

Ổn Định Hệ Thống Lái Tự Động Tàu Thủy Sử Dụng Bộ Điều Khiển Mạng Nơ Ron – Mờ Thích Nghi Trực Tiếp

Võ Công Phương
Viện Hàng hải

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
phuong.vo@ut.edu.vn

Nguyễn Tiến Dũng

Khoa Điện-Điện tử viễn thông

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
tiendung.nguyen@.ut.edu.vn

Đào Học Hải
Viện Hàng hải

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
hochai_dv@hcmutrans.edu.vn

Nguyễn Bảo Trung

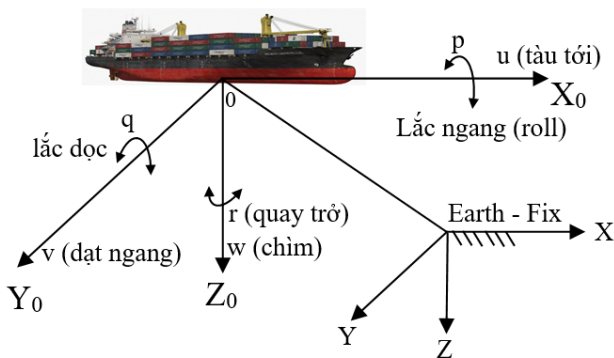
Viện Hàng hải

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
trung_dv@hcmutrans.edu.vn

Tóm tắt - Hiện nay, lĩnh vực điều khiển tự động ngày càng phát triển mạnh mẽ, các bộ điều khiển được chế tạo để điều khiển nhiều đối tượng khác nhau. Yêu cầu thực tế đặt ra là điều khiển các hệ thống động lực rất phức tạp, trong điều kiện hệ số bất định càng tăng, cần có bộ điều khiển chất lượng cao hơn,... Do đó, bộ điều khiển có thuật toán thích ứng để đáp ứng thực tế. Với bộ điều khiển sử dụng mạng nơron - mờ đã tạo ra một hướng phát triển mới trong lĩnh vực thiết kế hệ thống điều khiển. Bộ điều khiển mạng nơron - mờ được thiết kế để giữ cho hệ thống lái tự động của tàu hoạt động ổn định. Chúng có thể được thiết kế với chất lượng hệ thống nhất định với độ chính xác tùy ý và công việc của chúng dựa trên các nguyên tắc tư duy của con người.

Keywords—Tàu thủy, điều khiển tàu thủy, mạng nơron - mờ, điều khiển thích nghi, nhiễu sóng biển.

1. ĐỐI TƯỢNG ĐIỀU KHIỂN



Hình 1: Mô hình tàu và hệ trục.

Đối với tàu thủy chuyển động thường được giới hạn trong 04 bậc tự do: Trượt dọc, trượt ngang, quay trở (hướng), lắc ngang. Xét mô hình toán phi tuyến của tàu theo các trục X, Y quay trở (hướng), lắc ngang được trình bày bởi Son và Nomoto [1]-[3].

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= X + \tau_1 \\ (m + m_y)\dot{v} - (m + m_x)ur + m_y\alpha_y\dot{r} - m_y l_y \dot{p} &= Y + \tau_2 \\ (I_x + J_x)\dot{p} - m_y l_y \dot{v} - m_x l_x ur &= K - \overline{WGM_T}\varphi + \tau_4 \\ (I_z + J_z)\dot{r} + m_y\alpha_y\dot{v} &= N - x_g Y + \tau_6 \end{aligned} \right\}$$

Các lực, mô men (moment) thủy động và phục hồi được thể hiện như sau:

$$X = X(u) + (1-t)T + X_{vr}vr + X_{vv}v^2 + X_{rr}r^2 + X_{\varphi\varphi}\varphi^2 + c_{RX}F_N \sin \delta$$

$$Y = Y_vv + Y_r r + Y_p p + Y_\varphi\varphi + Y_{vvv}v^3 + Y_{rrr}r^3 + Y_{vvr}v^2r + Y_{vrr}vr^2 + Y_{v\varphi\varphi}v^2\varphi + Y_{v\varphi\varphi}v\varphi^2 + Y_{r\varphi\varphi}r^2\varphi + Y_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 + (1+a_H)F_N \cos \delta$$

