

Hệ thống sonar chủ động sử dụng đồng thời nhiều đầu thu phát tín hiệu sóng âm

Nguyễn Văn Đức, Nguyễn Quốc Khương

Trường Điện Điện Tử, Đại Học Bách Khoa Hà Nội, Hà Nội

Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Đức, duc.nguyenvan1@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/11/2023, ngày sửa chữa: 24/4/2024, ngày duyệt đăng: 29/5/2024

Định danh DOI: 10.32913/mic-ict-research-vn.v2024.n1.1244

Tóm tắt: Bài báo đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống quét tín hiệu siêu âm tạo ảnh 2D (gọi là ảnh thể hiện ở mặt phẳng 2 chiều), hoặc ảnh 3D (gọi là ảnh thể hiện trong không gian 3 chiều) của các vật thể dưới nước sử dụng công nghệ nhận dạng và định vị sóng siêu âm sonar và phương pháp xử lý tín hiệu siêu âm tại đầu thu được áp dụng cho hệ thống siêu âm sử dụng nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm (hệ ăng ten mảng) đảm bảo độ phức tạp tính toán cũng như cấu hình phần cứng giảm, nhờ đó có thể thiết kế hệ định vị sóng âm và dựng ảnh 3D trên nền tảng các hệ thống nhúng hiện nay. Thuật toán đề xuất trong bài báo đã được ứng dụng thiết kế thành công hệ sonar chủ động và có kết quả quét sóng âm chính xác tương đương so với các thiết bị sonar chuyên dụng được kiểm định bởi đơn vị đo lường chuyên ngành. Bài báo trình bày các kết quả thử nghiệm và hiệu chuẩn được thực hiện ở một số vùng biển Việt Nam như vịnh Nha Trang, v.v.

Từ khóa: định vị sóng âm - sonar, hệ ăng ten mảng

Title: Active sonar systems using multiple acoustic transceivers

Abstract: This article proposes a method to design an active sonar system using multiple transceivers for scanning underwater objects. This method converts the multiple independently received signals in the spatial domain to the multiple received signals in the frequency domain. Thus, the computational complexity of the system is significantly reduced. Therefore, it is possible to implement an active sonar system based on embedded systems. The proposed method has been successfully applied to a real sonar testbed and has been tested in real conditions, such as in Halong and Nhatrang Bay. The implemented active sonar system offers scanned results comparable to specialized sonar devices.

Keywords: active sonar systems, antenna array.

I. GIỚI THIỆU

Công nghệ định vị bằng sóng âm SONAR (Sound Navigation And Ranging) là một công nghệ sử dụng sự lan truyền sóng âm trong môi trường nước để xác định và định vị các vật cản trong môi trường nước, hoặc đáy nước. Công nghệ định vị bằng sóng âm sonar được phân loại thành hai loại công nghệ cơ bản:

- Công nghệ sonar chủ động có hệ thống tự phát xung sóng và nghe tiếng vọng lại [1–3].

- Công nghệ sonar bị động (hay sonar thụ động) có hệ thống chỉ nghe âm thanh do tàu bè hay nguồn âm khác phát ra; tầm hoạt động nhỏ hơn so với sonar chủ động và ứng dụng cho đo thám ngầm dưới biển [4]. Các công nghệ sonar chủ động và thụ động đều được thiết kế ứng dụng cho điều khiển lái các tàu ngầm và tàu tự hành dưới nước AUV (Autonomous Underwater Vehicles) [5, 6].

Bài báo này trình bày phương pháp xử lý tín hiệu sonar sử dụng công nghệ ăng ten mảng và xử lý tín hiệu song song, đồng thời đề xuất phương pháp chuyển phổ tín hiệu thu tách biệt trên miền không gian sang các phổ tín hiệu tách biệt trên miền tần số, sau đó xử lý tín hiệu đồng thời trên miền thời gian để giảm độ phức tạp của hệ thống. Phương pháp này ưu việt hơn so với các phương pháp hiện tại với các đánh giá như sau.

Đánh giá tổng quan tình trạng công nghệ hiện nay:

Sáng chế US3500302 [7], “Sonar bathymetry system transmit-receive sequence programmer” của Hoa Kỳ, công bố ngày 13/01/1969 đưa ra phương pháp xác định độ sâu đáy nước và thực hiện trên mạch cứng, không đề cập đến phương pháp xử lý số liệu từ các đầu thu tín hiệu sóng âm song song, cũng như cách trộn tần tín hiệu và ghép tín hiệu trên miền thời gian để giảm chi phí phần cứng như mô tả của thuật toán đề xuất trong mục II.

Sáng chế US9268020 [8], “Sonar assembly for reduced interference” của Hoa Kỳ công bố ngày 10/02/2012 trình bày kiến trúc hệ thống và phương pháp xử lý tín hiệu siêu âm, tuy nhiên điểm hạn chế của sáng chế là không đề cập đến phương pháp ghép các mảng ăng ten thu (đầu thu tín hiệu sóng âm) để giảm độ phức tạp phần cứng và xử lý tín hiệu song song.

