

CÁC LUẬT HỌC CỦA ANFIS VÀ ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI VỊ TRÍ ROBOT HAI KHÂU

LEARNING RULES OF ANFIS AND APPLICATION FOR POSITION ADAPTIVE CONTROLLING OF TWO-LINK ROBOT

Phạm Hữu Đức Dục, Phạm Minh Đạo, Phạm Văn Thịnh, Chu Bình Minh
Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

ANFIS (Mạng thích nghi dựa trên cơ sở hệ suy luận mờ) là một mạng nơron mờ đang được quan tâm nghiên cứu. Các luật học của ANFIS khi sử dụng các dạng hàm liên thuộc khác nhau được tổ hợp đóng gói trong các hàm tiện ích của phần mềm Matlab, do đó không tiện cho việc ứng dụng trong bài toán điều khiển. Bài báo đề xuất luật học để cập nhật các thông số điều chỉnh của ANFIS khi sử dụng hàm liên thuộc có dạng hình chuông cho các biến ngôn ngữ mờ ở đầu vào và các hệ số của các hàm tuyến tính ở đầu ra, sau đó để khẳng định cho tính đúng đắn của các luật điều chỉnh nói trên tiến hành ứng dụng ANFIS đóng vai trò là bộ điều chỉnh thông minh điều khiển thích nghi vị trí rôbot hai khâu. Kết quả mô phỏng trên Matlab khi sử dụng bộ điều chỉnh nói trên ứng dụng ANFIS sẽ cho thấy tính ưu việt và khả thi của giải pháp này.

ABSTRACT

ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) is Fuzzy-Neuron Network, has been studying in many countries. Learning rules of ANFIS when using other membership functions integrated in Matlab software, so are not suitable for applying in controlling. This paper proposes the learning rules updating adjusted parameters of ANFIS when using the bell-shaped membership functions of the fuzzy linguistics variables in the inputs and coefficients of the linear functions in the output, then to prove the correctness of these learning rules by applying ANFIS in intelligent controller for adaptive controlling of the position of two-link robot. Result of simulation by Matlab software when using ANFIS in controller will demonstrate advantage and feasible of this solution.

I. MỞ ĐẦU

ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) là một mạng nơron mờ được quan tâm nghiên cứu. Các luật học của nó khi sử dụng các dạng hàm liên thuộc khác nhau được tổ hợp đóng gói trong các hàm tiện ích của phần mềm Matlab, không tiện cho việc ứng dụng trong bài toán điều khiển. Vấn đề đặt ra là cần nghiên cứu đưa các luật học nói trên về dạng toán học tường minh. Bài báo này đề xuất các luật học cung cấp cho ANFIS khi sử dụng hàm liên thuộc dạng hình chuông ở lớp 2, để minh chứng cho tính đúng đắn của các luật nói trên tiến hành ứng dụng ANFIS đóng vai trò là bộ điều chỉnh thông minh điều khiển thích nghi vị trí rôbot hai khâu. Kết quả mô phỏng trên Matlab sẽ cho thấy tính ưu việt của giải pháp này.

II. LUẬT ĐIỀU CHỈNH CỦA ANFIS

2.1 Cấu trúc của ANFIS

ANFIS được Jang [1] đề xuất sử dụng luật học mờ TSK (Takasi -Sugeno- Kang). Luật học mờ thứ j của ANFIS là R^j có dạng:

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1^j \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^j \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n^j \text{ THEN } y = f_j = p_0^j + \sum_{i=1}^n p_i^j x_i \quad (1)$$

với: x_i , y tương ứng là các biến vào, ra; $A_i^j(x_i)$ là biến ngôn ngữ mờ ứng với biến đầu vào đầu vào x_i ; $p_i^j \in \mathbb{R}$ là hệ số của hàm tuyến tính f_j ; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, M$.

Cấu trúc ANFIS gồm 6 lớp như sau:

Lớp 1: Là lớp đầu vào có tín hiệu vào x_i .

Lớp 2: Mỗi phân tử là một hàm $\mu_{A_i^j}(x_i)$.

