

ĐỊNH TUYẾN QoS ĐẢM BẢO THÔNG LƯỢNG VÀ TRỄ SỬ DỤNG THÔNG KÊ DỮ LIỆU MẠNG

Nguyễn Chiến Trinh, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Thu Hằng
Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Tóm tắt: Định tuyến QoS đảm bảo các chỉ tiêu trễ đầu cuối và thông lượng cho các ứng dụng Internet là một trong những giải pháp đảm bảo chất lượng dịch vụ quan trọng, đặc biệt là cho các ứng dụng thời gian thực như đa phương tiện. Trong thời gian gần đây định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ được thống kê và phân tích tại các nút mạng, đã được đề xuất với nhiều ưu thế so với định tuyến truyền thống sử dụng thông tin toàn cục trên Internet. Giải pháp này giảm được quá trình duy trì, giám sát thông tin trên mạng, nâng cao hiệu năng định tuyến. Trong bài báo này đề xuất giải thuật định tuyến QoS đảm bảo thông lượng và trễ (Localized Bandwidth-Delay Constrained QoS Routing - LBDCQR) dựa trên dự báo các tham số QoS của luồng yêu cầu từ dữ liệu thống kê trên mạng, nhằm đảm bảo các chỉ tiêu QoS trong suốt thời gian tồn tại luồng lưu lượng, đồng thời cải thiện hiệu năng định tuyến. Giải thuật LBDCQR đề xuất được kiểm chứng thông qua mô phỏng, khẳng định tính chính xác của quyết định chọn đường và tính hiệu quả định tuyến thông qua tỉ lệ nghẽn luồng.

Từ khóa: Định tuyến QoS, trễ đầu cuối, thông lượng, định tuyến sử dụng thông tin nội bộ, dự báo trễ, dự báo lưu lượng, thống kê dữ liệu mạng.

I. GIỚI THIỆU

Các dịch vụ trên Internet yêu cầu các ràng buộc xác định bằng các chỉ tiêu QoS như băng thông, độ trễ. Giải thuật định tuyến đóng vai trò then chốt để đáp ứng các ràng buộc này bằng cách thỏa mãn chỉ tiêu QoS trên đường định tuyến được chọn khi truyền luồng lưu lượng từ nguồn đến đích. Đảm bảo QoS cho luồng nghĩa là đảm bảo chỉ tiêu QoS không vượt quá ngưỡng cho trước [1]. Do vậy định tuyến QoS về bản chất là tìm đường có đủ tài nguyên đáp ứng các ràng buộc QoS. Với mục tiêu nâng cao hiệu năng mạng truyền thông và đảm bảo chất lượng dịch vụ, đặc biệt là các ứng dụng thời gian thực như đa phương tiện, định tuyến QoS đảm bảo các chỉ tiêu trễ đầu cuối và thông lượng đồng thời là một trong những vấn đề phải giải quyết. Quá trình định tuyến thường bao gồm hai giai đoạn: thu thập thông tin trạng thái mạng tại thời điểm xác định và tìm các thông tin trạng thái cho đường khả dụng đáp ứng yêu cầu QoS. Việc tìm đường khả dụng đáp ứng yêu cầu QoS chủ yếu phụ thuộc vào việc thông tin trạng thái được thu thập, thống kê như thế nào và lưu giữ ở đâu, cũng như các giải

thuật phân tích dữ liệu thu được để đưa ra quyết định chọn đường.

Đảm bảo QoS là một vấn đề truyền thống và nan giải do trên mạng có nhiều loại ứng dụng với các đặc tính lưu lượng khác nhau hoặc tích hợp nhiều loại dịch vụ. Trong các giải pháp định tuyến sử dụng thông tin toàn cục, thông tin trạng thái toàn mạng sử dụng để tính toán định tuyến phải được giám sát tại mỗi nút mạng và phải cập nhật liên tục. Tuy nhiên, do cấu trúc mạng và khả năng sẵn sàng của tài nguyên luôn thay đổi, duy trì giám sát trạng thái mạng chính xác là không thể thực hiện, ngoài ra giải pháp này còn tạo thêm lưu lượng đáng kể cũng như làm phức tạp quá trình xử lý trên mạng. Mặt khác, quyết định định tuyến được tiến hành mà không xem xét đến trạng thái mới nhất của tài nguyên mạng có thể dẫn đến lựa chọn định tuyến trên đường không thỏa mãn các yêu cầu QoS [1]. Do vậy, có thể dẫn đến giảm hiệu năng mạng và các tuyến khác có đủ tài nguyên nhưng lại không được sử dụng.

Khác với các giải pháp định tuyến QoS sử dụng thông tin toàn cục, gần đây các giải pháp định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ [2-4] đã được đề xuất để khắc phục vấn đề phải duy trì và giám sát thông tin trạng thái tại mỗi nút mạng. Tại các nút mạng, các giải thuật định tuyến sử dụng thông tin nội bộ lấy dữ liệu thống kê (thu thập qua quá trình định tuyến, truyền luồng, hay các bản tin kiểm thử) tại nút mạng đó, và từ đó tính toán, đưa ra quyết định định tuyến. Giải thuật định tuyến sử dụng thông tin nội bộ giúp giảm khối lượng tính toán tuyến truyền, giảm thiểu bộ nhớ dành cho các bảng định tuyến, cũng như giảm khối lượng bản tin cập nhật trạng thái định kỳ như trong các giải thuật định tuyến toàn cục truyền thống, đồng thời hỗ trợ việc tính toán tập trung, điều khiển phân tán trên toàn mạng.

Ràng buộc QoS thường là ràng buộc kết nối hoặc ràng buộc đường định tuyến. Ràng buộc kết nối giới hạn sử dụng tài nguyên kết nối khi lựa chọn đường định tuyến, ví dụ như băng thông phải lớn hơn hoặc bằng giá trị xác định cho kết nối trên đường định tuyến khả dụng. Mặt khác, ràng buộc đường định tuyến là tổng hợp các số đo trên toàn bộ đường không được vượt quá một giới hạn, như trễ end-to-end của luồng lưu lượng trên đường định tuyến không được vượt quá giá trị xác định. Vì trễ là ràng buộc đường định tuyến, tìm đường khả dụng sẽ khó khăn hơn so với định tuyến ràng buộc băng thông và là bài toán NP khó.

Trong bài báo này đề xuất giải thuật định tuyến nguồn sử dụng thông tin nội bộ đảm bảo trễ đầu cuối trung bình trên chu kì thời gian tùy ý cho luồng dữ liệu, đạt được độ chính xác cũng như cải thiện hiệu năng định tuyến. Bài báo được bố cục như sau, Phần II giới thiệu các kĩ thuật cơ bản của định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ cũng như thảo

Tác giả liên hệ: Nguyễn Chiến Trinh,

Email: trinhnc@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 04/12/2021, chỉnh sửa: 15/03/2022, chấp nhận đăng: 02/04/2022.

luận các công trình nghiên cứu liên quan. Phương pháp tính trễ đầu cuối và yêu cầu băng thông tuyến truyền áp dụng trong giải thuật định tuyến QoS đề xuất được đưa ra trong Phần III. Giải thuật định tuyến LBDCQR đảm bảo đồng thời trễ end-to-end và băng thông yêu cầu được trình bày trong Phần IV. Các đánh giá thông qua mô phỏng số khẳng định tính hiệu quả và hiệu năng của giải thuật đề xuất được đưa ra trong Phần V. Cuối cùng là Kết luận và các thảo luận.

