ĐIỀU KHIỂN LƯU LƯỢNG DÙNG MẠNG NƠ-RON MỜ HỒI QUY

FLOW CONTROL WITH THE USE OF RECURRENT FUZZY NEURAL NETWORK

NGUYỄN THỊ NGỌC HIỀN[1], PHẠM THANH TÙNG[1a], NGUYỄN CHÍ NGÔN[2]

[1]*Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long;*

[2]*Trường Đại học Cần Thơ;*

[a]*Tác giả liên hệ: tungpt@vlute.edu.vn*

Nhận bài(Received): 30/3/2023; Phản biện (Reviewed):05/4/2023; Chấp nhận (Accepted):13/5/2023

TÓM TẮT

Với cơ chế huấn luyện trực tuyến, mạng nơ-ron mờ hồi quy (recurrent fuzzy neural network - RFNN) đã được kiểm chứng thành công bằng mô phỏng. Nghiên cứu này tiến hành khảo nghiệm kỹ thuật điều khiển giám sát kết hợp giữa bộ điều khiển PI truyền thống và bộ điều khiển dùng RFNN (gọi tắt là RFNNC) trên hệ ổn định lưu lượng chất lỏng RT020 của hãng Gunt-Hamburg, Đức. Bộ điều khiển RFNNC có nhiệm vụ tinh chỉnh đáp ứng của đối tượng, nhằm khắc phục hạn chế về vấn đề cố định tham số của bộ điều khiển PI. Kết quả thực nghiệm trên hệ RT020 cho thấy trong quá trình điều khiển, khi bộ RFNNC hội tụ, đáp ứng lưu lượng của thiết bị RT020 có độ vọt lố không đáng kể so với bộ điều khiển PI mặc định. Ngoài ra, bộ điều khiển RFNNC đã góp phần làm giảm thời gian xác lập của đối tượng một cách đáng kể.

Từ khóa: điều khiển giám sát, điều khiển PID, điều khiển lưu lượng, mạng nơ-ron mờ hồi quy, nhận dạng hệ thống.

ABSTRACT

With an online training mechanism, the recurrent fuzzy neural network (RFNN) has been successfully verified by simulations. This study conducts experimental investigations with a supervisory control technique by combining a traditional PI controller and a RFNN-based controller (referred to as RFNNC) on the RT020 liquid flow control unit of the Gunt-Hamburg, Germany. The RFNNC is responsible for fine-tuning the system responses to overcome the limitation of the fixed parameters of the PI controller. Experimental results on the RT020 device show that, during the control process, when the RFNNC's parameter updating algorithm converged, the flow response of the RT020 device had a negligible overshoot. In addition, compared with the default PI controller, the RFNNC has contributed to the significant reduction in the system settling time.

Keywords: *flow control, PID control, recurrent fuzzy neural network, supervisory control, system identification.*

1. Giới thiệu

Hiện nay bộ điều khiển PID [1] đã được các hãng thiết bị tích hợp lên các mô-đun gọn nhẹ, dễ dàng lắp đặt và vận hành [2]. Tuy nhiên, do các đối tượng điều khiển thường bị tác động bởi nhiều yếu tố

bên ngoài làm thay đổi tham số trong quá trình vận hành, ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển. Việc sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống với tham số cố định, chỉ có thể đáp ứng tốt ở thời điểm triển khai thiết bị. Theo thời gian, động lực học của đối tượng thay đổi dẫn đến kết quả điều khiển không còn như ban đầu. Điều đó làm phát sinh nhu cầu tự chỉnh định hoặc bù.

