ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN RA QUYẾT ĐỊNH NHIỀU BƯỚC VỚI KHẢ NĂNG ĐÁP ỨNG ĐỘ TIN CẬY CỦA CÁC QUYẾT ĐỊNH TRONG PHÁT HIỆN MỤC TIÊU RA ĐA

Nguyễn Hoàng Nguyên*, Phạm Việt Anh, Phạm Cao Đại, Nguyễn Văn Bắc

Tóm tắt: *Bài báo đề cập đến vấn đề nâng cao hiệu quả của các đài ra đa theo hướng linh hoạt kéo dài thời gian quan sát. Đề xuất phương án sử dụng "thuật toán lần lượt với khả năng đáp ứng độ tin cậy của các quyết định" trong phát hiện mục tiêu ra đa. Kết quả phân tích cho thấy, phương án này có khả năng đáp ứng giá trị xác suất phát hiện đúng và báo động lầm với thời gian quan sát tương đương với thuật toán Wald. Điểm khác biệt là phương án có tính đến yêu cầu đảm bảo độ tin cậy của các quyết định và sử dụng thêm thông tin tiên nghiệm về xác suất có hoặc không có mục tiêu. Ngoài ra, phương án đề xuất còn cho phép đảm bảo mức xác suất báo động lầm cần thiết với trung bình số chu kỳ quan sát nhỏ hơn đáng kể so với thuật toán ra quyết định tức thời (một bước) theo tiêu chuẩn Neyman–Pearson.*

Từ khóa: Phát hiện mục tiêu ra đa; Phân tích lần lượt; Ra quyết định nhiều bước.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cơ sở để giải quyết bài toán phát hiện mục tiêu ra đa là chính là mô hình thống kê của tín hiệu nhận được (ký hiệu ξ), thể hiện qua hàm mật độ xác suất (MĐXS) có điều kiện trong trường hợp có và không có mục tiêu $p_l(\xi) = p\left(\xi / H_l\right)$, $l = 1, 0$ (H_1, H_0: giả thuyết có hoặc không có mục tiêu). Ở đây, thông tin phục vụ phát hiện nằm ở "sự khác biệt" của các hàm MĐXS về dạng hoặc tham số và thuật toán ra quyết định một bước (TTMB) có dạng chung [2, 5-7]:

$$\text{“}H^* = H_1^* \text{ nếu } L(\xi) = \frac{p_1(\xi)}{p_0(\xi)} \geq L^* \text{ và } H^* = H_0^* \text{ nếu } L(\xi) = \frac{p_1(\xi)}{p_0(\xi)} < L^*\text{”}. \qquad (1)$$

Trong đó: $L(\xi)$, L^* - Tỷ số hợp lý và ngưỡng phát hiện; H^*, H_1^*, H_0^* - Ký hiệu hàm quyết định và các quyết định có và không có mục tiêu.

Chất lượng phát hiện thể hiện qua qua bảng xác suất ra quyết định đúng hoặc sai có điều kiện $P_{k/l} = P\left\{H_k^* / H_l\right\}; k, l = 1, 0$. Trong đó, xét theo quan điểm người sử dụng, có những chỉ số quan trọng sau [1, 2, 6, 7]:

- Xác suất phát hiện đúng (XSPHĐ) $D = P_{1/1}$, báo động lầm (XSBĐL) $F = P_{1/0}$;

- Xác suất ra quyết định đúng (XSQĐ) loại một (cho H_1^*) và hai (cho H_0^*):

$$P_{\text{Dec}.l} = P\left\{H_l \ / H_l^*\right\} = \frac{P_l \, P_{l/l}}{P_l \, P_{l/1} + P_{\bar{l}} \, P_{1/0}}, \ l = 1, 0. \qquad (2)$$

Trong đó: $P_l = P\left\{H_l\right\}$; $l = 1, 0$ - Xác suất có hoặc không có mục tiêu trong vùng quan sát.