II. CÁC CÔNG TRÌNH LIÊN QUAN

Tại các nút mạng, các giải thuật định tuyến sử dụng thông tin nội bộ lấy dữ liệu thống kê tại nút mạng đó, và từ đó tính toán, đưa ra quyết định định tuyến. Do đó, quyết định định tuyến chỉ phụ thuộc vào thông tin tại nút mạng. Nút mạng nguồn phải xây dựng và duy trì một tập các tuyến truyền đến các nút đích trên mạng. Khi có một yêu cầu luồng tin đến nút mạng, luồng tin được định tuyến theo một trong các tuyến truyền đã định sẵn trong tập ứng cử. Trên cơ sở nhu cầu QoS (yêu cầu về băng thông, độ trễ ...) của luồng tin, nút mạng xác định tuyến truyền cho luồng tin đó trong tập các tuyến truyền đến nút đích thỏa mãn QoS. Trong trường hợp trên tuyến truyền đã chọn trên không đáp ứng được chất lượng QoS theo yêu cầu, giải thuật sẽ hủy chọn tuyến truyền này, chọn tuyến truyền khác trong tập tuyến truyền tại nút nguồn và quá trình chọn tuyến truyền sẽ lặp lại đến khi chọn xong tuyến. Nếu vẫn không có tuyến truyền nào trong tập đã có sẵn thỏa mãn, giải thuật sẽ loại bỏ luồng tin trên. Do vậy, nút nguồn cố gắng suy luận trạng thái mạng từ các thống kê luồng nội bộ và chọn tuyến truyền từ nguồn đến đích [2-4]. Hai phương pháp chọn đường cơ bản trong định tuyến sử dụng thông tin nội bộ là Proportional Sticky Routing (PSR) [4] và Credit Based Routing (CBR) [5]. Việc chọn đường từ tập các ứng cử đóng vai trò then chốt ảnh hưởng đến hiệu năng định tuyến, và phải tối ưu giữa độ dài tuyến, cân bằng tải, và chỉ tiêu QoS yêu cầu.

Để đảm bảo mức QoS trên mạng, các giải thuật định tuyến QoS đã đề xuất [4-11] thiết lập quá trình định tuyến bao gồm chọn tuyến thích hợp cho mỗi luồng, thiết lập điều khiển chấp nhận (admission control) để kiểm tra tính sẵn sàng của tài nguyên mạng và cuối cùng là dự trữ tài nguyên như băng thông cần thiết trong suốt chu kỳ tồn tại của luồng. Nhiệm vụ chủ yếu của giải thuật định tuyến sử dụng thông tin nội bộ là phân bổ các luồng đến nút trên các tuyến của tập ứng cử. Nút nguồn có thể đánh giá chất lượng tuyến luồng thông qua phản hồi từ các luồng được truyền trước đó và thông tin thống kê tại nút. Do trạng thái mạng thay đổi liên tục, dự đoán chất lượng các tuyến cũng phải thay đổi thích nghi, phản ánh kịp thời chất lượng của tuyến truyền.

Các ứng dụng khác nhau yêu cầu các ràng buộc QoS khác nhau, như trễ đầu cuối, thông lượng hay băng thông cho các luồng lưu lượng đến. Các nghiên cứu định tuyến QoS thường tập trung đảm bảo băng thông QoS hoặc các điều kiện liên quan đến thông lượng [6-9], [11]. Mỗi luồng lưu lượng đến yêu cầu một lượng băng thông sẵn sàng để luồng truyền trên mạng. Nếu lượng băng thông này được đáp ứng và dự trữ trước trên đường định tuyến được chọn, thì luồng được chấp nhận và QoS được đảm bảo. Để kiểm tra và dự trữ băng thông trên tuyến, đồng thời thu thập thông tin cần thiết cho nút nguồn định tuyến, các giải thuật định tuyến QoS đảm bảo thông lượng thường sử dụng các bản tin báo hiệu truyền trên tuyến ứng cử được chọn. Tuy nhiên, dữ liệu về băng thông tại các kết nối của tuyến là

thông tin trạng thái tức thời, và không phản ánh chính xác các thay đổi của tuyến truyền trong khoảng thời gian tiếp theo khi truyền luồng yêu cầu. Ngoài ra, dự trữ trước tài nguyên băng thông thường gây lãng phí tài nguyên, nhất là đối với các luồng có thời gian tồn tại dài.

Đối với các ứng dụng thời gian thực, trễ đầu cuối là một trong những tiêu chí QoS quan trọng nhất. Trễ end-to-end của đường định tuyến xem xét ở đây là trễ trung bình đo trên khoảng thời gian nhất định. Các giải thuật định tuyến đảm bảo trễ end-to-end [9, 10] giải quyết cả hai vấn đề: đảm bảo các ràng buộc trễ đầu cuối trên đường định tuyến và tối ưu định tuyến. Tối ưu định tuyến là tìm đường thỏa mãn các điều kiện QoS đồng thời tối thiểu tỉ lệ nghẽn luồng quan sát trên nút nguồn. Khi một luồng dữ liệu đến, một tuyến truyền được lựa chọn từ tập ứng cử theo tiêu chí nhất định của giải thuật, ví dụ giá trị trung bình của trễ đầu cuối thấp nhất sẽ được chọn [10], hay tuyến có tỉ lệ nghẽn luồng thấp nhất được chọn [9]. Giá trị thống kê đánh giá tuyến được xem như là thước đo của chất lượng tuyến truyền và là tiêu chí chọn đường từ tập các tuyến ứng cử.

Để kiểm tra ràng buộc trễ QoS của tuyến được chọn, định tuyến QoS [4-11] sử dụng bản tin kiểm tra đo trễ QoS trên tuyến. Bản tin được truyền qua tất cả các nút của tuyến và cập nhật thông tin QoS tuyến được chọn, sau đó phản hồi về nút nguồn. Do vậy, có thể thấy tuyến được chọn chỉ được đánh giá dựa trên giá trị trễ tức thời được đo bằng bản tin kiểm tra, không phản ánh được giá trị trễ trung bình mong muốn của tuyến trên toàn bộ khoảng thời gian tồn tại của luồng. Đồng thời do sự thay đổi liên tục của trạng thái mạng, trễ tức thời đo được không thể phản ánh chính xác trễ end-to-end trong khoảng thời gian tiếp theo khi chấp nhận truyền luồng yêu cầu. Việc sử dụng bản tin kiểm tra trong quá trình định tuyến cũng làm tăng thêm lưu lượng dư thừa trên mạng. Giải thuật đề xuất trong [12] sử dụng phương pháp dự báo trễ end-to-end trung bình trong chu kỳ độ dài bất kỳ sẽ giải quyết vấn đề còn tồn tại này, đảm bảo độ chính xác khi tiến hành kiểm tra ràng buộc QoS và không làm tăng thêm lưu lượng mạng, nâng cao được hiệu năng của định tuyến QoS.

