

# ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO DỰA TRÊN CƠ SỞ NHẬN DẠNG NHIỀU THEO MÔ HÌNH NỘI CHO MỘT LỚP ĐỐI TƯỢNG CÓ TRỄ

## PREDICTIVE CONTROL ON BASED DISTURBANCE IDENTIFICATION ON INTERNAL MODEL FOR CLASS SYSTEMS WITH DELAY

Lê Thị Huyền Linh – Trường ĐHKTCN Thái Nguyên

### TÓM TẮT

Trong thực tế các đối tượng quá trình công nghiệp thường là phi tuyến. Theo như quan điểm lớp đối tượng phi tuyến có trễ được đề xuất [9], sau khi đã nhận dạng được nhiễu, ta cần tìm cách bù trừ nhiễu để hệ lúc này từ hệ phi tuyến có trễ thành tuyến tính có trễ. Khi hệ chỉ còn thành phần tuyến tính có trễ và ma trận  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  là xác định thì ta có thể áp dụng sức mạnh của lý thuyết điều khiển tuyến tính đã được kiểm nghiệm rất thành công trong thực tế để tổng hợp bộ điều khiển thông qua việc lựa chọn hàm mục tiêu  $\mathbf{J}$  và giải bài toán tối ưu tìm ra luật điều khiển tối ưu dưới dạng tường minh là một hàm giải tích vector. Từ việc giải bài toán tối ưu theo hàm mục tiêu  $\mathbf{J}$  ta tìm ra chính xác tầm dự báo chính bằng thời gian trễ  $\tau$ , tầm điều khiển bằng  $\infty$ .

**Từ khoá:** *Mô hình điều khiển dự báo, có trễ, nhận dạng nhiễu, mạng nơron.*

### ABSTRACT

In fact the object of industrial processes are often nonlinear. As far as the view of nonlinear delay is proposed [9], after identifying the disturbance, we need to find ways of clearing disturbance to us this time from the delay nonlinear become to delay linear systems. When the system is only delay linear elements and matrices  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  is defined, we can apply the power of linear control theory has been tested successfully in practice to synthesize controllers through the selection of the objective function  $\mathbf{J}$  and the optimization problem to find the optimal control law is implicitly as a function of vector calculus. From solving the optimization problem according to the objective function  $\mathbf{J}$  we find out the exact horizon prediction by the delay time  $\tau$ , horizon control  $\infty$ .

**Key word:** *Model Predictive Control, delay, disturbances identification, Neural Network.*

Ký hiệu	Ý nghĩa		
$\mathbf{X}(t)$	Đầu ra của đối tượng điều khiển	$\mathbf{J}$	Hàm mục tiêu
		$\mathbf{Q}, \mathbf{R}$	Ma trận trọng số
$\mathbf{U}(t-\tau), \mathbf{V}(t)$	Tín hiệu điều khiển	$\arg \min_{U(\cdot)} J(t, \infty)$	Tiêu chuẩn cực tiểu hóa

## 1. Mở đầu

Các đối tượng có trễ thường gặp trong nhiều lĩnh vực công nghiệp như công nghiệp hóa chất, công nghiệp lọc dầu và hóa dầu, luyện kim, thực phẩm, ... Để điều khiển các đối tượng có trễ, các phương pháp điều khiển truyền thống tỏ ra kém hiệu quả [1]. Một số phương pháp điều khiển dựa trên mô hình dành cho các đối tượng có trễ đã được đề xuất trong các công trình [1,2,3,4]. Tuy vậy vấn đề điều khiển dựa trên mô hình dự báo cho lớp đối tượng có trễ vẫn chưa được giải quyết một cách thỏa đáng, đặc biệt là đối với các trường hợp hệ thống chịu tác động của các loại nhiễu phụ thuộc trạng thái. Vấn đề nhận dạng các nhiễu không đo được đối với lớp các đối tượng có trễ trong điều khiển đã được đề xuất trong [5,6]. Bài báo này đề cập vấn đề điều khiển tối ưu các đối tượng có trễ trên cơ sở mô hình dự báo. Đối với các đối tượng có trễ chịu tác động của các nhiễu không đo được, vấn đề sẽ được giải quyết trên cơ sở kết hợp luật điều khiển tối ưu dựa trên mô hình dự báo với các thuật toán nhận dạng nhiễu đề xuất trong [5,6].

