

SO SÁNH SỰ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG LÁI TÀU VỚI GIẢI THUẬT PSO-PID VÀ FUZZY

A COMPARISON OF THE STABILITY OF THE SHIP AUTOPILOT SYSTEM USING PSO-PID AND FUZZY ALGORITHMS

¹Hồ Lê Anh Hoàng, ²Trương Huỳnh Như, ³Đặng Xuân Kiên

¹Đại học Văn Hiến

² Cao đẳng nghề Bà Rịa Vũng Tàu

³ Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh,
dangxuankien@hcmutrans.edu.vn

Tóm tắt: Mục tiêu điều khiển của hệ thống lái tàu là điều khiển giữ hướng và chuyển hướng tàu theo hướng đi đã đặt trước dưới ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài tác động lên con tàu. Trong bài báo này, các tác giả nghiên cứu sự ổn định của hệ thống lái tàu thủy và so sánh với giải thuật điều khiển PSO - PID và Fuzzy dưới ảnh hưởng của nhiều môi trường bao gồm dòng chảy, gió, sóng và nhiễu sóng tần số cao tác động vào tàu. Đặc biệt, tham số của các yếu tố tác động vào tàu được khảo sát từ điều kiện vùng biển thực tế của môi trường biển Việt Nam từ Bình Thuận đến Cà Mau sẽ tăng tính ứng dụng cho giải thuật điều khiển đề xuất. Hiệu suất của giải thuật được đánh giá thông qua kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa: Fuzzy, hệ thống lái tàu, nhiễu, PSO-PID, tác động của môi trường.

Chỉ số phân loại: 2.2

Abstract: The control objective of the ship control system is to control the heading and change of direction of the ship to follow up the desired heading under the effect of external factors acting on the ship. In this paper, we study the stability of a ship autopilot system based on the PSO-PID control algorithm and the Fuzzy control algorithm under the effects of environmental disturbances, including current, wind, wave, and high-frequency wave noise. Especially, the parameters of the factors affecting the ship were surveyed by the actual conditions of the Vietnam sea environment from Binh Thuan province to Ca Mau province, which can increase the reliability of the proposed algorithm. The performance of the algorithms was evaluated through simulation results using Matlab/Simulink software.

Keywords: Fuzzy, ship autopilot system, disturbances, PSO-PID, environmental impact.

Classification number: 2.2

1. Giới thiệu

Mục tiêu điều khiển của hệ thống lái tàu là điều khiển giữ hướng và chuyển hướng tàu theo hướng đi đã đặt trước dưới ảnh hưởng của nhiễu môi trường. Việc thiết kế một hệ thống lái tàu hoạt động ổn định dưới ảnh hưởng của nhiễu là những thách thức cho các nhà khoa học do tàu là một đối tượng phi tuyến và phức tạp. Trước đây, các giải thuật điều khiển hướng tàu chủ yếu là PID. Cho đến thời điểm này nhiều kỹ thuật mới được áp dụng trên các bộ điều khiển lai ghép và khiến chúng trở nên thông minh hơn các bộ điều khiển kinh điển trước đây. Các giải thuật điều khiển lai ghép đã được ứng dụng vào đối tượng tàu, giải thuật Noron – Mờ cho hệ thống lái tự động tàu thủy dưới tác động của dòng chảy, gió và sóng lên tàu [1]. Kết quả nghiên cứu của giải thuật Noron – Mờ đã