Trong bài báo này, tiếp tục phát triển phương pháp dự báo tham số QoS của tuyến truyền [12], áp dụng cho giải thuật định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ, dựa trên thống kê và phân tích dữ liệu mạng. Các tác giả đề xuất giải thuật đảm bảo đồng thời cả tham số trễ lẫn thông lượng yêu cầu đồng thời, không cần dự trữ tài nguyên băng thông mà vẫn đảm bảo thông lượng yêu cầu với tính chính xác cao của quyết định định tuyến, và cải thiện hiệu năng định tuyến QoS.

III. DỰ BÁO CÁC THAM SỐ QoS CỦA ĐƯỜNG ĐỊNH TUYẾN

Với mục tiêu đảm bảo các tham số QoS cho luồng lưu lượng, cơ sở của giải thuật định tuyến QoS LBDCQR, trong phần này thiết lập bài toán kiểm soát và dự báo trễ end-to-end và thông lượng cho các tuyến truyền trên mạng. Phương pháp dự báo trễ end-to-end trung bình cho luồng lưu lượng yêu cầu sử dụng phương pháp đường bao được đề xuất trong [12].

A. Dự báo trễ đầu cuối trung bình

Trễ là tiêu chí QoS ràng buộc đường định tuyến, được đặc trưng bởi giới hạn tổng trễ trên tuyến. Phương pháp dự báo trễ end-to-end trung bình cho luồng lưu lượng yêu cầu sử dụng phương pháp đường bao được đề xuất trong [12].

Xét trên một đường định tuyến có L liên kết giữa hai nút mạng đầu S_S và nút mạng cuối S_D và các nút mạng (hop) trung gian S_l , với $(l=1, \dots, L-1)$. Như vậy trễ đầu cuối D_i của gói tin i xét tại thời điểm bất kì của tuyến được tính bằng

$$D_i = \sum_{p=1}^{L-1} D_i^p + D_p \quad (1)$$

Trong đó D_i^p là trễ tại nút S_l , D_p là trễ truyền lan của gói tin trên tuyến.

Phương thức dự báo trễ chỉ sử dụng các thông tin thống kê, thu thập tại nút nguồn. Xem xét luồng dữ liệu bao gồm các gói tin được đánh số thứ tự $i=0,1,2,\dots$. Tại thời điểm xem xét t , gói tin cuối cùng đã đến đích là n . Giả sử dòng gói tin trên tuyến xác định có độ dài đủ lớn $n > MK$, thiết lập M các nhóm liên tiếp bao gồm K gói tin, bắt đầu từ gói tin $n-MK$, trên mỗi nhóm lấy giá trị trễ lớn nhất của nhóm

$$Dmax_m = \max_{n-(M-m)K \leq i \leq n-(M-m+1)K} D_i \text{ với } m=1,2,\dots \quad (2)$$

Trễ cực đại $Dmax_m$ trong nhóm K gói tin liên tiếp là giá trị trễ lớn nhất từ K mẫu của cùng phân bố trễ đầu cuối D_i , tạo thành hàm đường bao của trễ đầu cuối. Giả sử các biến ngẫu nhiên D_i không phụ thuộc, xuất phát từ lý thuyết giá trị vượt trội hàm phân bố của $Dmax_m$ ($m=1,2,\dots$) có thể được biểu diễn qua hàm phân bố F của D_i như sau [6]:

$$F_{max}(x) = F^K(x) \quad (3)$$

Và nếu có được phân bố của $Dmax_m$ có thể suy ngược lại hàm phân bố D_i ,

$$F(x) = [F_{max}(x)]^{1/K} \quad (4)$$

Các số đo thống kê và phân tích cũng chỉ ra rằng trễ đầu cuối D_i có các đặc tính phụ thuộc chủ yếu vào thành phần trễ hàng đợi, là biến ngẫu nhiên có phân bố được ước lượng tương đối chính xác bằng các hàm heavy-tailed như Gamma, Weibull, Pareto, ... [13,14]. Từ [18] cho kết quả ước lượng $Dmax_m$ bằng phân bố Gumbel, và cho phép tìm được đặc tính của giá trị cực đại mà không cần mô hình hóa hay thống kê để biết được phân bố biến ngẫu nhiên trễ gói tin D_i . Do vậy, có thể biểu diễn hàm phân bố $Dmax_m$

$$F_{max}(x) = P[Dmax_m < x] = e^{-e^{-(x-\mu)/\beta}} \quad (5)$$

Trong đó tham số μ (location) và β (scale) liên hệ với giá trị trung bình và độ lệch chuẩn như sau

$$E[Dmax_m] = \mu + \lambda\beta, \quad (6)$$

$\lambda \approx 0.5772$ là hằng số Euler-Mascheroni

$$\sigma = \frac{\beta\pi}{\sqrt{6}} \quad (7)$$

Như vậy để xác định hàm phân bố $F(x)$ của D_i , chỉ cần ước tính các tham số μ và β từ giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của $Dmax_m$, xác định $F_{max}(x)$ và áp dụng (4). Các tham số này sẽ được dự báo cho từng nhóm K gói tin trong từng khoảng thời gian tiếp theo sử dụng các số liệu thống kê trễ đầu cuối thu thập từ các mẫu trong quá khứ tại các nút mạng đầu cuối.

Dự báo các tham số của một biến ngẫu nhiên dựa trên các mẫu có thể sử dụng kỹ thuật dự báo tuyến tính đơn giản với độ phức tạp tính toán không lớn, đảm bảo tính khả thi và tính thời gian thực khi áp dụng trên mạng [21]. Tại thời điểm t , từ M mẫu trễ cực đại đầu cuối đã được thu thập từ M nhóm gói tin trong quá khứ $Dmax_m$ ($m=1,2,\dots,M$), chúng ta sẽ ước lượng các tham số của biến trễ cực đại

$Dmax_{M+1}$ cho nhóm K gói tin tiếp theo. Trước hết tính giá trị trung bình thống kê của $Dmax_m$

$$\bar{Dmax} = \frac{\sum_{j=1}^M Dmax_j}{M} \quad (8)$$

Thiết lập hàm số tương quan của $Dmax_m$

$$Cor(i) = E[Dmax_j Dmax_{j+i}] \text{ với } j=1,2,\dots,M-i. \quad (9)$$

Với $E[\cdot]$ là hàm lấy giá trị trung bình của biến ngẫu nhiên. Hàm tương quan có thể được ước lượng từ các mẫu của $Dmax_m$ như sau

$$Cor(i) = \frac{\sum_{j=1}^{M-i} Dmax_j Dmax_{j+i}}{M-i} \quad (10)$$

Giá trị trung bình của $Dmax_{M+1}$ có thể được tính bằng

$$\hat{Dmax}_{M+1} = \bar{Dmax} + \Gamma_2 \Gamma_1^{-1} \Psi \quad (11)$$

Trong đó

$$\Gamma_2 = [\gamma_{1,M}, \gamma_{2,M}, \dots, \gamma_{M,M}];$$

Γ_1 là ma trận $M \times M$ có các phần tử $\gamma_{i,j}$;

$$\Psi = [Dmax_M - \bar{Dmax}, Dmax_{M-1} - \bar{Dmax}, \dots, Dmax_1 - \bar{Dmax}]^T$$

$$\gamma_{i,j} = Cor(i-j) - (\bar{Dmax})^2$$

Phương sai lỗi của ước lượng giá trị trung bình $\hat{Dmax}_{M+1}$ cũng chính là phương sai của biến ngẫu nhiên $Dmax_{M+1}$

$$\hat{\sigma}^2_{max_{M+1}} = \sigma^2_{max} + \Gamma_2 \Gamma_1^{-1} \Gamma_3 \quad (12)$$