Đối tượng được đề cập ở đây có chứa trễ trong kênh điều khiển, mà động học được mô tả bằng phương trình:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}\mathbf{V}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{V}(t) = \mathbf{U}(t - \tau) \quad (2)$$

Trong đó:  $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^n$ ;  $\mathbf{U}, \mathbf{V} \in \mathbb{R}^m$ ;

$\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ;  $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ;  $\tau$  - thời gian trễ.

Vấn đề đặt ra là phải tổng hợp hệ thống điều khiển, đảm bảo tối thiểu hóa phiếm hàm:

$$J = \int_0^{\infty} [\mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) + \mathbf{U}^T(t)\mathbf{R}\mathbf{U}(t)] dt \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0; \mathbf{U}(t_0) = \varphi_u(t), t_0 - \tau \leq t - \tau \leq 0$$

Với  $\mathbf{Q}, \mathbf{R}$  là các ma trận đối xứng xác định dương,  $\mathbf{Q} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ;  $\mathbf{R} \in \mathbb{R}^{m \times m}$  sẽ không mất đi tính tổng quát ta giả sử  $\mathbf{X}_0 = 0$ ;  $\varphi_u(t) = 0$ . Bài toán điều khiển của ta ở đây quan tâm đến hai chỉ tiêu là tối thiểu hóa vector trạng thái và tín hiệu điều khiển. Tuy nhiên vấn đề chính là điều khiển ổn định vector trạng thái  $\mathbf{X}(t)$ . Do vậy khi lựa chọn trọng số ma trận  $\mathbf{Q}$  thường có giá trị lớn gấp vài chục lần so với trọng số của ma trận  $\mathbf{R}$ .

## 2. Tổng hợp luật điều khiển dựa trên mô hình dự báo

Từ phiếm hàm biểu thị chỉ tiêu chất lượng của hệ thống (3), ta có:

$$\begin{aligned} J &= \int_0^{\infty} [\mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) + \mathbf{U}^T(t)\mathbf{R}\mathbf{U}(t)] dt = \\ &= \int_0^{\infty} [\mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) + \mathbf{V}^T(t + \tau)\mathbf{R}\mathbf{V}(t + \tau)] dt \\ &= \int_0^{\tau} \mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) dt + \int_{\tau}^{\infty} [\mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) + \mathbf{V}^T(t)\mathbf{R}\mathbf{V}(t)] dt \end{aligned} \quad (4)$$

Từ đây ta thấy rằng, thành phần thứ nhất trong vế phải của (4) không phụ thuộc vào tác động điều khiển. Vì vậy, bài toán tổng hợp hệ điều khiển cho đối tượng (1), (2) theo chỉ tiêu chất lượng (3) được quy về

bài toán tổng hợp hệ điều khiển theo chỉ tiêu chất lượng  $J_1$ .

$$J_1 = \int_{\tau}^{\infty} [\mathbf{X}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{X}(t) + \mathbf{V}^T(t)\mathbf{R}\mathbf{V}(t)] dt \rightarrow \min \quad (5)$$

Cho đối tượng (1) với điều kiện biên  $\mathbf{X}(t_0)$

$$\mathbf{X}(t) = \Psi(t-t_0)\mathbf{X}(t_0) + \int_{t_0}^t \Psi(t-\xi)\mathbf{B}\mathbf{U}(\xi-\tau)d\xi \quad (6)$$

Với

$$t = \tau + t_0; \dot{\Psi}(t) = \mathbf{A}\Psi(t); \Psi(0) = \mathbf{I}; \Psi(t) = 0, t < 0 \quad (7)$$

Luật điều khiển tối ưu theo chỉ tiêu tối ưu (5) cho đối tượng (1), (2) có dạng:

$$\mathbf{V}(t) = -\mathbf{K}\mathbf{X}(t), t \geq \tau \quad (8)$$

Trong đó ma trận  $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{m \times n}$  được xác định từ phương trình Riccati [20]:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}\mathbf{A} + \mathbf{A}^T\mathbf{P} + \mathbf{Q} - \mathbf{P}\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P} &= 0, \\ \mathbf{K} &= \mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P} \end{aligned} \quad (9)$$

Từ (2) và (8) ta thu được:

$$\mathbf{U}(t) = -\mathbf{K}\mathbf{X}(t+\tau) \quad (10)$$

Như vậy để tạo được tín hiệu điều khiển  $\mathbf{U}(t)$  ở thời điểm  $t$  đòi hỏi phải có vector trạng thái ở thời điểm  $t+\tau$ , nghĩa là phải dự báo được vec tơ trạng thái của hệ thống. Tương tự như (6), từ (1) ta có :

