

Nghiên cứu bài toán ước lượng tọa độ mục tiêu biển có phân giải cao

Võ Xung Hà^{1*}, Nguyễn Trung Kiên², Nguyễn Phùng Bảo³, Vũ Quân⁴

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

²Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

³Viện Tích hợp Hệ thống, Học viện kỹ thuật quân sự;

⁴Khoa Y học hạt nhân, Viện Ung bướu và Y học hạt nhân - Bệnh viện Quân y 175.

*Email: vn.microwave@gmail.com

Nhận bài: 28/9/2022; Hoàn thiện: 08/11/2022; Chấp nhận đăng: 12/12/2022; Xuất bản: 28/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.84.2022.13-23>

TÓM TẮT

Đối với mục tiêu biển có kích thước lớn, ảnh ra đa phân giải cao của chúng được phân bố trên nhiều ô cự ly và phương vị. Từ đây đặt ra yêu cầu ước lượng tọa độ tâm của các mục tiêu có độ phân giải cao nhằm cung cấp đầu vào cho bài toán lọc bám quỹ đạo của chúng. Bài báo đề xuất phương án xác định ngưỡng nhị phân hóa ảnh ra đa trên cơ sở suy rộng thuật toán xác định ngưỡng tối ưu phát hiện chùm tín hiệu lượng tử nhị phân và ước lượng tọa độ tâm mục tiêu có độ phân giải cao trên biển.

Từ khóa: Ảnh ra đa; Mục tiêu có độ phân giải cao; Ảnh nhị phân; Ước lượng tọa độ tâm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực điều khiển và chỉ huy, thông tin về các đối tượng tác chiến phải được bảo đảm nhanh, chính xác. Các thông tin này có thể là tọa độ và các tham số chuyển động của các đối tượng. Nguồn cung cấp thông tin chủ yếu về tọa độ và các tham số chuyển động của mục tiêu trên biển cho hệ thống điều khiển và chỉ huy là các đài ra đa [1]. Tại mỗi chu kỳ cập nhật tin tức, hệ thống chỉ nhận duy nhất một giá trị về tọa độ các đối tượng lọc bám tại một đầu đo. Tuy nhiên, trên thực tế các mục tiêu trên biển có diện tích phản xạ hiệu dụng khá đa dạng từ rất nhỏ (người cá) đến rất lớn (tàu hàng, tàu quân sự,...). Mục tiêu có kích thước nhỏ có thể coi là mục tiêu điểm. Mục tiêu có kích thước lớn hoặc rất lớn với nhiều điểm chói sẽ hình thành ma trận điểm dấu (ảnh) phân bố trên nhiều ô cự ly và phương vị. Những mục tiêu như vậy được gọi mục tiêu có độ phân giải cao. Bài toán đặt ra cần ước lượng tọa độ tâm của các mục tiêu có độ phân giải cao trên cơ sở ma trận điểm dấu cung cấp cho đầu đo của hệ thống bám lọc mục tiêu.

Hiện nay, trên thế giới có nhiều tác giả công bố các công trình nghiên cứu liên quan đến xử lý ảnh ra đa các mục tiêu có độ phân giải cao với nhiều điểm chói. Tác giả Горбунова. А.А [2] và Чурай.К.Н. [3] nghiên cứu các giải pháp khôi phục ảnh mục tiêu ra đa với mục đích cho bài toán nhận dạng. Trong công trình [4] tác giả Zhou. H, tác giả Amirzadeh [5] và cộng sự đã đề xuất mô hình lọc Kalman kết hợp với các quy tắc của logic mờ. Tác giả Селезнева О.В. [6] đề xuất chia các vùng ảnh ra đa thành ba vùng S_1 , S_2 , S_3 tùy theo giá trị lớn nhất và nhỏ nhất theo mức năng lượng (độ sáng của ảnh, ứng với mức từ 0 đến 255). Bài toán ước lượng tọa độ tâm ảnh ra đa [6] vẫn dựa trên tâm vùng mức năng lượng trung bình S_2 , tâm các vùng S_1 , S_3 chỉ dùng để hiệu chỉnh quỹ đạo bám cho vùng mức năng lượng S_2 . Tuy nhiên, cách tính ngưỡng để thiết lập vùng chia chưa được chỉ ra. Trong nước, hiện nay chưa có tác giả nào công bố các công trình tương tự, liên quan đến bài toán xác định ngưỡng nhị phân hóa ảnh ra đa, ước lượng tọa độ tâm ảnh ra đa có độ phân giải cao.

