

SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PLC VÀ PHẦN MỀM UNITY 3D TRONG THIẾT KẾ HỆ THỐNG MÔ PHỎNG PHƯƠNG TIỆN DƯỚI NƯỚC (ROV)

USING PLC CONTROLLER AND UNITY 3D SOFTWARE IN DESIGNING REMOTELY OPERATED VEHICLE (ROV) SIMULATOR SYSTEM

NGUYỄN ĐÌNH THẠCH

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: thachnd.dtt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Mục đích của bài báo là mô phỏng các phương tiện dưới nước ROV dựa trên nền tảng thực tế ảo của Unity 3D. Chuyển động của ROV trên biển phụ thuộc vào tương tác giữa lực và momen do dòng hải lưu, sóng tác động. Bên cạnh đó, bài báo đưa ra một số phương pháp tối ưu để giao tiếp giữa phần cứng PLC và phần mềm để điều khiển thiết bị ROV. Cuối cùng, mô hình hóa ROV giúp xây dựng động lực học của thiết bị để tính toán, thử nghiệm trước khi thiết kế thiết bị thật.

Từ khóa: Mô phỏng ROV, động lực học ROV, thiết kế phương tiện dưới nước.

Abstract

The purpose of the paper is the simulation of ROV underwater vehicles based on the virtual reality platform of Unity 3D. The motion of ROV at sea depends on the interaction between force and moment due to ocean currents and waves. Besides, find the optimal method to communicate between PLC hardware and software to control ROV device. Finally, ROV modelling helps to build the dynamics of the device to calculate and test before designing the real device.

Keywords: ROV simulation, ROV dynamics, Underwater vehicle design.

1. Đặt vấn đề

ROV (Remotely Operated Vehicle) là thiết bị chuyên dụng được dùng dưới nước để khảo sát, kiểm tra như: thăm dò tàu đắm, hỗ trợ xây dựng, tìm kiếm và cứu hộ trong các vụ tai nạn và sửa chữa, kiểm tra các công trình ngầm dưới biển. Hiện nay, trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu về thiết bị dưới nước ROV, tập trung chế tạo thiết bị thật để thử nghiệm các đặc tính vận hành của ROV [1]. Ngoài ra, có những công trình nghiên cứu thiết bị không người lái bằng thực nghiệm dựa trên các thiết bị sẵn có [2], [3]. Một số hãng trên thế giới như VMAX, PaleBlue, Marine simulation đã có sản phẩm thương mại trên thế giới [4 - 6] nhưng chỉ

ở mức vận hành và không cho phép nghiên cứu sâu bên trong của hệ thống.

Việt Nam là quốc gia có bờ biển dài với nhiều công trình thủy quan trọng và thiết yếu, do đó việc trang bị các thiết bị robot làm việc dưới nước là cần thiết. Tuy nhiên, việc nghiên cứu và mô phỏng thiết bị này còn hạn chế, các công trình nghiên cứu tập trung vào một số đặc tính ROV hoặc phải chế tạo thiết bị thật để thử nghiệm [7]. Các hãng như REECO TECH cũng là nhập khẩu thiết bị mô phỏng nước ngoài và chỉ dừng lại ở mức vận hành. Bên cạnh đó, hiện nay đội ngũ vận hành và sửa chữa thiết bị ROV còn hạn chế do việc đầu tư cơ sở vật chất khi huấn luyện thiết bị này là rất tốn kém, giá thành cao. Do đó, các cơ sở giáo dục khó có khả năng đáp ứng được để trang bị cho học viên. Vì vậy, các chuyên gia về thiết bị này đều được đào tạo ở nước ngoài. Từ vấn đề trên, tác giả đã tập trung nghiên cứu mô phỏng thiết bị ROV với các mô hình động lực học và các yếu tố tác động đến ROV khi làm việc trong môi trường đại dương nhằm mục đích đào tạo, huấn luyện, tiền đề để từng bước chế tạo mô hình ROV thật trong tương lai. Bên cạnh đó, từng bước xây dựng hệ thống mô phỏng phục vụ công tác đào tạo, huấn luyện tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Nội dung chính của bài báo được sắp xếp theo thứ tự như sau: Mục 2 trình bày phương trình động lực học và lực tác động lên ROV. Mục 3 đề cập đến thiết kế đối tượng ROV. Mục 4 là thực hiện mô phỏng hoạt động của hệ thống ROV và phần cuối cùng là kết luận.