Trong đó

$$\sigma^2_{max} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [Dmax_i - \bar{Dmax}]^2$$

$$\Gamma_3 = [\gamma_{M,1}, \gamma_{M,2}, \dots, \gamma_{M,M}]^T$$

Trên cơ sở ước lượng đường bao trễ và xác định phân bố trễ đầu cuối cho một tuyến bất kì dựa trên số liệu trễ thống kê tại tuyến, các tham số trễ của tuyến được dự báo như sau. Giả sử tại thời điểm t xuất hiện yêu cầu định tuyến cho một luồng lưu lượng có độ dài bất kì. Chia luồng lưu lượng thành các đoạn có độ dài K gói tin và dự báo trễ đầu cuối trung bình cũng như jitter cho từng đoạn dữ liệu này:

- Thống kê KM mẫu trễ đầu cuối trước thời điểm t cho tuyến đường ứng viên từ nút mạng nguồn S_S đến nút mạng cuối S_D ;
- Từ MK mẫu trễ đầu cuối lấy M mẫu trễ cực đại trong mỗi nhóm K gói tin liên tiếp $Dmax_m$;
- Đối với tuyến xem xét p , dự báo giá trị trung bình và phương sai trễ cực đại $Dmax_{M+1}$ của K gói tin tiếp theo;
- Xác định phân bố $Dmax_{M+1}$ theo (5) với các tham số được tính từ (6) và (7);
- Ước lượng phân bố trễ đầu cuối D_i của K gói tin của đoạn dữ liệu yêu cầu (4);
- Ước lượng các tham số trễ cơ bản của đoạn dữ liệu yêu cầu

1) Giá trị trễ trung bình:

$$E[D_i] = \int_0^\infty x dF(x) \quad (13)$$

2) Độ lệch chuẩn của trễ đầu cuối:

$$(E[D_i^2] - E^2[D_i])^{1/2} = (\int_0^\infty x^2 dF(x) - E^2[D_i])^{1/2} \quad (14)$$

3) Tỷ lệ trễ vượt ngưỡng D_{QoS} cho trước:

$$P[D_i > D_{QoS}] = 1 - F(D_{QoS}) \quad (15)$$

Độ phức tạp tính toán của giải thuật ước lượng trễ được quyết định bởi các giải thuật dự báo tuyến tính tham số trễ cực đại, phụ thuộc vào số lượng mẫu dự báo M , do vậy có bậc là $O(M^2)$.

B. Dự báo xác suất đảm bảo thông lượng tuyến truyền

Định tuyến QoS đảm bảo thông lượng là định tuyến ràng buộc liên kết, mỗi nút mạng trên tuyến lựa chọn phải kiểm tra liên kết của nó có đủ tài nguyên băng thông để hỗ trợ yêu cầu kết nối luồng yêu cầu hay không. Xét trên một đường định tuyến có L liên kết giữa hai nút mạng đầu S_s và nút mạng cuối S_D và các nút mạng (hop) trung gian S_l , với $(l=1, \dots, L-1)$. Tại nút S_l xét lưu lượng đến liên kết trên tuyến đã chọn trong khoảng thời gian $[s, s+I_k]$ là $A[s, s+I_k]$, tốc độ dữ liệu lưu lượng trên liên kết tương ứng là $A[s, s+I_k]/I_k$. Bộ tốc độ dữ liệu cực đại trên độ dài thời gian I_k là $R_k = \max_s A[s, s+I_k]/I_k$. Tốc độ dữ liệu R_k giới hạn tốc độ luồng trên I_k được xét như đường bao tốc độ cực đại đặc trưng cho lưu lượng của liên kết. Phương pháp thống kê dữ liệu đo đường bao tốc độ lưu lượng và đánh giá tính bùng nổ của lưu lượng trên liên kết, từ đó phân tích khả năng đáp ứng yêu cầu băng thông của luồng mới trên liên kết.

Xét khe thời gian đo tốc độ nhỏ nhất $\tau = I_1$, định nghĩa $a_t = A[t\tau, (t+1)\tau]$ là dữ liệu đến tại khe thời gian t , đường bao tốc độ cực đại trên T khe thời gian gần nhất tính từ thời điểm t là

$$R_k^1 = \frac{1}{k\tau} \max_{t-T+k\tau \leq s \leq t} \sum_{u=s-k+1}^s a_u \quad (16)$$

Với $k=1, 2, \dots, T$. R_k^1 biểu diễn tốc độ dữ liệu đo trên độ dài $I_k = k\tau$ trong khoảng thời gian $T\tau$ gần nhất. Mỗi T khe thời gian sẽ được sử dụng như cửa sổ để đo đường bao tốc độ R_k^n tại cửa sổ thứ n trong quá khứ, $k=1, 2, \dots, T$ và $n=2, 3, \dots, N$.

Giá trị trung bình và phương sai của biến ngẫu nhiên đường bao tốc độ R_k ước lượng trên N cửa sổ độ dài T gần nhất có thể được xác định như sau

$$\bar{R}_k = \sum_n R_k^n / N \quad (17)$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (R_k^n - \bar{R}_k)^2 \quad (18)$$

Dựa trên lý thuyết giá trị vượt trội [18], tương tự như các phân tích đối với đường bao trễ $D_{max,m}$, phân bố Gumbel (dạng phân bố công thức (5)) có thể được sử dụng để ước lượng tốc độ đỉnh của phần lớn các loại lưu lượng, bao gồm log-normal, Gamma, Gaussian, Pareto, ... và phù hợp với bản chất của mô hình lưu lượng Internet [15-17]. Trong đó các tham số location và scale của R_k liên hệ với giá trị trung bình và độ lệch chuẩn bằng (6) và (7).

Như vậy để xác định hàm phân bố đường bao tốc độ R_k chỉ cần ước tính các tham số giá trị trung bình và độ lệch chuẩn từ thống kê dữ liệu tốc độ lưu lượng tại N cửa sổ đo trong quá khứ. Các tham số này cũng sẽ được dự đoán cho đường bao tốc độ $\bar{R}_k$ trong khoảng thời gian tiếp theo độ dài T khe thời gian từ thời điểm hiện tại, sử dụng kỹ thuật dự báo tuyến tính [21], với cách tính toán tương tự như (9)-

(15) trong III.A. Độ phức tạp tính toán của giải thuật ước lượng tốc độ được quyết định bởi các giải thuật dự báo tuyến tính tham số, phụ thuộc vào số lượng mẫu dự báo N , do vậy có bậc là $O(N^2)$.

