

MỞ RỘNG NETWORK SIMULATOR (NS-2) ĐỂ NGHIÊN CỨU MẠNG CHUYỂN MẠCH CHÙM QUANG

ThS. Nguyễn Trường Giang

Khoa Công nghệ Thông tin

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Chuyển mạch chùm quang (OBS) kết hợp ưu điểm của các phương pháp chuyển mạch trước đó và có tiềm năng trở thành kỹ thuật được sử dụng trong mạng xương sống Internet. Phần lớn các nghiên cứu về OBS cho tới nay sử dụng mô phỏng làm công cụ nghiên cứu nhưng các công cụ hiện có hoặc là còn hạn chế về chức năng hoặc là không được phổ biến rộng rãi trong cộng đồng nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất mở rộng NS-2 để mô phỏng phương thức chuyển mạch chùm quang. Ý tưởng bao quát toàn bộ nghiên cứu là mô phỏng lại hoạt động của OBS trong mặt phẳng điều khiển của nó. Chúng tôi định nghĩa mới gói tin điều khiển và xây dựng các nút mạng với tác tử mới để thực hiện việc tạo ra gói tin điều khiển và sắp xếp gói tin. Rất nhiều thí nghiệm đã được tiến hành để kiểm tra kỹ lưỡng tính hợp lệ của gói công cụ mô phỏng. Các kết quả mô phỏng được so sánh với số liệu theo lý thuyết và số liệu từ các công trình đã công bố và chứng tỏ được độ tin cậy của các mô-đun xây dựng mới.

Summary: Optical Burst Switching (OBS) combines advantages of several optical switching methods and it may potentially become the method used in Internet backbone. Majority of studies on OBS to dates are based on simulation but available simulation tools are either limited in functionality or unpublished among research community. In this study, we suggest to develop a simulation package by extending NS-2 to simulate the Optical Burst Switching method. The overall idea of our research is to simulate OBS operations in its control plane. We defined a new packet type to resemble control packets and developed network node modules using new agents for control packet generating and burst scheduling. We performed various experiments to validate thoroughly our simulation package. The numerical results from simulation were compared with ones from mathematical analysis as well as published results. Comparisons prove the validation and reliability of the newly developed simulation package.

1. GIỚI THIỆU

Trong khuôn khổ các mạng IP-over-WDM, mặc dù WDM cung cấp băng thông lớn để hỗ trợ lưu lượng đang tăng rất nhanh của mạng Internet, các phương pháp chuyển mạch đóng một vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ tốt hơn lưu lượng IP. Cho tới nay, một số hướng tiếp cận đã được đề xuất để sử dụng cho chuyển mạch quang, đó là Chuyển mạch kênh quang (OCS) hay là Định tuyến theo bước sóng, Chuyển mạch gói quang (OPS) và Chuyển mạch chùm quang (OBS).

Trong phương pháp Chuyển mạch kênh quang, một kênh thông tin quang, còn gọi là một đường quang, đóng vai trò là một mạch giữa hai nút mạng. Đường quang này phải được thiết đặt trước khi bắt đầu một phiên truyền dẫn mới. Toàn bộ băng thông trên mỗi bước sóng sẽ được sử dụng cho việc truyền dữ liệu giữa hai nút mạng mặc dù chúng không sử dụng hết toàn bộ băng thông này. Thêm vào đó, nếu thời gian truyền dẫn là nhỏ so với khoảng thời gian thiết đặt đường quang thì kênh thông tin đã có lúc bị bỏ phí, hay nói cách khác thì băng thông đã không được sử dụng hiệu quả. Kỹ thuật này do đó không hề hiệu quả đối với lưu lượng IP [1].

