

TÍNH TOÁN CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG PHÁT HIỆN CỦA RAĐA VỚI MỘT SỐ MÔ HÌNH NHIỀU BIÊN PHÂN BỐ KHÔNG GAUSS

CALCULATION OF DETECTION PERFORMANCE OF RADAR IN SOME NON-GAUSS DISTRIBUTION SEA CLUTTER MODELS

Phùng Ngọc Anh¹, Vương Ngọc Huân²

¹Học viện Phòng không - Không quân,

²Học Viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt:

Bài báo thiết lập và xây dựng mô hình nhiễu không Gauss từ mô hình nhiễu Gauss kết hợp với sự biến đổi của mặt biển (sóng, gió...), tập trung vào khảo sát sự tương thích của mô hình nhiễu không Gauss với dữ liệu thống kê thực tế; tính tổn hao CFAR với các mô hình nhiễu này và tính toán đặc trưng phát hiện trong một số trường hợp.

Từ khóa:

Ổn định xác suất báo động lầm, radar, xác suất phát hiện, xác suất báo động lầm, nhiễu biển.

Abstract:

In this paper, we construct and investigate a non-Gaussian clutter model from the conventional Gaussian clutter model with several variations of sea surface. Our investigation focuses on the compability between the non-Gaussian clutter model and practically statistical data; the CFAR loss in these models; and the calculation of the detection characteristic in some cases.

Keywords:

Constant False Alarm Rate (CFAR), RADio Detection And Ranging (radar), Probability of Detection (P_D), Probability of False Alarm (P_{FA}), Sea Clutter.

Trước đây, rất nhiều mô hình lý thuyết về nhiễu biển đã được nghiên cứu [4-12], tập trung nhiều nhất là các nghiên cứu cho trường hợp chiếu xạ mặt biển dưới các góc trượt nhỏ tương ứng với hoạt động của các radar cảnh giới biển đặt trên bờ hoặc trên các tàu biển [8]. Cũng khó có

một mô hình lý thuyết thoả đáng nào phản ánh chính xác các tính chất thống kê của nhiễu biển. Đa số các công trình nghiên cứu [4-12] đều thống nhất kết luận nhiễu biển là quá trình không dừng (Non-Stationary), không Gauss (non-Gaussian). Vì vậy, biên độ của nhiễu có mật độ phân bố không Rayleigh (non-Rayleigh). Sau đây chúng ta sẽ xét các mật độ phân bố

Ngày nhận bài: 13/4/2017, ngày chấp nhận đăng: 20/9/2017, phản biện: TS. Vũ Chí Thanh.

xác suất non-Rayleigh và các đặc trưng của phân bố đó áp dụng cho nhiều biển.

Dựa trên các kết quả phân tích các số liệu thực nghiệm [13, 14] cho thấy, các mô hình thống kê phân bố biên độ nhiều biển có thể thuộc vào một trong các dạng phân bố thống kê sau:

- Phân bố Log - chuẩn (Log-Normal distribution);
- Phân bố Weibull (Weibull distribution);
- Phân bố K phức hợp (Compound K-distribution).

Tương ứng với các mô hình nhiều biển không Gauss, cần chọn các thuật toán phát hiện phù hợp, tạo ra ngưỡng thích nghi nhằm ổn định xác suất báo động lầm CFAR, nâng cao hiệu quả phát hiện mục tiêu.

Các radar hoạt động trong môi trường biển luôn bị ảnh hưởng của tín hiệu phản xạ từ mặt biển, đó là nhiễu biển. Nhìn chung, nhiễu từ mặt biển là tín hiệu không mong muốn và làm giảm chất lượng làm việc của radar. Nhiễu biển thay đổi theo trạng thái của mặt biển, đặc biệt là khi biển động, nhiễu biển sẽ có cường độ rất lớn và làm tăng xác suất báo động lầm, giảm khả năng phát hiện của radar. Hiện nay, trong các giáo trình giảng dạy về radar ở các học viện nhà trường cũng như các đề tài nghiên cứu khoa học ở các trung tâm nghiên cứu, đa phần đều tập trung vào hệ thống radar cảnh giới phòng không, do đó nhiễu nền đang sử dụng hầu hết là nhiễu có phân bố Gauss. Vì vậy, ở đây chúng tôi

sẽ đề cập đến hướng nghiên cứu các mô hình thống kê không Gauss của nhiễu biển và một số kết quả tính toán đối với mô hình nhiễu này ứng dụng cho radar biển.

1. MÔ HÌNH THỐNG KÊ KHÔNG GAUSS CỦA NHIỄU BIỂN

Khi mặt biển ở trạng thái phẳng lặng, hoặc không có các đợt biển về môi trường cũng như nhiệt độ của nước biển thì mô hình Gauss vẫn được sử dụng tốt để làm nhiễu nền khi tính toán cho các radar phát hiện mục tiêu trên biển. Trong các radar có độ phân giải thấp, nhiễu ngẫu nhiên biển đổi chậm, một mô hình thống kê của nhiễu (gần với mô hình Gauss) cũng được sử dụng khá rộng rãi làm nhiễu nền, đó là mô hình Rayleigh.

