

Điều khiển cánh tay robot hai bậc tự do qua mạng dựa trên phương pháp dự đoán Smith nâng cao

■ TS. ĐẶNG XUÂN KIẾN; KS. NGUYỄN MẠNH LA
 Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Bài báo nghiên cứu thiết kế mô hình điều khiển cánh tay máy hai bậc tự do qua mạng dựa vào phương pháp dự đoán Smith nâng cao. Trễ điều khiển gây ra bởi tính chất mạng và đáp ứng trễ của cơ cấu chấp hành, dẫn tới tín hiệu điều khiển cánh tay robot bị chậm, rất khó đạt được độ ổn định khi điều khiển qua mạng. Phương pháp dự đoán Smith nâng cao giúp dự đoán tương đối tín hiệu trễ của toàn hệ thống làm tăng khả năng thích nghi với ảnh hưởng của thời gian trễ, giúp tay máy đáp ứng chính xác.

TỪ KHÓA: Dự đoán Smith, cánh tay máy, điều khiển qua mạng

ABSTRACT. In this paper, our study is based on advanced Smith predictor to design the networked control system of two links flexible robot arm. Controlled time-delays depend on the delays of network and the delays of actuator responses, so it is difficult to obtain the stable and accurate control. The advanced Smith predictor is an adaptive predict method, the system is capable of adapting to the effects of time delay to in getting a better of accuracy of networked control system.

KEYWORDS: Smith predictor, two-link flexible robot arm, networked control system

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

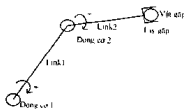
Hiện nay, các công trình nghiên cứu về robot rất đa dạng đem lại nhiều ứng dụng cụ thể trong đời sống, trong công nghiệp và quân sự. Việc điều khiển robot qua mạng đã được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm ở rất nhiều khía cạnh. Trong phạm vi của bài báo, các tác giả đề cập tới việc điều khiển bu thích nghi thời gian trễ trong điều khiển cánh tay máy hai bậc tự do qua mạng. Nhiều nhà thiết kế đã đưa mô hình hệ thống điều khiển nâng cao có kèm theo bộ dự báo Smith tạo ra từ nhân dạng neuron, bằng cách đo thì dù thời gian trễ có lớn hơn nhiều hệ thống vẫn giữ được ổn định.

Đối tượng mô phỏng trong bài báo là một hệ thống cánh tay máy hai bậc tự do [1]. Việc nhân dạng đối với các đối tượng thực tế thông qua mạng neuron đã được nghiên cứu [2-4] và đã áp dụng thành công. Mạng neuron cũng được sử dụng để thiết lập đối tượng giả lập trong bộ dự báo Smith [5-6], kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng

tốt. Về kỹ thuật điều khiển, các giải thuật điều khiển cánh tay máy hai bậc đã được thử nghiệm thành công như PID, điều khiển mờ, điều khiển thích nghi và điều khiển trượt, nhưng khi sử dụng các giải thuật này để áp dụng điều khiển các đối tượng phức tạp thì chưa được kiểm chứng khả năng và đáp ứng của chúng. Bài báo trình bày tập trung việc điều khiển cánh tay máy hai bậc là đối tượng điều khiển nhiều vào - nhiều ra (MIMO) điển hình thông qua mạng điều khiển, lựa chọn bộ điều khiển PID nhằm đơn giản hóa việc thiết kế và điều chỉnh thông số.

2. CÁN H TAY HAI BẬC TỰ DO

Cánh tay máy hai bậc tự do gồm hai khớp (link) link 1 và link 2 được điều khiển để ở đúng vị trí xác định trong mặt phẳng không gian, mô tả trên Hình 2.1:



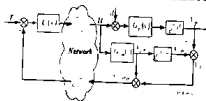
Hình 2.1. Cánh tay máy hai bậc tự do

Phương trình toán học cơ bản như sau:

$$\begin{bmatrix} \ddot{H}_1 & \ddot{H}_2 \\ \ddot{H}_1 & \ddot{H}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \end{bmatrix}$$

Hệ cánh tay máy xét ở đây là hệ MIMO hai vào hai ra được mô tả như trong tài liệu [1]

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH SMITH-PREDICTOR



Hình 3.1. Cấu trúc hệ thống dựa trên mô hình dự báo Smith

Cấu trúc của mạng điều khiển xây dựng dựa trên mô hình dự báo Smith [5] thể hiện trong Hình 3.1 Trong đó: C(s) - Bộ điều khiển PID, mang gửi và nhận dữ liệu Network với $e^{-\tau}$ là khoảng thời gian trễ khi dữ liệu truyền từ bộ điều khiển tới đối tượng; $e^{-\tau}$ - Khoảng thời gian trễ khi dữ liệu truyền từ cảm biến phản hồi ngược tới bộ điều khiển qua Network. Đối tượng điều khiển được xem xét là đối tượng có trễ $G(s) = G_0(s)e^{-\tau}$ với $e^{-\tau}$ đặc trưng cho mô hình thời gian trễ của cơ cấu chấp hành tay máy.

