

CÁC THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN TRÊN MPLS

Trần Công Hùng (Khoa Công Nghệ Thông Tin 2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cơ sở TP Hồ Chí Minh)
E-mail: conghung@ptithcm.edu.vn

Nguyễn Hoàng Thanh (Khoa Công Nghệ Thông Tin 2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cơ sở TP Hồ Chí Minh)
E-mail: thanhh@ptithcm.edu.vn

Nguyễn Đức Thắng (Khoa Công Nghệ Thông Tin 2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cơ sở TP Hồ Chí Minh)
E-mail: duc_thang@ptithcm.edu.vn

Tóm tắt:

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ khái quát và phân loại các thuật toán định tuyến nâng cao đang được nghiên cứu, các thuật toán này sử dụng các ưu điểm của mạng MPLS để mở rộng các thuật toán định tuyến, hỗ trợ QoS và thiết kế lưu lượng. Chúng tôi cũng khảo sát một vài dự án hiện tại đang nghiên cứu và làm việc với các thuật toán định tuyến nâng cao. Bài báo này gồm 5 phần. Phần 1 Giới thiệu. Phần 2 Thuật toán định tuyến dựa trên QoS: Phân loại các thuật toán dựa trên QoS, Phần 3 Thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng: Dựa trên các thông tin của mạng hiện tại như: Thuật toán định tuyến với điểm giao tối thiểu MIRA (Minimum Interference Routing Algorithm) [7], Thuật toán định tuyến động trực tuyến DORA (Dynamic On line Routing Algorithm) [9] và dựa vào thông tin mô tả như: Thuật toán định tuyến dựa vào thông tin mô tả PBR (Profile Based Routing) [8]. Phần 4 Triển khai các thuật toán định tuyến nâng cao. Và phần cuối, Mô phỏng với sự kết hợp của các gói cần thiết, chúng tôi xây dựng một môi trường mô phỏng cho MPLS dựa trên ns2, cài đặt một vài thuật toán định tuyến nâng cao, và đánh giá chúng với các giao thức định tuyến cũ.

1. Giới thiệu

Từ yêu cầu của mạng thực, phải có một giao thức mới, đó là sự kết hợp của giao thức IP và các giao thức trên các mạng băng rộng như Frame Relay, ATM... giao thức này không được thay đổi toàn bộ kiến trúc IP của mạng và cũng không làm giảm tốc độ của mạng băng rộng. Giao thức MPLS được nghiên cứu và phát triển. Giao thức MPLS được hiện thực bằng việc đóng gói các tiêu đề nhỏ và gói IP trong miền MPLS, do đó chúng ta không phải thay đổi nhiều. Mỗi tiêu đề có một nhãn, MPLS có thể sử dụng nhãn đó, dùng kỹ thuật chuyển mạch để giảm bớt thời gian trễ của gói trên mỗi router và vẫn giữ

được tốc độ của mạng băng rộng. Chúng tôi sẽ giới thiệu ngắn gọn về MPLS. [1][2][3]

Trong MPLS, các gói được đóng tiêu đề MPLS tại đầu vào. Mỗi tiêu đề có 4 bytes, và phần quan trọng là phần nhãn dùng để chuyển mạch các gói vào các Đường Chuyển Mạch Nhãn LSP (Label Switched Path) tại mỗi nút. Các LSP mang các dòng tập trung bao gồm dòng các gói có cùng đặc điểm như là cùng địa chỉ nguồn-đích, địa chỉ đích trùng với tiền tố IP xác định hoặc là có cùng cổng TCP... Tập hợp các gói được gọi là FEC, và một FEC sẽ được liên kết với một LSP để chuyển đi các gói. Nhãn của LSP từ điểm vào đến điểm ra của miền MPLS được bao bởi các giao thức báo hiệu như là RSVP-TE hoặc CR-LDP.

Khi mạng MPLS phát triển, rất nhiều vấn đề định tuyến xuất hiện. Vấn đề về QoS là việc chọn ra các tuyến đường đáp ứng các yêu cầu về băng thông, độ trễ, tỉ lệ mất gói... Vấn đề về thiết kế lưu lượng là việc tối ưu và sử dụng hiệu quả tài nguyên mạng bằng cách điều khiển dòng lưu lượng. Yêu cầu cho việc phát triển các thuật toán định tuyến cao cấp là phải đảm bảo nhiều yêu cầu LSP cho định tuyến động trong MPLS (thuật toán định tuyến của giao thức IP đảm bảo giải pháp tối ưu tại thời điểm hiện tại nhưng không đảm bảo về khả năng tắc nghẽn trong tương lai, do đó rất nhiều yêu cầu LSP trong tương lai không thể được đảm bảo). Nhà quản trị mạng thường tính toán giải pháp tối ưu cho vấn đề trên và cấu hình tĩnh trên router MPLS. Nhưng giải pháp này không hiệu quả với các mạng lớn và giải pháp động. Với những lý do trên, các thuật toán định tuyến nâng cao được nghiên cứu, phát triển và triển khai trên mạng MPLS.

Hơn nữa, MPLS có các đặc điểm cần thiết hỗ trợ cho các thuật toán định tuyến nâng cao. Các LSPs có thể được cài đặt một cách độc lập với các thuật toán định tuyến cũ (thuật toán IP) do LSPs được định tuyến bởi các nhãn. Do đó, chúng ta có thể thiết kế

LSPs với các thuật toán định tuyến nâng cao để mở rộng các chức năng định tuyến. Giao thức định tuyến nâng cao yêu cầu phải có giao thức quảng bá mới. để quảng bá không chỉ thông tin về metric, số hop, độ trễ... (sử dụng bởi các giao thức định tuyến cũ như là OSPF, IS-IS...) nhưng cũng bao gồm các thông tin về tài nguyên còn lại của mạng. Thiết kế lưu lượng là điểm mạnh của MPLS và MPLS hoàn toàn hỗ trợ các thông tin trên với giao thức định tuyến mở rộng như là OSPF-TE, IS-IS-TE... bởi vì MPLS cần chúng cho việc xây dựng Cơ Sở Dữ Liệu Kỹ Thuật Lưu Lượng TED (Traffic Engineering Database).

Có rất nhiều thuật toán định tuyến cao cấp trên MPLS đang được nghiên cứu. Chúng ta phân loại các thuật toán định tuyến ra 2 loại. Một loại hỗ trợ các thuật toán định tuyến ràng buộc và dịch vụ QoS, chúng ta gọi là thuật toán định tuyến dựa trên QoS. Loại khác hỗ trợ tìm giải pháp đáp ứng cho nhiều yêu cầu LSP và làm giảm khả năng tắc nghẽn trong tương lai, được gọi là định tuyến dựa trên lưu lượng. Trong phần 2, chúng ta nghiên cứu về Thuật toán định tuyến dựa trên QoS, phần 3 dựa trên Kỹ thuật lưu lượng, phần 4 về các mô hình và dự án hiện tại và phần 5 về mô phỏng .