Lớp 3: Mỗi phần tử R^j tương ứng thực hiện

$$\text{một luật thứ } j: \mu_j = \prod_{i=1}^n \mu_i^j(x_i) \quad (2)$$

Lớp 4: Mỗi phần tử N tương ứng thực hiện

$$\text{phép tính: } \bar{\mu}_j = \mu_j / \sum_{j=1}^M \mu_j \quad (3)$$

Lớp 5: Mỗi phần tử thứ j thực hiện phép tính:

$$\bar{\mu}_j(p_0^j + \sum_{i=1}^n p_i^j x_i) \quad (4)$$

Lớp 6: Có một phần tử tính toán giá trị đầu ra:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^M \mu_j f_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j} = \frac{\sum_{j=1}^M \bar{\mu}_j f_j}{\sum_{j=1}^M \bar{\mu}_j} \quad (5)$$

Sai lệch trung bình bình phương giữa hàm đầu ra mong muốn y^m và hàm đầu ra y :

$$E = \frac{1}{2} \left[y^m - \frac{\sum_{j=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j}(x_i) \right) f_j}{\sum_{j=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j}(x_i) \right)} \right]^2 \quad (6)$$

2.2 Luật học của ANFIS

Vấn đề đặt ra là cần tìm các luật học cập nhật bộ các thông số điều chỉnh ở các lớp 2 và 5 cho ANFIS khi sử dụng hàm liên thuộc ở lớp 2 ở dạng hình chuông:

$$\mu_{A_i^j}(x_i) = \frac{1}{1 + \left[(x_i - c_i^j) / a_i^j \right]^2 b_i^j} \quad (7)$$

Luật cập nhật bộ thông số điều chỉnh trong quá trình học của ANFIS trường hợp sử dụng hàm liên thuộc có dạng hàm hình chuông được theo các biểu thức như sau:

$$a_i^j(t+1) = a_i^j(t) - \eta_a \frac{\partial E}{\partial a_i^j(x_i)} \quad (8)$$

$$b_i^j(t+1) = b_i^j(t) - \eta_b \frac{\partial E}{\partial b_i^j(x_i)} \quad (9)$$

$$c_i^j(t+1) = c_i^j(t) - \eta_c \frac{\partial E}{\partial c_i^j(x_i)} \quad (10)$$

$$p_i^j(t+1) = p_i^j(t) - \eta_p \frac{\partial E}{\partial p_i^j(x_i)} \quad (11)$$

với $\eta_a, \eta_b, \eta_c, \eta_p$ là các hệ số học.

[4] đã chứng minh được các thành phần đạo hàm riêng của sai lệch E đối với các thông số điều chỉnh có dạng sau đây. Do khuôn khổ bài báo có hạn do đó chỉ đưa ra kết quả của các đạo hàm riêng này.

$$\frac{\partial E}{\partial a_i^j(x_i)} = \frac{2 \cdot \mu_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j} (y - y^m)(f_j - y) \left(1 - \mu_{A_i^j}(x_i) \right) \frac{b_i^j(x_i)}{a_i^j(x_i)}$$

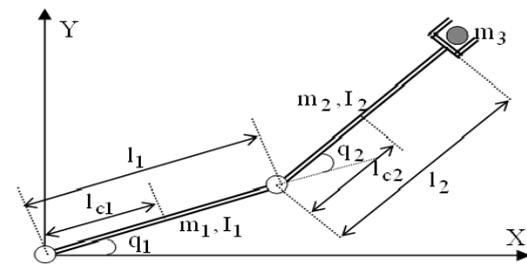
$$\frac{\partial E}{\partial b_i^j(x_i)} = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j} (y - y^m)(f_j - y) \left(1 - \mu_{A_i^j}(x_i) \right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c_i^j(x_i)} = \frac{2 \cdot \mu_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j} (y - y^m)(f_j - y) \left(1 - \mu_{A_i^j}(x_i) \right) \frac{b_i^j(x_i)}{x_i - c_i^j(x_i)}$$

$$\frac{\partial E}{\partial p_i^j(x_i)} = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j} (y - y^m) x_i$$