Mô hình dự báo Smith được đưa thêm vào vòng lặp kín của mạng $G_c(s) = G_{pm}(s)e^{-\tau}$, trong đó $G_{pm}(s) = \frac{K_p}{s + \lambda}$. Đặc trưng cho mô hình dự báo của đối tượng cánh tay $G(s)$. Như vậy, chúng ta có thể phân tích mô hình NCS trong Hình 3 với giả thiết không có nhiễu tác động vào hệ thống tương ứng $d = 0$, ta có:

$$y_p = G_p(s)e^{-\tau} u(s) \quad (1)$$

Bên cạnh đó, ta có thể dễ dàng suy luận ra được từ mô hình tính toán như sau.

$$y_{pm} = G_{pm}(s)u(s) \quad (2)$$

$$y_{pm} = G_{pm}(s)e^{-\tau} u(s) = \hat{y}_{pm}(s) \quad (3)$$

$$y_n = y_p - \hat{y}_{pm} = (G_p(s)e^{-\tau} - G_{pm}(s)e^{-\tau}) u(s) \quad (4)$$

Tín hiệu phản hồi có thể được tính toán bởi công thức sau

$$y_{nh} = y_p + y_n = G_p(s)u(s) + (G_p(s)e^{-\tau} - G_{pm}(s)e^{-\tau}) u(s) \quad (5)$$

Từ (2), (3), (4) và (5), hàm truyền của NCS $\frac{y_p(s)}{u(s)}$ được viết lại như trong công thức (6) như sau:

$$\frac{y_p(s)}{u(s)} = \frac{C(s)K_p e^{-\tau}}{1 + C(s)G_{pm}(s) + C(s)K_p [G_p(s)e^{-\tau} - G_{pm}(s)e^{-\tau}]} \quad (6)$$

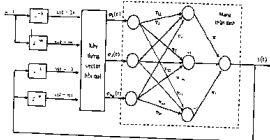
Giả thiết mô hình dự đoán được xác định chính xác, đồng nghĩa với ta có $\tau_p = \tau_{pm}$ và $G_p = G_{pm}$. Tiếp theo, chúng ta đạt được (7) bằng cách triệt tiêu các thành phần tương đương nhau trong (6).

$$\frac{y_p(s)}{u(s)} = \frac{C(s)K_p e^{-\tau}}{1 + C(s)G_{pm}(s)} = \frac{C(s)G_p(s)}{1 + C(s)G_{pm}(s)} \quad (7)$$

Công thức (7) chỉ ra rằng, mô hình điều khiển khiến mới đưa trên mô hình dự báo Smith có thể triệt tiêu hoàn toàn thời gian trễ của mạng cũng như thời gian trễ của đối tượng. Khó khăn là việc làm thế nào xác định được thời gian trễ $\tau_p = \tau_{pm}$ và $G_p = G_{pm}$. Bài báo lựa chọn giải pháp sử dụng mạng thần kinh nhân tạo để nhận dạng đối tượng $G_p = G_{pm}$ với thời gian trễ giả lập được để xuất trong phần tiếp theo.

4. ỨNG DỤNG MẠNG NEURON TRONG NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG THỰC TẾ

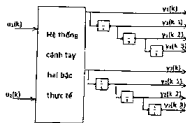
Để nhận dạng hệ thống động dùng mạng truyền thẳng nhiều lớp (Multi Layer Perceptron-MLP) [3], bộ dữ liệu có sơ đồ khối như trình bày ở Hình 4.1, trong đó các tế bào ở lớp ẩn với hàm tác động là hàm Sigmoid, một tế bào ở lớp ra với hàm tác động tuyến tính. Chọn thời gian lấy mẫu là 0.1s. Cho hệ thống chạy huấn luyện mạng trong tối đa 5.000s với các tín hiệu vào ngẫu nhiên: τ_{au1} , τ_{au2} , $teta1_dot_init$, $teta1_dot$, $teta2_init$, $teta2_dot_init$



Hình 4.1: Mô hình xây dựng khối neuron

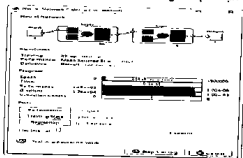
Sơ đồ khối neuron vào-ra mà ta trên Hình 4.2 như sau: Từ tín hiệu ngõ vào $u_1(k)$ và $u_2(k)$ như trên, ta tiến hành thu thập các tín hiệu và sử dụng phương pháp

nhân dạng lan truyền ngược để nhận dạng $y_1(k-1)$, $y_1(k-2)$, $y_1(k-3)$, $y_2(k-1)$, $y_2(k-2)$, $y_2(k-3)$ như sau:

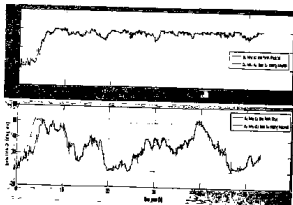


Hình 4.2: Sơ đồ vào ra của mạng neuron

Kết quả nhận dạng và đáp ứng thực tế thể hiện trên Hình 4.4 cho thấy, hệ thống nhận dạng bám sát với đối tượng thực, tuy vẫn còn sai số nhưng chấp nhận được.



