

ĐÁNH GIÁ ĐẶC TRƯNG PHÁT HIỆN CỦA BỘ PHÁT HIỆN TƯƠNG PHẢN TÍN HIỆU TRÊN NỀN NHIỀU BẤT ĐỊNH THÔNG TIN TIỀN NGHIỆM

Nguyễn Ngọc Đông¹, Đinh Văn Dũng^{2*}

Tóm tắt: Bài toán nâng cao hiệu quả phát hiện tín hiệu có ích trên nền nhiễu bất định thông tin tiên nghiệm là một trong những vấn đề được quan tâm hàng đầu trong lĩnh vực xử lý tín hiệu ra đa và sonar. Một trong những phương pháp nâng cao hiệu quả phát hiện tín hiệu là sử dụng thuật toán tương phản. Bài báo trình bày thuật toán tương phản phát hiện tín hiệu xung đơn (trong miền thời gian) trên nền nhiễu tạp và nhiễu xung bất định thông tin tiên nghiệm. Hiệu quả của thuật toán tương phản phát hiện tín hiệu có ích trong các điều kiện khác nhau sẽ được đánh giá bằng mô phỏng trên phần mềm MATLAB thông qua sử dụng các biểu thức giải tích thể hiện đặc trưng phát hiện của chúng.

Từ khóa: Phát hiện tín hiệu; Bất định thông tin tiên nghiệm; Thuật toán tương phản.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khả năng chống nhiễu của các bộ phát hiện tối ưu phần lớn phụ thuộc vào thông tin tiên nghiệm về các đặc trưng của tín hiệu và nhiễu (pha ban đầu, biên độ). Trong thực tế việc có được thông tin về các tham số của tín hiệu và nhiễu là ít xảy ra. Bên cạnh đó, nhiễu tạp có thể thường xuyên thay đổi theo thời gian và điều này gây khó khăn cho việc sử dụng các phương pháp tối ưu để phát hiện tín hiệu có ích [1]. Căn cứ vào sự có được các thông tin tiên nghiệm về tín hiệu và nhiễu, bài toán phát hiện được chia thành các dạng: phát hiện tham số; phát hiện phi tham số; phát hiện với bất định thông tin tiên nghiệm thiết yếu [2]. Trong trường hợp tổng quát, bất định thông tin tiên nghiệm được hiểu là sự thiếu thông tin tiên nghiệm về các tham số của hàm phân bố (trước hết là nhiễu). Các thuật toán tham số có thể vượt trội hơn đáng kể so với các thuật toán tham số về đặc trưng phát hiện do kết quả của việc bỏ qua thông tin tiên nghiệm. Mặt khác, các điều kiện làm việc trong thực tế luôn thay đổi nên có những loại nhiễu không giống với các loại nhiễu được sử dụng trong bộ tổng hợp các thuật toán tham số. Khi đó các thuật toán phi tham số thường tốt hơn nhiễu so với các thuật toán tham số, thậm chí có trường hợp thuật toán tham số không làm việc. Các giải pháp đối với trường hợp bất định thông tin tiên nghiệm có thể được chia thành bốn nhóm:

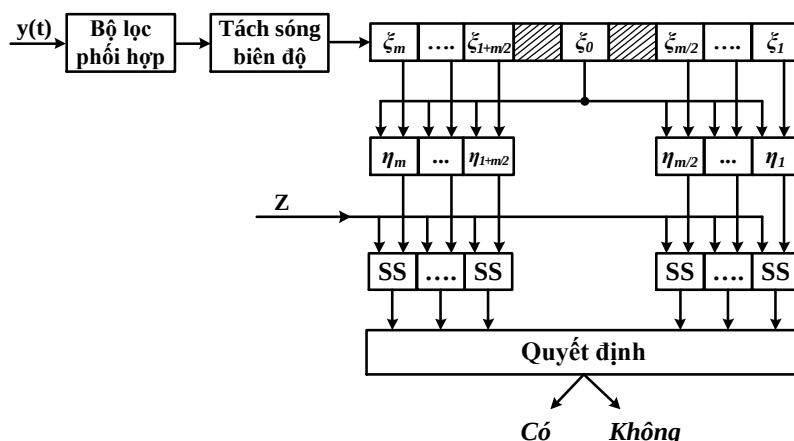
- Phương pháp thống kê tham số dựa trên các nguyên tắc tương tự, bất biến và minimax [3];
- Phương pháp thống kê phi tham số [4];
- Phương pháp thích nghi bằng cách sử dụng các mẫu thử [5];
- Phương pháp mạnh [6].

Các kết quả phân tích ưu điểm và nhược điểm của từng phương pháp đã được nhiều tác giả xem xét và đã chỉ ra rằng, vấn đề khó khăn nhất không chỉ đơn thuần là việc phải xác định được hàm phân bố của nhiễu, mặt khác phải đảm bảo tính ổn định và không tương quan giữa các mẫu nhiễu. Một trong những giải pháp để giải quyết vấn đề này đã được đề xuất trong bài toán phát hiện phi tham số, đó là thuật toán tương phản phát hiện tín hiệu xung trên nền nhiễu bất định thông tin tiên nghiệm [1] sẽ được trình bày dưới đây.

2. NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN TƯƠNG PHẢN PHÁT HIỆN TÍN HIỆU RA ĐA XUNG ĐƠN TRÊN NỀN NHIỀU BẤT ĐỊNH THÔNG TIN TIỀN NGHIỆM

2.1. Thuật toán tương phản hai phía phát hiện tín hiệu với công suất nhiễu chưa biết

Sơ đồ khối của bộ phát hiện sử dụng thuật toán tương phản hai phía với m phần tử tương phản trong miền thời gian [7] được thể hiện trong hình 1:



Hình 1. Sơ đồ khối bộ phát hiện tương phản hai phía với m phân tử.

Hoạt động của nó khi phát hiện tín hiệu ra đa xung đơn như sau. Quá trình ngẫu nhiên với tín hiệu xung ở đầu vào qua bộ lọc phối hợp và tách sóng biên độ đi vào dây giữ chậm gồm $m+1$ phân tử giữ chậm, với mỗi phân tử giữ chậm thời gian bằng độ rộng xung τ_c . Do đó, $m+1$ phân tử phân giải cự ly được tương ứng với các giá trị $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m$ - Giá trị biên độ đường bao, sau đó các giá trị này được đưa đến thiết bị hình thành hàm tương phản $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m$, trong đó, $\eta_1 = \xi_0 / \xi_1$, $\eta_2 = \xi_0 / \xi_2, \dots$, $\eta_m = \xi_0 / \xi_m, \eta_0 = \xi_0$. Các hàm tương phản được đưa tới các bộ so sánh (SS) để so sánh với ngưỡng tương phản Z . Kết quả so sánh (ở dạng 1 - vượt ngưỡng và 0 - dưới ngưỡng) được đưa đến khối quyết định. Theo quy tắc quyết định phát hiện tín hiệu, ví dụ “ m trong m ”, một quyết định được đưa ra về sự có mặt của tín hiệu trong phân tử phân giải cự ly trung tâm. Việc sử dụng dây giữ chậm như một thiết bị tạo ra các giá trị mẫu của đường bao $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m$ cho phép xử lý trượt (cửa sổ trượt) để có được các giá trị hiện tại của phát hiện thống kê (hàm tương phản $\eta_i, i = \overline{1, m}$) tuần tự theo thời gian. Sau khoảng thời gian τ_c sẽ có sự dịch chuyển một đơn vị của tất cả các giá trị được lấy mẫu để mẫu “tín hiệu” trở thành “mẫu tương phản” và mẫu “tương phản” trước đó trở thành mẫu “tín hiệu”. Do đó, đảm bảo sự bất biến đối với việc chưa biết trước thời gian đến của xung tín hiệu phản xạ và việc phát hiện tuần tự toàn bộ cự ly phát hiện.

Sử dụng quy tắc phát hiện “ m trong m ” ở khối quyết định để khẳng định về sự có mặt của tín hiệu trong phân tử phân giải trung tâm của bộ phát hiện. Khi đó, tất cả m hàm tương phản $\eta_i, i = \overline{1, m}$ phải đồng thời lớn hơn ngưỡng Z . Nếu ta sử dụng bộ phát hiện tương phản với tách sóng cầu phương và phát hiện tín hiệu có biên độ thẳng góc tuân theo phân bố Rayleigh và pha ban đầu ngẫu nhiên (phân bố đều trong khoảng $0 \div 2\pi$) trên nền nhiễu tạp phân bố chuẩn với giá trị trung bình bằng 0 và công suất ρ chưa biết trước thì mật độ phân bố xác suất có điều kiện của các mẫu đường bao sẽ được xác định bởi một hàm phân bố dạng mũ [8].

Khi đó, F được định nghĩa là xác suất mà biến ngẫu nhiên ξ_0 lớn hơn hoặc bằng Z lần đối với tất cả m biến ngẫu nhiên $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$ khác khi tín hiệu phản xạ từ mục tiêu không nằm ở phân tử thứ 0 của bộ phát hiện tương phản (phần tử ξ_0). Xác suất báo động làm F cho bộ phát hiện tương phản hai phía với m phân tử tương phản được xác định như sau [1]:

$$F = \frac{m!}{\prod_{l=1}^m (l+Z)}. \quad (1)$$

Còn D được định nghĩa là xác suất mà biến ngẫu nhiên ξ_0 lớn hơn hoặc bằng Z lần đối với tất cả biến ngẫu nhiên $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$ khác khi tín hiệu phản xạ từ mục tiêu nằm ở phần tử thứ 0 của bộ phát hiện tương phản (phần tử ξ_0). Xác suất phát hiện đúng D có dạng sau [1]:

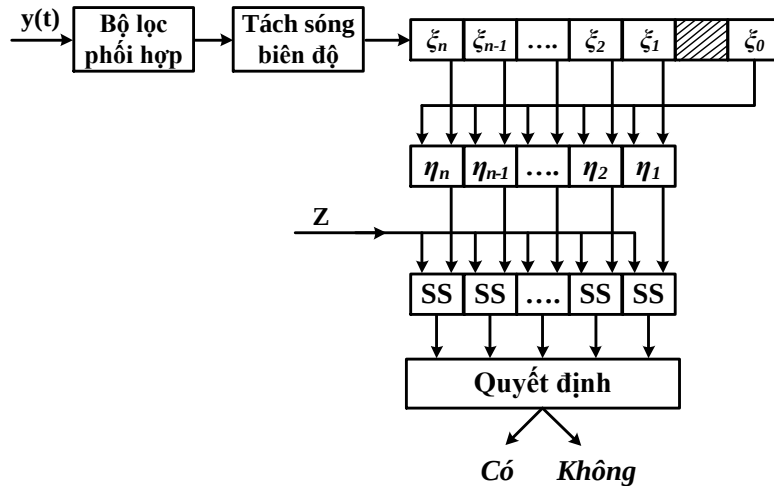
$$D = \frac{m!(1+q_c)^m}{\prod_{l=1}^m [l(1+q_c) + Z]} \quad (2)$$

trong đó, q_c là tỷ số tín hiệu/tạp, m là số phần tử tương phản và Z là ngưỡng phát hiện.