Trong cách tiếp cận khác, Chuyển mạch gói quang là một kỹ thuật chuyển mạch hiệu quả để hỗ trợ lưu lượng IP. Trong kỹ thuật này, giai đoạn thiết đặt kênh là không cần thiết. Mỗi gói tin, bao gồm phần chứa dữ liệu và phần tiêu đề, được truyền đi trong miền quang. Tại những nút mạng trung chuyển, các gói tin được lưu trữ, xử lý, rồi chuyển tiếp đến những nút mạng tiếp theo. Tất cả những công đoạn đó đều được thực hiện trong miền quang. Cách tiếp cận của OPS có những ưu điểm về tốc độ truyền dẫn và sự trong suốt của chuyển mạch đối với định dạng và tốc độ dữ liệu [2]. Tuy nhiên, trở ngại mà OPS phải đối mặt là việc khó xử lý dữ liệu trong miền quang và bộ nhớ quang vẫn chưa thực hiện được bởi cho tới giờ việc xử lý tín hiệu quang vẫn chỉ đang ở mức sơ khai [2].

Trên cơ sở xác định được ưu điểm và nhược điểm của hai phương pháp chuyển mạch trên, Chuyển mạch chùm quang kết hợp những mặt tốt của chúng. Nếu so sánh với Chuyển mạch kênh quang thì OBS sử dụng băng thông hiệu quả hơn và không bị trễ do thiết đặt kênh. Cùng lúc đó, việc thực thi OBS cũng xóa bỏ những khó khăn như gặp phải trong Chuyển mạch gói quang và điều đặc biệt là OBS không đòi hỏi sử dụng bộ đệm quang.

Chuyển mạch chùm quang đã mở ra những hướng nghiên cứu mới. Kể từ khi ra đời cho tới nay, một số lượng lớn các đề tài, công trình, bài báo khoa học về chuyển mạch chùm quang đã được công bố. Mặc dù vậy, các nghiên cứu này cho tới nay phần lớn đều sử dụng mô phỏng làm công cụ nghiên cứu do những khó khăn khi xây dựng và áp dụng mô hình toán học vào chuyển mạch chùm quang. Trong khi các công cụ mô phỏng hiện có hoặc là còn nhiều hạn chế hoặc là không được phổ biến rộng rãi trong cộng đồng nghiên cứu thì việc xây dựng một công cụ như vậy là cần thiết trong việc nghiên cứu phương thức chuyển mạch tiên tiến này.

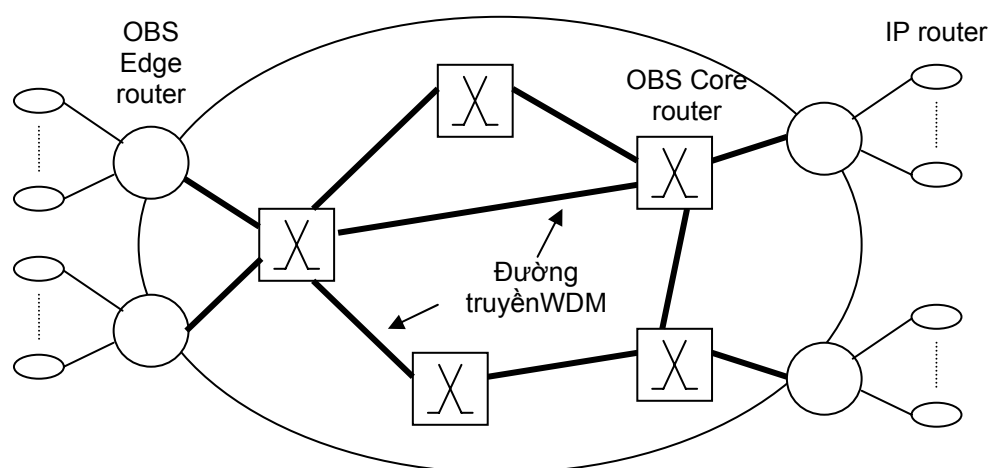
NS-2 là một bộ công cụ mô phỏng mã nguồn mở đã được sử dụng lâu nay để nghiên cứu về mạng truyền thông. Ưu điểm của NS-2 là tính phổ biến và có cộng đồng người sử dụng đông đảo. Không chỉ là một công cụ mô phỏng với các mô-đun được phát triển sẵn, NS-2 còn là một gói công cụ mô phỏng bao gồm nhiều tiện ích có thể kể đến như công cụ tạo lưu lượng, tạo số ngẫu nhiên, công cụ minh họa giao thức mạng, v.v. Sự phong phú và tính mềm dẻo trong thiết kế của NS-2 là gợi ý cho chúng tôi về việc mở rộng NS-2 để hỗ trợ mô phỏng phương thức chuyển mạch chùm quang.

