

XÂY DỰNG TÍN HIỆU MÔ PHỎNG ĐẶC TRƯNG VÀ ĐÁNH GIÁ MÔ HÌNH NHIỀU BIỂN BẬC NHẤT TRONG RA ĐA BIỂN TẦM XA SÓNG BỀ MẶT TẦN SỐ CAO

Hà Huy Dũng^{1*}, Lê Duy Hiệu¹, Cao Việt Linh¹, Bùi Ngọc Mỹ²

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu xây dựng phương trình nhiễu biển bậc nhất, quá trình xử lý tín hiệu đặc trưng trong ra đa biển tầm xa sóng bề mặt tần số cao. Phần mềm Matlab được sử dụng để mô phỏng đánh giá cho thấy sự tin cậy của các mô hình tính toán. Từ các tín hiệu, quá trình xử lý đã xây dựng, bài báo thực hiện khảo sát và đánh giá mô hình nhiễu biển bậc nhất trong một chu kỳ quan sát vùng phương vị của ra đa biển tầm xa sóng bề mặt tần số cao qua các tham số gồm quan hệ năng lượng giữa hai vạch phổ, độ mở rộng phổ.

Từ khóa: HFSWR; FMCW; Dữ liệu số; Mô phỏng; Nhiễu biển bậc nhất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ra đa tầm xa là thuật ngữ chung cho các ra đa có cự ly quan sát vượt đường chân trời quang học (Over The Horizon Radar – OTHR). OTHR được dựa trên khả năng lan truyền sóng phân cực đứng của dải tần số cao (High Frequency- HF) từ 3MHz đến 30MHz. Theo phương thức lan truyền OTHR được chia thành hai loại: OTHR sử dụng sóng bầu trời (Sky Wave) lan truyền nhờ quá trình phản xạ liên tiếp của tầng điện ly với cự ly quan sát từ 1000 km tới 3000 km và OTHR lan truyền theo bề mặt dẫn điện (Surface Wave – SW) với vùng quan sát giới hạn ở 400 km [1]. Do yêu cầu hoạt động với bề mặt dẫn điện, OTHR theo phương thức lan truyền bề mặt được ứng dụng trong quan sát, quản lý các mục tiêu trên biển và được viết tắt là HFSWR [8] (High Frequency Surface Wave Radar) trong phần tiếp theo của bài báo.

Sự khác biệt về dải tần và cự ly hoạt động làm cho HFSWR có những điểm khác biệt so với các ra đa tầm nhìn thẳng truyền thống như: Cấu trúc và phương pháp định hướng hệ thống ăng ten; tín hiệu nhiễu biển đặc trưng do bước sóng dài tương tác với sóng trên bề mặt biển; thông tin ra đa yêu cầu quá trình xử lý theo không gian-thời gian với thời gian tính toán lớn hơn 100s tại một vị trí phương vị được quan sát. Vì vậy, ngoài sự kế thừa các thành tựu của lĩnh vực nguyên cứu nguyên lý, công nghệ chung trong kỹ thuật ra đa, quá trình phát triển và hoàn thiện của HFSWR gắn liền với những kết quả của những lĩnh vực nghiên cứu riêng biệt.

Trong HFSWR, chất lượng phát hiện mục tiêu bị suy giảm do ảnh hưởng của nhiễu biển bậc nhất (First Order Sea Clutter-FOSC). Những nghiên cứu về nhiễu biển đối với dải sóng HF theo cơ sở dữ liệu thực tế đã mô tả được phương trình năng lượng của nhiễu biển. Tuy nhiên, chưa có công trình công bố phương trình toán học mô tả nhiễu biển theo các thông tin đặc trưng. Tiếp theo, HFSWR sử dụng cấu trúc ăng ten với tín hiệu phát được phát xạ bởi mảng ăng ten mặt phẳng. Tại phía thu, các mảng ăng ten đồng dạng tuyến tính (Uniform Linear Array-ULA) dựa trên các bộ thu đa kênh kết hợp với bộ xử lý số theo từng phần tử ăng ten để tạo ra giản đồ hướng có búp sóng nhỏ, với độ rộng búp sóng tại vị trí nửa công suất (Half Power Beam Width-HPBW) được tính theo công thức (1) [10, 11].

$$HPBW_{ULA} \approx \frac{0.886\lambda}{Nd \cos \theta_0} \quad (1)$$

Trong đó: λ là bước sóng của tần số làm việc [m]; N số phần tử ăng ten thu; d là khoảng cách giữa các phần tử ăng ten [m]; θ_0 là góc hướng búp sóng chính [rad]. Theo (1) HPBW phụ thuộc hướng búp sóng chính, như vậy, giá trị này thay đổi trong quá trình quan sát của HFSWR. Sự thay đổi HPBW dẫn tới sự thay đổi tương ứng trong quan hệ năng lượng phản xạ của FOSC [6], [7]. Vì vậy, việc xây dựng tín hiệu mô phỏng và đánh giá mô hình FOSC trong một chu kỳ quan

sát vùng phương vị có ý nghĩa quan trọng trong các nghiên cứu nâng cao chất lượng xử lý tín hiệu, xử lý phát hiện trong HFSWR.