Các hàm phân bố mật độ xác suất biên độ (1) và công suất (2) của tín hiệu có phân bố Rayleigh là:

$$P(E) = \frac{2E}{x} \exp(-E^2 / x); \quad 0 \leq E \leq \infty \quad (1)$$

$$P(z) = \frac{1}{z} \exp(-z / x); \quad z = E^2; \quad 0 \leq z \leq \infty \quad (2)$$

Khi radar phát hiện mục tiêu trên nền nhiễu biển, đặc biệt là khi biển có sóng, công suất của nhiễu phản hồi sẽ rất lớn và làm cho mục tiêu bị chìm trong nhiễu, rất khó chọn lọc được tín hiệu có ích. Một giải pháp hiệu quả để chống nhiễu biển có cường độ lớn là tăng độ phân giải của cự ly và xử lý tương quan. Tuy nhiên, cấu trúc của mặt biển rất phức tạp, được đặc trưng bởi rất nhiều tỷ lệ độ dài, giới hạn

từ 1 cm hoặc nhỏ hơn (các bọt biển và các gợn sóng) đến hàng vài chục mét (khi biển động). Đặc tính tỷ lệ thời gian của các dịch chuyển mặt biển cũng giới hạn từ nhỏ hơn vài mili giây đến rất nhiều giây. Vì thế mà có thể có rất nhiều các cấu trúc tỷ lệ nhỏ ảnh hưởng độc lập trong một ô cự ly của radar có độ phân giải cao, điều đó dẫn đến làm tăng các đột biến kim của nhiễu.

Từ các lập luận trên chúng ta thấy: Khi biển động hoặc khi có sự bất đồng nhất về môi trường thì không thể dùng nhiễu Gauss (hoặc Rayleigh) làm nhiễu nền để tính toán cho các hệ thống radar được nữa, bởi lúc đó các nhiễu kim sẽ làm tăng đáng kể xác suất báo động lầm và làm giảm chất lượng phát hiện của hệ thống. Lúc này, chúng ta phải xem xét các mô hình thống kê khác của nhiễu - **các mô hình không Gauss**.

Trong (1), x là công suất cục bộ của nhiễu biển. Công suất cục bộ này, bản thân nó cũng là một quá trình ngẫu nhiên và có hàm phân bố mật độ xác suất là $P_c(x)$. Vì thế, hàm phân bố mật độ xác suất biên độ của tín hiệu nhiễu lúc này sẽ là tích phân của (1) qua $P_c(x)$. Tức là:

$$P(E) = \int_0^{\infty} P(E|x)P_c(x)dx = 2E \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{E^2}{x}\right) P_c(x) \frac{dx}{x} \quad (3)$$

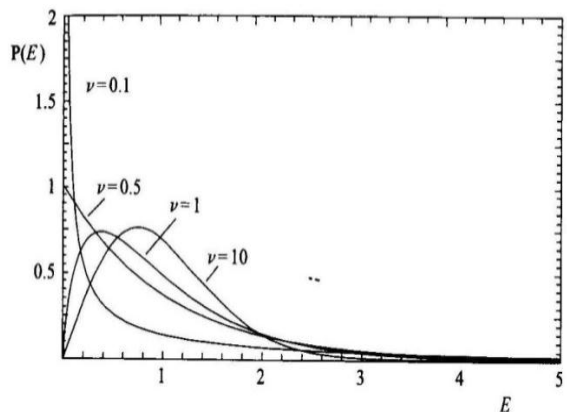
Thống kê đã chỉ ra phân bố Gamma là dạng tốt nhất đối với phần lớn các dữ liệu [5], có nghĩa là:

$$P_c(x) = \frac{b^\nu}{\Gamma(\nu)} x^{\nu-1} \exp(-bx); \quad 0 \leq x \leq \infty \quad (4)$$

Phân bố này có một tham số tỷ lệ b , và một tham số hình dạng ν . Chúng phụ thuộc vào các điều kiện biển và các tham số của radar. Thay (4) thay vào (3), tìm thấy hàm phân bố mật độ xác suất biên độ của nhiễu là:

$$P(E) = \frac{2Eb^\nu}{\Gamma(\nu)} \int_0^{\infty} x^{\nu-2} \exp\left(-bx - \frac{E^2}{x}\right) dx \\ = \frac{4b^{(\nu+1)/2} E^\nu}{\Gamma(\nu)} K_{\nu-1}(2E\sqrt{b}) \quad (5)$$

Tích phân ở (5) chính là ước lượng của hàm Bessel cải biên hay hàm K, và mô hình nhiễu này có phân bố K (hình 1). Để ước lượng xác suất báo động lầm hoặc các mômen về cường độ chúng ta không cần biết các tham số đặc biệt của hàm Bessel mà chỉ đơn thuần là lấy kết quả Gauss và tích phân nó qua phân bố Gamma của x



Hình 1. Phân bố K với các tham số hình dạng khác nhau

Các mômen của biên độ E , được tính theo:

$$\langle E^n \rangle = b^{-n/2} \frac{\Gamma(1+n/2)\Gamma(\nu+n/2)}{\Gamma(\nu)} \quad (6)$$

Khi phân tích dữ liệu thực nghiệm [14,

15], ta cũng thấy được sự phù hợp của mô hình phân bố K như đã giả thiết (hình 2). Nếu tham số hình dạng ν nhỏ hơn 1, phân bố của công suất sẽ có dạng kỳ dị. Nếu ν tiến đến 0, nhiễu sẽ càng kim hơn, đúng với các trường hợp đã nêu ở trên. Một số mô hình có liên quan trực tiếp đến phân bố K và có thể sử dụng làm mô hình cho nhiễu biến trong các trường hợp đã nói ở trên là mô hình Class A, Class A plus K (KA) và BAM [4].

