

ĐIỀU KHIỂN GIẢI THUẬT DI TRUYỀN – MỜ CHỐNG DAO ĐỘNG BỀN VỮNG HỆ CẦU TRỤC 3D

CONTROL OF GENETIC ALGORITHMS - FUZZY ANTI - SWING SUSTAINABILITY OF 3D CRANE SYSTEM

TRẦN THỊ YẾN NHI^(*), NGUYỄN HOÀNG TRUNG^(**),
NGUYỄN THU NGUYỆT MINH^(***) và ĐỖ THANH TÙNG^(****)

TÓM TẮT: Bài viết sử dụng bộ điều khiển mờ để tạo ra bộ điều khiển chống dao động cho hệ cầu trục. Bộ điều khiển mờ được thiết kế hoàn toàn dựa trên thông tin của người vận hành có kinh nghiệm. Đồng thời, sử dụng thêm giải thuật di truyền để tối ưu các thông số trong bộ điều khiển cầu trục. Mục đích của bộ điều khiển là điều khiển vị trí và chống dao động góc của tải khi đến nơi cần đến nhằm giảm nguy cơ tai nạn và tăng hiệu suất trong công việc. Các kết quả mô phỏng được thực hiện trên Matlab Simulink chỉ ra rằng, hệ thống có chất lượng vị trí tốt cũng như khả năng làm giảm góc dao động tốt so với bộ điều khiển PID trong điều kiện biến thiên thông số.

Từ khóa: hệ mờ; giải thuật di truyền; hệ cầu trục 3D; chống giao động bền vững.

ABSTRACT: The paper uses the fuzzy logic controller to create the anti-swing controller of crane system. The fuzzy logic controller is designed totally from information of the experienced-operator. Simultaneously, uses more genetic algorithm to optimize the parameters inside the crane controller. The controller's purpose controls position and prevent the payload angle swing at the desired position in order to reduce industrial accidents and increase work performance. The simulated results are performed on Matlab Simulink shows that the system has good position quality as well as the ability to reduce payload angle swing in comparison with PID controller in varying parameter condition.

Key words: fuzzy system; genetic algorithm; 3D crane system; anti-swing sustainability.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cầu trục được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp như vận chuyển tải nặng, vật liệu nguy hiểm trong các nhà máy, khu đóng tàu, các công trình xây dựng cao tầng... Ở cầu trục, khi chuyển động nhanh và dừng lại đột ngột, làm xuất hiện dao động tải. Dao động này có thể tự giảm nhưng sẽ tốn thời gian, gây ra giảm hiệu suất công việc. Khi điều khiển cầu trục, cần nhân viên vận hành có kỹ năng điều khiển bằng kinh nghiệm của người đó để dừng dao động tại điểm

cuối. Hơn nữa, để tháo tải, cần một người vận hành tại điểm dừng. Do đó, làm thế nào để đạt được vị trí chỉ định chính xác với thời gian ít nhất mà vẫn ổn định trở thành vấn đề được quan tâm trong việc nghiên cứu các phương pháp điều khiển cầu trục [3], [6, tr.3972-3984], [8, tr.754-760], [11, tr.1298-1303]. Mục tiêu của bài viết đề xuất bộ quy tắc mờ cho hệ cầu trục khi di chuyển mang tải đến vị trí mong muốn và giữ cho góc dao động của tải nhỏ nhất có thể. Trong điều kiện vận hành thực tế, còn có những tác nhân nhiều

(*) ThS. Trường Đại học Văn Lang, tranthiyeennhi@vanlanguni.edu.vn

(**) ThS. Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh, trungnh@vanlanguni.edu.vn

(***) ThS. Trường Đại học Văn Lang, Mã số: TCKH21-06-2020

không dự đoán được hay các tham số bất định luôn tăng theo sự ảnh hưởng của thời tiết, sự đa đặc tính cơ khí, sự thay đổi khối lượng tải... Do đó, sẽ rất có giá trị để phát triển một bộ điều khiển bền vững với sự ổn định tốt nhất và đáp ứng các mong muốn cho việc điều khiển hệ cầu trục [10, tr.2724-2729]. Kết quả mô phỏng cho thấy, bộ điều khiển chống dao động bền vững khi thay đổi các thông số và tốt hơn khi so sánh với bộ điều khiển PID – GA trong cùng điều kiện.