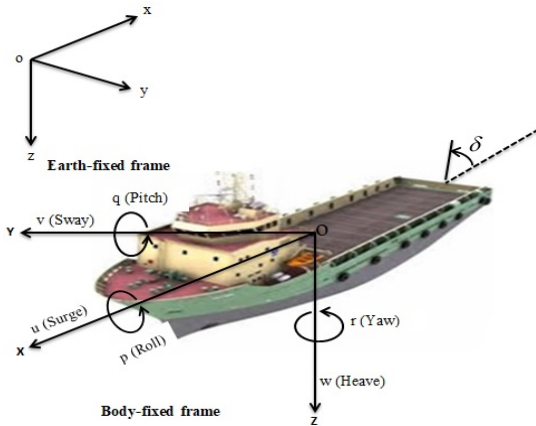
cho thấy đáp ứng tốt, nhưng cần khảo sát trong điều kiện môi trường từng vùng biển cụ thể tác động vào tàu để thực tế hơn. Để chất lượng của hệ thống lái tàu được nâng cao, một nghiên cứu khác đã ứng dụng giải thuật điều khiển tối ưu bầy đàn để tối ưu bộ điều khiển PID [2] cho hệ thống lái tàu dưới ảnh hưởng của dòng chảy, sóng và gió. Những kết quả mô phỏng của công trình này cho thấy đáp ứng được ổn định nhưng trong điều kiện hoạt động chưa xét đến nhiễu sóng tần số cao ảnh hưởng đến tàu. Trong năm 2017, giải thuật mờ cho hệ thống lái tàu tự động có ảnh hưởng nhiễu [3]. Kết quả đạt được cho thấy giải thuật của nghiên cứu này có khả năng thích nghi với ảnh hưởng nhiễu môi trường nhưng chưa đưa thêm tác động điều kiện môi trường của một vùng biển cụ thể tác động vào tàu. Gần đây, một nghiên cứu mới

đưa ra giải thuật PID với các tham số PID được điều chỉnh bằng bộ điều khiển neuron nhân tạo cho hệ thống lái tàu thủy dưới tác động của gió [4]. Kết quả cho thấy đáp ứng của tàu bám theo hướng đặt tuy nhiên chưa xét tới thời tiết của từng khu vực biển và nhiều dòng chảy, sóng tác động lên con tàu. Nhằm nâng cao hiệu suất đáp ứng hệ thống lái tàu chịu tác động từ cấu trúc của mô hình, bộ điều khiển Fuzzy nhằm xấp xỉ hóa đối tượng phi tuyến đã được nghiên cứu [5], phương pháp được đề xuất thích nghi tốt dưới ảnh hưởng của sóng, nhưng chưa xét đến dòng chảy và gió hay nhiễu sóng tần số cao tác động vào con tàu.

Trong công trình này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng các giải thuật điều khiển PSO-PID và Fuzzy nhằm giải quyết những vấn đề khi có nhiễu tác động vào tàu, mô phỏng thử nghiệm kết quả của nghiên cứu trên phần mềm Matlab/Simulink và đánh giá kết quả của các giải thuật điều khiển trên.

2. Mô hình động học của tàu và các thành phần nhiễu tác động vào tàu

2.1. Mô hình động học của tàu thủy



Hình 1. Hệ tọa độ tàu so với Trái đất.

Chuyển động trên biển của con tàu là một loại chuyển động phức tạp, phi tuyến và tàu chịu tác động của nhiễu môi trường. Điều này làm ảnh hưởng rất lớn đến hướng đi của con tàu. Hệ tọa độ tàu so với đất được cho bởi hình 1. Một mô hình hệ thống lái tàu tuyến tính cho điều khiển hướng tàu được thiết kế thể hiện chuyển động bao gồm dòng chảy, gió, sóng, nhiễu sóng tần số cao và lực tác động vào con tàu như sau [3]:

$$M \dot{v} + N(u)v = b\delta + \tau_e + \tau_n \quad (1)$$

Khi δ, N, M lần lượt là góc bẻ lái, ma trận giảm chấn và ma trận quán tính. Công thức (2) thể hiện góc bẻ lái và quay trở:

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_Z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -Y_v & m - Y_{\dot{v}} & u - Y_r \\ -N_v & mx_G - Y_{\dot{r}} & u - N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \end{bmatrix} \delta \quad (2)$$

