

Thiết kế bộ điều khiển chống lắc Fuzzy PD cho hệ cần cầu container tự động

A Fuzzy PD anti-sway controller for autonomous container cranes

Ngô Quang Hiếu, Nguyễn Chí Ngôn, Nguyễn Ngô Phong
Trường Đại học Cần Thơ; Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ
e-Mail: {nqhiu, ncngon}@ctu.edu.vn, nnphong@ctuet.edu.vn,

Tóm tắt

Nghiên cứu đề xuất phát triển bộ điều khiển chống lắc Fuzzy PD cho hệ cần cầu container. Bộ điều khiển Fuzzy đóng vai trò chính trong việc tạo ra điện áp điều khiển phù hợp nhằm đảm bảo nhiệm vụ di chuyển giàn xe đến vị trí mong muốn, đồng thời giảm thiểu tối đa hiện tượng lắc lư của container trong quá trình vận hành, dựa trên luật mờ được phát triển thông qua kinh nghiệm của người thiết kế và đặc tính thực tế của hệ thống. Đồng thời, các thông số K_P và K_D của phương pháp PD cổ điển đóng vai trò tinh chỉnh các giá trị của biến trạng thái vào khoảng thích hợp trước khi được mờ hóa. MATLAB® & SIMULINK® được sử dụng nhằm kiểm nghiệm khả năng đáp ứng của luật điều khiển đề nghị. Ngoài ra, các kết quả thực nghiệm cũng được trình bày nhằm minh họa cho khả năng điều khiển thực tế của bộ điều khiển được phát triển.

Từ khóa: Điều khiển chống lắc, hệ cần cầu container, bộ điều khiển Fuzzy PD, luật điều khiển mờ.

Abstract: A Fuzzy PD control strategy for container cranes is developed in this study. A fuzzy controller plays a main role in creating the appropriate voltage, based on the dynamics and knowledge of an experienced designer, for guarantees not only prompts suppression of load swing but also accurate control of container crane position. In addition, the classical PD controller is used to tune the value of state variables into suitable ranges before becoming the inputs of the fuzzification process. The performance of the control law is simulated using MATLAB® & SIMULINK®. Furthermore, to demonstrate the efficiency of the proposed control algorithm, experimental results are provided.

Keywords: Anti-sway control, container cranes, Fuzzy PD controller, fuzzy rules.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
X	m	vị trí xe
θ	rad	góc lắc của tải
m_t	kg	khối lượng giàn xe
m_p	kg	khối lượng tải
$f(x)$	N	lực điều khiển
g	m/s ²	gia tốc trọng trường
l	m	chiều dài dây

1. Phần mở đầu

Hệ cần cầu container đã và đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi để di chuyển container, hàng hóa có kích thước lớn từ địa điểm này đến địa điểm khác trong nhiều khu vực khác nhau như: bến cảng, công trường, kho hàng. Trong quá trình hoạt động, chuyển động của giàn xe là một trong những nguyên nhân chính gây ra hiện tượng lắc lư của tải trọng, đặc biệt là quá trình tăng tốc ở đầu hành trình và khi giảm tốc ở cuối hành trình. Dao động này không những làm giảm hiệu quả vận hành của hệ cần cầu, mà còn có khả năng gây ra nguy hiểm, tai nạn cho các máy móc, con người ở khu vực xung quanh. Vì vậy, yêu cầu đặt ra đó là phải có một chiến lược điều khiển thích hợp nhằm giảm thiểu tối đa hiện tượng lắc lư ở tải trọng, góp phần nâng cao năng suất và tính an toàn của hệ thống. Từ thực tế trên, các nhà nghiên cứu làm việc trong lĩnh vực điều khiển cần cầu luôn luôn nhắm đến việc xây dựng những giải thuật phù hợp nhằm mục tiêu triệt tiêu dao động của container một cách thực sự hiệu quả.

Hiện nay, đã có rất nhiều giải pháp được các nhà khoa học đưa ra nhằm giải quyết vấn đề lắc lư ở tải trọng một cách nhanh chóng, liên tục và an toàn. Dựa trên các lý thuyết điều khiển tuyến tính cũng như các giải pháp điều khiển tối ưu, một số nghiên cứu đã đề xuất phát triển các luật điều khiển dựa trên mô hình tuyến tính của hệ thống [1-5]. Tuy nhiên, với cả hai cách tiếp cận trên đều gặp phải những khó khăn khi cài đặt lên hệ thống thực nghiệm, xuất phát những nguyên nhân đó là: cả hai giải thuật đều rất nhạy với điều kiện ban đầu cũng như nhiễu tác động, đồng thời tính ổn định và bền vững của hệ thống không được đảm bảo khi có sự thay đổi của các giá trị tham số trong mô hình [6].