Giả sử tại thời điểm t xuất hiện yêu cầu định tuyến một luồng lưu lượng có độ dài T , băng thông R_{QoS} giữa hai nút mạng S_s và S_D . Tại liên kết l dung lượng băng thông C của nút mạng trung gian S_l trên đường định tuyến dự kiến, xét khả năng nút mạng có đủ tài nguyên đáp ứng băng thông yêu cầu hay không. Giả sử, tại thời điểm t hàng đợi trong bộ đệm kích thước B của liên kết là băng thông B_t , như vậy băng thông còn lại của liên kết xét trong khoảng thời gian T khe thời gian tại t sẽ là $\frac{B-B_t}{T} + C$. Với lưu lượng trên liên kết được giới hạn bởi đường bao tốc độ $\bar{R}_k$, yêu cầu băng thông R_{QoS} sẽ được chấp nhận và không gây tắc nghẽn (mất gói) nếu

$$\max_{k=1,2,\dots,T} (\bar{R}_k + R_{QoS} - \frac{B-B_t}{k\tau}) \leq C \quad (19)$$

Xác suất yêu cầu được chấp nhận, hoặc đủ băng thông cho yêu cầu được đáp ứng tại S_l sẽ là

$$P(l) = P[\max_{k=1,2,\dots,T} (\bar{R}_k + R_{QoS} - \frac{B-B_t}{k\tau}) \leq C] \quad (20)$$

Áp dụng lý thuyết phương sai lớn (large deviation theory) [22] có thể ước lượng $P(l)$ bằng

$$P(l) = \max_{k=1,2,\dots,T} P[\bar{R}_k - \frac{B-B_t}{k\tau} \leq C - R_{QoS}] \quad (21)$$

Tính tin cậy của đường định tuyến $P(path)$ được chọn đáp ứng yêu cầu băng thông do vậy có thể xác định thông qua xác suất $P(l)$ trên toàn bộ L liên kết

$$P(path) = \prod_{l=1}^L P(l) \quad (22)$$

IV. GIẢI THUẬT ĐỊNH TUYẾN LBDCQR

Mục tiêu của giải thuật LBDCQR là đảm bảo trễ QoS end-to-end từ khía cạnh người sử dụng và đồng thời tối ưu độ tin cậy đảm bảo băng thông yêu cầu, giảm thiểu ngân sách trong điều kiện không dự trữ trước tài nguyên trên liên kết. LBDCQR là giải thuật định tuyến nguồn, nút nguồn sẽ tính toán lựa chọn tuyến đường khả thi nhất có thể đáp ứng các điều kiện QoS của luồng. Tuy nhiên, quá trình tính toán định tuyến cũng được phân tán tại các nút mạng trung gian trên các đường ứng viên. Định tuyến phân tán hiệu quả hơn định tuyến tập trung, tuy nhiên đòi hỏi bổ sung các quá trình tập hợp dữ liệu mạng. Dựa trên các thông tin trạng thái thu thập được tại nút mạng, LBDCQR tiến hành dự báo trễ end-to-end trung bình và tính tin cậy của tuyến đảm bảo băng thông trên khoảng thời gian tồn tại của luồng yêu cầu (phần III) để quyết định lựa chọn tuyến truyền.

Tập đường truyền ứng cử: Cũng như tất cả các giải thuật định tuyến sử dụng thông tin nội bộ, tại mỗi nút nguồn LBDCQR phải duy trì một tập các đường ứng cử cho mỗi cặp nguồn-đích. Phương pháp chọn các đường ứng cử có thể sử dụng như áp dụng cách thông thường trong CBR và các giải thuật khác [5-9]. Tập ứng cử giữa cặp nguồn-đích thường bao gồm các tuyến có độ dài tuyến nhỏ nhất $minhop$ và $(minhop+1)$.

Chọn đường định tuyến đảm bảo tham số trễ end-to-end: Trước tiên trễ trung bình end-to-end trên mỗi tuyến ứng cử (Phần III.A.) được sử dụng như tiêu chí cho quá trình lựa chọn tuyến. Mỗi khi có yêu cầu luồng mới đến, các tuyến đường với trễ end-to-end trung bình dự báo nhỏ

hơn trễ yêu cầu sẽ được chọn để tiếp tục đánh giá khả năng đáp ứng băng thông. Như vậy, trễ end-to-end trung bình dự báo được sử dụng như tiêu chí chất lượng lựa chọn ứng cử đáp ứng tham số QoS, đảm bảo được tính chính xác cho luồng khi truyền trong thời gian tiếp theo, khác với các phương pháp trước đây [9,10], chỉ có thể sử dụng các tham số trễ quá khứ được đo bằng các gói thử nghiệm, để đánh giá, lựa chọn, và kiểm tra đường định tuyến [12]. Quá trình chọn tuyến đảm bảo trễ chỉ sử dụng dữ liệu trễ end-to-end thu thập và dự báo tại nút nguồn.

Thu thập thông tin đường định tuyến đảm bảo thông lượng: Trên cơ sở đã lọc được tập tuyến truyền ứng cử thỏa mãn yêu cầu trễ end-to-end, LBDCQR tiếp tục quá trình chọn đường đáp ứng tiêu chí đảm bảo thông lượng của tuyến dựa trên xác suất đảm bảo băng thông của tuyến (Phần III.B.). Trước hết, nút nguồn sẽ gửi bản tin *LBDCQR-Setup* đến tất cả các nút trên tuyến truyền ứng cử từ nút nguồn S_S đến nút đích S_D . Bản tin *Setup* chứa thông tin về băng thông R_{QoS} yêu cầu cho luồng mới. Các nút trung gian trung gian S_l , với $(l=1, \dots, L-1)$, trên tuyến truyền liên tục duy trì, cập nhật dữ liệu thống kê đường bao tốc độ trên liên kết và trạng thái liên kết nội tại nút để tiến hành phân tích dự báo xác suất đảm bảo băng thông yêu cầu $P(l)$ của liên kết. Các nút trung gian sau đó thông báo xác suất đảm bảo băng thông yêu cầu gửi ngược lại cho nút nguồn thông qua bản tin *LBDCQR-Notification*. Như vậy, giải thuật đề xuất sử dụng các bản tin định tuyến hỗ trợ thu thập thông tin trạng thái mạng cho nút nguồn trong quá trình chọn đường.

Định tuyến nguồn đảm bảo trễ và tối ưu thông lượng: Tại nút nguồn, LBDCQR tính toán xác suất đảm bảo băng thông yêu cầu cho toàn tuyến truyền $P(path)$ bằng (22) cho tất cả các tuyến ứng cử. LBDCQR sử dụng tiêu chí chọn đường đảm bảo băng thông yêu cầu bằng xác suất cao nhất trong các tuyến ứng cử, từ đó đảm bảo tuyến được chọn là khả thi nhất để đảm bảo băng thông yêu cầu, do đó cũng đảm bảo khả năng nghẽn luồng có thể xảy ra là thấp nhất. Như vậy, tuyến được chọn là tuyến đáp ứng đồng thời trễ end-to-end trung bình, và đảm bảo thông lượng với độ tin cậy cao nhất.