Từ (2), áp dụng phương pháp chuyển đổi Laplace ta có phương trình xác định mối quan hệ góc bẻ lái và hướng đi con tàu bởi biểu thức Nomoto [2]:

$$\frac{r(s)}{\delta(s)} = \frac{K(1 + T_3s)}{(1 + T_1s)(1 + T_2s)} \quad (3)$$

Công thức (3) là mô hình Nomoto có hàm truyền chức năng giữa r và δ . Khi K là độ lợi góc bánh lái tàu, T_3, T_2, T_1 là các hằng số thời gian, với $(T = T_3 + T_2 + T_1)$ và hướng

$\dot{\psi} = r$. Vectơ điều khiển đầu vào δ là góc bẻ lái của tàu bởi các cơ cấu chấp hành, vectơ τ_e đại diện cho lực và mô men của dòng chảy, gió và sóng. Vectơ τ_n là lực của sóng tần số cao được thể hiện bên dưới:

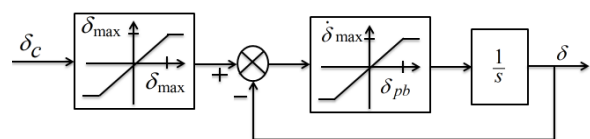
$$\begin{aligned} \tau_e &= \tau_{\text{wind}} + \tau_{\text{current}} + \tau_{\text{wave}} \\ \tau_n &= h(s) \end{aligned} \quad (4)$$

Hệ thống bánh lái được minh họa trong hình 2 thể hiện tính hiệu quả của góc bẻ lái [2].

Góc bẻ lái tàu giới hạn:

$$-\delta_{\max} \leq \delta \leq \delta_{\max} \text{ (rad)} \quad (5)$$

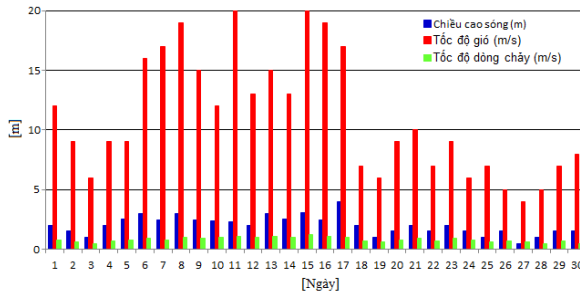
Với δ_{\max} là tốc độ bánh lái giới hạn bởi giá trị lớn nhất. Thời gian trễ giữa góc đặt δ_c và góc bẻ lái thực tế δ được thể hiện bằng hàm bậc nhất với hằng số thời gian $\tau_{\delta} = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{pd}}$ với δ_{pd} là dải tỷ lệ [2].



Hình 2. Hệ thống bánh lái tàu.

2.2. Thành phần nhiễu tác động vào tàu

Nhiều môi trường tác động trực tiếp lên con tàu thay đổi một cách liên tục dẫn đến con tàu khó giữ được hướng đặt khi đang hoạt động trên biển. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sẽ phân tích ảnh hưởng dòng chảy, gió, sóng môi trường của vùng biển Việt Nam từ tỉnh Bình Thuận đến tỉnh Cà Mau và nhiễu sóng tần số cao là những thành phần phi tuyến ảnh hưởng lớn nhất đến an toàn tàu đang hoạt động ngoài khơi [6]. Các tham số dòng chảy, gió và sóng được xây dựng theo điều kiện môi trường thực tế của thời tiết thay đổi thất thường tại vùng biển Việt Nam để biết tốc độ gió và độ cao trung bình sóng tác động vào thân tàu trong tháng 9 năm 2017 như hình 3 [6].



Hình 3. Sự thay đổi sóng, gió, dòng chảy từng ngày của biển Việt Nam trong tháng 9 năm 2017.

