

Thiết kế, mô phỏng robot lặn (VIAM-AUV1000) phục vụ nghiên cứu và cứu hộ cứu nạn

Trần Ngọc Huy*, Nguyễn Đức Tô, Huỳnh Thái Hoàng



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Việc sử dụng robot lặn AUV (Autonomous Underwater Vehicle) để hỗ trợ hoặc thay thế con người thực hiện công việc ở biển đã được nghiên cứu phát triển và áp dụng ở nhiều nước trên thế giới. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ban đầu về thiết kế phần cứng, bộ điều khiển mô hình robot lặn phục vụ cho các nhiệm vụ khảo sát, tìm kiếm và cứu nạn cứu hộ... Với thiết kế gọn nhẹ, robot lặn có thể phù hợp hoạt động trong không gian nhỏ hẹp. AUV không chỉ được trang bị động cơ đẩy và bánh lái giúp nó có thể di chuyển và điều hướng trong mặt phẳng ngang, mà nó còn có thể lặn bằng cách điều chỉnh trọng tâm thông qua việc thay đổi vị trí của đối trọng. Bên cạnh đó, AUV được trang bị đầy đủ hệ thống điện tử mạnh mẽ, các cảm biến tích hợp độ chính xác cao để thực hiện các nhiệm vụ điều khiển từ đơn giản đến phức tạp. Việc sử dụng bộ điều khiển trượt (Sliding Mode Control) để thiết kế một cách độc lập bộ điều khiển góc heading và độ sâu cho AUV thể hiện tính ổn định bền vững của bộ điều khiển với tính phi tuyến của mô hình, tham số không chắc chắn và với các nhiễu ngoài. Cuối cùng, kết quả mô phỏng cho thấy rằng bộ điều khiển SMC có thể điều khiển được mô hình phi tuyến AUV để bám theo các giá trị đặt góc lái và độ sâu mong muốn với độ chính xác cao và bền vững.

Từ khoá: Phương tiện dưới nước tự hành, Điều Khiển Trượt, Điều Khiển Góc Heading, Điều Khiển Độ Sâu

GIỚI THIỆU

Ngày nay, phương tiện tự hành dưới nước (AUV) là một lĩnh vực nghiên cứu thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới trong nhiều lĩnh vực khác nhau như an ninh hàng hải, khoa học và kinh tế biển... Nhờ vào sự phát triển của công nghệ, AUV ngày càng có tiềm năng lớn trong việc thám hiểm đại dương bởi vị sự cải thiện một cách đáng kể trong hoạt động của chúng. Việc đo thời gian bằng tan chảy, sự thay đổi dòng chảy đại dương và độ sâu của đáy biển dưới băng ở Nam Cực để hiểu sự thay đổi khí hậu toàn cầu trong tương lai¹. Do đó, nhiều AUV được sử dụng cho các hoạt động thám hiểm và khảo sát dưới băng của Nam Cực^{2,3}. AUV có kích thước 2.1m x 0.65m x 0.4m và được trang bị hai động cơ đẩy theo ngang, bốn động cơ đẩy theo phương đứng⁴. Nó đã được sử dụng để kết hợp vừa giám sát môi trường Nam Cực với nhiệm vụ nghiên cứu để làm rõ sự biến động và tương tác của dòng chảy xung quanh, hệ sinh thái, dải băng... ở Nam Cực và các khu vực xung quanh.

Tuy nhiên, hầu hết các AUV phục vụ cho mục đích này thường có kích thước lớn và sử dụng cho các cuộc khảo sát quy mô lớn. Do đó, để phục vụ cho các cuộc khảo sát trong một khu vực nhỏ như sông, hồ... hay

cắt giảm chi phí vận hành các mô hình AUV nhỏ gọn đã được triển khai.

Mô hình AUV REMUS⁵ có kích thước nhỏ đã được phát triển để phục vụ cho việc giám sát đường bờ biển và lấy mẫu dữ liệu môi trường. Mục tiêu thiết kế của REMUS là giới hạn về kích thước và trọng lượng giúp nó có thể được di chuyển bởi một người. REMUS có chiều dài 135 cm, đường kính thân 19 cm và có trọng lượng 31kg. Nó được trang bị một động cơ đẩy và bốn vây ở phần đuôi. Tuy nhiên, AUV nhỏ gọn có phạm vi khảo sát hẹp so với các phương tiện thông thường, nhưng chi phí vận hành nhỏ hơn. Nhưng chúng cũng có thể thực hiện nhiệm vụ trong một phạm vi rộng bằng cách tăng số lượng hoạt động hoặc số phương tiện trong khi vận duy trì chất lượng khảo sát.

Trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất sử dụng AUV nhỏ gọn với cấu hình đơn giản nhưng đầy đủ với các chức năng cần thiết và đủ để thực hiện các nhiệm vụ khảo sát.

Một động cơ đẩy và bánh lái được đặt ở phần đuôi của AUV giúp nó thực hiện chuyển động theo phương ngang. Cho việc lặn-nổi, AUV sử dụng cơ cấu đối trọng tương tự như cơ cấu được sử dụng cho tàu lượn dưới nước⁶ làm thay đổi trọng tâm của AUV để điều khiển góc pitch và điều khiển độ sâu.

Trường Đại học Bách Khoa,
ĐHQG-HCM

Liên hệ

Trần Ngọc Huy, Trường Đại học Bách Khoa,
ĐHQG-HCM

Email: tnhuy@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 13-8-2019
- Ngày chấp nhận: 10-3-2021
- Ngày đăng: 31-3-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v3iSI2.547



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Huy T N, Tô N D, Hoàng H T. **Thiết kế, mô phỏng robot lặn (VIAM-AUV1000) phục vụ nghiên cứu và cứu hộ cứu nạn.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 3(S12):SI102-SI113.

Mô hình động học AUV rất phức tạp, có tính phi tuyến cao và phụ thuộc vào nhiều thông số như hệ số thủy lực tĩnh, hệ số thủy lực động, phần khối lượng tăng thêm... Do đó, bộ điều khiển cần đủ mạnh để kháng lại các yếu tố không chắc chắn của mô hình và các tác động của môi trường xung quanh. AUV sử dụng bộ điều khiển trượt (SMC) để thiết kế bộ điều khiển góc heading và độ sâu để bám theo góc heading và độ sâu mong muốn.

CẤU TRÚC AUV

AUV được thiết kế với chiều dài xấp xỉ 157.2cm, đường kính tối đa là 18cm và có trọng lượng là 30.5kg như Hình 1. Mô hình gồm có phần vỏ tàu, hệ thống đẩy, bánh lái, cơ cấu đối trọng, các cảm biến, hệ thống điện, hệ thống giao tiếp và hệ thống định vị....