2. Định tuyến dựa trên QoS

Ngày nay, Internet hỗ trợ chỉ dịch vụ "kết quả tốt nhất", nhưng không có cơ chế đảm bảo cho việc mất gói, băng thông, độ trễ, jitter... trong khi các dịch vụ cũ như là FTP, mail... làm việc tốt với nền tảng Internet cũ, thì các dịch vụ hiện tại như là điện thoại Internet, Video trực tuyến... yêu cầu băng thông cao, độ trễ thấp và jitter nhỏ. [4]

QoS là một tập các yêu cầu về dịch vụ cho mạng khi truyền tải dữ liệu. Nói cách khác, QoS là mức độ yêu cầu về dịch vụ của người dùng, được đặc trưng bởi tỉ lệ mất gói, băng thông, độ trễ đầu cuối. QoS là thỏa thuận giữa người dùng và nhà cung cấp mạng bởi Thỏa Thuận Về Mức Độ Dịch Vụ SLA(Service Level Agreement).

Định tuyến dựa trên QoS: định tuyến sao cho tuyến đường đảm bảo dịch vụ QoS (là thỏa thuận giữa người dùng và nhà cung cấp dịch vụ mạng về băng thông, độ trễ, tỉ lệ mất gói...) Bên cạnh đó là các ràng buộc, các ràng buộc phải đảm bảo là tối ưu tài nguyên mạng.

QoS metric: SLA được thể hiện bởi QoS metric. QoS metric bao gồm băng thông, jitter, giá thành, tỉ lệ mất gói. Một tập $m(n_1, n_2)$ là metric của liên kết (n_1, n_2) . Với bất cứ tuyến đường P (path) nào, $P=(n_1, n_2, n_3, \dots, n_i, n_j)$, metric m là:

- **tính cộng (additive)**, nếu $m(P) = m(n_1, n_2) + m(n_2, n_3) + \dots + m(n_i, n_j)$
- **tính nhân (multiplicative)**, nếu $m(P) = m(n_1, n_2) * m(n_2, n_3) * \dots * m(n_i, n_j)$
- **tính lõm (concave)**, nếu $m(P) = \min\{m(n_1, n_2), m(n_2, n_3), \dots, m(n_i, n_j)\}$

Phân loại các thuật toán QoS:

Với một vài metric, metric của tuyến đường bị ảnh hưởng bởi các liên kết với metric tối thiểu (băng thông, không gian bộ đệm). Chúng ta gọi đó là các liên kết nghẽn cổ chai. Chúng ta có thuật toán định tuyến tối ưu liên kết (link optimize)(tìm một tuyến đường tối ưu tại liên kết bị nghẽn cổ chai) và định tuyến ràng buộc liên kết (link constrained) (tìm tuyến đường tốt nhất mà liên kết bị nghẽn cổ chai thỏa mãn một vài ràng buộc metric)

Với một vài metric, metric của tuyến đường là sự kết hợp của metric của tất cả liên kết dọc theo tuyến đường đó. Chúng ta có định tuyến tối ưu tuyến đường (path optimize routing) (tìm tuyến đường với metric tuyến đường tối ưu) và định tuyến ràng buộc tuyến đường (path constrained routing) (tìm tuyến đường thỏa mãn một vài ràng buộc metric)

Thuật toán định tuyến có thể giải được với thời gian đa thức

- Định tuyến ràng buộc liên kết, tối ưu tuyến đường (Link-constrained, path-optimization routing)
- Định tuyến tối ưu liên kết, ràng buộc liên kết (Link-constrained, link-optimization routing)
- Định tuyến ràng buộc nhiều liên kết (Multi-link-constrained routing)
- Định tuyến ràng buộc liên kết, ràng buộc tuyến đường (Link-constrained, path-constrained routing)
- Định tuyến ràng buộc tuyến đường, tối ưu liên kết (Path-constrained, link-optimization routing)

Với các bài toán trên, đầu tiên chúng ta phải giải bài toán ràng buộc liên kết hoặc tối ưu liên kết, chúng ta sẽ có một tập giới hạn các kết quả phụ thuộc vào số liên kết, và sau đó chúng ta giải bài toán ràng buộc tuyến đường hoặc tối ưu tuyến đường.

Thuật toán định tuyến không thể giải được với thời gian đa thức (Vấn đề NP_No Polynomial)

- Định tuyến ràng buộc tuyến đường, tối ưu tuyến đường (PCPO_ Path Constrained, Path Optimize)
- Định tuyến ràng buộc nhiều tuyến đường (MPC_ Multi-Path-Constrained): Nếu tất cả các metric đều phụ thuộc vào một metric chung, chúng ta có thể chuyển bài toán MPC về bài toán tuyến đường ngắn nhất với thời gian đa thức.

Để tìm được giải pháp cho những vấn đề trên, chúng ta phải duyệt tất cả các tuyến đường từ nguồn tới đích, nhưng thời gian để duyệt hết tất cả các tuyến đường là một hàm mũ của số đỉnh, do đó nó là bài toán NP khó. Chúng ta chỉ có thể tìm ra giải pháp gần với giải pháp tối ưu bằng cách sử dụng các thuật toán tìm kiếm trí tuệ nhân tạo với heuristic để làm giảm không gian tìm kiếm. Ví dụ: với bài toán định tuyến ràng buộc nhiều tuyến đường, chúng ta có thể chọn heuristic là metric là một hàm kết hợp của mọi

metric, và giá trị tối thiểu của nó là sự kết hợp của các metric bao gồm giải pháp tối ưu gần đúng[6]

Có nhiều thuật toán định tuyến dựa trên QoS được phân loại một cách hệ thống trong [5].

3. Định tuyến dựa trên lưu lượng

Với thuật toán tìm đường ngắn nhất, nhược điểm của các thuật toán này là khi một cung là tốt với nhiều cặp nguồn-đích, thì các cặp nguồn-đích sẽ chọn cung đó cho tuyến đường của chúng và dẫn đến tắc nghẽn trên cung đó. Thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng không chỉ tối ưu tài nguyên mạng tại thời điểm hiện tại, nhưng cũng cho yêu cầu của tương lai. Thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng sẽ tiên đoán liên kết nào sẽ bị tắc nghẽn khi chúng ta định tuyến quá nhiều lưu lượng qua chúng và sẽ giảm định tuyến lưu lượng qua các liên kết đó.

Phân loại

- Dựa trên thông tin của mạng hiện tại, tính toán và chọn ra những liên kết làm tối thiểu khả năng tắc nghẽn của mạng trong tương lai.
- Dựa trên thông tin thống kê bởi server hoặc router, chúng ta sẽ có thông tin gần đúng về yêu cầu trong tương lai. Chúng ta sẽ gọi các thông tin thống kê đó là “thông tin mô tả (profile)”. Sau khi có các thông tin mô tả, chúng ta sẽ sử dụng quy hoạch tuyến tính để tìm ra giải pháp tối ưu trong tương lai.

Tiếp theo, chúng tôi sẽ chỉ ra một vài thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng, các thuật toán này gợi ý ra các lý thuyết cơ bản và các ý tưởng tổng quát cho các thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng.

