

ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN ANFIS DỰA TRÊN PID CHO ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN

Chu Đức Toàn

Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Như chúng ta đã biết, trong những năm gần đây thì các bộ điều khiển thông minh như điều khiển mờ, mạng nơron, mạng mờ - nơron đã và đang rất được quan tâm trong việc nhận dạng và điều khiển các đối tượng phi tuyến. Vì vậy, bài báo này đề cập vấn đề ứng dụng của bộ điều khiển Anfis dựa trên PID cho đối tượng có tính phi tuyến trong công nghiệp. Bài báo trình bày một vài kết quả nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển Anfis điều chỉnh nhiệt độ của lò phản ứng khuấy liên tục. Phương trình vi phân của lò phản ứng khuấy liên tục là một bài toán phi tuyến mạnh, việc áp dụng các kỹ thuật điều khiển thông thường trong trường hợp này gặp nhiều khó khăn. Các kết quả mô phỏng cho thấy tính ưu việt hơn của bộ điều khiển Anfis dựa trên PID so với bộ điều khiển khác, có được các đáp ứng tốt cho độ chính xác cao được chỉ ra.

Từ khóa: Bộ điều khiển Anfis; đối tượng phi tuyến; bộ điều khiển PID; mạng nơron; mờ - nơron.

Ngày nhận bài: 10/4/2020; Ngày hoàn thiện: 05/5/2020; Ngày đăng: 11/5/2020

APPLICATION OF ANFIS CONTROLLER BASED ON PID FOR NONLINEAR OBJECTS

Chu Duc Toan

Electric Power University

ABSTRACT

As we know in recent years, intelligent controllers such as Fuzzy, Neural Network, Fuzzy - Neural Network have been very interested in identifying and controlling nonlinear objects. Therefore, this paper addresses the application of PID-based Anfis controllers to industrial nonlinear objects. The paper presents some research results, designed Anfis controller to adjust the temperature of the continuous stirred reactor. The continuous stirred reactor is quite nonlinear, the nonlinearity is complicated to apply common control techniques in this case inefficient and difficult. The simulation results show the superiority of Anfis controller based on PID over other controllers, get good responses for the high accuracy indicated.

Keywords: Anfis controller; nonlinear object; PID controller; neural network; fuzzy - neuron.

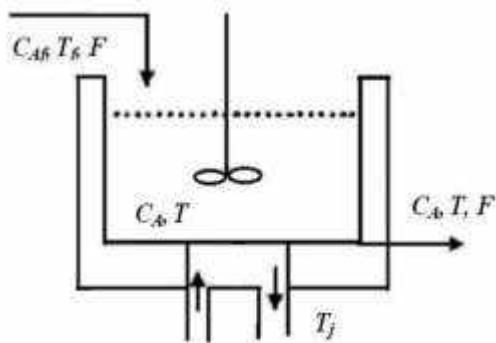
Received: 10/4/2020; Revised: 05/5/2020; Published: 11/5/2020

1. Mở đầu

Bài báo tác giả đề cập vấn đề ứng dụng của bộ điều khiển ANFIS dựa trên bộ điều khiển PID cho các đối tượng có tính phi tuyến. Trong bài báo này, tác giả áp dụng cho đối tượng là điều khiển nhiệt độ của lò phản ứng khuấy liên tục, phương trình vi phân có tính phi tuyến khá cao. Thông thường thì rất khó để nhận được một mô hình chính xác của các quá trình hóa học do sự phức tạp vốn có của chúng [1]. Mạng nơ ron có tính xấp xỉ và khả năng khái quát hóa được xem là lý tưởng trong việc điều khiển các quá trình hóa học. Do tính tổng quát hóa nên bộ điều khiển dựa trên mạng nơ ron có khả năng trả lời một cách thỏa đáng cho dữ liệu mà không được đào tạo [2]. Hơn nữa, các mạng nơ ron có thể ánh xạ động trạng thái đầu vào và đầu ra của hệ thống khi được huấn luyện đầy đủ và từ đó có khả năng xấp xỉ các hàm, mà trong đó các hàm này được ứng dụng trong các hệ thống nhận dạng. Bộ điều khiển NARMA-L2 dựa trên mạng nơ ron được thực hiện bằng cách sử dụng hai phương pháp huấn luyện cụ thể là: Thuật toán Levenberg-Marquardt và Thuật toán Gradient kết hợp tỷ lệ trong việc theo dõi điểm đặt của lò phản ứng khuấy liên tục. Kết quả cho thấy thuật toán Gradient kết hợp tỷ lệ ưu việt hơn thuật toán Levenberg-Marquardt [3].

