

ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ ĐỘNG DỰA TRÊN KỸ THUẬT NÂNG CAO FUZZY-PSO

OPTIMAL CONTROL FOR DYNAMIC POSITION SYSTEM BASED ON FUZZY-PSO ADVANTAGE TECHNICAL

Đỗ Việt Dũng, Đặng Xuân Kiên, Hồ Lê Anh Hoàng

Viện Đào tạo Sau đại học, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Bài báo này thiết kế giải thuật mờ tối ưu bầy đàn áp dụng điều khiển hệ thống định vị động để ổn định vị trí tàu dưới những tác động không mong muốn. Các thông số cấu trúc bộ điều khiển mờ được hiệu chỉnh tối ưu hóa bằng giải thuật tối ưu bầy đàn. Phạm vi giá trị độ rộng và độ nghiêng tác động các tập mờ của hàm liên thuộc được chỉnh định linh động với sai số hệ thống. Qua đó tối ưu hóa tín hiệu điều khiển và nâng cao chất lượng hệ thống định vị động. Với kết quả đạt được tốt hơn so với các phương pháp điều khiển khác như giải thuật mờ, đã chứng tỏ hiệu quả của giải pháp đề xuất.

Từ khóa: Hệ thống định vị động, tác động không mong muốn, hàm liên thuộc, tối ưu bầy đàn, hệ phi tuyến.

Chỉ số phân loại: 2.2

Abstract: This paper aim to design a fuzzy particle swarm optimization algorithm which applies a dynamic positioning system to stabilize a vessel position under unexpected impacts. Particle swarm optimization is used to optimize the parameters of fuzzy controller. The coverage domain width and overlap degree influence of membership function are considered in the method to adjust dynamically from system errors. Thereby optimizing the control signal and enhancing the dynamic positioning system quality. The results in a better performance compared to other control method such as fuzzy that proved effective of the proposed controller.

Keywords: Dynamic positioning system, unexpected impacts, membership function, particle swarm optimization, nonlinear system.

Classification number: 2.2

1. Giới thiệu

Mục tiêu hệ thống định vị động (DPS) được thiết kế để tự động duy trì vị trí và hướng tàu bằng cơ cấu đẩy động lực học [1]. Điều kiện môi trường hoạt động thay đổi liên tục và tác động đến thân tàu. Vì vậy, khi di chuyển trong các điều kiện biến đổi khiến cho đối tượng mang tính phi tuyến cao và khó điều khiển. Trong một nghiên cứu, E. A. Tannuri (2010) ứng dụng giải thuật điều khiển cho DPS dựa trên mô hình mặt trượt kết hợp các phương trình toán học đa biến phi tuyến [2]. Ưu điểm của giải pháp là tính bền vững với các thành phần biến đổi điều kiện môi trường. Để cải thiện chất lượng điều khiển, F. Benetazzo (2015) sử dụng bộ quan sát Luenberger để phát hiện lỗi bộ truyền động [3]. Các kết quả mô phỏng với mô hình tàu dịch vụ cho thấy, trong trường hợp lỗi của bộ truyền động, đáp ứng DPS được đảm bảo chất lượng với giải pháp đề xuất. Nghiên cứu này cần xem xét các tác động không mong muốn đến chuyển động của tàu như sóng và gió.

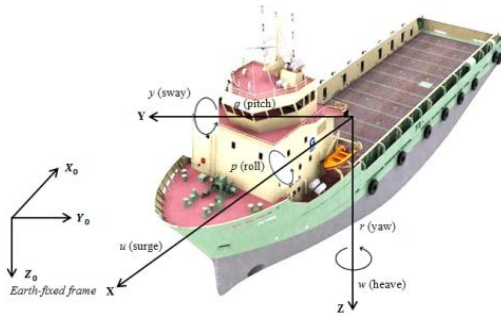
Trong một nghiên cứu gần đây, M. C. Fang (2016) áp dụng giải thuật Neural-Fuzzy vào thực tiễn để tìm ra trạng thái tốt nhất của hệ thống động lực tàu. Cùng với sự nhiễu môi trường được ước lượng và giảm bằng cấu trúc neural [4]. Tuy nhiên, DPS nên được khảo sát trong môi trường thực tế, việc xử lý tín hiệu cảm biến với lọc Kalman và thời gian trễ của tín hiệu điều khiển đến cơ cấu chấp hành cũng là các yếu tố cần được xem xét.

