



MỘT SỐ CƠ CHẾ TRUYỀN LẠI TRONG MẠNG CHUYỂN MẠCH CHÙM QUANG

Dương Phước Đạt*

Khoa Du lịch - Đại học Huế

Abstract. Chuyển mạch chùm quang được đánh giá là một trong những mô hình chuyển mạch gói trong miền quang khả thi nhất trong tương lai vì nó kết hợp được các ưu điểm của chuyển mạch kênh quang và chuyển mạch gói quang. Cũng như các mạng chuyển mạch gói khác, sự tranh chấp tài nguyên trong mạng chuyển mạch chùm quang là không thể tránh khỏi và khi đó mất chùm là điều tất yếu sẽ xảy ra. Vì vậy xử lý tranh chấp và phục hồi mất mát đóng vai trò rất quan trọng trong việc nâng cao hiệu năng mạng. Do đặc trưng của mạng chuyển mạch chùm quang là không có các bộ đệm tại nút lõi và sử dụng cơ chế đặt trước tài nguyên một chiều, truyền lại là một phương pháp phục hồi mất mát khả dụng nhất mà đang được các nhà nghiên cứu quan tâm. Bài báo này nghiên cứu một số mô hình truyền lại và phân tích đánh giá trên cơ sở mô phỏng một số cơ chế truyền lại trong mạng chuyển mạch chùm quang.

Từ khóa: Mạng chuyển mạch chùm quang, truyền lại, phục hồi mất mát, xác suất mất chùm.

1 Giới thiệu

Chuyển mạch chùm quang (Optical Burst Switching - OBS) là một trong những giải pháp đầy hứa hẹn cho một lớp quang động nhằm hỗ trợ cho Internet thế hệ tiếp theo [1]. Chuyển mạch chùm quang có thể được xem là một sự trung hoà giữa tính chất tĩnh của chuyển mạch kênh quang (Optical Circuit Switching) và tính chất động trong tương lai của chuyển mạch gói quang (Optical Packet Switching) [2].

Đặc trưng của mạng OBS là các gói điều khiển (BCP – Burst control packet) và chùm dữ liệu được truyền tách rời nhau. Dữ liệu (chẳng hạn các gói tin IP, tế bào ATM, ...) có cùng đích đến sẽ được tập hợp tại các nút biên vào; khi độ dài chùm hoặc thời gian tập hợp đạt một ngưỡng định trước, BCP chứa các thông tin của chùm tương ứng như độ dài chùm, địa chỉ đích đến được tạo ra và được gửi đi trước trên một kênh điều khiển để thiết lập, đặt trước tài nguyên cho chùm dữ liệu của nó. Chùm dữ liệu tương ứng được gửi trên kênh dữ liệu sau một khoảng thời gian offset. Vì vậy, chỉ BCP là cần chuyển đổi quang điện tại các nút trung gian, các chùm dữ liệu được truyền thông suốt trong mạng.

* Liên hệ: dpmat@hueuni.edu.vn

Với đặc tính không có bộ đệm của các nút lõi và việc sử dụng các giao thức đặt trước tài nguyên một chiều như Just-Enough-Time (JET) [1], [3] và Just-In-Time (JIT) [4], [5], các chùm có thể tranh chấp với nhau tại các nút trung gian. Tranh chấp xảy ra khi nhiều chùm từ các cổng vào khác nhau cần rời một nút lõi qua một cổng ra trên cùng bước sóng tại cùng một thời điểm. Tranh chấp là nguyên nhân chính của sự mất chùm và do đó làm giảm hiệu suất của các lớp cao hơn. Có nhiều cơ chế được đề xuất để giải quyết vấn đề tranh chấp trong mạng OBS như chuyển đổi bước sóng [6], định tuyến lệch hướng [7], đệm bằng đường trễ quang (FDL- fiber delay line) [8], ...; nhưng các cơ chế này yêu cầu các kỹ thuật phức tạp và chi phí cao.

Truyền lại là một giải pháp để giảm tỉ lệ mất chùm trong mạng chuyển mạch chùm quang [9]. Q. Zhang và các cộng sự đã phân tích mô hình truyền lại trong mạng chuyển mạch chùm quang, đồng thời so sánh hiệu năng giữa truyền lại và định tuyến lệch hướng [10]. Một nghiên cứu khác của Torra và cộng sự đã đánh giá hiệu năng các mô hình truyền lại trên mạng hình sao (star network) [8]. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện phân tích và đánh giá hiệu năng của một số cơ chế truyền lại thông qua mô phỏng nhằm đánh giá hiệu quả của chúng.

