

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ ROBOT LẶN ROV MINI

## RESEARCH DESIGN ROV MINI ROBOT

Trần Văn Tạo<sup>1</sup>, Trần Ngọc Huy<sup>2</sup>, Huỳnh Tấn Đạt<sup>3</sup>, Châu Thanh Hải<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật Giao thông

<sup>2,3,4</sup>Phòng TN trọng điểm DCSELAB

Trường ĐH Bách khoa TP HCM

tao.tranvan@hcmut.edu.vn

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày về nghiên cứu thiết kế mô hình và hệ thống điều khiển thiết bị lặn dưới nước (ROV). Đây là một trong những robot quan trọng được sử dụng trong môi trường nước với nhiều mục đích, đặc biệt đối với hải quân và công nghiệp hàng hải. ROV có dây này được thiết kế ở trạng thái cân bằng trong mặt phẳng ngang, được trang bị các động cơ đẩy và cảm biến cung cấp tín hiệu cho phép thực hiện chuyển động sáu bậc tự do. Bên cạnh đó, camera và tay gắp tích hợp vào ROV hỗ trợ các tác vụ khảo sát dưới nước. Điều khiển ROV là một nhiệm vụ khó khăn do động học rất phức tạp. Bộ điều khiển sử dụng trong bài viết là bộ điều khiển PID đơn giản, dễ áp dụng, thực tế hóa. Phần mềm điều khiển được thiết kế đơn giản, dễ sử dụng, giúp kết nối, giám sát và điều khiển ROV.

**Từ khóa:** Sáu bậc tự do; dưới nước; động cơ đẩy; điều khiển PID; ROV.

**Chỉ số phân loại:** 2.2

**Abstract:** This paper presents the research of the design and control system for Remotely Operated Vehicle (ROV). This is one of the most important types of underwater robots used for various purposes, especially in navy and marine industries. The design keeps our tethered ROV self-stabilized in the horizontal plane. It is also equipped with thrusters and sensor feedbacks, allowing six degrees – of – freedom motion. Moreover, underwater tasks can be executed via the integrated camera and grabber. Control of ROV is not easy due to its dynamic characteristics. The PID controller has been proposed in this paper as it is easy to study and apply. The remote control software is designed for a simple and user friendly interface, which allow user to connect, monitor and control the ROV.

**Keywords:** Six degrees – of – freedom motion; Underwater; Thrusters; PID controller; Remotely Operated Vehicle (ROV).

**Classification number:** 2.2

### 1. Giới thiệu

Việt Nam là một quốc gia ven biển, với những hoạt động về an ninh quốc phòng, kinh tế, môi trường, du lịch trên biển diễn ra rất tập nập. Ở những khu vực có độ sâu lớn hoặc điều kiện phức tạp, con người không thể giải quyết các nhiệm vụ khó khăn. Do đó, việc chế tạo các thiết bị dưới nước hỗ trợ và dần thay thế con người là rất cần thiết, vừa đảm bảo sự an toàn cho con người, vừa giám sát thực hiện một cách chính xác và hiệu quả các mục tiêu đề ra về tác vụ, yêu cầu kỹ thuật. Trong đó, phương tiện ngầm điều khiển từ xa ROV được liên kết với trung tâm điều khiển trên bờ hoặc trên mặt nước (tàu mẹ) bằng hệ thống cáp trong quá trình hoạt động. Đôi khi dây cáp còn có tác dụng phụ giúp trục vớt các vật thể nặng từ dưới đáy biển. Bán kính làm việc của loại robot này bị giới hạn bởi chiều dài dây cáp dẫn. ROV có thể làm việc trong khoảng thời gian lớn dưới nước mà

không phải thoát lên khỏi mặt nước để nạp thêm điện năng. Vì vậy phương tiện ngầm điều khiển từ xa này dễ dàng điều khiển, cấp nguồn và truyền tín hiệu thông qua dây cáp. vận hành một số thao tác đơn giản như hàn, cắt, gắp, lau chùi trên tàu mẹ. Với tính mở và đa dạng ứng dụng, tùy thuộc vào loại công việc và phạm vi ứng dụng mà người ta thiết kế ROV với những kích cỡ khác nhau, theo đó là một số ứng dụng như khảo sát biển, giàn khoan, thu thập dữ liệu chất lượng nước và sinh vật biển.

Từ những năm 1950 đến nay, lĩnh vực này đã được phát triển khắp thế giới, đáp ứng đa dạng yêu cầu về kích thước và khả năng thực hiện tác vụ theo yêu cầu. Một số ROV đã được nghiên cứu và thương mại hóa trên thế giới. Có thể kể đến một số như ROV Hercules Mystic Aquarium – Institute for Exploration có khả năng làm việc ở độ sâu 4000m với hai cánh tay máy và camera HD

hay ROV JHUROV được chế tạo tại phòng thí nghiệm Hệ thống Động lực học và Điều khiển (The Dynamical Systems and Control Laboratory) thuộc Đại học John Hopkins, sử dụng làm nền tảng phục vụ các thí nghiệm giải thuật điều khiển và định vị. Ngoài các ROV được nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, các công ty lớn đã cho ra đời các thể hệ ROV đa dạng phục vụ theo yêu cầu khách hàng như VideoRay, BlueRobotics, Seabotix [7a, 7b]. Trong hình 1 là một số mô hình ROV.



Hình 1. Một số mô hình ROV dạng hộp.

Bài báo tập trung mô tả về thiết kế mô hình ROV dạng hộp, bố trí các thiết bị, lựa chọn các thiết bị cảm biến, chấp hành, linh kiện điện tử để thiết kế hệ thống điều khiển cho robot lặn. Bên cạnh đó là nghiên cứu về mô hình toán động học, động lực học cho ROV phục vụ cho mô phỏng điều khiển mô hình thực tế.

## 2. Thiết kế chế tạo ROV

### 2.1. Kết cấu chung

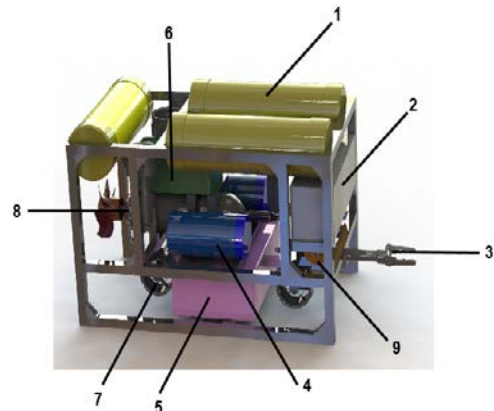
Mục tiêu đặt ra trong thiết kế ROV là bảo vệ và cách li hoàn toàn các thiết bị, cảm biến cũng như động cơ. Hạn chế rủi ro khi gặp sự cố hay va chạm có thể dẫn đến hư hại hoặc mất kiểm soát ROV. Vì thế kết cấu được lựa chọn là kiểu khung giàn hình hộp, trên đó lắp khoang thiết bị, các động cơ đẩy và có thể mở rộng lắp thêm các cơ cấu chấp hành khác nếu cần. Robot được kết nối với trung tâm điều khiển đặt trên mặt nước (trên bờ, trên tàu mẹ...) thông qua dây cáp. Dây cáp cung cấp điện năng, cho phép robot có thể làm việc lâu dài dưới nước mà không cần

quan tâm đến việc nạp năng lượng để sử dụng. Ngoài ra, cáp nối còn được dùng để truyền lệnh điều khiển tới robot, truyền dữ liệu thu được từ robot về trạm trung tâm để quản lý và điều khiển, đồng thời hỗ trợ thu hồi robot.

Kết cấu chung và thông số kỹ thuật của ROV được trình bày trong bảng 1 và hình 2.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật.

Chỉ tiêu	Thông số
Kích thước	+ Chiều dài: 0.6m + Chiều rộng: 0.37m + Chiều cao của thân: 0.4m
Khối lượng	25 kg
Tốc độ cho phép	0 - 2 knots
Độ sâu tối đa	20m
Kết nối / Truyền thông	Ethernet
Nguồn cung cấp	220 VAC-50Hz
Hệ thống định vị	GPS, AHRS, USBL
Hệ thống quan sát	Mechanical Scanning Sonar, Camera, Lights
Chế độ vận hành	+ Chế độ manual: Sử dụng joystick để điều khiển robot + Chế độ tự động: Gồm giữ hướng và giữ độ sâu



Hình 2. Kết cấu khung ROV.

ROV có kết cấu khung dàn bằng nhôm định hình, với kết cấu này có thể dễ dàng tháo lắp và sửa chữa. Trong đó các thành phần gồm: (1) hệ ba phao nhựa giúp robot nổi và giữ thẳng bằng, (2) khoang trong suốt chống thấm nước chứa bộ xử lý trung tâm và camera quan sát, (3) tay máy hỗ trợ mang vác và gắp vật thể dưới nước, (4) bộ phận thu thập mẫu nước với dung tích dự kiến là 2.5 lít, (5) hộp nhôm kín nước được dùng để

chứa mạch công suất, mạch nguồn cấp cho robot, (6) hộp nhựa kín nước dùng để chứa các cảm biến (IMU, áp suất, GPS), mạch điều khiển thu nhận tín hiệu từ cảm biến và mạch điều khiển động cơ, (7) năm động cơ đẩy phụ dùng để giữ hướng, giữ độ sâu và đổi hướng cho robot, (8) động cơ không chổi quét công suất 400W đóng vai trò đẩy chính cho robot, (9) cảm biến USBL (Ultra – Short BaseLine) dùng để định vị vị trí và hướng mũi tàu của robot khi dưới nước. Các thành phần cốt lõi được giới thiệu trong hình 3.

## 2.2. Hệ thống vận động

Hệ thống vận động của ROV gồm năm động cơ của hãng Seabotix, mỗi động cơ thể đạt đến công suất 50W có vỏ chống nước và ăn mòn với môi trường nước.



a)



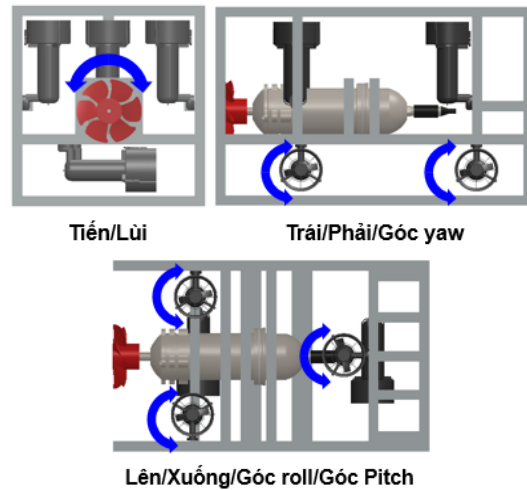
b)



c)

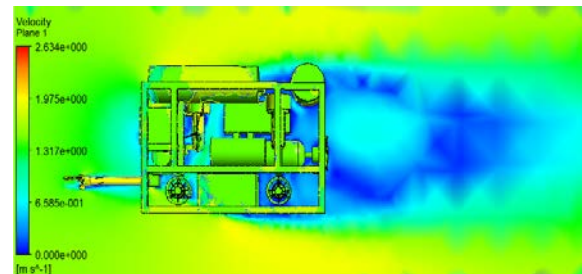
**Hình 3.** Các thành phần cốt lõi gồm:  
a) Hộp camera và trung tâm xử lý;  
b) Hộp chứa cảm biến;  
c) Hộp chứa mạch nguồn và driver.

Hình 4 cho thấy sơ đồ bố trí động cơ trên khung robot đảm bảo cho robot có thể hoạt động sáu bậc tự do.



**Hình 4.** Sơ đồ bố trí động cơ và điều khiển.

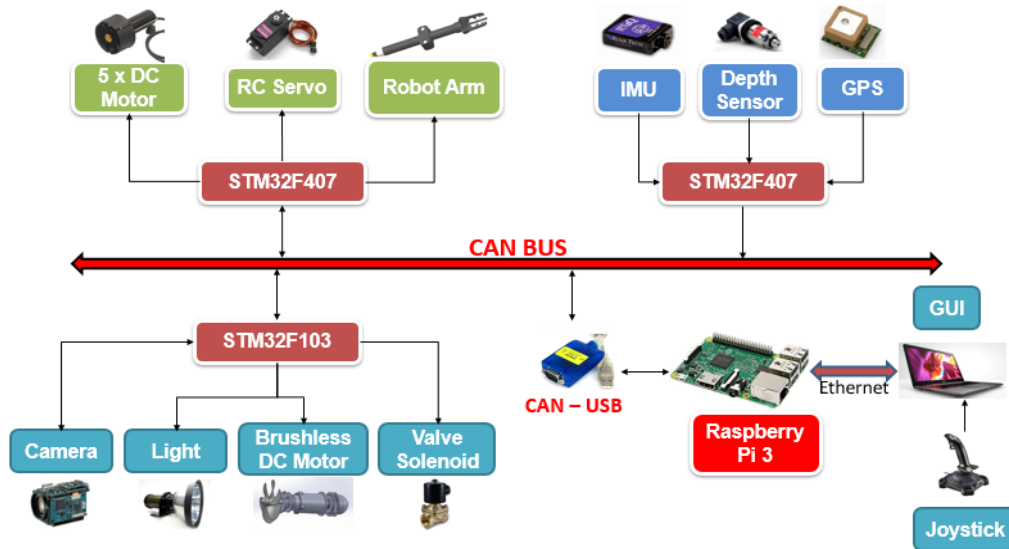
Trong hình 5 là mô phỏng ROV di chuyển trong môi trường nước bằng phần mềm ANSYS.



**Hình 5.** Mô phỏng ROV di chuyển trong môi trường nước bằng phần mềm ANSYS.

## 2.3. Sơ đồ thiết bị điện

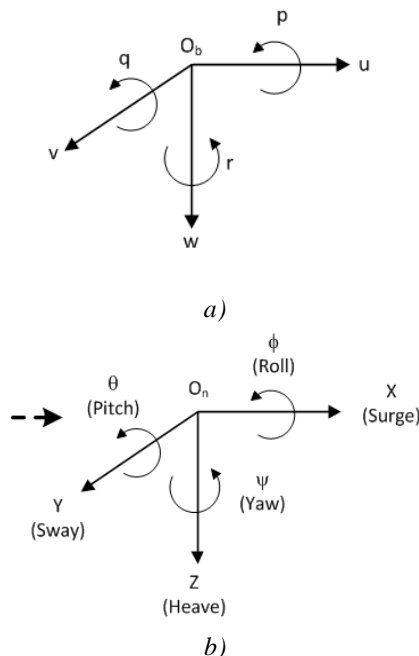
Hình 6 cho thấy toàn bộ sơ đồ điện của cả hệ thống ROV. Chuẩn giao tiếp được dùng chủ yếu trong hệ thống là CAN (Controller Area Network), với tốc độ có thể lên đến 1 Mbps nên chuẩn CAN có thể đảm bảo được tốc độ đáp ứng cho toàn hệ thống đồng thời có thể hạn chế nhiều ảnh hưởng tới đường tín hiệu dựa vào việc lấy vi sai hai dây CANBUS. Board xử lý trung tâm là Raspberry PI 3 (Model B) với lõi ARM tốc độ xử lý lên đến 1 Gbps đảm nhiệm tính toán và điều khiển chính, hai board ARM STM32F407VGTxx [3] được dùng để thu thập dữ liệu từ cảm biến đồng thời nhận lệnh điều khiển từ board xử lý trung tâm để điều khiển động cơ. Chuẩn Ethernet TCP/IP sẽ được dùng để giao tiếp giữa board xử lý trung tâm và trạm mặt đất.



Hình 6. Sơ đồ điện.

### 3. Mô hình động học, động lực học ROV

Chuyển động của ROV được mô tả trong hai hệ quy chiếu khác nhau [5]: Hệ quy chiếu quán tính NED (North – East – Down), gốc  $O_n$  bất kì và hệ quy chiếu gắn với vật thể, gốc  $O_b$  ở tâm trọng lực của vật. Từ hai hệ quy chiếu đó, ta định nghĩa mô hình động học và động lực học sáu bậc tự do của ROV với các tham số trạng thái như hình 7.



