

# NGHIÊN CỨU CƠ CHẾ ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG IP TRÊN WDM CÓ CẤU TRÚC THEO MÔ HÌNH XẾP CHỒNG

LÊ HỮU BÌNH<sup>1</sup>, VÕ THANH TÚ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Đài Chuyển mạch Truyền Dẫn - Trung tâm Viễn thông Huế*

<sup>2</sup>*Khoa Công nghệ Thông tin, Đại học Khoa học Huế*

**Abstract.** In this paper, we focus on studying the mechanisms for routing in IP over WDM networks. Based on analyzing the routing mechanisms of overlay model, we propose a routing algorithm called MHLR (Min-Hop Lightpath Routing) which used for the case of traffic is routed on the virtual topology of IP layer. The objective of MHLR is minimize blocking probability of connection requests in the networks, improving on efficiently utilize the resource of WDM optical networks.

**Tóm tắt.** Bài báo tập trung nghiên cứu các cơ chế định tuyến trong mạng IP trên WDM. Thông qua việc phân tích cơ chế định tuyến theo mô hình xếp chồng, đã đề xuất thuật toán MHLR (Min-Hop Lightpath Routing) sử dụng cho trường hợp lưu lượng được định tuyến trên tô pô ảo của lớp IP. Mục tiêu của MHLR là giảm xác suất yêu cầu thiết lập kết nối bị từ chối, nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên mạng quang WDM.

## 1. GIỚI THIỆU

Công nghệ truyền dẫn sợi quang đã và đang phát triển với tốc độ nhanh chóng. Đặc biệt, với kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM (Wavelength Division Multiplexing) mang lại dung lượng truyền dẫn rất lớn. Ở lớp mạng, giao thức IP (Internet Protocol) đang được sử dụng phổ biến, lưu lượng IP đang tăng nhanh và dần thay thế các loại giao thức khác. Do vậy, một xu thế của công nghệ mạng thế hệ kế tiếp là truyền trực tiếp gói số liệu IP trên mạng quang WDM, được gọi là công nghệ IP trên WDM.

Trong mạng IP trên WDM, các bộ kết nối chéo quang OXC (Optical Cross-Connect) được kết nối với nhau bởi các sợi quang tạo thành lớp quang định tuyến bước sóng [11], các bộ định tuyến IP được đính kèm với các OXC thông qua các cổng bước sóng bởi các bộ thu phát quang. Lớp quang cung cấp các kết nối điểm-điểm giữa các bộ định tuyến IP dưới dạng các kênh quang (lightpath). Một kênh quang có thể đi qua một hoặc nhiều các kết nối sợi quang, trên đó dữ liệu được xử lý dưới dạng quang bởi các bộ OXC. Mỗi kênh quang phải sử dụng bước sóng giống nhau trên toàn bộ các kết nối sợi quang mà nó đi qua nếu như các OXC không có khả năng chuyển đổi bước sóng, điều này được gọi là ràng buộc tính liên tục của bước sóng. Khác với các OXC, các bộ định tuyến IP xử lý các dòng dữ liệu điện được hỗ trợ bởi kỹ thuật chuyển mạch nhãn đa giao thức (GMPLS). Thông qua các bộ thu phát, bộ định tuyến IP chuyển các LSP (Label Switch Path) qua các kênh quang đã được thiết lập. Khi một kênh quang không được sử dụng bởi một LSP nào, nó sẽ bị loại bỏ và tất cả các

bước sóng sử dụng cho kênh quang đó được phục hồi.

Có ba mô hình đã được đề xuất cho mạng IP/WDM, đó là mô hình xếp chồng (overlay model), mô hình ngang hàng (peer model) và mô hình tăng trưởng (Augmented model). Các mô hình này được phân biệt nhau bởi mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng quản lý của lớp IP và lớp WDM. Trong mô hình xếp chồng, mặt phẳng điều khiển và mặt bằng quản lý của hai lớp là tách rời nhau [11, 15]. Giao thức định tuyến, giao thức báo hiệu và thông tin cấu trúc mạng trong lớp IP không phụ thuộc vào lớp WDM, lớp IP và lớp WDM làm việc như mô hình client-server. Các bộ định tuyến IP gửi yêu cầu thiết lập hoặc loại bỏ kênh quang đến lớp WDM thông qua giao diện UNI (User Network Interfaces), tập các kênh quang được thiết lập trong lớp WDM tạo thành tô pô logic cho lớp IP. Với mô hình ngang hàng, thông tin tô pô mạng và các thông tin khác như định tuyến, trạng thái kết nối được phân chia giữa cả hai lớp, khi đó một cơ chế định tuyến hợp nhất điều khiển toàn bộ mạng. Mô hình Augmented là sự kết hợp của mô hình ngang hàng và mô hình xếp chồng, nghĩa là một phần thông tin được dùng chung giữa cả hai lớp theo một cách thức nào đó, và hai lớp được quản lý như mô hình xếp chồng.

