

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MẠNG NƠON HỒI QUY THỜI GIAN LIÊN TỤC TRONG NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

Nguyễn Hữu Công*, Nguyễn Thị Thanh Nga, Phạm Văn Hưng

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Mạng nơon có khả năng xấp xỉ vạn năng, nên trong những năm gần đây chúng được sử dụng rộng rãi và có hiệu quả trong việc nhận dạng và điều khiển các hệ thống có độ phi tuyến cao. Tuy nhiên, khi thiết kế hệ thống, việc chọn mô hình mạng như thế nào cho phù hợp với lớp đối tượng cụ thể vẫn là bài toán khó khăn. Mô hình mạng nơon hồi quy thời gian liên tục được ứng dụng để nhận dạng và điều khiển cho một lớp đối tượng có tính động học phi tuyến. Bài báo này ứng dụng mô hình mạng nơon để nhận dạng và điều khiển đối tượng là hệ thống xử lý nước thải. Các kết quả mô phỏng thể hiện sự đúng đắn của thuật toán và mở ra khả năng ứng dụng vào thực tiễn.

Từ khóa: mạng nơon hồi quy thời gian liên tục, hệ thống động học phi tuyến, hệ thống xử lý nước thải.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Mạng nơon nhân tạo ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhận dạng và điều khiển, đặc biệt là trong các ngành công nghiệp. Mạng nơon có khả năng xấp xỉ các hàm phi tuyến một cách đầy đủ và chính xác, nó được sử dụng tốt cho các mô hình động học phi tuyến [1, 2]. Khi thiết lập mạng nơon cần chọn mô hình mạng hợp lý. Nội dung bài báo sẽ trình bày mô hình mạng nơon hồi quy thời gian liên tục để nhận dạng và điều khiển hệ thống xử lý nước thải.

MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

Theo [1], mô hình toán học của hệ thống xử lý nước thải có dạng (1):

$$V \dot{y} = F(a-y) - u(b+y) \quad (1)$$

Trong đó: V là thể tích của bể chứa (L), F là tốc độ dòng chảy của chất thải có axit (L/sec), a là nồng độ mol/l của nước thải có tính axit (moles/L), b là nồng độ mol/l của bazơ (moles/L), u là tốc độ dòng chảy của bazơ (L/sec).

Phương trình hệ thống là:

$$\dot{y} = Fa - Fy - ub - uy$$

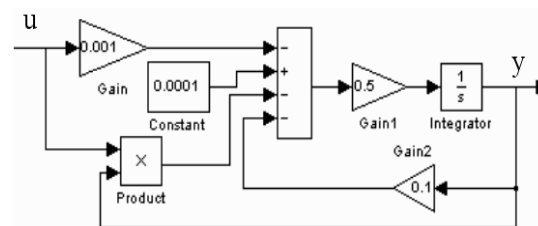
Giới hạn của tín hiệu điều khiển lưu lượng bazơ u là: $[0 \dots 2]$ L/sec.

Giả thiết có các tham số của mô hình: $a = 0.001$ moles/L; $b = 0.001$ moles/L; $F = 0.1$ L/sec; $V = 2$ L

Khi đó, phương trình hệ thống có dạng (2):

$$\dot{y} = 0.00005 - 0.05y - 0.0005u - 0.5uy \quad (2)$$

Từ (2) ta có sơ đồ cấu trúc hệ thống xử lý nước thải như hình 1.



Hình 1. Mô hình toán học của HT xử lý nước thải

ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH MẠNG NƠON HỒI QUY THỜI GIAN LIÊN TỤC (CTRNN)

Mô hình hệ thống xử lý nước thải là mô hình động học phi tuyến với cấu trúc phản hồi. Để nhận dạng và điều khiển đối tượng này, theo [1] đã đưa ra mô hình mạng hồi quy có trễ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình CTRNN [4].

* Tel: 0913589758; mail: huucong@tmut.edu.vn

Một trong số mô hình động học hệ phi tuyến là:

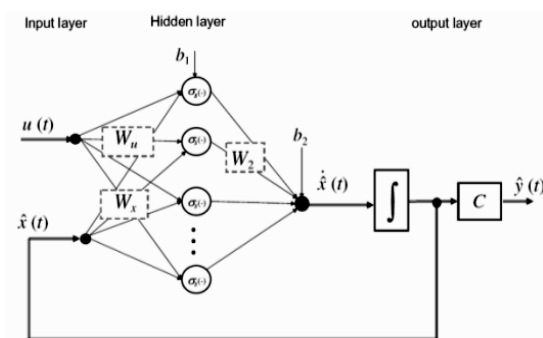
$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, u) \\ y = g(x) \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $g(x)$ là một hàm phi tuyến.

Mạng nơron hồi quy thời gian liên tục được mô tả qua dạng tổng quát như sau:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = \hat{f}(\hat{x}(t), u(t), \theta) \\ \hat{y} = C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: $u(t) \in \mathbb{R}^{n_u}$ là tín hiệu vào, $\hat{y} \in \mathbb{R}^{n_y}$ tín hiệu ra của mạng, $\hat{x} \in \mathbb{R}^{n_x}$ là không gian vector tham số, $\theta \in \mathbb{R}^{n_\theta}$ thông số vector của mạng. Với mô hình (4), có thể xây dựng cấu trúc mạng:



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc mô tả CTRNN

$$x_h(t) = \sigma_s(W_x \hat{x}(t) + W_u u(t) + b_1)$$

$$\dot{\hat{x}}(t) = W_2 x_h(t) + b_2$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t)$$

Trong đó: $W_x \in \mathbb{R}^{n_h \times n_x}$, $W_u \in \mathbb{R}^{n_h \times n_u}$ và $W_2 \in \mathbb{R}^{n_x \times n_h}$ là các trọng số kết nối, $b_1 \in \mathbb{R}^{n_h}$ và $b_2 \in \mathbb{R}^{n_x}$ là các vector bias. Hàm kích hoạt tansig $\sigma_s(\bullet) \in \mathbb{R}^{n_h}$ như sau:

$$\sigma_s(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (5)$$

Vector thông số của mạng là:

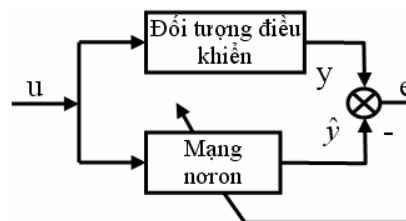
$\theta = [\text{vec}(W_x)^T \text{vec}(W_u)^T b_1^T \text{vec}(W_2)^T b_2^T]^T \in \mathbb{R}^{n_\theta}$ trong đó:

$$n_\theta = n_x \times (n_h + 1) + n_h \times (n_x + n_u + 1).$$

ỨNG DỤNG MẠNG CTRNN ĐỂ NHẬN DẠNG HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

Nguyên tắc sử dụng mạng nơron trong nhận dạng

Để nhận dạng hệ thống cần hai giai đoạn là lựa chọn mô hình và tối ưu tham số. Đối với một mô hình đã lựa chọn, ta phải sử dụng mạng nơron có cấu trúc mạng phù hợp. Đây là bài toán nhận dạng mô hình hộp xám. Thực tế, có nhiều phương pháp sử dụng mạng nơron trong nhận dạng đối tượng động học phi tuyến [1], [2]. Ở đây chúng tôi giới thiệu một mô hình như hình 3 [2],[3].



Hình 3. Mô hình nhận dạng cơ bản

Mô hình cơ bản của mạng nơron được luyện để mô phỏng hành vi của đối tượng điều khiển giống như mô hình thực, nhằm xác định các trọng số tối ưu tham số của mạng dựa vào sai lệch giữa giá trị đầu ra của hệ thống và của mô hình.

Kết quả nhận dạng hệ thống xử lý nước thải

Với phương trình của hệ thống xử lý nước thải như (2), ta sử dụng mạng nơron để nhận dạng hệ thống là mạng CTRNN. Cấu trúc như hình 2.

