

ĐIỀU KHIỂN NGƯ LÔI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PD

PD Method for Diving Control a Torpedo Autonomous Underwater Vehicle

¹TS. Đặng Xuân Kiên, ²KS. Phạm Văn Phúc

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh

²Trường trung cấp Kỹ thuật Hải Quân

Tóm tắt: Bài toán về điều khiển hướng đi của ngư lôi theo đúng mục tiêu đã được nghiên cứu trên khắp thế giới khi thiết kế vũ khí. Tuy nhiên tại Việt Nam chưa có nhiều công trình nghiên cứu về đặc tính thủy động lực học và hệ thống điều khiển của ngư lôi. Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng bộ điều khiển PD để điều khiển chuyển động của ngư lôi trong hệ tọa độ 6 bậc tự do dưới tác động của dòng chảy, độ sâu và lực lắc ngư lôi. Kết quả mô phỏng trên Matlab điều khiển chuyển động của ngư lôi tổng hợp cả 3 kênh cho thấy tính hiệu quả của thuật toán sử dụng.

Abstract: The diving control problems of a Torpedo Autonomous Underwater Vehicle have been researched and developed in many countries around the world as a part of the weapons process revolution in military. Nevertheless, there are few works in Vietnam related to the research about the control system of Torpedo. In this paper, a PD controller is used to control the torpedo autonomous underwater vehicle of co-ordinate 6 independent under the effect of the depth, the wind velocity and vibration of torpedo. The simulation results via Matlab of the torpedo diving control system synthesis with 3 channels demonstrate the usefulness and effectiveness of the proposed method.

Keyword: Underwater vehicle, PD controller, Torpedo

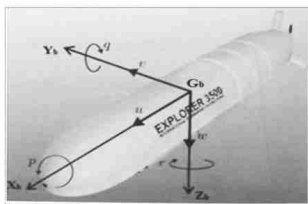
1. Giới thiệu chung

Đặc tính động học cho các phương tiện hoạt động dưới nước đã được tác giả T.I.Fossen trình bày một cách cơ bản và tổng quát. Đồng thời có xét đến sự tác động của dòng chảy đại dương [1], [2]. Tuy nhiên mô hình trong nghiên cứu này là mô hình tổng quan, chỉ khảo sát đặc tính động học cho ngư lôi có 1 chân vịt với các bánh lái điều khiển theo hướng, độ sâu và vây giảm lắc.

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu điều khiển chuyển động của các loại ngư lôi khác nhau [4], [5], [9]. Trong đó có mô hình ngư lôi một chân vịt được điều khiển bằng bánh lái hướng, độ sâu và vây giảm lắc. Trên cơ sở các nghiên cứu trên kết hợp với ngư lôi hiện có thực tế là loại 2 chân vịt quay đồng trục và ngược chiều nhau, các tác giả đã phát triển và thiết kế bộ điều khiển PD để điều khiển quỹ đạo chuyển động ngư lôi dưới sự tác động của dòng chảy đại dương trong hệ tọa độ 6 bậc tự do. Kết quả mô phỏng bằng Matlab/ Simulink đã khẳng định tính đúng đắn của thuật toán được sử dụng.

2. Phương trình chuyển động ngư lôi

Chuyển động của ngư lôi được mô tả trong hệ tọa độ gắn liền 6 bậc tự do có tâm trùng với tâm nổi C_b [1], [2], [5].



Hình 1. Hệ tọa độ ngư lôi

Tâm trọng lực tại điểm $r_g = [x_g, y_g, z_g]^T$, các thành phần r_g là rất nhỏ, vì thế trong thiết kế ngư lôi gần như là tâm nổi trùng với tâm trọng lực.

Lực, mô men, vận tốc, vận tốc góc trong hệ tọa độ gắn liền được ký hiệu bởi các véc tơ sau:

$\tau_1 = [X, Y, Z]^T$ - Là véc tơ ngoại lực tác dụng lên ngư lôi.

