

TỰ CHỈNH ĐỘ LỢI MỜ THÍCH NGHI ĐIỀU KHIỂN HỆ PHI TUYẾN RỜI RẠC

AUTO TURNING GAIN OF AN ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER FOR NONLINEAR DISCRETE TIME SYSTEMS

Trần Khánh Ninh

Học viên Cao Học K14, Ngành Điều Khiển Học Kỹ Thuật, Đại Học Bách Khoa Tp Hồ Chí Minh

Email: trankhanhninh97@yahoo.com

trankhanhninh@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày giải thuật tự chỉnh độ lợi bộ của điều khiển mờ thích nghi trực tiếp cho hệ phi tuyến rời rạc, giải thuật tự chỉnh dựa trên mục tiêu cực tiểu hoá hàm năng lượng ngõ vào. Thuật toán cập nhật hồi quy thích nghi hệ rời rạc được giới thiệu trong bài báo mang tính tổng quát nên bộ điều khiển áp dụng cho hệ MIMO. Việc cập nhật độ lợi của bộ điều khiển thích nghi ngoài tiêu chí cực tiểu năng lượng vẫn phải đảm bảo hệ thống phải ổn định, do đó độ lợi của hệ thống chỉ được thay đổi trong phạm vi cho phép, bài báo cũng sẽ dẫn giải ra tầm chỉnh giới hạn độ lợi này. Thuật toán trình bày được minh họa với đối tượng bồn kép, kết quả mô phỏng dựa trên Matlab Simulink.

ABSTRACT

The paper represents an algorithm for the auto-tuning adaptation gain of a direct adaptive fuzzy controller in discrete time, the adaptation gain are obtained by minimizing the instantaneous control energy. Because the algorithm recursive methods for discrete time systems is general, so it can be applied for MIMO systems. Beside the purpose minimizing the instantaneous control energy, the system must be stable so that the adaptive gain must change in a limit boundary which the paper will represent. The algorithm for example is used to control couple tank, the result of simulink is based on Matlab Simulink.

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây điều khiển phi tuyến là lĩnh vực được rất nhiều tác giả quan tâm. Bài toán điều khiển hệ phi tuyến vẫn còn là đề tài để mở cho nhiều tác giả nghiên cứu. Đã có rất nhiều phương pháp điều khiển áp dụng cho hệ phi tuyến như phương pháp tuyến tính hóa, phương pháp điều khiển trượt, điều khiển bằng mạng neural, phương pháp điều khiển mờ. Hầu hết các phương pháp điều khiển phi tuyến này đều được nghiên cứu kỹ đối với đối tượng là hệ liên tục và hệ rời rạc, cùng một phương pháp khi áp dụng với hệ liên tục và hệ rời rạc thì cho các kết quả khác nhau. Một hệ thống có thể ổn định khi tính toán thiết kế với miền liên tục nhưng cùng kết quả đó hệ thống

có thể không ổn định với miền rời rạc, có những vấn đề mà khi xử lý ở hệ liên tục rất đơn giản nhưng lại phức tạp khi xử lý ở hệ rời rạc. Cũng chính vì vậy mà hiện nay có rất nhiều bài báo đề cập đến hệ liên tục, tuy nhiên số lượng bài báo về hệ rời rạc thì lại rất khiêm tốn. Từ lý do trên nên trong bài báo này tác giả sẽ đề cập tới phương pháp điều khiển mờ thích nghi cho hệ phi tuyến rời rạc.