III. ỨNG DỤNG ANFIS TRONG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI VỊ TRÍ RÔBÔT HAI KHÂU

3.1 Động học rôbôt hai khâu



Hình 1. Mô hình động học rôbôt hai khâu

Hình 1 mô tả mô hình rôbôt hai khâu. Theo [3] phương trình động học vào-ra rôbôt hai khâu có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{H_{11}H_{22} - H_{12}H_{21}} \begin{bmatrix} H_{22}h_{q_2}(2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) + H_{12}h_{q_1}^2 - H_{22}g_1 + H_{12}g_2 \\ -H_{21}h_{q_2}(2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) - H_{11}h_{q_1}^2 + H_{21}g_1 - H_{11}g_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{22} & -H_{12} \\ -H_{21} & H_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

với: q_1, q_2 là vị trí của khâu thứ nhất và thứ hai; τ_1, τ_2 là mômen điều khiển khâu thứ nhất và thứ

hai; m_1, m_2 là khối lượng khâu thứ nhất và thứ hai; l_1, l_2 là độ dài của khâu thứ nhất và thứ hai; l_{c1}, l_{c2} là độ dài từ điểm nối khâu thứ nhất và khâu thứ hai đến trọng tâm của các khâu đó; I_1, I_2 là mômen quán tính khâu thứ nhất và thứ hai; m_3 là khối lượng phụ tải; g là gia tốc trọng trường;

$$H_{11} = I_1 + I_2 + m_1 l_{c1}^2 + m_2 [l_1^2 + l_{c2}^2 + 2.l_1 l_{c2} \cos(q_2)] + m_3 [l_1^2 + l_2^2 + 2.l_1 l_2 \cos(q_2)];$$

$$H_{22} = m_2 l_2^2 + m_3 l_2^2;$$

$$H_{12} = H_{21} = m_2 [l_2^2 + l_1 l_2 \cos(q_2)] + m_3 [l_2^2 + l_1 l_2 \cos(q_2)];$$

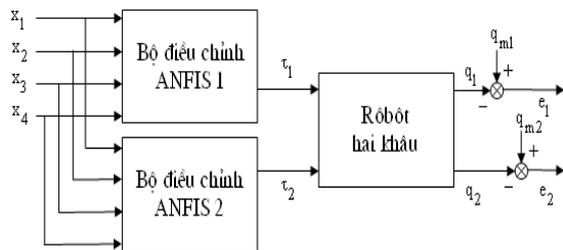
$$g_1 = m_1 l_{c1} g \cos(q_1) + m_2 g [l_{c2} \cos(q_1 + q_2) + l_1 \cos(q_1)];$$

$$g_2 = m_2 l_{c2} g \cos(q_1 + q_2);$$

$$h = m_2 l_1 l_{c2} \sin(q_2);$$

3.2 Ứng dụng ANFIS trong điều khiển thích nghi vị trí rôbốt hai khâu

Phần này trình bày ứng dụng của ANFIS điều khiển thích nghi vị trí rôbốt hai khâu. Từ các luật học của ANFIS khi sử dụng hàm liên thuộc có dạng hình chuông ở lớp 2 đã chứng minh được ở phần 2, dựa vào động học của rôbốt hai khâu, thực hiện ứng dụng ANFIS đóng vai trò là bộ điều khiển thích nghi vị trí rôbốt hai khâu. Sơ đồ ứng dụng ANFIS điều khiển thích nghi vị trí rôbốt hai khâu trình bày ở hình 2, trong đó sử dụng hai bộ điều chỉnh ứng dụng ANFIS là: ANFIS 1 và ANFIS 2. Vấn đề đặt ra là cần chọn số lượng nút ở mỗi lớp, số đầu vào của lớp 1, số lượng hàm liên thuộc của lớp 2, số lượng tín hiệu ra của lớp 6 để tìm được các mô men quay τ_1, τ_2 sao cho vị trí rôbốt q_1, q_2 bám theo được các vị trí mẫu tương ứng là q_{m1}, q_{m2} .



Hình 2. Sơ đồ ứng dụng ANFIS điều khiển thích nghi vị trí rôbốt hai khâu

Viết lại (12) ta được:

$$\ddot{q}_1 = f_1(q_1, \dot{q}_1, q_2, \dot{q}_2, m_3) + u_1(\tau_1, \tau_2, q_2, m_3) \quad (13)$$

$$\ddot{q}_2 = f_2(q_1, \dot{q}_1, q_2, \dot{q}_2, m_3) + u_2(\tau_1, \tau_2, q_2, m_3) \quad (14)$$

$$\text{với: } f_1(.) = \frac{H_{22} h \dot{q}_2 (2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) + H_{12} h \dot{q}_1^2 - H_{22} g_1 + H_{12} g_2}{H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}};$$

$$f_2(.) = \frac{-H_{21} h \dot{q}_2 (2\dot{q}_1 + \dot{q}_2) - H_{11} h \dot{q}_1^2 + H_{21} g_1 - H_{11} g_2}{H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}};$$

$$u_1(.) = \frac{\tau_1 H_{22} - \tau_2 H_{12}}{H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}}; u_2(.) = \frac{-H_{21} \tau_1 + H_{11} \tau_2}{H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}}.$$