$$K = K_vv + K_r r + K_p p + K_\varphi\varphi + K_{vvv}v^3 + K_{rrr}r^3 + K_{vvr}v^2r + K_{vrr}vr^2 + K_{v\varphi\varphi}v^2\varphi + K_{v\varphi\varphi}v\varphi^2 + K_{r\varphi\varphi}r^2\varphi + K_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 + (1+a_H)z_R F_N \cos \delta$$

$$N = N_vv + N_r r + N_p p + N_\varphi\varphi + N_{vvv}v^3 + N_{rrr}r^3 + N_{vvr}v^2r + N_{vrr}vr^2 + N_{v\varphi\varphi}v^2\varphi + N_{v\varphi\varphi}v\varphi^2 + N_{r\varphi\varphi}r^2\varphi + N_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 + (x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta$$

Trong đó $X(u)$ là vận tốc phụ thuộc vào hệ số cản

$X(u) = X_{|u|u} |u| u$. Lực bánh lái có thể được mô tả:

$$F_N = -\frac{6.13\delta}{\delta + 2.25} \cdot \frac{A_R}{L^2} (u_R^2 + v_R^2) \sin \alpha_R$$

$$u_R = u_p \varepsilon \sqrt{1 + 8kK_T / (\pi J^2)}$$

$$\alpha_R = \delta + \tan^{-1}(v_R + u_R)$$

$$v_R = \gamma v + c_{Rr}r + c_{Rrr}r^3 + c_{Rrrr}r^2v$$

Ở đây:

$$J = \frac{u_p U}{nD}$$

$$u_p = \cos \nu \left[(1 - w_p) + \tau \left\{ (\nu + x_p r)^2 + c_{pv} \nu + c_{pr} r \right\} \right]$$

- n : Tốc độ quay chân vịt (vòng/phút);
- D : Đường kính chân vịt;
- A_R : Diện tích bánh lái;
- δ : Góc quay bánh lái;
- L : Chiều dài thân tàu.

Từ các điều kiện trên, có thể thiết lập phương trình chuyển động của tàu dưới dạng:

$$I\dot{\nu} = A(\nu)\nu + G + \tau \quad (1)$$

Trong đó:

$$\nu = [u \quad v \quad p \quad r]^T$$

$$I = \begin{bmatrix} m + m_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m + m_y & -m_y l_y & m_y \alpha_y \\ 0 & -m_y l_y & I_x + J_x & 0 \\ 0 & -m_y \alpha_y & 0 & I_x + J_z \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} X_{uu}u & X_{vv}v \\ 0 & Y_v + Y_{vv}vv + Y_{v\varphi}v\varphi + Y_{v\varphi\varphi}\varphi\varphi \\ 0 & K_v + K_{vv}vv + K_{v\varphi}v\varphi + K_{v\varphi\varphi}\varphi\varphi \\ 0 & N_v + N_{vv}vv + N_{v\varphi}v\varphi + N_{v\varphi\varphi}\varphi\varphi \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & X_{vr}v + X_{rr}r - (m + m_y)v \\ Y_p & Y_r + Y_{rr}rr + Y_{vr}vv + Y_{vrr}vr - (m + m_x)u \\ K_p & K_r + K_{rr}rr + K_{vr}vv + K_{vrr}vr - m_x l_x u \\ N_p & N_r + N_{rr}rr + N_{vr}vv + N_{vrr}vr \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} (1-t)T(J) + X_{\varphi\varphi}\varphi^2 \\ Y_{\varphi}\varphi + Y_{r\varphi}r^2\varphi + Y_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 \\ K_{\varphi}\varphi + K_{v\varphi\varphi}v\varphi^2 + K_{r\varphi\varphi}r^2\varphi + K_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 - \overline{WGM}\varphi \\ N_{\varphi}\varphi + N_{r\varphi}r^2\varphi + N_{r\varphi\varphi}r\varphi^2 \end{bmatrix}$$

Chuyển động của tàu được mô tả trong hệ tọa độ cố định tâm Trái Đất được giới hạn 04 bậc tự do:

$$\dot{\eta} = J(\eta)\nu \quad (2)$$

Trong đó:

$$\eta = [x \quad y \quad \varphi \quad \psi]^T$$

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

Như vậy chuyển động của tàu thủy theo hướng y_{out} được mô tả tổng quát bởi hệ phương trình:

$$\begin{cases} I\dot{\nu} = A(\nu)\nu + G + \tau \\ \dot{\eta} = J(\eta)\nu \\ y_{out} = \Psi \end{cases} \quad (3)$$