$c_2 = [K, M, N]^T$ - Là véc tơ mô men

ngoại lực tác dụng lên ngư lôi.

$V = [u, v, w]^T$ - Là véc tơ vận tốc dài theo các trục hệ tọa độ gắn liền X_b, Y_b, Z_b .

$\omega = [p, q, r]^T$ - Là véc tơ vận tốc góc trong hệ tọa độ gắn liền.

$\nu = [u, v, w, p, q, r]^T$ - Là véc tơ vận tốc dài và vận tốc góc trong hệ tọa độ gắn liền.

Vị trí x, y, z và góc định hướng ϕ, θ, ψ của ngư lôi được mô tả.

$$\eta = [\eta_1^T, \eta_2^T]^T \quad (1)$$

Trong đó: $\eta_1 = [x, y, z]^T$; $\eta_2 = [\phi, \theta, \psi]^T$

2.1. Phương trình chuyển động tổng quát của ngư lôi

Phương trình chuyển động của ngư lôi dưới dạng tổng quát:

$$M_{RB} \dot{\nu} + C_{RB}(\nu)\nu = \tau_{RB} \quad (2)$$

Trong đó:

M_{RB} là ma trận quán tính;

C_{RB} là ma trận hướng tâm Coriolis;

τ_{RB} là véc tơ ngoại lực và mô men ngoài lực tác động lên thân ngư lôi.

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix};$$

$$C_{RB} = \begin{bmatrix} 0 & -mr & mq & 0 & 0 & 0 \\ mr & 0 & -mp & 0 & 0 & 0 \\ -mq & mp & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{zz}r & -I_{yy}q \\ 0 & 0 & 0 & -I_{zz}r & 0 & I_{xx}p \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx}q & -I_{zz}p & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tau_{RB} = M_A \dot{\nu} + C_A(\nu)\nu + D(\nu)\nu + L(\nu)\nu + g(\eta) + \tau \quad (3)$$

Trong đó:

$M_A, C_A(\nu)$ là ma trận quán tính và ma trận hướng tâm Coriolis khối nước kèm;

$D(\nu)$ - Là ma trận lực và mô men thủy động;

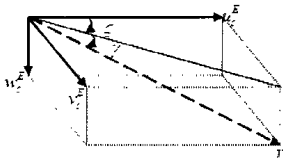
$g(\eta)$ - Là véc tơ lực và mô men phục hồi;

$L(\nu)$ - Là ma thông số trạn lực và mô men của bánh lái, vây và chân vịt;

$\tau = \tau_{bl} + \tau_{cvt}$ - Là lực và mô men của bánh lái, vây và chân vịt.

2.2. Ảnh hưởng của dòng chảy đại dương đối với ngư lôi

Ngư lôi chuyển động ở độ sâu lớn nên chỉ xét đến sự ảnh hưởng của dòng chảy đại dương.



Hình 2. Vận tốc dòng chảy đại dương trong hệ tọa độ địa lý

Vận tốc dòng chảy V_c được phân tích thành các thành phần u_c^E, v_c^E, w_c^E (hình 2) thông qua các góc γ và z .

$$u_c^E = V_c \cos \gamma \cos z$$

$$v_c^E = V_c \cos \gamma \sin z$$

$$w_c^E = V_c \sin \gamma$$

Vận tốc dòng chảy $\nu_c = [u_c, v_c, w_c, 0, 0, 0]^T$ trong đó u_c, v_c, w_c là các thành phần vận tốc dòng chảy theo các trục X_b, Y_b, Z_b .

