

# MỘT MÔ HÌNH KẾT HỢP TRUYỀN LẠI VÀ ĐỊNH TUYẾN LỆCH HƯỚNG CÓ GIỚI HẠN TRONG MẠNG CHUYỂN MẠCH CHÙM QUANG

NGUYỄN HỒNG QUỐC<sup>1,\*</sup>, DƯƠNG PHƯỚC ĐẠT<sup>2</sup>  
LÊ NGUYỄN TẤN LÂN<sup>1</sup>, TRẦN TUẤN NHÃ<sup>1</sup>, NGUYỄN THỊ HỒNG LUYẾN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế

<sup>2</sup>Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

<sup>3</sup>Trường Đại học Nội vụ Hà Nội

\*Email: nguyenhongquoc@dhsphue.edu.vn

**Tóm tắt:** Mạng chuyển mạch chùm quang (OBS) được xem công nghệ chuyển mạch quang hứa hẹn trong tương lai. Nhưng do không có bộ đệm quang tại các nút trung gian vì vậy một trong những vấn đề quan trọng trong mạng OBS là làm sao giảm các chùm bị rơi khi có sự tranh chấp tài nguyên. Đặc biệt, khi lưu lượng tải của mạng cao việc tranh chấp sẽ xảy ra thường xuyên. Hiện nay có nhiều phương pháp giải quyết tranh chấp chùm đã được đề xuất như: sử dụng chuyển đổi bước sóng, sử dụng đường trễ quang FDL, định tuyến lệch hướng hoặc truyền lại chùm. Trong đó định tuyến lệch hướng hoặc truyền lại chùm là hai phương pháp không làm thay đổi hệ thống mạng, có thể tận dụng tài nguyên rỗi trên kết nối ra khác và đang được nghiên cứu rộng rãi hiện nay. Tuy nhiên việc truyền lại chùm hoặc định tuyến lệch hướng không kiểm soát có thể dẫn đến việc tăng số luồng dữ liệu lưu thông, tăng độ trễ truyền thông đầu cuối, tình trạng tranh chấp tăng lên cho các tuyến đường lệch hướng hay các chùm có thể bị lặp vô hạn. Trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất một giải pháp kết hợp giữa truyền lại chùm và định tuyến lệch hướng có giới hạn nhằm tăng hiệu suất sử dụng tài nguyên, giảm xác suất mất chùm và giảm độ trễ truyền thông đầu cuối.

**Từ khóa:** Định tuyến lệch hướng, truyền lại chùm, giải quyết tắc nghẽn, mạng OBS.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nhu cầu truyền thông của con người ngày càng tăng với nhiều loại hình dịch vụ đa dạng, nên đòi hỏi các hệ thống mạng phải có khả năng cung cấp băng thông lớn và truyền được một lượng lớn dữ liệu với tốc độ cao. Mạng truyền dẫn quang, với việc ứng dụng kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng (*Wavelength-Division Multiplexing - WDM*), đã cho phép cung cấp băng thông rộng, tốc độ cao và là một giải pháp cho mạng Internet thế hệ mới. Trong đó phải kể đến là công nghệ chuyển mạch chùm quang (*Optical Burst Switching - OBS*) hiện đang trở thành công nghệ hấp dẫn và đầy hứa hẹn.

Đặc trưng của mạng OBS là gói điều khiển BHP (*Burst Header Packet*) tách rời với phần dữ liệu của nó (*burst*) về mặt không gian và thời gian, tức là gói điều khiển sẽ được gửi đi trước trên một kênh điều khiển, tách rời với kênh dữ liệu và thực hiện đặt trước tài nguyên cho chùm của nó tại các nút lõi mạng. Với cách truyền tải dữ liệu như mô tả, rõ ràng mạng OBS không cần đến các vùng đệm quang để lưu tạm thời các chùm quang

trong khi chờ đợi việc xử lý chuyển mạch tại các nút trung gian (nút lõi), cũng như nó không yêu cầu các chuyển mạch tốc độ nano giây. Tuy nhiên, cách truyền thông này cũng đặt ra áp lực đối với việc làm thế nào để một gói điều khiển BHP đặt trước tài nguyên và cấu hình chuyển mạch thành công tại các nút lõi, đảm bảo cho việc truyền tải chùm quang đi sau đó. Tuy nhiên do sự bùng nổ tự nhiên của mạng truyền dữ liệu và cấu trúc, cách truyền tải của mạng OBS cũng như không có bộ đệm quang tại các nút trung gian nên tắc nghẽn chùm có thể xuất hiện khi hai hoặc nhiều gói điều khiển cố gắng đánh trước cùng một kênh bước sóng ra tại cùng một thời điểm. Vì vậy, vấn đề giải quyết tắc nghẽn chùm là rất quan trọng trong việc giảm bớt mất mát dữ liệu, nâng cao hiệu quả hoạt động của mạng OBS.