Các hệ số phương trình (3) được tính toán phụ thuộc vào thông số thực tế của từng loại tàu, mô tả đầy đủ mô hình toán cho tàu thủy trong mô phỏng và điều khiển trong điều kiện chưa xét đến các nhiễu môi trường như sóng, gió và dòng chảy:

$$\tau = \begin{bmatrix} c_{RX} F_N \sin \delta \\ (1 + a_H) F_N \cos \delta \\ (1 + a_H) z_R F_N \cos \delta \\ (x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta \end{bmatrix}$$

II. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU THỦY KHI CÓ XÉT ĐẾN CÁC NHIỄU LOẠN

Khi xét đến nhiễu môi trường gồm gió, sóng và dòng chảy đại dương, hệ phương trình (3) được viết như sau:

$$\begin{cases} I\dot{\nu} = A(\nu_{id})\nu_{id} + G + \tau + d \\ \dot{\eta} = J(\eta)\nu \\ y_{out} = \Psi \end{cases} \quad (4)$$

Với:

$$\nu = \nu - \nu_c = [u_{id}, v_{id}, p, r]^T;$$

$\nu_c = [u_c, v_c, 0, 0]^T$: Vận tốc dòng chảy đối với hệ tọa độ gắn liền;

$$d = \tau_{gió} + \tau_{sóng} : \text{ Nhiễu gió và sóng.}$$

III. SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA DÒNG CHẢY ĐẠI DƯƠNG ĐỐI VỚI CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU THỦY

Vận tốc dòng chảy V_c được phân tích thành các thành phần u_c^E, v_c^E thuộc hệ tọa độ cố định tâm Trái Đất trong mặt phẳng ngang thông qua góc β .

$$u_c^E = V_c \cos \beta$$

$$v_c^E = V_c \sin \beta$$

Vận tốc dòng chảy đối với hệ tọa độ gắn liền trong mặt phẳng ngang được ký hiệu $\nu_c = [u_c, v_c, 0, 0]^T$, trong đó, u_c, v_c là các thành phần vận tốc dòng chảy theo các trục X_b, Y_b .

Mối quan hệ giữa vận tốc dòng chảy trong hệ tọa độ gắn liền và hệ tọa độ địa lý được mô tả thông qua góc hướng ψ .

$$\begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix} = J_l^T(\psi) \begin{bmatrix} u_c^E \\ v_c^E \end{bmatrix}$$

Với: $J(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix}$

Ta có:

$$u_c = V_c \cos(\beta - \psi)$$

$$v_c = V_c \sin(\beta - \psi)$$

Vận tốc tương đối:

$$v_{td} = v - v_c = [u_{td}, v_{td}, p, r]^T$$

IV. SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA GIÓ ĐỐI VỚI CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU THỦY

Mô men (moment) và lực tác động của gió đối với tàu thủy thường được xác định bởi các thành phần vận tốc gió V_R (hải lý) và góc γ_R (độ) [1].

$$X_{gió} = \frac{1}{2} C_X(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_T$$

$$Y_{gió} = \frac{1}{2} C_Y(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L$$

$$N_{gió} = \frac{1}{2} C_N(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L L$$

Trong đó:

- C_X, C_Y : Các hệ số lực;
- C_N : Hệ số mô men;
- ρ_w : Mật độ không khí (kg/m^3);
- A_T : Bề mặt theo phương ngang và phương dọc thân tàu (m^2);

• L chiều dài thân tàu.

Véc tơ (vector) mô men và lực tác động của gió đối với tàu thủy:

$$\tau_{gió} = [X_{gió} \quad Y_{gió} \quad N_{gió}]^T$$

V. SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG BIỂN ĐỐI VỚI CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU THỦY

Gió tạo ra sóng thường được trình bày là tổng một số lượng lớn các sóng thành phần. Cường độ sóng A_i của sóng thành phần i liên quan đến hàm mật độ phổ sóng $S(\omega_i)$. Mô hình phổ PM được xây dựng vào năm 1978:

$$S(\omega) = \frac{1}{4} \frac{\pi^3 H_s^2}{T_z^4 \omega^5} \exp\left(\frac{-16\pi^3}{T_z^4 \omega^4}\right) (m^2 s)$$

Với T_z : Hệ số phụ thuộc vào mức sóng trung bình.