Như ta đã biết điều khiển mờ là phương pháp điều khiển thông minh dựa vào quá trình xử lý thông tin không rõ ràng để ra lệnh điều khiển giống các quyết định như ở con người. Một bộ điều khiển mờ thông thường sẽ dựa vào quan điểm, kinh nghiệm của người thiết kế

và theo cách suy nghĩ riêng của họ. Người thiết kế này sẽ chuyển những kinh nghiệm của mình thành các quy tắc hợp thành mờ để kết hợp các biến ngôn ngữ đã được mờ hóa lại với nhau từ đó ra quyết định điều khiển. Như vậy bộ điều khiển mờ mang nặng tính thử sai hơn là phương pháp nghiên cứu tổng quát. Để cải tiến các khuyết điểm này, ta có phương pháp điều khiển mờ thích nghi. Phương pháp điều khiển mờ thích nghi là phương pháp thiết kế bộ điều khiển sao cho có khả năng tự chỉnh định các thông số điều khiển của chính nó từ đó giúp hệ thống ổn định trước thay đổi của điều kiện làm việc, chính nhờ các tự chỉnh định này là cho bộ điều khiển mờ trở nên linh hoạt hơn và hạn chế về kinh nghiệm người thiết kế được giảm bớt.

Có rất nhiều phương pháp tự chỉnh bộ điều khiển mờ thích nghi, trong đó phương pháp tự chỉnh thông số bộ điều khiển mờ là dễ thực thi hơn cả. Việc chọn luật cập nhật thông số đòi hỏi hệ thống thiết kế phải ổn định bài toán phải hội tụ đó là điểm quan trọng của bất kỳ bài toán điều khiển thích nghi nào. Bài báo [3] đề cập tới luật cập nhật hồi quy theo trọng số bộ điều khiển thích nghi, việc chọn độ lợi thích nghi của bộ điều khiển phải đảm bảo cho hệ thống ổn định theo hàm Lyapunov. Độ lợi sẽ ảnh hưởng đến chất lượng việc điều khiển, tuy nhiên bài báo [3] không đề cập đến cách chọn độ lợi này, mà việc chọn lựa phụ thuộc vào kinh nghiệm người thiết kế bộ điều khiển và hiểu biết về đối tượng điều khiển đó. Trong bài báo [3] tác giả chỉ đề cập đến hệ SISO thì bài báo [2] là mở rộng của bài báo [3] đề cập cho hệ MIMO việc cập nhật cũng dựa vào tính ổn định, tuy nhiên luật cập nhật trong bài báo [2] mang tính tổng quát hơn. Khi điều khiển việc chọn độ lợi là hằng số cố định như bài báo [2] và [3] chỉ đảm bảo là hệ thống ổn định chưa quan tâm đến chất lượng điều khiển, để đảm bảo thêm các chỉ tiêu chất lượng khác như cực tiểu hoá hàm năng lượng ngõ vào hay thời gian xác lập thì việc chọn độ lợi theo [3] và [2] như vậy là không thích hợp. Bài báo [1] đề cập tới việc cập nhật độ lợi theo hướng tự chỉnh, bài báo [1] trình bày một cách chặt chẽ về tính ổn định của hệ phi tuyến để từ đó rút ra được luật cập nhật thích nghi có thể áp dụng cho phương pháp điều khiển mờ hay phương pháp điều khiển dùng mạng neural, việc tự chỉnh độ lợi theo hướng cực tiểu hoá phiếm hàm năng lượng được đưa về dạng bậc 2 theo hàm độ lợi.

Tầm chỉnh độ lợi được chọn lựa hợp lý sao cho bảo đảm hệ thống ổn định. Bài báo [1] chỉ trình bày trong phạm vi hẹp cho hệ SISO, luật cập nhật trong bài báo này không thể áp dụng cho hệ MIMO, đó cũng là hạn chế của bài báo.

Do vậy trong bài báo này tác giả sẽ trình bày một luật cập nhật thích nghi mang tính mở rộng hơn để phương pháp có thể áp dụng cho hệ MIMO, độ lợi sẽ được tự chỉnh theo hướng cực tiểu hàm chi phí ngõ vào điều khiển.

2. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Xét hệ thống rời rạc tổng quát có n ngõ vào và n ngõ ra với phương trình biến trạng thái như sau :

$$\begin{aligned} X(k+1) &= F(X(k)) + G(X(k))U(k) \\ U(k) &= [u_1(k), u_2(k), \dots, u_n(k)]^T \end{aligned} \quad (1)$$

Với các biểu thức như sau :

$$X(k) = [x_1^T(k), x_2^T(k), \dots, x_n^T(k)] \quad (2)$$

$X(k)$ là biến trạng thái của hệ thống với các phần tử biến trạng thái

$$x_j(k) = [x_{j,1}(k), x_{j,2}(k), \dots, x_{j,n_j}(k)]^T \in R^{n_j}$$

$$\text{Tín hiệu vào } U(k) = [u_1(k), \dots, u_n(k)]^T \in R^n$$

$$\text{Tín hiệu ra } Y(k) = [y_1(k), \dots, y_n(k)]^T \in R^n$$

Các hàm $f_{j,i_j}(\cdot)$ và $g_{j,i_j}(\cdot)$ là hàm phi tuyến đặc trưng cho hệ thống. Ta định nghĩa

$$\bar{u}_{j-1}(k) = [u_1(k), \dots, u_{j-1}(k)], \bar{x}_{j,i_j}(k) = [x_{j,1}(k), \dots, x_{j,i_j}(k)]^T$$

$$j = 2, \dots, n$$

Phương trình trạng thái của hệ thống (1) có thể viết dạng tường minh như sau

$$\Sigma_1 \begin{cases} x_{1,i_1}(k+1) = f_{1,i_1}(\bar{x}_{1,i_1}(k)) + g_{1,i_1}(\bar{x}_{1,i_1}(k))x_{1,i_1+1}(k) \\ x_{1,n_1}(k+1) = f_{1,n_1}(X(k)) + g_{1,n_1}(X(k))u_1(k) \end{cases}$$

$$i_1 = 1 \dots n_1 - 1$$

.....

$$\Sigma_j \begin{cases} x_{j,i_j}(k+1) = f_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k)) + g_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k))x_{j,i_j+1}(k) \\ x_{j,n_j}(k+1) = f_{j,n_j}(X(k)) + g_{j,n_j}(X(k))u_j(k) \end{cases}$$

$$i_j = 1 \dots n_j - 1$$

.....

$$\Sigma_n \begin{cases} x_{n,i_n}(k+1) = f_{n,i_n}(\bar{x}_{n,i_n}(k)) + g_{n,i_n}(\bar{x}_{n,i_n}(k))x_{n,i_n+1}(k) \\ x_{n,n_n}(k+1) = f_{n,n_n}(X(k)) + g_{n,n_n}(X(k))u_n(k) \end{cases}$$

$$i_n = 1 \dots n_n - 1$$

$$y_j(k) = x_{j,1}(k) \quad j = 1 \dots n$$

Mục tiêu của bài toán là tìm tín hiệu điều khiển $U(k) = [u_1(k), \dots, u_n(k)]^T$ sao cho tín hiệu ngõ ra bám theo tín hiệu mong muốn và đạt được chất lượng tốt

2.1 Điều khiển mờ thích nghi trực tiếp

Trong bài báo này tác giả trình bày phương pháp thiết kế hàm điều khiển $U(k)$ bằng phương pháp mờ thích nghi sao cho ngõ ra bám theo tín hiệu mong muốn $Y_d(k)$. Hàm mờ ở đây dùng theo phương pháp Takagi-Sugeno, hàm liên thuộc ở tập mờ kết luận ngõ ra có dạng vạch đơn, phương pháp giải mờ theo phương pháp trung bình có trọng số. Theo công thức mờ với biến trạng thái là $X(k)$ để xấp xỉ hàm $\varphi(k)$ bất kỳ. Hàm mờ có dạng

$$\varphi(k) = W^T(k)\xi(X(k)) \quad (3)$$

Trong đó $\xi(X) = [\zeta_1(X) \dots \zeta_p(X)]$ với

$$\zeta_q(X) = \frac{\left(\prod_{j=1}^m \mu_{F_j^q}(x_j(k)) \right)}{\sum_{q=1}^p \left(\prod_{j=1}^m \mu_{F_j^q}(x_j(k)) \right)} \quad q=1 \dots p \quad (4)$$

