

ĐIỀU KHIỂN NGHẼN CHO MẠNG ATM

NGUYỄN QUỐC KHÁNH

Abstract. In this paper we develop a method using Smith's predictor for congestion control in Asynchronous Transfer Mode networks. The control law guarantees no buffer overflow and maximal link utilization.

Tóm tắt. Trong bài này chúng tôi phát triển một phương pháp sử dụng bộ dự báo Smith cho điều khiển nghẽn trong mạng ATM. Luật điều khiển đảm bảo không bị tràn bộ đệm và sử dụng tuyến tối đa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kiểu truyền không đồng bộ ATM (Asynchronous Transfer Mode) đã được Hiệp hội Viễn thông quốc tế ITU (International Communication Union) khuyến nghị chọn làm công nghệ truyền dẫn cho mạng đa dịch vụ. Trong vài năm gần đây, Internet đang trở thành đối thủ cạnh tranh đầy tiềm năng - với thế mạnh đã nối mạng toàn cầu, đòi hỏi đầu tư cơ sở hạ tầng thấp, giá cước rẻ... Ở cả hai mạng trên, nhất là Internet, nghẽn là sự cố kỹ thuật ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng dịch vụ (kéo dài thời gian trễ, làm mất các tế bào hoặc gói tin), thậm chí có thể gây ùn tắc dây truyền, làm tê liệt hoạt động của mạng. Vì thế đã có nhiều công trình nghiên cứu các phương pháp phòng chống nghẽn (Peterson, Jain, 1996; Ding, Zhao, 1997; Liew, Altman, 1998; Mascolo, Weng, 1999...).

Trong bài này chúng tôi trình bày sự phát triển phương pháp sử dụng bộ dự báo Smith trong [4]. Khi nghiên cứu các hệ thống chịu tác động của trễ điều khiển, Smith đã sáng tạo ra một cơ cấu nhằm khử ảnh hưởng của nó đến động học của hệ thống kín, giúp ta có thể thiết kế bộ điều khiển theo những phương pháp thông thường cho các hệ thống không trễ. Phân tích 5 lớp dịch vụ do Diễn đàn ATM định nghĩa (ATM Forum, 1996), ta thấy với một số bổ sung có thể ứng dụng phương pháp Smith để điều khiển lưu lượng cho lớp dịch vụ ABR (Available Bit Rate). Một số biện pháp nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cũng được bàn đến.

2. THÀNH LẬP BÀI TOÁN

Ta mô tả quá trình điều khiển luồng tế bào cho kết nối từ nút chuyển mạch nguồn S qua một số nút chuyển mạch trung gian đến nút chuyển mạch đích D . Diễn đàn ATM (1996) qui định: cứ 32 tế bào dữ liệu thì nút nguồn gửi 1 tế bào quản lý tài nguyên RM (Resource Management). dọc đường đi, khi gặp tế bào RM các chuyển mạch phải ghi vào đó giá trị khoảng trống e của bộ đệm - tức hiệu số giữa dung lượng được cấp phát r^0 với số tế bào x xếp hàng trong bộ đệm. Đến nút đích các tế bào RM quay trở lại nguồn, mang giá trị e nhỏ nhất đã nhận được trên đường đi. Căn cứ vào e bộ điều khiển tại nút nguồn cập nhật lại tốc độ luồng vào u để đạt được mục đích đề ra (không bị tràn bộ đệm, sử dụng tối đa băng thông). Quá trình điều khiển được lặp lại sau chu kỳ cắt mẫu T_s .

Ở đây, ta nghiên cứu mô hình hệ thống liên tục. Kí hiệu khoảng thời gian tế bào RM đi từ nút cổ chai - nút có giá trị e nhỏ nhất, nguy cơ bị nghẽn lớn nhất - đến nút đích và ngược trở lại nút nguồn bằng T_{fb} (thời gian phản hồi), và khoảng thời gian luồng tế bào đi từ nút nguồn tới nút cổ chai bằng T_{fw} (thời gian truyền xuôi). Khi đó

$$T_r = T_{fb} + T_{fw} \quad (1)$$

được gọi là thời gian đi một vòng, nó không phụ thuộc vào vị trí của nút cổ chai. Động học của đối tượng điều khiển được mô tả bằng phương trình cân bằng số lượng tế bào của bộ đệm

$$x(t) = \int_0^t [u(\tau - T_{fw}) - \alpha(\tau)] d\tau. \quad (2)$$

Hoặc

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t - T_{fw}) - \alpha(t). \quad (3)$$

