

THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG ROBOT VIAM-ROV600 PHỤC VỤ KHẢO SÁT ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CÔNG TRÌNH HỒ, ĐẬP THỦY LỢI

Trần Thanh Vinh, Trần Ngọc Huy, Đoàn Ngọc Thanh Tú
Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh
Phan Mạnh Hùng, Phạm Văn Tùng
Viện Kỹ thuật Biển

Tóm tắt: Hiện nay nhiều hồ, đập thủy lợi có tình trạng xuống cấp và cần bảo trì thường xuyên. Nhưng lực lượng thợ lặn lại có nguồn lực giới hạn và đây cũng là công việc nguy hiểm nên các hoạt động của thợ lặn cũng chịu nhiều hạn chế. Vì thế trong bài báo này sẽ đề xuất phương án sử dụng Remotely Operated Underwater Vehicles (ROV) cho việc khảo sát hồ, đập thủy lợi. Cụ thể sẽ tiến hành nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển PID Cascade điều khiển độ sâu và trạng thái các góc của robot. Qua đó mô phỏng lại một số trường hợp vận hành đặc trưng của robot ROV. Thi công một mô hình có chỉ số kỹ thuật phù hợp để chịu được áp suất ở độ sâu khoảng 50m. Xây dựng hệ thống điều khiển gồm các mạch nguồn, board điều khiển, một số cảm biến và các ngoại vi cơ bản phục vụ nhu cầu khảo sát hồ, đập như đèn, ống lấy mẫu nước, cảm biến rò, ... Đồng thời nhúng giải thuật PID mà ta đã mô phỏng vào mô hình robot ROV.

Từ khóa: Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV), mô phỏng động lực, PID Cascade.

Summary: Nowadays many reservoirs and dams have degradation and need regular maintenance. However, the divers' force has limited resources and this is also a dangerous work, so the activities of divers are also subject to many limitations. Therefore, in this article, we will propose a plan to use Remotely Operated Underwater Vehicles (ROV) for a survey of the reservoirs, and dams. Specifically, the study will build a remote control PID Cascade that controls the depth and angle state of the robot and simulates some typical operating situations of the ROV robot. A model with suitable parameters is built to withstand pressure at a depth of about 50m. The control system including basic source circuits, control boards, sensors, and peripherals is developed to serve the needs of surveying reservoirs, dams such as lamps, water sampling equipment, leak detection sensors, etc. In addition, the PID that has simulated embedded into robot ROV model.

Keywords: Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV), Dynamic simulation, PID Cascade 4-Dof Controller.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Remotely Operated Underwater Vehicle – ROV- là phương tiện tự hành dưới nước điều khiển có dây. Vì thế ROV không bị giới hạn thời gian hoạt động như con người. ROV hoạt động dưới nước được thiết kế có camera, sonar, altimeter, đèn chiếu sáng, ... để có thể quan sát và đo đạc mà không quá phụ thuộc vào tầm nhìn như con người. Tùy thuộc vào nhiệm vụ mà

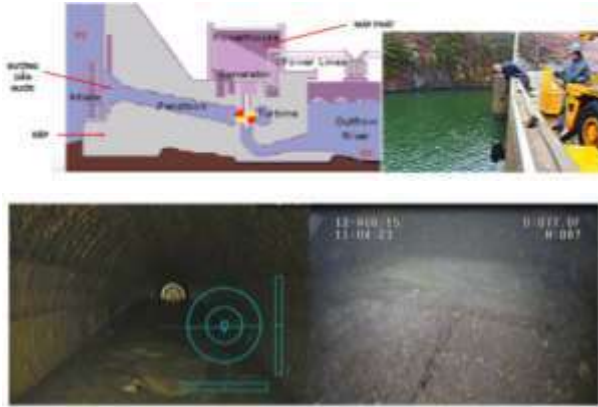
ROV có thể có thêm cánh tay robot, ống lấy mẫu nước, ... Ngày nay ROV là thiết bị đang dần thay thế con người làm việc trong môi trường nguy hiểm.