## 2. ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG IP/WDM VÀ CÁC KẾT QUẢ

Để định tuyến lưu lượng IP trên mạng WDM một cách hiệu quả, chúng ta cần các cơ chế định tuyến khác nhau tùy thuộc mô hình mạng. Với mô hình xếp chồng, khi định tuyến một yêu cầu LSP qua mạng, các kết nối logic trên lớp IP và các kết nối vật lý trên lớp WDM được xem xét tách biệt nhau. Cơ chế định tuyến được áp dụng trong trường hợp này gọi là định tuyến xếp chồng ORA (Overlay Routing Algorithm). Với mô hình ngang hàng, mặt bằng điều khiển và mặt bằng quản lý chứa thông tin của cả hai lớp. Do vậy, khi định tuyến yêu cầu LSP qua mạng, các kết nối logic và kết nối vật lý được xét đồng thời. Cơ chế định tuyến được áp dụng trong trường hợp này được gọi là định tuyến tích hợp IRA (Integrated Routing Algorithm). Một số kết quả nghiên cứu gần đây đã cho thấy rằng cơ chế IRA thực thi tốt hơn ORA về mặt xác suất nghẽn mạng [5, 6, 8], nhưng ngược lại, IRA có một số mặt hạn chế so với ORA như sau [12]: Thứ nhất, một số lượng lớn các bản tin điều khiển phải được cập nhật thường xuyên trong mạng. Thứ hai, cơ chế quản lý và điều khiển đồng thời cho cả hai lớp thường phức tạp hơn cơ chế quản lý tách rời theo từng lớp trong mạng. Thứ ba, cơ chế IRA phải sử dụng nhiều bộ thu phát quang cho mỗi lần thiết lập LSP, tại vì IRA cho phép thiết lập nhiều kênh quang mới và sử dụng thêm các kết nối logic cho mỗi yêu cầu LSP. Xét về phương diện quản lý và điều khiển thì cơ chế ORA có ưu thế hơn so với IRA, nhưng để thực thi hiệu quả, chúng ta cần các thuật toán định tuyến tối ưu để cải thiện xác suất nghẽn mạng. Vấn đề đặt ra là cần một thuật toán lựa chọn kênh quang tối ưu trên tô pô ảo của lớp IP và thuật toán RWA tối ưu cho lớp WDM để thiết lập kênh quang mới khi cần thiết.

Trong thời gian gần đây, một số bài báo đã nghiên cứu về vấn đề này. Assi và cộng sự [2] đã đề xuất hai thuật toán định tuyến là LLR (Least Loaded Routing) và MLR (Most Loaded Routing) theo nguyên lý của ORA. LLR cố gắng phân phối lưu lượng đều giữa các kênh quang đã được thiết lập. Khi định tuyến LSP trên tô pô ảo, LLR luôn chọn kênh quang có băng thông còn dư lớn nhất. Ngược lại, MLR cố định tuyến vào lộ trình có lưu lượng lớn nhất, nghĩa là các kênh quang có băng thông còn dư nhỏ nhất nhưng không nhỏ hơn băng

thông yêu cầu của LSP sẽ được chọn. Trong [12], Ye et al. đã đề xuất thuật toán SLEA (Short Lightpath Establishment Approach) cho mô hình xếp chồng. Với SLEA, khi thiết lập LSP trên tô pô ảo không thành công, SLEA cho phép thiết lập nhiều kênh quang trên tô pô vật lý để định tuyến yêu cầu, nhưng số bước truyền của kênh quang mới được thiết lập phải nhỏ hơn một giá trị  $C$  nào đó. Thông qua mô phỏng, các tác giả đã xác định giá trị  $C$  tối ưu cho thuật toán. Trong [16], Y. Zang và Q. Zeng đã phân tích và so sánh 3 cơ chế định tuyến, đó là VFPL (Virtual topology First Physical topology Last), PFVL (Physical topology First Virtual topology Last) và MRRF (Minimum Resource-Requirement First). Với cơ chế VFPL, trước tiên các yêu cầu LSP được định tuyến trên tô pô ảo. Nếu không thành công, sử dụng thuật toán RWA để thiết lập một kênh quang mới trực tiếp từ nguồn đến đích cho LSP. Cơ chế PFVL hoạt động hoàn toàn ngược lại với VFPL. Với mỗi yêu cầu LSP, trước tiên PFVL sử dụng thuật toán RWA để thiết lập một kênh quang trực tiếp trên lớp WDM, chỉ khi việc thiết lập kênh quang mới không thành công, VFPL mới định tuyến yêu cầu LSP trên tô pô ảo của lớp IP. Với cơ chế MRRF, để định tuyến một LSP, MRRF so sánh tài nguyên cần thiết cho LSP khi thiết lập LSP trên tô pô ảo và tô pô vật lý. Sau đó, MRRF lựa chọn phương án có tài nguyên yêu cầu nhỏ hơn.

Với cơ chế VFPL và PFVL, khi định tuyến LSP trên tô pô ảo, tác giả sử dụng thuật toán đường đi ngắn nhất Dijkstra để tìm đường đi cho LSP và thuật toán First-Fit để chỉ định kênh quang được dùng trên mỗi kết nối logic. Ta thấy rằng, cơ chế định tuyến này chưa xét đến ràng buộc về số bước truyền của kênh quang cũng như công suất còn lại trên các kết nối logic giữa các bộ định tuyến IP. Do vậy, các LSP có thể định tuyến qua các kênh quang dài, tiêu tốn một lượng băng thông lớn, điều này có thể ảnh hưởng đến khả năng bị từ chối của các yêu cầu đến sau. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một cơ chế định tuyến LSP trên tô pô ảo gọi là MHLR (Min-Hop Lightpath Routing). Sau đó, chúng tôi áp dụng thuật toán MHLR thay cho thuật toán First-Fit trong hai cơ chế định tuyến VFPL và PFVL. Ý tưởng chính của MHLR là hạn chế định tuyến qua các kênh quang đi qua nhiều bước truyền quang, mục đích là để giảm thời gian chiếm giữ của các kênh quang này. Giải quyết bài toán bằng phương pháp mô hình hóa mạng IP/WDM thành đồ thị phân lớp tương tự như trong [11, 12], chi phí của các cạnh trong đồ thị phân lớp được cập nhật theo thông tin trạng thái mạng, sau đó các thuật toán định tuyến làm việc trên đồ thị phân lớp này.