2. MẠNG CHUYỂN MẠCH CHÙM QUANG

Hình 1 trình bày những khái niệm cơ bản nhất của một mạng OBS, bao gồm các nút mạng biên, nút mạng lõi và các đường kết nối sử dụng WDM. Các nút mạng biên tổng hợp nhiều gói tin ở tầng phía trên (ví dụ như các gói IP) thành những gói tin lớn hơn và có độ dài không cố định (gọi là chùm quang – burst). Các gói tin này được chuyển tiếp đến các nút mạng lõi trên các đường truyền WDM. Tại nút mạng lõi, các chùm quang được chuyển mạch hoàn toàn trong miền quang tới các nút mạng lõi khác cho tới khi chúng tới nút mạng biên phía nhận.

Tại đây, các chùm quang được phân rã trở lại thành các gói tin gốc với kích thước nhỏ và đưa tới các bộ định tuyến IP.

Mỗi chùm quang gồm hai phần: phần chứa dữ liệu (Data Burst) và phần chứa tiêu đề (Control Packet) [4]. Các gói tin dữ liệu (DB), được tạo thành bằng cách gộp nhiều gói tin IP, có chiều dài không cố định. Các gói tin dữ liệu và gói tin điều khiển được truyền đi trên những kênh thông tin thuộc các bước sóng khác nhau. Nói cách khác, mạng OBS sử dụng việc báo hiệu ngoài kênh. Thông thường, một kênh bước sóng riêng biệt sẽ được dành ra để truyền các gói tin điều khiển. Trước khi truyền một gói tin dữ liệu, gói tin điều khiển tương ứng với nó sẽ được truyền đi trước vào mạng. Gói tin này khi tới các nút mạng lõi sẽ được chuyển sang miền điện. Thông tin trong gói tin này được dùng để thiết đặt chuyển mạch. Bởi vậy, khi gói tin dữ liệu tới, chuyển mạch đã được thiết đặt sẵn, gói tin được chuyển mạch hoàn toàn trong miền quang mà không cần phải chuyển đổi và xử lý trong miền điện.



Hình 1. Mạng chuyển mạch chùm quang [3]

