

# ỨNG DỤNG LUẬT ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU BÌNH PHƯƠNG CHO ĐIỀU KHIỂN NGHẼN TRONG MẠNG ATM

CHU VĂN HỠ, PHẠM BẮC VIỆT

**Abstract.** This paper analyses recent methods of congestion control in ATM (Asynchronous Transfer Mode) networks. In order to improve the quality of service we propose to apply the quadratic optimal control law. The general solution is obtained. The advantages of the proposed method are also shown.

**Tóm tắt.** Bài này phân tích các phương pháp hiện nay cho điều khiển nghẽn trong mạng ATM. Nhằm nâng cao chất lượng dịch vụ chúng tôi đề xuất áp dụng luật điều khiển tối ưu bình phương. Lời giải tổng quát đã nhận được. Các ưu điểm của phương pháp đề xuất cũng được chỉ ra.

## 1. ĐIỀU KHIỂN NGHẼN TRONG MẠNG ATM

Trong 5 loại dịch vụ theo định nghĩa của Diễn đàn ATM (Asynchronous Transfer Mode) chỉ có dịch vụ ABR (Available Bit Rate) được trang bị bộ điều khiển luồng làm việc theo nguyên lý phản hồi, nhờ các tế bào RM (Resource Management) mang thông tin từ các nút chuyển mạch trên đường kết nối ảo đến nút đích D và truyền ngược lại nút nguồn S ([5]). Bộ điều khiển này, ngoài nhiệm vụ truyền tải phần lưu lượng ABR còn có công dụng:

1) Nâng cao hiệu suất sử dụng tài nguyên mạng, bằng cách tận dụng phần băng thông và bộ đệm đã cấp phát cho các loại dịch vụ khác nhưng không sử dụng hết;

2) Phát hiện các nút cổ chai và điều chỉnh tốc độ vào (của dịch vụ ABR) tránh cho mạng không bị nghẽn. Do tầm quan trọng đặc biệt của chức năng này mà còn có tên gọi điều khiển nghẽn.

Nhờ những tiến bộ chế tạo phần cứng, áp dụng các phương pháp phân tích và thiết kế tiên tiến của lý thuyết hệ thống điều khiển nghẽn phát triển không ngừng từ đơn giản đến hiện đại. Phương pháp được sử dụng sớm nhất gọi là kiểu nhị phân. Nếu số tế bào xếp hàng trong bộ đệm lớn hơn giá trị ngưỡng cho trước, một chữ số nhị phân được thiết lập cho trường chỉ thị nghẽn của tế bào RM. Khi nhận được tín hiệu này bộ điều khiển giảm lưu lượng vào theo một tỷ lệ qui định. Phương pháp đơn giản, dễ thực hiện nhưng lưu lượng bị thặng giáng mạnh, đòi hỏi bộ đệm lớn. Để khắc phục tình trạng trên, trong điều khiển kiểu tốc độ tương minh, căn cứ vào tài nguyên hiện có của tuyến và các tham số của người sử dụng các nút chuyển mạch cần tính tốc độ cực đại cho phép. Những số liệu này được ghi vào tế bào RM trong hướng truyền ngược D-S. Theo đó bộ điều khiển thay đổi tốc độ lưu lượng vào. Phương pháp này đòi hỏi khối lượng tính toán lớn. Ta thấy, trong các sơ đồ điều khiển trên hệ thống phải chịu thời gian trễ  $T_{fb}$  cho truyền thông tin từ nút chuyển mạch ngược về nút nguồn. Thêm nữa, sau khi đã được điều chỉnh còn phải mất khoảng thời gian truyền xuôi  $T_{fw}$  tốc độ vào mới làm thay đổi lưu lượng ở nút đang xét. Thời gian  $T_r = T_{fb} + T_{fw}$ , gọi là trễ vòng, tác động xấu đến chất lượng điều khiển, đặc biệt làm cho lời giải trở nên rất phức tạp ([2]). Để hạn chế tác hại, nhất là khi thời gian trễ vòng lớn, diễn đàn ATM đưa ra giải pháp, gọi là điều khiển kiểu nguồn ảo/đích ảo, nhằm chia hệ thống ra nhiều vòng điều khiển nhỏ.

