thành một bước sóng bất kì ở ngõ ra. Khả năng chuyển đổi bước sóng giới hạn qui định rằng mỗi bước sóng đầu vào có thể được chuyển đổi thành một số bước sóng xác định trước ở ngõ ra. Trường hợp đặc biệt của chuyển bước sóng giới hạn là chuyển đổi bước sóng cố định khi mà một bước sóng đầu vào chỉ có thể chuyển đổi thành một bước sóng cố định ở đầu ra. Nếu mỗi bước sóng được “chuyển đổi” thành chính nó thì chúng ta gọi không có sự chuyển đổi nào.



**Hình 2.16: Các khả năng chuyển đổi bước sóng**

**2.8. Kết luận chương.**

Qua chương này, ta đã thấy được động lực để thúc đẩy mạng WDM hiện nay. Những mạng này cung cấp các lightpath từ đầu cuối này đến đầu cuối kia qua các node mạng trung gian. Một lightpath gồm có một kênh thông tin quang, hoặc bước sóng, giữa hai node mạng mà được định tuyến qua những node trung gian. Các node mạng trung gian có thể chuyển mạch và chuyển đổi bước sóng. Vì vậy các mạng này được xem là các mạng định tuyến bước sóng.

## CHƯƠNG 3

### ĐỊNH TUYẾN VÀ GÁN BƯỚC SÓNG.

#### 3.1. Giới thiệu chương

Trong mạng quang định tuyến bước sóng, người sử dụng liên lạc với nhau qua các kênh thông tin quang được gọi là các lightpath. Lightpath là một đường đi của tín hiệu ánh sáng từ nguồn đến đích dưới dạng quang thông qua các kết nối trung gian. Một lightpath có thể kéo dài qua nhiều tuyến truyền dẫn để cung cấp một kết nối chuyển mạch mạch giữa hai node mà có thể chứa một luồng lưu lượng lớn giữa chúng.

Khi các lightpath thực hiện việc mang thông tin từ một node nguồn đến một node đích nào đó thì nó cần được định tuyến và gán bước sóng. Định tuyến và gán bước sóng cho lightpath là vấn đề hết sức quan trọng và xảy ra thường xuyên trong mạng.

Chương này sẽ nói rõ về việc định tuyến và gán bước sóng cho các lightpath, các thuật toán thực hiện định tuyến và các phương pháp gán bước sóng trong mạng WDM.

#### 3.2. Giới thiệu về định tuyến và gán bước sóng (Routing and Wavelength Assignment - RWA).

Khi một lightpath được chọn và xác định, mỗi lightpath cần được định tuyến và gán bước sóng cho nó. Từ đó đặt ra bài toán định tuyến và gán bước sóng.

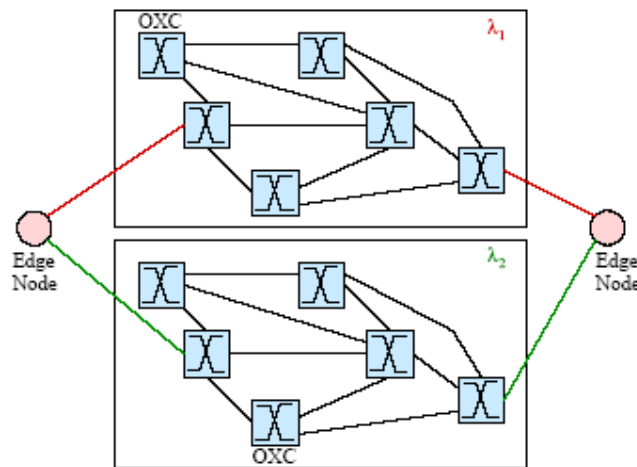
Định tuyến là vấn đề tìm đường giữa hai node bất kì trong mạng để thoả mãn một mục đích nào đó, thuật ngữ gọi là để tối ưu hàm mục tiêu (cost function). Vấn đề này rất quen thuộc và rất quan trọng trong mạng. Thông thường định tuyến trong IP sử dụng thuật toán tìm đường Dijkstra, với hàm mục tiêu là các metric quen thuộc như băng thông, độ trễ, chi phí tuyến, ...

Trong mạng quang, tìm đường được hiểu theo hai khía cạnh, đó là tìm đường vật lí mang được mẫu lưu lượng yêu cầu (Routing) và đưa ra bước sóng phù hợp để mang lưu lượng trên mỗi link dọc path (Wavelength Assignment) trong số các bước sóng cho phép (bởi mỗi path gồm một số fiber, mà trên mỗi fiber này, bạn có thể có W sub-channels, cũng là W bước sóng và W lựa chọn cho yêu cầu kết nối hiện tại). Vấn



đề này được viết tắt là RWA. Khi tìm được một path vật lí và đánh dấu bước sóng trên các link dọc theo path đó, thì chúng ta có một đường quang, còn gọi là lightpath (LP). Rắc rối đặt ra đối với bài toán RWA là nó đưa ra hai điều kiện sau:

❖ **Điều kiện tính liên tục bước sóng:** một lightpath phải sử dụng chung một bước sóng trên tất cả các link dọc theo đường đi của nó từ nguồn đến đích. Điều kiện này được minh hoạ như hình dưới bằng cách mỗi lightpath được thể hiện bằng một màu nhất định trong suốt đường đi.



**Hình 3.1: Điều kiện tính liên tục bước sóng**

❖ **Điều kiện tính riêng biệt về bước sóng:** tất cả các lightpath sử dụng cùng một link (fiber) phải được gán các bước sóng riêng biệt. Điều kiện được minh hoạ như (hình 2.10) mà nó được thoả mãn khi hai lightpath cùng chia sẻ cùng một link được thể hiện bằng hai màu khác nhau (hai bước sóng khác nhau).

Vấn đề xảy ra khi các bước sóng trên hai link kế cận khác nhau, lúc đó cần dùng đến bộ chuyển đổi bước sóng, là tài nguyên đắt đỏ của mạng. Các giải thuật luôn tìm cách giảm thiểu chi phí này.

Bài toán RWA có thể đưa ra như sau: cho một số hữu hạn các lightpath được thiết lập trên mạng và một số giới hạn các bước sóng. Ta phải xác định đường đi cho mỗi lightpath và xác định số bước sóng nên được gán cho cho các lightpath này để đạt được số lightpath có thể thiết lập là lớn nhất. Mặc dù những lightpath có đường đi

ngắn nhất có vẻ tối ưu hơn, nhưng đôi khi ta đành phải loại bỏ sự lựa chọn này để nhiều lightpath hơn có thể thiết lập. Vì thế các giải thuật thường cho phép nhiều đường đi thay phiên nhau đối với mỗi lightpath được thiết lập.

Các đường đi ánh sáng (lightpath) mà không thể được thiết lập vì những ràng buộc về đường đi và bước sóng được gọi là nghẽn, do vậy vấn đề tối ưu mạng tương ứng hạn chế đến mức thấp nhất xác xuất tắc nghẽn này.

Khi hai lightpath mà chúng có tuyến truyền dẫn trùng nhau thì chúng sẽ không được gán cùng một bước sóng. Thông thường một đường đi ánh sáng (lightpath) hoạt động với cùng một bước sóng trên những sợi quang mà nó đi qua. Trường hợp này ta nói rằng lightpath thỏa mãn sự ràng buộc về tính liên tục bước sóng. Tuy nhiên nếu một nút chuyển mạch/định tuyến được trang bị với một bộ chuyển đổi bước sóng thì điều kiện ràng buộc về tính liên tục bước sóng không còn nữa, lightpath này có thể chuyển sang nhiều bước sóng khác nhau trên đường đi từ nguồn đến đích của nó.

Mạng lõi được mô hình bằng Graph  $G(E,V)$  với  $E$  (edge) là tập các cạnh và  $V$  là tập các đỉnh (vertical). Với mỗi cặp node bất kì  $S-D$  trong mạng (và tương ứng trong Graph), tồn tại một tập các đường đi (path) vật lí có thể giữa chúng (mỗi path bao gồm một số fiber hay link, edge trung gian), kí hiệu:  $R$ . Tập các đường đi này có thể tìm theo một giải thuật tìm đường phổ biến như Dijkstra, Prim hay Mentor với một hàm mục tiêu tùy chọn.

### 3.3. Định tuyến bước sóng

Trong một mạng không có bộ chuyển đổi bước sóng, các lightpath phải sử dụng cùng một bước sóng từ nguồn đến đích. Khi có nhu cầu cho cuộc gọi, bộ định tuyến bước sóng WR phải sử dụng giải thuật được thiết lập từ trước để chọn một công ra và bước sóng tương ứng. Sự lựa chọn bước sóng đóng vai trò quan trọng đối với toàn bộ xác suất tắc nghẽn. Vì vậy một WR phải tìm ra đường đi cho yêu cầu thiết lập lightpath và thực hiện gán bước sóng sao cho tối thiểu hoá xác suất tắc nghẽn. Chức năng này có tầm quan trọng trong việc thiết kế các mạng toàn quang.

Bài toán RWA được chia làm hai loại như sau:

- **RWA dành cho lưu lượng mạng cố định (static traffic):** với loại này thì các yêu cầu về lightpath được biết trước, tất cả mọi đường đi và bước sóng gán cho các lightpath đã được thiết lập cố định từ trước ( ví dụ như yêu cầu truyền từ Router này đến Router là không đổi, tính theo đơn vị LP, xét trên toàn mạng ta có ma trận hằng  $N*N$  ). Khi có yêu cầu đi đến, một đường đi và bước sóng đã chỉ định từ trước đó được gán cho yêu cầu tương ứng đó. Vì vậy, qui trình định tuyến và gán bước sóng là cố định, không thay đổi theo thời gian. Với loại này, công việc thực hiện không phức tạp, nó đơn giản là gán một đường đi nào đó cho lightpath. Mục đích của phương pháp này là tăng cực đại toàn bộ dung lượng của mạng, tức là có thể thiết lập đồng thời số lightpath là lớn nhất. Đây là bài toán trong mạng không có sự chuyển đổi bước sóng.

- **RWA dành cho lưu lượng mạng thay đổi (dynamic traffic):** trong mạng quang định tuyến bước sóng, các yêu cầu về lightpath đi đến theo một qui trình riêng biệt và thời gian chiếm bởi các yêu cầu này cũng theo một qui luật riêng. Với dạng lưu lượng mạng thay đổi thì cần có một giải thuật động để định tuyến các lightpath qua những đường đi khác nhau dựa vào sự tắc nghẽn trên các tuyến truyền dẫn. Từ đó giải thuật cho bài toán RWA động được đưa ra, nó dựa vào trạng thái hiện thời của mạng để xác định đường đi cho mỗi yêu cầu thiết lập lightpath. Một kết nối bị nghẽn nếu không có đường đi nào có thể dùng để mang nó. Một trong những thách thức để giải quyết bài toán định tuyến và gán bước sóng với lưu lượng mạng thay đổi là phát triển các giải thuật và giao thức để thiết lập các lightpath, nhằm hạn chế đến mức thấp nhất xác suất tắc nghẽn trong mạng (tức là số yêu cầu kết nối sẽ bị từ chối/ tổng số yêu cầu), nâng cao hiệu suất sử dụng tài nguyên (cùng một lượng fiber, node, bộ chuyển đổi bước sóng,...có thể tạo ra nhiều lightpath nhất) và cải thiện hiệu năng tổng thể của mạng (hiệu năng = xác suất tắc nghẽn của mạng + độ phức tạp của giải thuật) . Một phương pháp đơn giản là dựa vào giải thuật tìm đường đi bị nghẽn ít nhất để thiết lập các lightpath động. Trong giải thuật này, một lightpath được thiết lập trên đường đi ít bị nghẽn nhất từ tập các lightpath khác nhau giữa cặp nguồn - đích. Bước

sóng được cấp phát là bước sóng đầu tiên còn rỗi giữa những tuyến liên kết trong đường này.