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(t+\tau) &= \Psi(\tau)\mathbf{X}(t) + \int_t^{t+\tau} \Psi(t+\tau-\xi)\mathbf{B}\mathbf{V}(\xi)d\xi \\ &= \Psi(\tau)\mathbf{X}(t) + \int_{t-\tau}^t \Psi(t-\xi)\mathbf{B}\mathbf{U}(\xi)d\xi \end{aligned} \quad (11)$$

Thế (11) vào (10) ta thu được luật điều khiển tối ưu theo chỉ tiêu tối ưu (3) cho đối tượng (1), (2):

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{op}(t) &= -\mathbf{K}\Psi(\tau)\mathbf{X}(t) - \mathbf{K} \int_{t-\tau}^t \Psi(t-\xi)\mathbf{B}\mathbf{U}(\xi)d\xi = \\ &= -\mathbf{K}\Psi(\tau)\mathbf{X}(t) + \mathbf{K} \left\{ \int_0^{t-\tau} \Psi(t-\xi)\mathbf{B}\mathbf{U}(\xi)d\xi - \int_0^t \Psi(t-\xi)\mathbf{B}\mathbf{U}(\xi)d\xi \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

Thành phần thứ nhất trong dấu móc chính là vec tơ trạng thái của hệ thống có trễ  $\tau$ , do điều khiển  $\mathbf{U}(t)$  tạo ra trong suốt khoảng thời gian từ 0 đến  $t-\tau$ :  $[0, t-\tau]$ ; thành phần thứ 2 trong dấu móc chính là trạng thái của hệ thống không chứa trễ, do tác động điều khiển  $\mathbf{U}(t)$  tạo ra trong suốt thời gian từ 0 đến  $t$ :  $[0, t]$ . Hai thành phần này dễ dàng tạo ra của các mô hình:

$$\dot{\mathbf{X}}_{M_1}(t) = \mathbf{A}_M\mathbf{X}_{M_1}(t) + \mathbf{B}_M\mathbf{U}_M(t-\tau) \quad (13)$$

$$\dot{\mathbf{X}}_{M_2}(t) = \mathbf{A}_M\mathbf{X}_{M_2}(t) + \mathbf{B}_M\mathbf{U}_M(t) \quad (14)$$

$$\text{Với } \mathbf{A}_M = \mathbf{A}, \mathbf{B}_M = \mathbf{B}$$

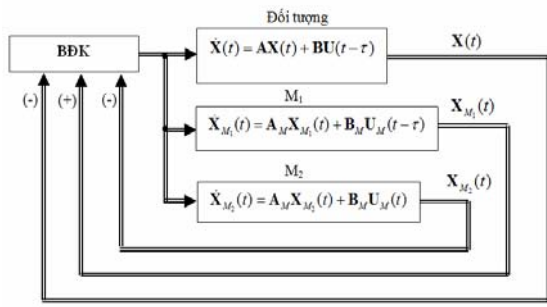
$$\mathbf{X}_{M_1}(0) = 0; \mathbf{X}_{M_2}(0) = 0;$$

$$\mathbf{U}_M(t) = 0 \text{ khi } t < 0$$

Từ (12), (13) và (14) ta thu được:

$$\mathbf{U}_{op}(t) = -\mathbf{K}\Psi(\tau)\mathbf{X}(t) - \mathbf{K}\mathbf{X}_{M_2}(t) + \mathbf{K}\mathbf{X}_{M_1}(t) \quad (15)$$

Trên Hình 1 là sơ đồ cấu trúc hệ thống sử dụng luật điều khiển tối ưu (15), trong đó bộ điều khiển BDK thực thi luật điều khiển trên cơ sở của vector trạng thái  $\mathbf{X}(t)$  của đối tượng, vector trạng thái của mô hình  $M_1$  có trễ  $\mathbf{X}_{M_1}(t)$  và vec tơ trạng thái của mô hình  $M_2$  không có chứa trễ  $\mathbf{X}_{M_2}(t)$