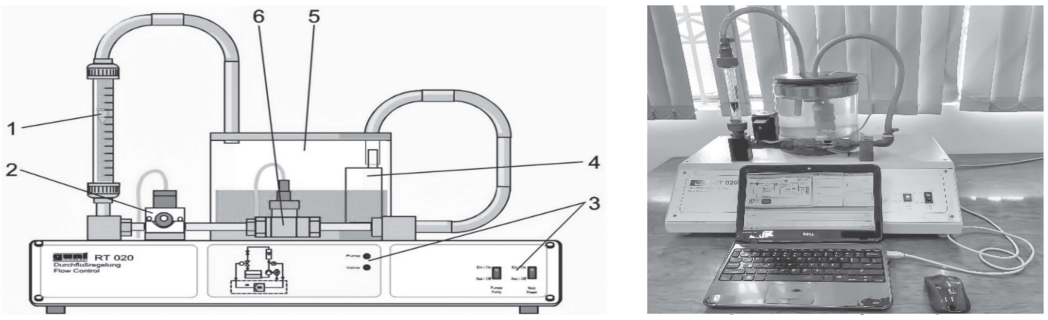
Những năm gần đây, mạng nơ-ron mờ hồi quy, gọi tắt là mạng RFNN (recurrent fuzzy neural network) tỏ ra có nhiều ưu thế vì khả năng xấp xỉ các hàm phi tuyến rất tốt [3] và cơ chế huấn luyện trực tuyến hiệu quả của nó. Mạng RFNN đã được ứng dụng thành công trong điều khiển robot Delta [4-6] và các hệ phi tuyến khác như hệ cầu cân bằng với thanh và bóng [3]. Vì vậy, ý tưởng cơ bản của nghiên cứu này là xây dựng bộ điều khiển giám sát (supervisory control) [7] dựa trên mạng RFNN và kiểm nghiệm giải thuật điều khiển này trên mô hình ổn định lưu lượng chất lỏng RT020 của hãng Gunt-Hamburg, Đức [8]. Việc kiểm soát lưu lượng chất lỏng có ý nghĩa quan trọng trong các ngành công nghiệp như thực phẩm – nước giải khát, dầu mỏ, hóa chất – dược phẩm, sản xuất giấy, điện... nên chủ đề này vẫn còn đang được tiếp tục nghiên cứu và phát triển.

Trong nghiên cứu này, mô hình toán của hệ RT020 không cần dùng trong quá trình thiết kế. Bộ điều khiển giám sát dùng mạng RFNN [9] chỉ dựa theo tín hiệu vào, ra của hệ RT020 để tự cập nhật trực tuyến (online) các tham số của nó trong khi điều khiển thiết bị [10]. Kế thừa kết quả của [10], nghiên cứu này tiến hành khảo nghiệm và đánh giá một cách toàn diện khả năng đáp ứng của bộ điều khiển đề xuất.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Hệ ổn định lưu lượng chất lỏng RT020

Hệ ổn định lưu lượng RT020 [8] được trình bày trên Hình 1. Chất lỏng trong bồn chứa (5) được bơm vào mạng điều tiết bằng máy bơm (4). Lưu lượng chất lỏng ở trong mạng có thể tăng hay giảm được bằng valve tiết lưu (2) hoặc thay đổi công suất máy bơm (4). Tình trạng hoạt động và các công tắc điều khiển được bố trí trên bảng (3). Lưu lượng chất lỏng trong mạng được đo bởi cảm biến (6), đồng thời biểu kiến bởi lưu lượng kế kiểu phao (1). Nhiệm vụ của bộ điều khiển là kiểm soát công suất của valve tiết lưu (2) để lưu lượng chất lỏng trong mạng được duy trì ở trạng thái ổn định mà người vận hành đặt trước, bù trừ được với biến đổi của tốc độ bơm. Một số thông số kỹ thuật của hệ RT020 được trình bày trong Bảng 1 [8]. Mô hình hệ ổn định lưu lượng chất lỏng RT020 đã được hỗ trợ công cụ giao tiếp giữa MATLAB/ Simulink và thiết bị bởi [11], thuận lợi cho quá trình kiểm nghiệm thực tế.



