

# ỨNG DỤNG LUẬT ĐIỀU KHIỂN LỰC THEO PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRỞ KHÁNG TÍCH CỰC KẾT HỢP MẠNG NƠON CHO HỆ CHUYỂN ĐỘNG ROBOT ALMEGA 16

APPLICATION OF FORCE CONTROL BY ACTIVE IMPEDANCE CONTROL METHOD COMBINING NEURAL NETWORK FOR ALMEGA 16 ROBOT SYSTEM

Võ Thu Hà

## TÓM TẮT

Điều khiển lực là trường hợp tổng quát của điều khiển quỹ đạo, vì trong quá trình làm việc đa số robot sẽ tiếp xúc với môi trường khi di chuyển theo một quỹ đạo đặt trước. Khi đó cần thiết điều khiển cả vị trí và lực robot sinh ra. Nội dung chính của bài báo là đề xuất ứng dụng luật điều khiển lực theo phương pháp điều khiển trở kháng tích cực kết hợp mạng nơon cho hệ chuyển động Robot Almega16. Đây là luật điều khiển phản hồi thích hợp cho tay robot dựa trên các đại lượng đo được là vị trí, tốc độ cũng như ngoại lực tác động, đồng thời luật điều khiển này có khả năng nhận dạng các tham số động học, động lực học với mục tiêu có thể điều khiển tay robot bám chính xác quỹ đạo. Kết quả mô phỏng trên ngôn ngữ Matlab-Simulink cho thấy hệ điều khiển chuyển động tay Robot Almega 16 là đối tượng chọn nghiên cứu đã áp dụng thuật toán đề xuất đáp ứng được yêu cầu điều khiển: đảm bảo sai số của bàn tay theo trục X, Y, Z nhanh chóng đạt tới không với thời gian quá độ nhỏ.

**Từ khóa:** Điều khiển lực, điều khiển mạng nơon.

## ABSTRACT

Force control is the general case of orbital control because in the process of working the vast majority of the robots will be exposed to the environment when traveling in a reserved trajectory. It was then necessary to control both the position and the force of the robot. The main content of the article is to propose laws force control applications by the method active impedance control system combining motion neural network Almega16 Robot. This is the appropriate feedback control rule for the robot based on the measured position, the speed of the robot as well as the external force, and the control rule is capable of identifying dynamic parameters. Study and dynamics for noise and jamming with the goal of controlling the robotic hand to accurately trajectory. Simulation results from the Matlab-Simulink software show that the Almega16 Robot hand-held motion control system is a research-selective subject that applies the proposed algorithm to meet the control requirement: X, Y, Z axis quickly reach zero with small transient time

**Keywords:** Force control, neural network control.

## Võ Thu Hà

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

Email: vttha@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/08/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/09/2017

