NGHIÊN CỨU NÂNG CAO KHẢ NĂNG PHÁT HIỆN MỤC TIÊU CHO RA ĐA HÀNG HẢI

Lương Văn Trình[1*], Trần Văn Ánh[1], Lê Thị Trang[2], Dương Tuấn Việt[1]

Tóm tắt: *Trên cơ sở nghiên cứu đặc điểm của mô hình nhiễu biển, tính chất phản xạ của bề mặt biển, yêu cầu đối với ra đa hàng hải là phát hiện các mục tiêu nhỏ, chuyển động chậm, phản xạ tín hiệu ra đa yếu và dễ bị che khuất trong nền nhiễu. Nội dung bài báo nghiên cứu ứng dụng các giải pháp kỹ thuật xử lý tín hiệu ra đa hiện đại để nâng cao khả năng phát hiện, bắt và bám quĩ đạo mục tiêu cho ra đa hàng hải. Đưa ra các kết quả thử nghiệm trong điều kiện thực tế và đánh giá phân tích.*

Từ khóa: Ra đa hàng hải; Mục tiêu; Nhiễu biển; Bù khử xung; Thích nghi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ra đa hàng hải là các đài ra đa cảnh giới được lắp đặt trên các đối tượng trên biển như tàu nổi, tàu ngầm, nhà nổi, giàn khoan,... Trong điều kiện thực tế của các vùng biển luôn xuất hiện rất nhiều mục tiêu, đặc biệt là các mục tiêu là tàu, thuyền đánh cá. Các mục tiêu này có thể gây ra va chạm nguy hiểm cho các đối tượng được lắp đặt ra đa hàng hải. Tuy nhiên, các mục tiêu này thường bằng gỗ nên khả năng phản xạ tín hiệu ra đa yếu, kích thước nhỏ, tốc độ di chuyển chậm trên nền sóng biển. Nhiệm vụ phát hiện các mục tiêu nhỏ này trong ra đa hàng hải là nhiệm vụ quan trọng do tính đa dạng của mục tiêu và bị che khuất trong nhiễu biển. Việc ứng dụng các bộ phát hiện thích nghi hiệu quả trên cơ sở tận dụng triệt để những khác biệt giữa tín hiệu có ích phản xạ từ mục tiêu và nhiễu phản xạ từ mặt biển, các giải pháp kỹ thuật công nghệ và xử lý tín hiệu ra đa hiện đại cho phép giải quyết nhiệm vụ đặt ra đối với ra đa hàng hải.

Nội dung bài báo nghiên cứu ứng dụng các bộ phát hiện thích nghi hiệu quả và giải pháp kỹ thuật xử lý tín hiệu ra đa hiện đại để nâng cao khả năng phát hiện, bắt và bám quĩ đạo mục tiêu cho ra đa hàng hải, đưa ra một số kết quả thử nghiệm, phân tích và đánh giá.

2. NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH VÀ ĐẶC ĐIỂM CỦA NHIỄU BIỂN

Để ứng dụng các bộ phát hiện thích nghi hiệu quả trong điều kiện nhiễu biển, tiến hành phân tích phương trình ra đa khi quan sát mục tiêu trên mặt biển, nhiễu biển và đặc điểm bề mặt biển như hệ số tán xạ ngược, phân bố biên độ và đặc tính tương quan không gian thời gian của nhiễu biển.