### 3. MÔ HÌNH ĐỒ THỊ PHÂN LỚP CHO MẠNG IP TRÊN WDM

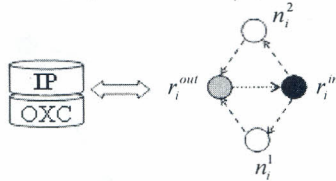
Mô hình đồ thị phân lớp được đề xuất trong [1] để giải quyết bài toán định tuyến và phân phối bước sóng (RWA) trong mạng WDM, ở đây chúng tôi mở rộng đồ thị phân lớp để áp dụng cho mạng IP/WDM dựa trên [11, 12].

Một mạng IP/WDM có thể được xác định bằng một đồ thị  $G(R, E)$ , trong đó  $E$  là tập các tập các kết nối sợi quang hai chiều, mỗi sợi quang sử dụng  $W$  kênh bước sóng,  $N$  là tập các node mạng. Mỗi node mạng chứa một bộ định tuyến IP và một bộ kết nối chéo quang OXC, trong bài báo này, giả định rằng các OXC không có khả năng chuyển đổi bước sóng.

#### 3.1. Mở rộng node mạng

Để mô hình hóa mạng IP/WDM thành đồ thị phân lớp, ta mở rộng các node mạng thành một số node con chức năng theo quan hệ tương đương như sau:

- Ứng với mỗi node  $r_i \in R$  được chia thành một node định tuyến vào, ký hiệu là  $r_i^{in}$ ; một node định tuyến ra, ký hiệu là  $r_i^{out}$  và  $W$  node *Sub - OXC* được biểu thị bởi  $n_i^w$  ( $1 \leq w \leq W$ ).
- Sử dụng một cạnh có hướng từ node  $n_i^w$  đến node  $r_i^{out}$  để biểu thị chức năng tách kênh, một cạnh có hướng từ node  $r_i^{in}$  đến các node  $n_i^w$  để biểu thị chức năng ghép kênh, và cạnh có hướng từ  $r_i^{out}$  đến  $r_i^{in}$  để biểu thị chức năng xử lý của bộ định tuyến IP. Tất cả các cạnh này được gọi là các kết nối chức năng (function link).



Hình 1. Mở rộng node mạng

Hình 1 minh họa sự mở rộng của một node thành các node con, ở đây chúng tôi xét trường hợp mỗi sợi quang có 2 bước sóng, nên mỗi node  $r_i \in R$  được mở rộng thành 1 node  $r_i^{in}$ , 1 node  $r_i^{out}$  và 2 node *Sub - OXC* là  $r_i^1$  và  $r_i^2$ .

### 3.2. Mô hình đồ thị phân lớp

Mạng IP/WDM xác định bằng đồ thị  $G(R, E)$  như trên có thể mô hình hóa thành đồ thị phân lớp  $G_L(R_L, E_L)$  theo các bước như sau:

- Mở rộng tất cả các node trong  $G$  theo quan hệ tương đương như mô tả ở Mục 3.1.
- Nếu có cạnh  $e_{ij} \in E$  trong  $G$ , kết nối node  $n_i^w$  đến  $n_j^w$ , với  $1 \leq w \leq W$ , sử dụng một cạnh có hướng, được gọi là cạnh vật lý (hay còn gọi là kết nối vật lý) và được biểu thị bởi  $l_{ij}^w$ .
- Nếu có một kênh quang từ node  $s$  đến node  $d$  nào đó trong tô pô vật lý, node  $r_s^{in}$  được kết nối đến node  $r_d^{out}$  bằng một cạnh có hướng, được gọi là cạnh logic và được biểu thị là  $l_{sd}^0$ .