Vận tốc tương đối khi này

$$\nu_{td} = \nu - \nu_c = [u_{td}, v_{td}, w_{td}, p, q, r]^T$$

Khi xét đến sự ảnh hưởng của dòng chảy tác động lên ngư lôi, phương trình chuyển động của ngư lôi sẽ là [9].

$$(M_{RB} - M_A)\dot{\nu}_{td} = (C_A(\nu_{td}) + D(\nu_{td}) + L_{vay}(\nu_{td}))\nu_{td} + g(\eta) - C_{RB} + \tau \quad (4)$$

2.3. Phương trình chuyển động ngư lôi

Phương trình chuyển động ngư lôi trong hệ tọa độ 6 bậc tự do được trình bày theo hệ phương trình sau [1], [2], [4]:

$$\begin{cases}
 \dot{x} = u_x \cos \psi \cos \theta + v(\cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi) + \\
 \quad + w(\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi) \\
 \dot{y} = u_x \sin \psi \cos \theta + v(\sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi) + \\
 \quad + w(\sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi) \\
 \dot{z} = -u_x \sin \theta_0 + v(\cos \theta \sin \phi) + w \cos \theta \cos \phi \\
 \dot{\phi} = p + q \tan \theta \sin \phi + r \tan \theta \cos \phi \\
 \dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \\
 \dot{\psi} = q \sin \phi \sec \theta + r \cos \phi \sec \theta
 \end{cases} \quad (5)$$

3. Thiết kế hệ điều khiển ngư lôi

3.1. Thiết kế bộ điều khiển PD tổng hợp ngư lôi theo các kênh.

Ta chọn các thông số mô phỏng cho bộ điều khiển như sau:

$$K_{ph}=20; K_{ch}=2.$$

$$K_{ps}=1.5; K_{ds}=1.$$

$$K_{pl}=5; K_{dl}=2$$

Thời gian mô phỏng: 150 s.

Thời gian mô phỏng: 150 s.

Góc hướng ban đầu 45° tại thời điểm 0s.

Góc hướng thay đổi về -45° tại thời điểm 100 s.

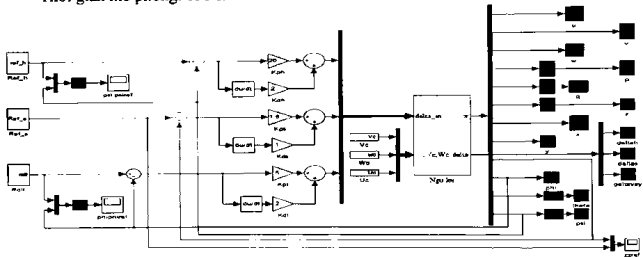
Độ sâu ban đầu - 12 m tại thời điểm 0s.

Độ sâu thay đổi - 22 m tại thời điểm 40s.

Góc lắc thay đổi về $-11^\circ (-0.2)$ tại thời điểm 30 s.

Góc lắc thay đổi về $11^\circ (0.2)$ tại thời điểm 70 s.

Tác động của thành phần vận tốc dòng chảy đại dương $v_c = 0.8$ m/s tại thời điểm 85s.



Hình 3: Sơ đồ mô phỏng điều khiển tổng hợp ngư lôi theo các kênh

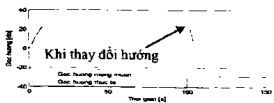
3.2. Kết quả mô phỏng

Tại thời điểm 40s ngư lôi thay đổi độ sâu từ - 12m tới - 22m (hình 6), khi đó góc hướng ngư lôi bị ảnh hưởng (hình 4) và tạo ra góc lắc ngư lôi (hình 8). Tuy nhiên, dưới sự điều khiển của bánh lái hướng (hình 5) và vây giảm lắc (hình 3.9) tác động điều khiển ngư lôi bám theo quỹ đạo mong muốn.

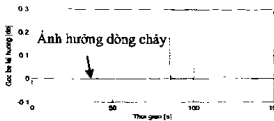
Tại thời điểm 100s ngư lôi thay đổi hướng từ 45° về -45° , khi đó độ sâu ngư lôi (hình 6) bị ảnh hưởng và tạo ra góc lắc ngư lôi (hình 3.8). Tuy nhiên, bánh lái sâu (hình 7) và vây giảm lắc (hình 3.9) tác động điều khiển ngư lôi bám theo quỹ đạo mong muốn.