Trên cơ sở phân tích tình hình nghiên cứu trong nước và quốc tế, trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phương án xác định ngưỡng nhị phân hóa ảnh mục tiêu ra đa, trên cơ sở ảnh nhị phân ước lượng tọa độ tâm mục tiêu trên biển nhằm cung cấp tọa độ cho bài toán lọc bám quỹ đạo phục vụ chỉ huy và điều khiển. Để xác định tính ưu việt của phương án đề xuất nhóm tác giả so sánh với một trong những thuật toán xác định ngưỡng kinh điển sử dụng trong xử lý ảnh là thuật

toán xác định ngưỡng Otsu [7].

2. XÁC ĐỊNH NGUỖNG NHỊ PHÂN HÓA ẢNH MỤC TIÊU RA ĐA VÀ ƯỚC LƯỢNG TỌA ĐỘ TÂM ẢNH MỤC TIÊU RA ĐA

2.1. Mô tả cơ sở dữ liệu ảnh ra đa

Bài báo sử dụng dữ liệu thực tế hai mục tiêu kí hiệu là MT1, MT2, MT3, MT4, MT5, MT6, MT7, tham số về mục tiêu được mô tả ở bảng 1. Dữ liệu ảnh về mục tiêu ra đa trên biển là ma trận điểm dấu A có kích thước m hàng, n cột (hình 1). Trong đó:

- Các phần tử của ma trận điểm dấu $A_{ij} [x_i, y_j, \eta_{ij}]$ là một điểm ảnh nằm ở ô cự ly thứ x_i và ô phương vị thứ y_j có giá trị cường độ η_{ij} trong khoảng từ 0 đến 255.

- Mục tiêu có độ phân giải cao có nhiều điểm chói (là tập hợp các giá trị A_{ij} có cường độ cực trị so với vùng lân cận). Sau mỗi chu kỳ quét kích thước ảnh mục tiêu và giá trị cường độ các điểm ảnh thay đổi do sự thẳng giáng của tín hiệu phản xạ từ mục tiêu ra đa.

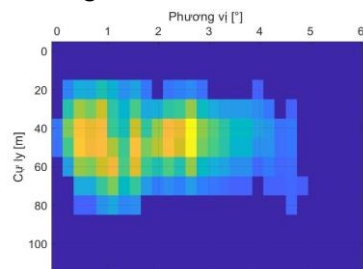
Bảng 1. Tham số của mục tiêu biển.

| Mục tiêu | MT1 | MT2 | MT3 | MT4 | MT5 | MT6 | MT7 |
|-------------------|--------|----------|---------------|--------|----------|---------------|---------------|
| Cự ly (km) | 45,3 | 104,4 | 47,7 | 40,1 | 15,7 | 103,6 | 17,1 |
| Tốc độ (Hải lý/h) | 2,5 | 0,94 | 19,2 | 2,78 | 0,94 | 14,9 | 17,01 |
| Loại tàu | Tàu cá | Tàu hàng | Tàu container | Tàu cá | Tàu hàng | Tàu container | Tàu container |
| Kích thước (m) | 60 | 80 | 200 | 60 | 79 | 200 | 200 |

Trên hình 1 là ảnh mục tiêu ra đa nằm tương ứng ở các ô cự ly từ 4539 đến 4545 và phương vị từ 1181 đến 1203. Đài ra đa có độ phân giải theo cự ly là 10 m, theo phương vị là 0.22° , kích thước ảnh ra đa mục tiêu theo cự ly khoảng 60 m, theo phương vị khoảng 4.84° .

| STT | 1181 | 1182 | 1183 | 1184 | 1185 | 1186 | 1187 | 1188 | 1189 | 1190 | 1191 | 1192 | 1193 | 1194 | 1195 | 1196 | 1197 | 1198 | 1199 | 1200 | 1201 | 1202 | 1203 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4537 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4538 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4539 | 0 | 31 | 45 | 44 | 56 | 48 | 35 | 42 | 26 | 0 | 26 | 30 | 33 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 4540 | 0 | 58 | 76 | 72 | 82 | 60 | 49 | 66 | 44 | 46 | 60 | 63 | 75 | 54 | 45 | 39 | 38 | 38 | 33 | 26 | 0 | 21 | 0 |
| 4541 | 26 | 73 | 94 | 87 | 90 | 62 | 55 | 82 | 61 | 76 | 90 | 87 | 109 | 75 | 68 | 59 | 52 | 52 | 41 | 36 | 25 | 26 | 0 |
| 4542 | 25 | 65 | 95 | 90 | 91 | 79 | 64 | 93 | 73 | 80 | 93 | 84 | 108 | 72 | 65 | 59 | 48 | 48 | 35 | 34 | 25 | 26 | 0 |
| 4543 | 0 | 40 | 75 | 73 | 83 | 89 | 65 | 86 | 63 | 57 | 67 | 57 | 75 | 51 | 46 | 42 | 34 | 34 | 22 | 27 | 22 | 24 | 0 |
| 4544 | 0 | 0 | 45 | 44 | 61 | 73 | 52 | 61 | 38 | 28 | 33 | 29 | 39 | 29 | 26 | 24 | 21 | 21 | 0 | 21 | 20 | 23 | 20 |
| 4545 | 0 | 0 | 21 | 21 | 35 | 42 | 32 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 |
| 4546 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4547 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

a) Ma trận điểm dấu



b) Ảnh mục tiêu ra đa

Hình 1. Hình ảnh mục tiêu MT1 (chu kỳ quét 1).

2.2. Cơ sở lý thuyết tính toán ngưỡng tối ưu nhị phân hóa ảnh ra đa

2.2.1. Thuật toán tựa tối ưu phát hiện chùm tín hiệu lượng tử nhị phân

Trong xử lý tín hiệu ra đa thường sử dụng thuật toán tựa tối ưu phát hiện chùm xung lượng tử nhị phân (TLN) [8]. Thuật toán này có thể được suy rộng để áp dụng cho xử lý ảnh ra đa. Thuật toán tựa tối ưu phát hiện chùm TLN có dạng:

$$\sum_{i=1}^M x_i \eta_i \geq C, \quad x_i = \begin{cases} 1 & 0 \leq P \leq 1 \\ 0 & 1 - P \end{cases} \quad (1)$$

trong đó: x_i - Chuỗi TLN; $P = \begin{cases} P_t \\ P_h \end{cases}$; $P_t = \int_{U_{ng}} W_t(U) dU$; $P_h = \int_{U_{ng}} W_h(U) dU$; $W_t(U)$ - mật độ

phân bố xác suất của tập âm; P_t khi chỉ có tạp; $W_h(U)$ - Mật độ phân bố xác suất của hỗn hợp tín tạp; P_h khi có hỗn hợp tín hiệu và tạp; U_{ng} - Ngưỡng lượng tử nhị phân (ngưỡng phát hiện xung đơn

trong chùm); C - Ngưỡng phát hiện chùm TLN; M - Số xung trong chùm TLN; $\eta_i = \ln \frac{P_{hi}(1-P_{ii})}{P_{ii}(1-P_{hi})}$.

Các hệ số trọng lượng tương ứng với xung thứ i trong chùm TLN, khi phát hiện chùm theo tiêu chuẩn Neyman-Pearson.

Chuỗi các hệ số $\{\eta_i\}$ lập thành hàm trọng lượng phát hiện. Đối với ra đa nhìn vòng, hàm này có dạng gần giống với dạng giản đồ hướng của ăng ten trong mặt phẳng ngang. Thuật toán (1) được gọi là thuật toán phát hiện có trọng lượng chùm TLN. Từ thuật toán này suy ra, việc phát hiện chùm TLN bao gồm việc cộng các giá trị của hàm trọng lượng tại các vị trí có $x_i=1$, sau đó so sánh tổng với ngưỡng C , nếu vượt ngưỡng thì nhận quyết định: trong chùm TLN đó có chứa mục tiêu với một chỉ tiêu chất lượng xác định, (xác suất phát hiện đúng D và xác suất báo động lầm F) tùy thuộc vào các giá trị P_{hi} và P_{ii} .

