

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MÒ TRƯỢT THÍCH NGHI DỰA TRÊN BỘ QUAN SÁT NHIỄU THỰC HIỆN ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH ĐỘ SÂU CHO THIẾT BỊ TỰ HÀNH DƯỚI NƯỚC

## DESIGN OF ADAPTIVE SLIDING FUZZY CONTROLLER BASED ON DISTURBANCE OBSERVER FOR STABLE DEPTH CONTROL OF UNDERWATER AUTONOMOUS VEHICLE

ĐỖ KHẮC TIỆP\*, NGUYỄN VĂN TIẾN

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: dokhactiep@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Bài báo này trình bày một phương pháp mới để điều khiển hướng cho thiết bị tự hành dưới nước (AUV) dựa trên kết hợp giữa điều khiển mờ trượt và bộ quan sát nhiễu. Bộ điều khiển mờ trượt được đề xuất tận dụng các điểm mạnh của cả điều khiển logic mờ và điều khiển chế độ trượt, cho phép điều khiển ổn định độ sâu cho thiết bị tự hành dưới nước. Phương pháp điều khiển mờ trượt dựa trên bộ quan sát nhiễu được nghiên cứu đóng vai trò ước lượng vị trí, vận tốc và tổng nhiễu phi tuyến, từ đó kháng tổng nhiễu bất định và tăng sự bền vững của hệ thống điều khiển. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng chống nhiễu tốt, thời gian đáp ứng nhanh và độ ổn định cao. Kết quả chứng minh khả năng của bộ điều khiển mờ trượt dựa trên bộ quan sát nhiễu trong việc đạt được khả năng ổn định độ sâu một cách chính xác và mạnh mẽ cho thiết bị tự hành dưới nước, ngay cả khi bị nhiễu loạn và biến đổi môi trường. Nghiên cứu này đóng góp vào việc nâng cao hiệu suất điều khiển của AUV và mở ra nhiều hướng nghiên cứu tiếp theo.

**Từ khóa:** AUV, điều khiển trượt, điều khiển mờ, điều khiển độ sâu, Matlab/Simulink.

### Abstract

This paper presents a new method for autonomous underwater vehicle (AUV) navigation control based on the combination of sliding fuzzy control and disturbance observer. The proposed sliding fuzzy controller takes advantage of the strengths of both fuzzy logic control and sliding mode control, enabling stable depth control for the autonomous underwater vehicle. The studied sliding fuzzy control method based on disturbance observer plays the role of estimating the position, velocity and total nonlinear disturbance, thereby

resisting the total uncertainty disturbance and increasing the robustness of the control system. The simulation results show that the proposed controller has good anti-disturbance ability, fast response time and high stability. The results demonstrate the ability of the sliding fuzzy controller based on disturbance observer in achieving accurate and robust depth stabilization for the autonomous underwater vehicle, even when subjected to disturbances and environmental changes. This study contributes to improving the control performance of AUV and opens up many further research directions.

**Keywords:** AUV, Fuzzy logic, sliding mode control, depth control, Matlab/Simulink.

### 1. Giới thiệu

Phương tiện tự hành dưới nước đã chứng tỏ được sự phổ biến trong những thập kỷ gần đây nhờ tính linh hoạt và hiệu suất vượt trội, chúng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực [1]. Với ưu điểm có kích thước nhỏ gọn cùng hệ thống đẩy tự động, khả năng mang theo các cảm biến như cảm biến độ sâu, camera, cảm biến siêu âm,... giúp phương tiện tự hành dưới nước rất phù hợp cho các nhiệm vụ nguy hiểm dưới mặt nước. Tuy nhiên, với một môi trường có nhiều biến động như dưới mặt nước đã tạo ra những thách thức đối với vấn đề ổn định độ sâu và điều hướng cho phương tiện tự hành dưới nước, trong đó hiện tượng chuyển động dao động tần số cao, không chỉ ảnh hưởng đến hiệu suất của cảm biến, đặc biệt là cảm biến âm thanh và quang học, mà còn khiến hệ động lực trở nên phi tuyến tính [2]. Ngoài ra, hầu hết các phương tiện tự hành dưới nước đều hoạt động ở chế độ điều khiển tự động, do đó việc điều khiển theo dõi và ổn định độ sâu và điều hướng trở thành nhiệm vụ đòi hỏi khắt khe, do các phương tiện tự hành dưới nước thường là thiếu cơ cấu chấp hành [3]. Do những

thách thức kể trên, nhiều kỹ thuật điều khiển tiên tiến đã được triển khai trong nhiều công trình nghiên cứu, chủ yếu bao gồm kỹ thuật điều khiển bền vững [4, 5], phương pháp điều khiển thông minh, thích nghi [6]. Rõ ràng là trong số các loại bộ điều khiển bền vững, điều khiển trượt (SMC) có nhiều ưu điểm để có thể khắc phục được những trở ngại trên.

Điều khiển chế độ trượt (SMC) là một giải pháp hứa hẹn cho nhiều vấn đề điều khiển nhờ khả năng chống nhiễu, đáp ứng nhanh và dễ thiết kế. Tuy nhiên, hiệu quả của SMC phụ thuộc rất lớn vào điều kiện khớp chặt. Khớp chặt đảm bảo rằng bộ điều khiển trượt có thể hoạt động hiệu quả, đưa hệ thống về trạng thái mong muốn và duy trì ổn định. Nếu không đáp ứng được điều kiện khớp chặt, hiệu suất của bộ điều khiển có thể bị suy giảm đáng kể. Vì vậy, yêu cầu các thành phần bất định phải được đặt chính xác trong mô hình hệ thống. Điều này hạn chế đáng kể việc áp dụng SMC cho các hệ thống thực tế, đặc biệt là các phương tiện dưới nước, nơi mà các bất định thường phức tạp và khó mô hình hóa chính xác.

Trong bài báo này, trình bày cách thiết kế, phát triển một bộ điều khiển mờ trượt (FSMC) hoàn toàn mới, sở hữu khả năng thích ứng mạnh mẽ với các thay đổi của môi trường và các nhiễu bất định. Từ các kết quả mô phỏng đã chứng minh được rằng FSMC không chỉ đảm bảo độ chính xác cao trong việc kiểm soát độ sâu cho phương tiện tự hành dưới nước mà còn nâng cao đáng kể độ ổn định và khả năng chống nhiễu của hệ thống. Kết quả nghiên cứu này mở ra triển vọng ứng dụng rộng rãi FSMC trong các hệ thống phương tiện tự hành dưới nước hiện đại, góp phần nâng cao hiệu quả và độ tin cậy của các nhiệm vụ dưới nước.

**2. Mô hình toán học của phương tiện tự hành dưới nước**

Mô hình động học của AUV là một mô tả toán học về chuyển động của phương tiện này. Mô hình này dựa trên các nguyên lý cơ bản của vật lý và sử dụng hệ tọa độ để xác định vị trí và hướng của phương tiện tự hành dưới nước. Hình 1 mô tả các chuyển động và hệ trục của một phương tiện tự hành dưới nước. Trong đó hệ tọa độ OXYZ là hệ tọa độ trái đất, hệ trục  $G_b X_b Y_b Z_b$  là hệ trục đặt trên thiết bị.

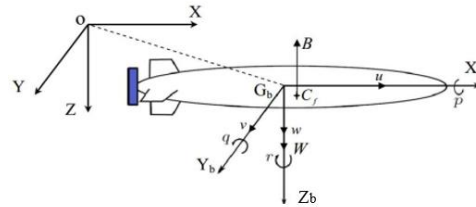
Với giả định mô hình động lực học của phương tiện tự hành dưới nước là xác định và không xét đến ảnh hưởng của cơ cấu chấp hành trên mặt phẳng ngang (theo [2]), và giả thiết AUV là một vật thể rắn đồng nhất. Chúng ta có thể xây dựng một mô hình toán học đơn giản cho AUV với 3 bậc tự do như biểu thức:

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

$$M \cdot \dot{v} + D(v) \cdot v + C(v) \cdot v + g(\eta) = \tau + w \tag{2}$$

Trong đó:  $v = [u, v, w, p, q, r]^T$  là vận tốc tuyến tính và góc của AUV được mô tả trên hệ trục tọa độ gắn trên AUV;  $\eta = [x, y, z, \Phi, \theta, \psi]^T$  là vị trí và góc của AUV được mô tả trên hệ trục trái đất;  $M \cdot \dot{v}$  là ma trận khối lượng của AUV;  $C(v) \cdot v$  là ma trận Coriolis hướng tâm;  $D(v) \cdot v$  là ma trận giảm chấn thủy động;  $g(\eta)$  là vectơ của lực hấp dẫn và lực đẩy;

Trong đó:  $\tau = [X, Y, Z, K, M, N]^T$  là tổng lực đẩy và mômen;  $w$  là nhiễu loạn bên ngoài.



**Hình 1. Các chuyển động và hệ trục của phương tiện tự hành dưới nước**

Mô hình động học của phương tiện tự hành dưới nước trong hệ quy chiếu quán tính được quy đổi về hệ quy chiếu trên thân của thiết bị được biểu diễn như:

$$\begin{cases} \dot{z} = w \cdot \cos \theta - u \cdot \sin \theta \\ \dot{\theta} = q \end{cases} \tag{3}$$

Đặt  $x = [w, q, \theta, z]^T$  là biến trạng thái của thiết bị khi đó phương trình (3) có thể được đơn giản hóa bằng cách bỏ qua hệ số ma sát nhớt bậc hai đủ nhỏ.

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u + d \tag{4}$$

Với  $d$  biểu thị động lực học không được mô hình hóa và sự can thiệp từ bên ngoài; A và B - ma trận đầu vào.

**3. Thiết kế bộ điều khiển mờ trượt với bộ quan sát nhiễu**

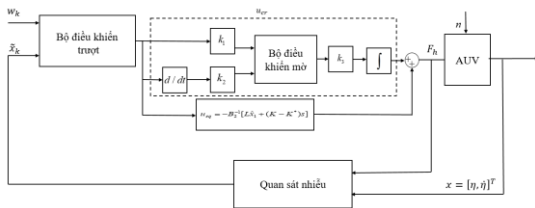
Bộ điều khiển mờ trượt kết hợp với khâu quan sát nhiễu là một phương pháp điều khiển hiện đại, được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống phi tuyến. Phương pháp này kết hợp ưu điểm của cả điều khiển mờ (linh hoạt, dễ điều chỉnh) và điều khiển trượt (ổn định tốt, chống nhiễu). Khâu quan sát nhiễu giúp ước

lượng các nhiễu không xác định trong hệ thống, từ đó cải thiện hiệu suất điều khiển. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ trượt với khâu quan sát nhiễu được trình bày như Hình 2.

**3.1. Thiết kế bộ điều khiển trượt**

Chọn  $s(t)$  là mặt trượt và được xác định bởi phương trình:

$$s = C.\hat{x} = C_1\hat{x}_1 + C_2\hat{x}_2 = 0 \quad (5)$$



**Hình 2. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ trượt với bộ quan sát nhiễu cho AUV**

Lấy đạo hàm theo thời gian của mặt trượt trong phương trình (5) rồi thay vào phương trình (4) ta sẽ thu được biểu thức:

$$\dot{s} = C_1.\dot{\hat{x}}_1 + C_2.\dot{\hat{x}}_2 = K.s + P.\hat{x}_1 + B.[(I + D_2).u + \rho_2] + C_1A_{12}.[\rho_1 + D_1.(s - C_1.\hat{x}_1)] \quad (6)$$

Với:

$$K = A_{22} + C_1A_{12}; P = A_{12} - C_1A_{22} + C_1H; H = A_{11} - C_1A_{12}$$

Bộ điều khiển trượt bền vững được tổng hợp bằng cách kết hợp phần điều khiển tương đương được tính toán dựa trên mô hình toán học của hệ thống ( $u_{eq}$ ) và phần điều khiển bền vững, thường là một hàm phi tuyến để đảm bảo tính hội tụ của trạng thái hệ thống về mặt trượt ( $u_{cr}$ ):

$$\dot{u} = u_{cr} + u_{eq} \quad (7)$$

Bộ điều khiển được thiết kế với luật điều khiển tương đương được trình bày như công thức:

$$u_{eq} = -B_2^{-1}.[P.\hat{x}_1 + (K - K^*).s] \quad (8)$$

Với:  $K^*$  là nằm ở phía âm của mặt phẳng phức.

Thay biểu thức (8) vào (6) ta được biểu thức:

$$\dot{s} = K^*.s + B_2.(I + D_2).u_{cr} + \rho_3 \quad (9)$$

Với:

$$\rho_3 = R_1s + R_2 + R_3n(t);$$

$$R_1 = l_{22} - D_2B_2^{-1}(K - K^*) + B_2^{-1}C_1A_{12}D_1;$$

$$R_2 = l_{21} + B_2^{-1}C_1A_{12}l_{11} - l_{22}C_1 - D_2B_2^{-1}L - B_2^{-1}C_1A_{12}D_1;$$

$$R_3 = B_2^{-1}.E_1.A_{12}.C_1 + E_2$$

Từ biểu thức (9) ta có luật điều khiển bền vững được thiết kế như:

$$u_{cr} = -r_{D_2}^{-1}(1 + \Upsilon)B_2^T.L.s \quad (10)$$

Với: 
$$\Upsilon = \frac{\rho}{\|B_2^T P s\| + \sigma} ;$$

$$\rho \geq \tilde{k}_1 \|x_1\| + \tilde{k}_2; \tilde{k}_1 = \max \|R_2\|; \tilde{k}_2 = \max \|R_3.n(t)\|$$
 và

$\sigma$  là một hằng số mang giá trị dương; Véc tơ L được tính theo công thức Riccati:

$$L(K^{*T} + K^*) - L^2.B_2.B_2^T + Q = 0$$

*Định lý* [8]: Đối với hệ thống  $\dot{x} = f(x, t)$  có một

hàm ánh xạ V khi  $U \times J \rightarrow R$  thỏa mãn điều kiện:

có một hằng số  $\lambda > 0$  và hàm vô hướng  $\bar{\lambda}$  khi

$$U \rightarrow R \text{ sao cho } \lambda \|x(t)\|^2 \leq \|V(t)\| \leq \bar{\lambda}(x) \|x(t)\|^2$$

và  $\dot{V}(x, t) \leq -\lambda_v \bar{\lambda}(t) \|x(t)\|^2 + \varepsilon$  với mọi

$(x, t) \notin U \times J$  và  $x \in R^n$ . Sau đó, giá trị đầu cuối

của hệ thống được giới hạn toàn cục khi  $t \rightarrow \infty$

$$\|x(t)\| \leq \frac{1}{\lambda} V(x_0, t_0) e^{-\lambda_v(t-t_0)} + \frac{\varepsilon}{\lambda \lambda_v} (1 - e^{-\lambda_v(t-t_0)}) \leq \frac{\varepsilon}{\lambda \lambda_v}$$

Với  $\frac{\varepsilon}{\lambda \lambda_v}$  là hằng số dương. Khi đó hệ thống với

giá trị đầu cuối bị chặn là điều kiện cần thiết cho sự ổn định của hệ thống.

*Chứng minh định lý:* Hàm Lyapunov được định nghĩa:

$$V(t) = s^T L s \quad (11)$$

Lấy đạo hàm V(t) và thay vào phương trình (9) ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \dot{s}^T L s + s^T L \dot{s} \\ &= s^T L K^* s + s^T L K^{*T} s + u_{cr}^T (I + D_2) B_2^T L s \\ &\quad + s^T L B_2 (I + D_2) u_{cr} + \rho_3 B_2^T L s + s^T L B_2 \rho_3 \end{aligned} \quad (12)$$

Với:  $\dot{V}_1(t) = u_{cr}^T (I + D_2) B_2^T L s + s^T L B_2 (I + D_2) u_{cr}$

và  $\dot{V}_2(t) = \rho_3 B_2^T L s + s^T L B_2 \rho_3$

Thay luật điều khiển bền vững ở (10) vào biểu thức  $\dot{V}_1(t)$  ta có:

$$\dot{V}_1(t) = -2r_{D_2}^{-1} \left[ 1 + \frac{\eta}{\|B_2^T Ls\| + \sigma} \right] \times s^T L B_2 \left( I + \frac{D_2 + D_2^T}{2} \right) B_2^T Ls \quad (13)$$

Với giả thiết các tham số đầu vào và nhiễu của hệ thống được giới hạn khi đó biểu thức (13) có thể được viết lại như:

$$\dot{V}_1(t) \leq -2 \left[ 1 + \frac{\eta}{\|B_2^T Ls\| + \sigma} \right] s^T L B_2 B_2^T Ls \quad (14)$$

Thay  $\rho_3$  của công thức (9) vào  $\dot{V}_2(t)$  ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2(t) &= \rho_3 B_2^T Ls + s^T L B_2 \rho_3 \\ &= s^T R_1^T B_2^T Ls + s^T R B_2^T Ls \\ &\quad + (R_2 x_1 + R_3 n)^T B_2^T Ls \\ &\quad + s^T L B_2 (R_2 x_1 + R_3 n) \end{aligned} \quad (15)$$

Vì  $(R_1 s)^T B_2^T Ls + (B_2^T Ls)^T R_1 s \leq (R_1 s)^T R_1 s$  nên (15) có

thể được viết thành:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2(t) &\leq s^T R_1^T R_1 s + s^T L B_2 B_2^T Ls + 2 \left\| \begin{matrix} R_2 x_1 \\ R_3 n \end{matrix} \right\| \|B_2^T Ls\| \\ &\leq s^T R_1^T R_1 s + s^T L B_2 B_2^T Ls + 2\eta \|B_2^T Ls\| \end{aligned} \quad (16)$$

Thay phương trình (14) và (16) vào (12) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq -s^T (Q - R_1^T R_1) s - \frac{2\eta}{\|B_2^T Ls\| + \sigma} \|B_2^T Ls\|^2 \\ &\quad + 2\eta \|B_2^T Ls\| \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{Vì } -\frac{\|B_2^T Ls\|^2}{\|B_2^T Ls\| + \sigma} \leq -\|B_2^T Ls\| + \sigma$$

và  $Q \geq R_1^T R_1$  nên (17) có thể được viết lại như:

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq -s^T (Q - R_1^T R_1) s + 2\eta \sigma \\ &\leq -\lambda_{\min} (Q - R_1^T R_1) \|s\|^2 + 2\eta \sigma \end{aligned} \quad (18)$$

Từ công thức (18) tính chất thứ hai trong định lý sau đó có thể thu được như:

$$\dot{V}(x, t) \leq -\lambda_V \bar{\lambda}(t) \|x(t)\|^2 + \varepsilon$$

với  $\lambda_V \bar{\lambda} = \lambda_{\min} (Q - R_1^T R_1)$  và  $\varepsilon = 2\eta \sigma$

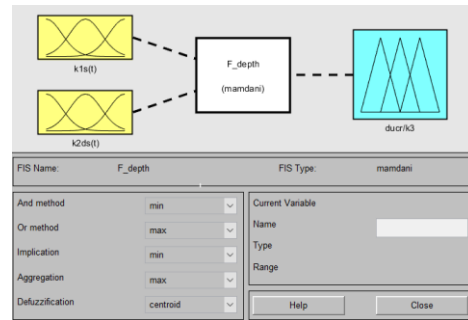
Do đó, sử dụng định lý bộ điều khiển trượt được xác định trong các phương trình (8) và (10) có thể đảm bảo sự hội tụ tiệm cận của độ sâu mục tiêu.

### 3.2. Thiết kế bộ điều khiển mờ trượt

Bộ điều khiển mờ trượt được đề xuất gồm các tín hiệu vào là  $k_1 s(t)$  và  $k_2 \dot{s}(t)$ , và tín hiệu ra là

$u_{cr} / k_3$ . Cấu trúc của bộ điều khiển mờ được thể hiện

trên Hình 3.



Hình 3. Bộ điều khiển mờ được thiết kế trên Matlab

Chức năng của bộ điều khiển mờ trong hệ thống dùng để xử lý hiện tượng chattering của bộ điều khiển trượt, giúp giảm sai số của hệ thống. Hệ số tỷ lệ k3 được chọn làm tham số có thể điều chỉnh tự do. Bộ điều khiển mờ được thiết kế dựa trên quy tắc mờ Mamdani [9, 10] bao gồm năm biến ngôn ngữ: Âm lớn (AL), âm trung bình (AT), âm nhỏ (AN), dương lớn (DL), dương trung bình (DT), dương nhỏ (DN) và không (Z). Bộ điều khiển được thiết kế với 49 quy tắc mờ xác định cho tất cả các kết hợp có thể có của các biến đầu vào dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế.

### 3.3. Thiết kế bộ quan sát nhiễu

Bộ quan sát nhiễu được thiết kế dựa trên thuật toán siêu xoắn (Super-Twisting Algorithm - STA), bộ quan sát được thiết kế để ước tính các biến trạng thái và tạo ra các tín hiệu điều khiển nhằm đảm bảo hệ thống đạt được các yêu cầu về độ ổn định và khả năng chống nhiễu.

Biến phụ trợ được sử dụng trong bộ quan sát được định nghĩa:  $\zeta = z - \hat{\eta}_h, z \in R^{3 \times 1}$ . Biến này thể hiện trạng thái bên trong của bộ quan sát thỏa mãn phương trình động học sau.

$$\dot{\zeta} = -M_\eta^{-1} \cdot C_\eta \cdot \dot{\eta} + M_\eta^{-1} \cdot B_\eta \cdot F_h + \hat{D} \quad (19)$$

Trong đó ước tính nhiễu loạn  $\hat{D}$  dựa trên thuật toán STA được thiết kế như biểu thức:

$$\hat{D} = -K_1 \sqrt{|\zeta|} \text{sign}(\zeta) - \int K_2 \text{sign}(\zeta) \quad (20)$$

Trong đó:  $K_1 = \text{diag}(k_{1i})$ ,  $K_2 = \text{diag}(k_{2i})$  là các ma trận đường chéo xác định dương.

Với các tín hiệu vào  $x_i$  khác nhau theo (7) ta sẽ có hệ thống điều khiển vòng kín như:

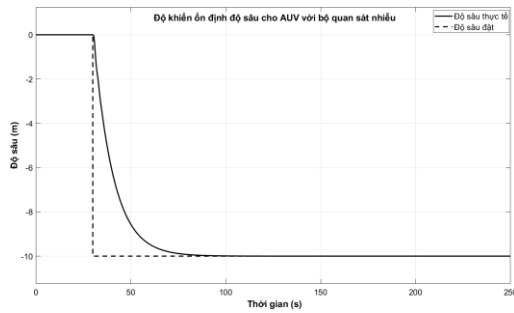
$$\dot{\zeta} = -K_1 \sqrt{|\zeta|} \text{sign}(\zeta) + z_2 - d_M \quad (21)$$

$$\dot{z}_2 = K_2 \cdot \text{sign}(\zeta) \quad (22)$$

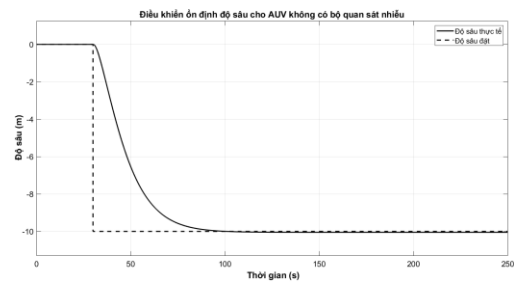
#### 4. Kết quả mô phỏng

Thực hiện mô phỏng để kiểm chứng bộ điều khiển được đề xuất tiến hành trên AUV REMUS với các thông số: Chiều dài 3,84m; khối lượng 30,48kg; lực nổi 306N; mô men quán tính 3,45kg.m<sup>2</sup>.

Tiến hành mô phỏng AUV thực hiện điều khiển ổn định độ sâu là 10m với hai trường hợp: Điều khiển ổn định độ sâu cho AUV khi có bộ quan sát nhiễu và khi không có bộ quan sát nhiễu. Nhiễu được sử dụng trong mô phỏng là dạng nhiễu Gaussian và vận tốc dòng chảy được giới hạn  $V_{\min}=0 \text{ ms}^{-1}$  và  $V_{\max} = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$ . Các kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 4-8.

