

# ĐIỀU KHIỂN CUỐN CHIỀU MỜ THÍCH NGHI CHO HỆ ĐỊNH VỊ ĐỘNG CỦA TÀU BIỂN

## ADAPTIVE FUZZY BACKSTEPPING CONTROL FOR A DYNAMIC POSITIONING SYSTEM OF SHIPS

Vũ Minh Hùng, Trịnh Quang Trung, Võ Quốc Thắng

Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU); hungvm@pvu.edu.vn

**Tóm tắt** - Bài báo này trình bày các phân tích và kết quả mô phỏng thuật toán điều khiển cuốn chiều mờ thích nghi (Adaptive Fuzzy Backstepping Control: AFBSC) cho hệ định vị động của tàu biển để cải thiện thời gian đáp ứng (hay còn gọi là thời gian quá độ: settling time). Thành phần điều khiển cuốn chiều sẽ bù trực tiếp các ảnh hưởng từ đặc tính động lực học của tàu; thành phần điều khiển thích nghi sẽ loại trừ sai lệch tĩnh; trong khi đó thành phần điều khiển mờ với 49 luật khác nhau sẽ tự động cập nhật tham số của điều khiển cuốn chiều để tạo ra tín hiệu điều khiển động cơ đẩy phù hợp hơn nhằm thích ứng với các điều kiện thời tiết môi trường biển (sóng, gió, dòng chảy). Thuật toán điều khiển này được phân tích dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink đã cho thấy rằng, điều khiển AFBSC có ưu điểm rõ rệt về thời gian đáp ứng và sai lệch ổn định so với điều khiển cuốn chiều (Backstepping: BSC) được công bố năm 2013 [1].

**Từ khóa** - điều khiển backstepping; điều khiển mờ; điều khiển Backstepping thích nghi; hệ định vị động; động lực học tàu biển; điều khiển tàu biển; DPS.

### 1. Đặt vấn đề

Hệ thống định vị động (Dynamic Positioning System) gọi tắt là DPS hoặc hệ DP được phát triển dựa trên nhu cầu của nền công nghiệp dầu lửa trong những năm 1960-1970. DPS bao gồm các thiết bị điều khiển, thiết bị đẩy, thiết bị cảm biến (gió, sóng biển, vị trí, góc nghiêng) và trạm vận hành giúp giữ nguyên vị trí cũng như hướng của mũi tàu trong điều kiện bị tác động của môi trường biển.

DPS cho tàu biển đã được nghiên cứu nhiều trên thế giới. G. Xia và các tác giả [2] đã đề xuất thuật toán điều khiển cuốn chiều kết hợp bộ lọc nhiễu cho hệ định vị động của tàu biển để đạt được thời gian đáp ứng tốt hơn; Haizhi Liang và các tác giả [3] đã thực hiện một hệ điều khiển định vị động cho giàn khoan bán nổi trong miền thời gian sử dụng bằng phương pháp điều khiển mặt phẳng động; Fang Wang [4] đã trình bày về tính ổn định cho hệ thống điều khiển định vị động 3 bậc tự do; G. Xia và X. Shao [5] đã công bố một nghiên cứu về điều khiển chế độ trượt dựa trên cơ sở bộ quan sát trạng thái phi tuyến để áp dụng cho hệ định vị động của tàu biển; X. Shi [6] cũng trình bày các kết quả nghiên cứu về điều khiển bám vị trí ở chế độ trượt; S. Xiaocheng [7] nghiên cứu một thuật toán điều khiển phản hồi trạng thái cho hệ định vị động của tàu biển dựa trên kỹ thuật cuốn chiều kết hợp bộ quan sát trạng thái phi tuyến; bên cạnh đó V. P. Bui và các tác giả [8] đã trình bày một nghiên cứu về thuật toán điều khiển kết hợp giữa chế độ trượt và bộ quan sát trạng thái phi tuyến cho hệ thống định vị động của tàu, trong trường hợp không có đủ các thiết bị đo yếu tố môi trường ngoài.

Các kỹ thuật điều khiển định vị động có thể được phân loại như: điều khiển chế độ trượt [5, 6]; điều khiển theo mặt

**Abstract** - This paper presents analysis and simulation results of adaptive fuzzy backstepping control (AFBSC) for a dynamic positioning system of ships to improve the settling time. The backstepping control helps to reduce influences of ship dynamics; the component of adaptive control eliminates static errors; the fuzzy control with 49 rules helps to automatically update the parameter of backstepping control (BSC) in order to output suitable signals for thrusters under sea weather environment (wave, wind, sea current). The stability and performances of this AFBSC are proven by Lyapunov theory. Simulation results on Matlab/Simulink indicate that AFBSC has strong advantages to reduce the settling time and steady state errors compared to those of backstepping control established in 2013 [1].