VIAM-ROV600 được nghiên cứu dùng để khảo sát vết nứt đê, đập thủy lợi, hồ chứa nước. Ở nước ta có số lượng hồ, đập là vô cùng lớn (≈ 7000 hồ chứa lớn nhỏ), đa phần có tuổi đời đã lâu nên cần được bảo trì thường xuyên. Trong

Ngày nhận bài: 08/8/2023
Ngày thông qua phản biện: 26/10/2023

Ngày duyệt đăng: 30/11/2023

quá khứ, Việt Nam từng chịu nhiều thiệt hại nghiêm trọng do hồ, đập thiếu an toàn. Từ tháng 10/2012 – 6/2013 đã có 3 vụ vỡ đập thủy lợi nhỏ ở 3 tỉnh miền Trung và Tây Nguyên, đó là đập Đa Krong 3 (Quảng Trị), Đắc Mэк 3 (Kon Tum) và Ia Krel 2 (Gia Lai). Đập chính thủy điện Sông Tranh 2 xảy ra sự cố thấm, rò rỉ nước 2012, hay gần đây nhất là sự cố đường hầm dẫn dòng thi công tại đập của thủy điện Sông Bung 2 bị vỡ vào năm 2016.



Hình 1: Kiểm tra định kỳ các bộ phận quan trọng đập

Lower Baker

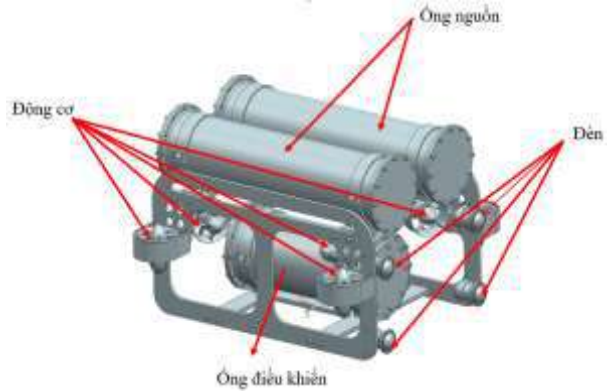
Do đó, việc đảm bảo an toàn hồ đập, hệ thống đê trong công tác phòng chống thiên tai là công việc rất quan trọng [2]. Trong việc khảo sát, bảo dưỡng cũng như sửa chữa những công trình này thì phương án dùng thợ lặn gặp nhiều hạn chế. Thường thì thợ lặn giỏi nhất cũng chỉ lặn được ở khoảng 20m và thời gian ngắn. Những công việc khảo sát công trình đê, đập đặc biệt là khu vực xung quanh đập tràn là vô cùng nguy hiểm, rủi ro về nhân mạng cao.

Vì vậy ứng dụng công nghệ robot lặn để khảo sát hồ đập là vô cùng phù hợp và tiết kiệm chi phí. Hiện nay một số công ty ở Việt Nam sở hữu và cung cấp dịch vụ thiết bị lặn biển, có đội ngũ kỹ sư giám sát và vận hành ROV đang được xây dựng và phát triển, từng bước làm chủ khoa học công nghệ, nội địa hóa nguồn lực về công nghệ và thiết bị. Và VIAM-ROV600 ra đời như là minh chứng cho nỗ lực nghiên cứu và phát triển của nhóm tác giả.

2. THIẾT KẾ VIAM-ROV600

Nhằm thiết kế và chế tạo mô hình VIAM-ROV600 phục vụ khảo sát đánh giá chất lượng công trình hồ, đập thủy lợi có kích thước nhỏ gọn, giá thành thấp, dễ vận hành cho người sử dụng. Mô hình VIAM-ROV600 được thiết kế như sau:

- Dạng hộp: tốc độ di chuyển thấp nhưng linh hoạt khả năng ổn định cao thường được dùng để khảo sát trong môi trường hồ, đập.



Hình 2: Mô hình VIAM-ROV600

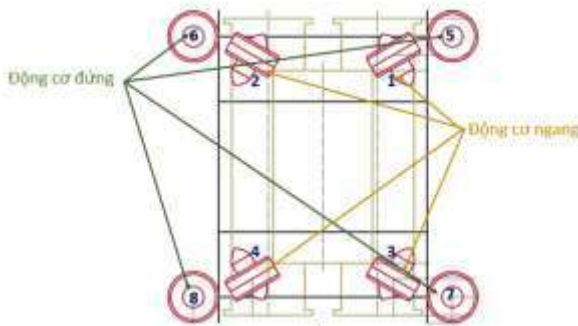


Hình 3: Mô hình VIAM-ROV600 trong thực tế

- VIAM-ROV600 sử dụng vật liệu nhôm là một hợp kim nhôm phổ biến hiện nay, dễ gia công và độ bền tốt.
- Sử dụng phương pháp chống thấm O-ring: dễ dàng bảo trì và thay thế, chịu được áp suất tốt.
- Sử dụng phương án nổi lặn xuống bằng ngoại lực: sử dụng động cơ ngoài làm lực đẩy. khả năng cân bằng khối tâm cao, thời gian lặn nổi nhanh, dễ điều khiển, dễ chống thấm. VIAM-ROV600 có tổng 8 động cơ bao gồm 4 động cơ đứng và 4 động cơ ngang được đánh số thứ tự từ 1 đến 8. Vị trí đặt của động cơ ngang sẽ lệch một góc $\pm 60^\circ$ so với phương ngang. Điều này đảm bảo cho ROV có thể di chuyển