Sáng chế CA2922781A1 [9], “Methods and apparatuses for reconstructing a 3D sonar image”, của Canada, Hoa Kỳ và cộng đồng các quốc gia Châu Âu, trình bày phương pháp tạo ảnh Siêu âm 3D, tuy nhiên sáng chế không đề cập đến phương pháp trộn tần để có thể xử lý tín hiệu song song.

Sáng chế US8305840 [10], “Downscan imaging sonar”, của Hoa Kỳ công bố ngày 6.11.2012 trình bày phương pháp tạo ảnh siêu âm 2D, tuy nhiên tương tự như sáng chế CA2922781A1, bản mô tả sáng chế US8305840 không đề cập đến việc phương pháp xử lý tín hiệu song song và giảm thiểu độ phức tạp tính toán bằng kỹ thuật trộn tần và ghép tín hiệu.

Sáng chế US9019795 [11], “Method of object tracking using sonar imaging” của Hoa Kỳ công bố ngày 05/09/2012 trình bày phương pháp bám đuổi và dò tìm vật thể dưới nước. Sáng chế không đưa ra phương pháp xử lý tín hiệu từ các đầu thu tín hiệu sóng âm song song.

Sáng chế US20150369908A1 [12], “Integrated sonar devices and methods” của Hoa Kỳ công bố ngày 24/12/2015 trình bày phương pháp tạo ảnh siêu âm 2D, tuy nhiên sáng chế không đề cập đến việc trộn tần để có thể ghép nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm song song thành một được dữ liệu nối tiếp, cho phép xử lý đồng thời nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm sử dụng chung một bộ biến đổi A/D. Tình trạng kỹ thuật đã biết còn có nhược điểm là chưa đưa ra phương pháp trộn tần để có thể ghép nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm song song thành một được dữ liệu nối tiếp, cho phép xử lý đồng thời nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm sử dụng chung một bộ biến đổi A/D và chưa đưa ra phương pháp xử lý tín hiệu từ các đầu thu tín hiệu sóng âm song song để tạo ra các ảnh quét có độ phân giải cao.

Công bố khoa học của nhóm tác giả [13] trình bày phương pháp ước lượng góc sóng tới DOA cho các hệ thống sonar chủ động, tuy nhiên chưa đề cập đến việc sử dụng các hệ thống đa ăng ten thu phát, cách giảm thiểu độ phức tạp hệ thống, cũng như hiệu năng hệ thống trong thực tế.

Công bố khoa học của nhóm tác giả [14] trình bày các kết quả đánh giá độ mở búp sóng quét của hệ sonar quét sườn, với các kịch bản, thiết kế hệ thống là các kết quả được trình bày trong bài báo này. Công trình khoa học [15] trình bày ứng dụng của học máy sâu trong việc cải thiện các bức ảnh về hệ sonar quét sườn.

Mục đích của phương pháp đề xuất trong bài báo

Mục đích của nghiên cứu này là nhằm khắc phục nhược

điểm đã biết nêu trên bằng cách đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống siêu âm quét ảnh 3D chủ động sử dụng hệ thống mảng ăng ten phát và mảng ăng ten thu được sắp xếp miền không gian và xử lý tín hiệu trên miền tần số và thời gian nhằm đạt được chất lượng ảnh quét 3D chất lượng cao, đồng thời giảm đáng kể chi phí và độ phức tạp phần cứng của hệ thống.

Bài báo đề xuất phương pháp sử dụng nhiều đầu thu tín hiệu sóng âm với mục đích để thu được nhiều tín hiệu phản xạ từ các nguồn phản xạ khác nhau, sau đó sử dụng kỹ thuật trộn tần để dịch khoảng tần số của các nguồn tín hiệu không bị chồng lấn phổ tín hiệu, tiếp theo đó cộng dồn các tín hiệu để tạo thành một hoặc nhiều đường tín hiệu song song. Kỹ thuật này cho phép sử dụng số lượng đầu thu hiệu quả và giảm số bộ chuyển đổi A/D, do đó giảm thiểu chi phí phần cứng, đồng thời tăng độ chính xác xử lý dữ liệu thu và do vậy tăng độ chính xác bức ảnh quét sóng siêu âm.