Do thời gian sử dụng để ra quyết định là không đổi nên chất lượng của các bộ phát hiện sử dụng TTMB cho trước hoàn toàn phụ thuộc vào yếu tố khách quan là điều kiện quan sát. Trong các tình huống khó khăn (mục tiêu nhỏ, cự li lớn, nhiễu tạp mạnh,…) chất lượng phát hiện có thể xuống rất thấp và không thể đáp ứng được yêu cầu của người sử dụng thông tin. Một trong những biện pháp khắc phục vấn đề này là sử dụng các thuật toán theo tiêu chuẩn Neyman–Pearson [5-7]. Bản chất của nó là chọn ngưỡng phát hiện sao cho đảm bảo XSPHĐ cao nhất với điều kiện XSBĐL không vượt quá giá trị yêu cầu $F \leq F^*$. Dễ thấy, việc điều chỉnh ngưỡng L^*

trong (1) chỉ cho phép đảm bảo một trong hai chỉ số chất lượng (F hoặc D), chỉ số còn lại vẫn phụ thuộc vào điều kiện quan sát. Chính vì vậy, các thuật toán kiểu như vậy không thể giải quyết triệt để được các yêu cầu về chất lượng phát hiện. Vấn đề đáp ứng chất lượng quyết định có thể thực hiện theo một cách tiếp cận khác "*Kéo dài thời gian quan sát để tăng lượng thông tin sử dụng để ra quyết định*". Theo hướng này đã có một số công trình nghiên cứu để xây dựng thuật toán ra quyết định nhiều bước (TTNB) trên cơ sở lý thuyết phân tích lần lượt [1, 3, 4, 8]. Khi cần đáp ứng bộ chỉ tiêu "XSPHĐ–XSBĐL":

$$F \le F^* \text{ và } D \ge D^*, \tag{3}$$

có thể sử dụng thuật toán Wald [4]. Tuy nhiên, trong thuật toán không sử dụng thông tin tiên nghiệm về sự xuất hiện của mục tiêu (P_1 , P_0) cũng như việc đáp ứng yêu cầu về giá trị XSQĐ :

$$P_{\text{Dec.1}} \ge P_1^* \text{ và } P_{\text{Dec.0}} \ge P_0^*. \tag{4}$$

Trong đó: P_1^* và P_0^* - Độ tin cậy cần đáp ứng của các quyết định H_1^*, H_0^*. Giá trị này được lựa chọn trên cơ sở tính chất, mức độ quan trọng của bài toán phát hiện mà đài ra đa thực hiện.

Để đảm bảo yêu cầu (4) có thể sử dụng thuật toán nhận dạng nhiều bước đề xuất trong [1]. Do "phát hiện" là một trường hợp riêng của bài toán "nhận dạng" nên việc triển khai thuật toán này không có gì khó khăn. Ở đây, chúng tôi tập trung vào việc đánh giá khả năng ứng dụng của thuật toán, thực hiện so sánh với thuật toán Neyman–Pearson (TTMB đang ứng dụng phổ cập trong ra đa) và thuật toán Wald (TTNB kinh điển có tiềm năng ứng dụng trong ra đa). Với mục tiêu trên, bài báo có cấu trúc như sau:

- Mô tả thuật toán.
- Đánh giá hiệu quả của thuật toán.
- Kết luận.

II. MÔ TẢ THUẬT TOÁN

Thông thường, trong các đài ra đa, quá trình quan sát được thực hiện lần lượt theo từng chu kỳ. Gọi ξ_m là tín hiệu nhận được ở *chu kỳ quan sát* (CKQS) thứ "m" ($m = 1, 2...$), thì sau "n" chu kỳ sẽ nhận được tập "n" tín hiệu $\left[\xi^{(n)}\right] = \left[\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n\right]$. Do CKQS thường lớn hơn nhiều so với thời gian thăng giáng của tín hiệu nên có thể coi các thành phần của $\left[\xi^{(n)}\right]$ là độc lập [5, 6]. Khi đó, hàm MĐXS có điều kiện của $\left[\xi^{(n)}\right]$ và tỷ số hợp lý được viết dưới dạng:

$$p_l^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right) = p\left(\left[\xi^{(n)}\right] / H_l\right) = \prod_{m=1}^{n} p_l^{(1)}(\xi_m);\ l = 0,1. \tag{5.a}$$

$$L\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right) = L^{(n)} = \frac{p_1^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right)}{p_0^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right)} \tag{5.b}$$

Trong đó: $p_l^{(1)}(\xi_m) = p(\xi_m / H_l)$ - Hàm MĐXS có điều kiện của tín hiệu tại CKQS thứ "m".