linh hoạt theo phương ngang. Ngoài ra với 4 động cơ đứng có thể giúp cho ta điều khiển được vị trí các góc roll, pitch, yaw và độ sâu một cách dễ dàng. Do vậy, hệ ROV đã thiết kế có thể bám được một quỹ đạo bất kì trong không gian ba chiều.

Xuất phát từ thực trạng các rủi ro ở các đập thủy điện, các hồ chứa nước hay các công rãnh,... Nên chúng ta cần một thiết bị lặn ROV để thay thế con người trong việc khảo sát ở các hồ, đập, công, Từ thực trạng trên, nhóm tác giả đưa ra các yêu cầu thiết kế một thiết bị lặn có dây điều khiển từ xa:



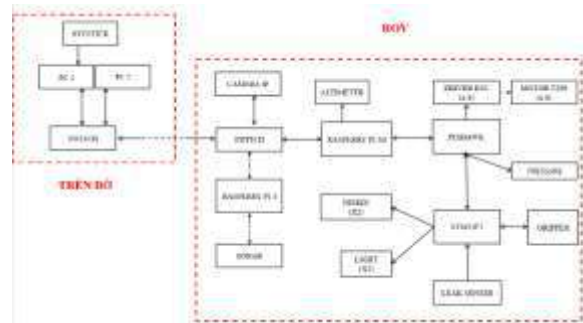
Hình 4: Hình chiếu đứng VIAM-ROV600

- Thiết bị phải kín nước và chịu được áp lực ở độ sâu 50m.
- Khối lượng của thiết bị là khoảng 30 kg.
- ROV có khả năng di chuyển được 6 bậc tự do (6DOF).
- ROV phải sử dụng động cơ đẩy và có tốc độ di chuyển theo hướng trước(surge) tối đa là 1.5m/s, theo hướng xuống dưới(yaw) với tốc độ 1m/s.
- ROV phải mang được các thiết bị dưới đây:
 - Cảm biến áp suất: Dùng đo áp suất và xác định độ sâu hoạt động.
 - Cảm biến sonar: Phát hiện vật cản xung quanh ROV, phát hiện vết nứt, biến dạng của vật thể cần khảo sát.
 - Cảm biến altimeter: Đo khoảng cách từ ROV đến đáy hồ.
 - Hệ thống camera: Quan sát môi trường dưới nước.
 - Cảm biến phát hiện nước: Phát hiện nước vào thiết bị điện.

- Đèn chiếu sáng: Hỗ trợ camera quan sát môi trường nước.

Bảng 1: Thông số kỹ thuật của VIAM-ROV600

| | | | |
|------------|--------|------------------|---------------|
| Độ sâu | 50 m | Số động cơ | 8 |
| Chiều dài | 600m m | Vận tốc tối đa | 1.5 knots |
| Chiều rộng | 600m m | Camera | 640x480 pixel |
| Chiều cao | 480m m | Điện áp nguồn | 325VDC |
| Khối lượng | 30kg | Dây cáp nguồn | φ8.9mm – 150m |
| Vật liệu | Nhôm | Cáp truyền thông | φ5mm – 10mm |



Hình 5: Sơ đồ kết nối các phần tử

Như hình 5, khi ở trên bờ ta sẽ sử dụng 2 máy tính. Máy tính thứ nhất sẽ phục vụ việc quan sát các giá trị vị trí và góc, các giá trị cảm biến trả về, quan sát hình ảnh từ camera và ra lệnh điều khiển. Máy tính thứ 2 sẽ có nhiệm vụ thụ thập các dữ liệu trả về từ sonar và xây dựng phần mềm phục vụ nhu cầu sử dụng của người dùng. Trạm trên bờ giao tiếp với ROV thông qua đường dây Ethernet. Bên trong ROV gồm có 2 máy tính nhưng, một cho việc xử lý các thuật toán và máy tính nhưng còn lại dùng để xử lý tính hiệu sonar. Vi điều khiển chính sẽ có nhiệm vụ cấp các xung ra động cơ và thu thập các giá trị cảm biến. Ngoài ra, camera sẽ được kết nối trực tiếp tới Switch Ethernet để trả hình ảnh về bờ.

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN MIMO ĐỘ SÂU (DEPTH CONTROLLER) ÁP DỤNG PID CASCADE

Ta có hệ phương trình động học cho robot lặn như sau [5]:

$$\begin{cases} \dot{\eta} = J_{\Theta}(\eta)v \\ M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \end{cases} \quad [1]$$

$M \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$: là ma trận quán tính (khối lượng) và added mass

$C(v) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$: là ma trận Coriolis và added mass

$D(v) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$: là ma trận giảm chấn thủy động

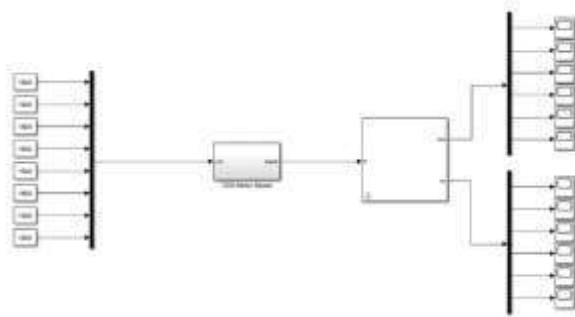
$g(\eta) \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$: là vec-tơ lực và mô-men do tác động trọng lực, lực nổi gây nên

$v = (v_1, v_2)^{\bullet} = ((u, v, w), (p, q, r))^{\bullet} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$: là vec-tơ vận tốc thẳng và vận tốc góc trong hệ tọa độ Body

$\eta = (\eta_1, \eta_2)^{\bullet} = ((n, e, d), (\phi, \theta, \psi))^{\bullet} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$: là vec-tơ vị trí và góc xoay trong hệ NED

$J_{\Theta}(\eta) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$: là ma trận chuyển đổi từ hệ Body sang hệ NED

Ta xây dựng mô hình mô phỏng



Hình 6: Mô hình ROV cho mô phỏng

Ta tiến hành xây dựng giải thuật điều khiển dùng PID Cascade. Trong đó:

Bộ điều khiển cho độ sâu

Tầng 1 : $w_{des} = K_{p,d}(d_{des} - d)$ [2]

Tầng 2 : $\dot{w}_{des} = K_{p,w}(w_{des} - w)$ [3]

Tầng 3 :

$$d_{in} = K_{p,\dot{w}}(\dot{w}_{des} - \dot{w}) + K_{i,\dot{w}} \int (\dot{w}_{des} - \dot{w})dt + K_{d,\dot{w}} \frac{d(\dot{w}_{des} - \dot{w})}{dt} \quad [4]$$

Bộ điều khiển cho góc roll, pitch, yaw

Tầng 1 :

$$\begin{bmatrix} p_{des} \\ q_{des} \\ r_{des} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{p,\phi}(\phi_{des} - \phi) \\ K_{p,\theta}(\theta_{des} - \theta) \\ K_{p,\psi}(\psi_{des} - \psi) \end{bmatrix} \quad [5]$$

Tầng 2 :

$$\begin{bmatrix} \phi_{in} \\ \theta_{in} \\ \psi_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{p,p}(p_{des} - p) + K_{i,p} \int (p_{des} - p)dt + K_{d,p} \frac{d(p_{des} - p)}{dt} \\ K_{p,q}(q_{des} - q) + K_{i,q} \int (q_{des} - q)dt + K_{d,q} \frac{d(q_{des} - q)}{dt} \\ K_{p,r}(r_{des} - r) + K_{i,r} \int (r_{des} - r)dt + K_{d,r} \frac{d(r_{des} - r)}{dt} \end{bmatrix} \quad [6]$$

Ma trận ánh xạ PWM

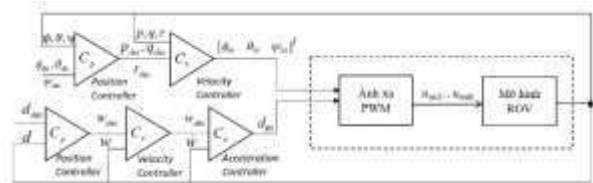
$$M_{PWM} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [7]$$

Ngõ ra

$$\begin{bmatrix} u_{m1} \\ u_{m2} \\ u_{m3} \\ u_{m4} \\ u_{m5} \\ u_{m6} \\ u_{m7} \\ u_{m8} \end{bmatrix} = M_{PWM} * \begin{bmatrix} x_{in} \\ y_{in} \\ z_{in} \\ \phi_{in} \\ \theta_{in} \\ \psi_{in} \end{bmatrix} \quad [8]$$

Với u_{mi} là các lực của động cơ

Ta có sơ đồ giải thuật như hình sau:



Hình 7: PID Cascade 3 tầng cho điều khiển độ sâu

Trong đó ta thấy có sự kết hợp của việc giữ ổn định độ sâu z và trạng thái các góc roll, pitch,

yaw. Nhìn chung thì đây là sự phối hợp nhiều điều bộ khiển PID để đảm bảo đáp ứng nhiều đặc tính ngõ ra của ROV.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG ROV TRONG CÁC TRẠNG THÁI CÓ ĐỊNH

Để đơn giản hóa, ta cho lực nổi lớn nhất B bằng với trọng lượng của robot W, có nghĩa là ROV sẽ gần như lơ lửng trong nước trong trạng thái không hoạt động. Nguyên nhân là khảo sát sức nổi theo độ chìm trong nước của robot tương đối phức tạp do phân bố thiết bị không đối xứng theo các phương. Đồng thời, đa phần thời gian hoạt động của ROV đều chìm hoàn toàn trong nước. Ma trận lực hồi phục ở bên dưới cũng bỏ qua ảnh hưởng của lực nổi theo từng phương mà chỉ xét lực nổi tối đa B vào tính toán nhằm đơn giản hóa mô hình.

Ma trận lực hồi phục [4]:

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} (W - B)\sin\theta \\ -(W - B)\cos\theta\sin\phi \\ -(W - B)\cos\theta\cos\phi \\ -(y_g W - y_g B)\cos\theta\cos\phi + (z_g W - z_g B)\cos\theta\sin\phi \\ (z_g W - z_g B)\sin\theta + (x_g W - x_g B)\cos\theta\cos\phi \\ -(x_g W - x_g B)\cos\theta\sin\phi - (y_g W - y_g B)\sin\theta \end{bmatrix} \quad [9]$$

$(x_g, y_g, z_g)^T$ là tọa độ trọng tâm của robot.

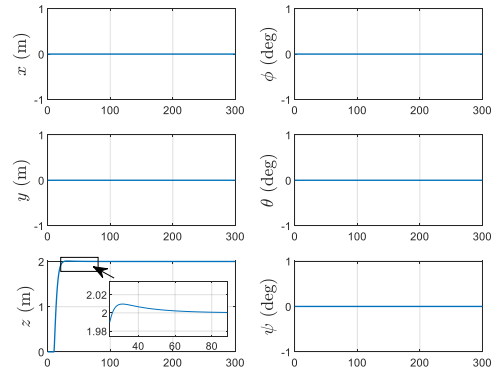
$(x_b, y_b, z_b)^T$ là tọa độ tâm nổi của robot.

Dưới đây là kết quả mô phỏng 1 số trường hợp đặc trưng của ROV trong điều kiện không có tác động của dòng chảy.

• Độ sâu 2m ổn định roll/pitch/yaw tại 0

Cho tín hiệu đặt của độ sâu là hàm nấc có bước nhảy tại giây thứ 10, giá trị cuối là 2m.

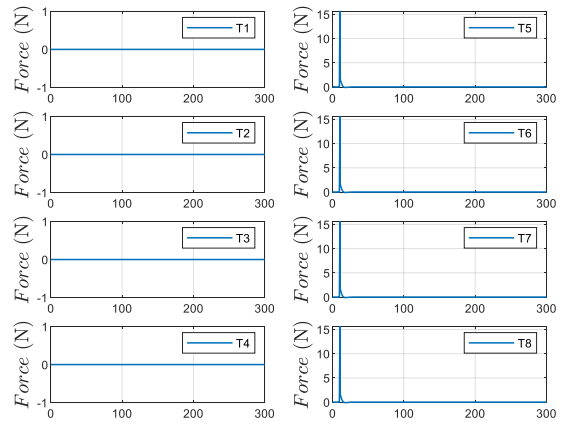
Sai số xác lập của độ sâu trong mô phỏng (Hình 8) là bằng 0, tuy nhiên trong quá trình đáp ứng thì xuất hiện vọt lố 1cm/2m (khoảng 0.5%) không đáng kể. Thời gian xác lập khoảng 10s kể từ lúc xuất tín hiệu điều khiển, tốc độ lặn khoảng 0.2m/s. Sai số RMSE thể hiện trong Bảng 2.