Hiện nay có một số phương pháp cơ bản để xử lý tắc nghẽn đã được đề xuất như sử dụng đường trễ sợi quang [13] nhằm trì hoãn thời điểm đến của chùm cho đến khi một kênh bước sóng ra khả dụng để lập lịch cho chùm đó, chuyển đổi bước sóng [7] nếu chùm đến trên một bước sóng bị tắc nghẽn sẽ chuyển đổi qua một bước sóng khác khả dụng ở cổng ra, định tuyến lệch hướng [1] là một phương pháp giải quyết tắc nghẽn bằng cách định tuyến một chùm tranh chấp đến một cổng ra khác so với cổng ra theo dự kiến ban đầu hoặc truyền lại chùm [8,10] việc nút biên truyền bản sao của chùm bị đánh rơi khi có xảy ra tranh chấp tại nút lõi. Trong đó định tuyến lệch hướng hoặc truyền lại chùm là hai phương pháp không làm thay đổi hệ thống mạng, có thể tận dụng tài nguyên rỗi trên kết nối ra khác và đang được nghiên cứu rộng rãi hiện nay. Tuy nhiên việc truyền lại chùm hoặc định tuyến lệch hướng không kiểm soát có thể dẫn đến việc tăng số luồng dữ liệu lưu thông, tăng độ trễ truyền thông đầu cuối, tình trạng tắc nghẽn tăng lên cho các tuyến đường lệch hướng hay có thể các chùm lệch hướng có thể bị lập vô hạn... Bài viết này chúng tôi sẽ đề xuất một mô hình kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng có giới hạn nhằm phát huy những ưu điểm và hạn chế những tồn tại đơn lẻ của hai phương pháp nay nhằm giảm độ trễ truyền thông, giảm xác suất mất chùm, tăng tỉ lệ sử dụng băng thông và nâng cao hiệu năng sử dụng của mạng OBS.

Cấu trúc tiếp theo của bài viết như sau: Phần II trình bày các nghiên cứu liên quan đến các công bố về truyền lại chùm và định tuyến lệch hướng, Phần III mô tả mô hình kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất; Phần IV mô phỏng đánh giá mô hình kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất và Phần V là phần kết luận.

## 2. MỘT SỐ NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Hiện nay có một số hướng tiếp cận về truyền lại và định tuyến lệch hướng đã được đề xuất trong việc giải quyết tắc nghẽn tại các nút lõi mạng, trong đó hướng tiếp cận kết hợp giữa lập lịch, truyền lại và định tuyến lệch hướng đã được xem như một giải pháp làm giảm xác suất mất chùm, giảm độ trễ truyền thông và tăng lưu lượng gửi vào mạng.

Ý tưởng cơ bản của cơ chế truyền lại là cho phép các chùm bị tranh chấp được truyền lại trong lớp OBS. Đã có nhiều tác giả đã đề xuất các mô hình truyền lại và được chia thành hai loại: thụ động/phản ứng (*reactive*) [13,14] và chủ động (*proactive*) [1,8,10]. Trong đó

truyền lại thụ động giảm sát suất mất chùm đáng kể khi tải thấp nhưng khi tải cao 0.8, 0.9 việc thực hiện truyền lại các chùm mất sẽ không còn hiệu quả và có một số trường hợp như chùm gần đến đích nhưng thực hiện truyền lại lúc này hiệu quả không đáng kể.

Đối với định tuyến lệch hướng [1], ý tưởng cơ bản đó là khi chùm đến bị tắc nghẽn tại cổng ra ban đầu, thay vì chùm bị đánh rơi sẽ thực hiện định tuyến đến một cổng ra khác. Ưu điểm của định tuyến lệch hướng là có thể tận dụng tài nguyên rỗi trên kết nối ra khác, đồng thời giảm chi phí đối với các thiết bị phần cứng như trang bị thêm bộ chuyển đổi bước sóng hay đường trễ quang FDL. Tuy nhiên, trong định tuyến lệch hướng, một chùm được lệch hướng sẽ làm đường truyền tới đích dài hơn, dẫn tới tăng độ trễ và giảm chất lượng tín hiệu. Hơn nữa, nó có thể dẫn đến khả năng chùm bị lặp vô hạn trong mạng và có thể dẫn tới tắc nghẽn tiếp theo.

Để tận dụng những ưu điểm của phương pháp truyền lại chùm, định tuyến lệch hướng và khắc phục những tồn tại của hai phương pháp trên một số tác giả [1][2][3][4][5] đã đề xuất một số mô hình kết hợp giữa truyền lại và định tuyến lệch hướng.

Nhóm tác giả trong [1] đã đề xuất mô hình có tên HDR (*Hybrid Deflection Routing*) kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng. Khi xảy ra tranh chấp, sẽ sử dụng phương pháp định tuyến lệch hướng, nếu định tuyến lệch hướng gặp lỗi, kỹ thuật truyền lại chùm sẽ được áp dụng. Cụ thể như sau:

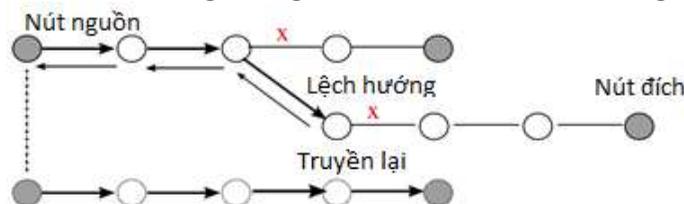
- Khi một chùm dữ liệu (DB) đến tại một nút biên vào, một gói điều khiển (BHP) được gọi trước theo đường đi chính *Shortest Path (SP)*. Trong trường hợp gói BHP đến được nút đích của nó, một gói ACK (*Acknowledged*) được gọi trở lại để thông báo việc truyền tải thành công.

- Trong trường hợp nếu gói điều khiển không dành trước được một bước sóng tại một nút trung gian bị tắc nghẽn, giải thuật sẽ cố gắng tìm đường đi khác phù hợp (với đường đi ngắn nhất thứ hai...), thực hiện lập lịch cho chùm trên cổng ra tìm thấy để đến đích. Khi đến đích, một gói ACK được gọi trở lại nút nguồn để thông báo việc truyền tải thành công.

- Nếu BHP cũng không thể tìm đường đi khác, nó sẽ bị rơi. Trong trường hợp đó, một gói NACK (*Not Acknowledged*) được gọi trở lại nút nguồn để thông báo chùm dữ liệu tương ứng đã bị rơi.