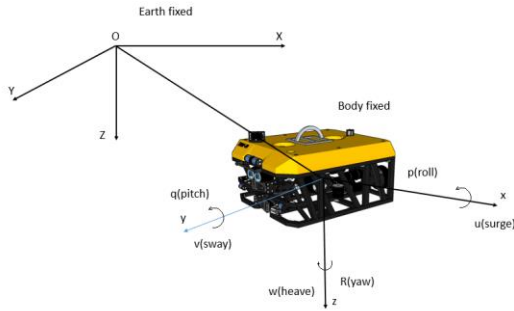
2. Phương trình động lực học và lực tác động lên ROV

2.1. Hệ trục tọa độ 3D trong mô phỏng

Khi mô phỏng 3D quá trình động học của bất kỳ một đối tượng nào đó đòi hỏi các nhà thiết kế phải có các phương trình toán mô hình toán học chính xác đối tượng. Trong bài báo, tác giả dựa trên tài liệu [8], [9] của Fossen và có cách chọn tọa độ như Hình 1 để thành lập các hệ phương trình cho ROV.

Mô hình động của ROV được thiết lập và dựa trên 2 trục tọa độ trục giao là trục tọa độ trái đất O-XYZ và trục

tọa độ trên thân thiết bị o-xyz, hai trục tọa độ này đều có định.



Hình 1. Các hệ trục tọa độ trong mô hình hóa

Thiết bị vận hành từ xa dưới nước có các chuyển động là 6 bậc tự do 6 DOF (Degree Of Freedom) cụ thể là X (trượt dọc), Y (trượt ngang), Z (trượt đứng) và 3 góc Euler của chuyển động quay quanh trục là φ (roll), θ (pitch) và ψ (yaw) thể hiện vị trí và góc quay của đối tượng trên hệ trục. Vận tốc dài và vận tốc góc trên trục tọa độ được đặt ở đối tượng là (u, v, w) và (p, q, r) . Chuyển đổi các lực và chuyển động từ hệ o-xyz sang hệ trục trục trái đất cho mô phỏng được thực hiện bằng các ma trận biến đổi thông qua góc Euler φ, θ, ψ . Do đó, hướng của ROV được xác định bằng vector \vec{A}_0 . Vị trí của thiết bị là $[XYZ]^T$ trong tọa độ quán tính (trái đất). Vận tốc dài $[uvw]^T$, vận tốc góc $[pqr]^T$ thể hiện trong đối tượng. Từ đó ta có:

$$\begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix}^T = K_1 [uvw]^T \quad (1)$$

Khi đó:

$$K_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \varphi \sin \theta \cos \psi - \cos \varphi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \varphi \sin \theta \sin \psi - \cos \varphi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \varphi \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi \\ \cos \varphi \sin \theta \sin \psi - \sin \varphi \cos \psi \\ \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

K_1 là ma trận chuyển đổi tọa độ từ đối tượng sang hệ trục trái đất $K_1^{-1} = K_1^T$. Tương tự, mối quan hệ giữa vận tốc góc K_2 và trạng thái của góc được cũng được xây dựng:

$$\begin{bmatrix} \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix}^T = K_2 [pqr]^T \quad (3)$$

Khi đó:

$$K_2 = \begin{bmatrix} 1 & \sin \varphi \tan \theta & \cos \varphi \tan \theta \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi \sec \theta & \cos \varphi \sec \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2. Phương trình động lực học của ROV

Sau khi lập được hệ tọa độ trong mô phỏng, để

ROV mô phỏng có thể hoạt động được cần phải có các phương trình động lực học và một số lực tác động. Do đó, một số lý thuyết cơ bản của mô hình toán học được tác giả áp dụng để xây dựng mô hình ROV được mô tả trong Fossen (Fossen 11) [9], các mô hình toán học cho các loại thiết bị lặn có đầy đủ 6 bậc tự do (6 DOF). Các phương trình động học của đối tượng ROV được thiết lập thông qua mô hình robot vector của Fossen (Fossen 2011) [9] bao gồm các phương trình động học (5) và (6) như sau:

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (5)$$

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (6)$$

Công thức (5) mô tả các chuyển động của ROV dưới mặt nước biển trong các trục tọa độ khác nhau. Công thức (6) phân tích các lực và momen gây ra chuyển động của ROV và được suy ra từ công thức Newton-Euler. Trong đó:

M : Là ma trận quán tính của hệ thống, $C(v)$: Là ma trận Coriolis và hướng tâm. $D(v)$: Ma trận thủy động lực học, $g(\eta)$: Là vector của lực hấp dẫn và lực nổi, τ, v : Là vector ngoại lực và momen tác dụng lên ROV và vector vận tốc.

Nếu chỉ xét tới đặc tính tác động của dòng nước khi đó M và $C(v)$ chứa các thành phần động lực học và thủy động lực vật thể rắn, mô hình có thể được biểu thị bằng:

$$M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v + M_A\dot{v}_w + C_A(v_w)v_w + g(\eta) = \tau \quad (7)$$

Trong đó:

$M_{RB} \in R^{6 \times 6}$ và $M_A \in R^{6 \times 6}$ lần lượt là ma trận khối lượng vật thể rắn và khối lượng thêm vào; $C_{RB}(v) \in R^{6 \times 6}$ là Coriolis vật thể rắn và ma trận hướng tâm M_{RB} được tạo ra do chuyển động quay của trục gắn với đối tượng quy về trục tọa độ trái đất. $C_A(v) \in R^{6 \times 6}$ là khối lượng cộng thêm Coriolis và ma trận hướng tâm M_A do chuyển động quay quy đổi từ thân đối tượng về trục tọa độ trái đất. Cuối cùng, v_w là vận tốc tương đối được xác định bởi:

$$v_w = v - v_c \quad (8)$$

2.3. Các lực và mô men tác động lên ROV

a. Lực nổi

Để đối tượng ROV có thể nổi được trong môi trường đại dương, tác giả tiến hành tính toán lực nổi của ROV với một vài tham số phụ thuộc vào các yếu tố. Trong trường hợp này, khối lượng riêng và gia tốc trọng trường là các giá trị đặt trước từ người dùng, do

đó ta chỉ cần tìm khối lượng vật để có lực nổi. Tuy nhiên, có phương pháp khác tính lực nổi yêu cầu mật độ và khối lượng của vật thể. Khối lượng của ROV được đo bằng cân điện tử.

Công thức tính toán:

$$F_b = \frac{g m \rho_f}{\rho_o} \quad (9)$$

Trong đó:

F_b - Lực nổi tác dụng lên vật, ρ_f - Khối lượng riêng của chất lỏng mà vật thể chìm trong, ρ_o - Khối lượng riêng của vật thể và m, g là khối lượng của vật thể, gia tốc do trọng lực.

b. Lực đẩy

Bên cạnh lực nổi tác giả tính toán thêm lực đẩy từ việc điều khiển các cánh quạt giúp ROV dễ dàng di chuyển trong nước. Lực điều khiển do một bộ đẩy có thể biểu diễn bằng:

$$F = K u \quad (10)$$

Trong đó:

u - Đầu vào điều khiển, K - Hệ số lực đẩy.

Tác giả thiết kế ROV với 8 cánh quạt là 8 bộ đẩy, lực đẩy có thể sử dụng là một vector $F = [F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8]^T$. Đầu vào điều khiển là vector $u = [u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8]^T$ và K là ma trận đường chéo:

$$K = \text{diag}[K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8]$$

c. Các lực và momen của nhiều môi trường

Khi ROV hoạt động trong nước thì yếu tố dòng chảy luôn ảnh hưởng đến chúng với mực độ khác nhau tùy thuộc độ sâu. Để mô phỏng thực tế tác giả đã thêm vào các phương trình nhiễu đối với ROV khi làm việc. Vì trái đất luôn quay nên lực Coriolis sẽ cố gắng làm các dòng chảy chính hướng về phía Đông ở Bắc bán cầu và Tây ở Nam bán cầu. Vì vậy, để mô phỏng các dòng hải lưu và ảnh hưởng của chúng đến chuyển động của tàu, mô hình dưới được tác giả thêm vào mô phỏng:

$$\underbrace{M_{RB} \dot{v} + C_{RB}(v)v + g(\eta)}_{\text{rigid-body}} + \underbrace{M_A \dot{v} + C_A(v_\tau)v_\tau + D_A(v_\tau)v_\tau}_{\text{hydrodynamic}} = \tau + g_o + w \quad (11)$$

