

**MỘT THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN TỐI ƯU TÀI NGUYÊN TRONG MẠNG  
IP/WDM VÀ ỨNG DỤNG TRÊN TÔPO MẮT LƯỚI**

*Võ Thanh Tú*

*Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế*

*Lê Hữu Bình*

*Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế*

**TÓM TẮT**

*Tích hợp lưu lượng IP vào mạng quang WDM (Wavelength Division Multiplexing) là một xu thế của công nghệ mạng thế hệ kế tiếp, việc nghiên cứu các giao thức cho công nghệ tiên tiến này là điều cần thiết và cấp bách. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thuật toán định tuyến tích hợp LFCR (Link Feasible Capacities Routing) trên mô hình đồ thị phân lớp để làm giảm xác suất yêu cầu thiết lập kết nối bị từ chối, đối với đa bước sóng, nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên mạng quang WDM.*

**Từ khóa:** *định tuyến tích hợp, mạng truyền dẫn quang, lưu thông mạng.*

**1. Giới thiệu**

Công nghệ truyền dẫn quang phát triển đã nâng cao tốc độ đường truyền vượt bậc trong thời gian gần đây, đã mở ra một giai đoạn mới cho truyền thông đa phương tiện. Tuy nhiên, sự đòi hỏi chất lượng dịch vụ ngày càng cao khi mà bùng nổ lưu thông trên đường truyền dẫn quang lớn, cần phải có những cải tiến mới về mặt công nghệ truyền dẫn, đặc biệt là tại các nút chuyển mạch trung tâm. Một xu thế của công nghệ mạng thế hệ kế tiếp (NGN - Next Generation Networks) [7] là truyền trực tiếp gói số liệu IP trên mạng quang WDM, được gọi là công nghệ IP trên WDM [1],[6] dựa trên mô hình xếp chồng (Overlay Model), mô hình ngang hàng (Peer Model) và mô hình tăng trưởng (Augmented Model) [2], [4], [6] là một sự kết hợp giữa hai mô hình trên, thông qua mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng quản lý của lớp IP và lớp WDM.

Với mô hình ngang hàng, mặt phẳng điều khiển và quản lý của lớp IP và lớp WDM là như nhau, thông tin cấu trúc mạng và các thông tin khác như định tuyến, trạng thái kết nối được chứa trong cả hai lớp nên cơ chế định tuyến là hợp nhất trong điều khiển toàn bộ mạng [5]. Vì vậy, chúng tôi sử dụng trong nghiên cứu bài báo này thuận lợi hơn đối với mô hình xếp chồng với mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng quản lý của hai lớp là tách rời nhau và giao thức định tuyến, giao thức báo hiệu, thông tin trạng thái kết nối của lớp IP không phụ thuộc vào lớp WDM. Đồng thời, mô hình ngang hàng cho

phép tích hợp hoàn toàn lớp IP vào lớp quang WDM nên nó phù hợp với xu hướng triển khai mạng chuyển mạch gói quang trong tương lai. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu cơ chế định tuyến trong mạng IP/WDM có cấu trúc theo mô hình ngang hàng nhằm tìm giải pháp tối ưu cho việc điều khiển lưu lượng IP trên mạng quang WDM.

Trong mạng IP trên WDM có cấu trúc theo mô hình ngang hàng, kỹ thuật chuyển mạch nhãn đa giao thức (*MPLS - Multi-Protocol Label Switching*) thường được sử dụng với chức năng là *mặt phẳng điều khiển hợp nhất* giữa lớp IP và lớp WDM [8]. Lưu lượng IP được định tuyến qua mạng bằng các LSP (*Label Switch Path*). Khi thiết lập một LSP, các kết nối vật lý (kết nối sợi quang) và kết nối logic (các kênh quang đã được thiết lập) được xem xét đồng thời để lựa chọn lộ trình cho LSP. Việc lựa chọn kết nối vật lý hay kết nối logic tùy thuộc vào *hàm trọng số* của các kết nối. Các hàm trọng số này được xây dựng tùy theo mục tiêu của từng thuật toán.