Bên cạnh đó, mô hình được thiết kế với sự nổi lớn hơn trọng lượng của nó nên AUV sẽ tự động nổi lên mặt nước khi không sử dụng bộ điều khiển hay trong những trường hợp bị lỗi hệ thống.

Để tăng cường sự ổn định của phương tiện trong quá trình hoạt động thì ba cái vây được gắn cách đều nhau một góc 120^0 lên phần sau của tàu như Hình 2.

Một động cơ đẩy và bánh lái cũng được bố trí ở phần thân sau giúp cho AUV có thể di chuyển trong mặt phẳng ngang. Nhờ vào cơ cấu đối trọng làm thay đổi vị trí trọng tâm của AUV giúp nó có thể điều khiển góc pitch và độ sâu trong mặt phẳng đứng. Cơ cấu đối trọng được thiết kế với một động cơ truyền động cho phép dịch chuyển một vật nặng khối lượng 3.5kg được gắn trên thanh trượt như Hình 3. Khi khối lượng trượt về phía đầu hay cuối của thanh trượt thì không chỉ trọng tâm của AUV sẽ thay đổi theo mà còn làm theo đổi cả góc pitch. Những sự thay đổi này kết hợp với lực đẩy từ động cơ giúp cho AUV có thể lặn và nổi. Chiều dài của thanh trượt [-15cm, 15cm], khối lượng của đối trọng và động cơ truyền động được bố trí trong một không gian giới hạn bên trong thân tàu nên góc pitch có thể thay đổi linh hoạt trong một khoảng nhất định phù hợp với mục tiêu điều khiển.

Phần vỏ tàu được chia làm 3 phần: mũi tàu, thân tàu và phần đuôi tàu. Hình dạng phần mũi và đuôi tàu được thiết kế dựa trên dựa trên những tham số của Myring⁷ để tối thiểu các lực cản và được làm từ NC-nylon trong khi đó thân tàu được làm từ nhôm. Chúng được gắn kết với nhau và được chống thấm bằng O-rings.

CẤU TRÚC PHẦN CỨNG

Hệ thống điều khiển

Hệ thống điều khiển bao gồm một máy tính nhúng Jetson Nano, 2 vi điều khiển STM32F4 và STM32F7 như Hình 4.

Vi điều khiển STM32F7 được kết nối với tất cả các cảm biến của hệ thống gồm có inertial measurement unit (IMU), compass, depth sensor, doppler velocity log (DVL) và global positioning system (GPS). Sau khi đọc về giá trị của các cảm biến, STM32F7 có nhiệm vụ ước lượng giá trị vận tốc, vị trí, và các góc của AUV.

Vi điều khiển STM32F4 được kết nối với tất cả cơ cấu truyền động của mô hình và sẽ nhận các lệnh điều khiển từ board chính để điều khiển động cơ đối trọng, động cơ đẩy và động cơ servo. Bên cạnh đó, nó cũng nhận dữ liệu hình ảnh từ camera phụ vụ cho việc nghiên cứu.

Jetson Nano có nhiệm vụ trao đổi, truyền nhận dữ liệu giữa AUV với trạm điều khiển khi AUV nổi trên bề mặt nước hay khi đang thực hiện nhiệm vụ dưới nước thông qua sóng RF, sóng âm.... Ngoài ra, nó còn nhận dữ liệu từ STM32F7 để tính toán ra các giá trị điều khiển mong muốn và truyền đến STM32F4.

Sự giao tiếp giữa Jetson Nano với STM32F4 và STM32F7 được thực hiện thông qua giao thức Control Area Network (CAN).

Hệ thống năng lượng

AUV được cung cấp năng lượng chính bởi 2 pin 24V LiFePO₄ như Hình 5 cho phép nó hoạt động liên tục tối đa 2 giờ với vận tốc 1.5m/s. LiFePO₄ là loại pin tương đối an toàn và có mật độ năng lượng cao. Tuy nhiên pin có thể bị hư hỏng khi điện áp giảm xuống dưới mức ngưỡng 3.0V, để ngăn điều này thì hệ thống năng lượng luôn luôn được giám sát bởi hệ thống quản lý pin (BMS). Nó giúp giám sát và cân bằng điện áp mỗi cell, giám sát quá trình sạc, xả và nhiệt độ của pin. Nên trong trường hợp điện áp cung cấp thấp hơn định mức hay gặp sự cố điện, thì BMS sẽ cho hệ thống ngừng hoạt động và AUV sẽ tự động nổi lên mặt nước nhờ vào sự nổi lớn hơn trọng lượng của mô hình.

Các bộ chuyển đổi điện áp DC/DC được sử dụng để hạ áp xuống các mức 12V, 5V cung cấp cho các thiết bị như động cơ, hệ thống điều khiển, cảm biến, định vị, giao tiếp như Hình 6.

Toàn bộ hệ thống điện được gắn lên một giá trượt đặt bên trong phần thân tàu nên dễ tháo lắp và sạc pin sau khi vận hành.

PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA AUV

Khi phân tích chuyển động của các phương tiện đường thủy với 6 DOF, có hai hệ trục tọa độ tham chiếu thường được chỉ ra như trong Hình 7. Hệ tọa độ cố định trên mô hình được gọi là hệ tọa độ tham chiếu đối tượng và gốc O của hệ tọa độ này được đặt trùng với trọng tâm nổi của AUV. Sự dịch chuyển của hệ tọa độ này thường được tham chiếu đến hệ qui chiếu cố định trái đất hay được gọi là hệ qui chiếu quán tính.



