

DOI:10.22144/jvn.2017.064

ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI THEO MÔ HÌNH THAM KHẢO DỰA TRÊN MẠNG NƠ-RON RBF

Nguyễn Đình Tứ, Lê Hoàng Đăng, Trần Chí Cường và Nguyễn Chí Ngôn
 Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 15/02/2017
 Ngày nhận bài sửa: 21/04/2017
 Ngày duyệt đăng: 27/06/2017

Title:

RBF-based model reference adaptive control system

Từ khóa:

Điều khiển thích nghi, mạng nơ-ron RBF, mô hình cầu cân

Keywords:

Adaptive control, beam and ball system, RBF neural network (RBFNN)

ABSTRACT

In the control system, the values of the parameters often does not know exactly because of its changes over time or insufficient information. To solve this problem, an adaptive control method based on Radial Basis Function neural network was proposed to control the beam and ball system model. At the same time, We have also the sustainability of the controller was evaluated by changing reference signal, ball's weight and noise impacts generated by sensor of the model. The evaluation of sustainability was performed by simulating the system with MATLAB®/Simulink. The results showed that responsesignal met desired signal under the varying of such parameters. Besides, this research is the fundamental to develop an adaptive control for complex models such as omni-directional three-wheeled robots in the future.

TÓM TẮT

Trong các hệ điều khiển, các tham số của hệ thống thường không biết giá trị chính xác vì các tham số này thường bị thay đổi sau một thời gian, hay không đủ thông tin về các thông số đó. Để giải quyết vấn đề này, một phương pháp điều khiển thích nghi dựa trên mạng nơ-ron hàm bán kính cơ sở xuyên tâm được đề xuất để điều khiển mô hình cầu cân bằng. Đồng thời, tính bền vững của bộ điều khiển được đánh giá bằng cách thay đổi về tín hiệu tham chiếu, khối lượng hòn bi và nhiễu do cảm biến sinh ra. Kiểm nghiệm và mô phỏng trên thông qua phần mềm MATLAB®/Simulink cho thấy hệ thống đáp ứng được tính bền vững khi thay đổi các thông số về khối lượng hòn bi, nhiễu tác động do cảm biến sinh ra và tín hiệu tham chiếu. Kết quả mô phỏng cho đáp ứng bám theo tín hiệu mong muốn. Ngoài ra, nghiên cứu còn là cơ sở để phát triển bộ điều khiển thích nghi cho các mô hình phức tạp như robot ba bánh đa hướng trong tương lai.

Trích dẫn: Nguyễn Đình Tứ, Lê Hoàng Đăng, Trần Chí Cường và Nguyễn Chí Ngôn, 2017. Điều khiển thích nghi theo mô hình tham khảo dựa trên mạng nơ-ron RBF. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 50a: 37-42.

1 GIỚI THIỆU

Mô hình cầu cân bằng được tìm hiểu và nghiên cứu từ nhiều năm trước đây (Jeff Lieberman, 2004). Cho đến nay, việc điều khiển hệ này đã đưa ra nhiều ứng dụng đặc biệt trong học tập và nghiên cứu. Mục đích của hệ thống là điều khiển vị trí hòn

bi sao cho ổn định theo vị trí mong muốn trước tác động của nhiễu bên ngoài. Mô hình cầu cân bằng là một hệ phi tuyến (Mohammad Keshmiri *et al.*, 2012) để điều khiển ổn định vị trí của hòn bi trong các nghiên cứu như: điều khiển tối ưu tuyến tính (Burl, J., 1999), điều khiển mô hình cầu cân bằng sử dụng phương pháp LQR và LQG/LTR (Patrick

Owen McGuirk, 1995) và ứng dụng bộ điều khiển thông minh cho mô hình cầu cân bằng (Mohd Fuaad Rahmat *et al.*, 2010), các tác giả sử dụng phương pháp điều khiển LQR (Zhong-Hua Pang, 2011) cho mô hình đã tuyến tính hóa. Trong nghiên cứu này, một phương pháp ứng dụng mạng nơ-ron RBF để điều khiển vị trí hòn bi ổn định trước các tác động được xem là nhiều như khối lượng hòn bi và nhiều vị trí do cảm biến được đề xuất. Việc xây dựng giải thuật cho mạng nơ-ron RBF để điều khiển thích nghi đối tượng cầu cân bằng được thực hiện trên MATLAB® và sau đó tính bền vững của bộ điều khiển được khảo sát bằng cách thay đổi tín hiệu tham chiếu và khối lượng hòn bi. Để mô tả các phần của hệ thống điều khiển, các khối MATLAB® *S-function* để thể hiện các phương trình toán học phức tạp thay cho việc sử dụng các khối tính toán trong Simulink truyền thống. Các kết quả mô phỏng được mô tả nhằm minh họa tính hiệu quả của hệ điều khiển thích nghi dựa trên mạng nơ-ron RBF.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