- Chùm có thể được truyền lại mỗi khi gói NACK quay trở lại nút nguồn của nó.

Trong trường hợp như mô tả ở Hình 1, giải thuật HDR sẽ làm tăng độ trễ đường nhưng chùm bị tắc nghẽn được lệch hướng vẫn bị lỗi, buộc phải truyền lại. Do đường truyền lệch hướng đi qua nhiều nút hơn nhưng không thực hiện được dẫn đến tăng độ trễ đáng kể.



Hình 1. Truyền lại kết hợp với định tuyến lệch hướng

Vấn đề này sẽ xảy ra thường xuyên hơn khi lưu lượng mạng tăng lên, dẫn đến hiệu suất của mạng sẽ bị giảm đi đáng kể. Do đó, trong một vài trường hợp thì việc truyền lại chùm ngay lập tức là tốt hơn so với việc lệch hướng nó.

Tác giả [1] đề xuất giải thuật Limited-HDR (*LHDR*) cải tiến giải thuật HDR. Trong giải thuật này, việc lựa chọn giữa lệch hướng và truyền lại được quyết định dựa trên số *hop* của mỗi hành trình. Việc định tuyến lệch hướng sẽ được thực hiện khi chùm đã đi qua hơn một nút và hành trình lệch hướng ngắn hơn hành trình chính; ngược lại, chùm sẽ được truyền lại. Cụ thể như sau:

- Khi một gói điều khiển BHP đến tại một nút lỗi, nó sẽ tìm một bước sóng khả dụng trên kết nối ra mặc định.

- Nếu không có bước sóng khả dụng này, có 2 trường hợp có thể xảy ra:

+ Lệch hướng (*Deflection*): BHP sẽ được gửi đi trên một lộ trình khác có ít nhất một bước sóng khả dụng.

+ Truyền lại (*Retransmission*): BHP sẽ bị loại bỏ, một gói NACK được gửi trở lại nút nguồn.

Giới hạn này cho phép thuật toán LHDR giảm được số trường hợp mà định tuyến lệch hướng buộc phải truyền lại, do đó nó làm tăng ưu điểm của việc kết hợp định tuyến lệch hướng và truyền lại, nhằm cải tiến hiệu năng mạng.

Một giải thuật khác cũng thực hiện kết hợp định tuyến lệch hướng và truyền lại cũng được đề xuất trong [2] [3] - AHDR (*Adaptive Hybrid Deflection and Retransmission*). AHDR quyết định lựa chọn giữa lệch hướng và truyền lại theo cơ chế thích nghi. Trong AHDR, một hàm ngưỡng xác suất thành công (*success probability threshold*) dựa trên giá trị tỉ lệ mất chùm (*Burst Loss Rate -BLR*) và hiệu suất kết nối được sử dụng một cách động (*dynamically*) để quyết định việc lựa chọn giữa lệch hướng và truyền lại, dựa trên thông tin trạng thái mạng. Để có thể có được các thông tin này, giải thuật AHDR sử dụng việc gửi và nhận các gói tin ACK và NACK để thông báo số liệu thống kê hữu ích về các điều kiện mạng được lưu trữ bởi tất cả các nút. AHDR không chỉ sử dụng các gói tin ACK và NACK là chức năng báo tin như giải thuật LHDR, mà còn sử dụng chúng để truyền tải một vài số liệu thống kê về trạng thái các kết nối, sử dụng BLR và hiệu suất mạng được đo trên mỗi kết nối để tính xác suất thành công.

Tác giả trong [4] đề xuất giải thuật CPDR (*Combine probabilistic deflection and retransmission*) nhằm giảm sự lãng phí nguồn tài nguyên và giảm hao phí chùm của giao thức kết hợp lệch hướng và truyền lại tốt hơn so với thuần lệch hướng và truyền lại. Giải thuật CPDR cũng là một phương pháp động như AHDR. Xác suất lệch hướng và truyền lại được xác định căn cứ vào mức độ tắc nghẽn trong mạng. BLP được coi là một chỉ số về tình trạng tắc nghẽn. Các nút tính BLP của các liên kết đi ra dựa trên các gói ACK đã nhận được.

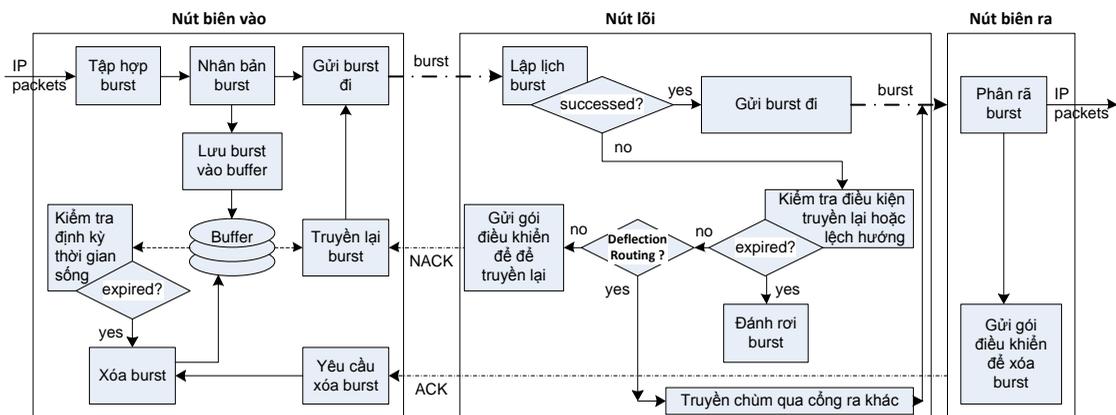
Kết quả ở [3] và [5] cho thấy AHDR hiệu quả hơn phương pháp LHDR khi tải nhỏ hơn 1 Erlang, khi tải bằng 1 Erlang thì BLR của hai phương pháp này tương đương nhau