Bài báo này sẽ thực hiện các khảo sát đánh giá mô hình FOSC qua các nội dung chính gồm: xây dựng phương trình FOSC và đề xuất tín hiệu đặc trưng trong HFSWR tại mục 2; thực hiện và đánh giá độ tin cậy của mô hình xử lý tín hiệu trong HFSWR tại mục 3; trong mục 4 thực hiện khảo sát đánh giá mô hình FOSC khi HPBW thay đổi.

2. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH TÍN HIỆU NHIỀU BIẾN BẬC NHẤT VÀ ĐỀ XUẤT TÍN HIỆU ĐẶC TRƯNG TRONG RA ĐA BIẾN TẦM XA SÓNG BỀ MẶT TẦN SỐ CAO

Tín hiệu nhận được của HFSWR được tổng kết theo cơ sở dữ liệu từ thực tế gồm những nhóm tín hiệu chính như sau [8]:

- Tín hiệu nhiễu loạn năng lượng lớn gây ra bởi các hiện tượng tự nhiên, nhiễu vũ trụ, nhiễu do hoạt động của con người. Nhiễu này thường xuất hiện trong khoảng thời gian nhất định hoặc được đánh giá khi xây dựng hệ thống;

- Nhiễu tầng điện ly: Là những tín hiệu phản xạ từ tầng điện ly của phần năng lượng phát hướng lên phía trên, vì thế nhiễu tầng điện ly thường xuất hiện ở những cự ly xa hơn 300 km và có các thuộc tính thống kê riêng biệt;

- Nhiễu biến bậc nhất: Thành phần nhiễu biến bậc nhất có vai trò quan trọng trong đo lường trạng thái biển nhưng lại gây ra các vùng mù trong phát hiện và bám sát mục tiêu trên biển. Đến nay nhiễu biến bậc nhất chưa có được phương pháp thống kê cụ thể và là yếu tố chính gây ra tính bất định trong môi trường hoạt động của HFSWR;

- Tín hiệu từ mục tiêu chuyển động nhanh (các vật thể bay): Tín hiệu này được nhận biết như một dải năng lượng dọc theo trục Đốp-ple;

- Tín hiệu mục tiêu: Là những tín hiệu phản xạ từ mục tiêu biển xuất hiện theo các ô phân biệt của ra đa. Tín hiệu này là mục tiêu xử lý thu thập thông tin của kênh xử lý tín hiệu và phát hiện trong HFSWR.

Như vậy, tín hiệu thu đặc trưng đối với một hệ thống HFSWR phục vụ trong nghiên cứu mô hình, thuật toán xử lý, phát hiện có thể được xây dựng từ hai thành phần chính là các tín hiệu phản xạ từ mục tiêu và tín hiệu nhiễu biến bậc nhất. Nội dung tiếp theo của bài báo sẽ nghiên cứu xây dựng các phương trình toán học mô tả hai tín hiệu đặc trưng này.

2.1. Phương trình tín hiệu phản xạ từ mục tiêu

Trong HFSWR, nhằm tối ưu thời gian xử lý đối với mục tiêu di chuyển chậm trên biển và giảm thiểu công suất đỉnh trong khi vẫn duy trì được năng lượng phát xạ cần thiết, tín hiệu được sử dụng trong HFSWR là các tín hiệu điều chế tần số liên tục (Frequency Modulated Continuous Wave-FMCW) với qui luật điều tần tuyến tính [8]. Trong N chu kỳ phát xạ tín hiệu phát FMCW S_{NTX} được mô tả theo thời gian t tại phương trình (2) [3]:

$$S_{NTX}(t) = A_{TX} e^{j(2\pi f_c t + \theta)} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\pi B(t-nT)^2/T_p}, \quad t \in [0, NT_p) \quad (2)$$

Trong đó: A_{TX} là độ lớn phụ thuộc công suất phát P_t và độ khuếch đại ăng ten G_t ; f_c là tần số mang; θ là pha ban đầu của tín hiệu; T_p - Chu kỳ phát tín hiệu; B - Băng thông của tín hiệu điều tần tuyến tính.

Cũng theo [3], tín hiệu phản xạ từ mục tiêu S_{NRX} tại cự ly ban đầu $R(0)$ tương ứng với thời gian trễ τ và vận tốc hướng tâm theo tần số Đốp-ple f_D được viết cho N chu kỳ như (3):

$$S_{NRX}(t) = P_{RX} e^{j2\pi(f_0 + f_D)t + j\theta} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\pi B(t-\tau-nT)^2/T_p} \quad (3)$$

Với năng lượng mục tiêu P_{RX} được viết theo công thức (4) [4]:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_0^4 L_s L_p} \quad (4)$$

Trong đó: P_t là công suất phát định; G_t là hệ số khuếch đại ăng ten phát; σ là diện tích phản xạ hiệu dụng (Radar Cross Section-RCS) của mục tiêu; L_s - Suy giảm hệ thống, L_p là giá trị suy giảm lan truyền được thiết lập theo hàm suy giảm sóng bề mặt Norton $|F(r_i)|^4$ [9];