Trong thực tế, thuật toán (1) ít được sử dụng vì nó khá phức tạp do phải chương trình hóa các hệ số trọng lượng η_i ($i = 1, M$). Nếu giả thiết rằng chùm TLN có dạng vuông (xác suất xuất hiện giá trị 1 tại bất kỳ một vị trí nào trong chùm không thay đổi và bằng P_{ii} trong miền tap, P_{hi} trong miền tín hiệu) thì có thể viết (1) thành dạng [8]:

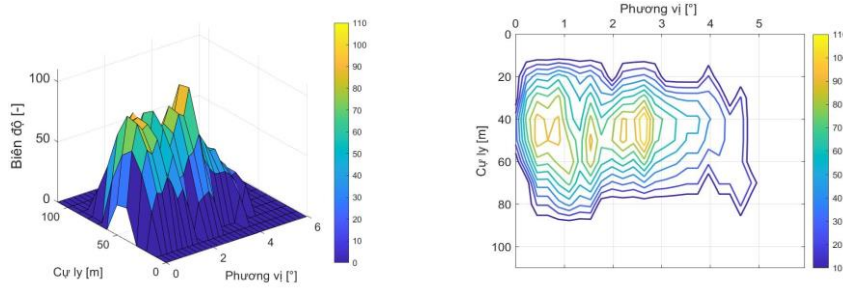
$$\sum_{i=1}^M x_i \geq K, \tag{2}$$

Thuật toán (2) gọi là thuật toán không trọng lượng, hoặc đẳng trọng lượng (với các $\eta_i = 1$). Khi đó phát hiện chùm bằng cách đếm số đơn vị chứa trong chùm và so sánh với ngưỡng số K (số nguyên dương). Tồn hao phụ do thuật toán phát hiện không trọng lượng so với thuật toán có trọng lượng tăng lên cỡ 1,5 dB, nhưng thể hiện kỹ thuật (2) giản đơn với một bộ đếm và một bộ so sánh số. Bộ phát hiện thực hiện thuật toán không trọng lượng (2) còn có tên gọi là bộ phát hiện số kiểu “ K/M ”. Đối với mỗi giá trị M - Số TLN trong chùm, tồn tại một ngưỡng số tối ưu K_{opt} để tồn hao do tích lũy là nhỏ nhất [8]:

$$K_{opt} = \begin{cases} 0,5M & \text{Mục tiêu thăng giáng chậm} \\ 1,5\sqrt{M} & \text{Mục tiêu thăng giáng nhanh.} \end{cases} \tag{3}$$

2.2.2. Thuật toán xác định ngưỡng tối ưu nhị phân hóa ảnh mục tiêu ra đa

Trên thực tế ảnh vùng quan sát của đài ra đa biển rất phức tạp với nhiều mục tiêu đa dạng, hơn nữa còn bị ảnh hưởng bởi nhiễu nền (sóng biển). Tín hiệu phản xạ về từ sóng biển có giá trị cường độ η_{ij} khá lớn khoảng từ 1 đến 50 đơn vị tùy theo điều kiện thời tiết trên biển cũng như khoảng cách từ đài ra đa đến mục tiêu (hình 2). Giá trị cường độ các ô cự ly thuộc mục tiêu thăng giáng phụ thuộc vào kích thước, hình dạng, vật liệu của mục tiêu, cự ly từ mục tiêu đến đài ra đa cũng như các yếu tố khác trên biển. Có nhiều công trình đã đề xuất xử lý ảnh nền nhiễu nền, đo đặc kích thước và nhận dạng các mục tiêu trên biển [9, 10]. Tuy nhiên, thuật toán xử lý ảnh ra đa trong các công trình trên sử dụng dữ liệu của nhiều chu kỳ quét liên tiếp để khôi phục biên ảnh, dẫn đến tốc độ xử lý chậm không phù hợp cho bài toán chỉ huy và điều khiển. Otsu đề xuất thuật toán nhị phân hóa, Yantong Zhan và cộng sự cũng đề xuất cải tiến thuật toán Otsu trên cơ sở xác định ngưỡng nhị phân của các ảnh xám và ảnh màu nhằm khôi phục ảnh [7]. Việc áp dụng thuật toán nhị phân ảnh ra đa số điểm ảnh bị cắt đi rất lớn, dẫn đến kết quả sai số lớn bài toán ước lượng tọa độ tâm ảnh mục tiêu ra đa (xem mục 3.2). Một nhược điểm của thuật toán Otsu, là phải xây dựng biểu đồ histogram từ tất cả các giá trị của ma trận ảnh để xác định giá trị ngưỡng làm giảm tốc độ xử lý ảnh. Nhóm tác giả đề xuất áp dụng phương án suy rộng của “*Thuật toán tựa tối ưu phát hiện chùm tín hiệu lượng tử nhị phân*” trình bày 2.2.1 để xác định ngưỡng tối ưu nhị phân hóa ảnh ra đa sử dụng dữ liệu ảnh trong từng chu kỳ quét, giúp tăng tốc bài toán xử lý.