- Mô hình Class A được sử dụng khi bỏ qua quá trình quá độ trong phần tuyến tính của máy thu, khi này tín hiệu được coi là ổn định. Hàm mật độ xác suất của tín hiệu là:

$$P(z) = \exp(-\bar{N}) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\bar{N}^m}{m!} \frac{1}{I_m} \exp\left(-\frac{z}{I_m}\right) \quad (7)$$

- Mô hình Class A plus K (KA) được dùng khi tính đến cả tạp âm nhiệt sinh ra trong máy thu kết hợp với nhiễu cục bộ có phân bố Gamma. Khi này hàm mật độ xác

suất có được bằng cách lấy trung bình qua phân bố Gamma:

$$P(z) = \frac{\exp(-\bar{N})b^\nu}{\Gamma(\nu)} \times \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\bar{N}^m}{m!} \int_0^\infty \frac{x^{\nu-1} \exp(-bx) \exp(-z/(m+x))}{m+x} dx \quad (8)$$

Trong đó:

$\bar{N}$ là số tán xạ trung bình thu được;

m là số các quá trình ngẫu nhiên kết hợp với nhau.

P_n là công suất của tạp âm nhiệt sinh ra từ máy thu;

$$I_m = \frac{\langle z \rangle}{1 + \Gamma\left(\frac{m}{\bar{N}} + \Gamma\right)}$$

$$\langle z \rangle = P_n + \bar{N}$$

$$\Gamma = \frac{P_n}{\bar{N}}$$

- Mô hình BAM (Breaking Area Model) sử dụng phân bố Poisson dựa trên nền tảng mô hình không Gauss, áp dụng với trường hợp sóng vỡ:

$$P(s) = \exp(-\bar{N}) \sum_{m=0}^{\infty} P(s|m) \frac{\bar{N}^m}{m!} = \exp(-\bar{N}) \left(2\delta(s) + \exp(-\gamma u^2 s) \sqrt{\frac{\gamma u^2 \bar{N}}{s}} I_1\left(2\sqrt{\gamma u^2 \bar{N} s}\right) \right) \quad (9)$$

Trong đó :

$$\bar{N} = \frac{A}{\sqrt{2\pi}} \gamma u \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \text{ là số tán xạ trung}$$

bình thu được;

$$u = \frac{g}{2\sqrt{\langle a_z^2 \rangle}}$$

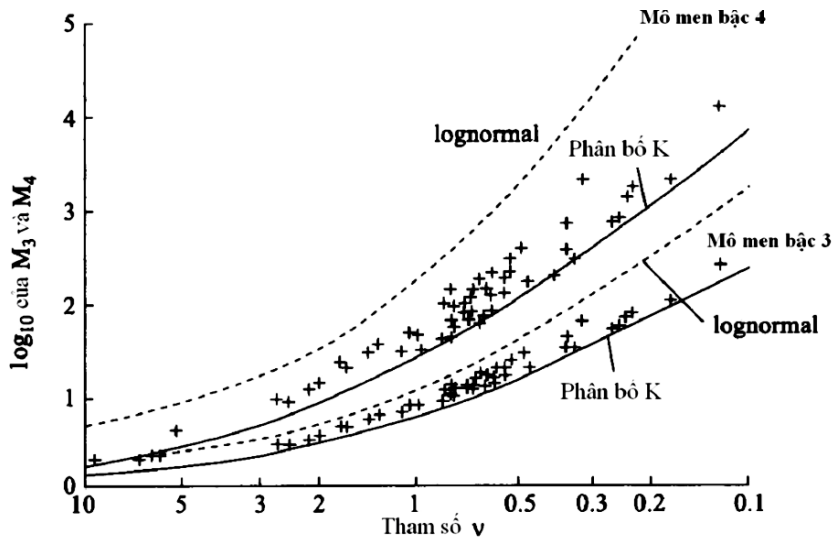
A là diện tích vùng quan sát;

m là số mẫu diện tích bị phá vỡ trong vùng quan sát;

$g/2$ là ngưỡng phát hiện;

a_z là gia tốc ngang của mặt biển;

γ là độ cong của hàm tương quan không gian của a_z .



Hình 1.2. Các mômen của sự điều chế tương ứng với các phân bố từ xung đến xung (các mômen tương ứng với phân bố Gamma của điều chế được ghi là phân bố K)

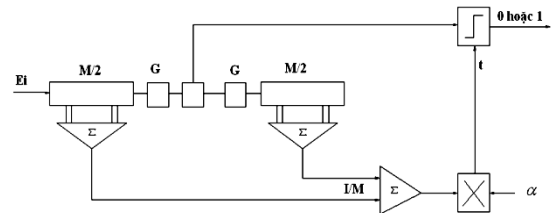
2. TỒN HAO CFAR TRONG NHIỄU KHÔNG GAUSS

Có nhiều phương án của bộ phát hiện CFAR [4-6] cho tín hiệu trên nền nhiễu có phân bố K như:

- CA-CFAR: Cell Averaging CFAR, ổn định xác suất báo động làm bằng cách so sánh ô cần quan sát với giá trị trung bình các ô lân cận.
- CAGO-CFAR: Cell Averaging Greatest Of CFAR, ổn định xác suất báo động làm bằng cách so sánh ô cần quan sát với giá trị trung bình lớn nhất các ô lân cận.
- OS-CFAR: Ordering Statistic CFAR, ổn định xác suất báo động làm bằng cách sắp xếp thứ tự thống kê.

Ở đây ta chỉ tính toán minh họa với bộ phát hiện CA-CFAR. Bộ phát hiện CA-CFAR thông thường được xây dựng theo cấu trúc như hình 3 [1-3]. Ô cần phát hiện được so sánh với ngưỡng t , ngưỡng này

được ước lượng từ mức tín hiệu ở các ô xung quanh ô phát hiện, với các giá trị nhiễu là E_i .



Hình 3. Bộ phát hiện CA-CFAR

Ngưỡng t được tính theo công thức:

$$t = \frac{\alpha}{M} \left(\sum_{i=-M/2-G}^{i=-G-1} E_i + \sum_{i=G+1}^{i=M/2+G} E_i \right) \quad (10)$$

Bộ phát hiện CA-CFAR không thể ước lượng chính xác giá trị trung bình của nhiễu bởi nó đưa ra một giá trị cố định trong khi nhiễu thì thăng giáng, do vậy ảnh hưởng của ngưỡng thăng giáng làm cho tỷ số tín trên tạp (SNR) yêu cầu để đưa ra xác suất phát hiện P_D , và xác suất báo động làm P_{FA} , là lớn hơn so với

trường hợp lý tưởng. Sự tăng SNR yêu cầu như trên gọi là **tổn hao CFAR**.

Hàm phân bố mật độ xác suất của ngưỡng $P(t)$ được giả thiết là tổng của M mẫu độc lập phân bố K. Khi có tạp, xác suất báo động nhầm của CA-CFAR được tính là:

$$P_{FA} = \int_0^{\infty} \left(\int_0^{\infty} P(E) dE \right) P(t) dt \quad (11)$$

Giá trị yêu cầu của v để đạt được P_{FA} giống như của bộ phát hiện có ngưỡng cố định, trong đó:

$$P_{FA} = \frac{2}{\Gamma(v)} \alpha^v \left(\frac{\sqrt{\pi} \Gamma(v+1/2)}{2 \Gamma(v)} \right)^v K_v \left(\alpha \frac{\sqrt{\pi} \Gamma(v+1/2)}{\Gamma(v)} \right) \quad (12)$$

Bây giờ thì:

$$\alpha = \frac{\text{Ngưỡng}}{\text{giá trị trung bình}} = 2t\sqrt{b/\pi}\Gamma(v)/\Gamma(v+1/2) \quad (13)$$

Các nghiệm truy hồi có thể tìm thấy với v bằng 0,5 và 1,5.

Đối với v bằng 0,5:

$$P(E) = 2\sqrt{b} \exp(-2\sqrt{b}E) \quad (14)$$

Và

$$P(t) = \frac{2\sqrt{b}M}{\alpha\Gamma(M)} \left(\frac{2\sqrt{b}Mt}{\alpha} \right)^{M-1} \exp(-2\sqrt{b}Mt/\alpha) \quad (15)$$

Đối với ngưỡng cố định lý tưởng:

$$P_{FA} = \exp(-\alpha) \quad (16)$$

Tương tự với v bằng 1,5:

$$P(E) = 4b \exp(-2\sqrt{b}E) \quad (17)$$

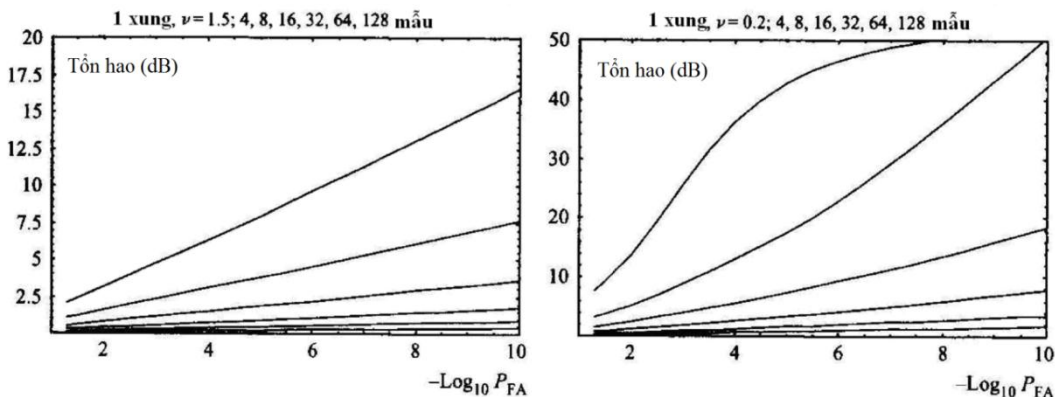
Và

$$P(t) = \frac{t^{2M-1}}{\Gamma(2M)} \left(\frac{2\sqrt{b}Mt}{\alpha} \right)^{2M} \exp(-2\sqrt{b}Mt/\alpha) \quad (18)$$