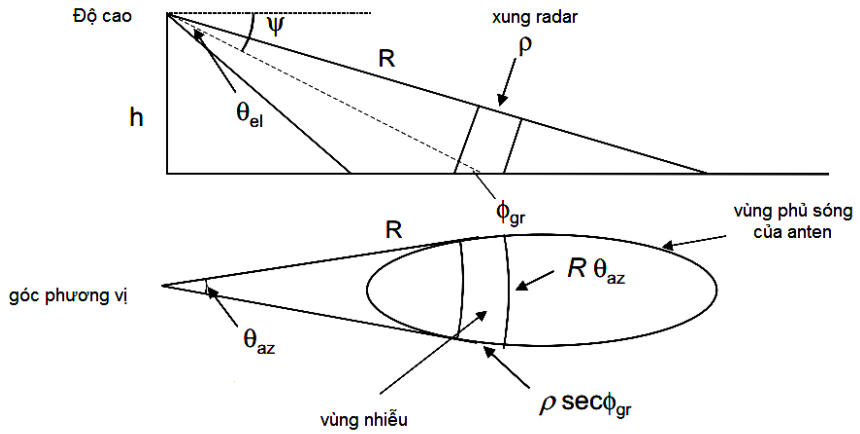
Đối với phương trình ra đa và kết cấu hình học, loại ra đa được sử dụng và các đặc tính kỹ chiến thuật của nó góp phần chỉ rõ đặc điểm của đối tượng quan sát và nhiễu. Các tham số quan trọng của ra đa gồm có: tần số mang, dải tần, độ rộng cánh sóng anten, tần số lặp của xung, công suất thu - phát và sự phân cực. Biết được các tham số này cho phép dự đoán được đặc tính thống kê biên độ của nhiễu biển. Trong ra đa một vị trí với anten thu phát chung, công suất tín hiệu phản xạ tại đầu vào máy thu được tính theo công thức [1-3]:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma^2 A_c}{(4\pi)^3 R^4 L_a} \quad (1)$$

Trong đó: P_t - Công suất phát của đài ra đa; L_a - Hệ số tổn hao do môi trường; G - Hệ số khuếch đại anten; λ - Bước sóng đài ra đa; σ - Diện tích phản xạ hiệu dụng chuẩn hóa của nhiễu biển (hệ số phản xạ ngược); R - Khoảng cách từ ra đa đến trung tâm vùng mặt biển bị chiếu xạ; A_c - Khu vực diện tích bị chiếu xạ của ra đa. Khu vực này thay đổi khi độ cao quan sát, góc phương vị, búp sóng anten thay đổi, được định nghĩa bởi công thức:

$$A_c = \alpha \rho R \theta_{az} \sec\left[\theta_{gr}\right] \quad (2)$$

Trong đó: θ_{az} - Độ rộng búp sóng anten; θ_{gr} - Góc chiếu xạ của ra đa; ρ - Độ phân giải cự ly; α - Tham số chỉ giá trị của hình dạng xung nén và hình dạng góc phương vị chùm xung trong thực tế.



Hình 1. *Khu vực và kích thước của khu vực nhiễu bị chiếu xạ.*

Trên hình 1 mô tả khu vực và kích thước bị chiếu xạ của nhiễu được giới hạn bởi độ lớn góc phương vị và chiều dài xung, h là độ cao đặt anten ra đa so với mực nước biển. Có thể thấy rằng, khi góc chiếu xạ nhỏ, khu vực bị chiếu xạ được xác định bởi độ lớn góc phương vị và chiều dài xung. Còn khi góc chiếu xạ lớn hoặc dải tần ra đa hẹp, khu vực bị chiếu xạ được xác định bởi góc phương vị anten và độ cao búp sóng.

Đối với nhiễu biển, những tán xạ ngược từ mặt biển phản xạ về là kết quả của sự tương tác phức tạp giữa sóng điện từ đến và mặt biển. Những tán xạ ngược này làm cản trở việc thu nhận những tín hiệu có ích, tăng xác suất báo động lầm và tăng ngưỡng phát hiện dẫn tới bỏ sót mục tiêu. Khi nghiên cứu nhiễu biển, cần quan tâm đến hai đặc tính là: độ lớn của hệ số tán xạ ngược và mô hình phân bố thống kê của nhiễu. Trong ra đa, lợi dụng đặc tính đầu tiên có thể tính toán cự ly hoạt động của ra đa, còn đặc tính thứ hai là cơ sở để xây dựng các thuật toán xử lý tín hiệu, ước lượng, phát hiện và bám sát quĩ đạo mục tiêu. Để miêu tả mô hình phân bố của nhiễu người ta dùng quá trình ngẫu nhiên.