Bài báo được tổ chức thành 4 phần, ngoài Phần giới thiệu và Kết luận hai phần còn lại là nội dung chính, bao gồm: Phần 2 giới thiệu một số cơ chế truyền lại trong mạng chuyển mạch chùm quang. Phần 3 mô phỏng, phân tích, so sánh các trường hợp: không và có sử dụng dụng cụ cơ chế truyền lại với hai khả năng chuyển đổi bước sóng được xem xét: không, có khả năng chuyển đổi hoàn toàn. Cuối cùng là phần kết luận.

2 Truyền lại trong mạng chuyển mạch chùm quang

Các mô hình truyền lại trong tầng TCP đã được nghiên cứu trong thời gian dài và đang được triển khai rộng rãi. Việc truyền lại trong tầng OBS khác với ở tầng TCP vì cơ chế mất gói (hoặc chùm) của hai tầng không giống nhau. Trong TCP/IP việc mất gói tin xảy ra khi tràn bộ đệm, trong khi mất chùm là do tranh chấp tài nguyên xảy ra ngẫu nhiên tại nút lõi. Mặt khác, kích thước của gói tin IP khoảng 10KB, trong khi một chùm bao gồm nhiều gói tin IP nên kích thước của chùm rất lớn (10 - 100MB). Khi xảy ra mất chùm, độ trễ sẽ rất lớn và xử lý phức tạp nếu việc truyền lại hàng ngàn gói tin IP được thực hiện ở tầng TCP, trong khi đó việc thực hiện truyền lại một chùm chứa các gói tin có cùng hành trình đích đến trong tầng OBS sẽ đơn giản và giảm độ trễ đáng kể. Và vì vậy, việc truyền lại chùm trong tầng OBS sẽ hiệu quả hơn khi truyền lại các gói IP ở tầng TCP.

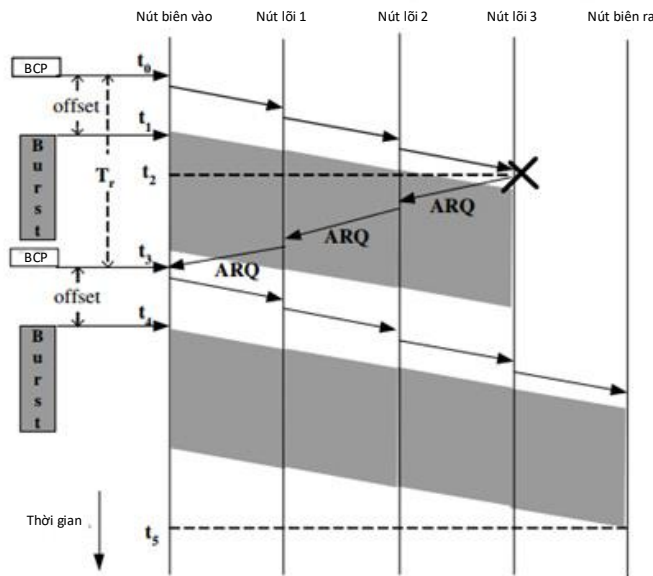
Đối với việc truyền lại chùm trong mạng chuyển mạch chùm quang, ngoài các thông tin cơ bản, gói tin điều khiển (BCP) còn lưu thêm thông tin về ID của chùm, trong đó mỗi chùm sẽ được gán một ID duy nhất. Nút biên vào được trang bị các bộ đệm chùm để lưu lại các bản sao chùm phục vụ cho việc truyền lại chùm và các nút lõi được giả thiết có khả năng gửi gói tin phản hồi (ARQ - Automatic Repeat reQuest hoặc NACK - Negative ACKnowledgement) về nút biên

vào và nút đích được trang bị khả năng gửi gói tin thông báo (ACK - Acknowledgement) đã nhận được chùng về nút nguồn.