RCS của mục tiêu xuất phát từ những nghiên cứu sự tương tác giữa sóng điện từ và mục tiêu tại dải tần HF và được tính theo (5) với D là tải trọng tính theo đơn vị nghìn tấn [5]:

$$\sigma = 52 f_c \sqrt{D^3} \quad (5)$$

Thay (3), (4) vào (2), phương trình tín hiệu phản xạ của mục tiêu trong HFSWR được mô tả tại (6):

$$S_{NRX}(t) = \frac{52cP_t G_t G_r \lambda \sqrt{D^3}}{(4\pi)^3 R_0^4 L_s L_p} e^{j2\pi(f_0 + f_D)t + j\theta} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\pi B(t - \tau - nT)^2 / T_p} \quad (6)$$

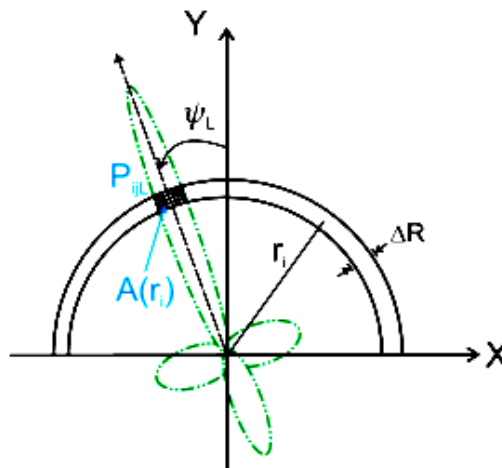
Trong đó, c là vận tốc ánh sáng (3.10^8 m/s). Phương trình (5) thể hiện đầy đủ thông tin của mục tiêu là thời gian trễ tương ứng với cự ly và tần số Dopp-ple liên quan đến vận tốc.

2.2. Xây dựng phương trình nhiễu biển bậc nhất

Thành phần nhiễu biển bậc nhất (FOSC) được nghiên cứu từ những năm 1973. Tuy nhiên, cho đến nay, các nghiên cứu vẫn chưa xác định được mô tả hàm phân bố mật độ xác suất của FOSC. Các nghiên cứu liên quan tới FOSC giả định rằng tín hiệu phản xạ về hệ thống HFSWR chỉ hoàn toàn là các phản xạ từ bề mặt biển tại vùng quan sát $A(r_i)$ theo hướng quan sát ψ_L nằm giữa vùng cự ly ΔR của búp sóng thu như tại hình 1. Năng lượng FOSC được mô tả theo công thức (7) trong [6]:

$$P_{FOSC} = \frac{\lambda^2 P_t G_t G_r |F(r_i)|^4}{(4\pi)^3 r_i^4} \tilde{\sigma}_{FOSC}(\omega_j, \psi_L) A(r_i) \quad (7)$$

Với $\tilde{\sigma}_{FOSC}(\omega_j, \psi_L)$ là mật độ phổ diện tích phản xạ hiệu dụng của FOSC.



Hình 1. Mô hình thu tín hiệu nhiễu biển.

Phương trình (6) thực chất là một mô tả FOSC như một dạng tán xạ có phân bố bề mặt có mật độ RCS $d\sigma(R, \theta, \phi)$ được tính theo vùng quan sát đơn vị V (ô ra đa) với năng lượng P_{nb} như (8) [3]:

$$P_{nb} = \frac{P_t \lambda^2}{(4\pi)^3 L_s L_p} \int_V \frac{P_{tx}(\theta, \phi) P_{rx}(\theta, \phi)}{R^4} d\sigma(R, \theta, \phi) \quad (8)$$

Trong đó, $P_{tx}(\theta, \phi)$, $P_{rx}(\theta, \phi)$, η lần lượt là các mẫu giản đồ năng lượng phát, thu của ăng ten và RCS của nhiều biển. Theo các triển khai phương trình (8) trong [3], năng lượng nhiều biển được viết như phương trình (9):

$$P_{nb} = \frac{P_t \lambda^2 \eta}{(4\pi)^3 L_s L_p} \frac{\Delta R}{R^2 - \Delta R^2 / 4} 0.57 \theta_3 G_r G_t \quad (9)$$

Trong đó, θ_3 là khoảng góc phương vị ở nửa độ rộng búp sóng tính theo radian.

Theo định nghĩa FOSC là nhiễu cộng hưởng với những sóng có độ dài bằng một nửa bước sóng làm việc của ra đa. Sóng biển có độ dài cộng hưởng này liên quan tới trọng lực tạo ra một độ dịch tần Dopp-ple trong tín hiệu phản xạ như công thức (10) [6]:

$$f_{FOSC} = \pm \sqrt{\frac{g}{\pi \lambda_0}} = \pm \sqrt{\frac{g k_0}{2\pi^2}} \quad (10)$$

Với $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ là gia tốc trọng lực; λ_0 là bước sóng của tần số làm việc [m]; $k_0 = 2\pi/\lambda_0$;

Khi sóng biển nằm trên một dòng chảy với vận tốc V_c [m/s] hợp với hướng quan sát của ra đa một góc α , công thức (10) trở thành (11) [7]:

$$f_{FOSC} = \pm \sqrt{\frac{g k_0}{2\pi^2}} - \frac{2V_c}{\lambda_0} \cos \alpha \quad (11)$$

Công thức (11) được sử dụng rộng rãi trong một số lĩnh vực đo lường trạng thái biển [12], [13]. Với mục đích đánh giá mô hình nhiễu biển, bài báo sẽ sử dụng công thức (10) để xây dựng phương trình nhiễu biển.