2. NỘI DUNG

2.1. Thiết kế bộ điều khiển

Khối điều khiển mờ (FLC) có 4 ngõ vào (Hình 3): Sai lệch vị trí theo phương x là e_x , sai lệch vị trí theo phương y là e_y , góc dao động của tải theo phương x là θ_{1x} , góc dao động của tải theo phương y là θ_{1y} . Ngõ ra khối điều khiển mờ FLC có 2 ngõ ra: Điện áp theo trục x và điện áp theo trục y. Ngõ ra của khối điều khiển mờ đi vào đối tượng hệ cầu trục Crane 3D. [6, tr.3972-3984], [7, tr.261-266], [8, tr.754-760], [11, tr.1298-1303].

Mục tiêu điều khiển là điều khiển vị trí cầu trục x_T, y_T tới vị trí mong muốn x_{desire}, y_{desire} nhanh nhất có thể, không gây ra quá mức dao động của tải θ_{1x}, θ_{1y} [5], [9, tr.2956-2961]. Bên cạnh đó, giải thuật di truyền chỉnh định, tìm thông số tối ưu cho 50 biến chứa bên trong khối mờ.

Các thông số trong GA: Kích thước quần thể: 120; Số tham số: 50, gồm: $A_i \leq i \leq 44, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$; Cách chọn lọc: Chọn lọc sắp xếp hạng tuyến tính; Xác suất lai ghép và xác suất đột biến: $p_c = 0.9; p_m = 0.1$; Cách lai ghép: Lai ghép 2 điểm; Cách đột biến: Đột biến 1 điểm; Hàm thích nghi: $fitness = \frac{1}{J+C}$; $C = 10^{-12}; J = \sum_{k=1}^N (e_x^2 + e_y^2 + \theta_{1x}^2 + \theta_{1y}^2)$.

Sai lệch vị trí theo các phương: $e_x = x_{desire} - x_T$; $e_y = y_{desire} - y_T$

Các giá trị ngôn ngữ của khối điều khiển mờ: e_x, e_y gồm NL, NM, NS, ZE, PS, PM, PL; θ_x, θ_y gồm NL, NM, NS, ZE, PS, PM, PL; u_x, u_y gồm N6, N5, N4, N3, N2, N1, ZE, P1, P2, P3, P4, P5, P6. [6, tr.3972-3984], [8, tr.754-760], [9, tr.2956-2961].

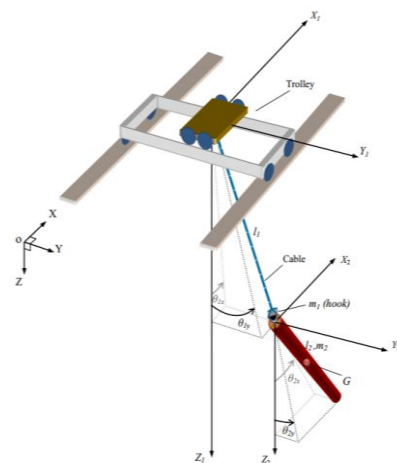
Xây dựng luật điều khiển chống dao động tải cho khối điều khiển mờ theo kiến thức thông thường và theo kinh nghiệm, nghiên cứu của bản thân. Đồng thời trình bày thêm một luật điều khiển trên báo quốc tế.

e_x, e_y $\dot{e}_x, \dot{e}_y$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	P1	P2	P3	P4	P5	P6
NM	N1	ZE	P1	P2	P3	P4	P5
NS	N2	N1	ZE	P1	P2	P3	P4
ZE	N3	N2	N1	ZE	P1	P2	P3
PS	N4	N3	N2	N1	ZE	P1	P2
PM	N5	N4	N3	N2	N1	ZE	P1
PL	N6	N5	N4	N3	N2	N1	ZE

e_x, e_y $\dot{e}_x, \dot{e}_y$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	N1	N2	N3	N4	N5	N6
NM	P1	ZE	N1	N2	N3	N4	N5
NS	P2	P1	ZE	N1	N2	N3	N4
ZE	P3	P2	P1	ZE	N1	N2	N3
PS	P4	P3	P2	P1	ZE	N1	N2
PM	P5	P4	P3	P2	P1	ZE	N1
PL	P6	P5	P4	P3	P2	P1	ZE

Hình 1. Luật mờ theo kiến thức thông thường và Luật mờ theo bài báo quốc tế [1, tr.196-200]

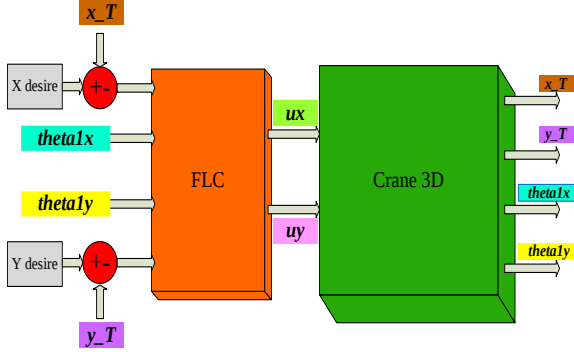
e_x, e_y θ_{1x}, θ_{1y}	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	N6	N5	N4	N3	P4	P5	P6
NM	N6	N5	N4	N2	P4	P5	P6
NS	N6	N5	N4	N1	P4	P5	P6
ZE	N6	N5	N4	ZE	P4	P5	P6
PS	N6	N5	N4	P1	P4	P5	P6
PM	N6	N5	N4	P2	P4	P5	P6
PL	N6	N5	N4	P3	P4	P5	P6



Hình 2. Luật mờ theo kinh nghiệm bản thân và Mô hình cầu trục

2.2. Mô hình hệ cầu trục

Hệ cầu trục là hệ phi tuyến, nó rất khó điều khiển một cách trực tiếp góc dao động của tải, góc dao động sẽ tăng lên theo quán tính của tải. Đồng thời, hệ cầu trục được xem như một hệ điều khiển không hoàn chỉnh với số lượng ngõ ra luôn nhiều hơn số lượng ngõ vào, do đó, sẽ luôn tồn tại dao động tải không mong muốn trong suốt quá trình chuyển động của cầu trục [4], [11, tr.1298-1303].



Hình 3. Hệ mờ đề xuất cho cầu trục chống dao động

Cầu trục di chuyển tự do theo trục x, y . Góc dao động tự do theo phương x, y . Chiều dài dây là hằng số. Không xét góc dao động ở tải. Hệ tọa độ tham chiếu được gắn với cầu trục (Hình 2), chiều Z_1 hướng xuống. Móc tải được nối với cầu trục qua sợi cáp nhỏ, mềm, khối lượng cáp được xem như không có khi so sánh với khối lượng móc tải và tải. Móc tải được xem như một điểm với tải với khối lượng m_p . Chiều dài cáp là hằng số l_c , vì vậy, vị trí chính xác của móc tải có thể xác định bằng góc của cáp. Góc này được đo bằng hai biến θ_{1x}, θ_{1y} là hình chiếu của cáp trên mặt phẳng X-Z và mặt phẳng Y-Z [4], [11, tr.1298-1303].

Trong đó:

$$F_x = \frac{k}{R_m r} \left(u_x - k \frac{\dot{x}_T}{r} \right); F_y = \frac{k}{R_m r} \left(u_y - k \frac{\dot{y}_T}{r} \right)$$

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{m_p}{12} (3R_p^2 + l_p^2); I_{zz} = \frac{m_p}{12} R_p^2$$

x_T, y_T là vị trí của cầu trục trong hệ tọa độ quán tính chuẩn;

x_p, y_p, z_p là vị trí của tải trong hệ tọa độ;

m_p là khối lượng của tải và móc tải;

m_T là khối lượng của cầu trục;

m_r là khối lượng của đường ray cầu trục;

g là gia tốc trọng trường;

R_m là điện trở phần ứng của motor;

r là bán kính bánh xe của cầu trục;

R_p là bán kính trọng tâm của tải;

B_1, B_2, B_3, B_4 là các hệ số ma sát trên cầu trục;

l_c là chiều dài của dây cáp tải;

l_p là chiều dài của tải;

F_x, F_y là lực tác dụng vào cầu trục theo

phương x, y ;

u_x, u_y là điện áp motor tác động theo

phương x, y ;

R_G là bán kính của tải treo;

k là hằng số moment của motor [8, tr.754-760].

Mô hình cầu trục 4 bậc tự do

$$(m_T + m_r + m_p)\ddot{x}_T +$$

$$m_p l_c \ddot{\theta}_{1x} \cos \theta_{1x} = A_1 \quad (1)$$

$$(m_T + m_r + m_p)\ddot{y}_T +$$

$$+ m_p l_c \ddot{\theta}_{1x} \sin \theta_{1x} \sin \theta_{1y}$$

$$+ m_p l_c \ddot{\theta}_{1y} \cos \theta_{1x} \cos \theta_{1y}$$

$$= A_2 \quad (2)$$

$$m_p l_c \ddot{x}_T \cos \theta_{1x} - m_p l_c \ddot{y}_T \sin \theta_{1x} \sin \theta_{1y}$$

$$+ (m_p l_c^2 + I_{yy})\ddot{\theta}_{1x} = A_3 \quad (3)$$

$$m_p l_c \ddot{y}_T \cos \theta_{1x} \cos \theta_{1y}$$

$$+ (I_{xx} \cos^2 \theta_{1x} + I_{zz} \sin^2 \theta_{1x}$$

$$+ m_p l_c^2 \cos^2 \theta_{1x})\ddot{\theta}_{1y}$$

$$= A_4 \quad (4)$$

$$A_1 = \frac{k}{R_m r} \left(u_x - k \frac{\dot{x}_T}{r} \right) + m_p l_c \dot{\theta}_{1x}^2 \sin \theta_{1x}$$

$$- B_1 \dot{x}_T$$

$$A_2$$

$$= \frac{k}{R_m r} \left(u_y - k \frac{\dot{y}_T}{r} \right)$$

$$+ m_p l_c \dot{\theta}_{1x}^2 \cos \theta_{1x} \sin \theta_{1y}$$

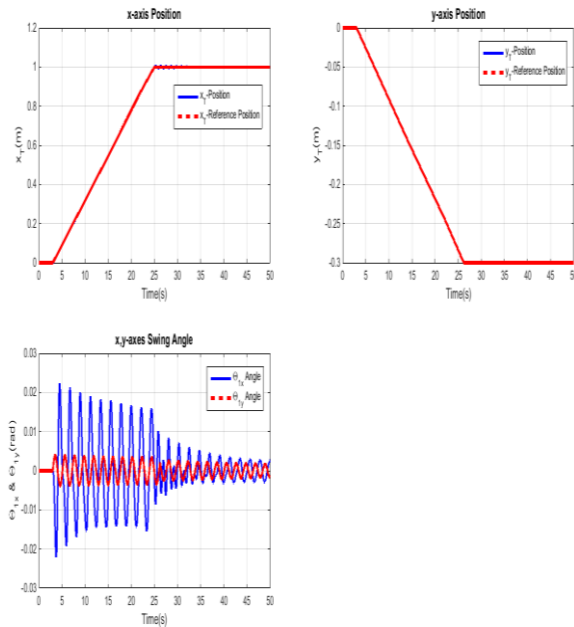
$$+ m_p l_c \dot{\theta}_{1y}^2 \cos \theta_{1x} \sin \theta_{1y}$$

$$+ 2m_p l_c \dot{\theta}_{1x} \dot{\theta}_{1y} \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1y} - B_2 \dot{y}_T$$

$$\begin{aligned}
A_3 &= -B_3 \dot{\theta}_{1x} - m_p l_c^2 \dot{\theta}_{1y}^2 \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1x} \\
&\quad - (I_{xx} \\
&\quad - I_{zz}) \dot{\theta}_{1y}^2 \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1x} \\
&\quad - m_p g l_c \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1y} \\
A_4 &= -B_4 \dot{\theta}_{1y} + 2m_p l_c^2 \dot{\theta}_{1x} \dot{\theta}_{1y} \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1x} \\
&\quad - 2(I_{zz} \\
&\quad - I_{xx}) \dot{\theta}_{1x} \dot{\theta}_{1y} \sin \theta_{1x} \cos \theta_{1x} \\
&\quad - m_p g l_c \cos \theta_{1x} \sin \theta_{1y}
\end{aligned}$$

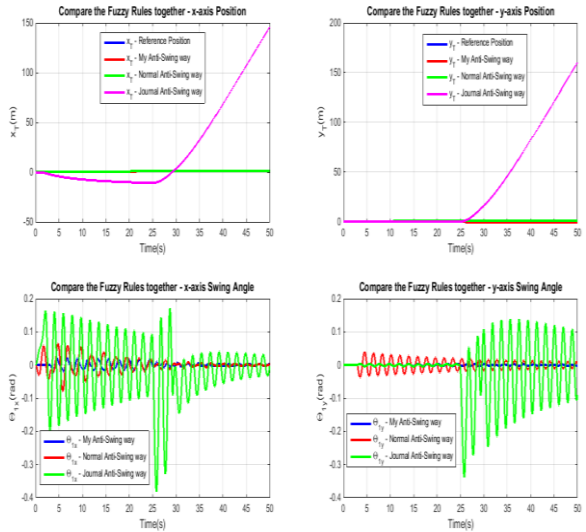
2.3. Kết quả mô phỏng

Thông số đối tượng khi thiết kế bộ điều khiển: $m_T = 3kg$; $m_p = 1kg$; $m_r = 1kg$; $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 0.01$; $l_c = 1m$; $l_p = 0.1m$; $r = 0.01m$; $R_m = 2\Omega$; $R_G = 0.05m$



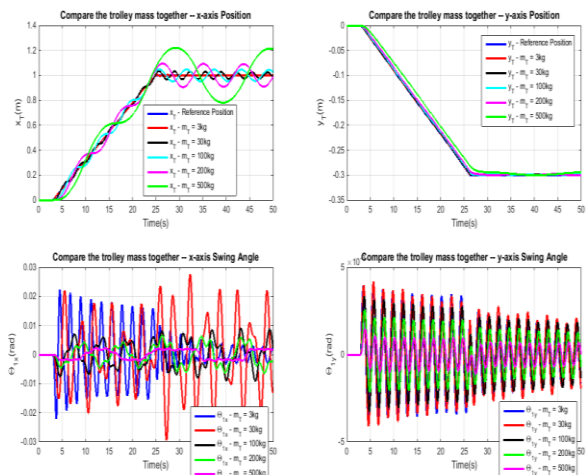
Hình 4. Vị trí và góc dao động của cầu trục

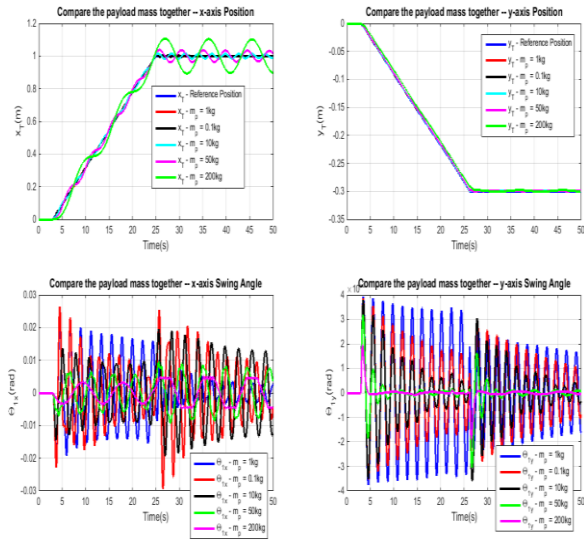
Hình 4, thể hiện chất lượng điều khiển ở thông số thiết kế. Trục x, dừng lại sau khi di chuyển đến giây thứ 25; Trục y, di chuyển tới giây thứ 27 với mục đích để cho dao động của trục này sẽ tác động lên góc dao động của trục còn lại. Góc dao động cả trục x và y sau khi đến nơi cần đến đều rất nhỏ, lần lượt khoảng 0.58 độ ở trục x và 0.14 độ ở trục y. Vọt lố ở điều khiển vị trí trục x là 0.52%, ở trục y là 0.33% [2].



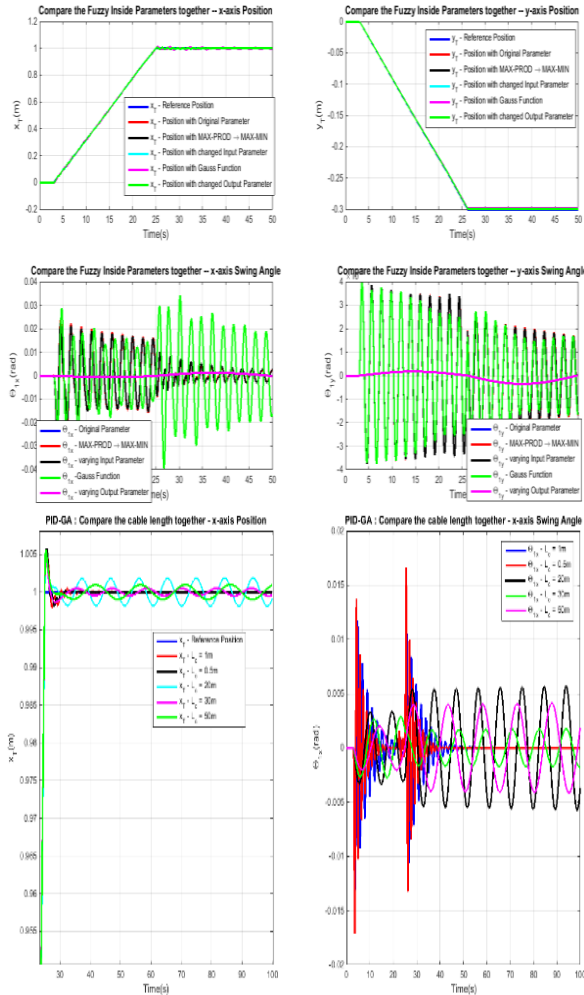
Hình 5. Vị trí và góc khi so sánh các luật điều khiển mờ

Hình 5, theo trục x, ở luật mờ theo kiến thức thông thường, điều khiển vị trí có sai lệch khoảng 6%, vọt lố khoảng 6.81%, có hình dạng bám theo, góc dao động khoảng 0.9 độ. Luật mờ theo bài báo quốc tế, không thể điều khiển được vị trí, góc dao động lớn khoảng 22 độ. Với luật điều khiển mới, sai lệch trong điều khiển vị trí là 0%, vọt lố khoảng 0.52%, góc dao động 0.58 độ. Theo trục y, luật mờ theo kiến thức thông thường và theo bài báo quốc tế không điều khiển được. Ở luật điều khiển mới, vọt lố khoảng 0.33%. Góc dao động theo luật mờ của bài báo quốc tế khoảng 19.4 độ, theo phương pháp thông thường khoảng 1.07 độ, với luật điều khiển mới khoảng 0.14 độ.

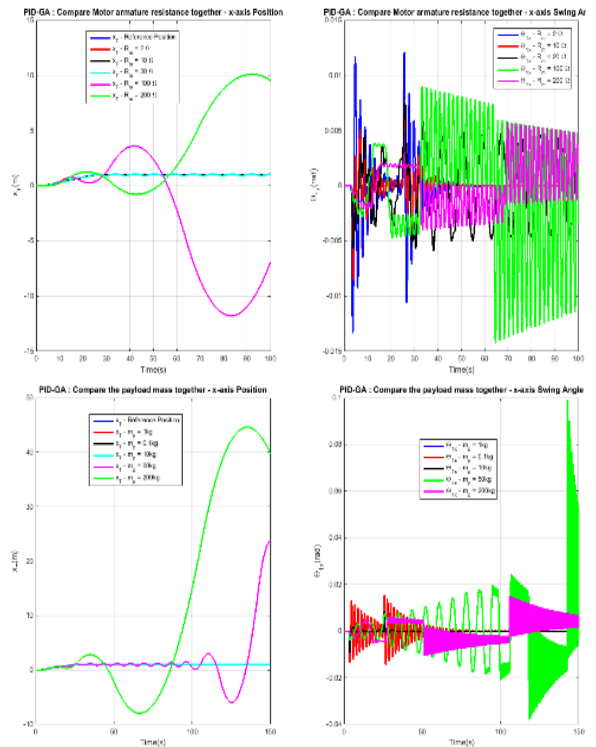




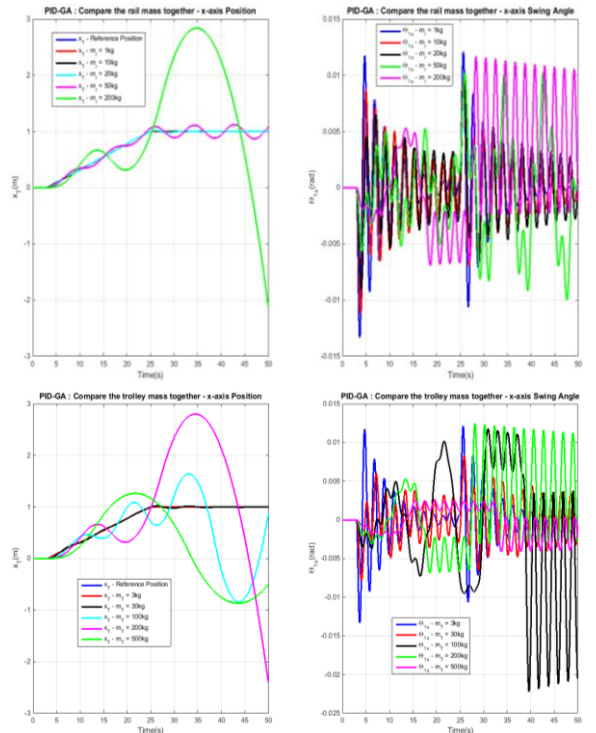
Hình 6. Vị trí và góc khi thay đổi khối lượng cầu trực và khối lượng tải