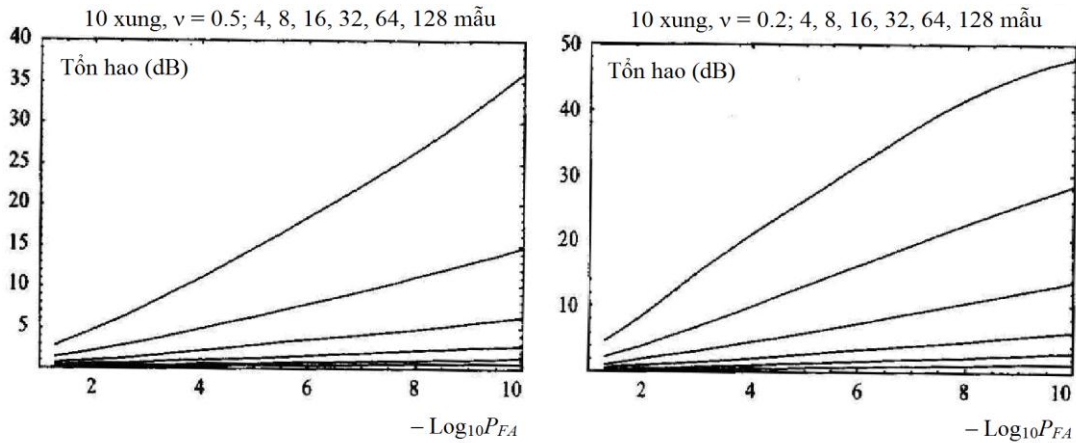
Đối với ngưỡng cố định lý tưởng:

$$P_{FA} = (1+\alpha)\exp(-\alpha) \quad (19)$$

Cũng tiếp cận tương tự để tính đối với các giá trị khác của v và đối với hoạt động CFAR tích lũy xung đến xung của N xung. Nhưng không thể sử dụng được các nghiệm truy hồi mà phải tính bằng số học đối với $P(E)$ và $P(t)$ đạt được bằng cách xếp chồng các giá trị của $P(E)$. Một số kết quả tính toán về tổn hao CFAR đối với bộ phát hiện CA-CFAR trên nền nhiễu K được thể hiện ở hình 4 và hình 5.



Hình 4. Tổn hao CA CFAR khi phát hiện xung đơn trong nền nhiễu có phân bố K (thứ tự từ trên xuống là 4, 8, 16, 32, 64, 128 mẫu)



Hình 5. Tồn hao CA-CFAR khi phát hiện tích lũy 10 xung trên nền nhiễu có phân bố K (thứ tự từ trên xuống là 4, 8, 16, 32, 64, 128 mẫu)

Nhìn vào các kết quả thể hiện ở hình 4 và 5 ta thấy:

- Tồn hao CA-CFAR giảm đi khi tăng số lượng mẫu quan sát.
- Tích lũy nhiều xung thì tồn hao CA-CFAR giảm xuống.
- v càng nhỏ thì tồn hao CA-CFAR càng lớn.
- Để giảm xác suất báo động lầm P_{FA} thì ta phải chấp nhận tồn hao CA-CFAR lớn.

3. TÍNH TOÁN CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG PHÁT HIỆN VỚI CÁC MÔ HÌNH NHIỀU KHÔNG GAUSS

Ta đã biết phương trình radar tính theo công suất tín hiệu thu [1-3]:

$$p_r = \left(\frac{p_t \cdot G_t}{4\pi R_1^2} \right) \cdot \left(\frac{1}{L_a} \right) \cdot \left(\frac{\sigma}{4\pi R_2^2} \right) \cdot (A_e) \quad (20)$$

Trong đó:

p_t - Công suất phát;

G_t - Hệ số khuếch đại anten phát;

R_1 - Cự ly từ anten phát đến đối tượng phản xạ;

L_a - Hệ số tồn hao hai chiều;

σ - Diện tích phản xạ hiệu dụng của mục tiêu radar (RCS);

R_2 - Cự ly từ đối tượng phản xạ đến anten thu.

Trong phương trình (3.1), thừa số thứ nhất là mật độ công suất tại một điểm của đối tượng, thừa số thứ hai đặc trưng cho tồn hao hai chiều, thừa số thứ 3 là mật độ công suất tại mặt mở anten thu và A_e là diện tích hiệu dụng của anten thu.

Nếu radar sử dụng cùng một anten cho thu - phát và theo lý thuyết anten ta có thể

biểu diễn lại $G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_e$ thì phương trình

radar sẽ có dạng là:

$$p_r = \frac{p_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_a} \quad (21)$$

Để tính khả năng phát hiện, chúng ta cần ước lượng các giá trị sau:

- Giá trị trung bình của công suất tín hiệu thu:

$$P_s = \frac{p_t \mu_c G^2 \lambda^2 \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_\mu}$$

- Giá trị trung bình của công suất nhiễu:

$$P_c = \frac{p_t \mu_c G^2 \lambda^2 \sigma^0 A_c}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_\mu}$$

- Giá trị trung bình của công suất tạp nội bộ máy thu: $p_n = kTBF_n$

σ_t là RCS trung bình của mục tiêu;

σ^0 là RCS trung bình của nhiễu biển;.