Tại [6], RCS của nhiễu biển bậc nhất $\eta = \sigma_1(\omega_d, \theta)$ xuất phát từ thực nghiệm và các nghiên cứu liên quan đến sự tương tác giữa sóng điện từ phân cực đứng và sóng biển sẽ được mô tả theo công thức tổng quát (12):

$$\sigma_1(\omega_d, \theta) = 2^6 k_0^4 \sum_{m=\pm 1} F(2k_0) D(\theta + (m+1)\frac{\pi}{2}) \delta(\omega_d - m\sqrt{2gk_0}) \quad (12)$$

Trong đó:

+ Giới hạn mật độ năng lượng phổ biển vô hướng tính theo (13):

$$F(k) = \frac{0.005}{k^4} \quad (13)$$

+ Tham số hướng của năng lượng sóng biển tính theo (14):

$$D(\theta) = \sum_{m=\pm 1} \frac{0.004 + 0.996 \cos^S \left[\frac{\theta - \alpha}{2} + (1+m)\frac{\pi}{4} \right]}{0.755\pi} \quad (14)$$

+ δ là hàm Diract Delta; m thể hiện chiều hướng vào hay hướng ra so với vị trí ra đa. S là tham số trải phổ được lựa chọn từ 2 đến 4 theo [14].

Hàm Diract Delta trong (12) thể hiện sự tồn tại của nhiễu biển bậc nhất theo hướng sóng hướng tới hay hướng ra xa vị trí của ra đa và không ảnh hưởng đến độ lớn của năng lượng. Thay (12) và (13) vào (11), năng lượng phản xạ của nhiễu biển bậc nhất P_{nb1} được xác định như (15):

$$P_{nb1} = 0,0114 \frac{P_t \lambda^2 G_r G_t \theta_3}{(4\pi)^3 L_s L_p} \frac{\Delta R}{R^2 - \Delta R^2 / 4} \sum_{m=\pm 1} \frac{0.004 + 0.996 \cos^s \left[\frac{\theta - \alpha}{2} + (1+m) \frac{\pi}{4} \right]}{0.755\pi} \quad (15)$$

Từ cơ sở lý thuyết ra đa và đặc trưng tương tác giữa sóng phát xạ HF với bề mặt biển, phương trình tính toán năng lượng FOSC đã hoàn toàn được xác định. Để có thể tạo ra tín hiệu mô phỏng đối với FOSC cần phải xây dựng phương trình mô tả FOSC bao gồm đầy đủ các tham số liên quan đến thông tin cự ly và vận tốc theo thời gian. Để thực hiện điều này, trước tiên, có thể giả định FOSC có tính chất như một mục tiêu có phân bố tán xạ bề mặt ở cự ly R_n tương ứng với thời gian trễ τ_n và tốc độ hướng tâm tương ứng với độ dịch tần Dopp-ple f_{FOSC} . Phương trình mô tả FOSC tại một vị trí có thể được viết cho tín hiệu phát FMCW trong N chu kỳ như (16):

$$S_{Nb1}(t) = P_{nb1} e^{j2\pi f_0 t} \left[e^{j2\pi \left(\sqrt{\frac{g}{\pi \lambda_0}} \right) t} + e^{j2\pi \left(-\sqrt{\frac{g}{\pi \lambda_0}} \right) t} \right] \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\pi B(t-\tau-nT)^2 / T_p} \quad (16)$$

Tiếp theo, dựa vào tính chất xuất hiện liên tục trong một khoảng cự ly dài, tương ứng với khoảng trễ $\tau_{nb} \div \tau_{ne}$, phương trình (16) được viết đầy đủ cho một vùng FOSC $S_{Nb1}^*(t)$ như (17):

$$S_{Nb1}^*(t) = P_{nb1}^* e^{j2\pi f_0 t} \left[e^{j2\pi \left(\sqrt{\frac{g}{\pi \lambda_0}} \right) t} + e^{-j2\pi \left(\sqrt{\frac{g}{\pi \lambda_0}} \right) t} \right] \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{\tau_i=\tau_{nb}}^{\tau_{ne}} e^{j\pi B(t-\tau_i-nT)^2 / T_p} \quad (17)$$

Trong đó, giá trị năng lượng P_{nb1}^* cần phải được tính theo dải cự ly tương ứng với các vị trí tồn tại FOSC như (18) với $\tau_i \in [\tau_{nb} \quad \tau_{ne}]$:

$$P_{nb1}^* = 0,0114 \frac{P_t \lambda^2 G_r G_t \theta_3}{(4\pi)^3 L_s L_p} \frac{4\Delta R}{(c\tau_i)^2 - \Delta R^2} \sum_{m=\pm 1} \frac{0.004 + 0.996 \cos^s \left[\frac{\theta - \alpha}{2} + (1+m) \frac{\pi}{4} \right]}{0.755\pi} \quad (18)$$