2. Thiết kế bộ điều khiển

2.1. Mô hình toán học của lò phản ứng khuấy liên tục



Hình 1. Mô hình lò phản ứng khuấy liên tục

Hình 1 mô tả mô hình lò phản ứng khuấy liên tục [4], lấy biến điều khiển là nhiệt độ lò phản ứng trong khi chỉ một biến thay đổi được đó là nhiệt độ vỏ bao. Vỏ bao được giả định là

được trộn lẫn một cách hoàn toàn và ở một nhiệt độ thấp hơn so với nhiệt độ lò phản ứng và do đó loại bỏ được nhiệt sinh ra trong phản ứng tỏa nhiệt.

Để đưa ra đặc tính động học của hệ thống đã cho, khối lượng và cân bằng năng lượng của vỏ bao bọc và lò phản ứng được sử dụng và được mô tả bằng các phương trình vi phân sau đây:

$$V \frac{dC_A}{dt} = FC_{Af} - FC_A - Vr_A \quad (1)$$

Trong đó, V là thể tích chất lỏng của lò phản ứng liên tục, C_A là nồng độ của thành phần A trong lò phản ứng, F là lưu lượng dòng chảy và r_A là tốc độ phản ứng trên một đơn vị thể tích, r_A được biểu diễn như sau:

$$r_A = k_0 \left(-\frac{E_a}{RT} \right) C_A \quad (2)$$

Ở đây k_0 là hệ số tần số, E_a là năng lượng kích hoạt, R là hằng số khí lý tưởng và T là nhiệt độ lò phản ứng. Sự cân bằng năng lượng lò phản ứng bằng cách giả định thể tích không đổi, hằng số khả năng nhiệt (c_p) và hằng số mật độ (ρ), ta có:

$$V\rho c_p \frac{dT}{dt} = F\rho c_p (T_f - T) + (-\Delta H)Vr_A - UA(T - T_j) \quad (3)$$

Trong đó: $-\Delta H$ là nhiệt của phản ứng, U là hệ số truyền nhiệt, A là diện tích truyền nhiệt, T_f là nhiệt độ cung cấp và T_j là nhiệt độ vỏ bao bọc. Mô hình không gian trạng thái nhận được từ (1), (2), (3) là:

$$\frac{dC_A}{dt} = f_1(C_A, T) = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - k_0 \left(-\frac{E_a}{RT} \right) C_A \quad (4)$$

$$\frac{dT}{dt} = f_2(C_A, T) = \frac{F}{V} (T_f - T) + \frac{(-\Delta H)}{\rho c_p} k_0 \left(-\frac{E_a}{RT} \right) C_A - \frac{UA}{V\rho c_p} (T - T_j) \quad (5)$$

Nghiệm của phương trình trạng thái có được từ (4), (5) bằng cách thay thế các giá trị của các tham số có trong bảng 1, để nhận được C_{As} và T_s .

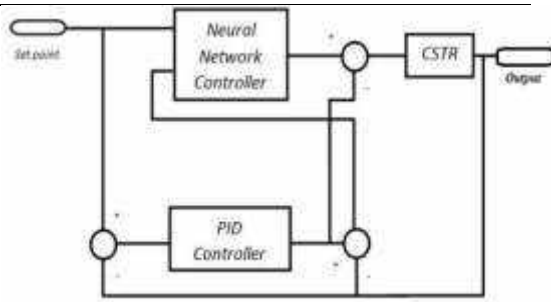
2.2. Thiết kế bộ điều khiển NARMA-L2 dựa trên PID

Mô hình điều khiển nhiệt độ của lò phản ứng khuấy liên tục được trình bày ở hình 2, trong đó bộ điều khiển NARMA-L2 sử dụng giá trị

đặt là tín hiệu đầu vào (Set point) và tín hiệu điều khiển phản hồi như tín hiệu sai lệch để học hỏi và thích nghi. Ưu điểm của cấu trúc này là bộ điều khiển mạng nơron có thể bắt đầu một cách trực tiếp với hệ thống đã ổn định và có thể nhận được đáp ứng nhanh hơn.