**Key words** - backstepping control; fuzzy control; adaptive backstepping control; dynamic positioning; dynamics of ships, ship control; DPS.

phẳng động [3]; điều khiển dựa trên bộ quan sát trạng thái [5, 7]; điều khiển dựa trên bộ lọc [2]; điều khiển cuốn chiều [2]; điều khiển tối ưu và điều khiển thích nghi, bền vững; điều khiển dự đoán mô hình; điều khiển phi tuyến.

Chất lượng của hệ định vị động phụ thuộc rất nhiều vào bộ điều khiển và cách lựa chọn tham số điều khiển sao cho phù hợp nhất. Thông thường, các đặc tính động lực học của tàu và hệ định vị động cần được phân tích và mô hình hóa để tìm tham số điều khiển tối ưu. Tiêu biểu cho hướng này là nghiên cứu của Zang Cheng-Du [1] về điều khiển cuốn chiều (Backstepping Control: BSC) để giảm ảnh hưởng từ đặc tính động lực học của tàu.

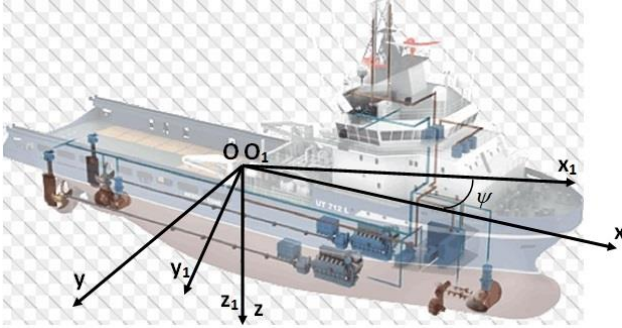
Tuy nhiên điều khiển BSC không loại trừ được sai lệch tĩnh do thiếu thành phần tích phân. Hơn nữa, do tính phi tuyến của hệ thống thực và sự thay đổi nhanh của thời tiết môi trường biển (sóng, gió, dòng chảy) nên các tham số điều khiển cố định của BSC không thể giúp tàu có đáp ứng tốt, đồng thời luôn tồn tại sai lệch ổn định và sai lệch tĩnh.

Để khắc phục các nhược điểm trên thì bài báo này đề xuất một thuật toán điều khiển mới: điều khiển cuốn chiều mờ thích nghi (Adaptive Fuzzy Backstepping Control: AFBSC) nhằm cải thiện thời gian đáp ứng và sai lệch ổn định của tàu so với nghiên cứu về BSC [1]. AFBSC có thành phần điều khiển thích nghi sẽ loại trừ sai lệch tĩnh và điều khiển mờ sẽ tự động điều chỉnh tham số của thành phần cuốn chiều để tạo ra tín hiệu điều khiển tối ưu hơn, nhằm thích ứng với các điều kiện thời tiết môi trường biển.

### 2. Mô hình động lực học 3 bậc tự do của tàu

Trong ngành dầu khí thường sử dụng các tàu dịch vụ đa

năng với 3 bậc tự do (3-DOF) để định vị trí và góc quay của mũi tàu khi cập mạn để tiếp cận với các giàn khoan. Để phân tích mô hình động lực học của tàu nhằm phục vụ cho việc thiết kế hệ thống điều khiển, hai hệ tọa độ khác nhau được định nghĩa như các hình bên dưới. Thứ nhất là hệ tọa độ cố định đối với trái đất Oxyz và hệ kia là O<sub>x1</sub>y<sub>1</sub>z<sub>1</sub> gắn cố định ở trên tàu nhưng di động so với trái đất. Hai hệ tọa độ này có thể cùng gốc tại điểm O ở thời điểm mặc định ban đầu và có thể cài đặt lại vị trí gốc.



Hình 1. Hệ tọa độ của tàu biển

Véc tơ vị trí trong mô hình 3 bậc tự do của tàu được định nghĩa như sau:

$$\eta = [x \quad y \quad \psi]^T \quad (1)$$

trong đó  $x, y$  là vị trí của tàu trên mặt biển xét trên hệ tọa độ cố định so với đất;  $\psi$  là góc mũi tàu hay góc quay của tàu.