Ngày chấp nhận đăng: 16/10/2017

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với nhiệm vụ thực hiện bởi tay máy robot chẳng hạn như di chuyển trọng tải hoặc vẽ đối tượng..., bài toán điều khiển chuyển động tay máy robot là điều khiển vị trí cung cấp mômen thích hợp cho từng khớp, bởi vì những loại công việc trên chỉ đòi hỏi các tay máy robot chuyển động theo một quỹ đạo mong muốn [8]. Tuy nhiên, tay máy robot thực hiện trong quá trình mài hoặc một nhiệm vụ khác như lắp ráp thì các tay máy robot tiếp xúc với môi trường. Do đó, lực tương tác phát triển giữa các tay máy robot và môi trường dẫn đến các lực tương tác cũng như vị trí của các effector cuối phải được kiểm soát [9]. Từ đó cần thiết điều khiển cả vị trí và lực robot sinh ra để kiểm soát chung kiểm soát không chỉ các robot vị trí cuối effector mà còn là lực tương tác mà các effector cuối tác động lên môi trường. Ngoài ra đối với mỗi một tay robot đều có nhiệm vụ cụ thể như lắp một chốt vào một lỗ với độ kín khít rất cao hay độ rơ rất nhỏ. Quá trình lắp ráp chính xác được thực hiện khi trục của chốt trùng khít với trục của lỗ. Khi đó tay robot chỉ cần sinh ra một lực rất nhỏ để thực hiện quá trình lắp ráp. Tuy nhiên, nếu có sự sai lệch về hướng của trục của chốt và hướng trục của lỗ thì quá trình lắp ráp có thể không thực hiện được [8, 9]. Hơn nữa trong thực tế các tham số động lực học của tay máy robot, hệ số ma sát và tải luôn là những đại lượng không biết được chính xác nên các vấn đề mô hình hóa hệ tay máy robot ứng dụng thực tiễn cần các mô hình mô tả được các yếu tố bất định này, nếu sử dụng các bộ điều chỉnh với tham số cố định (như bộ điều khiển PD bù trọng trường [1], PID [2], bộ điều khiển phi tuyến trên cơ sở mô hình [7]... sẽ không đáp ứng được yêu cầu điều khiển vì các phương pháp điều khiển đó không áp dụng được cho các đối tượng chịu ảnh hưởng tác động thành phần xen kẽ. Chính vì vậy đã kết hợp các phương pháp điều khiển tay máy robot cổ điển như phương pháp tính mô men [5] với mạng NN [4, 6, 7, 10, 11 với luật học on-line để điều khiển tay máy robot n-bậc tự do với nhiều tham số bất định bám theo quỹ đạo mong muốn. Hai vấn đề cơ bản của điều khiển thường được đặt ra là vấn đề ổn định và chất lượng bao gồm quá trình quá độ và độ chính

xác của hệ thống điều khiển tay máy robot. Nội dung chính của bài báo trình bày nghiên cứu về lý thuyết và được kiểm chứng bằng kết quả mô phỏng ứng dụng: Luật điều khiển lực kết hợp mạng nơron cho tay robot Almega16. Đây là luật điều khiển phản hồi thích hợp cho hệ thống dựa trên các đại lượng đo được là vị trí, tốc độ của tay robot cũng như ngoại lực tác động, với mục tiêu có thể điều khiển tay robot bám chính xác quỹ đạo, được sử dụng trong điều khiển tay robot với độ chính xác cao. Hơn nữa hệ thống điều khiển này có thể áp dụng cho các tay robot thực hiện các nhiệm vụ khác nhau bằng cách thay đổi phần mềm của luật điều khiển phản hồi.

**2. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN LỰC KẾT HỢP MẠNG NƠRON**

**2.1. Điều khiển lực bằng phương pháp điều khiển trở kháng tích cực [6, 7]**

Đây là luật điều khiển phản hồi thích hợp cho hệ thống dựa trên các đại lượng đo được là vị trí, tốc độ của tay robot cũng như ngoại lực tác động. Hệ thống điều khiển này có thể áp dụng cho tay robot nhiều trục thực hiện các nhiệm vụ khác nhau và được sử dụng phổ biến với các đối tượng là hệ tay robot nhiều trục.

Các ký hiệu trong phần 2.1 như sau:

Ký hiệu	Ý nghĩa
D, M	Ma trận quán tính (nxn)
h	Vectơ tương hỗ và ly tâm (n 1)
$\tau$	Moment đặt lên khớp i (n x1)
$\hat{D}^*$	Giá trị ước lượng của ma trận quán tính
$\hat{h}^*$	Giá trị ước lượng của vectơ tương hỗ và ly tâm và vectơ trọng trường h
u	Hệ thức sai lệch phương trình động lực học
U	Tín hiệu điều khiển
$\tau_f(\dot{q})$	Vectơ ma sát động, ma sát tĩnh
X	Vị trí của khâu tác động cuối cùng của cánh tay robot được đo bằng cảm biến
$X_d$	Vị trí đặt của khâu tác động cuối cùng của cánh tay robot
q	Biến khớp
$\dot{q}$	Đạo hàm bậc nhất của biến khớp

Phương trình động lực học tổng quát được xây dựng trên không gian khớp, mô tả bởi:

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

Trong đó:  $\tau_f(\dot{q}) = K_1 \text{sgn}(\dot{q}) + K_2 \dot{q}$

Chuyển đổi từ không gian khớp q sang không gian làm việc X, được đặt như sau:

$$X = J(q)\dot{q}, \dot{X} = J(q)\ddot{q} + \dot{J}\dot{q} \tag{2}$$

Thế (2) vào (1) được như sau:

$$\tau = D(q)J^{-1}(q)(\ddot{X} - \dot{J}\dot{q}) + h(q, \dot{q}) + \tau_f(\dot{q}) \tag{3}$$

Mà:

$$\tau = J^T F \tag{4}$$

Từ (2),(3),(4) phương trình động lực học của robot có dạng sau:

$$F = D^*(X)\ddot{X} + h^*(X, \dot{X}) + F_f^*(\dot{X}) \tag{5}$$

$$D^* = J^{-1}(q)D(q)J^{-1}(q),$$

$$\text{Trong đó: } h^* = J^{-T}h(q, \dot{q}) - D^*(X)\dot{J}J^{-1}\dot{X},$$

$$F_f^* = J^{-T}\tau_f(\dot{q})$$

Phương trình động lực học của tay robot với tính đến ngoại lực tác động lên tay robot mô tả bởi [6, 7]:

$$D^*\ddot{X} + h^* + F_f^* = F - F_e \tag{6}$$

Dựa theo bộ điều khiển mômen tính toán [6, 7], trong không gian làm việc có ngoại lực tác động:

$$F = \hat{D}^*U + \hat{h}^* + F_e \tag{7}$$

Tín hiệu điều khiển U [6, 7] được xác định như sau:

$$U = \ddot{X}_r + M^{-1} [B(\ddot{X}_r - \ddot{X}) + K(X_r - X) - F_e] \tag{8}$$

Thế (8) vào (7) được như sau:

$$\begin{aligned} F &= \hat{D}^* (\ddot{X}_r + M^{-1} [B(\ddot{X}_r - \ddot{X}) + K(X_r - X) - F_e]) + \hat{h}^* + F_e \\ &= \hat{D}^* \ddot{X}_r + \hat{D}M^{-1} [B\dot{E} + KE - F_e] + \hat{h}^* + F_e \end{aligned} \tag{9}$$

Trong đó: E - là sai lệch vị trí, bởi:

$$\dot{E} = (\ddot{X}_r - \ddot{X}); E = (X_r - X)$$

Thay (9) vào (6) tìm được phương trình động lực học kín:

$$\begin{aligned} D^*\ddot{X} + h^* + F_f^* &= F - F_e \\ &= \hat{D}^* \ddot{X}_r + \hat{D}M^{-1} [B\dot{E} + KE - F_e] + \hat{h}^* + F_e \end{aligned} \tag{10}$$

Và các sai lệch giữa giá trị thật và giá trị ước lượng như sau:  $\Delta D^* = D^* - \hat{D}^*, \Delta h^* = h^* - \hat{h}^*$

Với việc đặt như vậy phương trình động lực học kín của robot (10) trở thành:

$$v = \ddot{E} + M^{-1} [B\dot{E} + KE - F_e] = \hat{D}^{*^{-1}} [\Delta D^* \ddot{X} + \Delta h^* + F_f^*] \tag{11}$$

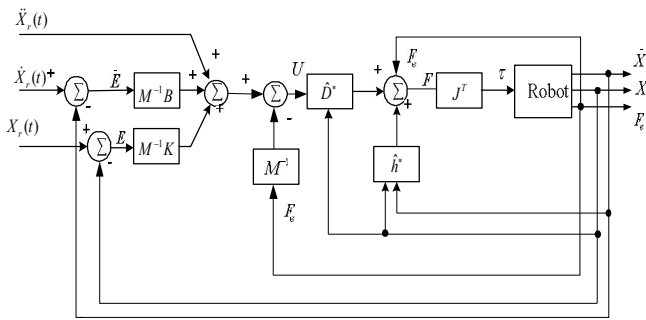
Trong trường hợp lý tưởng phương trình (10) trở thành tuyến tính trong không gian làm việc nếu  $\Delta D^* = 0, \Delta h^* = 0, F_f^* = 0$  để thì lực tác động lên môi trường cần xác định:

$$F_e = M\ddot{E} + B\dot{E} + KE \tag{12}$$

Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển theo mô hình mômen tính toán trong không gian làm việc, hình 1.