Như vậy, qua các phương trình tín hiệu phản xạ từ mục tiêu, FOSC các thành phần tín hiệu thu số đặc trưng trong HFSWR đã được xây dựng đầy đủ và tường minh. Tín hiệu mô phỏng số phục vụ cho các nghiên cứu xử lý tín hiệu trong HFSWR có thể được thể hiện qua công thức (19):

$$RX_{HFSWR}(t) = S_{NRX}(t) + S_{Nb1}^*(t) + n(t) \quad (19)$$

Trong đó:

- $S_{NRX}(t)$: Các tín hiệu phản xạ từ các mục tiêu với tham số cự ly, dịch tần Dopp-ple, độ dẫn nước D khác nhau, có phương trình mô tả như (5);
- $S_{Nb1}^*(t)$: Tín hiệu phản xạ của FOSC tại các miền cự ly xuất hiện khác nhau, có phương trình mô tả tại (16), (17);
- $n(t)$: Giá trị tạp nhiễu ngẫu nhiên.

Phần tiếp theo của bài báo sẽ thực hiện xây dựng thuật toán xử lý tín hiệu trong HFSWR sử dụng dữ liệu mô phỏng nhằm kiểm chứng chức năng các thành phần chức năng trong các khâu xử lý và sự tin cậy của các phương trình tín hiệu đặc trưng đã được xây dựng.

3. KẾT QUẢ THỰC HIỆN PHẦN MỀM XỬ LÝ TÍN HIỆU VỚI DỮ LIỆU MÔ PHỎNG TRONG RA ĐA BIỂN TẦM XA SÓNG BỀ MẶT TẦN SỐ CAO

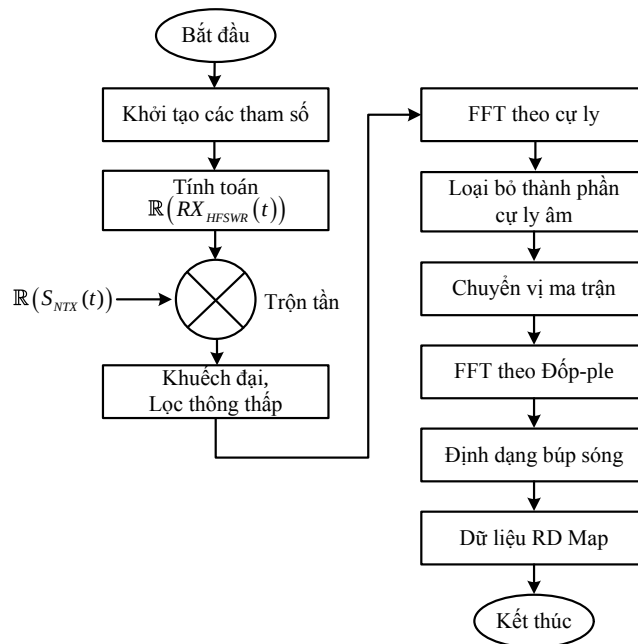
Tín hiệu mô phỏng số như (19) được xây dựng theo các tham số hệ thống HFSWR và thông tin dữ liệu như liệt kê tại bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. Tham số hoạt động hệ thống HFSWR.

TT	Tham số	Đơn vị	Giá trị
1	Số phần tử ăng ten thu ULA		32
2	Độ khuếch đại ăng ten phát, G_t	dB	3
3	Độ khuếch đại ăng ten thu, G_r	dB	3
4	Suy giảm hệ thống, L_s	dB	3
5	Suy giảm lan truyền, L_p	dB	8
6	Tần số hoạt động, f_0	MHz	3.5
7	Băng thông, B	KHz	100
8	Chu kỳ lặp, T_p	s	0,26
9	Điểm FFT theo cự ly		1024
10	Điểm FFT theo Dopp-ple		512
11	Góc giữa hướng quan sát ra đa và hướng gió	Độ	60
12	Góc hướng ra đa	Độ	0

Bảng 2. Tham số mục tiêu mô phỏng.

TT	Đối tượng	Cự ly (km)	Vận tốc (m/s)	RCS qui đổi(m ²)
1	Mục tiêu 1	150	30	12000
2	Mục tiêu 1	155	40	12000
3	Dải cự ly nhiều biến bậc nhất	0-50 80-250		Theo phương trình (18)

**Hình 2.** Sơ đồ chức năng thực hiện chương trình xử lý tín hiệu trong HFSWR.

Chương trình xử lý tín hiệu trong HFSWR có các bước thực hiện, biến đổi được xây dựng trên phần mềm Matlab theo sơ đồ chức năng tại hình 2 [2]. Tín hiệu mô phỏng số là phần thực của tín hiệu mô phỏng sẽ được đưa tới các thành phần xử lý tín hiệu trong HFSWR với trình tự [2]: tín hiệu thu được số hóa và đi tới các bộ trộn, khuếch đại, lọc thông thấp, biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform- FFT) theo miền cự ly. Các giá trị tương ứng với từng ô phân giải cự ly sẽ được lưu vào các hàng của ma trận $N_R \times N_D$ với N_R, N_D lần lượt là số ô cự ly trong miền

quan sát và số ô cự ly được dùng để tính toán phổ Dopp-ple. Dữ liệu sau đó được Kết quả thu được là dữ liệu chứa thông tin ra đa dưới dạng bản đồ Cự ly, Dopp-ple (RD Map). Với các tham số hệ thống được lựa chọn như tại bảng 1, độ chính xác các thông tin về cự ly và tần số Dopp-ple được tính theo các công thức (20), (21) lần lượt là 1,5 km và 0,321 m/s. Giá trị các vị trí phổ Dopp-ple tính theo (10) gồm: -8,17 m/s và +8,17 m/s.