Hình 2. Hình ảnh mục tiêu MTI (chu kỳ quét 1).

Dữ liệu mục tiêu đã cho là ma trận A có không gian 3 chiều. Bao gồm thông tin về cự ly x_i , phương vị y_j và mức năng lượng η_{ij} . Như vậy, suy rộng từ (1) cho ma trận ảnh mục tiêu ra đa phân bố trên nhiều ô cự ly và nhiều ô phương vị có thể viết thành dạng:

$$\eta_{ij} > K, \quad i = \overline{1, \dots, n}, \quad j = \overline{1, \dots, m}. \quad (4)$$

Thuật toán (4) được gọi là thuật toán không trọng lượng, khi đó, ngưỡng phát hiện được thực hiện bằng cách đếm số đơn vị chứa trong ảnh ra đa và so sánh với ngưỡng số K . Như vậy, có ngưỡng tối ưu nhị phân hóa ảnh ra đa K_{opt} đối với mục tiêu có độ phân giải cao, thẳng giăng nhanh như sau:

$$K_{opt} = 1,5\sqrt{T}. \quad (5)$$

Trong đó, $T = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} \eta_{ij} / N$ và N là tổng số điểm ảnh có giá trị dương.

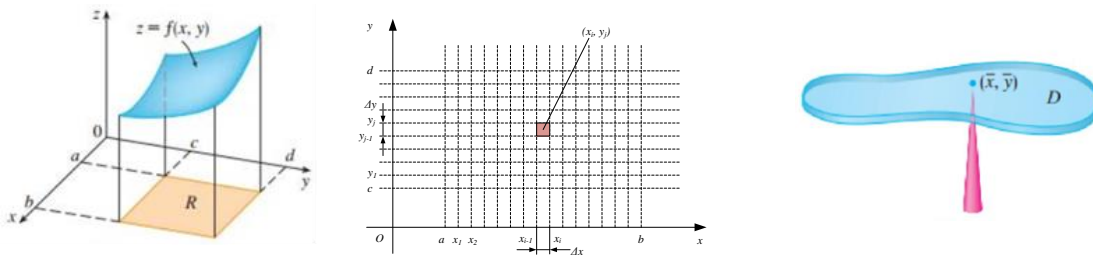
Trên thực tế khi cần xử lý thời gian thực (xử lý online) dữ liệu cả màn hình ra đa trong vùng không gian quan sát, có thể áp dụng công thức suy rộng (4) với chỉ cột thứ i khi đó, (4) trở về giống thuật toán (1).

2.3. Ước lượng tọa độ tâm mục tiêu ra đa

Cơ sở toán học ước lượng tọa độ tâm mục tiêu từ ảnh nhị phân mục tiêu ra đa

Thể tích của hình trụ giới hạn bởi mặt cong $z=f(x,y)$ với đáy là miền D trên mặt phẳng Oxy (hình 3.a) được tính bởi tích phân kép. Rồi rạc hoá tích phân kép bằng cách chia miền D bởi các lưới đều như ta có:

$$V = \iint_D f(x, y) dx dy. \quad (6)$$



a. Mô tả phương pháp rời rạc hóa tích phân mặt

b. Tâm của mặt phẳng D

Hình 3. Ước lượng tâm của mặt phẳng D .