Ý tưởng cơ bản của cơ chế truyền lại là khi gói tin điều khiển được gửi đến nút lỗi để đặt trước tài nguyên cho chùng, nút biên sẽ lưu trữ một bản sao của chùng tương ứng để phục vụ truyền lại [9]. Như được mô tả trong Hình 1, gói tin điều khiển (BCP) được truyền bởi nút biên vào ở thời điểm t_0 , chùng được gửi đi sau gói tin điều khiển 1 khoảng thời gian offset vào thời điểm t_1 . Tại thời điểm t_2 chùng không thể lập lịch ở nút trung gian (Nút lỗi 3), một thông báo lỗi ARQ từ nút này được gửi trở lại nút biên vào. Nút biên vào nhận được thông báo ARQ tại thời điểm t_3 sẽ gửi lại một BCP mới và truyền lại một bản sao chùng tại thời điểm t_4 sau một khoảng thời gian offset. Giả sử việc truyền lần thứ hai thành công và tại thời điểm t_5 chùng đến được nút đi đích.

Tương tự như chính sách truyền lại các gói tin IP, các bản sao chùng sẽ có ngưỡng thời gian tồn tại trong bộ đệm được thiết lập dựa trên giới hạn hành trình đầu cuối (chẳng hạn, round trip time - RTT) là trung bình thời gian sống của các gói tin được mang trong chùng đó. Hai tham số quan trọng đối với cơ chế truyền lại trong mạng chuyển mạch chùng quang là độ trễ và kích thước bộ đệm lưu trữ bản sao chùng tại nút biên vào. Trong mạng chuyển mạch chùng quang, chùng được gửi đi sau gói tin điều khiển một khoảng thời gian offset. Thời gian offset bao gồm thời gian xử lý gói tin điều khiển (T_p) và thời gian cấu hình (T_g) tại tất các nút trung gian (N_h), do đó độ trễ đầu - cuối tối đa cho phép truyền lại chùng sẽ là:

$$T_{max} = 2*(T_g + N_h*T_p). \quad (1)$$



Hình 1. Cơ chế truyền lại trong mạng OBS

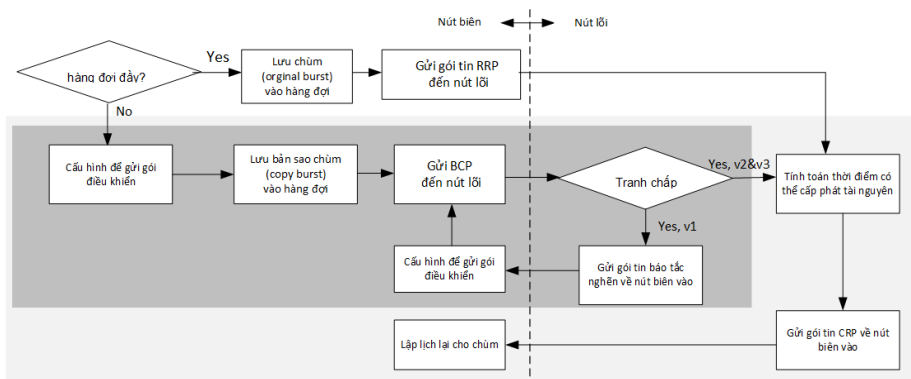
Trên cơ sở kỹ thuật truyền lại chùm được đề xuất bởi A. Maach, G. Bochmann, và H. Mouftah trong [9] hai cải tiến được các tác giả A. Agustí-torra, G. Bochmann, C. Cervelló-pastor, and K. E. Ave đề xuất cho chuyển mạch chùm quang trên mạng hình sao [8].

Cải tiến thứ nhất của các tác giả trong [11] (*Retransmission scheme version 2*) yêu cầu nút lõi phải có khả năng tính toán để lập lịch lại cho chùm bị rơi do tranh chấp tài nguyên. Cụ thể, khi không thể cấp phát tài nguyên cho một chùm nào đó, nút lõi sẽ tính toán thời điểm có thể cấp phát tài nguyên cho việc lập lịch lại đối với chùm bị rơi và gửi thông tin này (Core Reserve Packet) về cho nút biên vào để báo thời điểm thích hợp truyền lại chùm. Đề xuất này rõ ràng không giảm được tranh chấp tài nguyên trong lần truyền chùm đầu tiên nhưng đảm bảo truyền lại chùm thành công cũng như số lần truyền lại chùm sẽ nhỏ hơn hai với điều kiện nút lõi có khả năng lập lịch chùm bị rơi. Trong trường hợp xấu nhất, số lần truyền tối đa là hai lần; điều này sẽ tăng thời gian lưu giữ bản sao chùm trong bộ đệm chùm và tăng số lượng chùm truyền dẫn đến mạng quá tải.