Từ đó, chúng tôi đã đề xuất một thuật toán định tuyến cho mô hình ngang hàng của mạng IP/WDM dựa trên mô hình đồ thị phân lớp nhằm tìm giải pháp tối ưu cho việc điều khiển lưu lượng IP trên mạng quang WDM. Để giải quyết bài toán, chúng tôi sử dụng phương pháp *mô hình hóa mạng IP/WDM thành một đồ thị phân lớp* dựa trên [1], [9], sau đó thiết lập hàm trọng số cho các cạnh trong đồ thị và sử dụng thuật toán Dijkstra để tìm lộ trình có chi phí cực tiểu cho các yêu cầu LSP.

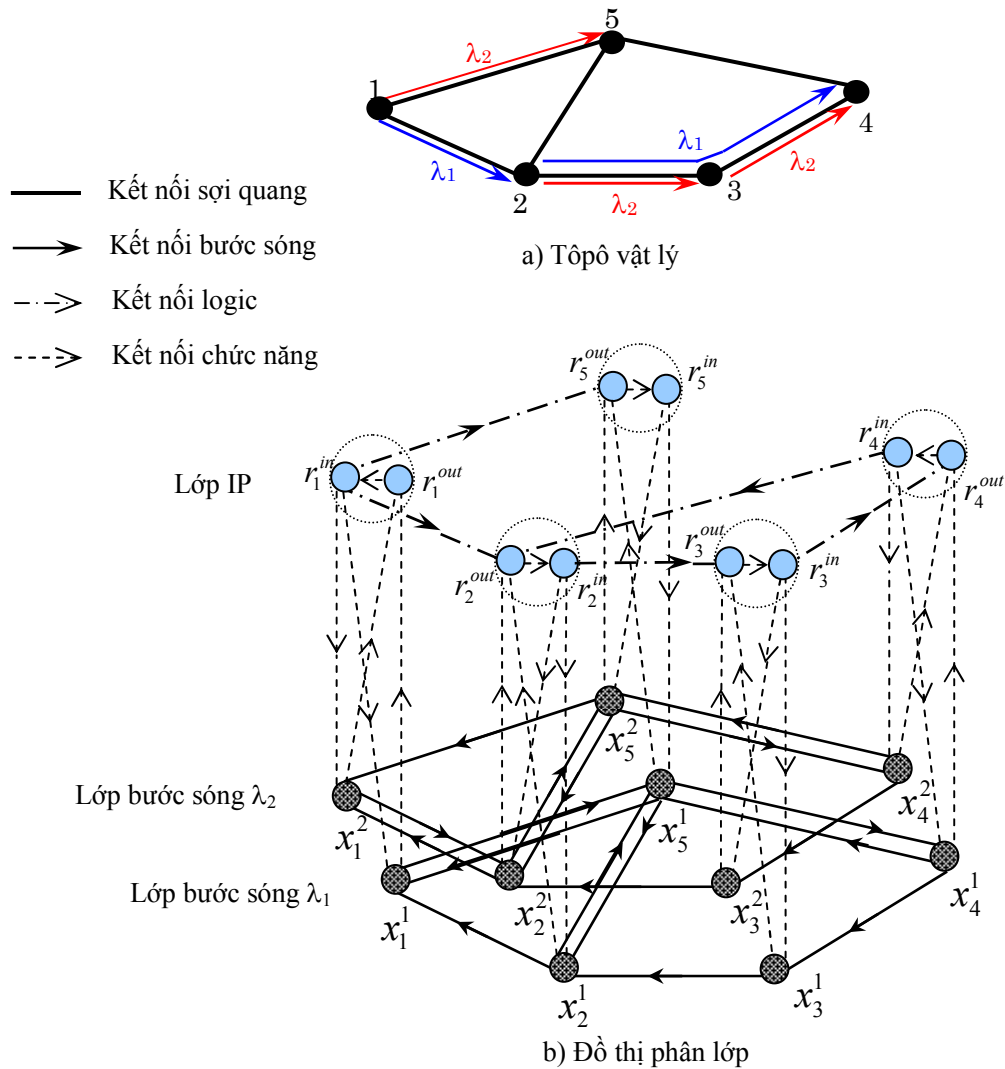
## 2. Mô hình đồ thị phân lớp cho mạng IP/WDM

Một mạng IP/WDM có thể xác định bằng một đồ thị  $G(N,E)$ , trong đó  $N$  là tập các nút mạng (bao gồm các bộ định tuyến IP và các bộ kết nối chéo quang OXC),  $E$  là tập các kết nối sợi quang song hướng, mỗi sợi quang sử dụng  $W$  kênh bước sóng. Đồ thị phân lớp  $G_w(N_w, E_w)$  là đồ thị có hướng thu được từ  $G(N,E)$  theo các bước như sau:

Với mỗi  $OXC_i \in N$  trong  $G$ , mở rộng thành  $W$  nút chức năng  $x_i^w$  ( $w=1..W$ ). Nếu có một cạnh  $e_{ij} \in E$  trong  $G$  kết nối giữa  $i$  và  $j$ , sử dụng  $W$  cạnh có hướng  $e_{ij}^w \in E_L$  trong  $G_L$  kết nối từ  $x_i^w$  đến  $x_j^w$  ( $w=1..W$ ) và  $W$  cạnh có hướng  $e_{ji}^w \in E_L$  trong  $G_L$  kết nối từ  $x_j^w$  đến  $x_i^w$  ( $w=1..W$ ). Tất cả các cạnh này được gọi là các *kết nối bước sóng*.

Với mỗi bộ định tuyến IP  $R_i \in N$  trong  $G$  đính kèm theo các  $OXC_i$ , mở rộng thành 2 nút chức năng  $r_i^{in}$  và  $r_i^{out}$ , sử dụng  $W$  cạnh có hướng để kết nối từ nút  $r_i^{in}$  đến tất cả các nút  $x_i^w$  ( $w=1..W$ ),  $W$  cạnh có hướng để kết nối từ các nút  $x_i^w$  ( $w=1..W$ ) đến nút  $r_i^{out}$  và một cạnh có hướng để kết nối từ nút  $r_i^{out}$  đến  $r_i^{in}$ . Tất cả các cạnh này được gọi là *kết nối chức năng*.

Nếu số kênh quang đang kết nối từ bộ định tuyến  $R_i$  đến  $R_j$  là không rỗng thì sử dụng một cạnh có hướng  $l_{ij}$  kết nối từ  $r_i^{in}$  đến  $r_j^{out}$ , cạnh này được gọi là *kết nối logic*.



**Hình 1.** Mô hình đồ thị phân lớp cho mạng IP/WDM

Khi có một kênh quang mới  $l_{ij}^w$  được thiết lập từ  $R_i$  đến  $R_j$  sử dụng bước sóng thứ  $w$ , loại bỏ các kết nối bước sóng  $e_k^w$  sử dụng cho kênh quang này khỏi đồ thị phân lớp. Ngược lại, nếu có một kênh quang được giải phóng thì phục hồi lại các kết nối bước sóng tương ứng.

Hình 1.a là tô pô vật lý của mạng IP trên WDM trong mô hình đồ thị phân lớp, giả sử rằng mỗi sợi quang sử dụng 2 kênh bước sóng và trong mạng đang có các kênh quang chiếm giữ như minh họa trên hình này. Hình 1.b là đồ thị phân lớp tương ứng với trường hợp này.