Ngoài ra, nhằm đối phó với tính phi tuyến của hệ cần cầu cũng như sự biến thiên của các thông số mô hình, một số giải pháp khác đã được các nhà nghiên cứu xây dựng, trong đó có thể kể đến: điều khiển trượt (sliding mode control) [6-10], điều khiển thích nghi (adaptive control) [6, 11-12]. Với việc xây dựng mặt trượt và luật điều khiển thích hợp, giải thuật điều khiển trượt tập trung vào việc đưa các biến trạng thái được định nghĩa tiến về giá trị tham chiếu mong muốn thông qua việc điều khiển mặt trượt hội tụ tiệm cận về không. Dựa trên việc tích hợp sẵn các hệ thống tự chỉnh, giải thuật thích nghi không yêu cầu sự chỉnh xác của các tham số trong mô hình, các giá trị này sẽ

tự động được cập nhật, chỉnh sửa trong suốt quá trình vận hành. Đây là hai trong số những cách tiếp cận rất đáng quan tâm, đem đến khả năng triệt tiêu dao động của tải trọng một cách hiệu quả.

Nghiên cứu này đề xuất xây dựng bộ điều khiển Fuzzy PD chống lắc cho hệ cân cầu container. Trong đó, bộ điều khiển Fuzzy đóng vai trò chính trong việc tạo ra điện áp phù hợp điều khiển giàn xe dựa trên hệ thống luật mờ được phát triển thông qua kinh nghiệm và đặc tính thực tế của hệ thống. Đồng thời, các thông số K_P và K_D của phương pháp PD cổ điển đóng vai trò tinh chỉnh các giá trị rõ của biến trạng thái vào khoảng thích hợp trước khi được mờ hóa. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm sẽ được trình bày chi tiết nhằm minh chứng cho khả năng đáp ứng của giải thuật với sự thay đổi của các tham số trong mô hình.

Bài báo sẽ được trình bày như sau: hệ phương trình toán mô tả đặc tính động học của hệ cân cầu container sẽ được thiết lập trong Phần 2.1. Trong Phần 2.2, phương pháp thiết kế các bộ điều khiển mờ sẽ được đề cập đến. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm được trình bày trong Phần 2.3. Cuối cùng, một số kết luận sẽ được nghiên cứu đưa ra trong Phần 3.

2. Nội dung chính

2.1 Động lực học hệ cân cầu container

Xét hệ cân cầu container được minh hoạt trong H.1. Container được giữ bởi ngàm kẹp container (spreader) và cả hai được liên kết với xe đẩy (trolley) thông qua một dây có chiều dài l . Khối lượng của giàn xe và tải trọng tương ứng là m_t và m_p . Lực điều khiển f_x được tác động vào giàn xe với mục đích đưa giàn xe đến vị trí mong muốn, đồng thời hạn chế tối đa hiện tượng lắc lư ở tải trọng trong quá trình di chuyển. Trong thực tế, một hệ cân cầu container tiêu chuẩn sẽ sử dụng bốn dây thừng để liên kết ngàm kẹp với xe đẩy. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, để đơn giản hóa, container và trolley được liên kết chỉ một dây treo có khối lượng không đáng kể. Giả thiết rằng, chuyển động của giàn xe và chuyển động lắc của tải trong nằm trong cùng một mặt phẳng OXY . Gọi x là vị trí của giàn xe, θ là góc lắc của tải và g là gia tốc trọng trường.

Không mất tính tổng quát, giả thiết rằng: i) Dây treo tải có khối lượng không đáng kể; ii) Chiều dài dây là hằng số trong suốt quá trình hoạt động; iii) Các thành phần ma sát trong chuyển động của xe có thể bỏ qua [2, 6].

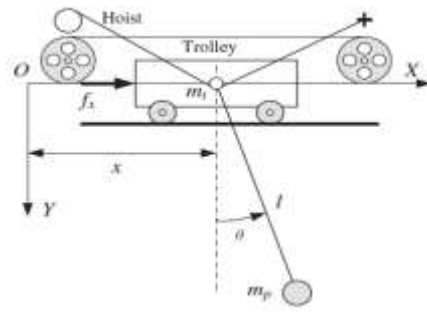
Dựa trên chuyển động của xe cũng như dao động của tải, động năng T và thế năng U của hệ cân cầu có thể được thiết lập như sau:

$$T = \frac{1}{2}(m_t + m_p)\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 + m_p l \dot{x} \sin \theta + m_p l \dot{x} \dot{\theta} \cos \theta, \quad (1)$$

$$U = m_p g l (1 - \cos \theta). \quad (2)$$

Đặt:

$$q = (x, \theta), \quad f = (f_x, 0).$$



H.1 Mô hình hệ cân cầu container [6].