Giả sử việc ra quyết định được thực hiện sau mỗi "N_{Onc}" CKQS, việc ra quyết định trong *thuật toán Neyman–Pearson* được thực hiện theo quy tắc (1) với tỷ số hợp lý $L(\xi) = L^{(N_{\text{Onc}})}$ tính theo công thức (5) và ngưỡng phát hiện $L^* = L_{Ney}^*$ xác định bởi phương trình:

$$\int_0^{L_{Ney}^*} f_0\left(L^{(N_{\text{Onc}})}\right) dL^{(N_{\text{Onc}})} = F^* \tag{6}$$

Trong đó: $f_0\left(L^{(N_{\text{Onc}})}\right)$ - Hàm MĐXS của tỷ số hợp lý $L^{(N_{\text{Onc}})}$ trong điều kiện H_0.

Trường hợp cần đáp ứng bộ chỉ tiêu "XSPHĐ–XSBĐL" theo yêu cầu (3), quyết định lần lượt theo *thuật toán Wald* có dạng:

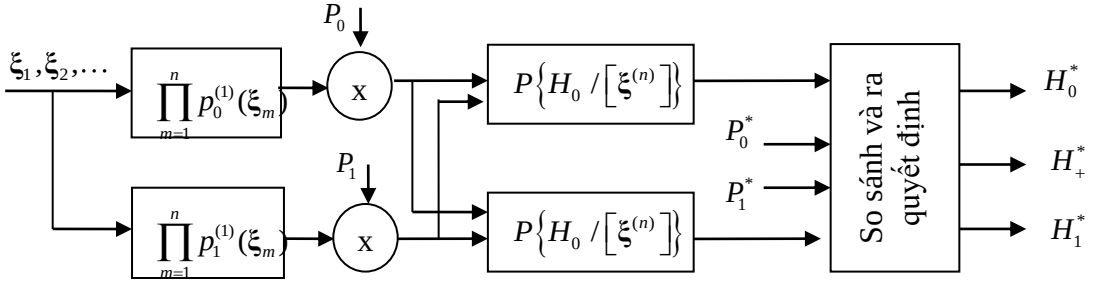
$$\text{“}H^* = H_1^* \text{ nếu } L^{(n)} \ge L_1^{*Wald} = \frac{D^*}{F^*},\ H^* = H_0^* \text{ nếu } L^{(n)} \le L_0^{*Wald} = \frac{1-D^*}{1-F^*},$$
$$\text{và } H^* = H_+^* \text{ nếu } L_0^{*Wald} \le L^{(n)} \le L_1^{*Wald}\text{”}. \quad (7)$$

Trong đó: L_1^*, L_0^* - các ngưỡng phát hiện; D^*, F^* - Giá trị XSPHĐ và XSBĐL cần đáp ứng; H_+^* - Ký hiệu quyết định chuyển CKQS tiếp theo.

Trường hợp cần đáp ứng độ tin cậy của các quyết định theo yêu cầu (4), *TTNB* đề xuất trong [1] *ứng dụng vào bài toán phát hiện có dạng* (8) và được minh họa trong sơ đồ hình 1:

$$\text{“Với } k = \arg\max_{l=0,1}\left\{P\left\{H_l \,/\left[\xi^{(n)}\right]\right\}\right\} \text{ thì } H^* = H_k^* \text{ khi } P\left\{H_k \,/\left[\xi^{(n)}\right]\right\} \ge P_k^* \text{ và}$$
$$H^* = H_+^* \text{ khi } P\left\{H_k \,/\left[\xi^{(n)}\right]\right\} < P_k^*\text{”}. \quad (8)$$

Trong đó: $P\left\{H_l \,/\left[\xi^{(n)}\right]\right\} = \dfrac{P_l\ p_l^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right)}{P_0\ p_0^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right) + P_1\ p_1^{(n)}\left(\left[\xi^{(n)}\right]\right)}$, $l = 0,1$ - xác suất hậu nghiệm của giả thuyết H_l.