Đối với cải tiến thứ hai (*Retransmission scheme version 3*), nếu bộ đệm tại nút biên vẫn đảm bảo trong ngưỡng cho phép, việc truyền lại sẽ áp dụng cơ chế truyền lại như cải tiến thứ nhất. Ngược lại, nếu bộ đệm tại nút biên vượt quá ngưỡng quy định, nút biên sẽ không thực hiện việc truyền các chùm mới mà sẽ gửi một gói tin điều khiển (Reservation Request Packet - RRP) đến nút lõi và không truyền chùm cho đến khi nút lõi có thể cấp phát tài nguyên cho chùm trong ứng và có gửi gói tin phản hồi (Core Reserve Packet - CRP) về cho nút biên (Hình 2.). Cụ thể, sẽ có hai chế độ truyền lại:

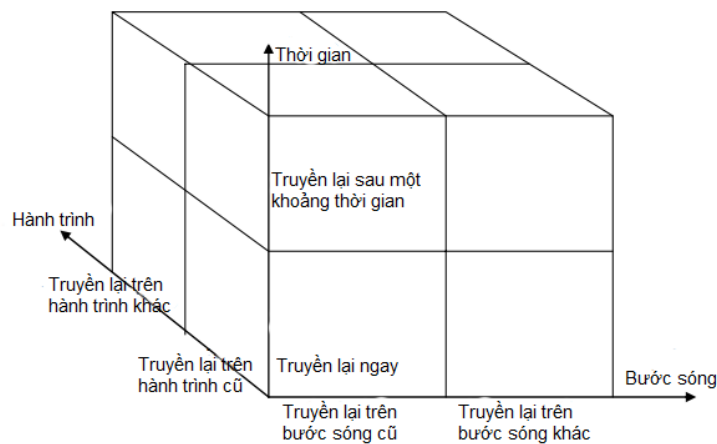
- Chế độ bình thường: Bộ đệm chùm vẫn có khả năng lưu chùm, nút biên sẽ thực hiện truyền lại theo cải tiến thứ nhất;
- Chế độ yêu cầu: Bộ đệm chùm không còn khả năng lưu chùm do vượt quá ngưỡng cho trước, nút biên sẽ yêu cầu nút lõi tính toán thời điểm gửi chùm.

Hai cải tiến được đề xuất trong [11] rõ ràng sẽ làm giảm xác suất mất chùm, tuy nhiên nút biên cần trang bị bộ đệm chứa bản sao chùm đủ lớn cũng như chưa xét đến chi phí tính toán tại nút lõi khi xảy ra mất chùm.



Hình 2. Mô hình truyền lại trong [11]

Các cơ chế trên thực hiện truyền lại chùm trên cùng bước sóng và hành trình được so với chùm gốc (original burst) đã được truyền trước đó. Điều này dẫn đến chùm truyền lại vẫn có thể tiếp tục bị đánh rơi. Ngày nay, với công nghệ WDM (Wavelength-division multiplexing) và DWDM (Dense Wavelength-division multiplexing), một sợi quang có thể chứa hàng trăm kênh bước sóng vì vậy khi truyền lại bản sao của chùm có thể sử dụng bước sóng khác so với bước sóng dùng để truyền chùm gốc. Ngoài ra hành trình cũng như thời gian truyền lại cũng được xem xét khi thực hiện truyền lại bản sao của chùm. Mỗi yếu tố (bước sóng truyền lại, thời gian truyền lại, hành trình truyền lại) sẽ có 2 trạng thái như sau [12]:



Hình 3. Các trường hợp truyền lại dựa vào thời gian, bước sóng, và hành trình truyền lại chùm

Thời gian truyền lại (t):

Truyền lại chùm khi nhận được thông báo (0)

Truyền lại chùm sau một khoảng thời gian (1)

Bước sóng (w):

Truyền lại chùm trên bước sóng cũ (0)

Truyền lại chùm trên bước sóng khác (1)

Hành trình (r):

Truyền lại chùm theo hành trình cũ (0)

Truyền lại chùm theo hành trình khác (1)

Có thể công thức hóa thời gian truyền lại (t), bước sóng (w) và hành trình (r) truyền lại thành các bộ ba (t,w,r) tương ứng, giá trị của t , w , r sẽ mang giá trị 0 hoặc 1 tương ứng với các trường hợp đã nêu trên (Hình 3.). Kết hợp 3 yếu tố này sẽ tạo thành tám (2^3) trường hợp truyền lại.