Để xác định được hệ thức sai lệch phương trình động lực học  $v = 0$  là điều rất khó khăn hoặc không xác định được trong phương pháp điều khiển lực dựa trên trở kháng 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, động lực 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 nơ-ron dựa theo mô hình này để tạo ra một mô hình mới với những đặc tính điều khiển vượt trội trong không gian làm việc. Từ phương pháp điều khiển lực dựa trên mô hình điều khiển khở kháng tích cực [3, 4, 5] đưa ra được cấu trúc của hệ thống điều khiển sử dụng mạng nơ-ron kiểu bù nhiễu dựa theo mô hình H.1 trong không gian làm việc.



Hình 1. Cấu trúc hệ thống điều khiển lực theo phương pháp điều khiển trở kháng tích cực

**2.2. Điều khiển lực dựa trên mô hình điều khiển trở kháng tích cực kết hợp mạng nơ-ron [3, 4, 5]**

Các ký hiệu trong phần 2.2 như sau:

Ký hiệu	Ý nghĩa
B, K	Ma trận đối xứng, xác định dương tùy chọn
$E = q_d - q$	Sai số vị trí của khớp
$\dot{E} = \dot{q}_d - \dot{q}$	Sai số vận tốc của khớp
$\eta$	Tốc độ học tập, chọn $\eta = 0,9$ thích hợp với kiểu bù nhiễu
$\alpha$	Hệ số động lượng
b	Ma trận ngưỡng
p	Vectơ đầu vào
a	Vectơ đầu ra
W	Ma trận trọng số
F	Hàm truyền
$n_H$	Ẩn số mạng nơ-ron lớp ẩn
$n_I$	Số đầu vào mạng nơ-ron
$\Phi$	Giá trị bù vào đầu ra của bộ điều
$\Phi_k$	Phần tử thuộc cột thứ k của ma trận $\Phi_k$
$\omega_{ij}^1$	Phần tử thuộc hàng i cột j của ma trận $\omega^1$
$\omega_{ik}^2$	Phần tử thuộc hàng i cột k của ma trận $\omega^2$
$X_i$	Phần tử thuộc cột thứ i của ma trận X

$b_j^1$	Phần tử thuộc cột thứ k của ma trận $\Phi_k$
$b_k^2$	Phần tử thuộc cột thứ k của ma trận $b^2$
$y_i$	Đầu ra của j nơ-ron ẩn
$y_k$	Đầu ra của k nơ-ron đầu ra
$\Delta\omega(t)$	Số gia của trọng lượng tại thời điểm t

Mạng nơ-ron được đưa vào để bù cho những tham số động học, động lực học của hệ thống tay robot xác định chưa chính xác. Phương trình mômen điều khiển được xác định như sau:

$$F_{dk} = \hat{D}^*(U + \Phi) + \hat{h}^* + F_e \tag{13}$$

Tín hiệu điều khiển U được xác định như (8). Từ (13) và (6), xác định được phương trình động lực học kín của tay robot như sau:

$$\ddot{E} + M^{-1}[B\ddot{E} + KE - F_e] = \hat{D}^{*+1}[\Delta D^* \ddot{X} + \Delta h^* + F_f^*] - \Phi \tag{14}$$