Các khuyến nghị diễn đàn ATM 4.0, ITUT-I.371, I.371.1 gồm những chỉ dẫn cho tính toán điều khiển luồng vòng kín ABR và điều khiển lưu lượng vòng hở (thực chất là ấn định băng thông và cấp phát bộ đệm) cho các loại dịch vụ khác, với mục đích phối hợp sử dụng hiệu quả băng thông. Từ quan điểm điều khiển tự động ta thấy cách tính này dựa trên mô hình luồng tĩnh, như lý thuyết xếp hàng, mô hình tổn thất đa dịch vụ, mô hình nguồn Markov ..., khi áp dụng cho điều khiển nghẽn sẽ không cho độ chính xác cao. Bởi vì điều khiển một hệ động lực đòi hỏi phải mô tả hệ thống bằng

phương trình vi phân theo thời gian, nghĩa là ta phải xây dựng mô hình luồng động cho mạng ATM.

Nghiên cứu mô hình động học và ứng dụng phương pháp điều khiển hiện đại cho các mạng tốc độ cao đã có một số kết quả ([3]). Có thể nói [4] là một trong những công trình đã đưa ra lời giải thỏa đáng cho bài toán điều khiển nghẽn. Trong đó vấn đề trễ vòng được giải quyết nhờ bộ dự báo Smith, đơn giản và hiệu quả hơn phương pháp nguồn ảo/dịch ảo đã nói ở trên. Một bộ điều khiển P (Proportional) tại nút nguồn điều chỉnh tốc độ vào tỷ lệ với khoảng trống của bộ đệm ở nút cổ chai, đảm bảo không nghẽn cho toàn đường kết nối ảo. Hằng số tỷ lệ  $K_P$  của bộ điều khiển được chọn để thỏa mãn điều kiện sử dụng tuyến tối đa. Song, từ lý thuyết điều khiển tối ưu ta thấy P là bộ điều khiển đơn giản nhất, nên có khả năng tìm được các luật điều khiển tốt hơn.

## 2. ỨNG DỤNG LUẬT ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU BÌNH PHƯƠNG

Ta có phương trình vi phân biểu diễn cân bằng lưu lượng cho bộ chuyển mạch ATM với các bộ đệm độc lập cho các đầu vào ([3,4]):

$$\dot{x}(t) = u(t - T_r) - d(t) \quad (1)$$

Trong đó  $x(t)$  là số tế bào xếp hàng trong bộ đệm;  $u(t)$  là tốc độ luồng vào của dịch vụ ABR đang xét;  $T_r$  là thời gian trễ vòng;  $d(t)$  là tốc độ luồng ra ([4])

$$d(t) = \begin{cases} a(t) & \dots \text{ cho } x(t) > 0 \\ \min\{u(t - T_r), a(t)\} & \dots \text{ cho } x(t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$a(t) \in (0, 1)$  ký hiệu bằng thông khả dụng được chuẩn hoá (dung lượng truyền của tuyến cổ chai bằng 1),  $a(t)$  có biến thiên dạng hằng số từng đoạn, phụ thuộc vào tất cả các dịch vụ khác. Trong vòng điều khiển nghẽn, bằng thông khả dụng  $a(t)$  đóng vai trò của đại lượng nhiễu (disturbance).

Như đã biết trong lý thuyết điều khiển tự động, luật điều khiển tối ưu bình phương được sử dụng rất rộng rãi do ý nghĩa thực tiễn của hàm mục tiêu  $J$ , chất lượng điều khiển đạt được thỏa mãn hầu hết các quá trình công nghệ thông thường, đặc biệt nó đảm bảo độ dự trữ ổn định (tiệm cận) cho hệ thống kín. Áp dụng cho bài toán ở đây, ta có

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{T_r} [e^2(t) + ku^2(t)] dt \quad (3)$$

Trong đó sai số

$$e(t) = r^0 - x(t) \quad (4)$$

là hiệu của dung lượng bộ đệm được cấp phát  $r^0$  và số tế bào xếp hàng  $x(t)$ , tức là khoảng trống của bộ đệm. Vấn đề đặt ra là phải tìm điều khiển  $u(t)$  để đưa hệ thống từ trạng thái  $x(0) = 0$  đến trạng thái  $x(T_f)$  (không xác định), sao cho cực tiểu hoá hàm mục tiêu  $J$ , đồng thời thỏa mãn điều kiện không nghẽn

$$x(t) < r^0, \quad \forall t \in (0, T_f) \quad (5)$$

cho bằng thông khả dụng thay đổi bất kỳ  $a(t) \in (0, 1)$ .