Bài toán RWA ( Routing and Wavelength Assignment) được chia làm hai phần: định tuyến và gán bước sóng.

### **3.4. Định tuyến (Routing)**

#### **3.4.1. Giới thiệu**

Định tuyến được coi là thành phần cốt yếu của kiến trúc mạng, thiết kế mạng và điều hành mạng của mọi mạng thông tin, là thành phần không thể thiếu trong mạng viễn thông. Các yếu tố thúc đẩy cho quá trình thay đổi và phát triển định tuyến mạng chủ yếu do nhu cầu cải thiện hiệu năng mạng, các dịch vụ mới đưa vào khai thác và sự thay đổi công nghệ mạng, và đây cũng là một trong những thách thức khi xây dựng và khai thác mạng. Hầu hết các mạng viễn thông truyền thống được xây dựng theo mô hình mạng phân cấp mô hình này cho phép sử dụng định tuyến tĩnh trên qui mô lớn.

Trong khi định tuyến tĩnh vẫn còn tồn tại thì tính chất độc lập giữa người sử dụng và mạng vẫn ở mức cao; định tuyến tĩnh chủ yếu dựa trên mong muốn của người sử dụng nhiều hơn là tình trạng của mạng hiện thời. Mạng hiện đại hiện nay có xu hướng hội tụ các dịch vụ mạng, yêu cầu đặt ra từ phía người sử dụng là rất đa dạng và phức tạp. Các phương pháp định tuyến động được sử dụng nhằm nâng cao hiệu năng mạng của mạng mới này, tăng thêm tính chủ động, mềm dẻo đáp ứng tốt hơn yêu cầu người sử dụng dịch vụ.

Định tuyến để chỉ sự lựa chọn đường đi trên một kết nối mạng để thực hiện việc gửi dữ liệu. Định tuyến chỉ ra hướng, sự dịch chuyển của các gói (dữ liệu) được đánh địa chỉ từ mạng nguồn đến đích thông qua các node trung gian; thiết bị chuyên dùng là bộ định tuyến (router). Tiến trình định tuyến thường chỉ hướng đi dựa vào bảng định tuyến, đó là bảng chứa các lộ trình tốt nhất đến các đích khác nhau trên mạng. Vì vậy việc xây dựng bảng định tuyến, được tổ chức trong bộ nhớ của router, trở nên vô cùng quan trọng cho việc định tuyến hiệu quả.

Khi có nhu cầu cho cuộc gọi đến, bộ định tuyến xác định đường đi cho yêu cầu thiết lập lightpath. Như vậy bài toán định tuyến là xác định đường đi cho mỗi yêu cầu thiết lập lightpath. Mỗi đường đi là một chuỗi các tuyến truyền dẫn từ điểm nguồn đến điểm đích. Nhằm giảm sự phức tạp trong tính toán, đồng thời để bài toán đơn giản hơn, ta sẽ xét đường đi ngắn nhất giữa hai điểm đầu cuối này. Để thực hiện điều này, ta sử dụng một giải thuật tìm đường đi ngắn nhất dựa trên giải thuật Dijkstra. Để hiểu rõ về thuật toán dùng trong định tuyến, ta tìm hiểu về lý thuyết đồ thị.

### 3.4.2. Phân loại định tuyến

Có nhiều cách phân loại định tuyến, có thể đưa ra một số loại định tuyến như sau:

- Dựa vào chức năng thích nghi với trạng thái hiện thời của mạng để phân loại thành: định tuyến tĩnh và định tuyến động

Định tuyến tĩnh: với định tuyến tĩnh, đường dẫn được chọn trước cho mỗi cặp nguồn – đích của các node trong mạng. Các giải thuật định tuyến chi phí tối thiểu có thể được sử dụng. Kế hoạch định tuyến tĩnh được sử dụng hầu hết các mạng truyền thống, trong kế hoạch định tuyến này chủ yếu với mục đích làm giảm các hệ thống chuyển mạch phải đi qua với yêu cầu kết nối đường dài. Kỹ thuật định tuyến tĩnh bộc lộ một số nhược điểm như: quyết định định tuyến tĩnh không dựa trên sự đánh giá lưu lượng và topo mạng hiện thời. Các bộ định tuyến không phát hiện ra các bộ định tuyến mới, chúng chỉ có thể chuyển thông tin đến tới các các bộ định tuyến được chỉ định trước của nhà quản lý mạng.

Định tuyến động: định tuyến động lựa chọn tuyến dựa trên thông tin trạng thái hiện thời của mạng. Thông tin trạng thái có thể đo hoặc dự đoán và tuyến đường có thể thay đổi khi topo mạng thay đổi hoặc lưu lượng mạng thay đổi. Định tuyến động thể hiện tính linh hoạt và dễ dàng mở rộng mạng.

- Dựa vào phạm vi định tuyến, ta phân loại thành: định tuyến trong và định tuyến ngoài.

Định tuyến trong: định tuyến xảy ra bên trong một hệ thống độc lập (AS – Autonomous System), các giao thức thường dùng là RIP (Router Information

Protocol), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced IGRP),...

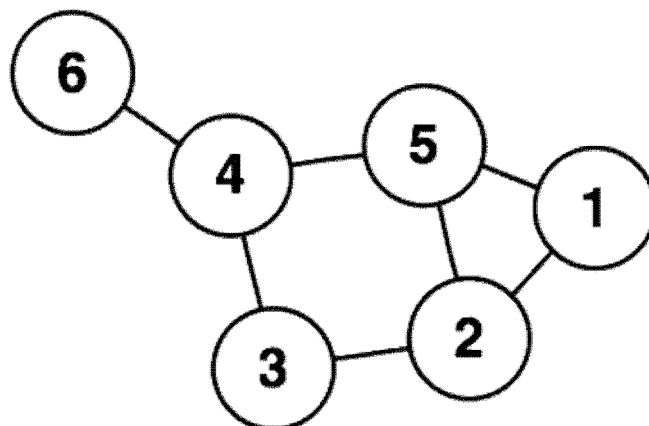
Định tuyến ngoài: định tuyến xảy ra giữa các hệ thống độc lập (AS), liên quan tới dịch vụ của nhà cung cấp mạng sử dụng giao thức định tuyến ngoài rộng và phức tạp. Giao thức thường dùng là BGP (Border Gateway Protocol).



**Hình 3.2: Định tuyến trong và định tuyến ngoài**

### 3.4.3. Lí thuyết đồ thị

Trong toán học và tin học, đồ thị là đối tượng nghiên cứu cơ bản của lí thuyết đồ thị. Một cách không chính thức, đồ thị là một tập các đối tượng gọi là đỉnh nối với nhau bởi các cạnh. Thông thường đồ thị thường được vẽ dưới dạng tập các điểm (đỉnh, nút) nối với nhau bởi các đoạn thẳng (cạnh). Tùy theo ứng dụng mà một số cạnh có thể có hướng.



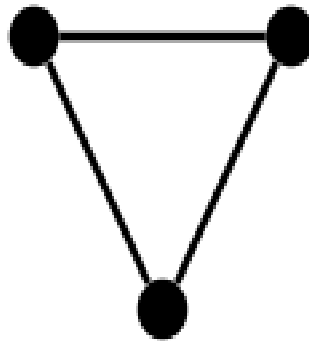
**Hình 3.3: Lí thuyết đồ thị**

Có 3 loại đồ thị: đồ thị có hướng, đồ thị vô hướng và đồ thị hỗn hợp.

#### 3.4.3.1. Đồ thị vô hướng.

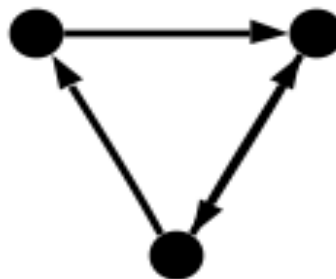
Đồ thị vô hướng hoặc đồ thị  $G$  là một cặp có thứ tự (order pair)  $G=(V,E)$ , trong đó:

- $V$  là tập các đỉnh hoặc nút.
- $E$  là tập các cặp không thứ tự chứa các đỉnh phân biệt, được gọi là cạnh. Hai đỉnh thuộc một cạnh được gọi là các đỉnh đầu cuối của cạnh đó.



Hình 3.4: Đồ thị vô hướng

#### 3.4.3.2. Đồ thị có hướng.



Hình 3.5: Đồ thị có hướng

Đồ thị có hướng  $G$  là một cặp có thứ tự  $G=(V,A)$ , trong đó:

- $V$  là tập các nút hoặc đỉnh.
- $A$  là tập các cạnh có thứ tự chứa các đỉnh, được gọi là các cạnh có hướng hoặc cung.

Một cạnh  $e=(x,y)$  được coi là có hướng từ  $x$  đến  $y$ ,  $x$  được gọi là điểm đầu/gốc và  $y$  được coi là điểm cuối/ngọn của cạnh.

Từ đó ta phân loại ra: đồ thị đơn và đa đồ thị.

❖ **Đồ thị đơn**: là đồ thị mà giữa hai đỉnh chỉ có tối đa một cạnh.

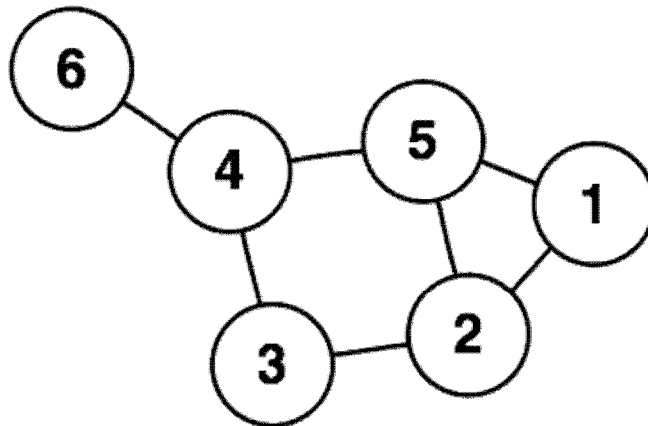
❖ **Đa đồ thị**: là đồ thị mà giữa hai đỉnh có thể có nhiều hơn một cạnh.

Đa đồ thị có hướng là một đồ thị có hướng mà trong đó nếu  $x$  và  $y$  là hai đỉnh thì đồ thị được phép có cả hai cung  $(x,y)$  và  $(y,x)$ . Đồ thị đơn có hướng là một đồ thị có hướng, trong đó, nếu  $x$  và  $y$  là hai đỉnh thì đồ thị chỉ được phép có tối đa một trong hai cung  $(x,y)$  và  $(y,x)$ .

### 3.4.3.3. Đồ thị hỗn hợp

Đồ thị hỗn hợp  $G$  là bộ ba có thứ tự  $G=(V,E,A)$  với  $V,E,A$  được định nghĩa như trên.

### 3.4.3.4. Ví dụ



Hình 3.6: Ví dụ

Với hình trên, ta có các giá trị sau:

-  $V=\{1,2,3,4,5,6\}$

-  $E=\{\{1,2\},\{1,5\},\{2,3\},\{2,5\},\{3,4\},\{4,5\},\{4,6\}\}$

Đôi khi thông tin nối từ đỉnh 1 đến đỉnh 2 được kí hiệu là 1~2.