Đối với bề mặt biển, ra đa muốn phát hiện các mục tiêu trên mặt biển thì bắt buộc phải khắc phục được ảnh hưởng của tín hiệu phản xạ từ mặt biển. Đối với các loại ra đa hàng hải, nhiễu biển, sự phân cực của ra đa, dải tần công tác, góc nhìn của anten cùng với sự thay đổi của trạng thái biển, hướng gió, tốc độ gió,… làm xuất hiện sự không ổn định, đặc biệt là sự xuất hiện của "gai biển" hay kim nhiễu và các nhiễu giống mục tiêu. Do vậy, đối với ra đa hàng hải hiện đại yêu cầu độ phân giải cao, bám sát mục tiêu thì điều kiện bắt buộc phải miêu tả rõ đặc tính thống kê của nhiễu biển. Để nghiên cứu đặc tính thống kê của nhiễu biển, phải nghiên cứu đặc tính biên độ và đặc tính tương quan.

Đặc tính phân bố biên độ của nhiễu biển bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như trạng thái mặt biển, góc chiếu xạ ra đa, độ rộng bước sóng, sự phân cực và các yếu tố khác của ra đa cho nên xuất hiện nhiều loại hình khác nhau. Do đặc điểm mặt biển tương đối phức tạp, lại cộng thêm sự tán xạ và đặc tính tự vận động của bản thân ra đa, sóng phản xạ sẽ xuất hiện sự biến đổi nhanh, như vậy sẽ dẫn tới phân bố thống kê của ra đa có tính ngẫu nhiên. Các mô hình phân bố biên độ điển hình của nhiễu biển như phân bố Rayleigh, phân bố Log-Normal, phân bố Weibull, phân bố K. Đặc tính tương quan của nhiễu biển bao gồm tương quan thời gian và tương quan không gian. Tương quan thời gian phản ánh sự thay đổi theo thời gian của biên độ nhiễu biển, có thể dùng phổ công suất tương đương để biểu thị. Tính

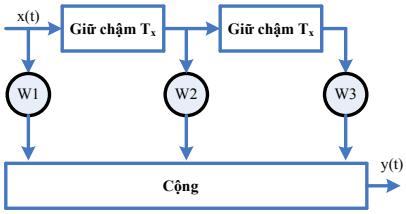
tương quan không gian của nhiễu biển phân thành hai loại: tương quan phương vị và tương quan khoảng cách. Do tính tương quan của hai đơn vị mẫu liền nhau sẽ ảnh hưởng đến tính năng ổn định xác suất báo động lầm nên khi nghiên cứu tương quan không gian chính là nghiên cứu tương quan khoảng cách [3, 4].

3. NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO KHẢ NĂNG PHÁT HIỆN

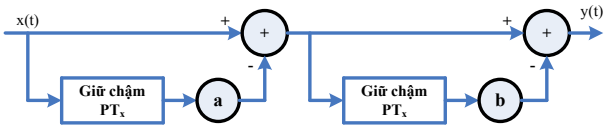
Năng lượng tín hiệu phản xạ trở về từ mục tiêu được sử dụng để phát hiện. Tín hiệu phản xạ về là hàm của thời gian giữ chậm tương ứng với cự ly, có nghĩa là khoảng cách từ mục tiêu tới đài ra đa. Hàm của thời gian giữ chậm liên tục thay đổi theo những bước nhảy thời gian gián đoạn, mà mỗi bước nhảy tương ứng với một cự ly riêng biệt. Biên độ tín hiệu của mỗi cự ly được lưu giữ trong các ô cự ly riêng biệt mà chúng ta có thể thấy được biên dạng cự ly của chúng.

Để phát hiện nhanh các mục tiêu chuyển động, hệ thống xử lý tín hiệu được xây dựng theo nguyên lý ứng dụng bộ khử 3 chu kỳ, sau đó, thực hiện thuật toán FFT nhanh có trọng số. Cấu trúc bộ bù khử 3 chu kỳ được mô tả trên hình 2, trong đó các trọng số được lựa chọn như sau $W_1 = 1$; $W_2 = -2$; $W_3 = 1$. Khi này, hàm đáp ứng xung có dạng:

$$\left|H(\omega)\right| = \left|\frac{Y(\omega)}{X(\omega)}\right| = 4\sin^2\left(\frac{\omega T_x}{2}\right) \tag{3}$$