Trong đó: $v_\tau = v - v_c$, vecto vận tốc dòng chảy được coi như biến thiên chậm. Khi đó phương trình chuyển động là:

$$M \dot{v} + C_{RB}(v)v + C_A(v_\tau)v_\tau + D_A(v_\tau)v_\tau + g(\eta) = \tau + g_o + w \quad (12)$$

3. Thiết kế mô hình ROV trong Unity3D

3.1. Thiết kế phần cứng điều khiển ROV

Để điều khiển đối tượng ROV trong mô phỏng tác giả đã sử dụng bộ điều khiển khả trình PLC để giao tiếp với phần mềm Unity 3D thông qua kết nối truyền thông modbus TCP. Các tín hiệu điều khiển góc quay của các cánh quạt, tốc độ quay của cánh quạt và cuối cùng là điều khiển 2 cánh tay robot được đưa vào trong PLC và gửi đến phần mềm mô phỏng.



Hình 2. Bàn joystick điều khiển ROV



Hình 3. Tủ phần cứng hệ mô phỏng

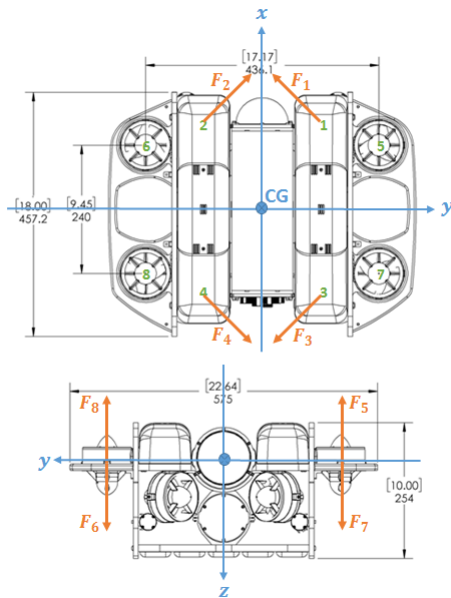
Từ Hình 2, các nút ấn để điều chỉnh cánh quạt, góc quay của camera, bật tắt đèn và một số chức năng khác. Từ bàn điều khiển joystick người vận hành thao tác dễ dàng để điều khiển thiết bị di chuyển trong đại dương để bám theo và gắp vật.

3.2. Xây dựng mô hình 3D của ROV

Để xây dựng được đối tượng ROV tác giả tham khảo và lựa chọn một số ROV thật của hãng Forum. ROV Comanche là robot làm việc được sâu dưới nước lên tới 6000m như Hình 4 với một vài thiết kế cơ khí Hình 5 và thông số như Bảng 1.



Hình 4. Mô hình ROV thực tế



Hình 5. Bản vẽ cơ khí của ROV

Bảng 1. Thông số ROV Comanche

TT	Thông số	Comanche
1	Độ sâu làm việc	2000-3000-6000m
2	Trọng lượng	285kg
3	Kích thước (HxLxW(mm))	1250x2100x1300 mm
4	Khối lượng trong không khí	1130kg
5	Điện áp	35kVA, 440VAC, 50/60Hz
6	Bộ đẩy ngang, dọc	250
7	Lực đẩy phía trước, bên và dọc	240Kgf
8	Tốc độ	3Kts

Nguồn: Tài liệu hãng ROV Comanche

Từ thông số cơ bản và kết hợp bản vẽ cơ khí, tác giả đã xây dựng kích thước và mô hình 3D trong phần mềm chuyên dụng và thu được mô hình như Hình 6.