2.2.1. Mô hình lực sóng

Lực sóng tác động lên con tàu như công thức sau [2]:

$$\tau_{wave} = \zeta(x, y, t) = \sum_{q=1}^{N_1} \sum_{r=1}^{M_1} \sqrt{2S(\omega_q \psi_r)} \Delta\omega \Delta\psi \quad (6)$$

$$\sin(\omega_q t + \phi_{qr} - k_q(x \cos \psi_r + y \sin \psi_r))$$

2.2.2. Mô hình lực gió

Lực gió [2] có thể được đưa ra như sau:

$$\begin{aligned} u_{wind} &= V_{wind} \cos(\theta_{wind} - \psi) - u \\ v_{wind} &= V_{wind} \sin(\theta_{wind} - \psi) - v \\ Y_{wind} &= \frac{1}{2} R_{wx} \rho_{air} A_{T_1} (u_{wind})^2 \\ Y_{wind} &= \frac{1}{2} R_{wy} \rho_{air} A_{L_1} (v_{wind})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

2.2.3. Mô hình lực dòng chảy

Lực gió tác động lên mặt nước được xác định theo tốc độ dòng chảy [2]:

$$\begin{aligned} u_{current} &= V_{current} \cos(\theta_{current} - \psi) - u \\ v_{current} &= V_{current} \sin(\theta_{current} - \psi) - v \\ X_{current} &= \frac{1}{2} R_{wx} \rho_{water} A_{T_1} (u_{water})^2 \\ Y_{current} &= \frac{1}{2} R_{wy} \rho_{water} A_{L_1} (v_{water})^2 \end{aligned} \quad (8)$$

2.2.4. Mô hình sóng tần số cao

Lực sóng tần số cao tác động vào tàu được định nghĩa là [7]:

$$\tau_n = h(s) = \frac{K_\omega S}{S^2 + 2\lambda\omega_0 S + \omega_0^2} \quad (9)$$

3. Thiết kế giải thuật cho hệ thống lái tàu

3.1. Giải thuật điều khiển tối ưu bầy đàn

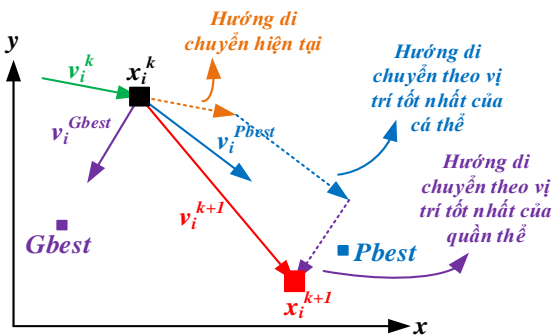
Trong nhiều năm qua, việc áp dụng thành công giải thuật tối ưu bầy đàn (PSO) với nhiều nghiên cứu và ứng dụng. Giải thuật PSO là một phương pháp tối ưu hóa ngẫu nhiên với việc dựa vào quần thể được Eberhart, Kennedy phát triển [8], phỏng theo hành vi đàn chim đi kiếm thức ăn.

Hệ thống được tạo bởi một quần thể các lời giải ngẫu nhiên và tìm kiếm lời giải tối ưu bằng việc cập nhật các cá thể qua các thế hệ. Giải thuật PSO học từ kích bản này và được ứng dụng để làm các bài toán tìm kiếm ngẫu nhiên. Trong PSO, mỗi lời giải là một con chim trong không gian tìm kiếm, gọi là cá thể. Tất cả các cá thể có giá trị thích nghi được đánh giá bởi hàm thích nghi cần tối ưu, và có vận tốc hướng theo chiều bay của các cá thể. Với các cá thể bay qua trong không gian bài toán bằng cách bám theo các cá thể tối ưu hiện tại. Giải thuật PSO được khởi tạo bởi một nhóm các cá thể ngẫu nhiên (gọi là nghiệm) và tiếp theo tìm nghiệm tối ưu bằng cách cập nhật các thế hệ. Với mỗi thế hệ thì mỗi cá thể được cập nhật theo hai giá trị tốt nhất. Giá trị thứ nhất đó là vị trí tốt nhất mà phần tử đó đã đạt được cho tới thời điểm hiện tại, gọi là P_{best} . Một nghiệm tối ưu khác mà

cá thể này bám theo được gọi là nghiệm tối ưu toàn cục G_{best} , nó là vị trí tốt nhất mà trong tất cả các quá trình tìm kiếm quần thể từ trước cho tới thời điểm hiện tại [9], [10] được thể hiện trong hình 4.

