

ỨNG DỤNG MẠNG NƠ-RON TUYẾN TÍNH HÓA PHẢN HỒI ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI VỊ TRÍ BÀN TRƯỢT

ADAPTIVE CONTROL OF SLIDING TABLE POSITION USING FEEDBACK LINEARIZATION NEURAL NETWORKS

Võ Khánh Thoại

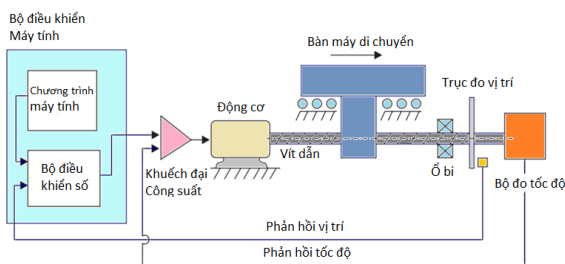
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng; vkthoai@gmail.com

Tóm tắt - Điều khiển vị trí bàn trượt trong các máy gia công cơ khí là vấn đề rất quan trọng, đặt biệt trong các máy CNC đòi hỏi vị trí bàn trượt cần phải có độ chính xác cao. Đa số trong các máy gia công cơ khí, bộ điều khiển tốc độ, vị trí ... đều sử dụng bộ điều khiển PID nên ít có khả năng thích nghi với nhiễu cũng như sự thay đổi tham số của mô hình. Bài báo này đề xuất một giải pháp ứng dụng bộ điều khiển NARMA-L2 (Nonlinear Autoregressive-Moving Average) là bộ điều khiển nơ-ron thích nghi. Ý tưởng của bộ điều khiển loại này là xấp xỉ gần đúng hệ thống động lực học phi tuyến thành hệ thống động lực học tuyến tính. Ban đầu là việc xây dựng mô hình hệ thống, sau đó dùng bộ điều khiển NARMA-L2 để nhận dạng hệ thống và tạo ra tín hiệu điều khiển cung cấp cho đối tượng. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng thích nghi với nhiễu và sự thay đổi của tham số mô hình trong quá trình vận hành của bộ NARMA-L2 tốt hơn bộ PID.

Từ khóa - PID; NARMA-L2; mạng nơ-ron; điều khiển thông minh; bàn trượt; động cơ DC.

1. Đặt vấn đề

Hệ truyền động gồm động cơ điều khiển vị trí bàn trượt với tín hiệu vào là điện áp và tín hiệu ra là quãng đường bàn trượt đi được có sơ đồ như Hình 1. Hệ thống gồm một động cơ DC chuyển động thông qua hệ thống truyền động điều khiển bàn máy di chuyển dọc theo trục đại ốc có vít dẫn, trên đó có gắn cảm biến đo vị trí bàn trượt. Tín hiệu này được phản hồi về bộ điều khiển. Tốc độ của động cơ được giám sát qua bộ đo tốc độ và hồi tiếp về mạch điều khiển khuếch đại công suất. Chương trình trên máy tính có nhiệm vụ làm việc và xuất tín hiệu đến mạch khuếch đại công suất (thông qua bộ điều khiển số) đưa đến điều khiển tốc độ động cơ cũng như điều khiển vị trí của bàn trượt phải luôn bám theo được tín hiệu đặt.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống động cơ chỉnh vị trí bàn trượt

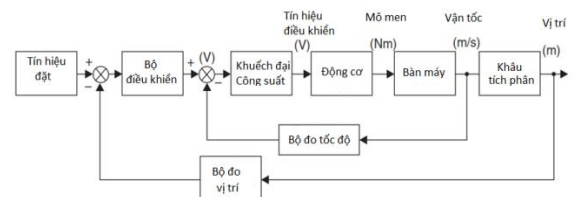
Sơ đồ cấu trúc hệ thống động cơ điều chỉnh vị trí bàn trượt thể hiện như trên Hình 2.