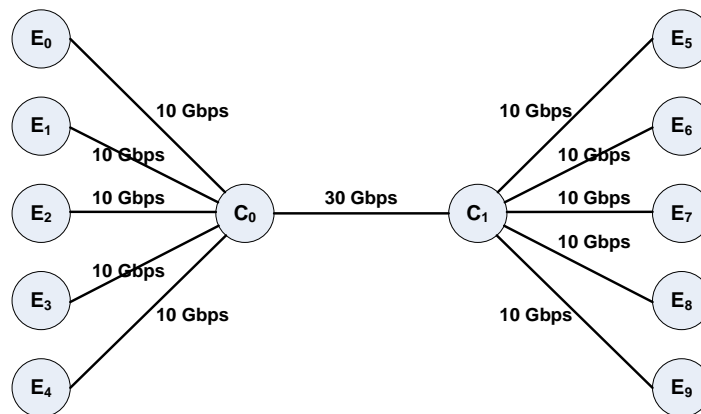
Trong phần tiếp theo, chúng tôi sẽ thực hiện mô phỏng cơ chế truyền lại trong trường hợp: không và có sử dụng dụng cơ chế truyền lại với hai khả năng chuyển đổi bước sóng được xem xét: không, có khả năng chuyển đổi hoàn toàn và xét đến thời điểm truyền lại chùm.

3 Mô phỏng và phân tích kết quả

Để minh chứng tính hiệu quả của cơ chế truyền lại trên mạng chuyển mạch chùm quang tác giả thực hiện cài đặt cơ chế truyền lại, các chùm được truyền lại từ nguồn, với khả năng chuyển đổi bước sóng hoàn toàn và không có khả năng chuyển đổi bước sóng.

Môi trường mô phỏng là phần mềm mô phỏng NS2 với gói NS2-obs0.9a và ngôn ngữ lập trình C++, cài đặt trên máy tính CPU Intel Core i3 CPU 3.6 GHz, 4Gb RAM.

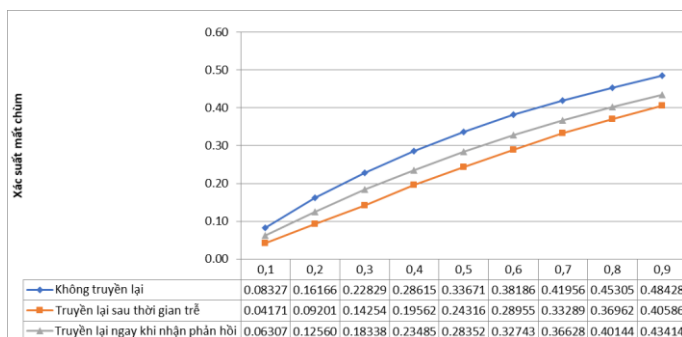
Mạng mô phỏng là một mạng Dumbbell bao gồm 2 nút lõi (C_1 và C_2), mỗi nút lõi kết nối với 5 nút biên ($E_i, i = 0, \dots, 9$) như mô tả ở Hình 4. Giả sử các luồng dữ liệu đến tại các nút biên có phân phối Poisson và các chùm sinh ra có kích thước thay đổi theo hàm số mũ. Mỗi liên kết chỉ có 16 kênh dữ liệu và 4 kênh điều khiển. Băng thông của mỗi kênh từ nút biên đến các nút lõi là 10Gb/s, băng thông giữa 2 nút lõi là 30Gb/s. Mô phỏng được thực hiện với tải lưu lượng chuẩn hóa từ 0.1 đến 0.9.



Hình 4. Mô hình mạng Dumbbell

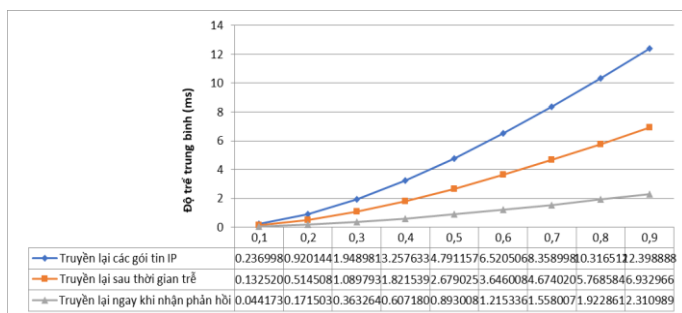
Trong mô phỏng này, thời gian trễ cho việc truyền lại chùm được thiết lập bằng thời gian tối đa cho phép truyền lại chùm: $T_{max} = 2*(T_g + N_h*T_p)$.