Hình 1. *Sơ đồ minh họa thuật toán phát hiện nhiều bước.*

Ở đây có lưu ý, do bài toán phát hiện chỉ ứng với hai giả thuyết "có" hoặc "không có" mục tiêu nên kiểu "quyết định nhóm" (quyết định về sự tồn tại của một trong nhóm vài giả thuyết dễ xảy ra nhất) trong TTNB đề xuất trong [1] không được đưa vào.

Khả năng đáp ứng yêu cầu (4) của thuật toán (8) đã được đánh giá bằng giải tích trong [1]. Ở đây, chúng tôi xem xét khả năng lựa chọn tham số của thuật toán này nhằm đáp ứng yêu cầu (3). Do chỉ có hai giả thuyết (có và không có mục tiêu) nên có thể sử dụng giá trị tỷ số hợp lý (5.b) và biến đổi thuật toán (8) về dạng đơn giản tương tự như thuật toán Wald:

$$\text{“}H^* = H_1^* \text{ nếu } L^{(n)} \ge L_1^{*AP} = \frac{P_0}{P_1}\frac{P_1^*}{1-P_1^*},\ H^* = H_0^* \text{ nếu } L^{(n)} \le L_0^{*AP} = \frac{P_0}{P_1}\frac{1-P_0^*}{P_0^*},$$
$$\text{và } H^* = H_+^* \text{ nếu } L_0^{*AP} \le L^{(n)} \le L_1^{*AP}\text{”}. \quad (9)$$

Nếu chọn:

$$P_1^* = \frac{P_1\ D^*}{P_1\ D^* + P_0\ F^*},\ P_0^* = \frac{P_0\ (1-F^*)}{P_0\ (1-F^*) + P_1\ (1-D^*)}, \quad (10)$$

thì

$$L_1^{*\mathrm{AP}} = \frac{D^*}{F^*} = L_1^{*\mathrm{Wald}},\ L_0^{*\mathrm{AP}} = \frac{1-D^*}{1-F^*} = L_0^{*\mathrm{Wald}}. \quad (11)$$

Như vậy, bằng cách chọn ngưỡng phù hợp TTNB (8) tương đương với thuật toán Wald và có khả năng đáp ứng bộ chỉ tiêu "XSPHĐ–XSBĐL" theo yêu cầu (3). Trường hợp không biết xác suất tiên nghiệm về sự tồn tại mục tiêu trong vùng quan sát có thể coi $P_0 = P_1 = 0{,}5$.

III. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA THUẬT TOÁN

Việc đánh giá hiệu quả của thuật toán (8) được thực hiện theo các khía cạnh sau:

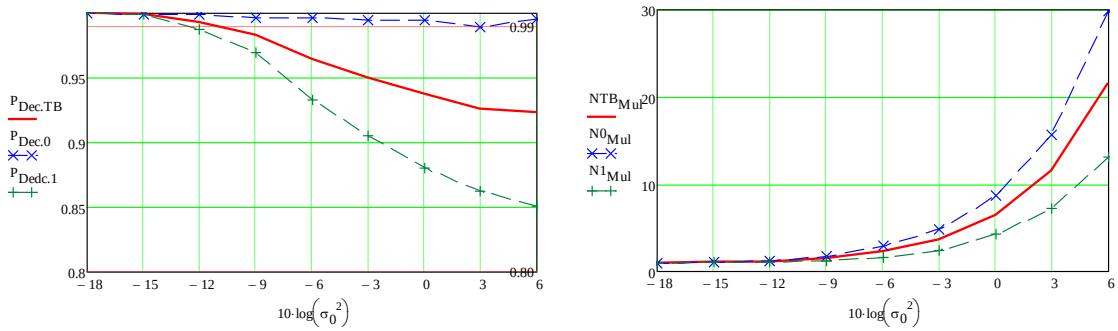
- Khảo sát từng cặp chỉ số chất lượng phát hiện ("D, F" và "$P_{\mathrm{Dec.0}}$, $P_{\mathrm{Dec.1}}$") cùng trung bình số chu kỳ quan sát "$\mathrm{N0_{Mul}}$, $\mathrm{N1_{Mul}}$" cần thiết để ra quyết định để đảm bảo các yêu cầu (3) và (4) trong các trường hợp không có và có mục tiêu trong vùng quan sát của đài ra đa "$\mathrm{H_0}$, $\mathrm{H_1}$". Các chỉ số trên được khảo sát trong điều kiện tỷ số tín trên tạp (S/N) thay đổi.

- Đánh giá trung bình tổng số CKQS "$\mathrm{NTB_{Mul}} = 0{,}5\left(\mathrm{N0_{Mul}} + \mathrm{N1_{Mul}}\right)$" sử dụng trong (8) để đảm bảo cặp giá trị "XSPHĐ-XSBĐL" mà thuật toán Neyman–Pearson có thể đạt được với số CKQS là "$\mathrm{N_{Ney}}$".

Trường hợp chung, tính toán các chỉ số chất lượng bằng giải tích là khó khăn, đặc biệt là đối với giá trị trung bình số CKQS. Do đó, ở đây chúng tôi sử dụng phương pháp mô phỏng thống kê. Kết quả đưa ra dưới đây được thực hiện trong điều kiện mô phỏng các thuật toán phát hiện mục tiêu trên nền tạp Gauss cộng tính với mức tín hiệu quy chuẩn $\sigma_s^2 = 1$ còn mật độ phổ công suất thay đổi $\sigma_0^2 = \mathrm{var}$, khi đó, ta có $S/\mathrm{N}[\mathrm{dB}] = 10\log\left(\sigma_s^2/\sigma_0^2\right) = -10\log\sigma_0^2$.

3.1. Khả năng đáp ứng yêu cầu về độ tin cậy của các quyết định

Kết quả khảo sát sự phụ thuộc độ tin cậy của các quyết định, và các tham số về thời gian quan sát vào tỷ số S/N được đưa ra trên hình 2.



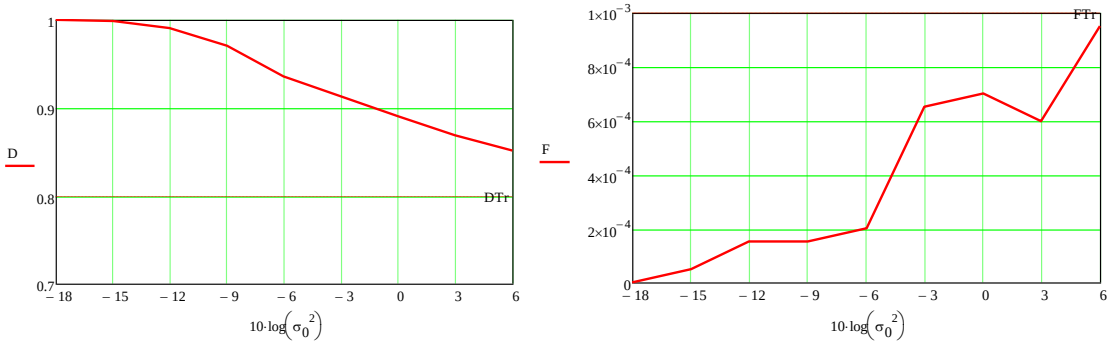
Hình 2. *Sự phụ thuộc độ tin cậy của các quyết định và các tham số về thời gian quan sát vào tỷ số S/N khi* $P_0^* = 0{,}99$; $P_1^* = 0{,}80$; $\mathrm{P_{Dec.TB}} = 0{,}5(P_0^{\mathrm{Dec}} + P_1^{\mathrm{Dec}})$.