Trong các công thức trên, tốc độ luồng ra $\alpha(t)$ phụ thuộc vào độ rộng băng khả dụng $b_{av}(t)$ tuyến ra của nút cổ chai và tình trạng của bộ đệm (có thể bào đợi hay trống):

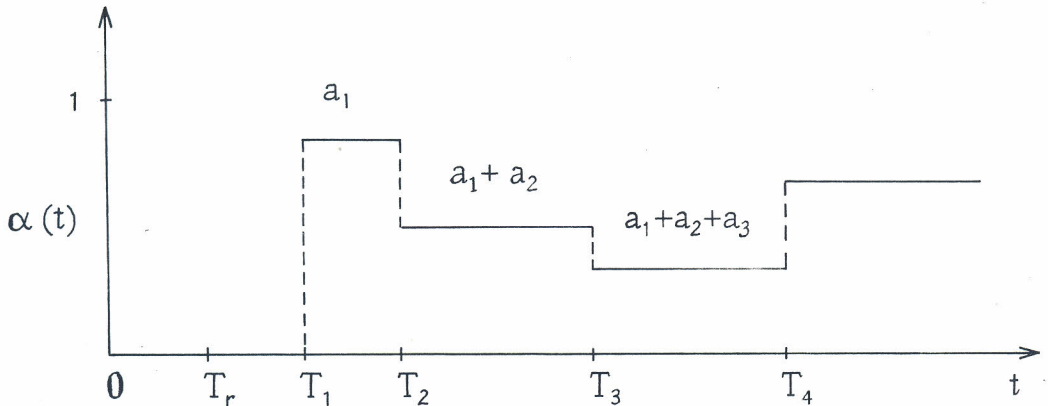
$$\alpha(t) = \begin{cases} b_{av}(t) & \text{nếu } x(t) > 0, \\ \min\{u(t - T_{fw}), b_{av}(t)\} & \text{nếu } x(t) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Trong trường hợp lớp dịch vụ ABR của mạng ATM hoặc dịch vụ "best effort" được cung cấp bởi IPv4, độ rộng băng $b_{av}(t)$ cho kết nối đang xét phụ thuộc vào tổng lưu lượng của tuyến ra và khó đo được trong thực tế. Do đó, ta coi $\alpha(t)$ là nhiễu (disturbance) theo nghĩa là một hàm tiền định không biết. Ta chuẩn hóa dung lượng truyền của tuyến nút cổ chai bằng 1 và xét trường hợp xấu nhất khi $\alpha(t)$ là hằng số (dương) từng đoạn, thay đổi đột ngột tại một số điểm (hình 1):

$$\alpha(t) = \sum_{i=1}^p a_i l(t - T_i). \quad (5)$$

Trong đó $T_1 > T_r$, $T_j > T_i$ nếu $j > i$;
 $a_1 \in (0, 1]$, $a_i \in [-1, 0) \cup (0, 1]$ với $i > 1$;
 $l(t)$ là hàm bước nhảy đơn vị:

$$l(t) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } t \geq 0, \\ 0 & \text{nếu } t < 0. \end{cases} \quad (6)$$



Hình 1

Đến đây, ta có thể phát biểu điều kiện để đạt được các mục đích điều khiển như sau:

- 1) $x(t) < r^0$, $t > 0$,
đảm bảo rằng bộ đệm luôn không bị tràn. (7)
- 2) $x(t) > 0$, $t \geq T_r$. (8)

Theo (4) ta có $\alpha(t) = b_{av}(t)$, tức tuyến được sử dụng tối đa.

3. PHƯƠNG PHÁP GIẢI

Ta thấy thời gian trễ dẫn đến các phương trình vi phân với đối số lệch (3), hoặc dạng siêu việt (9). Đây là trở ngại lớn cho phân tích và thiết kế hệ thống. Người ta đã đưa ra một số phương

pháp giải, song khá phức tạp [2]. Thực tế cho thấy phương pháp của Smith đơn giản và rất hiệu quả trong nhiều ứng dụng. Bài toán điều khiển nghẽn có một số điểm khác với sơ đồ cơ bản, song ta vẫn có thể vận dụng nguyên lý của Smith.