Từ phương trình Lagrange, ta có:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} = f_i, \quad i = 1, 2. \quad (3)$$

Từ đó, hệ phương trình mô tả chuyển động của hệ cân cầu có thể được thiết lập như sau [6]:

$$(m_t + m_p)\ddot{x} + m_p l \ddot{\theta} \sin \theta + m_p l \dot{\theta}^2 \cos \theta = f_x, \quad (4)$$

$$m_p l \ddot{x} \cos \theta + m_p l^2 \ddot{\theta} + 2m_p l \dot{\theta} + m_p g l \sin \theta = 0 \quad (5)$$

Với giải thuật tiếp cận như đề nghị, việc xác định mô hình toán cho hệ cân cầu container là không cần thiết. Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn xây dựng các phương trình mô tả đặc tính động học của hệ cân cầu nhằm phục vụ cho việc kiểm nghiệm đáp ứng của hệ thống với luật điều khiển đề xuất trên môi trường mô phỏng trước khi cài đặt lên mô hình thực tế.

2.2 Thiết kế giải thuật điều khiển

Trong phần này, bộ điều khiển Fuzzy PD sẽ được phát triển cho hệ cân cầu container. Trong đó, giải thuật mờ sẽ đóng vai trò chính trong việc tạo ra điện áp điều khiển phù hợp thông qua hệ thống luật mờ được phát triển dựa trên kinh nghiệm và đặc tính thực tế của đối tượng. Đồng thời, các thông số K_P và K_D của phương pháp PD cổ điển đóng vai trò tinh chỉnh các giá trị rõ của biến trạng thái vào khoảng thích hợp trước khi được mờ hóa.

Hai bộ điều khiển Fuzzy PD sẽ được phát triển độc lập cho hai đối tượng trong cùng một hệ cân cầu container, đó là: giàn xe và tải trọng. Sau đó, hai giá trị điện áp điều khiển sẽ được kết hợp thành một luật điều khiển duy nhất để đảm bảo nhiệm vụ đó là di chuyển giàn xe đến vị trí mong muốn, đồng thời giảm thiểu tối đa hiện tượng lắc lư của container trong quá trình vận hành.

2.2.1 Giải thuật điều khiển vị trí giàn xe

- Chọn các biến đầu vào, biến đầu ra cho bộ điều khiển mờ: hai biến đầu vào đó là sai lệch vị trí giàn xe e_x và vi phân sai lệch vị trí giàn xe \dot{e}_x , một biến đầu ra đó là điện áp điều khiển U_x .

- Xác định tập cơ sở của các biến điều khiển:

+ Sai lệch vị trí xe: $e_x = [-0.7; 0.7]$ (m).

+ Vi phân sai lệch vị trí xe: $\dot{e}_x = [-2; 2]$ (m/s).

+ Điện áp điều khiển: $U_x = [-24; 24]$ (V).

- **Thiết kế các tập mờ:** các tập mờ mô tả các giá trị ngôn ngữ của các biến ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ. Chọn bảy tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho mỗi biến vào, ra; các tập mờ này được phân bố dựa trên tập cơ sở và hàm liên thuộc có dạng hình tam giác như H. 2, H. 3. Trong đó,

NB (Negative Big): âm lớn.

NM (Negative Medium): âm trung bình.

NS (Negative Small): âm nhỏ.

ZE (Zero): không.

PS (Positive Small): dương nhỏ.

PM (Positive Medium): dương trung bình.

PB (Positive Big): dương lớn.

- **Xây dựng hệ quy tắc mờ:** hệ quy tắc mờ điều khiển vị trí giàn xe được phát triển dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế cũng như phương pháp thử sai. Chi tiết của 49 luật điều khiển được thể hiện trong Bảng 1.

- **Phương pháp suy diễn:** chọn phương pháp suy diễn MAX – MIN.

- **Phương pháp giải mờ:** chọn phương pháp giải mờ COA.

2.2.2 Giải thuật điều khiển góc lắc tải trọng

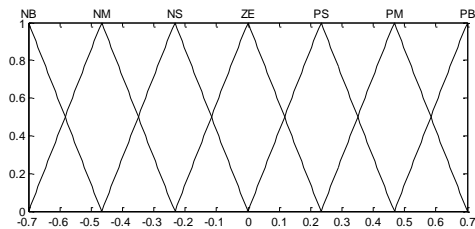
- **Chọn các biến đầu vào, biến đầu ra cho bộ điều khiển mờ:** hai biến đầu vào đó là sai lệch góc lắc của tải e_θ và vi phân sai lệch góc lắc \dot{e}_θ , một biến đầu ra đó là điện áp điều khiển U_θ .

- **Xác định tập cơ sở của các biến điều khiển :**

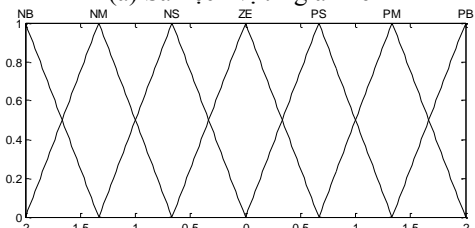
- Sai lệch góc lắc: $e_\theta = [-0.15; 0.15]$ (rad).

- Vi phân sai lệch góc lắc: $\dot{e}_\theta = [-3; 3]$ (rad/s).

- Điện áp điều khiển: $U_\theta = [-24; 24]$ (V).

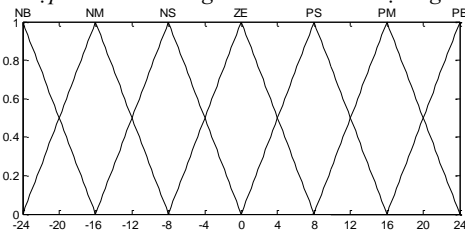


(a) Sai lệch vị trí giàn xe



(b) Vi phân sai lệch vị trí giàn xe

H. 2 Tập mờ các biến ngõ vào điều khiển vị trí giàn xe.



H. 3 Tập mờ biến ngõ ra điều khiển vị trí giàn xe.

- **Thiết kế các tập mờ:** các tập mờ mô tả các giá trị ngôn ngữ của các biến ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ. Chọn bảy tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho mỗi biến vào, ra; các tập mờ này được phân bố dựa trên tập cơ sở và hàm liên thuộc có dạng hình tam giác như H. 4, 5.

- **Xây dựng hệ quy tắc mờ:** hệ quy tắc mờ điều khiển vị trí giàn xe được phát triển dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế cũng như phương pháp thử sai. Chi tiết của 49 luật điều khiển được thể hiện trong Bảng 2.

- **Phương pháp suy diễn:** chọn phương pháp suy diễn MAX – MIN.

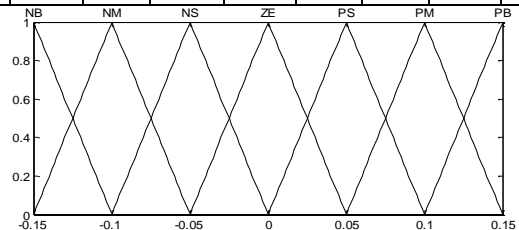
- **Phương pháp giải mờ:** chọn phương pháp giải mờ COA.

Chú ý: Một số điểm cần quan tâm trong việc xây dựng, lựa chọn các tập mờ cũng như các luật điều khiển trong nghiên cứu này như sau:

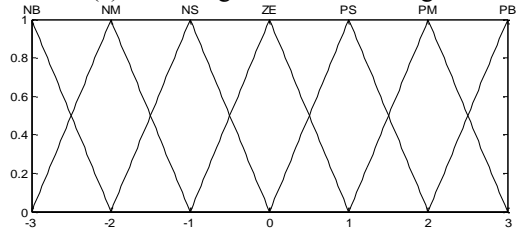
(i) Các hàm liên thuộc dạng tam giác được lựa chọn cho các tập mờ giúp cho việc tính toán một cách nhanh chóng khi cài đặt bộ điều khiển lên hệ thời gian thực [9].

Bảng 1. Luật điều khiển mờ điều khiển vị trí giàn xe

Derivative of Position Error	Position Error						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PB	PM	ZE
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	NM
NS	PB	PB	PB	PS	ZE	NM	NB
ZE	PB	PB	PS	ZE	NS	NB	NB
PS	PB	PM	ZE	NS	NB	NB	NB
PM	PM	ZE	NM	NB	NB	NB	NB
PB	ZE	NM	NB	NB	NB	NB	NB

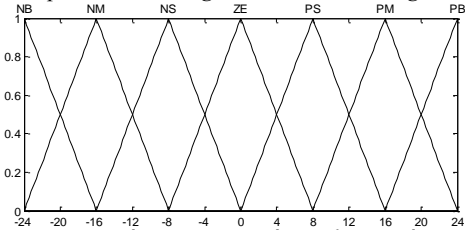


(a) Sai lệch góc lắc của tải trọng



(b) Vi phân sai lệch góc lắc của tải trọng

H. 4 Tập mờ các biến ngõ vào bộ điều khiển góc lắc.



H. 5 Tập mờ biến ngõ ra bộ điều khiển góc lắc.

Bảng 2. Luật điều khiển mờ điều khiển góc lắc tải

Derivative of Payload Swing	Payload Swing							
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	
NM	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	PM	
NS	NB	NB	NB	NS	ZE	PM	PB	
ZE	NB	NB	NS	ZE	PS	PB	PB	
PS	NB	NM	ZE	PS	PB	PB	PB	
PM	NM	ZE	PM	PB	PB	PB	PB	
PB	ZE	PM	PB	PB	PB	PB	PB	

