

# LẬP LỊCH TỐI ƯU CHO BỘ CHUYỂN MẠCH ATM SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON

ĐẶNG CÔNG TRẠM, CHU VĂN HỠ

**Abstract.** We consider an ATM (asynchronous transfer mode) nonblocking switch with input bypass queues. A queue length based priority scheme is used. In this paper we present a method of designing an optimal cell scheduling controller using Hopfield networks to maximize switch throughput in ATM environments.

## 1. MỞ ĐẦU

Theo chiến lược điều khiển luồng phân lớp [2] (mức tế bào, mức cuộc gọi, mức mạng), điều khiển mức tế bào trực tiếp làm thay đổi số lượng tế bào được chuyển mạch ở các nút, nhằm cực đại hóa thông lượng và cực tiểu hóa thời gian trễ. Nếu xét theo yêu cầu biểu diễn toán học chặt chẽ như vậy, thì các phương pháp điều khiển luồng và lập lịch tế bào thường dùng, như: cái thùng rò, cửa sổ với đầu vào tuần tự... đều không phải là tối ưu [2]. Một câu hỏi được đặt ra là: Có thể chế tạo bộ điều khiển lập lịch tối ưu cho các chuyển mạch ATM không? nếu có thì nguyên lý làm việc của nó ra sao? và với phương tiện kỹ thuật hiện nay, liệu thiết kế mới có khả thi không? Sau khi thành lập mô hình toán học, ta nhận thấy đây là một bài toán tối ưu hóa tổ hợp, rất ít khi tồn tại thuật giải có hiệu quả. Hơn nữa, nếu thực hiện bằng phần mềm hoặc cứng hóa nhờ các vi mạch số thông thường, thì với khối lượng tính toán đồ sộ ta không thể tính kịp tốc độ rất nhanh của mạng ATM. May thay, các mạng nơ ron nhân tạo với khả năng tính toán song song và những tính năng "thông minh" là những công cụ mới giúp ta thực hiện được nhiệm vụ đó. Các mạng Hopfield, RBF... đã thành công cho một số ứng dụng loại này trong hệ thống viễn thông. Trong bài này, chúng tôi giới thiệu một phương pháp thiết kế bộ điều khiển lập lịch tối ưu sử dụng mạng Hopfield [5] với một số bổ sung và phát triển mới.

## 2. THÀNH LẬP MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Ta xét trường hợp chuyển mạch có  $N$  cửa vào,  $N$  cửa ra, bộ đệm đầu vào kiểu hàng vòng với cỡ cửa sổ  $W$  [5]. Mục đích đặt ra là cực đại hóa số các tế bào được chuyển từ các cửa vào sang các cửa ra với các điều kiện sau:

1. Trong mỗi hàng cửa sổ có nhiều nhất 1 tế bào được chọn để chuyển.
2. Các tế bào được chọn phải có địa chỉ nơi đến khác nhau.
3. Trong mỗi hàng cửa sổ, các tế bào có cùng địa chỉ nơi đến phải tuân theo luật "vào trước ra trước" (FIFO).
4. Các tế bào ở hàng dài hơn cần được ưu tiên chuyển trước, và số tế bào được ưu tiên là nhiều nhất.

Điều kiện 1 do chế độ làm việc của bộ chuyển mạch qui định. Điều kiện 2 là để tránh nghẽn ở cửa ra. Các điều kiện 3, 4 nhằm hạn chế thời gian trễ - yếu tố có ảnh hưởng xấu đến chất lượng phục vụ, thậm chí dẫn đến tràn bộ đệm làm mất tế bào. Địa chỉ nơi đến của tế bào được đọc tại cửa vào.

Bây giờ ta gán cho tế bào ở hàng  $i$  cột  $j$  của bộ đệm biến số  $x_{ij}$  nhận 2 giá trị như sau: nếu tế bào được chọn thì  $x_{ij} = 1$ , ngược lại  $x_{ij} = 0$ . Tập các tế bào được chọn  $S$  được định nghĩa:

$$S = \{x \mid x_{ij} = 1, i \in \{1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, W\}\}. \quad (1)$$

Vậy bài toán lập lịch tối ưu là: Tìm tập  $S$  sao cho

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^W x_{ij} \rightarrow \max, \quad (2)$$

với các điều kiện sau:

$$1. \quad \sum_j x_{ij} \leq 1, \quad \forall i. \quad (3)$$

$$2. \text{ Cho } x_{ij} \in S, x_{pq} \in S, p \neq i, \text{ thì: Địa chỉ đến (tế bào } ij) \neq \text{Địa chỉ đến (tế bào } pq). \quad (4)$$

$$3. \text{ Cho } j < k, \text{ thì } T(j)x_{ij} \geq T(k)x_{ik}, \quad \forall i \quad (5)$$

trong đó  $T(\cdot)$  là hàm nghịch biến, chỉ số đo vị trí cột của tế bào.

$$4. \quad \sum_i \sum_j P(L_i)x_{ij} \rightarrow \max, \quad (6)$$

trong đó  $P(L_i)$  là hàm đồng biến với chiều dài  $L_i$  của hàng thứ  $i$ .