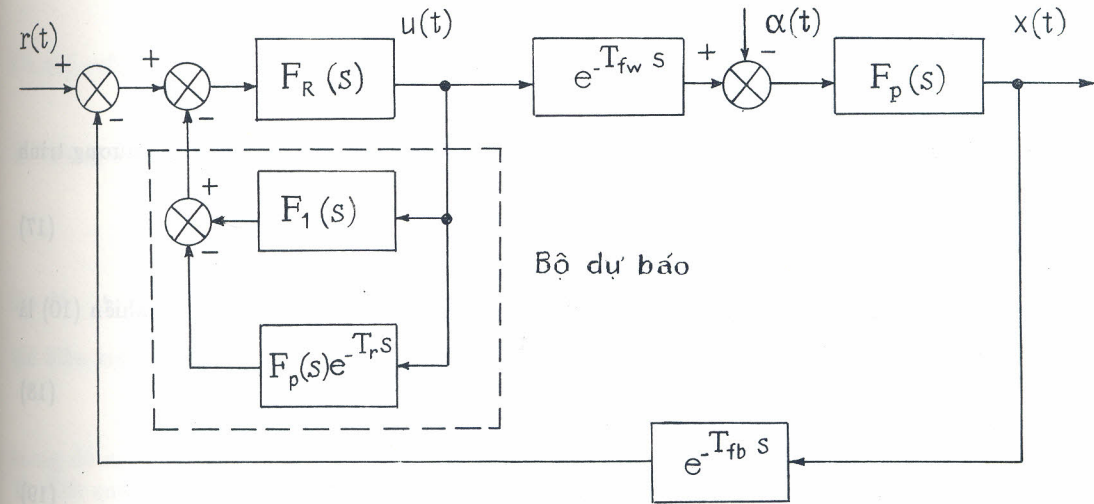
Lấy biến đổi Laplace hai vế của (2), ta có

$$x(s) = F_p(s)[u(s) e^{-T_{fw}s} - \alpha(s)], \quad (9)$$

trong đó

$$F_p(s) = 1/s. \quad (10)$$

Ta vẽ được sơ đồ khối của hệ thống điều khiển trên hình 2.



Hình 2

Sau khi thực hiện một số phép tính, ta nhận được phương trình biểu diễn quan hệ giữa chiều dài hàng đợi với dung lượng bộ đệm và tốc độ ra nhờ hàm truyền Laplace

$$x(s) = \frac{F_{RPR}(s) F_p(s) e^{-T_{fw}s}}{1 + F_{RPR}(s) F_p(s) e^{-T_r s}} r(s) - \frac{F_p(s)}{1 + F_{RPR}(s) F_p(s) e^{-T_r s}} \alpha(s). \quad (11)$$

Trong đó $F_{RPR}(s)$ là hàm truyền chung của bộ điều khiển và bộ dự báo

$$F_{RPR}(s) = \frac{F_R(s)}{1 + F_R(s)[F_1(s) - F_p(s) e^{-T_r s}]}, \quad (12)$$

$F_R(s)$ kí hiệu hàm truyền của bộ điều khiển.

Thay (12) vào (11) ta có - sau khi biến đổi

$$x(s) = \frac{F_R(s) F_p(s)}{1 + F_R(s) F_1(s)} e^{-T_{fw}s} r(s) - \left[F_p(s) - \frac{F_R(s) F_p^2(s) e^{-T_r s}}{1 + F_R(s) F_1(s)} \right] \alpha(s). \quad (13)$$

Bộ dự báo Smith là trường hợp đặc biệt khi chọn

$$F_1(s) = F_p(s). \quad (14)$$

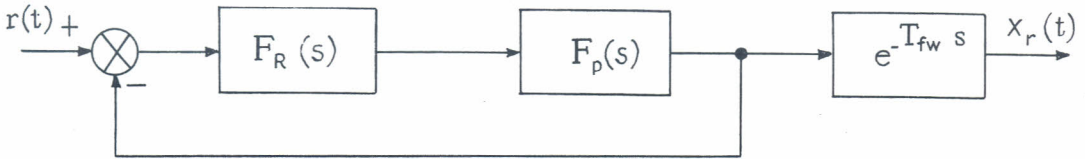
Theo nguyên lý xếp chồng cho các hệ thống tuyến tính, ta có thể xác định thay đổi của $x(t)$ bằng tổng các thay đổi thành phần $x_r(t)$ và $x_\alpha(t)$ do $r(t)$ và $\alpha(t)$ sinh ra

$$x(t) = x_r(t) + x_\alpha(t). \quad (15)$$

Từ (13), (14) ta có

$$\frac{x_r(s)}{r(s)} = \frac{F_R(s) F_p(s)}{1 + F_R(s) F_p(s)} e^{-T_{fw} s}. \quad (16)$$