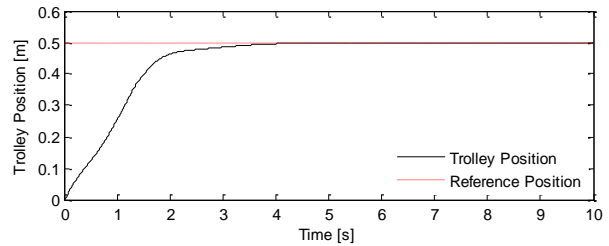
- (ii) Trong hầu hết các bài toán điều khiển khi giải quyết bằng phương pháp mờ, chất lượng đáp ứng của hệ thống phụ thuộc rất lớn vào tính chính xác của các luật điều khiển và hầu như ảnh hưởng rất ít bởi hình dạng của các hàm liên thuộc [13].
- (iii) Kinh nghiệm của người thiết kế cũng như tri thức về hệ cần cấu hoạt động trên biển được sử dụng để phát triển bộ điều khiển. Các luật điều khiển được xây dựng chủ yếu bằng phương pháp thử sai và sự hiểu biết của người phát triển bộ điều khiển [14-16].
- (iv) Thông số của bộ điều khiển PD được xây dựng bằng phương pháp thử sai dựa trên đáp ứng thực tế của hệ thống.

2.3 Kết quả mô phỏng và thực nghiệm

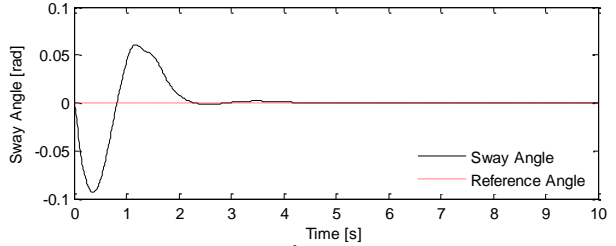
2.3.1 Kết quả mô phỏng

Chiến lược điều khiển đề xuất với giải thuật Fuzzy PD sẽ được kiểm nghiệm thông qua môi trường mô phỏng MATLAB® & SIMULINK®. Theo đó, dựa trên hệ phương trình mô tả đặc tính của hệ cần cấu container (4, 5) và các luật mờ đề xuất cho việc điều khiển vị trí giàn xe (Bảng 1) cũng như điều khiển góc lắc của tải (Bảng 2), các trường hợp thử nghiệm khác nhau sẽ được đưa ra nhằm kiểm tra tính ổn định và bền vững của hệ thống. Thông số được cài đặt cho hệ cần cấu trong môi trường mô phỏng như sau: $m_t = 4.5$ kg, $m_p = 1$ kg, $l = 0.7$ m. Mô phỏng được thực hiện thông qua việc cho giàn xe di chuyển từ vị trí 0 đến 0.5 m và hạn chế tối đa hiện tượng dao động của tải trong quá trình vận hành hệ thống. Theo đó, dựa trên đáp ứng trên H. 6, các chỉ tiêu chất lượng đặt ra cho bài toán điều khiển cần cấu container đều được đảm bảo, trong đó: (i) giàn xe di chuyển đến vị trí mong muốn trong khoảng thời gian 3.36 s, không xảy ra hiện tượng vọt lố và sai số xác lập được triệt tiêu; (ii) góc lắc tối đa của tải (0.094 rad) trong quá trình hoạt động nằm trong khoảng cho phép và sai số xác lập được loại bỏ khi hệ thống đạt đến trạng thái xác lập. Ngoài ra, để kiểm tra tính bền vững và ổn định của hệ thống với chiến lược điều khiển đề xuất, giá trị của chiều dài dây treo tải sẽ được thay đổi $\pm 20\%$ so với giá trị tiêu chuẩn. Các kết quả trình bày trong H. 7, 8 cho thấy các chỉ tiêu chất lượng điều khiển không khác biệt so với trường hợp tiêu chuẩn như H. 6, tính

ổn định và bền vững của hệ thống được đảm bảo trước sự thay đổi của các giá trị thông số trong mô hình đối tượng.

