

THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN PHI TUYẾN VỚI THAM SỐ LỰA CHỌN – MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG BỘ HỖN LOẠN TOÀN CỤC

Vũ Anh Đào*, Nguyễn Văn Thọ*, Bùi Thị Dân*

*Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

*Đại học Duy Tân

Tóm tắt: Đồng bộ hỗn loạn luôn là vấn đề được quan tâm vì các hệ hỗn loạn chống lại sự đồng bộ hóa do có số mũ Lyapunov dương. Do sự nhạy cảm với điều kiện đầu của tín hiệu hỗn loạn nên sự hội tụ của hai quỹ đạo giống hệt nhau cũng hiếm khi xảy ra. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp đồng bộ hóa hỗn loạn được áp dụng trong thông dựa trên hỗn loạn. Trong phương pháp của chúng tôi, một thuật toán điều khiển phi tuyến với tùy chọn k -hằng số được đề xuất để đồng bộ toàn cục giữa hai hệ thống hỗn loạn. Đặc biệt, cách tiếp cận của chúng tôi có thể giảm thời gian đồng bộ hóa so với các phương pháp được đề xuất trước đó. Mô phỏng số xác nhận hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Từ khóa: đồng bộ hỗn loạn; điều khiển phi tuyến, thuyết ổn định Lyapunov.

I. MỞ ĐẦU

Các hệ thống hỗn loạn khá đơn giản, nhưng chúng có thể tạo ra các tín hiệu rất phức tạp [1]. Hỗn loạn thể hiện trạng thái lộn xộn thiếu trật tự của các hiện tượng tự nhiên. Về mặt khoa học, lý thuyết hỗn loạn dùng để mô hình hóa một hệ thống vận động có vẻ như không có trật tự, nhưng lại tuân theo một quy luật và nguyên tắc nào đó với các đặc điểm đặc trưng như nhạy cảm với điều kiện đầu; vận động bất quy tắc trong mặt phẳng pha và là hệ thống không có các thông số thống kê xác suất (đây là điểm khác biệt với quá trình ngẫu nhiên) [2]. Sự nhạy cảm với điều kiện đầu liên quan đến hàm mũ Lyapunov. Số mũ Lyapunov dương là một tiêu chuẩn xác định hành vi hỗn loạn trong hệ động học phi tuyến. Nếu số mũ lớn nhất của hệ động học dương thì hệ được mở rộng và các quỹ đạo lân cận sẽ phân kỳ. Về bản chất, số mũ Lyapunov định lượng độ nhạy cảm vào điều kiện đầu của quỹ đạo trong vùng hút. Khi có ít nhất một số mũ Lyapunov dương, quỹ đạo lân cận sẽ phân kỳ theo cấp số nhân, hệ số giãn nở theo một hướng hoặc nhiều hướng.

Hiện tượng hỗn loạn đã được biết đến từ những năm cuối của thế kỷ 19. Poincare là nhà khoa học đầu tiên đã

quan sát và đưa ra thông báo quan trọng liên quan đến tình trạng hỗn loạn trong các hệ thống động phi tuyến [3]. Bản chất nhạy cảm của các hệ thống hỗn loạn thường được gọi là hiệu ứng cánh bướm [4] - một hiện tượng được tìm ra bởi Edward Lorenz. Đồng bộ hóa hệ thống hỗn loạn là một hiện tượng có thể xảy ra khi hai hoặc nhiều bộ dao động hỗn loạn ghép hoặc khi một dao động hỗn loạn dẫn động một dao động hỗn loạn khác [1]. Vì “hiệu ứng cánh bướm” gây ra sự phân kỳ theo cấp số nhân của quỹ đạo của hai hệ thống hỗn loạn giống nhau bắt đầu với các điều kiện đầu gần như giống nhau, việc đồng bộ hóa hai hệ thống hỗn loạn dường như vẫn là một vấn đề rất thách thức. Hệ thống hỗn loạn cụ thể được gọi là hệ thống chính hoặc hệ thống dẫn thì hệ thống hỗn loạn khác được gọi là hệ thống phụ hoặc hệ thống phản ứng, sau đó ý tưởng của việc đồng bộ hóa là sử dụng đầu ra của hệ thống chính để điều khiển hệ thống phụ sao cho đầu ra của hệ thống phụ theo sát đầu ra của hệ thống chính một cách tiệm cận.

Một nghiên cứu được khởi xướng bởi Pecora và Carroll đã chứng minh rằng hai hệ thống hỗn loạn có cùng một tập các giá trị tham số có thể được đồng bộ hóa với nhau [5]. Kết quả này có ý nghĩa quan trọng đối với việc thúc đẩy nghiên cứu ứng dụng hỗn loạn vào công nghệ thông tin. Vì số mũ Lyapunov dương, một hệ thống hỗn loạn không đồng bộ với bất cứ hệ thống nào [6]. Sự đồng bộ hóa của hai hoặc nhiều hệ thống hỗn loạn bắt nguồn từ suy nghĩ thông thường là hai điều kiện đầu sẽ xuất phát gần nhau trong không gian pha. Đối với hai hệ thống hỗn loạn riêng biệt, quỹ đạo được bắt đầu với điều kiện đầu gần nhau cũng sẽ phân kỳ. Hai hệ thống hỗn loạn không ghép nối giống hệt nhau có số mũ Lyapunov dương gấp đôi so với chúng được ghép nối [6]. Hay nói cách khác, có thể thêm vào các ghép nối giữa các hệ thống riêng lẻ để thay đổi phổ Lyapunov-tùy thuộc vào khớp nối và các hệ thống cụ thể, từ đó có thể giảm hoặc tăng số mũ Lyapunov dương.

Sau Pecora và Carroll, nhiều phương pháp đồng bộ hóa đã được phát triển như năm 1989, Aranson và Rul'kov đã xuất bản một bài báo phân tích các vùng đồng bộ hóa trong các hệ thống động lực học đa chiều [7]; Afraimovich và cộng sự đã xuất bản một bài báo nổi tiếng vào năm 1986 về sự đồng bộ hóa lẫn nhau của hai dao động thời gian không tự hành, hỗn loạn [8] ... Cho đến nay, đồng bộ hóa hỗn loạn đã được nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực như vật lý [9], hóa

Tác giả liên hệ: Vũ Anh Đào,

Email: daova@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 17/02/2021, chỉnh sửa: 10/07/2021, chấp nhận đăng: 20/7/2021.

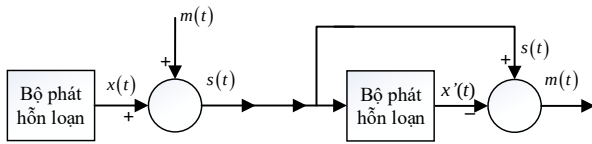
học [10], sinh học [11], điều khiển, như điều khiển chế độ trượt [12]...

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp đồng bộ hỗn loạn sử dụng phương pháp điều khiển phi tuyến kết hợp lý thuyết ổn định và được áp dụng trong các hệ thống truyền thông bảo mật dựa trên hỗn loạn.

Bài báo này được cấu trúc như sau. Đầu tiên, chúng tôi mô tả mô hình hệ thống thông tin bảo mật dựa trên hỗn loạn. Giới thiệu đặc điểm của tín hiệu hỗn loạn và đồng bộ hỗn loạn, một phương pháp đồng bộ hóa hỗn loạn được đề xuất, phân tích các ưu điểm của phương pháp, kết quả mô phỏng được trình bày trong phần tiếp theo. Cuối cùng là thảo luận và kết luận.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Mô hình của các hệ thống truyền tin dựa trên hỗn loạn được thể hiện trong Hình 1 [13].



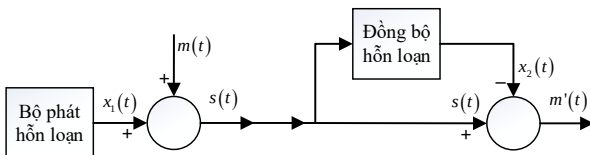
Hình 1. Hệ thống thông tin dựa trên hỗn loạn

Đây là hệ thống của Cuomo và Oppenheim, bản tin gốc, $m(t)$, có biên độ nhỏ được cộng với tín hiệu hỗn loạn, $x(t)$, có biên độ lớn hơn để tạo ra biến $s(t)$. Biến này được truyền đến phía thu, ở đây giả sử có sự đồng bộ hỗn loạn giữa phía phát và phía thu. Sau đó, bản tin khôi phục bằng cách thực hiện phép trừ giữa tín hiệu truyền trên kênh $s(t)$ và tín hiệu hỗn loạn, $x'(t)$.

Nếu không có sự đồng bộ giữa phía phát và phía thu thì hệ thống thông tin hỗn loạn được thực hiện như Hình 2.

Trong mô hình này, thông tin gốc, $m(t)$, được cộng thêm vào tín hiệu hỗn loạn, $x_1(t)$, trước khi được đưa lên kênh truyền. Như vậy tín hiệu trên kênh truyền sẽ là:

$$s(t) = m(t) + x_1(t) \quad (1)$$



Hình 2. Hệ thống thông tin dựa trên hỗn loạn có đồng bộ hóa

Tại bộ thu sẽ tiến hành đồng bộ hóa giữa bộ thu tín hiệu hỗn loạn và bộ phát để có được các tín hiệu hỗn hợp trong bộ thu. Sau khi đồng bộ, hệ thống sẽ lấy tín hiệu nhận được từ kênh truyền, $s(t)$, trừ đi các tín hiệu hỗn loạn đã được đồng bộ, $x_2(t)$, để khôi phục lại thông tin gốc.

$$m'(t) = s(t) - x_2(t) \equiv m(t) \quad (2)$$

Do đặc điểm của tín hiệu hỗn loạn $x_1(t)$ là vận động bất quy tắc và nhạy cảm với điều kiện đầu nên khi được cộng thêm tín hiệu hỗn loạn, nó sẽ làm tăng giá trị entropy. Chính vì vậy, tín hiệu sẽ khó có khả năng giải mã thông tin, giúp hệ thống nâng cao tính bảo mật.

Tuy nhiên, do không có đặc tính chu kỳ nên tín hiệu hỗn loạn cũng gây ra những khó khăn rất lớn trong việc đồng bộ tín hiệu giữa máy thu và máy phát. Do đó, hệ thống chỉ có thể hữu dụng nếu giải quyết được vấn đề đồng bộ hỗn loạn.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp đồng bộ hóa hỗn loạn với độ chính xác thỏa đáng để đảm bảo tính khả thi của mô hình hệ thống. Trong phương pháp này, hệ thống vẫn có thể đồng bộ mà không cần thông tin trạng thái hệ thống của hệ thống dẫn động.

III. TÍN HIỆU HỖN LOẠN VÀ ĐỒNG BỘ

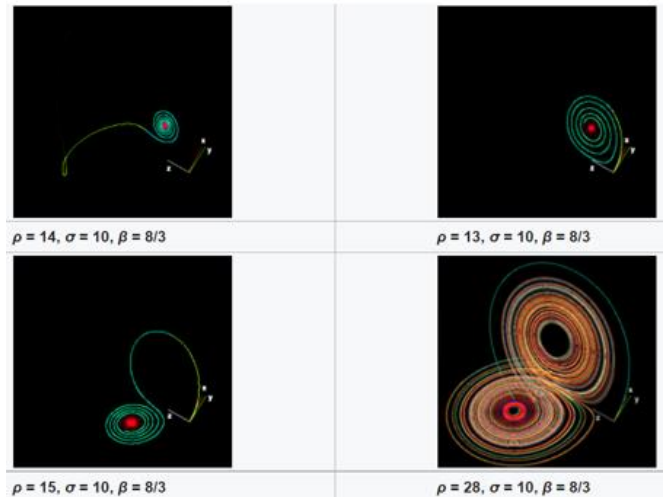
A. Tín hiệu hỗn loạn

Hãy xem xét hệ thống động Lorenz liên tục [14] được biểu diễn bằng phương trình sai phân sau:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z \end{aligned} \quad (3)$$

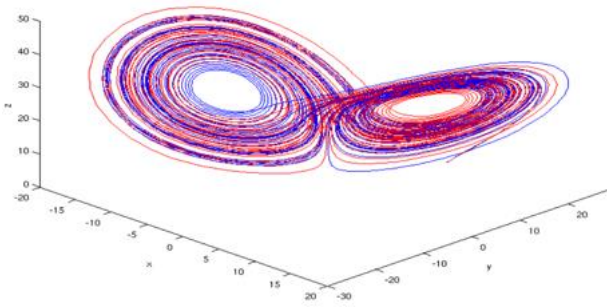
Trong đó x, y, z là các biến trạng thái; σ, ρ, β là các tham số của hệ thống, tương ứng với số Prandtl, số Rayleigh và các kích thước vật lý của chính lớp đó. Để giải hệ phương trình (3), ta chọn giá trị của các tham số là hằng số. Theo Saltzman (1962), đặt $\sigma = 10$, vì vậy $\beta = 8/3$, số Rayleigh để đảm bảo tính không ổn định xảy ra khi $\rho = 24.74$. Ta cũng có thể chọn giá trị gần tới hạn, $\rho = 28$, khi đó hệ Lorenz rơi vào trạng thái vận động hỗn loạn [15].

Hình 3 mô phỏng hệ Lorenz với các giá trị ρ khác nhau.



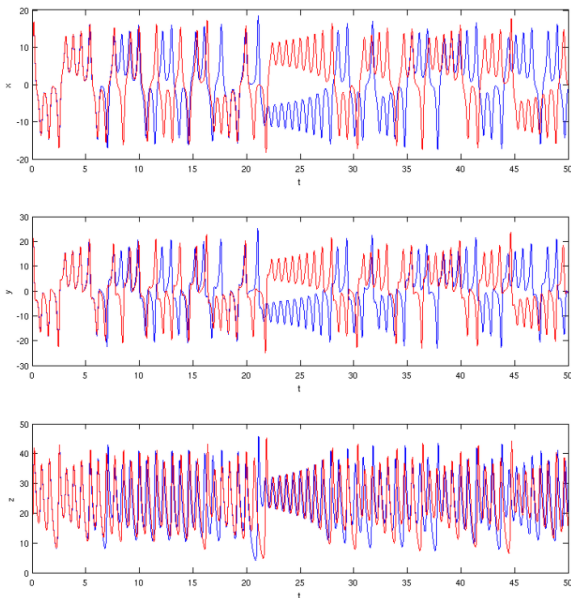
Hình 3. Hệ Lorenz với các giá trị ρ khác nhau.

Hình 4 là không gian pha của hệ Lorenz có giá trị đầu giống nhau, nhưng với dung sai tương ứng là 10^{-3} (đường màu xanh) và 10^{-6} (đường màu đỏ). Hai quỹ đạo này dường như khác nhau khi nhìn vào bên trong của nó, một bên màu xanh và một bên màu đỏ. Tuy nhiên, rất khó có thể xác định một cách chính xác đường nào nhanh hơn và điểm bắt đầu tạo nên sự sai khác. Để làm rõ hơn vấn đề này, chúng tôi chia đồ thị 3D thành ba thành phần riêng biệt như hình 4.



Hình 4. Không gian pha với dung sai khác nhau trong hệ Lorenz hỗn loạn

Hình 5 mô phỏng phương trình Lorenz với cùng điều kiện đầu nhưng tần số lấy mẫu chênh nhau 3.5 lần. Tần số lấy mẫu càng lớn thì độ chính xác càng cao. Trong khoảng thời gian từ 0 đến 5s, hai quỹ đạo này trùng nhau, nhưng từ 5-10s thì đã có sự sai khác, và dẫn đến sai khác hoàn toàn khi thời gian mô phỏng đạt đến 50s.



Hình 5. Sự sai khác của các thành phần x , y và z trong hệ Lorenz hỗn loạn với tốc độ lấy mẫu sai khác nhau 3.5 lần.

B. Đồng bộ hỗn loạn

Hãy xem xét hệ thống Lorenz bao gồm một hệ thống dẫn động và một hệ thống phản ứng. Hệ thống dẫn động được mô tả bằng phương trình động lực học Lorenz như sau:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= \sigma(y_1 - x_1) \\ \frac{dy_1}{dt} &= \rho x_1 - y_1 - x_1 z_1 \\ \frac{dz_1}{dt} &= x_1 y_1 - \beta z_1\end{aligned}\quad (4)$$

Hệ thống phản ứng cũng được mô tả bởi hệ thống động Lorenz:

$$\begin{aligned}\frac{dx_2}{dt} &= \sigma(y_2 - x_2) + u_1 \\ \frac{dy_2}{dt} &= \rho x_2 - y_2 - x_2 z_2 + u_2 \\ \frac{dz_2}{dt} &= x_2 y_2 - \beta z_2 + u_3\end{aligned}\quad (5)$$

Ở đây, $u_i (i = 1, 2, 3)$ là luật điều khiển cần được xác định để đảm bảo hệ thống phản ứng đồng bộ với hệ thống truyền dẫn động.

Sai số giữa hai hệ thống hỗn loạn được xác định:

$$\begin{aligned}e_1 &= x_2 - x_1 \\ e_2 &= y_2 - y_1 \\ e_3 &= z_2 - z_1\end{aligned}\quad (6)$$

Đạo hàm trên hai vế của phương trình (6), sau đó thay phương trình (4) và (5) vào ta thu được phương trình vi phân của sai số hệ thống như sau:

$$\begin{aligned}\frac{de_1}{dt} &= \sigma(e_2 - e_1) + u_1 \\ \frac{de_2}{dt} &= \rho e_1 - e_2 + x_2 z_2 - x_1 z_1 + u_2 \\ \frac{de_3}{dt} &= -\beta e_3 - x_2 y_2 + x_1 y_1 + u_3\end{aligned}\quad (7)$$

Nhiệm vụ của luật điều khiển là đảm bảo sự đồng bộ giữa hệ thống dẫn động (4) và hệ thống phản ứng (5) sao cho sai số (6) về 0.

Lựa chọn luật điều khiển:

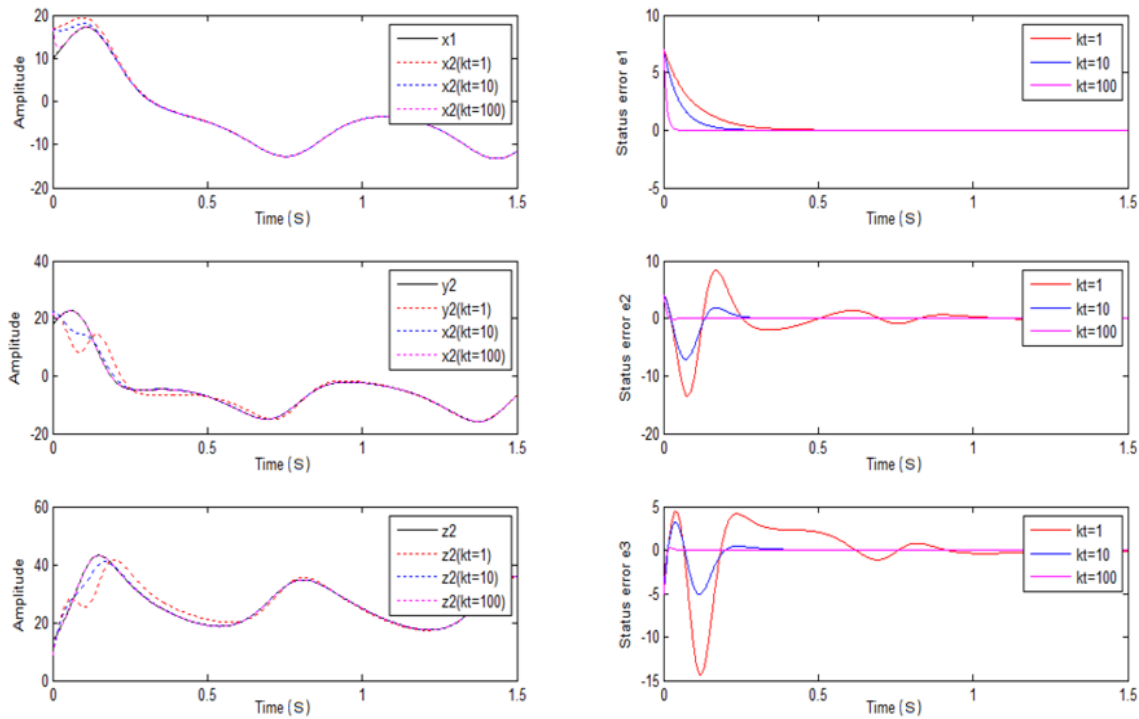
$$\begin{aligned}u_1 &= -ke_1 - \sigma e_2 \\ u_2 &= -ke_2 - \rho e_1 + x_1 z_1 - x_2 z_2 \\ u_3 &= -ke_3 - x_1 y_1 + x_2 y_2\end{aligned}\quad (8)$$

Trong đó k là hằng số. Từ phương trình (7) và (8) ta có:

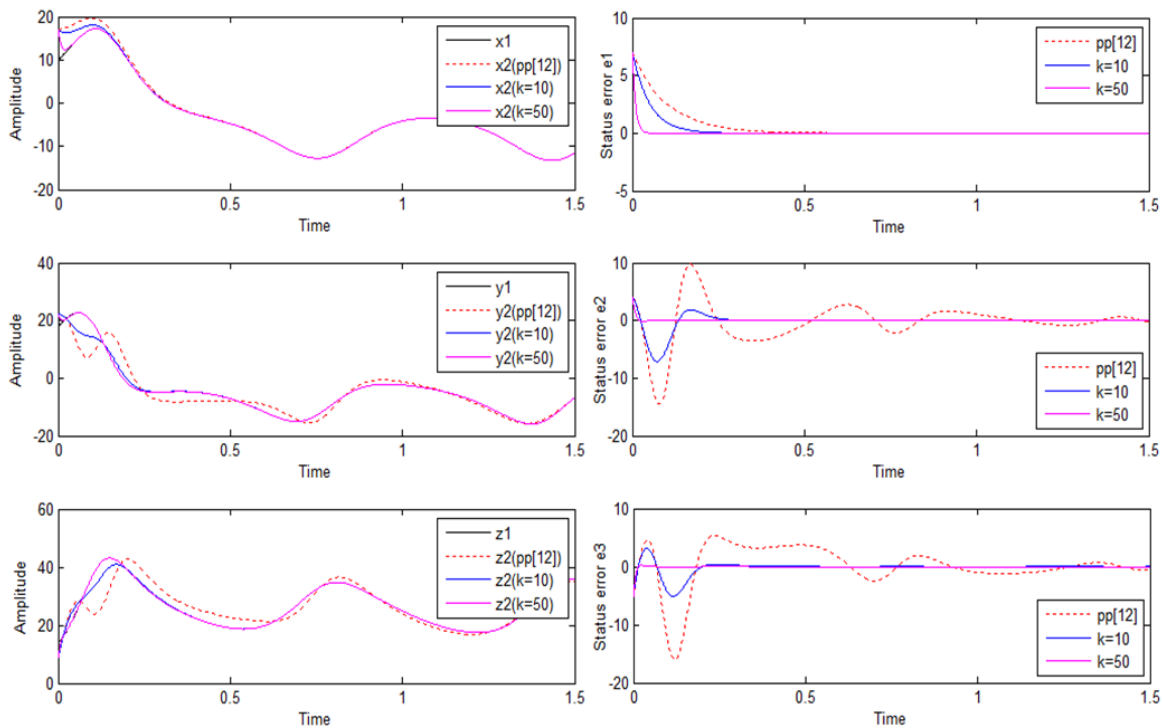
$$\begin{aligned}\frac{de_1}{dt} &= -(\sigma + k)e_1 \\ \frac{de_2}{dt} &= -(1 + k)e_2 \\ \frac{de_3}{dt} &= -(\beta + k)e_3\end{aligned}\quad (9)$$

Giải phương trình (9) ta được:

$$e_1 = e^{-(\sigma+k)t}; e_2 = e^{-(1+k)t}; e_3 = e^{-(\beta+k)t}\quad (10)$$



Hình 6. Đồng bộ hỗn loạn (a) Các biến x, y, z và (b) là sai số tương ứng với k được chọn lần lượt là 1, 10 và 100.



Hình 7. Đồng bộ hỗn loạn (a) Các biến x, y, z và (b) là sai số tương ứng so với phương pháp [12].

Khi t tiến đến ∞ thì e_1, e_2, e_3 tiến đến 0, nghĩa là hệ thống dẫn động và hệ thống phản ứng đồng bộ với nhau.

Hàm Lyapunov V phải luôn dương trên $\mathbb{R}^3 \setminus \{0\}$, đạo hàm của nó phải luôn âm trên $\mathbb{R}^3$ và $V(0) = 0$, vậy nên chọn hàm Lyapunov để đảm bảo tính ổn định của hệ hỗn loạn Lorenz [16]:

$$V(e) = \frac{1}{2}(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2) \quad (11)$$

Đạo hàm hai vế của phương trình (11), ta có:

$$\frac{dV(e)}{dt} = e_1 \frac{de_1}{dt} + e_2 \frac{de_2}{dt} + e_3 \frac{de_3}{dt} \quad (12)$$

Thay phương trình (9) vào (12), ta được:

$$\frac{dV(e)}{dt} = -(\sigma + k)e_1^2 - (1 + k)e_2^2 - (\beta + k)e_3^2 \quad (13)$$

Chúng tôi nhận thấy rằng $V(e)$ là một hàm dương trong R^3 và $V'(e)$ là một hàm âm trong R^3 , tức là hệ ổn định tại điểm cân bằng $(0,0,0)$. Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, lựa chọn luật điều khiển như phương trình (8) thì sẽ đảm bảo sự ổn định của các hệ thống hỗn loạn Lorenz.

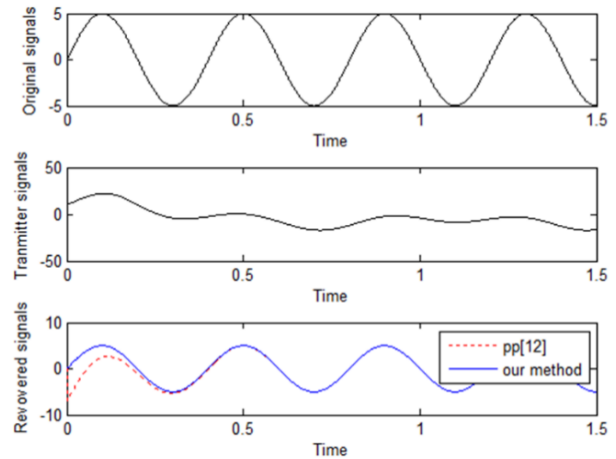
IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để thử nghiệm, chúng tôi tiến hành mô phỏng luật điều khiển đồng bộ ở trên bằng phương pháp Runge-Kutta với các tham số $\sigma = 10, \rho = 28, \beta = 8/3$ và điều kiện đầu cho hệ thống dẫn động là $x_1(0) = 10, y_1(0) = 18, z_1(0) = 14$, điều kiện đầu cho hệ phản ứng được xác định như sau: $x_2(0) = 17, y_2(0) = 22, z_2(0) = 9$. Hằng số k được chọn lần lượt là 1, 10 và 100, với trục thời gian được tính theo đơn vị giây (s) minh họa trong Hình 6.

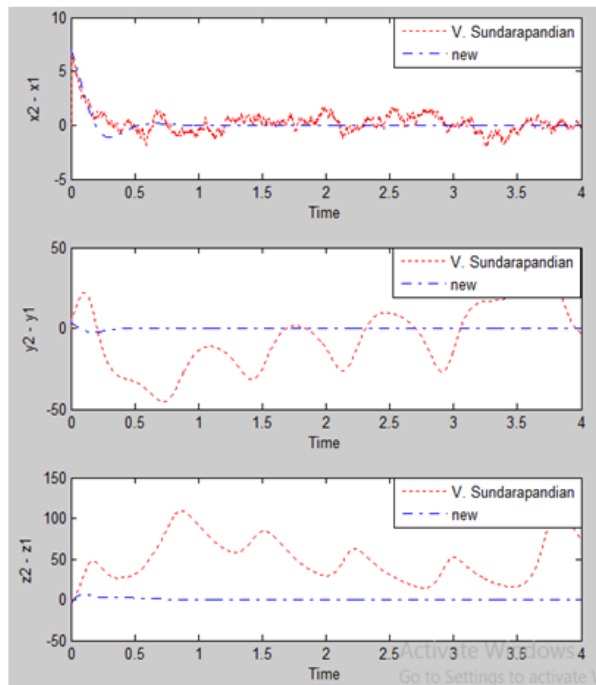
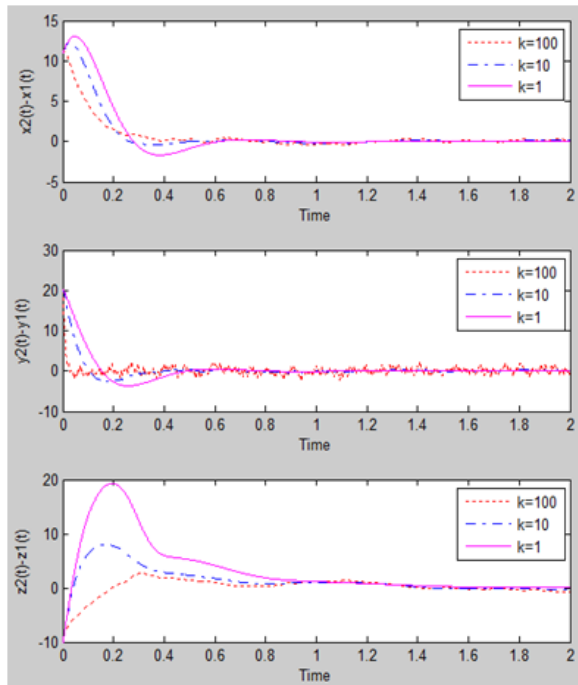
Chúng tôi cũng mô phỏng phương pháp đồng bộ trong [12] để so sánh, kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 7. Hình 7 (a) mô phỏng ba biến x, y, z của hàm hỗn loạn Lorenz và (b) là sai số e_1, e_2, e_3 khi k được chọn lần lượt là 10 và 50, được xác định theo phương trình (6). Cả ba thành phần sai số đều rất nhanh chóng tiến tới 0 cho cả ba thành phần, thể hiện sự đồng bộ hóa toàn cục; trong khi phương pháp [12] có thành phần e_2, e_3 dao động khá nhiều, thể

kênh. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 8. Trong phương pháp của chúng tôi, thông tin khôi phục chính xác hơn phương pháp trong tài liệu tham khảo [12].

Phương pháp đề xuất cũng đạt được kết quả tương tự khi so sánh với phương pháp được đưa ra trong tài liệu tham khảo [17], minh họa trong hình 9.



Hình 8. Khôi phục tín hiệu sau khi sử dụng phương pháp đồng bộ hỗn loạn



Hình 9. Đồng bộ hỗn loạn (a) Các biến x, y, z và (b) là sai số tương ứng so với phương pháp [15]

hiện kết quả đồng bộ hóa không được tốt.

So với phương pháp trong [12], phương pháp của chúng tôi mất ít thời gian hơn để đồng bộ hóa. Mặt khác, hằng số k càng lớn thì thời gian đồng bộ càng nhanh. Điều này có thể được giải thích là do hằng số k trong phương trình (8) hoạt động như một bộ khuếch đại sai số giữa hai hệ thống hỗn loạn. Tuy nhiên, nếu hằng số k quá lớn, hàm điều khiển sẽ dao động (tạo ra xung vuông tần số cao).

Để chứng minh rõ hơn kết quả đạt được, chúng tôi cũng mô phỏng tín hiệu $m(t) = 5 \sin(5\pi t)$ được truyền trên

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một phương pháp đồng bộ hóa hỗn loạn sử dụng bộ điều khiển phi tuyến đã được đề xuất. Ứng dụng của hệ thống đồng bộ hỗn loạn có thể được sử dụng để tiếp cận thành công các hệ thống thông tin liên lạc được bảo mật. Một ưu điểm đáng kể của cách tiếp cận này là giảm đáng kể thời gian đồng bộ hóa và sai số bằng cách chọn các hằng số k một cách thích hợp. Mô phỏng số cũng cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông có mã số 06-HV-2021-DT1

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Louis M. Pecora and Thomas L. Carroll, "Synchronization of chaotic systems", Chaos 25, 097611, 2015.
- [2] Kocarev, L. and S. Lian, "Chaos-based Cryptography: Theory, Algorithms and Applications (1st ed.)", Springer Publishing Company, Incorporated, 2011.
- [3] S. H. Strogatz, "Nonlinear Dynamics And Chaos: With Applications To Physics", Biology, Chemistry, And Engineering, Westview Press, 2001.
- [4] Alligood, K.T., Sauer, T. & Yorke, J.A, "Chaos: An Introduction to Dynamical Systems", Springer, New York, 1997.
- [5] L. M. Pecora and T. L. Carroll, "Synchronization in chaotic systems", Physical Review Letters, vol. 64, no. 8, pp. 821-824, 1990.
- [6] Gilmore, R. and M. Lefranc, "The topology of chaos: Alice in stretch and squeezeland", Chichester: Wiley, 2002.
- [7] A. R. Volkovskii and N. F. Rul'kov, "Experimental study of bifurcations at the threshold for stochastic locking," Sov. Tech. Phys. Lett. 15, 249, 1989.
- [8] V. S. Afraimovich, N. N. Verichev, and M. I. Rabinovich, "Stochastic synchronization of oscillations in dissipative systems," Radiophys. Quantum Electron, 29(9), 795, 1986.
- [9] Lakshmanan, M. & Murali, K, "Nonlinear Oscillators: Controlling and Synchronization", World Scientific, Singapore, 1996.
- [10] Han, S.K., Kerr, C. & Kuramoto, Y, "Dephasing and bursting in coupled neural oscillators", Phys. Rev. Lett, Vol. 75, pp 3190-3193, 1995.
- [11] Blasius, B., Huppert, A. & Stone, L, "Complex dynamics and phase synchronization in spatially extended ecological system", Nature, Vol. 399, pp 354-359, 1999.
- [12] Dr. V. Sundarapandian, "Global Chaos Synchronization of Lorenz and Pehlivan Chaotic Systems by Nonlinear Control", International Journal of Advances in Science and Technology, Vol. 2, No.3, 2011.
- [13] Marcio Eisencraft, Romis Attux, Ricardo Suyama, "Chaotic Signals in Digital Communications", CRC Press, 2013.
- [14] Gonchenko, S. V., I. I. Ovsiyannikov, and J. C. Tatjer, "Birth of discrete lorenz attractors at the bifurcations of 3d maps with homoclinic tangencies to saddle points", Regular and Chaotic Dynamics 19 (4), 495–505, 2014.
- [15] Edward N. Lorenz, "Deterministic Nonperiodic Flow", Journal of the Atmospheric Sciences, 1963.
- [16] Megretski, "DYNAMICS OF NONLINEAR SYSTEMS - Finding Lyapunov Functions", 2003.
- [17] Dr. Sundarapandian Vaidyanathan, "Complete Chaos Synchronization of six-term Sundarapandian Chaotic systems with exponential Nonlinearity via Active and Adaptive Control", 2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE).

THE NONLINEAR CONTROL ALGORITHM WITH PARAMETER SELECTION - A GLOBAL SYNCHRONOUS MOTHOD

Abstract: Synchronization of chaotic systems has always been intriguing, since chaotic systems are known to resist synchronization because of their positive Lyapunov exponents. The convergence of the two systems to identical trajectories is a surprise. In this paper, we propose a chaotic

synchronization method to be applied in chaos-based communication. In our method, a nonlinear control algorithm with k-constant selection is proposed for global synchronization between two chaotic systems. In particular, our approach can reduce synchronization times compared to previously suggested methods. Numerical simulation confirms the effectiveness of the proposed method.



Vu Anh Dao received the Diploma of Cybernetics Engineer, Automatic Control and Measurement Master from Hanoi University of Science and Technology, Vietnam in 1999 and 2001, respectively. She has been studying as a PhD student at the School of Electronics and Telecommunications (SET), Hanoi University of Science and Technology (HUST), Vietnam since 2017, and is a lecturer in the Faculty of Electronics Engineering at the Posts and Telecommunications Institute of Technology (PTIT). Her main research interests are Cybernetics, electronics design, all-optical signal processing, optical high-speed and chaos-based digital communications.

Nguyen Van Tho has been studying as a PhD student at the School of Electronics and Telecommunications (SET), Hanoi University of Science and Technology (HUST), Vietnam since 2015, and is a lecturer at the Duy Tan University.



Bui Thi Dan received her Master's degree in Electronics and Telecommunications from Hanoi National University, Vietnam in 2003. She is a lecturer in the Department of Electronic Engineering at the Academy of Posts and Telecommunications Technology (PTIT). Her main research interests are Telecommunications systems, electronic design, digital communication.