

PHÂN TÍCH CÁC THAM SỐ THÔNG LƯỢNG VÀ ĐỘ TRỄ TRONG ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐỂ THIẾT KẾ MẠNG INTRANET

NGUYỄN GIA HIẾU¹, VÕ THANH TÚ²

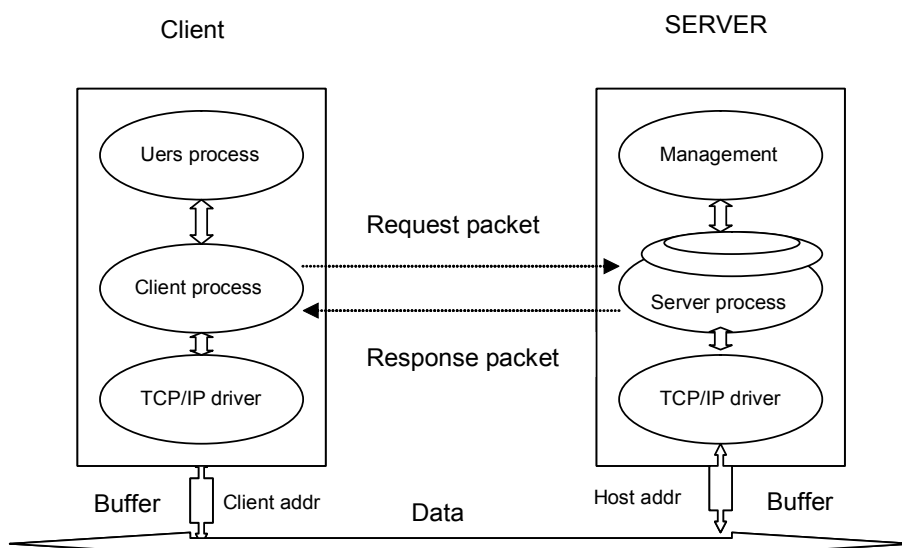
¹Viện Công nghệ thông tin

²Khoa Công nghệ thông tin, ĐHKH Huế

Abstract. The performance evaluation is one of the most important issues for design of Intranet. Different evaluating criteria lead to different controlling strategies and designs. As the development of technologies, the forwarding efficiency, throughput, delay and loss rate should meet new requirements brought forward by all kinds of new algorithms and network applications. In this paper, we analyze a set of integrated performance evaluating criteria from the network traffic control model, many research is observed that such end-to-end congestion control solutions are greatly improved and mean values of throughput and delay for closed product form queueing networks are also analysed.

Tóm tắt. Đánh giá hiệu năng là một trong những vấn đề quan trọng cho thiết kế mạng Intranet. Tiêu chuẩn đánh giá khác nhau dẫn đến các chiến lược điều khiển và tính toán thiết kế khác nhau. Như sự phát triển của các công nghệ mạng, sự cải thiện hiệu suất, thông lượng, độ trễ và tỷ suất lỗi sẽ đem lại những nhu cầu cải tiến những thuật toán mới, những ứng dụng mạng mới. Trong bài báo này, chúng tôi phân tích sự tích hợp các tiêu chuẩn đánh giá hiệu năng từ mô hình điều khiển lưu thông mạng, các giải pháp điều khiển tắc nghẽn từ đầu cuối đến đầu cuối đã được nghiên cứu cải tiến và phân tích giá trị trung bình của thông lượng và độ trễ cho mạng đóng hàng đợi dạng tích.