Cấu trúc điều khiển mờ (Fuzzy) đưa ra phương pháp tiếp cận hiệu quả cho hệ thống phi tuyến DPS với những tác động không mong muốn, do khả năng xấp xỉ hóa hàm phi tuyến của hệ mờ. Trong bài báo này, xem xét đồng thời các tác động không mong muốn từ môi trường, nhóm tác giả đề xuất kỹ thuật điều khiển nâng cao mờ tối ưu bầy đàn (Fuzzy-PSO) cho DPS. Các tham số không xác định gây ra bởi các yếu tố môi trường được xấp xỉ bởi chức năng mờ. Giải thuật tối ưu bầy đàn (PSO) được áp dụng để hiệu chỉnh cấu trúc mờ trở lên tối ưu với biến đổi sai số đầu vào. Từ

đó nâng cao chất lượng của hệ thống và tối ưu hóa cấu trúc bộ điều khiển cho DPS giúp tàu nhanh tiến tới miền ổn định.

2. Hệ thống định vị động

DPS được mô tả trong mô hình động học ba bậc tự do gồm trượt dọc, trượt ngang và quay trở [1]. Hai hệ tọa độ được minh họa trong hình 1. Vị trí (x, y) và hướng đi của tàu (ψ) trong hệ trục tọa độ tuyệt đối $X_0Y_0Z_0$ (hệ tọa độ gắn với Trái đất) được biểu diễn dưới dạng vectơ $\eta = (x, y, \psi)^T$.



Hình 1. Hệ tọa độ tham chiếu cố định Trái đất và tàu.

Tốc độ của hệ trục tọa độ gắn với tàu được cho bởi vectơ $v = (u, v, r)^T$, với u là tốc độ trượt dọc, v là tốc độ trượt ngang và r là tốc độ quay quanh trục thẳng đứng và tâm của hệ trục tọa độ tương đối XYZ đặt ở mặt phẳng trượt dọc của tàu. Mô hình biểu diễn DPS [5] được mô tả trong các phương trình sau:

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (1)$$

$$M\dot{v} + Dv = \tau + d(t) \quad (2)$$

Với $\tau = [\tau_x, \tau_y, \tau_\psi]^T$ là vectơ lực và mô men điều khiển cơ cấu đẩy và bánh lái của tàu theo phương tiến, dạt và quay trở. $d(t) = [d_1(t), d_2(t), d_3(t)]^T$ biểu thị cho tác động nhiễu môi trường bao gồm sóng, gió và dòng chảy. Trong đó $d_1(t)$ và $d_2(t)$ là nhiễu môi trường tác động đến chuyển động tiến và dạt tàu. $d_3(t)$ là tác động trong chuyển động quay trở. Bên cạnh đó, M đại diện cho ma trận quán tính và D là ma trận dao động tắt dần. Ma trận chuyển đổi $J(\eta)$ giữa hệ trục tọa độ tuyệt đối $X_0Y_0Z_0$ và hệ trục tọa độ tương đối XYZ được cho bởi phương trình (3) như sau:

$$J(\eta) = J(\psi) \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Giả thuyết: Các tác động không mong muốn bao gồm các thành phần nhiễu $d_1(t)$,

$d_2(t)$ và $d_3(t)$ từ môi trường hoạt động. Mặt khác, sự thay đổi mô hình động học M và D cũng là tác động không mong muốn.

Nhận định: Khi vận hành trong điều kiện thực tế thì tàu chịu ảnh hưởng chính từ tác động môi trường. Mặt khác năng lượng và hành trình hoạt động của cơ cấu đẩy tàu luôn trong giới hạn nhất định. Như vậy giả thuyết mang tính thiết thực và hợp lý.

Bài báo giới thiệu phương pháp thiết kế bộ điều khiển Fuzzy-PSO cho DPS (1) và (2) dưới các tác động không mong muốn trong giả thuyết. Với mục tiêu duy trì ở các giá trị mong muốn của trạng thái hoạt động về vị trí tàu (x, y) và hướng tàu (ψ) với độ chính xác cao, trong khi các thông số cấu trúc mờ được tối ưu bởi thuật toán PSO.