Như vậy:
$$V = \iint_D f(x, y) dx dy \approx \sum_i \sum_j f(x_i, y_j) \Delta x \Delta y, \quad (i, j) \in D. \quad (7)$$

Nếu lấy $z = f(x, y) = 1$ công thức tính thể tích V trở thành công thức tính diện tích đáy S . Do đó, từ (7) ta có:

$$S = \iint_D f(x, y) dx dy \approx \sum_i \sum_j \Delta x \Delta y, \quad (i, j) \in D. \quad (8)$$

Như vậy, trọng tâm (\bar{x}, \bar{y}) của bản phẳng của mặt phẳng D (hình 3.b) có diện tích S được tính theo công thức như sau:

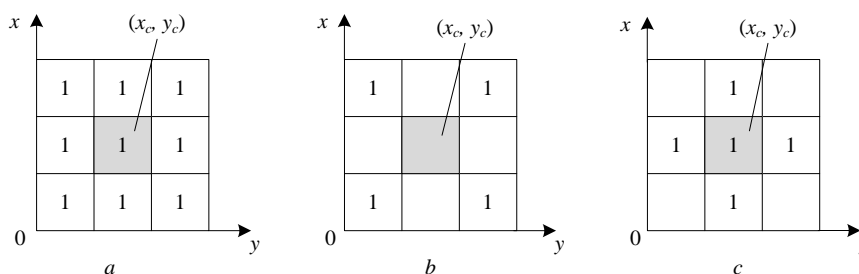
$$\bar{x} \approx \frac{1}{S} \sum_i \sum_j x_i p(i, y) \Delta x \Delta y; \quad \bar{y} \approx \frac{1}{S} \sum_i \sum_j y_j p(x, j) \Delta x \Delta y; \quad (9)$$

với $S = \iint_D f(x, y) dx dy \approx \sum_i \sum_j f(x_i, y_j) \Delta x \Delta y$ và $f(x, y) = 1$, $p(i, y)$ - Số lượng ô theo cột i thuộc miền D , $p(x, j)$ - Số lượng ô theo hàng j thuộc miền D .

Áp dụng để tính tâm của miền D . Miền D được chia thành các ô tương tự như trên hình 3 với $\Delta x = \Delta y = 1$ nên diện tích S của miền D được tính bằng tổng các ô thuộc miền D . Do trên mỗi miền chói, giá trị mức năng lượng không thay đổi nên hàm mật độ $f(x, y) = 1$. Do vậy, có thể áp dụng để tính tọa độ tâm của miền D như sau:

$$x_c \approx \frac{1}{S} \sum_{(i,j) \in D} x_i p(i, y); \quad y_c \approx \frac{1}{S} \sum_{(i,j) \in D} y_j p(x, j); \quad S = \sum_{(i,j) \in D} 1. \quad (10)$$

Xét miền D được cho bởi các ma trận điểm ảnh a, b, c trên hình 4.



Hình 4. Ước lượng tâm của ma trận điểm ảnh.

Minh họa cách tính tọa độ tâm với ma trận trên hình 4.b. Khi đó: $x_1=1, p(1,y)=2, y_1=1, p(x,1)=2; x_2=2, p(2,y)=0, y_2=2, p(x,2)=0; x_3=3, p(3,y)=2, y_3=3, p(x,3)=2; S=4$.

Tọa độ tâm của miền D cho bởi ma trận b được tính theo (10) như sau:

$$x_c = \frac{x_1 \cdot p(1, y) + x_2 \cdot p(2, y) + x_3 \cdot p(3, y)}{S} = \frac{1 \cdot 2 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 2}{4} = \frac{8}{4} = 2;$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot p(x, 1) + y_2 \cdot p(x, 2) + y_3 \cdot p(x, 3)}{S} = \frac{1 \cdot 2 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 2}{4} = \frac{8}{4} = 2.$$

Như vậy, với miền D được cho bởi ma trận bất kỳ áp dụng (10) để ước lượng tọa độ. Thuật toán (10) áp dụng ước lượng tọa độ tâm các ảnh ra đa sau khi nhị phân hóa.