A_c - Diện tích vùng biển phản xạ;

μ_c - Hệ số nén xung;

L_μ - Hệ số tổn hao qua bộ lọc và tuyến anten;

k - Hằng số Boltzman ($k=1.38 \times 10^{-23}$);

T - Nhiệt độ tính theo Kelvin ($T_0=290$ K);

B - Dải thông của bộ lọc;

F_n - Hệ số tạp.

Sự quan trọng của việc tách công suất nhiễu z thành 2 thành phần ($z \setminus x$ - các đám nhiễu và x - quy luật điều chế) nằm trong các đặc tính tương quan khác nhau của chúng. Đám nhiễu phân tán trong vài ms ở dải sóng I, và các mẫu tách biệt nhau về mặt không gian, vượt quá độ phân giải của radar là độc lập nhau. Sự điều chế mang tất cả sự tương quan liên quan đến

cấu trúc của sóng biển, và có thể là tương quan đến vài giây và tương quan trong một khoảng không gian đến vài chục mét. Hơn nữa, các đám nhiễu có xu hướng phân tán bởi radar nhảy tần trong khi đó thì sự điều chế lại không ảnh hưởng. Vì vậy, với radar quét nhảy tần từ xung đến xung, x bao gồm các thành phần gần như không đổi khi cánh sóng quét qua trong khi đó các mẫu độc lập của z/x đạt được từ xung đến xung.

Nếu chúng ta giả sử rằng việc nhảy tần tạo ra các đám nhiễu độc lập, tạp được cộng vào với x bởi thành phần công suất p_n thì ta có:

$$P(z \setminus x) = \frac{1}{x + p_n} \exp\left(-\frac{z}{x + p_n}\right) \quad (22)$$

Nếu radar có “bộ phát hiện theo luật bình phương” thì:

$$\mu = \sum_{i=1}^N z_i \quad (23)$$

Từ đây ta có được hàm mật độ phân bố xác suất của $\mu \setminus x$ là:

$$P(\mu \setminus x) = \frac{\mu^{N-1}}{(x + p_n)^N (N-1)!} \exp\left(\frac{-\mu}{x + p_n}\right) \quad (24)$$

Xác suất báo động làm, đưa ra cho x , với ngưỡng Y là:

$$P_{FA}(Y \setminus x) = \int_Y^{\infty} \frac{\mu^{N-1}}{(x + p_n)^N (N-1)!} \exp\left(\frac{-\mu}{x + p_n}\right) d\mu = \frac{\Gamma(N, Y/(x + p_n))}{(N-1)!} \quad (25)$$

Trong đó $\Gamma(*,*)$ là hàm Gamma không chính tắc. Xác suất báo động làm tổng thể tích lũy từ xung đến xung là:

$$P_{FA}(Y) = \frac{1}{(N-1)!} \int_0^{\infty} \Gamma\left(N, \frac{Y}{x + p_n}\right) P(x) dx \quad (26)$$

Chúng ta quan tâm đến việc phát hiện các tín hiệu trong nhiễu và tạp có phân bố K. Ở đó thì đám nhiễu có các đặc điểm tương quan đối với tạp, và dẫn đến là tính toán phát hiện đối với phân bố Gamma cho điều chế nhiễu. Vì thế:

$$P_D(Y) = \int_0^{\infty} P_D(Y \setminus x) P(x) dx \quad (27)$$

Trong đó $P_D(Y \setminus x)$ được suy ra bằng cách sử dụng phương pháp phát hiện trong tạp, và $P(x)$ được đưa ra bởi:

$$P(x) = \frac{b^\nu}{\Gamma(\nu)} x^{\nu-1} \exp(-bx)$$

Đối với xung đơn từ mục tiêu có biên độ A , hàm mật độ phân bố xác suất của công suất thu, $P(z \setminus A, x)$, là phân bố Rice như sau:

$$P(z \setminus A, x) = \frac{1}{x + p_n} \exp\left(-\frac{z + A^2}{x + p_n}\right) I_0\left(\frac{2A\sqrt{z}}{x + p_n}\right) \quad (28)$$

Và $P_D(Y \setminus x)$ được tính:

$$P_D(Y \setminus x) = \int_Y \frac{1}{x + p_n} \exp\left(-\frac{z + A^2}{x + p_n}\right) I_0\left(\frac{2A\sqrt{z}}{x + p_n}\right) dz \quad (29)$$

Tích lũy từ xung đến xung được suy ra từ các đặc tính tích chập của phân bố Gamma, và các thăng giáng mục tiêu được tích phân qua hàm mật độ phân bố xác suất của mục tiêu.

Một phương pháp trực tiếp để ước lượng $P_D(Y \setminus x)$ bằng cách mở rộng phương pháp Shnidman. Nó được xây dựng trên cơ sở hàm mật độ xác suất của tổng N bình phương tín hiệu phản xạ từ một mục tiêu trong tạp và đám nhiễu:

$$P(\mu \setminus s, N) = \left(\frac{\mu}{s}\right)^{(N-1)/2} e^{-(\mu+s)} I_{N-1}(2\sqrt{\mu s}) \quad (30)$$

Trong đó, μ là tổng của N xung phản hồi, z là giá trị công suất trung bình của tạp và đám nhiễu cục bộ:

$$\mu = \frac{1}{x + p_n} \sum_{i=1}^N z_i \quad (31)$$

Và s là tổng của các công suất mục tiêu, A_i^2 , từ N xung, lại dùng lại công suất trung bình của tạp và nhiễu tại chỗ

$$s = \frac{1}{x + p_n} \sum_{i=1}^N A_i^2 \quad (32)$$

I_N là hàm Bessel cải biên của loại 1 cấp n . Một đặc điểm rất đáng chú ý ở phương trình (32) là hàm mật độ phân bố xác suất của tổng N xung phản hồi trung bình μ chỉ phụ thuộc vào cận trên của tổng, s , công suất tín hiệu trung bình của tất cả các xung. Vì vậy, để tính P_D , chỉ cần biết phân bố của s , mà không cần biết phân bố riêng của từng A_i^2 . Điều này có nghĩa là các thăng giáng của mục tiêu từ xung đến xung và từ vòng quét đến vòng quét có thể được ước lượng bằng cùng một phương trình. Gán phân bố Gamma cho s , thì tất cả các mô hình Marcum và Swerling trở thành một trường hợp đặc biệt của họ này [4]. Vì vậy

$$P(s \setminus S, k) = \frac{s^{k-1}}{\Gamma(k)} \left(\frac{k}{s}\right)^k e^{-ks/S} \quad (33)$$

Trong đó k là tham số hình dạng và S được tính theo:

$$S = \frac{N \langle A^2 \rangle}{x + p_n} \quad (34)$$

Các giá trị của k được suy ra từ các mô hình Swerling tiêu chuẩn:

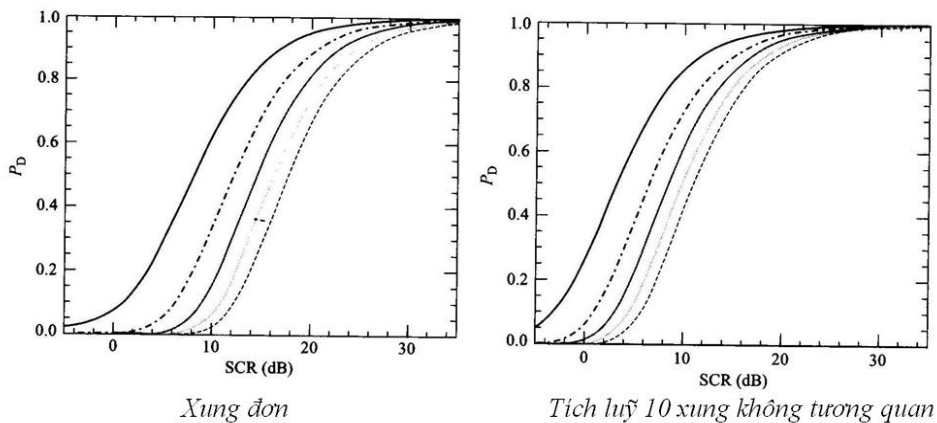
Swerling 1: $k = 1$

Swerling 2: $k = N$

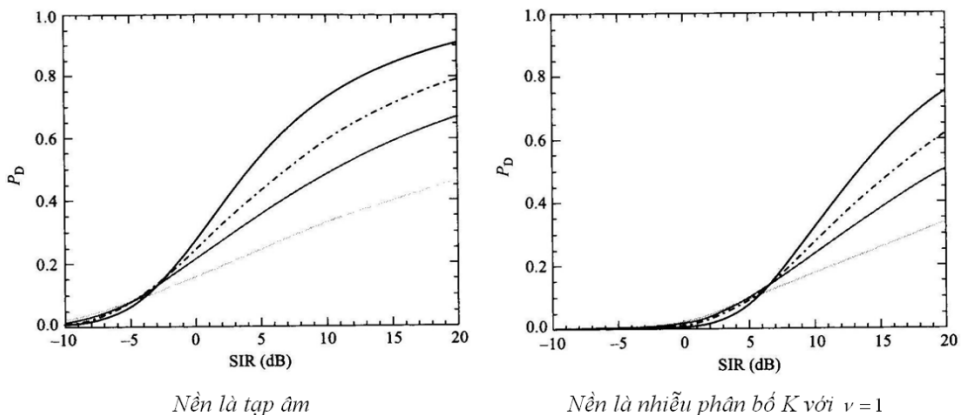
Swerling 3: $k = 2$

Swerling 4: $k = 2N$.

Trên hình 6 và hình 7 là các đồ thị tính toán chỉ tiêu chất lượng phát hiện đối với mô hình nhiễu này. Qua đó ta thấy, để tăng xác suất phát hiện P_D thì ta phải tăng tỷ số tín/tạp của tín hiệu lên và khi thực hiện tích lũy xung thì P_D tăng nhanh hơn khi tăng tỷ số tín/tạp. Trong trường hợp nhiễu nền có phân bố K thì hiệu quả của việc tăng P_D bằng cách tăng tỷ số tín/tạp đạt được thấp hơn nhiều so với khi nhiễu nền có phân bố Gauss.