3. Thiết kế bộ điều khiển cho DPS

3.1. Phương pháp điều khiển Fuzzy

Tác giả V. D. Do (2017) đề xuất bộ điều khiển Fuzzy-TS có hai ngõ vào [6]: e_η là sai số vị trí và de_η/dt là vận tốc sai số, ngõ ra τ là lực điều khiển có hàm thành viên như sau:

$$e_\eta : \{NE \ NS \ ZE \ PS \ PO\}$$

$$de_\eta/dt : \{NS \ ZE \ PS\}$$

$$\tau : \{NE \ NSS \ NS \ ZE \ PS \ PSS \ PO\}$$

Cấu hình bộ xấp xỉ mờ bao gồm một số luật nếu-thì và cơ chế suy luận. Luật nếu-thì thứ i (với $i = 1 \div h$) được viết như sau:

$$R_i: \text{nếu } \hat{e}_1 \text{ là } A_{k1}^i \dots \hat{e}_n \text{ là } A_{kn}^i \text{ thì } u_{fk} \text{ là } B_k^i.$$

Trong đó: $A_{k1}^i, A_{k2}^i, \dots, A_{kn}^i$ và B_k^i là các tập mờ, sử dụng luật suy diễn Max-Prod, mờ hóa singleton và giải mờ theo trung bình trọng tâm, ngõ ra của bộ điều khiển xấp xỉ biểu diễn như sau [7]:

$$u_{fk} = \frac{\sum_{i=1}^h \theta_k^{-i} [\prod_{j=1}^n \mu_{A_{kj}^i}(\hat{e}_j)]}{\sum_{i=1}^h [\prod_{j=1}^n \mu_{A_{kj}^i}(\hat{e}_j)]} = \theta_k^T \varphi_k(\hat{e}) \quad (4)$$

Với $\mu_{A_{kj}^i}(\hat{e}_j)$ là hàm liên thuộc biến mờ, h là tổng các luật nếu-thì, θ_k^{-i} là điểm vạch mà tại đó $\mu_{B_k^i}(\theta_k^{-i}) = 1$ và $\varphi_k(\hat{e}) = [\varphi_k^1, \varphi_k^2, \dots, \varphi_k^h]^T \in R^h$ vectơ cơ sở mờ với φ_k^i định nghĩa trong công thức (5) sau:

$$\varphi_k^i(\hat{e}) = \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_{kj}^i}(\hat{e}_j)}{\sum_{i=1}^h [\prod_{j=1}^n \mu_{A_{kj}^i}(\hat{e}_j)]} \quad (i = 1 \div h) \quad (5)$$

Cấu trúc bộ điều khiển mờ đặc trưng bởi một tập ngôn ngữ dựa trên sự hiểu biết đặc tính động học mô hình và được diễn đạt thông qua các luật nếu-thì. Luật hợp thành bộ điều khiển mờ (trình bày tại bảng 1) có dạng hàm điều kiện liên kết với các biến trạng thái tiền tố và các biến điều khiển quá trình.

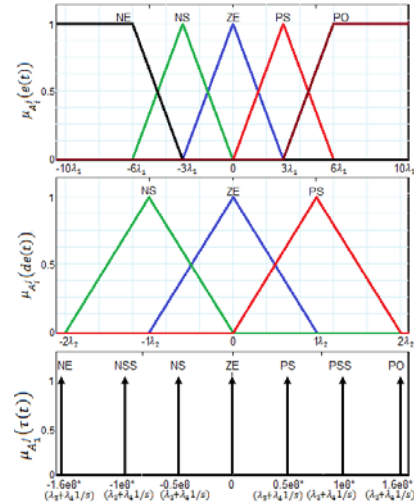
Bảng 1. Tổng hợp luật hợp thành [6].

		de/dt		
		$\tau_x/\tau_y/\tau_\psi$		
		NS	ZE	PS
$e(t)$	E	NE_x/NE_y $/NE_\psi$	NSS_x $/NSS_y$ $/NSS_\psi$	NS_x/NS_y $/NS_\psi$
	S	NSS_x $/NSS_y$ $/NSS_\psi$	NS_x/NS_y $/NS_\psi$	ZE_x/ZE_y $/ZE_\psi$
	E	NS_x/NS_y $/NS_\psi$	ZE_x/ZE_y $/ZE_\psi$	PS_x/PS_y $/PS_\psi$
	S	ZE_x/ZE_y $/ZE_\psi$	PS_x/PS_y $/PS_\psi$	PSS_x $/PSS_y$ $/PSS_\psi$
	O	PS_x/PS_y $/PS_\psi$	PSS_x $/PSS_y$ $/PSS_\psi$	PO_x/PO_y $/PO_\psi$