1. MÔ HÌNH MẠNG TCP/IP

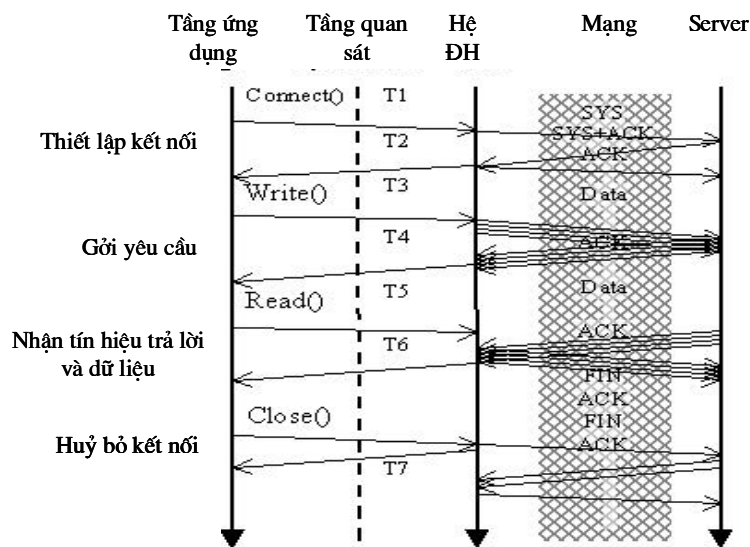


Hình 1. Mô hình mạng gói TCP/IP

Việc điều khiển tránh tắc nghẽn trên nền giao thức TCP/IP là nhiệm vụ rất quan trọng cho cải tiến dịch vụ cung cấp người sử dụng trên mạng Intranet và nâng cao hiệu suất sử dụng nguồn tài nguyên mạng. Việc phát triển các mô hình TCP/IP cho phép người thiết kế mạng cải tiến được những hiện tượng gây ra sự tắc nghẽn để có chính sách điều khiển hiện hành các gói tin TCP. Vấn đề giải quyết chính là cơ chế điều khiển, tính toán thời gian tồn tại và xử lý các gói tin đến bộ đệm tại các bộ định tuyến (nút mạng). Mục tiêu là sử dụng tối đa nguồn tài nguyên mạng sao cho bảo đảm việc truyền các gói tin TCP và thời gian đợi tối thiểu trên bộ đệm của máy chủ và các chuyển mạch tích cực. Vì vậy các ứng dụng nhạy cảm với độ trễ, thông lượng cần được cung cấp các dịch vụ tốt hơn. Để giải quyết vấn đề này cần điều chỉnh các tham số RTT (chu kỳ đi trọn một vòng), thời gian đáp, thời gian đợi xử lý và mô hình hoá khoảng thời gian giữa các tiến trình đến theo các kiểu phục vụ FCFS, RR, FS... phù hợp tại trung tâm kết nối và xử lý mạng.

2. CÁC VẤN ĐỀ HIỆU SUẤT THỰC HIỆN TRÊN MẠNG

Các vấn đề hiệu suất mạng quan trọng khi số lượng máy tính kết nối vào mạng càng nhiều thì việc giao tiếp càng phức tạp, nên có những kết quả không lường trước được dẫn đến hiệu suất thấp. TCP không phải là duy nhất nơi phát sinh hiệu suất, để tìm hiểu chúng ta lược qua các bước chính liên quan đến hệ thống.



Hình 2. Biểu diễn các quá trình hoạt động dựa trên mô hình kết nối yêu cầu-đáp

2.1. Đo hiệu suất mạng

Khi có sự mất cân bằng tài nguyên có cấu trúc thì hiệu suất giảm, như khi tốc độ các gói tin đến cao mà tốc độ xử lý tại hàng đợi của máy tính trung tâm thấp (nguyên nhân tăng độ trễ, phải truyền tải lại) làm giảm hiệu suất. Hoặc sau phục hồi hệ thống, các máy trạm đồng thời truy cập đến máy trung tâm làm tăng tải, nên phải có chiến lược đồng bộ hiện tượng quá tải phù hợp. Vì vậy cần thực hiện các cách thức cải thiện như sau:

- + Đo các tham số mạng liên quan và theo dõi quá trình thực hiện dựa trên sơ đồ hình 2, đặt tầng quan sát tại máy trạm để theo dõi chu kỳ của các quá trình thực hiện trên mạng. Dùng Timer biết được TPDU cần bao lâu để được báo nhận là số đo then chốt RTT từ khi bắt đầu yêu cầu gói tin đến cho đến lúc nhận được đáp ứng trả lời. Đồng

thời ghi lại biến cố xảy ra (dựa vào trình tự ACK) như là hiện tượng mất gói tin.

- + Theo dõi các tiến trình đang tiến hành dựa trên việc phát liên tục các gói tin và tích lũy các gói trả lời ACK để tăng hiệu quả trả lời trong trạng thái hàng đợi bình thường (hình 2).
- + Có thể tăng hoặc giảm thời gian đáp ACK để điều chỉnh lưu lượng gói tin đến.
- + Xử lý nhanh các gói tin TPDU dựa trên chiến lược xử lý tại hàng đợi thích hợp, xây dựng giao thức cho các mạng hiệu suất cao trong tương lai.
- + Thiết kế hệ thống phải đảm bảo lưu lượng truyền tối đa nhưng không dẫn đến tắc nghẽn, không để xảy ra hiện tượng thắt nút do sự chênh lệch tốc độ trong thiết kế mạng Intranet, đặc biệt xử lý tốc độ cao tại vị trí các nút mạng trung tâm ứng với mô hình mạng hình sao qua kết nối bộ định tuyến truyền đi Internet để thực hiện hiệu suất tốt hơn.