Hình 3 là sơ đồ hệ thống tương đương cho khảo sát chiều dài hàng đợi theo dung lượng bộ đệm.



Hình 3

Ta thấy thời gian trễ bị đẩy ra ngoài vòng điều khiển và không còn ảnh hưởng đến phương trình đặc trưng của hệ thống kín

$$1 + F_R(s) F_p(s) = 0. \quad (17)$$

Điều này cho phép thiết kế hệ thống như trường hợp không có trễ.

Để lời giải không phức tạp thuận tiện cho phân tích giải tích, với đối tượng điều khiển (10) là khâu tích phân, ta có thể chọn bộ điều khiển tỉ lệ P [1, 4]:

$$F_R(s) = k. \quad (18)$$

Thay (10), (14), (18) vào (13), ta được

$$\frac{x_r(s)}{r(s)} = \frac{1}{Ts + 1} e^{-T_{fw} s}, \quad (19)$$

$$\frac{x_\alpha(s)}{\alpha(s)} = -\frac{1}{s} + \left[\frac{1}{s} - \frac{1}{Ts + 1} \right] e^{-T_{fw} s}, \quad (20)$$

trong đó ta kí hiệu

$$T = \frac{1}{k}. \quad (21)$$

Trong suốt kết nối kênh ảo dung lượng bộ đệm không thay đổi:

$$r(t) = r^0 l(t - T_{fb}). \quad (22)$$

Ta có

$$r(s) = r^0 e^{-T_{fb} s} / s.$$

Thay công thức này vào (19) và lấy biến đổi Laplace ngược, ta nhận được

$$x_r(t) = L^{-1}[x_r(s)] = (1 - e^{-k(t-T_r)}). \quad (23)$$

Tương tự, với tốc độ ra biến thiên theo (5) ta tính được thay đổi hàng đợi tương ứng

$$x_\alpha(t) = \sum_{i=1}^P \left[-a_i(t - T_i) l(t - T_i) + a_i(t - T_i - T_r) l(t - T_i - T_r) - T a_i (1 - e^{-k(t-T_i-T_r)}) l(t - T_i - T_r) \right]. \quad (24)$$

Bây giờ ta phân tích ảnh hưởng của các tham số hệ thống đến mục đích điều khiển. Dễ dàng thấy điều kiện không tràn bộ đệm (7) luôn thỏa mãn. Thật vậy, tổng hai số hạng đầu ở vế trái của (24) bằng 0 với $t < T_r$ và bằng

$$-\left(\sum_{i=1}^p a_i\right) T_r = -a T_r < 0$$

với $t \geq T_r$. Số hạng thứ ba bằng 0 với $t < T_1 + T_r$ và âm với $t \geq T_1 + T_r$. Nên $x_\alpha(t) \leq 0$ với $t \geq 0$. Từ (23) ta thấy

$$x_r(t) = 0 \text{ với } t \leq T_r; \quad 0 < x_r(t) < r^0 \text{ với } t > T_r.$$

Do đó $x(t) = x_r(t) + x_\alpha(t) \leq x_r(t) < r^0$ với $t \geq 0$.

Chú ý rằng điều này đúng cho dung lượng bộ đệm nhỏ bất kì.

Tiếp theo, vì $(t - T_i - T_r) < (t - T_1 - T_r)$, suy ra

$$-\sum_{i=1}^p T a_i \left(1 - e^{-k(t-T_i-T_r)}\right) > T a \left(1 - e^{-k(t-T_1-T_r)}\right).$$

Có thể viết

$$x(t) > r^0 \left(1 - e^{-k(t-T_r)}\right) - a T_r - T a \left(1 - e^{-k(t-T_1-T_r)}\right).$$

Ta chứng minh được

$$\left(-r^0 e^{-k(t-T_r)} + T a e^{-k(t-T_1-T_r)}\right) \geq 0 \Leftrightarrow T_1 \geq \ln(r^0 / (T a)).$$

Do đó $x(t) \geq r^0 - a(T_r + T)$.