Biến đổi (13) và (14) ra dạng rời rạc có:

$$q_1(k) = f_{1d}(q_1(k-1), q_1(k-2), q_2(k-1), q_2(k-2)) + u_{1d}(\tau_1(k), \tau_1(k-1), \tau_1(k-2), \tau_2(k), \tau_2(k-1), \tau_2(k-2)) \quad (15)$$

$$q_2(k) = f_{2d}(q_1(k-1), q_1(k-2), q_2(k-1), q_2(k-2)) + u_{2d}(\tau_1(k), \tau_1(k-1), \tau_1(k-2), \tau_2(k), \tau_2(k-1), \tau_2(k-2)) \quad (16)$$

với: $q_1(k), q_1(k-1), q_1(k-2), q_2(k), q_2(k-1), q_2(k-2)$ tương ứng là vị trí của các khâu thứ nhất, thứ hai tại thời điểm thứ $k, (k-1), (k-2)$;

$\tau_1(k), \tau_1(k-1), \tau_1(k-2), \tau_2(k), \tau_2(k-1), \tau_2(k-2)$ tương ứng là mômen quay của khâu thứ nhất, thứ hai tại các thời điểm thứ $k, (k-1), (k-2)$. Như vậy tín hiệu cần điều khiển $q_1(k), q_2(k)$ là những hàm nhiều biến phụ thuộc những giá trị lưu giữ ở các thời điểm của vị trí và mômen trước đó của cả hai khâu. Do đó chọn lớp vào của hai bộ điều chỉnh ANFIS 1 và ANFIS 2 có 4 nút tương ứng với 4 tín hiệu vào là $x_1; x_2; x_3; x_4$, với:

$$x_1 = e_1 = q_{m1} - q_1 \quad (17); \quad x_3 = e_2 = q_{m2} - q_2 \quad (18)$$

$$x_2 = e_1 \quad (19); \quad x_4 = e_2 \quad (20)$$

trong đó: q_{m1} và q_{m2} tương ứng là vị trí mẫu của khâu 1 và khâu 2 của rôbốt.

ANFIS 1 và ANFIS 2 đều có 1 nút ra ở lớp 6 để cung cấp tín hiệu điều khiển tương ứng là các mômen quay τ_1 và τ_2 cho hai khâu của rôbốt, thực hiện các luật sau đây:

Luật học R_s^j : IF x_1 is A_{1s}^j AND x_2 is

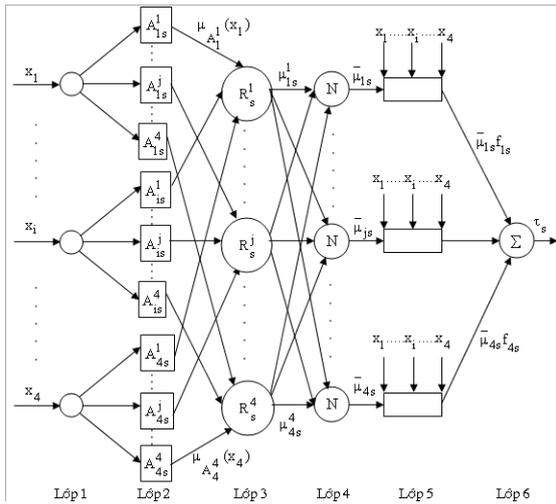
A_{2s}^j AND x_3 is A_{3s}^j AND x_4 is A_{4s}^j , THEN

$$f_{js} = p_{1s}^j x_1 + p_{2s}^j x_2 + p_{3s}^j x_3 + p_{4s}^j x_4.$$

với: $i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4; s = 1, 2.$

ANFIS 1, ANFIS 2 có cấu trúc gồm 6 lớp theo hình 3 dưới đây. Trong đó x_i là các biến đầu vào ($j=1, 2, 3, 4; s=1, 2$), τ_s là biến đầu ra, $A_{is}^j(x_i)$ là các biến ngôn ngữ mờ của biến đầu vào x_i , $\mu_{A_{is}^j}(x_i)$ là hàm liên thuộc có dạng hình chuông của mỗi biến ngôn ngữ mờ ở đầu vào, $p_{is}^j \in \mathbb{R}$ là các hệ số của hàm tuyến tính: $f_{js} = \sum_{i=1}^4 p_{is}^j x_i$. Xác định các thông số điều chỉnh của ANFIS 1, ANFIS 2 ở lớp 2 và 5, sao cho tín hiệu vị trí thực của rôbot q_1 và q_2 bám theo được các tín hiệu vị trí mẫu mong muốn tương ứng là q_{m1} và q_{m2} , tức là bảo đảm được sai lệch vị trí E_s là nhỏ nhất.