2.2. Xác định tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn đánh giá hiệu năng là một trong những vấn đề quan trọng nhất được đưa ra cho việc thiết kế các chiến lược và thuật toán điều khiển giao thông mạng. Sự thiết kế phụ thuộc vào các tiêu chuẩn đánh giá, bởi vì các chiến lược điều khiển giao thông mạng có nhiều đối tượng hiệu năng cần được đánh giá như đã nêu trên, nên việc nghiên cứu đồng thời là một vấn đề khó. Nghiên cứu các tiêu chuẩn đánh giá hiệu năng đã được tích hợp từ mô hình điều khiển giao thông trên mạng Intranet tập trung cải tiến dựa vào các phương pháp sau:

- Giải quyết Time to live của TCP để hạn chế trễ tại hàng đợi làm giảm hiệu suất truyền tin.
- Vấn đề ưu tiên ACK để giảm RTT.
- Nên hủy gói tin sớm trước khi tràn bộ đệm (nghẽn mạch) theo cơ chế RED mở rộng.

2.3. Thời gian đáp trọn vòng (RTT) và độ trễ

Việc có một cơ chế kiểm soát truyền dữ liệu là quan trọng trên môi trường Intranet, trong đó có nhiều máy tính (máy chủ, máy trạm) và các thiết bị khác có tốc độ khác nhau, liên lạc với nhau qua bộ định tuyến, chuyển mạch. Vì vậy các giao thức Internet cần có sự kiểm soát tốc độ truyền end-to-end để điều chỉnh lượng dữ liệu, nếu không phần mềm giao thức sẽ bị quá tải với cơ chế cửa sổ trượt, đồng thời đối với các hệ thống trung gian (bộ định tuyến) phải kiểm soát tốc độ truyền, cho phép một nguồn có thể gửi nhiều hơn nhận của một máy, khi xảy ra quá tải tại máy trung tâm phải sử dụng cơ chế kiểm soát sự nghẽn mạch bằng nhiều giải pháp khác nhau như: tự hủy rồi truyền lại khi quá thời gian sống hoặc truyền lại có tính năng hiệu chỉnh dựa vào mẫu thời gian đi trọn một vòng (RTT) trung bình:

$$RTT = (\alpha * old_RTT) + ((1 - \alpha) * new_RTT), \alpha \text{ là hệ số } 0 \leq \alpha \leq 1$$

nghĩa là khi α gần 1 thì giá trị trọng số trung bình ít ảnh hưởng; α gần 0 thì thay đổi tức thì theo những thay đổi của sự trì hoãn.

Khi gửi một gói dữ liệu, TCP tính giá trị cho bộ đếm thời gian, gán bằng một hằng số $\beta(\beta > 1)$ của ước lượng thời gian đi trọn một vòng hiện tại

$$\text{Timeout} = \beta * RTT$$

nghĩa là khi $\beta \approx 1$ nhanh chóng nhận biết được việc mất gói tin làm giảm thời gian đợi truyền lại không cần thiết. Nếu $\beta = 1$ chỉ một trễ nhỏ cũng gây ra sự truyền lại không cần thiết làm phí băng thông.

Như vậy cần tính β để điều chỉnh bộ đếm thời gian tốt hơn ($\beta = 2$). Trên lý thuyết việc đo RTT là bình thường (khoảng cách thời gian từ lúc segment gửi đi cho đến lúc nhận lời

đáp gửi về), nhưng khi quá thời gian phải truyền lại thì nơi nhận không xác định được lời đáp của gói nào trong lần gửi lại, vì lời đáp chỉ tham chiếu đến dữ liệu đã được nhận chứ không biết phiên bản của datagram chuyển, nên sẽ có sự thay đổi RTT.

- Nếu lấy thời gian lần gửi đầu và lời đáp lần sau thì RTT sẽ lớn hơn và quá trình cứ tiếp tục làm bộ đếm thời gian sớm bị hết hạn.

