

MỘT PHƯƠNG PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG HỆ ĐIỀU KHIỂN TAY MÁY 3 THANH NỐI

Lại Khắc Lãi (Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên)

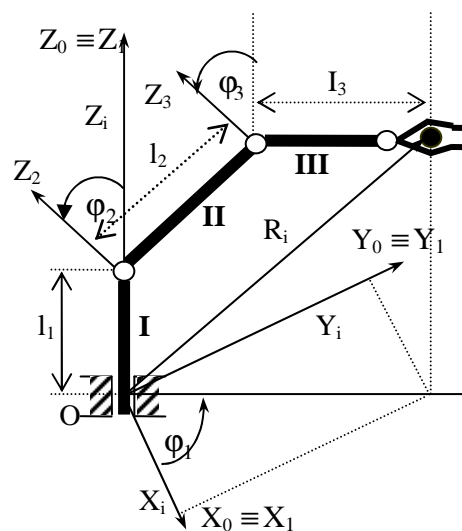
1. Mở đầu

Hệ điều khiển chuyển động nhiều trục được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như các máy cắt gọt kim loại CNC, máy cán thép hay các chuyển động của robot, ... Đặc điểm chung nhất của các hệ này là đồng thời có nhiều chuyển động và các chuyển động đó các tác động xuyên chéo nhau lẫn nhau. Muốn nâng cao chất lượng hệ chuyển động nhiều trục thì việc đầu tiên phải có biện pháp khắc phục những ảnh hưởng xuyên chéo đó. Các bộ điều khiển PID kinh điển không thể thực hiện được điều này mà cần phải có các bộ điều khiển thích nghi dựa trên cơ sở lý thuyết điều khiển hiện đại. Trong bài báo này, tác giả đề xuất một phương pháp dùng bộ điều khiển thích nghi mờ theo mô hình mẫu để điều khiển chuyển động các khớp của tay máy 3 thanh nối nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống. Các kết quả mô phỏng cho thấy tính ưu việt và tính khả thi của phương pháp.

2. Mô tả toán học hệ điều khiển tay máy 3 thanh [3]:

Xét tay máy có sơ đồ động học như hình 1. Hệ có 3 thanh nối: Thanh I quay quanh trục $Z_0 \equiv Z_1$ (coi là khối trụ tròn có bán kính R , khối lượng m_1); thanh II có chiều dài l_2 , khối lượng m_2 , tham gia hai chuyển động: Chuyển động quay theo quanh trục Z_2 và chuyển động quay tương đối quanh trục Z_1 ; thanh III có chiều dài l_3 , khối lượng m_3 , tham gia các chuyển động: Chuyển động quay theo quanh trục Z_3 và hợp chuyển động tương đối hay còn gọi là chuyển động song phẳng tương đối quanh trục Z_2 và Z_1 .

Chọn hệ tọa độ góc để biểu diễn hệ ĐKCD nhiều trục như trên hình 1. Hệ tọa độ $X_0Y_0Z_0$ được gắn cố định với nền móng, hệ tọa độ $X_1Y_1Z_1$ được gắn với tâm của chuyển động quay khớp I (φ_1) với trục quay là Z_1 trùng với trục Z_0 , hệ tọa độ $X_2Y_2Z_2$ được gắn với chuyển động quay khớp II (φ_2) với trục quay là :trục Z_2 , hệ tọa độ $X_3Y_3Z_3$ được gắn với tâm của chuyển động quay khớp III (φ_3) với trục Z_3 .



Hình 1: Sơ đồ động học tay máy 3 thanh

Hệ phương trình Lagrange 2 mô tả các chuyển động là:

$$\begin{cases} M_{11}\ddot{\varphi}_1 + M_{12}\ddot{\varphi}_2 + M_{13}\ddot{\varphi}_3 + N_{111}\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_2 + N_{112}\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_3 + N_{113}\dot{\varphi}_2\dot{\varphi}_3 + H_{112}\dot{\varphi}_2^2 + H_{113}\dot{\varphi}_3^2 = Q_1 \\ M_{21}\ddot{\varphi}_1 + M_{22}\ddot{\varphi}_2 + M_{23}\ddot{\varphi}_3 + N_{212}\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_3 + N_{213}\dot{\varphi}_2\dot{\varphi}_3 + H_{211}\dot{\varphi}_1^2 + H_{212}\dot{\varphi}_2^2 + H_{313}\dot{\varphi}_3^2 + G_2 = Q_2 \\ M_{31}\ddot{\varphi}_1 + M_{32}\ddot{\varphi}_2 + M_{33}\ddot{\varphi}_3 + N_{312}\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_3 + H_{311}\dot{\varphi}_1^2 + H_{312}\dot{\varphi}_2^2 + H_{313}\dot{\varphi}_3^2 + G_3 = Q_3 \end{cases}$$