Hình 4.3: Nhận dạng dùng mạng neuron



Hình 4.4: So sánh giữa tín hiệu thực tế ngõ ra hệ thống và mạng neuron thu được

5. MÔ PHỎNG

5.1. Cài đặt thông số

* Thông số bộ điều khiển PID được khảo sát bằng PIDtool trên Matlab:

- $Kp1 = 974,79$; $Ki1 = 91,83$; $Kd1 = 81,38$.

- $Kp2 = 545,21$; $Ki2 = 70,69$; $Kd2 = 83,99$

* Thông số mô hình:

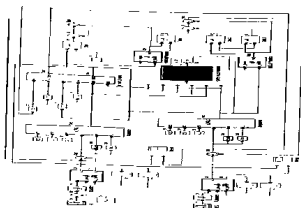
- $J_{min} = 67,4901$; $J1 = 5$; $J2 = 5$.

- $m1 = 1$; $m2 = 1$; $m3 = 0,1$; $l1 = 1$; $l2 = 1$; $lc1 = 0,4$; $lc2 = 0,4$; $g = 9,81$; $teta1_init = \pi/2$; $teta1_dot_init = 0$; $teta2_init = 0$; $teta2_dot_init = 0$; $delta_t = 0,01$.

* Chọn giá trị khởi tạo ban đầu:

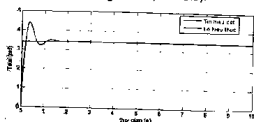
$Teta1$ có giá trị đặt là $\pi/2$ (rad) tức 2,1 (rad); $teta2$ có giá trị đặt là $\pi/9$ (rad) tức 0,32 (rad).

5.2. Mô phỏng quá trình điều khiển trong 2 trường hợp

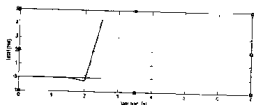


Hình 5.1: Sơ đồ hệ thống điều khiển

Sơ đồ điều khiển Hình 5.1 xây dựng trên Matlab Simulink, kết quả mô phỏng với 2 trường hợp nhân dạng có trễ (Hình 5.2) và không có trễ (Hình 5.3).



Hình 5.2: Teta1 khi nhận dạng có trễ



Hình 5.3: Teta1 khi nhận dạng không trễ

Nhận xét: Trường hợp nhân dạng cánh tay không có trễ, khi mô phỏng thực hệ thống mất ổn định. Trường hợp bỏ nhân dạng nơ ron với cánh tay điều khiển có trễ, mô hình Smith lúc này phát huy tác dụng và đáp ứng đầu ra đạt được sự ổn định. Kết quả tương tự với góc Teta2.

6. KẾT LUẬN

Từ các kết quả mô phỏng cho thấy, cấu trúc điều khiển Smith ứng dụng bộ nhân dạng neuron cho đáp ứng tốt. Tuy nhiên, thời gian trễ vẫn còn phải được giảm bớt trong lập trình, thời gian trễ do tính chất mạng thay đổi không định trước vẫn chưa có biện pháp khắc phục được hoàn toàn. Việc xây dựng mô hình thực nghiệm đã kiểm chứng những lý thuyết nêu trên và sẽ được trình bày ở những bài báo tiếp theo

Tài liệu tham khảo

- [1]. K. Yamada, Y. Ando, T. Hagiwara, I. Murakami, N. T. Mai (2009), *A Design Method for 2-Degree-Of-Freedom Modified Smith Predictors*, Proc of the Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, pp 152-155.
- [2] A. Vodencarevic (2010), *Design of PLC-based*

Smith Predictor for Controlling Processes with Long Dead Time, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol II.

[3]. Narendra, K.S, Parthasarathy, K. (1990), *Identification and control of dynamical systems using neural networks*, IEEE Trans on Neural Networks, Vol 1.

[4]. X. K. Dang, Z. H. Guan, H. D. Tran and T. Li (Jul 2011), *Fuzzy Adaptive Control of Networked Control System with Unknown Time delay*, Proc. The 30th Chinese Control Conference, Yan tai, China, pp. 4622 - 4626.

[5]. X. K. Dang, Z. H. Guan, T. Li and D. X. Zhang (2012), *Joint Smith Predictor and Neural Network Estimation Scheme for Compensating Randomly Varying Time-delay in Networked Control System*, Proc. The 24th Chinese Control and Decision Conference, Tai Yuan, China, May.

[6]. X.K. Dang, V.T. Nguyen, X. P. Nguyen (Dec 2015), *Robust Control of Networked Control Systems with Randomly Varying Time-Delays Based Adaptive Smith Predictor*, Rangsit Journal of Arts and Sciences, Vol. 5, pp.175-186.

Ngày nhận bài: 13/5/2016

Ngày chấp nhận đăng: 01/6/2016

Người phản biện: TS. Võ Công Phương