Giải thuật định tuyến QoS đảm bảo đồng thời cả trễ lẫn thông lượng do vậy không yêu cầu phải đo và dự trữ trước băng thông cho các liên kết tại nút mạng trung gian. Yêu cầu truyền luồng lưu lượng sẽ bị chỉ bị chối bỏ nếu giá trị trễ trung bình dự báo trên tất cả các tuyến ứng cử đều không thỏa mãn giá trị trễ QoS yêu cầu. Tỷ lệ yêu cầu luồng bị chối bỏ thường được gọi là tỷ lệ nghẽn luồng (Flow Blocking Probability). Và do vậy, giải thuật định tuyến QoS đề xuất loại bỏ được tác động của tài nguyên băng thông trong tỷ lệ nghẽn luồng, và đạt được hiệu năng cao hơn so với các giải thuật định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ truyền thống [5-11].

V. MÔ PHÒNG VÀ ĐÁNH GIÁ

A. Mô hình mô phỏng kiểm thử

Để khảo sát hoạt động của giải pháp đề xuất mô phỏng thử nghiệm được tiến hành trên mô hình tuyến p điển hình bao gồm 5 liên kết kết nối với nhau theo thứ tự từ 1 đến 5 (Link 1 đến Link 5) tạo thành đường định tuyến p từ nguồn (Source) tới đích (Destination). Mô hình mạng và đường định tuyến giả lập trên cơ sở mạng thực tiễn bao gồm 3 phần mạng truy nhập, mạng MAN và mạng lõi. Để khảo sát giải thuật định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ tập

tuyến truyền ứng cử bao gồm 10 tuyến có cùng đặc tính liên kết và lưu lượng. Các tham số sử dụng trên mỗi liên kết được đưa ra trong Bảng 1. Tương ứng với mỗi liên kết, ấn định bộ đệm sao cho trễ hàng đợi tối đa trên liên kết không vượt quá 100ms, đủ lớn để đảm bảo tỉ lệ mất gói và tránh tắc nghẽn. Trên tuyến p lấy tổng thành phần trễ truyền dẫn và truyền lan tại mỗi nút mạng trung gian là 4ms, tương đương tổng trễ truyền dẫn và truyền lan của cả tuyến là 24ms.

Bảng 1. Tham số liên kết mạng mô phỏng

	Dung lượng (Gbps)	Mô hình lưu lượng	Tải (%)
Liên kết 1 và 5	10	ON-OFF, $H=0,85$	83,93
Liên kết 2 và 4	80	ON-OFF, $H=0,85$	78,68
Liên kết 3	480	ON-OFF, $H=0,85$	65,57

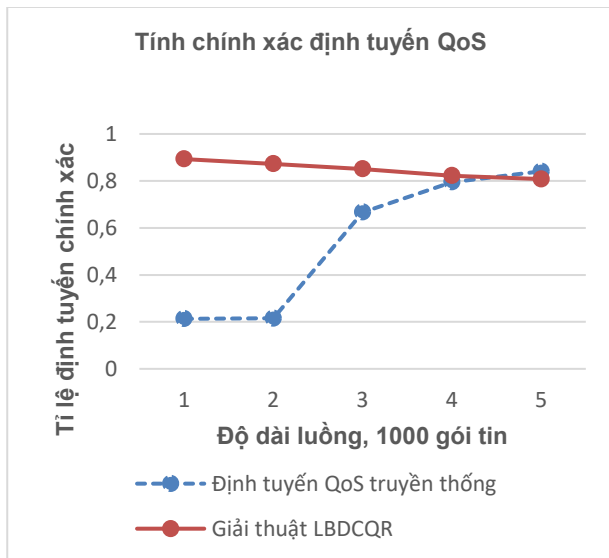
Lưu lượng sử dụng trong mô phỏng được xây dựng dựa trên các phân tích và đo lường lưu lượng mạng Internet thực tế. Lưu lượng mạng hỗn tạp bao gồm 8 lớp lưu lượng phân biệt, tại mỗi nút các gói tin được xử lý theo cơ chế phân biệt dịch vụ (DiffServ). Lưu lượng trên mỗi lớp được tạo thành bằng cách tổng hợp một số nguồn lưu lượng mô hình ON-OFF. Trong chu kỳ ON, các gói tin được tạo ra để đạt tốc độ lưu lượng 1 Gbps; trong chu kỳ OFF, không có gói tin nào được truyền đi. Để đơn giản hóa tính toán mà không làm mất đặc tính thống kê của lưu lượng, cũng như không ảnh hưởng đến hoạt động của giải thuật định tuyến, có thể sử dụng các gói có độ dài cố định. Trong trường hợp thử nghiệm này, chọn độ dài gói tin 500 byte. Đối với các lớp lưu lượng có đặc tính bùng nổ có phân bố Pareto tham số hình dạng (shape parameter) được chọn bằng 1.3, tương ứng với tham số Hurst đặc trưng cho tính bùng nổ của dòng lưu lượng bằng 0.85. Các tham số sử dụng trong mô hình lưu lượng này như phân bố và độ dài các chu kỳ ON, OFF được tham khảo từ các giá trị thống kê lưu lượng mạng Internet thực tiễn, đã được sử dụng trong các nghiên cứu mô hình hóa lưu lượng [15-17]. Mô phỏng được tiến hành với tải trọng khác nhau trên mỗi liên kết, nhằm thử nghiệm hoạt động của giải pháp đề xuất với các điều kiện mạng đặc trưng. Tải của các lớp lưu lượng trên mỗi liên kết được tạo ra bằng cách ấn định số lượng của lưu lượng nguồn ON-OFF trong từng lớp lưu lượng của liên kết.

B. Đánh giá tính chính xác đảm bảo tham số QoS của giải thuật LBDCQR

Đánh giá tính chính xác quyết định chọn đường của LBDCQR được thực hiện dựa trên đánh giá tỉ lệ đảm bảo các tham số QoS trễ và thông lượng trên tuyến được chọn. Tuyến truyền được chọn phải đáp ứng yêu cầu QoS cả về trễ đầu cuối lẫn băng thông cho trước, trong trường hợp thử nghiệm là $D_{QoS} = 100ms$, $R_{QoS} = 50Mbps$. Với mục đích đánh giá hiệu năng định tuyến QoS, giải thuật định tuyến đề xuất LBDCQR cũng được so sánh với giải thuật định tuyến QoS đảm bảo trễ end-to-end và thông lượng truyền thống sử dụng các bản tin kiểm tra và dự trữ tài nguyên băng thông [9,10]. Với các giải thuật này, tại thời điểm t , nút nguồn sử dụng trễ và băng thông liên kết tức thời đo được thông qua bản tin thử nghiệm. Do độ trễ gửi

và nhận gói tin qua mạng, gói tin thử nghiệm phải được gửi trước thời điểm xem xét t một khoảng thời gian xấp xỉ RTT của mạng. Trong trường hợp này, trễ gói tin thử nghiệm được lấy bằng 160ms. Phương pháp định tuyến đảm bảo trễ đầu cuối và thông lượng được đánh giá qua tỉ lệ định tuyến thành công, tức là tỉ lệ quyết định định tuyến đúng của giải thuật định tuyến QoS, dựa trên trễ đầu cuối và thông lượng thực tế có đáp ứng được yêu cầu trễ trên tuyến đường đã được chọn hay không (Hình 1).