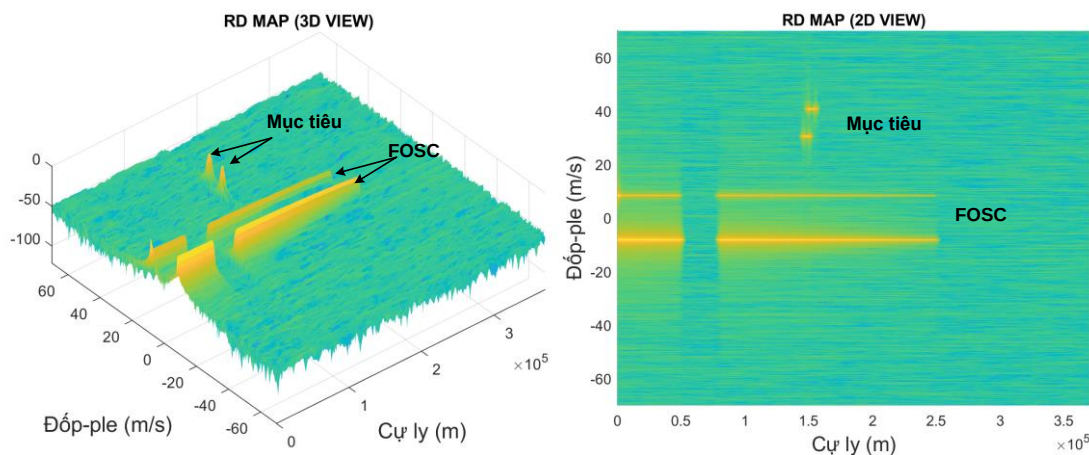
$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (20)$$

$$\Delta v = \frac{c}{2f_0 T_p N_D} \quad (21)$$

Kết quả sau khi thực hiện chương trình mô phỏng được mô tả trên hình 3 dưới dạng 3D và hình chiếu. Số lượng mục tiêu (như đánh theo số thứ tự) và các thông tin sau xử lý (cự ly, vận tốc) được liệt kê tại bảng 3.

Bảng 3. Tham số mục tiêu sau phân mềm xử lý tín hiệu.

TT	Đối tượng	Cự ly (km)	Sai số cự ly (km)	Vận tốc (m/s)	Sai số vận tốc (m/s)
1	Mục tiêu 1	148,5	1,02	30,8	0,18
2	Mục tiêu 1	152,3	0,27	40,97	-0,15
3	FOSC	0-51,2	1,2	-8,29	-0,08
		78,8-249	1,0	8,13	0,04



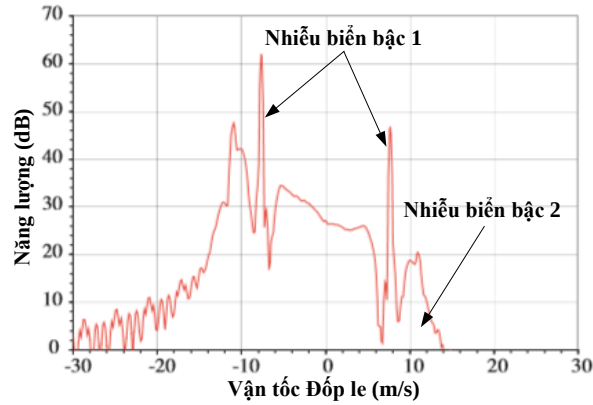
Hình 3. Dữ liệu RD Map dạng 3D và hình chiếu 2D đạt được sau phân mềm mô phỏng.

Như vậy, các kết quả về thông tin của dữ liệu sau chương trình mô phỏng đảm bảo độ chính xác theo cự ly và Dopp-ple lần lượt là 1,5 km và 0,312 m/s cho thấy sự tin cậy trong các mô tả toán học và phần mềm xử lý tín hiệu đã xây dựng. Tại mục 4 sẽ thực hiện so sánh với một kết quả đã được công bố, nhằm đưa ra đánh giá chi tiết đối với mô hình FOSC.