Hình 1: Kích thước AUV



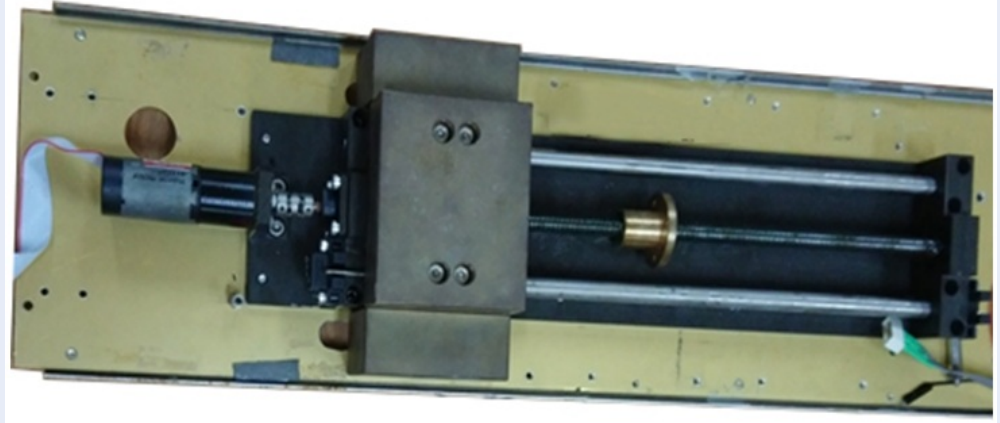
Hình 2: Cấu trúc phần đuôi

Phương trình động học

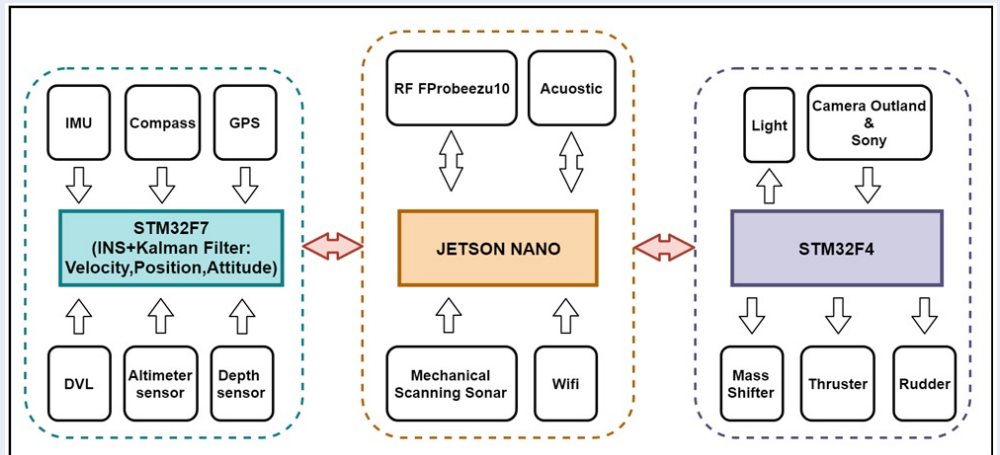
Với các ký hiệu như Hình 7, chuyển động chung của một phương tiện đường thủy với 6 DOF có thể được mô tả bằng các vectơ như sau:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= [x \quad y \quad z]^T, \\ \eta_2 &= [\phi \quad \theta \quad \psi]^T, \\ \eta &= [\eta_1^T \quad \eta_2^T]^T \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \eta_1 &= [x \quad y \quad z]^T, \\ \eta_2 &= [\phi \quad \theta \quad \psi]^T, \\ \eta &= [\eta_1^T \quad \eta_2^T]^T \end{aligned} \quad (2)$$



Hình 3: Cơ cấu đối trọng



Hình 4: Sơ đồ hệ thống điều khiển

Biến đổi vận tốc tịnh tuyến

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = J_1(\eta_1) \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}^T, \\ \tau_2 &= \begin{bmatrix} K & M & N \end{bmatrix}^T, \\ \tau &= \begin{bmatrix} \tau_1^T & \tau_2^T \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad (3)$$

Với

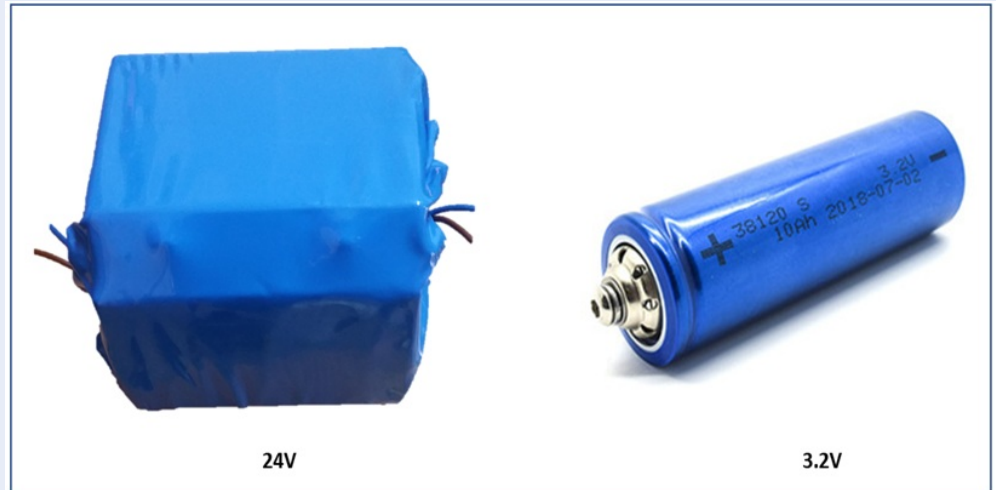
$$J_1(\eta_1) = \begin{bmatrix} c_\theta c_\psi & -c_\phi s_\psi + s_\phi s_\theta c_\psi & s_\phi s_\psi + c_\phi s_\theta c_\psi \\ c_\theta s_\psi & c_\phi c_\psi + s_\phi s_\theta s_\psi & -s_\phi c_\psi + c_\phi s_\theta s_\psi \\ -s_\theta & s_\phi c_\theta & c_\phi c_\theta \end{bmatrix}$$

Trong đó η là vector vị trí và hướng trong hệ quy chiếu quán tính, v là vector vận tốc tuyến tính và vận tốc xoay trong hệ tọa độ tham chiếu đối tượng, τ là lực và moment tác động vào AUV trong hệ tọa độ tham chiếu đối tượng.

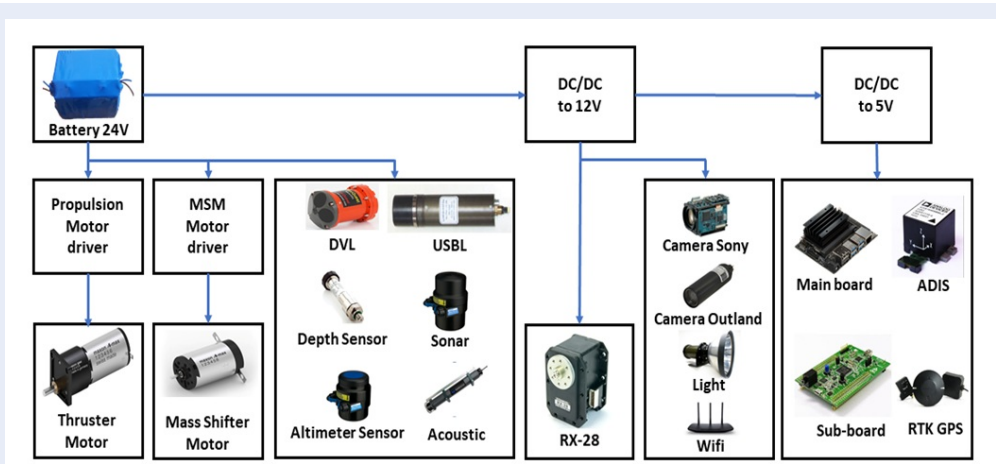
Vị trí và hướng của AUV phải được mô tả liên quan đến hệ quy chiếu quán tính, trong khi vận tốc tuyến tính và vận tốc xoay phải được thể hiện trong hệ tọa độ tham chiếu đối tượng. Ta có⁷:

Biến đổi vận tốc góc

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = J_2(\eta_2) \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (5)$$



Hình 5: Pin của hệ thống



Hình 6: Sơ đồ phân phối điện áp

Với

$$J_2(\eta_2) = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{bmatrix}$$

Ta có thể thấy khi góc pitch bằng $\pm 90^\circ$ thì ma trận $J_2(\eta_2)$ không xác định. Tuy nhiên theo thiết kế cơ khí và cách vận hành khi thay đổi các cơ cấu đối trọng, góc pitch khi vận hành chỉ vào khoảng $\pm 60^\circ$ ⁸. Vì vậy ta có thể sử dụng công thức trên mà vẫn đảm bảo không có vấn đề trong tính toán.