3.1. Dựa trên thông tin hiện tại của mạng

Thuật toán định tuyến với điểm giao tối thiểu MIRA (Minimum Interference Routing Algorithm) [7] Chúng ta biết rằng để đảm bảo yêu cầu cài đặt LSP, giá trị maxflow càng nhỏ sau khi mọi cặp nguồn-đích chọn được tuyến đường thì khả năng của mạng đáp ứng cho yêu cầu của tương lai càng lớn. Vấn đề này có thể được mô tả bởi công

thức toán học: Đặt θ_{sd} là maxflow của cặp nguồn-đích (s,d) được tính toán sau khi thỏa mãn yêu cầu thiết lập LSP, bài toán đặt ra là cực đại tổng θ_{sd} của mọi cặp nguồn-đích. Mục tiêu tối ưu là:

$$\text{Maximize } \sum_{(s,d) \in P(a,b)} \theta_{sd}$$

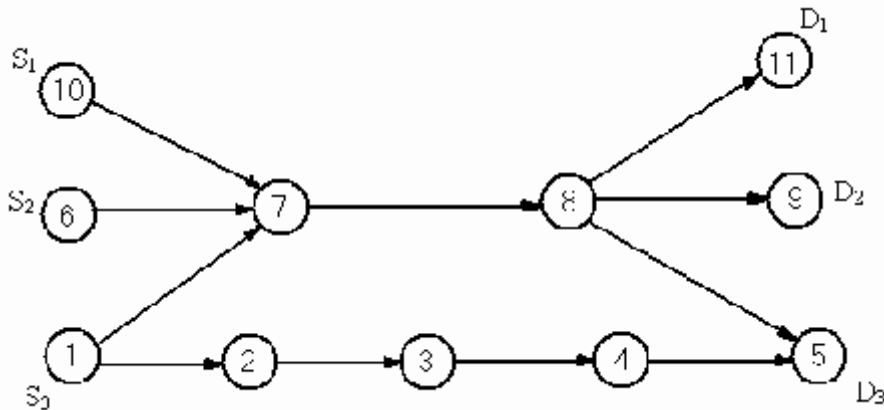
Bên cạnh đó, chúng ta phải tìm ra lưu lượng của mỗi cặp nguồn-đích, thiết lập tuyến đường với băng thông D và đảm bảo ràng buộc: tổng băng thông của mọi lưu lượng đi qua mỗi liên kết phải nhỏ hơn băng thông dự trữ của liên kết đó, và tổng lưu lượng đi vào bằng với tổng lưu lượng đi ra mỗi nút của mạng.

Để giải quyết hoàn toàn vấn đề là một bài toán NP khó. Tác giả tìm ra giải pháp gần đúng cho việc giải quyết vấn đề trên và được mô tả bởi thuật toán MIRA: từ thông tin về dung lượng dự trữ của mọi cung, chúng ta có thể tính toán ra maxflow của mọi cặp nguồn-đích. Với mỗi cặp nguồn-đích, chúng ta tìm ra tập *mincut*, và những liên kết thuộc về các tập đó được gọi là các liên kết tới hạn (critical links). Các liên kết tới hạn này có tính chất là nếu chúng ta định tuyến lưu lượng của cặp nguồn-đích đi qua chúng, maxflow của cặp nguồn-đích sẽ bị giảm. Do đó, mục tiêu của thuật toán MIRA là tránh đến tối đa việc đi qua các liên kết tới hạn.

Ý tưởng

Ý tưởng của thuật toán là các đường đi sẽ không ảnh hưởng quá nhiều để thỏa mãn yêu cầu tương lai. Thuật toán phát triển dựa trên heuristic “critical link” [7]. “critical link” được chỉ định bởi thuật toán, và là các kết nối với các thuộc tính mà một LSP được định tuyến qua các kết nối này giá trị luồng lớn nhất (maxflow) của một hoặc nhiều đôi ngõ vào-ngõ ra (ingress-egress) giảm đi. Nếu “critical link” có tải nặng thì mạng không có khả năng thỏa mãn cho tương lai.

Các ý tưởng chính :



Hình 1: các ý tưởng chính

Vi dụ:

Nếu thuật toán ít trạm nhất (min-hop) được sử dụng, tuyến từ S_3 tới D_3 là 1-7-8-5 và nó sẽ khóa các tuyến giữa (S_1, D_1) và (S_2, D_2) . Trong ví dụ này, sự lựa chọn tốt hơn là 1-2-3-4-5.

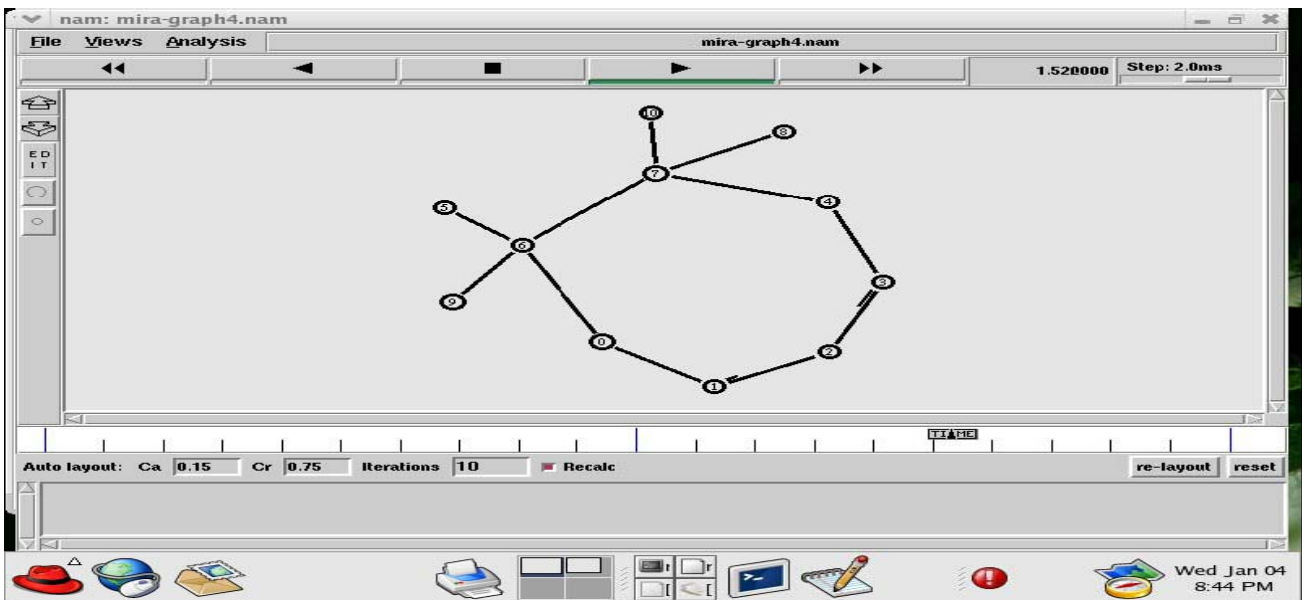
Chúng ta thiết lập luồng cực đại (maxflow) v_1 giữa một cặp ngõ vào – ngõ ra (S_1, D_1) . Giá trị này là giới hạn trên của tổng băng thông có thể đi từ ngõ vào đến ngõ ra. Giá trị luồng cực đại sẽ giảm D đơn vị khi băng thông yêu cầu của D đơn vị được định tuyến giữa (S_1, D_1) .