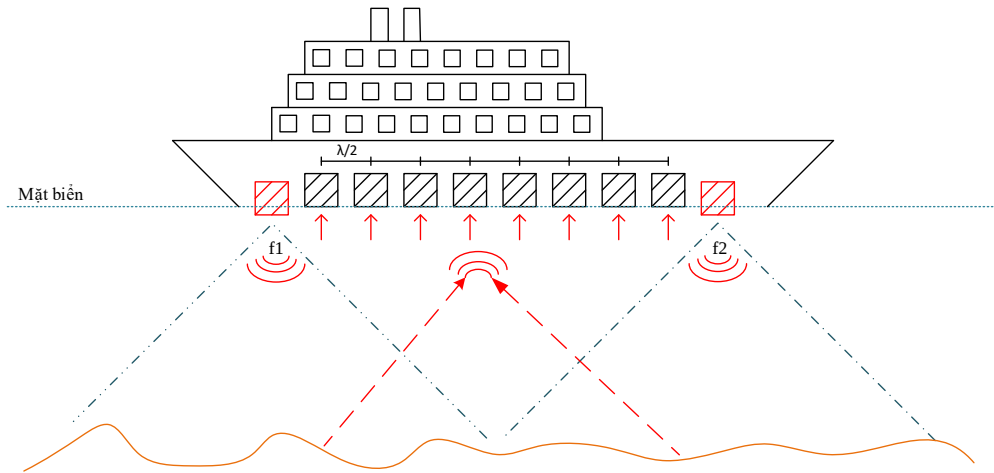
Điểm mới của phương pháp xử lý tín hiệu đề xuất trong bài báo là sử dụng nhiều đầu thu và phát với khoảng cách giữa các đầu thu và các đầu phát tín hiệu sóng âm phù hợp để có nhiều nguồn tín hiệu thu tín hiệu phản xạ cho việc tạo ảnh 3D có độ phân giải lớn. Tiếp theo, bài báo đề xuất là cách xử lý tín hiệu song song của đầu thu bằng phương pháp nhân tín hiệu thu được từ mỗi đầu thu với một thành phần tần số với mục đích dịch tần tín hiệu thu sang một khoảng tần số mong muốn. Nhờ đó mà các tín hiệu thu không bị chồng lấn phổ tại phía thu và bộ xử lý song song tại phía thu sẽ xử lý tín hiệu độc lập để tạo ra nguồn tín hiệu chính xác cung cấp cho việc tạo ảnh quét 3D của vật cần quét được bằng sóng âm dưới nước. Tại phía thu, thông sau khi đã nhân tín hiệu thu với các thành phần tần số khác nhau lại được cộng lại thành các nhóm tín hiệu trên miền thời gian. Các nhóm tín hiệu này được chuyển thành tín hiệu số qua bộ chuyển đổi A/D và được xử lý độc lập để tạo ảnh các bức ảnh quét 3D.

Phần còn lại của bài báo này được trình bày như sau: Mục II trình bày chi tiết về phương pháp thiết kế hệ thống. Mục III thảo luận về kết quả đo đạc, thực nghiệm. Mục IV kết luận bài báo.

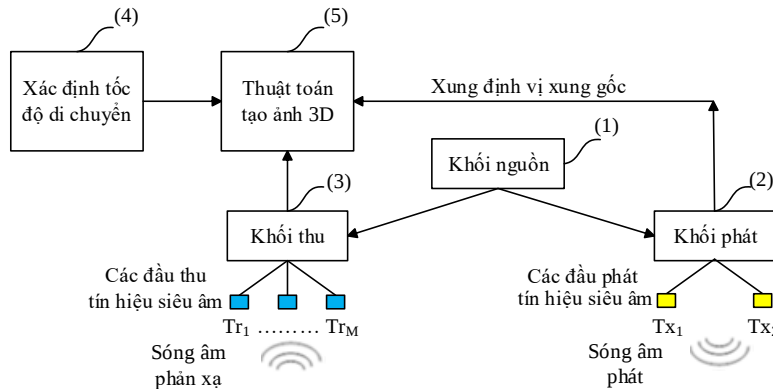
II. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ HỆ THỐNG SONAR CHỦ ĐỘNG SỬ DỤNG NHIỀU ĐẦU THU PHÁT SÓNG ÂM

Bài báo đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống quét ảnh các vật thể dưới nước bằng công nghệ sóng siêu âm chủ động và phương pháp xử lý tín hiệu phản xạ sóng siêu âm được mô tả như sau:

Hình 1 trình bày phương pháp sắp xếp các chấn tử đầu phát tín hiệu sóng âm và thu tín hiệu sóng âm cho hệ thống



Hình 1. Đề xuất sơ đồ bố trí các ăng ten thu phát sóng siêu âm sử dụng cho hệ sonar chủ động quét ảnh 2D hoặc 3D



Hình 2. Đề xuất sơ đồ khối tổng quát hệ thống sonar chủ động

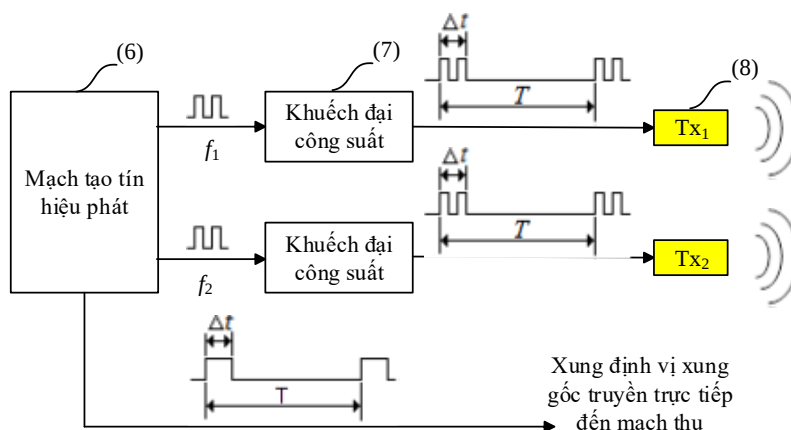
siêu âm chủ động 3D, trong đó hai chân tử ở đầu hai bên mạn tàu phát tín hiệu sóng âm ở hai tần số và để tạo hai bức sóng của hai nửa mặt phẳng của một lát cắt cho một bức ảnh 2D. Việc quét liên tục các bức ảnh 2D theo hướng tàu chạy sẽ cho hình ảnh vật thể 3D ở dưới nước. Các đầu thu tín hiệu sóng âm (ăng ten thu) được ghép sau cho có thể thu được nhiều nhất tín hiệu phản xạ.

