

TỔNG HỢP ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ PHI TUYẾN ĐỘNG CÓ TẢI THAY ĐỔI

Nguyễn Việt Hùng •

Đậu Trọng Hiền

Trần Thanh Mai

ABSTRACT

Non-linear dynamical systems are difficult to control due to the model uncertainties and external disturbances (that may occur in these systems). This paper addresses the problem of modeling and on-line direct inverse controlling method using neural networks for a given class of nonlinear systems. The design procedure involves the integration of identification and neural control for an imprecisely known plant. A new recurrent neural network approach for on-line adaptive control is presented. A dynamic learning algorithm for the recurrent neural network has been developed with faster convergence and improved steady-state performance for the neural networks structure. New control scheme for noise canceller in case of change in load or control parameter. On-line simulation studies for selected process with the proposed control are presented and discussed using two-link robot arm to demonstrate the performance of the proposed strategy.

I. MỞ ĐẦU

Có nhiều phương pháp thiết kế điều khiển hệ phi tuyến với đối tượng điều khiển chịu tác động của nhiễu như phương pháp điều khiển bền vững hay điều khiển thích nghi. Hiện nay, các ứng dụng mạng nơron trong các hệ thống điều khiển dạng này đã và đang được phát triển rất mạnh ([1], [2], [4]). Trước hết, phải kể đến các công trình của Narendra nhằm giới thiệu ứng dụng mạng nơron nhiều lớp trong nhận dạng và điều khiển thích nghi hệ phi tuyến. Tiếp đến, các nghiên cứu như ([3], [8],) giới thiệu phương pháp điều khiển thích nghi cho hệ phản hồi tuyến tính hóa, dùng khả năng xấp xỉ phi tuyến vạn năng, khả năng học, và tính toán song song của mạng nơron nhân tạo. Tuy nhiên, yếu điểm lớn nhất trong các sơ đồ dùng mạng nơron thường là yếu tố cực tiểu cục bộ và tốc độ hội tụ của trọng lượng mạng ([5], [7]).

Bài viết này trình bày kết quả nghiên cứu về điều khiển dùng mạng nơron nhằm đề ra một khung sườn chung cho thiết kế điều khiển, dùng một phương pháp thiết lập hàm chi phí theo kiểu mới để tạo lập các thuật toán huấn luyện mạng nhận dạng, điều khiển và triệt

nhiều trong sơ đồ điều khiển hệ phi tuyến động dùng các cấu trúc mạng nơron. Các hệ thống điều khiển này có các đặc tính động ẩn hay chỉ được biết một phần. Các tính năng trực tuyến về khả năng bám sai số và tính bền vững cũng được minh chứng thông qua lập trình mô phỏng.

II. THIẾT LẬP BÀI TOÁN

Các ý niệm

Trong bài viết này, công cụ toán học được dùng là phương pháp đạo hàm riêng phần theo thứ tự [5], phương pháp graph tín hiệu, cùng các tính chất của mạng nơron nhiều lớp, dùng các khâu trễ làm vòng phản hồi. Từ ([1], [7]), cho các giả thiết sau:

- Giả thiết 1:

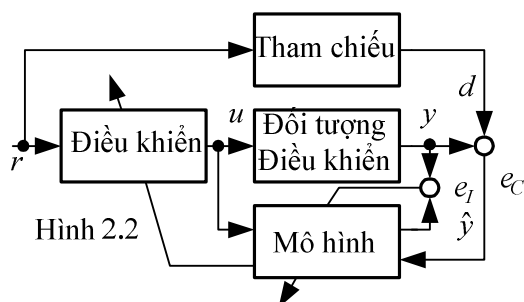
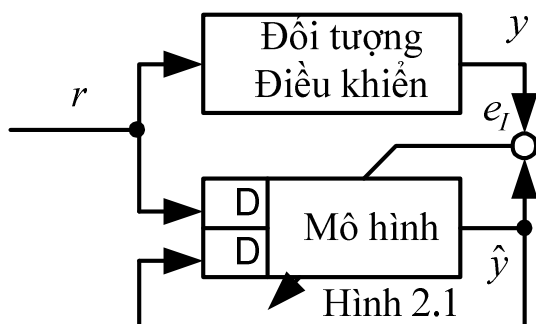
Về khả năng xấp xỉ vạn năng (tạo được các ánh xạ phi tuyến) của mạng.