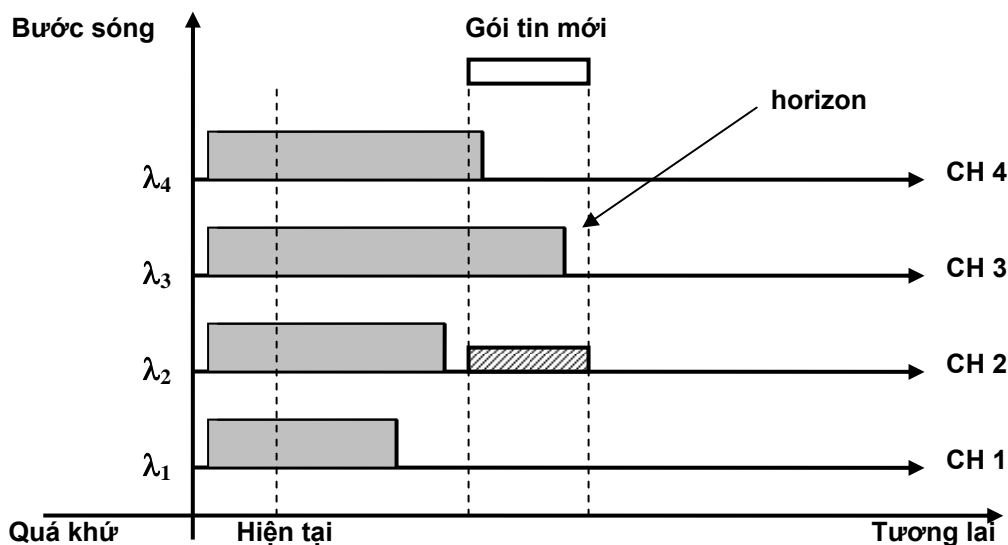
3. VẤN ĐỀ SẮP XẾP GÓI TIN

Phương pháp đặt chỗ một lần có nghĩa là không có gì đảm bảo cho việc sắp xếp thành công gói tin dữ liệu khi nó tới nút mạng lõi. Mất mát gói tin sẽ xảy ra khi mà kênh đầu ra mà gói tin sắp tới mong muốn đang bận truyền một gói tin khác. Trong trường hợp này, việc giảm thiểu mất mát gói tin chính là nhiệm vụ của bộ sắp xếp gói tin tại bộ định tuyến trung tâm.

Việc sắp xếp gói tin phải được thực hiện càng nhanh càng tốt. Trong lúc đó, bộ sắp xếp gói tin phải tìm ra được vị trí phù hợp để xếp được gói tin sao cho băng thông được sử dụng càng hiệu quả càng tốt. Việc có quá ít thời gian cho việc cân nhắc ra quyết định dẫn tới thực tế là bộ sắp xếp gói tin phải ra những quyết định sớm mà có thể vào lúc đó chưa phải là hiệu quả nhất. Mặt khác, việc cố gắng tìm cho ra một vị trí tối ưu để sắp xếp một gói tin nào đó có thể khiến cho bộ sắp xếp gói tin không thể hoàn thành công việc trong khoảng thời gian cho trước. Hệ quả là gói tin bị mất. Việc sắp xếp gói tin với hai ràng buộc như trên khiến cho bài toán sắp xếp gói tin trở nên khó khăn hơn.

3.1 Thuật toán sắp xếp gói tin Horizon

Thuật toán sắp xếp gói tin Horizon [1] hướng tới sự đơn giản. Với mỗi kênh truyền, bộ sắp xếp gói tin chỉ lưu giữ khoảng thời gian sớm nhất mà kênh truyền trở lại trạng thái rảnh, được gọi là một horizon. Khi có được thông tin về thời điểm đến của gói tin dữ liệu bộ sắp xếp gói tin sẽ tìm kiếm toàn bộ các kênh để tìm ra khoảng thời gian rảnh rỗi của từng kênh mà có thể tiếp nhận gói tin. Nếu có nhiều hơn một gói tin được tìm thấy, bộ sắp xếp gói tin Horizon chọn ra một kênh có horizon gần nhất so với thời gian đến của gói tin mới. Nếu khoảng thời gian trống như vậy không được tìm thấy, gói tin sẽ bị bỏ qua.



Hình 2. Thuật toán sắp xếp gói tin Horizon [4]

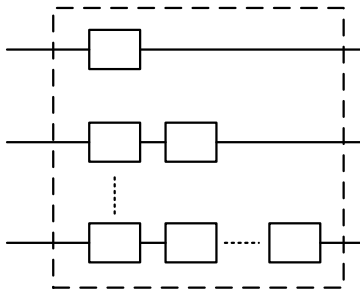
Ưu điểm của thuật toán Horizon là sự đơn giản, thuật toán chỉ lưu giữ thông tin về thời điểm horizon trên mỗi kênh tin do đó quá trình tìm kiếm diễn ra nhanh chóng đồng thời việc cài đặt thuật toán này đòi hỏi ít công sức hơn. Đây là những đặc điểm quan trọng trong môi trường truyền dẫn tốc độ cao [4].