Động lực học AUV

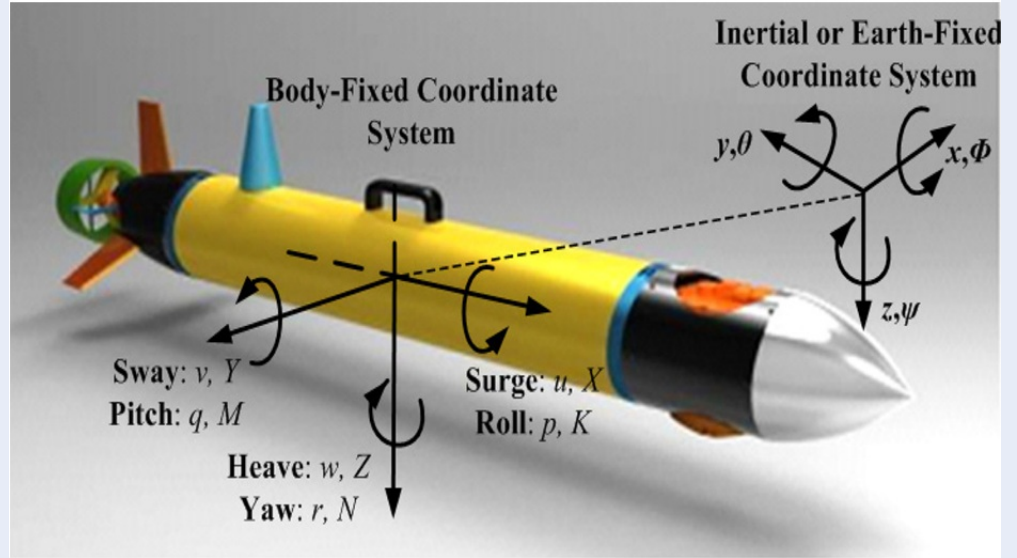
Phương trình chuyển động 6 DOF của AUV trong hệ tọa độ tham chiếu đối tượng như Hình 8⁸:

Với x_G, y_G, z_G là trọng tâm của AUV, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} là moment quán tính. Bởi vì đối trọng di chuyển trong một khoảng nhỏ nên I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} sẽ thay đổi nhỏ và như được đề cập ở phần trước, gốc tọa độ được đặt trùng với vị trí tâm nổi nên các thành phần ngoài đường chéo sẽ rất nhỏ và gần như có thể bỏ qua nên $I_{xy} = I_{yz} = I_{zx} = 0$.

Trong đó vế phải của 3 phương trình đầu tiên là tổng các ngoại lực, vế phải của 3 phương trình sau là tổng các moment ngoài tác động vào AUV.

Tuyến tính hóa phương trình điều khiển độ sâu

Hệ thống điều khiển thường được tách thành các bộ điều khiển theo phương ngang và theo phương



Hình 7: Các hệ tọa độ tham chiếu

$$\begin{aligned}
 m [\dot{u} - vr + wq - x_g(q^2 + r^2) + y_g(pq - \dot{r}) + z_g(pr + \dot{q})] &= \sum X_{\text{ext}} \\
 m [\dot{v} - wp + ur - y_g(r^2 + p^2) + z_g(qr - \dot{p}) + x_g(qp + \dot{r})] &= \sum Y_{\text{ext}} \\
 m [\dot{w} - uq + vp - z_g(p^2 + q^2) + x_g(rp - \dot{q}) + y_g(rq + \dot{p})] &= \sum Z_{\text{ext}} \\
 I_{xx}\dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr - (\dot{r} + pq)I_{xz} + (r^2 - q^2)I_{yz} + (pr - \dot{q})I_{xy} \\
 + m[y_g(\dot{w} - uq + vp) - z_g(\dot{v} - wp + ur)] &= \sum K_{\text{ext}} \\
 I_{yy}\dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})rp - (\dot{p} + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{xz} + (qp - \dot{r})I_{yz} \\
 + m[z_g(\dot{u} - vr + wq) - x_g(\dot{w} - uq + vp)] &= \sum M_{\text{ext}} \\
 I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq - (\dot{q} + rp)I_{yz} + (q^2 - p^2)I_{xy} + (rq - \dot{p})I_{xz} \\
 + m[x_g(\dot{v} - wp + ur) - y_g(\dot{u} - vr + wq)] &= \sum N_{\text{ext}}
 \end{aligned}$$

Hình 8: Equation (6)

đứng. Điều đó có nghĩa rằng, các chuyển động theo phương đứng được điều khiển một cách độc lập với các chuyển động theo phương ngang. Vì thế, để thiết kế bộ điều khiển độ sâu cho AUV, chỉ những phương trình chuyển động trong mặt phẳng đứng được quan tâm nên có thể giả sử rằng:

- $p = v = r = 0$
- Vận tốc dọc theo phương x là hằng số $U = 1.5\text{m/s}$
- Vận tốc dọc theo phương w là nhỏ so với các thành phần còn lại.

- Moment quán tính ít bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi vị trí của đối trọng.

Từ phương trình (6), ta có phương trình tuyến tính chuyển động của AUV trong mặt phẳng đứng là⁹:

$$\begin{cases} I_{yy}\dot{q} = M_q q + M_{\dot{q}q-z_G W \theta - x_G W} \\ \dot{z} = -U\theta \\ \dot{\theta} = q \end{cases} \quad (7)$$

Với

W là trọng lượng của mô hình
 I_{yy} là moment quán tính theo trục y

x_G trọng tâm của mô hình

Những hệ số còn lại là các hệ số phi tuyến của lực và moment.

Dựa trên cơ sở lý thuyết của cơ học vật rắn ta xác định được phương trình tính toán trọng tâm của AUV như sau:

$$x_G = \frac{m_m * x_m + m_o * x_o}{m} = \frac{m_m * x_m}{m} \quad (8)$$

Trong đó x_m là vị trí của đối trọng, x_o là vị trí trọng tâm của mô hình, m_o là trọng lượng của mô hình không bao gồm trọng lượng của đối trọng m_m .