Trong trường hợp đơn giản với bộ điều khiển P như ở [4], theo nguyên lý xếp chồng cho các hệ thống tuyến tính ta có thể tìm các lời giải thành phần  $x_u(t)$  và  $x_d(t)$  ứng với tác động của điều khiển  $u(t - T_r) = K_P e(t - T_r)$  và nhiễu  $d(t)$ . Sau đó, từ điều kiện không nghẽn  $x(t) = x_u(t) + x_d(t) < r^0$  tính được giá trị  $K_P$ . Bài toán ở đây phức tạp hơn rất nhiều. Ta có thể tiến hành theo hai bước:

- + Bước 1: Giải bài toán điều khiển tối ưu (1), (3)
- + Bước 2: Bằng mô phỏng kiểm tra điều kiện (5) cho những dạng biến thiên của  $a(t)$  thường gặp.

Trễ điều khiển  $T_r$  trong (1) gây ra trở ngại lớn. Giải trực tiếp phương trình vi phân với đối số lệch như thế rất phức tạp ([2]). Cũng như [4], chúng tôi đề nghị sử dụng bộ dự báo Smith để đưa về giải bài toán điều khiển tối ưu cho hệ thống không trễ.

$$\dot{x}(t) = u(t) - d(t) \tag{6}$$

Để nâng cao tính tổng quát, ta xét hệ thống nhiều đầu vào nhiều đầu ra

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Au(t) \tag{7}$$

trong đó  $x(t)$  là vectơ trạng thái  $n$  chiều,  $u(t)$  là vectơ điều khiển  $r$  chiều, A và B là các ma trận với kích thước tương ứng. Hàm mục tiêu có dạng

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{T_r} [e^T(t)Me(t) + u^T(t)Nu(t)] dt \tag{8}$$

trong đó  $e(t)$  là vectơ sai số trạng thái

$$e(t) = x^d - x(t) \tag{9}$$

với  $x^d$  là vectơ trạng thái yêu cầu, M và N là các ma trận đối xứng, xác định dương. Như đã biết từ lý thuyết điều khiển ([1]), ta có điều khiển tối ưu

$$u(t) = -N^{-1}B^T[K(t)x(t) - v(t)] \tag{10}$$

trong đó ma trận đối xứng  $K(t)$  và vectơ  $v(t)$  được xác định từ các phương trình ma trận sau

$$\dot{K}(t) + K(t)A + A^TK(t) - K(t)BN^{-1}B^TK(t) + M = 0 \tag{11}$$

$$\dot{v}(t) + [A^T - K(t)BN^{-1}B^T]v(t) + Mx^d = 0 \tag{12}$$

(11) gọi là phương trình Ricatti. Với trạng thái cuối  $x(T_f)$  tự do, ta có điều kiện biên  $K(T_f) = 0, v(T_f) = 0$ .

Từ quan điểm ứng dụng, trường hợp hệ thống dừng với thời gian cuối  $T_f \rightarrow \infty$  rất có ý nghĩa. Lúc đó  $K(t)$  và  $v(t)$  trở thành ma trận hằng và vectơ hằng, có đạo hàm bằng 0, (11) và (12) sẽ là các phương trình ma trận đại số

$$KA + A^TK - KBN^{-1}B^TK + M = 0 \tag{13}$$

$$[A^T - KBN^{-1}B^T]v + Mx^d = 0 \tag{14}$$

Một trường hợp quan trọng nữa là điều chỉnh (về góc) với thời gian cuối vô hạn:  $x^d = 0, T_f \rightarrow \infty$ .

Từ (14) ta thấy  $v = 0$ . Sau đó điều khiển tối ưu

$$u(t) = -N^{-1}B^TKx(t) \tag{15}$$

trong đó K là nghiệm của phương trình (13).