là tập hợp mờ hoá biến trạng thái theo p luật mờ. $\mu_{F_j^q}(x_j(k))$ là hàm liên thuộc của tập mờ. Ngõ ra giải mờ có dạng vạch đơn (singleton)

$$W(k) = [w_1(k) \dots w_p(k)]^T$$

Mục tiêu thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi trực tiếp cho hệ thống (1) ta sẽ xấp xỉ hàm $U(k)$ bằng hàm mờ. Thông số W phải được cập nhật sao cho tín hiệu $U(k)$ phải xấp xỉ tín hiệu điều khiển lý tưởng của hệ thống $U^*(k)$

$$U(k) = W^T(k)\xi(X(k)) \quad (5)$$

$$W^* \equiv \arg \min \{ \sup |U^* - W^T \xi(X) | \}$$

2.2 Cập nhật thông số và điều kiện ổn định

Xét phương trình trình thứ i_j của (1), đặt hàm mới ta có :

$$x_{j,i_j}(k+1) = f_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k)) + g_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k))x_{j,i_j+1}(k)$$

$$1 \leq j \leq n, 1 \leq i_j \leq n_j - 1$$

$$x_{j,i_j}(k+1) = f_{j,i_j}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+1}(k)) =$$

$$f_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k)) + g_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k))x_{j,i_j+1}(k)$$

Như vậy dạng ma trận tổng quát là

$$\bar{x}_{j,i_j}(k+1) = \begin{bmatrix} x_{j,1}(k+1) \\ \dots \\ x_{j,i_j}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{j,1}^{n_j}(\bar{x}_{j,2}(k)) \\ \dots \\ f_{j,i_j}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+1}(k)) \end{bmatrix}$$

$$= F_{j,i_j}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+1}(k))$$

Phương trình ngõ vào theo (1) là

$$x_{j,n_j}(k+1) = f_{j,n_j}(X(k)) + g_{j,n_j}(X(k))u_j(k)$$

Thực hiện bước tiếp theo đặt

$$x_{j,i_j}(k+2) = f_{j,i_j}^{n_j-1}(\bar{x}_{j,i_j+2}(k)) = f_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k+1))$$

$$g_{j,i_j}(\bar{x}_{j,i_j}(k+1)) \times x_{j,i_j+1}(k+1) = f_{j,i_j}(F_{j,i_j}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+1}(k)))$$

$$+ g_{j,i_j}(F_{j,i_j}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+1}(k))) \times f_{j,i_j+1}^{n_j}(\bar{x}_{j,i_j+2}(k))$$

$$F_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j}(k)) = f_{j,n_j-1}(F_{j,n_j-1}^{n_j}(\bar{x}_{j,n_j}(k)))$$

$$G_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j}(k)) = g_{j,n_j-1}(F_{j,n_j-1}^{n_j}(\bar{x}_{j,n_j}(k)))$$

Vậy

$$\bar{x}_{j,i_j}(k+2) = \begin{bmatrix} x_{j,1}(k+2) \\ \dots \\ x_{j,i_j}(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{j,1}^{n_j-1}(\bar{x}_{j,3}(k)) \\ \dots \\ f_{j,i_j}^{n_j-1}(\bar{x}_{j,i_j+2}(k)) \end{bmatrix}$$

$$= F_{j,i_j}^{n_j-1}(\bar{x}_{j,i_j+2}(k)) \quad i_j = 1, \dots, n_j - 2$$

Theo (1) ta có

$$x_{j,n_j-1}(k+2) = f_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j-1}(k+1))$$

$$+ g_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j-1}(k+1))x_{j,n_j-1}(k+1)$$

$$= f_{j,n_j-1}(F_{j,n_j-1}^{n_j}(\bar{x}_{j,n_j}(k)))$$

$$+ g_{j,n_j-1}(F_{j,n_j-1}^{n_j}(\bar{x}_{j,n_j}(k)))x_{j,n_j}(k+1)$$

$$= F_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j}(k)) + G_{j,n_j-1}(\bar{x}_{j,n_j}(k)) \times x_{j,n_j}(k+1)$$