Thay (8) vào (7) ta được phương trình tuyến tính cuối cùng chuyển động theo mặt phẳng đứng của AUV là¹⁰:

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_q/M_{yq} & M_\theta/M_{yq} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -U & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \theta \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{x_m}/M_{yq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [x_m] \quad (9)$$

Với $M_{x_m} = -\frac{W * m_m}{m}$, $M_\theta = -z_G W$ và $M_{yq} = I_{yy} - M_{\dot{q}}$
Ta có thể viết (9) dưới dạng sau:

$$\dot{x}_1 = A_1 x_1 + B_1 u_1 \quad (10)$$

Tuyến tính hóa phương trình điều khiển góc heading

Tương tự như bộ điều khiển độ sâu cho AUV, bộ điều khiển góc hướng hay còn được gọi là bộ điều khiển góc heading cũng là một bài toán điều khiển cơ bản nhưng rất quan trọng.

Ta cũng giả định các điều kiện để tuyến tính hóa như sau:

- $w = p = v = r = \phi = \theta = 0$
- Điểm làm việc là $u = U = 1.5m/s$

Khi đó thực hiện các bước tương tự như cho chuyển động lặn-nổi của AUV. Ta sẽ thu được phương trình trạng thái như sau¹¹:

$$\begin{bmatrix} m - Y_v & -Y_r & 0 \\ -N_v & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - mU & 0 \\ N_v & N_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (11)$$

Với δ_r là góc bánh lái của AUV

Ta có thể viết (11) dưới dạng sau:

$$\dot{x}_2 = A_2 x_2 + B_2 u_2 \quad (12)$$

PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Một phương pháp điều khiển hiệu quả cao và vẫn giữ được chất lượng khi thông số mô hình thay đổi không quá lớn là điều khiển trượt (Sliding mode control) sẽ được áp dụng để xây dựng luật điều khiển cho các hệ thống đã tuyến tính hóa ở trên.

Tổng quát, mô hình tuyến tính của AUV trong mặt phẳng đứng và mặt phẳng ngang có thể được viết lại dưới dạng mô hình SISO (Single-Input-Single-Output):

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (13)$$

Định nghĩa mặt trượt như sau:

$$S_s = S^T \dot{x} = [s_1 \dots s_n] \dot{x} = 0 \quad (14)$$

Trong đó $\dot{x} = x - x_d$ là sai số trạng thái, x_d là trạng thái mong muốn. Ta xét hàm Lyapunov sau¹²:

$$V = \frac{1}{2} S_s^T S_s = \frac{1}{2} \dot{x}^T S S^T \dot{x} \quad (15)$$

Theo định lý Lyapunov, để biến trạng thái x hội tụ về trạng thái mong muốn x_d ta chỉ cần tìm luật điều khiển thỏa mãn:

$$\dot{V} = S_s \dot{S}_s \leq 0, \forall x \quad (16)$$

Nếu ta chọn:

$$\dot{S}_s = -K_s \text{sign}(S_s) \quad (17)$$

Trong đó $K_s > 0$ là ma trận xác định dương, thì rõ ràng thỏa mãn điều kiện trên.

Từ (14) ta tính được:

$$\dot{S}_s = S^T \dot{x} = S^T (Ax + Bu - \dot{x}_d) \quad (18)$$

Từ (17) kết hợp với (18) ta có:

$$u = -K^T x + (S^T B)^{-1} [S^T \dot{x}_d - K_s \text{sign}(S_s)] \quad (19)$$

Với $K^T = (S^T B)^{-1} S^T A$

Thay (19) vào (18) ta được:

$$\dot{S}_s = S^T A_c x - K_s \text{sign}(S_s) \quad (20)$$

Với $A_c = A - BK^T$

Chọn S là vector trị riêng của A_c^T ứng với trị riêng $\lambda = 0$ nên

$$\dot{S}_s = -K_s \text{sign}(S_s)$$

Để hạn chế hiện tượng chattering gây ra bởi luật điều khiển với hàm chuyển $\text{sign}(S_s)$ thì hàm sign có thể thay bằng $\tanh\left(\frac{S_s}{\phi}\right)$ với ϕ là độ dày biên mặt trượt.

Thiết kế bộ điều khiển góc heading

Cấu trúc bộ điều khiển góc heading được mô tả như Hình 9. Với ψ_d là ngõ vào mong muốn, vector trạng thái hồi tiếp là $x = [v \quad r \quad \psi]$. Góc lái δ_{rudder} là ngõ ra của bộ điều khiển góc heading và cũng là ngõ vào mô hình phi tuyến của AUV. Thay các hệ số⁸ vào phương trình (12), các cực của bộ điều khiển góc heading được chọn là $(-1.4 \quad -1.55 \quad 0)$ và từ (14), (19) luật điều khiển được xác định như sau:

$$\begin{cases} S_{sh} = [0.0563 \quad 0.4772 \quad 0.8770] \dot{x}_h \\ u_h = \delta_R = -0.8v + 0.682r + 0.934\eta_h \tanh(S_{sh}/\phi_h) \\ -\pi/6 \leq u_h \leq \pi/6 \\ \eta_h = 0.5, \phi_h = 0.1 \end{cases} \quad (21)$$

Thiết kế bộ điều khiển độ sâu

Sơ đồ điều khiển độ sâu cho AUV được mô tả như Hình 10. Tất cả các bộ điều khiển đều dung bộ điều khiển trượt (SMC). Đầu tiên, vector sai số trạng thái được xác định dựa trên tín hiệu đặt và các giá trị hồi tiếp của vector trạng thái $x = [q \quad \theta \quad z]$, bộ điều khiển lặn sẽ tính toán ra vị trí mong muốn của đối trọng. Rồi sai số vị trí của đối trọng được tính toán từ vị trí đặt và vị trí hồi tiếp của đối trọng lặn ngõ vào của bộ điều khiển vị trí đối trọng. Ngõ ra của bộ điều khiển này sẽ cung cấp một lực u_m để đẩy đối trọng từ vị trí x_m tới x_{m_d} . Cuối cùng, với luật điều khiển lặn, AUV sẽ được điều khiển đến độ sâu mong muốn. Thay các hệ số⁸ vào phương trình (10) và các cực của bộ điều khiển lặn được chọn tại $(-0.7 \quad -0.75 \quad 0)$ ta được luật điều khiển như sau:

$$\begin{cases} S_{sd} = [-0.06670 \quad -0.7337 \quad 0.1297] \dot{x}_d \\ u_h = \delta_R = 0.067q - 0.098\theta - 0.404\eta_d \tanh(S_{sd}/\phi_d) \\ -0.1 \leq u_d \leq 0.1 \\ \eta_d = 1.1, \phi_d = 0.25 \end{cases} \quad (22)$$

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Một số chương trình mô phỏng đã được thực hiện để cho đánh giá tính hiệu quả của hệ thống điều khiển đã đề xuất dưới những ảnh hưởng của tính phi tuyến của mô hình cũng như các thông số không chắc chắn. Chương trình mô phỏng được thực hiện dựa trên phần mềm Matlab/Simulink như Hình 11. Sơ đồ toàn bộ hệ thống gồm có mô hình phi tuyến 6 DOF ở phương trình (6) được mô phỏng bởi khối AUV Model và các bộ điều khiển bao gồm bộ điều khiển góc heading và bộ điều khiển lặn đã được thiết kế ở phần trước.