3.2. Phương pháp điều khiển Fuzzy-PSO

Nội dung đề xuất việc thiết kế bộ điều khiển cho DPS bằng cách kết hợp hệ thống mờ với thuật toán PSO để đạt được mục tiêu điều khiển nêu trong phần 2. Qua đó khắc phục được các vấn đề trong Nhận định. Quá trình thiết kế bao gồm hai bước sau:

Bước 1: Xác định hệ mờ với tham số tối ưu. Cấu trúc điều khiển được xây dựng tương tự như nội dung phần 3.1. Bộ điều khiển mờ có hai đầu vào, $e_x(t)$, $d_{e_x(t)}/d(t)$ và một đầu ra, $\tau(t)$. Các tập mờ được điều chỉnh bằng hệ số λ để tối ưu hóa cấu trúc. Các hàm liên thuộc được xác định tương tự trong hình 2.



Hình 2. Giá trị tập mờ của hàm liên thuộc được hiệu chỉnh tối ưu bởi hệ số λ .

Cơ chế suy luận mờ xác định bởi công thức:

$$\mu_B(u) = \max_{j=1}^m [\mu_{A_i^j}(e), \mu_{A_i^j}(de), \mu_{A_i^j}(\tau)] \quad (6)$$

Với $\mu_{A_1^j}(e(t)) = \lambda_1(A_{e1}^j, A_{e2}^j \dots A_{ei}^j)$ là hàm liên thuộc sai số, $\mu_{A_2^j}(de(t)) = \lambda_2(A_{de1}^j, A_{de2}^j \dots A_{dej}^j)$ là hàm liên thuộc của vận tốc sai số và $\mu_{A_3^j}(\tau(t)) = (\lambda_3 + (1/s)\lambda_4)(A_{\tau1}^j, A_{\tau2}^j \dots A_{\tauj}^j)$ là hàm liên thuộc đáp ứng đầu ra. j là chỉ số tập mờ, i là kết quả của suy luận mờ. $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4]$ là vector chỉnh định cấu trúc hệ thống, được xác định bởi giải thuật PSO.

Bước 2: Xác định hệ số tối ưu λ . Thông số tối ưu hóa được đặt vào một không gian tìm kiếm bốn chiều với vận tốc, vị trí ban đầu của các cá thể được chọn ngẫu nhiên [8]. Mỗi cá thể đại diện cho một khả năng tối ưu hóa giá trị λ . Kích thước của quần thể là s , mỗi cá thể thứ i ($1 \leq i \leq s$) sẽ đại diện cho một giải pháp thử nghiệm có tham số $j = 1, 2, \dots, n$. Tại thế hệ thứ k , mỗi cá thể sẽ có một vị trí hiện tại là $\lambda_i^p(k)$, tốc độ hiện tại là $v_i(k)$, vị trí tốt nhất $\lambda_i^{pb}(k)$, trong không gian tìm kiếm và trong toàn quần thể có vị trí tốt nhất cả quần thể là $\lambda^{gb}(k)$. Mỗi cá thể trong quần thể được cập nhật lại các thuộc tính trên sau mỗi thế hệ theo biểu thức sau:

$$v_{i,j}(ke + 1) = w(k)v_{i,j}(ke) + c_1r_1[\lambda_{i,j}^{pb}(k) - \lambda_{i,j}^p(k)] + c_2r_2[\lambda_j^{gb}(k) - \lambda_{i,j}^p(k)] \quad (7)$$

Trong đó: w là trọng số quán tính, c_1 và c_2 là các hệ số gia tốc, r_1 và r_2 là các hằng số ngẫu nhiên.

nhiên nằm trong khoảng (0,1), g là số lần lặp lại [9]. Trọng số quán tính được cập nhật theo công thức (8) như sau:

$$w(g) = \frac{(iter_{max} - g)(w_{max} - w_{min})}{iter_{max}} + w_{min} \quad (8)$$

Với $iter_{max}$ là giá trị lớn nhất của số lần lặp thuật toán PSO, w_{max} và w_{min} lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của trọng số quán tính. Vị trí mới của một cá thể có thể được cập nhật theo công thức (9) như sau:

$$\lambda_{i,j}^p(g+1) = \lambda_{i,j}^p(g) + v_{i,j}(g+1) \quad (9)$$

Sau đó vị trí tốt nhất của mỗi cá thể được cập nhật theo công thức (10) như sau

$$\lambda_{i,j}^{pb}(g+1) = \begin{cases} \lambda_{i,j}^{pb}(g), & \text{if } J(\lambda_{i,j}^p(g+1)) \geq J(\lambda_{i,j}^{pb}(g)) \\ \lambda_{i,j}^p(g+1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