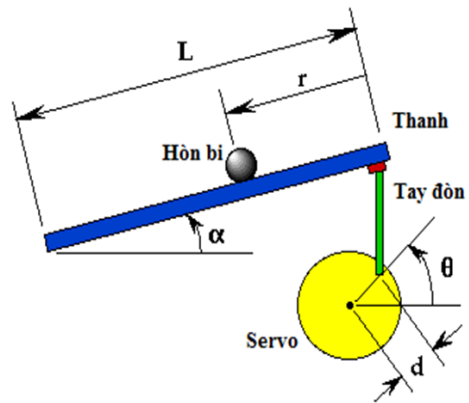
2.1 Mô tả hệ điều khiển tự động

Để khảo sát hệ điều khiển tự động bắt buộc phải tìm ra qui luật biến đổi hàm, do đó ta phải sử dụng công cụ toán học. Ta phải chuyển đổi từ hệ điều khiển thực cho bởi mô hình, xét một hệ vật lý thể hiện trong Hình 1 (The University of Michigan, 1997). Hệ thống được giả định là tuyến tính. Trong đó, $u(t)$ là lực tác động từ bên ngoài và được cho là ngõ ra. Thông số $y(t)$ là khoảng đo từ vị trí khi vật cân bằng đến vị trí mà vật bị lực tác động vào. Ta có phương trình vi phân như (1)

$$\left(\frac{J}{R^2}+m\right)\ddot{r}=-mg\alpha,\alpha=\frac{d}{L}\theta \tag{1}$$

Đầu tiên, ta đặt:

$$\begin{cases} x_1=r \rightarrow \dot{x}_1=\dot{r}=x_2 \\ x_2=\dot{x}_1 \rightarrow \dot{x}_2=\ddot{r}=\frac{-mgd}{L\left(\frac{J}{R^2}+m\right)}\theta \end{cases} \tag{2}$$



Hình 1: Mô hình cầu cân bằng

Từ hệ phương trình (2), ta đưa về dạng phương trình trạng thái:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-mgd}{L\left(\frac{J}{R^2}+m\right)} \end{bmatrix} \theta \tag{3}$$

Bảng 1: Các thông số của mô hình hệ cầu cân bằng

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị	Đơn vị
g	Gia tốc trọng trường	9,8	m/s ²
J	Moment quán tính của hòn bi	9,99 10 ⁻⁶	kgm ²
R	Bán kính hòn bi	0,015	m
d	Chiều dài cánh tay đòn	0,038	m
m	Khối lượng hòn bi	0,11	kg
L	Chiều dài thanh cân bằng	1,2	m
θ	Góc quay của servo (ngõ vào)	-	radian
α	Góc quay của thanh	-	radian
r	Vị trí hòn bi (ngõ ra)	-	m

2.2 Bộ điều khiển RBF tự chỉnh

2.2.1 Mô tả hệ thống

Xét đối tượng có dạng:

$$y(k+1)=g[y(k)]+\phi[y(k)]u(k) \tag{4}$$

Trong đó $y(k)$ là ngõ ra và $u(k)$ là ngõ vào điều khiển.

Cho $y_d(k)$ là tín hiệu tham chiếu, nếu $g[\cdot],\phi[\cdot]$ biết rõ thì bộ điều khiển sẽ được thiết kế như (5)

$$u(k) = \frac{-g[\cdot]}{\phi[\cdot]} + \frac{y_d(k+1)}{\phi[\cdot]} \tag{5}$$

Tuy nhiên, các giá trị $g[\cdot], \phi[\cdot]$ thường không biết rõ, nên rất khó để xác định theo luật điều khiển (5).