Hình 2 trình bày sơ đồ thiết kế hệ thống quét ảnh siêu âm 2D, bao gồm khối nguồn phát tín hiệu (1), khối phát tín hiệu sóng âm (2) và khối thu và xử lý tín hiệu (3). Thuật toán tạo ảnh 3D (5) nhận tín hiệu thu từ khối thu (3), cùng thông tin về vận tốc chuyển động của tàu gắn hệ thống quét siêu âm để tạo ra ma trận điểm ảnh 3D. Thông tin về vận tốc của tàu được xác định bằng khối (4).

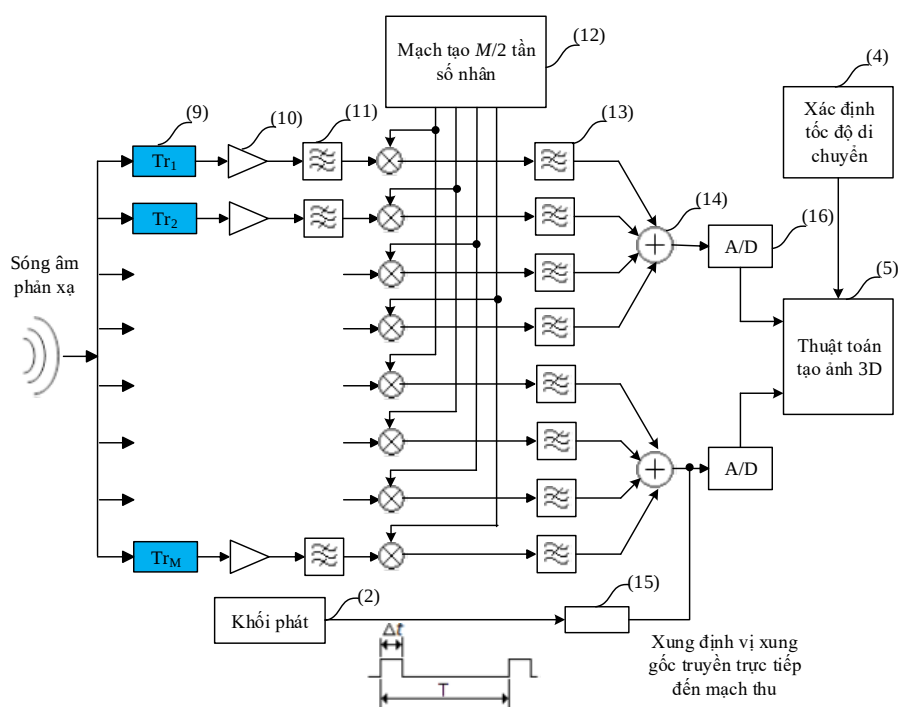
Hình 3 trình bày sơ đồ khối của khối phát tín hiệu, bao gồm mạch tạo tín hiệu phát (6), bộ khuếch đại công suất (7) và bộ phát tín hiệu thủy âm (đầu phát tín hiệu sóng âm) (8). Mạch tạo tín hiệu phát sẽ tạo ra các xung quét

siêu âm với chu kỳ lặp lại là T và bề rộng xung là Δt . Tại khung thời gian có xung siêu âm, hệ thống sẽ phát đi tín hiệu có dao động ở tần số siêu âm với tần số f_1 cho đầu phát tín hiệu sóng âm Tx_1 và f_2 cho đầu phát tín hiệu sóng âm Tx_2 . Các xung này được gọi là các xung gốc siêu âm $S_1(t)$ và $S_2(t)$. Khối phát tín hiệu cũng đồng thời tạo 1 xung gốc $g(t)$ được sử dụng để xác định vị trí xung gốc trong quá trình giải mã tín hiệu ở phía thu. Xung gốc $g(t)$ có bề rộng cũng là Δt và lặp lại với chu kỳ T . Tuy nhiên xung gốc $g(t)$ không được nhân với thành phần tần số dao động do được dùng để truyền trực tiếp đến khối thu phục vụ cho việc giải mã tín hiệu phản xạ.

Hình 4 trình bày sơ đồ khối của khối thu và xử lý tín hiệu siêu âm, bao gồm bộ xác định tốc độ di chuyển tàu (4), thuật toán tạo ảnh 3D (5), bộ thu tín hiệu thủy âm (9), bộ khuếch đại (10), bộ lọc thông dải trước mạch nhân (11), mạch tạo đa tần số nhân (12), mạch lọc thông dải sao bộ nhân trộn tần (13), bộ cộng tín hiệu (14), bộ phối



Hình 3. Đề xuất sơ đồ khối hệ phát tín hiệu sonar.



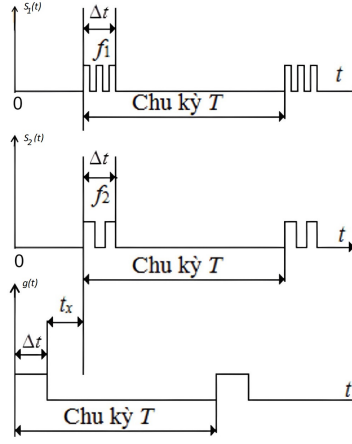
Hình 4. Đề xuất kiến trúc hệ sonar chủ động.

hợp trở kháng (15), bộ biến đổi A/D (16). Ở phía thu, hệ thống thu bao gồm M mạch thu chia thành 2 nhóm, mỗi nhóm gồm $M/2$ ăng ten thu (đầu thu tín hiệu sóng âm). Tín hiệu thu được từ các ăng ten thu sẽ được khuếch đại và lọc nhiễu, sau đó được nhân với một trong $M/2$ tần số $(f_{x,1}, f_{x,2}, \dots, f_{x,M/2})$. Các tần số này được tạo bởi mạch tạo tần số nhân (khối (12) trong Hình 4). Tín hiệu sau bộ nhân được lọc thông thấp và được cộng vào theo từng nhóm $M/2$ đầu thu tín hiệu sóng âm để thành một tín hiệu đầu ra đưa đến các bộ A/D trước khi gửi đến bộ tạo ảnh 3D. Hai tín hiệu đầu ra từ 2 nhóm ăng ten thu sẽ được chuyển đổi A/D rồi đưa vào bộ tạo ảnh 3D (5).

Hình 5 trình bày giản đồ thời gian của tín hiệu phát, bao gồm xung phát siêu âm $S_1(t)$ với bề rộng là Δt , chu kỳ lặp lại xung là T , tần số dao động là f_1 . Tương tự như vậy $S_2(t)$ là xung gốc phát siêu âm, với bề rộng là Δt , chu kỳ lặp lại xung là T , với tần số dao động là f_2 . Xung gốc $S(t)$ không được điều chế với tần số siêu âm. Xung gốc sonar bản chất không thể phát đi xa được mà cần điều chế với một tần số sóng mang trước khi gửi ra các transducer.

Để mô tả toán học, tín hiệu thu được tại mỗi đầu thu tín hiệu sóng âm (hydrophone) Tr_i được biểu diễn dưới dạng đơn giản nhất là một hàm sóng sin như sau:

$$x_i(t) = A_i \cos(2\pi f_m t + \phi_i) \quad (1)$$



Hình 5. Giản đồ thời gian của các tín hiệu phát xung sonar.

trong đó ϕ_i và f_i là góc pha của tín hiệu tới và tần số dao động của tín hiệu thu được tại đầu thu tín hiệu sóng âm Tr_i . Tín hiệu sóng âm thu được sau đó sẽ khi qua bộ khuếch đại tạp âm thấp tăng cường cường độ tín hiệu, và qua bộ lọc thông dải để loại bỏ nhiễu. Để có thể xử lý được đồng thời nhiều tín hiệu trên miền thời gian, các đầu thu song song trên miền không gian sẽ được đổi tần bằng cách nhân với một thành phần tần số f_k , được ký hiệu là $f_k(t) = \cos(2\pi f_k t)$. Khi nhân tín hiệu thu được với $f_k(t)$ ta thu được:

$$f_{y,i}(t) = x_i(t)f_k(t) = A_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \cos(2\pi f_k t) \quad (2)$$

Sau khi triển khai giải tích ta thu được:

$$f_{y,i}(t) = \frac{A_i}{2} \{ \cos[2\pi(f_i + f_k)t + \phi_i] + \cos[2\pi(f_i - f_k)t + \phi_i] \} \quad (3)$$

Tín hiệu thể hiện ở (3) có chứa thành phần tần số cao là tổng của hai tần số và thành phần tần số thấp là hiệu của 2 tần số. Bài báo đề xuất sử dụng một bộ lọc thông thấp để loại bỏ thành phần tần số cao. Như vậy tín hiệu thu được là thành phần hiệu của 2 tần số:

$$f'_{y,i}(t) = \cos[2\pi(f_i - f_k)t + \phi_i] \quad (4)$$

Trên thực tế, tín hiệu thu không phải là dao động hàm số sin đơn giản như (1), mà nó là tổng các thành phần tín hiệu phát và các thành phần nhiễu. Để đơn giản chúng ta không xem xét đến thành phần nhiễu trong biểu diễn toán học. Giả thiết phía phát, phát hai thành phần tần số là f_1 và f_2 , tức tạo ra hai dao động hàm số sin từ 2 đầu phát tín hiệu sóng âm phát. Hai tín hiệu này được biểu diễn như sau:

$$x_1(t) = \cos(2\pi f_1 t) \quad (5)$$

$$x_2(t) = \cos(2\pi f_2 t) \quad (6)$$

Các đầu thu tín hiệu sóng âm về cơ bản cũng sẽ thu được hai tần số được phát đi từ phía đầu phát tín hiệu sóng âm, sau khi trộn tần với thành phần tần số $f_k(t) = \cos(2\pi f_k t)$ và qua bộ lọc thông dải để nhận về hai nguồn tín hiệu ở hai thành phần tần số khác nhau, được biểu diễn dưới dạng

$$f'_{y,i}(t) = \cos[2\pi(f_1 - f_k)t + \phi_i] + \cos[2\pi(f_2 - f_k)t + \phi_i] \quad (7)$$

Trong trường hợp tổng quát, số lượng thành phần tần số trộn $f_k(t) = \cos(2\pi f_k t)$ phụ thuộc vào số lượng tần số phát $f_k(t)$, tức số đầu phát sóng siêu âm đặt phân tập về không gian, cũng như số lượng đầu thu sóng siêu âm Tr_i cũng được đặt phân tập về không gian, sao cho các đầu thu tín hiệu thu được tín hiệu phát mong muốn. Trường hợp cụ thể như thiết kế ở hình 1, hệ thống sử dụng hai đầu phát sóng âm đặt ở hai mạn tàu và 08 đầu thu sóng âm cũng được chia đều ở hai mạn tàu, với mỗi mạn tàu sử dụng 04 đầu thu sóng âm đặt phân tập về không gian. Như vậy để xử lý tín hiệu song song và đồng thời trên miền thời gian chúng ta cần 04 tần số trộn $f_k(t)$ phân biệt.

Tín hiệu sau khi trộn tần và qua bộ lọc thông dải để lựa chọn tần số mong muốn sẽ được đưa vào bộ ghép tín hiệu (hay bộ tổng) đưa ra một luồng tín hiệu duy nhất. Phương pháp này đã chuyển tín hiệu phân biệt từ miền không gian sang các tín hiệu phân biệt ở miền tần số, tạo tiền đề để xử lý tín hiệu đồng thời cho cả luồng tín hiệu thu phát song song mà không cần thêm chi phí phần cứng của hệ thống. Tín hiệu sau khi ghép sẽ được đưa đến bộ chuyển đổi A/D để chuyển tín hiệu từ dạng analog sang dạng số để xử lý tín hiệu tạo ảnh quét được trong không gian 2D hoặc 3D.

III. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Các thử nghiệm trình bày bài báo này là các thử nghiệm tiến hành ngày 12 tháng 11 năm 2021 tại vịnh Nha Trang.

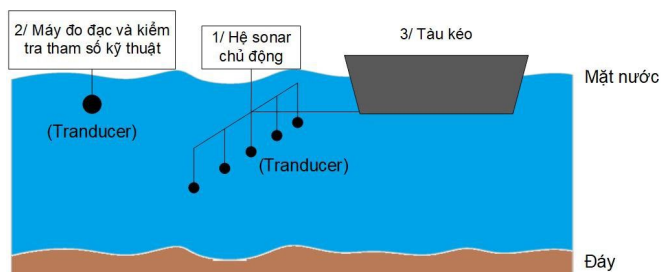
Bảng I
CÁC THAM SỐ HỆ THỐNG

Tham số	Giá trị
Chu kỳ phát xung sonar T	0.1s
Độ rộng một xung sonar Δt	0.4ms
Tần số lấy mẫu tại phía thu	192kHz
Số lượng transducer phát M	2
Số lượng hydrophone thu N	8
Khoảng cách thiết lập giữa hai Hydrophone liên kế L	0.09m
T_{x1} Tần số phát của transducer thứ nhất f_1	165kHz
T_{x2} Tần số phát của transducer thứ 2 f_2	200kHz

Bảng II
CÁC ĐIỀU KIỆN MÔI TRƯỜNG

Thời tiết	nắng
Nhiệt độ	25°C
Gió	gió nhẹ
Sóng	sóng lăn tần

Biển Nha Trang là biển nước nông. Một số tham số hệ thống được trình bày vắn tắt ở Bảng I. Các tham số về môi trường được trình bày ở Bảng II. Các điều kiện thử nghiệm về thời tiết, sóng gió là khá thuận lợi. Cụ thể, trời nắng nhẹ, gió nhẹ, sóng lăn tần. Những điều kiện thử nghiệm như vậy thường đem đến kết quả tốt nhất. Như chúng ta biết, việc lan truyền sóng âm dưới nước khá nhạy cảm với các điều kiện bên ngoài, đặc biệt là trong điều kiện biển nông. Trong các điều kiện khắc nghiệt như gió bão, các kết quả về truyền dẫn sóng âm thường là rất tồi và độ tin cậy thấp.



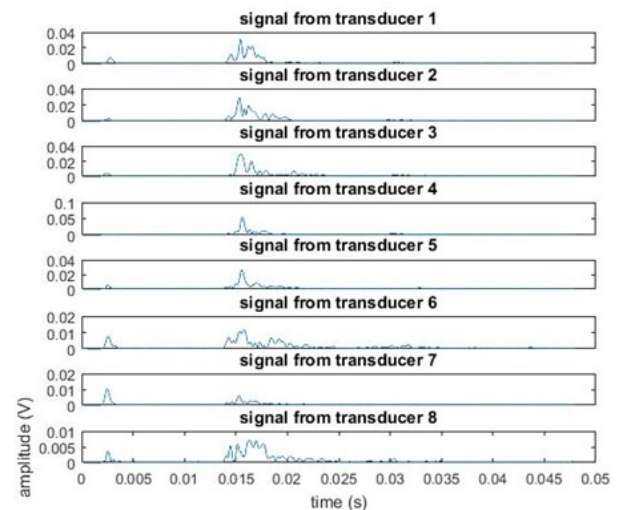
Hình 6. Kịch bản thử nghiệm hệ sonar chủ động.