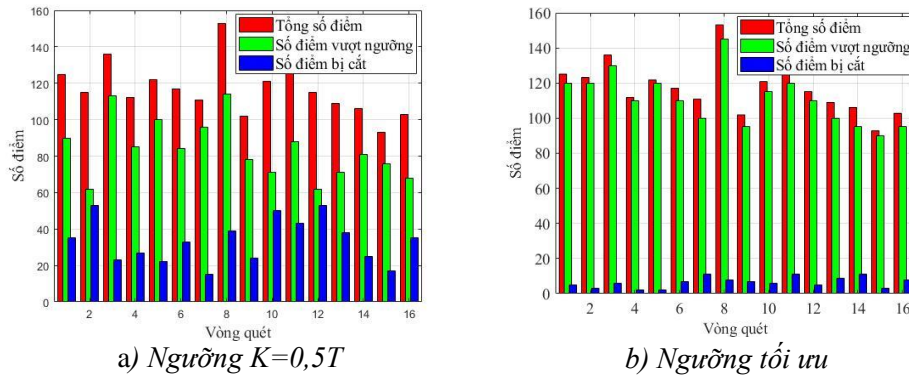
3. KẾT QUẢ ƯỚC LƯỢNG TỌA ĐỘ TÂM CÁC MỤC TIÊU CÓ ĐỘ PHÂN GIẢI CAO

3.1. Lựa chọn ngưỡng tối ưu nhị phân hóa cho ảnh mục tiêu ra đa

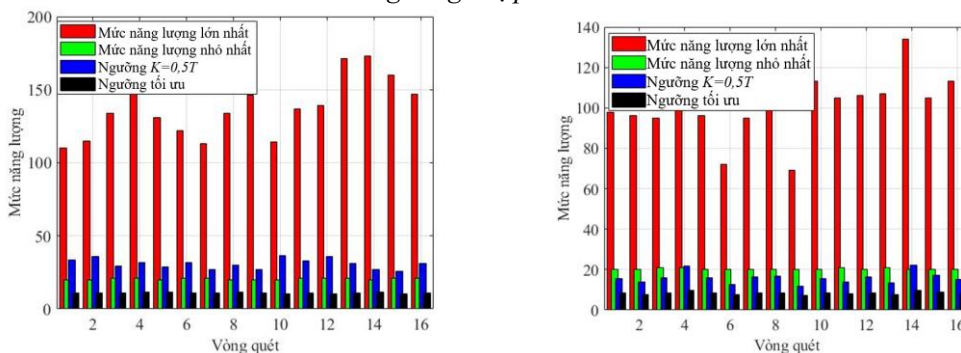
Để đánh giá hiệu quả của thuật toán (5) đối với mục tiêu thẳng giáng nhanh, thực hiện tính toán ngưỡng tối ưu nhị phân hóa đối với ảnh mục tiêu MT1 qua 16 chu kỳ quét của đài ra đa.

Phân tích dữ liệu của ảnh ra đa MT1, đối với ngưỡng ($K=0,5T$ - ngưỡng đối với mục tiêu thẳng giáng chậm) ở chu kỳ quét thứ 4, 9, 12, 13, 14, 15 và 16 số điểm ảnh bị cắt đi chiếm gần 50% so với tổng số điểm ảnh (hình 5.a). Đối với ngưỡng tối ưu, số điểm ảnh bị cắt đi không

nhieu trong cả 16 chu kỳ quét (hình 5.b). Số điểm ảnh bị cắt đi nhiều do ngưỡng $K=0,5T$ có giá trị lớn hơn năng lượng của các điểm biên ảnh ra đa, ngưỡng tối ưu có giá trị lớn nhỏ hơn mức năng lượng thấp nhất (năng lượng ảnh nền - mặt biên) của ảnh ra đa. Phần lớn mức năng lượng biên ảnh ra đa MT1 có giá trị khoảng 20 (hình 6). Điều này sẽ gây ra sai số bài toán ước lượng tọa độ tâm của ảnh ra đa.