Bài toán định tuyến gán bước sóng có liên hệ chặt chẽ với bài toán tô màu cho các nút trong đồ thị. Bài toán của chúng ta là tô màu cho các nút thuộc  $G$  sao cho hai node kế cận nhau phải mang màu khác nhau thể hiện mỗi trạng thái của node.

#### **3.4.4. Các thuật toán cơ bản trong định tuyến**

Các mạng chuyển mạch gói và internet dựa trên quyết định định tuyến của nó từ các tiêu chí tối thiểu. Ở đây ta xét đến chi phí tuyến được sử dụng như tham số ngõ vào của thuật toán định tuyến chi phí tối thiểu mà có thể phát biểu đơn giản như sau:

Cho một mạng gồm các node được nối bởi các tuyến song công, trong đó, mỗi tuyến có một chi phí được gán cho mỗi hướng, định nghĩa chi phí của đường dẫn giữa hai node là tổng chi phí của các tuyến hợp thành đường dẫn. Với mỗi cặp node, tìm đường dẫn với chi phí tối thiểu.

Hầu hết các thuật toán chi phí tối thiểu đang sử dụng trong các mạng chuyển mạch gói và internet là Dijkstra hoặc Bellman-Ford. Ta sẽ xét hai thuật toán này dưới đây.

##### **3.4.4.1. Thuật toán trạng thái liên kết LSA**

Trong thuật toán trạng thái liên kết, các node mạng quảng bá giá trị liên kết của nó với các node xung quanh tới các node khác. Sau khi quảng bá, tất cả các node đều biết rõ topo mạng và thuật toán sử dụng để tính toán con đường ngắn nhất tới node đích là thuật toán Dijkstra.

Thuật toán Dijkstra, mang tên của nhà khoa học máy tính người Hà Lan Edsger Dijkstra, là một thuật toán giải quyết bài toán tìm đường đi ngắn nhất trong một đồ thị có hướng không có cạnh mang trọng số âm.

##### **3.4.4.1.1. Bài toán**

Cho một đồ thị có hướng  $G=(V,E)$ , một hàm trọng số  $w: E \rightarrow [0, \infty)$  và một đỉnh nguồn  $s$ . Cần tính toán được đường đi ngắn nhất từ đỉnh nguồn  $s$  đến mỗi đỉnh của đồ thị. Ví dụ: chúng ta dùng các đỉnh của đồ thị để mô hình các thành phố và các cạnh để mô hình các đường nối giữa chúng. Khi đó trọng số các cạnh có thể xem như độ dài của các con đường hay có thể là chi phí (và do đó là không âm). Chúng ta cần vận chuyển từ thành phố  $s$  đến thành phố  $t$ . Thuật toán Dijkstra sẽ giúp chỉ ra đường đi ngắn nhất chúng ta có thể đi.

Trọng số không âm của các cạnh của đồ thị mang tính tổng quát hơn khoảng cách hình học giữa hai đỉnh đầu mút của chúng. Ví dụ, với 3 đỉnh A, B, C đường đi A-B-C có thể ngắn hơn so với đường đi trực tiếp A-C.

#### 3.4.4.1.2. Thuật toán

Thuật toán Dijkstra có thể mô tả như sau:

Ta quản lý một tập hợp động  $S$ . Ban đầu  $S = \{s\}$ .

Với mỗi đỉnh  $v$ , chúng ta quản lý một nhãn  $d[v]$  là độ dài bé nhất trong các đường đi từ nguồn  $s$  đến một đỉnh  $u$  nào đó thuộc  $S$ , rồi đi theo cạnh nối  $u-v$ .

Trong các đỉnh ngoài  $S$ , chúng ta chọn đỉnh  $u$  có nhãn  $d[u]$  bé nhất, bổ sung vào tập  $S$ . Tập  $S$  được mở rộng thêm một đỉnh, khi đó chúng ta cần cập nhật lại các nhãn  $d$  cho phù hợp với định nghĩa.

Thuật toán kết thúc khi toàn bộ các đỉnh đã nằm trong tập  $S$ , hoặc nếu chỉ cần tìm đường đi ngắn nhất đến một đỉnh đích  $t$ , thì chúng ta dừng lại khi đỉnh  $t$  được bổ sung vào tập  $S$ .

Tính chất không âm của trọng số các cạnh liên quan chặt chẽ đến tính đúng đắn của thuật toán. Khi chứng minh tính đúng đắn của thuật toán, chúng ta phải dùng đến tính chất này.

#### 3.4.4.1.3. Chứng minh

Ý tưởng được chứng minh như sau:

Chúng ta sẽ chỉ ra, khi một đỉnh  $v$  được bổ sung vào tập  $S$ , thì  $d[v]$  là giá trị của đường đi ngắn nhất từ nguồn  $s$  đến  $v$ .

Theo định nghĩa nhãn  $d$ ,  $d[v]$  là giá trị của đường đi ngắn nhất trong các đường đi từ nguồn  $s$ , qua các đỉnh trong  $S$ , rồi theo một cạnh nối trực tiếp  $u-v$  đến  $v$ .

Giả sử tồn tại một đường đi từ  $s$  đến  $v$  có giá trị bé hơn  $d[v]$ . Như vậy trong đường đi, tồn tại đỉnh giữa  $s$  và  $v$  không thuộc  $S$ . Chọn  $w$  là đỉnh đầu tiên như vậy.

Đường đi của ta có dạng  $s - \dots - w - \dots - v$ . Nhưng do trọng số các cạnh không âm nên đoạn  $s - \dots - w$  có độ dài không lớn hơn hơn toàn bộ đường đi, và do đó có giá trị bé hơn  $d[v]$ . Mặt khác, do cách chọn  $w$  của ta, nên độ dài của đoạn  $s - \dots - w$  chính là

$d[w]$ . Như vậy  $d[w] < d[v]$ , trái với cách chọn đỉnh  $v$ . Đây là điều mâu thuẫn. Vậy điều giả sử của ta là sai. Ta có điều phải chứng minh.

#### 3.4.4.1.4. Các bước thực hiện

Thuật toán Dijkstra dùng trong giao thức định tuyến OSPF đi qua các bước sau:

1. Bộ định tuyến xây dựng đồ thị của mạng và xác định các node nguồn – đích, ví dụ như  $V_1$  và  $V_2$ . Sau đó nó xây dựng một ma trận, được gọi là ma trận liền kề. Ma trận này thể hiện trọng số của các cạnh, ví dụ như  $[i,j]$  là trọng số của cạnh nối  $V_i$  với  $V_j$ . Nếu không có kết nối trực tiếp giữa  $V_i$  và  $V_j$ , trọng số này được xác định là vô cùng.
2. Bộ định tuyến xây dựng bảng trạng thái cho tất cả các node trong mạng. Bảng này gồm các phần:

- ❖ Chiều dài: thể hiện độ lớn của trọng số từ nguồn đến node đó.

- ❖ Nhãn của node: thể hiện trạng thái của node, mỗi một node có thể có một trong hai trạng thái là cố định hay tạm thời.

3. Bộ định tuyến gán thông số ban đầu của bảng trạng thái cho tất cả các node và thiết lập chiều dài của chúng là vô cùng và nhãn của chúng là tạm thời.

4. Bộ định tuyến thiết lập một T-node. Ví dụ như  $V_1$  là node nguồn T-node, bộ định tuyến sẽ chuyển nhãn của  $V_1$  sang cố định. Khi một nhãn chuyển sang cố định, nó sẽ không thay đổi nữa.

5. Bộ định tuyến sẽ cập nhật bảng trạng thái của tất cả các node tạm thời mà các node này liên kết với node nguồn T-node.

6. Bộ định tuyến nhìn vào các node tạm thời và chọn một node duy nhất mà node này có trọng số đến  $V_1$  là nhỏ nhất. Node này sau đó trở thành node đích T-node.

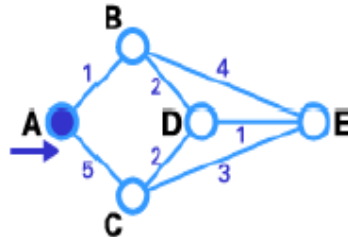
7. Nếu node này không phải là  $V_2$  thì bộ định tuyến trở lại bước 5.

8. Nếu node này là  $V_2$  thì bộ định tuyến tách node trước đó của nó khỏi bảng trạng thái và cứ thực hiện điều này cho đến khi đến node  $V_1$ . Một lượt các node chỉ ra tuyến tối ưu nhất từ  $V_1$  đến  $V_2$ .

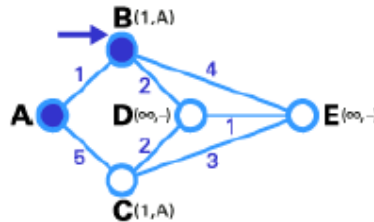
#### 3.4.4.1.5. Ví dụ về thuật toán Dijkstra

Dưới đây ta sẽ tìm đường ngắn nhất giữa A và E.

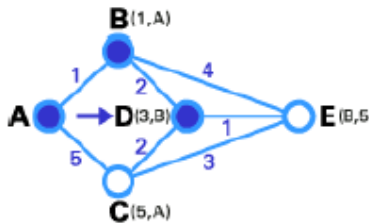
**Bước 1:** Theo hình sau, node A làm node nguồn T-node, nhãn của nó chuyển sang cố định và được đánh dấu bằng  $\rightarrow$



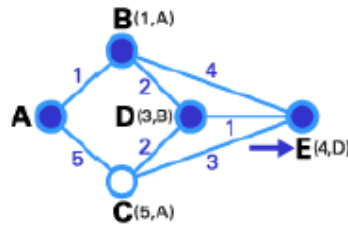
**Bước 2:** Trong bước này, ta sẽ thấy được bảng trạng thái của các node nối trực tiếp với node A là cặp node (B,C). Đường từ A đến B là ngắn nhất (có trọng số nhỏ nhất), do đó nó được chọn làm T-node và sau đó nhãn của nó chuyển sang cố định.



**Bước 3:** giống như bước 2, dựa trên bảng trạng thái của các node kết nối trực tiếp với node B là cặp node (D,E). Tương tự như thế, node D kết nối với node B là đường ngắn nhất (mang trọng số 2 nên nhỏ hơn trọng số của cạnh BE), do đó node D được làm T-node, và sau đó nhãn của nó chuyển sang cố định.



**Bước 4:** trong bước này chúng ta không có node tạm thời nào, vì thế ta chỉ có thể chọn T-node tiếp theo. Node E được chọn vào đồ thị, cạnh DE có trọng số nhỏ nhất.

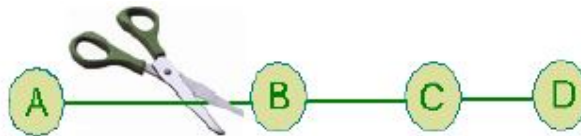


**Bước 5:** Node E là node đích nên chúng ta kết thúc quá trình định tuyến này.

### 3.4.4.2. Thuật toán định tuyến vectơ khoảng cách DVA

Là một thuật toán định tuyến tương thích nhằm tính toán con đường ngắn nhất giữa các cặp node trong mạng, được biết đến như là thuật toán Bellman-Ford. Các node mạng thực hiện quá trình trao đổi thông tin trên cơ sở của địa chỉ đích, node kế tiếp, và con đường ngắn nhất tới đích. Mỗi node trong mạng có bảng định tuyến cho thấy đường tốt nhất đến mọi đích và mỗi node chỉ gửi bảng định tuyến của nó đến các node láng giềng.