Kết quả cho thấy giải thuật định tuyến đề xuất LBDCQR đạt hiệu năng định tuyến hơn hẳn so với phương pháp truyền thống sử dụng bản tin đo trễ và thông lượng. Đặc biệt đối với định tuyến cho các luồng dữ liệu ngắn. Nguyên nhân xuất phát từ độ trễ của gói tin thử nghiệm (bằng RTT của mạng) khi được sử dụng để đo hiện trạng tức thời mạng. Độ trễ này càng lớn so với độ dài luồng dữ liệu yêu cầu thì sai lệch khi đưa ra quyết định định tuyến cũng càng lớn. Từ đó có thể thấy hạn chế của phương pháp đo lường khi định tuyến với các luồng thời gian tồn tại ngắn, và được khắc phục bởi phương pháp định tuyến đề xuất dựa trên ước lượng trễ đầu cuối. Có thể thấy độ chính xác của phương pháp dự báo LBDCQR giảm đi khi tăng độ dài đoạn dữ liệu, do bị ảnh hưởng của dự báo thông lượng của LBDCQR chỉ thực hiện trên xác suất đảm bảo băng thông xác định. Còn đối với giải thuật định tuyến QoS truyền thống sử dụng thông tin nội bộ thông báo và dự trữ trước băng thông cho tuyến, nên quyết định chọn đường không bị tác động bởi tham số thông lượng. Tuy nhiên giải pháp đề xuất vẫn đạt được độ tin cậy cao và khắc phục nhược điểm không cần dự trữ trước tài nguyên, đảm bảo sử dụng băng thông hiệu quả hơn. Giải thuật LBDCQR vì vậy đảm bảo khả năng thích nghi với các độ dài luồng bất kỳ, và sự thay đổi trạng thái mạng.

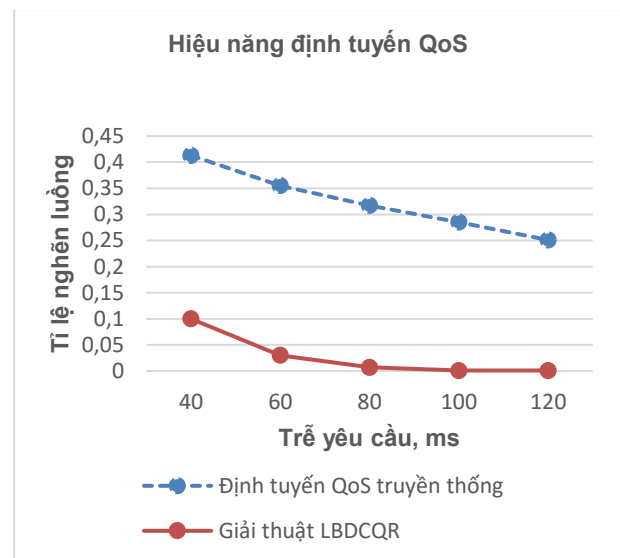


Hình 1. Tính chính xác quyết định định tuyến của giải thuật LBDCQR.

A. Đánh giá hiệu năng định tuyến thông qua tỉ lệ nghẽn luồng

Một trong những tham số đánh giá hiệu năng định tuyến QoS cơ bản là tỉ lệ nghẽn luồng. Để tính toán xác suất nghẽn luồng, có thể sử dụng cách tính toán trực tiếp bằng tỉ lệ số lần luồng bị từ chối trên tổng số lần luồng yêu cầu tuyến truyền đến nút nguồn trong một khoảng thời gian tương đối dài, với số lượng luồng tin lớn. Các tham số QoS được thiết lập trong thử nghiệm là $R_{QoS} = 50Mbps$ và

D_{QoS} thay đổi từ 40ms đến 120ms để đánh giá tác động của yêu cầu luồng đến khả năng chọn đường của LBDCQR. Kết quả tỉ lệ nghẽn luồng của giải thuật đề xuất cũng được so sánh với giải thuật truyền thống đảm bảo đồng thời trễ và thông lượng sử dụng phương pháp đo kiểm thử các tham số QoS bằng các bản tin báo hiệu [9] (Hình 2.). Có thể thấy tỉ lệ nghẽn luồng của LBDCQR tốt hơn hẳn [9], cũng như so với các giải thuật định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ truyền thống khác [4-11]. Do việc tìm đường từ tập tuyến ứng cử của LBDCQR không bị ảnh hưởng của giới hạn băng thông phải cung cấp hay dự trữ cho tuyến truyền. Điều này dẫn đến tỉ lệ nghẽn luồng của LBDCQR chỉ phụ thuộc vào việc tìm được đường định tuyến thỏa mãn yêu cầu trễ end-to-end hay không. Ưu thế đạt được về tỉ lệ nghẽn luồng của LBDCQR vì vậy càng rõ nét khi tải lưu lượng trên các liên kết cao. Do LBDCQR chỉ đảm bảo đáp ứng thông lượng cho luồng yêu cầu với xác suất nhất định, nên sẽ có thể xuất hiện các quyết định định tuyến sai, tuy nhiên LBDCQR vẫn đạt được độ tin cậy khá cao như đã chỉ ra trong V.B. Ngoài tỉ lệ nghẽn luồng, tiêu chí chọn đường đảm bảo thông lượng của LBDCQR còn cho phép không phải dự trữ tài nguyên băng thông, làm tăng hiệu năng mạng trên tổng thể.



Hình 2. Tỉ lệ nghẽn luồng của giải thuật LBDCQR.

VI. KẾT LUẬN

Trong bài báo này các tác giả đề xuất giải thuật định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ LBDCQR. Điểm mới quan trọng trong giải thuật đề xuất là áp dụng phương pháp dự báo trễ đầu cuối và xác suất đáp ứng thông lượng sử dụng phân tích phân bố cũng như các tham số của giá trị trễ và tốc độ lưu lượng cực đại. Phương pháp cho phép tính toán các tham số trễ và thông lượng thích nghi cho bất cứ luồng lưu lượng với độ dài linh hoạt, đảm bảo tính chính xác cũng như độ phức tạp giải thuật, và do đó có khả năng ứng dụng trên mạng Internet thực tế. Giải thuật LBDCQR là cơ sở để thực hiện các giải pháp đảm bảo QoS theo yêu cầu cho các ứng dụng, đặc biệt là các ứng dụng đa phương tiện, đòi hỏi đáp ứng nghiêm ngặt các chỉ tiêu về thông lượng, thời gian truyền dẫn, bao gồm cả trễ trung bình, biến thiên trễ, hay tỉ lệ trễ vượt giới hạn, trong các khoảng thời gian yêu cầu khác nhau. Giải pháp đề xuất cho phép xác định trước các tham số QoS của luồng dữ liệu mà không cần xem xét đến lưu lượng hay hiện trạng mạng, khắc phục được một trong những tồn tại của các giải thuật định tuyến QoS truyền thống. Đồng thời, LBDCQR cũng cho phép