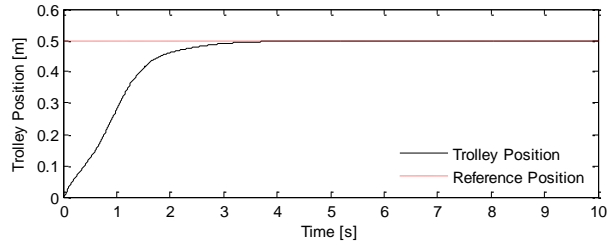


(a) Vị trí giàn xe

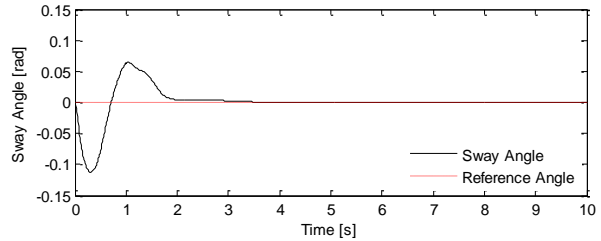


(b) Góc lắc của tải

H. 6 Kết quả mô phỏng - Chiều dài dây = 0.7m

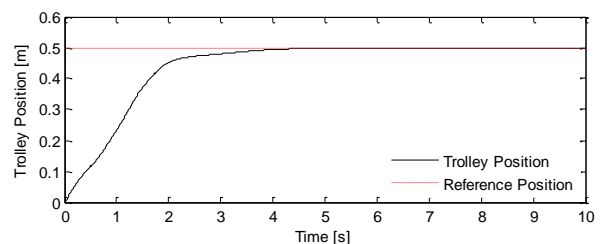


(a) Vị trí giàn xe

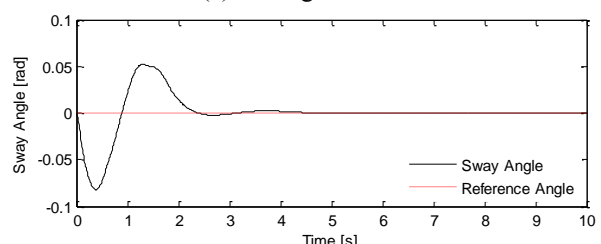


(b) Góc lắc của tải

H. 7 Kết quả mô phỏng - Chiều dài dây = 0.5m



(a) Vị trí giàn xe



(b) Góc lắc của tải

H. 8 Kết quả mô phỏng - Chiều dài dây = 0.83m

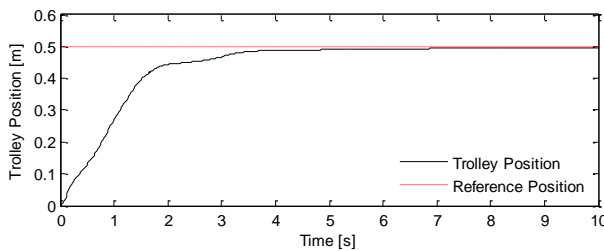
2.3.2 Kết quả thực nghiệm

Sau khi được kiểm nghiệm trên môi trường mô phỏng, giải thuật Fuzzy PD đề xuất sẽ được cài đặt thử nghiệm lên mô hình cần cẩu container hai chiều đặt tại Phòng thí nghiệm Động lực học và điều khiển (H. 9). Thông số của hệ thống được cài đặt cho chương trình điều khiển như sau: $m_t = 4.5$ kg, $m_p = 1$ kg, $l = 0.7$ m. Thí nghiệm được thực hiện bằng cách điều khiển giàn xe di chuyển từ vị trí 0 đến 0.5m và hạn chế tối đa hiện tượng dao động của tải trong quá trình vận hành hệ thống. Các bài toán điều khiển khác nhau sẽ được đặt ra nhằm kiểm tra tính ổn định và bền vững của hệ thống.

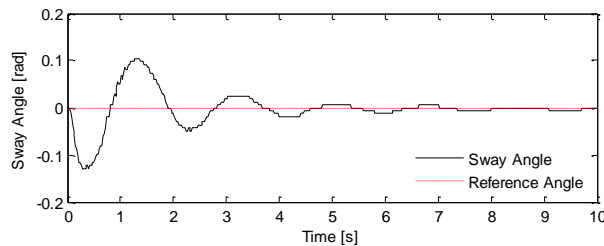
Các kết quả trình bày ở H.10 cho thấy các chỉ tiêu chất lượng đặt ra cho bài toán điều khiển cần cẩu đều đạt được, trong đó: (i) giàn xe di chuyển đến vị trí mong muốn trong khoảng thời gian 3.52s, không xảy ra hiện tượng vọt lố cũng như sai số xác lập nằm trong vùng giá trị cho phép; (ii) góc lắc tối đa của tải (0.1 rad) không vượt quá mức an toàn đặt ra và được triệt tiêu khi hệ thống đạt đến trạng thái xác lập. Ngoài ra, tính ổn định và bền vững của giải thuật điều khiển cũng được kiểm nghiệm thông qua việc thay đổi giá trị chiều dài dây $\pm 20\%$ xung quanh giá trị tiêu chuẩn. Các kết quả thực nghiệm trình bày trên H.11, 12 cho thấy, các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống đều được đảm bảo như ở trường hợp tiêu chuẩn H.10.