Mục tiêu là đáp ứng sự hội tụ của sai lệch vị trí khâu tác động cuối về không:

$$E(t) \rightarrow 0 \text{ khi } t \rightarrow \infty$$

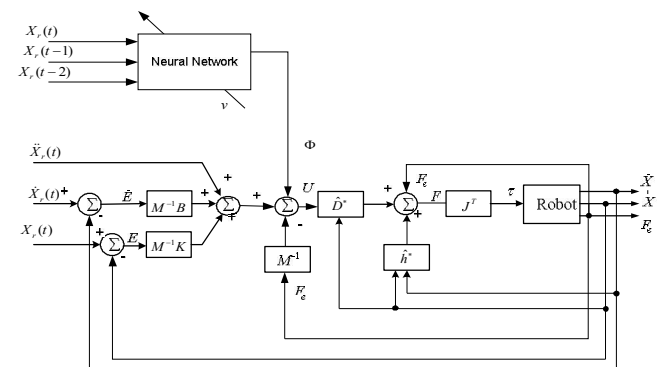
Để thỏa mãn mục tiêu trên, ngoài điều kiện thỏa mãn (12) thì phải đảm bảo giá trị lý tưởng của  $\Phi$  là:

$$\Phi = \hat{D}^{*+1}[\Delta D^* \ddot{X} + \Delta h^* + F_f^*] \tag{15}$$

Với giá trị  $\Phi$  (15) thì trong trường hợp lý tưởng phương trình (14) trở thành tuyến tính trong không gian làm việc, xác định được:

$$v = \ddot{E} + M^{-1}[B\ddot{E} + KE - F_e] = 0 \tag{16}$$

Từ hình 1, bài báo đã lựa chọn được cấu trúc của hệ thống điều khiển sử dụng mạng nơ-ron phản hồi kiểu bù nhiễu dựa theo mô hình như hình 2 [5, 6]:

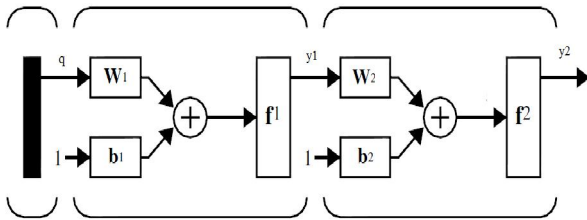


Hình 2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển trở kháng tích cực kết hợp mạng nơ-ron

Từ hình 2 cho thấy đầu vào là các tín hiệu vị trí, đầu ra là giá trị bù vào đầu ra của bộ điều khiển  $\Phi$ , tín hiệu sai lệch để huấn luyện mạng nơ-ron ở đây là v (16).

**2.3. Thiết kế mạng nơ-ron**

Bài báo lựa chọn cấu hình mạng nơ-ron truyền thẳng có hai lớp là lớp đầu vào và lớp đầu ra như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc mạng nơ-ron hai lớp được sử dụng

Trong đó:

$$W = \begin{bmatrix} \omega_{1,1} & \omega_{1,2} & \dots & \omega_{1,R} \\ \omega_{2,1} & \omega_{2,2} & \dots & \omega_{2,R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{S,1} & \omega_{S,2} & \dots & \omega_{S,R} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$$

Triển khai cụ thể cho Robot Almega 16 với 03 bậc tự do là mạng nơ-ron 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  $\omega_{ij}^1$  - 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 nơ-ron được chọn là hàm Sigmoidal [4]:

$$f^1(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{17}$$

Lớp thứ hai có ma trận trọng lượng là  $\omega_{ij}^2$  - ma trận có kích cỡ 6 x 3, ma trận ngưỡng  $b^2$  có kích cỡ 1 x 3, đầu ra là ma trận  $\Phi_k$  có kích cỡ 1 x 3. Vậy hàm lớp ra là hàm tuyến tính [4]:

$$f^2(x) = x \tag{18}$$

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

$$\Phi_k = \left[ \sum_{j=1}^{n_H} \omega_{jk}^2 \left( \frac{1}{1+e^{-\left(\sum_{i=1}^{n_H} X_i \omega_{ij}^1 + b_j^1\right)}} \right) \right] + b_k^2 \tag{19}$$

Nếu n là tổng đầu vào mạng nơ-ron thì tổng trọng lượng:  $\omega_T = (n_1 + 1)n_H + (n_H + 1)n$  (20)