Trong đó : $M_{11} = A + \left(\frac{1}{3}B + E\right) \cos^2 \varphi_2 + \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - D \cos \varphi_2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)$

$M_{12} = \left(\frac{1}{3}B + E\right) \cos^2 \varphi_2 + \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - D \cos \varphi_2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)$

$$\begin{aligned}
 M_{13} &= \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D\left(\frac{1}{4} \cos(\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{3}{4} \cos(\varphi_3 - \varphi_2)\right) + E \cos \varphi_2 \\
 M_{21} &= \left(\frac{1}{3}B + E\right) \cos^2 \varphi_2 + \frac{1}{2}C \cos^2(\varphi_3 - \varphi_2) - D \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2 \\
 M_{22} &= \left(\frac{1}{3}B + E\right) \cos^2 \varphi_2 + \frac{1}{2}C \cos^2(\varphi_3 - \varphi_2) - D \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2 \\
 M_{23} &= \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D\left[\frac{3}{4} \cos(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{1}{4} \cos(\varphi_2 + \varphi_3) + 2E \cos \varphi_2\right] \\
 M_{31} &= \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D\left[\frac{3}{4} \cos(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{1}{4} \cos(\varphi_2 + \varphi_3) + E \cos \varphi_2\right] \\
 M_{32} &= \frac{1}{2}C \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D\left[\frac{3}{4} \cos(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{1}{4} \cos(\varphi_2 + \varphi_3) + E \cos \varphi_2\right] \\
 M_{33} &= \frac{1}{2}C \cos^2 \varphi_3 - D \cos \varphi_3 + E \\
 N_{111} &= -\left(\frac{1}{3}B + E\right) \sin 2\varphi_2 + \frac{1}{2}C \sin(\varphi_3 - \varphi_2) - D \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \\
 N_{112} &= \left[\frac{1}{2}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) + D \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2\right] \\
 N_{113} &= \frac{1}{2}C \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - \frac{1}{2}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) + D\left[\frac{1}{4} \sin(\varphi_2 + \varphi_3) - \frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2\right] - 2E \sin \varphi_2 \\
 H_{112} &= \frac{1}{2}C \sin(2\varphi_3 - \varphi_2) + D\left[\frac{1}{4} \sin(\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2)\right] \\
 H_{113} &= \frac{1}{2}C \sin(2\varphi_3 - \varphi_2) + D\left[\frac{1}{4} \sin(\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2)\right] \\
 N_{212} &= -\frac{1}{2}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{1}{2}C \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 + D[\sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2 \\
 &\quad - \frac{1}{4} \sin(\varphi_3 + \varphi_2) + \frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2)] + E \sin \varphi_2 \\
 N_{213} &= -\frac{1}{2}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) + D[\sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2] \\
 H_{211} &= \left(\frac{1}{6}B + \frac{1}{2}E\right) \sin 2\varphi_2 - \frac{1}{4}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{1}{2}D \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \\
 H_{212} &= -\left(\frac{1}{6}B + \frac{1}{2}E\right) \sin 2\varphi_2 + \frac{1}{4}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{1}{2}D \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \\
 H_{213} &= -\frac{1}{2}C \sin(2\varphi_3 - \varphi_2) + D\left[\frac{1}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + \frac{3}{4} \sin(\varphi_3 + \varphi_2)\right] \\
 G_2 &= -(m_2 g d_2 + m_3 g l_2) \cos \varphi_2 + m_3 g d_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \\
 N_{312} &= +\left[\frac{1}{2}C \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D\left[\frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{1}{4} \sin(\varphi_2 + \varphi_3) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2\right] - E \cos \varphi_2 + \frac{1}{2}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2)\right]
 \end{aligned}$$

$$H_{311} = \frac{1}{4}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{1}{4}D \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2$$