H. 9 Mô hình thực tế hệ cần cẩu container.

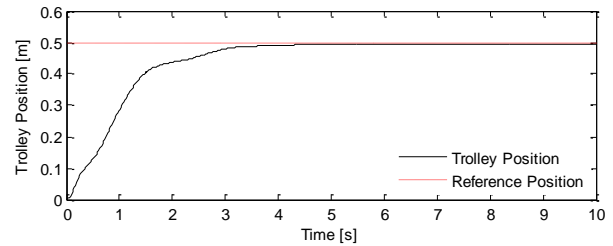


(a) Vị trí giàn xe

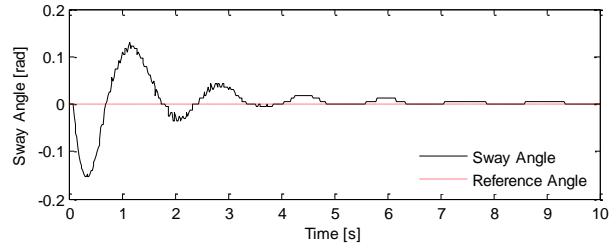


(b) Góc lắc của tải

H. 10 Kết quả thực nghiệm - Chiều dài dây = 0.7m.

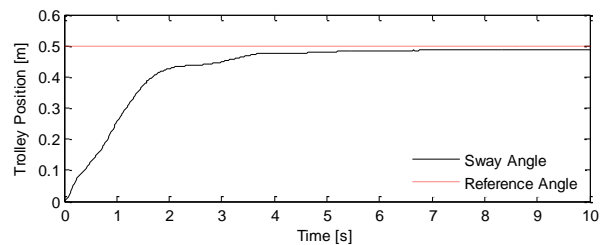


(a) Vị trí giàn xe

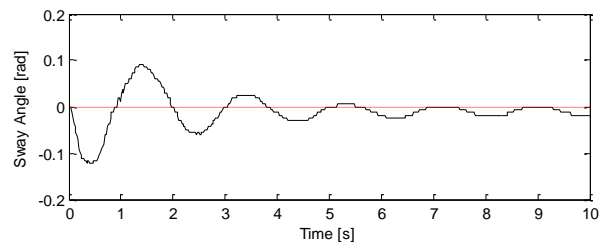


(b) Góc lắc của tải

H. 11 Kết quả thực nghiệm - Chiều dài dây = 0.5m.



(a) Vị trí giàn xe



(b) Góc lắc của tải

H. 12 Kết quả thực nghiệm - Chiều dài dây = 0.83m.

3. Kết luận

Trong bài báo này, phương pháp điều khiển Fuzzy PD đã được phát triển cho hệ cần cẩu container. Trong đó, với mỗi đối tượng trong hệ thống là giàn xe và tải trọng, nghiên cứu đề xuất xây dựng các luật điều khiển mờ độc lập dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế cũng như đặc tính thực tế của hệ cần cẩu. Sau đó, hai giá trị điện áp điều khiển sẽ được kết hợp thành một luật điều khiển duy nhất để đảm bảo nhiệm vụ đó là di chuyển giàn xe đến vị trí mong muốn, đồng thời giảm thiểu tối đa hiện tượng lắc lư của container trong quá trình vận hành. Đồng thời, các thông số K_p và K_D của phương pháp PD cổ điển đóng vai trò tinh chỉnh các giá trị rõ của biến trạng thái vào khoảng thích hợp trước khi được mờ hóa. Tính ổn định và bền vững của hệ thống với giải thuật đề xuất sẽ lần lượt được kiểm nghiệm trên môi trường mô phỏng cũng như mô hình thực tế thông qua các bài toán điều khiển khác nhau.