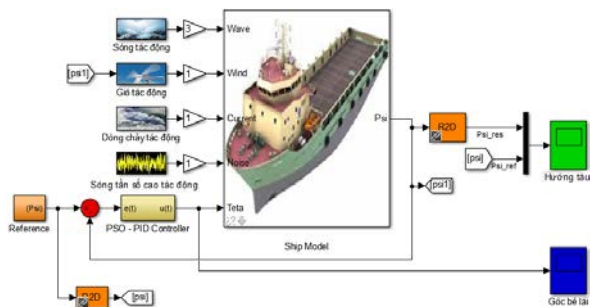
3.2. Bộ điều khiển PSO - PID cho hệ thống lái tàu

Giải thuật PSO là thuật toán tìm kiếm song song, thuật toán này được tạo bởi một nhóm cá thể ngẫu nhiên. Sau đó tìm nghiệm tối ưu bằng cách cập nhật các thể hệ trong quần thể. Một quần thể bao gồm nhiều cá thể được đặt vào một không gian tìm kiếm n chiều với các vận tốc và vị trí ban đầu được chọn một cách ngẫu nhiên. Mỗi cá thể đại diện cho một khả năng giải quyết việc tối ưu hóa và di chuyển đến một vị trí mới theo vận tốc mới cùng với vận tốc trước đó của cá thể, các vectơ di chuyển bám theo vị trí tốt nhất của các quần thể như hình 4 [8].



Hình 4. Sơ đồ một điểm tìm kiếm bằng giải thuật PSO.

Hàm mục tiêu dùng để đánh giá các lời giải của bài toán tối ưu, tùy vào từng trường hợp bài toán đặt ra mà công việc chọn hàm mục tiêu sẽ khác nhau. Trong bài báo này, mục tiêu đặt ra của nhóm nghiên cứu là tối ưu hóa các sai số giữa tín hiệu ngõ ra và ngõ vào góc bẻ lái được mô tả như hình 5.



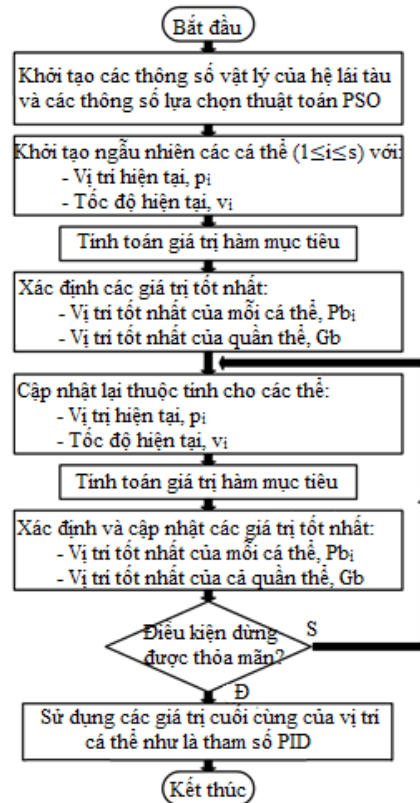
Hình 5. Giải thuật PSO-PID cho hệ thống lái tàu.

Hàm mục tiêu được chọn như sau:

$$fitness = ISE = \int_0^{+\infty} (e_{pitch}^2(t) + e_{yaw}^2(t)) dt \quad (10)$$

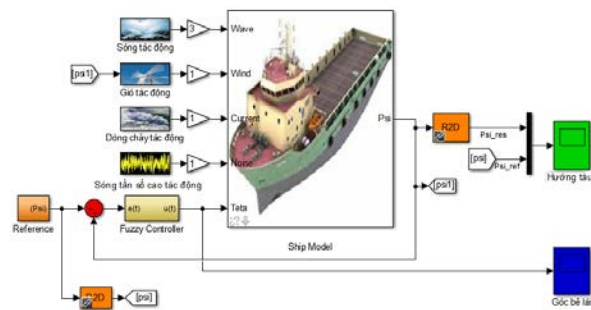
Giá trị của bộ PID được tối ưu sau khi chạy thuật toán PSO với 30 lần lặp như sau: $K_P = 3.977, K_I = -0.00274$ và $K_D = 4.753$.