Có thể thấy, khi tỷ số S/N giảm yêu cầu về độ tin cậy (4) được đáp ứng bằng cách linh hoạt kéo dài thời gian quan sát. Tùy theo giá trị cụ thể của P_0^* và P_1^* mà số chu kỳ quan sát sử dụng trong thuật toán tăng nhiều ít khác nhau.

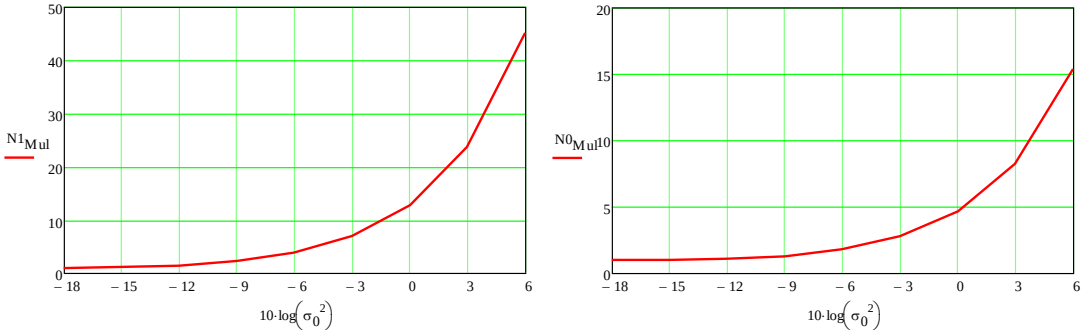
3.2. Khả năng đáp ứng yêu cầu về xác suất phát hiện đúng và báo động lầm

Giả sử cần đáp ứng yêu cầu (3) với tham số cụ thể là $D \ge D^* = \mathrm{DTr} = 0{,}8$ và $F \le F^* = \mathrm{FTr} = 10^{-3}$. Vận dụng công thức (10) ta tính được tham số của TTNB

$P_1^* = \dfrac{P_1\, D^*}{P_1\, D^* + P_0\, F^*} = 0{,}833$; $P_0^{\mathrm{Dec}} = \dfrac{P_0\,(1-F^*)}{P_0\,(1-F^*) + P_1\,(1-D^*)} = 0{,}999$. Kết quả mô phỏng thuật toán (8) với bộ tham số này được thể hiện trên hình 3 và hình 4.



Hình 3. *Sự phụ thuộc xác suất phát hiện đúng và báo động lầm vào tỷ số S/N trong thuật toán nhiều bước với "* $D^* = 0{,}8, F^* = 10^{-3}$ *" và "* $P_0^* = 0{,}999, P_1^* = 0{,}833$ *".*



Hình 4. *Sự phụ thuộc trung bình số chu kỳ quan sát vào tỷ số S/N trong thuật toán nhiều bước với "* $D^* = 0{,}8, F^* = 10^{-3}$ *" và "* $P_0^* = 0{,}999, P_1^* = 0{,}833$ *".*

Kết quả khảo sát cho thấy, khi tỷ số S/N thay đổi, XSPHĐ và XSBĐL luôn đáp ứng yêu cầu đặt ra. Trung bình số CKQS khi có mục tiêu khá lớn so với trường hợp không có mục tiêu ($\mathrm{N1_{Mul}} >> \mathrm{N0_{Mul}}$). Nguyên nhân là do "$F^* = 10^{-4} << 1 - D^* = 0{,}2$" dẫn đến $P_0^* = 0{,}999 >> P_1^* = 0{,}833$. Hay nói cách khác, do yêu cầu cao về độ tin cậy của quyết định "$H^* = H_0^*$" nên việc ra quyết định này khi có mục tiêu sẽ đòi hỏi số CKQS lớn.

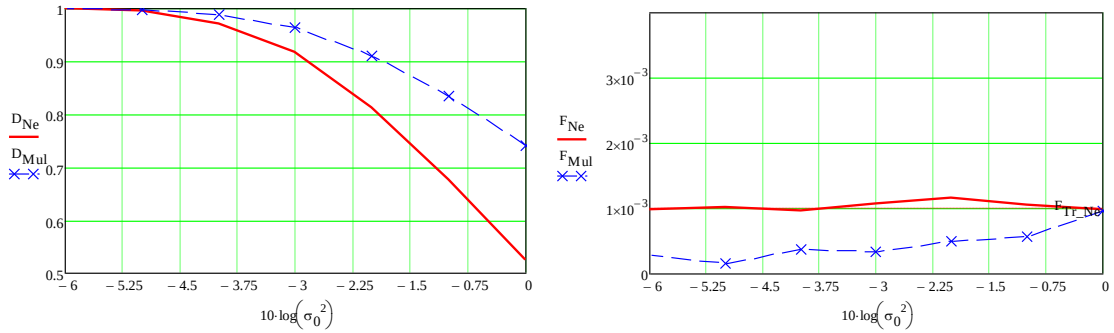
3.3. Khả năng đáp ứng yêu cầu về xác suất phát hiện đúng và báo động lầm – so sánh với thuật toán Neyman–Pearson

Thực hiện khảo sát thuật toán Neyman-Pearson với số CKQS $\mathrm{N_{Ney}} = 10$ và giá trị XSBĐL cần đảm bảo là $F^* = F_{Ney} = 10^{-3}$. Sau đó khảo sát TTNB (8) với tham số:

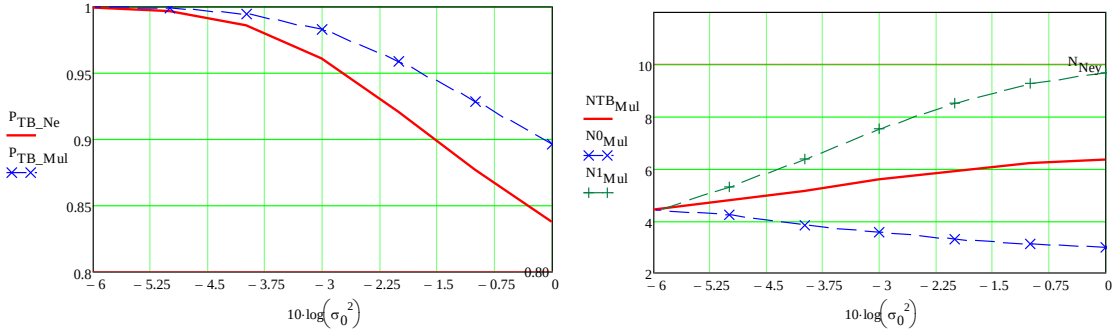
$$F_{Mul} \le F^* = F_{Ney} = 10^{-3} \text{ và } D_{\mathrm{Mul}} \ge D^* = D_{\mathrm{Ne}} \qquad (12)$$

Trong đó: D_{Ne} - Giá trị XSPHĐ nhận được khi khảo sát thuật toán Neyman-Pearson.

Kết quả khảo sát sự phục thuộc XSPHĐ và XSBĐL vào tỷ số S/N đối với thuật toán (8) và thuật toán Neyman-Pearson được đưa ra trên hình 5. Trên hình 6 là kết quả khảo sát cho trung bình XSQĐ đối với cả hai thuật toán và các tham số về thời gian quan sát "$\mathrm{N0_{Mul}}$, $\mathrm{N1_{Mul}}$, $\mathrm{NTB_{Mul}}$" của riêng thuật toán (8).