Lời cảm tạ

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số “107.04-2013.28”.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kim, Y. -S. ; Hong, K. -S.; Sul, S. -K., *Anti-sway control of container cranes: inclinometer, observer, and state feedback*, International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 2, no. 4, pp. 435-449, 2004.
- [2] Park, H.; Chwa, D.; Hong, K. -S., *A feedback linearization control of container crane: varying rope length*, International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 5, no. 4, pp. 379-387, 2007.
- [3] Le, T. A.; Lee, S. -G; Dang, V. H., *Partial feedback linearization control of a three-dimensional overhead crane*, International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 11, no. 4, pp. 718-727, 2013.
- [4] Al-Garni, A.Z.; Moustafa, K. A. F.; Javeed Nizami, S. S. A. K., *Optimal control of overhead cranes*, Control Eng. Pract. , vol. 10, no. 12, pp. 1323-1338, 2002.
- [5] Terashima, K.; Shen, Y.; Kano, K., *Modeling and optimal control of a rotary crane using the straight transfer transformation method*, Control Eng. Pract. , vol. 15, no.9, pp. 1179-1192.
- [6] Ngo, Q. H.; Hong, K. -S., *Adaptive sliding mode control of container cranes*, IET Control Theory and Applications, vol. 6, no. 5, pp. 662-668, 2012.
- [7] Bartolini, G; Pisano, A.; Usai, E., *Second-order sliding-mode control of container cranes*, Automatica, vol. 38, no. 10, pp. 1783-1790, 2002.
- [8] Ngo, Q.H.; Hong, K. -S., *Sliding mode control of an offshore container crane*, IEEE-ASME Trans. Mechatronics, vol. 17, no. 2, pp. 201-209, 2011.
- [9] Ngo, Q. H.; Nguyen, N. P.; Nguyen, C. N.; Tran, T. H.; Hong, K. -S., *Fuzzy sliding mode control of container cranes*, International Journal of Control, Automation and System, vol. 13, no. 2, pp. 419-425, 2015.
- [10] Nguyen, N. P.; Ngo, Q. H., *Active control of an offshore container crane*, Proceeding of International Conference on Control, Automation and System, Busan, Korea, October. 2015.
- [11] Le, T. A.; Moon, S. -C. ; Lee, W. G; Lee, S. -G., *Adaptive sliding mode control of overhead cranes with varying cable length*, Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 27, no. 3, pp. 885-893, 2013.
- [12] Liu, D.; Yi, J.; Zhao, D; Wang,W., *Adaptive sliding mode fuzzy control for a two-dimensional overhead crane*, Mechatronics, vol. 15, no. 5, pp. 505-522, 2004.

- [13] Chang, C. -Y. ; Chiang, K. -H., *Fuzzy projection control law and its application to the overhead crane*, Mechatronics, vol. 18, no. 10, pp. 607-615, 2008.
- [14] Benhidjeb, A.; Gissingner, G. L., *Fuzzy Control of Overhead Crane Performance Comparison with Classic Control*, Control Engineering Practice, vol. 3, no. 12, pp. 1687-1696, 1995.
- [15] Omar. F.; Karray, F.; Basir, O.; Yu, L., *Autonomous Overhead Crane System Using a Fuzzy Logic Controller*, Journal of Vibration and Control, vol. 10, no. 9, pp. 1255-1270, 2004.
- [16] Chang, C-Y., *Adaptive Fuzzy Controller of the Overhead Cranes With Nonlinear Disturbance*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 3, no. 2, pp. 164-172, 2007.



Ngô Quang Hiếu Nhận bằng Kỹ sư Cơ khí tại trường Đại học Bách Khoa TP.HCM năm 2002, bằng thạc sỹ Cơ điện tử tại Học viện AIT Thái Lan năm 2007 và nhận bằng tiến sỹ Hệ thống điều khiển thông minh và Tự động hóa tại trường Đại học Quốc gia Pusan, Hàn Quốc năm 2012. Hướng nghiên cứu chính của anh bao gồm điều khiển các hệ thống cơ điện tử, tự động hóa hệ thống cảng. Tiến sỹ Ngô Quang Hiếu tham gia giảng dạy tại trường Đại học Cần Thơ từ năm 2002 đến nay. Hiện anh đang là Giảng viên thuộc bộ môn Kỹ thuật Cơ khí, Khoa Công Nghệ; giữ chức vụ Trưởng bộ môn.



Nguyễn Chí Ngôn nhận bằng Kỹ sư Điện tử tại Trường Đại Học Cần Thơ năm 1996, bằng Thạc sỹ Kỹ thuật Điện tử tại Trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh năm 2001, và nhận bằng Tiến sỹ Kỹ thuật Điều khiển tại Trường Đại Học Tổng hợp Rostock, CHLB Đức năm 2007. Anh là giảng viên chính đang giảng dạy tại Bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ từ năm 1996; hiện đang giữ chức vụ Giám Đốc Trung Tâm Điện – Điện Tử và Trưởng Khoa Công Nghệ, Trường Đại Học Cần Thơ.



Nguyễn Ngô Phong nhận bằng kỹ sư Cơ điện tử tại Trường Đại học Cần Thơ năm 2013. Anh đang là học viên cao học chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa tại Bộ môn Tự động hóa, Trường Đại học Cần Thơ. Hướng nghiên cứu chính của anh bao gồm điều khiển tuyến tính và phi tuyến, ứng dụng thuật toán điều khiển bền vững và điều khiển thông minh cho hệ cơ điện tử. Anh là giảng viên Khoa Kỹ thuật Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Cần Thơ.