Nhiều công trình nghiên cứu đã chỉ ra rằng: cho các bài toán tối ưu hóa tổ hợp kiểu (2)–(6) rất hiếm khi tồn tại một thuật giải có hiệu quả. Nếu có thuật giải thì do độ phức tạp tính toán lớn thời gian tính sẽ dài - ngay cả khi thực hiện bằng phần cứng - nên khó đáp ứng được những quá trình rất nhanh như các hệ thống thông tin hiện đại. Đây là lí do đến nay người ta vẫn ưa dùng các bộ điều khiển đơn giản, thường là những giải pháp hợp lí hóa hơn là tối ưu. Mạng nơ ron nhân tạo với khả năng xử lí song song, có một số tính năng “thông minh” do mô phỏng nguyên lí làm việc của bộ não người, được chế tạo thành những vi mạch cỡ lớn, sẽ là một thể hệ linh kiện mới có thể giúp ta giải trực tuyến những bài toán phức tạp như trên [7].

### 3. TỐI ƯU HÓA SỬ DỤNG MẠNG HOPFIELD

Mạng Hopfield liên tục gồm  $n$  nơ ron được mô tả bằng hệ phương trình vi phân [3]

$$C_i \frac{dU_i}{dt} = -\frac{U_i}{R_i} + \sum_{j=1}^n w_{ij} V_j + I_i, \quad w_{ii} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

$U_i$  là mức kích hoạt,  $C_i$  là điện dung màng,  $R_i$  là trở kháng,  $w_{ij}$  là trọng số nối với nơ ron thứ  $j$ ,  $I_i$  là đầu vào ngoài,  $V_i$  là đầu ra của nơ ron thứ  $i$ :

$$V_i = a_i(\lambda U_i). \quad (8)$$

Hàm kích hoạt  $a_i(\cdot)$  đơn điệu tăng, trường hợp điển hình là hàm xích ma [3].  $\lambda$  là tham số khuếch đại. Để nghiên cứu tính ổn định của hệ thống (7), Hopfield đã đưa ra hàm Liapunov - còn gọi là hàm năng lượng

$$E = \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_{ij} V_i V_j - I_i V_i + \int_0^{V_i} \frac{1}{\lambda R_i} a^{-1}(V) dV \right]. \quad (9)$$

Có thể chứng minh: nếu  $w_{ij} = w_{ji}$ , thì  $dE/dt < 0$ . Như vậy, theo định lí Liapunov điều kiện cần và đủ để mạng Hopfield ổn định là các trọng số đối xứng. Dễ dàng thấy điều đó cũng đúng cho cả trường hợp mạng có các vòng tự phản hồi:  $w_{ii} \neq 0$ .

Hopfield và Tank đã sớm nhìn thấy khả năng sử dụng mạng Hopfield để giải các bài toán tối ưu (1985). Bởi vì ở xung quanh điểm ổn định  $dE/dt < 0$ , tức  $E$  luôn giảm; còn tại đó  $dE/dt = 0$ , tức  $E$  không giảm tiếp và cũng không tăng, nên điểm ổn định cũng chính là điểm cực tiểu (cục bộ). Do đó, nếu phải tìm các giá trị  $V_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , để cực tiểu hóa hàm  $E(V_i)$ , ta có thể tiến hành theo phương pháp mới như sau: Ta xây dựng mạng Hopfield tương ứng (7), với điều kiện các trọng số đối xứng thì từ vị trí ban đầu sau một thời gian giao động ngắn mạng sẽ ổn định, lúc đó, đo đầu ra của các nơ ron ta được các giá trị  $V_i$  phải tìm. Phương pháp này được gọi là tối ưu hóa không thuật toán [1]. Theo (7), (8), (9) ta có thể tìm được phương trình động học của mạng nơ ron từ hàm  $E(V_i)$  cho trước

$$C_i \frac{dU_i}{dt} = -\frac{\partial E(V_i)}{\partial V_i}. \quad (10)$$

Trong thực tế các hàm mục tiêu thường không có số hạng chứa tích phân như ở (9). Lúc đó, để triệt tiêu ảnh hưởng của nó cần chọn khuếch đại  $\lambda$  đủ lớn, và hàm  $E$  có dạng

$$E \cong \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_{ij} V_i V_j - I_i V_i \right]. \quad (11)$$