Các đường giao tối thiểu (Minimum Interference Paths): chúng ta có thể nghĩ đường giao tối thiểu là đường đi tối đa của tối thiểu luồng cực đại (minimum maxflow) của mọi cặp ngõ vào-ngõ ra.

Chọn đường đi bằng tính toán đường đi ngắn nhất: sau khi xác định các “critical link” chúng ta sẽ tránh định tuyến LSP trên các “critical link”. Chúng ta sẽ sử dụng Dijkstra hay Bellman-Ford để tính đường đi. Thực hiện điều đó bằng cách xây dựng ma trận trọng số (matrix weight) làm tăng chi phí khi các tuyến LSP đi qua “critical link”. Sau đó ta chọn đường đi theo thuật toán đường đi ngắn nhất.

MIRA (Minimum Interference Routing Algorithm)

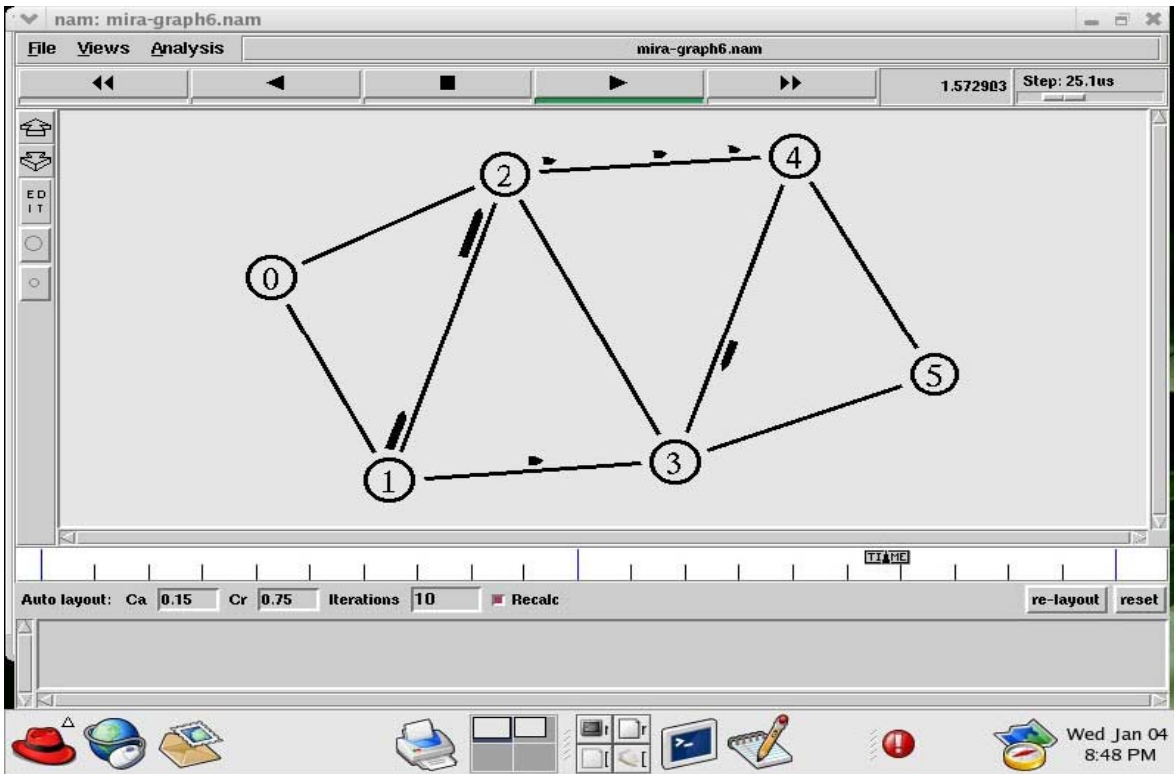
Sau đây là kết quả mô phỏng của MIRA. Với mô hình và băng thông giống như trong tập tin đoạn mã thì lưu lượng từ nguồn 0 sẽ đi thông qua con đường 0-6-7-4 nhưng với MIRA, sau khi tính toán cho các critical links, lưu lượng từ nguồn 0 sẽ đi qua con đường 0-1-2-3-4, vì thế 5, 9 và 8, 10 có nhiều cơ hội để thiết lập một LSP thông qua kết nối 6-7



Hình 2: MIRA 1

Với thuật toán MIRA, đường đi từ nút 1 đến 5 là 1-3-5, từ nút 1 đến 4 là 1-2-4 và con đường từ nút 2 đến 3 là 2-4-3. Sau đó ta sử dụng định tuyến

tường minh để thiết lập ER-LSP dọc theo các nút này. Với MIRA, mạng của chúng ta có thể tối ưu tài nguyên cho các yêu cầu tương lai.



Hình 3: MIRA 2

Thuật toán định tuyến động trực tuyến DORA (Dynamic On line Routing Algorithm) [9] thuật toán DORA cũng dựa trên thông tin hiện tại của mạng để tiên đoán ra các liên kết có khả năng bị tắc nghẽn để tránh đi qua chúng. DORA khác biệt với MIRA ở chỗ MIRA thì dựa trên maxflow, trong khi DORA xem xét về số tuyến đường đi qua một liên kết (Xem xét đến mọi cặp nguồn-đích). Đặt n là số tuyến đường (của mọi cặp nguồn-đích) đi qua một liên kết, giá trị của n càng lớn, khả năng tắc nghẽn trên liên kết đó trong tương lai càng lớn, do đó DORA chọn n làm trọng số cho mỗi liên kết và sử dụng thuật toán tìm đường ngắn nhất để tìm ra tuyến đường có trọng số tối thiểu. Ngoài ra, kết hợp n với các điều kiện tối ưu metric khác (ví dụ m), thuật toán DORA xây dựng giá trị trọng số bằng công thức:

$$w = \alpha n' + (1 - \alpha)m'$$

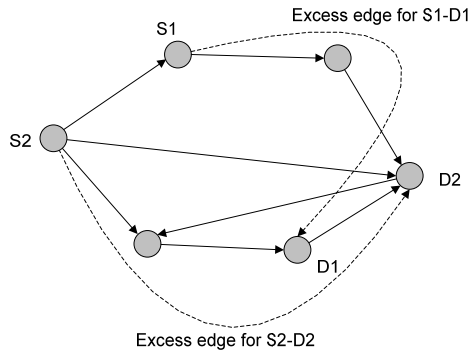
n', m' là các giá trị được chuẩn hóa của n, m trong phạm vi $[0, 100]$.

$0 \leq \alpha \leq 1$, chọn giá trị α dựa trên thực nghiệm (thông thường $\alpha = 0,5$).

3.2. Dựa trên thông tin mô tả

Định tuyến dựa trên thông tin mô tả PBR (Profile Based Routing) [8] Chúng ta giả sử rằng bằng việc sử dụng router hoặc server, chúng ta có thể

đo được lưu lượng đi qua mạng, và có được thông tin mô tả của dòng lưu lượng đó. Mỗi thông tin mô tả thuộc về một lớp, bao gồm B_i thể hiện băng thông yêu cầu của LSP giữa nguồn s_i và đích d_i và được ánh xạ tới $classID$. Chúng ta ký hiệu mỗi bảng mô tả bằng $(classID, s_i, d_i, B_i)$ và chúng ta gọi là commodity thứ i . Để đảm bảo một cách gần đúng cho mọi yêu cầu trong tương lai, chúng ta phải giải hệ phương trình để tìm ra lưu lượng của mỗi cặp nguồn-đích phân phối trên mỗi liên kết (bước đầu tiên). Nếu vấn đề này giải quyết được, chúng ta áp dụng kết quả cho mạng của chúng ta. Cho mỗi yêu cầu LSP, chúng ta xác định lớp của nó và sử dụng kết quả (ở bước đầu tiên) cho mỗi lớp để khởi tạo tập đồ thị, sau đó chúng ta sử dụng thuật toán tìm đường ngắn nhất để tìm ra giải pháp tối ưu (bước thứ hai). Trong trường hợp tổng quát, không phải mọi bảng mô tả đều có thể được hoàn toàn thỏa mãn. PBR thêm vào các cạnh phụ vào đồ thị. Các cạnh phụ e_i này là các cung nối giữa cặp nguồn đích (s_i, d_i) của lớp i và có băng thông vô cùng lớn (một giá trị rất lớn). Với cạnh phụ được thêm vào, hệ phương trình luôn luôn giải được và có nhiều nghiệm. Điều mà PBR cần là tối đa việc đáp ứng yêu cầu của PBR, do đó chúng ta phải làm sao tối thiểu định tuyến lưu lượng đi qua các cạnh phụ.



Hình 4: Các cạnh phụ (excess edges) được thêm vào đồ thị

Giả sử rằng chúng ta có k bảng mô tả, đặt $x_i(e)$ là giá trị lưu lượng của i đi qua cạnh e . Mục tiêu tối ưu là:

$$\text{Minimize } \sum \left(\text{cost}(e) \sum_{i=1}^k x_i(e) \right)$$

$\text{cost}(e) = \infty$ nếu e là cạnh phụ và $\text{cost}(e) = 1$ nếu e là cạnh bình thường.

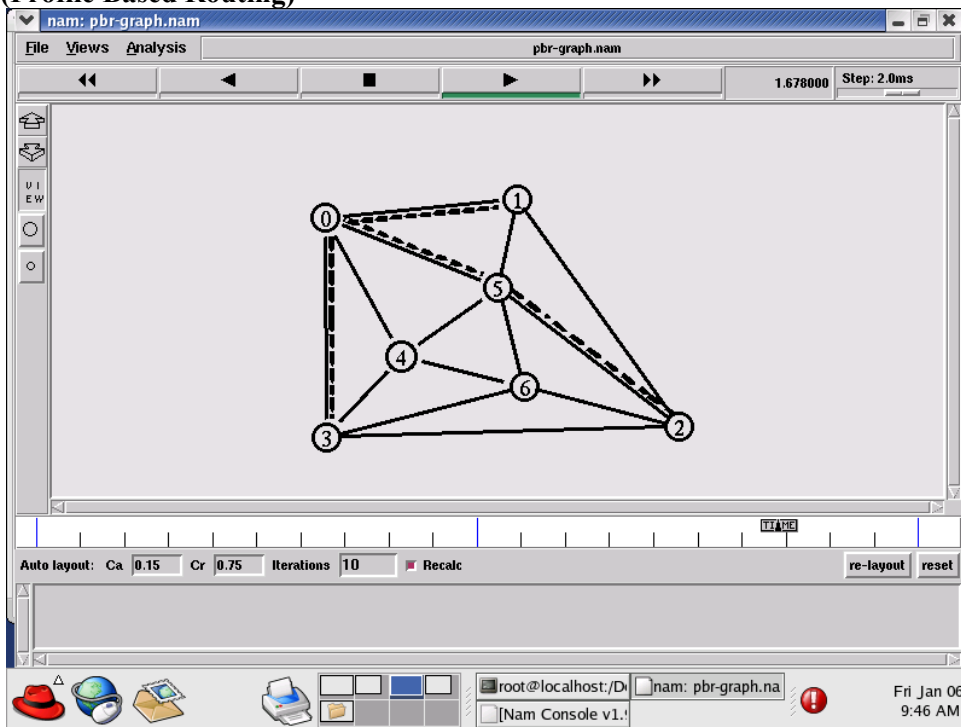
Và bây giờ, hệ phương trình được đưa về bài toán quy hoạch tuyến tính và có thể giải được với thời gian đa thức. Kết quả này sẽ được sử dụng cho bước thứ hai của thuật toán PBR.

PBR (Profile Based Routing)

Giả sử chúng ta có hai giả thuyết sau:

- class id 0, source 0, destination 2, aggregated bandwidth 28M
- class id 1, source 1, destination 3, aggregated bandwidth 25M

Bảng thông cần cho nút 0 đến nút 2 là 8M và bảng thông cần cho nút 1 đến nút 3 là 9M. Sau khi tính toán lượng commodity của mỗi class id trên mỗi kết nối, thì bảng thông còn lại ban đầu và sau đó áp dụng thuật toán đầu tiên để tìm min-hop-path. Vì thế lưu lượng từ nút 0 đến nút 2 (class id 0) là 0-5-2 và từ nút 1 đến nút 3 (class id 1) là 1-0-3

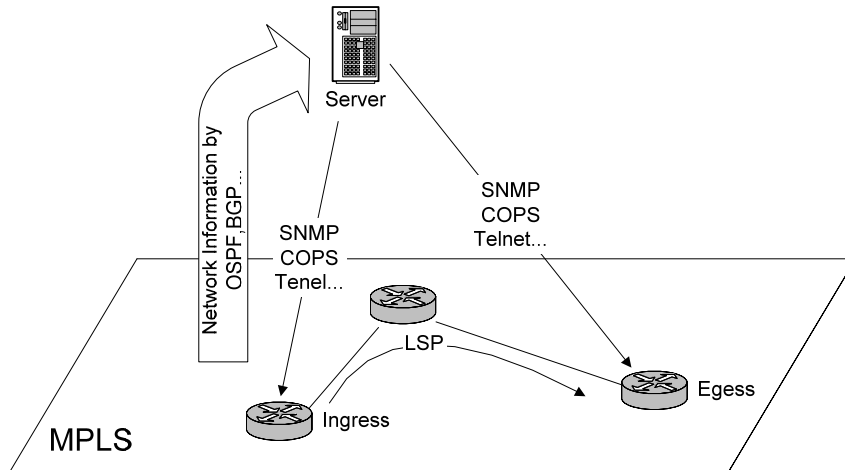


Hình 5: PBR

4. Triển khai các thuật toán định tuyến nâng cao

Các thuật toán định tuyến nâng cao rất khó khăn để hiện thực trên router bởi vì giới hạn của bộ nhớ, tốc độ CPU và chức năng của hệ thống. Do đó, các thuật toán định tuyến nâng cao được hiện thực

trên server với mô hình tập trung. Các server lấy các thông tin của mạng từ các giao thức quảng bá như là OSPF-TE, IS-IS-TE,... sau đó, server tính toán tuyến đường tối ưu, sử dụng COPS,SNMP, telnet,... để điều khiển các cặp nguồn-đích thiết lập LSP mới.



Hình 6: Mô hình server tập trung hỗ trợ thuật toán định tuyến nâng cao trên MPLS

Một vài dự án đang thực hiện với các thuật toán định tuyến nâng cao trên MPLS với server

Server kỹ thuật lưu lượng RATES (Traffic engineering server)[10] được xây dựng bởi phòng thí nghiệm Bell, RATES sử dụng TE-server để tính toán các tuyến đường tối ưu dựa trên thuật toán MIRA, sau đó COPS server thiết lập tuyến đường bởi giao thức COPS [15]. RATES sử dụng CORBA cho việc lập trình phân tán.

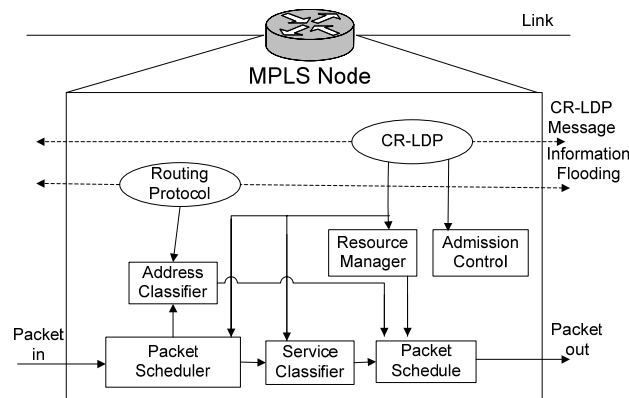
Kỹ thuật lưu lượng để đảm bảo QoS cho mạng Internet diện rộng TEQUILA (Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet at Large Scale)[17] là dự án cộng tác của Châu Âu. Nó đưa ra kiến trúc cung cấp QoS cho Internet. TEQUILA có các thành phần chính như là mặt phẳng điều khiển, mặt phẳng dữ liệu, mặt phẳng quản lý ... TEQUILA sử dụng SLS cho việc lấy các yêu cầu của người sử dụng mạng, và các thành phần của nó liên lạc với nhau thông qua CORBA. Mỗi router được cấu hình bởi giao thức COPS.

Tự động quản lý kỹ thuật lưu lượng MATE (Traffic Engineering Automated Manager)[11] sử dụng thuật toán SPeCRA [12] cho định tuyến. Thuật toán này đơn giản hơn MIRA. Mô hình này được hiện thực trên router với Linux.

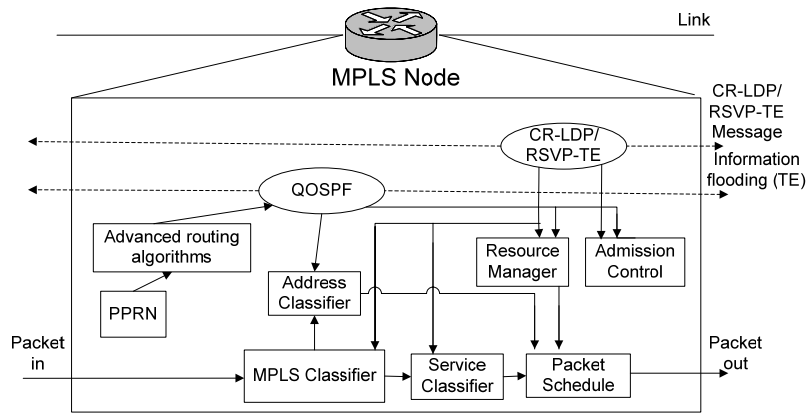
MATE gửi thông điệp yêu cầu tới router thông qua SNMP/Telnet để cấu hình router, yêu cầu router lấy thông tin bằng TFTP, sau đó router cập nhật thông tin cấu hình cho chính nó.

5. Mô phỏng

Việc xây dựng một môi trường mô phỏng rất quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả của thuật toán định tuyến và chọn ra giải pháp tốt nhất cho các thuật toán trên. *ns2* [19] là phần mềm mô phỏng mã nguồn mở trên hệ điều hành *linux*, và thường được sử dụng để hiện thực các gói mới trong nghiên cứu. Khởi đầu *ns2* không có môđun MPLS, chúng ta sử dụng môđun MNS [20] cho MPLS. Để có thể quảng bá các thông tin của mạng, chúng tôi sử dụng gói QOSPF [13][14][18] bởi vì IS-IS-TE, OSPF-TE... chưa được xây dựng trên *ns2*. Một vài thuật toán cần giải bài toán quy hoạch tuyến tính, chúng tôi sử dụng gói PPRN [16]. Và cuối cùng, chúng tôi chỉnh sửa các phiên bản khác nhau của các gói trên, kết hợp chúng với môđun của chúng tôi và chúng tôi có một môi trường mô phỏng MPLS hoàn chỉnh cho việc kiểm tra và mô phỏng các thuật toán định tuyến nâng cao.



Hình 7: Mô hình lý thuyết ban đầu của MNS trên ns2

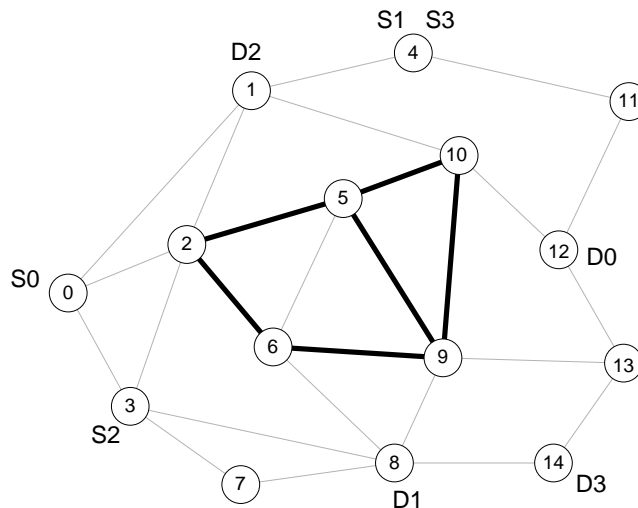


Hình 8: Mô hình lý thuyết của chúng tôi để triển khai thuật toán định tuyến nâng cao dựa trên ns2 với MNS

Có rất nhiều thuật toán định tuyến dựa trên QoS. Đó là kết quả của sự kết hợp của rất nhiều bài toán tối ưu và ràng buộc, sự kết hợp của rất nhiều loại metric như là băng thông, độ trễ, jitter... và các heuristic được đưa ra để giải quyết bài toán NP khó. Chúng tôi sẽ không đi sâu vào các thuật toán dựa trên QoS, và để thấy được kết quả rõ ràng trong việc so sánh giữa thuật toán định tuyến nâng cao và các thuật toán định tuyến cũ, chúng tôi cài đặt một số thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng. Thuật toán cũ được đem ra so sánh là MHA (Min-Hop Algorithm), thuật toán với số hop tối thiểu. MHA sẽ chọn tuyến đường với số hop-tối thiểu. Nếu tuyến đường thỏa mãn điều kiện băng thông, nó sẽ chọn việc cài đặt

LSP. Nếu không, yêu cầu sẽ bị từ chối. Kết quả so sánh được thể hiện trên đồ thị với các yêu cầu được đáp ứng (trục Y) và tổng số yêu cầu (trục X), và được thể hiện bởi xgraph (trên ns2).

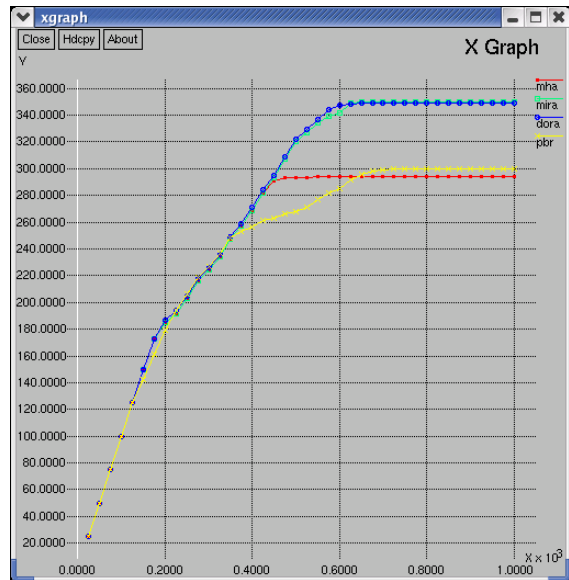
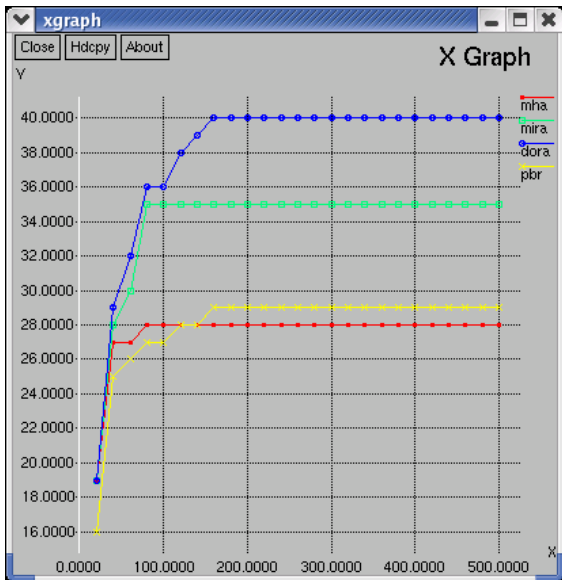
Tập đồ đơn giản là tập đồ được sử dụng trong [7]. Trên tập đồ này, các cạnh mỏng có dung lượng 1200 đơn vị, và các cạnh dày có dung lượng 4800 đơn vị. Chúng ta có 4 cặp nguồn-đích (S_0, D_0) (S_1, D_1) (S_2, D_2) (S_3, D_3). Tương ứng, PBR sử dụng 4 commodity, mỗi commodity có 2700 đơn vị. Chúng tôi sử dụng hàm ngẫu nhiên đồng nhất hỗ trợ bởi ns2 để phát sinh ngẫu nhiên băng thông và cặp nguồn-đích. Thuật toán DORA sử dụng $\alpha = 0.5$.



Hình 9: Tập đồ được sử dụng trong thí nghiệm

Trong thí nghiệm 1, chúng tôi có 500 yêu cầu LSP, mỗi yêu cầu chọn lựa ngẫu nhiên một cặp nguồn-đích và băng thông yêu cầu từ 100 tới 400 đơn vị. Trong thí nghiệm 2, chúng tôi có 1000 yêu cầu LSP, mỗi yêu cầu chọn lựa một cách ngẫu nhiên băng thông từ 10 tới 40 đơn vị. Chúng ta có thể thấy rằng trên đồ thị, thuật toán MIRA và DORA đảm bảo số yêu cầu được đáp ứng lớn hơn thuật toán PBR và

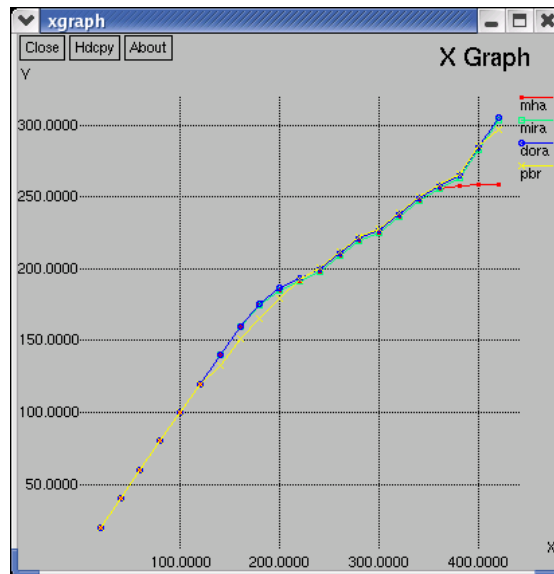
MHA trong hai trường hợp này, và đặc biệt với số lượng lớn các yêu cầu, sự khác biệt trở nên rõ ràng. Trong hai thí nghiệm này, PBR không có đúng bằng mô tả bởi vì bằng mô tả tiên đoán rằng mỗi commodity (cặp nguồn-đích) có tổng 2700 đơn vị băng thông, nhưng điều đó không đúng. Do đó, thuật toán PBR không hiệu quả.



Hình 10: Tổng số yêu cầu LSP được đáp ứng trong thí nghiệm 1 và 2

Trong thí nghiệm 3, chúng ta tạo điều kiện cho PBR có đúng bảng mô tả. Chúng ta định nghĩa một bảng mô tả và ép buộc luồng lưu lượng của mạng đi theo bảng mô tả đó. Bảng mô tả là mỗi yêu cầu chọn lựa một cách ngẫu nhiên cặp nguồn-đích, nhưng tổng số băng thông yêu cầu của mỗi cặp nguồn-đích không được vượt quá 2700 đơn vị, và bảng mô tả này được áp vào mạng. Chúng ta có 1000

yêu cầu LSP, mỗi yêu cầu chọn lựa một cách ngẫu nhiên một cặp nguồn-đích và băng thông từ 10 tới 40. Với bảng mô tả thích hợp, PBR chứng minh được hiệu quả hơn hai thí nghiệm trên. Bởi vì băng thông yêu cầu của mọi cặp nguồn-đích không vượt quá 2700 đơn vị, nên thực ra chúng ta có gần đúng 420 yêu cầu LSP cho mỗi cặp nguồn-đích (<1000) như chúng ta thấy trong hình 11.