Hình 12 và Hình 13 thể hiện góc heading mong muốn, đáp ứng thực góc heading của AUV, góc bánh lái trong mô phỏng điều khiển góc heading. Kết quả mô phỏng này được kết hợp với việc điều khiển giữa độ sâu $z = 0m$ để tránh hiện tượng chuyển động theo mặt phẳng đứng xảy ra khi mô phỏng trong mặt phẳng ngang. Góc heading ban đầu là 0. Sau đó AUV được đặt góc heading mong muốn lần lượt là $45^\circ, 0^\circ$ và -30° trong 15s cho mỗi chu kì thay đổi. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng góc heading bám tốt theo tín hiệu đặt và mất gần 6s để đạt trạng thái xác lập trong chu kì đầu tiên tuy nhiên ở chu kì thứ 2 thì mất gần 4s và chu kì thứ 3 thì khoảng 3s.

Kết quả mô phỏng điều khiển độ sâu được thể hiện như Hình 14 và Hình 15. Độ sâu ban đầu là $z = 0m$, sau đó điều khiển cho AUV lặn xuống độ sâu mong muốn $z = 4.5m$ so với ban đầu trong thời gian 40s rồi điều khiển nổi lên lại độ sâu ban đầu $z = 0m$. Khi lặn xuống thì AUV mất khoảng 15s để bám theo tín hiệu đặt tuy nhiên khi nổi lên mặt nước thì lại nhanh hơn chỉ tốn tầm 10s. Đối trọng được điều khiển trong một phạm vi chiều dài trượt giới hạn $[-0.15m, 0.15m]$ để thay đổi trọng tâm của AUV trong quá trình lặn cũng như nổi.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày về cấu trúc phần cơ khí, cấu trúc phần điện, thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển cho mô hình AUV. Với cơ cấu đối trọng làm thay đổi trọng tâm mô hình và cơ cấu bánh lái giúp cho AUV chuyển động một cách độc lập trong mặt phẳng ngang cũng như mặt phẳng đứng.

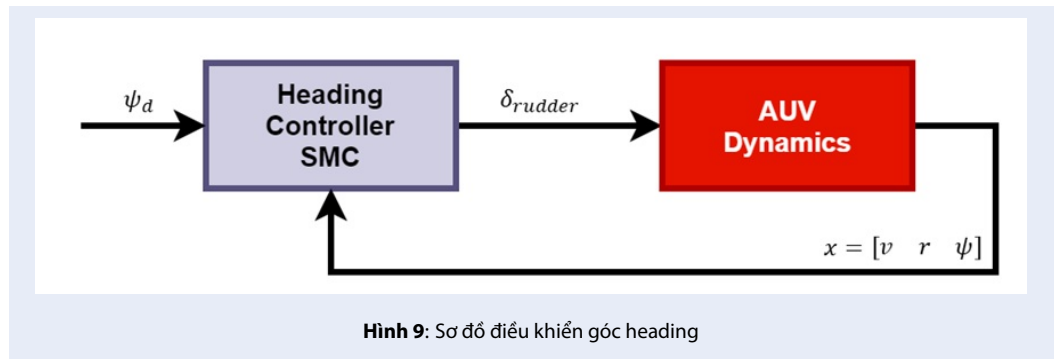
Việc sử dụng bộ điều khiển trượt (SMC) để thiết kế một cách độc lập bộ điều khiển góc heading và độ sâu cho AUV đã thể hiện tính ổn định bền vững của nó với tính phi tuyến của mô hình, tham số không chắc chắn và với các nhiễu ngoài. Cuối cùng, kết quả mô phỏng cho thấy rằng bộ điều khiển SMC có thể điều khiển được mô hình phi tuyến AUV để bám theo các giá trị đặt góc lái và độ sâu mong muốn với độ chính xác cao.

LỜI CẢM ƠN

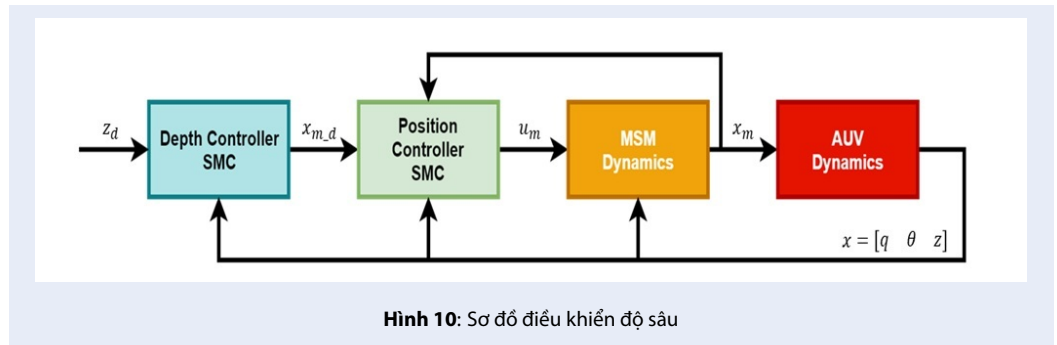
Nghiên cứu được hỗ trợ bởi phòng thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống(DCSELAB), Đại học Bách Khoa và kinh phí bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh dưới mã đề tài B2018-20b-01.