**Hình 1** Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển dựa trên mô hình dự báo cho lớp đối tượng có trễ

Rõ ràng là mô hình  $M_2$  thực hiện việc dự báo vec tơ trạng thái của đối tượng, với thời gian dự báo là  $\tau$ , và trong điều kiện không có nhiễu tác động và với  $\mathbf{A}_M = \mathbf{A}; \mathbf{B}_M = \mathbf{B}$ , ta có:

$$\mathbf{X}_{M_2}(t) = \mathbf{X}(t + \tau) \quad (16)$$

Như vậy cửa sổ dự báo của hệ thống là  $[t, t + \tau]$ . Cửa sổ này sẽ trượt theo trục thời gian trong suốt quá trình hoạt động. Từ (15) và (16) ta thấy rằng tác động điều khiển tối ưu (15) được tạo ra trên cơ sở kết quả dự báo (16), vec tơ trạng thái của đối tượng điều khiển  $\mathbf{X}(t)$  và vec tơ trạng thái của mô hình có trễ  $M_1$ . Đây là luật điều khiển tối ưu theo chỉ tiêu tối ưu (3) cho đối tượng có trễ (1):

$$\mathbf{U}_{op}(t) = \arg \text{Min}_{U(\cdot)} J(0, \infty) \quad (17)$$

Với  $J(0, \infty)$  là giá trị của phiếm hàm chỉ tiêu tối ưu với thời gian từ 0 đến  $\infty$ . Theo nguyên lý tối ưu của Bellman [21] (Bellman Principle of optimality), luật điều khiển (15) đảm bảo tối ưu theo chỉ tiêu (3) với khoảng thời gian từ 0 đến  $\infty$ , sẽ

đảm bảo tối ưu theo chỉ tiêu này với khoảng thời gian từ  $t$  đến  $\infty$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{op}(t) &= \arg \text{Min}_{U(\cdot)} J(0, \infty) = \arg \text{Min}_{U(\cdot)} J(t, \infty) \\ &= \arg \text{Min}_{U(\cdot)} \int_t^{\infty} (\mathbf{X}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{X}(t) + \mathbf{U}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{U}(t)) dt \end{aligned} \quad (18)$$

Với điều kiện ban đầu  $\mathbf{X}(t)$

Hàm điều khiển tối ưu (15),(18) thu được trên đây là một hàm giải tích của vec tơ trạng thái của hệ thống  $\mathbf{X}(t)$ , vec tơ trạng thái của mô hình dự báo  $M_2$  không chứa trễ  $\mathbf{X}_{M_2}(t)$  tại thời điểm  $t$ . Nói cách khác, hàm điều khiển tối ưu thu được (15),(18) biểu diễn sự biến đổi của điều khiển  $\mathbf{U}$  theo các vec tơ trạng thái cho khoảng thời gian  $[t, \infty)$  và chỉ tác động lên đối tượng với giá trị  $\mathbf{U}(t)$  tại thời điểm  $t$ . Cửa sổ  $[t, \infty)$  trượt theo trục thời gian  $t$  cùng với sự tiến triển của quá trình điều khiển. Luật điều khiển dự báo (15),(18) đề xuất trên đây cho đối tượng có trễ trong điều khiển (1) có nhiều ưu điểm. Trước hết, luật này cho phép thực hiện điều khiển dự báo một cách dễ dàng, tránh được các phép tính toán lặp để xác định tác động điều khiển tối ưu liên quan đến giải bài toán điều khiển tối ưu mạch hở (open loop optimal control problem), nhờ vậy hệ thống sẽ đơn giản hơn trong thực hiện kỹ thuật và đi liền với đó là tăng độ tin cậy và giảm giá thành cho hệ thống điều khiển. Một ưu điểm đặc biệt quan trọng nữa của luật điều khiển dự báo đề xuất (15),(18) trên đây là

nó đảm bảo tối ưu theo chỉ tiêu (3) đồng thời đảm bảo được ổn định cho hệ thống.

Tuy nhiên luật điều khiển (15),(18) chỉ áp dụng được cho các trường hợp, khi các ma trận **A** và **B** có các thành phần không thay đổi và đối tượng điều khiển (1) không chịu tác động của nhiễu. Để có thể áp dụng được luật điều khiển (15),(18) cho trường hợp tồn tại các nhiễu phụ thuộc trạng thái, chúng ta có thể sử dụng các phương pháp nhận dạng nhiễu trên cơ sở mạng Neron nhân tạo [9]. Như vậy, kết hợp phương pháp tổng hợp luật điều khiển dựa trên mô hình dự báo đề xuất với phương pháp nhận dạng các nhiễu tác động lên đối tượng chúng ta sẽ giải quyết được

trọng vẹn bài toán điều khiển dựa trên mô hình dự báo cho một lớp rất rộng các đối tượng có trễ dưới tác động của nhiễu, đặc biệt là nhiễu không đo được.