Hình 11: Số yêu cầu LSP được đáp ứng trong thí nghiệm 3

Trong 3 thí nghiệm này, chúng tôi chứng minh được hiệu quả các thuật toán định tuyến nâng cao (thuật toán định tuyến dựa trên lưu lượng) với thuật toán định tuyến cũ (MHA) trên MPLS cho việc đảm bảo yêu cầu LSP (do đó thể hiện khả năng giảm tắc nghẽn) trên mạng động và cũng thể hiện sự khác biệt giữa thuật toán định tuyến có bảng mô tả và thuật toán không có bảng mô tả (trên môi trường mô phỏng).

6. Kết luận

Ngày nay, với sự xuất hiện của nhiều dịch vụ và ràng buộc mới cho mạng MPLS của người dùng, nhà cung cấp và người quản trị, cần thiết phải có những thuật toán định tuyến nâng cao mới trên MPLS. MPLS hỗ trợ kiến trúc hạ tầng và môi trường đầy tiềm năng cho việc phát triển các thuật toán này. Trong bài báo này, chúng tôi thể hiện các đặc điểm chính và phân loại các thuật toán định tuyến nâng cao trên MPLS. Chúng tôi cũng mô phỏng một vài thuật

toán để thấy được hiệu quả của chúng và đề cập đến một vài dự án với thuật toán định tuyến nâng cao. Trong tương lai, rất nhiều dự án sẽ được xây dựng có hỗ trợ các thuật toán định tuyến nâng cao không chỉ cho server mà còn cho router, thiết bị hiện nay chỉ hỗ trợ giao thức định tuyến IP và CSPF (tuyến đường thỏa ràng buộc ngắn nhất) (cho thiết kế lưu lượng). Nếu chúng ta muốn phát triển các thuật toán này trên MPLS router, thuật toán này phải đơn giản và hiệu quả để thích hợp với các thiết bị router. Và đó là hướng nghiên cứu trong tương lai của chúng tôi về thuật toán định tuyến nâng cao trên MPLS.

7. Tham khảo

- [1] Uyles Black, "MPLS Label Switching Network", PRENTICE HALL, 2002.
- [2] Vivek Alwayn, "Advanced MPLS Design and Implementation", Cisco Press, 2002.
- [3] Sean Harnedy, "MPLS Primer", PRENTICE HALL, 2002.
- [4] Wei Sun, "QoS/Policy/Constraint Based Routing", January 1999.
- [5] Shigang Chen, Klara Nahrstedt, "An Overview of Quality-of-Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions", 1999.
- [6] L. Guo and I. Matta. "Search Space Reduction in QoS Routing", In *Proceedings of the 19th International Conference on Distributed Computing Systems, Austin, Texas*, June 1999.
- [7] M. Kodialam, and T. Lakshman, "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering", in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, March 2000.
- [8] Subhash Suri, Marcel Waldvogel, Daniel Bauer, and Priyank Ramesh Warkhede, "Profile-Based Routing and Traffic Engineering", *Computer Communication* 2002.
- [9] R. Boutaba, W. Szeto, and Y. Iraqi, "DORA: Efficient Routing for MPLS Traffic Engineering", *Journal of Network and Systems Management*, Vol. 10, No. 3, September 2002.
- [10] P. Aukia et al., "RATES: A Server for MPLS Traffic Engineering", *IEEE Network*, vol. 14, Mar./Apr. 2000.
- [11] A. Elwalid et al., "MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering", *Proc. IEEE INFOCOM '01*, Anchorage, AK, Apr. 2001.
- [12] J. C. de Oliveira, F. Martinelli, and C. Scoglio, "SPeCRA: A Stochastic Performance Comparison Routing Algorithm for LSP Setup in MPLS Networks", *Proc. IEEE GLOBECOM '02*, Taipei, Taiwan, Nov. 2002.
- [13] Z. Zhang, C. Sanchez, B. Salkewicz and E. Crawley, "Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Path First Routing", *Internet Draft*, September 1997.
- [14] G. Aposto,opoulos, et. al., "QoS Routing Mechanism and OSPF Extensions", *RFC 2676*, August 1999.

[15] Jim boyle, et. al., "The COPS(Common Open Policy Service) Protocol", *draft-ietf-rapcops-08.txt*, Nov. 1999.

[16] <http://www-eio.upc.es/~jcastro/pprn.html>

[17] <http://www.ist-tequila.org>

[18] <http://www.ironet/qosr.html>

[19] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[20] http://flower.ce.cnu.ac.kr/~fog1/mns/mns2.0/source/mns_v2.0.tar



TRẦN CÔNG HÙNG sinh năm 1961 tại Việt Nam

Nhận bằng Kỹ sư về Điện tử-Viễn thông tại Đại học Bách Khoa thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, năm 1987.

Nhận bằng Kỹ sư về Công Nghệ Thông Tin tại Đại học Bách Khoa thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, năm 1995.

Nhận bằng Thạc sĩ kỹ thuật tại Đại học Bách Khoa Hà Nội, Việt Nam, 1998

Nhận bằng Tiến sĩ kỹ thuật tại Đại học Bách Khoa Hà Nội, Việt Nam, 2004.

Hướng nghiên cứu chính là phương pháp đo lường tham số hiệu suất B-ISDN, QoS trong mạng tốc độ cao, MPLS. Hiện tại, đang là giảng viên, Phó khoa Công nghệ thông tin II và Trưởng bộ môn Mạng và Truyền dữ liệu tại Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông (PTIT), Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.



NGUYỄN HOÀNG THANH sinh năm 1982 tại Việt Nam

Nhận bằng kỹ sư về Công nghệ thông tin tại PTIT, 2003 với tên đề án tốt nghiệp

"Định tuyến cao cấp trong mạng Chuyên Mạch Nhân Đa Giao Thức". Đạt giải nhất nghiên cứu khoa học năm 2002. Các đề tài khoa học: Quản lý mạng từ xa dựa trên kỹ thuật Java Agent, voice Portal sử dụng VXML (hoặc truy cập Internet bởi điện thoại) 2003, Hiện thực tổng đài nội bộ 4 thuê bao 2001. Hiện tại đang là giảng viên của khoa CNTT2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông (PTIT), Hồ Chí Minh, Việt Nam



NGUYỄN ĐỨC THẮNG sinh năm 1982 tại Việt Nam

Nhận bằng kỹ sư về Công nghệ thông tin tại PTIT, 2004 với tên đề án tốt nghiệp "Nghiên cứu GIS trên thiết bị di động và xử lý phân tán". Đạt giải nhất nghiên cứu

khoa học 2003 với tên đề tài "Nghiên cứu và áp dụng các thuật toán xử lý ảnh trong việc nhận dạng bản đồ giấy". Các đề tài nghiên cứu khoa học: Tìm giải pháp tối ưu cho quản lý hệ thống mạng phòng LAB, hiện thực hệ điều hành xử lý theo lô gọi là MERCURY OS. Hiện tại, đang là giảng viên khoa CNTT2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông (PTIT), Hồ Chí Minh, Việt Nam.