- Nếu lấy thời gian lần gửi sau và lời đáp gần nhất thì RTT sẽ nhỏ hơn nên Timeout nhỏ đối với segment kế tiếp dễ xảy ra quá hạn.

Vì vậy TCP không nên cập nhật RTT được ước lượng cho các segment được truyền lại để tránh những lời đáp mơ hồ bằng giải thuật Karn: Khi tính ước lượng RTT, bỏ qua những mẫu mà tương ứng với các segment được truyền lại nhưng sử dụng chiến lược nhượng bộ và giữ nguyên giá trị của thời gian hết hạn của dữ liệu được truyền lại đối với những dữ liệu tiếp theo sau cho đến khi có được một mẫu hợp lệ.

Các nghiên cứu trong việc ước lượng RTT không phù hợp môi trường có thay đổi lớn độ trì hoãn. Đặc tả 1989 của TCP yêu cầu các cài đặt phải ước lượng cả hai, RTT trung bình và độ biến đổi β .

Trên thực tế, khi sử dụng một tập các giá trị được phát sinh ngẫu nhiên để minh họa việc tính thời gian hết hạn bị thay đổi khi thời gian RTT biến đổi, người ta thấy rằng RTT thay đổi (tăng, giảm) có thể làm tăng giá trị của bộ đếm thời gian tăng nhanh chóng khi độ trì hoãn tăng nhưng lại không giảm đi nhanh chóng khi độ trì hoãn giảm vì vậy việc xây dựng giải thuật trở nên phức tạp.

3. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH HẠN CHẾ VỚI VIỆC TẮC NGHẼN MẠNG

Trường hợp lý tưởng là lượng tin vào và ra qua chuyển mạch cân bằng nên để xảy ra tắc nghẽn ta phải xét đến các nguyên nhân chính tại tầng giao vận:

- Thiết bị mạng không đáp ứng nhu cầu xử lý số liệu, dữ liệu bị dồn tại các nút mạng có hàng đợi nhỏ và tốc độ xử lý chậm.

- Tần suất đầu vào quá lớn hơn so với đầu ra, do nhiều máy tính cần gửi qua một bộ định đường, nên thời gian chờ xử lý quá lớn vượt bộ đệm vào.

Khi sự nghẽn mạch xảy ra, độ trì hoãn gia tăng và bộ định tuyến bắt đầu xếp hàng các datagram cho đến khi nó có thể chuyển chúng đi. Máy tính thì có bộ nhớ giới hạn và các datagram phải cạnh tranh để vào đó. Trường hợp số datagram đến bộ định tuyến tăng đến khả năng lưu trữ tối đa tại bộ đệm thì bắt đầu hủy bỏ những datagram đến sau. Bên máy phát phải truyền lại sự nghẽn mạch càng lớn, mạng sụp đổ.

Để tránh sụp đổ do nghẽn mạch, chuẩn TCP hiện tại đề nghị sử dụng 2 kỹ thuật: *khởi động chậm* và *giảm theo cấp số nhân*. Đây là vấn đề dự báo bằng kỹ thuật của sổ nghẽn mạch theo dõi hàng đợi rồi thông báo kích thước vùng đệm còn trong lời đáp của bên nhận đảm bảo duy trì nguồn dữ liệu đến luôn nhỏ hơn khả năng chứa của bộ đệm máy đích.

Việc giảm kích thước cửa sổ nghẽn mạch sẽ làm giảm bớt giao thông mà TCP thực hiện trên kết nối. TCP giả định hầu hết các datagram bị mất là do nghẽn nên sử dụng chiến lược khi bị mất một segment thì giảm cửa sổ một nửa (cấp số nhân). Với những segment còn nằm trong cửa sổ được phép, nhượng bộ bằng cách gia tăng bộ đếm thời gian truyền lại theo hàm mũ.

Sau khi phục hồi TCP *khởi động chậm* (John Nagle) để gia tăng từ việc truyền dữ liệu tránh sự dao động khi tăng cửa sổ nghẽn mạch lên cấp số nhân đồng thời gia tăng bộ đếm thời gian theo hàm mũ sẽ hoàn thiện hiệu suất TCP đáng kể ([4]).