Tổng  $n_i$  đầu vào mạng nơ-ron:  $n = n_1 - n_H$

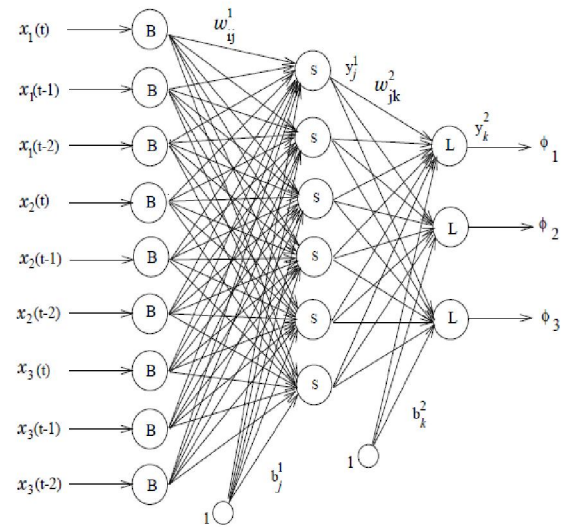
Trong mạng nơ-ron như đã chọn bởi:  $n_H = 6; n_1 = 9; n = 3$

Suy ra:  $\omega_T = 81$ .

Cấu hình mạng nơ-ron lựa chọn cụ thể như hình 4.

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 (16). 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) [3, 4, 5]:

$$J = \frac{1}{2} v^T v \tag{21}$$



Hình 4. Cấu trúc Neural Network

Thực hiện tính đạo hàm của J theo các trọng số của mạng xác định được [3, 4]:

$$\frac{\partial J}{\partial \omega} = \frac{\partial v^T}{\partial \omega} v = -\frac{\partial \Phi^T}{\partial \omega} v \tag{22}$$

Từ (22) thiết lập được mối quan hệ giữa đạo hàm của J theo các trọng lượng với đạo hàm của đầu ra  $\Phi_T$  với các trọng lượng. 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 [3, 4]:

$$\omega(t) = \omega(t-1) + \Delta\omega(t) \tag{23}$$

$$\Delta\omega(t) = \eta \frac{\partial \Phi^T}{\partial \omega} v + \alpha \Delta\omega(t-1) \tag{24}$$

Từ (24) 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:

$$\Delta\omega_{ij}^1(t) = \eta y_j (1 - y_j) X_i \left[ \sum_{k=1}^n v_k \omega_{jk}^2 \right] + \alpha \omega_{ij}^1(t-1) \tag{25}$$

$$\Delta\omega_{ij}^2(t) = \eta v_k y_j + \alpha \omega_{ij}^2(t-1) \tag{26}$$

$$\Delta b_{ij}^1(t) = \eta y_j (1 - y_j) X_i \left[ \sum_{k=1}^n v_k \omega_{jk}^2 \right] + \alpha b_{ij}^1(t-1) \tag{27}$$

$$\Delta b_k^2(t) = \eta v_k + \alpha b_k^2(t-1) \tag{28}$$

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

$$y_j^1 = \frac{1}{1+e^{-\left(\sum_{i=1}^{n_H} X_i \omega_{ij}^1 + b_j^1\right)}} \tag{29}$$

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

$$y_k^2 = \sum_{j=1}^{n_H} y_j^1 \omega_{jk}^2 + b_k^2 \tag{30}$$

### 3. ỨNG DỤNG LUẬT ĐIỀU KHIỂN LỰC THEO PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRỞ KHÁNG TÍCH CỰC KẾT HỢP MẠNG NƠNN CHO HỆ CHUYỂN ĐỘNG ROBOT ALMEGA 16

Để áp dụng thuật toán điều khiển trở kháng tích cực kết hợp mạng nơron ta sử dụng phương trình động lực học của tay máy Almega 16 với 3 khớp (khớp 1, khớp 2, khớp 3) đã thiết lập ở [2]. Mô phỏng Robot Almega 16 với các thông số sau:

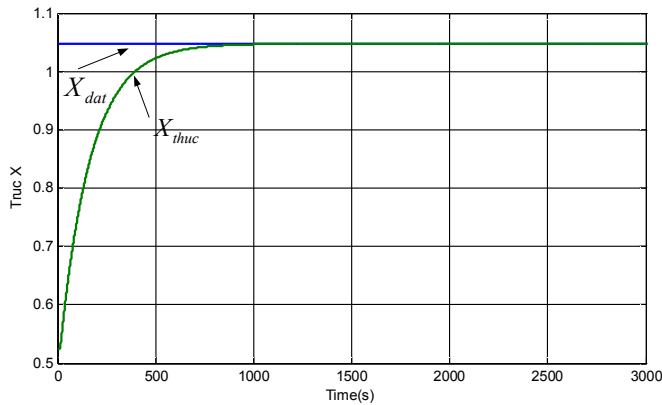
$$\hat{m}_1 = 67,005(\text{kg}), \hat{m}_2 = 52,005(\text{kg}), \hat{m}_3 = 16,005(\text{kg})$$

Tham số bộ điều khiển và các giá trị đặt xác định như bảng 1.

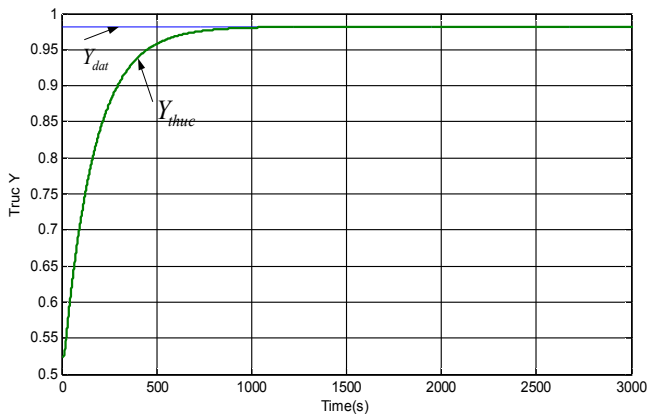
Bảng 1. Tham số của bộ điều khiển

Tên tham số	Ký hiệu	Giá trị
Hệ số tỷ lệ	B	60, 20, 20
Hệ số vi phân	K	100, 100, 100
Giá trị đặt vị trí trục X	$X_d$	$X_d = 1,05\text{m}$
Giá trị đặt vị trí trục Y	$Y_d$	$Y_d = 0,98\text{m}$
Giá trị đặt vị trí trục Z	$Z_d$	$Z_d = 0,5\text{m}$
Hệ số động lượng	$\alpha$	$\alpha = 0,9$
Tốc độ học tập	$\eta$	$\eta = 0,08$

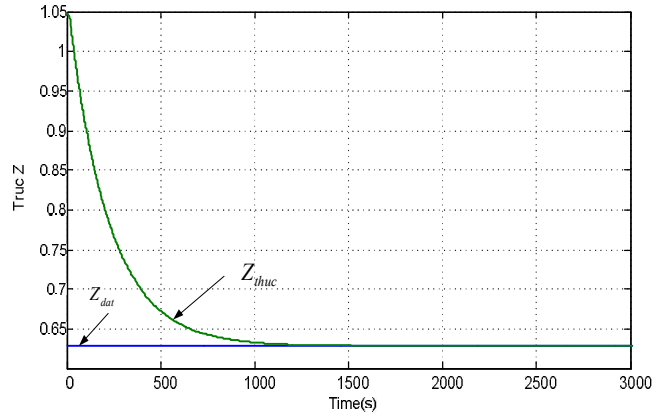
Các kết quả mô phỏng được biểu diễn từ hình 5 ÷ 9.



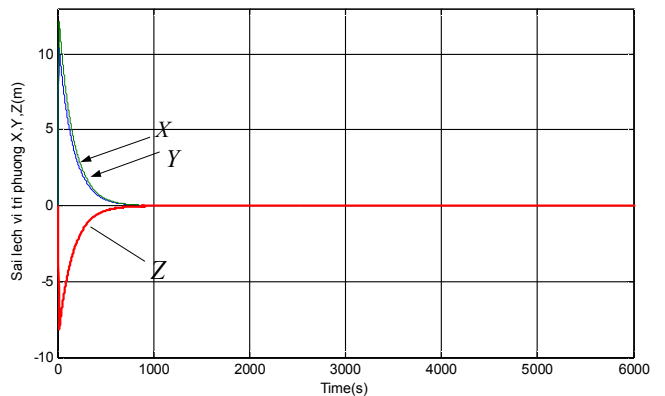
Hình 5. Biểu diễn đáp ứng giữa các vị trí trục X đặt và vị trí trục X thực