Ta thấy rằng, khi mạng IP/WDM được mô hình hóa thành đồ thị phân lớp thì bài toán định tuyến trong mạng trở thành bài toán đường đi ngắn nhất trên đồ thị phân lớp. Vấn đề còn lại là thiết lập hàm trọng số cho các cạnh trong đồ thị phân lớp. Trong [3],

M. Kodialam *et al.* đã đề xuất thuật toán IMH (*Integrated Min-Hop routing*). Với thuật toán này, tất cả các kết nối vật lý và kết nối logic đều được thiết lập trọng số là 1 đơn vị, sau đó sử dụng thuật toán đường đi ngắn nhất để tìm lộ trình cho yêu cầu LSP. Thuật toán IMH có ưu điểm là cài đặt đơn giản, nhưng lại có nhược điểm là hàm trọng số chưa xét đến các tham số đặc trưng của một kết nối logic như: dung lượng còn lại của một kênh quang, số bước truyền vật lý mà kênh quang đi qua. Vì vậy, các LSP có thể định tuyến qua các kênh quang dài, tiêu tốn nhiều tài nguyên mạng và gây ra trễ truyền tải lớn. Vì vậy, chúng tôi đề xuất thuật toán LFCR với hàm trọng số của các cạnh trong đồ thị phân lớp có xét đến ràng buộc về dung lượng còn lại và số bước truyền của mỗi kênh quang. Mục tiêu của LFCR là tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên mạng, giảm tỷ lệ yêu cầu thiết lập LSP bị từ chối.

### 3. Thuật toán định tuyến tích hợp LFCR

#### 3.1. Thiết lập hàm trọng số cho các cạnh trong đồ thị phân lớp

Theo phương pháp mô hình hóa mạng IP/WDM thành đồ thị phân lớp như trên thì có 3 loại cạnh trong đồ thị phân lớp. Đó là cạnh chức năng, cạnh bước sóng và cạnh logic. Hàm trọng số của các cạnh này được thiết lập như sau:

- Trọng số của cạnh chức năng: Trọng số của các cạnh chức năng được thiết lập là  $\varepsilon \rightarrow 0^+$ . Điều này muốn nói rằng, việc thêm vào các cạnh chức năng trong đồ thị phân lớp không làm ảnh hưởng đến kết quả của thuật toán định tuyến.

- Trọng số của cạnh bước sóng:

$$c(e_{ij}^w) = \begin{cases} 1 & \text{Nếu bước sóng thứ } w \text{ trên kết nối từ } i \text{ đến } j \text{ ở trạng thái rỗi} \\ +\infty & \text{Trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (1)$$

- Trọng số của cạnh logic:

$$c(l_{ij}) = \begin{cases} \frac{\text{Min}_{k=1..n} \{h_{ij}(k)\} + \frac{b}{\sum_{l=1}^n b_{ij}(k)}} & \text{Nếu } n > 0 \\ +\infty & \text{Trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó,  $b$  là băng thông yêu cầu của LSP,  $n$  là số kênh quang trong kết nối logic  $l_{ij}$  có băng thông còn dư không nhỏ hơn  $b$ ,  $b_{ij}(k)$  là băng thông còn dư của kênh quang thứ  $k$  trong kết nối logic  $l_{ij}$ ,  $h_{ij}(k)$  là số bước truyền vật lý của kênh quang thứ  $k$ .

Trong hàm (2), chúng tôi đưa vào tham số  $\frac{b}{\sum_{l=1}^n b_{ij}(k)}$  với ý nghĩa là khi tổng

băng thông còn dư trên một kết nối logic càng lớn thì trọng số của cạnh logic càng nhỏ, nghĩa là các LSP luôn được ưu tiên thiết lập qua các kết nối logic có băng thông

còn dư lớn hơn, điều này giảm bớt xác suất nghẽn mạng.

### 3.2. Thuật toán LFCR

Vào:

Một tập mô mạng IP trên WDM mô tả bởi đồ thị  $G(N, L)$  được mô hình hóa thành đồ thị phân lớp  $G_w(N_w, L_w)$ .

$S_{ij} = \{b_{ij}(1), b_{ij}(2), \dots, b_{ij}(n)\}$  là tập kênh quang đang chiếm giữ kết nối trong mạng, với  $b_{ij}(k)$  là băng thông còn dư của kênh quang  $k$ .

Một yêu cầu thiết lập LSP ( $s, d, b$ ), với  $s$  là nút nguồn,  $d$  là nút đích,  $0 < b \leq 1$  là băng thông yêu cầu.

Ra:

Một lộ trình từ  $s$  đến  $d$  với dung lượng là  $b$  đơn vị băng thông, hoặc thông báo *từ chối yêu cầu* nếu không thiết lập được.

Giải thuật:

Bước 1: Dựa trên băng thông yêu cầu của LSP, xác định trọng số của các cạnh logic trong đồ thị phân lớp theo hàm (2).

Bước 2: Chạy thuật toán Dijkstra để tìm lộ trình chi phí cực tiểu  $P_{sd}$  từ  $r_s^{in}$  đến  $r_d^{out}$  trên đồ thị phân lớp  $G_L$ .

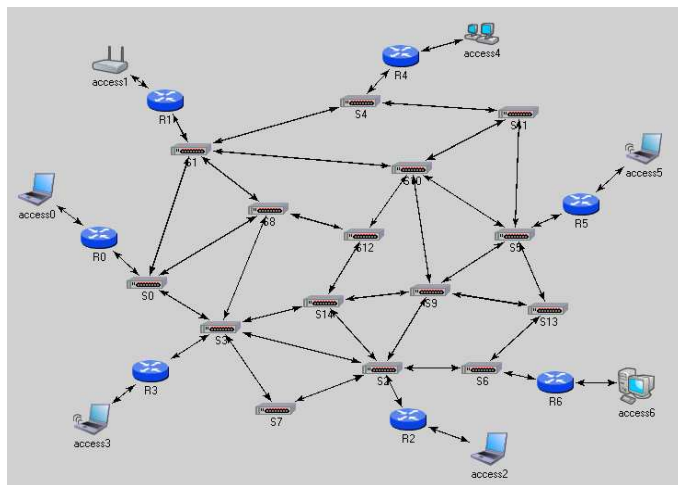
Bước 3: Xác định chi phí  $Cost(P_{sd})$ . Nếu  $Cost(P_{sd}) = +\infty$ , chuyển đến bước 7. Ngược lại, tiếp tục bước 4.

Bước 4: Tìm các kết nối bước sóng mà  $P_{sd}$  đi qua. Nếu  $P_{sd}$  không đi qua kết nối bước sóng nào thì chuyển đến bước 6. Ngược lại, tiếp tục bước 5.

Bước 5: Thiết lập kênh quang mới qua các kết nối bước sóng tìm được ở bước 4. Cập nhật lại trọng số cho các kết nối bước sóng này theo hàm (1).

Bước 6: Thiết lập LSP qua  $P_{sd}$ . Cập nhật lại băng thông còn dư cho các kênh quang mà  $P_{sd}$  đi qua và kết thúc.

Bước 7: Từ chối yêu cầu và kết thúc.



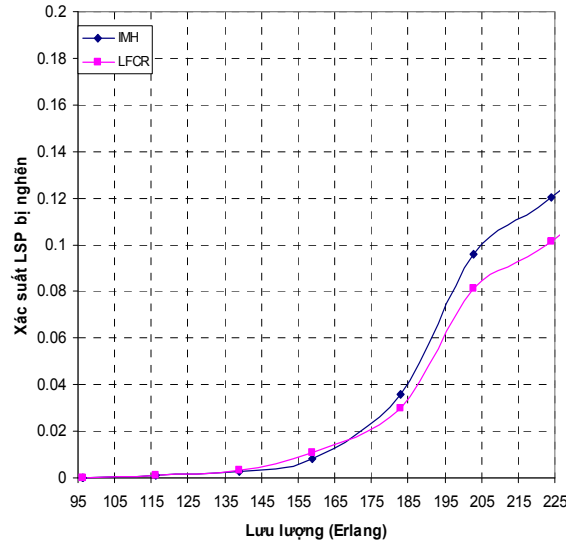
**Hình 2.** Một tập mô mắt lưới của mạng IP/WDM sử dụng trong mô phỏng