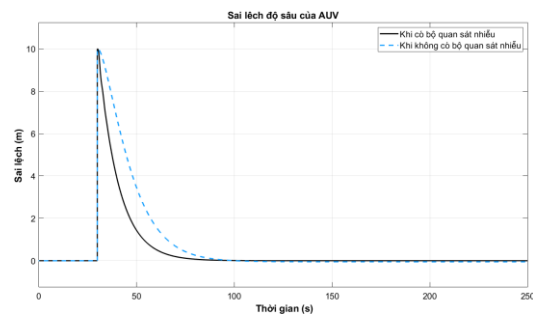


**Hình 4. Điều khiển độ sâu cho AUV với bộ quan sát nhiễu**



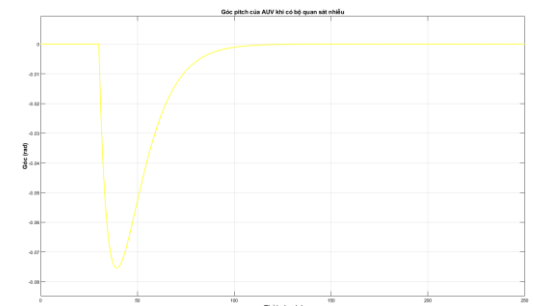
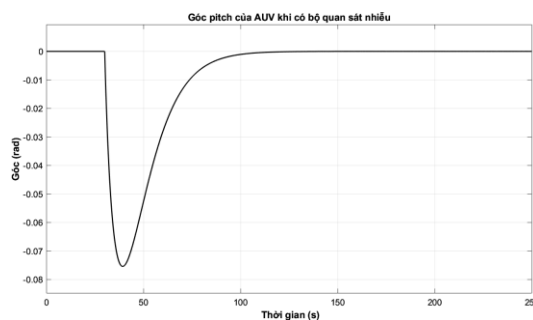
**Hình 5. Điều khiển độ sâu cho AUV khi không có bộ quan sát nhiễu**

Hình 4, 5 thể hiện quá trình điều khiển độ sâu cho AUV trong các trường hợp khi có bộ quan sát nhiễu và khi không có bộ quan sát nhiễu. Trong đó đường nét đứt mô tả độ sâu đặt và đường nét liền mô tả độ sâu thực của AUV. Từ hai hình vẽ ta nhận thấy với hệ thống điều khiển ổn định độ sâu cho AUV khi có bộ quan sát nhiễu thì hệ thống thực hiện chính xác và có đáp ứng nhanh hơn so với hệ thống khi không có bộ quan sát nhiễu. Thời gian để AUV thực hiện độ sâu mong muốn khi có bộ quan sát nhiễu là 75s trong khi với hệ thống không có bộ quan sát nhiễu thời gian là 100s.



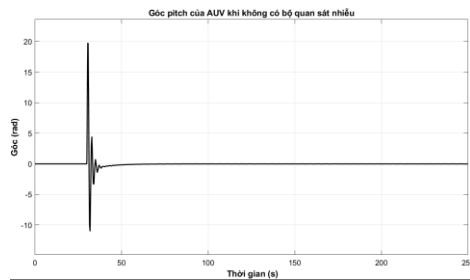
**Hình 6. Sai lệch độ sâu của AUV**

Hình 6 thể hiện sai lệch điều khiển độ sâu của AUV khi có bộ quan sát nhiễu (đường nét liền) và khi không có bộ quan sát nhiễu (đường nét đứt). Từ kết quả ta nhận thấy sai lệch độ sâu của AUV khi có bộ quan sát nhiễu là nhỏ hơn so với trường hợp không có bộ quan sát nhiễu.



**Hình 7. Góc pitch của AUV khi có bộ quan sát nhiễu**





Hình 8. Góc pitch của AUV khi không có bộ quan sát nhiễu

Từ Hình 7, 8 ta nhận thấy với trường hợp có bộ quan sát nhiễu góc pitch của AUV thì góc pitch có sự thay đổi từ từ và ổn định hơn so với trường hợp khi không có bộ quan sát nhiễu. Điều này cho thấy hệ thống điều khiển khi có bộ quan sát nhiễu hoạt động hiệu quả hơn trong việc giảm thiểu các tác động nhiễu so với hệ thống khi không có bộ quan sát nhiễu.