Thực hiện tiếp tục như vậy ta có

$$\gamma_{j,1} < \frac{1}{1+l_{j,1}+g_{j,1}l_{j,1}}, \sigma_{j,1} < \frac{1}{(1+g_{j,1})\gamma_{j,1}} \quad (12)$$

$$\gamma_{j,i_j} < \frac{1}{1+l_{j,i_j}+g_{j,i_j}l_{j,i_j}}, \sigma_{j,i_j} < \frac{1}{(1+g_{j,i_j})\gamma_{j,i_j}} \quad (13)$$

$$\gamma_{j,n_j} < \frac{1}{1+l_{j,n_j}+g_{j,n_j}l_{j,n_j}}, \sigma_{j,n_j} < \frac{1}{(1+g_{j,n_j})\gamma_{j,n_j}} \quad (14)$$

2.3 Tự chỉnh độ lợi thích nghi

Từ công thức dùng hàm mờ xấp xỉ các hàm điều khiển và hàm trạng thái $u_j(k)$, $\alpha_{j,i_j}(k)$ theo (9) $u_j(k) = \hat{W}_{j,n_j}^T(k) \xi_{j,n_j}(z_{j,n_j}(k))$ ta sẽ có

$$u_j(k) = \hat{W}_{j,n_j}^T(k) \times \xi_{j,n_j}(z_{j,n_j}(k)) = \left[\hat{W}_{j,n_j}^T(k-1) - \Gamma_{j,n_j} \left[\xi_{j,n_j}(z_{j,n_j}(k)) e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} \hat{W}_{j,n_j}^T(k-1) \right]^T \right] \times \xi_{j,n_j}(z_{j,n_j}(k))$$

Viết gọn biểu thức $\xi_{j,n_j}(k) = \xi_{j,n_j}(z_{j,n_j}(k))$ và $W_{j,n_j} = W_{j,n_j}(k-1)$

Vậy năng lượng ngõ vào có dạng

$$u_j^2(k) = \left[W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j}(k) - \Gamma_{j,n_j} \left[\xi_{j,n_j}(k) e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j}(k) \right]^2$$

Vì ma trận $\Gamma_{j,i_j} = \gamma_{j,i_j} I$ nên

$$u_j^2(k) = \left[W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j} - \gamma_{j,n_j} \left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right] \left[W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j} - \gamma_{j,n_j} \left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right]^T$$

$$= \gamma_{j,n_j}^2 \left(\left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right)^2 - 2\gamma_{j,n_j} \left(\left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right) W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j} + \left(W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j} \right)^2$$

$$= \gamma_{j,n_j}^2 T_1(k) - 2\gamma_{j,n_j} T_2(k) + T_3(k) \quad (15)$$

Với

$$T_1(k) = \left(\left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right)^2$$

$$T_2(k) = \left(\left[\xi_{j,n_j} e_{j,n_j}(k) + \sigma_{j,n_j} W_{j,n_j} \right]^T \xi_{j,n_j} \right) W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j}$$

$$T_3(k) = \left(W_{j,n_j}^T \xi_{j,n_j} \right)^2$$

Vậy việc tự chỉnh độ lợi là việc tìm γ_{j,n_j} sao cho $u_j^2(k)$ là cực tiểu.

$$\gamma_{j,n_j}^* \equiv \arg \min \left\{ u_j^2(k) = \gamma_{j,n_j}^2 T_1(k) - 2\gamma_{j,n_j} T_2(k) + T_3(k) \right\} \quad (16)$$