Hình 2. *Bộ bù khử 3 chu kỳ.*



Hình 3. *Bộ bù khử 3 chu kỳ điều chỉnh.*

Các trọng số của bộ bù khử 3 chu kỳ được lựa chọn với hai giả thiết: mật độ phân bố của nhiễu là Gauss có trung bình bằng không và độ lệch chuẩn σ_t; dịch chuyển Doppler phân bố đều trong khoảng $[-1/2T_x ; 1/2T_x]$ với T_x là chu kỳ lặp của xung. Bộ bù khử 3 chu kỳ thực chất là bộ lọc tuyến tính FIR đơn giản, dẫn đến làm suy giảm đáng kể thay đổi ngẫu nhiên của nhiễu cũng như của nguồn dữ liệu đầu vào. Do đó, đối với các mục tiêu của ra đa hàng hải chuyển động chậm hoặc rất chậm, bộ bù khử 3 chu kỳ không hiệu quả.

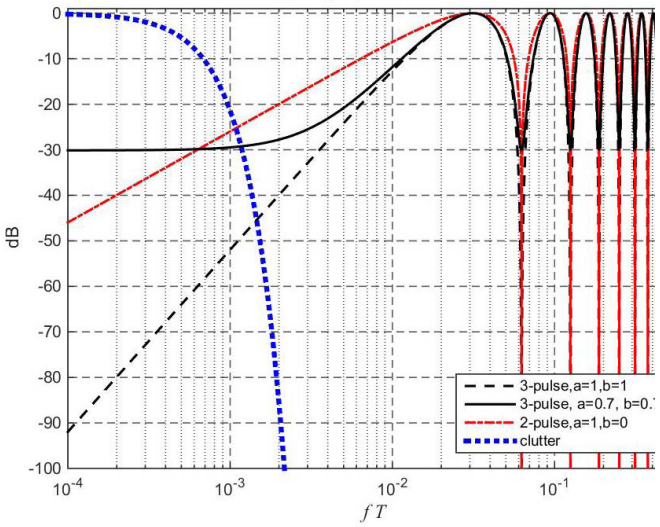
Trong tài liệu [5] nghiên cứu bộ bừ khử 3 chu kỳ có điều chỉnh, được mô tả trên hình 3. Khi này, các trọng số của bộ bù khử được lựa chọn $W_1 = 1$; $W_2 = -(a+b)$; $W_3 = ab$. Nếu a = 0 và b = 1 ta được bộ bù 2 chu kỳ. Nếu a = 1 và b = 1 ta được bộ bù 3 chu kỳ. Khi thay đổi trọng số $0 \le a, b \le 1$ và số chu kỳ bù khử P ta được bộ bừ khử với đáp ứng xung thay đổi. Bộ bù khử 3 chu kỳ có điều chỉnh rất hiệu quả để phát hiện các mục tiêu chuyển động chậm và rất chậm. Trên hình 4 đưa ra kết quả khi mô phỏng với tham số tín hiệu và nhiễu: $f_{phát} = 9GHz$; $T_{xung} = 25{,}6\mu s$; $\sigma_t T_x = 2\times10^{-3}$. Ta thấy:

- Tại $f_D T_x = 2\times10^{-3}$, tương ứng vận tốc chuyển động của mục tiêu v = 1,3m/s. Hệ số bù khử của bộ bù khử 3 chu kỳ có điều chỉnh với các trọng số a = 0,7; b = 0,7; P = 16 là 27,8dB; với a = 1; b = 1; P = 1 là 54dB.

- Tại $f_D T_x = 2\times10^{-4}$, tương ứng vận tốc chuyển động của mục tiêu v = 0,13m/s. Hệ số bù khử của bộ bù khử 3 chu kỳ có điều chỉnh với các trọng số a = 0,7; b = 0,7; P = 16 là 30dB; với a = 1; b = 1; P = 1 lớn hơn 100dB.

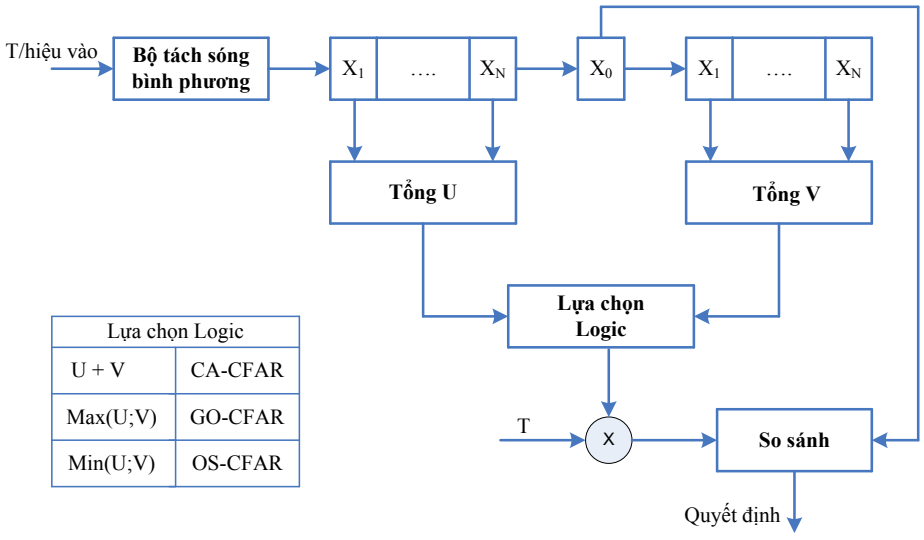
Kết quả đầu ra bộ bù khử được đưa đến bộ phát hiện. Nếu sử dụng các bộ phát hiện với

ngưỡng cố định để phát hiện tín hiệu trên nền nhiễu gây ra báo động lầm lớn. Do đó, trong ra đa hàng hải sử dụng các bộ phát hiện với ngưỡng thích nghi để ổn định xác suất báo động lầm (CFAR - Constant False Alarm Rate), bằng phương pháp đánh giá mức độ thay đổi của năng lượng nhiễu và đặt ngưỡng phát hiện tương ứng với thay đổi năng lượng này.



Hình 4. *Đáp ứng xung của bộ bù khử 3 chu kỳ.*

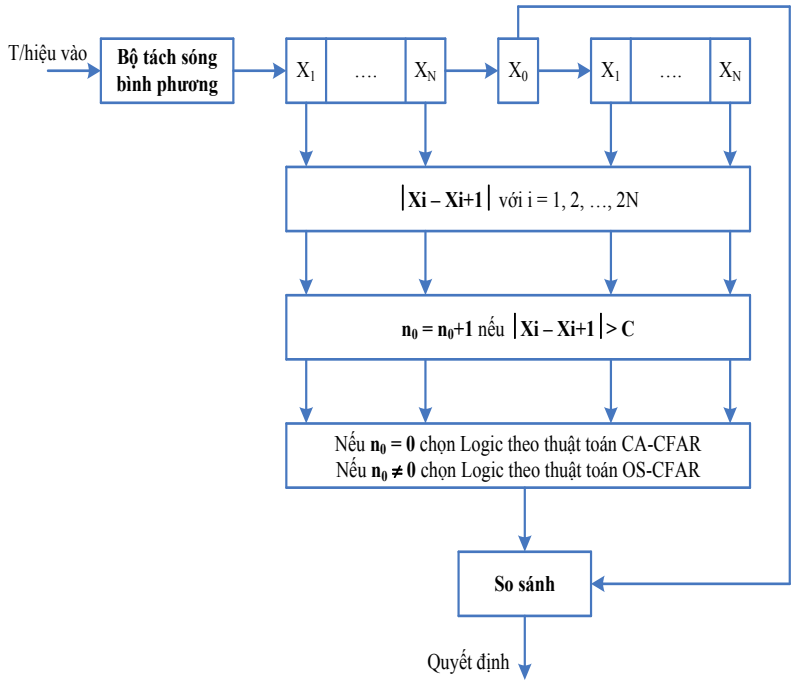
Nghiên cứu cấu trúc của các bộ phát hiện CFAR cơ bản được mô tả trên hình 5, nhận thấy điểm khác biệt của các bộ phát hiện CFAR chính là ở sự lựa chọn mức Logic. Đối với bộ phát hiện CA - CFAR (CA - cell averaging), mức Logic được chọn bằng cách lấy tổng giá trị đầu ra các ô cự ly phía trước và phía sau của ô cự ly xem xét, ngưỡng phát hiện được tính bằng mức Logic nhân với hệ số T. Đối với bộ phát hiện GO - CFAR (GO - Greater-Of), mức Logic được chọn là lớn nhất của tổng giá trị đầu ra các ô cự ly phía trước hoặc tổng giá trị đầu ra các ô cự ly phía sau của ô cự ly xem xét. Ngược lại, đối với bộ phát hiện OS - CFAR (OS - Ordered Statistics), mức Logic được chọn là nhỏ nhất của tổng giá trị đầu ra các ô cự ly phía trước hoặc tổng giá trị đầu ra các ô cự ly phía sau của ô cự ly xem xét.



Lựa chọn Logic	
U + V	CA-CFAR
Max(U;V)	GO-CFAR
Min(U;V)	OS-CFAR

Hình 5. *Cấu trúc bộ phát hiện CFAR.*

Trên cơ sở các bộ phát hiện CFAR cơ bản, ứng dụng bộ phát hiện EA-CFAR (Environmental Adaptive - CFAR) để nâng cao khả năng phát hiện đối với môi trường phức tạp. Thuật toán của bộ phát hiện EA-CFAR được mô tả trên hình 6 hoạt động như sau, nếu chênh lệch giá trị tại ô cự ly X_i vượt quá ngưỡng đánh giá C đã chọn, cờ cho ô X_i được đặt 1, ngược lại cờ được đặt 0. Nếu tổng của tất cả các cờ bằng 0, bộ phát hiện EA-CFAR quyết định rằng môi trường đồng nhất, ngược lại, bộ phát hiện EA-CFAR quyết định rằng môi trường không đồng nhất. Trên cơ sở đánh giá môi trường, lựa chọn thuật toán phát hiện CFAR tối ưu theo môi trường nền. Bộ phát hiện EA-CFAR cho hiệu quả phát hiện cao vì nó không bị gián đoạn bởi môi trường [6].



Hình 6. *Cấu trúc bộ phát hiện EA-CFAR.*

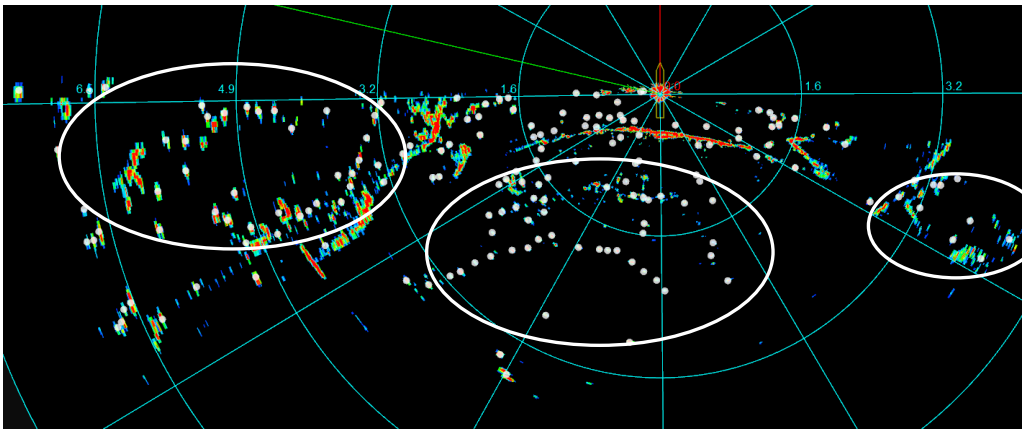


Hình 7. *Địa điểm và đối tượng thử nghiệm.*

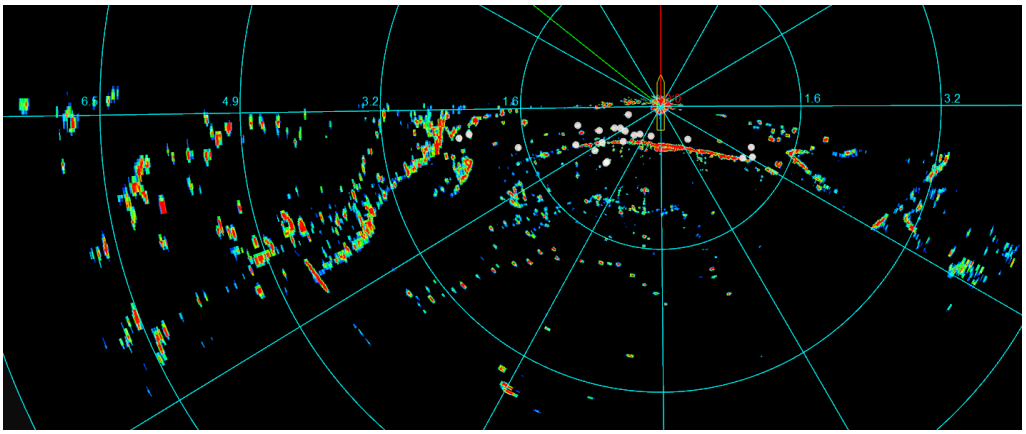
Để đánh giá hiệu quả giải pháp nâng cao khả năng phát hiện cho ra đa hàng hải, chúng tôi tiến hành thử nghiệm thực tế. Tham số kỹ thuật chính của đài ra đa: tần số phát băng X; công suất phát 10kW; chế độ phát đơn xung trơn, độ rộng xung phát 0,1µs, chu kỳ lặp 1700Hz; độ cao anten so với mặt nước 4m. Điều kiện môi trường với gió cấp 3, nhiệt độ $(27 \div 30)^0$C, độ ẩm $(85 \div 90)$%, có sương mù. Địa điểm thử nghiệm là bờ sông Hồng tại bến phà Liên Hà, Liên Trung, Đan Phượng, Hà Nội (hình 7). Tiến hành thử nghiệm để phát hiện các mục tiêu lớn là các sà lan vận tải có tải trọng 45 ÷ 495 tấn, tương đương diện

tích phản xạ hiệu dụng $\sigma = 50 \div 250$ m^2, chuyển động với vận tốc $v = 2 \div 3$ m/s; mục tiêu nhỏ là thuyền đánh cá bằng gỗ một mái chèo, $\sigma = 1 \div 3$ m^2, $v \leq 1$m/s.

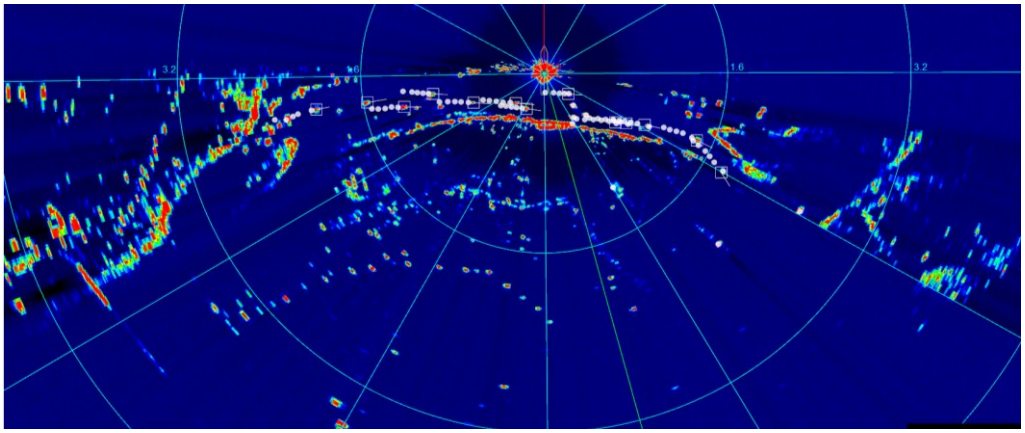
Trên hình 8 mô tả kết quả phát hiện và lọc mục tiêu di động khi ứng dụng bộ bù khử 3 chu kỳ với các trọng số $W_1 = 1$; $W_2 = -2$; $W_3 = 1$ (hình 2) và bộ phát hiện CA-CFAR. Rõ ràng, các điểm dấu lầm của mục tiêu chuyển động xuất hiện rất nhiều trên các khu vực đất liền, cũng như khu vực chỉ có nhiễu tạp mặt nước (các điểm dấu nằm trong vòng tròn).