Tại thời điểm 30s và 70s ngư lôi xuất hiện góc lắc, khi đó góc hướng và độ sâu của ngư lôi bị ảnh hưởng, nhưng dưới sự điều khiển của bánh lái hướng và độ sâu tác động điều khiển ngư lôi bám theo quỹ đạo mong muốn.

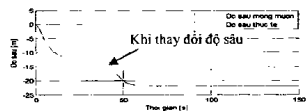
Với thuật toán điều khiển PD hệ thống có thể đáp ứng được với các góc hướng, độ sâu đặt khác nhau, tuy nhiên ảnh hưởng bởi sự tác động qua lại giữa các kênh điều khiển là tương đối lớn. Tuy nhiên dưới sự điều khiển của các bánh lái ngư lôi vẫn hoạt động đảm bảo các tính năng kỹ chiến thuật.



Hình 4: Kết quả mô phỏng điều khiển theo hướng trong điều khiển tổng hợp



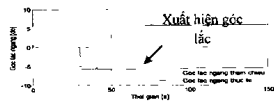
Hình 5: Góc bành lái điều khiển theo hướng ngư lôi trong điều khiển tổng hợp



Hình 6: Kết quả mô phỏng điều khiển theo độ sâu trong điều khiển tổng hợp



Hình 7: Góc bành lái điều khiển theo độ sâu ngư lôi trong điều khiển tổng hợp



Hình 8: Kết quả mô phỏng điều khiển giảm lắc trong điều khiển tổng hợp



Hình 9: Góc bành lái điều khiển giảm lắc ngư lôi trong điều khiển tổng hợp



Hình 10: Vết đi của ngư lôi

3. KẾT LUẬN.

Các kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển của ngư lôi đáp ứng với các thông số đầu vào:

Theo kênh ngang góc hướng tối ưu là $0 \pm 170^\circ$, Thành phần vận tốc dòng chảy theo trục ngang tốt nhất là từ $0 \pm 1 m/s$.

Theo kênh đứng là độ sâu hoạt động tối ưu là $-20 \pm -200m$, Thành phần vận tốc dòng chảy theo trục đứng tốt nhất là từ $0 \pm -0,4 m/s$.

Theo kênh giảm lắc là góc lắc tốt nhất mà ngư lôi nhanh chóng ổn định là từ $0 \pm \pm 11^\circ$.

Theo kênh đứng là độ sâu hoạt động tối ưu là $-20 \pm -200m$, Thành phần vận tốc dòng chảy theo trục đứng tốt nhất là từ $0 \pm -0,4 m/s$.

Theo kênh giảm lắc là góc lắc tốt nhất mà ngư lôi nhanh chóng ổn định là từ $0 \pm \pm 11^\circ$.

Bài báo đã thiết kế bộ điều khiển PD điều khiển chuyển động ngư lôi. Kết quả điều khiển cho thấy dưới tác động của dòng chảy đại dương quỹ đạo chuyển động ngư lôi cho ta đáp ứng và thời gian xác lập nhanh, độ vọt lố giảm, điều đó minh chứng cho tính đúng đắn của thuật toán mà các tác giả đã lựa chọn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Đức Thuận, Nguyễn Quang Vịnh, Trương Duy Trung, *Mô hình động học chuyển động của ngư lôi*, Tạp chí Nguyễn cứu khoa học và công nghệ quân sự, 2012, 08 trang.
- [2] T.I.Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles" John Wiley & Sons, 1994.
- [3] G.N. Robert "Advances in Unmanned Marine Vehicles" Control of Engineering Series 69, 1996 pp.92 - 101.
- [4] B.Siciliano, O. Khatib and F. Groen "Underwater Robots Motion and Force

(Xem tiếp trang 117)