Hình 7. Vị trí và góc khi thay đổi các thông số mờ và khi dùng PID – GA với điều kiện thay đổi chiều dài dây cáp



Hình 8. Vị trí và góc khi dùng PID – GA với điều kiện thay đổi điện trở phần ứng và với điều kiện thay đổi khối lượng tải



Hình 9. Vị trí và góc khi dùng PID – GA với điều kiện thay đổi khối lượng thanh ray và với điều kiện thay đổi khối lượng cầu trực

3. KẾT LUẬN

Bài viết giải quyết vấn đề vừa điều khiển được vị trí và cũng đảm bảo góc dao động của tải nhỏ. Qua kết quả mô phỏng, chứng tỏ luật mờ mới tốt hơn nhiều so với các luật mờ khác, điều khiển chính xác hơn cả về vị trí mà bảo đảm được góc dao động của tải nhỏ. Khi thay đổi các thông số bên trong của đối tượng, thông số bên trong hệ mờ, chúng ta thấy rằng,

góc dao động có tính ổn định bền vững với sự biến thiên của các tham số, hơn nhiều so với sự ổn định bền vững trong các bộ điều khiển khác hay các luật mờ khác trong cùng phương pháp điều khiển mờ. Khi so sánh với bộ điều khiển PID – GA, chúng ta thấy rõ, bộ điều khiển Fuzzy – GA với luật mờ mới có sự bền vững ổn định với sự biến thiên các thông số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dragan, A; Zoran, J; Stanisa, p; Sasa, N; Marko, M; Milos, M (2012), *Anti-Swing Fuzzy Controller Applied in a 3D Crane System*, ESTAR, Engineering, Technology and Applied Science Research, Bd. 2.
- [2] J. Zhang, S. P, S. Member, IEEE und Y. and Xia (2010), *Robust Adaptive Sliding-Mode Control for Fuzzy Systems with Mismatched Uncertainties*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Bd. 18.
- [3] Lee, H –H and Cho, S -K (2001), *A new Fuzzy-Logic Anti-Swing Control for Industrial Three-Dimensional Overhead Cranes*, Proceeding of the 2001 IEEE, International Conference on Robotics and Automation.
- [4] Lee, K-S; and Hyun, C -C (2008), *Adaptive control and stability analysis of nonlinear crane systems with perturbation*, *Journal of Mechanical Science and Technology*.
- [5] Liu, D; Yi, J; Zhao, D; and Wang, W (2004), *Swing-Free Transporting of Two-Dimensional Overhead Crane Using Sliding Mode Fuzzy Control*, AACC, Proceeding of the 2004 American Control Conference.
- [6] Park, M -S; Chwa, D; and Hong, S -K (2008), *Anti-sway Tracking Control of Overhead Cranes with System Uncertainty and Actuator Nonlinearity Using an Adaptive Fuzzy Sliding-Mode Control*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Bd. 55.
- [7] Smoczek, J; and Szpytko, J, (2010) *Fuzzy Logic Approach to the Gain Scheduling Crane Control System*, IEEE.
- [8] Stefania, Carmeli; and Marco, Mauri (2013), *HIL test bench to test anti-swing fuzzy control of an overhead crane*, IEEE.
- [9] Wahuydi; and Jalani, J (2006), *Robust Fuzzy Logic Controller for an Intelligent Gantry Crane System*, IEEE, First International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS.
- [10] Yang, T -W; and O'Connor, W -J (2006), *Wave Based Robust Control of a Crane System*, IEEE, Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ, International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [11] Yi, J; Yubazaki, N; and Hirota, K (2002), *Anti-Swing Fuzzy Control of Overhead Traveling Crane*, IEEE.

Ngày nhận bài: 16-10-2019. Ngày biên tập xong: 13-5-2020. Duyệt đăng: 26-5-2020