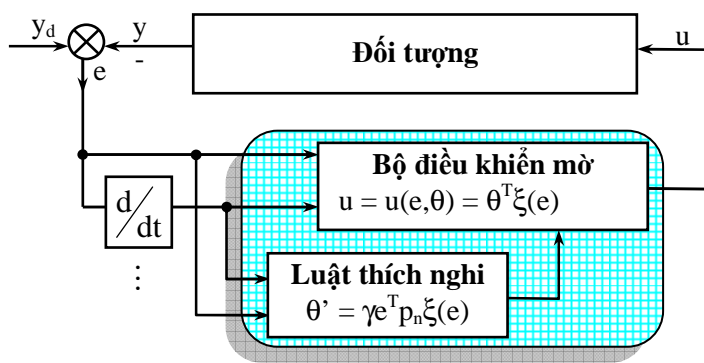
$$H_{312} = \frac{1}{2}C \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_3 - D \left[\frac{3}{4} \sin(\varphi_3 - \varphi_2) - \frac{1}{4} \sin(\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{1}{2} \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cos \varphi_2 \right] - E \cos \varphi_2 + \frac{1}{4}C \sin 2(\varphi_3 - \varphi_2)$$

$$H_{313} = C_3 \sin 2\varphi_3 - D \sin \varphi_3; G_3 = m_3 g d_3 \cos \varphi_3$$

3. Cấu trúc điều khiển mờ thích nghi:[2]

Để điều khiển các chuyển động của tay máy ta dùng các bộ điều khiển mờ thích nghi có cấu trúc như hình 2.

Bộ điều khiển mờ thích nghi có thể có nhiều đầu vào gồm sai lệch và các đạo hàm của chúng, trong bài báo này ta chỉ thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi có 2 đầu vào e và e' . Bộ điều khiển mờ có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điều khiển u , sao cho quỹ đạo đầu ra của đối tượng (y) bám theo quỹ đạo cho trước (y_d), cho dù có sự thay đổi thông số và cấu trúc của đối tượng.



Hình 2: Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển mờ thích nghi

Mỗi đầu vào có 7 hàm liên thuộc rải đều trên miền $[\alpha_{\min}^j, \alpha_{\max}^j]$ với $j = 1, 2$ là số đầu vào:

$$\mu_{A_1^j}(e_j) = \mu(e_j; \delta_1^j, \alpha_1^j) = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\delta_1^j(e_j + \alpha_1^j)}}; \quad \mu_{A_p^j}(e_j) = \mu(e_j; \delta_p^j, \alpha_p^j) = e^{-\delta_p^j(e_j - \alpha_p^j)^2}$$

$$\text{Với } p = 2, 3 \dots, N_j - 1, \text{ còn } \mu_{A_{N_j}^j}(e_j) = \mu(e_j; \delta_{N_j}^j, \alpha_{N_j}^j) = \frac{1}{1 + e^{-\delta_{N_j}^j(e_j - \alpha_{N_j}^j)}}$$

Trong đó: $\alpha_{\min}^j = \alpha_1^j < \alpha_2^j < \dots < \alpha_{N-1}^j < \alpha_N^j = \alpha_{\max}^j$

- Bộ điều khiển mờ có $7 \times 7 = 49$ luật điều khiển với luật $Ru^{i_1 \dots i_n}$ là:

$$\text{if } e_1 = A_{i_1}^1 \text{ and } e_2 = A_{i_2}^2 \text{ and } \dots \text{ and } e_n = A_{i_n}^n \text{ then } u = B_{i_1 \dots i_n}$$

Trong đó $i_1 = 1, 2 \dots, N_1; \dots i_n = 1, 2, \dots, N_n$ là số hàm liên thuộc cho mỗi biến đầu vào; $B_{i_1 \dots i_n}$ là tập mờ đầu ra sẽ được xác định.

Sử dụng luật hợp thành PROD, mờ hoá theo đường singleton và giải mờ bằng phương pháp trung bình trọng tâm ta thu được bộ điều khiển mờ:

$$u = u(e, \theta) = \frac{\sum_{i_1=1}^{N_1} \dots \sum_{i_n=1}^{N_n} y_{i_1 \dots i_n} \left[\prod_{j=1}^n \mu_{A_{i_j}^j}(e_j) \right]}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \dots \sum_{i_n=1}^{N_n} \left[\prod_{j=1}^n \mu_{A_{i_j}^j}(e_j) \right]} \quad (1)$$

$$u = \theta^T \xi(e) \quad (2)$$

Trong đó: $\xi(e)$ là tập hợp hàm mờ cơ sở đã biết.

$$\xi(e) = \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_{i_j}^j}(e_j)}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \dots \sum_{i_n=1}^{N_n} \left[\prod_{j=1}^n \mu_{A_{i_j}^j}(e_j) \right]} \quad (3)$$