Bây giờ ta áp dụng cho trường hợp đang xét: hệ thống (phi tĩnh) bậc nhất

$$\dot{x}(t) = u(t) \tag{16}$$

với hàm mục tiêu

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{T_f} [x^2(t) + ku^2(t)] dt \tag{17}$$

Trạng thái cuối  $x(T_f)$  là tự do. Do đó, ta có điều kiện cuối  $K(T_f) = 0$ . Để tính  $K(t)$  ta sẽ lấy tích phân (11) với thời gian  $t'$  theo chiều ngược lại, từ  $T_f$  đến 0, với điều kiện bắt đầu  $K(t' = 0) = K(t = T_f) = 0$ . Thay  $A = 0, B = 1, M = 1, N = k$  vào (11) và đổi dấu cho đạo hàm của  $K(t)$ , ta nhận được

$$\dot{K}(t') = -\frac{1}{k}K^2(t') + 1 \quad (18)$$

Giải phương trình vi phân trên với điều kiện  $K(0) = 0$ , ta có kết quả

$$K(t') = \sqrt{k} \operatorname{th}\left(\frac{t'}{\sqrt{k}}\right)$$

và điều khiển tối ưu

$$u(t) = -\frac{1}{\sqrt{k}} \operatorname{th}\left(\frac{t'}{\sqrt{k}}\right) x(t) \quad (19)$$

Cho trường hợp thời gian điều chỉnh  $T_f$  không giới hạn, điều khiển tối ưu trở thành

$$u(t) = -\frac{1}{\sqrt{k}} x(t) \quad (20)$$

Đây chính là bộ điều khiển P với phản hồi âm theo trạng thái. Điều này gợi ý một quan hệ giữa bộ điều khiển tối ưu bình phương với bộ điều khiển P đã sử dụng trong [4].

Đúng vậy, với  $A = 0$ , từ (13), (14) ta có

$$v = Kx^d$$

Theo (10), ta nhận được luật điều khiển phản hồi sai số trạng thái

$$u(t) = N^{-1}B^TK[x^d - x(t)] \quad (21)$$

Cho hệ thống đang xét (1), (16), thay  $A = 0, B = 1, M = 1, N = k$  vào (13) ta tính  $K$ , sau đó thế vào (21) ta có

$$u(t) = \frac{1}{\sqrt{k}} [x^d - x(t)] \quad (22)$$

Rõ ràng bộ điều khiển P trong [4]:

$$u(t) = K_P[r^0 - x(t)] \quad (23)$$

là trường hợp đặc biệt của bộ điều khiển tối ưu bình phương (trạng thái cuối tự do, thời gian điều khiển không giới hạn) với

$$K_P = \frac{1}{\sqrt{k}}; \quad r^0 = x^d$$

### 3. KẾT LUẬN

Trên đây chúng tôi đã trình bày tình hình phát triển kỹ thuật điều khiển nhện cho mạng ATM, đề xuất áp dụng phương pháp điều khiển hiện đại và chứng minh rằng phương pháp trong [4] là một trường hợp đặc biệt của luật điều khiển tối ưu bình phương. Có thể nêu một số ưu điểm chính của phương pháp mới như sau:

1) Cho phép điều khiển tất cả (hoặc một nhóm) các chuyển mạch của mạng ATM trong một hệ thống duy nhất (7), với hàm mục tiêu chung (8). Điều này là cần thiết nếu cấu trúc của mạng không cho phép phân rã thành các hệ con độc lập, ví dụ các chuyển mạch có bộ đệm kiểu dùng chung ...

2) Ngoài (3), (8), (17) có thể tìm những dạng khác của hàm mục tiêu có khả năng biểu diễn các chỉ tiêu chất lượng của mạng, như tổn thất tế bào, thời gian trễ, thông lượng ... ([1,3]).

3) Dễ dàng tổng quát hoá lời giải (10), (11), (12) cho trường hợp hệ thống không dừng (các ma trận A, B thay đổi theo thời gian). Đây là giải pháp đảm bảo chất lượng dịch vụ trong điều kiện mạng không ngừng chịu những biến động lớn.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Boudarel R., Delmas J., Guichet P., *Commande Optimale des Processus*, Dunod, Paris, 1990.
- [2] Furuta K., Yamakita M., Sato Y., Computation of optimal control for linear systems with delay, *Int. J. Contr.* **48** (1988), 577–589.
- [3] Gu X., Sohraby K., Vaman D.R., *Control and Performance in Packet, Circuit and ATM Networks*, Kluwer Academic Publisher, 1995.
- [4] Mascolo S., Congestion control in high-speed communication networks using the Smith principle, *Automatica* **35** (1999), 1921–1935.
- [5] Mc Dysan D., Spohn D., *ATM theory and applications*, Mc Graw-Hill, 1999.

*Nhận bài ngày 5 - 11 - 2002*

*Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông*