

ĐỒNG BỘ HỆ CHAOTIC LORENZ DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Nguyễn Hoàng Dũng¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 20/02/2013

Ngày chấp nhận: 19/08/2013

Title:

Synchronization for Lorenz chaotic system using sliding mode controller

Từ khóa:

Bộ điều khiển trượt, hệ Lorenz, hệ chaotic

Keywords:

Sliding mode controller, Lorenz system, chaotic system

ABSTRACT

This paper proposes a method for synchronizing Lorenz chaotic system consisting of one master and one slave. Sliding mode controller (SMC) is used to synchronize the above system. Moreover a Lyapunov function candidate is applied to ensure the stability of the system and adaptivity of the controller. The above proposed algorithm is developed basing on Simulink of MATLAB. The simulation result demonstrated for synchronization between the master and slave system is approximately 99.94%. This research work is the initial basis results for studying about the synchronization of a system with many masters and many slaves.

TÓM TẮT

Bài báo này đề nghị một giải pháp nhằm đồng bộ hóa hệ chaotic Lorenz gồm một chủ và một tớ. Bộ điều khiển trượt SMC (Sliding mode controller) được dùng để thực hiện việc đồng bộ hệ này. Bên cạnh đó, lý thuyết ổn định Lyapunov được áp dụng nhằm đảm bảo tính ổn định của hệ thống cũng như tính thích nghi của bộ điều khiển nêu trên. Giải thuật này được xây dựng trên phần mềm Simulink của MATLAB. Dựa trên kết quả mô phỏng, sự đồng bộ giữa hệ chủ và tớ đạt 99.94%. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở ban đầu để nghiên cứu sự đồng bộ của hệ nhiều chủ và nhiều tớ.

1 GIỚI THIỆU

Trong hai thập niên qua, đồng bộ hóa hệ chaotic đã thu hút nhiều nhà nghiên cứu khắp thế giới quan tâm kể từ công trình nghiên cứu đầu tiên của Pecora and Carroll vào năm 1990 (Pecora LM and Carroll TL, 1990). Những năm gần đây, đồng bộ hóa hai hệ thống (hệ thống gồm một chủ và một tớ) đã được áp dụng trong các quá trình phản ứng hóa học, bộ chuyển đổi công suất, các hệ thống sinh học, xử lý thông tin, bảo mật truyền thông,... Đặc biệt các tác giả của (Alexandra S Landsman and Ira B Schwartz, 2007) đã kiểm chứng một mô hình đơn giản về đồng bộ các tế bào não. Các tế bào này nhận thông tin từ các ngõ vào của nhiều vùng não khác nhau. Để đồng bộ hai hệ thống, các tác giả của (Yan-Qiu Che *et al.*, 2010) đã sử dụng mạng nơron hàm cơ sở xuyên

tâm RBFNN (Radial basic function neural network) để xấp xỉ các hàm phi tuyến chưa biết và sử dụng bộ điều khiển trượt (SMC) để đồng bộ hệ thống này. Nhiều tác giả của (Choon Ki Ahn, Sung - Tae Jung *et al.*, 2010; Yan - Qiu Che *et al.*, 2010; Yu Liang and Horacio J. Marquez, 2009; Navid Noroozi *et al.*, 2010); Zuo-Lei Wang Xue - Rong Shi, 2009; Sang-Hoon Lee *et al.*, 2010) chọn hàm Lyapunov để chứng minh tính ổn định của hệ thống trong khi một số tác giả khác lại sử dụng các bộ điều khiển khác để đồng bộ hệ thống như H_∞ kết hợp với bất đẳng thức ma trận tuyến tính LMI (Linear matrix inequality) (Choon Ki Ahn, Sung - Tae Jung *et al.*, 2010; Sang-Hoon Lee *et al.*, 2010), SMC (R. Aguilar-Lo'pez, R. Mart'inez-Guerra, 2008), chuyển từ dạng toàn phương sang dạng thay đổi tham số (Yu Liang

and Horacio J. Marquez, 2009), logic mờ (Navid Noroozi *et al.*, 2010, Jiang Wang *et al.*, 2009), điều khiển hồi tiếp (R. Aguilar-Lo'pez, R. Mart'inez-Guerra, 2008), luật điều khiển tuyến tính hóa (Lingling Tian *et al.*, 2008), bộ điều khiển cuốn chiếu (Zuo-Lei Wang and Xue-Rong Shi, 2009),...

Hệ chaotic là một hệ phi tuyến. Cho nên, dù hệ này có cùng một mô hình toán nhưng nếu điều kiện đầu khác nhau thì đáp ứng sẽ khác nhau cả về pha lẫn biên độ. Các nhà khoa học đã chứng minh bộ điều khiển trượt rất phù hợp cho điều khiển các hệ phi tuyến. Tuy nhiên, bộ điều khiển này có nhược điểm là gây dao động đối với luật điều khiển. Do đó, bộ điều khiển trượt bậc cao kết hợp với bộ điều khiển hồi tiếp được dùng để làm giảm dao động này (R. Aguilar-Lo'pez and R. Mart'inez-Guerra, 2008), dùng logic mờ để ước lượng biên độ của luật điều khiển trượt (Nguyễn Hoàng Dũng và Dương Hoài Nghĩa, 2010). Hơn thế nữa SMC với mặt trượt được chọn như hàm tích phân tỷ lệ của (Chung-Wen Lai and *et al.*, 2008) được áp dụng để đồng bộ hai hệ chaotic và được chứng minh là có khả năng làm giảm dao động đối với luật điều khiển.

Dựa trên những công trình nghiên cứu được liệt kê ở trên, một giải pháp được đề nghị là sử dụng bộ điều khiển trượt để đồng bộ hệ chaotic Lorenz. Đồng thời hàm Lyapunov được sử dụng để tìm ra luật điều khiển trượt thích nghi và chứng minh tính ổn định của hệ thống.

2 PHƯƠNG PHÁP

Một hệ chaotic gồm một hệ chủ và một hệ tớ. Hệ phương trình sau đây được xem như một hệ chủ (Wenlin Li *et al.*, 2010)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= (25\alpha + 10)(x_2 - x_1), \\ \dot{x}_2 &= (28 - 35\alpha)x_1 - x_1x_3 + (29\alpha - 1)x_2, \\ \dot{x}_3 &= x_1x_2 - \frac{(8 + \alpha)x_3}{3}, \end{aligned} \quad (1)$$

Nếu $\alpha=0$ thì hệ chaotic là hệ chaotic Lorenz

Nếu $\alpha=0.8$ thì hệ chaotic là hệ chaotic Lü

Nếu $\alpha=1$ thì hệ chaotic là hệ chaotic Chen

Hệ đáp ứng (hay còn được gọi là hệ tớ) được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= (25\alpha + 10)(y_2 - y_1), \\ \dot{y}_2 &= (28 - 35\alpha)y_1 - y_1y_3 + (29\alpha - 1)y_2 + d + u, \\ \dot{y}_3 &= y_1y_2 - \frac{(8 + \alpha)y_3}{3}, \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó, u là luật điều khiển và d là nhiễu cộng.

Sai số giữa hệ chủ và hệ tớ được định nghĩa như sau:

$$e_i = y_i - x_i \quad (i = \overline{1,3}) \quad (3)$$

Nếu lấy đạo hàm hai vế của phương trình (3) thì sai số vi phân được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= (25\alpha + 10)(e_2 - e_1), \\ \dot{e}_2 &= (28 - 35\alpha)e_1 - y_1e_3 + x_1e_3 + (29\alpha - 1)e_2 + d + u, \\ \dot{e}_3 &= e_1e_2 + x_2e_1 + x_1e_2 - \frac{(8 + \alpha)e_3}{3}, \end{aligned} \quad (4)$$

Nhiệm vụ của luật điều khiển đề nghị sẽ đảm bảo đồng bộ giữa chủ $x_i (i = \overline{1,3})$ ở phương trình (1) với tớ $y_i (i = \overline{1,3})$ ở phương trình (2) sao cho sai số $e_i (i = \overline{1,3})$ tiến về zero.

Do hệ ở phương trình (1) và phương trình (2) là hệ bậc nhất nên một hàm trượt s được chọn như sau:

$$s = e_2 \quad (5)$$

Nếu hệ thống ổn định tức luôn luôn nằm trên mặt trượt thì lúc này $e_2=0$ và phương trình (4) có thể được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= -(25\alpha + 10)e_1, \\ \dot{e}_3 &= x_2e_1 - \frac{(8 + \alpha)e_3}{3}, \end{aligned} \quad (6)$$

Từ phương trình (6), phương trình $\dot{e}_1 = -(25\alpha + 10)e_1$ có nghiệm $e_1 = \exp(-(25\alpha + 10)t)$. Do đó nếu $t \rightarrow \infty$ thì $e_1 \rightarrow 0$. Nếu $e_1 \rightarrow 0$ thì từ phương trình (6), phương trình $\dot{e}_3 = x_2e_1 - \frac{(8 + \alpha)e_3}{3}$ hay $\dot{e}_3 + \frac{(8 + \alpha)e_3}{3} = 0$ cũng có nghiệm

$e_3 = \exp\left(-\frac{(8+\alpha)}{3}t\right)$. Do đó khi $t \rightarrow \infty$ thì $e_3 \rightarrow 0$.

Để tìm được luật điều khiển trượt dựa vào mặt trượt, bài báo này sử dụng hàm Lyapunov để đảm bảo tính ổn định của hệ chaotic Lorenz. Vì e_1 tiến về zero thì e_3 tiến về zero, nên hàm Lyapunov xác định dương được chọn dựa vào e_1 và e_2 như sau:

$$V = \frac{1}{2}(e_1^2 + e_2^2) \tag{7}$$

Lấy đạo hàm hai vế của phương trình (7) đạt được phương trình sau:

$$\dot{V} = e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2 \tag{8}$$

Thay phương trình (4) vào phương trình (8), phương trình (8) sẽ trở thành

$$\begin{aligned} \dot{V} &= (25\alpha + 10)(e_2 - e_1)e_1 \\ &+ e_2 [(28 - 35\alpha)e_1 - y_1 y_3 + x_1 x_3 + (29\alpha - 1)e_2 + d + u] \\ \Leftrightarrow \dot{V} &= -(25\alpha + 10)e_1^2 - e_2^2 \\ &+ e_2 [(38 - 10\alpha)e_1 - y_1 y_3 + x_1 x_3 + 29\alpha e_2 + d + u] \end{aligned} \tag{9}$$

Để $\dot{V} \leq 0$, chọn

$$\begin{aligned} (38 - 10\alpha)e_1 - y_1 y_3 + x_1 x_3 + 29\alpha e_2 + d + u \\ = -k \text{sign}(e_2) \end{aligned} \tag{10}$$

Với k là hằng số dương.

Do đó phương trình (9) trở thành

$$\dot{V} = -(25\alpha + 10)e_1^2 - e_2^2 - ke_2 \text{sign}(e_2) \tag{11}$$

Bảng 1: Hàm \dot{V} xác định âm

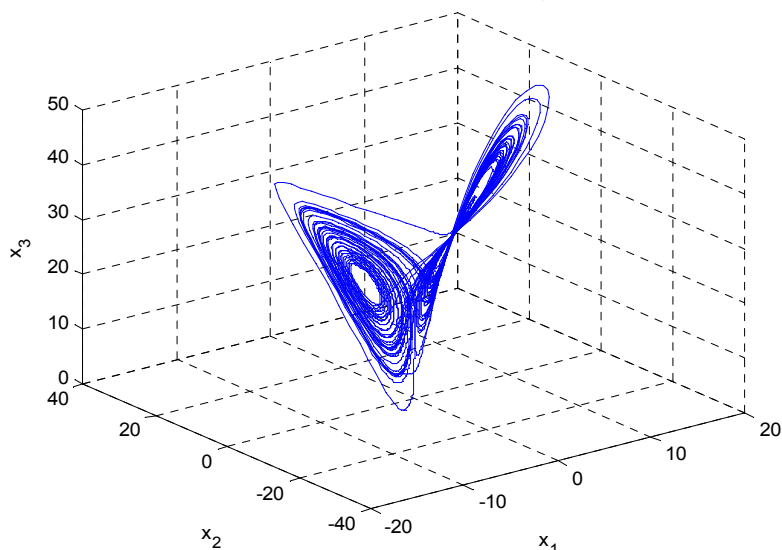
$s=e_2$	\dot{V}
$=0$	$=0$
>0	<0
<0	<0

Từ Bảng 1 và phương trình (7) có thể kết luận rằng, luật điều khiển ở phương trình (10) sẽ đảm bảo đồng bộ ổn định được hệ chaotic Lorenz. Từ phương trình (10), luật điều khiển trượt được xác định như sau:

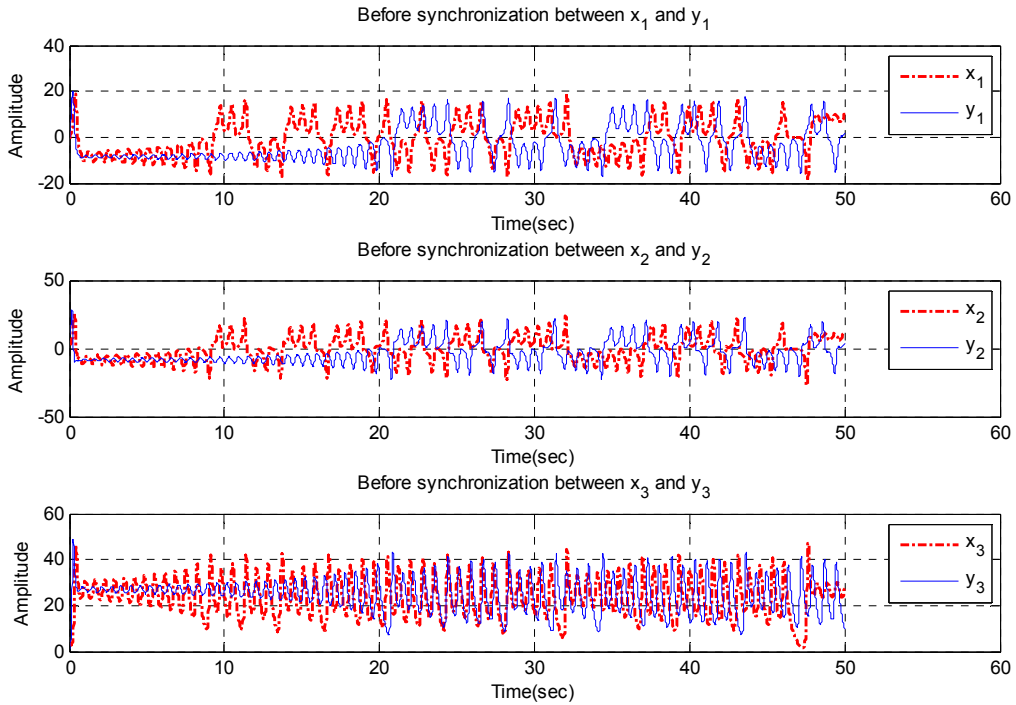
$$\begin{aligned} u &= y_1 y_3 - (38 - 10\alpha)e_1 - x_1 x_3 \\ &- 29\alpha e_2 - d - k \text{sign}(e_2) \end{aligned} \tag{12}$$

3 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

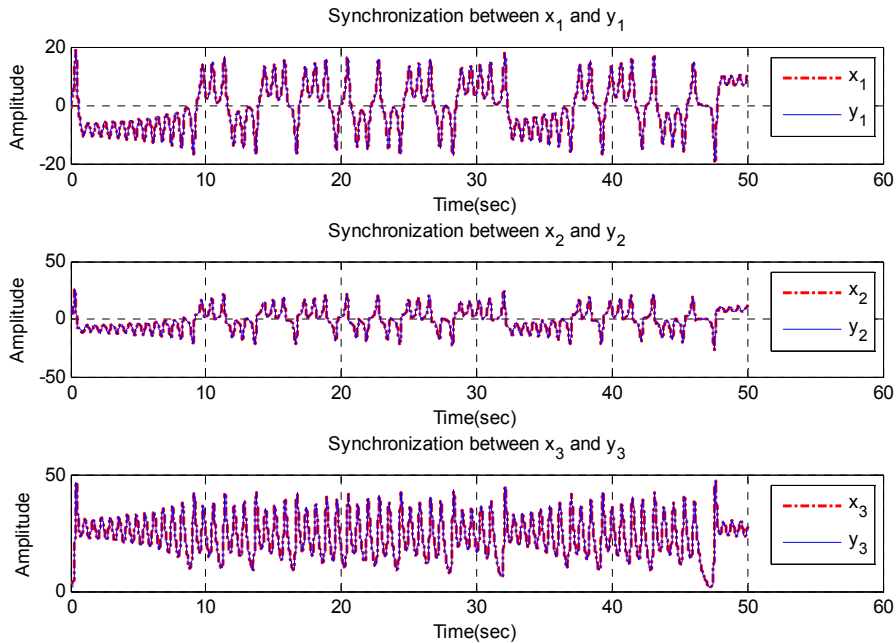
Quỹ đạo pha của hệ chaotic Lorenz ở phương trình (1) được mô tả ở Hình 1. Nếu chưa được đồng bộ thì hệ có phương trình (1) và phương trình (2) sẽ lệch nhau cả về pha và biên độ (xem Hình 2). Trong đó, điều kiện đầu của hệ là $x_1(0)=-1, x_2(0)=3, x_3(0)=4, y_1(0)=0, y_2(0)=1, y_3(0)=1$, và nhiễu $d=0.1 \cdot \sin(1.89t)$. Tuy nhiên, trong một số ứng dụng thực tế thì đòi hỏi phải có sự đồng bộ cả về biên độ và pha. Do đó, bài báo này đề nghị sử dụng bộ điều khiển SMC để đồng bộ hệ thống trên cả về biên độ và pha.



Hình 1: Quỹ đạo pha của hệ chaotic Lorenz chủ



Hình 2: Hệ chaotic Lorenz chưa được đồng bộ với điều kiện đầu $x_1(0)=-1, x_2(0)=3, x_3(0)=4, y_1(0)=0, y_2(0)=10, y_3(0)=1$ và $d=0.1*\sin(1.89t)$



Hình 3: Hệ chaotic Lorenz đã được đồng bộ bằng bộ điều khiển SMC với điều kiện đầu $x_1(0)=-1, x_2(0)=3, x_3(0)=4, y_1(0)=0, y_2(0)=10, y_3(0)=1$ và nhiễu $d=0.1*\sin(1.89t)$

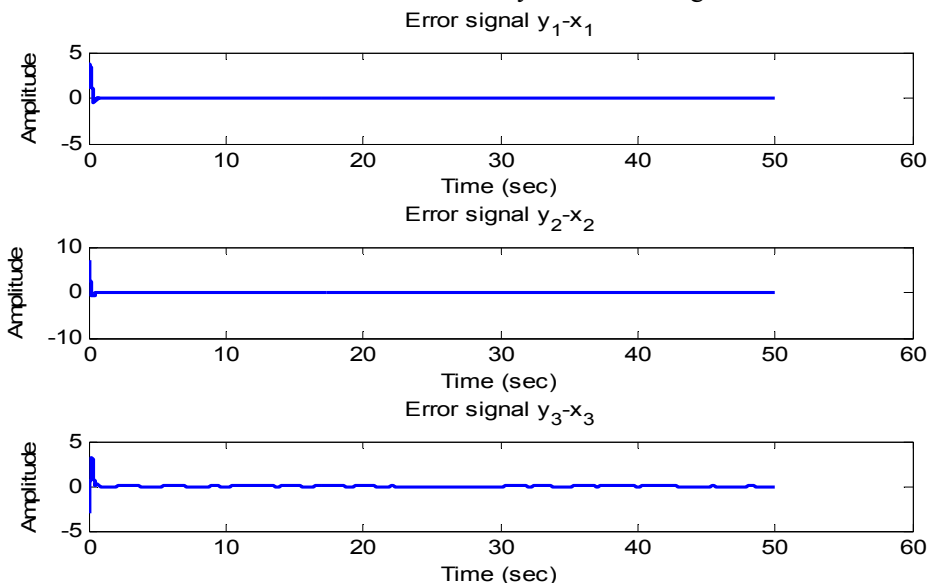
Nếu sử dụng bộ điều khiển trượt được xây dựng như phương trình (12) thì chủ và tớ trong hệ chaotic Lorenz được đồng bộ cả về biên độ và pha

với độ phù hợp xấp xỉ 99.94% (xem Hình 3). Độ phù hợp được tính dựa trên (Sunil L. Kukreja *et al.*, 2005).

$$Fit = \left(1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2} \right) \times 100 \quad (13)$$

Trong đó N là số mẫu

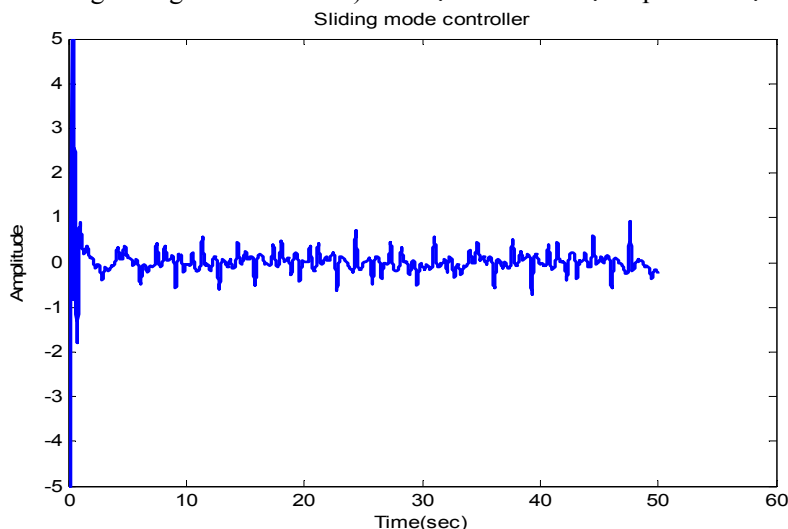
Luật điều khiển trượt được trình bày ở Hình 5. Luật điều khiển này đảm bảo được tính đồng bộ của hệ chaotic Lorenz sau 1.25 s. Tín hiệu sai số của hệ thống hội tụ về zero (xem Hình 4). Điều này đã minh chứng cho tính ổn định của hệ thống.



Hình 4: Tín hiệu sai số giữa chủ và tớ sau khi đồng bộ

Có thể nhận thấy rằng, k là biên độ của hàm $\text{sign}(e_2)$ trong biểu thức (12). Hàm này có nhiệm vụ như một hàm chuyển đổi để đưa quỹ đạo về mặt trượt và duy trì ổn định trên mặt trượt đó. Do đó, hằng số k trong biểu thức (12) cần phải được chọn phù hợp để đảm bảo luật điều khiển không bị dao động (tạo các xung vuông với tần số cao).

Nếu k càng lớn thì hiện tượng dao động trên luật điều khiển càng lớn. Đối với kết quả mô phỏng trong bài báo này hằng số k được chọn là 0.015. Với k được chọn phù hợp thì luật điều khiển trượt được mô tả ở Hình 5 không có hiện tượng dao động. Và luật điều khiển này có nhiệm vụ đồng bộ cả về biên độ và pha của hệ Lorenz.



Hình 5: Luật điều khiển trượt (12)

4 KẾT LUẬN

Kết hợp giữa bộ điều khiển trượt và lý thuyết ổn định Lyapunov, bài báo đã đề nghị một giải thuật đồng bộ hệ chaotic Lorenz gồm một hệ chủ và một hệ tớ. Đây là một hệ phi tuyến và rất nhạy với điều kiện đầu. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cho thấy giải thuật đã đáp ứng được điều kiện đồng bộ cho hệ thống trên với độ phù hợp xấp xỉ 99.94%.

Giả sử rằng nếu hệ Lorenz có nhiều hơn một chủ và một tớ thì việc đồng bộ chắc chắn trở nên khó khăn hơn. Do đó, kết quả trong bài báo này là cơ sở ban đầu để nghiên cứu về sự đồng bộ của hệ nhiều chủ và nhiều tớ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alexandra S Landsman and Ira B Schwartz, 2007. *Synchronized dynamics of cortical neurons with time-delay feedback*. Nonlinear Biomedical Physics. 1:1-9.
- Choon Ki Ahn, Sung-Tae Jung, Sun-Kyung Kang, Su-Chong Joo, 2010. *Adaptive H_∞ synchronization for uncertain chaotic systems with external disturbance*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat (Elsevier). 15: 2168–2177.
- Chung-Wen Lai, Chang-Kuo Chen, Teh-Lu Liao and Jun-Juh Yan, 2008. *Adaptive synchronization for nonlinear FitzHugh–Nagumo neurons in external electrical stimulation*. Int. J. Adapt. Control Signal Process. 22:833-844.
- Jiang Wang, Lisong Chen, Bin Deng, 2009. *Synchronization of Ghostbuster neuron in external electrical stimulation via H_∞ variable universe fuzzy adaptive control*. Chaos, Solitons and Fractals (Elsevier). 39:2076-2085.
- Lingling Tian, DonghaiLi, XianfangSun, 2008. *Nonlinear-estimator-based robust synchronization of Hodgkin–Huxley neurons*. Neurocomputing (Elsevier). 72:186-96.
- Navid Noroozi, Mehdi Roopaei, Paknosh Karimaghaee, Ali Akbar Safavi, 2010. *Simple adaptive variable structure control for unknown chaotic systems*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat (Elsevier). 15:707-27.
- Nguyễn Hoàng Dũng và Dương Hoài Nghĩa, 2010. *Điều khiển trượt thích nghi dùng mô hình nơ-ron mờ*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 15a: 273-282.
- Pecora LM and Carroll TL, 1990. *Synchronization in chaotic systems*. Phys Rev Lett. 64:821–4.
- R. Aguilar-Lo'pez, R. Marti'nez-Guerra, 2008. *Synchronization of a coupled Hodgkin–Huxley neurons via high order sliding-mode feedback*. Chaos, Solitons and Fractals (Elsevier). 37:359-346.
- Sang-Hoon Lee, Vikram Kapila, Maurizio Porfiri, Anshuman Panda, 2010. *Master–slave synchronization of continuously and intermittently coupled sampled-data chaotic oscillators*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat (Elsevier). 15:4100-4113.
- Sunil L. Kukreja, Robert E. Kearney, and Henrietta L. Galiana, 2005. *A Least-Squares Parameter Estimation Algorithm for Switched Hammerstein Systems With Applications to the VOR*. IEEE Transactions On Biomedical Engineering. March 2005. 3:431-444
- Wenlin Li, Zhenhong Liu, Jing Miao, 2010. *Adaptive synchronization for a unified chaotic system with uncertainty*. Communication Nonlinear Science and Numbnerical Simulation. 15:3015-3021.
- Yan-Qiu Che, Jiang Wang, Kai-Ming Tsang, Wai-Lok Chan, 2010. *Unidirectional synchronization for Hindmarsh_Rose neurons via robust adaptive sliding mode control*. Nonlinear Analysis: Real World Applications (Elsevier). 11: 1096-1104.
- Yu Liang and Horacio J. Marquez, 2009. *Robust Gain Scheduling Synchronization Method for Quadratic Chaotic Systems With Channel Time Delay*. IEEE transaction on circuit and system. 56 (3): 604-15.
- Zuo-Lei Wang and Xue-Rong Shi, 2009. *Chaotic bursting lag synchronization of Hindmarsh–Rose system via a single controller*. Applied Mathematics and Computation (Elsevier). 215:1091-97.