Quan hệ giữa vận tốc chuyển động của tàu xét trên hệ tọa độ cố định và vận tốc của tàu xét trên hệ tọa độ di động gắn trên tàu (hướng chuyển động của tàu) là,

$$\frac{d\eta}{dt} = R(\psi)v \quad (2)$$

trong đó  $R$  là ma trận quay quanh trục Oz;  $v$  véc tơ vận tốc được định nghĩa như sau:

$$v = [u \quad v \quad r]^T \quad (3)$$

trong đó:  $u$  là vận tốc chuyển động theo hướng thẳng mũi tàu;  $v$  là vận tốc chuyển động theo hướng vuông góc hướng thẳng mũi tàu;  $r$  là vận tốc quay của tàu quay quanh trục Oz<sub>1</sub>. Mô hình 3-DOF của tàu phổ biến trong các nghiên cứu gần đây có dạng như sau:

$$\begin{aligned} M \frac{dv}{dt} + Cv + Dv + G &= \tau \\ \frac{d\eta}{dt} &= J(\psi)v \end{aligned} \quad (4)$$

trong đó  $M$  là ma trận tham số mô hình liên quan đến khối lượng và mô-men quán tính;  $C, D$  là ma trận tham số mô hình liên quan đến tốc độ chuyển động, quan hệ giữa các chuyển động, môi trường dòng chảy;  $G$  là véc tơ tham số mô hình liên quan đến vị trí và trọng lượng của tàu;

Như vậy, mô hình động lực học của tàu theo các chuyển động tịnh tiến và quay có thể được viết dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} m_{11}\dot{u} + d_{11}u + c_{11}r + g_1 &= F_x + f_{xe} \\ m_{22}\dot{v} + m_{23}\dot{r} + d_{22}v + (d_{23} + c_{23})r + g_2 &= F_y + f_{ye} \\ m_{32}\dot{v} + m_{33}\dot{r} + c_{31}v + (d_{32} + c_{32})v + d_{33}r + g_3 &= M_z + m_{ze} \end{aligned} \quad (5)$$

trong đó  $F_x, F_y, M_z$  là tổng các lực quy đổi từ động cơ đẩy theo các hệ tọa độ chuyển động của tàu và mô-men quay quanh trục tàu;  $f_{xe}, f_{ye}, m_{ze}$  là tổng các lực, mô-men từ môi trường ngoài (sóng, gió, dòng chảy) và sai lệch mô hình động lực học.

Để tiện cho việc thiết kế các thuật toán điều khiển, các phương trình động lực học theo 3 chuyển động của tàu được viết lại như sau:

$$\dot{u} = a_{11}u + b_{11}F_x + F_{xe} \quad (6)$$

$$\dot{v} = a_{22}v + a_{23}r + b_{22}F_y + b_{23}M_z + F_{ye} \quad (7)$$

$$\dot{r} = a_{32}v + a_{33}r + b_{32}F_y + b_{33}M_z + M_{ze} \quad (8)$$

trong đó các hệ số  $a_{11}, b_{11}, a_{22}, a_{23}, b_{22}, b_{23}, a_{32}, a_{33}, b_{32}, b_{33}$  được tính từ các thành phần của ma trận  $M, D$  và được cho trong phần mô phỏng.

Các mô hình sóng, gió, dòng chảy đã được trình bày nhiều trong các nghiên cứu trước đây [1-8] và được tham khảo trong phần mô phỏng.

### 3. Điều khiển cuộn chiếu mờ thích nghi

Động lực học của tàu theo trục Ox được xấp xỉ ở như phương trình (6), trong đó  $F_{ex}$  là tất cả sai số mô hình và nhiễu ngoài (sóng, gió, dòng chảy).

Đặt sai lệch vị trí

$$e_1 = x - x_d \quad (9)$$

lấy đạo hàm của chúng theo thời gian, thu được

$$\dot{e}_1 = \dot{x} - \dot{x}_d = u - \dot{x}_d \quad (10)$$

Đặt một biến điều khiển trung gian,  $\alpha_1 = -c_1e_1 + \dot{x}_d$  ( $c_1 > 0$ ) và định nghĩa một sai lệch mới,

$$e_2 = u - \alpha_1 = \dot{x} + c_1e_1 - \dot{x}_d = c_1e_1 + \dot{e}_1 \quad (11)$$

Lựa chọn hàm Lyapunov  $V_1$  lấy đạo hàm theo thời gian như sau:

$$V_1 = \frac{1}{2}e_1^2 \quad (12)$$

và lấy đạo hàm theo thời gian

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= e_1\dot{e}_1 = e_1(u - \dot{x}_d) = e_1(e_2 + \alpha_1 - \dot{x}_d) \\ &= e_1(e_2 + \dot{x}_d - c_1e_1 - \dot{x}_d) = e_1e_2 - c_1e_1^2 \end{aligned} \quad (13)$$

Định nghĩa tiếp hàm Lyapunov  $V_2$ ,

$$V_2 = \frac{1}{2}e_1^2 + \frac{1}{2}e_2^2 + \frac{1}{2\lambda_1}\tilde{F}_{ex}^2 \quad (14)$$

trong đó  $\tilde{F}_{ex} = F_{ex} - \hat{F}_{ex}$  là sai số giữa giá trị thực trung bình  $F_{ex}$  (hoặc giá trị tối ưu, giá trị lý tưởng được coi như là hằng số và không xác định được) và giá trị ước lượng  $\hat{F}_{ex}$ . Lấy đạo hàm sai lệch này thu được

$$\ddot{\tilde{F}}_{ex} = \dot{\tilde{F}}_{ex} - \dot{\hat{F}}_{ex} = -\dot{\hat{F}}_{ex} \quad (15)$$

Lấy đạo hàm sai lệch này thu  $V_2$

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2 + \frac{1}{\lambda_1} \tilde{F}_{ex} \dot{\tilde{F}}_{ex} = -c_1 e_1^2 + e_1 e_2 \\ & + e_2 [a_{11}u + b_{11}F_x + F_{ex} + c_1 \dot{e}_1 - \ddot{x}_d] + \frac{1}{\lambda_1} \tilde{F}_{ex} \dot{\tilde{F}}_{ex} \end{aligned} \quad (16)$$

Để đạo hàm của hàm Lyapunov luôn âm, chọn thuật toán (tín hiệu điều khiển động cơ đẩy được quy về lực)  $F_x$  như sau,

$$F_x = \frac{1}{b_{11}} [-a_{11}u - c_1 \dot{e}_1 + \ddot{x}_d - e_1 - c_2 e_2 - \hat{F}_{ex}], \quad c_2 > 0 \quad (17)$$

thì

$$\dot{V}_2 = -c_1 e_1^2 - c_2 e_2^2 + e_2 [F_{ex} - \hat{F}_{ex}] + \frac{1}{\lambda_1} \tilde{F}_{ex} \dot{\tilde{F}}_{ex} \quad (18)$$

để giá trị đạo hàm  $V_2$  này luôn âm, chọn luật điều khiển

bù nhiễu sao cho  $e_2 \tilde{F}_{ex} + \frac{1}{\lambda_1} \tilde{F}_{ex} \dot{\tilde{F}}_{ex} = 0$ , nghĩa là

$$\tilde{F}_{ex} = -\lambda_1 e_2, \quad \dot{\tilde{F}}_{ex} = \lambda_1 e_2, \quad \hat{F}_{ex} = \int \lambda_1 e_2 + \hat{F}_{ex}(0) \quad (19)$$

Luật điều khiển này sẽ bù thích nghi cho sai lệch mô hình và nhiễu ngoài do tác động của sóng, gió, và dòng chảy.

Như vậy  $\dot{V}_2 = -c_1 e_1^2 - c_2 e_2^2 \leq 0$  nên hệ ổn định tiệm cận theo tiêu chuẩn Lyapunov.

Đối với chuyển động quanh Oy và quay quanh trục tàu thì sử dụng các phương trình (7-8), trong đó,  $F_{ey}$  là tất cả sai lệch mô hình và nhiễu ngoài quy đổi theo trục y;  $M_{ey}$  là tất cả sai lệch mô hình và nhiễu ngoài quy đổi theo chuyển động quay quanh trục tàu. Đặt

$$e_{1v} = y - y_d; \quad e_{1r} = \psi - \psi_d \quad (20)$$

và lấy đạo hàm theo thời gian, thu được

$$\dot{e}_{1v} = \dot{y} - \dot{y}_d = v - \dot{y}_d; \quad \dot{e}_{1r} = \dot{\psi} - \dot{\psi}_d = r - \dot{\psi}_d \quad (21)$$

Định nghĩa các biến trung gian như sau,

$$\alpha_{1v} = -c_{1v} e_{1v} + \dot{y}_d; \quad \alpha_{1r} = -c_{1r} e_{1r} + \dot{\psi}_d \quad (c_{1v}, c_{1r} > 0) \quad (22)$$

Tiếp tục định nghĩa các sai lệch mới,

$$e_{2v} = v - \alpha_{1v} = c_{1v} e_{1v} + \dot{e}_{1v}; \quad e_{2r} = r - \alpha_{1r} = c_{1r} e_{1r} + \dot{e}_{1r} \quad (23)$$

Định nghĩa hàm Lyapunov  $V_1$  và đạo hàm chúng, thu được

$$V_1 = \frac{1}{2} e_{1v}^2 + \frac{1}{2} e_{1r}^2 \quad (24)$$

$$\dot{V}_1 = e_{1v} \dot{e}_{1v} + e_{1r} \dot{e}_{1r} = e_{1v} e_{2v} - e_{1v} e_{1v}^2 + e_{1r} e_{2r} - c_{1r} e_{1r}^2$$

Định nghĩa hàm Lyapunov  $V_2$ ,

$$V_2 = \frac{1}{2} e_{1v}^2 + \frac{1}{2} e_{1r}^2 + \frac{1}{2} e_{2v}^2 + \frac{1}{2} e_{2r}^2 + \frac{1}{2\lambda_2} \tilde{F}_{ey}^2 + \frac{1}{2\lambda_3} \tilde{M}_{ey}^2$$

trong đó  $\lambda_2, \lambda_3$  là hằng số dương,  $\tilde{F}_{ey} = F_{ey} - \hat{F}_{ey}$  là sai số giữa giá trị thực  $F_{ey}$  với giá trị ước lượng  $\hat{F}_{ey}$ ,  $\tilde{M}_{ey} = M_{ey} - \hat{M}_{ey}$  là sai số giữa giá trị thực  $M_{ey}$  với giá trị ước lượng  $\hat{M}_{ey}$ . Lấy đạo hàm các hàm Lyapunov, thu được

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & e_{1v} e_{2v} - c_{1v} e_{1v}^2 + e_{1r} e_{2r} - c_{1r} e_{1r}^2 + \\ & e_{2v} [\dot{v} - \dot{\alpha}_{1v}] + e_{2r} [\dot{r} - \dot{\alpha}_{1r}] + \frac{1}{\lambda_2} \tilde{F}_{ey} \dot{\tilde{F}}_{ey} + \frac{1}{\lambda_3} \tilde{M}_{ey} \dot{\tilde{M}}_{ey} \end{aligned} \quad (25)$$

Biến đổi phương trình này như sau,

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & e_{1v} e_{2v} - c_{1v} e_{1v}^2 + e_{1r} e_{2r} - c_{1r} e_{1r}^2 + \\ & e_{2v} [a_{22}v + a_{23}r + b_{22}F_y + b_{23}M_z + F_{ey} - (-c_{1v} \dot{e}_{1v} + \ddot{y}_d)] + \\ & e_{2r} [a_{32}v + a_{33}r + b_{32}F_y + b_{33}M_z + M_{ey} - (-c_{1r} \dot{e}_{1r} + \ddot{\psi}_d)] + \\ & \frac{1}{\lambda_2} \tilde{F}_{ey} \dot{\tilde{F}}_{ey} + \frac{1}{\lambda_3} \tilde{M}_{ey} \dot{\tilde{M}}_{ey} \end{aligned} \quad (26)$$

Để đơn giản trong tính toán và thiết kế, đặt

$$u_a = b_{22}F_y + b_{23}M_z, \quad u_b = b_{32}F_y + b_{33}M_z \quad (27)$$

thì

$$F_y = \frac{b_{33}u_a - b_{23}u_b}{b_{22}b_{33} - b_{23}b_{32}}; \quad M_z = \frac{b_{32}u_a - b_{22}u_b}{b_{22}b_{33} - b_{23}b_{32}} \quad (28)$$

Cần phải tìm luật điều khiển sao cho  $\dot{V}_2 \leq 0$ , do vậy có thể chọn

$$\begin{aligned} u_a = & -a_{22}v - a_{23}r - c_{1v} \dot{e}_{1v} + \ddot{y}_d - c_{2v} e_{2v} - e_{1v} - \hat{F}_{ey} \\ u_b = & -a_{32}v - a_{33}r - c_{1r} \dot{e}_{1r} + \ddot{\psi}_d - c_{2r} e_{2r} - e_{1r} - \hat{M}_{ey} \end{aligned} \quad (29)$$

Thế vào phương trình  $\dot{V}_2$  ở trên, thu được

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & -c_{1v} e_{1v}^2 - c_{1r} e_{1r}^2 - c_{2v} e_{2v}^2 - c_{2r} e_{2r}^2 + \\ & e_{2v} \tilde{F}_{ey} + \frac{1}{\lambda_2} \tilde{F}_{ey} \dot{\tilde{F}}_{ey} + e_{2r} \tilde{M}_{ey} + \frac{1}{\lambda_3} \tilde{M}_{ey} \dot{\tilde{M}}_{ey} \end{aligned} \quad (30)$$

Mục đích cuối cùng là đạt được

$$\dot{V}_2 = -c_{1v} e_{1v}^2 - c_{1r} e_{1r}^2 - c_{2v} e_{2v}^2 - c_{2r} e_{2r}^2 \leq 0 \quad (31)$$

Để hệ ổn định tiệm cận theo tiêu chuẩn Lyapunov.

Thì các luật thích nghi sẽ được chọn là:

$$\dot{\tilde{F}}_{ey} = -\lambda_2 e_{2v}, \quad \dot{\tilde{M}}_{ey} = -\lambda_3 e_{2r} \quad (32)$$

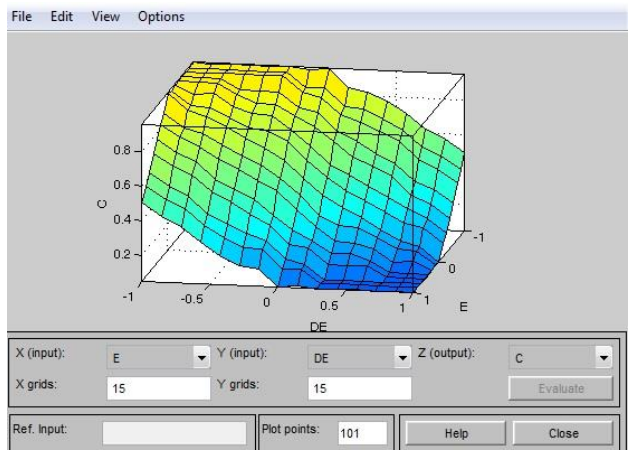
$$\dot{\tilde{F}}_{ey} = \lambda_2 e_{2v}, \quad \dot{\tilde{M}}_{ey} = \lambda_3 e_{2r} \quad (33)$$

$$\hat{F}_{ey} = \int \lambda_2 e_{2v} + \hat{F}_{ey}(0), \quad \hat{M}_{ey} = \int \lambda_3 e_{2r} + \hat{M}_{ey}(0) \quad (34)$$

Trong thuật toán điều khiển cuốn chiếu ở trên thì  $c_1$  và  $c_2$  được chọn dựa trên kết quả mô phỏng. Trong đó  $c_1$  ảnh hưởng đến sai lệch vị trí, trong khi đó  $c_2$  ảnh hưởng đến cả sai lệch vị trí và tốc độ. Các kết quả mô phỏng trên phần mềm đã chỉ ra rằng khi nhiễu ngoài (sóng, gió, dòng chảy) thay đổi thì yêu cầu người vận hành DPS phải lựa chọn lại chế độ vận hành (liên quan đến giá trị  $c_2$ ). Vì thế bài báo

này đưa ra một cải tiến là dùng thuật toán mờ để tự động điều chỉnh tham số  $c_2$  tùy thuộc vào sai lệch và tốc độ sai lệch, nhằm giảm sai số của hệ thống khi có nhiễu ngoài và giảm thời gian quá độ (settling time).

Hình 2-3 và bảng 1 trình bày cách thiết kế bộ điều khiển mờ để tự động cập nhật tham số  $c_2$  của bộ điều khiển cuộn chiếu thích nghi. Trước tiên các biến đầu vào E (sai lệch vị trí), DE (tốc độ sai lệch vị trí) và  $c_2$  (đầu ra của bộ điều khiển mờ) được định nghĩa như trên hình 2. Các giá trị của  $E=K1e$  và  $DE=K2de/dt$  ( $e$  là sai lệch vị trí hoặc góc quay) phải được định dạng nằm trong khoảng -1 đến 1 bằng cách lựa chọn các hệ số  $K1, K2$  sao cho phù hợp. Sau đó 7 biến ngôn ngữ mờ đầu vào được định nghĩa như trên hình 3 là: PB (positive big-lớn dương), PM (positive medium-trung bình dương), PS (positive small-nhỏ dương), ZE (zero-không), NS (negative small-nhỏ âm), NM (negative medium-trung bình âm), NB (negative big-lớn âm) và 7 biến ngôn ngữ mờ đầu ra được định nghĩa như sau: VB (Very big-rất lớn), B (big-lớn), MB (medium big-lớn vừa), M (medium-trung bình), MS (medium small-nhỏ vừa), S (small-nhỏ), VS (very small-rất nhỏ). Sau cùng 49 luật điều khiển dựa trên kinh nghiệm vận hành được lựa chọn như trên hình 3 sẽ thu được đáp ứng đầu ra như trên hình 4.



Hình 3. Thiết kế biến mờ với 7 trạng thái: 2 đầu vào và 1 đầu ra

#### 4. Kết quả mô phỏng

Hệ thống điều khiển được mô phỏng với các tham số mô hình tàu được tham khảo trong nghiên cứu của Zang Cheng-Du [1]. Từ các ma trận mô hình M, D của tàu tính được:

$$-M^{-1}D = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ 0 & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}; M^{-1} = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & b_{23} \\ 0 & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

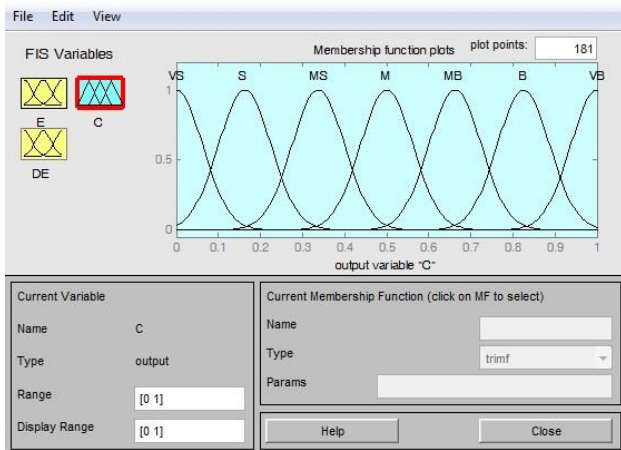
Như vậy các tham số mô hình tàu dùng trong mô phỏng thuật toán điều khiển là:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -0.0318, a_{22} = -0.0628, a_{23} = -0.0030 \\ a_{32} &= -0.0045, a_{33} = -0.2427 \\ b_{11} &= 0.887, b_{22} = 0.5418, b_{23} = 0.3125 \\ b_{32} &= 0.3125, b_{33} = 8.008 \end{aligned}$$

Nhiều ngoài cho điều khiển định vị trí  $x, y$  là  $50+50\sin(5t)$  và nhiễu cho góc quay là  $70+60\sin(5t)$ .

Giả sử rằng tàu đang ở vị trí ban đầu là 0 và muốn định vị ở khoảng cách xa 10m theo phương  $x$ , 10m theo phương  $y$  và quay 10 độ quanh trục Oz. Như vậy các hệ thống định vị động phải làm việc để tự động đưa tàu đến vị trí này. Các kết quả so sánh 2 thuật toán điều khiển cuộn chiếu (BSC) và cuộn chiếu mờ thích nghi (AFBSC) đối với các trường hợp không có nhiễu; có nhiễu cố định và có nhiễu dao động hình sine được thể hiện tương ứng trên các hình 4, 5, 6.

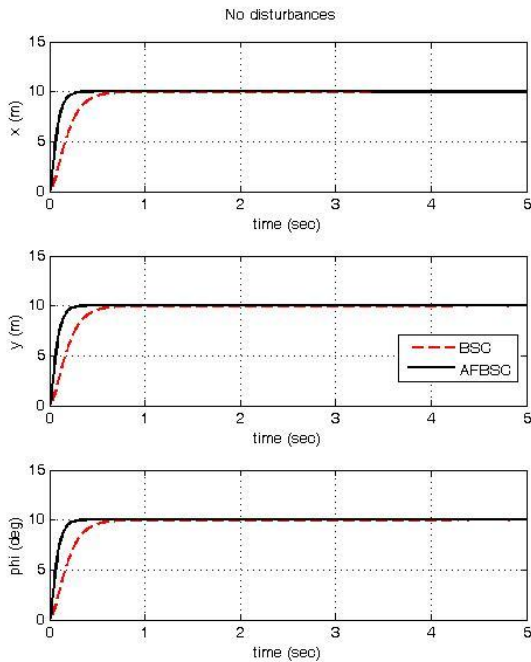
Khi môi trường hoạt động là lý tưởng (không nhiễu) thì cả hai kiểu điều khiển đều làm việc tốt với sai lệch ổn định gần bằng không, trong khi AFBSC có thời gian quá độ nhanh hơn gấp 2 lần.



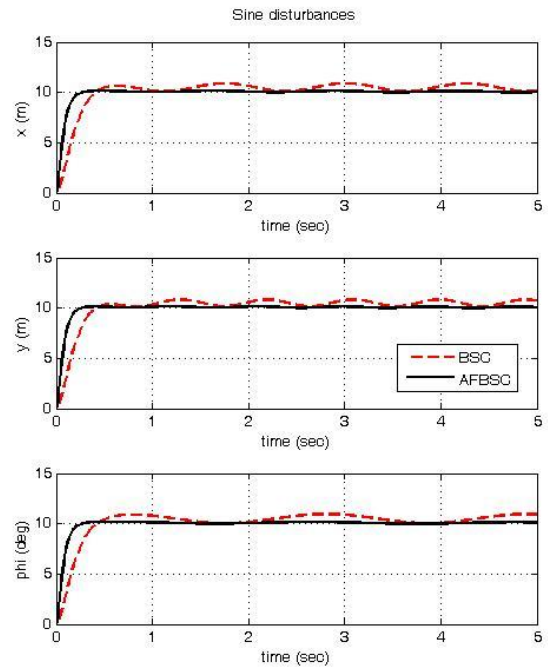
Hình 2. Thiết kế biến mờ với 9 trạng thái: 2 đầu vào và 1 đầu ra

Bảng 1. Luật hợp thành dựa trên 49 luật điều khiển

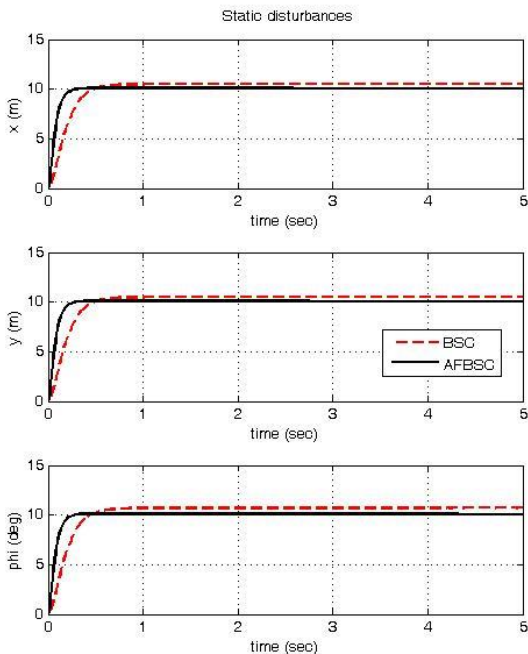
| DE \ E | NB | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB     | VB | VB | VB | VB | B  | MB | M  |
| NM     | VB | VB | VB | B  | MB | M  | MS |
| NS     | VB | VB | B  | MB | M  | MS | S  |
| ZE     | VB | B  | MB | M  | MS | S  | VS |
| PS     | B  | MB | M  | MS | S  | VS | VS |
| PM     | MB | M  | MS | S  | VS | VS | VS |
| PB     | M  | MS | S  | VS | VS | VS | VS |



**Hình 4.** So sánh điều khiển định vị cho BSC và AFBSC khi không có nhiễu



**Hình 6.** So sánh điều khiển định vị cho BSC và AFBSC khi có nhiễu ngoài dạng dao động sine



**Hình 5.** So sánh điều khiển định vị cho BSC và AFBSC khi có nhiễu ngoài cố định

Khi môi trường hoạt động có nhiễu cố định hoặc nhiễu tần số thấp thì điều khiển cuộn chiếu BSC không loại trừ được sai lệch tĩnh, trong khi đó điều khiển cuộn chiếu mờ thích nghi AFBSC thì loại trừ hoàn toàn sai lệch ổn định với thời gian quá độ nhanh hơn khoảng 30%.

Khi môi trường hoạt động có nhiễu ngoài phức tạp dạng sine thì điều khiển AFBSC đã giảm mạnh ảnh hưởng của nhiễu so với điều khiển BSC. Hơn nữa thời gian quá độ của AFBSC vẫn được đảm bảo tốt.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày về tính toán và mô phỏng bộ điều khiển cuộn chiếu mờ thích nghi (AFBSC) để so sánh với điều khiển cuộn chiếu (BSC) khi có sự thay đổi phức tạp của nhiễu ngoài. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/simulink cho thấy bộ điều khiển này có ưu điểm rõ rệt hơn so với BSC. AFBSC không những giảm thời gian quá độ khoảng 30% so với BSC mà còn loại trừ các nhiễu cố định và nhiễu tần thấp, đồng thời giảm thiểu ảnh hưởng của các nhiễu tần số cao.

Kết quả mô phỏng cho mô hình tàu ba bậc tự do đã cho thấy điều khiển cuộn chiếu mờ thích nghi AFBSC được đề xuất trong bài báo này có cải tiến rõ rệt so với điều khiển cuộn chiếu trong nghiên cứu của Zang Cheng-Du [1].

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU) trong khuôn khổ mã đề tài GV1602.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zang Cheng-Du, Wang Xi-Huai, Xiao Jian-Mei, "Ship dynamic positioning system based on Backstepping control", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, May 2013, Vol. 51 No.1, ISSN: 1992-8645.
- [2] G. Xia; Xingchao Shao; Jingjing Xue, "Command filtered backstepping control for dynamic positioning ships", *OCEANS 2015 - Genova*, Pages: 1 – 5.
- [3] Haizhi Liang, Luyu Li, Jinping Ou, "Fully coupled time-domain simulation of dynamic positioning semi-submersible platform using

- dynamic surface control", *Journal of Ocean University of China*, June 2014, Volume 13, Issue 3, pp 407-414.
- [4] Fang Wang, Lei Wan, Da-peng Jiang, Yu-ru Xu, "Design and reliability analysis of DP-3 dynamic positioning control architecture", *China Ocean Engineering*, December 2011, Volume 25, Issue 4, pp 709-720.
- [5] V. P. Bui; S. W. Ji; K. H. Choi; Y. B. Kim, "Nonlinear observer and sliding mode control design for dynamic positioning of a surface vessel", *Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2012 12th International Conference on, Pages: 1900 – 1904.
- [6] X. Shi; W. Xie; M. Fu; X. Sun, "Terminal sliding mode tracking control for dynamic positioning J-lay vessel", *Automation and Logistics (ICAL)*, 2011 IEEE International Conference on, Pages: 293 – 298.
- [7] S. Xiaocheng; X. Wenbo; F. Mingyu, "Output feedback control for dynamic positioning vessels using nonlinear observer backstepping", *Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2011 International Conference on, Pages: 2364 – 2369.
- [8] V. P. Bui; S. W. Ji; K. H. Choi; Y. B. Kim, "Nonlinear observer and sliding mode control design for dynamic positioning of a surface vessel", *Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2012 12th International Conference on, Pages: 1900 – 1904.

(BBT nhận bài: 11/12/2016, hoàn tất thủ tục phản biện: 08/02/2017)