Kết quả ở Hình 5 thể hiện một so sánh về xác suất mất chùm khi áp dụng cơ chế truyền lại cho thấy xác suất mất chùm giảm, trong đó cơ chế truyền lại sau thời gian trễ có xác suất mất chùm thấp nhất. Điều này có thể giải thích như sau: Khi tải cao, việc truyền lại ngay thời điểm nhận được thông báo tắc nghẽn có thể càng làm tăng tải dẫn đến mất chùm tiếp tục xảy ra.



Hình 5. So sánh xác suất mất chùm áp dụng cơ chế truyền lại ngay và truyền lại sau một thời gian trễ trường hợp nút lõi không có khả năng chuyển đổi bước sóng

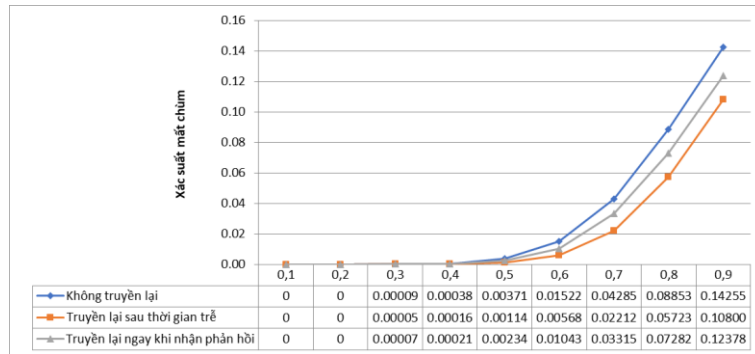
Kết quả thể hiện trong Hình 6 cho thấy độ trễ của các chùm với cơ chế truyền lại sau thời gian trễ cao hơn so với truyền lại khi nhận được gói tin phản hồi. Tuy nhiên khi không áp dụng cơ chế truyền lại, nếu xảy ra việc mất chùm, tầng TCP/IP sẽ phải gửi lại hàng ngàn gói tin IP, đồng thời nút biên vào sẽ thực hiện lại việc tập hợp các gói tin IP này. Điều này sẽ mất nhiều thời gian hơn so với áp dụng cơ chế truyền lại, Do đó độ trễ khi truyền lại sau một thời gian trễ vẫn thấp hơn nhiều so với độ trễ khi phải gửi lại và tập hợp các gói tin IP từ nút biên vào.



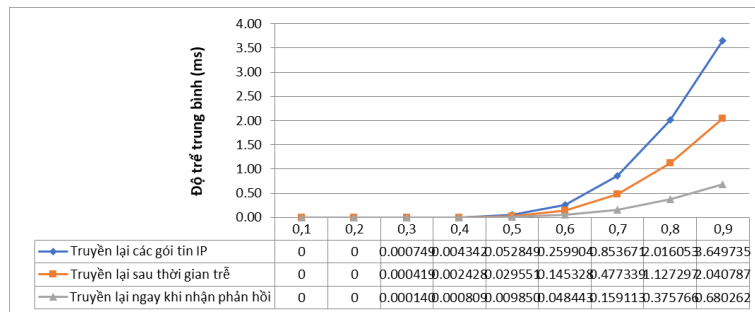
Hình 6. So sánh độ trễ trung bình áp dụng cơ chế truyền lại ở tầng OBS và truyền lại các gói tin IP

Kết quả được thể hiện ở Hình 7 cho thấy khi sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng hoàn toàn tại các nút lõi mạng, xác suất mất chùm giảm. Điều này khẳng định việc sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng làm giảm tắc nghẽn trên mạng rất hiệu quả. Tuy nhiên khi tải tăng, số lượng chùm đến cùng một thời điểm tại một cổng ra sẽ tăng dẫn đến việc mất chùm là không thể tránh khỏi. Vì vậy cần áp dụng cơ chế truyền lại để giảm thiểu mất mát chùm.

Kết quả thể hiện ở Hình 8 cho thấy khi sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng hoàn toàn tại các nút lõi mạng cũng làm giảm đáng kể độ trễ trung bình so với trường hợp nút lõi không được trang bị bộ chuyển đổi bước sóng. Mặc dù độ trễ khi truyền lại sau một thời gian trễ vẫn thấp hơn nhiều so với độ trễ khi phải gửi lại và tập hợp các gói tin IP từ nút biên vào, tuy nhiên vẫn cần xem xét thời điểm truyền lại chùm tối ưu để tăng tỉ lệ chùm truyền lại thành công và giảm độ trễ trung bình do cơ chế truyền lại chùm mang lại.



