

GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC ĐỊNH VỊ CHO PHƯƠNG TIỆN NGẦM KHÔNG NGƯỜI LÁI

Đào Thị Thúy*, Nguyễn Thanh Chinh*, Nguyễn Đức Minh*

* Viện Kỹ thuật Hải quân – Quân chủng Hải quân

* Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt: Định vị các đối tượng ngầm luôn là một thách thức lớn đối với nhà khoa học do sự phức tạp của môi trường, sự khác biệt của truyền sóng âm trong nước và sự khắc nghiệt của biển. Nghiên cứu, triển khai ứng dụng các giải pháp định vị ngầm đang là nhu cầu và xu thế phát triển cho các ứng dụng của lĩnh vực ngầm nói chung, đặc biệt là các hệ thống phương tiện không người lái (UUV). Bài báo này đề xuất một giải pháp để nâng cao độ chính xác định vị trên cơ sở hệ thống định vị đường cơ sở cực ngắn kết hợp với hệ thống dẫn đường quán tính và bộ lọc Kalman mở rộng. Kết quả nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy độ chính xác định vị bảo đảm cho các ứng dụng cơ bản và chuyên sâu. Các kết quả thực nghiệm cho mẫu phương tiện ngầm không người lái thể hiện sự hoạt động ổn định khi áp dụng giải pháp mới đề xuất này trên các dạng quỹ đạo khác nhau, ở các độ sâu và chế độ hành trình khác nhau. Giải pháp bảo đảm làm việc tốt trên UUV thử nghiệm, đạt sai số trong giới hạn với tổng thời gian hành trình hơn 2 giờ, độ sâu cực đại 104 m với các dạng quỹ đạo chuyển động thay đổi luân phiên giữa tuyến tính và phi tuyến.

Từ khóa: Định vị ngầm, định vị cơ sở cực ngắn (USBL), Bộ lọc Kalman (KF), phương tiện ngầm không người lái (UUV).

I. MỞ ĐẦU

Phương tiện ngầm không người lái (Underwater Unmanned Vehicle: UUV) là thiết bị được ứng dụng rộng rãi trong các nhiệm vụ thăm dò, giám sát, thu thập dữ liệu và nghiên cứu môi trường biển [1]. Tuy nhiên, việc khai thác và vận hành hiệu quả UUV lại là một thách thức lớn, nhất là việc định vị, giám sát, điều khiển quỹ đạo của chúng trong quá trình hoạt động [2]. Ở trên mặt đất và mặt nước, các hệ thống định vị vệ tinh (GPS, Glonass, Galileo, BeiDou,...) được ứng dụng rộng rãi trong định vị các đối tượng. Nhưng ở trong môi trường nước, cần phải có các giải pháp định vị riêng cho các đối tượng hoạt động ngầm, nhất là các hệ thống UUV. Thông thường, trên UUV được

trang bị các hệ thống dẫn đường quán tính (Inertial Measurement Unit: IMU) hỗ trợ định vị UUV trong quá trình hoạt động. Mặc dù vậy, năng lực của IMU và các hệ thống phụ trợ vẫn không thể bảo đảm được độ chính xác cho UUV khi chúng hoạt động trong thời gian dài [3]. Các hệ thống định vị thủy âm ngầm được đề xuất để đáp ứng cho những nhu cầu này. Theo đó, nếu phân loại theo phạm vi bố trí các cảm biến, các hệ thống định vị ngầm phổ biến là: hệ thống định vị đường cơ sở dài (Long Baseline - LBL) [4] và hệ thống định vị đường cơ sở ngắn (Short Baseline - SBL) và cực ngắn (Ultra-Short Baseline - USBL) [5-7]. Với các ứng dụng mang tính cơ động và cần triển khai nhanh, các hệ thống USBL chiếm ưu thế hơn do cấu trúc không quá phức tạp và tính cơ động cao. Hơn nữa, mặc dù có độ chính xác không tốt bằng các hệ thống LBL nhưng các hệ thống USBL cũng bảo đảm được cho nhiều ứng dụng [8]. Bên cạnh đó, bộ lọc Kalman với khả năng xử lý quỹ đạo liên tục đối với các đối tượng chuyển động đã và đang được áp dụng ngày càng rộng rãi [9].

Bài báo này trình bày một giải pháp nâng cao độ chính xác định vị UUV dựa trên cơ sở kết hợp IMU, USBL và bộ lọc Kalman mở rộng (Extended Kalman Filter: EKF).

Trên cơ sở đó, phần còn lại của bài báo được tổ chức gồm các nội dung như sau: phần II mô hình hệ thống sẽ xây dựng mô hình bài toán và nêu vấn đề cần giải quyết. Phần III thuyết minh về giải pháp được đưa ra. Phần IV trình bày một số kết quả mô phỏng, thử nghiệm và thảo luận, cuối cùng là phần kết luận.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

A. Định vị thủy âm bằng hệ thống định vị đường cơ sở cực ngắn kết hợp dẫn đường quán tính

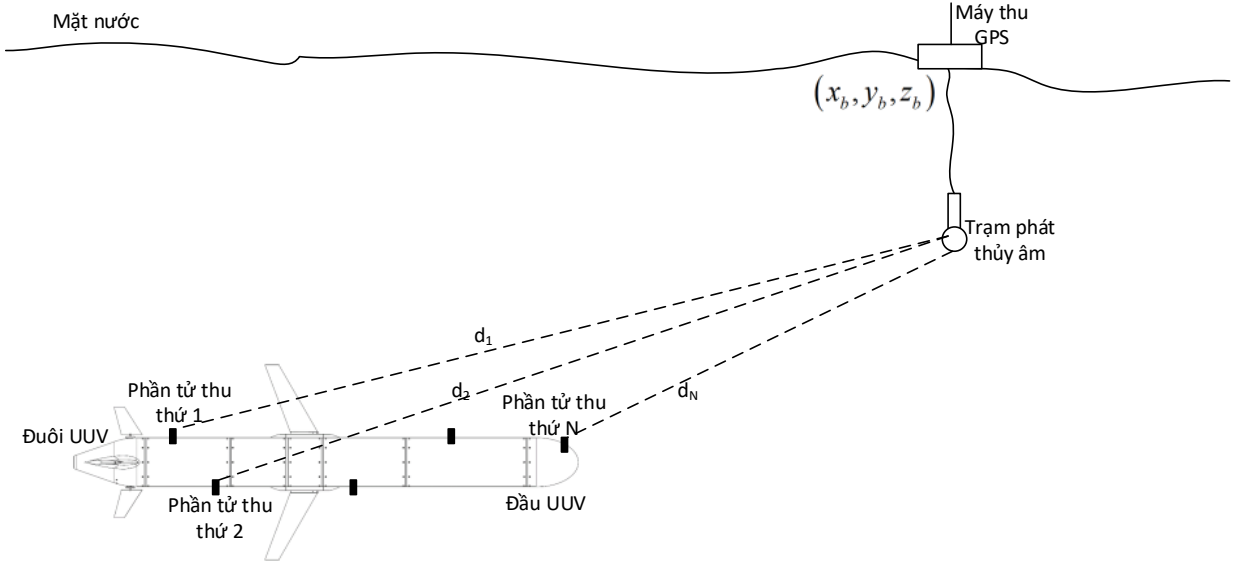
Trong các hệ thống định vị và dẫn đường, có hai hệ tọa độ cần phải xác định. Hệ tọa độ cục bộ gắn với UUV và hệ tọa độ chung là hệ tọa độ cố định gắn với đất (gọi là hệ tọa độ chuẩn). Hệ tọa độ chuẩn được dùng để tham chiếu cho cả UUV và trạm phát tín hiệu thủy âm.

Giả thiết có N phần tử thu đặt trên thân của UUV tại các vị trí xác định (không đồng thời cùng nằm trên đường thẳng). Trạm phát tín hiệu thủy âm đặt cố định tại một điểm xác định trong khu vực lân cận, tọa độ của trạm trong hệ

Tác giả liên lạc: Nguyễn Đức Minh

Email: minhnd@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 12/2/2025, chỉnh sửa: 12/4/2025, chấp nhận đăng: 12/5/2025.



Hình 1. Mô hình hệ thống định vị thủy âm đường cơ sở cực ngắn cho phương tiện ngầm không người lái

tọa độ chuẩn là (x_b, y_b, z_b) đã biết. Khi đó, vị trí của trạm được xác định bởi:

$$\mathbf{p}_b = [x_b, y_b, z_b]^T \quad (1)$$

Tọa độ $\mathbf{p}_b$ sẽ được nạp cho UAV trước khi triển khai hành trình hoặc được cập nhật liên tục thông qua kênh truyền thông, và được coi là giá trị tham chiếu để xác định vị trí của UAV trong quá trình hoạt động.

Giả thiết UAV có tọa độ $\mathbf{p}_u$ trong hệ tọa độ chuẩn, các phần tử thu có vị trí tương đối $\mathbf{p}_i^u$, $i = 1, N$ (là vị trí tương đối trên thân của UAV, trong hệ tọa độ gắn với UAV). Khi đó, vị trí của phần tử thu thứ i trong hệ tọa độ chuẩn được xác định bởi:

$$\mathbf{p}_i = \mathbf{p}_u + \mathbf{R}_{bu} \mathbf{p}_i^u \quad (2)$$

Trong đó, $\mathbf{R}_{bu}$ là ma trận quay, dùng để chuyển đổi tọa độ cục bộ trên thân UAV về tọa độ chuẩn.

Mô hình mô hình hệ thống được thể hiện trên Hình 1.

Nếu UAV không được trang bị IMU thì $\mathbf{R}_{bu} = \mathbf{I}$, có nghĩa là coi như tư thế UAV không đổi trong quá trình chuyển động. Tuy nhiên, giả thiết này sẽ làm cho sai số định vị lớn do thực tế thì luôn có những dao động của UAV khi hoạt động. Nếu UAV có trang bị hệ thống IMU, lúc đó có thể tính:

$$\mathbf{R}_{bu} = \mathbf{R}_z(\psi) \cdot \mathbf{R}_y(\theta) \cdot \mathbf{R}_x(\phi) \quad (3)$$

Trong đó, $\mathbf{R}_z(\psi)$, $\mathbf{R}_y(\theta)$, $\mathbf{R}_x(\phi)$ là các ma trận quay tương ứng theo các trục tọa độ Oz, Oy, Ox. Các ma trận này tương ứng được xác định là:

$$\mathbf{R}_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{R}_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{R}_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (6)$$

Mục tiêu của bài toán định vị thủy âm là tìm đại lượng $\mathbf{p}_u$ của UAV.

Để giải quyết bài toán này, có nhiều giải pháp được đề xuất [2]. Tuy nhiên, giải pháp hiệu thời gian đến (time difference of arrival: TDOA) vẫn là một giải pháp khả dĩ nhất. Theo đó, giải pháp này được triển khai như sau:

Thời gian truyền tín hiệu từ trạm phát đến phần tử thu thứ i được tính theo:

$$t_i = \frac{d_i}{c} = \frac{1}{c} \cdot \|\mathbf{p}_b - \mathbf{p}_i\| = \frac{1}{c} \cdot \|\mathbf{p}_b - (\mathbf{p}_u + \mathbf{R}_{bu} \mathbf{p}_i^u)\| \quad (7)$$

Trong đó, c là tốc độ lan truyền sóng âm trong nước.

Sự chênh lệch thời gian của tín hiệu thủy âm truyền từ trạm phát tín hiệu đến hai phần tử thu i và j về lý thuyết sẽ được tính:

$$\Delta t_{ij}^{lt} = \frac{d_i - d_j}{c} \quad (8)$$

Mặt khác, sự chênh lệch thời gian là một đại lượng có thể đo và ước lượng trong quá trình xử lý tín hiệu trên UAV, gọi là Δt_{ij}^{est} . Lúc đó, rút ra được phương trình dạng:

$$f_{ij}(\mathbf{p}_u) = \Delta t_{ij}^{lt} - \Delta t_{ij}^{est} = 0 \quad (9)$$

Thiết lập hệ phương trình với từng cặp phần tử thu đặt trên UAV sẽ được hệ phương trình phi tuyến theo biến $\mathbf{p}_u$. Giải hệ phương trình này sẽ tìm được vị trí của UAV trong hệ tọa độ chuẩn.

Nội tại hệ thống USBL chỉ bảo đảm thu thập, xử lý và đưa ra dữ liệu ở những thời điểm rời rạc, dễ bị nhiễu do ảnh hưởng truyền sóng. Trong khi đó, IMU bảo đảm đưa ra dữ liệu liên tục, nhưng lại bị trôi và có sai số lớn sau thời gian dài hoạt động. Việc kết hợp USBL và IMU giúp khắc phục nhược điểm của từng hệ thống riêng lẻ. USBL cung cấp vị trí tuyệt đối, còn IMU đảm bảo định vị liên tục và làm mịn dữ liệu. Bộ lọc Kalman là một giải pháp tốt cho sự phối hợp đồng bộ làm việc giữa hai kênh này, đưa ra kết quả tốt nhất ở thời điểm xem xét.

B. Bộ lọc Kalman mở rộng

Khi kết hợp giữa USBL và IMU, độ chính xác hệ thống định vị UUV đã được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, nếu UUV chuyển động liên tục và nhất là có quỹ đạo chuyển động phi tuyến, thì cần phải có giải pháp bổ sung để bảo đảm yêu cầu về độ chính xác của bài toán định vị. Bộ lọc Kalman là lựa chọn hàng đầu cho giải pháp này. Bộ lọc này là một kỹ thuật ước lượng tối ưu, sử dụng chuỗi các phép đo theo thời gian nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu và

Ma trận hiệp phương sai $\mathbf{P}$ đóng vai trò quan trọng trong việc xác định sai số khi ước lượng các biến trạng thái. Sai số này cũng cần được dự đoán khi muốn dự đoán trạng thái hệ thống. Dựa trên giả định các ước lượng trạng thái là biến ngẫu nhiên, bộ lọc Kalman ngoại suy phương sai ước lượng ở thời điểm tiếp theo như sau:

$$\mathbf{P}_{n+1,n} = \mathbf{F}\mathbf{P}_{n,n}\mathbf{F}^T + \mathbf{Q} \quad (16)$$

Trong đó $\mathbf{P}_{n,n}$ là ma trận hiệp phương sai của ước lượng trạng thái hiện tại, $\mathbf{P}_{n+1,n}$ là ma trận hiệp phương sai của ước lượng trạng thái tiếp theo, $\mathbf{Q}$ là nhiễu quá trình.

Bộ lọc EKF sẽ ước lượng trạng thái tối ưu dựa vào mô hình dữ liệu đầu vào dự đoán của INS và USBL. Tóm tắt mô hình toán học và tiến trình xử lý của EKF như trên bảng 1. Về cơ bản, EKF tuân theo các bước của bộ lọc Kalman thông thường, nhưng thay đổi trong việc sử dụng ma trận quan sát và ma trận chuyển trạng thái dựa trên các đạo hàm của các hàm phi tuyến tương ứng.

Bảng 1. Phương trình bộ lọc Kalman mở rộng.

Dự đoán	Phương trình	Giai đoạn
	$\hat{\mathbf{x}}_{n+1,n} = \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}_{n,n}) + \mathbf{G}\mathbf{u}_n$ (10)	Ngoại suy trạng thái
Cập nhật	$\mathbf{P}_{n+1,n} = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{P}_{n,n} \left(\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right)^T + \mathbf{Q}$ (11)	Ngoại suy phương sai
	$\hat{\mathbf{x}}_{n,n} = \hat{\mathbf{x}}_{n,n-1} + \mathbf{K}_n \times (\mathbf{z}_n - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_{n,n-1}))$ (12)	Cập nhật trạng thái
	$\mathbf{P}_{n,n} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{K}_n \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} \right) \mathbf{P}_{n,n-1} \times \left(\mathbf{I} - \mathbf{K}_n \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} \right)^T + \mathbf{K}_n \mathbf{R}_n \mathbf{K}_n^T$ (13)	Cập nhật hiệp phương sai
	$\mathbf{K}_n = \mathbf{P}_{n,n-1} \left(\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} \right)^T \times (\mathbf{H}\mathbf{P}_{n,n-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{R}_n)^{-1}$ (14)	Hệ số lọc Kalman

sai số đo lường, từ đó cung cấp ước lượng trạng thái chính xác hơn so với khi chỉ dùng từng phép đo riêng lẻ. Tuy nhiên, trong các hệ thống phi tuyến, bộ lọc Kalman truyền thống thường gặp hạn chế trong khả năng xử lý và hiệu quả ước lượng không cao. Nhằm khắc phục hạn chế của bộ lọc Kalman trong môi trường phi tuyến, bộ lọc Kalman mở rộng (EKF - Extended Kalman Filter) đã được phát triển bằng cách tuyến tính hóa các hàm trạng thái phi tuyến trong phương trình chuyển động và quan sát [10].

Phương trình động lực của hệ thống đóng vai trò là công cụ chính để dự đoán trạng thái của hệ thống ở thời điểm kế tiếp, dựa trên trạng thái hiện tại. Cụ thể, phương trình này mô tả sự thay đổi của trạng thái theo thời gian, được biểu diễn dưới dạng tuyến tính.

$$\hat{\mathbf{x}}_{n+1,n} = \mathbf{F}\hat{\mathbf{x}}_{n,n} + \mathbf{G}\mathbf{u}_n + \mathbf{w}_n \quad (15)$$

trong đó:

$\hat{\mathbf{x}}_{n+1,n}$: vector trạng thái dự đoán thời ở điểm $n+1$;

$\hat{\mathbf{x}}_{n,n}$: vector trạng thái ước lượng ở thời điểm n .

$\mathbf{u}_n$: biến điều khiển,

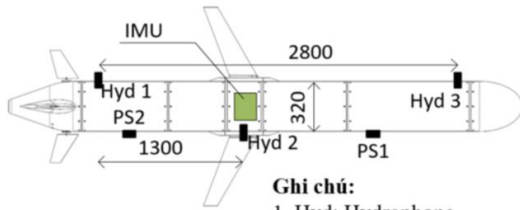
$\mathbf{F}$: ma trận chuyển trạng thái

$\mathbf{G}$: ma trận điều khiển

$\mathbf{w}_n$: nhiễu quá trình, một vector ngẫu nhiên

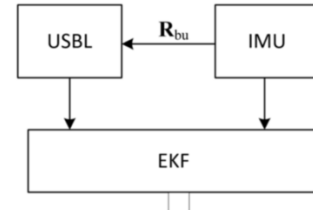
III. GIẢI PHÁP KẾT HỢP ĐỊNH VỊ ĐƯỜNG CƠ SỞ NGẮN, DẪN ĐƯỜNG QUẢN TÍNH VÀ BỘ LỌC KALMAN MỞ RỘNG CHO ĐỊNH VỊ PHƯƠNG TIỆN NGẦM KHÔNG NGƯỜI LÁI

Sử dụng mô hình UUV có dạng trụ tròn, có kích thước $\Phi = 355$; $L = 3500$ được trang bị hệ thống dẫn đường quán tính Xblue Phins C3. Với hệ trục tọa độ cục bộ Oxyz: tâm O gắn với trọng tâm của UUV (nằm trên mặt phẳng dọc tâm, cách mũi đuôi: 1866 mm, cách mép biên đáy: 170 mm); trục Oy hướng thẳng trục dọc của UUV, chiều từ đuôi hướng đến đầu; trục Ox vuông góc với trục Oy trong mặt phẳng ngang; trục Oz vuông góc với mặt phẳng xOy. Đồng thời, trên UUV được bố trí 03 phần tử thu (hydrophone) tạo thành một tam giác. Tọa độ trong hệ Oxyz của các phần tử thu được xác định tại: $h_1(160, -1300, 0)$, $h_2(-160, 0, 0)$, $h_3(160, 1500, 0)$. Thêm vào đó, trên UUV còn được bố trí 02 cảm biến đo sâu để lấy thông tin về độ sâu (cung cấp tọa độ Oz).



Ghi chú:
1. Hyd: Hydrophone
2. Kích thước tính theo mm
3. IMU: Hệ thống dẫn đường quán tính
4. PS: Cảm biến áp suất, xác định độ sâu

a) Bố trí các thành phần hệ thống định vị trên UAV



b) Sơ đồ giải pháp định vị đề xuất

Hình 2. Bố trí các thành phần hệ thống định vị bằng USBL trên UAV chuyên dụng

Sơ đồ bố trí IMU với các phân tử thu (Hyd) và cảm biến độ sâu (PS) của được minh họa trên Hình 2a. Sơ đồ giải pháp định vị đề xuất thể hiện trên hình 2b.

Con quay quang Phins C3 của Hãng Xblue có thể nhận và truyền dữ liệu thông qua năm đường giao tiếp nối tiếp không đồng bộ, cấu hình được người dùng thiết đặt. Bên cạnh đó, con quay này cũng cung cấp giao thức liên kết Ethernet 10/100 Mb/s để kiểm soát, cài đặt, giao tiếp dữ liệu qua máy tính.

Máy tính nhúng được trang bị trên khoang để thực hiện giải pháp kết hợp USBL và IMU sau đó cấp đến bộ lọc Kalman mở rộng. Hệ thống chấp hành Auto Pilot (hãng Dynaustic) dùng để điều khiển động cơ và các bánh lái UAV khi hành trình.

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG, THỬ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Bài báo sử dụng công cụ Matlab R2022b để tạo dữ liệu và đánh giá sự làm việc của thuật toán với dữ liệu mô phỏng cũng như dữ liệu thử nghiệm.

A. Kết quả mô phỏng

Dữ liệu các thông số mô phỏng được giả thiết như sau:

a) Dữ liệu chuyển động của UAV:

- Thời gian khảo sát 500 s;
- Chu kỳ cập nhật thông tin 1 s;
- Tốc độ thực của UAV:

$$v = [v_x \ v_y \ v_z] = [2 \ 4 \ -0.1] \text{ m/s}.$$

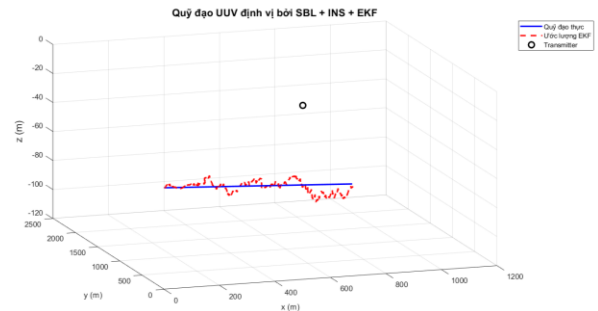
- Giả thiết UAV chuyển động thẳng đều.

b) Trạm phát thủy âm: Ở thời điểm ban đầu UAV cách trạm phát 500 m.

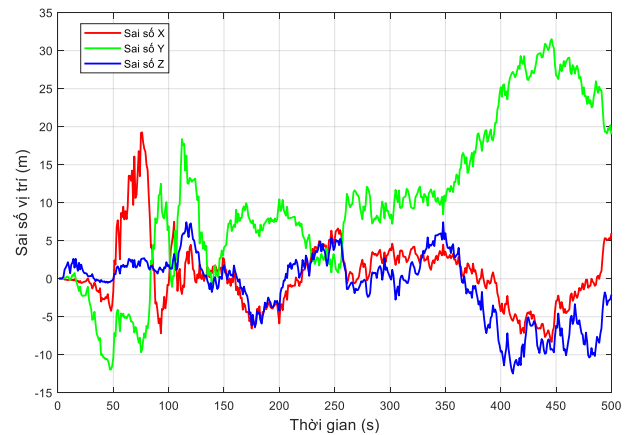
c) Tốc độ truyền âm thanh trong nước: 1500 m/s

Kết quả mô phỏng bám sát quỹ đạo của UAV thể hiện trên hình 3. Theo đó, với quỹ đạo đã đặt, UAV chuyển động ổn định và tuyến tính, trong khi đó hệ thống định vị, giám sát quỹ đạo có thể đưa ra một số sai số. Nhưng xét cả quá trình, các dữ liệu tính toán vẫn hội tụ về quỹ đạo thực với các sai số chấp nhận được. Khảo sát sai số theo các trục được minh họa trên Hình 4.

Kết quả cho thấy, sai số bình phương trung bình: $\sigma_x^2 = 4.46 \text{ m}$; $\sigma_y^2 = 14.64 \text{ m}$; $\sigma_z^2 = 4.51 \text{ m}$, sai số lớn nhất theo trục Oy, là trục mà UAV có tốc độ lớn nhất. Tuy nhiên, sai số tổng thể vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với các ứng dụng thực tế.



Hình 3. Mô phỏng quỹ đạo thực và quỹ đạo được bám sát bởi hệ thống định vị



Hình 4. Sai số vị trí theo thời gian

Trên cơ sở khảo sát mô phỏng về quỹ đạo, về sai số và các đánh giá khác liên quan đến khả năng chịu lực, ổn định, kín nước... UAV đặc thù được phép đưa ra thử nghiệm trên biển. Một số kết quả chính được trình bày ở phần tiếp theo.

B. Kết quả thử nghiệm trên biển

UUV được thử nghiệm tại khu vực biển Cam Ranh - Khánh Hòa, bắt đầu hành trình từ tọa độ $P_0(11,82688N;109,34840E)$ và kết thúc ở tọa độ $P_{end}(11,79444N;109,34893E)$. Kế hoạch hành trình của UUV được đặt theo lộ trình gồm 15 điểm với mục đích kiểm tra: thời gian, tốc độ, khả năng hành trình theo kết hoạch đặt trước, đánh giá sai số bám sát quỹ đạo và một số mục đích chuyên dụng khác. Tọa độ của các điểm hành trình (WP) được thiết đặt trước theo bảng 2.

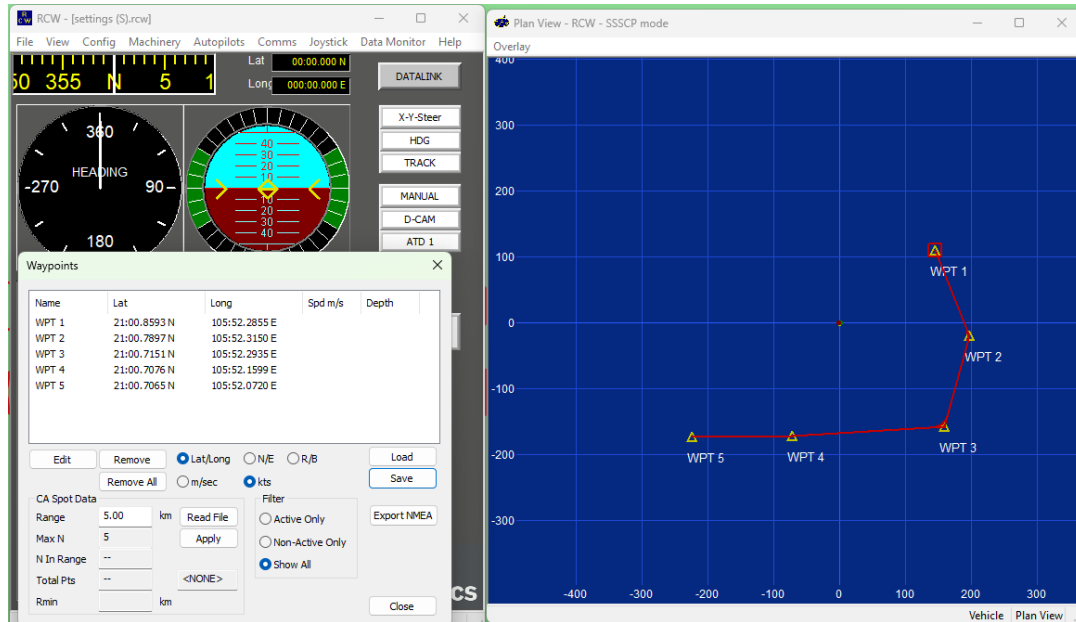
Bảng 2. Các điểm hành trình đặt trước cho UUV

TT	Vĩ độ (N)	Kinh độ (E)	Sâu (m)	Dạng quỹ đạo
1	11,82688	109,34840	0,0	Thẳng
2	11,82444	109,35021	8,1	Thẳng
3	11,81814	109,34602	48,2	Thẳng
4	11,80452	109,34461	32,2	Thẳng
5	11,79425	109,31614	9,0	Bậc 2
6	11,81691	109,34543	9,4	Thẳng
7	11,81693	109,35204	8,8	Thẳng
8	11,81240	109,35359	9,0	Thẳng
9	11,80807	109,34939	25,3	Bậc 2
10	11,80260	109,34809	8,0	Thẳng

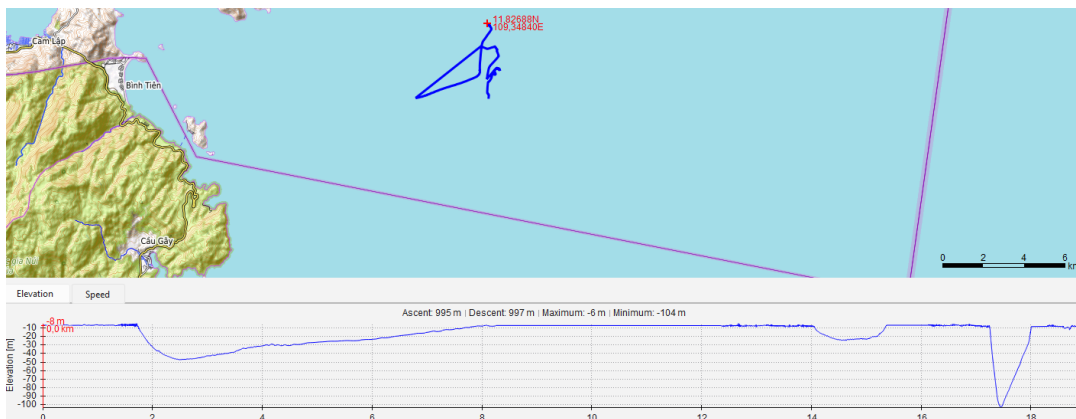
TT	Vĩ độ (N)	Kinh độ (E)	Sâu (m)	Dạng quỹ đạo
11	11,80743	109,35246	8,1	Thẳng
12	11,80452	109,35216	8,0	Thẳng
13	11,80493	109,35057	104,0	Bậc 3
14	11,80120	109,34858	8,0	Thẳng
15	11,79640	109,34895	0,0	Thẳng