3.2 Thuật toán sắp xếp gói tin HorizonSF sử dụng bộ đệm FDL

Hiệu năng của bộ sắp xếp gói tin Horizon có thể được cải thiện hơn nữa nếu bộ định tuyến lõi mạng OBS sử dụng bộ đệm. Khi tất cả các kênh đầu ra bận tại thời điểm một gói tin dữ liệu tới nút mạng, gói tin sẽ được chuyển mạch sang một vùng lưu trữ và đợi ở đó cho tới khi kênh mong muốn trở lại trạng thái rảnh. Nếu tất cả kênh đầu ra đều bận và mọi vùng lưu trữ đã được sử dụng, gói tin dữ liệu mới đến sẽ bị bỏ đi [7].

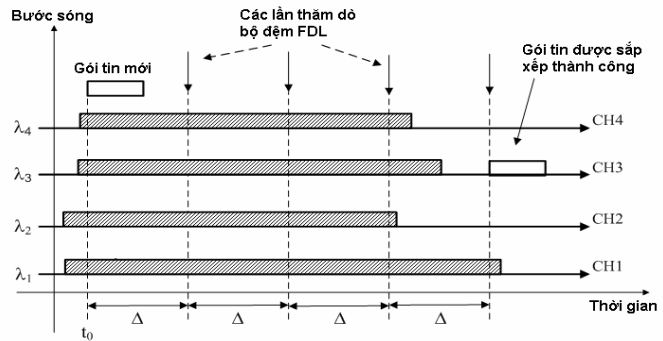
Turner [7] sử dụng mô hình hàng đợi M/M/n/K để nghiên cứu hiệu năng của Chuyển mạch chùm quang sử dụng thuật toán Horizon có bộ đệm với giả thiết rằng bộ đệm quang có thể lưu giữ gói tin bao lâu tùy ý giống như bộ đệm điện. Tuy nhiên giả thiết này là không thực tế. Khả năng duy nhất để lưu giữ gói tin trong miền quang là sử dụng dây quang làm trễ [3]. Khi sử dụng bộ đệm FDL (Fiber Delay Lines) dù là với chức năng đơn giản nhất, hiệu năng của chuyển mạch chùm quang có thể được cải thiện đáng kể [5]. Tuy nhiên, độ dài tối đa của mỗi sợi quang làm trễ bị giới hạn bởi các ràng buộc vật lý tồn tại bên trong sợi quang, chẳng hạn như suy hao, nhiễu xuyên âm, tán sắc, các hiệu ứng phi tuyến...

Bộ đệm quang sử dụng trong OBS là tập hợp các dây sợi quang song song nhau [4]. Hình 3 minh họa cấu hình của một bộ đệm quang. Đoạn trễ ngắn nhất có thể là Δ (đơn vị thời gian), các đoạn dài hơn chứa một số nguyên lần các phần tử làm trễ ($i.\Delta$). Sợi quang dài nhất làm trễ $N.\Delta$ trong đó N là số lượng các sợi làm trễ trong bộ đệm (còn gọi là độ sâu của bộ đệm). Khi WDM được sử dụng trong bộ đệm FDL, mỗi sợi làm trễ có thể chứa W gói tin dữ liệu cùng lúc. Do đó, dung lượng của bộ đệm được tăng lên nhiều lần.



Hình 3.

Bộ đệm sử dụng dây làm trễ



Hình 4.