Để điều khiển ổn định tốc độ động cơ, vị trí bàn trượt trên các máy có sử dụng động cơ, bộ điều khiển kinh điển tỉ lệ - đạo hàm - tích phân PID luôn là sự lựa chọn vì cấu trúc đơn giản và dễ cài đặt [1], [2], song sẽ gặp khó khăn trong việc tinh chỉnh PID khi hệ thống có các thông số

Abstract - Control of sliding table position in mechanical work machines is very important, especially in CNC machines because it requires high accuracy. In most mechanical machines, speed or position controllers have used PID controllers, so they are less adaptable to the noise as well as the parameter changes of the model. This paper proposes a solution that uses a feedback linearization control and a nonlinear autoregressive-moving (NARMA-L2) adaptive neuron controller. The idea of this type of controller is to approximate the nonlinear dynamical system into a linear dynamical system. Initially, the system model is built, then the NARMA-L2 controller is used to identify the system and generate control signals for the object. The results of this study show that the ability to adapt to noise and the change in model parameters during operation of the NARMA-L2 is better than that of the PID controller.

Key words - PID; NARMA-L2; neural network; intelligent controller; sliding table; DC motor.

thay đổi, khi có nhiễu tác động hay tín hiệu đặt thay đổi khác nhau.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý điều khiển vị trí

Các phương pháp dùng bộ điều khiển mờ, nơ-ron trong điều khiển [3], [4] là những hướng nghiên cứu để cải thiện nhược điểm của bộ PID. Hệ thống điều khiển ứng dụng mạng nơ-ron tuyến tính hóa phản hồi (feedback linearization control) và bộ NARMA-L2 (Nonlinear Autoregressive Moving Average) được đề xuất để khắc phục những tính năng trên. Bộ NARMA-L2 là bộ điều khiển nơ-ron thích nghi, ý tưởng của bộ điều khiển loại này là xấp xỉ gần đúng hệ thống động lực học phi tuyến thành hệ thống động lực học tuyến tính. Ban đầu là việc xây dựng mô hình hệ thống, sau đó dùng bộ điều khiển NARMA-L2 để nhận dạng hệ thống và tạo ra tín hiệu điều khiển cung cấp cho đối tượng.

Nội dung bài báo gồm: giới thiệu về bộ điều khiển NARMA-L2, mô tả toán học cho đối tượng là động cơ điều khiển vị trí bàn trượt, thiết kế bộ điều khiển dùng PID và NARMA-L2 để điều khiển, cuối cùng là nhận xét và kết luận.

2. Bộ điều khiển tuyến tính hóa phản hồi

Bộ điều khiển NARMA-L2 được mô tả là dạng phản hồi tuyến tính khi mô hình đối tượng là phi tuyến. Ý tưởng của bộ điều khiển là chuyển đổi hệ thống động lực học

$$T_{cl} \approx 0,00167 \text{ (s)}, \text{ khi đó bộ chỉnh lưu } W_{cl} = \frac{10}{0,00167s + 1}$$

Tính chất của bộ biến dòng tương tự với bộ chỉnh lưu, ta có hàm truyền bộ biến dòng là:

$$W_{bd} = \frac{K_{bd}}{T_{bd}s + 1}, \text{ chọn } K_{bd} = I_{dm}/10 = 0,6; T_{bd} = 0,001 \text{ (s)} \quad (7)$$

$$\text{Bộ biến dòng: } W_{bd} = \frac{0,6}{0,001s + 1}$$

Hàm truyền của bộ đo tốc độ có dạng:

$$W_{ft} = \frac{K_{ft}}{T_{ft}s + 1} \text{ với } K_f = \omega_{dm}/10 = 2\pi n_{dm}/600 \approx 31,4 \quad (8)$$

Chọn $T_{ft} = 0,001 \text{ (s)}$;

Khi đó, bộ đo tốc độ:

$$W_{ft} = \frac{3,14}{0,001s + 1}$$

Hàm truyền của bộ đo vị trí có dạng:

$$W_{vt} = \frac{K_{vt}}{T_{vt}s + 1}, \text{ chọn } K_{vt} = 0,95; T_{vt} = 0,005 \text{ (s)} \quad (9)$$

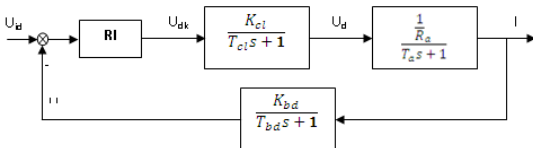
$$\text{Bộ đo vị trí: } W_{vt} = \frac{0,95}{0,005s + 1}$$

Nhiệm vụ của người thiết kế là tìm bộ điều khiển sao cho vị trí của bàn trượt bám theo tín hiệu đặt, khử nhiễu tốt.