TUYÊN BỐ XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

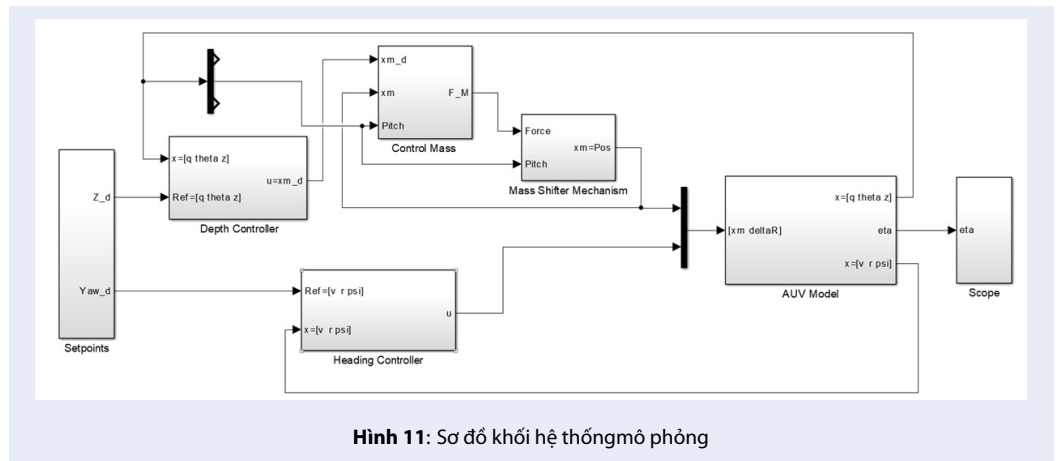
Tôi xác nhận bài báo này không có xung đột lợi ích



Hình 9: Sơ đồ điều khiển góc heading



Hình 10: Sơ đồ điều khiển độ sâu



Hình 11: Sơ đồ khối hệ thống mô phỏng

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Trần Ngọc Huy xây thuật toán điều khiển và viết nội dung điều khiển.

Nguyễn Đức Tô thiết kế hệ thống điện, mô phỏng thuật toán điều khiển.

Huỳnh Thái Hoàng xây thuật toán điều khiển và viết nội dung điều khiển.

DANH MỤC VIẾT TẮT

AUV: Autonomous Underwater Vehicle

SMC: Sliding Mode Control

REMUS: Remote Environmental Monitoring UnitS

GPS: Global Positioning System

DVL: Doppler Velocity Logs

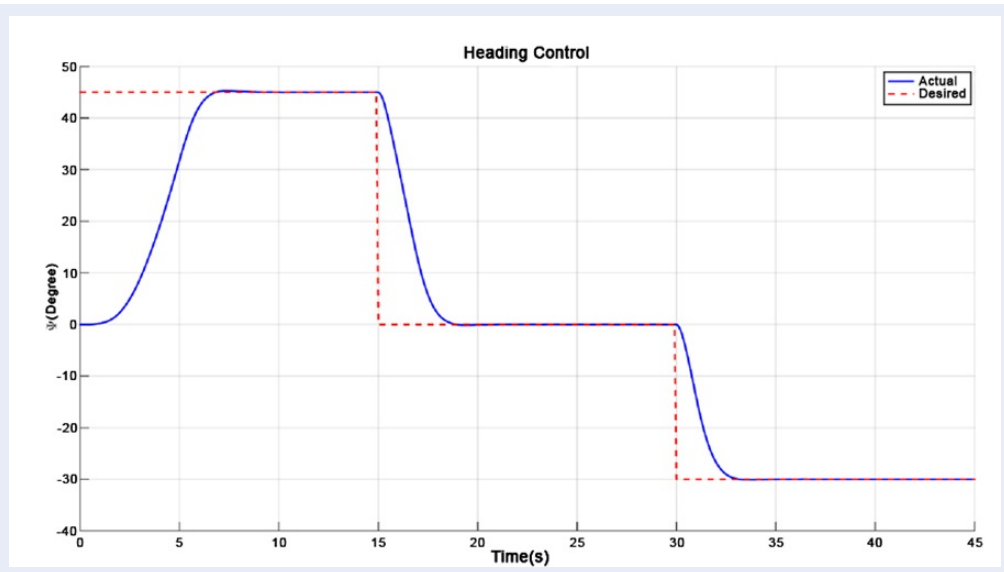
IMU: Inertial Measurement Unit

CAN: Controller Area Network

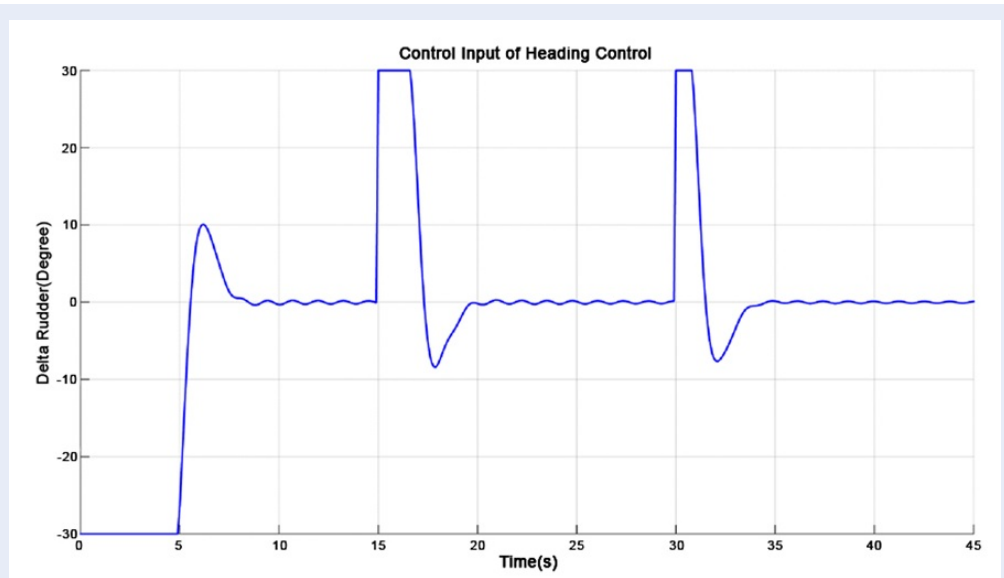
DOF: Degree of Freedom

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aoyama Y, et al. Observations of vertical tidal motions of a floating iceberg in front of Shirase Glacier, East Antarctica, using a geodetic-mode GPS buoy". Polar Science. 2016;10(2):132–139. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2016.02.005>.
2. Brierley AS, et al. Antarctic krill under sea ice: elevated abundance in a narrow band just south of ice edge. Science.