Kịch bản thử nghiệm hệ thống được trình bày ở Hình 6, trong đó tàu thử nghiệm được sử dụng để gắn các trang bị kỹ thuật, với ký hiệu (1) là hệ sonar chủ động, (2) là máy đo đạc và kiểm tra tham số kỹ thuật, và 3) là tàu kéo hệ thống. Transducer là các đầu thu phát tín hiệu sóng âm.

Hình ảnh sản phẩm phần cứng của hệ thống sonar chủ động sử dụng phương pháp thiết kế đề xuất trong bài báo được trình bày ở Hình 7, trong đó hệ thống sử dụng hai búp sóng quét với hai tần số quét khác nhau, cụ thể là 165 Khz và 200 Khz. Ở phía thu, hệ thống sử dụng 08 đầu thu là các hydrophone có độ nhạy cao, với thiết kế sử dụng 04 đầu thu cho mỗi một mạn tàu (sườn tàu). Như vậy hệ

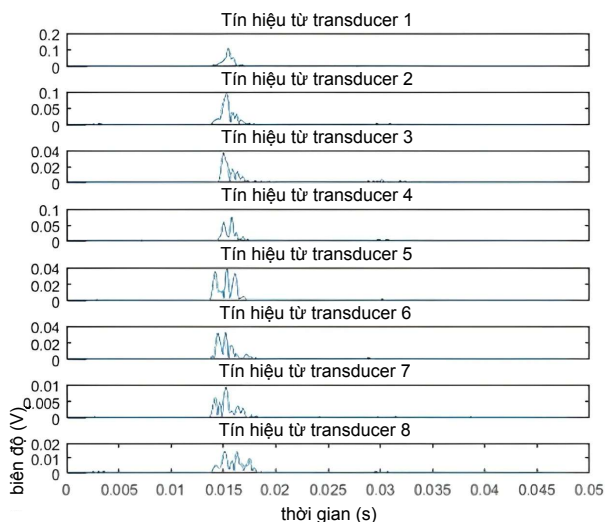


Hình 7. Hình ảnh hệ thống sonar được thiết kế trong thực tế.



Hình 8. Tín hiệu được từ transducer phát 165 KHz (sau khi khuếch đại và lọc nhiễu)

thống sử dụng 08 đầu thu dữ liệu song song và độc lập. Các transducer thu phát được đặt trên một phao kéo như trình bày ở Hình 10. Dữ liệu phản xạ đáy thu được ở tần số phát 165 kHz ghi nhận từ 08 đầu thu, sau khi khuếch đại và xử lý lọc nhiễu được trình bày ở Hình 8. Tương tự như vậy, tín hiệu phản xạ đáy thu được từ 08 đầu thu ở tần số 200 kHz được thể hiện ở Hình 9. Dưa vào tín hiệu thu được từ các đầu thu song song, hệ thống xử lý tín hiệu sonar thực hiện như sơ đồ kiến trúc hệ thống trình bày ở Hình 4 và sau đó hiển thị trên màn Hình quét tín hiệu như trình bày ở Hình 11. Trong Hình 11, vị trí đo là vịnh Nha Trang với kết quả đo đặc độ sâu dựa trên dữ liệu thu được từ 08 đầu thu là 16.5 m. Kết quả đo đặc của hệ thống đã được so sánh với các thiết bị chuyên dụng của quân đội với sai số khác biệt so với các thiết bị kiểm chuẩn chuyên dụng là tương đối nhỏ.



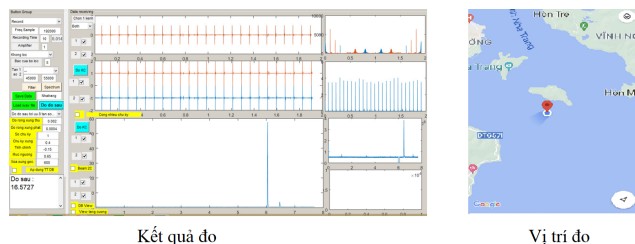
Hình 9. Tín hiệu được từ transducer phát 200 KHz (sau khi khuếch đại và lọc nhiễu).



Hình 10. Hình ảnh thực nghiệm hệ thống sonar tại Vịnh Nha Trang ngày 12 tháng 11 năm 2021.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế hệ sonar chủ động với dạng quét sườn và ứng dụng việc tạo dựng các tín hiệu ảnh 2D hoặc 3D của các vật thể dưới nước. Bài báo cũng trình bày các sản phẩm thực tế được thiết kế chế tạo dựa trên phương pháp đề xuất và các kết quả thực nghiệm đo đạc ở vịnh Nha Trang. Việc áp dụng kiến trúc hệ thống quét tín hiệu siêu âm đề xuất trong bài báo cho phép ghép nối nhiều chấn tử phát sóng âm (đầu phát tín hiệu sóng âm) và các chấn tử thu sóng âm (đầu thu tín hiệu sóng âm) phục vụ cho việc quét tín hiệu ảnh của hệ thống siêu âm 3D chủ động với mức chi phí phần cứng thấp, đồng thời xử lý được nhiều nguồn tín hiệu thu để nâng cao chất lượng bức ảnh quét. Trong bài báo này chúng tôi tập trung về ứng dụng thuật toán cho hệ sonar chủ động dạng sonar



Hình 11. Kết quả đo đạc thực nghiệm hệ thống sonar tại Vịnh Nha Trang.

quét sườn. Tuy nhiên hiện nay một số công nghệ cho phép mở rộng phạm vi quét với độ phân giải tốt hơn so với hệ sonar quét sườn, đó là công nghệ sonar mặt mở [16, 17]. Ứng dụng giải pháp giảm độ phức tạp của hệ thống bằng cách chuyển phân tích tín hiệu từ miền không gian sang miền thời gian cho hệ sonar mặt mở là đối tượng nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi.