Để tối ưu hóa hàm mục tiêu thì cần chỉnh định tham số bộ điều khiển PID dùng thuật toán PSO như hình 6 [2].



Hình 6. Lưu đồ tối ưu hóa giải thuật PID dùng bộ điều khiển PSO.

3.3. Xây dựng thuật toán Fuzzy cho hệ thống lái tàu



Hình 7. Giải thuật Fuzzy cho hệ thống lái tàu.

Gần đây có rất nhiều công trình nghiên cứu điều khiển tàu thủy [11-13] và điều khiển thiết bị ngắm [14]. Trong bài báo này, nhằm giảm đặc tính phi tuyến cho hệ thống lái tàu gây ra bởi các tác động không mong

muốn từ vùng biển tỉnh Bình Thuận đến tỉnh Cà Mau. Nhóm nghiên cứu xem xét bộ điều khiển Fuzzy để giữ hướng tàu được minh họa trong hình 7. Chúng tôi đặt giá trị đầu vào của giải thuật mờ với hai đầu vào: $e(t)$, $d_{e(t)}/d(t)$ và một đầu ra $\tau(t)$ sử dụng phương pháp tham chiếu mờ Takagi-Sugeno. Mục đích thiết kế giải thuật Fuzzy là dựa vào những kinh nghiệm thực tế của người lái tàu và thiết lập một bảng mờ có thể đo được.

Các đầu vào, đầu ra của giải thuật mờ được xác định:

$$e(t) = \{VPS \quad PS \quad PM \quad PB \quad VPB\}$$

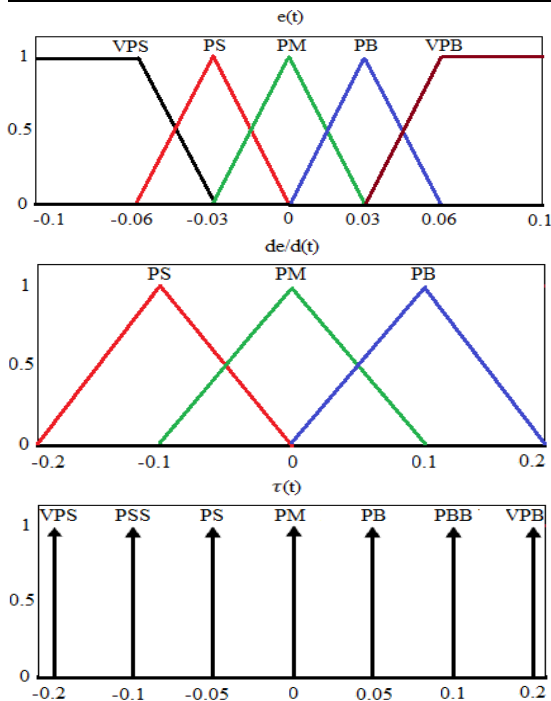
$$d_{e(t)}/d(t) = \{PS \quad PM \quad PB\}$$

$$\tau(t) = \{VPS \quad PSS \quad PS \quad PM \quad PB \quad PBB \quad VPB\}$$

Và dựa trên các vấn đề thực tế về hệ thống lái tàu ta có các quy tắc điều khiển mờ được chọn thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1: Các quy tắc điều khiển mờ đối với hệ thống lái tự động tàu với giải thuật Fuzzy.

$\tau(t)$		$d_{e(t)}/d(t)$		
		PS	PM	PB
$e(t)$	VPS	VPS	PSS	PS
	PS	PSS	PS	PM
	PM	PS	PM	PB
	PB	PM	PB	PBB
	VPB	PB	PBB	VPB



Hình 8. Các hàm thành viên cho $e(t)$, $d_{e(t)}/d(t)$ và $\tau(t)$.