2.2.2 Thiết kế bộ điều khiển RBF

Trong phần này, bài viết sẽ trình bày quá trình hoạt động của bộ điều khiển thích nghi để ước lượng hai giá trị $g[\cdot], \phi[\cdot]$. Mô hình tham chiếu được chọn như (6)

$$\ddot{x}_m + \lambda_1 \dot{x}_m + \lambda_2 x_m = \lambda_2 r(t) \quad (6)$$

Trong đó, λ_1 và λ_2 là hai giá trị hằng số dương; $\tilde{x} = x - x_m$ thể hiện cho sự sai số.

Nếu $g[\cdot], \phi[\cdot]$ không biết rõ, ta cần dùng hai bộ RBF để nhận dạng $g[\cdot], \phi[\cdot]$. Và ta lấy hai giá trị ước lượng của $g[\cdot], \phi[\cdot]$ lần lượt là $Ng[\cdot], N\phi[\cdot]$. Bộ điều khiển tự chỉnh được thiết kế như (7)

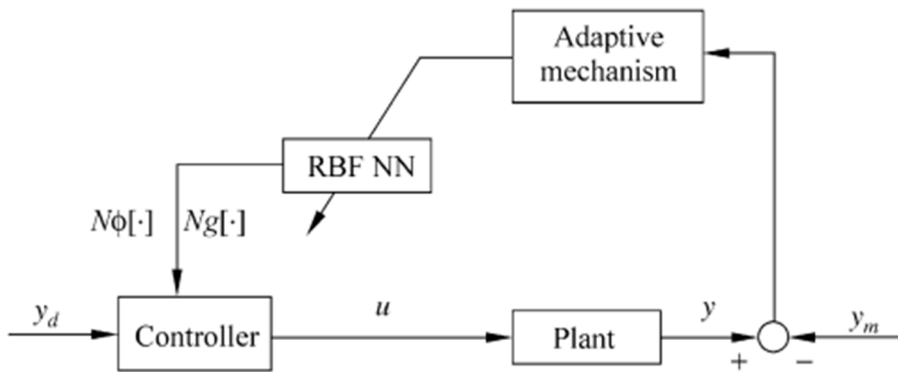
$$u = \frac{-Ng[\cdot]}{N\phi[\cdot]} + \frac{(\ddot{x}_m - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda^2\tilde{x})}{N\phi[\cdot]} \quad (7)$$

Trong đó, $Ng[\cdot], N\phi[\cdot]$ là hai ngõ ra của bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF. λ là số hoàn toàn dương.

Sử dụng hai bộ RBF để xấp xỉ $g[\cdot]$ và $\phi[\cdot]$, W, V lần lượt là hai véc-tơ trọng số của RBFNN.

Trong mạng nơ-ron RBF, ta có $y(k)$ là ngõ vào của mạng, $h = [h_1 \dots h_m]^T$, h_j là hàm Gaussian được trình bày ở (8)

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|y(k) - c_j\|^2}{2b_j^2}\right) \quad (8)$$



Hình 2: Nguyên tắc điều khiển thích nghi theo mô hình tham khảo

Trong đó:

$$i=1, j=1, \dots, m; b>0; c_j = [c_{j1}, \dots, c_{jm}]; b = [b_1, \dots, b_m]^T.$$

Véc-tơ trọng số được biểu diễn như

$$W = [w_1, \dots, w_m]^T \quad (9)$$

$$V = [v_1, \dots, v_m]^T. \quad (10)$$

Ngõ ra của hai bộ RBF được trình bày ở (11) và (12):

$$Ng(k) = h_1 w_1 + \dots + h_j w_j + \dots + h_m w_m \quad (11)$$

$$N\phi(k) = h_1 v_1 + \dots + h_j v_j + \dots + h_m v_m \quad (12)$$

Trong đó, m là số nơ-ron trên lớp ẩn. Ngõ ra của hai bộ RBF được trình bày lại như (13)

$$y_m(k) = Ng[y(k-1); W(k)] + N\phi[y(k-1); V(k)]u(k-1). \quad (13)$$

Hệ kín của bộ điều khiển thích nghi dựa trên RBF để nhận dạng $Ng[\cdot]$ và $N\phi[\cdot]$ được trình bày ở Hình 2 (J.Liu, 2013). Hàm lỗi được trình bày như (14)

$$E(k) = \frac{1}{2} (y(k) - y_m(k))^2. \quad (14)$$

Theo phương pháp hướng dốc (gradient descent), thuật học được trình bày như (15)

$$\Delta W_j(k) = -\eta_w \frac{\partial E(k)}{\partial W_j(k)} = \eta_w (y(k) - y_m(k)) h_j(k)$$

$$\Delta V_j(k) = -\eta_v \frac{\partial E(k)}{\partial V_j(k)} = \eta_v (y(k) - y_m(k)) h_j(k) u(k-1) \quad (15)$$

$$W(k)=W(k-1)+\Delta W(k)+\alpha(W(k-1)-W(k-2)) \quad (16)$$

$$V(k)=V(k-1)+\Delta V(k)+\alpha(V(k-1)-V(k-2)) \quad (17)$$

Trong đó, η_w, η_v lần lượt là các hệ số học và α là hệ số momentum.

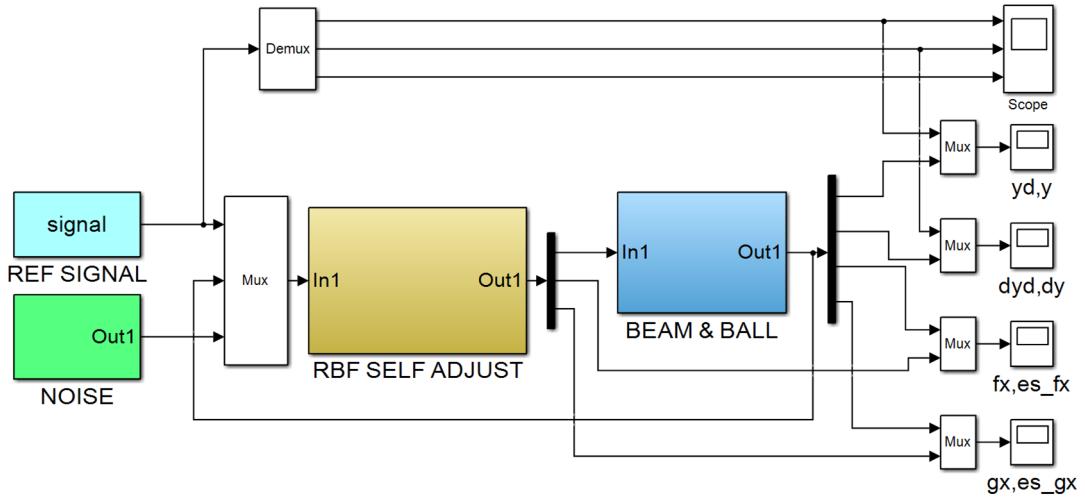
Tác giả chọn $\alpha=0,05$, $\eta_w=\eta_v=0,05$, các giá trị $v=[0,5 \ 0,5 \ 0,5 \ 0,5 \ 0,5]^T$

$$w=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T,$$

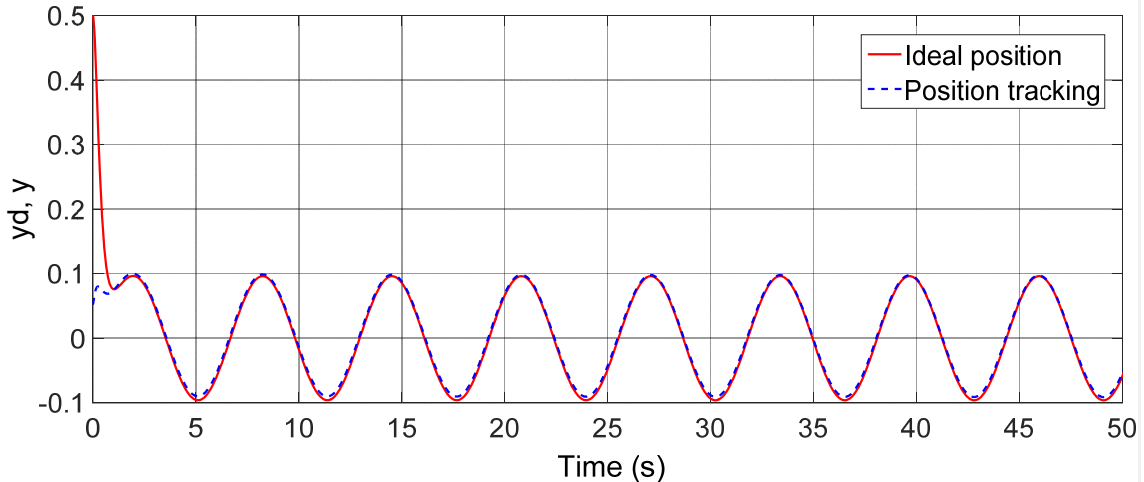
$c=[0,5 \ 0,5 \ 0,5 \ 0,5 \ 0,5], b=5$. Các giá trị này được chọn bằng phương pháp thử-sai.

2.3 Mô phỏng và kết quả

2.3.1 Mô phỏng RBF tự chỉnh



Hình 3: Nguyên tắc điều khiển thích nghi theo mô hình tham khảo mô phỏng bằng Simulink



Hình 4: Đáp ứng ngõ ra giữa tín hiệu y_d và y ứng với ngõ vào hàm sin

2.3.2 Khảo sát tính bền vững của bộ điều khiển

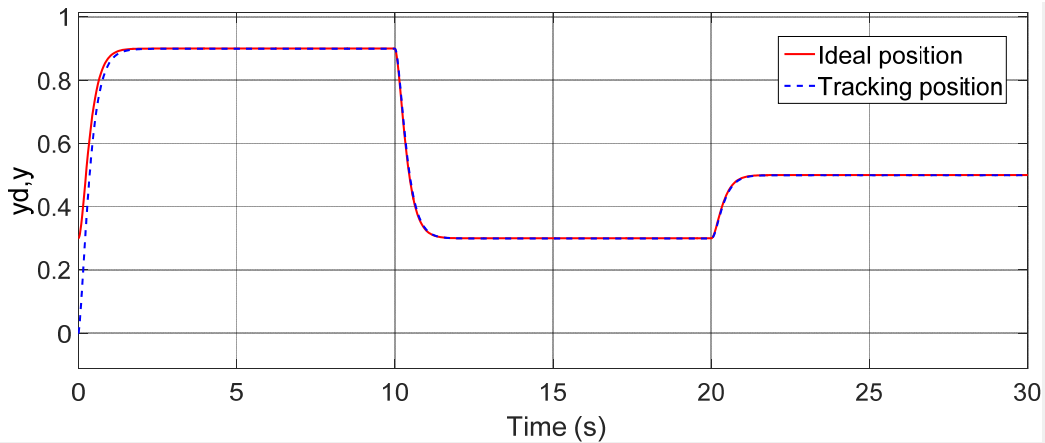
Ta khảo sát tính bền vững của bộ điều khiển bằng cách thay đổi lần lượt tín hiệu tham khảo, khối lượng hòn bi và nhiễu vị trí do cảm biến sinh ra.

Khảo sát tín hiệu tham khảo

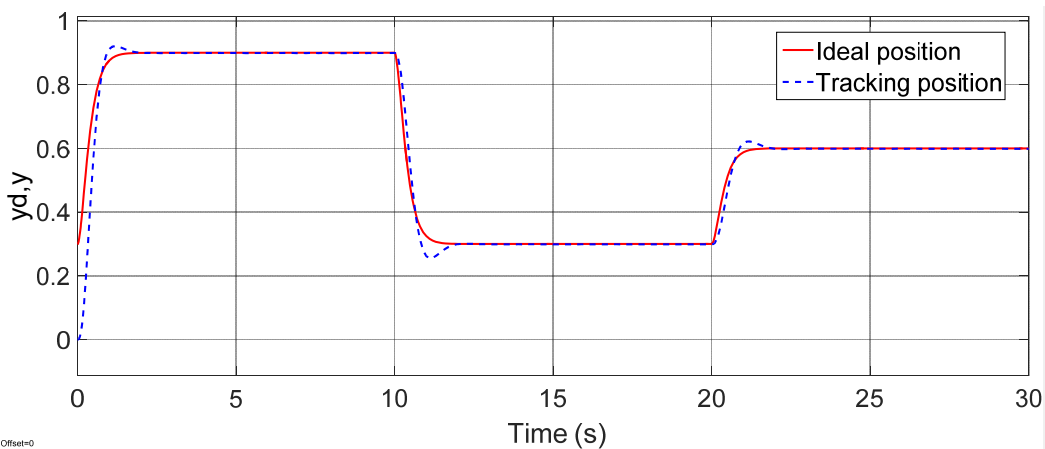
$$y_d(t) = \begin{cases} 0,9; & (t \in (0,10]) \\ 0,3; & (t \in (10,20]) \\ 0,5; & (t \in (20,40]) \end{cases}$$

Khảo sát với khối lượng hòn bi

Nghiên cứu đã khảo sát khối lượng hòn bi theo ba trường hợp $m_1=0,2kg$, $m_2=0,5kg$ và $m_3=1,0kg$.