Bảng 1. Giá trị tham số của lò phản ứng khuấy liên tục

Tham số	Giá trị	Đơn vị
E_a	32,400	$B_{tw}/lbmol$
k_0	$16,96 \cdot 10^{12}$	hr^{-1}
U	75	$B_{tw}/hrft^2 \cdot ^\circ F$
ρc_p	53,25	$B_{tw}/ft^3 \cdot ^\circ F$
R	1,987	$B_{tw}/lbmol \cdot ^\circ F$
F	340	ft^3/hr
V	85	ft^3
C_{Af}	0,132	$Lbmol/ft^3$
T_f	60	$^\circ F$
A	88	ft^2
$-\Delta H$	39,000	$B_{tw}/lbmol$



Hình 2. Cấu trúc điều khiển của NARMA-L2 dựa trên PID

2.2.1. Thiết kế bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID (bộ điều khiển theo tỷ lệ - tích phân - vi phân) là một bộ điều khiển có hồi tiếp, đầu ra thay đổi tương ứng với sự thay đổi của giá trị đo. Sai lệch (e) giữa giá trị đặt và giá trị đo được sử dụng để tạo ra các hệ số: tỷ lệ, tích phân, vi phân (đạo hàm) mà có trọng số tổng hợp sau đó được sử dụng làm biến điều khiển (CV) cho lò phản ứng khuấy liên tục. Trọng lượng của các hệ số được quyết định theo các thông số độc lập P, I, D. Hàm truyền sử dụng cho bộ điều khiển PID ở trong bài báo này là [5]:

$$G_1(s) = \left[P + I \left(\frac{1}{s} \right) + D \left(\frac{N_s}{s + N} \right) \right] \quad (6)$$

Trong đó, hệ số lọc N đặt vị trí của các cực trong bộ lọc dẫn xuất. Bộ điều khiển PID được thiết kế trong môi trường Matlab Simulink và đạt được các thông số P, I và D, có được bằng phương pháp hiệu chỉnh Ziegler Nichols.

2.2.2. Thiết kế bộ điều khiển NARMA-L2

NARMA-L2 là một trong những bộ điều khiển thích nghi ứng dụng mạng nơron điển hình. NARMA-L2 là viết tắt của Non Linear Auto Regressive Moving Average model.

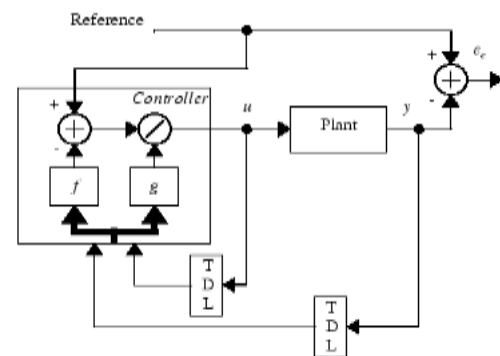
Một cấu trúc mô hình chuẩn được sử dụng để đại diện cho hệ thống phi tuyến rời rạc chung là mô hình NARMA [3], [5].

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] \quad (7)$$

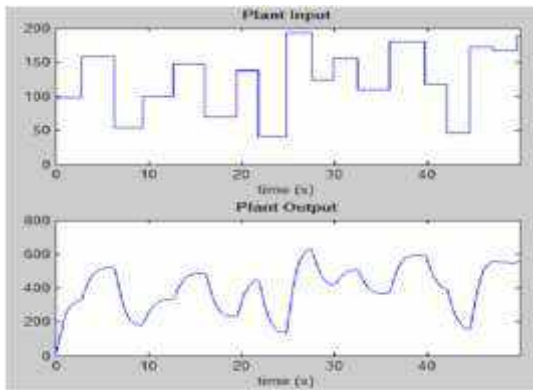
Trong đó, $u(k)$ và $y(k)$ là tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra tương ứng của hệ thống và N là một hàm phi tuyến. Trong suốt quá trình nhận dạng, mạng nơron được huấn luyện để xấp xỉ N và mô hình mạng nơron được tạo ra dự báo tương lai về đầu ra của đối tượng. Nếu muốn đầu ra hệ thống bám theo được quỹ đạo mẫu $y(k+d) = y_r(k+d)$, với $y_r(k+d)$ là tín hiệu mong muốn. Tín hiệu điều khiển thu được sẽ có dạng:

$$u(k+1) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1)]}{g[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1)]} \quad (8)$$

Cấu trúc bộ điều khiển NARMA-L2 được thực hiện hình 3. Năm nghìn dữ liệu về cặp nhiệt độ đầu vào và đầu ra được tạo ra từ mô hình lò phản ứng khuấy liên tục với thời gian trích mẫu là 0,01s để huấn luyện mạng nơron và được thể hiện trong hình 4.



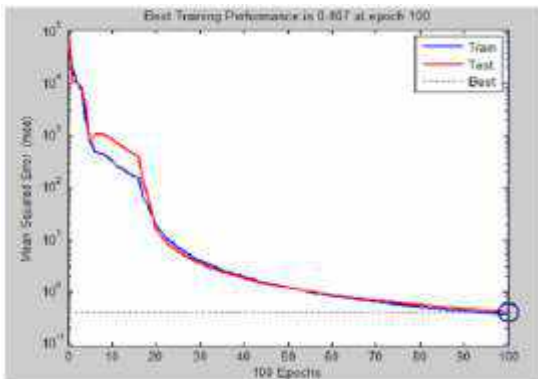
Hình 3. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển NARMA-L2



Hình 4. Đường vẽ dữ liệu huấn luyện cho bộ điều khiển NARMA-L2

Bộ điều khiển mạng nơron bao gồm 3 lớp ẩn, 2 tín hiệu đầu vào trễ và 3 tín hiệu đầu ra trễ được huấn luyện bằng thuật toán Levenberg-Marquardt có sử dụng hàm chức năng trainlm [6].

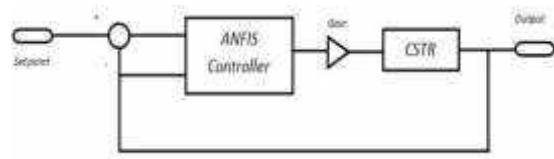
Levenberg-Marquardt là xấp xỉ hóa của phương pháp Newton và là thuật toán lan truyền ngược nhanh nhất ở trong hộp công cụ MATLAB NN. Quá trình huấn luyện sử dụng 100 vòng lặp; và sai số bình phương trung bình được sử dụng như là chất lượng mà giảm khi quá trình huấn luyện mạng tiến lên và được đưa ra ở trong hình 5.



Hình 5. Sai số trung bình của huấn luyện

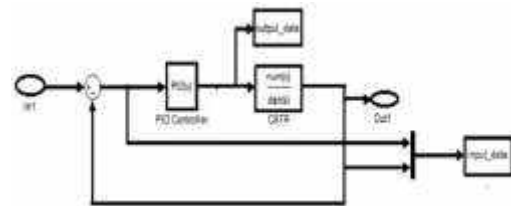
2.3. Thiết kế bộ điều khiển ANFIS dựa trên PID

ANFIS, được đề xuất bởi J.S.R. Jang [7], [8], là một khái niệm về mô phỏng kết nối của hệ thống mờ và mô hình suy luận T-S. Đối với hệ thống này ta sử dụng hai đầu vào và một đầu ra, mô hình T-S bậc nhất dùng để thiết kế cấu trúc điều khiển ANFIS được hiển thị như trong hình 6.



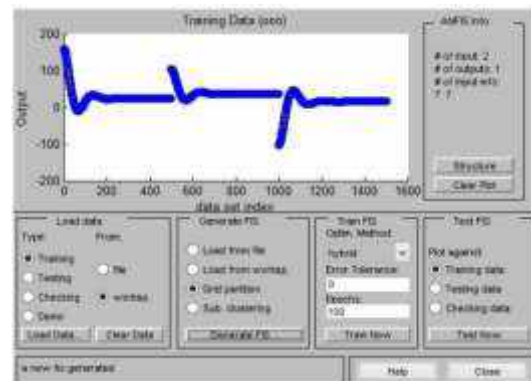
Hình 6. Cấu trúc điều khiển ANFIS

Hai đầu vào của bộ điều khiển ANFIS là: (1) nhiệt độ lò phản ứng được điều khiển PID là đầu vào sai lệch và (2) sai lệch đến bộ điều khiển PID là tốc độ thay đổi của sai lệch. Đầu tiên, ta cần thu được dữ liệu huấn luyện từ cấu trúc điều khiển PID được hiển thị trong hình 7.



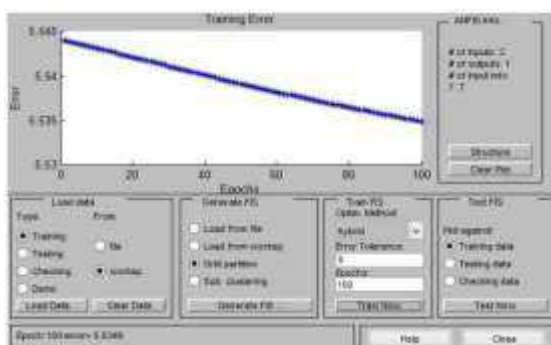
Hình 7. Cấu trúc điều khiển PID

Để thu thập 1,501 mẫu của cặp dữ liệu đầu vào và đầu ra, ta sử dụng ode3 solver với bước thực hiện là 0,01s và thời gian mô phỏng là 15 giây. Cuối cùng, dữ liệu được nạp vào trình soạn thảo anfis như thể hiện trong hình 8.

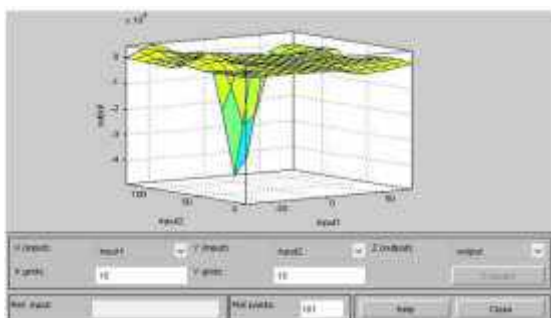


Hình 8. Đường vẽ dữ liệu huấn luyện trong trình soạn thảo anfis

Tập tin FIS sử dụng phân vùng lưới với bảy hàm thành viên Gaussian cho mỗi đầu vào và đầu ra tuyến tính được tạo ra. Cuối cùng, tập tin FIS được huấn luyện với tối ưu hóa lai, với dung sai lỗi bằng không và thực hiện hàng trăm lần lặp. Lỗi huấn luyện xuất hiện là 0,55349 như thể hiện trong hình 9. Quan sát bề mặt luật điều khiển của ANFIS được thể hiện trong hình 10.



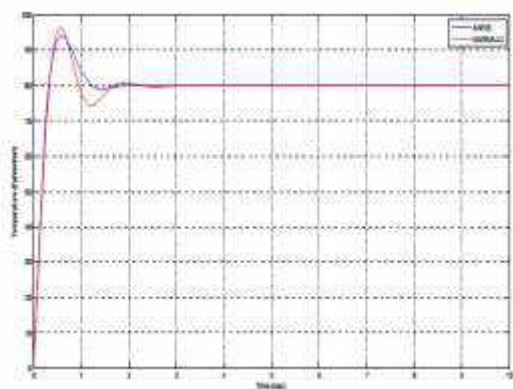
Hình 9. Đường vẽ lỗi huấn luyện và lỗi huấn luyện



Hình 10. Bề mặt điều khiển của luật ANFIS

3. Mô phỏng và kết quả

Để điều khiển nhiệt độ lò phản ứng khuấy liên tục, bộ điều khiển NARMA-L2 và ANFIS dựa trên PID được thực thi thành công ở trong môi trường Matlab Simulink. Kết quả mô phỏng cho giá đặt 80°F được thể hiện trong hình 11.