Vấn đề tồn tại của thuật toán DV là nó thực hiện đếm đến vô cùng khi có một kết nối bị hỏng. Vấn đề này có thể thấy rõ ở ví dụ sau:



**Hình 3.8: Ví dụ của thuật toán DVA**

Với hình 3.8 cho thấy có duy nhất một tuyến giữa node A đến những node khác. Giả sử trọng số trên mỗi cạnh đều bằng 1, mỗi node (Router) đều chứa bảng định tuyến. Bây giờ, nếu ta cắt kết nối giữa A và B thì node B sẽ hiệu chỉnh lại bảng định tuyến của nó. Sau khoảng thời gian, các node trao đổi thông tin bảng định tuyến và B nhận bảng định tuyến của C. Khi C không biết gì xảy ra với kết nối giữa kết nối giữa A và B, nó sẽ cho rằng có một tuyến kết nối với trọng số là 2 (1 cho kết nối C-B và 1 cho kết nối B-A), nó không biết rằng kết nối A-B đã bị cắt. B nhận bảng định tuyến này và nghĩ rằng có một tuyến khác giữa C và A, vì thế nó sửa lại bảng định tuyến và thay đổi giá trị trọng số của kết nối B-A về 3 (1 cho kết nối B-C, 2 cho kết nối C-A). Một

lần nữa các node thay đổi bảng định tuyến của nó. Khi C nhận bảng định tuyến của B, nó thấy rằng bảng B thay đổi trọng số của tuyến B-A từ 1 thành 3, vì thế nó cập nhật bảng định tuyến và thay đổi trọng số của tuyến C-A thành 4 (1 cho kết nối C-B và 3 cho kết nối B-A). Quá trình này cứ xảy ra miết cho đến khi tất cả các node tìm ra trọng số của tuyến đến A là vô cùng.

Thuật toán Bellman-Ford là một thuật toán tính các đường đi ngắn nhất trong một đồ thị có hướng có trọng số (trong đó một số cung có thể có trọng số âm). Thuật toán Dijkstra đòi hỏi trọng số của các cung phải có giá trị không âm. Do đó thuật toán Bellman-Ford thường dùng khi có các cung với trọng số âm.

#### 3.4.4.2.1. Thuật toán

Giải thuật Bellman-Ford có thể phát biểu: Tìm các đường dẫn ngắn nhất từ node nguồn cho trước với ràng buộc chỉ chứa một tuyến, sau đó tìm đường dẫn ngắn nhất với ràng buộc chỉ chứa tối đa hai tuyến và cứ thế tiếp tục. Nếu đường dẫn trước đó là ngắn nhất thì để lại còn không thì cập nhật đường dẫn mới. Thuật toán được tiến hành qua các tầng được biểu diễn như sau:

**function** BellmanFord (danh\_sách\_đỉnh, danh\_sách\_cung, nguồn)

// hàm yêu cầu đồ thị đưa vào dưới dạng một danh sách đỉnh, một danh cung

// hàm tính các giá trị khoảng\_cách và đỉnh\_liền\_trước của các đỉnh, sao cho các

// giá trị đỉnh\_liền\_trước sẽ lưu lại các đường đi ngắn nhất.

// bước 1: khởi tạo đồ thị

**for each** v **in** danh\_sách\_đỉnh:

**if** v **is** nguồn **then** khoảng\_cách (v) := 0

**else** khoảng\_cách (v) := **infinity**

    đỉnh\_liền\_trước (v) := **null**

// bước 2: kết nạp cạnh

**for** i **from** 1 **to** size (danh\_sách\_đỉnh) :

**for each** (u, v) **in** danh\_sách\_cung :

**if** khoảng\_cách (v) > khoảng\_cách (u) + trọng\_số (u, v) :

    khoảng\_cách (v) := khoảng\_cách (u) + trọng\_số (u, v)

    đỉnh\_liền\_trước (v) := u

// bước 3: kiểm tra chu trình âm

**for each** (u, v) in danh\_sách\_cung :

**if** khoảng\_cách (v) > khoảng\_cách (u) + trọng\_số (u, v) :

**error** “Đồ thị chứa chu trình có trọng số âm”

#### 3.4.4.2.2. Chứng minh

Tính đúng đắn của thuật toán có thể chứng minh bằng qui nạp. Thuật toán có thể phát biểu chính xác theo kiểu qui nạp như sau:

**Định lý:** Sau i lần lặp vòng for:

1. Nếu Khoảng\_cách(u) không có giá trị vô cùng lớn, thì nó bằng độ dài của một đường đi nào đó từ s tới u;
2. Nếu có một đường đi từ s tới u qua nhiều nhất i cung, thì Khoảng\_cách (u) có giá trị không vượt quá độ dài của đường đi ngắn nhất từ s tới u qua tối đa i cung.

#### **Chứng minh:**

Trường hợp cơ bản: Xét  $i = 0$  và thời điểm trước khi vòng for được chạy lần đầu tiên. Khi đó, với đỉnh nguồn khoảng\_cách (nguồn) := 0, điều này đúng. Đối với các đỉnh u khác, khoảng\_cách (u) := infinity, điều này cũng đúng vì không có đường đi nào từ nguồn đến u qua 0 cung.

Trường hợp quy nạp:

Chứng minh câu 1: Xét thời điểm khi khoảng cách tới một đỉnh được cập nhật bởi công thức khoảng\_cách (v) := khoảng\_cách (u) + trọng\_số (u,v). Theo giả thiết quy nạp, khoảng\_cách (u) là độ dài của một đường đi nào đó từ nguồn tới u. Do đó, khoảng\_cách (u) + trọng\_số (u, v) là độ dài của đường đi từ nguồn tới u rồi tới v.

Chứng minh câu 2: Xét đường đi ngắn nhất từ nguồn tới u qua tối đa i cung. Giả sử v là đỉnh liền ngay trước u trên đường đi này. Khi đó, phần đường đi từ nguồn tới v là đường đi ngắn nhất từ nguồn tới v qua tối đa  $i-1$  cung. Theo giả thuyết quy nạp,

khoảng\_cách (v) sau  $i-1$  vòng lặp không vượt quá độ dài đường đi này. Do đó, trọng\_số (v, u) + khoảng\_cách (v) có giá trị không vượt quá độ dài của đường đi từ s tới u. Trong lần lặp thứ  $i$ , khoảng\_cách (u) được lấy giá trị nhỏ nhất của khoảng\_cách (v) + trọng\_số (v, u) với mọi v có thể. Do đó, sau  $i$  lần lặp, khoảng\_cách (u) có giá trị không vượt quá độ dài đường đi ngắn nhất từ nguồn tới u qua tối đa  $i$  cung. Khi  $i$  bằng số đỉnh của đồ thị, mỗi đường đi tìm được sẽ là đường đi ngắn nhất toàn cục, trừ khi đồ thị có chu trình âm. Nếu tồn tại chu trình âm mà từ đỉnh nguồn có thể đi đến được thì sẽ không tồn tại đường đi nhỏ nhất (vì mỗi lần đi quanh chu trình âm là một lần giảm trọng số của đường).

### 3.4.5. Kết luận

Cả hai thuật toán này đều hoạt động dưới điều kiện tĩnh của topo mạng và chi phí tuyến thì cả hai hội tụ về một nghiệm. Khi mạng có nhiều sự thay đổi thì thuật toán sẽ cố gắng bám theo sự thay đổi, tuy nhiên, nếu chi phí tuyến phụ thuộc vào lưu lượng, tức là nó lại phụ thuộc vào đường dẫn được chọn thì với đáp ứng làm cho mạng không ổn định.

### 3.5. Gán bước sóng

Việc gán bước sóng là nhân tố chính ảnh hưởng đến xác suất tắc nghẽn và tính thực thi của mạng. Gán bước sóng thích hợp có thể làm giảm số bước sóng sử dụng hoặc không cần dùng đến bộ chuyển đổi bước sóng, nên ta có thể giảm được chi phí của mạng xuống rất nhiều. Gán bước sóng được chia làm hai loại cho lưu lượng mạng cố định và lưu lượng mạng thay đổi. Khi lưu lượng mạng cố định thì phép gán cố định, cùng một bước sóng được gán nếu (nếu có sẵn) cho mọi yêu cầu được tạo ra ở một nút, nếu không thì yêu cầu bị chặn. Khi lưu lượng mạng thay đổi, lúc có yêu cầu đến một nút mạng nào đó thì nút đó sẽ dùng một giải thuật để chọn một bước sóng riêng biệt còn rỗi ở nút đó và gán cho lightpath đó để định tuyến nó, nếu không thì yêu cầu không được giải quyết. Giải thuật cho phương pháp gán quản lý một danh sách các bước sóng được sử dụng, các bước sóng còn rỗi ở mỗi nút.

Các phương pháp gán bước sóng được chia làm các loại như sau:



➤ **Kiểu gán Random:** khi có yêu cầu đến một nút, nút đó sẽ xác định những bước sóng còn hiệu lực ( tức là còn rỗi) và chọn ngẫu nhiên một  $\lambda_i$  trong những bước sóng đó để gán cho yêu cầu đó. Các bước sóng còn rỗi ở mỗi nút được xác định bằng cách loại bỏ bước sóng  $\lambda_i$  đã sử dụng ra khỏi danh sách bước sóng còn rỗi; khi cuộc gọi kết thúc,  $\lambda_i$  được loại ra khỏi danh sách bước sóng bị bận và được thêm vào trở lại danh sách bước sóng rỗi ban đầu. Phương pháp này không cần đòi hỏi những thông tin về toàn bộ trạng thái của mạng khi thực hiện gán bước sóng. Phép gán này phân phối lưu lượng một cách tùy ý, do vậy sự tận dụng bước sóng được cân bằng và tranh chấp bước sóng thấp nên xác suất tắc nghẽn cũng thấp hơn.

➤ **Kiểu gán First - Fit:** phép gán này sẽ tìm và gán những bước sóng theo một trình tự cố định. Tất cả các bước sóng được đánh số từ thấp đến cao và các bước sóng được chọn để gán cũng theo chỉ số từ thấp đến cao, tức là bước sóng đầu tiên được chọn là bước sóng có chỉ số nhỏ nhất trong số bước sóng rỗi và gán cho yêu cầu. Cũng tương tự như phương pháp gán Random, phép gán này không cần bất kì thông tin nào về thông tin trạng thái mạng. Hạn chế của phương pháp này là các bước sóng có chỉ số nhỏ hơn được dùng nhiều, trong khi những bước sóng có chỉ số lớn hầu như không được sử dụng. Hơn nữa sự gia tăng số bước sóng trong sợi cũng không mang lại hiệu quả nào bởi vì những bước sóng có chỉ số cao rất ít khi được dùng. Do đó sự tranh chấp đối với những bước sóng có chỉ số nhỏ tăng lên, làm xác suất tắc nghẽn cũng tăng lên. Phép gán này cho chi phí thấp hơn so với phép gán Random bởi vì nó không cần phải kiểm tra tất cả các bước sóng trong mỗi tuyến, vì thế nó được ưa chuộng hơn.

➤ **Phép gán Least - used:** Phép gán này chọn những bước sóng mà những bước sóng này ít được sử dụng nhất trong mạng. Mục đích của phép gán này là cân bằng tải trên tất cả những bước sóng. Phép gán này đòi hỏi thông tin trạng thái về mạng để tìm ra bước sóng ít được sử dụng nhất. Tuy nhiên phương pháp này phải tốn kém cho chi phí lưu trữ và tính toán.

➤ **Phép gán Most - used:** nó là phép gán chỉ là ngược với phép gán Least-used, nó tìm chọn những bước sóng được sử dụng nhiều nhất trong mạng. Phép gán này

phải đòi hỏi những thông tin về trạng thái mạng để tìm ra bước sóng được sử dụng nhiều nhất. Nó cũng tốn những chi phí tương tự như trong phép gán Least-used, tuy nhiên nó thực hiện tốt hơn so với phép gán Least-used.

Với các phép gán bước sóng kể trên, phương pháp Random và First-Fit là thực tế hơn vì dễ thực hiện. Không giống như hai phương pháp Least-used và Most-used đòi hỏi phải có các thông tin về mạng. Nó đơn giản chỉ dựa vào trạng thái nút lúc đó và chọn một bước sóng từ những bước sóng rỗi ở kết nối ngõ ra đó. Một cách tương đối, phương pháp ngẫu nhiên Random cho hiệu quả tốt hơn phương pháp First-Fit.

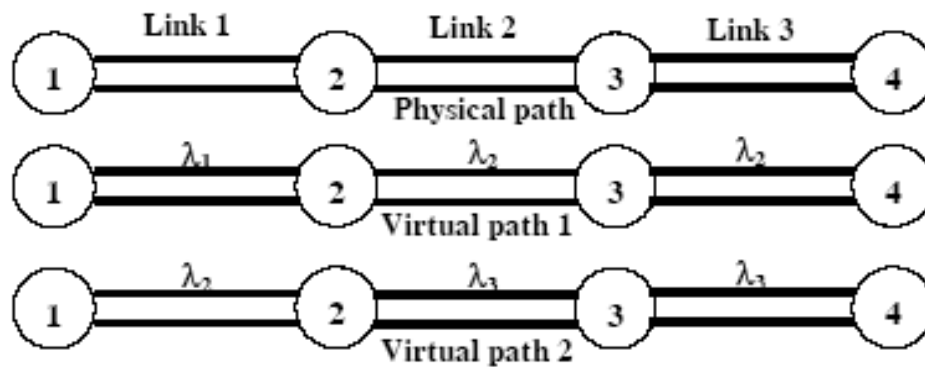
Để thực hiện hai phương pháp gán Least-used và Most-used, mỗi nút cần trang bị thông tin toàn bộ mạng. Nên những phương pháp này phụ thuộc vào sự thông minh và hiểu biết chính xác của các nút. Vì trạng thái mạng thay đổi một cách nhanh chóng nên khó có thể biết được một cách chính xác thông tin mạng ở tất cả các thời điểm, do vậy ảnh hưởng đến việc gán bước sóng. Hơn nữa các nút trao đổi thông tin với nhau về mạng sau mỗi khoảng thời gian cố định và những thông tin này sẽ tiêu thụ một băng thông đáng kể, vì thế làm giảm băng thông sẵn có để truyền dữ liệu.

### **3.6. Sự thiết lập đường ảo (Virtual path)**

Một đường ảo được xem như một đường đi của ánh sáng từ nguồn đến đích. Khi có yêu cầu cuộc gọi được tạo ra ở nút, nút sử dụng giải thuật định tuyến và gán bước sóng để tìm ra một đường đi và một bước sóng cho cuộc gọi đó. Nút sẽ gán bước sóng đã được chọn cho cuộc gọi đó và định tuyến nó đến nút kế tiếp. Ở mỗi nút trung gian của đường đi, bước sóng của lightpath đi tới được kiểm tra xem có sẵn để được gán và từ đó để có thể đi tiếp hay không. Nếu bước sóng đó không có sẵn, và nếu nút có bộ chuyển đổi bước sóng, nó có thể chuyển sang bước sóng khác để định tuyến lightpath. Đường đi vừa thiết lập được gọi là đường ảo, được thiết lập sẵn trước khi bất kỳ dữ liệu nào được truyền qua.

Một đường vật lý bao gồm tất cả các tuyến truyền dẫn (link) hình thành trên lộ trình từ nguồn đến đích, nhưng đường ảo có thể chứa các bước sóng giống hoặc khác nhau từ nguồn đến đích. Hai yêu cầu cho cuộc gọi có cùng chung điểm đầu cuối đích và nguồn có thể có cùng đường vật lý nhưng có các đường ảo khác nhau. Hình sau chỉ

ra sự hình thành của một lightpath. Ở đây hai cuộc gọi được tạo ra từ nút 1 và đường ảo cho mỗi cuộc gọi tạo thành được vẽ ra. Đối với cuộc gọi thứ nhất, nút 1 gán bước sóng  $\lambda_1$  và gửi nó đến nút 2. Giả sử nút 2 có một bộ chuyển đổi bước sóng nhưng không có sẵn bước sóng  $\lambda_1$ , vì thế nó chuyển sang bước sóng  $\lambda_2$  và gửi đến nút 3. Nút 3 gán tiếp  $\lambda_2$  vì nó có sẵn và định tuyến lightpath đến nơi. Bằng cách này đường ảo thứ nhất được thiết lập. Nếu cuộc gọi thứ hai được tạo ra ở nút 1 ngay sau đó, thì một đường ảo thứ hai được tạo ra tương tự. Ta thấy rằng đường vật lý thì giống nhau nhưng các đường ảo thì khác nhau. Tổng số các đường ảo được thiết lập từ nguồn đến đích phụ thuộc vào số bước sóng sẵn có trên sợi. Số đường ảo được thiết lập thật sự phụ thuộc vào tốc độ cuộc gọi đi đến. Các bộ chuyển đổi bước sóng giúp thiết lập được nhiều đường ảo hơn.



Hình 3.9: Sự thiết lập đường ảo

### 3.7. Phân loại mạng quang WDM

#### 3.7.1. Mạng single-hop

Trong mạng quang WDM single-hop, một khi luồng dữ liệu được phát đi dưới dạng ánh sáng sẽ đến được đích trực tiếp mà không cần phải chuyển sang dạng điện ở những node trung gian. Để truyền dẫn một gói, một trong những laser phát của nút gửi và một trong những bộ thu của node nhận phải được chỉnh đến cùng một bước sóng trong khoảng thời gian truyền dẫn gói.

Trong các mạng chuyển mạch mạch, tốc độ điều chỉnh của các bộ thu phát thường yêu cầu thấp. Ngược lại trong các mạng chuyển mạch gói, các bộ thu phát ở các node

cần được chỉnh đến các bước sóng khác nhau một cách nhanh chóng để gửi và nhận các gói tin khác tiếp theo. Bên cạnh vấn đề kỹ thuật của việc chuyển đổi bước sóng nhanh, một thách thức quan trọng khác nữa là phát triển các giao thức để phối hợp hiệu quả những kết nối ở các bước sóng khác nhau trong mạng.

Để một hệ thống single-hop hoạt động hiệu quả, băng thông được cấp phát giữa các node đang tranh chấp phải được quản lý linh động. Các hệ thống này có thể phân thành hai loại: có phối hợp trước khi truyền dẫn và không yêu cầu phối hợp trước khi truyền dẫn.

Các loại phối hợp dùng một kênh điều khiển đơn dùng chung giữa các node và sự truyền dữ liệu thật sự xảy ra thông qua một số các kênh dữ liệu. Các node rồi cần giám sát kênh điều khiển. Trước khi phát hoặc thu gói dữ liệu, một gói chỉnh bộ phát hay bộ thu của nó đến kênh dữ liệu thích hợp. Ngược lại trong hệ thống loại thứ hai, không có sự tồn tại của kênh điều khiển và các node phát hoặc thu từ các kênh được định trước.

### **3.7.2. Mạng Multi-hop**

Mạng multi-hop khắc phục được nhược điểm này bằng cách tránh sử dụng bộ thu phát điều chỉnh bước sóng. Mỗi node được trang bị một số các bộ thu phát quang được chỉnh cố định. Mỗi bộ phát trong mạng được chỉnh đến một bước sóng khác nhau. Kết nối trực tiếp single-hop giữa hai node chỉ có thể xảy ra khi nút đến có một trong những bộ thu của nó được chỉnh đến một trong những bước sóng của node gửi. Sự kết nối giữa một cặp node bất kì trong mạng đạt được bằng cách định tuyến thông qua các node trung gian. Ở đó kênh thông tin quang được chuyển thành dạng điện, địa chỉ đến của gói được giải mã, sau đó gói được chuyển mạch điện và được phát lại trên bước sóng để đến node đích hoặc đến các node trung gian khác mà ở đó quá trình này được lặp lại. Vì vậy, một gói sẽ trải qua nhiều bước sóng thông qua một số node trung gian trước khi đến được node đích.

### 3.8. Giải thuật cho vấn đề định tuyến và gán bước sóng với lưu lượng mạng thay đổi DRWA

Bạn có thể hình dung các vấn đề mà một giải pháp cho DRWA cần phải giải quyết, mục đích của nó là tối thiểu tắc nghẽn tại node mạng (tức là số yêu cầu kết nối sẽ bị refuse/tổng số yêu cầu), nâng cao hiệu suất sử dụng tài nguyên (cùng một lượng fiber, node, chuyển đổi bước sóng,...có thể tạo ra nhiều LP nhất) và cải thiện hiệu năng tổng thể của mạng (hiệu năng = xác suất tắc nghẽn + độ phức tạp của giải thuật). Giải thuật được trình bày như sau:

Giả sử mỗi LP có tối đa H hop (link). Trên mỗi link (fiber) sử dụng W bước sóng (sub-channel). Tập các đường đi có thể giữa hai node bất kỳ là  $R^*$ .

Trạng thái của mỗi bước sóng trên link (fiber) được mã hoá bằng hai bit b0b1. Khi có yêu cầu LP, node nguồn sẽ gửi bản tin cập nhật trạng thái dọc theo các path tiềm năng để tập hợp thông tin trạng thái đường truyền (bản tin có thể nhúng trong giao thức báo hiệu nào đó)

Hai bit trạng thái như sau:

b0b1= 00: bước sóng đang bận.

b0b1= 01: có thể dùng liên tục không cần chuyển đổi bước sóng.

b0b1= 10: muốn dùng phải chuyển đổi bước sóng

b0b1= 11: có thể dùng cả hai cách

Tại mỗi node trung gian thuộc LP,  $2*W$  bit trạng thái bước sóng được ghi (tagged) vào sau bản tin này, và gửi đến đích. Nếu ở thời điểm đó node không thể thiết lập kênh (do hết bước sóng chẳng hạn), nó loại bỏ (discard) gói tin báo hiệu và gửi bản tin thông báo (notification) tới nguồn hoặc đích để xử lý.

Tại đích, thông tin trong mỗi bản tin cập nhật trạng thái được đưa ra dạng ma trận:

Toàn bộ hình ảnh về trạng thái tài nguyên đường truyền từ node 0 đến node H-1 được phản ánh trên ma trận này. Giải thuật đánh dấu bước sóng thực hiện dựa trên các ma trận (thành công) từ  $R^*$  path tiềm năng của mỗi cặp node.

Ký hiệu CS của bước sóng  $\lambda(m)$  là bậc liên tục của bước sóng, tức là có thể dùng nó liên tục trong dãy liên tiếp các node nào đó dọc theo path. Giải thuật như sau:

1. Tìm tập tất cả các tổ hợp CS của mỗi bước sóng, trên mỗi path, ký hiệu CS<sub>ij</sub>
2. Tìm tập các tổ hợp CS\* thuộc {CS<sub>ij</sub>} ( $i=1:W; j=1:R^*$ ) phủ kín LP với số phần tử tối thiểu (tức là ít đoạn CS nhất, điều này tương đương ít phải dùng bộ chuyển đổi bước sóng nhất)
3. Áp dụng hàm mục tiêu (trong giải thuật là tổng chi phí) cho mỗi tổ hợp CS tìm thấy trong bước 2 để chọn ra tổ hợp có tổng chi phí tối thiểu.

### 3.9. Kết luận chương

Qua chương này, chúng ta đã tìm hiểu về phương pháp định tuyến và gán bước sóng trong mạng WDM, khi có yêu cầu thiết lập lightpath từ node nguồn đến node đích thì bộ định tuyến bước sóng có nhiệm vụ xác định đường đi và gán bước sóng cho lightpath đó. Trong mạng quang WDM, việc sử dụng thuật toán định tuyến bước sóng để đạt được tối ưu mạng là điều hết sức ý nghĩa.

Thuật toán Dijkstra với việc định tuyến tìm đường ngắn nhất có nhiều ưu điểm trong mạng tập trung nên em sẽ sử dụng để mô phỏng việc định tuyến trong mạng quang.

## CHƯƠNG 4

### THỰC HIỆN MÔ PHỎNG

#### 4.1. Giới thiệu chương

Định tuyến là công việc hết sức quan trọng trong mạng quang WDM, nó thực hiện tìm đường cho lightpath mang lưu lượng thông tin từ nguồn đến đích với mục đích tối ưu mạng. Trong chương này, dựa trên phần mềm Visual C++, em mô phỏng phần định tuyến cho các lightpath với hàm mục tiêu chúng ta có thể tùy chọn như chi phí, độ trễ, lượng lưu lượng... qua các tuyến từ nguồn đến đích. Thuật toán sử dụng để thực hiện định tuyến là thuật toán Dijkstra.

Các trọng số trên các tuyến không chỉ là độ dài đường đi của tuyến mà tùy theo một tiêu chí nào đó của mạng như chi phí tuyến, độ trễ, băng thông, lưu lượng thông tin... Nếu lấy theo tiêu chí là chi phí thấp nhất thì trọng số trên các tuyến (cạnh) là chi phí của tuyến đó.

#### 4.2. Giới thiệu về ngôn ngữ Visual C++

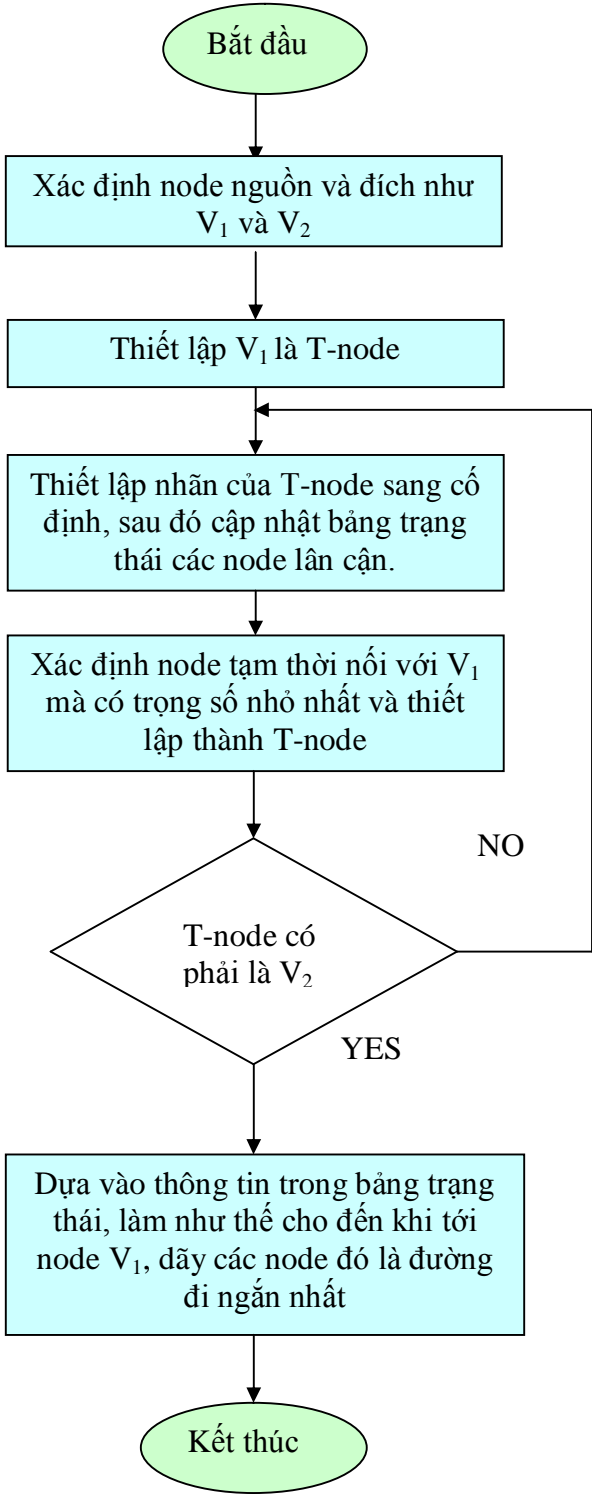
Visual C++ là ngôn ngữ lập trình dựa trên nền tảng cơ bản của C++, đó là lập trình hướng đối tượng. Nếu các bạn đã lập trình trên C++ thì việc xây dựng các ứng dụng trên Visual C++ rất thuận lợi.

Khi thực hiện lập trình C/C++, để tạo các giao diện phức tạp, trình bày đẹp hoàn toàn không đơn giản. Nhưng đối với Visual C++ thì việc đó khá đơn giản. Bạn chỉ cần sử dụng các điều khiển hay xây dựng một menu đưa vào ứng dụng của mình mà các mã lệnh cần viết không quá dài dòng và phức tạp như trong C/C++.

Trong chương trình mô phỏng của em có thể sử dụng bất kì ngôn ngữ lập trình nào. Em chọn ngôn ngữ Visual C++ do khả năng của nó tạo giao diện dễ dàng hơn C/C++.

#### 4.3. Lưu đồ thuật toán

Giả sử bộ định tuyến mô phỏng tìm đường đi với đường đi ngắn nhất qua các tuyến giữa node nguồn và node đích. Các trọng số trên các cạnh là độ dài của tuyến thông tin từ node này đến node kia.





Thuật toán sẽ thực hiện tìm đỉnh  $u$  trong tập hợp  $Q$  mà có giá trị  $d[u]$  nhỏ nhất. Đỉnh này được loại ra khỏi  $Q$  và được đưa vào tập  $S$ . Tập  $S$  chứa một bảng các đỉnh tạo thành một trong những đường đi ngắn nhất từ  $s$  đến node nguồn  $t$  nào đó.

```
1 function Dijkstra(G, w, s)
2   for each vertex  $v$  in  $V[G]$ 
3      $d[v] := \text{infinity}$            // Gán các giá trị ban đầu
4      $\text{previous}[v] := \text{undefined}$ 
5    $d[s] := 0$                        // Khoảng cách từ  $s$  đến  $s$  bằng 0
6    $S := \text{empty set}$                  // Thiết lập  $S$  là tập hợp rỗng
7    $Q := V[G]$                        // Tập  $Q$  chứa tất cả các node của đồ thị
8   while  $Q$  is not an empty set
9      $u := \text{Extract\_Min}(Q)$ 
10     $S := S \text{ union } \{u\}$ 
11    for each edge  $(u,v)$  outgoing from  $u$ 
12      if  $d[u] + w(u,v) < d[v]$ 
13         $d[v] := d[u] + w(u,v)$ 
14         $\text{previous}[v] := u$ 
```

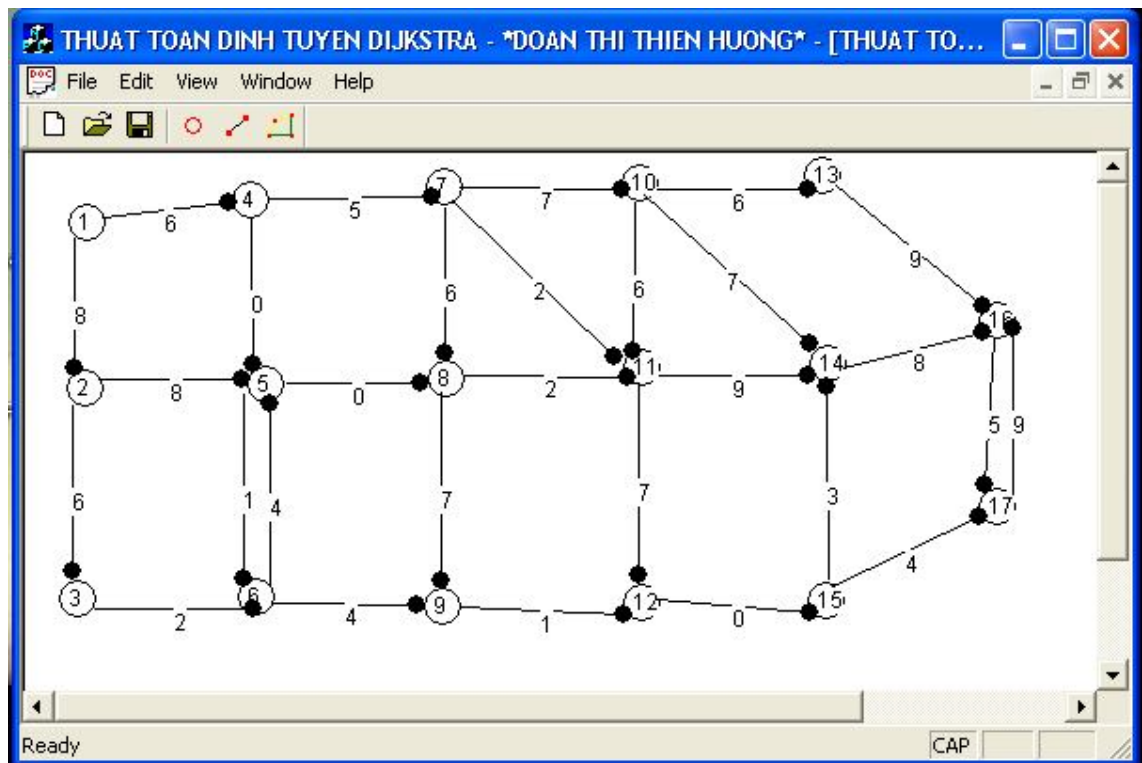
#### 4.4. Kết quả mô phỏng

Thuật toán Dijkstra tìm đường đi ngắn nhất từ node nguồn đến node đích được thực hiện như sau:

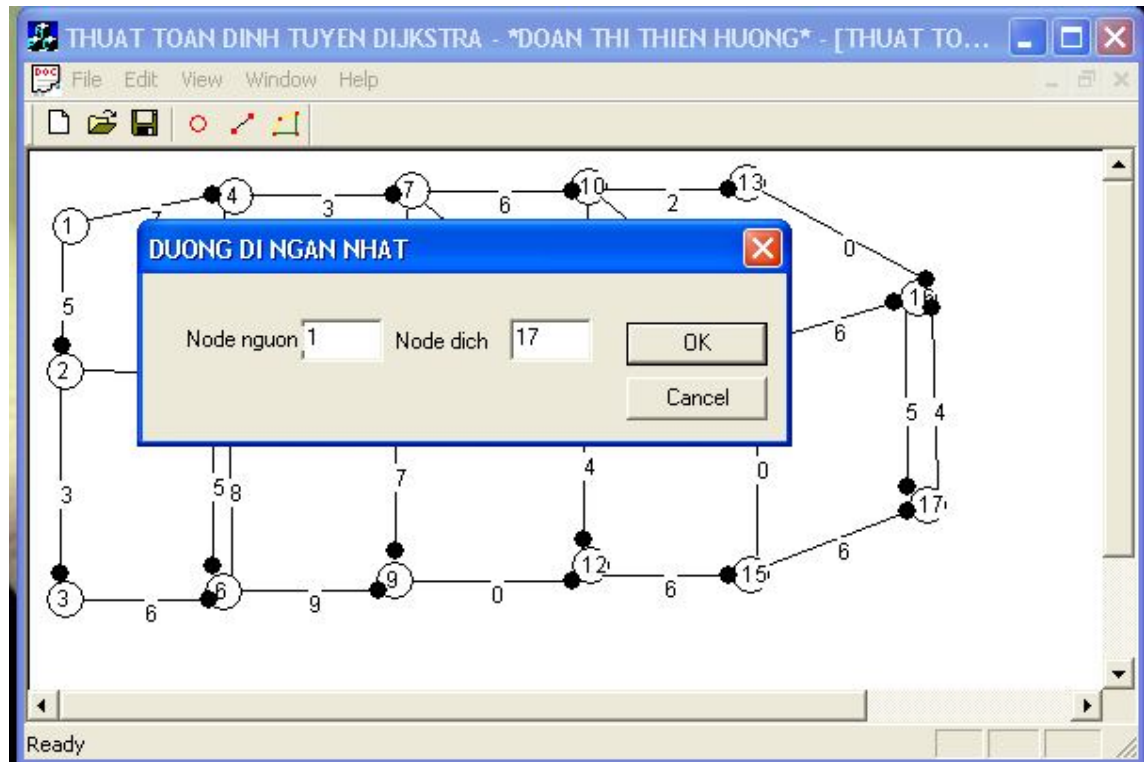
1. Click vào biểu tượng "THEM NODE" để lấy node ra như sau:



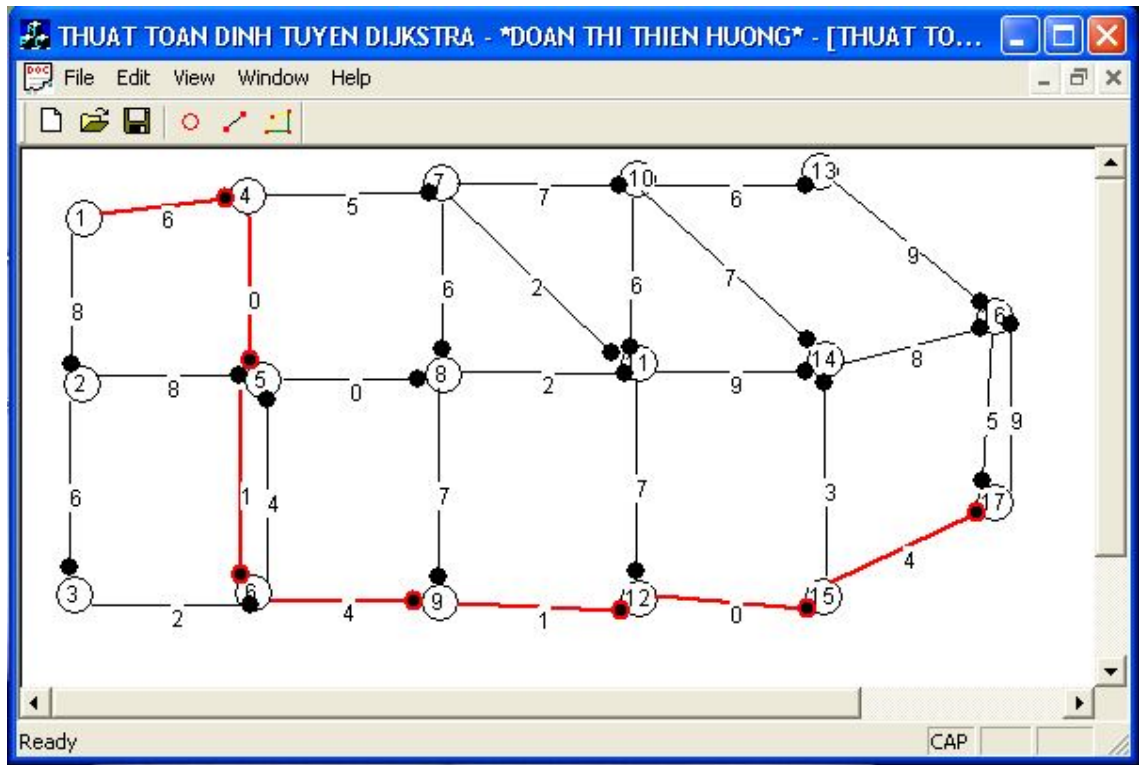
2. Click vào biểu tượng “THEM CANH” để nối các cạnh lại với nhau.



3. Click vào biểu tượng “DUONG NGAN NHAT” thực hiện tìm đường ngắn nhất giữa hai cặp node bất kì.



4. Click "OK" để nhận được kết quả.



#### 4.5. Kết luận chương.

Ta thấy được thuật toán định tuyến Dijkstra được ứng dụng hiệu quả trong việc định tuyến các lightpath trong mạng WDM để tìm được đường đi tối ưu với các hàm mục tiêu (cost function) của mạng mà ta có thể áp đặt cho nó. Hàm mục tiêu này ta có thể theo tiêu chí nào đó của mạng như là chi phí tuyến, lượng lưu lượng, băng thông... Sự áp đặt này thực hiện bằng cách đặt trọng số trên các tuyến là giá trị của các hàm mục tiêu trên. Sau quá trình định tuyến đến các node mạng, các node mạng thực hiện gán bước sóng cho lightpath. Việc gán bước sóng phải thỏa mãn điều kiện liên tục bước sóng nếu không node mạng đó phải sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng.

## Kết luận và hướng phát triển đề tài

Đề tài “định tuyến và gán bước sóng trong mạng quang WDM” đã cho thấy được vai trò quan trọng của định tuyến và gán bước sóng trong mạng quang WDM, hiểu được một số giải thuật định tuyến và các phương pháp gán bước sóng cho các lightpath trong mạng quang. Đồng thời chương trình mô phỏng đã thể hiện quá trình định tuyến của các lightpath từ node nguồn đến node đích để được một đường đi tối ưu theo một hàm mục tiêu nào đó. Kết thúc quá trình nghiên cứu đề tài, em đưa ra một số nhận xét như sau:

- ❖ Chương trình mô phỏng thực hiện định tuyến với mục đích tìm đường đi tối ưu từ node nguồn đến node đích, đây là đường đi duy nhất. Tuy vậy, để tăng cường hiệu năng mạng thì không thể đơn thuần chọn duy nhất một tuyến tối ưu đó mà phải đánh giá được các tuyến còn lại để thực hiện phân tải, tránh tình trạng một tuyến hoạt động hết công suất trong khi đó có những tuyến khả thi còn rỗi.

- ❖ Sau khi thực hiện định tuyến cho lightpath, phải thực hiện gán bước sóng cho nó. Nếu toàn bộ node mạng không sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng thì toàn bộ các tuyến trên đường đi từ nguồn đến đích chỉ được gán một bước sóng duy nhất. Tuy nhiên, tài nguyên số bước sóng trên mỗi node mạng có hạn, điều này làm xác suất tắc nghẽn rất cao khi một node mạng không cung cấp bước sóng đã ràng buộc từ trước. Vì thế, các mạng hiện nay luôn tìm cách thực hiện định tuyến và gán bước sóng sao cho đạt được tối ưu mạng là giảm xác suất tắc nghẽn.

Ngày nay, người ta đang hướng tới mạng toàn quang mà mọi công việc xử lý đều thực hiện hoàn toàn trong miền quang. Mạng toàn quang hứa hẹn sẽ đem lại tốc độ cao, giá thành mạng sẽ được giảm xuống một cách đáng kể.

Đồ án được hoàn thành trong thời gian hạn chế, đặt nền móng cho việc nghiên cứu và phát triển sau này, vì thế không thể tránh khỏi những thiếu sót. Hi vọng trong thời gian tới với kinh nghiệm thực tiễn, em sẽ cố gắng hoàn thiện hơn đề tài của mình.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Đức Nghĩa- Nguyễn Tô Thành, “Toán Rời Rạc”, Nhà xuất Bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội\_2004
- [2] <http://www.2cool4u.ch/>
- [3] Senior, John.M, “Optical fiber communications”, Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- [4] George N. Rouskas, “Routing and Wavelength Assignment in Optical WDM Networks”, Department of Computer Science\_2000.
- [5] Krishna M.Sivalingam, SureshSubramaniam, “Optical WDM Networks- Principles and Practice”, Kluwer Academic Publishers\_2000.
- [6] <http://HowStuffWork/HowRoutingAlgorithmsWork>
- [7] “Hệ thống thông tin quang/Vô tuyến”, LG Information and Communication LTD (LGIC)
- [8] Nguyễn Duy Nhật Viễn, “Kĩ thuật chuyển mạch trong mạng diện rộng”, Đại học Bách Khoa Đà Nẵng
- [9] Regis J. BUD Bates, “Optical Switching and Networking Handbook”, McGraw-Hill Companies
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm)
- [11] <http://vi.wikipedia.org/wiki/>
- [12] Jun Zheng, Hussien T. Mousftah, “Distributed lightpath control for wavelength-routed WDM network”, University of Ottawa
- [13] Jin seek Choi, Nada Golmie, Francois Lapeyrere, Frederic Mouveaux and David Su, “A functional Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM networks: Static Case”, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA

## PHỤ LỤC

- **Thực hiện thêm biến và thực hiện mã lệnh sau:**

```
void CAlgorithmsView::OnAddNode()
{
    m_Dijkstra.StartAddNodes();
}
```

```
void CAlgorithmsView::OnAddEdge()
{
    m_Dijkstra.StartAddEdges();
}
```

```
void CAlgorithmsView::OnShortestPath()
{
    CShortheestPath dlg;
    if(dlg.DoModal()==IDOK)
//
    {
        m_Dijkstra.ShortestPath(dlg.m_node1, dlg.m_node2);
    }
}
```

- **Thực hiện vẽ các node và các cạnh bằng mã như sau:**

```
class CGraph
{
public:
    long GetNrNodes();
    CGraph();
    virtual ~CGraph();
    VTYPE_NODE m_nodes; // dãy các node
```



```
    VTYPE_EDGE m_edges; // dãy các cạnh
    VTYPE_NODE_P d; // array of longs that contain
        // the shortest path at every step
    VTYPE_NODE_P pi; // array of longs that contain
        // the predecessor of each node for the shortest path
};
// // // // // // // // // // // // // // //
class CNode
{
public:
    CNode Copy();
    double m_cost; // gia tri trong so
    long m_NodeNr; // so node
    POINT m_p; // diem do hoa cho node
    CNode();
    virtual ~CNode();
};
// // // // // // // // // // // // // // //
class CEdge
{
public:
    bool m_red; // ve duong di ngan nhat
        // (neu mot canh la mot phan cua duong di ngan nhat thi no duoc ve mau do)
    double m_cost; // trong so cua canh (lay gia tri ngau nhien tu 0-9)
    long m_secondNode;
    long m_firstNode;
    POINT m_secondPct;
    POINT m_firstPct;
    CEdge();
};
```

```
virtual ~CEdge();
};
// ve canh bat dau tu node dau den node cuoi
    ▪ Thuật toán Dijkstra:
// The Dijkstra's algorithm
STDMETHODIMP CDijkstra::ShortestPath(long node1, long node2)
{
    ReleaseGraph();
    InitializeSource(g, g.m_nodes[node1-1]);
    // Thiet lap S ve rong
    VTYPE_NODE S;
    // Dat cac node vao Q
    VTYPE_NODE Q;
    VTYPE_NODE::iterator kl;
    for(kl=g.m_nodes.begin(); kl<g.m_nodes.end(); kl++)
    {
        CNode node = (*kl).Copy();
        Q.push_back(node);
    }
    // Algorithm
    while(Q.size())
    {
        CNode nod = ExtractMin(Q); // tach node tim duoc ra khoi tap Q
        // dua node nay vao tapS
        S.push_back(nod);
        VTYPE_NODE::iterator kl;
        for(kl=g.m_nodes.begin(); kl<g.m_nodes.end(); kl++)
        {
            if(ExistEdge(nod, (*kl)))
```

```
{
    bool gasit = false;
    VTYPE_NODE::iterator kll;
    for(kll=Q.begin(); kll<Q.end(); kll++)
    {
        if((*kll).m_NodeNr == (*kl).m_NodeNr)
            gasit = true;
    }
    if(gasit)
        Relax(nod, (*kl), GetEdgeVal(nod, (*kl)));
    }
}
}
}
RefreshDone(node1, node2);
return S_OK;
}
```

- Lệnh thực hiện vẽ:

```
// Draw
    HDC dc = ::GetDC(m_hWnd);
    HPEN pen=CreatePen(PS_SOLID,0,RGB(0,0,0));
    HPEN penred=CreatePen(PS_SOLID,2,RGB(255,0,0));
    HBRUSH brush=CreateSolidBrush(RGB(0,0,0));
    HPEN oldpen;
    HPEN oldbrush;
    oldpen=(HPEN)SelectObject(dc,pen);

    RECT rc;
    ::GetClientRect(m_hWndCD, &rc);
    Rectangle(dc, rc.left, rc.top, rc.right, rc.bottom);
```

```
    HFONT OldFont = (HFONT)::SelectObject(dc, m_lmfont);

    long nr = 0;
    VTYPE_NODE::iterator kl;
    for(kl=g.m_nodes.begin(); kl<g.m_nodes.end(); kl++)
    {
        char s[5];
        ltoa((*kl).m_NodeNr, s, 10);;
        Ellipse(dc, (*kl).m_p.x-10, (*kl).m_p.y-10, (*kl).m_p.x+10,
(*kl).m_p.y+10);
        if(nr<9)
            TextOut(dc, (*kl).m_p.x-5, (*kl).m_p.y-8, s, 1);
        else
            TextOut(dc, (*kl).m_p.x-8, (*kl).m_p.y-8, s, 2);
        nr++;
    }

    oldbrush=(HPEN)SelectObject(dc,brush);
    VTYPE_EDGE::iterator kll;
    for(kll=g.m_edges.begin(); kll<g.m_edges.end(); kll++)
    {
        HPEN temp;
        if((*kll).m_red)
            temp=(HPEN)SelectObject(dc,penred);
        MoveToEx(dc, (*kll).m_firstPct.x, (*kll).m_firstPct.y, NULL);
        LineTo(dc, (*kll).m_secondPct.x, (*kll).m_secondPct.y);
        Ellipse(dc, (*kll).m_secondPct.x-5, (*kll).m_secondPct.y-5,
(*kll).m_secondPct.x+5, (*kll).m_secondPct.y+5);
```

```
        POINT po;
        po.x = ((*kll).m_firstPct.x+(*kll).m_secondPct.x)/2;
        po.y = ((*kll).m_firstPct.y+(*kll).m_secondPct.y)/2;
        char s[5];
        ltoa((*kll).m_cost, s, 10);
        TextOut(dc, po.x, po.y, s, 1);
        if((*kll).m_red)
            SelectObject(dc,temp);
    }
    ::SelectObject(dc, OldFont);
    SelectObject(dc,oldpen);
    SelectObject(dc,oldbrush);
    DeleteObject(pen);
    DeleteObject(brush);
    ::ReleaseDC(m_hWnd, dc);
}
}

void CDijkstra::ReleaseGraph()
{
    g.d.clear();
    g.pi.clear();
    VTYPE_EDGE::iterator kll;
    for(kll=g.m_edges.begin(); kll<g.m_edges.end(); kll++)
    {
        (*kll).m_red = false;
    }
    Refresh();
}
```

## Mục lục

<b>CHƯƠNG 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG. ....</b>	<b>1</b>
1.1. Giới thiệu chương.....	1
1.2. Giới thiệu về thông tin quang.....	2
1.2.1. Sự phát triển của thông tin quang.....	2
1.2.2. Những ưu điểm của hệ thống thông tin quang .....	3
1.2.3. Cấu trúc và các thành phần chính của hệ thống thông tin quang.....	5
1.3. Sợi quang.....	7
1.3.1. Sợi dẫn quang .....	7
1.3.2. Sự truyền ánh sáng trong sợi quang.....	8
1.3.3. Các thông số của sợi quang.....	10
1.3.3.1. Suy hao của sợi quang.....	10
1.3.3.1.1. Định nghĩa.....	10
1.3.3.1.2. Đặc tuyến suy hao .....	11
1.3.3.1.3. Các nguyên nhân gây suy hao trên sợi quang.....	12
1.3.3.2. Tán sắc ánh sáng .....	13
1.3.4. Ảnh hưởng của tán sắc đến dung lượng truyền dẫn trên sợi quang.....	14
1.4. Kết luận chương .....	14
<b>CHƯƠNG 2 .....</b>	<b>15</b>
<b>GIỚI THIỆU MẠNG WDM.....</b>	<b>15</b>
2.1. Giới thiệu chương.....	15
2.2. Nguyên lí hoạt động của hệ thống WDM.....	17
2.3. Ưu điểm của hệ thống WDM .....	18
2.4. Vấn đề tồn tại của hệ thống WDM và hướng giải quyết trong tương lai.....	19
2.5. Chuyển mạch quang.....	19
2.6. Các thành phần chính của hệ thống WDM.....	21
2.6.1. Thiết bị đầu cuối OLT.....	21
2.6.2. Bộ ghép kênh xen/rót quang OADM.....	22
2.6.3. Bộ khuếch đại quang.....	26
2.6.4. Giới thiệu về bộ kết nối chéo quang OXC.....	29
2.6.4.1. Chức năng OXC.....	29
2.6.4.2. Phân loại OXC .....	32
2.7. Sự chuyển đổi bước sóng.....	34
2.8. Kết luận chương.....	36
<b>CHƯƠNG 3 .....</b>	<b>37</b>
<b>ĐỊNH TUYẾN VÀ GÁN BƯỚC SÓNG.....</b>	<b>37</b>
3.1. Giới thiệu chương.....	37
3.2. Giới thiệu về định tuyến và gán bước sóng (Routing and Wavelength Assignment - RWA). ....	37
3.3. Định tuyến bước sóng .....	39
3.4. Định tuyến (Routing).....	41
3.4.1. Giới thiệu.....	41

3.4.2. Phân loại định tuyến.....	42
3.4.3. Lí thuyết đồ thị.....	43
3.4.3.1. Đồ thị vô hướng.....	44
3.4.3.2. Đồ thị có hướng.....	44
3.4.3.3. Đồ thị hỗn hợp.....	45
3.4.4. Các thuật toán cơ bản trong định tuyến.....	46
3.4.4.1. Thuật toán trạng thái liên kết LSA.....	46
3.4.4.1.1. Bài toán.....	46
3.4.4.1.2. Thuật toán.....	47
3.4.4.1.3. Chứng minh.....	47
3.4.4.1.4. Các bước thực hiện.....	48
3.4.4.1.5. Ví dụ về thuật toán Dijkstra.....	48
3.4.4.2. Thuật toán định tuyến vectơ khoảng cách DVA.....	50
3.4.4.2.1. Thuật toán.....	51
3.4.4.2.2. Chứng minh.....	52
3.4.5. Kết luận.....	53
3.5. Gán bước sóng.....	53
3.6. Sự thiết lập đường ảo (Virtual path).....	55
3.7. Phân loại mạng quang WDM.....	56
3.7.1. Mạng single- hop.....	56
3.7.2. Mạng Multi- hop.....	57
3.8. Giải thuật cho vấn đề định tuyến và gán bước sóng với lưu lượng mạng thay đổi DRWA.....	58
3.9. Kết luận chương.....	59
<b>CHƯƠNG 4.....</b>	<b>60</b>
<b>THỰC HIỆN MÔ PHỎNG.....</b>	<b>60</b>
4.1. Giới thiệu chương.....	60
4.2. Giới thiệu về ngôn ngữ Visual C++.....	60
4.3. Lưu đồ thuật toán.....	60
4.4. Kết quả mô phỏng.....	62
4.5. Kết luận chương.....	66

---

# CÁC TỪ VIẾT TẮT

## A

APD	Avalanche Photodiode	Diod tách sóng quang thác lũ
AS	Autonomous System	Hệ thống độc lập
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Kiểu truyền bất đồng bộ

## B

BGP	Border Gateway Protocol	Giao thức định tuyến vùng biên
-----	-------------------------	--------------------------------

## C

CDM	Code Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo mã
-----	----------------------------	-----------------------------

## D

DVA	Distance Vector Algorithm	Thuật toán Vector khoảng cách
DWDM	Dense WDM	WDM mật độ cao

## E

EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Bộ khuếch đại quang sợi có pha tạp Erbium
EIGRP	Enhanced IGRP	Giao thức IGRP nâng cấp

## I

IGRP	Interior Gateway Routing Protocol	Giao thức định tuyến bên trong
ISDN	Integrated Service Digital Network	Mạng số tích hợp dịch vụ

---



---

---

## L

LD	Diod Laser	
LED	Light Emitting Diode	Diod phát quang
LP	Lightpath	Đường đi ánh sáng
LSA	Link State Algorithm	Thuật toán trạng thái liên kết

## O

OADM	Optical Add/Drop Multipler	Bộ ghép kênh xen/rớt quang
OLT	Optical Line Terminator	Thiết bị đầu cuối quang
OXC	Optical Cross Connect	Bộ kết nối chéo quang

## P

PIN	Positive Intrinsic Negative	
-----	-----------------------------	--

## R

RIP	Routing Information Protocol	Giao thức thông tin định tuyến
RWA	Routing & Wavelength Assignment	Định tuyến và gán bước sóng

## S

SOA	Semiconductor Optical Amplifier	Bộ khuếch đại quang bán dẫn
-----	---------------------------------	-----------------------------

## T

TDM	Time Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo thời gian
-----	----------------------------	------------------------------------

## W

WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng
-----	----------------------------------	------------------------------------

---

---