4. Kết quả mô phỏng

4.1. Thiết kế bộ điều khiển vị trí bàn trượt dùng PID

Các bộ điều khiển vị trí đơn giản và thường dùng (hơn 90%) là bộ điều khiển tỉ lệ - đạo hàm - tích phân (PID). Vòng điều khiển cấp trong cùng là bộ điều khiển dòng điện, giả sử $e_a \approx 0$, ta có sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều khiển dòng điện như Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều khiển dòng điện

Từ sơ đồ ta có hàm truyền hệ hở (khi chưa có RI) là:

$$W_{hl}(s) = \frac{K_{cl}}{(T_{cl}s + 1)} \cdot \frac{1}{R_a} \cdot \frac{K_{bd}}{(T_{bd}s + 1)} \approx \frac{K_I}{(T_a s + 1)(T_{\Sigma} s + 1)} \quad (10)$$

Áp dụng các nguyên tắc các hằng số thời gian nhỏ,

$$(T_a \gg T_{cl} + T_{bd} = T_{\Sigma}).$$

Đây là một khâu quán tính bậc 2, áp dụng tiêu chuẩn tối ưu độ lớn, chọn bộ điều khiển PI có dạng:

$$W_{RI} \approx \frac{R_a T_a}{(2K_{cl} K_{bd} T_{\Sigma})(1 + \frac{1}{T_a s})} \quad (11)$$

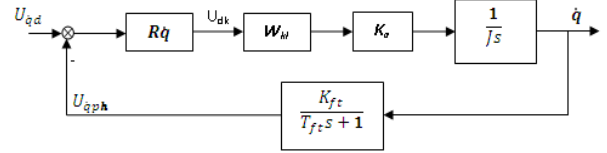
Thay số vào ta được:

$$W_{RI} \approx 0,1392(1 + \frac{1}{0,0027s})$$

Hàm truyền hệ kín có dạng:

$$W_{kl} \approx \frac{1,67(0,001s + 1)}{0,00534s(0,00267s + 1) + 1}$$

Vòng điều khiển tiếp theo Hình 8 là tốc độ:



Hình 8. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều khiển tốc độ

$$W_{hq}(s) = W_{kl} K_a \cdot \frac{1}{Js} \cdot \frac{K_{ft}}{(T_{ft}s + 1)}$$

$$W_{hq}(s) = \frac{K_a K_{ft} (T_{bd}s + 1)}{[Js(2T)]_{\Sigma} s (T_{cl}s + 1) (T_{bd}s + 1) + 1} \cdot \frac{K_{bd}}{(T_{ft}s + 1)} \quad (12)$$

với $T_{ft} = T_{bd} = 0,001 \text{ (s)}$ và bỏ qua các thành phần bậc cao,

$$W_{hq} \approx \frac{K_a K_{ft}}{[s(2T)]_{\Sigma} s + 1} \quad (13)$$

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng với đối tượng có hàm truyền dạng tích phân quán tính bậc nhất, chọn bộ điều khiển PI có dạng:

$$W_{Rq} \approx K_{pq} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{T_{Iq}s}} \right) \quad (14)$$

$$\text{trong đó, } T_{Iq} \approx 2aT_{\Sigma I}; K_{pq} \approx \frac{JK_{bd}}{2K_a K_{ft} T_{\Sigma I} \sqrt{a}} \quad (15)$$

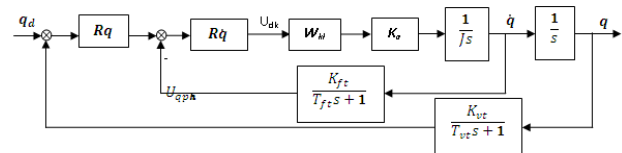
$$\text{khi đó: } W_{Rq} \approx \left(\frac{JK_{bd}}{2K_a K_{ft} T_{\Sigma I} \sqrt{a}} \right) \left(1 + \frac{1}{2aT_{\Sigma I}s} \right) \quad (16)$$

chọn $a = 9$ và thay số vào ta được:

$$T_{Iq} \approx 0,048; K_{pq} \approx 0,0039$$

$$\text{Nên: } W_{Rq} \approx 0,0039(1 + \frac{1}{0,048s})$$

Vòng điều khiển ngoài cùng Hình 9 là vị trí của bàn trượt:



Hình 9. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều khiển vị trí

Hàm truyền hệ hở (khi chưa có bộ điều khiển vị trí Rq):

$$W_{hq} = \frac{W_{Rq} \cdot W_{kl} \cdot K_a \cdot \frac{1}{Js}}{W_{Rq} \cdot W_{kl} \cdot K_a \cdot \frac{1}{Js} \cdot \frac{K_{ft}}{T_{ft}s + 1} + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{K_{vt}}{T_{vt}s + 1} \quad (17)$$

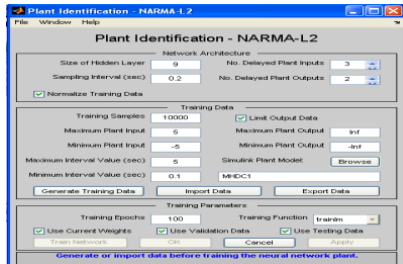
Thay số vào ta được:

$$W_{hq} = \frac{0,033(0,048s+1)}{s(0,005s+1)(0,00046s^2+0,04s+1)(0,000017s^2+0,006s+1)}$$

Bỏ qua các thành phần bậc cao, ta chọn bộ điều khiển PID. Sử dụng phương pháp của Ziegler-Nichols và tiến hành hiệu chỉnh ta có: $k_{pq} = 400$; $k_{iq} = 0.01$; $k_{dq} = 130$.

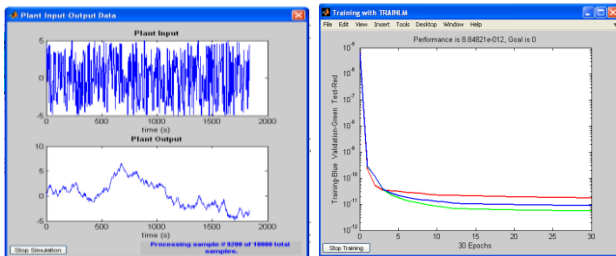
4.2. Thiết kế bộ điều khiển dùng NARMA-L2

Ở bước nhận dạng hệ thống, ta chọn các thông số điều khiển như bảng điều khiển ở Hình 10 để xác định đáp ứng của hệ thống, với mô hình sử dụng cho việc học và nhận dạng là đối tượng được lưu thành file MHDC1, với dữ liệu chọn huấn luyện là 10000, số lớp ẩn là 9.



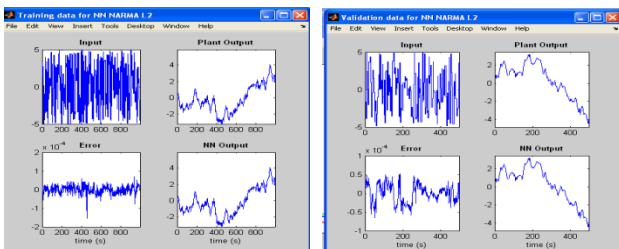
Hình 10. Bảng nhận dạng đối tượng

Tiến hành nhận dạng (Generate Training Data) ta thu được dữ liệu vào, ra và dữ liệu huấn luyện của quá trình như Hình 11.



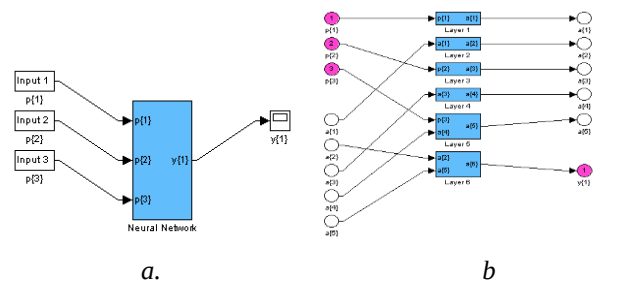
Hình 11. Dữ liệu vào, ra và huấn luyện của quá trình

Bước tiếp theo ta huấn luyện đối tượng (Train Network) với giá trị đã nhập vào hệ thống. Kết quả thu được sau khi huấn luyện như Hình 12.