Đây là dạng bậc 2 theo γ_{j,n_j} nên có thể giải dễ dàng. Tương tự như vậy ta có thể thiết kế tự chỉnh độ lợi theo hướng cực tiểu hàm chi phí cho các thông số ngõ khác với $j=1, \dots, n$

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VỚI ĐỐI TƯƠNG BỒN KÉP

Thuật toán điều khiển mờ thích nghi trên được ứng dụng điều khiển bồn kép liên thông. 2 bồn liên kết với nhau và ở mỗi bồn có van xả riêng. Nước được bơm vào cả 2 bồn nhờ 2 máy bơm độc lập. Mục tiêu là điều khiển sao cho mực nước trong 2 bồn bám theo tín hiệu đặt trước. Ngõ vào điều khiển là tín hiệu áp ở 2 đầu máy bơm.

Hệ thống bồn kép có phương trình toán học mô tả như sau

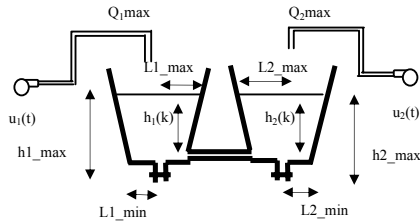
$$h_1(k+1) = h_1(k) + \frac{T}{a_{1r}(k)} \left\{ \begin{array}{l} u_1(k) Q_{1_max} - \\ C_1 a_1 \sqrt{2gh_1(k)} \\ - C_{12} a_{12} \sqrt{2g|h_1(k) - h_2(k)|} \\ \text{sign}(h_1(k) - h_2(k)) \end{array} \right\}$$

$$h_2(k+1) = h_2(k) + \frac{T}{a_{2r}(k)} \left\{ \begin{array}{l} u_2(k) Q_{2_max} - \\ C_2 a_2 \sqrt{2gh_2(k)} + \\ C_{12} a_{12} \sqrt{2g|h_1(k) - h_2(k)|} \\ \text{sign}(h_1(k) - h_2(k)) \end{array} \right\}$$

Trong đó $u_1(k), u_2(k)$ là 2 tín hiệu vào, $h_1(k), h_2(k)$ là 2 tín hiệu ra. Q_{1_max}, Q_{2_max} là thông số đặt trung cho lưu lượng chảy vào bồn. C_1, a_1 là thông số thiết diện xả của bồn 1. C_2, a_2 là thông số thiết diện xả của bồn 2. C_{12}, a_{12} là thông số xả liên kết giữa 2 bồn. $a_{1r}(k)$ và $a_{2r}(k)$ là thiết diện ngang của bồn 1 và bồn 2. $a_{1r}(k) = ((L1_max - L1_min)h_1(k)/h1_max + L1_min)W1$ $a_{2r}(k) = ((L2_max - L2_min)h_2(k)/h2_max + L2_min)W2$ W_1, W_2 là thiết diện đáy bồn.

Hệ mô phỏng cho thuật toán điều khiển mờ thích nghi dựa vào các công thức như đã trình bày ở phần 2.2 và 2.3. Thông số chạy với mô hình bồn 1 [Lmax Lmin W a hmax Qmax C] = [18 9 9 0.33 40 130 0.8]. Bồn 2 [Lmax Lmin W a hmax Qmax C] = [18 9 9 0.40 40 130 0.8] thông số liên kết [a12 C12] = [0.25 0.8]. Mô hình điều khiển bồn kép thực hiện trên Simulink. Tín hiệu ngõ vào bộ điều khiển fuzzy bao gồm 2 tín hiệu sai số, 2 tín hiệu

mong muốn của 2 bồn nước. Các tín hiệu này được mờ hóa bởi 5 hàm GAUSS phân bố đều từ [0 1] với tín hiệu mong muốn và từ [-1 1] với tín hiệu sai số