Ở đây chúng tôi giải thích thêm ở bước 4 là: Nếu như  $P_{sd}$  không đi qua kết nối bước sóng nào, điều này đồng nghĩa với việc  $P_{sd}$  chỉ đi qua các kết nối logic (các kênh quang đã được thiết lập) với khoảng băng thông còn dư. Vì vậy, không cần phải thiết lập kênh quang mới, mà các LSP sẽ được thiết lập qua các kết nối logic này.

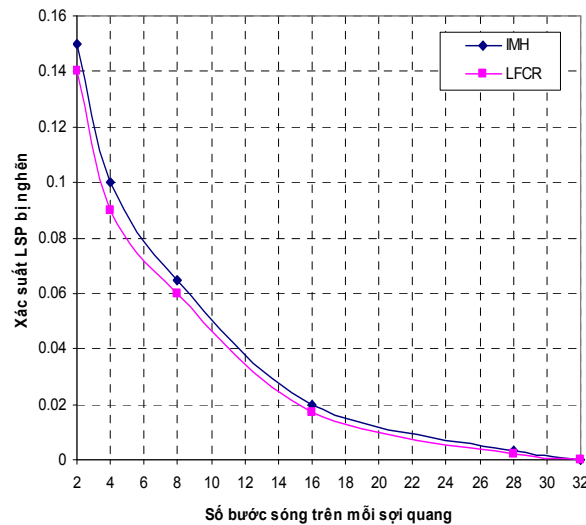
Độ phức tạp của thuật toán:

Độ phức tạp của thuật toán phụ thuộc chủ yếu vào thuật toán Dijkstra ở bước 2. Đồ thị phân lớp được xây dựng gồm có  $|N|*(W+2)$  nút,  $W$  là số bước sóng trên mỗi sợi quang. Như vậy, độ phức tạp của thuật toán này là  $O((|N|*(W+2))^2)$ .

**4. Kết quả mô phỏng và đánh giá**



(a)



(b)

**Hình 3.** Xác suất nghẽn của các thuật toán LFCR và IMH:

(a) lưu lượng toàn mạng thay đổi, (b) số bước sóng trên mỗi sợi quang thay đổi

Để đánh giá hiệu quả thực thi của thuật toán LFCR, chúng tôi so sánh với thuật toán IMH [3] bằng phương pháp mô phỏng. Thuật toán IMH cũng được thực thi dựa trên mô hình đồ thị phân lớp, sau đó các tác giả sử dụng thuật toán *đường đi ngắn nhất Dijkstra* trên đồ thị phân lớp này để tìm lộ trình cho LSP. Trọng số của tất cả các kết nối đều được thiết lập bằng 1. Như vậy, thuật toán IMH chưa xét đến ràng buộc về chiều dài của các kết nối sợi quang cũng như băng thông trên các kết nối. Đây là lý do mà thuật toán IMH thực thi không hiệu quả về mặt tối ưu hoá tài nguyên mạng. Để so sánh hiệu quả thực thi của thuật toán IMH với LFCR, chúng tôi cài đặt mô phỏng trên tập ô mắt lưới như hình 2 dựa trên phần mềm mô phỏng mạng OMNeT++. Kết quả hình 3a là trường hợp số kênh bước sóng trên mỗi sợi quang là 8. Ta thấy rằng, khi lưu lượng trên toàn mạng càng lớn thì xác suất LSP bị nghẽn càng cao. Tuy nhiên, thuật toán LFCR luôn cho ta xác suất nghẽn nhỏ hơn so với IMH, đặc biệt là khi lưu lượng toàn mạng lớn.