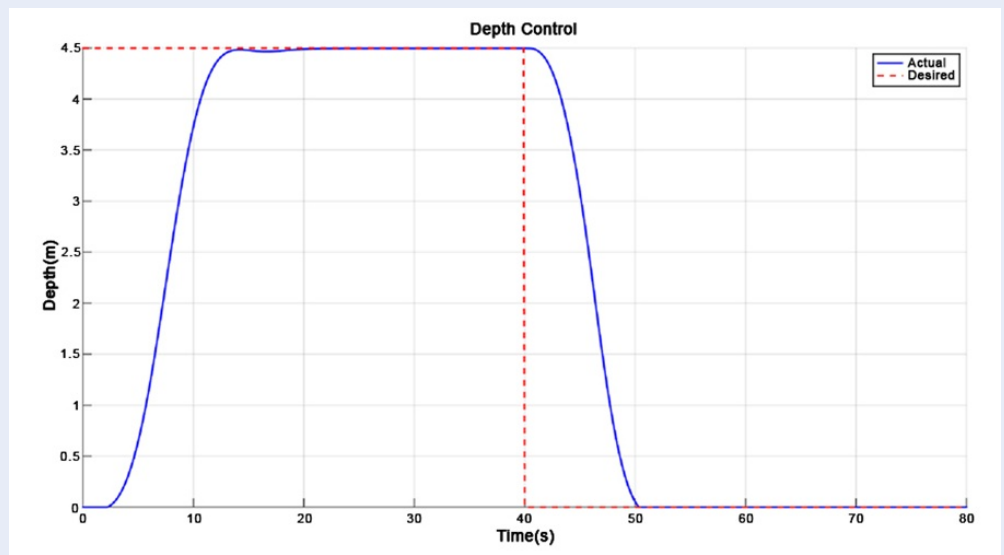


Hình 12: Đáp ứng điều khiển góc heading

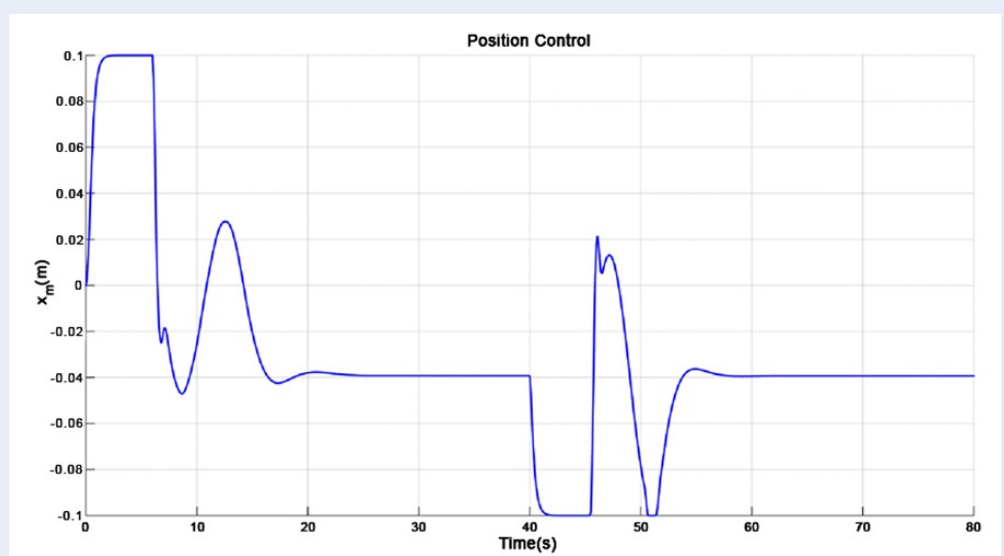


Hình 13: Tín hiệu điều khiển delta rudder

- 2002;295(5561):1890–1892. PMID: 11884754. Available from: <https://doi.org/10.1126/science.1068574>.
3. Kimball PW, et al. The ARTEMIS underice AUV docking system. *Journal of Field Robotics*. 2018;35(2):299–308. Available from: <https://doi.org/10.1002/rob.21740>.
 4. Yamagata H, et al. Hardware Design of Variable and Compact AUV "MONACA" for Under-Ice Survey of Antarctica". *IEEE Underwater Technology*. 2019; PMID: 30774588. Available from: <https://doi.org/10.1109/UT.2019.8734395>.
 5. Allen B, Stokey R, et al. REMUS: a small, low cost AUV; system description, field trials and performance results. *IEEE, Proceedings of Oceans*. 1997;97(2):994–1000.
 6. Jenkins SA, et al. Underwater glider system study. Technical report, Office of Naval Research. 2003;.
 7. Fossen TI. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley and Sons. 1994;.
 8. Presterio T. Verification of a Six-degree of Freedom Simulation Model for the REMUS Autonomous Underwater Vehicle", M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA. 2001; Available from: <https://doi.org/10.1575/1912/3040>.
 9. Healey AJ, Lienard D. Multivariable sliding mode control for autonomous diving and steering of unmanned underwater vehicles. *IEEE J Oceanic Eng*. 1993;18(3):327–339. Available from: <https://doi.org/10.1109/JOE.1993.236372>.
 10. Chuhuran CD. Obstacle Avoidance Control for The REMUS Autonomous Underwater Vehicle. Thesis. 2003;.



Hình 14: Đáp ứng điều khiển độ sâu



Hình 15: Tín hiệu điều khiển vị trí đối trọng

11. Fodrea LR. Obstacle Avoidance Control for The REMUS Autonomous Underwater Vehicle. Thesis. 2002; Available from: <https://doi.org/10.1115/OMAE2003-37116>.
12. Vuilmet C. High Order Sliding Mode Control Applied to a Heavyweight Torpedo. IEEE Conference on Control Applications, Toronto, Canada. 2005; p. 28 –31.

Design, simulation of AUV (VIAM-AUV1000) for research and rescue

Tran Ngoc Huy*, Nguyen Duc To, Huynh Thai Hoang



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Autonomous Underwater Vehicles have gained popularity for the last decades, especially a lot of AUVs were considered as the most suitable tool for the purpose of reducing risks of people in dangerous marine operations. This paper presents the preliminary results of the research on hardware design, the controller of an autonomous underwater vehicle model for the task of survey, search and rescue ... With a compact design, AUV can operate in limited spaces. Through a unique ducted propeller and rudder located at the aft, the AUV can perform horizontal motion. It can also control pitch angle and depth motion by an inside mass shifter mechanism (MSM) which changes the vehicle center of gravity. In addition, The AUV is integrated with powerful electronic system, high-precision sensors helping it carries on missions from simple to complex. The use of Sliding Mode Control (SMC) to independently design the heading and depth controllers for AUV demonstrates the steady stability of the controllers with the nonlinear model, uncertainty parameters and disturbances. Finally, the simulation results show that the SMC controllers can control the AUV nonlinear model to track the desired steering angle and depth with high accuracy and stability.

Key words: Autonomous Underwater Vehicle, Sliding Mode Control, Steering Control, Depth Control

Ho Chi Minh city University of Technology, VNU-HCM

Correspondence

Tran Ngoc Huy, Ho Chi Minh city University of Technology, VNU-HCM

Email: tnhuy@hcmut.edu.vn

History

- Received: 13-8-2019
- Accepted: 10-3-2021
- Published: 31-3-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v3iS12.547



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Huy T N, To N D, Hoang H T. Design, simulation of AUV (VIAM-AUV1000) for research and rescue. *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 3(S12):SI102-SI113.