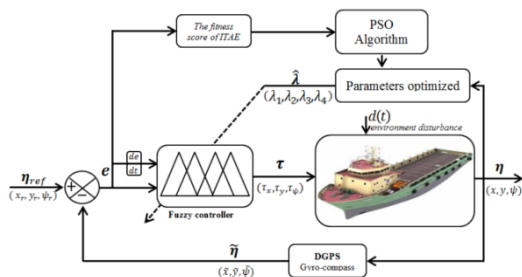
Cuối cùng, vị trí tốt nhất của cả quần thể được cập nhật theo công thức (11) dưới đây:

$$\lambda_j^{gb}(g+1) = \arg \min_{\lambda_{i,j}^{pb}(g)} J(\lambda_{i,j}^{pb}(g+1)) \quad (11)$$

với $1 \leq i \leq s$

Hàm mục tiêu được dùng để đánh giá lời giải của bài toán tối ưu. Với mục tiêu là tối thiểu hóa các sai số giữa tín hiệu ngõ ra và tín hiệu đặt ngõ vào cho các khối điều khiển vị trí tàu và hướng quay trở. Cấu trúc bộ điều khiển tối ưu chuyển động tàu thủy được thể hiện trong hình 3. Hàm mục tiêu được chọn theo tiêu chuẩn ITAE [8-10] như sau:

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (12)$$



Hình 3. Cấu trúc giải thuật mờ tối ưu bầy đàn cho hệ thống định vị động.

4. Mô phỏng hệ thống định vị động

Thông số mô phỏng [6] cho đối tượng DPS được chọn trên tàu Mariner Class tỉ lệ 1: 70 có chiều dài $L = 76.2m$, chiều rộng $B = 18.8m$ và mớn nước thiết kế $T = 4.6m$.

$$D = \begin{bmatrix} 5.0242e4 & 0 & 0 \\ 0 & 2.7229e5 & -4.3933e6 \\ 0 & -4.3933e6 & 4.1894e8 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 5.3122e6 & 0 & 0 \\ 0 & 8.2831e6 & 0 \\ 0 & 0 & 3.7454e9 \end{bmatrix}$$

Mô phỏng với tham số tàu dịch vụ trong hai trường hợp. Trường hợp 1: Giải thuật Fuzzy-PSO (FPSO) và mờ (Fuzzy) tác động đưa tàu đến giá trị mong muốn $[3m, 7m, 20^\circ]$ trong khoảng 200s từ giá trị ban đầu $[0m, 0m, 0^\circ]$. Tác động nhiễu môi trường $d(t) = J^T(\psi)b$ xác định theo định luật Markov như sau:

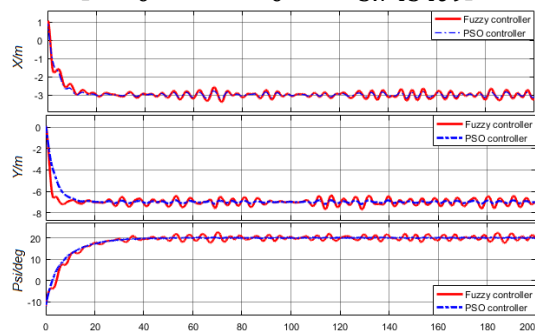
$$\dot{b} = -T^{-1}b + \psi\omega \quad (13)$$

Công thức trên dùng để mô tả sự biến đổi chậm của nhiễu môi trường biển. Trong đó b là vector lực và mômen tác động nhiễu với $b(0) = [0KN, 0KN, 0KN.m]^T$, $T \in R^{3 \times 3}$ là ma trận hằng số thời gian. $\omega \in R^3$ là vector nhiễu trắng Gaussian, và $\psi = diag(3 \times 10^2, 3 \times 10^2, 3 \times 10^3)$ ma trận đường chéo tham số ω .

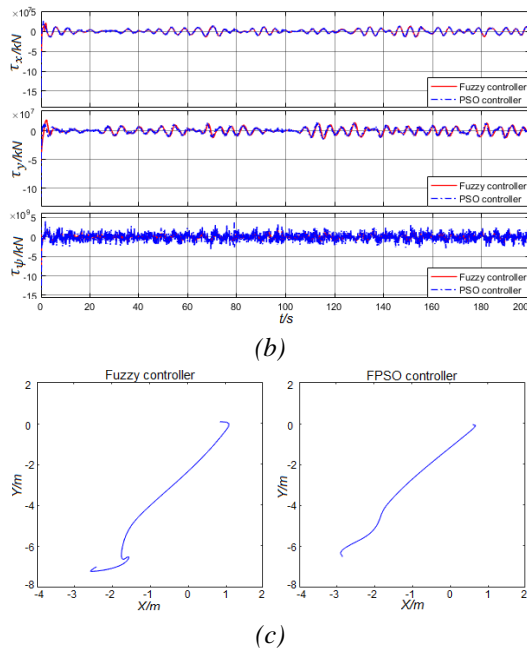
Trường hợp 2: Các bộ điều khiển thực hiện mô phỏng để giữ hành trình tàu dưới các tác động không mong muốn được nêu trong Giả thuyết. Cùng với sự biến đổi của mô hình thông số động học M và D như sau:

$$D = 1.5 \times \begin{bmatrix} 5.0242e4 & 0 & 0 \\ 0 & 2.7229e5 & -4.3933e6 \\ 0 & -4.3933e6 & 4.1894e8 \end{bmatrix}$$

$$M = 1.5 \times \begin{bmatrix} 5.3122e6 & 0 & 0 \\ 0 & 8.2831e6 & 0 \\ 0 & 0 & 3.7454e9 \end{bmatrix}$$



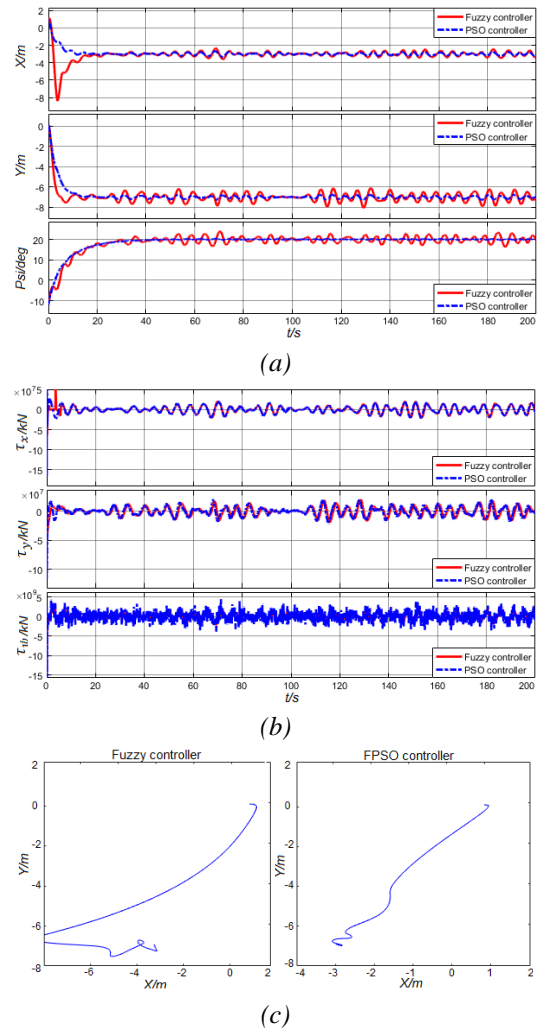
(a)



Hình 4. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 1. (a) Vị trí thực của tàu (x, y) và hướng quay trở ψ . (b) Lực điều khiển tịnh tiến τ_x , trôi dạt τ_y và quay trở τ_ψ . (c) Quỹ đạo di chuyển tàu trong mặt phẳng XY

Kết quả với các bộ điều khiển cho DPS được mô tả trong hình 4 và hình 5 cho thấy tại thời điểm 10s tàu bắt đầu cập nhật hướng và quỹ đạo dịch chuyển mong muốn $[3m, 7m, 20^\circ]$. Khi bắt đầu xuất phát dưới tác động từ môi trường và sự biến đổi mô hình động học khiến cho đối tượng có nguy cơ bị lệch hướng và quỹ đạo dịch chuyển. Bên cạnh đó, với sự gia tăng biên độ tác động các thành phần không mong muốn làm cho đáp ứng tàu dao động mạnh tại thời điểm 30s và 110s. Giải pháp FPSO có khả năng thích ứng với đặc tính phi tuyến của chuyển động tàu và hạn chế tác động không mong muốn theo thời gian.