Hình 8: Đáp ứng độ sâu và góc

Bảng 2: Sai số RMSE

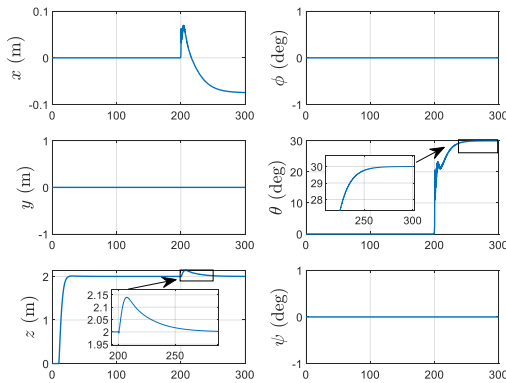
| | | | |
|------------|--------|--------------|---|
| RMSE_x (m) | 0 | RMSE_φ (deg) | 0 |
| RMSE_y (m) | 0 | RMSE_θ (deg) | 0 |
| RMSE_z (m) | 0.1811 | RMSE_ψ (deg) | 0 |



Hình 9: Đáp ứng của động cơ

Lực của các động cơ T5, T6, T7, T8 có giá trị bằng 0 (Hình 9) tại giá trị xác lập của độ sâu do giả định trọng lượng ROV (W) bằng với lực nổi lớn nhất (B). Trong điều kiện thực tế $W < B$ hay lực hồi phục theo phương z là $g(z) > 0$ thì robot vẫn thể đáp ứng được do khâu tích phân trong bộ điều khiển.

• Độ sâu 2m ổn định góc pitch 30°

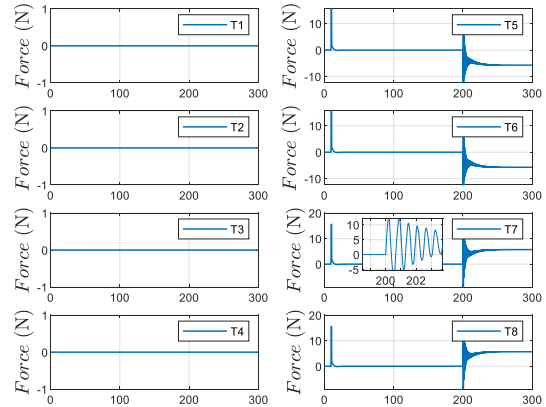


Hình 10: Đáp ứng độ sâu và góc với góc θ thay đổi

Tiếp nối kết quả mô phỏng trên, tại độ sâu 2m ta cho góc pitch chếch lên một góc 30° . Nhận thấy đáp ứng độ sâu bị ảnh hưởng và lệch khoảng 13cm (6.5% so với độ sâu hiện tại). Đồng thời vị trí theo x cũng thay đổi (Hình 10). Điều này là tính tất yếu vì các vị lực giữ góc pitch cho ROV sẽ làm hợp lực trên trục x của robot khác 0. Do đặc tính của bộ điều khiển PID, khi sai số của z đủ lớn sẽ ảnh hưởng lên đáp ứng góc pitch (θ) của ROV. Khi sai số z đạt đỉnh tương ứng với gián đoạn trong đáp ứng của góc pitch (θ). Sai số RMSE thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3: Sai số RMSE

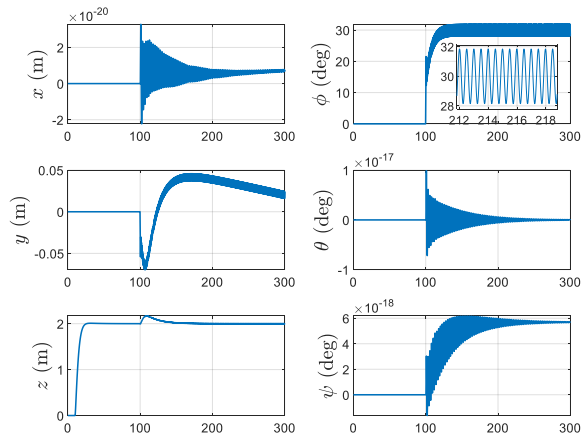
| | | | |
|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| RMSE _x (m) | 0.0339 | RMSE _φ (deg) | 0 |
| RMSE _y (m) | 0 | RMSE _θ (deg) | 2.4264 |
| RMSE _z (m) | 0.1837 | RMSE _ψ (deg) | 0 |