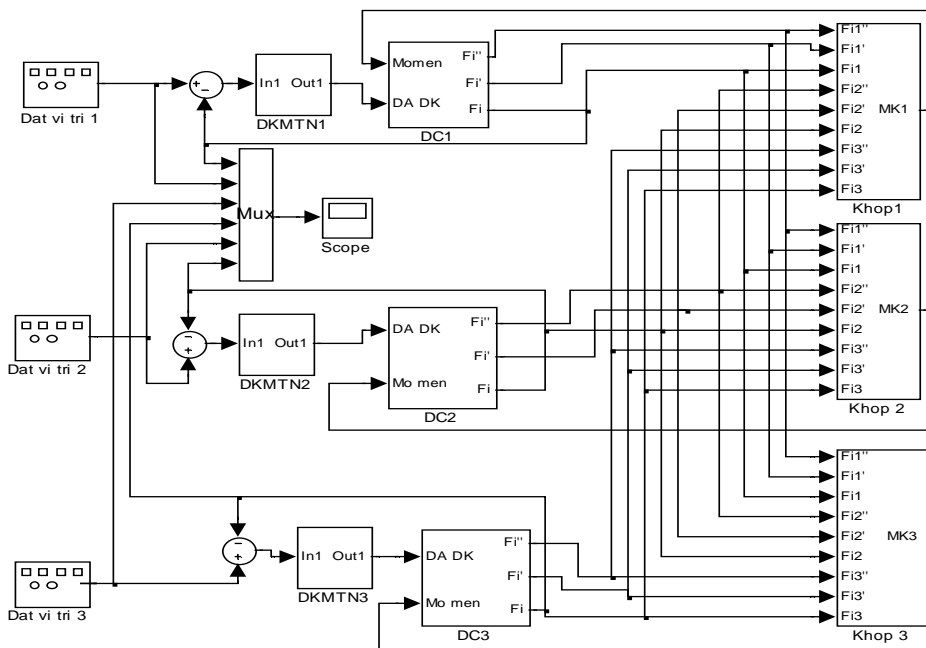
$y_{i_1 \dots i_n}$ là điểm trọng tâm của $B_{i_1 \dots i_n}$, chúng sẽ được chỉnh định theo luật thích nghi cho phù hợp với đối tượng.

θ là một véc tơ gồm tập hợp các $y_{i_1 \dots i_n}$ với $i_1 = 1 \dots N_1; \dots i_2 = 1 \dots N_2$

Các thông số θ được chỉnh định nhờ sử dụng luật thích nghi sau:

$$\dot{\theta} = \gamma e^T P_n \xi(e) \quad (4)$$

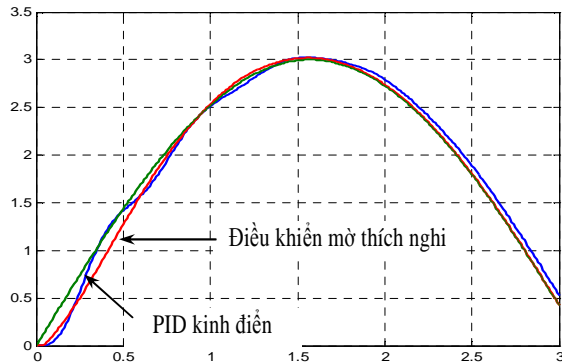
Trong đó γ là 1 hằng số dương xác định tốc độ của thuật toán còn p_n là cột cuối cùng của ma trận P , với P là nghiệm của phương trình Lyapunov.



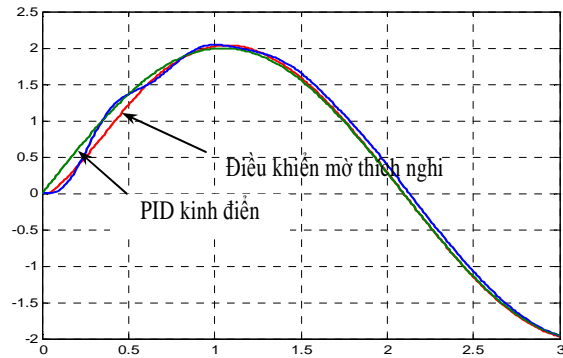
Hình 3: Sơ đồ mô phỏng hệ điều khiển tay máy 3 thanh nối trên MATLAB

Sau khi thiết kế được các bộ điều khiển mờ thích nghi, ta ghép chúng vào đối tượng điều khiển và tiến hành mô phỏng trên MATLAB với các thông số như sau:

$L_1 = 0,06m$; $m_1 = 20kg$; $d_1 = 0,3m$; $L_2 = 0,6m$; $m_2 = 12kg$; $d_2 = 0,2m$; $L_3 = 0,5m$; $m_3 = 12kg$; $d_3 = 0,2m$.