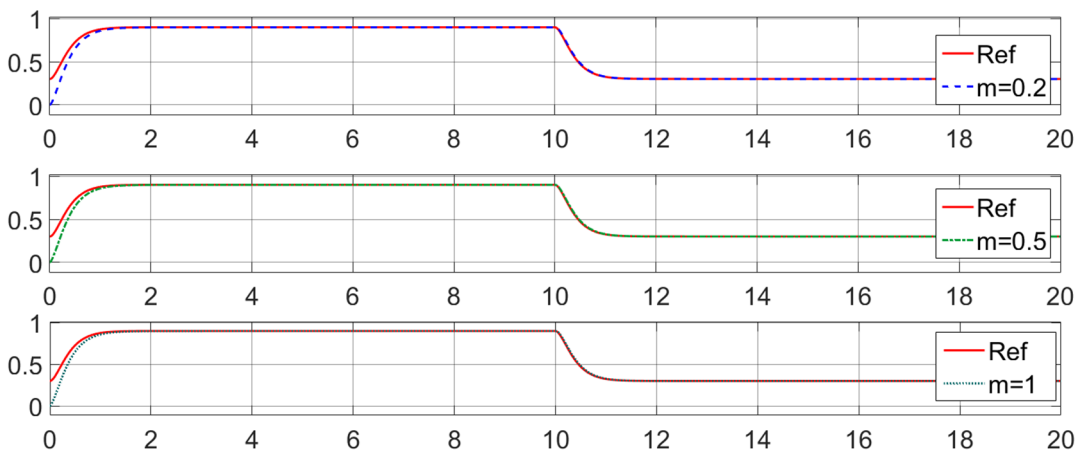


Hình 5: Đáp ứng ngõ ra giữa tín hiệu y_d và y



Offset=0

Hình 6: Đáp ứng ngõ ra giữa tín hiệu y_d và y ứng với ngõ vào hàm nấc có tác động nhiễu



Hình 7: Tín hiệu đáp ứng ngõ ra ứng với 3 trường hợp $m = 0,2\text{kg}$, $m = 0,5\text{kg}$, $m = 1\text{kg}$

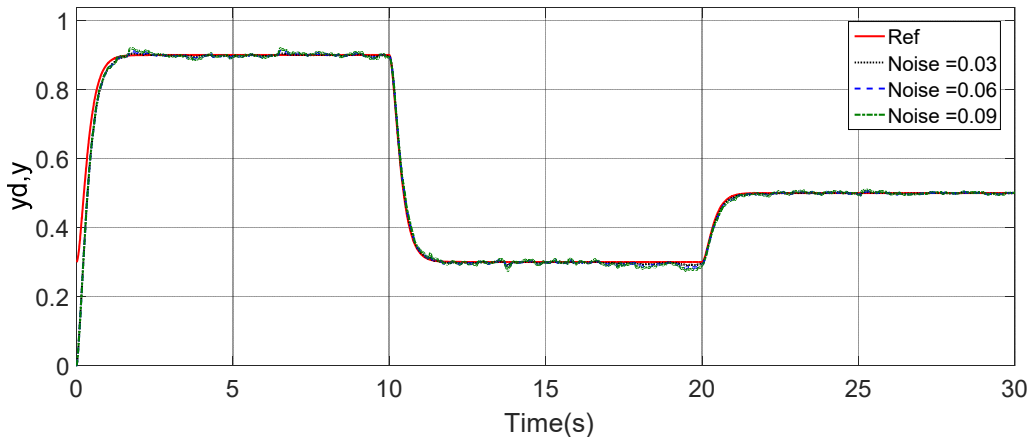
Khảo sát với nhiều tác động do cảm biến sinh ra

Nghiên cứu đã khảo sát hệ thống khi có nhiễu do cảm biến sinh ra với biên độ nhiễu lần lượt là 0,03, 0,06 và 0,09.