Từ biểu thức (1) và (2) cho thấy rằng, với bộ phát hiện tương phản có m phần tử tương phản trong các điều kiện phát hiện như đã nêu ở trên thì F cũng không phụ thuộc vào công suất ρ chưa biết của nhiễu tạp nhưng được xác định thông qua giá ngưỡng tương phản Z và số phần tử tương phản m . D trong trường hợp đang xét được xác định theo giá trị của F (thông qua các tham số m và Z) và theo giá trị của tỷ số tín hiệu/tạp q_c .

2.2. Thuật toán tương phản một phía phát hiện tín hiệu với công suất nhiễu chưa biết trước

Sơ đồ khối của bộ phát hiện sử dụng phương pháp tương phản một phía với n phần tử tương phản trong miền thời gian [9] được thể hiện trong hình 2:



Hình 2. Sơ đồ khối bộ phát hiện tương phản một phía với n phần tử.

Bản chất của phương pháp này là so sánh biên độ tín hiệu sau tách sóng ξ_0 thu được ở phần tử phân giải cuối cùng thứ $n+1$ (giả sử có tín hiệu phản xạ) với giá trị trung bình của các mẫu ξ_i thu được trong n phần tử tương phản còn lại. Các đặc trưng phát hiện tín hiệu xung trên nền nhiễu dùng phân bố chuẩn với công suất chưa biết trước bằng bộ phát hiện tương phản một phía với n phần tử phân giải F và D xác định như sau [1]:

$$F = \frac{1}{(1+Z)^n}, \quad (3)$$

$$D = \left[\frac{1+q_c}{Z+(1+q_c)} \right]^n. \quad (4)$$

Từ các biểu thức (3), (4) có thể thấy, F trong trường hợp sử dụng phương pháp tương phản một phía với n phần tử tương phản cũng không phụ thuộc vào công suất chưa biết của nhiễu

dừng, mà được xác định bởi giá trị ngưỡng Z và số phần tử phân giải n . D trong trường hợp này phụ thuộc vào cả F (thông qua Z và n) và tỷ số tín hiệu/tạp q_c trong phần tử phân giải chứa tín hiệu.

2.3. Thuật toán tương phản phát hiện tín hiệu ra đa xung đơn trong trường hợp có nhiều xung bất định thông tin tiên nghiệm

Khi tăng số lượng phần tử tương phản thì có thể dẫn đến việc các nhiễu xung rơi vào ô tương phản của cửa sổ trượt. Công suất của nhiễu xung tại đầu vào máy thu sẽ lớn hơn công suất của nhiễu tạp và tín hiệu mong muốn phản xạ từ mục tiêu. Ngoài ra, nhiễu từ các thiết bị vô tuyến khác nhau được sinh ra ngẫu nhiên theo thời gian và như vậy tín hiệu phản xạ là tín hiệu hỗn hợp. Do đó, có thể giả sử rằng việc phát hiện một tín hiệu xung có thể được thực hiện trên nền nhiễu xung với công suất và thời gian đến chưa biết trước. Sự có mặt của nhiễu xung trong phần tử phân giải tương phản có thể dẫn đến bỏ sót tín hiệu có ích hoặc xuất hiện báo động lầm, tức là làm giảm khả năng chống nhiễu của bộ phát hiện.

2.3.1. Thuật toán tương phản hai phía phát hiện tín hiệu ra đa xung đơn khi có nhiễu xung bất định thông tin tiên nghiệm

Đầu vào của bộ phát hiện tương phản (hình 1) là một quá trình ngẫu nhiên:

$$y(t) = s(t) + n(t) + v(t),$$

trong đó, $n(t)$ là nhiễu tạp, tổng quát là nhiễu dừng phân bố chuẩn; $s(t)$ và $v(t)$ lần lượt là tín hiệu xung và nhiễu xung có cùng độ rộng xung τ_c với biên độ thay đổi theo phân bố Rayleigh và chưa biết trước, pha ngẫu nhiên (phân bố đều trong khoảng $0 \div 2\pi$).

Giả sử rằng, tín hiệu phản xạ trùng với phần tử phân giải tín hiệu (phần tử thứ 0) trong phạm vi cửa sổ trượt của bộ phát hiện tương phản và xung nhiễu trùng với phần tử tương phản phân giải thứ K , K có thể là bất kỳ phần tử nào trong số tất cả m phần tử tương phản phân giải cự ly. Khi đó, $D_{m/m}$ khi có nhiễu xung được xác định như sau [1]:

$$D_{m/m} = \frac{(m-1)!(1+q_c)^{m-1}}{\prod_{l=1}^{m-1} [l(1+q_c) + Z]} - \frac{(m-1)!(1+q_c)^{m-1}(1+q_n)^m Z}{\prod_{l=0}^{m-1} \{(1+q_c) + (1+q_n)[l(1+q_c) + Z]\}}, \quad (5)$$

trong đó, q_c là tỷ số tín hiệu/tạp; q_n là tỷ số nhiễu xung/tạp.