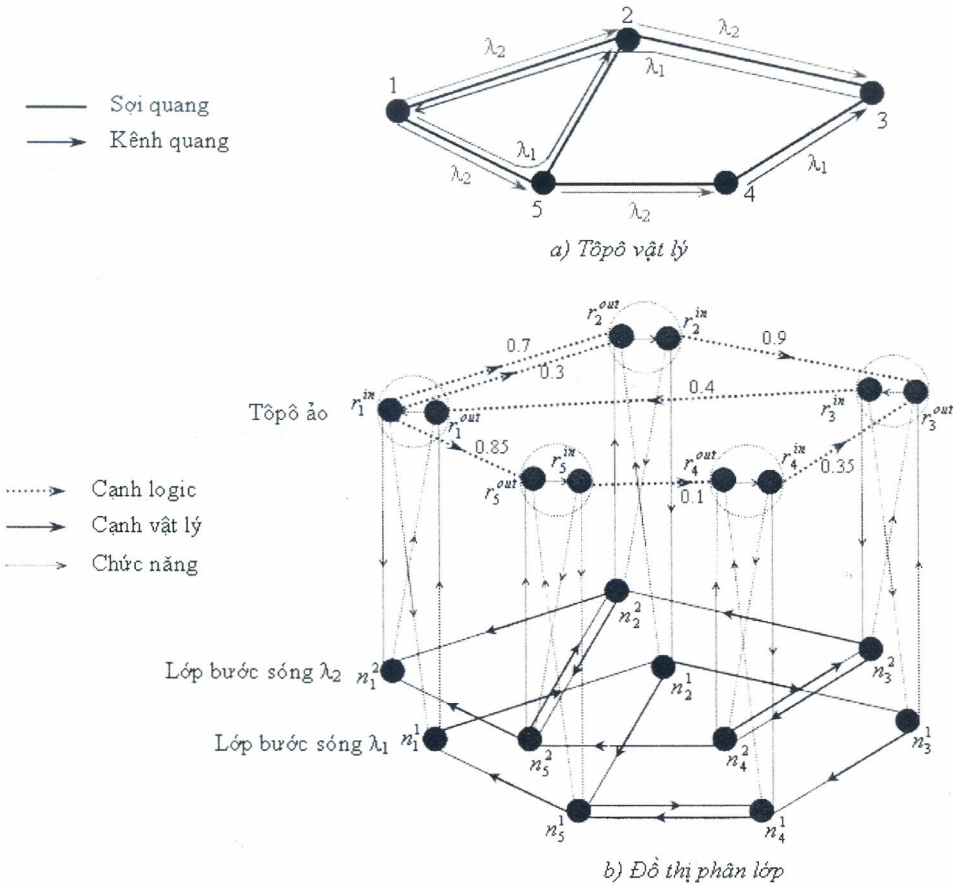
Mô hình đồ thị phân lớp cho mạng IP/WDM được minh họa như trên Hình 2, ở hình a là tô pô mạng vật lý, hình b là đồ thị phân lớp tại thời điểm đang có các kênh quang chiếm giữ như ở hình a. Chúng tôi giả sử rằng, mỗi sợi quang sử dụng 2 kênh bước sóng.

### 3.3. Cập nhật thông tin trạng thái liên kết

Trong mạng IP/WDM, các yêu cầu định tuyến lưu lượng trên lớp IP phát sinh một cách ngẫu nhiên, do vậy thông tin trạng thái liên kết của mạng luôn thay đổi động. Trước khi xét cách thức cập nhật thông tin trạng thái liên kết, chúng tôi giả định rằng các yêu cầu LSP đến một cách ngẫu nhiên tuân theo luật phân phối Poisson, thời gian chiếm giữ kết nối theo luật hàm mũ, tổng băng thông cho phép của một kênh bước sóng là 1 đơn vị. Một yêu cầu LSP có thể định nghĩa bằng một bộ  $(s, d, b)$ , trong đó,  $s$  là node nguồn,  $d$  là node đích và  $b$  là khoảng băng thông yêu cầu ( $0 < b \leq 1$ ), yêu cầu LSP được định tuyến qua mạng không phân chia lưu lượng.

Ở thời điểm khởi tạo, khi chưa có kênh quang nào được thiết lập trong mạng, tất cả cạnh trong đồ thị phân lớp (ngoại trừ các cạnh chức năng) đều là các cạnh vật lý với băng thông toàn phần (1 đơn vị). Sau một số LSP được định tuyến qua mạng, một số kênh quang được thiết lập, hình thành các kết nối logic (cạnh logic) trên lớp logic. Khi một kênh quang mới được thiết lập từ  $i$  đến  $j$  cho một yêu cầu LSP  $(s, d, b)$  nào đó, một kết nối logic với băng thông còn dư là  $(1 - b)$  được tạo cho lớp logic từ node  $r_i^{in}$  đến  $r_j^{out}$  trong đồ thị phân lớp,

đồng thời các kết nối vật lý sử dụng cho kênh quang vừa thiết lập sẽ loại khỏi đồ thị. Xét yêu cầu LSP (1, 2, 0.3) như trong Hình 2a, giả sử rằng kênh quang 1 → 5 → 2 sử dụng bước sóng  $\lambda_1$  thiết lập cho yêu cầu này. Trong thời gian LSP đang chiếm giữ trên mạng, lớp logic trong đồ thị phân lớp hình thành các kết nối logic từ  $r_1^{in}$  đến  $r_2^{out}$  với 0,7 đơn vị băng thông còn dư, đồng thời kết nối vật lý từ node  $n_1^1$  đến  $n_5^1$  và  $n_5^1$  đến  $n_2^2$  trên lớp bước sóng 1 bị loại khỏi đồ thị. Tương tự cho các yêu cầu LSP khác.



Hình 2. Mô hình đồ thị phân lớp cho mạng IP/WDM

Khi có yêu cầu LSP đến, yêu cầu này có thể định tuyến trên tô pô ảo của lớp IP hoặc là trên lớp WDM tùy thuộc vào cấu trúc mô hình mạng được áp dụng. Với mô hình xếp chồng, tại vì mặt bằng điều khiển và mặt bằng quản lý của hai lớp là tách rời nhau, do vậy các kết nối logic và kết nối vật lý được xét tách rời nhau khi lựa chọn lộ trình cho LSP. Ngược lại, với mô hình ngang hàng, thông tin trạng thái kết nối và thông tin báo hiệu được dùng chung giữa cả hai lớp. Do vậy, các kết nối logic và kết nối vật lý được xét đồng thời khi định tuyến LSP. Việc lựa chọn kết nối logic hay kết nối vật lý tùy thuộc vào hàm chi phí được thiết lập cho các kết nối.

#### 4. ĐỀ XUẤT THUẬT TOÁN MHLR CHO MÔ HÌNH XẾP CHỒNG

Với mô hình xếp chồng, cơ chế định tuyến có thể làm việc theo nguyên lý LFR (Logical First Routing) hoặc là OFR (Optical First Routing). Với cơ chế LFR, trước tiên yêu cầu LSP

được định tuyến trên các kết nối logic của lớp IP. Nếu không thành công, sử dụng thuật toán RWA để thiết lập một kênh quang mới trên lớp WDM cho yêu cầu này. Cơ chế OFR hoạt động hoàn toàn ngược lại, nghĩa là sử dụng thuật toán RWA để thiết lập một kênh quang mới cho yêu cầu LSP trước, nếu như việc thiết lập kênh quang mới không thành công mới sử dụng đến các kết nối logic của lớp IP.

Với mục tiêu giảm xác suất hủy bỏ của các yêu cầu kết nối, chúng tôi đề xuất một cơ chế định tuyến theo kênh quang bước truyền cực tiểu MHLR (Min-Hop Lightpath Routing) dùng để định tuyến LSP trên tô pô ảo. Thuật toán MHLR được đề xuất dựa trên các ý tưởng chính sau:

- Các kết nối logic có nhiều kênh quang đang tồn tại với băng thông còn dư thỏa mãn yêu cầu LSP luôn được ưu tiên chọn trước.

- Khi chọn kênh quang trên một kết nối logic, kênh quang nào có số bước truyền quang nhỏ nhất sẽ được chọn. Các kênh quang đi qua nhiều bước truyền quang sẽ chiếm dụng một lượng tài nguyên lớn của lớp WDM. Do vậy, việc hạn chế định tuyến trên các kênh quang này là để giảm thời gian chiếm giữ, kênh quang sẽ nhanh giải phóng, nhiều kết nối vật lý trên lớp WDM được phục hồi để sử dụng cho các yêu cầu tiếp theo.

Với mỗi LSP đến, dựa trên băng thông yêu cầu của LSP, chúng tôi xác định số kênh quang có băng thông còn dư thỏa mãn yêu cầu giữa mỗi cặp bộ định tuyến, tham số này là một ràng buộc trong hàm chi phí của các kết nối logic trên lớp IP.

- Đối với các kết nối logic  $l_{ij}^0$ , hàm chi phí được thiết lập như sau:

$$c(l_{ij}^0) = \begin{cases} \frac{\min\{h_{ij}^m\}}{k_{ij}}, & k_{ij} > 0 \\ \infty, & k_{ij} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

trong đó,  $k_{ij}$  là số kênh quang đang tồn tại giữa cặp bộ định tuyến  $(i, j)$  có băng thông còn dư thỏa mãn yêu cầu của LSP,  $h_{ij}^m$  là số bước truyền quang của kênh quang thứ  $m$  giữa cặp bộ định tuyến  $(i, j)$ .