Trường hợp tổng quát  $E$  có dạng bất kỳ đã được nhiều tác giả nghiên cứu. Một vài kết quả có thể xem ở [7]. Thông thường bài toán tối ưu hóa còn có một số ràng buộc. Ta có thể giải, ví dụ theo phương pháp chuyển về bài toán không ràng buộc bằng cách đưa vào các nhân tử Lagrange v.v..

#### 4. BỘ ĐIỀU KHIỂN LẬP LỊCH TỐI ƯU NƠ RON

Mạng  $N \times W$  nơ ron là phần chính của bộ điều khiển. Tương tự như các tế bào trong cửa sổ của bộ đệm, ta kí hiệu các nơ ron theo tọa độ trong ma trận  $N \times W$ . Như vậy, mỗi nơ ron sẽ tương ứng với một tế bào trong cửa sổ. Nếu thiết kế sao cho đầu ra  $V_{ij}$  của nơ ron  $ij$  bằng 1 (hoặc 0) hàm nghĩa tế bào tương ứng được chọn (hoặc không), thì ta có quan hệ giữa các biến  $V_{ij} = x_{ij}$  (khi mạng ổn định). Trên cơ sở đó ta chuyển bài toán cực đại hóa (2) với các điều kiện (3)–(6) về bài toán cực tiểu hóa (9) với các điều kiện tương ứng. Lưu ý rằng, để đơn giản, trong phần 3 ta kí hiệu các nơ ron bằng một chỉ số.

Như phân tích ở trên, điều kiện 1 là ràng buộc dạng  $\leq$ , điều kiện 4 làm thành một hàm mục tiêu phụ... Sẽ là đơn giản nhất, nếu ta biểu diễn tất cả các điều kiện bằng các hàm mục tiêu phụ và giải bài toán đa mục tiêu theo phương pháp chọn các trọng số. Hàm mục tiêu (2) được chuyển thành

$$E_0 = - \sum_i \sum_j V_{ij} \rightarrow \min. \quad (12)$$

Về cách ánh xạ một số điều kiện đặc trưng cho mạng nơ ron vào hàm năng lượng có thể tham khảo [6]. Ở đây ta biểu diễn “định lượng hóa” các điều kiện như sau [5]

$$1. \quad E_1 = \sum_i \sum_j [K_{ij} - \sum_q V_{iq}]^2 \rightarrow \min. \quad (13)$$

$$2. \quad E_2 = \sum_i \sum_j \sum_p \sum_q H_{ij,pq} V_{ij} V_{pq} \rightarrow \min. \quad (14)$$

$$3. \quad E_3 = \sum_i \sum_j T(j) V_{ij} \rightarrow \min. \quad (15)$$

$$4. \quad E_4 = - \sum_i \sum_j P(L_i) V_{ij} \rightarrow \min. \quad (16)$$

Trong các công thức trên:

$K_{ij}$  là đầu vào ngoài cho nơ ron  $ij$ . Nếu vị trí  $ij$  của bộ đệm có 1 tế bào thì  $K_{ij} = 1$ , ngược lại  $K_{ij} = 0$ .

$H_{ij,pq}$  là một phần tử của ma trận  $H$  có kích thước  $NW \times NW$ . Nếu tế bào  $ij$  và tế bào  $pq$  có cùng địa chỉ nơi đến thì  $H_{ij,pq} = 1$ , ngược lại  $H_{ij,pq} = 0$ .  $H$  là ma trận đối xứng.

Các hàm  $T(j)$ ,  $P(L_i)$  dùng cho biểu diễn các điều kiện về mức ưu tiên 3, 4 có thể tính như sau [5]

$$T(j) = \frac{-2j}{W+1} + 1, \quad 1 \leq j \leq W. \quad (17)$$

$$P(L_i) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L_i > L' \\ 0 & \text{nếu } L_i = L' \\ -1 & \text{nếu } L_i < L' \end{cases} \quad (18)$$

trong đó  $L'$  là chiều dài trung bình của các hàng

$$L' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i. \quad (19)$$

Để cung cấp các số liệu  $K_{ij}$ ,  $H_{ij,pq}$ ,  $T(j)$ ,  $P(L_i)$  ta cần thiết kế các mạch xử lí tín hiệu phụ.