Trong quản lý hàng đợi việc cắt bớt phần đuôi cho đến khi nhận được ACK khi tràn bộ đệm gây ảnh hưởng đến trạng thái khởi động chậm, vì TCP hoạt động theo nguyên tắc

end-to-end nên làm cho N phiên bản của TCP chuyển sang trạng thái khởi động chậm cùng một lúc ảnh hưởng đến toàn mạng Internet người ta xây dựng mô hình huỷ bỏ sớm ngẫu nhiên (Random Early Discard:RED) ([3]) sử dụng hai giá trị chặn dưới T_{\min} và chặn trên T_{\max} được mô tả bởi qui tắc sau: nếu hàng đợi chứa trong khoảng T_{\min} và T_{\max} , huỷ bỏ datagram một cách ngẫu nhiên tùy theo một hàm xác suất P .

Ngoài ra có thể sử dụng chuẩn VEGAS để đoán nhận khả năng gây tắc nghẽn trước khi xảy ra bằng cách tính RTT. Với kỹ thuật này tại các nút mạng sẽ thích nghi với những thay đổi của hệ thống, nhưng đồng thời phải tính lại RTT trên thực tế là rất phức tạp, đòi hỏi phải có sự tính toán đồng bộ về thời gian hay chu kỳ xung nhịp nút mạng ở trạng thái hiện tại.

4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH INTRANET NHIỀU LỚP

Các đặc trưng của mạng Intranet ngày nay và tương lai là hình thành các mô hình đa quốc gia phổ biến làm tăng lượng giao dịch với số lượng lớn các trạm đầu cuối của người sử dụng cùng lúc nhiều dịch vụ đa phương tiện khác nhau trên nhiều đoạn truyền thông có tốc độ khác nhau.

4.1. Thuật toán phân tích giá trị trung bình cho mô hình một lớp

Ở đây chúng ta xét hệ thống mạng xếp hàng đóng phụ thuộc thời gian thực hiện và yêu cầu về bộ nhớ.

Thuật giải sẽ tính toán các số đo hiệu năng của mạng với N gói tin, dựa trên các kết quả trước đó tính cho $N - 1$ gói tin là *phân tích giá trị trung bình* (MVA: Mean value Analysis) được M.Reiser và S.Lavenberg đưa ra để xác định các giá trị trung bình của các đại lượng như thông lượng, độ trễ và số các gói tin đối với mạng xếp hàng đóng và các Server độc lập trạng thái ([4]).

Giả sử một mạng đóng với M hàng với N gói tin lưu thông trong mạng và hàng thứ i có tốc độ dịch vụ là μ_i . Khi đó, độ trễ trung bình \bar{t}_i chính là thời gian trung bình mà gói tin phải đợi để được phục vụ xong tại hàng thứ i (gồm cả thời gian dịch vụ cho gói tin đó và thời gian dịch vụ cho tất cả các gói tin đến trước nó tức là thời gian chờ). Điều đó được biểu diễn qua công thức:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{\mu_i} + \frac{1}{\mu_i}q$$

trong đó:

$1/\mu_i$ là thời gian phục vụ trung bình cho mỗi gói tin.

q là số gói tin có mặt trung bình vào lúc đến.

Mà theo định lý các quá trình đến (Arrival Theorem) cho các mạng đóng với các server có phân phối dịch vụ mũ thì *số gói tin có mặt vào lúc đến có phân phối giống như phân phối cân bằng đối với mạng có ít hơn nó một gói tin*. Do đó:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{\mu_i} + \frac{1}{\mu_i}\bar{n}_i(N - 1)$$

Áp dụng công thức Little cho toàn bộ mạng các hàng đợi, ta có:

$$\bar{Y}(N) \sum_{i=1}^M \bar{t}_i(N) = N$$

và cho hàng đợi thứ i

$$\bar{Y}(N)\bar{t}_i(N) = \bar{n}_i(N)$$

Khi đó:

Độ trễ trung bình:

$$\bar{t}_i(N) = \frac{1}{\mu_i} + \frac{1}{\mu_i}\bar{n}_i(N-1), \quad i = 1, 2, \dots, M$$

Thông lượng trung bình:

$$\bar{Y}(N) = \frac{N}{\sum_{i=1}^M \bar{t}_i(N)}$$

Số gói tin trung bình trong hàng thứ i khi có N gói tin trong mạng trường hợp Server độc lập trạng thái:

$$\bar{n}_i(n) = \bar{Y}(n)\bar{t}_i(n), \quad \bar{n}_i(0) = 0.$$

Trường hợp Server phụ thuộc trạng thái:

$$\bar{n}_i(N) = \bar{Y}(N)\theta_i\bar{t}_i(N).$$

- Giá trị θ_i là nghiệm của phương trình thông lượng. Các giá trị đó thường được chọn sao cho có một hàng đợi giá trị $\theta = 1$ (được gọi là hàng cần tham chiếu). Khi đó giá trị $\bar{Y}(N)$ chính là thông lượng trung bình của hàng cần tham chiếu. Sau đó lấy $\theta_i \times \bar{Y}(N)$ để xác định giá trị thông lượng trung bình cho hàng đợi thứ i trong trường hợp Server phụ thuộc trạng thái.