Hình 6. Đối tượng ROV trong Unity 3D

4. Mô phỏng hoạt động của thiết bị ROV

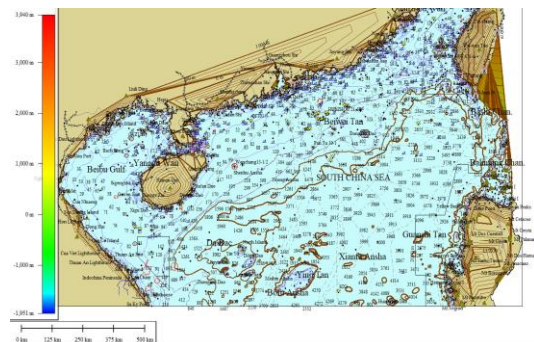
4.1. Mô phỏng động học ROV

Để mô phỏng đối tượng ROV, từ các phương trình động học của ROV, lực nổi và nhiều dòng hải lưu tác động trong Mục 2 được tác giả chuyển đổi phương trình (12) dựa trên ngôn ngữ lập trình C# để đưa vào không gian 3D.

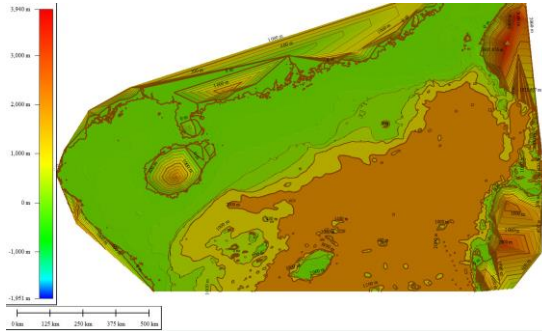
Trước tiên, muốn tạo ra được sóng biển tác giả đã tạo ra các mặt phẳng (plane) sau đó cài đặt thông số và kết hợp phương trình (12) để tạo thành các module để vào đối tượng.

- OceanRenderer.cs: Được dùng tạo ra bề mặt sóng, một số sóng điển hình;
- OceanShapeFFT.cs: Dùng để điều chỉnh mức độ, hướng sóng;
- OceanDebugGUI.cs: Tạo ra cửa sổ quan sát mức độ sóng;
- OceanDepthRenderer.cs: Dùng để điều chỉnh hướng, mức độ dòng hải lưu.

Yếu tố đáy biển là quan trọng đối với mô phỏng ROV. Để có được dữ liệu địa hình chính xác, tác giả đã sử dụng dữ liệu của hải đồ điện tử để có được độ sâu. Tác giả sử dụng phương pháp bắn tia xuống đáy biển sau đó tính toán và quy đổi về độ sâu thực tế của từng khu vực mô phỏng như Hình 7, Hình 8.



Hình 7. Hiện thị độ sâu của biển



Hình 8. Bản đồ hiển thị độ sâu biển

Bên cạnh địa hình, ROV di chuyển đi lại trong biển cần phải có lực đẩy, lực điều khiển các cánh quạt. Tác giả sử dụng phương trình (4), (7), (9), (10) để chuyển sang code tạo thành các module sau đó thêm vào đối tượng ROV.

- ThrustersEngine.cs: Dùng để tạo lực đẩy và nổi của ROV;

- RudderROV.cs: Để điều khiển quạt qua đó điều khiển hướng của ROV.

Cuối cùng, người vận hành muốn quan sát môi trường xung quanh cần phải có các camera. Ở đây, tác giả sử dụng 3 camera để quan sát xung quanh và có thể tùy chỉnh góc quay. Các đối tượng cam sẽ đính kèm các module sau:

- Envirskyrendering.cs: Dùng để tạo môi trường nước trong mô phỏng;

- CameraFFT.cs: Cho phép camera làm việc dưới nước;

- CameraLight.cs: Dùng để bật tắt đèn khi làm việc dưới đáy biển;

- CameraRotation.cs: Cho phép quay camera sang trái hoặc phải.

4.1. Chạy thử nghiệm hệ thống

a. Thử nghiệm hoạt động của ROV

Trước tiên, tác giả chọn vị trí mô phỏng tại khu vực Hải Phòng với tọa độ 20°77159 và 106°80988. Đây là khu vực tác giả thả thiết bị xuống nước để khảo sát cáp ngầm, tàu đắm thể hiện trong Hình 9.