Hình 12. Dữ liệu huấn luyện và xác nhận

Dữ liệu huấn luyện với các đầu vào đã nhập, sai số giữa đối tượng và mô hình mạng nơ-ron vào khoảng $1,5 \cdot 10^{-4}$. Dữ liệu xác nhận sai số $0,5 \cdot 10^{-4}$. Sau khi có thông số của bộ điều khiển, tiến hành xuất tín hiệu ra Simulink, ta có cấu trúc mạng như Hình 13a. Kết quả là tạo ra các khối trong Simulink với sáu lớp của mạng nơ-ron, được trình bày như Hình 13b.



Hình 13. Mạng nơ-ron và cấu trúc nhận dạng đối tượng

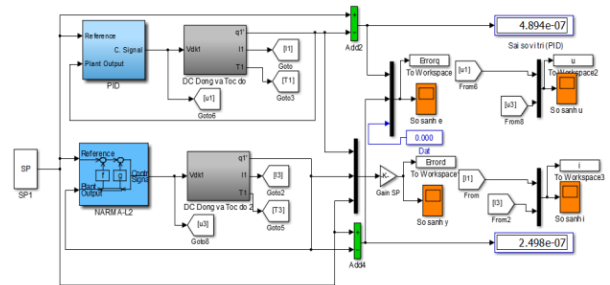
4.3. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng điều khiển vị trí bàn trượt dùng phương pháp PID và phương pháp mạng nơ-ron NARMA-L2 mà tác giả đã thực hiện trên Matlab – Simulink có mô hình như Hình 14.

4.3.1. Điều khiển ở điều kiện không nhiễu

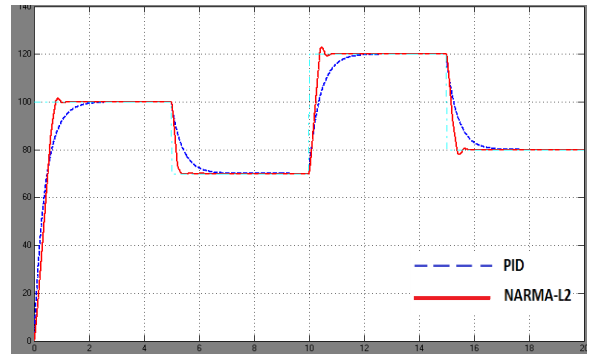
Sử dụng PID và NARMA-L2, ở điều kiện không nhiễu, thay đổi điểm đặt, ta được đồ thị Hình 15.

Từ các công thức ở Mục 3 và 4, ta nhận thấy rằng, khi sử dụng bộ PID phải có sự chỉnh định các tham số K_p , T_i , T_d . Tuy nhiên, việc chọn các tham số này phụ thuộc vào các giá trị tham số của hệ thống, điều này sẽ gây khó khăn cho quá trình điều khiển.



Hình 14. Mô hình điều khiển PID và NARMA-L2

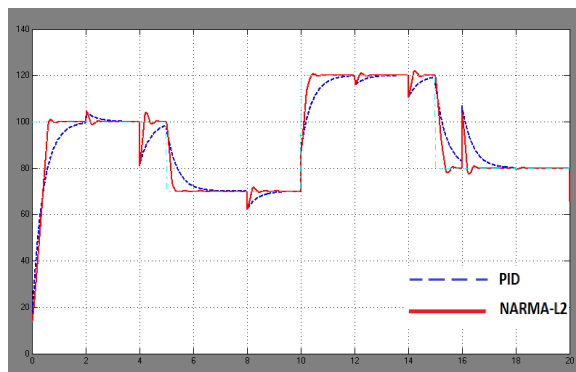
Sử dụng NARMA-L2 với dữ liệu đã được nhập trước và học trước đó giúp hệ thống có đáp ứng nhanh 1s, sai số xác lập nhỏ 2.10^{-7} , độ quá điều chỉnh chấp nhận được.