Để điều kiện sử dụng tuyến tối đa (8) thỏa mãn, thì

$$r^0 > a_{\max}(T_r + 1/k), \tag{25}$$

trong đó a_{\max} là tốc độ ra lớn nhất (khi chuẩn hóa dung lượng truyền của tuyến nút cổ chai bằng 1). Kết quả này là cơ sở cho tính toán hệ thống.

Cuối cùng, để nhận được luật điều khiển dễ thực hiện hơn sử dụng hàm truyền (12), theo sơ đồ trên hình 2 ta viết

$$u(t) = k \left[e(t - T_{fw}) - \int_0^t u(\tau) d\tau + \int_0^t u(\tau - T_r) d\tau \right].$$

Số hạng cuối có thể biến đổi như sau

$$\int_0^t u(\tau - T_r) d\tau = \int_{-T_r}^{t-T_r} u(\sigma) d\sigma = \int_0^{t-T_r} u(\sigma) d\sigma.$$

Bởi vì $u(t)$ không được định nghĩa trong khoảng $[-T_r, 0]$. Thay vào biểu thức trên, ta nhận được kết quả

$$u(t) = k \left[e(t - T_{fw}) - \int_{t-T_r}^t u(\tau) d\tau \right], \tag{26}$$

trong đó $e(t - T_{fw})$ là khoảng trống của bộ đệm đã được tế bào RM cung cấp.

4. KẾT LUẬN

Về lời giải trình bày ở trên, ta có mấy nhận xét:

- Cấu trúc của hệ thống là hợp lý: ta dùng bộ điều khiển của nút nguồn điều tiết tốc độ luồng vào và chống được nhiễu cho toàn bộ đường kết nối. Cách này triệt tận gốc nguyên nhân sinh ra

nghe, hiệu quả hơn so với nếu chỉ giải tỏa nút cổ chai và kinh tế hơn cách điều khiển tại tất cả các nút chuyển mạch.

- Luật điều khiển (26) khá đơn giản, thuận lợi cho rời rạc hóa để sử dụng vào mạng viễn thông số.

- Phương pháp cũng rất phù hợp cho điều khiển nghe trong mạng Internet - là vấn đề cấp thiết hiện nay [3].

Ta thấy, có thể nâng cao chất lượng điều khiển bằng các biện pháp sau:

- Sử dụng các bộ điều khiển phức tạp hơn, như kiểu PI, PID. Lúc bấy giờ phân tích bằng tính toán hàm quá độ $x(t)$ trở nên khó khăn, đòi hỏi mô phỏng trên máy tính.

- Trong trường hợp phải khử ảnh hưởng của thăng giáng tốc độ luồng ra, ta có thể sử dụng bộ dự báo Smith cải tiến [1].

- Để giảm thời gian trễ T_{fb} do truyền thông tin phản hồi, cần thay cách thu nhập thông tin nhờ tế bào RM cấy cộng sinh vào phần truyền dẫn bằng các công nghệ tiên tiến nhằm tách luồng thông tin điều khiển ra khỏi luồng dữ liệu, như hệ thống báo hiệu số 7, hoặc TMN (Telecommunication Management Network) theo khuyến nghị của ITU.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Astrom K. J., Hang C. C., Lim B. C., A new Smith predictor for controlling process with an integrator and long dead-time, *IEEE Transaction on Automatic Control* **39** (2) (1994) 343-345.
- [2] Furuta K., Yamakita M., Sato Y., Computation of optimal control for linear systems with delay, *Int. J. Contr.* **48** (2) (1988) 577-589.
- [3] Gerla M., Locigno R., Mascolo S., Weng W., Generalized window advertising for TCP congestion control, UCLA Technical Report 990012, 1999, Available at www.cs.ucla.edu./NRL/.
- [4] Mascolo S., Congestion control in high-speed communication networks using the Smith principle, *Automatica* **35** (1999) 1921-1935.

Nhận bài ngày 2-4-2001

Tổng công ty Bưu chính Viễn thông