Hình 7. a) Hệ quy chiếu gắn với vật thể;  
b) Hệ quy chiếu NED.

#### 3.1. Mô hình động học

Xét hệ quy chiếu NED, vector độ dời và tọa độ góc Euler được định nghĩa chung bằng

vector vị trí  $\eta = [\eta_1 | \eta_2]^T = [x, y, z | \phi, \theta, \psi]^T$ .

Trong khi đó, xét hệ quy chiếu gắn với vật, vận tốc tuyến tính và vận tốc góc được định nghĩa chung bằng vector vận tốc  $v = [u, v, w, p, q, r]^T$  [8]. Phương trình động học của ROV sử dụng ma trận xoay Jacobian chuyển hệ tọa độ được định nghĩa với quy ước  $\cos(x) = cx$ ,  $\sin(x) = sx$ ,  $\tan(x) = tx$  như sau:

$$\dot{\eta} = J(\eta_2) v \tag{1}$$

$$J(\eta_2) = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & 0 \\ 0 & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$J_1(\eta_2) = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & -s\psi c\phi + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi + c\psi c\phi s\theta \\ s\psi c\theta & c\psi c\phi + s\phi s\theta s\psi & -c\psi s\phi + s\theta s\psi c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}$$

$$J_2(\eta_2) = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi / c\theta & c\phi / c\theta \end{bmatrix}$$

#### 3.2. Mô hình động lực học

Khi vật rắn di chuyển trong môi trường nước, có nhiều yếu tố phải xét đến [4]. Tuy nhiên, phương trình động lực học tổng quát có thể áp dụng cho hầu hết các trường hợp:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \tag{3}$$

Vế trái của ma trận là tổng hợp lực và momen tác động, gồm nhiều thành phần như lực đẩy động cơ, nhiễu, lực tác dụng của sóng, gió, dòng chảy ngầm, còn vế phải là



các thành phần khối lượng, lực cản trở do chuyển động gây ra.

Khi ROV di chuyển, lượng lưu chất (nước) xung quanh cũng dao động theo, tác động qua lại lẫn nhau làm xuất hiện các thành phần cộng thêm. Trong phương trình động lực học tổng quát,  $M$  là ma trận khối lượng quán tính, gồm khối lượng quán tính của ROV ( $M_{RB}$ ) và khối lượng cộng thêm của nước ( $M_A$ ) với  $m$ ,  $I$  và khối lượng và các momen quán tính theo các trục  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

$$M = M_{RB} + M_A \quad (4)$$

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix}$$

$$M_A = -diag(X_u, Y_v, Z_w, K_p, M_q, N_r)$$

Tương tự  $C(v)$  là ma trận tổng hợp thủy động lực Coriolis – Hướng tâm của vật rắn (ROV) và thành phần cộng thêm.

$$C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v) \quad (5)$$

$$C_B(v) = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & C_{12}(v) \\ -C_{12}^T(v) & C_{22}(v) \end{bmatrix}$$

$$C_{12}(v) = \begin{bmatrix} m(y_G q + z_G r) & -m(x_G q - w) & -m(x_G r + v) \\ -m(y_G p + w) & m(z_G r + x_G p) & -m(y_G r - u) \\ -m(z_G p - v) & -m(z_G q + u) & m(x_G p + y_G q) \end{bmatrix}$$

$$C_{22}(v) = \begin{bmatrix} 0 & -I_{yz} q - I_{xz} p + I_z r & I_{yz} r + I_{xy} p - I_y q \\ I_{yz} q + I_{xz} p - I_z r & 0 & -I_{xz} r - I_{xy} q + I_x p \\ -I_{yz} r - I_{xy} p + I_y q & I_{xz} r + I_{xy} q - I_x p & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C_A(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_w w & Y_v v \\ 0 & 0 & 0 & Z_w w & 0 & -X_u u \\ 0 & 0 & 0 & -Y_v v & X_u u & 0 \\ 0 & -Z_w w & Y_v v & 0 & -N_r r & M_q q \\ Z_w w & 0 & -X_u u & N_r r & 0 & -K_p p \\ -Y_v v & X_u u & 0 & -M_q q & K_p p & 0 \end{bmatrix}$$

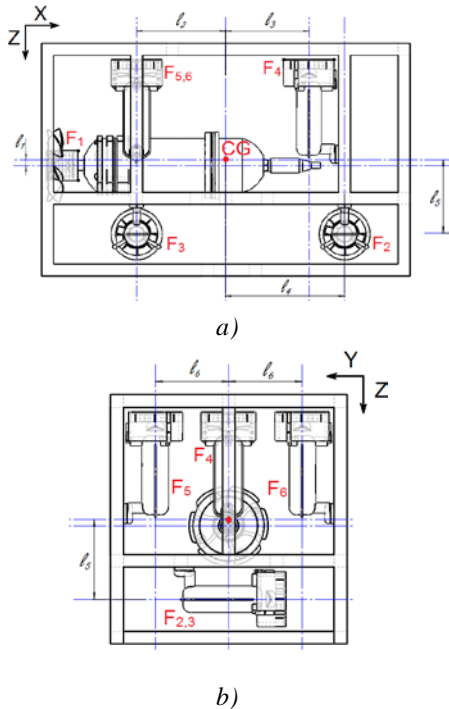
$D(v)$  là ma trận giảm chấn thủy động lực làm cản trở chuyển động của ROV gồm thành phần tuyến tính và phi tuyến:

$$D(v) = -diag\{X_u, Y_v, Z_w, K_p, M_q, N_r\} \\ -diag\{X_{|u|u}|u|, Y_{|v|v}|v|, Z_{|w|w}|w|, K_{|p|p}|p|, M_{|q|q}|q|, N_{|r|r}|r|\}$$

Cuối cùng là ma trận lực phục hồi  $g(\eta)$  do tương tác của lực đẩy Archimedes và trọng lực tác dụng lên ROV.

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} (W - B) \sin \theta \\ -(W - B) \cos \theta \sin \phi \\ -(W - B) \cos \theta \cos \phi \\ -(y_G W - y_B B) \cos \theta \cos \phi + (z_G W - z_B B) \cos \theta \sin \phi \\ (z_G W - z_B B) \sin \theta + (x_G W - x_B B) \cos \theta \cos \phi \\ -(x_G W - x_B B) \cos \theta \sin \phi - (y_G W - y_B B) \sin \theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Xét về phải của phương trình (1), gọi  $\tau = [X, Y, Z, K, M, N]^T$  là ma trận lực đẩy và momen quay đặc trưng của ROV, được tổng hợp từ vectơ  $u = [F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6]^T$  là các lực đẩy thành phần của từng động cơ (hình 8).



Hình 8. a) Hệ quy chiếu gắn với vật thể;  
b) Hệ quy chiếu NED.

Từ cách bố trí gá đặt các động cơ trên ROV, ta xây dựng được mối quan hệ giữa  $\tau$  và  $u$  thông qua ma trận phân bố lực  $B$  như dưới đây [1][2].

$$\tau = B.u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ -l_5 & -l_5 & 0 & 0 & l_6 & -l_6 \\ l_1 & 0 & 0 & -l_3 & l_2 & l_2 \\ 0 & l_4 & -l_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Trong đó:  $l_1 = 10\text{mm}$ ,  $l_2 = 150\text{mm}$ ,  $l_3 = 140\text{mm}$ ,  $l_4 = 200\text{mm}$ ,  $l_5 = 125\text{mm}$ ,  $l_6 = 115\text{mm}$ .

## 4. Hệ thống điều khiển ROV

### 4.1. Giải thuật điều khiển

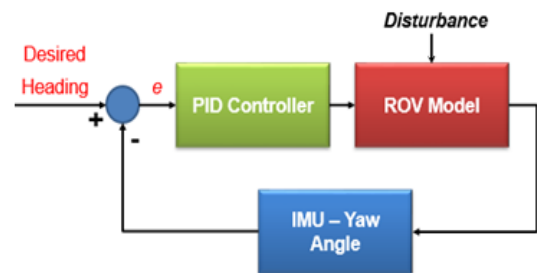
Có nhiều phương pháp điều khiển đối tượng phi tuyến, càng phức tạp càng cho kết quả điều khiển tối ưu [6]. Tuy nhiên với mô hình không đủ khả năng xác định toàn bộ

thông số như ROV thì bộ điều khiển PID vẫn đáp ứng được ở một mức độ nào đó. Ưu điểm của giải thuật điều khiển này là dễ dàng mô hình hóa và áp dụng trên thực tế cho kết quả khá tốt.

Giải thuật điều khiển chính trong ROV là PID để giữ góc phương vị và giữ độ sâu cho robot lặn. Khi ROV giữ được góc phương vị và độ sâu sẽ cho phép robot thực hiện được các tác vụ như: Gắp vật bằng tay gắp, lấy mẫu nước.

#### 4.1.1. Điều khiển giữ góc phương vị

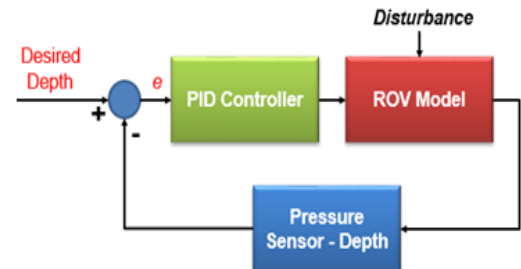
Cảm biến IMU sẽ đọc dữ liệu góc nghiêng của robot. Tín hiệu đặt và bộ số PID sẽ được cập nhật trực tiếp bằng GUI điều khiển, bộ điều khiển dùng Raspberry để tính toán và thực thi tác vụ điều khiển robot (hình 9).



Hình 9. Sơ đồ điều khiển PID giữ góc Heading.

#### 4.1.2. Điều khiển giữ độ sâu

Cảm biến áp suất sẽ đọc dữ liệu để biết được độ sâu hiện tại của robot. Tín hiệu đặt và bộ số PID cho giữ độ sâu sẽ được cập nhật trực tiếp trên GUI điều khiển, bộ điều khiển dùng Raspberry để tính toán và xử lý (hình 10).

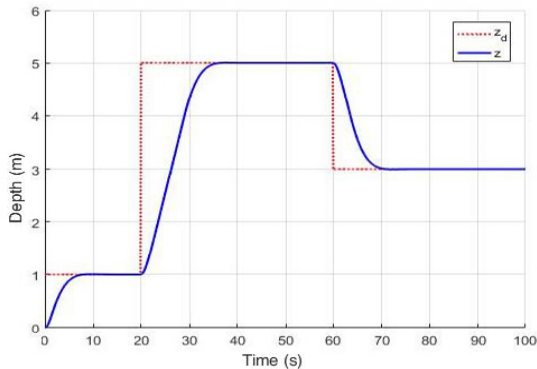


Hình 10. Sơ đồ điều khiển PID giữ Depth.

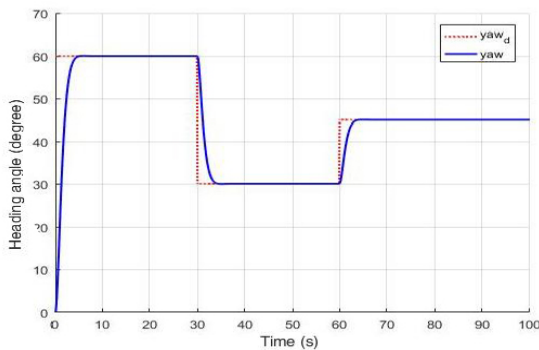
## 4.2. Kết quả mô phỏng

Dựa trên mô hình toán đã được mô tả ở nội dung trên, các hệ số PID được tinh chỉnh theo phương pháp thử và sai để tìm ra các hệ số có đáp ứng tốt. Hình 11 và 12 cho thấy

đáp ứng ngõ ra mô phỏng, các hệ số PID hiệu chỉnh đối với điều khiển lặn là  $[120, 0, 180]^T$ , giữ hướng  $[25, 0, 0.5]^T$ . Đáp ứng của hệ thống đối với bộ điều khiển xây dựng là khá tốt: Thời gian đáp ứng nhanh, sai số nhỏ, không có hiện tượng vọt lố, dao động tại trạng thái yêu cầu. Robot có thể duy trì hoạt động tốt ở nhiều mức trạng thái khác nhau: Giữ độ sâu tại 1m, 5m, 3m; giữ hướng 60 độ, 30 độ, 40 độ.