Trong trường hợp này, mẫu tín hiệu ξ_0 lớn hơn tất cả các ngưỡng Z trên tất cả m phần tử tương phản $\xi_{i \neq k}$ (gồm cả mẫu ξ_k chứa nhiễu xung tác động). Khi $q_c = 0$ thì biểu thức (5) giống với (2), còn khi $q_n = q_c = 0$ thì biểu thức (5) giống với (1).

Biểu thức (5) cho thấy, sự có mặt của nhiễu xung ở một trong các phần tử phân giải tương phản trong phạm vi của cửa sổ trượt của bộ phát hiện dẫn đến sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện tín hiệu xung vào công suất của tín hiệu và nhiễu xung. Số hạng thứ hai của (5) cho thấy, D bị giảm khi có nhiễu xung. Sử dụng các công thức này cho phép chúng ta ước lượng được ảnh hưởng của nhiễu xung đối với đặc trưng phát hiện tín hiệu xung.

2.3.2. Thuật toán tương phản một phía phát hiện tín hiệu ra đa xung đơn khi có nhiễu xung bất định thông tin tiên nghiệm

Xác suất phát hiện đúng tín hiệu xung khi có nhiễu xung đối với bộ phát hiện tương phản một phía được xác định theo biểu thức sau [1]:

$$D = \frac{(1+q_c)^N}{[(1+q_c)+Z]^{N-1}} \frac{1}{(1+q_c)+(1+q_n)Z}. \quad (6)$$

Khi $q_n = 0$ thì biểu thức (6) giống với (4), còn khi $q_n = q_c = 0$ thì (6) giống với (3).

Biểu thức (6) cho thấy, sự có mặt của nhiễu xung ở một trong các phần tử phân giải tương phản trong phạm vi của cửa sổ trượt của bộ phát hiện cũng dẫn đến sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện tín hiệu xung vào công suất của tín hiệu và nhiễu xung. Số hạng thứ hai của (6) cũng cho thấy, D bị giảm khi có nhiễu xung. Sử dụng các công thức này cho phép ước lượng được ảnh hưởng của nhiễu xung đối với các đặc trưng phát hiện tín hiệu xung.

2.3.3. Tối ưu hóa thuật toán tương phản khi có nhiễu xung bất định thông tin tiên nghiệm

Khả năng chống nhiễu kém của phương pháp tương phản hai phía khi có nhiễu xung trong trường hợp sử dụng quy tắc quyết định “ m trong m ” đã được chỉ ra. Để tăng khả năng chống nhiễu của bộ phát hiện tương phản hai phía thực hiện thay đổi một chút quy tắc phát hiện này. Khi đó, quyết định về sự có mặt của tín hiệu có ích ở phần tử trung tâm trong dải cự ly cửa sổ trượt của bộ phát hiện được đưa ra khi mẫu ξ_0 lớn hơn (hoặc bằng giá trị ngưỡng Z) ít nhất “ k trong m ” mẫu ξ_i và ξ_j thu được trong các phần tử phân giải (tương phản) liền kề (k là số lượng mẫu tương phản nằm trong khoảng từ 1 đến $m-1$). Khi sử dụng quy tắc quyết định này, mẫu tín hiệu có thể nhỏ hơn (giá trị ngưỡng Z) một số mẫu tương phản (đặc biệt là những mẫu có chứa nhiễu xung mạnh).

Xem xét hiệu quả của việc sử dụng quy tắc quyết định này với các điều kiện phát hiện như đã thảo luận ở trên (không có nhiễu xung). Theo định lý cộng và nhân xác suất [10] có tính đến tính bất định tiên nghiệm về thời điểm xuất hiện của nhiễu xung thì $D_{k/m}$ và $F_{k/m}$ đối với quy tắc quyết định này được xác định bằng các biểu thức sau [1]:

$$D_{k/m} = \frac{k!C_m^k(1+q_c)^k}{\prod_{l=m+1-k}^m [l(1+q_c)+Z]} = \frac{m!(1+q_c)^k}{(m-k)! \prod_{l=m+1-k}^m [l(1+q_c)+Z]}, \quad (7)$$

$$F_{k/m} = \frac{k!C_m^k}{\prod_{l=m+1-k}^m (l+Z)} = \frac{m!}{(m-k)! \prod_{l=m+1-k}^m (l+Z)}. \quad (8)$$

Khi $k=m$ (mẫu tín hiệu lớn hơn tất cả các mẫu tương phản) thì các biểu thức (7) và (8) sẽ giống với các biểu thức (5) và (1). Khi đó, quy tắc ít nhất “ k trong m ” sẽ trở thành quy tắc “ m trong m ”. Tiếp theo chúng ta hãy xem xét hiệu quả của quy tắc quyết định ít nhất “ k trong m ” trong trường hợp có 1 nhiễu xung ở một trong các phần tử phân giải tương phản trong phạm vi cửa sổ trượt của bộ phát hiện tương phản.