Tuyến tính hóa mô hình sóng biển PM có thể viết ngõ ra $y(s)$ từ mô hình sóng là $y(s) = h(s)\omega(s)$.

Trong đó:

$\omega(s)$: Nhiễu trắng Gaussian có mức trung bình bằng 0 với năng lượng phổ $p_{ww}(\omega) = 1$;

$h(s)$: Hàm truyền đề nghị [1]:

$$h(s) = \frac{K_\omega s}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2}$$

Với hằng số độ lợi K_ω được định nghĩa:

$$K_\omega = 2\zeta\omega_0\sigma_\omega;$$

- σ_ω : Hằng số mô tả cường độ sóng (m);
- ζ : Hệ số ma sát;
- ω_0 : tần số trội (rad/s).

Mô hình sóng biển cấp ba với các thông số ζ ; ω_0 (rad/s); $\sigma_\omega = 0.5$ (m) được mô phỏng như sau:

Mô hình lực và mô men đối với nhiễu sóng biển theo [1]:

$$X_{sóng}(t) = \sum_{i=1}^N \rho g B L T \cos \beta s_i(t)$$

$$Y_{sóng}(t) = \sum_{i=1}^N -\rho g B L T \sin \beta s_i(t)$$

$$N_{sóng}(t) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{24} \rho g B L (L^2 - B^2) \sin 2\beta s_i^2(t)$$

Trong đó:

- β : Góc giữa hướng tàu và phương sóng;
- g : Gia tốc trọng trường (m/s^2);
- ρ : Mật độ nước;
- $s_i(t)$: Độ nghiêng sườn sóng thứ i ;
- L : Chiều dài thân tàu theo bề mặt ướt;
- B : Bề rộng tàu theo bề mặt ướt;
- T : Mớn nước tàu.

Véc tơ mô men và lực tác động của sóng biển đối với tàu thủy:

$$\tau_{sóng} = [X_{sóng} \quad Y_{sóng} \quad N_{sóng}]^T$$

VI. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MẠNG NƠON MỜ THÍCH NGHI TRỰC TIẾP CHO TÀU THỦY 04 BẬC TỰ DO

Cho hệ thống:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (5)$$

Có điều kiện đầu $x(0) = x_0$

Ở đây $x \in R^n$, $u \in R$, $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times 1}$.

Giả sử A là ma trận Hurwitz và $u(t) \in L_{2e}$, cho α_0 và λ_0 là các hằng số dương, $\delta \in [0, \delta_1]$ trong đó $0 < \delta_1 < 2\alpha_0$ thỏa $\|e^{A(t-\tau)}\| \leq \lambda_0 e^{-\alpha_0(t-\tau)}$.

Ta có:

$$\|x(t)\| \leq \lambda_0 e^{-\alpha_0 t} \|x_0\| + \frac{\|B\| \lambda_0}{\sqrt{2\alpha_0 - \delta}} \|u_t\|_{2\delta}$$

Trong đó giá trị $\|u_t\|_{2\delta}$ được tính theo công thức:

$$\|u_t\|_{2\delta} = \left(\int_0^t e^{-\delta(t-\tau)} u^T(\tau) u(\tau) d\tau \right)^{1/2}$$

Định nghĩa:

$$Y_r = [y_r, \dot{y}_r, \dots, y_r^{(n-1)}]^T$$

Sai số bám: $e = Y_r - x$, $\hat{e} = Y_r - \hat{x}$. Với \hat{e} và \hat{x} là ước lượng của e và x .

$$e = [e_1, \dot{e}_1, \dots, e_1^{(n-1)}, \dots]^T = [e_1, e_2, \dots, e_n]^T$$

Nếu các hàm $f(x)$ và $g(x)$ đã biết và không có nhiễu ngoài d , theo tiêu chuẩn Lyapunov và dựa trên tiếp cận tương đương, luật điều khiển:

$$u^* = g^{-1}(x)[-f(x) + y_r^{(n)} + K_c^T \hat{e}] \quad (6)$$

Với $K_c = [K_n^c, K_{n-1}^c, \dots, K_1^c]^T$ là véc tơ độ lợi hồi tiếp.

Chọn K_c sao cho $A_k = A - B K_c^T$ thỏa Hurwitz.

Bởi vì hệ thống (5) chỉ có ngõ ra y có thể đo lường, các hàm $f_k(x)$ và $g_{kj}(x)$ chưa biết nên luật điều khiển (6) không thể thực hiện. Luật điều khiển được đề nghị:

$$u = u_f + v \quad (7)$$

Với u_f xấp xỉ luật điều khiển (6), v là thành phần để khử nhiễu ngoài và sai số mô hình. Ta có:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_r - \dot{e} &= A(Y_r - e) + B[f(x) + g(x)u_f + g(x)v + d] \\ \dot{e} &= A e - BK_c^T \hat{e} + B[-f(x) + y_r^{(n)} + K_c^T \hat{e} - \\ &\quad - g(x)u_f - g(x)v - d] + \dot{Y}_r - A Y_r - B y_r^{(n)} \\ e_1 &= C^T e \end{aligned}$$

Hay:

$$\begin{aligned} \dot{e} &= A e - BK_c^T \hat{e} + B[g(x)u^* - g(x)u_f - g(x)v - d] \\ e_1 &= C^T e \end{aligned}$$

Vấn đề đặt ra là thiết kế bộ quan sát trạng thái để ước lượng trạng thái véc tơ e , bộ quan sát trạng thái được trình bày:

$$\dot{\hat{e}} = A \hat{e} - BK_c^T \hat{e} + K_0(e_1 - \hat{e}_1)$$

$$\hat{e}_1 = C^T \hat{e}$$

Trong đó: $K_0 = [K_1^0, K_2^0, \dots, K_n^0]$ là véc tơ độ lợi bộ quan sát trạng thái được chọn sao cho $A - K_0 C^T$ thỏa Hurwitz. Sai số bộ quan sát được định nghĩa: $\tilde{e} = e - \hat{e}$ và $\tilde{e}_1 = e_1 - \hat{e}_1$

Khi đó, ta có:

$$\dot{\tilde{e}} = (A - K_0) \tilde{e} + B[g(x)u^* - g(x)u_f - g(x)v - d]$$

$$\tilde{e}_1 = C^T \tilde{e}$$

Để xấp xỉ luật điều khiển (7), tức tính u_f . Giải thuật đề nghị sử dụng cấu trúc của một bộ xấp xỉ noron-mờ. Cấu hình cơ bản của hệ logic mờ gồm có một số luật nếu - thì và cơ chế suy luận mờ. Luật nếu - thì thứ i (với $i = 1 \div h$) được viết:

R_i : Nếu e_1 là A_1^i và ... và e_n là A_n^i thì u_f là B^i

Trong đó: $A_1^i, A_2^i, \dots, A_n^i$ và B^i là các tập mờ. Bộ xấp xỉ hàm noron-mờ singleton có bốn lớp: Tại lớp 1, nút là các ngõ vào, đại diện véc tơ ngôn ngữ đến $\hat{e} = [\hat{e}_1, \hat{e}_1, \dots, \hat{e}_n]^T$. Tại lớp 2, các nút thể hiện giá trị hàm thành viên của tổng số các biến ngôn ngữ. Mỗi nút của lớp 2 thực hiện giá trị hàm thành viên. Tại lớp 3, các nút là giá trị của véc tơ cơ sở mờ φ . Tại lớp 4, ngõ ra đại diện giá trị của ngõ ra mạng u_f . Liên kết giữa lớp 3 và lớp 4 được nối đầy đủ bởi véc tơ trọng số $\theta = [u^{-1}, u^{-2}, \dots, u^{-h}]^T$, các thông số này có thể điều chỉnh được.

• Bước 1: Bằng phép thử sai véc tơ độ lợi hồi tiếp và bộ quan sát K_c, K_0 được chọn:

$$K_0^T = [28; 44]; K_c^T = [24; 4]$$

• Bước 2: Các thông số của thành phần bù trừ sai số được chọn $\rho_1 = 0.5, \alpha_1 = 0.02$. Các hệ số của luật thích nghi được chọn $\gamma_1 = 0.01$; Bộ lọc $L^{-1}(s)$ được chọn $L^{-1}(s) = \frac{1}{s+4}$.

• Bước 3: Xây dựng bộ quan sát trong xác định véc tơ sai số ước lượng.

• Bước 4: Xây dựng các luật mờ cho $\hat{e}_j(t)$. Từ luật điều khiển thích nghi trực tiếp cho hệ thống lái tự động tàu thủy. Để đơn giản và giảm khối lượng tính toán nhưng không mất tính tổng quát, nhóm tác giả dùng véc tơ cơ sở mờ cho cả hai mạng nơron. Với các hàm liên thuộc của véc tơ cơ sở mờ được chọn:

$$\mu_{A_j^1}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j + 0.5}{0.6}\right)^2\right)$$

$$\mu_{A_j^2}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j + 0.25}{0.6}\right)^2\right)$$

$$\mu_{A_j^3}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j}{0.6}\right)^2\right)$$

$$\mu_{A_j^4}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j - 0.25}{0.6}\right)^2\right)$$

$$\mu_{A_j^5}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j - 0.5}{0.6}\right)^2\right)$$

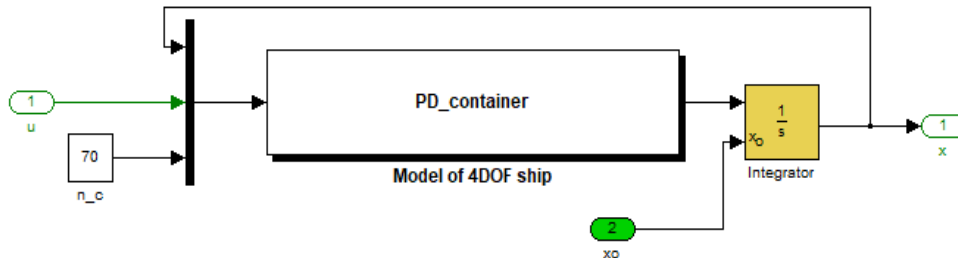
Tính các véc tơ cơ sở mờ $\varphi(\hat{e})$

$$\mu_{A_j^1}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j + 5}{0.6}\right)^2\right)$$

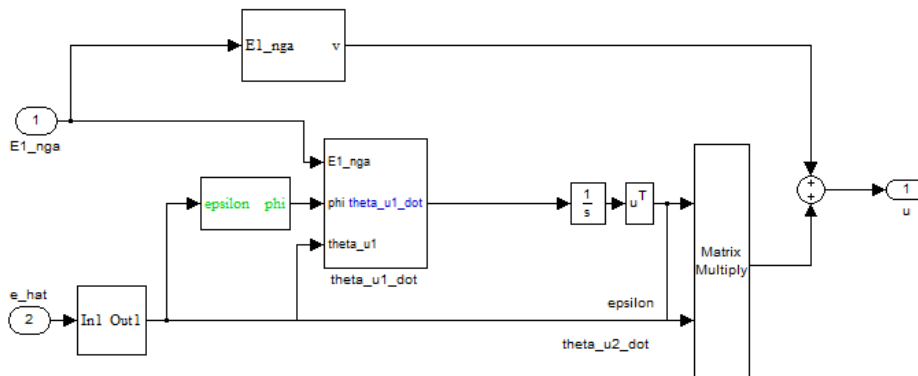
$$\mu_{A_j^2}(\hat{e}_j) = \exp\left(-5\left(\frac{\hat{e}_j + 2.5}{0.6}\right)^2\right)$$

VII. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TÀU THỦY 4 BẬC TỰ DO DÙNG MATLAB-SIMULINK

Mô hình tàu 04 bậc tự do sử dụng trong Matlab-Simulink.



Hình 2. Mô hình tàu 04 bậc tự do.