Hình 15. Đáp ứng hệ thống khi không nhiễu

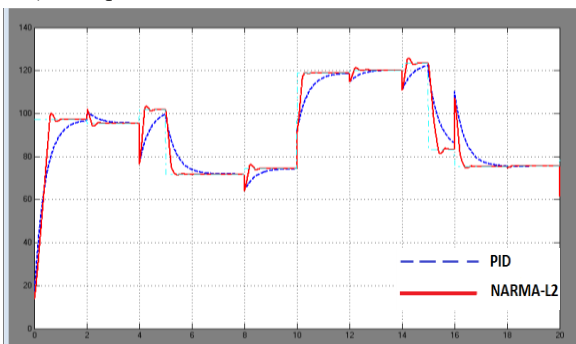
4.3.2. Điều khiển ở điều kiện có nhiễu

Trường hợp nhiễu đầu ra (nhiều vị trí) như Hình 16 thì bộ điều khiển PID tỏ ra không hiệu quả, đáp ứng chậm hơn, chất lượng bám của PID giảm xuống rõ rệt, bộ điều khiển NARMA-L2 cho đáp ứng nhanh, bám tín hiệu đặt tốt.



Hình 16. Đáp ứng khi nhiễu vị trí (đầu ra)

Xét trường hợp nhiễu đầu vào (nhiều đặt...), nhiễu đầu ra (nhiều vị trí), tham số của động cơ thay đổi (thay đổi giá trị R_a), kết quả được thể hiện trên Hình 17.



Hình 17. Đáp ứng khi nhiễu đầu vào, đầu ra, điện trở động cơ thay đổi

Khi có nhiễu đầu vào và ra, điện trở của động cơ thay đổi, thời gian đáp ứng của PID (2s) chậm hơn NARMA-L2 (0,5s), sai số PID cũng lớn hơn nhiều. Bộ NARMA-L2 bám tín hiệu đặt tốt hơn PID.

5. Kết luận

Từ thực tế khảo sát lý thuyết và ứng dụng mạng nơ-ron, mà cụ thể là bộ NARMA-L2 (Nonlinear Auto-regressive - Moving Average) vào đối tượng động cơ chỉnh vị trí bàn trượt và so sánh với điều khiển kinh điển PID, ta thấy rằng khả năng thích nghi của hệ thống được nâng lên rất nhiều: độ quá điều chỉnh khá ít, thời gian đáp ứng nhanh và sai số vị trí nhỏ, góp phần nâng cao chất lượng điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Karl Johan Åström, Tore Hägglund, *ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society*, 2006.
- [2] Ashwaq Abdulameer, Marizan Sulaiman, Mohd Shahrieel Mohd Aras, "Tuning Methods of PID Controller for DC Motor Speed Control", *Indonesia Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 3, No. 2, 2016, pp. 343-349.
- [3] Cheng-Jian Lin, Cheng-Hung Chen, Chi-Yung Lee, "A TSK-Type Quantum Neural Fuzzy Network for Temperature Control", *International Mathematical Forum*, Vol. 1, No. 18, 2006, pp. 853-866.
- [4] Nikos C.Tsourveloudis, Ramesh Kolluru, Kimon P. Valavanis and Denis Gracanin, *Suction Control of a Robotic Gripper: A Neuro Fuzzy Approach*, Robotics and Automation Laboratory, The Center for Advanced Computer Studies and A-CIM Center, University of Louisiana at Lafayette, Lafayette, LA, USA, 1999.
- [5] Martin T. Hagan¹, Howard B. Demuth² And Orlando De Jesús¹, *An introduction to the use of neural networks in control systems*, 1 School of Electrical & Computer Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, 74075, USA, 2 Electrical & Computer Engineering Department, University of Colorado, Boulder, Colorado, 80309, USA.
- [6] Phạm Hữu Đức Dục, *Mạng nơ-ron và ứng dụng trong điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2009.
- [7] M. Önder Efe, O. Hasan Dagci, Okay Kaynak, *Fuzzy Control of a 2-DOF Direct Drive Robot Arm by Using a Parameterized T-Norm*, Bogazici University, Mechatronics Research and Application Center, Bebek, 80815, Istanbul, Turkey.

(BBT nhận bài: 12/10/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 29/12/2017)