Thuật toán Horizon có sử dụng bộ đệm FDL

Fiber Delay Line

Khi được sử dụng tại nút mạng lõi OBS, bộ đệm FDL có thể cải thiện đáng kể hiệu năng của bộ định tuyến [5]. Xiong [4] đã đề xuất thuật toán LAUC (Latest Available Unused Channel) để sử dụng bộ đệm dành riêng cho từng cổng đầu ra. Trong phương pháp đó, việc đặt chỗ trong bộ đệm và tại cổng đầu ra là Pre-Res. Ý tưởng của thuật toán cũng giống như Horizon. Thuật toán Horizon sử dụng bộ đệm FDL được mô tả như sau: Nếu như không có kênh đầu ra nào còn trống để xếp gói tin vào thời điểm đến nguyên gốc của gói tin dữ liệu, bộ sắp xếp gói tin sẽ thăm dò bộ đệm FDL một cách tuần tự để kiểm tra xem liệu gói tin xung đột đó có thể được sắp xếp vào một thời điểm làm trễ hay không. Quá trình bắt đầu bằng đơn làm trễ ngắn nhất và tiếp tục thăm dò cho tới khi tất cả các dây làm trễ đã được kiểm tra hoặc một khoảng trống được tìm thấy phụ thuộc vào điều kiện nào đến trước. Việc sử dụng bộ đệm FDL làm tăng đáng kể cơ hội để các gói tin xung đột có thể được sắp xếp thành công. Trong nghiên cứu này, chúng tôi gọi thuật toán đó là HorizonSF (Hình 4).

4. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG OBS DỰA TRÊN NS-2

NS-2 [8] là một bộ mô phỏng mã nguồn mở dành cho các nghiên cứu về mạng truyền thông. Tuy nhiên, không chỉ là một bộ mô phỏng, NS-2 còn là một gói mô phỏng với rất nhiều mô-đun và thư viện phục vụ cho việc mô phỏng sự kiện rời rạc. Một số mô-đun có thể kể tới là: Bộ tạo số ngẫu nhiên, Bộ đặt sự kiện, Hàng đợi, các hỗ trợ về toán học...

Gói mô phỏng của chúng tôi được cài đặt trên cơ sở mở rộng NS-2. Trước tiên, chúng tôi định nghĩa ra một loại gói tin mới. Gói tin này mô phỏng lại gói tin điều khiển trong Chuyển mạch chùm quang, trong đó nó mang theo các thông tin về gói tin dữ liệu tương ứng với nó. Kiểu gói tin mới gồm một số trường thông tin được trích liệt kê dưới đây:

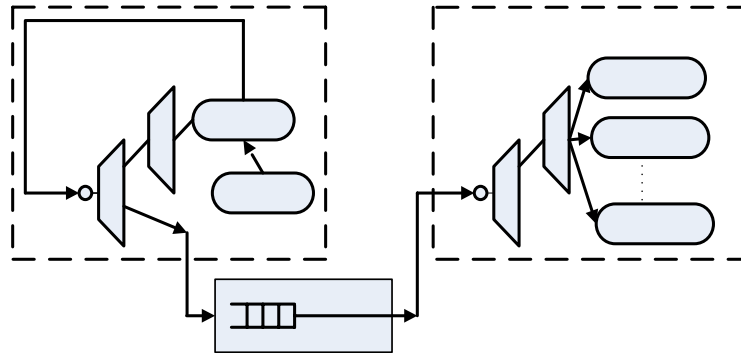
```

struct hdr_cp {
    int lambdaID_; // Số hiệu kênh bước sóng
    int portID_; // Định danh cho cổng
    double offset_time_; // offset-time (giây)
    double B_duration_; // độ dài chùm quang (giây)
    ...
}

```

Tới đây, chúng ta nhớ lại rằng trong mạng OBS, các gói tin điều khiển được truyền đi trong các kênh bước sóng độc lập khỏi các kênh cho gói tin dữ liệu. Tại các nút mạng trung gian, gói tin điều khiển được chuyển ngược lại về miền điện để xử lý và thiết đặt ma trận chuyển mạch quang. Bởi vậy, cấu trúc này của mặt phẳng điều khiển trong mạng OBS gọi cho chúng ta khả năng mô phỏng dùng NS-2.