$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (q_{ms}(t) - q_s(t))^2 \quad (s=1, 2; t=1, \dots, T).$$



Hình 3. Sơ đồ ANFIS_s có 4 đầu vào và 1 đầu ra sử dụng trong ứng dụng điều khiển thích nghi vị trí rôbot hai khâu ($s = 1, 2$)

Mỗi bộ ANFIS có 4 đầu vào và 1 đầu ra biểu diễn trên hình 3. Trong đó:

Lớp 1: Có 4 nút tương ứng với mỗi một tín hiệu vào x_i ($i = 1, 2, 3, 4$).

Lớp 2: Mỗi phần tử là một hàm liên thuộc $\mu_{A_{is}^j}(x_i)$ có dạng hàm hình chuông.

Lớp 3: Mỗi phần tử R tương ứng thực hiện một luật thứ j: $\mu_{js} = \prod_{i=1}^4 \mu_{is}^j(x_i)$;

Lớp 4: Thực hiện tính toán: $\bar{\mu}_{js} = \frac{\mu_{js}}{\sum_{j=1}^4 \mu_{js}}$;

Lớp 5: Tính toán giá trị: $\bar{\mu}_{js} (\sum_{i=1}^4 p_{is}^j x_i)$.

Lớp 6: Thực hiện phép tổng tính giá trị đầu ra: $\tau_s = \sum_{j=1}^4 \bar{\mu}_{js} f_{js}$.

Luật học của mỗi bộ ANFIS như sau:

$$a_{is}^j(t+1) = a_{is}^j(t) - \eta_a \frac{\partial E_s}{\partial a_{is}^j(x_i)}$$

$$b_{is}^j(t+1) = b_{is}^j(t) - \eta_b \frac{\partial E_s}{\partial b_{is}^j(x_i)}$$

$$c_{is}^j(t+1) = c_{is}^j(t) - \eta_c \frac{\partial E_s}{\partial c_{is}^j(x_i)}$$

$$p_{is}^j(t+1) = p_{is}^j(t) - \eta_p \frac{\partial E_s}{\partial p_{is}^j(x_i)}$$

$\eta_a, \eta_b, \eta_c, \eta_p$ là các hệ số học. Trong đó:

$$\frac{\partial E_s}{\partial a_{is}^j(x_i)} = \frac{2 \cdot \mu_{js}}{\sum_{j=1}^M \mu_{js}} (q_s - q_{ms})(f_{js} - q_s) \mu_{A_{is}^j}(x_i) \left(\frac{1}{\mu_{A_{is}^j}(x_i)} - 1 \right) \frac{b_{is}^j(x_i)}{a_{is}^j(x_i)}$$

$$\frac{\partial E_s}{\partial b_{is}^j(x_i)} = \frac{2 \cdot \mu_{js}}{\sum_{j=1}^M \mu_{js}} (q_s - q_{ms})(f_{js} - q_s) \mu_{A_{is}^j}(x_i) \left(\frac{1}{\mu_{A_{is}^j}(x_i)} - 1 \right) \left(\ln |a_{is}^j(x_i)| - \ln |x_i - c_{is}^j(x_i)| \right)$$

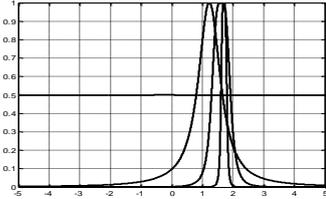
$$\frac{\partial E_s}{\partial c_{is}^j(x_i)} = \frac{2 \cdot \mu_{js}}{\sum_{j=1}^M \mu_{js}} (q_s - q_{ms})(f_{js} - q_s) \mu_{A_{is}^j}(x_i) \left(\frac{1}{\mu_{A_{is}^j}(x_i)} - 1 \right) \frac{b_{is}^j(x_i)}{x_i - c_{is}^j(x_i)}$$

$$\frac{\partial E_s}{\partial p_{is}^j(x_i)} = \frac{\mu_{js}}{\sum_{j=1}^M \mu_{js}} (q_s - q_{ms}) x_i$$