Hình 11: Đáp ứng động cơ với góc θ thay đổi

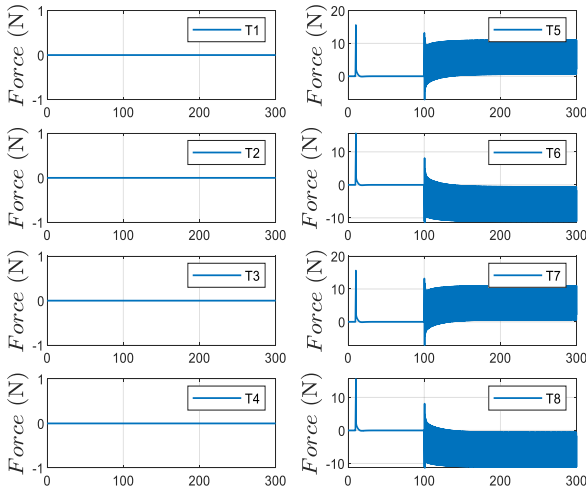
Để giữ góc pitch ở 1 giá trị, khác với độ sâu, các động cơ T₅, T₆, T₇, T₈ phải khác 0 như Hình 11.

• Độ sâu 2m, ổn định góc roll 30°



Hình 12: Đáp ứng độ sâu và góc với góc ϕ thay đổi

Tương tự, tại độ sâu 2m ta cho robot tạo một góc roll (ϕ) 30° như Hình 12. Khác với góc pitch ở thí nghiệm trên. Ta nhận thấy góc đáp ứng góc roll sẽ ảnh hưởng đến vị trí ROV theo phương y. Tác động lên các thông số trạng thái khác là nhỏ. Nhưng ta dễ nhận ra rằng đáp ứng được góc roll sẽ gây nhiều tác động lên robot hơn là đáp ứng được góc pitch. Góc roll còn dao động (dù biên độ dao động nhỏ) do vẫn chưa xác định được bộ số PID thật sự phù hợp với mô hình. Sai số RMSE thể hiện trong bảng 4.



Hình 13: Đáp ứng động cơ với góc ϕ thay đổi

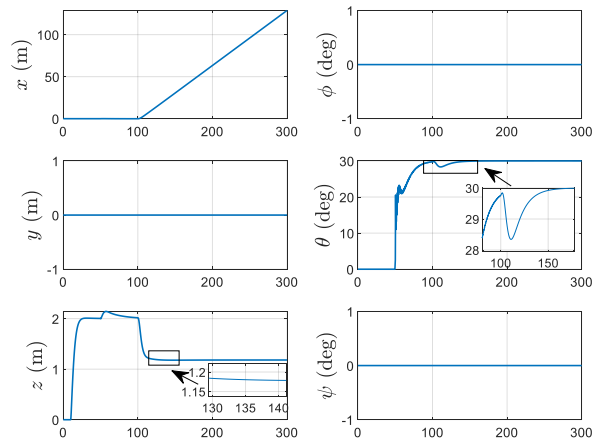
Bảng 4: Sai số RMSE

| | | | |
|------------|------------|--------------|------------|
| RMSE_x (m) | 6.5437e-21 | RMSE_φ (deg) | 2.2636 |
| RMSE_y (m) | 0.0283 | RMSE_θ (deg) | 1.1488e-18 |
| RMSE_z (m) | 0.1851 | RMSE_ψ (deg) | 4.2855e-18 |

Tương tự, để giữ góc roll ở 1 giá trị, khác với độ sâu, các động cơ T₅, T₆, T₇, T₈ phải khác 0 (Hình 13). Lực của các động cơ T₅, T₆, T₇, T₈ khó tồn tại trong thực tế, vì vậy tìm được bộ số PID phù hợp cho từng đáp ứng là rất quan trọng.

• Độ sâu 2m, pitch 30° và cho ROV di chuyển theo trục x

Cho tín hiệu di chuyển được cấp vào thời điểm giây thứ 100 (Hình 14), ta có đáp ứng sau.