Dựa vào lập luận ở trên, trong nghiên cứu này, các nút mạng được xây dựng như sau: Nút nguồn chịu trách nhiệm sinh gói tin điều khiển, trong khi đó các nút mạng trung gian mô phỏng hoạt động của bộ sắp xếp gói tin. Đường liên kết các nút mạng này được thực hiện bởi kết nối một chiều (Hình 5).



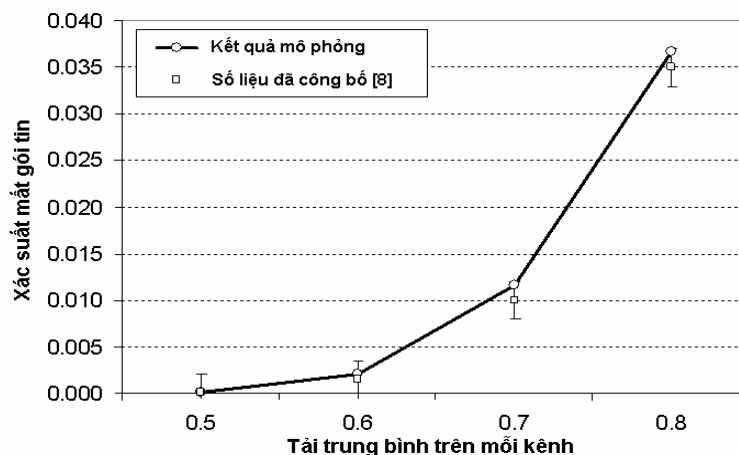
Hình 5. Sơ đồ khối cài đặt các nút mạng trong NS-2

5. MỘT SỐ KẾT QUẢ THU ĐƯỢC VỚI BỘ MÔ PHỎNG

5.1 Kiểm định tính đúng đắn của thuật toán được cài đặt

Trong phần này, chúng tôi tiến hành mô phỏng hoạt động của bộ sắp xếp gói tin Horizon sử dụng các quá trình đến của gói tin điều khiển trong phần trước. Kết quả về xác suất mất gói được tính toán và so sánh với các kết quả đã xuất bản [6]. Bảng sau liệt kê giá trị các tham số được sử dụng trong thí nghiệm này.

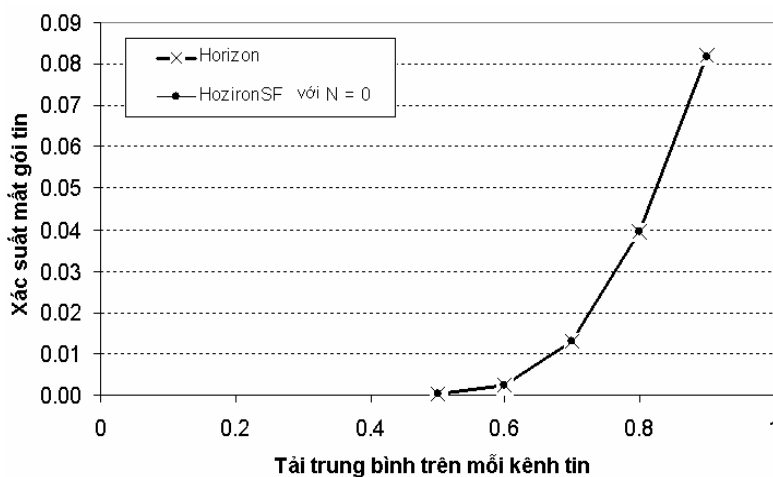
Trong hình 6, các kết quả của Chen [6] được vẽ bởi các hình vuông nhỏ với các giá trị được lấy từ một kết quả nghiên cứu đã được công bố của tác giả (trong đó các vạch ngắn thể hiện sai số trong quá trình đo đạc trực quan). Như đồ thị cho thấy, kết quả mô phỏng của chúng tôi cho thấy một sự phù hợp so với kết quả đã công bố của tác giả Chen. Chúng tôi kết luận rằng bộ tạo lưu lượng và bộ sắp xếp gói tin của chúng tôi cho kết quả đáng tin cậy và có thể sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 6. So sánh kết quả mô phỏng của nghiên cứu (○) với kết quả đã được công bố (△) [6] với phân bố hàm mũ cho thời gian inter-arrival của gói tin điều khiển và độ dài gói tin dữ liệu khi thời gian offset là cố định.