(khoảng 0,1). Tại tải thấp, AHDR thực hiện lệch hướng nhiều hơn, khi tải cao AHDR giảm số lượng lệch hướng và tăng số lượng truyền lại để giảm BLR. Nhưng số lần truyền lại lớn hơn sẽ gây ra hiệu suất thấp hơn. Như vậy, khi tải cao phương pháp AHDR cũng không đạt tỷ lệ mất chùm tối ưu so với phương pháp LHDR. Trong khi đó, theo kết quả ở [4] cho thấy sử dụng thuật toán CPDR, khi tải nhỏ hơn và bằng 1 Erlang thì BLP gần như bằng 0, khi tải bằng 9 Erlang thì BLP bằng 0,1. Do đó, CPDR khắc phục nhược điểm của AHDR khi tải cao.

Tuy nhiên các công bố đã được trình bày ở trên vẫn còn một số vấn đề chưa giải quyết như chưa tính toán độ trễ truyền lại, *offsetime*, thông lượng truyền thông trên tuyến đường truyền lại và lệch hướng. Việc tính toán lệch hướng dựa trên số nút đi qua chưa tối thiểu, điều này không phù hợp bởi vì một số trường hợp độ trễ truyền thông trên đường lệch hướng lớn hơn thời gian sống của chùm, vì vậy việc thực hiện tính theo độ trễ truyền thông phù hợp hơn. Trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất một mô hình kết hợp truyền lại, định tuyến lệch hướng dựa trên độ trễ truyền thông và lưu lượng mạng trên đường truyền lại và tại công ra trên đường lệch hướng. Các kết quả mô phỏng và phân tích sẽ khẳng định những ưu điểm của mô hình đề xuất này.

### 3. MÔ HÌNH KẾT HỢP TRUYỀN LẠI VÀ ĐỊNH TUYẾN LỆCH HƯỚNG CÓ GIỚI HẠN ĐỀ XUẤT

Xét một mạng OBS có hỗ trợ truyền lại và định tuyến lệch hướng, ở đó nút biên vào chịu trách nhiệm nhân bản chùm đã được tập hợp xong và lưu một bản sao của nó cho mục đích truyền lại, trong khi nút lõi đóng vai trò kiểm soát việc truyền lại và định tuyến lệch hướng khi một chùm đến không thể lập lịch được. Như mô tả ở Hình 2 một chùm sau khi được tập hợp xong sẽ được nhân bản tại nút biên vào: chùm chính sẽ được gửi vào mạng lõi, trong khi chùm nhân bản sẽ được lưu vào buffer để phục vụ cho việc truyền lại.

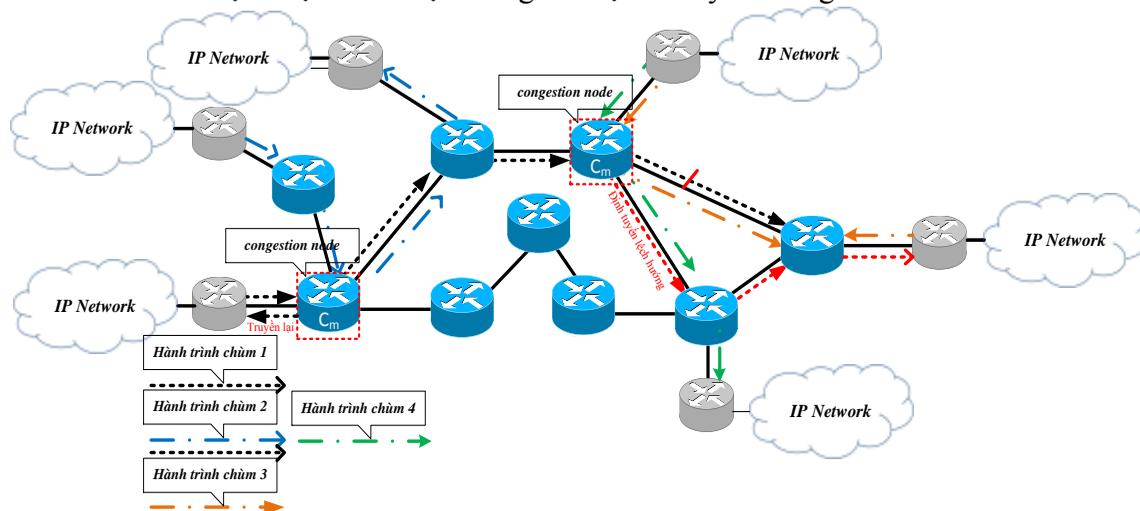


Hình 2. Mô hình kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng có giới hạn

Giả sử nút biên vào được trang bị một bộ đệm đủ lớn để lưu các bản sao của các chùm được hoàn thành, một bản sao sẽ bị xóa khi chùm chính của nó truyền đến đích thành công và một gói điều khiển (ACK) được gửi trả về để yêu cầu thực hiện việc này. Bản sao chùm cũng sẽ bị xóa nếu thời gian sống của nó hết hạn.

Tại nút lỗi (*tính toán lặp lại định kỳ và lưu trữ các đường đi để đảm bảo sự tối ưu cho định tuyến lệch hướng*), một giải thuật lập lịch (chẳng hạn BFVF [7]) sẽ được gọi khi có một chùm đến. Nếu việc lập lịch thành công, chùm sẽ được chuyển tiếp đến nút tiếp theo và điều này được lặp lại tại các nút lỗi tiếp theo cho đến khi chùm đạt đến đích (nút biên ra) của nó. Tuy nhiên, nếu việc lập lịch không thành công, các điều kiện truyền lại hoặc định tuyến lệch hướng sẽ được xem xét đến.