- Giả thiết 2:

Về tính khả vi của ngõ ra mạng theo các biến vào và trọng lượng mạng nơron nhiều lớp có phản hồi.

Mục tiêu thiết kế

Xác định tín hiệu điều khiển u , nhằm làm cho ngõ ra của hệ thống bám theo ngõ ra đích $y_d(t)$ với sai số chấp nhận được, khi các trạng thái trong và tín hiệu điều khiển là bị chặn. Nghiên cứu này nhằm thiết lập một dạng hàm chi phí kiểu mới để huấn luyện các mạng nơron trong nhận dạng (hình 2.1) và điều khiển (hình 2.2) từ sai số nhận dạng $e_l = y - \hat{y}$, và sai số bám theo $e_c = y - d$.



▪ Mệnh đề 1

Trong sơ đồ điều khiển dùng mạng nơron hồi qui nhiều lớp, thỏa mãn các giả thiết 1 và 2 thì có thể đưa thêm các thông tin từ môi trường điều khiển vào quá trình huấn luyện mạng, thông qua việc tạo lập hàm chi phí với hai thừa số: $J = J_1 + J_2$.

Trong đó: $J_1 = J(e)$: hàm sai số và $J_2 = J(u, W)$: hàm tinh chỉnh, lấy từ điều kiện của môi trường điều khiển và yếu tố hiệu chỉnh trọng lượng mạng.

Chứng minh: tham khảo chi tiết trong [9].

▪ Giả thiết 3:

Xác định được các giá trị cực tiểu cục bộ W_j^{lc} của quá trình huấn luyện mạng từ các phương pháp thống kê [7].

▪ Bổ đề 1:

Mạng nơron dùng nhận dạng theo hình 2.1, thỏa mãn mệnh đề 1 và các giả thiết từ 1 đến 3, thì cập nhật trọng lượng mạng theo luật 1:

$$\Delta W_l(k) = 2\mu e^T(k) \left[\frac{\partial y(k)}{\partial W} + \nabla_x Y(k) \cdot \nabla_w Y(k) \right]^T + \mu \nabla_w J_2(W, k)$$

với $J_2 = J_2(W) = p(W)$

và $W_l(k+1) = W_l(k) + \Delta W_l^T(k)$

Khi chọn hợp lý: tốc độ học $\mu < \mu_M$ và thừa số hiệu chỉnh trọng lượng $\eta < \eta_M$;

thì sai số nhận dạng hội tụ nhanh và không có cực tiểu cục bộ.

Chứng minh: tham khảo chi tiết trong [9].

▪ Giả thiết 4:

Các tín hiệu điều khiển u tại ngõ vào là bị chặn và liên tục theo các biến ngõ vào và trọng lượng mạng.

▪ Bổ đề 2:

Bộ điều khiển dùng mạng nơron theo hình 2.2, thỏa mãn mệnh đề 1, các giả thiết từ 1 đến 4, thì cập nhật trọng lượng mạng theo luật 2:

$$\Delta W^T(k) = 2\mu e^T(k) Q \cdot (\nabla_w^* Y(k)) - \mu \cdot (\nabla_u J_{hc}^T(k)) (\nabla_w^* U(k))$$

và $W(k+1) = W(k) + \Delta W^T(k)$

Trong đó $J_2 = J_2(u)$: hàm tinh chỉnh, phụ thuộc vào các điều kiện của môi trường điều khiển, Q: trọng số dùng cho trường hợp hệ MIMO.

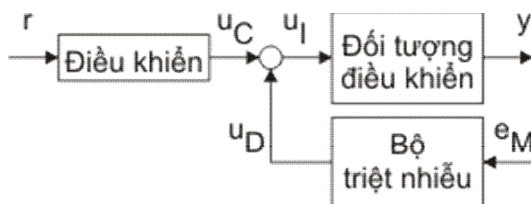
Khi chọn lựa tham số điều khiển thích hợp, thì sai số bám theo của hệ thống hội tụ được.