Do đó, nâng cao chất lượng của tín hiệu điều khiển, giảm dao động và giữ cân bằng cho tàu khi hoạt động. Như vậy, chiến lược đề xuất đã giải quyết vấn đề nêu ra trong giả thuyết và nhận định. Với kết quả sử dụng bộ điều khiển mờ, vị trí tàu sẽ ổn định trong trường hợp tác động thấp và rung lắc ở các trường hợp tác động cao hơn. Bên cạnh đó, hướng tàu dao động mạnh theo mức độ ảnh hưởng tác động không mong muốn.



Hình 5. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 2. (a) Vị trí thực của tàu (x, y) và hướng quay trở ψ . (b) Lực điều khiển tịnh tiến τ_x , trôi dạt τ_y và quay trở τ_ψ . (c) Quỹ đạo di chuyển tàu trong mặt phẳng XY.

5. Kết luận

Bài báo trình bày bộ điều khiển Fuzzy-PSO cho DPS dưới ảnh hưởng của sự biến cấu trúc động học tàu và các tác động không mong muốn. Thuật toán đề xuất tối ưu hóa các tham số cấu trúc mờ và giảm các đặc tính phi tuyến của DPS gây ra bởi các tác động không mong muốn. Do đó, giúp tàu duy trì vị trí chính xác và hướng tàu mong muốn. Trong tương lai, nghiên cứu này được mở rộng bằng cách sử dụng thuật toán bền vững để nâng cao chất lượng điều khiển DPS khi tàu hoạt động dưới tác động không mong muốn trong thời gian dài và liên tục.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. I. Fossen (2002), *Marine control systems – Guidance, navigation and control of ship, rigs*

- and underwater vehicles*. Marine Cybernetics, Trondheim, Norway.
- [2] E. A. Tannuri, A. C. Agostinho, H. M. Morishita, and L. Moratelli Jr (2010), "Dynamic positioning systems: An experimental analysis of sliding mode control", *Control Engineering Practice*, vol. 18, pp. 1121-1132.
- [3] F. Benetazzo, G. Ippoliti, S. Longhi, and P. Raspa (2015), "Advanced control for fault-tolerant dynamic positioning of an offshore supply vessel", *Ocean Engineering*, vol. 106, pp. 472-484.
- [4] M. C. Fang, and Z. L. Lee (2016), "Application of neural-fuzzy algorithm to portable dynamic positioning control system for ships", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 38-52.
- [5] X. Hu, J. Du, and J. Shi (2015), "Adaptive fuzzy controller design for dynamic positioning system of vessels", *Applied Ocean Research*, vol. 53, pp. 46-53.
- [6] Đỗ Việt Dũng, Đặng Xuân Kiên, Hồ Lê Anh Hoàng (2017), "Nâng cao Chất lượng Hệ thống Định vị động Tàu dịch vụ dưới Tác động Không mong muốn với Giải thuật Fuzzy Takagi-Sugeno", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, số. 51, trang. 92-95.
- [7] Dang Xuan Kien, Ho Le Anh Hoang, and Do Viet Dung (2018), "Analyzing the Sea Weather Effects to the Ship Maneuvering in Vietnam's Sea from BinhThuan Province to Ca Mau Province Based on Fuzzy Control Method", *TELKOMNIKA Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 533-543.
- [8] R. C. Eberhart, and Y. Shi (1998), "Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization", *Proc. Int. Conf. on the Evolutionary Programming VII, 7th International Conference*, vol. 7, pp. 611-616.
- [9] K. Chayakulkheeree, V. Hengsratawatb, and P. Nantivatana (2017), "Particle Swarm Optimization Based Equivalent Circuit Estimation for On-Service Three-Phase Induction Motor Efficiency Assessment", *Engineering Journal*, vol. 21, pp. 101-110.
- [10] J. He, and H. Guo (2013), "A Modified Particle Swarm Optimization Algorithm", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 11, no. 10, pp. 6209-6215.

Ngày nhận bài: 27/03/2018

Ngày chuyển phản biện: 01/04/2018

Ngày hoàn thành sửa bài: 26/04/2018

Ngày chấp nhận đăng: 02/05/2018