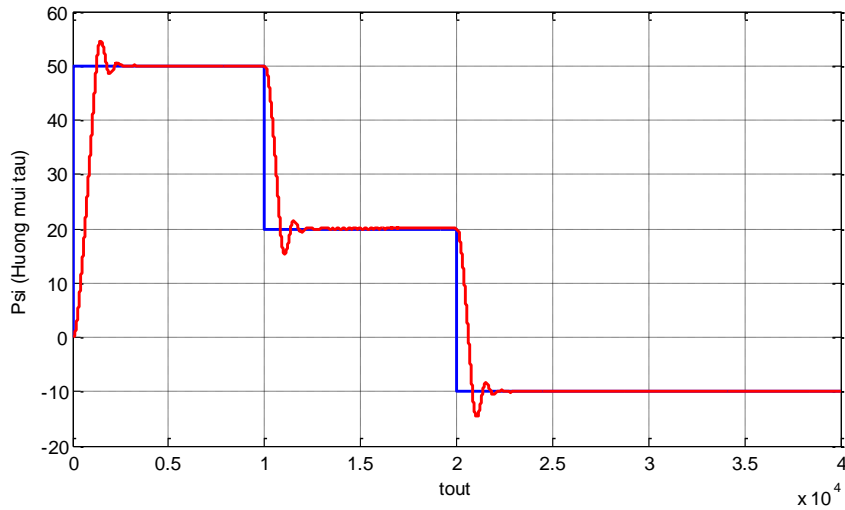


Hình 3. Mô hình bộ điều khiển mạng nơron-mờ thích nghi trực tiếp.

Kết quả mô phỏng

• Trường hợp 1

Khi chưa có nhiễu sóng biển tác động. Mô phỏng Simulink đầu vào là hàm bậc thang, vận tốc tàu $v = 7\text{m/s}$.

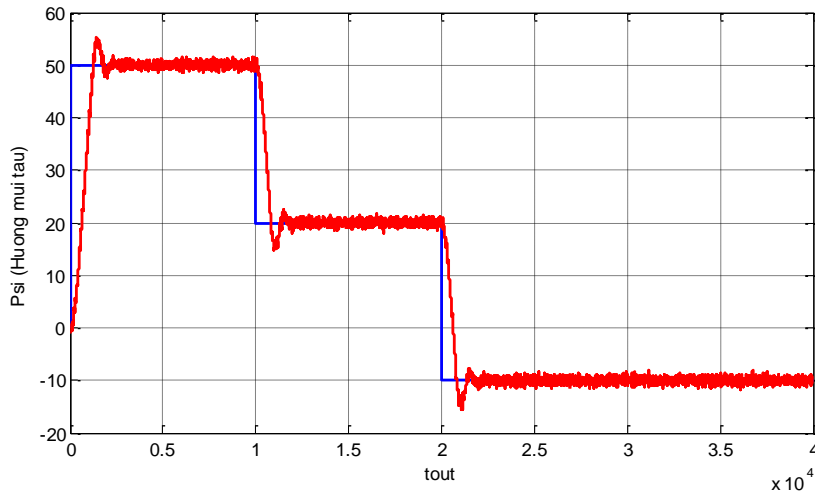


Hình 4. Đặc tính tracking với hệ thống điều khiển mạng nơron-mờ thích nghi trực tiếp.

Nhận xét: Khi đầu vào là hàm bậc thang, vận tốc tàu là 7m/s đáp ứng đầu ra luôn bám theo hướng đặt trước của tàu, độ vọt lố cho phép phù hợp với thực tế.

• *Trường hợp 2:*

Khi tàu có nhiễu sóng biển tác động cấp chấn.



Hình 5. Đặc tính tracking với hệ thống điều khiển mạng nơ ron-mờ thích nghi trực tiếp có nhiễu.

Nhận xét: Khi có nhiễu tác động ảnh hưởng của nhiễu đối với chuyển động và hướng đi là nhỏ. Tuy nhiên, khi sóng biển cấp độ cao, đáp ứng của hệ thống vẫn giữ được hướng đi đặt trước nhưng biên độ thay đổi nhiều làm ảnh hưởng đến vết đi của tàu và tính kinh tế khi khai thác.

VIII. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng ở cả hai trường hợp có nhiễu và không nhiễu cho thấy bộ điều khiển mô hình tàu 04 bậc tự do có thể ổn định hướng đi so với hướng đi cho trước trong khoảng thời gian thực tế. Ưu điểm nổi bật của bộ điều khiển là khi có sự thay đổi về vận tốc hay có tác động của nhiễu tàu vẫn giữ hướng đi ổn định so với hướng đi đặt trước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T. I. Fossen, "Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control," NY, USA: John Wiley & Son, Ltd, 2011.

[2] Asgeir J. Sørensen, "Marine Control Systems Propulsion and Motion Control of Ships and Ocean Structures," Lecture Notes, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, 2013.

[3] T. I. Fossen, "Marine Control Systems – Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles," Trondheim, Norway: Marine Cybernetics AS, 2002.