Hình 9. Hình ảnh ROV

Bên cạnh đó cánh tay robot cũng được mô phỏng và làm việc cơ bản đưa lại gần vật thể để tiến hành khảo sát. Với điều kiện dòng hải lưu ở mức độ thấp và các thông số điều khiển của ROV đảm bảo chất lượng tốt, tác giả đã thu được Bảng 2 thông số của ROV khi làm việc:

Bảng 2. Thông số làm việc của ROV

TT	Thông số	Thực tế	Mô phỏng
1	Vị trí	20°77159' 106°80988'	20°77654' 106°81054'
2	Tốc độ	2,5Kts	2,3Kts
3	Hướng	65°	60°

Từ kết quả trên tác giả nhận thấy vẫn có sự sai số trong thiết kế mô phỏng so với thực tế.

b. Thử nghiệm yếu tố nhiễu môi trường

Trong bài báo này, tác giả tạo ra các cấp độ nhiễu trong môi trường nước với một vài tham số như tốc độ dòng chảy, hướng dòng chảy từ đó xét yếu tố tác động đến ROV. Sau khi cài đặt thời tiết, tác giả tiến hành đặt các mức độ ảnh hưởng của dòng hải lưu trong môi trường để thu về dữ liệu như trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số tọa độ của ROV

ST	Mức độ	Tham số		
T	hải lưu			
1	Mức 1	Hướng	70°50'.54	70°50'.545
		Tốc độ	2,0Kts	1,95Kts
2	Mức 2	Hướng	70°50'.54	70°50'.545
		Tốc độ	2,0Kts	1,84Kts
3	Mức 3	Hướng	70°50'.54	70°50'.545
		Tốc độ	2,0Kts	1,52Kts

Từ kết quả trên Bảng 2 và 3 cho thấy yếu tố ảnh hưởng từ nhiễu môi trường đến vật thể để từ đó điều chỉnh ngược lại phần mềm mô phỏng sát thực tế nhất.

5. Kết luận

Bài báo đã bước đầu mô phỏng thành công thiết bị làm việc dưới nước là ROV, với mô hình động học 6 DOF và giải pháp kết nối tối ưu giữa phần cứng PLC và phần mềm mô phỏng. Từ đó, tác giả khảo sát quá trình làm việc của mô hình để thu thập các dữ liệu phục vụ nghiên cứu. Ngoài ra, bài báo phân tích, đánh giá yếu tố nhiễu môi trường tác động lên ROV để điều chỉnh thiết bị, hệ thống mô phỏng còn có thể kết nối với hệ thống Sonar hàng hải để phát triển trong tương lai. Tuy nhiên, mô hình ROV có rất nhiều tham số để khảo sát, do đó hệ thống cần phải phát triển và tích

hợp nhiều tham số để hiệu chỉnh cho phù hợp hơn với thực tế trong tương lai. Ngoài ra, dữ liệu về độ sâu biển, các địa hình địa vật cần được xây dựng tốt hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alireza Marzbanrad, Jalil Sharafi, M. Eghtesad, R. Kamali, Conference: *ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, pp.8-10, 2011.
- [2] Tadahiro Hyakudome, *Design of Autonomous Underwater Vehicle*, International Journal of Advanced Robotic Systems, pp.6-11, 2017.
- [3] S. McMillan, D. Orin, and R. Mcghee, *Efficient dynamic simulation of an underwater vehicle with a robotic manipulator*, *Systems, Man and Cybernetics*, IEEE Transactions on, Vol.25, No.8, pp.1194-1206, 1995.
- [4] www.oceaneering.com, COMANCHE ROV.
- [5] www.f-e-t.com, software-and-control-system, Vmax Simulator.
- [6] www.PaleBlue.com, ROV simulator.
- [7] Phạm Minh Thiên Thành, Vy Văn Cầu, Nguyễn Duy Anh, “*Nghiên cứu, thiết kế và điều khiển thiết bị ROV*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ giao thông vận tải, Số 27 + 28, 2018.
- [8] Thor I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons, Chichester New York, 1994.
- [9] Thor I. Fossen, *Marine control systems - Guidance and Control of Ship, Rigs, Underwater Vehicles*, Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002.

Ngày nhận bài:	14/8/2021
Ngày nhận bản sửa:	23/8/2021
Ngày duyệt đăng:	31/8/2021