Khảo sát đáp ứng của mô hình cầu cân bằng trong mô phỏng Hình 3 cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển thích nghi RBF (được trình bày trong Bảng 2) với đáp ứng ngõ ra tốt có thời gian đáp ứng 1s, sai số xác lập khoảng 1% và độ vọt lố gần bằng 0. Tương tự, khi có tác động nhiễu, đáp ứng

ngõ ra có thời gian đáp ứng 1,3s, sai số xác lập khoảng 1,5% và độ vọt lố là 2%. Đồng thời, kết quả mô phỏng đánh giá được tính bền vững của bộ

điều khiển khi thay đổi các thông số khối lượng hòn bi, tín hiệu tham khảo ngõ vào và hệ thống hoạt động tốt khi có nhiễu tác động.



Hình 8: Tín hiệu đáp ứng ngõ ra ứng với 3 trường hợp nhiễu với biên độ Noise= 0,03, Noise= 0,06, Noise= 0,09

Bảng 2: Kết quả mô phỏng của bộ điều khiển thích nghi dựa trên mạng no-ron RBF

Thông số mô phỏng	Bộ điều khiển RBF tự chỉnh	Bộ điều khiển RBF tự chỉnh khi có tác động nhiễu
Thời gian tăng	$1 \pm 0,5$ (s)	$1,3 \pm 0,5$ (s)
Thời gian xác lập	$0,2 \pm 0,05$ (s)	$0,5 \pm 0,05$ (s)
Sai số xác lập	$1 \pm 0,03$ (%)	$1,5 \pm 0,05$ (%)
Độ vọt lố	$0,1 \pm 0,05$ (%)	$2 \pm 0,5$ (%)

3 KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng của tín hiệu ngõ ra của mô hình cầu cân bằng bám theo tín hiệu tham chiếu ngõ vào. Với đáp ứng ngõ ra tốt có thời gian đáp ứng 1s, sai số xác lập khoảng 1% và độ vọt lố gần bằng 0. Tương tự, khi có tác động nhiễu, đáp ứng ngõ ra có thời gian đáp ứng 1,3s, sai số xác lập khoảng 1,5% và độ vọt lố là 2%. Đồng thời, tính bền vững của bộ điều khiển được đánh giá qua phương pháp khảo sát và thay đổi tín hiệu tham chiếu ngõ vào, khối lượng hòn bi và nhiễu do cảm biến sinh ra. Ngoài ra, những kết quả đạt được trong nghiên cứu này còn là cơ sở để phát triển bộ điều khiển thích nghi cho các mô hình phức tạp như robot ba bánh đa hướng trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Burl, J., 1999. Linear Optimal Control, 1st Ed., Addison Wesley Longman, Menlo Park, USA.
 Jeff Lieberman, 2004. A Robotic Ball Balancing Beam, in: bea.st website.
<http://www.bea.st/sight/rbbb/rbbb.pdf> (ngày truy cập: 04/2017).
 J.Liu, 2013. Radial Basis Function

(RBF) neural network control for mechanical systems: design, analysis and Matlab simulation: Springer Science & Business Media.

Mohammad Keshmiri, Ali Fella Jahromi, Abolfazl Mohebbi, Mohammad Hadi Amoozgar and Wen Fang Xie, 2012. Modeling and control of ball and beam system using model based and non-model based control approaches. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol.5 ,No. 1,pp. 14-35.
 Mohd Fuaad Rahmat, Herman Wahid and Norhaliza Abdul Wahab, 2010. Application of intelligent controller in a balland beam control system, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 45-60.
 Patrick Owen McGuirk, 1995. LQR and LQG/LTR Control of a Ball and Beam Apparatus, University of Washington.
 The University of Michigan, 1997. Example: Modeling the Ball and Beam Experiment, in: Control Tutorials for MATLAB, accessed on 4/2017. Available from <http://www.ece.drexel.edu/ctm/examples/ball/ball.html>
 Zhong-Hua Pang, 2011. Augmented state estimation and LQR control for a ball and beam system, Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6th IEEE Conference, pp. 21-23.