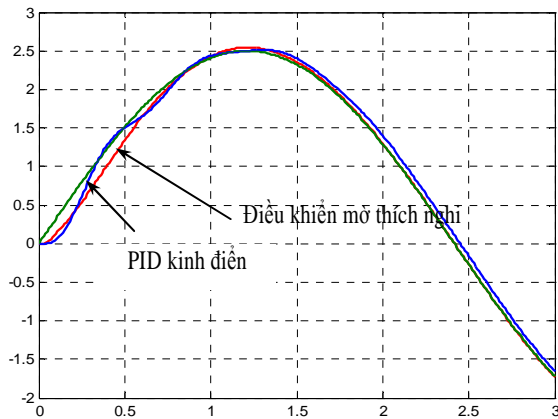


Hình 4: Quỹ đạo của khớp 1 khi dùng PID kinh điển và Điều khiển mờ thích nghi

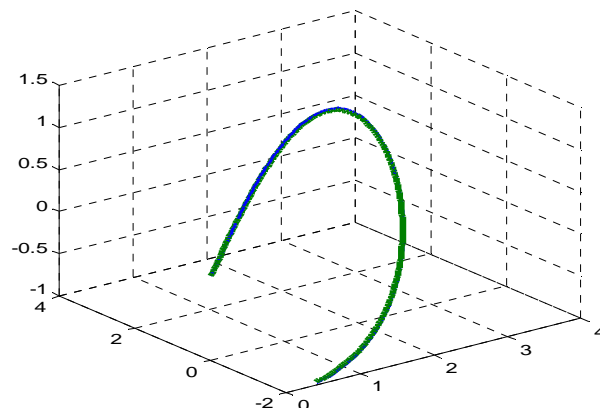


Hình 5: Quỹ đạo của khớp 2 khi dùng PID kinh điển và Điều khiển mờ thích nghi

Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình từ hình 4 đến hình 6. Trong đó hình 4 đến hình 6 là quỹ đạo của các chuyển động 1 khi dùng PID kinh điển và dùng bộ điều khiển mờ, hình 7 là quỹ đạo không gian của 3 chuyển động.



Hình 6: Quỹ đạo của khớp 3 khi dùng PID kinh điển và Điều khiển mờ thích nghi



Hình 7: Quỹ đạo không gian của 3 chuyển động

4. Kết luận

Từ các kết quả mô phỏng ta thấy rằng khi dùng bộ điều khiển mờ thích nghi, quỹ đạo của các chuyển động bám quỹ đạo đặt sát hơn so với khi dùng bộ điều khiển kinh điển. Bộ điều khiển có cấu trúc như trên có thể sử dụng để điều khiển các hệ nhiều chuyển động trong thực tế.

Tóm tắt

Nâng cao chất lượng hệ điều khiển nhiều trục là một vấn đề khó đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Bài báo đề xuất giải pháp dùng bộ điều khiển thích nghi mờ để điều khiển tay máy 3 thanh nối. Các kết quả mô phỏng cho thấy, chất lượng của hệ thống đã được nâng lên nhiều so với hệ thống điều khiển kinh điển.

Summary

Advance quality for control system of 3 joints is a difficult matter that a number of scientists concern. This article proposes a solution of using adaptive fuzzy controller for robot arm of 3 joints. The modelling results proves that the its quality is higher than the traditional one.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Xuân Minh, Nguyễn Tiên Hiếu (2005), “Điều khiển thích nghi tay máy trên cơ sở hệ mờ”, *Tuyển tập các báo cáo khoa học hội nghị tự động hóa toàn quốc lần thứ 6 năm 2005*, trang 370-375.
- [2] Lại Khắc Lãi (2003), “Một số phương pháp tổng hợp bộ điều khiển trên cơ sở logic mờ và thích nghi”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật.
- [3] Nguyễn Như Hiến (2003), “Nghiên cứu nâng cao chất lượng hệ chuyển động nhiều trục”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật.
- [4] H. Yamamoto & T. Furuhashi (1999), New fuzzy Inference method for system Using symbolic stability analysis of fuzzy control, The fourth Asian Fuzzy System Synposium, May 31 - June, Tsukuba, Japan, pp.450-455.