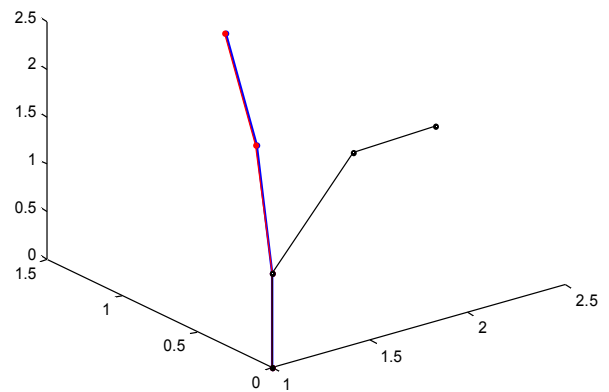
Hình 6. Biểu diễn đáp ứng giữa các vị trí trục Y đặt và vị trí trục Y thực



Hình 7. Biểu diễn đáp ứng giữa các vị trí trục Z đặt và vị trí trục Z thực



Hình 8. Biểu diễn đáp ứng các giá trị lực đặt và lực thực tác động vào vị trí X, Y, Z



Hình 9. Biểu diễn chuyển động từ vị trí đặt ( $q_d$ ) đến vị trí thực trong không gian 3 chiều

**Nhận xét:** Áp dụng luật điều khiển trên, điều khiển Robot Almega16 là dễ dàng. Robot có thể vận hành linh hoạt đồng thời khử được các thành phần sai lệch vị trí của khâu tác động cuối làm cho hệ chuyển động Robot Almega16 ổn định, chính xác với thời gian dao động hầu như không có đồng thời bộ điều khiển lực thiết kế đảm bảo tay robot sinh lực theo hướng trục giao với hướng chuyển động đảm bảo cho tay robot bám theo quỹ đạo mong muốn và sinh lực cần thiết.

#### 4. KẾT LUẬN

Qua lý thuyết và kết quả mô phỏng cho thấy, luật điều khiển lực theo phương pháp điều khiển trở kháng tích cực kết hợp mạng nơron cho hệ chuyển động Robot Almega16 đã khắc phục được hầu hết các nhược điểm của các bộ điều khiển truyền thống, có khả năng thích nghi cao, ổn định, 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]. Ha VTh, Khanh BQ, Anh NTP, (2012), *Xây dựng thuật toán điều khiển chuyển động Robot IRB 2400*, Tuyển tập các bài báo khoa học hội nghị khoa học lần thứ 20, pp 226.
- [2]. Ha VTh (2012), Một số giải pháp điều khiển nhằm nâng cao chất lượng chuyển động của tay máy công nghiệp, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Lai LK, Hien NN, (2007), *Hệ mờ và nơron*, NXB Khoa học & Kỹ thuật.
- [4]. Seul J., (1996), *Neural network controllers for robot manipulators*, University of California.
- [5]. Howard D, Mark B, Martin H., (2008), *Neural Network Toolbox™ 6*, The MathWorks, Inc.
- [6]. John J. C., (1995), *Introduction to robotics mechanics and control*. Silma, Inc
- [7]. Neil M, Frank LL., (2004), *Robot Manipulator Control Theory and Practice*, Marcel Dekker.
- [8]. Bin Y., (2002), *Nonlinear Adaptive Robust Control*, The invitation lecture in the Summer School for Mechatronics in Danang Vietnam.
- [9]. S.Jung, (1991), *On tracking performance of a Robot manipulator under force control*, Master thesis at University of Californis, Davis, June.
- [10]. J.M.Tao and J.Y.Luh, (1993) *Application of neural network with real-time training to robust position/force control of multiple robots*. Procs of the IEEE Internation Conference on Robotics and Automation, pp.142-148.