Trong thực tế, nhiễu từ môi trường ảnh hưởng vào tàu thường làm cho tín hiệu điều khiển tàu bị sai lệch. Nguyên nhân là do sự thay đổi của các đặc tính động học của đối tượng. Các khái niệm điều khiển tự động của giải thuật Fuzzy được triển khai tương ứng với sai số đầu vào. Sai số điều khiển được giảm cũng như mục tiêu của điều khiển được duy trì. Các hàm thành viên mô tả các đặc điểm đầu vào, đầu ra như hình 8 [7].

3.4. Tham số mô phỏng

Mô hình được mô phỏng cho bài báo này của hệ thống lái tàu theo thông số tàu thực tế như sau [2]:

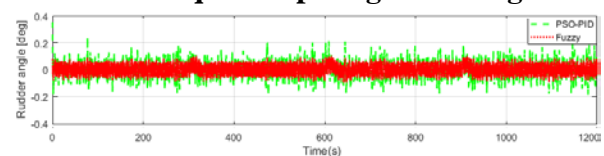
- $H_S = 4m$
- $\omega_p = 1rad/s$
- $s = 4$
- $N_1 = 20$
- $M_1 = 10$
- $\xi = 2.5$
- $k_q = 0.005$
- $\psi_{lim} = 20^\circ$
- $V_{wind} = 0m/s$
- $A_{L_1} = 2.4$
- $\theta_{wind} = 30^\circ$
- $V_{current} = 1m/s$
- $\theta_{current} = 30^\circ$
- $\lambda = 0.1$
- $\sigma = \sqrt{2}$
- $\omega_o = 0.8976rad/s$

và thông số mô phỏng tàu được sử dụng trong bảng 2 [2].

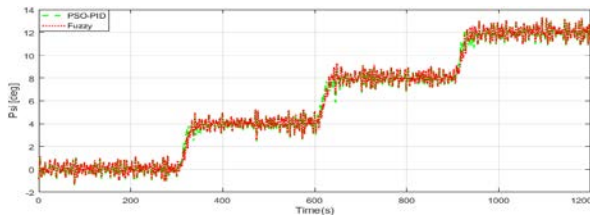
Bảng 2. Thông số mô phỏng tàu

Thông số tàu	
Chiều dài	76.2 m
Chiều rộng	18.8 m
Mớn nước thiết kế	2.2 m
Lượng giãn nước	350 m ³
Tốc độ	8 knots
Tốc độ lái tối đa	5 (rad/s)
Góc bề lái cực đại	40 (rad)
Thông số điều khiển	
Hằng số bán lái K	0.185s ⁻¹
T_1	118 s
T_2	7.8 s
T_3	18.5s

3.5. Kết quả mô phỏng và đánh giá



Hình 9. So sánh đáp ứng góc bề lái của tàu khi tác động sóng, gió cấp 5.



Hình 10. So sánh đáp ứng hướng đi của tàu khi tác động sóng, gió cấp 5.

Dưới tác động của dòng chảy, gió và sóng (cấp 5) kèm theo nhiễu sóng tần số cao thì giải thuật điều khiển PSO - PID và Fuzzy trong hình 9 và 10 vẫn giữ ổn định hướng tàu, góc bề lái dao động mạnh tỷ lệ theo cấp độ tác động của nhiễu môi trường làm hướng thay đổi theo, tuy vẫn quanh giá trị hướng đặt. Về mặt biên độ, giải thuật điều khiển Fuzzy cho đáp ứng dao động tốt hơn, nhưng khi xét về thời gian đáp ứng thì giải thuật PSO - PID tốt hơn. Về khả năng thích nghi với sự thay đổi của môi trường, giải thuật PSO - PID thích nghi tốt hơn giải thuật Fuzzy.

4. Kết luận

Các yếu tố môi trường tác động vào tàu: dòng chảy, gió, sóng và nhiễu sóng tần số cao gây nên sai lệch hướng đi của tàu. Với giải thuật PSO - PID và Fuzzy đề xuất và kiểm nghiệm, so sánh trên mô phỏng, cho thấy chất lượng điều khiển được nâng cao giúp con tàu duy trì hướng đi mong muốn theo thời gian. Giải thuật PSO - PID thích nghi hơn so với giải thuật Fuzzy khi có nhiễu tác động vào tàu □

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Thanh Quỳnh, Đặng Xuân Kiên, Nguyễn Xuân Phương, *Thiết kế hệ thống lái tự động tàu thủy sử dụng bộ điều khiển Noron – mờ dựa trên phương pháp Takagi-Sugeno dưới ảnh hưởng của môi trường*, Kỷ yếu Hội nghị Khoa học công nghệ giao thông vận tải 2015. Tr. 275-285;
- [2] Hồ Lê Anh Hoàng, Đặng Xuân Kiên, Đỗ Việt Dũng (2018), *Tối ưu tham số bộ điều khiển PID dựa vào thuật toán tối ưu bầy đàn cho hệ thống lái tự động tàu thủy dưới ảnh hưởng của môi trường biển Việt Nam*. Hội nghị khoa học công nghệ Giao thông vận tải, pp. 255-262;
- [3] Nhat DM, Hung NP, Duy NA (2017), *Design and simulate a Fuzzy autopilot for an Unmanned Surface Vessel*. Proc. the International Conference on Syst. Sci. and Engineering, pp. 475-480;
- [4] Nguyễn Phùng Hưng, Phạm Kỳ Quang, Võ Hồng Hải (2015), *Bộ điều khiển PID chỉnh tham số bằng mạng Nơ-ron dùng cho máy lái tự động tàu thủy*. Tạp chí Giao thông vận tải, Tr. 67-70;
- [5] Palanichamy P (2018), *Analysis on Modified Fuzzy Logic Toolbox for Marine Navigation Application*. Indonesian J of Elect. Engineering and Computer Science, Vol 9, pp. 73-76;
- [6] Xuan-Kien Dang, Le Anh-Hoang Ho, Viet-Dung Do (2018), *Analyzing The Sea Weather Effects to The Ship Maneuvering in Vietnam's Sea from Binh Thuan Province to Ca Mau Province based on Fuzzy Control Method*. TELKOMNIKA, ISSN: 1693-6930, Volume 16, pp. 533-543;
- [7] 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, pp.92-96;
- [8] J. Kennedy, R. Eberhart (1995), *Particle Swarm Optimization*. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948;
- [9] L.M. Abualigan, A. T. Khader, E. S. Hanandeh (2018), *A new feature selection method to improve the document clustering using particle swarm optimization algorithm*. Journal of Computational Science, pp. 456-466;
- [10] Ibrahim Berkan Aydılek (2018), *A hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm for computationally expensive numerical problems*. Applied Soft Computing, pp. 232-249;
- [11] Xuan-Kien Dang, Xuan-Phuong Nguyen, Thanh-Quynh Nguyen, *Ship Autopilot System Design and Testing on Santana Ship Model Based on Neural-Fuzzy Method*, Hội nghị toàn quốc về điều khiển và tự động hóa lần thứ 3 – VCCA 2015, Tr. 683-689;
- [12] Đặng Xuân Kiên, Nguyễn Xuân Phương, *Điều khiển thích nghi hệ thống lái tự động tàu thủy dưới ảnh hưởng của thời gian trễ dựa trên Logic mờ*, Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải, Số 45 (01/2016), Tr.80-83;
- [13] Đặng Xuân Kiên, Đỗ Việt Dũng, *Thiết bị đo ghi tiếng ồn phục vụ quá trình kiểm tra tàu thủy*, Tạp chí Khoa học công nghệ giao thông vận tải, Số 19-5/2015, Tr.23-28;
- [14] Đặng Xuân Kiên, Nguyễn Xuân Phương, *Thiết kế hệ thống điều khiển tự động ngư lôi Torpedo dựa trên kỹ thuật điều khiển nâng cao*, Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải, Số 45 (01/2016), Tr.39-42.

Ngày nhận bài: 27/2/2020

Ngày chuyển phản biện: 31/3/2020

Ngày hoàn thành sửa bài: 21/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 19/5/2020