Thời gian xuất hiện của nhiễu xung là không xác định, nó có thể nằm ở một trong m phần tử tương phản với xác suất như nhau. Khi đó, $D_{k/m}^1$ sẽ được xác định như sau [1]:

$$D_{k/m}^1 = \frac{(1+q_c)^{k-1} \prod_{l=m+1-k}^{m-1} l}{\prod_{l=m+1-k}^{m-1} [l(1+q_c)+Z]} - \frac{(1+q_c)^{k-1} (1+q_n)^k Z \prod_{l=m+1-k}^{m-1} l}{\prod_{l=m-k}^{m-1} \{(1+q_c)+(1+q_n)[l(1+q_c)+Z]\}}. \quad (9)$$

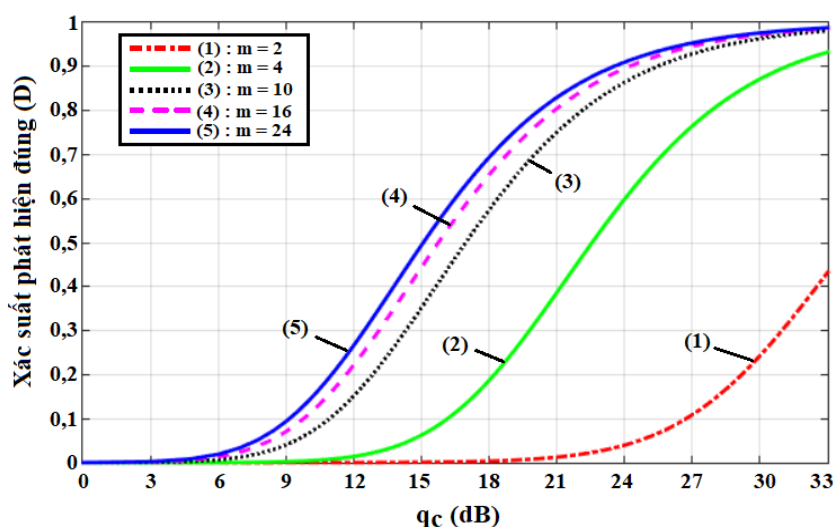
Khi $q_n = 0$ thì biểu thức (9) giống với (7), còn khi $q_n = q_c = 0$ thì (9) giống với (8).

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Sử dụng phần mềm MATLAB để mô phỏng và so sánh đặc trưng phát hiện của các bộ phát hiện tương phản một phía và hai phía tín hiệu ra đa xung đơn.

3.1. Đánh giá sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện vào số lượng phần tử tương phản

Trên hình 3 thể hiện sự phụ thuộc của xác suất phát hiện đúng D tín hiệu trên nền nhiễu dùng có phân bố chuẩn (không có nhiễu xung) của bộ phát hiện tương phản hai phía sử dụng quy tắc “ m trong m ” vào số lượng các phần tử tương phản, với $F = 10^{-6}$.



Hình 3. Sự phụ thuộc của D vào số lượng phần tử tương phản m .

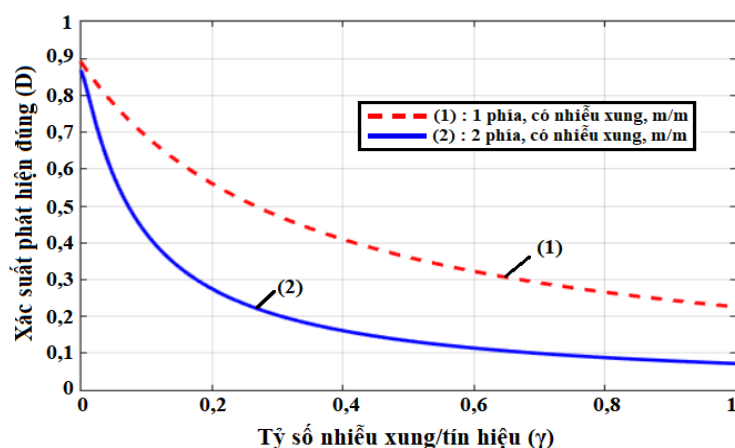
Từ hình vẽ 3 thấy rằng, với cùng tỷ số tín/tạp xác suất phát hiện đúng D tăng khi số lượng phần tử tương phản tăng. Để $D=0,9$ khi $m=4$ yêu cầu tỷ số tín/tạp $q_c = 31$ dB tăng 6 dB khi $m=10$ yêu cầu $q_c = 25$ dB. Tăng mạnh khi m tăng từ 2 đến 4, sau đó sẽ tăng ít dần. Nếu m đủ lớn thì đặc trưng phát hiện của bộ phát hiện tương phản hai phía sẽ tiệm cận đến đặc trưng phát hiện của bộ phát hiện tối ưu. Kết quả trên có được là do khi tăng giá trị m thì ngưỡng phát hiện Z giảm. Đối với ô kiểm tra chứa tín hiệu phản xạ từ mục tiêu thì với việc ngưỡng giảm, xác suất để mẫu kiểm tra lớn hơn m mẫu tương phản còn lại rất cao (hoàn toàn có thể xảy ra), khi đó, D sẽ tăng. Còn với các mẫu tương phản, tuy ngưỡng giảm nhưng chúng chỉ chứa nhiễu tạp nên xác suất để mỗi mẫu tương phản này hơn m mẫu còn lại là rất nhỏ. Như vậy, việc lựa chọn m có thể đạt được đặc trưng phát hiện mong muốn nhưng cũng phải đảm bảo tốc độ tính toán và mức độ phức tạp trong sơ đồ bộ phát hiện. Trong thực tế thường lựa chọn giá trị tối ưu $m=10$.

