

Application of Wide Learning System in Genesio System Synchronization

Van-Tan Do¹, The-Thanh Bui², Duc-Hung Pham^{1*}, Ngoc-Thang Pham¹

¹Hung Yen University of Technology and Education, Vietnam

²Hanoi Industrial Textile Garment University, Vietnam

*Corresponding author. Email: duchungpham@utehy.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 09/11/2024
Revised: 23/12/2024
Accepted: 03/03/2025
Published: 28/08/2025

KEYWORDS

Genesio System;
Wide Learning System;
Neural network;
Nonlinear system;
Lyapunov's theorem.

ARTICLE INFO

In this paper, the authors will introduce the application of a deep learning system to synchronize the Genesio chaotic system. The Genesio system is a nonlinear system with high complexity, and to synchronize the system, it is necessary to combine different formulas and algorithms, along with neural networks, to ensure the goal of optimizing inputs, minimizing system errors at the output, and achieving the desired signals. The synchronization scheme uses Lyapunov's theorem to maintain the system's stability, which ensures that the simulation results achieve higher accuracy. A simulation of the synchronized system is carried out using software with an application for synchronizing the Genesio system. The simulation results demonstrate accuracy and faster synchronization capability when compared to other traditional methods. Therefore, this research confirms that the use of a deep learning system combined with neural network techniques and stability theory can provide a powerful and optimal solution for controlling and synchronizing the Genesio system.

Ứng dụng hệ thống học rộng trong đồng bộ hệ thống hỗn loạn Genesio

Đỗ Văn Tân¹, Bùi Thế Thành², Phạm Đức Hùng^{1*}, Phạm Ngọc Thắng¹

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Dệt may Hà Nội, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: duchungpham@utehy.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 09/11/2024
Ngày hoàn thiện: 23/12/2024
Ngày chấp nhận đăng: 03/03/2025
Ngày đăng: 28/08/2025

TỪ KHÓA

Hệ thống Genesio;
Hệ thống học mở rộng;
Mạng nơ-ron;
Hệ phi tuyến;
Định lý Lyapunov.

TÓM TẮT

Trong bài viết này nhóm tác giả sẽ giới thiệu ứng dụng hệ thống học rộng để đồng bộ hệ thống hỗn loạn Genesio. Hệ thống Genesio như là một hệ phi tuyến có tính phức tạp cao, muốn đồng bộ được hệ thống sẽ cần phải kết hợp sử dụng các công thức, thuật toán khác nhau và kết hợp cùng với mạng nơ-ron để đảm bảo mục tiêu tối ưu hóa đầu vào, giảm thiểu các lỗi hệ thống ở đầu ra và các tín hiệu mong muốn. Trong bộ đồng bộ có sử dụng định lý Lyapunov nhằm duy trì tính ổn định của hệ thống, từ đó kết quả mô phỏng sẽ đảm bảo độ chính xác cao hơn. Thực hiện mô phỏng hệ đồng bộ trên phần mềm với ứng dụng đồng bộ cho hệ thống Genesio. Kết quả mô phỏng đã thể hiện được tính chính xác và khả năng đồng bộ nhanh hơn khi so sánh với một số phương pháp truyền thống khác. Vì vậy, với kết quả nghiên cứu này đã khẳng định việc sử dụng hệ thống học rộng kết hợp với các kỹ thuật mạng nơ-ron và lý thuyết ổn định có thể mang lại một giải pháp mạnh mẽ và tối ưu cho việc kiểm soát và đồng bộ hệ thống Genesio.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2025.1716>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Hệ thống Genesio là một công cụ mạnh mẽ trong nghiên cứu và mô phỏng các hệ thống động học phi tuyến, giúp chúng ta hiểu rõ hơn về sự thay đổi và hành vi của các hệ thống phức tạp trong các lĩnh vực khoa học khác nhau [1], [2]. Hệ thống Genesio thường đề cập đến các hệ thống phi tuyến và có thể mô phỏng các hiện tượng động học phức tạp như sự thay đổi trạng thái, sự ổn định, hoặc sự xuất hiện

của các chu kỳ hoặc hiện tượng hỗn loạn trong hệ thống. Mô hình này có thể được áp dụng trong việc nghiên cứu và mô phỏng các hệ thống có sự phụ thuộc phi tuyến vào các yếu tố bên ngoài và các điều kiện ban đầu. Mô hình động học Genesisio có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật, đặc biệt là trong các hệ thống phi tuyến phức tạp như: Bảo mật hình ảnh, mô phỏng sự thay đổi khí hậu, mô phỏng sự phát triển tế bào,... Nó giúp các nhà nghiên cứu và kỹ sư hiểu rõ hơn về động lực học của hệ thống và dự đoán hành vi của chúng trong các điều kiện khác nhau. [1] – [3]. Để có thể kiểm soát được hệ thống hỗn loạn phức tạp này đầu tiên chúng ta phải nói đến sử dụng mạng nơ-ron thích hợp để giải quyết bài toán mối quan hệ giữa một tập hợp đầu vào và đầu ra biết trước [2], [3], [4], [5], [6].

Hệ thống học mở rộng (**broad learning system**) là một cấu trúc mới được thiết lập dựa trên cơ sở mạng nơ-ron liên kết chức năng vectơ ngẫu nhiên, bộ đồng bộ trượt từ đó để tạo ra hệ đồng bộ và giám sát cho hệ phi tuyến [7], [8], [9]. Ngược với một số mạng nơ-ron sâu phổ biến bị mất nhiều thời gian học đối với các tham số quá mức, hệ thống học mở rộng có thể cung cấp một lược đồ nhanh hơn nhiều với độ chính xác cao. Những đặc điểm này làm cho hệ rất hiệu quả trong vấn đề đồng bộ và giám sát.

Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này không thể được áp dụng trực tiếp vào đồng bộ hệ thống do thiếu đi khả năng tối ưu các thông số ở thời điểm ban đầu. Chính vì vậy, nhóm tác giả đã đưa ra một thuật toán nhằm mục đích thay đổi điều chỉnh các tham số theo thời gian trong lớp tăng cường vào. Khi đó các trọng số sẽ kết nối các nút tính năng với các nút tăng cường và các nút đầu ra và hội tụ lại sự hội tụ tại lớp trên cùng. Sự hội tụ của thuật toán này được chứng minh qua định lý về tính ổn định Lyapunov [8] – [11].

Tiếp theo chúng tôi thiết lập một bộ đồng bộ dựa trên việc kiểm soát các nhiễu loạn cho hệ thống Genesisio sử dụng hệ thống học mở rộng. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho thấy khả năng kiểm soát nhiễu loạn tốt của phương pháp học mở rộng. Hơn nữa, nó có thể đạt được độ chính xác cao hơn trong quá trình học rất nhanh so với một số mô hình neuron và mô hình nơ-ron mờ [6].

Đóng góp chính của bài báo gồm:

- (1) Ứng dụng được phương pháp học diện rộng vào đồng bộ hệ thống phi tuyến Genesisio.
- (2) Mô phỏng thành công bài báo trên phần mềm Matlab-Simulink.

2. Hệ thống Genesisio

Giả sử một lớp các hệ thống hỗn loạn bậc n được mô tả dưới dạng sau:

$$\dot{x}^{(n)} = f(x) + u \quad (1)$$

Trong đó $x = [x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)}]^T \in R^n$ là vector trạng thái của hệ thống, được giả định là có sẵn để đo,

$f(x) \in R$ là động lực học phi tuyến của hệ thống có thể không biết, và $u \in R$ là đầu vào của hệ thống. Vấn đề đồng bộ theo dõi của hệ thống là tìm ra một quy tắc đồng bộ sao cho quỹ đạo trạng thái $x \in R$ có thể theo sát lệnh tham chiếu $x_d \in R$. Định nghĩa vector sai số theo dõi.

$$e = x_d - x \quad (2)$$

Giả sử rằng tất cả các tham số trong (1) đều đã được biết, tồn tại một bộ đồng bộ lý tưởng:

$$u = -f(x) + \dot{x}_d^{(n)} + k_1 e^{(n-1)} + \dots + k_{n-1} \dot{e} + k_n e \quad (3)$$

Trong đó $k_i, i = 1, 2, \dots, n$ là các hằng số dương. Áp dụng bộ đồng bộ lý tưởng (3) vào (1), ta thu được:

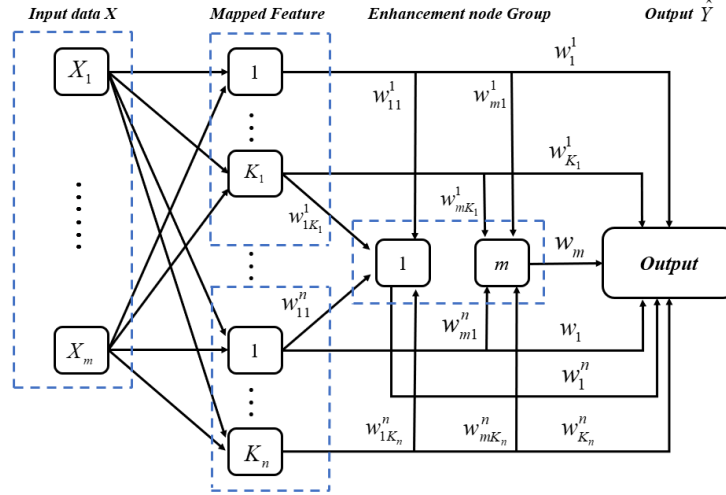
$$e^{(n)} + k_1 e^{(n-1)} + \dots + k_{n-1} \dot{e} + k_n e = 0 \quad (4)$$

Giả sử rằng các hệ số phản hồi $k_i, i = 1, 2, \dots, n$ được chọn sao cho tương ứng với các hệ số của một đa thức Hurwitz, điều này có nghĩa là $\lim_{t \rightarrow \infty} e = 0$ đối với mọi điều kiện ban đầu. Tuy nhiên, vì động lực học hệ thống $f(x)$ có thể không biết hoặc bị nhiễu trong các ứng dụng thực tế, bộ đồng bộ lý tưởng

trong (3) không thể được đạt được một cách chính xác. Từ đó, bài báo đề xuất phương pháp hệ thống học mở rộng (*broad learning system*) để giải quyết vấn đề đó.

3. Hệ thống học mở rộng

Ở phần này nhóm tác giả đưa phương pháp học mở rộng tự tổ chức, đáp ứng yêu cầu của các trạng thái động bộ khác nhau và tiết kiệm tài nguyên tính toán [2]. Cấu trúc của hệ thống tự sắp xếp học rộng được thể hiện như **Hình 1**.



Hình 1. Cấu trúc của hệ thống học mở rộng

Lấy thông số ban đầu là các giá trị X cho hệ các vector đầu vào đầu tiên được đưa vào n ma trận các đặc điểm ngẫu nhiên trong “các nút đặc điểm” bằng n ánh xạ đặc điểm φ_i . Ma trận đặc điểm thứ i có dạng là:

$$Z_i = \varphi_i(XW_{f_i} + \beta_{f_i}), i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Trong đó $X \in R^{N \times M}$, $Y \in R^{N \times C}$, N là số đầu vào, M là kích thước, C là kích thước của các đầu ra tương ứng, trọng số W_{f_i} và thuật ngữ sai lệch β_{f_i} là các ma trận được tạo ngẫu nhiên kết nối vector đầu vào với các nút đặc trưng. Chúng tôi biểu thị $Z_n \triangleq (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ là các đầu ra của n nhóm nút đặc trưng. Ma trận trọng số W_{f_i} sau đó được tinh chỉnh bởi một bộ mã hóa tự động để tạo ra các đặc trưng phù hợp hơn với Z_n .

Giả sử có m nhóm ánh xạ với các nút đặc trưng K_i trong nhóm thứ i và có một nhóm gồm m nút tăng cường, với mẫu đầu vào $x = (x_1, x_2, \dots, x_M)$ và đầu ra mong muốn y , chúng ta ký hiệu $W_{f_i} = (w_{f_{kl}}^i) M \times K_i$, $\beta_{f_i} = (b_{f_k}^i) 1 \times K_i$, $W_e = (w_{jk}^i) (K_1 + K_2 + \dots + K_n) \times m$ và $\beta_e = (b_j) 1 \times m$, trong đó $w_{f_{kl}}^i$ là trọng số kết nối đầu vào thứ l với nút đặc trưng thứ k trong nhóm ánh xạ thứ i , $b_{f_k}^i$ là hạng tử thiên vị liên kết với nút đặc trưng thứ k trong nhóm ánh xạ thứ i , w_{jk}^i là trọng số kết nối nút đặc trưng thứ k của nhóm ánh xạ thứ i với nút tăng cường thứ j và b_j là hạng tử thiên vị liên kết với nút tăng cường thứ j . Ta lấy ký hiệu đầu ra của hệ là \hat{y} .

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^m w_j \zeta_j \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_k^i F_k^i + b_j \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_k^i F_k^i \quad (6)$$

Với đầu ra của nút thứ k trong nhóm ánh xạ thứ i và ζ_i hàm kích hoạt là $F_k^i = \sum_{l=1}^M (w_{f_{kl}}^i x_l + b_{f_k}^i)$ biểu thị đầu ra của nút tính năng thứ k trong nhóm ánh xạ thứ i và $\zeta_i(\cdot)$ là hàm kích hoạt. Lấy ma trận trọng số kết nối

các đầu ra của các nút tính năng và các nút tăng cường với nơ-ron đầu ra (tức là các trọng số ở lớp trên cùng).

$$W = W_1^1, \dots, W_{K_1}^1, \dots, W_1^n, \dots, W_{K_n}^n, w_1, \dots, w_m \quad (7)$$

Trong đó w_k^i là trọng số kết nối nút đặc trưng thứ k trong nhóm ánh xạ thứ i với nơ-ron đầu ra và w_j là trọng số kết nối nút tăng cường thứ j với nơ-ron đầu ra.

Lúc này hàm lỗi giữa đầu ra y và \hat{y} được thể hiện:

$$E = \frac{1}{2}(\hat{y} - y)^2 \quad (8)$$

Đạo hàm các tham số W , w_e và β_e ta được:

$$\frac{\partial E}{\partial w_k^i} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_k^i} \cdot \frac{\partial E}{\partial \hat{y}} = F_k^i (\hat{y} - y) \quad (9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_j} = \frac{\partial E}{\partial \hat{y}} \cdot \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_j} = (\hat{y} - y) \xi_j \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_k^i F_k^i + b_j \right) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_{jk}^i} &= \frac{\partial E}{\partial \hat{y}} \cdot \frac{\partial \hat{y}}{\partial \xi_j} \cdot \frac{\partial \xi_j}{\partial w_{jk}^i} = (\hat{y} - y) w_j F_k^i \xi_j \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_{jk}^i F_k^i + b_j \right) \\ &= (\hat{y} - y) w_j F_k^i (1 - \xi_j^2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_{jk}^i F_k^i + b_j \right)) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_j} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial \xi_j} \cdot \frac{\partial \xi_j}{\partial w_{jk}^i} \cdot \frac{\partial E}{\partial \hat{y}} = (\hat{y} - y) w_j (1 - \xi_j^2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_{jk}^i F_k^i + b_j \right)) \quad (12)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_j} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial \xi_j} \cdot \frac{\partial \xi_j}{\partial w_{jk}^i} \cdot \frac{\partial E}{\partial \hat{y}} = (\hat{y} - y) w_j (1 - \xi_j^2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_{jk}^i F_k^i + b_j \right)) \quad (13)$$

Trong đó ξ_j là đạo hàm ζ_j . Ta thiết lập được:

$$\xi_j = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (14)$$

Dựa công thức (8) - (12) ta thấy $\xi_j = 1 - \xi_j^2$. Ta rút ra được:

$$\begin{aligned} w_j(t+1) &= w_j(t) - \eta(\hat{y} - y)\Xi(t) \\ w_k^i(t+1) &= w_k^i(t) - \eta(\hat{y} - y)F_k^i \\ w_{jk}^i(t+1) &= w_j(t)F_k^i(1 - \Xi^2(t))w_{jk}^i(t) - \eta(\hat{y} - y) \\ b_j(t+1) &= w_j(t)F_k^i(1 - \Xi^2(t))b_j(t) - \eta(\hat{y} - y) \end{aligned} \quad (15)$$

Trong đó $\Xi(t) \triangleq \xi_j \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{K_i} w_{jk}^i(t) F_k^i + b(t) \right)$ và η là tốc độ học.

Để chứng minh điều nêu trên ta giả sử $\eta(t)$ là tốc độ học tại thời điểm rời rạc t trong công thức cập nhật Phương trình (14) đối với các tham số của hệ, thuật toán học hội tụ với điều kiện $\eta(t)$ thỏa mãn điều kiện sau:

$$0 < \eta(t) < \frac{2}{\max_t \left\| \frac{\hat{y}\partial(t)}{P\partial} \right\|_2^2} \quad (16)$$

Xem xét hàm Lyapunov:

$$V(t) = \frac{1}{2} e^2(t) = \frac{1}{2} (\hat{y}(t) - y(t))^2 \quad (17)$$

Khi đó hàm Lyapunov sẽ thay đổi thành:

$$\Delta V(t) = V(t+1) - V(t) = \frac{1}{2} \Delta e(t) (2e(t) + \Delta e(t)) \quad (18)$$

Dựa theo xấp xỉ tổng vi phân ta có:

$$\Delta e(t) \approx \Delta P \left[\frac{e(t)\partial}{P\partial} \right]^T \quad (19)$$

Trong đó $\frac{\partial e(t)}{\partial P} = \left(\frac{\partial e(t)}{\partial w_k^i}, \frac{\partial e(t)}{\partial w_j}, \frac{\partial e(t)}{\partial w_{jk}^i}, \frac{\partial e(t)}{\partial b_j} \right)$.

Với $e(t) = \hat{y}(t) - y(t)$ ta được:

$$\Delta e(t) \approx \Delta P \left[\frac{\partial \hat{y}(t)}{\partial P} \right]^T \quad (20)$$

Từ hàm lỗi ta suy ra:

$$\Delta P = -\eta(t) e(t) \frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \quad (21)$$

Vì vậy, ta có thể suy ra:

$$\Delta V(t) = -\frac{1}{2} \eta(t) e(t) \left[\frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \right]^T \frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \left(2e(t) - \eta(t) e(t) \left[\frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \right]^T \frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \right) \quad (22)$$

Dựa theo Lyapunov nếu $\Delta V(t) < 0$. Ta thu được:

$$0 < \eta(t) < \frac{2}{\max_t \left\| \frac{\hat{y}(t)\partial}{P\partial} \right\|_2^2} \quad (23)$$

4. Mô phỏng hệ thống

Trong phần này, dựa vào các công thức tính toán xây dựng ở trên nhóm tác giả tiến hành xây dựng chương trình mô phỏng sử dụng phương pháp học mở rộng để kiểm soát hệ thống hỗn loạn Genesisio trên phần mềm Matlab-Simulink để mô phỏng kiểm tra tính ổn định của hệ thống. Mục tiêu chính của việc đồng bộ là tạo ra đầu vào đồng bộ thích hợp $u(k)$ để đảm bảo rằng tín hiệu đầu ra $y(k)$ của hệ thống này có thể xấp xỉ tín hiệu tham chiếu $r(k)$. Các đầu vào của hệ bao gồm lỗi $e(k)$, sự thay đổi của lỗi $\Delta e(k)$ và tổng lỗi $P e(k)$. Các tham số của hệ được đào tạo theo cách giảm dần độ dốc lặp đi lặp lại dựa trên các tín hiệu này. Sau đó, đầu ra của hệ được đưa vào hệ đồng bộ để đồng bộ giám sát hệ là sao hệ luôn duy trì ở trạng thái xác lập.

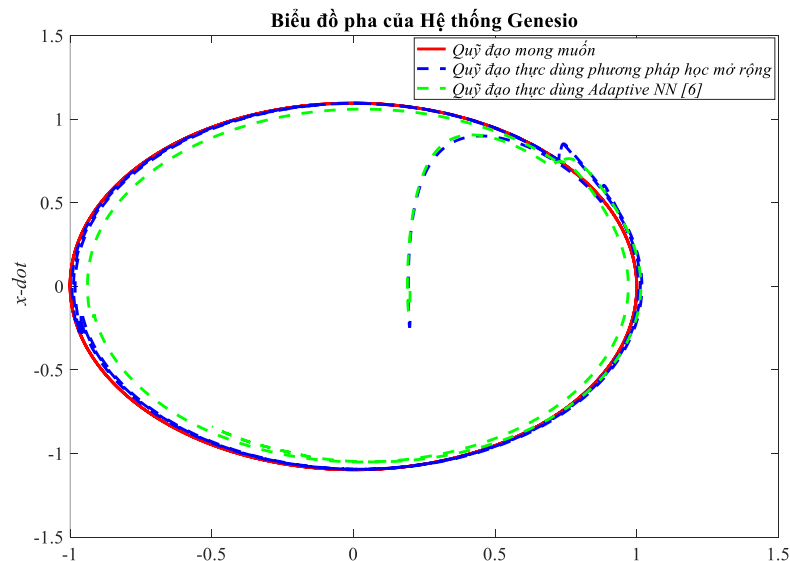
Bảng 1. Bảng thông số ban đầu của bộ đồng bộ được đề xuất

Số lượng đầu vào m	1
Số lớp n_j	1
Số đầu ra n_o	1
w_j	0.01
w_k^j	0.01
w_{jk}^i	0.01
b_j	0.01
Tốc độ học η	0.0001

Đối tượng nhóm tác giả sẽ thực hiện áp dụng đồng bộ giám sát hệ thống hỗn loạn [6] Genesisio Hình 2. Phương trình của hệ hỗn loạn sẽ có dạng như sau:

$$x^{(3)} = f(x) + u \quad (24)$$

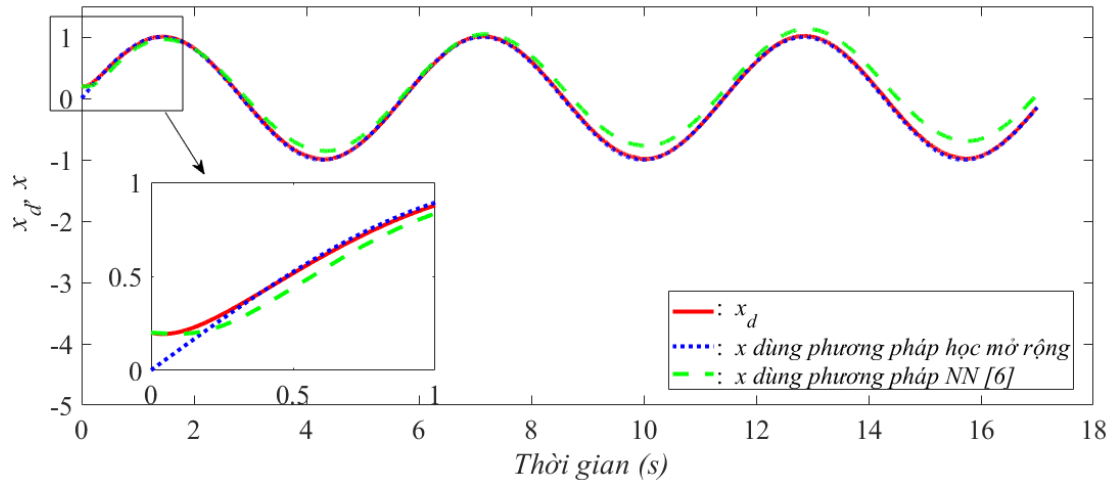
Trong đó ta lấy $f(x) = -6x - 2.92\dot{x} - 1.2\ddot{x} + x^2$ là hàm phi tuyến tính của hệ thống và u là nỗ lực kiểm soát hệ thống. Để quan sát hành vi hỗn loạn không thể đoán trước, hành vi của hệ thống vòng hở với $u=0$ đã được mô phỏng với các điều kiện đầu vào là các giá trị $(x, \dot{x}, \ddot{x}) = (3, -4, 2)$. Để kiểm soát được hệ thống hỗn loạn Genesisio.



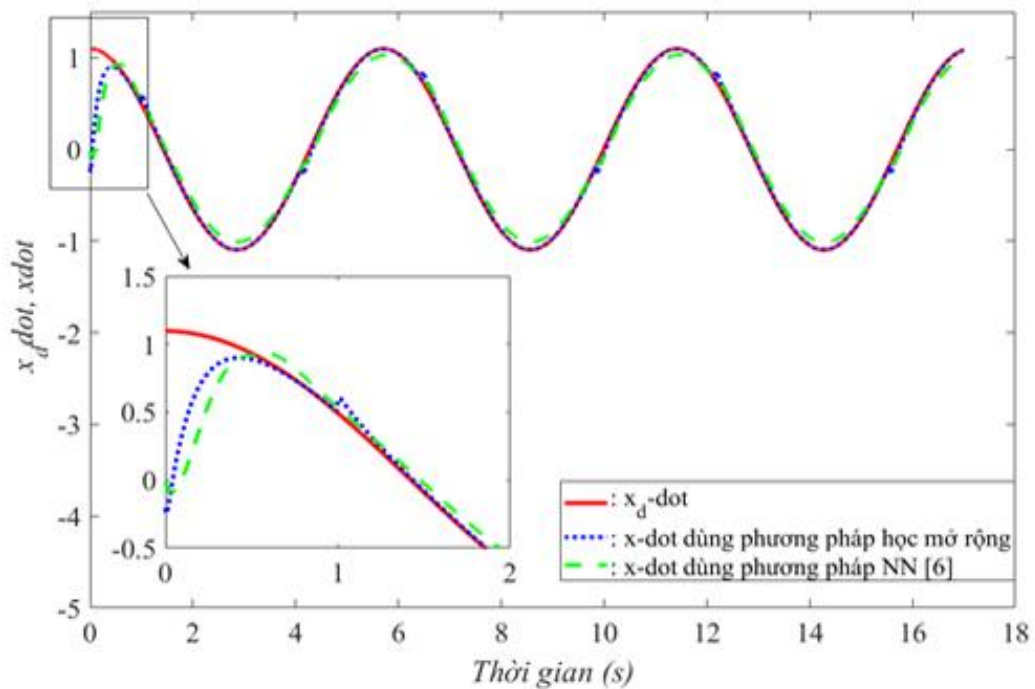
Hình 2. Biểu đồ hỗn loạn của hệ thống Genesisio

Đầu tiên, hệ thống cần được khai báo các thông số và trạng thái đầu vào. Tiếp theo tiến hành khai báo tỷ lệ nơ-ron sau đó chúng ta đi xây dựng chương trình chính cho hệ cuối cùng ta kiểm tra trạng thái tín hiệu đầu ra của hệ. Kết quả mô phỏng được thể hiện tại Hình 3 và Hình 4.

Kết quả của phương pháp đề xuất nên được so sánh với một phương pháp mạng nơ-ron thích nghi (adaptive neural network) [6] để thể hiện được hiệu quả của nó.



(a)

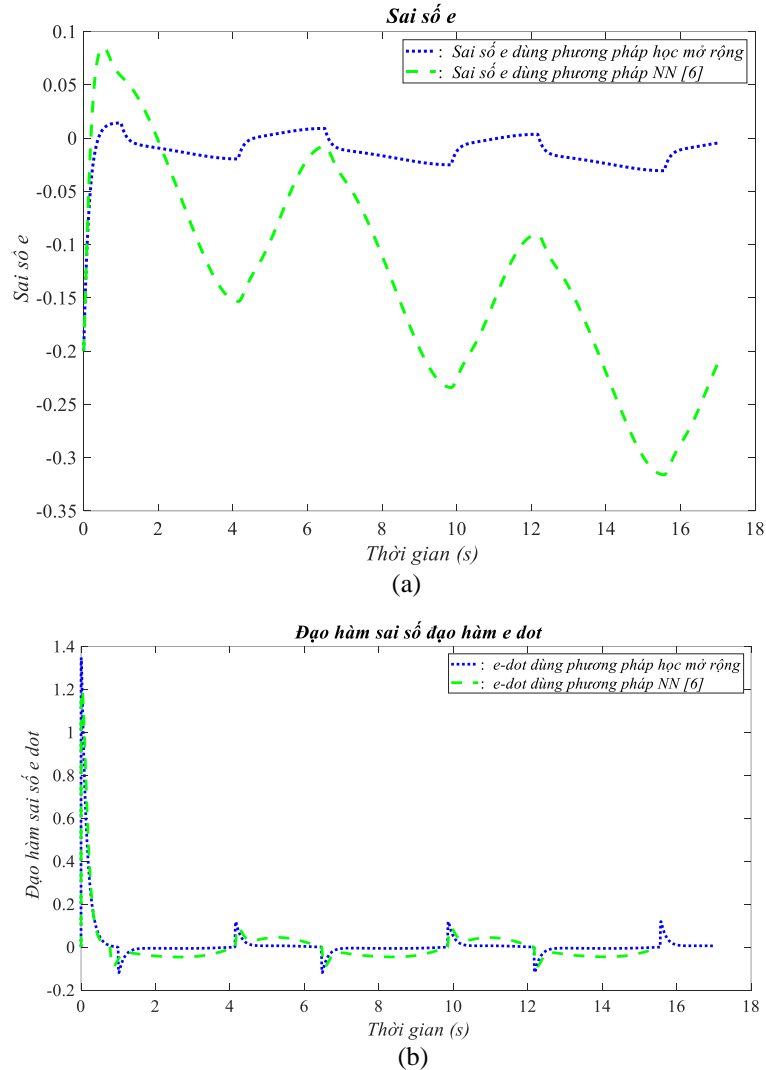


(b)

Hình 3. Quỹ đạo của (x_d, x) và $(x_d\text{-dot}, x\text{-dot})$ sử dụng phương pháp học mở rộng và phương pháp NN [6] (a) (x_d, x) và (b) $x_d\text{-dot}, x\text{-dot}$

Dựa theo kết quả mô phỏng cho hệ thống hỗn loạn Genesio với hai phương pháp phương pháp học mở rộng và phương pháp mạng nơ-ron thích nghi (*Adaptive neural network*) (NN) [6] được thể hiện trong Hình 2-Hình 4 chúng ta nhận thấy rằng bộ đồng bộ dùng phương pháp học rộng luôn duy trì trạng thái ổn định luôn bám theo tham chiếu và đạt đến trạng thái xác lập nhanh hơn so với *Adaptive NN* [6]. Với kết quả mô phỏng này đã thể hiện rất rõ ràng về khả năng làm việc ổn định và tính khả thi rất cao. Cuối cùng, RMSE (sai số trung bình bình phương gốc *root mean square error*) trung bình của

phương pháp học rộng đề xuất của chúng tôi thấp hơn $(0.1709/0.0614)=2.7834$ lần so với *Adaptive NN* [6]. Điều đó chứng tỏ kỹ thuật của chúng tôi rõ ràng hoạt động tốt hơn.



Hình 4. Sai số và đạo hàm sai số e , e -dot sử dụng phương pháp học mở rộng và phương pháp NN [6]
(a) e , (b) e -dot

Bảng 2. So sánh RMSE của phương pháp WLS và SO-WLS

Method	RMSE của e	RMSE của e dot	RMSE trung bình
NN [6]	0.2074	0.1347	0.1709
Phương pháp được đề xuất	0.0247	0.0980	0.0614

Dựa theo kết quả mô phỏng của bộ đồng bộ với nhiễu bên ngoài được thể hiện trong Hình 3, Hình 4 ta thấy được bộ đồng bộ luôn duy trì trạng thái sao cho nhiễu loạn luôn ở trạng thái nhỏ nhất. Với kết quả mô hình này ta nhận thấy rằng hiệu suất vẫn có thể đạt được ngay cả khi có nhiễu bên ngoài xảy ra.

5. Kết luận

Kết quả mô phỏng trên phần mềm đã cho chúng ta thấy được khả năng đồng bộ của hệ thống học mở rộng đối với hệ thống hỗn loạn Genesis. Nhờ có cả ứng dụng mạng nơ-ron, hệ thống học mở rộng học rất nhanh để tạo ra các đầu vào đồng bộ chính xác cho hệ thống. Từ đó chúng ta cũng cho thấy hiệu suất tốt hơn về độ chính xác đồng bộ và kiểm soát nhiễu loạn tốt hơn so với một số phương pháp tiếp cận

dựa trên mạng nơ-ron và mô hình nơ-ron mờ. Nhược điểm đối với phương pháp này là thiếu đi phương pháp tối ưu tham số cho hệ thống. Trong tương lai nhóm tác giả sẽ áp dụng thuật toán tối ưu như PSO vào bộ điều khiển hệ thống.

Xung đột lợi ích

Tất cả các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. H. Park, "Synchronization of Genesio chaotic system via backstepping approach," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 27, no. 5, pp. 1369–1375, 2006.
- [2] C. M. Lin, Y. F. Peng, and M. H. Lin, "CMAC-based adaptive backstepping synchronization of uncertain chaotic systems," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 42, no. 2, pp. 981–988, 2009.
- [3] C. M. Lin, D. H. Pham, and T. T. Huynh, "Synchronization of chaotic system using a brain-imitated neural network controller and its applications for secure communications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75923–75944, 2021.
- [4] C. M. Lin, D. H. Pham, and T. T. Huynh, "Encryption and decryption of audio signal and image secure communications using chaotic system synchronization control by TSK fuzzy brain emotional learning controllers," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 52, no. 12, pp. 13684–13698, Dec. 2022.
- [5] D. H. Pham, C. M. Lin, V. N. Giap, T. T. Huynh, and H. Y. Cho, "Wavelet interval type-2 Takagi-Kang-Sugeno hybrid controller for time-series prediction and chaotic synchronization," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 104313–104327, 2022.
- [6] T. T. Huynh, C. M. Lin, and D. H. Pham, "Memristive Chaotic Systems-Based Audio Secure Communication Using Dual-Function-Link Fuzzy Brain Emotional Controller," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 24, pp. 2946–2968, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40815-022-01312-0>.
- [7] C. L. P. Chen and Z. Liu, "Broad learning system: An effective and efficient incremental learning system without the need for deep architecture," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 29, no. 1, pp. 10–24, Jan. 2018.
- [8] S. Feng and C. L. P. Chen, "Broad learning system for control of nonlinear dynamic systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern.*, 2018.
- [9] L. Zhang *et al.*, "Analysis and variants of broad learning system," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.: Syst.*, vol. 52, no. 1, pp. 334–344, 2020.
- [10] T. Li, S. Tong, Y. Xiao, and Q. Shan, "Broad learning system approximation-based adaptive optimal control for unknown discrete-time nonlinear systems," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.: Syst.*, vol. 52, no. 8, pp. 5028–5038, 2021.
- [11] S. Sui, C. P. Chen, S. Tong, and S. Feng, "Finite-time adaptive quantized control of stochastic nonlinear systems with input quantization: A broad learning system based identification method," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 10, pp. 8555–8565, 2019.

Van-Tan Do was born in 2001 in Hai Phong, Vietnam. He graduated in Control and Automation from Hai Phong University in 2023. He is currently pursuing a Master's degree at Hung Yen University of Technical Education, class code H60231 (2023-2025). His research interests include the synchronization of two chaotic systems.

Email: dovantan04112001@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7236-9215>

The-Thanh Bui is with Faculty of Electromechanics, Hanoi industrial textile garment university.

Currently a lecturer at the Faculty of Electromechanics, Hanoi industrial textile garment university, with research fields in automation control and robotics.

Email: thanhtb@hict.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3581-122X>

Duc-Hung Pham was born in Hung Yen Province, Vietnam, in 1983. He received the B.S. degree in Automatic Control from Hanoi University of Science and Technology, Vietnam, in 2006, the M.S. degree in Automation from Hanoi University of Science and Technology, Vietnam, in 2011, and he received Ph.D. degree in the Department of Electrical Engineering, Yuan Ze University, Chung-Li, Taiwan, in 2022. He is also a Lecturer with Faculty Electrical and Electronic, Hung Yen University of technical and education, Vietnam. His research interests include fuzzy logic control, neural network, cerebellar model articulation controller, brain emotional learning-based intelligent controller, fault tolerant control, secure communication and robot control.

Email: duchung.pham@utehy.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3344-1593>.

Ngoc-Thang Pham is with Faculty Electrical and Electronic Engineering, Hung Yen University of Technology and Education.

Email: phamngocthangutehy@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1107-8965>. Tel: 0912287247.