Một chùm sẽ được xem xét truyền lại chùm hoặc định tuyến lệch hướng chùm qua một đường đi khác để đến đích nếu thời gian sống của nó là đủ cho việc truyền lại hoặc có thể định tuyến chùm qua một cổng ra khác cho việc định tuyến lệch hướng và băng thông hiện tại trên các kết nối ra chưa đạt đến mức tắc nghẽn. Nếu trong 2 điều kiện đều thỏa mãn mô hình sẽ lựa chọn điều kiện nào giảm độ trễ truyền thông hơn.



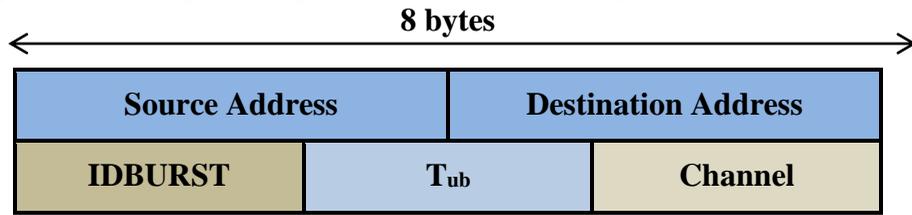
Hình 3. Một trường hợp tắc nghẽn trong mạng chuyển mạch chùm quang

Xét một kết nối đầu cuối đi qua  $n$  chặng với các chùm được truyền trên các hành trình 1, 2, 3 như mô tả Hình 3, giả sử thời gian xử lý tại nút biên lần lượt là  $T_a$  (cho tập hợp chùm) và  $T_{a'}$  (cho phân rã chùm), thời gian chuyển mạch tại mỗi nút lỗi là  $T_s$  và thời gian truyền bá trong mạng quang là  $T_p$ , độ trễ truyền thông đầu cuối tối đa của một chùm là:  $T_{\max\_delay} = 2 \times (T_a + n \times T_s + (n - 1) \times T_p + T_{a'})$ ; thời gian truyền tối thiểu từ nguồn đến đích:  $T_{ub} = T_a + n \times T_s + (n - 1) \times T_p + T_{a'}$ ;

Giả sử một chùm bị tắc nghẽn tại nút  $C_m = (m < n)$  điều kiện để truyền lại của chùm này là độ trễ truyền thông của nó đến đích sau khi truyền lại với thời gian  $T_{ub} + T_{NACK}$  phải nhỏ hơn tổng thời gian sống tối đa,  $T_{\max\_delay}$ , với thời gian để truyền lại gói điều khiển NACK từ nút tắc nghẽn  $m$  về nút nguồn,  $T_{NACK} = m \times T_s + m \times T_p + T_r$ . Với điều kiện để định tuyến lệch hướng chùm qua một cổng ra khác, khi tìm thấy đường đi thứ 2 để truyền chùm đến đích và giả sử số nút đi qua trên đường lệch hướng đến đích là  $m'$ , lúc này thời gian truyền chùm từ nguồn đến đích là  $T_{dr} = T_{ub} + T_{m'}$  (trong đó  $T_{m'} = ((m + m') - n) \times (T_s + T_p)$ ) và thời gian này phải nhỏ hơn  $T_{\max\_delay}$ ; Trong trường

hợp  $T_{NACK} > T_m'$  lúc này mô hình đề xuất sẽ thực hiện định tuyến lệch hướng chùm qua cổng ra khác, với trường hợp ngược lại thực hiện truyền lại chùm từ nút biên vào. Như mô tả ở Hình 2, khi hành trình chùm 1 bị tắc nghẽn tại nút  $C_m$  sẽ thực hiện định tuyến lệch hướng qua đường khác, trong khi nếu tắc nghẽn xảy ra ở nút  $C'_m$  thực hiện truyền lại chùm.

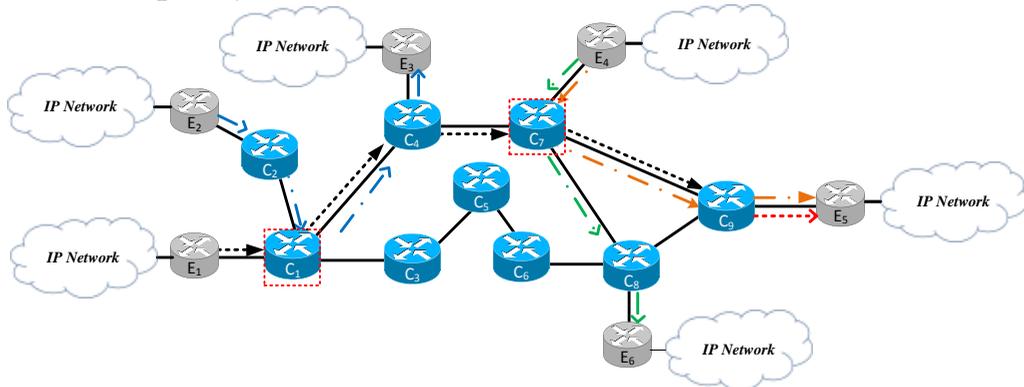
Đối với gói NACK, thông tin mà nó cần mang về gồm ID của chùm cần truyền lại, thời gian sống còn lại của chùm ( $T_{ub}$ ) và kênh truyền chùm. Dựa trên thông tin này, nút biên vào sẽ cập nhật lại thời gian sống mới của chùm được truyền lại như thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Mô tả cấu trúc của gói NACK

Một điều kiện khác cho vấn đề truyền lại hoặc định tuyến lệch hướng là tải hiện tại lưu thông trong mạng không được vượt quá một ngưỡng tối đa của băng thông khả dụng. Như khuyến cáo trong [18], việc truyền lại hoặc định tuyến lệch hướng chỉ phù hợp khi tải chuẩn hoá thấp hơn 0.7 nhằm không làm tăng sự tắc nghẽn mạng hiện tại và cho kết nối lệch hướng. Các cài đặt trong phần sau cũng sẽ dựa trên giá trị ngưỡng này.