4. ĐÁNH GIÁ MÔ HÌNH NHIỀU BIỂN BẠC NHẤT TRONG RA ĐA BIỂN TẦM XA SÓNG BỀ MẶT TẦN SỐ CAO

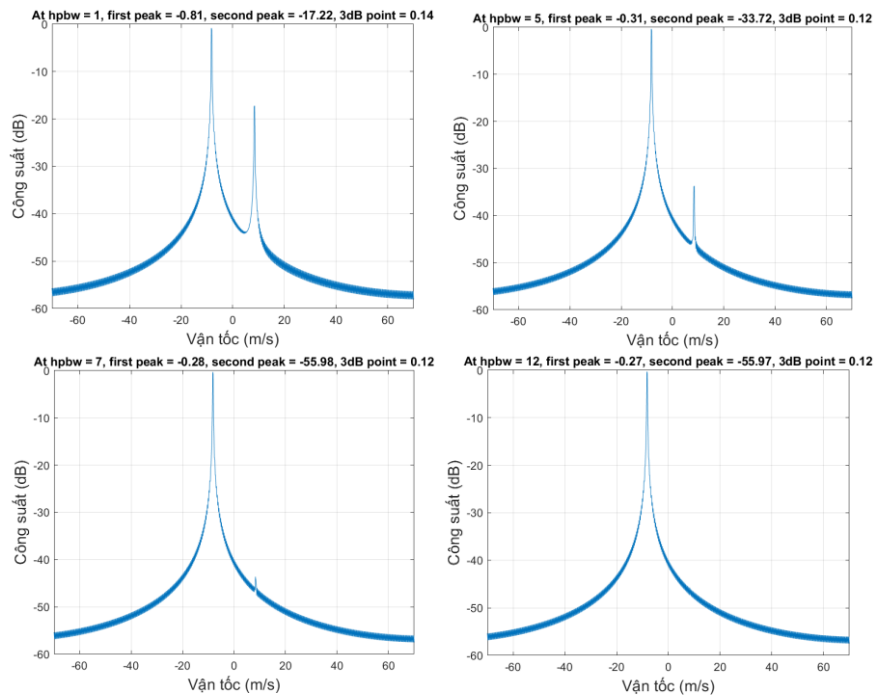
Trong HFSWR, các tham số của FOSC gồm độ dịch tần Dopp-ple, năng lượng phản xạ, tỉ số năng lượng của hai vạch phổ nhiễu và độ rộng phổ biến động theo tần số làm việc của đài ra đa, trạng thái biến và sự thay đổi HPBW. Qua mô hình mô phỏng đã xây dựng, bài báo thực hiện những đánh giá và khảo sát đối với các tham số của FOSC qua so sánh với nghiên cứu đã được về FOSC của hệ thống HFSWR [5] như mô tả tại hình 4 và khảo sát độ mô hình FOSC khi thay

đôi HPBW trong khoảng giá trị từ 1^0 đến 12^0 , tương ứng với các khoảng thay đổi HPBW khi quét miền phương vị quan sát. Các tham số khác của hệ thống HFSWR được giữ nguyên như bảng 1.



Hình 4. Nhiều biến trong HFSWR hoạt động ở dải tần 3,5 MHz, gió 15 hải lý/h (7,72 m/s) hướng gió 60^0 so với góc quét của radar, tần số hoạt động 3,5 MHz.

Trên hình 4 thể hiện nhiễu biến được thực hiện tại [5]. Các tham số của FOSC thực tế gồm vị trí đỉnh năng lượng phổ FOSC, tỉ số năng lượng giữa hai đỉnh phổ FOSC được đo đặc có các giá trị lần lượt là: $\pm 8,12$ m/s; 16,6 dB; Kết quả này hoàn toàn trùng khớp với các giá trị được thể hiện tại chương trình mô phỏng trong bài báo.



Hình 5. Mô hình FOSC trong HFSWR trong một chu kỳ quan sát miền phương vị.

Kết quả khảo sát mô hình FOSC khi thay đổi giá trị HPBW được mô tả tại hình 5 với các vị trí HPBW là 1^0 , 4^0 , 7^0 , 11^0 . Có thể thấy:

- + Thứ nhất, kết quả mô phỏng và nghiên cứu đã công bố đều xác định trong môi trường không có dòng chảy nền, độ dịch tần Đốp-ple FOSC được tính chính xác theo công thức (10).
- + Thứ hai, năng lượng giữa hai vạch phổ đo được tương ứng với tỉ số giữa hai giá trị năng

lượng nhiễu biển được xây dựng tại (18) khi mà hệ số $\cos^S \left[\frac{\theta - \alpha}{2} + (1+m) \frac{\pi}{4} \right]$ tương ứng với $\cos^S \left[\frac{\theta - \alpha}{2} \right]$ khi $m = -1$ và $\sin^S \left[\frac{\theta - \alpha}{2} \right]$ khi $m = +1$ như được mô tả tại (21) (với $S = 3, 4$):

$$\Delta P_{FOSC} = 20 \log \frac{P_{nb1}^*(m=+1)}{P_{nb1}^*(m=-1)} = 20 \log \left(\tan^S \left(\left| \frac{\theta - \alpha}{2} \right| \right) \right) \quad (22)$$

Nhận xét này thể hiện sự ảnh hưởng của trạng thái biển tác động đến FOSC, cụ thể là gây ra sự bất đối xứng về năng lượng phản xạ của các sóng cộng hưởng hướng tới và rời xa ra đa. Trong trường hợp hướng gió trùng hoặc ngược với hướng ra đa, một trong hai vạch phổ FOSC sẽ biến mất.

+ Thứ ba, FOSC luôn bị mở rộng phổ khoảng mở rộng trải dài trong khoảng từ 1 đến 8 ô phân giải Dop-ple tùy thuộc vào độ lớn năng lượng phản xạ nhiễu. Tham số này của FOSC có vai trò quyết định đến sự lựa chọn thích nghi của sơ đồ tham chiếu đánh giá của các bộ phát hiện.