3.2. Đánh giá sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện vào công suất nhiễu xung

Thực hiện đánh giá hiệu quả của các bộ phát hiện tương phản một phía và hai phía khi có nhiễu xung tác động sử dụng quy tắc “ m trong m ”. Trên hình vẽ 4 thể hiện sự phụ thuộc của xác suất phát hiện đúng D vào tỷ số γ (tỷ số nhiễu xung/tín hiệu) trong trường hợp $q_c = 24$ dB và $F = 10^{-6}$. Kết quả đường cong 1 và 2 trong hình 4 tương ứng đặc trưng phát hiện của bộ phát hiện tương phản một phía và hai phía phụ thuộc vào tỷ số công suất nhiễu xung/tín hiệu.

Từ hình 4 thấy rằng, xác suất phát hiện đúng ở bộ phát hiện tương phản hai phía giảm từ giá trị $D = 0,86$ (khi không có nhiễu xung $\gamma = 0$) xuống $D = 0,08$ (khi công suất nhiễu xung bằng công suất tín hiệu $\gamma = 1$). Trong khi đó, ở bộ phát hiện tương phản một phía giảm từ giá trị $D = 0,89$

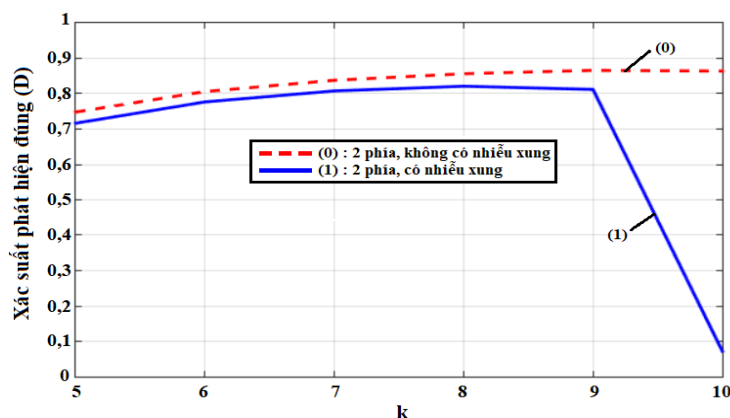
(khi $\gamma = 0$) đến giá trị $D = 0,23$ (khi $\gamma = 1$). Nguyên nhân của sự suy hao D ở cả hai bộ phát hiện là do khi có nhiều xung rơi vào 1 trong m ô tương phản thì xác suất để ô kiểm tra (giả sử đang chứa tín hiệu phản xạ từ mục tiêu) lớn hơn m ô tương phản còn lại rất nhỏ, đặc biệt với công suất nhiễu càng lớn thì xác suất này càng tiến tới 0. Với việc sử dụng quy tắc “ m trong m ” thì khả năng phát hiện của bộ phát hiện tương phản hai phía luôn kém hơn bộ phát hiện tương phản một phía trong cả trường hợp không có nhiễu xung hoặc có nhiễu xung. Đặc biệt khi $\gamma = 1$, xác suất phát hiện đúng ở bộ phát hiện tương phản hai phía nhỏ hơn ba lần so với bộ phát hiện tương phản một phía. Nguyên nhân là do bản chất của thuật toán tương phản 1 phía là so sánh ô kiểm tra với trung bình của m ô tương phản (chứa nhiễu) còn lại như đã nói ở phần 2.2. Mà trung bình của nhiễu chính là ước lượng tối ưu (tốt nhất) giá trị công suất nhiễu, nó đem lại hiệu quả cao hơn so với thuật toán tương phản 2 phía. Như vậy, khi có nhiễu xung ở một trong các phần tử tương phản dẫn đến sự suy giảm rất nhiều khả năng chống nhiễu của các bộ phát hiện tương phản.



Hình 4. Sự phụ thuộc của D vào tỷ số nhiễu xung/tín hiệu γ .

3.3. Đánh giá sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện bộ phát hiện tương phản hai phía vào giá trị k

Thực hiện đánh giá sự phụ thuộc của đặc trưng phát hiện khi sử dụng quy tắc ít nhất “ k trong m ” đối với bộ phát hiện tương phản hai phía khi không có nhiễu xung ($\gamma = 0$) và có nhiễu xung với công suất bằng công suất tín hiệu ($\gamma = 1$) trong trường hợp $m = 10$, $F_{i/10} = 10^{-6}$, $q_c = 24$ dB. Các đặc trưng phát hiện trong trường hợp không có nhiễu xung và có nhiễu xung (với k thay đổi từ 10 xuống 5) được thể hiện trên đường cong 0 và 1 trong hình 5.



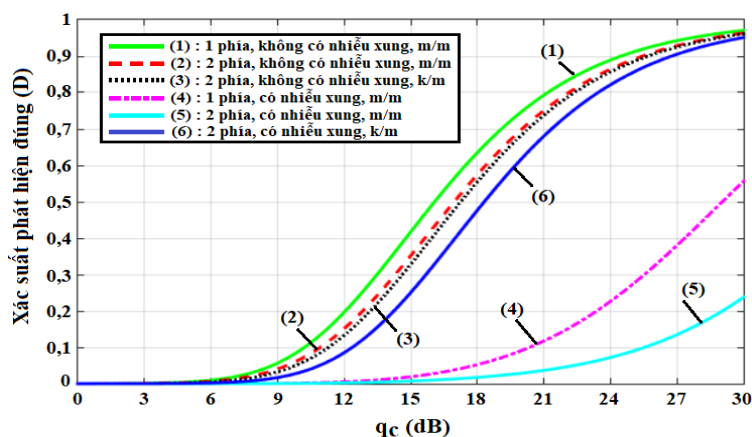
Hình 5. Sự phụ thuộc của D vào giá trị k khi không có nhiễu xung và có nhiễu xung.