Chứng minh: tham khảo chi tiết trong [9].

III. TỔNG HỢP SƠ ĐỒ HỆ ĐIỀU KHIỂN

3.1 Hệ điều khiển khi có nhiễu

Từ nghiên cứu thiết lập bài toán, tác giả đề nghị sơ đồ tổng quát cho hệ điều khiển phi tuyến động gồm hai khâu chính là mạng nơron tạo mô hình và mạng nơron dùng điều khiển như hình 3.1. Các mạng này được huấn luyện dùng luật 1, 2 của bộ đề 1 và 2. Trường hợp hệ thống bị ảnh hưởng của nhiễu thì cần thêm bộ triệt nhiễu.



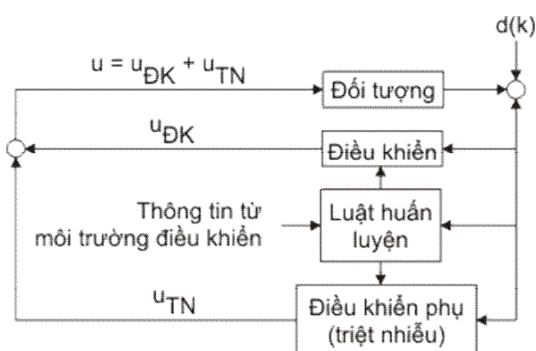
Hình 3.1

3.2 Phát triển sơ đồ khối

Nghiên cứu phát triển một bộ triệt nhiễu dùng mạng nơron dạng phân cấp, theo đó bộ triệt nhiễu chỉ được đưa vào hoạt động khi yếu tố thay đổi do nhiễu ảnh hưởng lớn đến bộ điều khiển, làm cho sai số điều khiển gia tăng như hình 3.2. Bộ triệt nhiễu gồm hai khâu: khâu phát hiện và khâu triệt nhiễu. Khâu triệt nhiễu là một mạng nơron nhằm

tạo tín hiệu u_{TN} nhằm hỗ trợ hoạt động của điều khiển chính.

3.3 Định lý huấn luyện mạng trong hệ thống điều khiển có nhiễu



Hình 3.3

Hệ điều khiển với cấu trúc theo hình 3.3, bộ điều khiển gồm $u = u_{DK} + u_{TN}$, với các khâu trong hệ điều khiển được cập nhật theo các luật của bộ đề 1, 2; và khâu triệt nhiễu được cập nhật dùng luật 2, với các ngõ vào được định nghĩa lại, thì bảo đảm được các tính chất sau:

- Các tham số mạng và ngõ ra là bị chặn $|w(t)| \leq M_w$ và $|y| \leq M_y$
- Sai số bám theo chặn dưới $\int_0^t |e(\tau)|^2 d\tau \leq M_e$

Chứng minh:

- Ngõ ra bị chặn $|y| \leq M_y$

Do $u = u_{DK} + u_{TN}$ (3.1)

Gọi: u^* : tác động điều khiển tối ưu thì phương trình sai số điều khiển vòng kín

$$\dot{e} = \Lambda e + b[u^* - u_{DK} - u_{TN}] \quad (3.2)$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ -k_n & -k_{n-1} & \dots & \dots & \dots & \dots & -k_1 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$k = (k_n, \dots, k_1)^T$ được chọn để nghiệm của phương trình $s^n + k_1 s^{n-1} + \dots + k_n$ nằm ở nửa phải mặt phẳng phức. Định nghĩa hàm

$$V_e = \frac{1}{2} e^T P e \quad (3.4)$$

Lyapunov

dùng (3.2) và phương trình Lyapunov $\Lambda^T P + P \Lambda = -Q$ (3.5)

$$\dot{V}_e = -\frac{1}{2} e^T Q e + e^T P b [u^* - u_{DK} - u_{TN}]$$

$$\leq -\frac{1}{2}e^T Qe + |e^T Pb|(|u^*| + |u_{DK}| + |u_{TN}|) - e^T Pbu_{TN} \quad (3.6)$$

Yêu cầu hàm $\dot{V}_e < 0$, cần phải thiết lập giả thiết sau: Quá trình huấn luyện mạng dùng bổ đề 1 và bổ đề 2 đã chứng minh được là các ngõ ra của mô hình là bị chặn, gọi $f(\cdot) = f_{DK}(\cdot)$ là ngõ ra của mạng điều khiển và đặt $f_M(\cdot)$ là chặn trên của $f(\cdot)$, kết hợp với (3.3) ta có giả thiết sau:

▪ Giả thiết 5:

Có thể tìm được hàm $f_M(\cdot)$ và hằng số b_m sao cho $|f(\cdot)| \leq f_M(\cdot)$ và $0 < b_L \leq b$

Từ (3.1) và (3.6), cần thiết kế u_{TN} có dạng:

$$u_{TN} = I^* \text{sgn}(e^T Pb) \left[|u_{DK}| + \frac{1}{b_m} (f_M + |d(k)| + |k^T e|) \right] \quad (3.7)$$

trong đó hàm I^* được định nghĩa như sau:

$$I^* = \begin{cases} 1 & V_e \geq \tilde{V} \\ 0 & V_e \leq \tilde{V} \end{cases} \quad (3.8)$$

theo [6], xác định \tilde{V} từ trên biên của y như sau:

$$\tilde{V} = \frac{\lambda_{P \min}}{2} (M_y - \sup_{t \geq 0} |y_m|)^2 \quad (3.9)$$

Thế (3.7) vào (3.6) và với $I^* = 1$, ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_e &\leq -\frac{1}{2}e^T Qe + |e^T Pb| \left[\frac{1}{b} (|f| + |d(k)| + |k^T e|) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{b_L} (f_M + |d(k)| + |k^T e|) \right] \\ &\leq -\frac{1}{2}e^T Qe < 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

chọn $V_e \leq \tilde{V}$ thì $|y| \leq M_y$

▪ Sai số bám theo có chặn dưới:

$$\int_0^t |e(\tau)|^2 d\tau \leq M_e$$

Có bộ triệt nhiễu, với u_{TN} , (3.2) trở thành:

$$\dot{e} = \Lambda e + b(W^* - W)^T f(\cdot) - b\omega - bu_{TN} \quad (3.11)$$

W^* là trọng lượng mạng tối ưu, thì dùng luật 1 và 2, cho $I^* = 1$, ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\frac{1}{2}e^T Qe + I^* e^T p_n b \frac{(W^* - W)^T W W^T f(\cdot)}{|W|^2} - \\ &\quad - e^T p_n b \omega - e^T Pbu_{TN} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Chứng minh là thừa số thứ hai của vế phải (3.2) là không dương, chỉ cần trường hợp

$I^* = 1$, $|W| < M_w$ và $e^T p_n \theta^T f(\cdot) < 0$ thì

$$(W^* - W)^T W = \frac{1}{2} (|W^*|^2 - |W|^2 - |W - W^*|^2) < 0$$

do $|W| = M_w \geq |W^*|$. Viết lại (3.12)

$$\dot{V} \leq -\frac{1}{2}e^T Qe - e^T p_n b \omega - e^T Pbu_{TN} \quad (3.13)$$

Do u_{TN} của (3.7) cùng dấu với $e^T Pb$, từ (3.13) ta có:

$$\dot{V} \leq -\frac{1}{2}e^T Qe - e^T p_n b \omega$$

$$\begin{aligned} &\leq -\frac{\lambda_{Q \min} - 1}{2} |e|^2 - \frac{1}{2} (|e|^2 - 2e^T p_n b \omega + |p_n b \omega|^2) \\ &\quad + \frac{1}{2} |p_n b \omega|^2 \end{aligned}$$

$$\leq -\frac{\lambda_{Q \min} - 1}{2} |e|^2 + \frac{1}{2} |p_n b \omega|^2 \quad (3.14)$$

với $\lambda_{Q \min}$ là trị riêng bé nhất của Q và giả sử $\lambda_{Q \min} \geq 1$, lấy tích phân hai vế của (3.14) có:

$$\int_0^t |e(\tau)|^2 d\tau \leq \frac{2}{\lambda_{Q \min} - 1} (|V(0)| + |V(t)|)$$

$$+ \frac{1}{\lambda_{Q_{\min}} - 1} |p_n b|^2 \int_0^t |\omega(\tau)|^2 d\tau \quad (3.15)$$

▪ Định nghĩa:

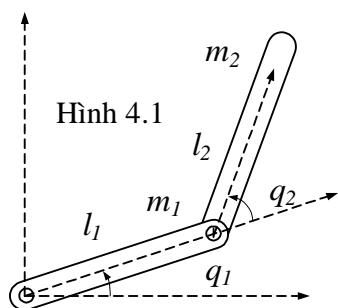
$$A = \frac{2}{\lambda_{Q_{\min}} - 1} (|V(0)| + \sup_t |V(t)|)$$

$$B = \frac{1}{\lambda_{Q_{\min}} - 1} |p_n b|^2$$

và

Do A, B là các giá trị dương và quá trình nhận dạng được khớp thì $\int_0^t |e(\tau)|^2 d\tau \leq M_e$
 Định lý 1 đã được chứng minh xong.

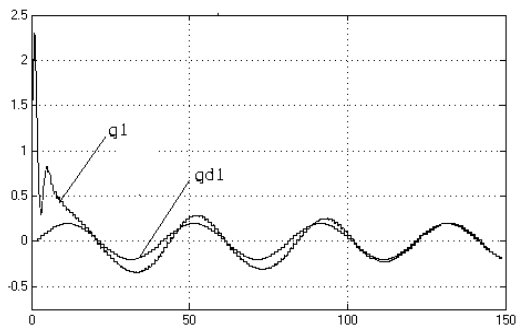
IV. MÔ PHỎNG KIỂM NGHIỆM



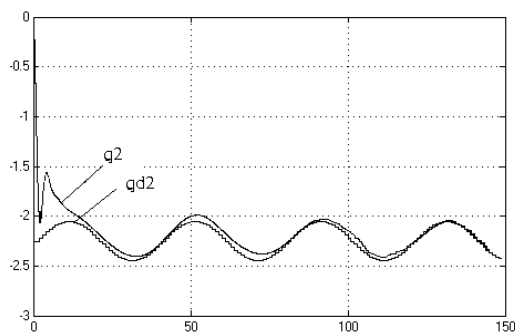
Dùng tay máy hai khớp cứng truyền động trực tiếp bằng động cơ DC như vẽ ở hình 4.1, các đặc tính động học tham khảo theo các số liệu do

nhóm Lewis [4], [11].

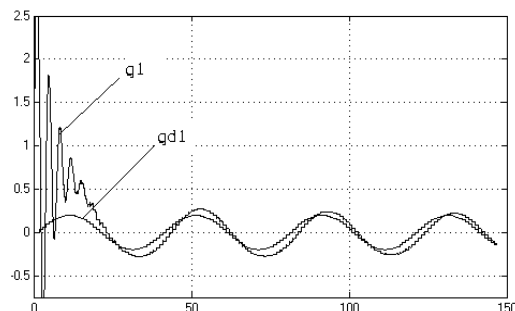
Chọn $l_1=1m$, $l_2=1m$, $m_1=0,8kg$, $m_2=2,3kg$ và $g_0=9,8m/s^2$, giả sử không có yếu tố ma sát trượt. Báo cáo này nhằm chứng tỏ là sơ đồ điều khiển bám theo được đề nghị này không cần hiểu biết về cấu trúc hay các đặc tính động học của đối tượng như thường thấy trong phương pháp điều khiển thích nghi truyền thống. Hệ thống được kiểm nghiệm thông qua phương pháp mô phỏng giả lập. Các kết quả minh họa khả năng bám theo của hệ thống ở hình 4.2 a,b trong điều kiện hoạt động bình thường. Ngoài ra, hệ thống còn được thử nghiệm khi có nhiễu là tải thay đổi hay/ và tham số biến đổi như ở hình 4.2 c, d, e, f khi tải tăng 1,5 lần so với định mức. Hình 4.2 g, h, i, j thể hiện trường hợp tải giảm 1,5 lần so với định mức. Trong các đồ thị này thì q_1, q_2 là các ngõ ra và qd_1, qd_2 lần lượt là các quỹ đạo đích.



Hình 4.2a: q_1 khi $m_2=m_{2nom}$

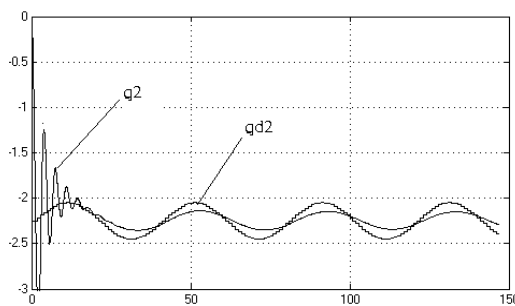


Hình 4.2b: q_2 khi $m_2=m_{2nom}$



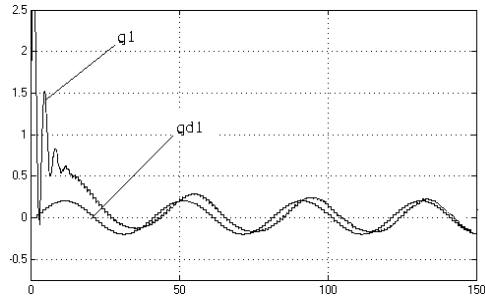
Hình 4.2c: q_1 khi $m_2=1.5m_{2nom}$

Xuất hiện nhiễu

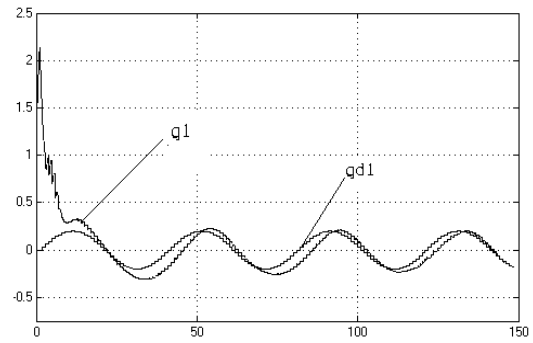


Hình 4.2d: q_2 khi $m_2=1.5m_{2nom}$

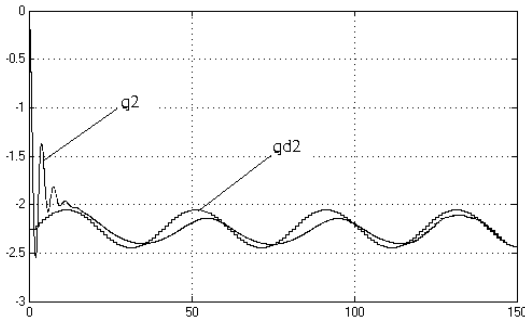
Xuất hiện nhiễu



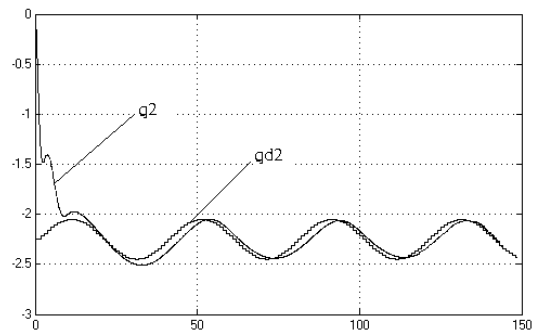
Hình 4.2e: q_1 khi $m_2=1.5m_{2nom}$
Bộ triệt nhiễu hoạt động



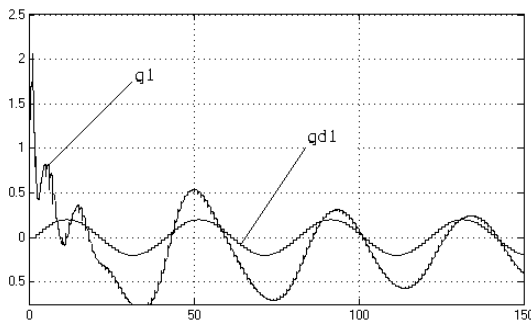
Hình 4.2i: q_1 khi $m_2=0.5m_{2nom}$
Bộ triệt nhiễu hoạt động



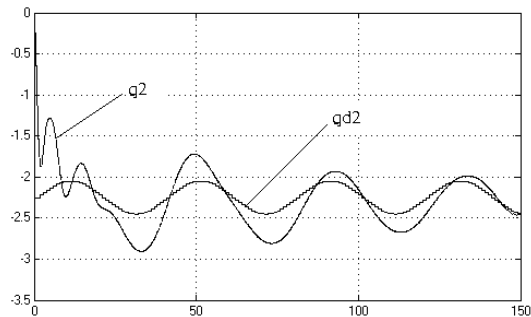
Hình 4.2f: q_2 khi $m_2=1.5m_{2nom}$
Bộ triệt nhiễu hoạt động



Hình 4.2j: q_2 khi $m_2=0.5m_{2nom}$
Bộ triệt nhiễu hoạt động



Hình 4.2g: q_1 khi $m_2=0.5m_{2nom}$
Nhiều xuất hiện



Hình 4.2h: q_2 khi $m_2=0.5m_{2nom}$
Nhiều xuất hiện

V. KẾT LUẬN

Bài viết đã giới thiệu sơ đồ điều khiển cùng các thuật toán huấn luyện các khâu trong hệ điều khiển phi tuyến động khi có tác động nhiễu là sự thay đổi của tải hay tham số điều khiển. Đồng thời kết quả mô phỏng thực nghiệm cũng cho thấy là các thuật toán đã được ứng dụng thành công trong điều khiển một tay máy hai khớp cứng. Phương pháp này không cần biết chính xác các đặc tính động học của hệ thống, điều này cho phép ứng dụng bộ điều khiển nơron dạng này vào nhiều đối tượng điều khiển rôbot hay các hệ thống phi tuyến khác nhau mà không phải thay đổi nhiều.

VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anders Forsgren, Robert Kling; An Implementation of Recurrent Neural Networks for Prediction and Control of Nonlinear Dynamic Systems; Tech Report, Monash Univ., Melbourne, Australia, March 27, 2003.
2. Asriel U. Levin, Kumpati S. Nadrendra. Control of Nonlinear Systems Using Neural Networks, IEEE Trans.on N.Nets, tr. 30-42, Jan. 1996.
3. Chimam Kwan, Frank L. Lewis, Darren M. Dawaon; Robust Neural Network Control of Rigid-Link Electrically Driven Robots; IEEE Transaction on N.N.Vol.9 No. 4, July 1998
4. K.S. Narendra, Parthasarathy K.; Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, IEEE Trans.on N.Networks 1,1990, pp .4-27
5. Paul J. Werbos; Handbook of Neural Computation; IOP Publishing Ltd and Oxford University Press, 1997
6. Lin-Xin Wang; A Course in Fuzzy Systems and Control, Prent. Hall International, Inc. 1997
7. Siu-yeung Cho, Tommy W.S. Chow, Training multilayer neural networks using fast global learning algorithm – least squares and penalized optimization methods, Neurocomputing 25 (1999), tr. 115-131.
8. Nguyễn Việt Hùng, Trần Thanh Mai, Ứng dụng hệ điều khiển mờ và điều khiển dùng mạng thần kinh trong hệ truyền động có tham số và tải thay đổi. T.c Phát triển KHCN, ĐHQG TpHCM, trang 133-138, tập 2, số 4&5/1999.
9. Nguyễn Việt Hùng, Đậu Trọng Hiên, Trần Thanh Mai, Non-linear Dynamical Systems Control Using Neural Networks, Proceeding on International Symposium in Electrical & Electronic Engineering 11-12, Oct. 2005 (ISEE 2005-HCMC), tr. 36-42.