Xét một mạng được thể hiện ở Hình 5 có 5 nút biên vào ( $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5$ ) và 9 nút lõi mạng ( $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9$ ), giả sử với các hành trình truyền chùm 1, 2, 3 được gửi từ nút biên vào  $E_1, E_2, E_4$  đến nút biên ra  $E_3, E_5$ , với các thời gian xử lý tương ứng  $T_a = 1.5\mu s, T'_a = 1.5\mu s, T_s = 1\mu s, T_p = 0.5\mu s, T_r = 0.15\mu s$  và xem xét tắc nghẽn xảy ra tại 2 nút lõi  $C_1$  và  $C_7$ .



Hình 5. Một ví dụ về truyền lại và định tuyến lệch hướng có giới hạn

**Trường hợp 1:** Giả sử xét chùm được gửi từ nút  $E_1$  đến nút  $E_5$  bị tắc nghẽn tại nút lõi  $C_1$ . Trong trường hợp này mô hình sẽ tính toán độ trễ cho truyền lại chùm và tính độ trễ trên đường định tuyến lệch hướng chùm bị tắc nghẽn như sau:

$$T_{\max\_delay} = 2 \times (T_a + 4 \times T_s + 3 \times T_p + T_a') = 17\mu s;$$

$$T_{ub} = (T_a + 4 \times T_s + 3 \times T_p + T_a') = 8.5\mu s;$$

$$T_{NACK} = 2 \times T_s + 2 \times T_p + T_r = 3.15\mu s;$$

$$T_{ub} = T_{ub} + T_{NACK} = 11.2\mu s;$$

$$T_{dr} = T_{ub} + T_m' = 8.5\mu s + 3\mu s = 11.5\mu s;$$

Đối với trường hợp này độ trễ truyền lại nhỏ hơn lệch hướng vì vậy mô hình đề xuất thực hiện đánh rơi chùm và truyền lại từ nút biên vào  $E_1$ .

**Trường hợp 2:** Xét chùm được gửi từ nút  $E_1$  đến nút  $E_4$  bị tắc nghẽn tại nút lõi  $C_7$  độ trễ nếu truyền lại hoặc lệch hướng được tính như sau:

$$T_{\max\_delay} = 2 \times (T_a + 4 \times T_s + 3 \times T_p + T_a') = 17\mu s;$$

$$T_{ub} = (T_a + 4 \times T_s + 3 \times T_p + T_a') = 8.5\mu s;$$

$$T_{NACK} = 1 \times T_s + 1 \times T_p + T_r = 1.65\mu s;$$

$$T_{ub} = T_{ub} + T_{NACK} = 10.15\mu s;$$

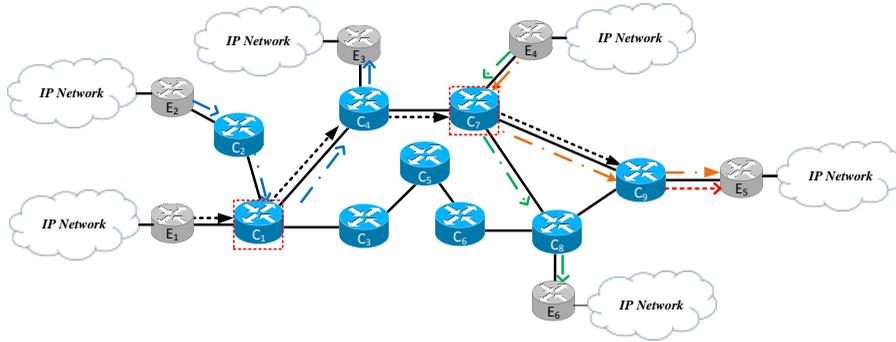
$$T_{dr} = T_{ub} + T_m' = 8.5\mu s + 1.5\mu s = 10\mu s;$$

Đối với trường hợp này độ trễ truyền lại lớn hơn lệch hướng vì vậy mô hình đề xuất thực hiện định tuyến lệch hướng truyền chùm qua nút  $C_8$ .

**Trường hợp 3:** Trong trường hợp độ trễ của truyền lại, định tuyến lệch hướng lớn hơn  $T_{\max\_delay}$  hoặc thông lượng hiện tại lưu thông trong mạng vượt quá một ngưỡng tối đa của băng thông khả dụng, chùm tắc nghẽn sẽ bị đánh rơi.