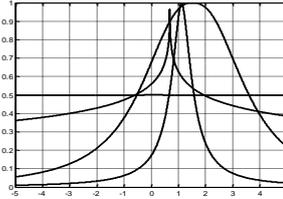
$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \left[q_{ms}(t) - \frac{\sum_{j=1}^4 \left(\prod_{i=1}^4 \mu_{A_{is}^j}(x_i) \right) f_{js}(t)}{\sum_{j=1}^4 \left(\prod_{i=1}^4 \mu_{A_{is}^j}(x_i) \right)} \right]^2$$

Thực hiện mô phỏng trên Matlab [4,5] theo phương pháp học trực tiếp. Cho giá trị của các thông số rôbot: $m_1=1\text{kg}$; $m_2=1\text{kg}$; $l_1=1\text{m}$; $l_2=1\text{m}$; $l_{c1}=0.5\text{m}$; $l_{c2}=0.5\text{m}$; $I_1=0.2\text{kgm}^2$; $I_2=0.2\text{kgm}^2$; phụ tải m_3 có dạng đồ thị hình 16. Kết quả mô phỏng được các đồ thị bộ các hàm liên thuộc ở lớp 2 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$ tương ứng với mỗi một đầu vào x_1, x_2, x_3, x_4 khi sử dụng các hàm liên thuộc dạng hình chuông ở lớp 2 của ANFIS 1 và ANFIS 2 được biểu

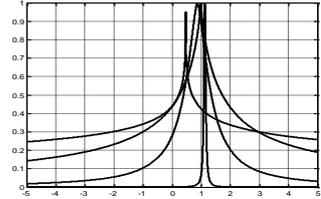
diễn từ hình 4 đến hình 11; Vị trí mẫu q_{m1}, q_{m2} (nét liền) và vị trí thực sau điều khiển q_1, q_2 (nét đứt) khâu thứ nhất, thứ hai của rôbot vẽ trên hình 12, 13, thấy rằng vị trí của rôbot hai khâu q_1 và q_2 đã bám theo được các vị trí mẫu tương ứng là q_{m1} và q_{m2} ; Mômen điều khiển τ_1, τ_2 là đầu ra của ANFIS 1, ANFIS 2 biểu diễn trên hình 14, 15. Kết quả hệ số hàm tuyến tính tại $t=900$ như sau:



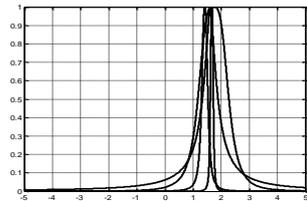
Hình 4. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ nhất ANFIS 1 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



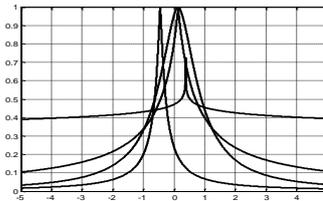
Hình 5. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ hai ANFIS 1 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



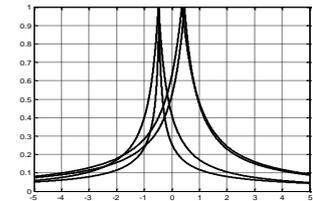
Hình 6. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ ba của ANFIS 1 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



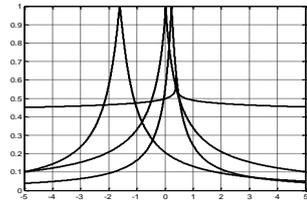
Hình 7. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ tư của ANFIS 1 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



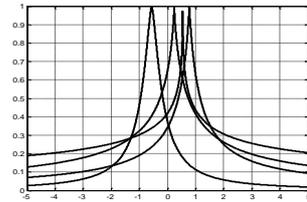
Hình 8. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ nhất ANFIS 2 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



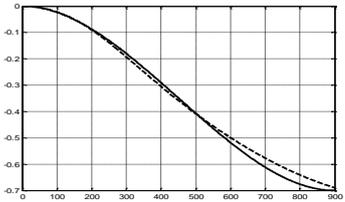
Hình 9. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ hai ANFIS 2 thời điểm lấy mẫu $t=900$.