Ta thấy  $E_1$  đạt cực tiểu nếu trong mỗi hàng có nhiều nhất 1 nơ ron được kích hoạt (đầu ra bằng 1).  $E_2 = 0$  khi không xảy ra nghẽn ở các cửa ra.  $E_3$  có giá trị nhỏ nhất khi các tế bào ở cùng một hàng có cùng địa chỉ đến tuân theo luật FIFO.  $E_4$  đạt cực tiểu nếu số tế bào có mức ưu tiên cao được chọn là nhiều nhất. Ta đi đến giải bài toán tối ưu có một hàm mục tiêu

$$E^* = AE_0 + \frac{B}{2}E_1 + \frac{C}{2}E_2 + DE_3 - FE_4 \rightarrow \min, \quad (20)$$

trong đó  $A, B, C, D, E, F$  là các trọng số dương được chọn phản ánh "tầm quan trọng" của hàm mục tiêu phụ. Theo (10) ta lập được phương trình động học của mạng Hopfield. Chú ý: trước khi lấy đạo hàm cần cộng thêm vào  $E^*$  số hạng chứa tích phân trong (9). Ta nhận được kết quả

$$C_{ij} \frac{dU_{ij}}{dt} = -\frac{U_{ij}}{R_{ij}} + A + BK_{ij} - B \sum_q V_{iq} - C \sum_p \sum_q H_{ij,pq} V_{pq} - DT(j) + F P(L_i). \quad (21)$$

Do ta muốn ở trạng thái ổn định đầu ra của các nơ ron bằng 1 hoặc 0, nên phải chọn hàm kích hoạt có dạng xích ma đơn cực với khuếch đại  $\lambda$  đủ lớn

$$V_{ij} = a_{ij}(\lambda U_{ij}) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda U_{ij})}. \quad (22)$$

## 5. KẾT LUẬN

Trên đây chúng tôi đã trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển lập lịch tế bào tối ưu theo cách nhìn chặt chẽ của lí thuyết toán học tối ưu hóa và điều khiển tự động. Các kết quả phân tích và mô phỏng trong [5] cũng cho thấy tính khả thi và những ưu điểm của phương án nơ ron hóa trong điều kiện chất lượng các vi mạch, cũng như tốc độ yêu cầu của mạng ATM hiện nay.

Tuy nhiên, về phương pháp luận ta còn phải lưu ý đến vấn đề đạt tối ưu toàn cục khi sử dụng mạng Hopfield. Từ (9) ta thấy do có thêm số hạng chứa tích phân, hàm năng lượng  $E$  không còn là bình phương như hàm mục tiêu  $E^*$  nữa, mà là một hàm phi tuyến phức tạp. Vì thế, mạng nơ ron có thể rơi vào điểm cực tiểu cục bộ có mức năng lượng cao hơn năng lượng đáy  $E_{\min}$ . Sử dụng kỹ thuật "ủ mô phỏng" làm cho mạng có khả năng chuyển đến trạng thái năng lượng cao hơn để thoát khỏi điểm cực tiểu cục bộ và đạt được điểm cực tiểu toàn cục  $E_{\min}$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chu Văn Hỡ, Tối ưu hóa sử dụng mạng nơ ron và ứng dụng trong điều khiển tự động, *Tin học và Điều khiển học* **15** (3) (1999) 18-23.
- [2] Gu X., Sohraby K., and Vamann D. R., *Control and Performance in Packet, Circuit and ATM Networks*, Kluwer Academic Publisher, 1995.
- [3] Lin C. T. and Lee C. S. G., *Neural Fuzzy Systems*, Printice-Hall International, 1996.
- [4] Nguyễn Hữu Thanh, *Tổng quan về Kỹ thuật mạng B-ISDN*, Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1997.
- [5] Park Y. K. and Lee G., NN based ATM cell scheduling with queue length - based priority scheme, *IEEE J. Select. Areas Commun.* **15** (2) (1997) 261-270.
- [6] Tagliarini G. A., Christ J. F., and Page E. W., Optimization using neural networks, *IEEE Trans. Computers*, **40** (12) (1991) 1347-1358.
- [7] Vidyasagar M., Minimum-seeking properties of analog neural networks with multilinear objective functions, *IEEE Trans. Automat. Contr.* **40** (8) (1995) 1359-1375.

Nhận bài ngày 18-6-1999  
 Nhận lại sau khi sửa ngày 8-1-2000