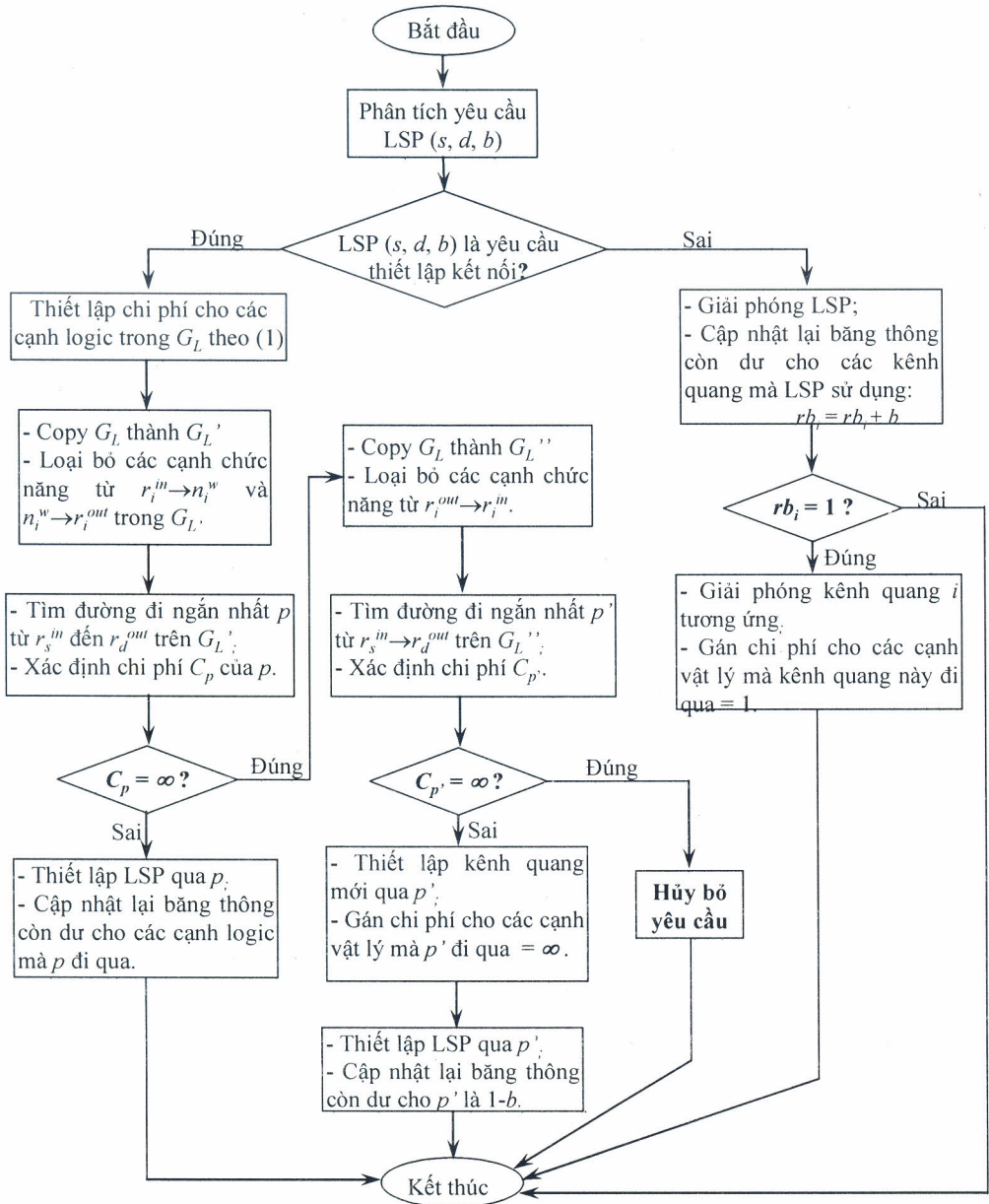
- Đối với các kết nối vật lý  $l_{ij}^w$  trong lớp bước sóng  $w$  ( $1 \leq w \leq W$ ), hàm chi phí của các kết nối được thiết lập là [5]:

$$c(l_{ij}^w) = \begin{cases} c_{ij} & \text{nếu } o(l_{ij}^w) = 1 \\ +\infty, & \text{trường hợp còn lại} \end{cases} \quad (2)$$

ở đây  $o(l_{ij}^w)$  là hàm sử dụng bước sóng của kết nối vật lý  $l_{ij}^w$ . Nếu như bước sóng  $w$  trên kết nối là đang rảnh thì  $o(l_{ij}^w) = 1$ , ngược lại  $o(l_{ij}^w) = 0$ . Giá trị  $c_{ij}$  biểu thị chi phí của kết nối  $l_{ij}$  trong  $G$ . Giá trị này thường được xác định bằng nhiều tham số, như chiều dài tuyến cáp, suy hao trên tuyến... Để đơn giản, ở đây ta thiết lập  $c_{ij} = 1$ .

Sau khi thiết lập hàm chi phí cho các kết nối logic theo (1), ta sử dụng thuật toán đường đi ngắn nhất để tìm lộ trình có chi phí nhỏ nhất cho các LSP trên tô pô ảo. Chúng tôi áp dụng thuật toán MHLR vào hai cơ chế định tuyến là: OFR và LFR.

Với cơ chế LFR-MHLR, dựa trên mô hình đồ thị phân lớp  $G_L(N_L, E_L)$ , quy trình xử lý mỗi yêu cầu đến được mô tả bằng lưu đồ thuật toán như sau:



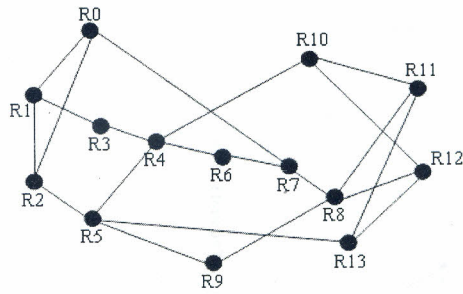
Hình 3. Lưu đồ thuật toán xử lý yêu cầu thiết lập và giải phóng LSP

Với cơ chế OFR-MHLR, các bước thực hiện hoàn toàn giống như cơ chế LFR-MHLR, chỉ khác là yêu cầu được định tuyến trên các kết nối vật lý trước.

### 5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Để đánh giá hoạt động của hai thuật toán LFR-MHLR và OFR-MHLR, ta so sánh với hai thuật toán là VFPL (Virtual topology First Physical topology Last) và PFVL (Physical topology First Virtual topology Last) trong [16]. Tác giả đã sử dụng phần mềm mô phỏng mạng OMNeT++ [1] để cài đặt các thuật toán trên tập NSFNET (Hình 4), các giả thiết

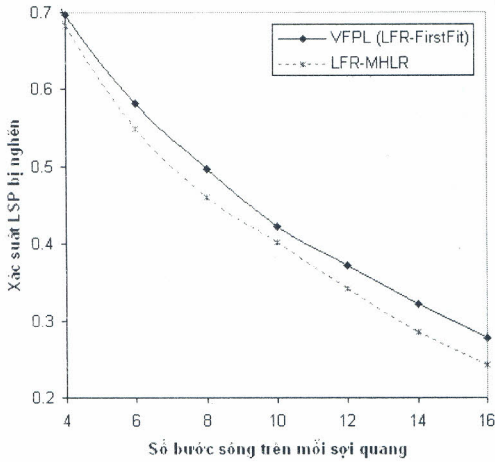
đầu vào được thiết lập như sau:



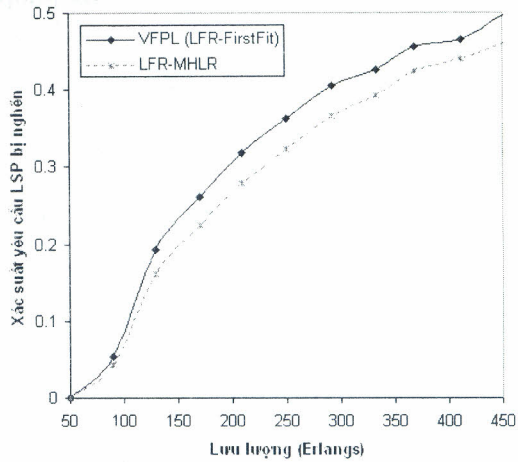
Hình 4. Tô pô NSFNET

- Yêu cầu kết nối được phát sinh tuân theo quá trình phân bố xác suất Poisson.
- Thời gian chiếm giữ kết nối theo luật hàm mũ với giá trị trung bình là 1s.
- Băng thông tối đa cho một kênh bước sóng là 1 đơn vị, băng thông yêu cầu của các LSP được phân bố đều trong khoảng (0, 1].

Thuật toán VFPL hoạt động theo nguyên lý LFR và thuật toán PFVL hoạt động theo nguyên lý OFR. Trong cả hai thuật toán VFPL và PFVL, các tác giả đã sử dụng thuật toán đường đi ngắn nhất để tìm đường đi trên tô pô ảo và thuật toán First-Fit để lựa chọn kênh quang giữa mỗi cặp bộ định tuyến IP. Hình 5 và Hình 6 cho thấy xác suất nghẽn mạng của hai thuật toán VFPL và LFR-MHLR.



Hình 5. Xác suất nghẽn của VFPL và LFR-MHLR khi số bước sóng thay đổi

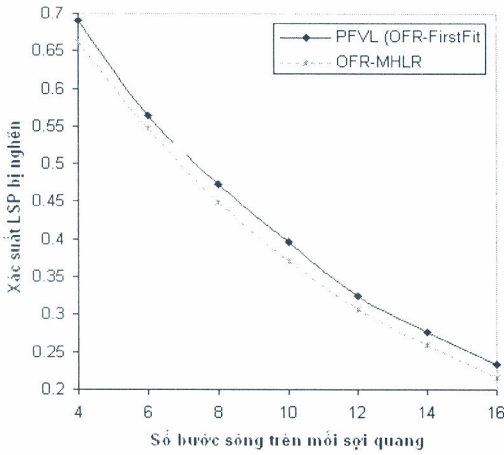


Hình 6. Xác suất nghẽn của VFPL và LFR-MHLR theo các mức lưu lượng khác nhau

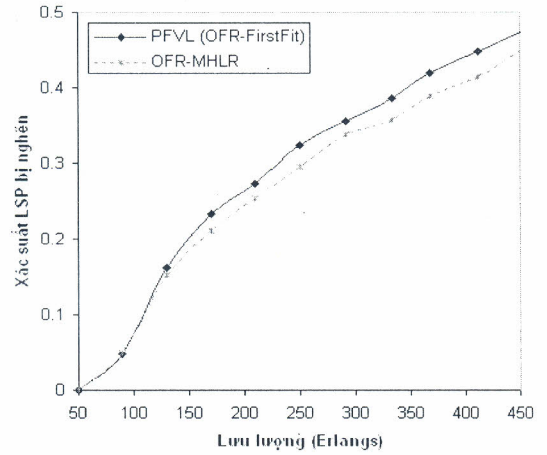
Hình 5 là xác suất khóa của LSP ở mức lưu lượng toàn mạng là 450 Erlangs khi số bước sóng thay đổi. Kết quả trên Hình 6 là trường hợp số bước sóng trên mỗi sợi quang là 8 và lưu lượng toàn mạng thay đổi. Ta thấy rằng, với cơ chế cải tiến LFR-MHLR luôn cho ta xác suất LSP bị khóa nhỏ hơn cơ chế VFPL.

Hình 7 và Hình 8 là kết quả của hai thuật toán PFVL và OFR-MHLR. Ta cũng thấy rằng, thuật toán OFR-MHLR cho ta xác suất nghẽn mạng nhỏ hơn so với thuật toán PFVL. Trên hình cho ta thấy khi mức lưu lượng trong toàn mạng càng lớn thì tỷ lệ yêu cầu bị khóa giảm càng nhiều so với thuật toán PFVL.



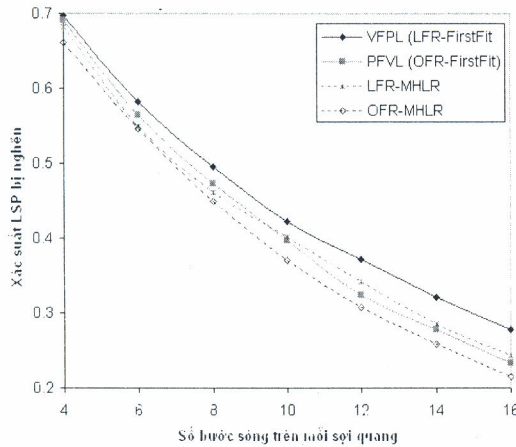


Hình 7. Xác suất nghẽn của PFVL và OFR-MHLR khi số bước sóng thay đổi



Hình 8. Xác suất nghẽn của PFVL và OFR-MHLR theo các mức lưu lượng khác nhau

Như vậy, ta có thể kết luận rằng, với cơ chế lựa chọn kênh quang trên tôpô ảo theo thuật toán MHLR luôn cho ta xác suất nghẽn mạng nhỏ hơn so với thuật toán First-Fit được áp dụng trong cơ chế PFVL và VFPL dù cho phương pháp định tuyến được áp dụng là lớp logic trước (LFR) hay lớp quang trước (OFR). Kết quả trên Hình 9 cho ta thấy rõ điều này, với thuật toán MHLR, nếu áp dụng phương pháp định tuyến theo OFR sẽ cho ta xác suất nghẽn mạng nhỏ nhất.



Hình 9. Xác suất nghẽn của MHLR với FirstFit theo hai cơ chế LFR và OFR

## 6. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu cơ chế định tuyến trong mạng IP trên WDM có cấu trúc theo mô hình xếp chồng có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Để truyền tải lưu lượng IP một cách hiệu quả trên mạng quang WDM, chúng ta cần một cơ chế định tuyến tối ưu. Qua việc phân tích các cơ chế định tuyến trong mô hình này, chúng tôi đã đề xuất một thuật toán cải tiến MHLR dùng khi lưu lượng được định tuyến trên tôpô ảo của lớp IP. Khi áp dụng thuật toán này thay cho thuật toán FirstFit trong hai cơ chế VFPL và PFVL [15] thì thu được xác suất nghẽn

mạng giảm, đặc biệt là với các mô hình mạng lớn, sử dụng nhiều kênh bước sóng trên mỗi sợi quang thì thuật toán MHLR càng có ý nghĩa hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Varga, (2004), "OMNeT++ Discrete Event Simulation System", <http://www.omnetpp.org>.
- [2] C. Assi et al., Integrated routing algorithms for sub-wavelength connections in IP over WDM networks, *Photonic Network Communications* **4** (3&4) (2002) 377–390.
- [3] H. Rongxi et al., A dynamic routing and wavelength assignment algorithm in IP/MPLS over WDM networks", *IEEE* **1** (1) (2002) 855–859.
- [4] J. Li et al., Dynamic Routing with inaccurate link state information in Integrated IP over WDM networks", *Computer Networks* **46** (6) (2004) 829–851.
- [5] M. Bo et al., A novel Integrated on-line routing algorithm in IP over WDM networks, *Proc. of SPIE* **6022**, Shanghai, China, November, 2005.
- [6] M. Kodialam and T. V. Lakshman, Integrated dynamic IP and wavelength routing in IP over WDM networks, *IEEE INFOCOM* **1** (1) (2001) 258–366.
- [7] Q. Zheng and G. Mohan, Dynamic protection using integrated-routing in IP over WDM networks, *Computer Networks* **43** (3) (2003) 289–305.
- [8] S. Koo et al., Dynamic LSP provisioning in overlay, augmented and peer architectures for IP/MPLS over WDM networks, *IEEE INFOCOM* **1** (1) (2004).
- [9] Sudhir Dixit, *IP over WDM - Building the Next Generation Optical Internet*, John Wiley & Sons Publication, 2003.
- [10] T. Ye et al., Study on Integrated Routing in IP over WDM Networks, *Optical Networking and Communications* **5285** (1) (2003) 404–408.
- [11] T. Ye et al., On-line Integrated Routing in Dynamic Multifiber IP/WDM Networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* **22** (9) (2004) 1681–1691.
- [12] T. Ye et al., SLEA: A novel scheme for routing in overlay IP/WDM networks, *Journal of Lightwave Technology* **23** (10) (2005) 2934–2944.
- [13] Trần Nguyễn Các, Nguyễn Văn Cảnh, Trần Quốc Dũng, Trần Đức Hân, Một giải pháp khả thi chống phân mảnh tài nguyên mạng toàn quang bằng phân bổ tối ưu các bộ chuyển đổi bước sóng dựa trên thống kê lưu lượng, *Tạp chí Bưu chính Viễn thông & CNTT*, 2005, <http://tapchibcv.gov.vn>.
- [14] W. Wei et al., Multi-layer Integrated Routing Algorithm for IP over WDM Networks, *Journal of Optical Communications* **27** (1) (2006) 29–34.
- [15] Yuki Koizumi, Shin'ichi Arakawa and Masayuki Murata, On the Interaction of IP Routing and Wavelength Routing in IP over WDM Networks, *SPIE APOC*, Osaka Univ. Japan, Dec. 2005 (20–29).
- [16] Yun Wang and Qingji Zeng, Comparative analysis of dynamic integrated routing for IP/MPLS/WDM networks, *Proceedings of SPIE* **5247** (2003) 443–449.

Nhận bài ngày 27 - 8 - 2007