5.2 So sánh HorizonSF (khi bộ sâu bộ đệm bằng không) với Horizon

Trong thí nghiệm này, chúng tôi xác minh lại tính đúng đắn của bộ công cụ mô phỏng mới xây dựng cho thuật toán Horizon khi có sử dụng bộ đệm FDL mà chúng tôi gọi là HorizonSF (Horizon with Shortest First). Kết quả thu được sẽ được dùng để so sánh với các kết quả về xác suất mất gói của bộ sắp xếp gói tin HorizonSF khi độ sâu của bộ đệm N được đặt bằng không (tương ứng với trường hợp không sử dụng bộ đệm).



Hình 7. So sánh xác suất mất gói tin giữa hai bộ sắp xếp gói tin orizonSF (khi độ sâu bộ đệm bằng không) với Horizon.

Từ hình 7, chúng ta thấy rằng có sự trùng khớp giữa các điểm lấy mẫu về xác suất mất gói tin của hai bộ sắp xếp gói tin. Điều này khẳng định rằng bộ sắp xếp gói tin HorizonSF cài đặt trong trong nghiên cứu là tương thích ngược. Do đó, chúng tôi có thể tiếp tục thực hiện những phân tích sâu hơn đối với mô-đun mới được phát triển này và sử dụng nó trong các nghiên cứu tiếp theo.

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất việc mở rộng NS-2 để mô phỏng phương thức chuyển mạch chùm quang. Ý tưởng bao quát toàn bộ nghiên cứu là mô phỏng lại hoạt động của chuyển mạch chùm quang trong mặt phẳng điều khiển của nó. Để làm được như vậy, một gói tin mới đã được định nghĩa nhằm mô phỏng lại gói tin điều khiển trong chuyển mạch chùm quang. Ngoài ra, chúng tôi cũng xây dựng các nút mạng với các tác tử mới nhằm thực hiện việc tạo ra gói tin điều khiển mà sắp xếp gói tin. Việc mô-đun hóa các khối chức năng như vậy giúp cho thiết kế của công cụ trở nên linh hoạt hơn cũng như để mở rộng sau này. Cuối cùng, chúng tôi đã tiến hành các thí nghiệm để kiểm tra kỹ lưỡng tính hợp lệ của phần công cụ mô phỏng được mở rộng từ NS-2. Các kết quả thu được đã được so sánh với số liệu từ lý thuyết và số liệu từ các công trình đã công bố và cho kết quả khả quan về độ tin cậy của các mô-đun xây dựng mới.

Tài liệu tham khảo

1. Qiao, C., (1999), "Optical Burst Switching (OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84.
2. Yao, S., Mukherjee, B. and Dixit, A., (2000), "Advances in Photonic Packet Switching: An Overview," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, pp. 84-94.
3. Battestilli, T., and Perros, H., (2003), "An introduction to optical burst switching," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 8, pp. S10-S15.
4. Xiong, Y., Vanderhoute, M. and Cankaya, H. C., (2000), "Control architecture in optical burst-switched WDM networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 10, pp. 1838-1851.
5. Gauger, C. M., (2003), "Trends in Optical Burst Switching," *Proceedings of SPIE ITCOM 2003*, Orlando.
6. Chen, Y., Qiao, C. and Yu, X., (2004), "Optical burst switching: a new area in optical networking research," *IEEE Network*, vol.18, pp.16-23.
7. Turner, J. S., (1999), "Terabit burst switching," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 3-16.
8. Fall K. and Varadhan K., (2005), "The ns Manual," UC Berkeley, LBNL, USC/ISI, and Xerox PARC, Jan., <URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>>.