4.2. Phát triển trên mô hình nhiều lớp

Trong trường hợp mạng đóng nhiều lớp, tồn tại một số cố định các gói tin yêu cầu N_r trong hệ thống lớp thứ r của R lớp và ta có thể biểu diễn lại dưới dạng vectơ chính $\mathcal{N} = (N_1, \dots, N_r, \dots, N_R)$, trong đó vectơ đơn vị là 1_r (có tất cả các thành phần bằng 0, ngoại trừ thành phần thứ r). Vì vậy nếu số lớp $R = 3$ thì vectơ $1_2 = (0, 1, 0)$.

Như vậy $t_{i,r}(\mathcal{N})$ là thời gian trễ trung bình của hàng đợi thứ i lớp r có giá trị là

$$t_{i,r}(\mathcal{N}) = \frac{1}{\mu_{i,r}} + \frac{1}{\mu_{i,r}} \times \bar{n}_i(\mathcal{N} - 1_r).$$

Thông lượng trung bình của lớp r :

$$\bar{Y}_r(\mathcal{N}) = \frac{N_r}{\sum_{i,r} t_{i,r}(\mathcal{N})}$$

Số gói tin trung bình trong hàng thứ i của lớp r :

Trường hợp Server độc lập trạng thái:

$$\bar{n}_{i,r}(\mathcal{N}) = \bar{Y}_r(\mathcal{N}) \times t_{i,r}(\mathcal{N}), \quad \bar{n}_i(0) = 0.$$

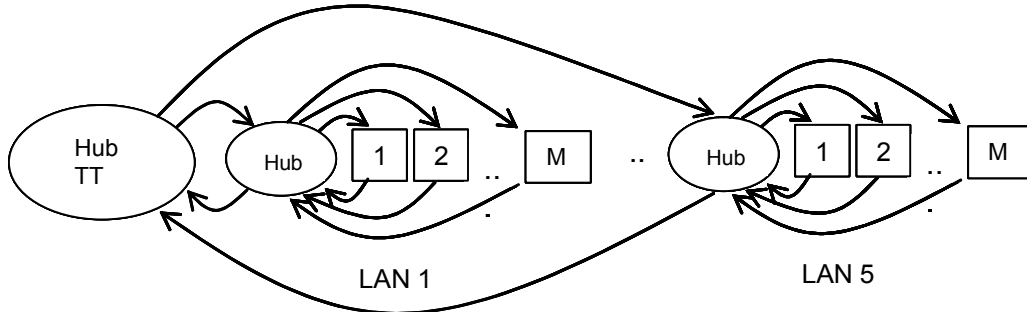
Trường hợp Server phụ thuộc trạng thái:

$$\bar{n}_{i,r}(\mathcal{N}) = \bar{Y}_r(\mathcal{N}) \times \theta_{i,r} \times t_{i,r}(\mathcal{N})$$

4.3. Thử nghiệm phương pháp phân tích mô hình mạng Intranet

Chúng ta xét mô hình để mô tả hiệu năng của mạng Intranet M/M/6/500/FCFS với khoảng thời gian giữa các gói tin đến hệ thống liên tiếp nhau tuân theo qui luật phân phối

mũ, hệ thống có 500 máy trạm (clients), cần truy cập đến 6 Server chính, phương thức phục vụ FCFS. Như vậy mô hình sẽ có 5 lớp, trong mỗi lớp gồm các phần tử là các nhóm máy trạm, máy chủ và dịch vụ ứng dụng.