## 5. Kết luận

Trong bài báo này, một thuật toán điều khiển mờ trượt dựa trên quan sát nhiễu (đã được phát triển cho ổn định độ sâu cho phương tiện tự hành dưới nước trong điều kiện nhiễu động không thể dự đoán trước. Xuất phát từ mô hình động học và thuật toán được thiết kế, tác giả tiến hành xây dựng mô hình của AUV trên Matlab/Simulink và ứng dụng bộ điều khiển để kiểm nghiệm hoạt động của bộ điều khiển đã đề xuất. Để đánh giá được hiệu quả của hệ thống được đề xuất, tác giả tiến hành đưa ra kết quả mô phỏng của hệ thống với khâu quan sát nhiễu được so sánh với hệ thống khi không có bộ quan sát nhiễu.

Từ các kết quả mô phỏng ta nhận thấy, bộ điều khiển mờ trượt với bộ quan sát nhiễu được đề xuất có thể thực hiện điều khiển AUV thực hiện điều khiển bám độ sâu tương đối chính xác và với đáp ứng thời gian điều khiển đủ nhỏ để AUV có thể nhanh chóng ổn định độ sâu như mong muốn. Hệ thống điều khiển với bộ điều khiển mờ trượt với bộ quan sát nhiễu được đề xuất đã đáp ứng thích nghi tốt với tác động của ngoại cảnh đến sai lệch độ sâu của AUV. Từ kết quả mô phỏng, ta nhận thấy với bộ điều khiển mờ trượt có bộ quan sát nhiễu thực hiện điều khiển ổn định độ sâu cho AUV chính xác hơn, sai lệch độ sâu và đáp ứng thời gian là tốt hơn so với bộ điều khiển mờ trượt khi không có bộ quan sát nhiễu.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT 24.25-55.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Draženović, Č. Milosavljević, and B. Veselić (2013), *Comprehensive approach to sliding mode design and analysis in linear systems*, January. Springer.
- [2] M. Nahon (2002), *A simplified dynamics model for autonomous underwater vehicles*, in Proceedings of Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology.
- [3] K. Isa, M. R. Arshad, and S. Ishak (2014), *A hybrid-driven underwater glider model, hydrodynamics estimation, and an analysis of the motion control*, Ocean Eng., Vol.81, pp.111-129.
- [4] B. Ullah, M. Ovinis, M. B. Baharom, M. Y. Javaid, and S. S.Izhar (2015), *Underwater gliders control strategies: A review*, in 2015 10th Asian Control Conference: Emerging Control Techniques for a Sustainable World, ASCC 2015.
- [5] L. Qiao and W. Zhang (2019), *Adaptive Second-Order Fast Nonsingular Terminal Sliding Mode Tracking Control for Fully Actuated Autonomous Underwater Vehicles*, IEEE J. Ocean. Eng., Vol. 44, No.2, pp.363-385.
- [6] R. Cui, X. Zhang, and D. Cui (2016), *Adaptive sliding-mode attitude control for autonomous underwater vehicles with input nonlinearities*, Ocean Eng., Vol.123, pp.45-54.
- [7] Guermouche, M., Ali, S. A., and Langlois, N., (2015), *Super-twisting algorithm for DC motor position control via disturbance observer*, IFAC-PapersOnLine, Vol.48 (30), pp.43-48.
- [8] SW Mei, TL Shen, KZ Liu (2003), *Modern robust control theory and application*, Tsinghua University Press, Beijing, pp.105-115.
- [9] Đỗ Khắc Tiếp, Tống Lâm Tùng, Lê Văn Tâm (2024), *Thiết kế bộ điều khiển fuzzy thực hiện điều khiển hướng cho AUV*, Tạp chí Giao thông vận tải, Số 744, tr.96-100,
- [10] Đỗ Khắc Tiếp, (2024), *Điều khiển độ sâu cho AUV sử dụng bộ điều khiển mờ trượt*, Tạp chí Giao thông vận tải, Số 743, tr.91-95.

Ngày nhận bài:	14/01/2025
Ngày nhận bản sửa:	27/01/2025
Ngày duyệt đăng:	31/01/2025