Từ hình vẽ 5 nhận thấy, khi không có nhiễu xung thì quy tắc phát hiện “*m trong m*” là tốt nhất, D sẽ giảm dần khi giảm giá trị của k . Nguyên nhân là do khi giảm giá trị k thì ngưỡng phát hiện Z sẽ tăng. Nếu k giảm vừa phải thì ngưỡng Z sẽ tăng không quá nhiều. Khi đó, xác suất đề ô kiểm tra (chứa tín hiệu) lớn hơn k mẫu tương phản còn lại vẫn có thể xảy ra nhưng sẽ giảm (D giảm một chút). Nhưng nếu k giảm mạnh thì ngưỡng Z sẽ tăng mạnh. Khi đó, dù giá trị k nhỏ nhưng xác suất đề ô kiểm tra lớn hơn k mẫu tương phản còn lại gần như bằng 0 (D rất nhỏ).

Khi có nhiễu xung tác động để có được D lớn nhất thì giá trị tối ưu của k bằng 8. Giá trị tối ưu này tạo ra $D_{8/10}$ lớn nhất khi có một nhiễu xung. Điều này hoàn toàn dễ hiểu như đã giải thích ở phần 3.2, vì nếu sử dụng quy tắc “*m trong m*” thì xác suất đề ô kiểm tra (chứa tín hiệu phản xạ từ mục tiêu) lớn hơn m ô tương phản còn lại (chứa 1 nhiễu xung) là gần như không thể xảy ra ($D=0$ khi công suất nhiễu vô cùng lớn). Do đó, việc lựa chọn k (tại một giá trị cố định của m) có thể được xác định bởi số lượng nhiễu xung $L < m - k$ [1]. Hiệu $m - k$ phải lớn hơn số lượng nhiễu xung có thể rơi vào mẫu tham chiếu (tương phản). Tuy nhiên, cũng cần phải lưu ý rằng, sự gia tăng quá mức hiệu này (k quá nhỏ) sẽ dẫn đến giảm khả năng chống nhiễu khi phát hiện tín hiệu trên nền nhiễu tạp trong trường hợp không có nhiễu xung.

3.4. Đánh giá đặc trưng phát hiện của bộ phát hiện trong các trường hợp khác nhau

Trong phần này sẽ đánh giá tổng hợp về sự thay đổi của D trong các trường hợp khác nhau từ các kết luận ở phần 3.1, 3.2 và 3.3. Ta thực hiện mô phỏng đặc trưng phát hiện của bộ phát hiện tương phản một phía và hai phía trong tất cả các trường hợp để đánh giá được hiệu quả phát hiện của các thuật toán theo tình huống thực tế. Các tham số mô phỏng: $m=n=10$, $F=10^{-6}$, $q_c = 24$ dB. Khi có nhiễu xung $q_n = 24$ dB ($\gamma=1$) thì chọn $k=8$. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong hình 6.



Hình 6. Sự thay đổi của D trong các trường hợp khác nhau.

Kết quả mô phỏng trên hình 6 chỉ ra rằng, với việc sử dụng quy tắc “*m trong m*”, khi không có nhiễu xung hoặc có nhiễu xung tác động thì hiệu quả phát hiện của bộ phát hiện tương phản một phía đều tốt hơn bộ phát hiện tương phản hai phía (1 tốt hơn 2 khi không có nhiễu xung và 4 tốt hơn 5 khi có nhiễu xung tác động).

Khi có nhiễu xung tác động thì hiệu quả phát hiện của cả hai bộ phát hiện đều bị suy giảm (4 kém hơn 1 với bộ phát hiện tương phản 1 phía và 5 kém hơn 2 với bộ phát hiện tương phản hai phía). Trong điều kiện không có nhiễu xung tác động thì bộ phát hiện tương phản hai phía với việc sử dụng quy tắc “*m trong m*” sẽ tốt hơn việc sử dụng quy tắc ít nhất “*k trong m*” (2 tốt hơn 3). Nhưng khi có nhiễu xung tác động thì hiệu quả phát hiện của bộ phát hiện tương phản hai phía với việc sử dụng quy tắc ít nhất “*k trong m*” lại tốt hơn việc sử dụng quy tắc “*m trong m*”

(6 tốt hơn 5). Hơn thế nữa, nó còn tốt hơn cả hiệu quả phát hiện của bộ phát hiện tương phản một phía (6 tốt hơn 4). Đây chính là ưu điểm của quy tắc phát hiện ít nhất “ k trong m ” đã được trình bày trong phần tối ưu hóa thuật toán phát hiện tương phản hai phía trong điều kiện có nhiễu xung tác động.

4. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã đưa ra phương pháp tiếp cận và nhận được các biểu thức giải tích đánh giá khả năng chống nhiễu của bộ phát hiện tương phản trên nền nhiễu với các đặc trưng chưa biết trước trong các trường hợp khác nhau.