#### 4. PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

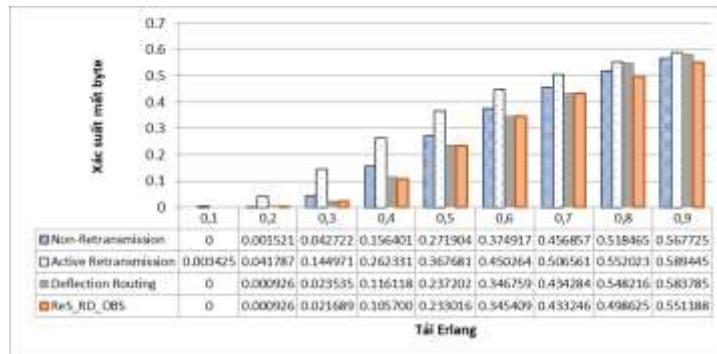
Để chứng minh tính hiệu quả của mô hình bằng thực nghiệm chúng tôi thực hiện cài đặt mô phỏng ReS\_RD\_OBS và so sánh với các mô hình truyền lại đã công bố trước đây dựa trên xác suất mất gói tin (các gói tin được chứa trong các chùm bị mất), độ trễ truyền thông và lưu lượng gửi vào mạng. Môi trường mô phỏng là NS2 với gói mở rộng obs0.9a [15] và phần mềm C++, trên máy tính CPU Intel Core 2 CPU 2.4 GHz, 2G RAM. Mô hình mạng mô phỏng được thực hiện như mô tả ở Hình 6 gồm 5 nút biên ( $E_0, \dots, E_5$ ) và 9 nút lõi ( $C_1, \dots, C_9$ ); Băng thông giữa các nút là 1Gb/s; Các luồng dữ liệu đến tại nút biên có phân phối Poisson với kích thước các gói tin là 512 byte. Tại mỗi nút biên vào ngưỡng tập hợp chùm lai được sử dụng với giá trị ngưỡng độ dài là 150Kb và ngưỡng thời gian 100 $\mu$ s. Mỗi liên kết có 8 kênh dữ liệu và 2 kênh điều khiển. Mô phỏng được thực hiện với tải chuẩn hoá từ 0.1 đến 0.9 và thời gian mô phỏng 20 giây.



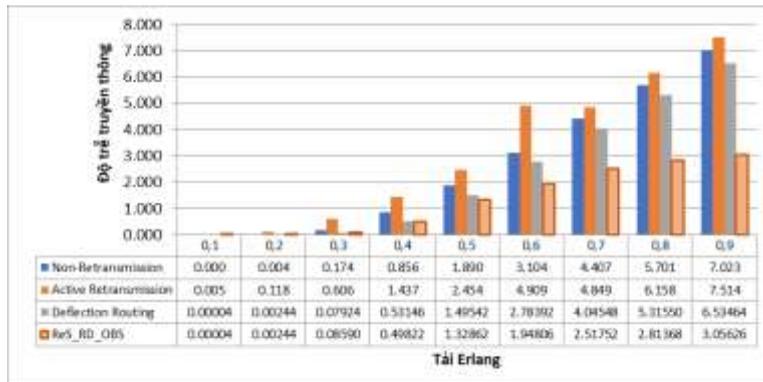
Hình 6. Mô hình mạng mô phỏng

**Mục tiêu mô phỏng bao gồm:**

- So sánh xác suất mất byte giữa các mô hình truyền lại thụ động, định tuyến lệch hướng thuần, lệch hướng kết hợp truyền lại, lệch hướng tính theo số chặng, mô hình kết hợp truyền lại và định tuyến lệch hướng đề xuất;
- So sánh độ trễ truyền thông giữa mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng, mô hình đề xuất;



Hình 7. So sánh xác suất mất byte giữa truyền lại chủ động, truyền lại thụ động, định tuyến lệch hướng và mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất



Hình 8. So sánh độ trễ truyền thông giữa truyền lại chủ động, truyền lại thụ động, định tuyến lệch hướng và mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất

Qua kết quả mô phỏng được thể hiện ở Hình 7 khi so sánh xác suất mất byte giữa không sử dụng truyền lại, truyền lại chủ động và truyền lại thụ động cho thấy đối với truyền lại chủ động làm tắc xác suất mất byte lớn hơn nhiều so với 2 mô hình còn lại bởi vì khi truyền gấp đôi luồng vào nó sẽ là tắc nghẽn tăng thêm cho mạng và nó chỉ phù hợp khi thực hiện truyền theo cơ chế bảo vệ với các chùm ưu tiên trên một liên kết cố định. Trong khi đó với mô hình truyền lại thụ động giảm xác suất mất byte đáng kể khi tải thấp nhưng khi tải cao 0.8, 0.9 việc thực hiện truyền lại các chùm mất sẽ không còn hiệu quả và điều này cho thấy truyền lại thụ động thực sự hiệu quả với tải 0.1 đến tải 0.7. Trong khi đó một so sánh giữa mô hình đề xuất, truyền lại thụ động và định tuyến lệch hướng cho thấy xác suất mất byte của mô hình đề xuất giảm đáng kể ở các tải thấp và ngay cả trên các tải cao, điều này có thể giải thích bởi vì mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất khi chùm đến lập lịch không tìm thấy tài nguyên, lúc này mô hình tính toán băng thông hiện thời để xác định mức độ tắc nghẽn của mạng. Nếu chùm rơi ngẫu nhiên do tính chất lập lịch của mạng OBS sẽ thực hiện truyền lại chùm, ngược lại khi tải cao sẽ loại bỏ chùm và không thực hiện truyền lại nhằm giảm tắc nghẽn của mạng hiện tại. Bên cạnh đó mô hình đề xuất tính toán độ trễ truyền thông giữa truyền lại và định tuyến lệch hướng để đưa ra quyết định với chùm tắc nghẽn.

Một kết quả được thể hiện ở Hình 8 khi so sánh độ trễ truyền thông khi thực hiện truyền lại chủ động, truyền lại thụ động, định tuyến lệch hướng và mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng có giới hạn đề xuất cho thấy khi thực hiện truyền lại hoặc định tuyến lệch hướng sẽ làm giảm độ trễ truyền thông cho mạng bởi vì các gói tin không phải gửi lại từ nguồn và giảm được thời gian tập hợp chùm. Trong đó mô hình truyền lại đề xuất giảm đáng kể so với các mô hình còn lại khi kết hợp một cách có điều kiện nhằm giải quyết được tắc nghẽn trong mạng và giảm được độ trễ truyền thông, nâng cao hiệu quả hoạt động của mạng chuyên mạch chùm quang.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất một mô hình truyền lại kết hợp định tuyến lệch hướng có điều kiện. Qua kết quả thực nghiệm mô phỏng cho thấy mô hình đề xuất giải quyết tắc nghẽn một cách linh hoạt, giảm xác suất mất chùm, giảm được độ trễ truyền thông đầu cuối, nâng cao hiệu năng sử dụng mạng mà không cần thay đổi hệ thống mạng hiện có.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Agustí-Torra, Anna, Gregor V. Bochmann, and Cristina Cervelló-Pastor (2005). *Retransmission schemes for optical burst switching over star networks*". *Second IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks*, 2005. WOCN 2005. IEEE.
- [2] B. Kantarci and S. Oktug (2007). Adaptive threshold based burst assembly in OBS networks. *In Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pages 1419–1422.
- [3] Harb, Hani AM, et al (2017). *A study of the number of wavelengths impact in the optical burst switching core node*. *4th International Conference on Electrical Engineering*,

- Computer Science and Informatics (EECSI)*. IEEE.
- [4] Lee, SuKyoung, et al (2005). Contention-based limited deflection routing protocol in optical burst-switched networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 23.8: 1596-1611.
  - [5] Lévesque, Martin, Halima Elbiaze, and Wael Hosny Fouad Aly (2008). *Adaptive Hybrid Deflection and Retransmission Routing for Optical Burst-Switched Networks*. 2008 IEEE PhotonicsGlobal@ Singapore. IEEE.
  - [6] Lévesque, Martin, Halima Elbiaze, and Wael Hosny Fouad Aly (2009). *Adaptive threshold-based decision for efficient hybrid deflection and retransmission scheme in OBS networks*. *International Conference on Optical Network Design and Modeling*. IEEE.
  - [7] M. F. Hayat, F. Z. Khan, and H. R. van As (2011). *Performance model for an OBS node with a shared wavelength converter pool and an FDL buffer per link.*, 15th International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM), pages 1–6.
  - [8] M. Levesque, H. Elbiaze, and W. H. F. Aly (2008). *Adaptive Hybrid Deflection and Retransmission Routing for Optical Burst-Switched Networks*.
  - [9] M. Levesque, H. Elbiaze, and W. H. F. Aly (2009). *Adaptive threshold-based decision for efficient hybrid deflection and retransmission scheme in OBS networks*.
  - [10] M. Nandi, A. K. Turuk, D. K. Puthal and S. Dutta (2009). *Best Fit Void Filling Algorithm in Optical Burst Switching Networks*, IEEE Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 609-614.
  - [11] M. Thachayani and R. Nakkeeran (2015). *Combined probabilistic deflection and retransmission scheme for loss minimization in OBS networks*, Opt. Switch. Netw., vol. 18, no. P1, pp.51–58.
  - [12] Ngo, Son Hong, and Xiaohong Jiang (2010). *Burst loss probability model for hybrid deflection and retransmission routing in OBS networks*. 2010 IEEE RIVF International Conference on Computing & Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF). IEEE.
  - [13] S. Verma, H. Chaskar, and R. Ravikanth (2000). *Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone*. IEEE Network, 14(6):48–53.
  - [14] S.-H. Ngo and S. Horiguchi (2006). *Hybrid deflection and retransmission routing schemes for OBS networks*, 2006 Workshop on High Performance Switching and Routing. p.6.
  - [15] Thachayani, M., and R. Nakkeeran (2015). *Combined probabilistic deflection and retransmission scheme for loss minimization in OBS networks*. *Optical Switching and Networking* 18 (2015): 51-58.
  - [16] W. Hosny, F. Aly, M. Levesque, and H. Elbiaze (2011). *AHDR Technique for OBS Networks*,” vol. 2, no. 10, pp.1–5.
  - [17] X. Huang, V.M. Vokkarane, and J.P. Jue (2005). *Burst Cloning: A Proactive Scheme to Reduce Data Loss in Optical Burst-Switched Networks*. IEEE ICC, May 2005, pp.1673-1677.
  - [18] X. Y. Zhang and K. Zhang ) 2014). *Study on pre-deflection routing in OBS network based on congestion avoidance*, Appl. Mech. Mater., vol. 556–562, pp. 5863–5868, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.556-562.5863.
  - [19] Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

**Title:** A MODEL OF COMBINED LIMITED BURST RETRANSMISSION AND DEFLECTION ROUTING IN OPTICAL SWITCHING NETWORK

**Abstract:** Optical Burst Switched Network is considered a promising future of optical switching technology. With the feature of no optical buffer at the intermediate nodes, one of the important problems to be solved in the OBS network is to reduce dropped bursts when resource contention occurs. Especially, when the network's load traffic is high, contention will often occur. Currently, there are many methods to resolve burst contention have been proposed such as: using wavelength conversion, using optical delay path FDL, deflection routing or beam retransmission. In which, deflection routing and burst retransmission are two methods that are being studied. These two methods do not change the network system; and can take advantage of free resources on other output ports and . However, uncontrolled beam retransmission or deflection routing can increase the number of traffic flows, increase end-to-end delay, increase contention due to rerouting, or bursts can be duplicated. term. In this study, we propose a solution combining burst retransmission and limited deflection routing to increase resource utilization efficiency, reduce burst loss probability and reduce end-to-end delay.

**Keywords:** Diversion routing, burst retransmission, congestion resolution, OBS, network