Hình 11. Kết quả điều khiển giữ độ sâu.



Hình 12. Kết quả điều khiển giữ hướng.

### 4.3. Phần mềm điều khiển

Phần mềm điều khiển (hình 13) được xây dựng trên nền tảng Visual Studio, cho phép người dùng giám sát các thông số trạng thái như chiều quay, công suất đẩy của động cơ (%), các góc nghiêng định hướng của ROV, độ sâu, ... và lưu chúng lại dưới dạng bảng tính Excel, phục vụ cho việc khảo sát, phân tích sau này. Bên cạnh đó, sau khi kết nối giữa GUI với ROV qua giao diện kết nối Ethernet, ta có thể dùng Joystick để điều khiển ROV theo ý muốn hoặc điều chỉnh các thông số  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , của bộ điều khiển PID để robot có thể bám theo giá trị đặt ban đầu.



Hình 13. Giao diện GUI điều khiển tổng hợp.

Mô hình ROV hoàn chỉnh đã được xây dựng và đang thực nghiệm, tình hình robot như hình 14.



Hình 14. Hình ảnh thực nghiệm trong hồ bơi.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày các nghiên cứu về thiết kế mô hình và điều khiển thiết bị điều khiển từ xa dưới nước ROV, có khả năng tự nổi thẳng bằng ở trạng thái nghỉ và sử dụng các động cơ đẩy để di chuyển đủ sáu bậc tự do. Thông qua các mô hình toán động học và động lực học giúp hiểu rõ về bản chất vật lý của ROV để áp dụng vào bộ điều khiển thực tế. Ngoài ra, việc thiết kế mô hình đã được đề cập phân tích và làm rõ nhờ vào việc lựa chọn thiết bị, vật liệu, sau đó là gá đặt bố trí, liên kết các thiết bị đã chọn ở vị trí thích hợp để đảm bảo hoạt động ổn định cho ROV □

### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả cảm ơn trường Đại học Bách khoa TP.HCM đã tài trợ nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài T-KTGT-2017-59.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Chin, C. S. "Systematic modeling and model-based simulation of a remotely operated vehicle using MATLAB and Simulink." *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 2.04 (2011): 481-511.
- [2] Chin, C. S. et al. "A robust controller design method and stability analysis of an underactuated underwater vehicle." *International Journal of*

- Applied Mathematics and Computer Science*. 16 (2006): 345-356.
- [3] Datasheet STMicroelectronics, pp.1-202.
- [4] Fossen T.I. “*Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*.” Wiley, New York (2011).
- [5] Fossen T.I. “Marine Control Systems Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles.” *Marine cybernetics* (2002).
- [6] García-Valdovinos, L.G., et al. “Modelling, design and robust control of a remotely operated underwater vehicle.” *International J. of Advanced Robotic Systems*. 11.1 (2014):1-
- [7a] <https://www.gulfbase.org>
- [7b] <http://www.videoray.com>
- [8] SNAME. "Nomenclature for treating the motion of a submerged body through a fluid." *New York: Technical and Research Bulletin* (1952): 1-5.

### Thuật ngữ

GPS - (Global Positioning System) Hệ thống Định vị Toàn cầu, là hệ thống xác định vị trí dựa trên vị trí của các vệ tinh nhân tạo;

GUI - (Graphical User Interface) Giao diện đồ họa người dùng, trên các phần mềm máy tính;

IMU - (Inertial Measurement Unit) Thiết bị đo gia tốc và góc xoay, được sử dụng để điều động máy bay và tàu vũ trụ;

PID - (Proportional Integral Derivative) Bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ, là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển tổng quát, qua 3 khâu: tỉ lệ (P), tích phân (I) và đạo hàm (D);

ROV - (Remotely Operated Vehicle) Thiết bị được điều khiển từ xa, trong bài này là các thiết bị hoạt động dưới nước.

**Ngày nhận bài: 15/10/2018**

**Ngày chuyển phản biện: 18/10/2018**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 8/11/2018**

**Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2018**