Nạp dữ liệu hành trình cho UUV được thực hiện thông qua giao diện phần mềm RCW, là phần mềm đi kèm với bộ điều khiển lái tự động (Auto pilot) của hãng Dynaustic. Giao diện phần mềm và tùy chọn nạp dữ liệu trên Hình 5. Có thể thực hiện hiệu chỉnh và nạp thông số cho từng điểm hành trình (WP) hoặc nhập dữ liệu các điểm hành trình trong file và nạp file này cho hệ thống.

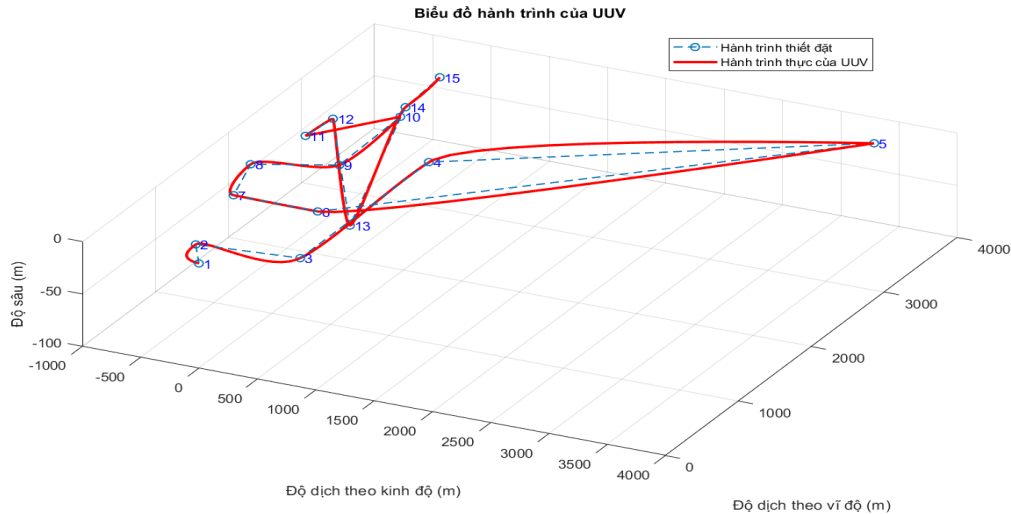
Hành trình của UUV và biểu đồ định vị, bám sát độ sâu được thể hiện trên Hình 6. Biểu đồ chi tiết hành trình của



Hình 5. Giao diện phần mềm RCW để nạp dữ liệu quỹ đạo cho UUV



Hình 6. Biểu đồ theo dõi định vị và bám sát độ sâu của UUV



Hình 7. Chi tiết hành trình UUV theo kế hoạch được lập

UUV bám sát các điểm kế hoạch hành trình được thể hiện trên hình 7.

Thông số biểu diễn quỹ đạo bậc 2 và bậc 3 được nạp trực tiếp trong bảng điều khiển tự động lái của UUV. Trên hình 6, phần trên thể hiện Hải đồ vùng biển thử nghiệm và phần dưới thể hiện biểu đồ độ sâu, cự ly hành trình theo thời gian.

Theo đó, độ sâu lớn nhất mà UUV đã đạt đến trong hành trình là 104 m; tổng thời gian thử nghiệm 2 giờ 05 phút. Đến thời điểm kết thúc thử nghiệm, UUV vẫn còn khả năng tiếp tục hoạt động. Hơn nữa, các điểm hành trình thực tế của UUV đã bám sát đủ theo dạng quỹ đạo đã thiết lập.

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu tổng quan về các giải pháp định vị thủy âm ngầm, nhất là các giải pháp định vị cho phương tiện ngầm không người lái. Trên cơ sở phân tích ưu, nhược điểm của các phương pháp đã được công bố, bài báo đề xuất giải pháp kết hợp giữa định vị đường cơ sở cực ngắn, dẫn đường quán tính và bộ lọc Kalman mở rộng. Mô hình toán học, dữ liệu mô phỏng và dữ liệu thử nghiệm cùng thể hiện hiệu quả và sự cải thiện khi áp dụng cho hệ thống UUV đặc thù. Hệ thống đã được thử nghiệm thực tế trên vùng biển của Việt Nam, hành trình tổng thời gian 2 giờ 05 phút, đạt độ sâu cực đại 104 m và có thay đổi dạng quỹ đạo hành trình: tuyến tính, bậc 2 và bậc 3. UUV đã tự dẫn đường và điều khiển trên cơ sở giải pháp thiết lập, đi đủ thời gian và 15 điểm hành trình đã đặt, ghi lại thông số vận động và kết quả điều khiển. Như vậy, giải pháp mới đề xuất có nhiều ưu điểm, có thể nghiên cứu và tiếp tục phát triển cho các UUV đang và sẽ được chế tạo nhằm mục đích chuyên dụng và đa dụng.

REFERENCES

- [1]. Wibisono, A., et al., *A survey on unmanned underwater vehicles: Challenges, enabling technologies, and future research directions*. 2023. 23(17): p. 7321.
- [2]. Alexandris, C., P. Papageorgas, and D.J.A.S. Piromalis, *Positioning Systems for Unmanned Underwater Vehicles: A Comprehensive Review*. 2024. 14(21): p. 9671.

- [3]. D'Amato, E., et al. *UKF-based fault detection and isolation algorithm for IMU sensors of Unmanned Underwater Vehicles*. in *2021 International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea)*. 2021. IEEE.
- [4]. Otero, P., A. Hernández-Romero, and M.-Á.J.a.p.a. Luque-Nieto, *LBL System for Underwater Acoustic Positioning: Concept and Equations*. 2022.
- [5]. Zhang, L., T. Zhang, and H.J.I.T.o.I.T.S. Wei, *A novel robust inertial and ultra-short baseline integrated navigation strategy under the influence of motion effect*. 2022. 23(10): p. 19323-19334.
- [6]. Liu, S., et al., *A study on a novel inverted ultra-short baseline positioning system and phase difference estimation*. 2023. 11(5): p. 952.
- [7]. Liu, F., et al., *Time-difference-of-arrival-based localization methods of underwater mobile nodes using multiple surface beacons*. 2021. 9: p. 31712-31725.
- [8]. Chen, H., et al., *A High-Precision Real-Time Distance Difference Localization Algorithm Based on Long Baseline Measurement*. 2024. 12(10): p. 1724.
- [9]. Becker, A., *Kalman filter from the ground up*. 2023: KilmanFilter. NET.
- [10]. Einicke, G.A. and L.B.J.I.t.o.s.p. White, *Robust extended Kalman filtering*. 1999. 47(9): p. 2596-2599.

PROPOSAL FOR IMPROVING POSITIONING ACCURACY OF UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

Abstract—Accurate underwater localization is critical for the operation of Unmanned Underwater Vehicles (UUVs), yet remains a challenge due to environmental complexity and the variability of acoustic wave propagation. This paper proposes a hybrid localization system integrating an Ultra-Short Baseline (USBL) acoustic positioning module with an Inertial Navigation System (INS) using an Extended Kalman Filter (EKF) for improved accuracy and robustness. Simulation results show that the system closely tracks reference trajectories under harsh marine conditions. Field experiments conducted on a prototype UUV confirm stable performance across various depths, motion patterns, and

mission profiles. The system maintains localization accuracy within acceptable error margins during missions exceeding two hours and reaching depths up to 104 meters. These findings demonstrate the feasibility and reliability of the proposed approach for real-world underwater navigation tasks.

Keywords—Underwater localization, Unmanned Underwater Vehicles (UUVs), Ultra-Short Baseline (USBL), Inertial Navigation System (INS), Extended Kalman Filter (EKF).



Đào Thị Thủy tốt nghiệp đại học chuyên ngành thông tin năm 2012 tại Đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn. Nhận chức danh Nghiên cứu viên năm 2014. Hiện đang là học viên đào tạo thạc sĩ khóa 2023.2 tại Đại học Hàng Hải Việt Nam, Nghiên cứu viên ngành thông tin vô tuyến tại Viện Kỹ thuật Hải quân.

Lĩnh vực nghiên cứu chính: Lý thuyết xử lý tín hiệu, mạng điện tử viễn thông, thông tin liên lạc vô tuyến (tàu mặt nước và tàu ngầm), định vị thủy âm.



Nguyễn Thanh Chính tốt nghiệp đại học chuyên ngành ra đa năm 2003 và tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật ra đa – dẫn đường năm 2011 tại Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn. Nhận chức danh Nghiên cứu viên chính năm 2015 khi đang công tác tại Viện Kỹ thuật Hải quân. Hiện đang là Nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật ra đa – dẫn đường tại Khoa vô tuyến - điện tử, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn.

Lĩnh vực nghiên cứu chính: Lý thuyết xử lý tín hiệu, bài toán phát hiện và định hướng trong sonar, radar sử dụng mạng ăng ten.



Nguyễn Đức Minh tốt nghiệp đại học chuyên ngành Vật lý-Vô tuyến năm 2000 tại Đại học Khoa học tự nhiên- Đại học Quốc gia Hà Nội. Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Công nghệ Điện tử - Viễn thông năm 2006 tại Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội. Nhận bằng tiến sĩ kỹ thuật ngành Kỹ thuật Ra đa-Dẫn đường năm 2019 tại Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hiện

đang giảng dạy tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.
Lĩnh vực nghiên cứu: Lý thuyết phát hiện trong radar nhiều vị trí, xử lý tín hiệu, điện tử máy tính.