Đồ thị trên hình 3b là xác suất nghẽn của thuật toán LFCR so với thuật toán IMH ở mức lưu lượng toàn mạng là 225 Erlang. Ta thấy rằng, khi số kênh bước sóng sử dụng ít (2 hoặc 4 bước sóng) thì hiệu quả thực thi của thuật toán gần như là giống nhau. Nhưng trong trường hợp số kênh bước sóng lớn, với kết quả mô phỏng từ 2 đến 32 bước sóng thì thuật toán LFCR cho ta xác suất nghẽn luôn nhỏ hơn so với thuật toán IMH.

## 5. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu cơ chế định tuyến tích hợp trong mạng IP/WDM có cấu trúc theo mô hình ngang hàng. Chúng tôi đã đề xuất thuật toán định tuyến tối ưu LFCR với trọng số của cạnh logic như công thức (2) và với kết quả mô phỏng về xác suất nghẽn của LSP đã chứng minh được xác suất nghẽn mạng nhỏ hơn so với các kết quả nghiên cứu IMH trước đó trên topo mắt lưới của mạng IP/WDM, khi số bước sóng thay đổi từ 2 đến 32 trong sợi quang. Vì vậy, thuật toán định tuyến LFCR đã nâng hiệu năng, cải thiện được môi trường truyền tin trên mạng quang. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi tiếp tục cải tiến thuật toán để hạn chế hơn nữa xác suất nghẽn mạng trong trường hợp số bước sóng nhỏ và áp dụng trong trường hợp mạng quang WDM có sử dụng các bộ chuyển đổi bước sóng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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.
2. H. Rongxi *et al.*, *A Dynamic Routing and Wavelength Assignment Algorithm in IP/MPLS over WDM Networks*, IEEE ICCAS 1 (1), (2002), 855-859.
3. J. Li *et al.*, *Dynamic Routing with inaccurate link state information in Integrated IP over WDM networks*, Computer Networks 46 (6), (2006), 829-851.

4. Lê Hữu Bình, Võ Thanh Tú, *Nghiên cứu cơ chế định tuyến trong mạng IP trên WDM có cấu trúc theo mô hình xếp chồng*, Tạp chí Tin học và Điều khiển học, 23 (4), (2007), 346-355.
5. Le Nguyen Binh, Le Huu Binh and Vo Thanh Tu, 2008, *Hop and Bandwidth Integrated Routing For Optical Ethernet Networks Under Constraints of Dispersion Effects*, Proceedings CD ROM of Conference 2008 IEEE PhotonicsGlobal@Singapore, 978-1-4244-2906-6/08/\$25.00 ©2008 IEEE, Page C-46-49.
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. Sudhir Dixit. *IP over WDM - Building the Next Generation Optical Internet*, John Wiley & Sons Publication, 2003.
8. T. Ye et al., *Study on Integrated Routing in IP over WDM Networks*, Optical Networking and Communications, 5285 (1), 404-408.
9. W. Wei et al.. *Multi-layer Integrated Routing Algorithm for IP over WDM Networks*, Journal of Optical Communications 27 (1), (2006), 29-34.

## **A RESOURCE OPTIMUM ROUTING ALGORITHM IN IP OVER WDM NETWORKS AND APPLICATION FOR MESH TOPOLOGY**

*Vo Thanh Tu*  
*College of Sciences, Hue University*  
*Le Huu Binh*  
*Hue Industrial College*

### **SUMMARY**

*Integration of IP traffic over WDM optical networks is a tendency of next generation networks technology, the research about protocols for this new technology is necessary. In this paper, we focus on studying the routing mechanisms in IP over WDM networks. Based on layered graph model, we proposed a new integrated routing algorithm called LFCR (Link Feasible Capacities Routing). The objective of LFCR is to minimize theof blocking probability of connection establishing requests in the networks, with multi-wavelength, improving on efficiently utilization of the resource of WDM optical networks.*

**Keywords:** *integrated routing; optical transmission; network traffic.*