ACKNOWLEDGEMENT

Một phần bài báo này đã được đăng trong đơn sáng chế đăng ký với Cục Sở Hữu Trí Tuệ, số đơn 1.2021.00616, 1.2021.00617 ngày 04/02/2021 [18, 19].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. G. Bryden, "An active sonar system using acvd beam-forming," *Applied Acoustics*, vol. 27, no. 4, pp. 275–285, 1989.
- [2] M. Caccia, G. Bruzzone, and G. Veruggio, "Active sonar-based bottom-following for unmanned underwater vehicles," *Control Engineering Practice*, vol. 7, no. 4, pp. 459–468, 1999.
- [3] E. J. Sullivan, *Active Sonar*, pp. 1737–1755. New York, NY: Springer New York, 2008.
- [4] B. H. Maranda, *Passive Sonar*, pp. 1757–1781. New York, NY: Springer New York, 2008.
- [5] G. Marani, S. K. Choi, and J. Yuh, "Underwater Autonomous Manipulation for Intervention Missions AUVs," *Ocean Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 15–23, 2009.
- [6] D. W. Kim, "Tracking of REMUS Autonomous Underwater Vehicles with Actuator Saturations," *Automatica*, vol. 58, no. C, pp. 15–21, 2015.
- [7] J. G. Moss, "Sonar bathymetry system transmit-receive sequence programmer," U.S. Patent US3500302A, 1969.
- [8] C. Aaron, "Sonar assembly for reduced interference," European Patent EP2626721B1, 2012.
- [9] K. Shahzad F., "Methods and apparatuses for reconstructing a 3d sonar image," Canadian Patent CA2922781A1, 2016.
- [10] M. Brian T., "Downscan imaging sonar," U. S. Patent US8305840B2, 2009.
- [11] S. Martyn, "Method of object tracking using sonar imaging," U. S. Patent US9019795B2, 2012.
- [12] N. S. Matthew Jason Zimmerman, Alexander Yakubovskiy, "Integrated sonar devices and methods," U. S. Patent US20150369908A1, 2015.
- [13] S. Van Doan, T. C. Tran, and V. D. Nguyen, "Doa estimation of underwater acoustic signals using non-uniform linear arrays," in *Industrial Networks and Intelligent Systems* (T. Q.

- Duong and N.-S. Vo, eds.), (Cham), pp. 103–110, Springer International Publishing, 2019.
- [14] V. D. Nguyen, N. M. Luu, Q. K. Nguyen, and T.-D. Nguyen, “Estimation of the acoustic transducer beam aperture by using the geometric backscattering model for side-scan sonar systems,” *Sensors*, vol. 23, no. 4, 2023.
- [15] Z. Yang, J. Zhao, Y. Yu, and C. Huang, “A sample augmentation method for side-scan sonar full-class images that can be used for detection and segmentation,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 62, pp. 1–11, 2024.
- [16] D. Brown, D. Cook, and J. Fernandez, “Results from a small synthetic aperture sonar,” in *OCEANS 2006*, pp. 1–6, 2006.
- [17] M. P. Hayes and P. T. Gough, “Synthetic aperture sonar: A review of current status,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 207–224, 2009.
- [18] Q. K. Nguyễn and V. Nguyễn, “Phương pháp thiết kế hệ thống quét ảnh các vật thể dưới nước sử dụng đồng thời nhiều đầu thu phát tín hiệu sóng âm,” Bằng độc quyền sáng chế số 39938 do Cục sở hữu Trí tuệ cấp ngày 26.04.2024.
- [19] Q. K. Nguyễn and V. Nguyễn, “Phương pháp quét ảnh không gian ba chiều sử dụng công nghệ nhận dạng và định vị sóng âm dưới nước,” Bằng độc quyền sáng chế số 39939 do Cục sở hữu Trí tuệ cấp ngày 26.04.2024.



Hà Nội. Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay là hệ thống thông tin thủy âm, hệ thống sonar, công nghệ MIMO, OFDM.

Email: duc.nguyenvan1@hust.edu.vn



Nguyễn Quốc Khương tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành kỹ thuật thông tin năm 1995, tốt nghiệp thạc sỹ kỹ thuật năm 1997 chuyên ngành điện tử viễn thông, Trường ĐHBK Hà Nội; tốt nghiệp tiến sỹ chuyên ngành kỹ thuật thông tin Trường ĐHBK Hà Nội năm 2011. Từ năm 1998 đến nay là giảng viên trường ĐHBK Hà Nội. Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay là hệ thống thông tin thủy âm, hệ thống sonar, công nghệ MIMO, OFDM.

Email: khuong.nguyenquoc@hust.edu.vn