### 3. Kết luận

Bài báo đề xuất phương pháp tổng hợp hệ điều khiển dựa trên mô hình dự báo cho các đối tượng có trễ trong kênh điều khiển. Luật điều khiển thu được là một hàm giải tích của vec tơ trạng thái của đối tượng điều khiển, vec tơ trạng thái của mô hình chứa trễ, vừa đảm bảo tính tối ưu vừa đảm bảo tính ổn định cho hệ thống. Hệ thống với luật điều khiển đó đơn giản và dễ dàng trong thực hiện kỹ thuật.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Qin S.J and Badgwell T.A. *An overview of industrial model predictive control technology*. In J.C Kantor, C.E. Garcia and B. Carnahan, “Fifth International conference on Chemical Process Control- CPC”, pp. 232 – 256. American Institute of Chemical Engineers, 1996.
- [2]. Morari M. , Lee J. H. *Model Predictive control: the good, the bad and the ugly*. In Proc. Conf. On Chemical Process Control, CPC –IV. pp.419 – 444. AIChE, New York, 1991
- [3]. Eric Coulibaby, Sandip Maiti and Coleman Brosilow – *Internal Model Predictive Control (IMPC)*. Automatica Vol 31, No. 10, pp. 1471 – 1482, 1995.
- [4]. Camacho, Bordons. *Model Predictive Control*. Springer Venlag, 2004.
- [5]. Frank Allgower, Rolf Findeisen, Christian Ebenbauer. *Nonlinear Model Predictive Control*. Stuttgart, 2010.
- [6]. Yanushevski R.T. *Điều khiển các đối tượng có trễ*. Nauka, 1978 (Tiếng Nga)

- [7]. Cao Tiên Huỳnh, Nguyễn Mỹ, Raul Rivas Peres. *Điều khiển thích nghi đối tượng có trễ trên cơ sở hệ tự chỉnh có mô hình*. Tự động và Điều khiển từ xa, số 1, 1988, trang 106 – 115 (Tiếng Nga).
- [8]. Cao Tiên Huỳnh. *Tổng hợp hệ điều khiển thích nghi cho các đối tượng có trễ*. Tuyển tập các báo cáo khoa học hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về Tự Động Hóa, Hà Nội 2005, trang 288 – 293.
- [9]. Cao Tiên Huỳnh, Lại Khắc Lãi, Lê Thị Huyền Linh. *Một phương pháp nhận dạng nhiễu trên cơ sở mạng Nơ ron cho một lớp hệ thống điều khiển dự báo có trễ*. Tạp chí ĐHTN, Tập 120 - số 06/ 2014, ISSN 1859 - 2171 trang 81 – 86.
- [10]. Jagannathan, S.; Lewis, F.L. *Identification of Nonlinear Differential Systems using Multilayered Neural Networks* – Automatica, No 32, 1996, pp 1707 – 1712.
- [11]. GiangTao. *Adaptive Control Design and Analysis*. A John Wiley & Son, Inc. , publication. 2003.
- [12]. Narendra, K.S.; Parthasarathy, K. *Identification and control for differential Systems using neural networks*. – Trans. On Neural Networks, No 1, 1990, pp 4 – 27.
- [13]. Junhong N. and Derek L. *Fuzzy – Neural Control Principles. Algorithm and Applications*. Prentice Hall, Europe 1995.
- [14]. Neil E. Cotter. *The Stone – Weierstrass Theorem and Application to Neural Networks*. Vol. 1, No. 4, 1990, pp 290 – 295.
- [15]. Yu, W.; Li, X. *Some new results on system Identification with differential Neural Networks*. – Trans. Neural Networks, No 12, 2001, pp 412 – 417.
- [16]. Huang S. N., Tan K. K., Lee T. H. *A combined PID/ Adaptive controller for a class of nonlinear systems*. Automatica, 37 (2001), pp 611 – 618.
- [17]. Ortega J. M., *Matrix Theory*. Plenum Press. New York, 1987.
- [18]. Gantmakker Ph. R. *Matrix Theory*. Nauka, Moscow, 1977.
- [19]. Christopher E., Sarah K. *Sliding Model Control Theory and Applications*. Taylor & Francis, UK, 1998.
- [20]. Liuping Wang, *Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB*, Springer Venlag, 2008
- [21]. Moshe Sniedovich, *Dynamic Programming: Foundations and Principles*, Second Edition, Taylor and Francis Group, 2011.

Liên hệ tác giả: Lê Thị Huyền Linh