1: lưu lượng kế kiểu phao, 2: valve tiết lưu, 3: bảng hiển thị và điều khiển, 4: bơm, 5: bồn chứa, 6: cảm biến lưu lượng

Hình 1. Cấu trúc hệ ổn định lưu lượng RT020

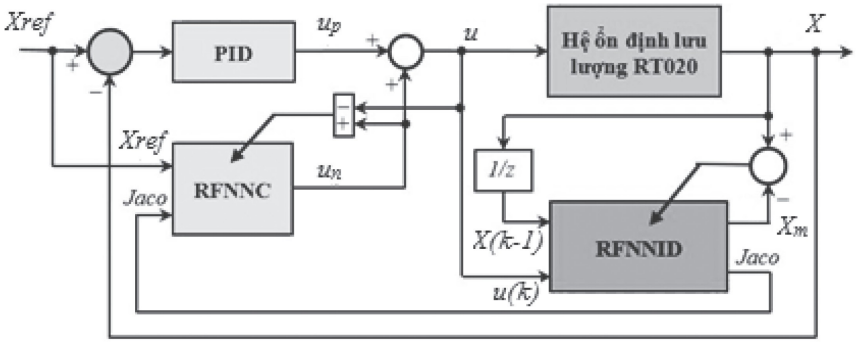
Bảng 1: Thông số kỹ thuật của hệ RT020 [8]

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Dung tích bồn chứa	L	3
Công suất máy bơm	W	18
Tốc độ bơm tối đa	L/min	8
Tốc độ valve tiết lưu	m^3/h	0,7
Cảm biến lưu lượng	L/min	0,5 – 3
Phần mềm điều khiển tích hợp	-	P, PI, PID và ON-OFF
Kích thước dài x rộng x cao	mm	600x440x560
Trọng lượng	Kg	19

RT020 là một đối tượng MISO có 2 ngõ vào và 1 ngõ ra. Ngõ vào thứ nhất (Y) là công suất valve tiết lưu, có giá trị nằm trong [0, 100%]; ngõ vào thứ hai (Z) là công suất máy bơm, có giá trị nằm trong [0, 100%]; ngõ ra (X) là lưu lượng chất lỏng, có giá trị nằm trong khoảng [0, 200 lít/giờ]. RT020 được hãng Gunt-Hamburg đóng gói sẵn các bộ điều khiển P, PI, PID và ON-OFF trên phần mềm Labview.

2.2. Nguyên lý điều khiển

Bộ điều khiển PID kết hợp với bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi qui (RFNNC) trở thành một kỹ thuật điều khiển giám sát (supervisory control), được xây dựng dựa theo [7] và thể hiện theo sơ đồ nguyên lý Hình 2. Nguyên tắc nhận mô hình đối tượng dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy (RFNNID) để xác định độ nhạy của đối tượng, gọi là thông tin Jacobian được xây dựng dựa theo [3-5]. Hình 2 trình bày sơ đồ nguyên lý của hệ điều khiển được xây dựng trong nghiên cứu này.



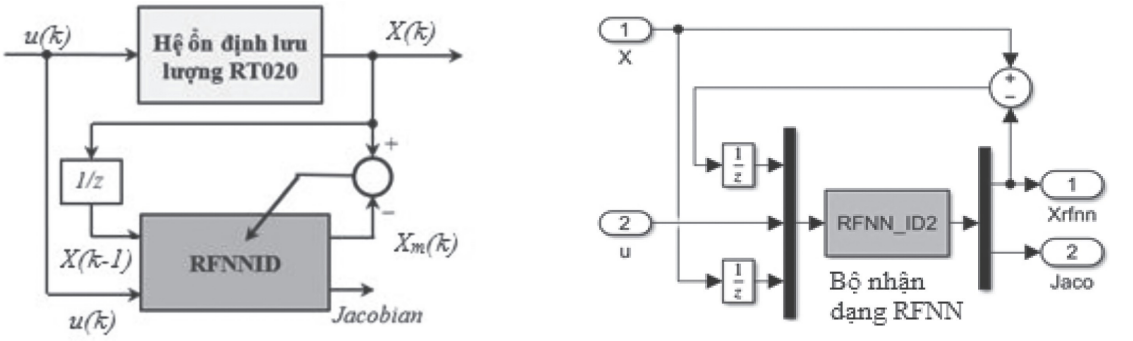
Hình 2. Nguyên lý điều khiển dùng mạng RFNN cho hệ RT020

Trong sơ đồ Hình 2, đối tượng điều khiển là hệ ổn định lưu lượng chất lỏng RT020, được kiểm soát và giữ ổn định bởi bộ điều khiển PID mặc định của [8]. Tuy nhiên, các tham số cố định của của bộ PID không thích ứng với sự biến đổi của đối tượng, nên bộ điều khiển RFNNC được tăng cường, để tinh chỉnh đáp ứng và thích nghi với sự biến thiên của đối tượng nhờ cơ chế huấn luyện trực tuyến của nó. Giải thuật cập nhật trọng số của bộ điều khiển RFNNC được triển khai theo [12] và các cải tiến trong [3-6]. Giải thuật này cần thông tin Jacobian, nên bộ nhận dạng mô

hình đối tượng RFNNID cũng được xây dựng. Bộ nhận dạng RFNNID cũng được huấn luyện trực tuyến để cung cấp kịp thời thông tin về độ nhạy của đối tượng.

2.3. Nhận dạng mô hình đối tượng dùng RFNN

Bộ nhận dạng đối tượng được sử dụng trong nghiên cứu này là một hệ suy diễn mờ được thực hiện bởi một mạng nơ-ron hồi quy nhiều lớp, gọi tắt là bộ nhận dạng RFNNID, được triển khai theo [12], có thể tham khảo chi tiết tại [3]. Bộ nhận dạng RFNNID được xây dựng dạng S-function của MATLAB và được mô tả trên Hình 3.

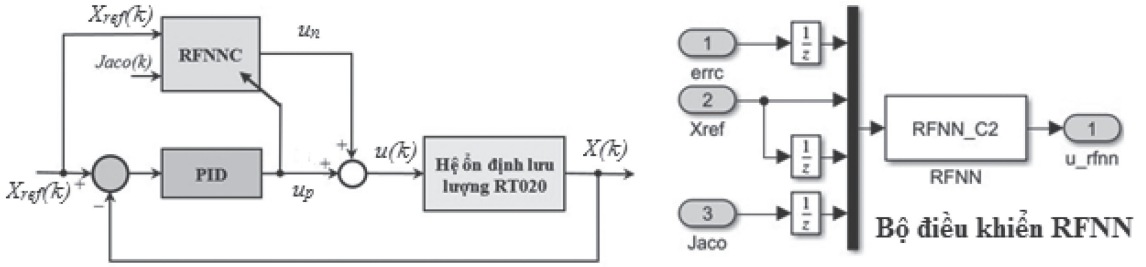


a) b)

Hình 3. a) Nguyên tắc nhận dạng mô hình đối tượng dùng mạng RFNN
b) Bộ nhận dạng RFNNID trên MATLAB/Simulink

2.4. Bộ điều khiển giám sát kết hợp PID-RFNN

Nguyên tắc điều khiển giám sát kết hợp giữa bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển RFNNC được thực hiện dựa theo [7] và được minh họa trên Hình 4a. Bộ điều khiển giám sát này được gọi tắt là bộ điều khiển PID-RFNN. Chi tiết về nguyên lý điều khiển giám sát PID-RFNN có thể tham khảo tại [10].



a) b)

Hình 4. a) Nguyên lý điều khiển giám sát PID-RFNN
b) Bộ RFNNC trên MATLAB/Simulink

Tín hiệu điều khiển giám sát trong sơ đồ Hình 4 được xác định như sau:

$$u(k) = u_n(k) + u_p(k) \quad (1)$$

trong đó, $u_p(k)$ tín hiệu điều khiển PID và là $u_n(k)$ tín hiệu điều khiển giám sát RFNNC.

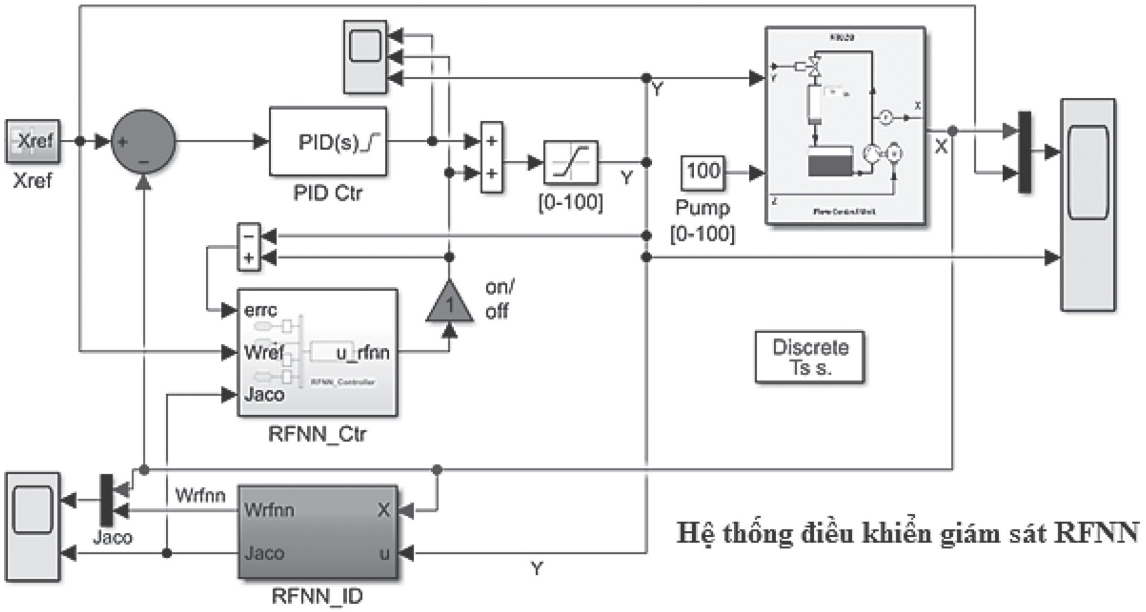
Tín hiệu điều khiển PID kinh điển $u_p(k)$ dễ dàng xác định theo công thức. Nhưng tín hiệu điều khiển giám sát RFNNC được xác định thông qua mạng RFNN. Ngõ vào của RFNNC gồm tín hiệu tham chiếu $X_{ref}(k)$ và thông tin Jacobian $Jaco(k)$ do bộ RFNNID cung cấp. Hàm mục tiêu huấn luyện bộ RFNNC được thực hiện theo [7], như sau:

$$E(k) = \frac{1}{2}\left[u_n(k) - u(k)\right]^2 \quad (2)$$

Bộ điều khiển RFNNC cũng được xây dựng dạng S-function trên MATLAB và được trình bày trên Hình 4b.