đảm bảo thông lượng của tuyến truyền với độ tin cậy mà không cần dự trữ trước bằng thông cho tuyến, tăng hiệu quả sử dụng tài nguyên mạng. Đề xuất định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ LBDCQR phù hợp với các mô hình định tuyến tập trung và định tuyến end-to-end theo xu thế của mạng thế hệ mới, như công nghệ SDN, MPLS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. E. Marilly, et al., "Service level agreements: a main challenge for next generations networks," 2nd European Conference on Universal Multiservice Networks. ECUMN'2001, pp. 297-304.
- [2]. S. Nelakuditi, et al., "On localized control in QoS routing," Automatic Control, IEEE Transactions on., vol. 47 (2002), pp. 1026-1034.
- [3]. S. Nelakuditi, Z. L. Zhang, R. Tsang and D. Du, "On selection of candidate paths for proportional routing," Computer networks, vol. 44 (2004), pp. 79-102.
- [4]. S. Nelakuditi, Z. L. Zhang, R. Tsang and D. Du, "Adaptive Proportional Routing: a Localized QoS Routing Approach", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 10 (2002), pp. 790-804.
- [5]. S. Alabbad, M. E. Woodward, "Localized Credit Based Routing: Performance Evaluation Using Simulation", *Proc. of IEEE 39th Annual Simulation Symposium*, Huntsville, AL, USA (2006).
- [6]. T. A. Al Ghamdi and M. E. Woodward, "Novel localized QoS routing algorithms," in *Proc. IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications*, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2009, pp. 199-204.
- [7]. T. A. Al Ghamdi and M. E. Woodward, "Novel algorithms for QoS localized routing in communication networks," in *Proc. First Asian Himalayas International Conference on Internet*, Kathmandu, Nepal, Nov. 2009, pp. 1-7.
- [8]. F. M. Aldosari, "Localized QoS Routing Based on Links Blocking Probability," in *Proc. 11th International Conference on Information Technology: New Generations* (2014), pp. 207-213.
- [9]. Minh Anh Tran, Chien Trinh Nguyen, "A new localized multi-constraint QoS routing algorithm". *Journal of Research, Development on Information and Communications Technology*, Vietnam Ministry of Information and Communications Technology, Volume E-3, Number 14, Sep. 2017, pp. 34-44.
- [10]. F. M. Aldosari and F. Alradady, "Localized QoS Routing with End-to-End Delay Guarantees," in *Proc. International Conference on Information Technology: New Generations*, Las Vegas, NV, April 2013, pp. 464-472.
- [11]. F. M. Aldosari, M. E. Woodward (2011), "Localized approach to distributed QoS routing with a bandwidth guarantee," in *Proc. IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Xi'an, pp. 271-276.
- [12]. Nguyễn Chiến Trinh, Nguyễn Thị Thu Hằng, "Định tuyến QoS sử dụng thông tin nội bộ đảm bảo trễ end-to-end," *Tạp chí Khoa học công nghệ Thông tin và Truyền thông*, Số 04.B (CS.01), 2020, pp. 31-37.
- [13]. A. Popescu and D. Constantinescu, "Modeling of One-way transit time for IP Router," *Proceeding of the Advanced International Conference on Telecommunications and International Conference on Internet and Web Applications and Services AICT-ICIW'06*, Feb. 2006.
- [14]. C. J. Bovy, H. T. Mertodimedjo, G. Hooghiemstra, H. Uijterwaal, and P. Van Mieghem, "Analysis of end-to-end delay measurement in Internet", In *Proceeding of PAM 2002*, Mar. 2002.
- [15]. M. E. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in World Wide Web traffic: Evidence and possible causes", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, No. 6, Dec. 1997, pp. 835-846.
- [16]. V. Paxson and S. Floyd, "Wide Area Traffic: The failure of Poisson modeling", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, No. 3, June 1995, pp. 226-244.
- [17]. W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger and D. V. Wilson, "On the self-similar nature of Ethernet traffic (Extended version)", *IEEE/ACM Trans. Networking* 2 (1) (1994), pp. 1-15.
- [18]. E. Castillo, "Extreme Value Theory in Engineering." Academic, New York (1998).
- [19]. J. Qiu and E.W. Knightly, "Interclass resource sharing using statistical service envelopes" in *Proc. INFOCOM 99*, Mar. 1999, pp. 1404-1411.
- [20]. J. Qiu and E.W. Knightly, "Measurement-based admission control with aggregate traffic envelopes" *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.9, no. 2, Apr. 2001, pp. 199-210.
- [21]. S. Haykin, "Modern Filter." New York: Macmillan (1989).
- [22]. O. Dembo, O. Zeitouni "Large Deviations Technique and Application," Jones and Barlett Publishers, 1993.

LOCALIZED QOS ROUTING TO GUARANTEE THROUGHPUT AND DELAY USING NETWORK STATISTIC DATA

Abstract: A QoS routing algorithm to guarantee end-to-end delay metrics and throughput for real time applications, especially multimedia, is an important issue supporting Quality of Service (QoS) over Internet. Recently, localized QoS routing based on collection and analysis of a network data at source node, has been proposed as a promising alternative to the deployed global QoS routing algorithms. This approach significantly reduces the overheads associated with maintaining global states at each node, which in turn improves the overall routing performance. In this paper, we introduce a Localized Bandwidth-Delay Constrained QoS Routing algorithm (LBDCQR) using Delay and Bandwidth prediction, which can guarantee end-to-end delay and bandwidth requirements simultaneously over any runtime of flows. Simulation results have shown high accuracy of routing decisions and considerable routing performance improvement on flow blocking probability achieved by the proposed QoS routing algorithm.

Keyword: QoS routing, End-to-end delay, Localized routing, Delay prediction, Bandwidth, Traffic prediction, Network data statistic.



Nguyễn Chiến Trinh nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật tại Trường Điện – Thông tin Tôkyô, Nhật bản năm 2005. Hiện nay đang công tác tại Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển lưu lượng, định tuyến QoS, đảm bảo QoS mạng IP, SDN, WSN, ...

Email: trinhnc@ptit.edu.vn



Nguyễn Thị Thu Hằng nhận học vị Tiến sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT) Việt Nam năm 2020. Hiện nay là giảng viên Khoa Viễn thông 1-PTIT.

Các lĩnh vực nghiên cứu chính: Mạng truyền thông, mạng cảm biến, mô phỏng định tuyến QoS và giao thức lớp MAC.

Email: hangntt@ptit.edu.vn



Bùi Trường Sơn nhận học vị Thạc sĩ Kỹ thuật Tính toán tại Học viện Công nghệ Hoàng gia Melbourne năm 2001. Hiện nay đang công tác tại Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các lĩnh vực nghiên cứu: công nghệ phần mềm, công nghệ dữ liệu, quy trình sản xuất phần mềm, ...

Email: sonbt@ptit.edu.vn