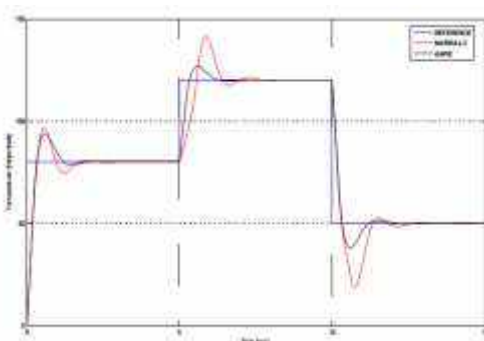
Hình 11. Đáp ứng thời gian của bộ điều khiển NARMA-L2 và bộ điều khiển ANFIS

Đặc điểm kỹ thuật ở trong miền thời gian cho việc điều chỉnh nhiệt độ của lò phản ứng khuấy liên tục với các bộ điều khiển đề xuất được đưa ra trong bảng 2.

Bảng 2. Tóm tắt các kết quả

Tham số	Bộ điều khiển ANFIS	Bộ điều khiển NARMA-L2
Thời gian quá độ (s)	1,9	2,2
Độ quá điều chỉnh (%)	17,5%	19,6%
Sai lệch tĩnh (ess)	0	0

Đáp ứng đầu ra của hai bộ điều khiển NARMA-L2 và bộ điều khiển ANFIS với giá trị đặt đầu vào thay đổi (Reference), được thể hiện trong hình 12.



Hình 12. Hiệu suất tham chiếu của bộ điều khiển NARMA-L2 và bộ điều khiển ANFIS

Qua các kết quả này, các tác giả đã chứng minh được sự vượt trội của giải pháp điều khiển đã đề xuất. Các chỉ tiêu chất lượng điều khiển do bộ điều khiển ANFIS mang lại tốt hơn so với các giải pháp điều khiển truyền thống và bộ điều khiển NARMA-L2.

4. Kết luận

Trong bài báo này, bộ điều khiển NARMA-L2 và bộ điều khiển ANFIS dựa trên PID đã được thực hiện thành công để điều khiển và điều chỉnh nhiệt độ trong một lò phản ứng khuấy liên tục. Kết quả mô phỏng cho thấy, bộ điều khiển ANFIS dựa trên PID đã được cải thiện tốt hơn khả năng tín hiệu đầu ra bám sát tín hiệu đầu vào so với bộ điều khiển NARMA - L2.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. T. Zhang, and M. Guay, "Adaptive Nonlinear Control of Continuously Stirred Tank Reactor Systems," Proceedings of the

- American Control Conference Arlington, VA June 25-27, 2001, pp. 1274-1279.
- [2]. M. T. Hagan, and H. B. Demuth, "Neural Networks for Control," Proceedings of the American Control Conference, 1999, pp. 1642-1656.
- [3]. C. Jeyachandran, and M. Rajaram, "Comparative Performance Analysis of Various Training Algorithms for Control of CSTR Process Using Narma-L2 Control," International Conference on Trendz in Information Sciences and Computing, 2011, pp. 5-10.
- [4]. B. W. Bequette, *Process Control-Modeling Design and Simulation*. Prentice Hall of India, 2003.
- [5]. Neural Network Toolbox, *MATLAB*, 2010.
- [6]. M. T.Hagan, and M. B. Menhaj, "Training feed forward networks with the Marquardt algorithm," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 5, no. 6, pp. 989-993, November 1994.
- [7]. J.-S. R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, May/June, 1993.
- [8]. J.-S. R. Jang, and C.-T. Sun, "Neuro Fuzzy Modelling and Control," *IEEE Proc.*, vol. 83, pp. 378-406, March 1995.