Hình 6. Xác suất phát hiện mục tiêu thẳng giáng Swr1 trong nhiễu phân bố K với $v=10$ (từ trái sang phải với các xác suất báo động lần khác nhau: 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-8} , 10^{-10})



Hình 7. Xác suất phát hiện đối với các mô hình mục tiêu phân bố Gamma tích lũy 16 xung (từ trên xuống dưới ứng với $k=0,5$; $0,3$; $0,2$; $0,1$)

4. KẾT LUẬN

Như vậy, bài toán phát hiện tín hiệu trên nền nhiễu có phân bố không Gauss phức

tạp hơn rất nhiều so với bài toán phát hiện trên nền nhiễu Gauss. Tùy theo điều kiện thực tế tại khu vực khảo sát và đặc điểm

của radar sử dụng mà chúng ta phải giới hạn và đặt các điều kiện bờ để tính được các thông số cần thiết cho hoạt động của radar.

Khi tham số hình dạng của nhiễu bé, nhiễu trở thành các đột biến kim, và làm cho khả năng duy trì xác suất báo động lầm càng trở nên khó khăn. Hơn thế nữa, vì các kim nhiễu này thường không tương quan trong các radar có độ phân giải cao, và tích phân hàm phân bố của tín hiệu

cộng nhiễu do ta giả định không phải lúc nào cũng hội tụ, nên việc phát hiện tích lũy trong nhiều trường hợp cũng không có ưu điểm nhiều hơn so với phát hiện xung đơn.

Các dữ liệu thống kê và các tính toán ở đây cho chúng ta thấy cần phải sử dụng các mô hình thống kê không Gauss đối với nhiễu biển để tiệm cận gần nhất đối với điều kiện thực tế, nâng cao chất lượng phát hiện cho radar biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TS Nguyễn Mạnh Cường (2016), *Cơ sở xây dựng đài radar*, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
- [2] PGS.TS Hoàng Thọ Tu (2002), *Cơ sở xây dựng đài radar cảnh giới*, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.
- [3] PGS.TS Hoàng Thọ Tu (2010), *Tập bài giảng môn học "Cơ sở xử lý tín hiệu radar"*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [4] Keith D.Ward, Robert J.A. Tough, Simon Watts (2006), *Sea clutter: Scattering, the K Distribution and Radar Performance*, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.
- [5] Watts, S. "Radar detection prediction in K-distribution sea clutter and thermal noise" IEEE Trans. AES, Vol. 23, No 1, Jan. 1987, pp. 40-45.
- [6] Armstrong, B.C., and Griffiths, H.D "CFAR detection of fluctuating targets in spatially correlated K-distributed clutter", IEE Proc., Vol. 138, Pt. F, No 2, Apr. 1991, pp. 139-152.
- [7] Hou, X. -Y., and Morinaga, N. "Detection performance in K-distributed and correlated Rayleigh clutters", IEEE Tran. AES, Vol 25, No 5, Sept. 1989, pp 634-641.
- [8] Chan, H.C. "Radar sea clutter at low grazing angles", IEE Proc., Vol. 137, Pt. F, No 2, Apr. 1990, pp. 102-112.
- [9] Raghavan, R.S. "A method for estimating parameters of K-distributed clutter", IEEE Trans. AES, Vol 27, No 2, March 1991, pp. 238-246.
- [10] Conte, E., and Longo, M. "On a coherent model for log-normal clutter", IEE Proc., Vol. 134, Pt. F, No 2, Apr. 1987, pp. 198 – 201.
- [11] Schleher, D.C "Radar detection in Weibull clutter", IEEE Trans. AES, Vol. 12, No 6, Nov. 1976, pp. 736-743.

- [12] Menon, M.V. "*Estimation of the shape and scale parameters of the Weibull distribution*", Technometrics, No 15, 1963, pp.175-182.
- [13] Joughin, I.R., Percival, D.B., and Winebrenner, D.P. "*Maximum likelihood estimation of K-distribution parameters for SAR data*" IEEE Trans. Geosci. Remote sensing, Vol. 31, 1993, pp. 989-999.
- [14] Antipov, I. "*Analysis of Sea clutter Data*", DSTO-TR-0647. 1998.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phùng Ngọc Anh tốt nghiệp đại học năm 1998 chuyên ngành vô tuyến điện tử và thông tin liên lạc tại Học viện Kỹ thuật quân sự. Tốt nghiệp thạc sĩ năm 2003 chuyên ngành radar dẫn đường. Hiện tác giả công tác tại Khoa Radar, Học viện Phòng không - Không quân và đang là nghiên cứu sinh khóa K33 tại Học viện Kỹ thuật quân sự.

Lĩnh vực quan tâm: Ảnh hưởng của biển Việt Nam đến khả năng phát hiện mục tiêu của radar biển, các mô hình thống kê của nhiễu biển, phát hiện mục tiêu trên biển với việc ổn định xác suất báo động lầm, mô phỏng khả năng phát hiện mục tiêu với các mô hình thống kê của nhiễu.