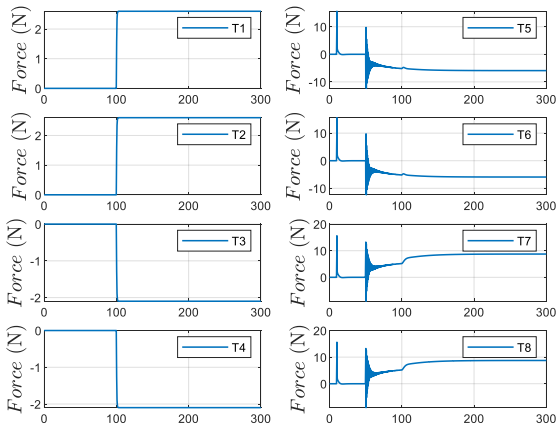


Hình 14: Đáp ứng độ sâu và góc với góc θ thay đổi và ROV di chuyển

Đối với việc điều khiển di chuyển, chúng ta điều khiển mô hình thông qua các tín hiệu từ tay cầm. Ta nhận thấy đáp ứng độ sâu có sai số do di chuyển của mô hình, dù sai số nhưng đáp ứng ngõ ra của độ sâu lại rất ổn định. Điều này là quan trọng vì trong mô phỏng ta dùng hàm step để tạo tín hiệu đặt của độ sâu còn trong thực tế thì ta có thể tiếp tục tăng giá trị z đặt để robot đạt được độ sâu mong muốn của người điều khiển. Sai số độ sâu trong mô phỏng này là 0.83m (41%). Sai số RMSE thể hiện trong Bảng 5.

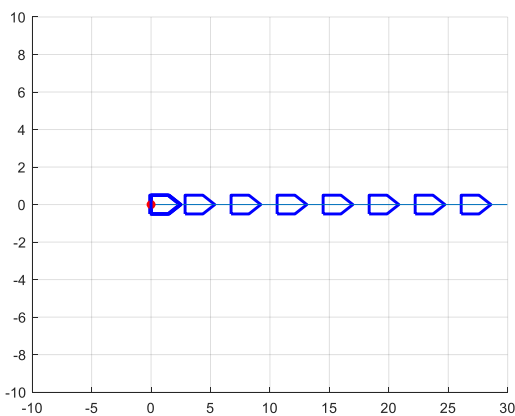
Bảng 5: Sai số RMSE

| | | | |
|------------|---------|--------------|--------|
| RMSE_x (m) | 60.1913 | RMSE_φ (deg) | 0 |
| RMSE_y (m) | 0 | RMSE_θ (deg) | 2.4508 |
| RMSE_z (m) | 0.6815 | RMSE_ψ (deg) | 0 |



Hình 15: Đáp ứng động cơ với góc θ thay đổi và ROV di chuyển

Lực của các động cơ T_5 , T_6 , T_7 , T_8 không dao động nhiều, có khả năng đáp ứng được trong thực tế (Hình 15).



Hình 16: Hình dạng quỹ đạo

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Minh Thuận (2018), “Công trình hồ đập thủy điện ở Việt Nam: Những nguy cơ tiềm ẩn”
- [2] Nguyễn Lan Châu (2018), “Công tác quan trắc khí tượng thủy văn phục vụ vận hành hồ chứa thủy điện”
- [3] Gregory B. Poindexter (2015) “Venezuela uses a ROV to inspect Guri Reservoir infrastructure amidst water level decline”
- [4] T. I. Fossen, Marine Control Systems Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, 2002.
- [5] B. Chu-Jou Wu, "6-DoF Modelling and Control of a Remotely Operated Vehicle," 2018.
- [6] D. S. a. R. V. Viviana Martínez, "Simulation of Kinematic and Dynamic Models of an Underwater Remotely Operated Vehicle," Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, Colombia.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày khái quát hiện trạng chất lượng công trình hồ, đập trong nước cũng như nhu cầu cấp bách cần ứng dụng các tiến bộ khoa học kỹ thuật mới. Từ đó cũng đề ra phương án nghiên cứu và phát triển một mô hình VIAM-ROV600 có thể thực hiện nhiệm vụ khảo sát đánh giá chất lượng công trình hồ, đập thủy lợi. Nhóm tác giả đề xuất quá trình tuần tự từ thiết kế hệ thống, mô phỏng thuật toán cho mô hình, và nhúng thuật toán vào mô hình thật. Cụ thể:

- Chế tạo được mô hình ROV hoàn chỉnh chịu được áp lực nước ở độ sâu 50m. Và tích hợp được các ngoại vi như đèn, ống lấy mẫu nước, camera và sonar...
- Nghiên cứu xây dựng mô hình và mô phỏng giải thuật PID Cascade 4-Dof cho ROV trong các kịch bản giữ độ sâu, giữ góc và di chuyển.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn trong khuôn khổ đề tài tiềm năng cấp Bộ “**Nghiên cứu cơ sở khoa học, thiết kế thiết bị lặn có điều khiển phục vụ khảo sát, đánh giá chất lượng công trình hồ, đập thủy lợi**”. Chúng tôi xin cảm ơn Viện Kỹ thuật Biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam và Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

- [7] H. B. V. J. Steven W. Moore, Underwater Robotics Science, Design & Fabrication, Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 2010.