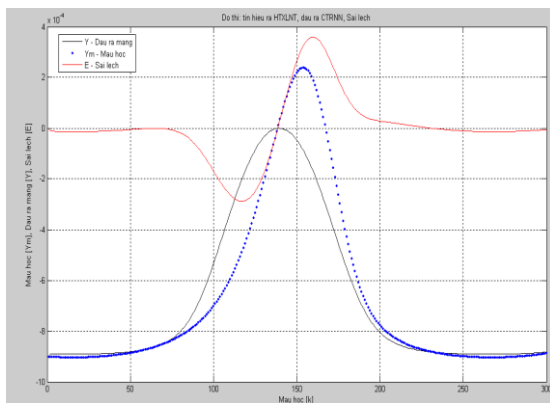
Vì đối tượng là động học phi tuyến nên để có đầy đủ thông tin vào ra trong quá trình nhận dạng, ta có thể chọn tín hiệu thử (tín hiệu vào) là nhiễu ngẫu nhiên hoặc hình sin. Trong nghiên cứu này, chúng tôi chọn tín hiệu vào là hình sin.

Mạng CTRNN được chọn gồm ba lớp: lớp vào có 2 nơron, lớp ẩn có 4 nơron, lớp ra có 1 nơron và cả ba lớp đều dùng hàm tansig.

Sau khi huấn luyện mạng nơron, các thông số của mạng nơron như sau:

IW_end = 0.9565 1.3883 2.0187 0.5408
0.3616 0.6770 -0.9193 0.8820

LW_end = -0.8855
-0.8897
-0.0652
-0.9160



Hình 4. Đồ thị mẫu học, đầu ra của mạng và sai lệch

Đồ thị ở hình 4 biểu diễn độ sai lệch giữa tín hiệu ra của hệ thống với đầu ra của mô hình mạng nơron. Ta thấy sai lệch trên rất nhỏ, nên mô hình mạng nơron được sử dụng làm mô hình cho hệ thống xử lý nước thải để thiết kế bộ điều khiển.

ỨNG DỤNG MẠNG CTRNN ĐỂ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

Nguyên tắc thiết kế bộ điều khiển bằng mạng nơron

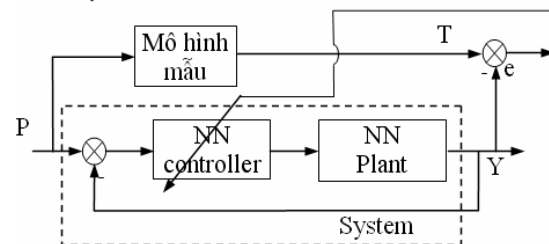
Bước 1: tạo 1 tập mẫu P,T lấy trên mô hình mẫu bằng cách phát 1 tín hiệu đầu vào P và quan sát tín hiệu ra T, dùng tập mẫu P,T để huấn luyện mạng nơron cho bộ điều khiển “NN Controller”.

Bước 2: chọn cấu trúc mạng nơron NN controller.

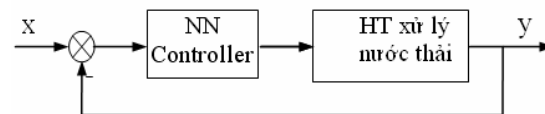
Bước 3: kết hợp 2 mạng NN controller và mạng NN plant tạo thành mạng NN system như hình 6, sau đó dùng tập mẫu P,T huấn luyện mạng NN controller sao cho hàm mục tiêu.

$$J = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^2(k) \rightarrow \min$$

Theo [1], sau khi huấn luyện mạng nơron NN controller xong ta có cấu trúc điều khiển hệ thống xử lý nước thải như hình 7.



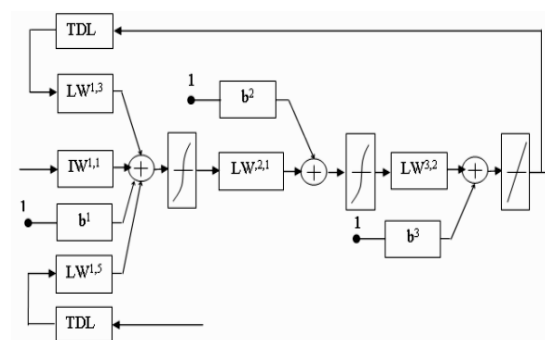
Hình 5. Sơ đồ huấn luyện bộ điều khiển nơron NN



Hình 6. Sơ đồ hệ thống điều khiển

Thiết kế bộ điều khiển

Mô hình mạng nơron của bộ điều khiển được chọn như hình 2.



Hình 7. Cấu trúc mạng nơron của bộ điều khiển

Mạng gồm ba lớp: lớp vào có 4 nơron và dùng hàm tansig, lớp ẩn có 3 nơron và dùng

hàm tansig, lớp ra có 1 nơron và dùng hàm purelin.

Hàm truyền đạt của mô hình mẫu được chọn:

$$G(s) = \frac{0.001}{(25s + 1)(30s + 1)}$$

Phát tín hiệu ngẫu nhiên vào mô hình mẫu, ta thu được bộ thông số (p,t) gồm 1000 mẫu để huấn luyện bộ điều khiển nơron.

Sau khi huấn luyện ta có các thông số của bộ điều khiển nơron:

net.iw{1,1} =

1.0e+003 *[-0.4220 1.9542 -1.8371 -0.8361];

net.lw{1,3} =[-2.1672 0.9400 0.5578 1.9932];

net.lw{1,5} =[0.2532 -0.4862 -1.1192 0.5167];

net.b{1} = [2.2229 -0.7450 -0.7357 -2.2132];

net.b{2} = [-1.8333 0.0276 -1.8474];

net.lw{2,1}=[0.8660 -0.3013 1.5635 0.4370;

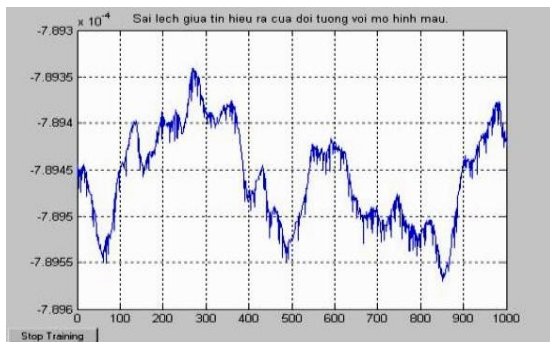
-0.4278 0.8825 1.3020 0.8247;

-1.3695 0.8132 -0.3626 -0.8475];

net.b{3} = -0.1232;

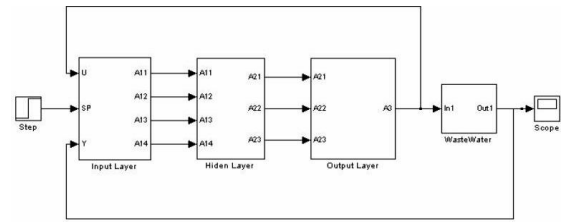
net.lw{3,2} = [0.0442 -0.2783 -0.0546];

Kết quả mô phỏng sai lệch giữa tín hiệu ra của đối tượng với mô hình mẫu như hình 8.



Hình 8. Đồ thị sai lệch giữa tín hiệu ra của đối tượng với mô hình mẫu

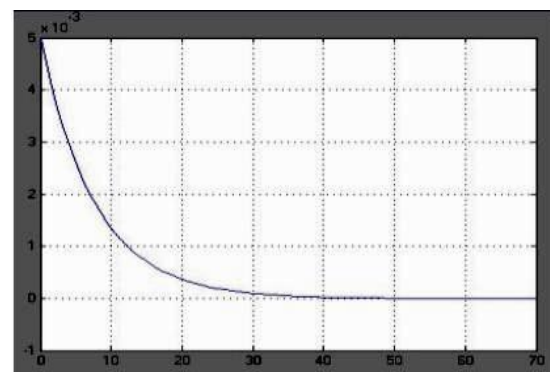
Với sơ đồ mô phỏng điều khiển hệ xử lý nước thải dùng mạng nơron hồi quy liên tục như hình 9, ta được kết quả như hình 10, hình 11, hình 12.



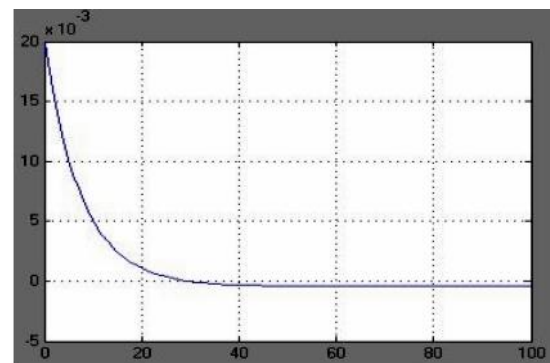
Hình 9. Sơ đồ mô phỏng

Kết quả mô phỏng với tín hiệu đặt $ref=0.000001$, $a=0,005$ và sơ kiện $y(0)$ khác nhau :

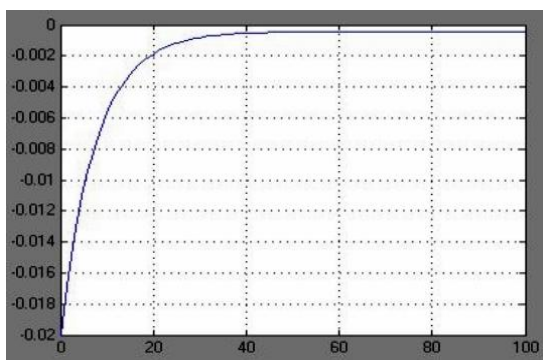
+ $y(0) = 0,005$.



Hình 10. Mô phỏng với tín hiệu đặt $y(0) = 0,005$



Hình 11. Mô phỏng với tín hiệu đặt $y(0) = 0,02$



Hình 12. Mô phỏng với tín hiệu đặt $y(0) = -0,02$

Ta thấy mặc dù với các tín hiệu đặt khác nhau nhưng tín hiệu đầu ra của hệ thống đều tiến tới giá trị đặt.

KẾT LUẬN

- Có thể ứng dụng mạng nơron để nhận dạng và điều khiển đối tượng động học phi tuyến là hệ thống xử lý nước thải. Như vậy đã giới thiệu thêm một phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển ngoài những phương pháp thông thường hiện nay là sử dụng PID hoặc bộ điều khiển mờ.

- Có thể dùng CTRNN để nhận dạng cho lớp đối tượng động học phi tuyến có cùng mô hình giống như hệ thống xử lý nước thải.

- Công việc tiếp theo là nghiên cứu cải tiến thuật học của CTRNN và ứng dụng cho các bài toán điều khiển phi tuyến khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Hữu Công (2006), “Nghiên cứu ứng dụng mạng nơron để nhận dạng và điều khiển đối tượng phi tuyến” Đề tài cấp Bộ,
- [2]. Bùi Công Cường, Nguyễn Doãn Phước (2001), *Hệ mờ, mạng nơron và ứng dụng*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (2001) *Điều khiển mờ và mạng nơron*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. R.K. Al Seyab, Y. Cao (2007) “Nonlinear system identification for predictive control using continuous time recurrent neural networks and automatic differentiation”, School of Engineering Cranfield University, College Road, Cranfield, Bedford MK43 0AL, UK, Science Direct.

SUMMARY

CONTINUOUS TIME RECURRENT NEURAL NETWORK FOR IDENTIFYING AND CONTROL WASTE WATER TREATMENT SYSTEM

Nguyen Huu Cong*, Nguyen Thi Thanh Nga, Pham Van Hung

Thai Nguyen University of Technology

Neural networks have been recently applied to identifying and controlling nonlinear systems due to their ability of approximating any nonlinear functions. However, the difficulty is how to model a suitable network for the certain problem. The continuous time recurrent neural network is applied for identifying and controlling a class of nonlinear dynamical systems. The article applied neural network to identify and control the waste water treatment. Results of the research is demonstrated by simulation and enable to apply to practical concept.

Key words: continuous time recurrent neural networks (CTRNN), nonlinear dynamical systems, waste water treatment.