Hình 3. Sơ đồ mạng hình sao năm lớp

Việc truy cập đến máy chủ 1 từ một máy trạm trong mạng LAN 1 được gọi là một ánh xạ đến một lớp trong mô hình QNs được ký hiệu như sau:

- Các nhóm máy trạm trong các mạng LAN 1 đến 5 được biểu thị bởi C1, C2, C3, C4, C5. Các máy chủ tương ứng các nhóm là FS1, FS2, FS3, FS4, FS5.
- Gọi File Server truy cập đến là FS và sự kết nối là TR.
- Có một Web Server là WebS được đặt thêm tại LAN 2.

Vậy có 10 lớp tải nạp là: (C1, FS, FS1), (C2, FS, FS2), (C3, FS, FS3), (C4, FS, FS4), (C5, FS, FS5), (C1, TR, WebS), (C2, TR, WebS), (C3, TR, WebS), (C4, TR, WebS), (C5, TR, WebS).

Độ trễ của tài nguyên cho các máy trạm là thời hạn kết thúc của yêu cầu trước tại client cho tới khi có yêu cầu mới đến máy chủ xuất hiện và trễ tại bộ định tuyến hoặc bộ tập trung. Tất cả những bộ phận ảnh hưởng khác như là các CPU, các đĩa, các LAN là mô hình hàng đợi độc lập tải.

Với những tham số trên chúng ta có thể xác định được những nhu cầu cho 26 hàng đợi bao gồm như sau: 5 mạng, 5 nhóm máy trạm, 6 bộ định tuyến và chuyển mạch của 10 lớp.

Số các yêu cầu trên mỗi lớp bằng số các máy trạm trên nhóm đó tương ứng trên mỗi lớp. Ví dụ lớp 1 có 110 máy trạm thì số yêu cầu trong lớp 1 là 110, từ đó có thể xác định được cho các lớp khác. Thông lượng của từng lớp dựa vào số gói tin yêu cầu đến trung bình và tổng thời gian đợi xử lý trên từng lớp (trên Mục 4.2.2), từ đó tính được hiệu năng của toàn mạng.

Nếu phân tích và tính toán với số yêu cầu vào càng lớn hơn, làm tăng số yêu cầu trung bình đến WebServer gấp nhiều lần so với đến các File Server của từng lớp, đầu ra hệ thống dự báo sẽ bị hiện tượng thắt nút ở mạng LAN 2 có chứa WebServer tốc độ thấp. Kết quả đo bằng thông thực nghiệm trên mạng Intranet của ĐHKH Huế ([5]) đã có kết quả tương tự. Vì vậy để cải tiến lưu lượng dữ liệu đưa vào của WebServer đến các máy trạm thì chúng ta cần phải nâng cao chất lượng LAN 2. Qua mô hình và phân tích lớp mạng cho phép chúng ta có thể mô phỏng các hệ thống mạng lớn dựa trên giá trị trung bình để đánh giá hiệu suất mạng.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này đã phân tích các tham số chính như thông lượng, độ trễ, tích hợp các

kỹ thuật đánh giá ảnh hưởng mạnh đến hiệu năng mạng máy tính dựa trên thuật toán phân tích giá trị trung bình (MVA) của lý thuyết hàng đợi, từ đó xây dựng các mô hình hiệu năng của hệ thống Intranet để áp dụng cho thực tế mà có thể tính toán được độ trễ và thông lượng trung bình của tất cả các gói tin vào, hạn chế tắc nghẽn xảy ra tại các nút chuyển mạch để cải tiến hiệu năng trong thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Daniel A. Menasce, Virgilio A.F. Almeida, *Capacity Planning for Web Performance*, Prentice Hall, PTR, 1998.
- [2] Leonard Kleinrock, On the Modeling and Analysis of Computer Networks, Fellow, *IEEE* **81** (8) (August 1993).
- [3] Thomas Bonald, Analytic Evaluation of RED Performance, *CNET Telecom* (2000).
- [4] Thomas G. Robertazzi, *Computer Networks and Systems* (Queueing Theory and Performance Evaluation), Springer-Verlag, 1994.
- [5] Võ Thanh Tú, Nguyễn Trung Hiếu, Xây dựng công cụ đánh giá độ tin cậy cho mạng nội bộ. *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **19** (1) (2003) 44–52.
- [6] William, Congestion Control and Resource Allocation, Further Reading, *IEEE* (1998).
- [7] Yi-Der Li, Wanjiun Liao, Improving TCP Performance for Asymmetric Networks, *Proc. IEEE ICC* (2001) 1824–1828.

Nhận bài ngày 20 - 4 - 2002