Hình 1: Mô hình bồn kép

Ở đây thực hiện bài toán điều khiển với biến trạng thái

$$u_1(k) = \tilde{F}_i(z(k) = [e_1(k), e_2(k), r_1(k), r_2(k)])$$

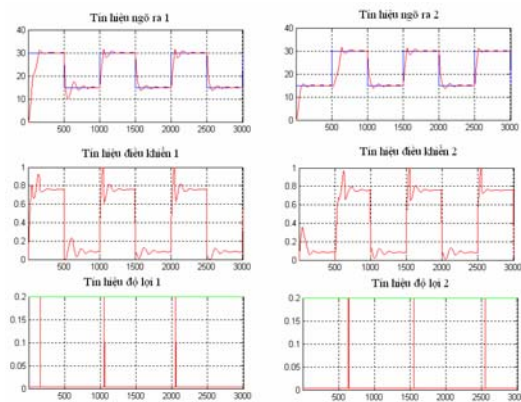
$$u_1(k) = W_1^T(k)\xi(z(k)), u_2(k) = W_2^T(k)\xi(z(k))$$

Luật cập nhật thông số

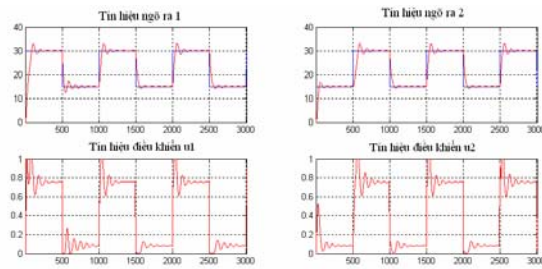
$$W_i(k) = W_i(k-1) - \Gamma_i[\xi_i^T(X(k))e_i(k) + \sigma_i W_i(k-1)]$$

$$i = 1, 2$$

Tự chỉnh độ lợi và cập nhật thông số được tính theo công thức (16) (10). Tín hiệu ngõ ra mong muốn là 2 xung vuông biên độ thay đổi từ [15 ; 30] , tín hiệu điều khiển đã chuẩn hóa trong khoảng [0 1]. Tầm cập nhật thay đổi từ [0.004 ; 0.2]. Thông số $\sigma_i = 0.0001$ cho cả 2 hệ thích nghi. Ta có kết quả mô phỏng :



Hình 2 : Kết quả điều khiển



Hình 3 : Kết quả điều khiển không cập nhật

Nhận xét kết quả: Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống ổn định hệ thống bám theo mục tiêu mong muốn. Chọn lựa tự chỉnh độ lợi theo sẽ cải thiện chất lượng điều khiển, hệ thống cho đáp ứng nhanh hơn so với trường hợp không cập nhật là do độ lợi tự thay đổi sao cho phù hợp với hệ thống nhất. Tín hiệu ngõ vào điều khiển sẽ nhỏ hơn so với trường hợp không cập nhật.

4. KẾT LUẬN

Luật cập nhật thích nghi đã trình bày mang tính mở rộng, phương pháp có thể áp dụng cho hệ MIMO hay SISO. Độ lợi sẽ được tự chỉnh theo hướng cực tiểu hàm chi phí ngõ vào điều khiển, tuy nhiên tầm cập nhật phải chọn sao cho đảm bảo hệ thống ổn định như đã trình bày ở công thức (13) và (14). Bài báo đã trình bày giải thuật một cách tổng quát và chung nhất để có thể áp dụng cho hệ điều khiển mờ và có thể áp dụng cho mạng neural.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hazem N Nounou and K.M.Passino. IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 12, No. 1, February 2004, pp. 70-83.
2. Shuzhi Sam Ge, Jin Zhang, and Tong Heng Lee. IEEE Transaction on systems, Man, and cybernetics –part B, cybernetics, Vol. 34, No. 4, August 2004, pp. 1630-1645.
3. Shuzhi Sam Ge, Jin Zhang, and Tong Heng Lee. Int. J. Control, 2003 Vol. 76, No. 4, pp. 334-354
4. Raul Ordóñez and K.M.Passino IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 7, No. 3, June 1999, pp. 345-353.