Trong điều kiện có nhiễu dừng phân bố chuẩn với giá trị trung bình bằng 0 và công suất chưa biết trước, F không phụ thuộc vào công suất của nhiễu nhưng được xác định thông qua ngưỡng tương phản Z và số phần tử tương phản m trong cửa sổ trượt của bộ phát hiện tương phản. D trong trường hợp này phụ thuộc vào F (thông qua các tham số Z và m) và tỷ số tín hiệu/tạp q_c . Hơn nữa, nếu cố định F thì khả năng chống nhiễu của bộ phát hiện với số phần tử tương phản $m \geq 10$ có xu hướng đạt đến khả năng chống nhiễu của bộ phát hiện tối ưu (trong điều kiện đã biết trước công suất nhiễu).

Sự có mặt của nhiễu xung với công suất và thời gian đến chưa biết trước trong các phần tử tương phản của bộ phát hiện tương phản hai phía và khi sử dụng quy tắc “ m trong m ” dẫn đến suy giảm khả năng chống nhiễu, nó phụ thuộc vào công suất nhiễu xung. Để giảm thiểu những tổn thất này, quy tắc ít nhất “ k trong m ” được sử dụng. Giá trị k được chọn từ điều kiện $k < m - L$, trong đó, L là số nhiễu xung có thể rơi vào các phần tử tương phản của bộ phát hiện.

Những ưu điểm nhất định của phương pháp tương phản là do việc sử dụng thống kê phát hiện có tính bất biến cực đại bằng cách so sánh thống kê phát hiện riêng lẻ (hàm tương phản) với một giá trị ngưỡng. Nó đem lại những lợi thế nêu trên và tạo được tính linh hoạt trong việc ra quyết định và ngoài ra có thể sử dụng các ngưỡng khác nhau cho các thống kê khác nhau, điều chỉnh theo tình huống nhiễu. Các tính chất tích cực của phương pháp tương phản hai phía được nêu ra ở trên cho phép chúng ta kết luận rằng phương pháp này có khả năng làm việc hiệu quả trong các điều kiện bất định thông tin tiên nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Белецкий Ю.С., “Методы и алгоритмы контрастного обнаружения сигналов на фоне помех с априори неизвестными характеристиками”, М.: Радиотехника, 2011.
- [2]. Под ред. А.А. Елисеева, А.А. Оводенко, “Управление движущимися объектами”, М.: Изд. Мир книги, 1994.
- [3]. Ширман Я.Д., Голиков В.Н., “Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов и измерения их параметров”, М.: Сов. Радио, 1977.
- [4]. Акимов П.С., Бакут П.А., “Теория обнаружения сигналов”, М.: Радио и связь, 1984.
- [5]. Левин Б.Р., “Теоретические основы статистической радиотехники” Кн.3. М.: Сов. Радио, 1976.
- [6]. Оводенко А.А., “Робастные локационные устройства”, Л.: Изд. ЛГУ, 1981.
- [7]. Белецкий Ю.С., Белоусов А.А., “Контрастное обнаружение флуктуирующего сигнала в шумах с произвольным энергетическим спектром”, Доклад IX Всесоюзной акустической конференции, М.: Секция-С, 1977, С. 37-40.
- [8]. Венцель Е.С., Гончаров Л.А., “Теория вероятностей”, М.: Наука, 1973.
- [9]. Сидоров Ю.Е., “Оптимальный алгоритм обнаружения радиолокационных сигналов в шумах неизвестной интенсивности”, Известия вузов. Сер. Ра-диоэлектроника, 1973, № 2, С. 101-104.
- [10]. Вентцель Е.С., “Теория вероятностей”, М.: Физматгиз, 1962.

- [11]. Luo, Z., Lu, P. & Zhang, G., “Locally optimal detector design in impulsive noise with unknown distribution”, *EURASIP J. Adv. Signal Process.* 34 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13634-018-0560-x>, 2018.
- [12]. Liberios Vokorokos; Alexander Ivchenko; Stanislav Marchevský; Elena Palahina; Volodymyr Palahin, “Parameters estimation of correlated non-Gaussian processes by the method of polynomial maximisation”, *IET Signal Processing*, Volume 11, Issue 3, May 2017, p. 313 – 319.
- [13]. Gencheng Guo, Mrinal Mandal, Yindi Jing, “A robust detector of known signal in non-Gaussian noise using threshold systems”, *Signal Processing* 92 (2012) 2676–2688.

ABSTRACT

EVALUATION OF DETECTION PERFORMANCE OF CONTRAST DETECTOR FOR SIGNALS AGAINST THE INTERFERENCE BACKGROUND WITH PRIORI UNKNOWN CHARACTERISTICS

The problem of improving the efficiency of detecting useful signals against the interference background with a priori unknown characteristics is one of the top concerns of radar and sonar signal processing. One of the methods to improve signal detection efficiency is to use contrast algorithm. In this paper, the contrast algorithm for detection of single pulse signal (in time domain) on the noise and pulse interference background with a priori unknown characteristics is presented. The effectiveness of the contrast algorithm for detection of useful signal under different conditions will be evaluated by simulation on MATLAB software using the analytical expressions that represent their detection characteristics.

Keywords: Detection of signal; A priori characteristics uncertainty; Contrast algorithm.

Nhận bài ngày 11 tháng 01 năm 2021

Hoàn thiện ngày 02 tháng 6 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 6 năm 2021

Địa chỉ: ¹Khoa Vô tuyến điện tử - Học viện Kỹ thuật quân sự;
²Khoa Vô tuyến điện tử - Trường Sĩ quan Không quân.
*Email: dinhvandung.tb@gmail.com.