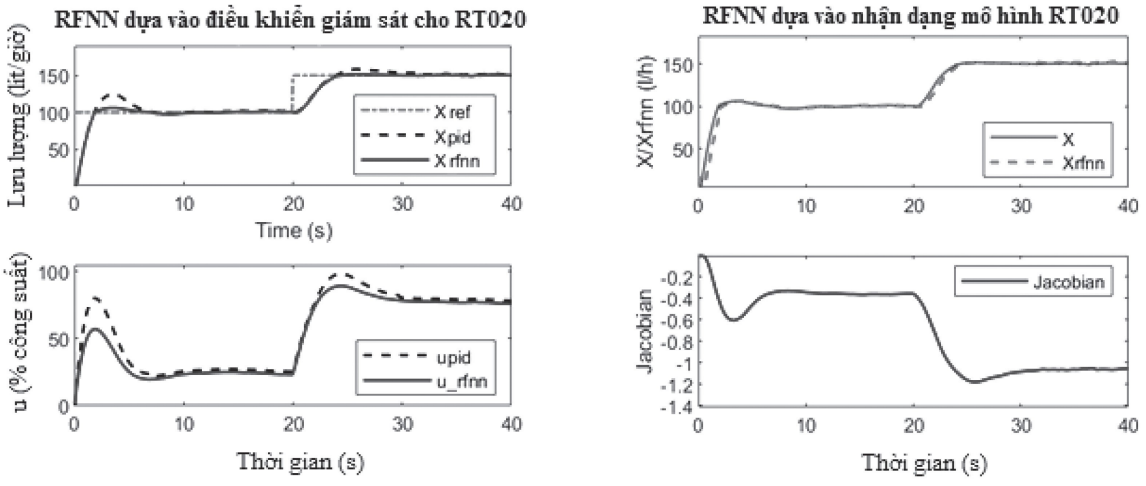
2.5. Thiết kế bộ điều khiển thực nghiệm

Sơ đồ tổng thể của hệ điều khiển giám sát hệ RT020 của nghiên cứu này được xây dựng trên MATLAB/Simulink như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ điều khiển và so sánh PID và PID-RFNN

Khối RT020 trên sơ đồ Hình 5 thực chất là khối giao tiếp ngoại vi, cho phép truyền tín hiệu điều khiển từ máy tính xuống thiết bị RT020 và đọc giá trị cảm biến lưu lượng từ thiết bị để hồi tiếp về máy tính. Trên Hình 5, khi tắt thành phần điều khiển RFNN bằng cách nhập giá trị không (zero) vào khối on/off, thì hệ thống chỉ chạy với bộ điều khiển PID mặc định. Điều này cho phép triển khai hai kiểu điều khiển để có thể so sánh các đáp ứng với mỗi kiểu điều khiển.



a) *b)*

Hình 6. a) So sánh đáp ứng lưu lượng với bộ điều khiển PID và PID-RFNN
b) Kết quả nhận dạng đối tượng và ước lượng thông tin Jacobian

Kết quả so sánh kỹ thuật điều khiển PID và điều khiển dùng PID-RFNN trên cùng hệ RT020 được trình bày trên Hình 6. Kết quả này cho thấy bộ điều khiển PID của [8] cho độ vọt lố cao (~30%), nhưng khi kết hợp nó với bộ điều khiển RFNNC độ vọt lố đã giảm đáng kể. Khi giải thuật huấn luyện các mạng RFNN đã hội tụ, đáp ứng lưu lượng có thời gian xác lập đạt khoảng 0.75 – 8,5 giây, phù hợp với thực tế của hệ RT020. Trong khi đó, bộ điều khiển PID ở 20 giây thực nghiệm sau cho thời gian xác lập khoảng 12 giây.

Hình 6 trình bày kết quả nhận đáp ứng lưu lượng của hệ RT020 và thông tin về độ nhạy của đối tượng (Jacobian). Mức độ biến thiên của đáp ứng đối với sự thay đổi của tín hiệu điều khiển, hay độ nhạy của đáp ứng, gọi là thông tin Jacobian. Thực nghiệm cho thấy bộ RFNNID đã cho tín hiệu nhận dạng lưu lượng nước gần trùng với ngõ ra thực tế của hệ RT020. Kết quả này cho thấy khả năng nhận dạng mô hình không tham số của mạng RFNN là rất tốt. Trên thực tế, việc nhận dạng ngõ ra của đối tượng không sử dụng trực tiếp cho hoạt động điều khiển mà nó dùng để xác định thông tin Jacobian, cung cấp cho giải thuật cập nhật các tham số của bộ điều khiển RFNNC.

2.6. Thảo luận

Nghiên cứu này góp phần kiểm nghiệm khả năng hoạt động của bộ điều khiển dùng mạng RFNN trên hệ RT020. Điều lo ngại cơ bản của việc ứng dụng điều khiển dùng mạng nơ-ron với cơ chế huấn luyện trực tuyến chính là yếu tố thời gian thực trong thực nghiệm. Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm đã chứng tỏ được thời gian cập nhật tham số của mạng đủ nhanh và kết thúc trong chu kỳ lấy mẫu để đảm bảo tín hiệu điều khiển không bị trễ đáng kể. Do hạn chế về thiết bị thí nghiệm, nên điểm yếu cơ bản của nghiên cứu này là hệ RT020 chỉ phi tuyến nhẹ với thời gian trễ ngắn, do đó, nghiên cứu này thật sự cũng chưa đánh giá đầy đủ các yếu tố tác động đến hệ điều khiển như khi triển khai trên hệ phi tuyến mạnh.

3. Kết luận

Nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển giám sát dùng mạng RFNN áp dụng để kiểm soát lưu lượng chất lỏng trên thiết bị RT020. Trong đó, bộ điều khiển PID được giữ giá trị mặc định của hãng Gunt-Hamburg để mang năng lượng chủ đạo trong việc đưa đáp ứng của đối tượng gần đạt đến giá trị tham chiếu. Bộ điều khiển RFNNC đảm nhận trách nhiệm tinh chỉnh đáp ứng của RT020, nhờ cơ chế giám sát và cập nhật tham số trực tuyến của nó. Giải thuật cập nhật tham số của bộ điều khiển RFNNC sử dụng thông tin Jacobian từ bộ nhận dạng RFNNID để thích ứng với sự biến thiên của đối tượng. Trong quá trình điều khiển, khi giải thuật cập nhật thông số mạng RFNN hội tụ, đáp ứng lưu lượng của thiết bị RT020 có độ vọt lố không đáng kể nữa. Ngoài ra, bộ điều khiển RFNNC cũng góp phần giảm thời gian xác lập của đối tượng, từ khoảng 12 giây, giảm xuống còn 8±0.5 giây. Thời gian tới, nghiên cứu này tiếp tục được hoàn thiện và tiến hành thực nghiệm trên các đối tượng có độ phi tuyến mạnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. K. J. Åström and T. Hägglund. (1995). *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. Research Triangle Park, North Carolina: ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society.

[2]. P. K. Juneja *et al.* (2021). *A Review on Control System Applications in Industrial Processes*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1022, 1-9.

[3]. N. C. Ngôn and Đ. Tín. (2011). *Điều khiển PID một nơron thích nghi dựa trên bộ nhận dạng mạng nơron mờ hồi qui áp dụng cho hệ thanh và bóng*, Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, 20a-2011, 169-175.

[4]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Loc, and C.-N. Nguyen. (2020). *Delta Robot Control Using Single Neuron PID Algorithms Based on Recurrent Fuzzy Neural Network Identifiers*, Inter. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research, 9(10), 1411-1418.

[5]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Tung, and C.-N. Nguyen. (2021). *Improvement of PID Controllers by Recurrent Fuzzy Neural Networks for Delta Robot*, Springer Singapore, in Intelligent Communication, Control and Devices, 263-275.

[6]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Tung, C.-T. Pham, and C.-N. Nguyen. (2021). *Evaluating the Quality of Intelligent Controllers for 3-DOF Delta Robot Control*, Inter. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research, 10(10), 542-552.

[7]. J. Liu. (2015). *Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems Design, Analysis and Matlab Simulation*. Berlin: Springer Berlin (in English), 365.

[8]. G. G. GmbH. (2004). *Experiment Instructions - RT010- RT060 Principles of Control Engineering*, Barsbüttel Germany.

[9]. Đ. H. Đ. Khoa, S. H. Thạnh, and N. C. Ngôn. (2022). *Điều khiển thông minh động cơ không đồng bộ 3 pha dựa trên mạng nơ-ron mờ hồi quy*, Tạp chí KH&CN Đại học Thái Nguyên, 227(08), 46-55.

[10]. S. H. Thạnh, Đ. H. Đ. Khoa, L. M. Thành, and N. C. Ngôn. (2022). *Thực nghiệm điều khiển giám sát dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy trên hệ ổn định lưu lượng chất lỏng*, Tạp chí KH&CN Đại học Thái Nguyên, 227(16), 115-123.

[11]. N. C. Ngôn. (2011). *Bộ điều khiển PI mờ: Từ thiết kế đến ứng dụng*, Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ, 18a, 82-92.

[12]. L. Ching-Hung and T. Ching-Cheng. (2000). *Identification and control of dynamic systems using recurrent fuzzy neural networks*, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 8(4), 349-366.