5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các mô tả thực nghiệm của nhiễu biển bậc nhất trong ra đa biển tầm xa sóng bề mặt dải tần số cao, bài báo đã nghiên cứu đề xuất phương trình toán học mô tả tín hiệu phản xạ của nhiễu biển bậc nhất cho tín hiệu phát xạ điều chế tần số liên tục, qua đó xây dựng dữ liệu tín hiệu thu số đặc trưng của ra đa biển tầm xa sóng bề mặt dải tần số cao. Các mô hình toán học được đánh giá qua chương trình phần mềm xử lý tín hiệu đã khẳng định sự tin cậy và chính xác của các công thức, phương trình được xây dựng thông qua so sánh với nghiên cứu đã được công bố. Các nghiên cứu khảo sát mô hình nhiễu biển bậc nhất cho thấy tính bất định của nhiễu này trong quá trình hoạt động do sự phụ thuộc vào những yếu tố thay đổi liên tục như trạng thái biển, hướng quan sát của ra đa. Các tham số như sự thăng giáng năng lượng giữa các vạch phổ và khoảng mở rộng phổ theo Dop-ple của nhiễu biển bậc nhất đã khảo sát có ý nghĩa quyết định đến các nghiên cứu thuật toán phát hiện thích nghi trong ra đa biển tầm xa sóng bề mặt dải tần số cao.

Hướng phát triển tiếp theo của nội dung nghiên cứu là xây dựng phương trình mô tả các loại nhiễu khác như nhiễu biển bậc hai, nhiễu tầng điện ly nhằm từng bước hoàn thiện công cụ mô phỏng tín hiệu trong ra đa biển tầm xa sóng bề mặt dải tần số cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H.H.Dũng, L.D.Hiệu, B.N.Mỹ, N.X.Thái, P.K.Cương (2018), “*Giải pháp xây dựng hệ thống ra đa cảnh giới biển vượt đường chân trời tại Việt Nam*”, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, tr. 1-5.
- [2]. N. Stojkovic, D. Nikolic, P. Petrovic, N. Tosic, I. Gluvacevic, N. Stojiljkovic, (2019), “*An Implementation of DBF and CFAR Models in OTHR Signal Processing*”, IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & its Applications, Penang, Malaysia.
- [3]. Richards M. A., (2015) “*Fundamentals of Radar system processing*” second Edition, Mc Graw Hill Education, tr. 354-360.
- [4]. Chan H. C., (1998), “*Detection and tracking of low-altitude aircraft using hf surface-wave radar*”, Defence Research Establishment Ottawa, tr.30-35.
- [5]. Ponsford A. M., Wang J., (2010), “*A review of high frequency surface wave radar for detection and tracking of ships*”, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences.
- [6]. Gupta A., (2015), “*Theory and Measurement Validation of Novel HFSWR Receiver Architecture: Antenna Design, Clutter Suppression and Detection*”, Department of Electrical Engineering of Helmut Schmidt University, Germany, tr. 80-100.

- [7]. Wang Y., Mao X., Zhang J., (2018) “Detection of Vessel Targets in Sea Clutter Using In Situ Sea State Measurements With HFSWR”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.
- [8]. Nikolic D., Stojkovic N., (2019) “The high frequency surface wave radar solution for vessel tracking beyond the horizon”, Electronics and Energetics Vol. 33, No 1, tr. 37-59.
- [9]. GRWAVE USER MANUAL. Software concerning Tropospheric Propagation: Groundwave propagation (GRWAVE). International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector (ITU-R), Study Group 3 (SG 3) - Radiowave propagation.
- [10]. Weigner M. M., “Monopole Antennas,” New York – Basel: Marcel Dekker Inc., 2003. ISBN 0824748441.
- [11]. Balanis C.A. (2016), “Antenna Theory Analysis and Design,” 4nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, tr. 285-310.
- [12]. Frisch A. S., Weber B. L., “A new technique for measuring tidal currents by using a two-site HF Doppler radar system,” J. Geophys. Res., vol. 85, pp. 485-493, 1980.
- [13]. Prandle D., Ryder D. K., “Measurement of surface currents in Liverpool Bay by high-frequency radar,” Nature, vol. 315, pp. 128- 131, 1985.
- [14]. Heron M. L., “Directional spreading of short-wavelength fetch-limited wind waves,” submitted to J. Phys. Oceanogr., 1985.

ABSTRACT

DERIVATION OF FIRST-ORDER SEA CLUTTER MODEL AND ITS EVALUATION IN LONG-RANGE SURFACE WAVE RADARS

The paper studied the derivation of the first-order sea clutter model and the typical signal processing in high-frequency surface wave radars. All calculation models are checked and simulated using Matlab to verify their reliability. Based on the derived signal models and their processing, we investigate the first-order sea clutter model in one period for high-frequency surface wave radars, evaluating the energy relationship between two spectrum lines and their expanding spectrum.

Keywords: HFSWR; FMCW; Digital data; Simulation; First-order sea clutter.

Nhận bài ngày 28 tháng 4 năm 2021

Hoàn thiện ngày 24 tháng 5 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 6 năm 2021

Địa chỉ: ¹Viện Ra đa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Phòng Đào tạo, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: dungsystemdesigner@gmail.com.