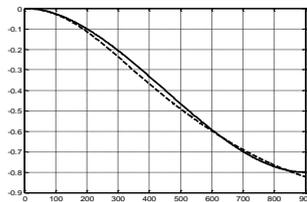
Hình 10. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ ba ANFIS 2 tại thời điểm lấy mẫu $t=900$.



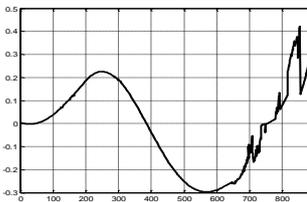
Hình 11. Các hàm liên thuộc đầu vào thứ tư ANFIS 2 thời điểm lấy mẫu $t=900$.



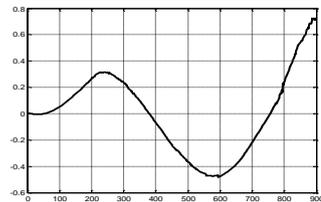
Hình 12. Đồ thị vị trí mẫu q_{m1} (nét liền) và vị trí thực sau điều khiển q_1 (nét đứt).



Hình 13. Đồ thị vị trí mẫu q_{m2} (nét liền) và vị trí thực sau điều khiển q_2 (nét đứt).



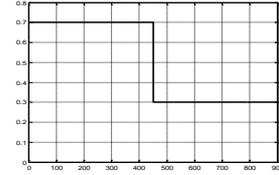
Hình 14. Đồ thị mômen điều khiển τ_1 là đầu ra của ANFIS 1.



Hình 15. Đồ thị mômen điều khiển τ_2 là đầu ra của ANFIS 2.

$p_{11}(900)=[0.3590 \ 0.4398 \ 0.43840.5633]$;
 $p_{12}(900)=[0.5450 \ 0.8097 \ 0.67920.1203]$;
 $p_{13}(900)=[0.6619 \ 0.4891 \ 0.25860.5408]$;
 $p_{14}(900)=[0.7575 \ 0.7605 \ 0.86040.2551]$.

$p_{21}(900)=[0.4002 \ 0.2352 \ 0.96500.9481]$;
 $p_{22}(900)=[1.0751 \ 0.5042 \ 0.28800.0681]$;
 $p_{23}(900)=[0.0846 \ 0.8041 \ 0.59860.2847]$;
 $p_{24}(900)=[0.0089 \ 0.3921 \ 0.60840.2956]$.



Hình 16. Đồ thị khối lượng phụ tải m_3 .

IV. KẾT LUẬN

Từ các kết quả mô phỏng trên đây có thể kết luận được rằng thuật toán sử dụng cho các luật điều chỉnh thông số ANFIS đề xuất ở phần 2 là tin cậy được vì trong ứng dụng ANFIS là bộ điều chỉnh vị trí rôbot hai khâu q_1 và q_2 đã

bám theo được các tín hiệu vị trí mẫu tương ứng là q_{m1} và q_{m2} . Như vậy giải pháp đề xuất ứng dụng ANFIS trong bộ điều chỉnh thích nghi vị trí rôbot hai khâu là đúng đắn. Cũng có thể ứng dụng ANFIS trong các bài toán nhận dạng và điều khiển các đối tượng phi tuyến khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Jang J.S.R.*; ANFIS: Adaptive-Neuro-Fuzzy inference systems; IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 665-685, Vol. 23, No. 3, May/June, (1993).
2. *Somlo J., Lantos B., Pham Thuong Cat*; Advance Robot Control; Budapest, 1997.
3. *Phạm Hữu Đức Dục, ...*; Nghiên cứu ứng dụng mạng nơron mờ trong điều khiển thích nghi rôbot hai khâu; TT báo cáo KH Hội nghị TQ về TĐH (VICA 6), 2005, 107-112.
4. *Phạm Hữu Đức Dục, P.M. Đạo, P.V. Thịnh, C.B. Minh*; Nghiên cứu các luật điều chỉnh của ANFIS và ứng dụng điều khiển thích nghi vị trí rôbot hai khâu; Đề tài NCKH cấp Bộ, Bộ Công Thương, 2008.
5. <http://www.mathworks.com>; Matlab-The Language of Technical Computing; 1996.

Địa chỉ liên hệ: Phạm Hữu Đức Dục - Tel: 0913.238.632
 Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp