

Xây dựng thuật toán điều khiển mạng nơron dựa theo mô hình mômen tính toán cho Robot Almaga 16

A Neural Network Algorithm Based on Computed –Torque Method for Robot Almaga 16 Control

Võ Thu Hà

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp, 456 Minh Khai, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam
Đến Tòa soạn: 19-8-2015; chấp nhận đăng: 20-12-2016

Tóm tắt

Bài báo đề cập đến vấn đề xây dựng thuật toán điều khiển sử dụng mạng nơron dựa theo mô hình mômen tính toán cho Robot Almaga 16. Khi không biết chính xác các thông số động lực học của Robot Almaga 16, luật sử dụng mạng nơron dựa theo mô hình mômen tính toán đã giải quyết vấn đề này bằng việc ước lượng các thông số đó và bù nhiễu dựa theo mô hình mẫu. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho thấy hệ điều khiển chuyển động Robot Almaga 16 đã đáp ứng được yêu cầu điều khiển: đảm bảo sai số của các khớp quay nhanh chóng đạt tới không và thời gian quá độ nhỏ.

Từ khóa: Robot Almaga 16, điều khiển mômen tính toán, điều khiển mạng nơron

Abstract

This paper presents a problem of building up a control algorithm for the Robot Almaga 16 using neural network based on computed torque method. To control the Robot Almaga 16, the problems with unknown kinematic and dynamic parameters is solved by implementing neural network based on computed torque method to estimate the parameters and compensation the disturbances from the sample model. The simulation results in the control requirements: steady-state errors of robot joint angles quickly converge to zero and transient time is short.

Keywords: Robot Almaga 16, Computed – torque control, Neural network control.

1. Đặt vấn đề

Robot Almaga 16 được biểu diễn như hình 1, [2]. Đây là loại Robot hàn đứng có đặc tính di chuyển nhanh, nhịp nhàng, chính xác, gồm 6 trục quay, mỗi trục khớp được trang bị một động cơ Servo đồng bộ nam châm vĩnh cửu, điều khiển theo vòng kín. Trong bài báo chỉ sử dụng 3 trục khớp đây làm đối tượng nghiên cứu, cụ thể các thông số kỹ thuật chính của 3 trục khớp được điều khiển như sau :



Hình 1. Robot Almaga 16

Khâu thứ nhất: Góc chuyển động: $\pm 135^\circ$. Tâm trục tính từ đỉnh đến chân đế : 28cm. Đường tâm của trục I đến tâm của trục: 35cm. Khâu thứ hai: Góc chuyển động: $\pm 135^\circ$. Chiều dài giữa hai tâm trục I và II là 65cm. Khâu thứ ba: Góc chuyển động: $+90^\circ$ và -45° . Chiều dài giữa hai tâm trục I và II là 47cm.

Tổng thể tích của Robot Almaga16:

$$V = 0,12035\text{m}^3$$

Tổng khối lượng của Robot: 250kg

Khối lượng của các khâu như sau: $m_0 = 100$ kg, $m_1 = 67$ kg, $m_2 = 52$ kg, $m_3 = 16$ kg, $m_4 = 10$ kg, $m_5 = 4$ kg, $m_6 = 1$ kg.

Trong bài báo [1], việc xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi Li – Slotine cho thấy ưu điểm của phương pháp này là khi không biết chính xác các thông số động lực học của Robot, luật điều khiển thích nghi theo Li – Slotine đã giải quyết vấn đề này bằng việc ước lượng các thông số đó, làm khối lượng tính toán giảm nhiều so với các phương pháp điều khiển khác [2] mà vẫn đảm bảo Robot vận hành linh hoạt đồng thời khử được các thành phần sai lệch góc khớp và vị trí của khâu tác động cuối làm cho hệ chuyển động Robot ổn định, chính xác với thời gian quá độ nhỏ. Nhưng nhược điểm lớn nhất của phương pháp điều khiển này là yêu cầu khối lượng tính toán

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 913024989
Email: vtha@uneti.edu.vn

on-line lớn, và không bền vững khi có tác động nhiễu ngoại. Trong khi đó phương pháp “Điều khiển mạng nơron dựa theo mô hình mômen tính toán” [3], [5] là phương pháp bù nhiễu dựa theo mô hình mẫu, mô hình mẫu ở đây là mô hình mô men tính toán, với một số tính chất tính toán tốt rất phù hợp để sử dụng với mạng nơ ron. Ưu điểm của phương pháp này đơn giản về mặt toán học, giảm khối lượng tính toán on-line mà vẫn đảm bảo tính thích nghi cao, khử nhiễu ngoại, đáp ứng sự hội tụ của sai lệch vị trí các khớp về không.

2. Xây dựng hệ thống điều khiển robot almeqa 16 sử dụng mạng nơron theo mô hình mômen tính toán

Khi không biết chính xác các thông số động lực học của Robot [1], [2], luật điều khiển sử dụng mạng nơron dựa theo mô hình mômen tính toán đã giải quyết vấn đề này bằng việc ước lượng các thông số đó và bù nhiễu dựa theo mô hình mẫu. Thông thường người ta hay sử dụng mạng nhiều lớp truyền thẳng làm mô hình mẫu, làm các bộ điều khiển cho đối tượng là phi tuyến. Khi hệ thống đã được nhận dạng với độ chính xác nhất định, quá trình điều khiển được bắt đầu để cho đầu ra của hệ thống bám theo đầu ra của mô hình ổn định.

Đối tượng nghiên cứu là Robot Almeqa 16 có 3 khớp quay [2]. Phương trình động lực học được xây dựng, mô tả bởi, [4]:

$$\tau = D(q) \cdot \ddot{q} + h(q, \dot{q}) \tag{1}$$

Trong đó: τ – moment đặt lên khớp i khi thực hiện chuyển động quay, D - ma trận quán tính (mxn), h - vector tương hỗ và ly tâm (1xn), q - biến khớp, \dot{q} - đạo hàm bậc nhất của biến khớp theo thời gian.

Dựa theo bộ điều khiển mômen tính toán [3],[4], trong không gian khớp:

$$\tau = \hat{D}(q)u + \hat{h}(q, \dot{q}) \tag{2}$$

Trong đó: $\hat{D}(q)$ - giá trị ước lượng của ma trận quán tính D ;

$\hat{h}(q, \dot{q})$ - giá trị ước lượng của vector tương hỗ và ly tâm và vector trọng trường $h(q, \dot{q})$,

$u(t)$ - tín hiệu điều khiển.

Tín hiệu điều khiển u được xác định [4] như sau:

$$u = \ddot{q}_d + K_D(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_P(q_d - q) \tag{3}$$

Trong đó: K_P , K_D - hệ số điều chỉnh của bộ điều khiển; q_d - biến khớp đặt.

Thế (3) vào (2):

$$\begin{aligned} \tau &= \hat{D}(q) [\ddot{q}_d + K_D(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_P(q_d - q)] + \hat{h}(q, \dot{q}) \tag{4} \\ &= \hat{D}(q) [\ddot{q}_d + K_D\dot{E} + K_P E] + \hat{h}(q, \dot{q}) \end{aligned}$$

Trong đó: E là sai lệch góc khớp

$$\dot{E} = (\dot{q}_d - \dot{q}); E = (q_d - q)$$

Thay biểu thức (4) vào biểu thức (2) xác định được phương trình động lực học kín:

$$v = \ddot{E} + K_D\dot{E} + K_P E = \hat{D}^{-1}(\Delta D(q)\ddot{q} + \Delta h(q, \dot{q})) \tag{5}$$

Trong đó:

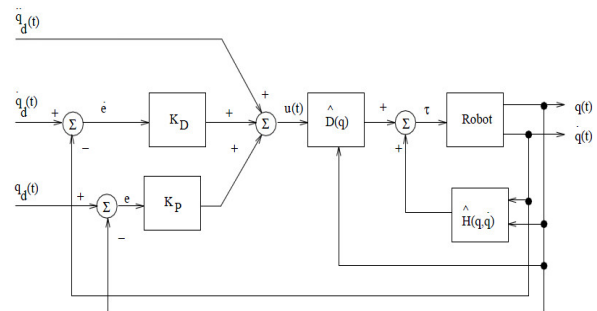
$\Delta D(q)$ - sai số giữa các giá trị ước lượng ma trận quán tính $\hat{D}(q)$ với các giá trị thực $D(q)$,

$\Delta h(q, \dot{q})$ - sai số giữa các giá trị ước lượng vector tương hỗ và ly tâm $\hat{h}(q, \dot{q})$ với các giá trị thực $h(q, \dot{q})$,

Trong trường hợp lý tưởng phương trình (5) trở thành tuyến tính trong không gian khớp nếu $\Delta D = 0, \Delta h = 0$ thì :

$$v = \ddot{E} + K_D\dot{E} + K_P E = 0 \tag{6}$$

Sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển theo mô hình mômen tính toán như hình 2:



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển theo mô hình mô men tính toán

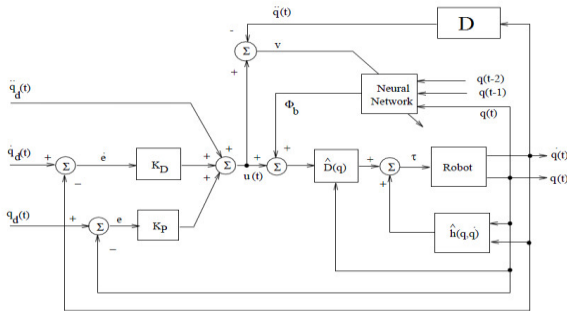
Từ hình 2 cho thấy, để xác định được hệ thức sai lệch (6) là điều rất khó khăn hoặc không xác định được trong phương pháp điều khiển mômen tính toán vì cần phải biết đầy đủ và chính xác các thông số cũng như đặc tính động lực học của robot. Tuy nhiên các thông số động học của robot thay đổi trong quá trình làm việc, nên để khử các thành phần phi tuyến cũng như phân ly đặc tính động lực học của các thanh nối robot thì cần phải ước lượng chính xác các thông số của robot trong quá trình làm việc. Hơn nữa khả năng chống nhiễu của phương pháp này còn hạn chế. Tuy nhiên nó lại cung cấp cho một khả năng toán học để sử dụng mạng nơron dựa theo mô hình này để tạo

ra một mô hình mới với những đặc tính điều khiển vượt trội, đây là nội dung chính của bài báo.

2.1. Xây dựng hệ thống điều khiển sử dụng mạng nơron cho Robot Almega16

Bộ điều khiển dùng mạng nơron dựa trên mô hình mômen tính toán là phương pháp điều khiển trực tiếp các khớp từ tín hiệu ra của mạng nơron, bộ điều khiển này sẽ huấn luyện cho tín hiệu sai lệch v về không, khi đó các khớp của Robot sẽ bám chính xác theo quỹ đạo đặt.

Từ mô hình mô men tính toán hình 2, [3] tác giả bài báo đã lựa chọn được cấu trúc của hệ thống điều khiển sử dụng mạng nơron phản hồi kiểu bù nhiễu dựa theo mô hình như hình 3, [5,6]:



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển bù nhiễu sử dụng mạng nơron dựa theo mô hình mô men tính toán

Từ hình 3 cho thấy đầu vào là các tín hiệu vị trí, đầu ra là giá trị bù vào đầu ra của bộ điều khiển Φ_b , tín hiệu sai lệch để huấn luyện mạng nơron ở đây là v . Vậy bộ điều khiển sử dụng mạng nơron dựa trên mô hình mô men tính toán xác định, [4],[5]:

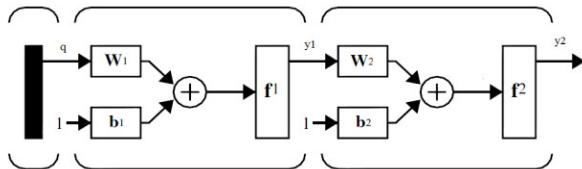
$$\tau = \hat{D}(q)(U - \Phi_b) + \hat{h}(q, \dot{q}) \quad (7)$$

Từ (5) và (7), xác định được:

$$v = \ddot{E} + K_b \dot{E} + K_r E = \hat{D}^{-1}(\Delta D(q)\ddot{q} + \Delta h(q, \dot{q})) - \Phi_b \quad (8)$$

Để thỏa mãn (6), Φ_b cần xác định:

$$\Phi_b = \hat{D}^{-1}(\Delta D(q)\ddot{q} + \Delta h(q, \dot{q})) \quad (9)$$



Hình 4. Cấu trúc mạng nơron hai lớp

2.2. Thiết kế mạng nơron Robot Almega16

Bài báo lựa chọn cấu hình mạng nơron truyền thẳng có hai lớp là lớp đầu vào và lớp đầu ra, hình 4.

Trong đó: q : vecto đầu vào; a : vecto đầu ra ; W : ma trận trọng số;

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & & w_{2,R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{s,1} & w_{s,2} & & w_{s,R} \end{bmatrix}$$

b : ma trận ngưỡng; f : hàm truyền.

$$b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_2 \end{bmatrix}$$

Triển khai cụ thể cho Robot Almega 16 với 03 khớp đầu là mạng nơron có 9 đầu vào cho là các giá trị rời rạc hóa của vị trí các khớp.

$$X = \begin{bmatrix} q_1(t); q_1(t-1); q_1(t-2); q_2(t); q_2(t-1); q_2(t-2) \\ q_3(t); q_3(t-1); q_3(t-2) \end{bmatrix}$$

Lớp thứ nhất có ma trận trọng lượng là ω_{ij}^1 là ma trận có kích cỡ 9x6, ma trận ngưỡng b_{ij}^1 có kích cỡ 1x6, đầu ra là ma trận Y có kích cỡ 1x6. Vậy hàm lớp đầu vào mạng nơron được chọn là hàm Sigmoidal, [4]:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (10)$$

Lớp thứ hai có ma trận trọng lượng là W^2 là ma trận có kích cỡ 6 x 3, ma trận ngưỡng b^2 có kích cỡ 1 x 3, đầu ra là ma trận Φ_k có kích cỡ 1 x 3. Vậy hàm lớp ra là hàm tuyến tính, [4]:

$$f(x) = x \quad (11)$$

Từ đó thiết lập được công thức tính đầu ra Φ_k theo đầu vào và các ma trận thành phần theo :

$$\Phi_k = \left[\sum_{j=1}^{n_H} w_{jk}^2 \left(\frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_{i=1}^{n_I} X_i w_{ij}^1 + b_j^1\right)}} \right) \right] + b_k^2 \quad (12)$$

Trong đó:

- n_H - ẩn số mạng nơron lớp ẩn;
- n_I - số đầu vào mạng nơron;
- Φ_k - phần tử thuộc cột thứ k của ma trận Φ_k ;
- w_{ij}^1 - phần tử thuộc hàng i cột j của ma trận w^1 ;
- w_{ik}^2 - phần tử thuộc hàng i cột k của ma trận w^2 ;
- X_i - phần tử thuộc cột thứ i của ma trận X ;

b_j^1 - phần tử thuộc cột thứ j của ma trận b^1 ;

b_k^2 - phần tử thuộc cột thứ k của ma trận b^2 .

Nếu n là tổng đầu vào mạng nơ ron thì tổng trọng lượng:

$$\omega_t = (n_l + 1)n_H + (n_H + 1)n \quad (14)$$

Tổng n_l đầu vào mạng nơ ron xác định:

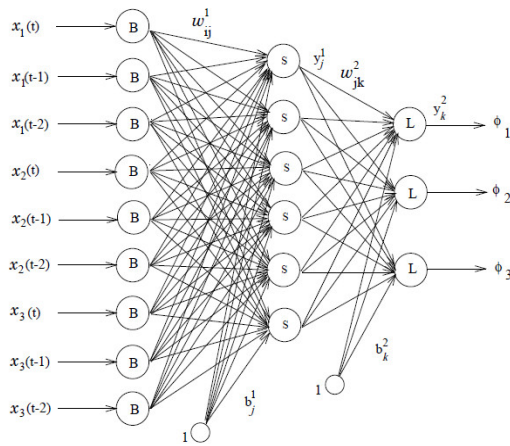
$$n = n_l - n_H$$

Trong mạng nơ ron như đã chọn, xác định được:

$$n_H = 6; n_l = 9; n = 3$$

Suy ra: $\omega_t = 81$.

Cấu hình mạng nơ ron lựa chọn cụ thể như hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc Neural Network

Thuật toán huấn luyện mạng được bài báo lựa chọn là theo luật toán lan truyền ngược để cập nhật các trọng số theo hướng giảm độ dốc sao cho giảm thiểu sai số của mô hình v,(8). Sai số được đo bằng phương pháp trung bình bình phương sai lệch. Hàm thông số của mạng được xác định theo biểu thức (15),[4-6]:

$$J = \frac{1}{2} v^T v \quad (15)$$

Thực hiện tính đạo hàm của J theo các trọng số của mạng xác định được, [4],[5]:

$$\frac{\partial J}{\partial w} = \frac{\partial v^T}{\partial w} v \quad (16)$$

Từ (8) cho thấy mối quan hệ giữa $\frac{\partial v}{\partial w}$ và $\frac{\partial \Phi}{\partial w}$ như sau :

$$\frac{\partial v}{\partial w} = -\frac{\partial \Phi_b}{\partial w} \quad (17)$$

Từ (16) và (17) thiết lập được mối quan hệ giữa đạo hàm của J theo các trọng lượng với đạo hàm của đầu ra Φ_b với các trọng lượng :

$$\frac{\partial J}{\partial w} = -\frac{\partial \Phi_b^T}{\partial w} v \quad (18)$$

Theo thuật toán lan truyền ngược sử dụng để cập nhật các giá trị trọng lượng mới, luật học được cải tiến bằng cách bổ sung thêm một thành luật gọi là hằng số động lượng,[4]:

$$w(t) = w(t-1) + \Delta w(t) \quad (19)$$

$$\Delta w(t) = \eta \frac{\partial \Phi_b^T}{\partial w} v + \alpha \Delta w(t-1) \quad (20)$$

Trong đó:

η - tốc độ học tập, ta chọn $\eta = 0.9$ thích hợp với kiểu bù nhiễu;

α - hệ số động lượng, được chọn $\alpha = 0,01$.

Từ (20) với các phần tử của các ma trận $\omega^1, \omega^2, b^1, b^2$ có công thức cập nhật từng trọng số của các ma trận của từng lớp và từng ngưỡng của mạng nơ ron, như sau:

$$\Delta \omega_{ij}^1(t) = \eta y_j (1 - y_j) X_i \left[\sum_{k=1}^n v_k \omega_{jk}^2 \right] + \alpha \Delta \omega_{ij}^1(t-1) \quad (21)$$

$$\Delta \omega_{jk}^2(t) = \eta v_k y_j + \alpha \Delta \omega_{jk}^2(t-1) \quad (22)$$

$$\Delta b_j^1(t) = \eta y_j (1 - y_j) \left[\sum_{k=1}^n v_k \omega_{jk}^2 \right] + \alpha \Delta b_j^1(t-1) \quad (23)$$

$$\Delta b_k^2(t) = \eta v_k + \alpha \Delta b_k^2(t-1) \quad (24)$$

Công thức tính đầu ra sau lớp vào của mạng nơ ron :

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_{i=1}^n X_i w_{ij}^1 + b_j^1 \right)}} \quad (25)$$

Công thức tính đầu ra sau lớp ra của mạng nơ ron:

$$y_k = \sum_{j=1}^{n_H} y_j \omega_{jk}^2 + b_k^2 \quad (26)$$

Trong đó: y_j, y_k là phần tử cột j,k của véc tơ đầu ra của lớp đầu.

3. Ứng dụng điều khiển sử dụng mạng nơ ron dựa theo mô hình mômen tính toán cho 3 khớp đầu robot Almega16

Mô hình động học của Robot Almega 16 đã được tính toán theo [2]. Chương trình mô phỏng mạng nơ ron tại phụ lục [7]. Mô phỏng Robot Almge 16 với các thông số sau: Khối lượng khớp 1 : $m_1 = 67$ kg ; Khối lượng khớp 2 : $m_2 = 52$ kg ; Khối lượng khớp 3 : $m_3 = 16$ kg .

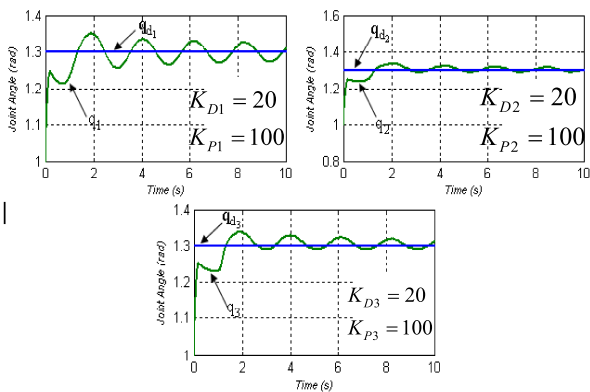
Tham số bộ điều khiển và các giá trị đặt, bảng 3.1.

Bảng 3.1 Tham số của bộ điều khiển

Ký hiệu	Tên tham số	Giá trị tham số các trục khớp
K_p	Hệ số tỷ lệ	$K_{p_1} = 3000$
		$K_{p_2} = 3000$
		$K_{p_3} = 3000$
K_D	Hệ số vi phân	$K_{D_1} = 250$
		$K_{D_2} = 250$
		$K_{D_3} = 250$

Trường hợp không biết rõ các thông số động lực học của hệ thống và có nhiều tác động ứng dụng bộ điều khiển momen tính toán

Kết quả mô phỏng:



Hình 6. Biểu diễn đáp ứng giữa các góc khớp đặt (q_d) và góc khớp thực (q_{thuc})

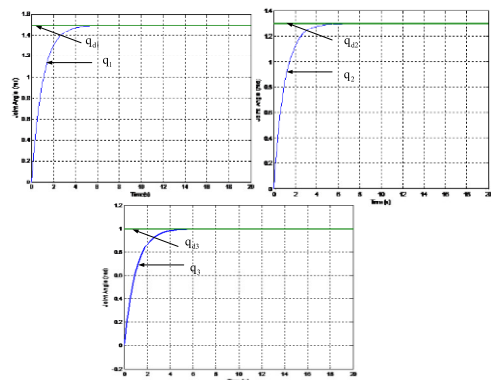
Nhận xét: Với nhiều tác động thì hệ thống bị dao động, không ổn định. Từ kết quả mô phỏng trên ta có thể thấy khả năng chống nhiễu của bộ điều khiển mô hình mômen tính toán là chưa tốt. Tuy nhiên mô hình điều khiển dựa theo mạng nơ ron có thể khắc phục được điều này.

Trường hợp không biết rõ các thông số động lực học của hệ thống và có nhiều tác động ứng dụng bộ điều khiển mạng nơron dựa theo mô hình momen tính toán.

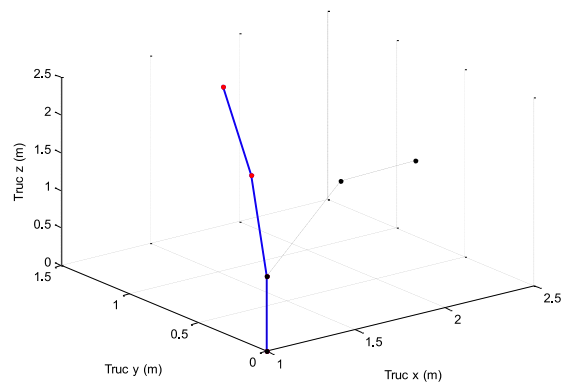
Việc xác định được chính xác thông số động lực học của hệ thống Robot ALmega16 là rất khó khăn dẫn đến các thông số động lực học đưa vào bộ điều khiển là không chính xác. Để kiểm chứng thuật toán điều khiển bài báo đã giả thiết Robot ALmega16 có khối lượng và chiều dài các thanh nối không xác định được chính xác các thông số này nên các thông số động lực học đưa vào bộ điều khiển là các giá trị ước lượng: $\hat{m}_1, \hat{m}_2, \hat{m}_3$, giả sử các thông số điều khiển vẫn

giữ nguyên như bảng 3.1, các thông số động lực học thay đổi như sau :

$$\hat{m}_1 = 67.005; \hat{m}_2 = 52.005, \hat{m}_3 = 16.005$$



Hình 7. Biểu diễn đáp ứng giữa các góc khớp đặt (q_d) và góc khớp thực (q_{thuc})



Hình 8. Biểu diễn chuyển động từ góc khớp đặt (q_d) đến góc khớp thực (q_{thuc}) trong không gian 3 chiều

Nhận xét: Các góc khớp thực (q_t) của ba khớp đều bám góc khớp đặt (q_d) với sai lệch giữa các góc khớp đặt (q_d) và góc khớp thực (q_t) nhanh chóng tiến tới 0, hệ không có dao động. Bộ điều khiển mạng nơron dựa trên mô hình mômen tính toán loại bỏ được hoàn toàn nhiễu tác động vào hệ thống.

4. Kết luận

Qua lý thuyết và kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống điều khiển Robot Almega 16 sử dụng mạng Nơron dựa theo mô hình mômen tính toán đã khắc phục được hầu hết các nhược điểm của các bộ điều khiển truyền thống, có khả năng thích nghi cao, chống nhiễu tốt, ổn định bền vững, có khả năng điều khiển các đối tượng có cùng mô hình với tham số khác nhau, thậm chí là biến thiên. Được kiểm chứng trên mô hình mô phỏng của hệ thống điều khiển bằng Matlab-Simulink, kiểm nghiệm thành công các vấn đề lý thuyết. Định hướng mở rộng là thiết kế mô hình

thực của hệ thống. Nâng cao tốc độ xử lý của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Phạm Thục Anh, Võ Thu Hà, Xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi Li-Slotine cho Robot IRB 2400, tạp chí khoa học công nghệ các trường đại học kỹ thuật, số 69, (2009).
- [2]. Võ Thu Hà, Luận án tiến sỹ: Trường ĐH BKHN, 2012
- [3]. Đào Văn Hiệp: Kỹ thuật Robot, NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, (2004).
- [4]. Lại Khắc Lãi, Nguyễn Như Hiền: Hệ mờ và noron, NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, (2007).
- [5]. Seul Jung; Neural network controllers for robot manipulators – University of California (1991)
- [6]. Howard Demuth , Mark Beale, Martin Hagan; Neural Network Toolbox™ 6 - The MathWorks, Inc (2008).
- [7]. Phạm Tuấn Anh, đồ án tốt nghiệp: Trường ĐH BKHN, 2009.