

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG DẪN ĐƯỜNG THEO ĐỊNH VỊ THỦY ÂM
TRỢ GIÚP HỆ THỐNG DẪN ĐƯỜNG QUÁN TÍNH**
THE APPLICATION OF THE ACOUSTIC POSITIONING SYSTEM TO AID THE
INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

NGUYỄN QUANG HUY^{1*}, NGUYỄN VIỆT THÀNH², PHẠM XUÂN DƯƠNG³

¹NCS Ngành Khoa học Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Trung tâm Huấn luyện thuyền viên, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

³Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: huyhanghai@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Đối với các phương tiện ngầm, khi hành trình ngầm dưới nước chủ yếu dùng hệ thống dẫn đường quán tính để xác định vị trí, phục vụ mục đích dẫn đường. Ưu điểm của hệ thống dẫn đường quán tính là hoạt động tự trị, không cần các nguồn thông tin tham khảo bên ngoài. Tuy nhiên, sau một thời gian, tích lũy sai số của hệ thống dẫn đường quán tính lớn dần và không đủ độ tin cậy để dẫn đường và cần cập nhật lại vị trí. Bài báo đề xuất phương án xây dựng các trạm phát thủy âm phục vụ định vị phương tiện ngầm, từ đó cung cấp thông tin vị trí cho hệ thống dẫn đường quán tính để nâng cao chất lượng dẫn đường của hệ thống dẫn đường quán tính.

Từ khóa: Thiết bị ngầm, hệ thống quán tính, trạm thủy âm.

Abstract

During the submerging phase of operation, underwater vehicles rely mostly on inertial navigation system (INS) for positioning and navigating. The advantages of an INS are its autonomy and its independence from any other external sources of reference information. However, after a period of time, the accumulated error of the inertial navigation system tends to grow significantly and needs updating. This study focuses on a plan of constructing an acoustics station network for enhancing the position accuracy of underwater vehicles.

Keywords: Underwater vehicles, INS, acoustics stations.

1. Giới thiệu

Hệ thống dẫn đường vệ tinh GPS (Global Position System) của Mỹ hiện nay được sử dụng rộng rãi cho nhiều mục đích khác nhau, như ứng dụng trên các thiết bị di động, hoặc hỗ trợ định vị trong quá trình hoạt động cho các thiết bị như: Tàu mặt nước, máy bay, tên lửa, bom hành trình, hay thiết bị bay không người lái,... Đối với hệ thống GPS, tín hiệu vô tuyến được thu phát bởi các vệ tinh GPS, ngoài ra GPS còn có các hệ thống khác có thể làm việc ở mọi địa điểm và góc độ trên bề mặt Trái đất, tuy nhiên chúng không thể xuyên qua bề mặt nước.

Đặc thù hoạt động của phương tiện ngầm là hoạt động dưới mặt nước, do đó chúng cần có phương pháp dẫn đường riêng. Hệ thống dẫn đường quán tính INS (Inertial Navigation System) đáp ứng được yêu cầu đó với việc hoạt động tự trị, không cần nguồn tham khảo thông tin bên ngoài. Sau khi được cung cấp vị trí đầu tiên, nhờ các cảm biến con quay và gia tốc kế, nó liên tục cung cấp các thông tin phục vụ dẫn đường cho phương tiện ngầm như hướng đi, vận tốc, vị trí và tư thế của phương tiện. Tuy nhiên, theo thời gian do sự trôi con quay và thuật toán của hệ thống dẫn đường quán tính là tích phân 2 lần nên dẫn đến sai số lớn và phải cập nhật lại vị trí ban đầu [4]. Bản chất của hệ thống dẫn đường quán tính là dẫn đường dự tính, do đó nó cần sử dụng một phương pháp quan trắc hiệu quả để cập nhật và bù trừ các sai lệch. Hiện nay có rất nhiều phương án kết hợp để giảm sai số cho hệ thống dẫn đường quán tính như kết hợp INS/ GPS, INS/ DVL (kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và máy tính đường tuyệt đối),... Phương án kết hợp giữa INS/ GPS được đánh giá là hiệu quả nhất hiện nay. Tuy nhiên khi phương tiện ngầm hành trình ngầm dưới nước, chúng không thể nhận tín hiệu từ hệ thống GPS.

Do vậy, để các tàu ngầm hoặc các thiết bị ngầm sử dụng được tín hiệu GPS cho dẫn đường hoặc định vị thì cần thiết phải nhô lên khỏi mặt nước theo chu kỳ hoặc ở những thời điểm cần thiết. Việc này có thể là bình thường đối với các tàu ngầm hoặc thiết bị ngầm phục vụ nghiên cứu trong các lĩnh vực dân sự, còn đối với các tàu ngầm hoặc thiết bị ngầm quân sự điều này lại là không thể, bởi vì việc đảm bảo yếu tố bí mật, bất ngờ, hoặc yếu tố an toàn trong tác chiến,... Vì vậy, vấn đề đặt ra đối với các nhà khoa học là cần phải nghiên cứu, thiết kế, chế tạo Hệ thống định vị cho dẫn đường trong lòng đại dương là điều cấp thiết trong chiến tranh hiện đại. Hệ thống định vị thủy âm được nghiên cứu và phát triển từ những năm 1960 tại Mỹ. Hệ thống này ra đời đã đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định vị trí cho các thiết bị dưới nước và trong các công trình dầu khí ngoài khơi.

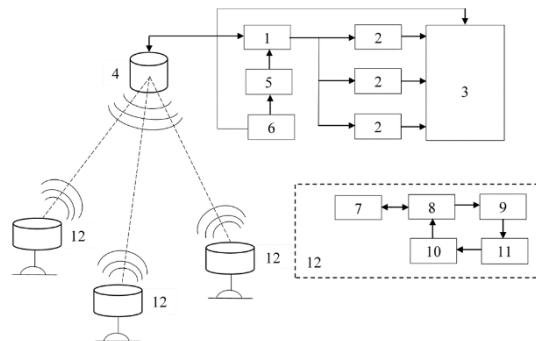
Do có những ưu điểm quan trọng về mặt kỹ thuật nên người ta đã đưa hệ thống định vị thủy âm ứng dụng trong lĩnh vực quân sự.

2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống dẫn đường thủy âm

Về cơ bản, hệ thống này được nghiên cứu thiết kế chế tạo bao gồm các nguồn phát và thu sóng âm bán kính hoạt động lớn, được bố trí ở những vị trí cụ thể trong lòng đại dương. Mỗi thiết bị ngầm sử dụng trong Hệ thống này cần phải trang bị đầy đủ thiết bị thu phát tương tự như thiết bị thu phát tín hiệu GPS. Khi này hệ thống sẽ xử lý tín hiệu từ một số nguồn phát dao động âm nhất định và cho phép xác định chính xác vị trí tức thời, độ sâu và tốc độ chuyển động của thiết bị ngầm đó. Vấn đề đặt ra đối với các nhà khoa học là tín hiệu sóng âm ở trong môi trường nước sẽ nhiều hơn so với sóng vô tuyến của hệ thống GPS, tuy nhiên các nhà khoa học sẽ có phương án xử lý trừ khử nhiễu để việc dẫn đường bằng định vị thủy âm đạt độ chính xác cao.

Định vị thủy âm dựa trên cơ sở các nguyên lý của thủy âm học. Các hệ thống dẫn đường này có thể là: các máy đo tốc độ thủy âm có thể bảo đảm đo tốc độ của tàu tương đối với đáy biển; các hệ thống xác định chính xác vị trí của các đối tượng trong đại dương, dựa trên cơ sở sử dụng các hải đăng thủy âm (phao tiêu thủy âm); các hệ thống đo độ sâu cho phép xác định vị trí của đối tượng theo các đặc trưng của địa hình đáy đại dương,...

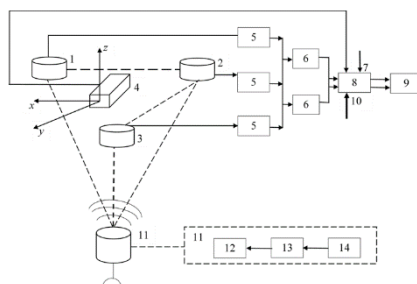
Các hệ thống dẫn đường với các đài mốc thủy âm (các transponder và responder) đặt ở đáy biển để xác định tọa độ của các đối tượng nổi trên mặt và ngầm dưới nước. Các đài mốc thủy âm là cơ cấu độc lập, tự động phát tín hiệu vào môi trường nước xung quanh khi thu được tín hiệu yêu cầu hoặc theo chương trình đã lập trước [1].



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống dẫn đường thủy âm với đường đáy cơ sở

1- Bộ chuyển mạch thu - phát; 2- Bộ khuếch đại kênh thu; 3- Máy đếm các khoảng cách và bộ tính toán các tọa độ; 4- Ăng ten thu-phát trên khoang; 5- Bộ khuếch đại công suất; 6- Máy phát chủ; 7- Ăng ten thu-phát; 8- Bộ chuyển mạch thu-phát; 9- Khuếch đại thu; 10- Máy phát; 11- Bộ giải mã; 12- Các đài mốc thủy âm.

Định vị thủy âm có thể cung cấp vị trí chính xác với độ ổn định cao trong một khu vực giới hạn, có thể phát triển và ứng dụng ở khoảng cách xa ngoài khơi. Hệ thống định vị thủy âm đo khoảng cách và hướng đến mốc tín hiệu được đặt dưới đáy biển hoặc đặt trên ROV (Remotely Operated Vehicle - thiết bị được vận hành từ xa) và cá kéo. Độ chính xác đạt được phụ thuộc vào kỹ thuật sử dụng, khoảng cách và điều kiện môi trường. Độ chính xác dao động trong khoảng từ vài mét đến dm. Định vị thủy âm góp phần quan trọng trong việc hỗ trợ, hiệu chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính để cung cấp vị trí tàu chính xác hơn [1].



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống với đáy cơ sở ngắn và đài mốc thủy âm

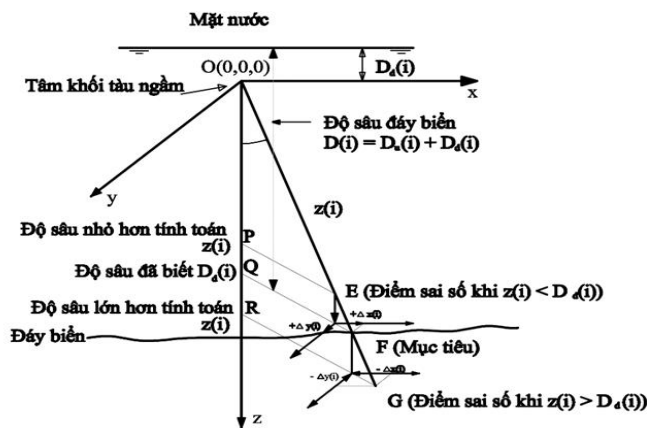
1, 2, 3- Các máy thu; 4- Cảm biến định hướng thẳng đứng đứng của tàu; 5- Các kênh thu; 6- Các bộ biến đổi khoảng cách thời gian thành điện áp hoặc mã; 7- Đưa vào các số liệu về sự dịch chuyển của máy thu; 8- Bộ tính toán và biến đổi các tọa độ; 9- Bộ hiển thị; 10- Đưa vào các số liệu về sự dịch chuyển của đài mốc thủy âm tương đối với điểm chuẩn trên đáy đất và độ sâu đặt của nó; 11- Đài mốc thủy âm; 12- Ăng ten phát; 13- Khuếch đại công suất; 14- Máy phát chủ.

3. Xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu phục vụ định vị, dẫn đường cho tàu ngầm bằng phương pháp định vị thủy âm

Xây dựng cơ sở dữ liệu hải dương, cho phép lưu trữ thông tin thu thập được từ các điểm khảo sát yếu tố hải dương trên biển. Các nguồn số liệu này sau khi xử lý được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu, đây là nguồn dữ liệu được sử dụng để tính toán sự ảnh hưởng của yếu tố môi trường nước biển đến tác nghiệp vị trí của tàu ngầm. Cơ sở dữ liệu hải dương cho phép lưu trữ thông tin với số lượng lớn và thuận tiện trong công tác truy vấn dữ liệu.

Xây dựng phần mềm ứng dụng kết hợp công nghệ GIS tính toán vị trí của tàu và mô phỏng trực quan quá trình chuyển động của tàu ngầm trong lòng biển trên nền hải đồ điện tử. Quá trình tính toán phần mềm được kết nối với cơ sở dữ liệu hải dương để tính toán sự ảnh hưởng của yếu tố môi trường.

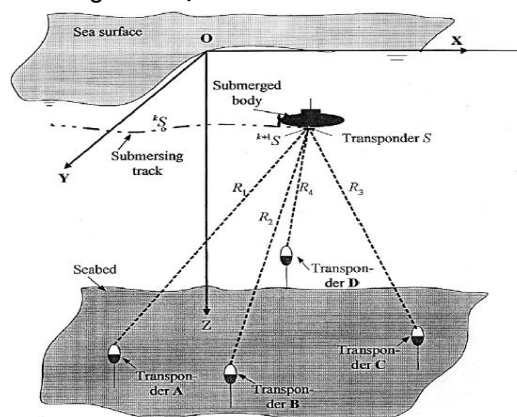
Để phục vụ định vị dẫn đường cho tàu bằng phương pháp định vị thủy âm, yêu cầu cần xây dựng hệ thống các trạm phát tín hiệu sóng âm dưới lòng biển. Trong cơ sở dữ liệu cho phép lưu trữ thông tin các trạm phát sóng âm và thường xuyên được cập nhật khi có thông tin thay đổi. Các thông số của trạm thủy âm sẽ là cơ sở để tính toán khoảng cách từ trạm phát sóng đến điểm thu sóng trên tàu, từ đó xác định được vị trí của tàu. Tương tự như các hệ thống "POSYDON" của Mỹ [5] và hệ thống "Positioner" của Nga [6], tàu ngầm thu được tín hiệu vị trí từ 3 trạm phát thủy âm trở lên sẽ xác định được vị trí quan trắc, từ đó đồng chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính, nâng cao độ chính xác dẫn đường. Hệ thống này có chức năng tương tự các trạm DGPS được lắp trên bờ để hiệu chỉnh vị trí tàu theo GPS.



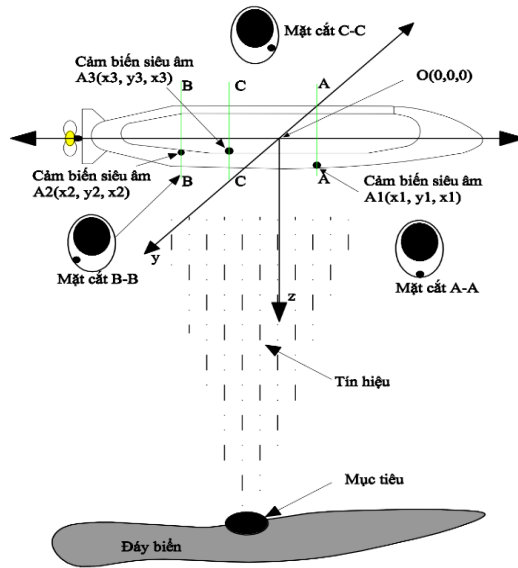
Hình 3. Sự lan truyền âm trong nước

Cơ sở dữ liệu được tổ chức và thu thập sẽ cho phép lưu trữ giá trị vận tốc truyền âm thanh trong môi trường nước biển. Vận tốc âm thanh tại các điểm khảo sát sẽ được lưu trữ theo các tầng nước tiêu chuẩn. Trong quá trình tính toán tùy thuộc vào tầng nước hoạt động của tàu mà sử dụng các nguồn dữ liệu cho phù hợp.

Từ bảng thông tin về các trạm thủy âm trong cơ sở dữ liệu hải dương xác định thông tin vận tốc âm của từng trạm thủy âm đã được khảo sát trước đó. Các trạm thủy âm có thể được bố trí như Hình 4, các máy thu âm trên tàu ngầm được bố trí như Hình 5.



Hình 4. Sơ đồ bố trí trạm thủy âm phục vụ định vị phương tiện ngầm [2]



Hình 5. Bố trí các máy thu âm trên tàu ngầm

Giá trị vận tốc âm trung bình của đường truyền được xác định là giá trị trung bình của vận tốc âm tại vị trí hiện tại của tàu và trạm thủy âm phát tín hiệu đến.

$$V_{tb} = (V_{trạm} + V_{tàu})/2 \quad (1)$$

Sau khi tính được giá trị vận tốc âm trung bình tại mỗi đường truyền chúng ta dễ dàng tính được khoảng cách từ các trạm thủy âm đến tàu.

Trong danh sách đó chúng ta chọn ra 3 trạm có khoảng cách gần tàu nhất để sử dụng tính toán vị trí hiện tại của tàu.

Giả sử tọa độ hiện tại của tàu là $P(\varphi, \lambda, h)$ ta sử dụng công thức:

$$(\varphi - \varphi_{Ti})^2 + (\lambda - \lambda_{Ti})^2 + (h - h_{Ti})^2 = d_i^2 \quad (i) \quad (2)$$

Trong đó: $\varphi_{Ti}, \lambda_{Ti}, h_{Ti}$ là tọa độ của trạm thủy âm thứ i ;
 d_i là khoảng cách từ trạm thủy âm thứ i đến tàu.

Từ ít nhất 3 phương trình trở lên ta xác định được hệ phương trình bậc 3 với 3 ẩn số là: φ, λ, h . Giải ma trận bậc 3 ta thu được φ, λ, h đây là tọa độ sơ bộ của tàu. Sử dụng bộ lọc Kalman để hiệu chỉnh tọa độ tàu.

Thời gian giữa 2 lần tính toán của tàu là:

$$\Delta t = k+1t - kt \quad (3)$$

Vì khoảng thời gian là rất ngắn ta coi quãng đường di chuyển là một đường thẳng do vậy quãng đường đi được có thể xác định theo công thức:

$$d_s = V_s(k_t)\Delta t + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_s(k_{t+1}) - V_s(k_t)}{dt} (\Delta t)^2 \quad (4)$$

Quãng đường đi được có thể tính theo công thức tọa độ:

$$d_m = [(k+1\varphi_m - k\varphi_m)^2 + (k+1\lambda_m - k\lambda_m)^2 + (k+1h_m - kh_m)^2]^{1/2} \quad (5)$$

Giải bài toán cho đến khi thỏa mãn công thức sau:

$$\varepsilon = \frac{|d_m - d_s|}{d_s} < \delta \quad (6)$$

Trong đó, δ là giá trị hội tụ, thông thường là 0.0001 [2]. Ta tính được giá trị tọa độ của tàu φ, λ, h sau hiệu chỉnh và từ đó cập nhật cho hệ thống dẫn đường quán tính.

4. Kết luận

Như vậy, định vị thủy âm có thể cung cấp vị trí chính xác với độ ổn định cao trong một khu vực giới hạn, có thể phát triển và ứng dụng ở khoảng cách xa ngoài khơi. Hệ thống định vị thủy âm đo khoảng cách và hướng đến mồi tín hiệu được đặt dưới đáy biển hoặc đặt trên ROV (Remotely operated vehicle - thiết bị được vận hành từ xa) và cá kéo. Độ chính xác đạt được phụ thuộc vào kỹ

thuật sử dụng, khoảng cách và điều kiện môi trường. Độ chính xác dao động trong khoảng từ vài mét đến dm. Định vị thủy âm góp phần quan trọng trong việc hỗ trợ, hiệu chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính để cung cấp vị trí tàu chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quân chủng Hải quân. *Các phương tiện dẫn đường thủy âm*. 2015.
- [2] Wen-Hui Cheng. *A study of increasing the precision of navigation position for submerged body*. 2003.
- [3] Wen-Hui Cheng & Jih-Syue Jhou. *Real-Time Adjustment Underwater Positioning System for Submarines*. Marine Geodesy. 2010.
- [4] Nguyễn Việt Thành, Nguyễn Quang Huy. *Hệ thống dẫn đường quán tính*. Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng hải. Số 23, tr. 107. 2010.
- [5] <https://www.darpa.mil/program/positioning-system-for-deep-ocean-navigation>, truy cập ngày 31/5/2019.

Ngày nhận bài: 30/6/2019
Ngày nhận bản sửa: 08/7/2019
Ngày duyệt đăng: 10/7/2019