Hình 7. So sánh xác suất mất chùm áp dụng cơ chế truyền lại ngay và truyền lại sau một thời gian trễ trường hợp nút lỗi có khả năng chuyển đổi bước sóng hoàn toàn.



Hình 8. So sánh độ trễ trung bình khi áp dụng cơ chế truyền lại ở tầng OBS và truyền lại các gói tin IP trường hợp nút lỗi được trang bị bộ chuyển đổi bước sóng hoàn toàn

4 Kết luận

Đóng góp chính của bài báo này là phân tích mô hình truyền lại trước đây, từ đó thực hiện cài đặt mô phỏng một số trường hợp truyền lại để đánh giá hiệu quả của cơ chế truyền lại ở tầng OBS dựa trên xác suất mất chùm, so sánh độ trễ giữa truyền lại ở tầng OBS và truyền lại các gói tin ở tầng TCP/IP. Các kết quả trong bài báo chỉ ra rằng, xác suất mất chùm và độ trễ trung bình sẽ giảm khi có sử dụng cơ chế truyền lại ở tầng OBS. Việc phân tích này nhằm đánh giá sự tác động của truyền lại đối với hiệu năng của mạng chuyển mạch chùm quang từ đó đưa ra các cải tiến cơ chế truyền lại kết hợp giữa tầng OBS và các cơ chế điều khiển ở tầng TCP/IP nhằm tăng hiệu quả của cơ chế truyền lại chùm để tăng hiệu năng của mạng.

Tài liệu tham khảo

1. C. Qiao and M. Yoo, Optical Burst Switching (OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet, *J. High Speed Networks*, vol. 8, no. 716, pp. 69–84, 1999.
2. Y. Shun, B. Mukherjee, and S. Dixit, Advances in photonic packet switching: an overview, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 38, no. 2, pp. 84–94, 2000.

3. C. Qiao and M. Yoo, Choices, Features, and Issues in Optical Burst Switching, *Opt. Networks Mag.*, vol. 1, pp. 36–44, 2000.
4. G. N. Rouskas, Jumpstart: A just-in-time signaling architecture for WDM burst-switched networks, in *LEOS Summer Topical Meeting*, 2002, vol. 2002–Janua, pp. 19–20.
5. J. Y. Wei and R. I. McFarland, Just-in-time signaling for WDM optical burst switching networks, *J. Light. Technol.*, vol. 18, pp. 2019–2037, 2000.
6. A. Rajabi, A. Dadlani, F. Hormozdiari, A. Khonsari, A. Kianrad, and H. S. Razi, Analysis of the impact of wavelength converters on contention resolution in optical burst switching, in *Proceedings - 2nd Asia International Conference on Modelling and Simulation, AMS 2008*, 2008.
7. S. K. Lee, K. Sriram, H. S. Kim, and J. S. Song, Contention-based limited deflection routing protocol in optical burst-switched networks, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 2005.
8. D. Tafani, C. McArdle, and L. P. Barry, A two-moment performance analysis of optical burst switched networks with shared fibre delay lines in a feedback configuration, *Opt. Switch. Netw.*, 2012.
9. A. Maach, G. Bochmann, and H. Mouftah, Robust optical burst switching, *11th Int. Telecommun. Netw. Strateg. Plan. Symp. NETWORKS 2004*, pp. 447–452, 2004.
10. Q. Zhang, V. M. Vokkarane, Y. Wang, and J. P. Jue, Evaluation of burst retransmission in optical burst-switched networks, *2nd Int. Conf. Broadband Networks, BROADNETS 2005*, vol. 2005, pp. 297–303, 2005.
11. A. Agustí-torra, G. Bochmann, C. Cervelló-pastor, and K. E. Ave, Retransmission schemes for Optical Burst Switching over star networks, *Second IFIP Int. Conf. Wirel. Opt. Commun. Networks, 2005. WOCN 2005.*, no. version 1, 2005.
12. P. Zhang, J. Liao, Y. He, Z. Li, and H. Wu, Comparison of retransmission schemes in optical burst switched networks, *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.*, vol. 6784, pp. 1–8, 2007.