Hình 5. *Sự phụ thuộc xác suất phát hiện đúng và báo động lầm vào tỷ số S/N trong thuật toán nhiều bước và thuật toán Neyman-Pearson.*



Hình 6. *Sự phụ thuộc trung bình xác suất ra quyết định đúng vào tỷ số S/N trong thuật toán nhiều bước (P_{TB_Mul}) cùng thuật toán Neyman-Pearson (P_{TB_Ne}) và sự phụ thuộc các tham số về thời gian quan sát đối với riêng thuật toán nhiều bước.*

Kết quả khảo sát cho thấy:

- Thuật toán (8) cho phép đảm bảo yêu cầu (11) với trung bình tổng số CKQS " $NTB_{Mul} \cong 4.5-6.5$ " - nhỏ hơn cỡ gần 2 lần so với thuật toán Neyman-Pearson (tùy theo giá trị S/N). Trung bình số CKQS " $N0_{Mul}$ "giảm theo mức tạp khi không có mục tiêu. Trường hợp có mục tiêu, " $N1_{Mul}$ " tăng theo mức tạp.

- Các chỉ tiêu chất lượng của thuật toán (8) tốt hơn so với thuật toán thuật toán Neyman-Pearson trong toàn dải S/N đã khảo sát.

IV. KẾT LUẬN

Thuật toán nhiều bước đề xuất trong [1] ứng dụng vào bài toán phát hiện cho phép đáp ứng yêu cầu về độ tin cậy của các quyết định trong điều kiện tỷ số S/N thay đổi. Bằng cách lựa chọn ngưỡng quyết định một cách phù hợp, thuật toán này có thể đảm bảo giá trị XSPHĐ và XSBĐL với thời gian quan sát tương đương với thuật toán Wald. Điểm khác biệt là trong thuật toán đề xuất có thể sử dụng thêm thông tin tiên nghiệm về xác suất tồn tại mục tiêu trong vùng quan sát của đài ra đa. Ngoài ra, thuật toán còn có thể đảm bảo mức XSBĐL cần thiết với trung bình số chu kỳ quan sát nhỏ hơn đáng kể so với thuật toán Neyman–Pearson trong cùng một điều kiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyen Hoang Nguyen, "*Synthesis of a radar recognition algorithm with ability to meet reliability of decisions*". Journal of Science and Technique - Le Quy Don Technical University, No. 203 (2019).

[2]. Shirman Y.D., "*Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, & Tracking*", Artech House (2002).

[3]. Tartakovsky A, Li X, Yaralov G., "*Sequential detection of targets in multichannel systems. Information Theory*", IEEE Transactions (2003).

[4]. Wald A., "*Sequential Analysis*", New York, John Wiley & Sons (1947).

[5]. Горелик А.Л., Барабаш Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С., "*Селекция и распознавание на основе локационной информации*", Радио и связь (1990).

[6]. Охрименко А. Е, "*Основы радиолокации и РЭБ*", Минск, Воениздат (1983).

[7]. Перов А.И., "*Статистическая теория радиотехнических систем*", Радиотехника (2003).

[8]. Фу К, "*Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин*", Наука (1971).

ABSTRACT

APPLICATION OF THE SEQUENTIAL (MULTI-STEP) DECISION-MAKING ALGORITHM WITH THE ABILITY TO MEET RELIABILITY OF DECISIONS IN RADAR TARGET DETECTION

The paper presents the issue of improving the efficiency of the radar systems by flexibly extending the observation time. In this paper, a solution to apply the sequential (multi-step) decision-making algorithm with the ability to meet the reliability of decisions in radar target detection is proposed. The analysis results show that this solution satisfies the required probability of true detection and false alarm with the same observation time as Wald's algorithm. The difference is that the solution takes into account the requirement of ensuring the reliability of the decisions and uses posteriori information about the probability of existence or non-existence of targets. In addition, the proposed solution ensures the necessary false alarm probability with the average number of observation cycles significantly smaller than the instantaneous (one-step) decision-making algorithm according to Neyman–Pearson criteria.

Keywords: Radar target detection; Sequential analysis; Multi-step decision.

Nhận bài ngày 30 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 30 tháng 7 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 8 năm 2021

Địa chỉ: Viện Tích hợp hệ thống/ Học viện KTQS.
*Email: nguyenhnvn@gmail.com.