Hình 8. *Kết quả khi ứng dụng bộ bù khử 3 chu kỳ và bộ phát hiện CA-FAR.*



Hình 9. *Kết quả khi ứng dụng bộ bù khử 3 chu kỳ có điều chỉnh và bộ phát hiện EA-FAR.*



Hình 10. *Kết quả bắt và bám sát quĩ đạo mục tiêu.*

Hình 9 mô tả kết quả phát hiện và lọc mục tiêu di động khi ứng dụng bộ bù khử 3 chu

kỳ có điều chỉnh với các trọng số a = 0,7; b = 0,7; P = 16 (hình 3) và bộ phát hiện EA-CFAR. Các điểm dấu lầm của mục tiêu chuyển động đã được loại bỏ, chỉ còn các mục tiêu chuyển động thực sự. Trên cơ sở kết quả của phát hiện và lọc mục tiêu di động, đưa đến để bắt và bám sát quĩ đạo. Kết quả thực nghiệm trên hình 10 cho thấy, giải pháp kỹ thuật ứng dụng cho phép nâng cao được khả năng phát hiện mục tiêu trong ra đa hàng hải, khả năng bắt và bám sát quĩ đạo mục tiêu đối với các mục tiêu lớn ổn định, cũng như với mục tiêu nhỏ trên nền sóng biển.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng các giải pháp kỹ thuật trong xây dựng hệ thống xử lý tín hiệu cho đài ra đa hàng hải, để nâng cao khả năng phát hiện, bắt và bám sát quĩ đạo mục tiêu, đặc biệt với các mục tiêu nhỏ chuyển động chậm trên nền sóng biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hoàng Thọ Tu. *"Lý thuyết tín hiệu rađa và các phương pháp xử lý"*. Tài liệu dùng cho học viên cao học, HVKTQS, Hà Nội, 2005.

[2]. John A.Gubner. *"Probability and Random Processes for Electrical and Computer Engineers"*. Cambridge University, New York, 2006.

[3]. Keith D.Ward, Robert J.A. Tough, Simon Watts. *"Sea clutter: Scattering, the K Distribution and Radar Performance"*, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdon, 2006.

[4]. M.A. Ritchie, K. Woodbridge, A.G. Stove. *"Analysis of sea clutter distribution variation with Doppler using the compound K-distribution"*. in: International Conference on IEEE Radar 2010, May 2010, pp. 495–499.

[5]. Itzik Cohen, and Nadav Levanon. *"Adjusting 3-Pulse Canceller to Enhance Slow Radar Targets"*. in: IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS 2015), 2 - 4 November 2015, Tel Aviv, Israel.

[6]. Sung Won Hong, Dong Seog Han. *"Performance Analysis of an Environmental Adaptive CFAR Detector"*. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2014.

ABSTRACT

IMPROVING THE DETECTION CAPABILITY OF MARINE RADAR

Based on the studies of the characteristics of the sea clutter model and the reflective properties of the sea surface, the requirement for marine radar is to detect small targets, slow motion, weak radar signal reflection and covered by the background clutter. The content of the paper is to introduce the effective signal processing solutions to improve the capability to detect and track targets in the sea, and the results received from analysing the real data.

Keywords: Marine radar; Target; Sea clutter; Pulse-canceller; Adaptive.

Nhận bài ngày 17 tháng 6 năm 2020
Hoàn thiện ngày 13 tháng 10 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 10 năm 2020

Địa chỉ: [1]Viện Ra đa/Viện KH-CN quân sự;
[2]Khoa Điện tử/Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
[*]Email: lgtrinh76@yahoo.com.