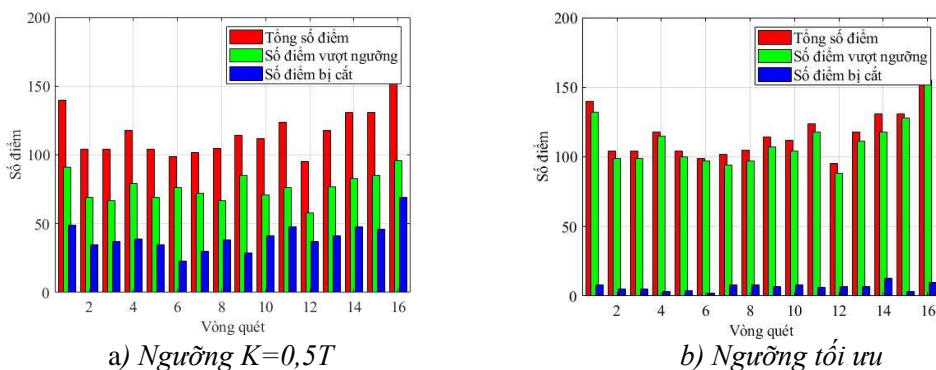


Hình 5. Tính toán ngưỡng nhị phân hóa ảnh ra đa MT1.



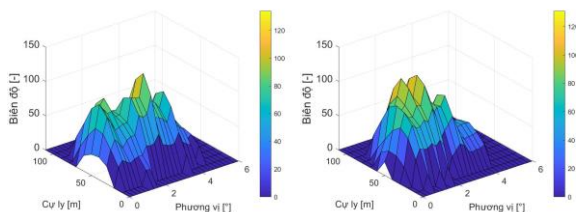
Hình 6. So sánh giá trị ngưỡng tối ưu với mức năng lượng ảnh ra đa MT1.

Hình 7. So sánh giá trị ngưỡng tối ưu với mức năng lượng ảnh ra đa MT2.



Hình 8. Tính toán ngưỡng nhị phân hóa ảnh ra đa MT2.

Phân tích dữ liệu của ảnh ra đa MT2, đối với ngưỡng $K=0,5T$ số điểm ảnh bị cắt đi khá lớn. Trong cả 16 chu kỳ quét với ngưỡng này số điểm ảnh bị cắt đi khoảng 30% so với tổng số điểm ảnh (hình 8.a). Đối với ngưỡng tối ưu, số điểm ảnh không bị cắt nhiều trong cả 16 chu kỳ quét chiếm từ 2 đến 4% so với tổng số điểm ảnh, mặc dù ngưỡng tối ưu có giá trị lớn hơn mức năng lượng thấp nhất của ảnh ra đa trong cả 16 chu kỳ quét của ra đa (hình 8.b). Phần lớn mức năng lượng biên ảnh ra đa MT2 có giá trị khoảng từ 6 đến 7 (hình 7).



a) Chu kỳ 3 b) Chu kỳ 5

Hình 9. Hình ảnh 3D MT1.

Đối với ngưỡng ngưỡng ($K=0,5T$), nhận thấy rằng, số điểm ảnh ra đa của MT1 và MT2 qua 16 chu kỳ quét số điểm ảnh bị cắt đi khá lớn. Mục tiêu MT1 có mức năng lượng phân bố không đều và có nhiều điểm chói, thẳng giáng nhanh do sự thay đổi của các điểm chói và nhiều biến qua các chu kỳ quét (hình 9). Mục tiêu MT2 có mức năng lượng phân bố không đều và có nhiều điểm chói, tuy nhiên, sự thẳng giáng thay đổi chậm hơn MT1 (hình 10).

Phân tích dữ liệu của MT3 (bảng 2) cho thấy, năng lượng mục tiêu thẳng giáng khá lớn. Tại các chu kỳ quét từ 1 đến 6 năng lượng trung bình T có giá trị khoảng 60. Tuy nhiên, tại các chu kỳ từ 7 đến 10 giá trị năng lượng trung bình T chỉ khoảng 36. Số điểm ảnh của mục tiêu ra đa cũng thẳng giáng nhanh qua các chu kỳ. Tại chu kỳ 9 số điểm ảnh là 542, trong khi đó, các chu kỳ quét 5 chỉ có 276 điểm ảnh.

Bảng 2. Dữ liệu mục tiêu tàu container MT3.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 62,9 | 59,2 | 62,6 | 59,3 | 64,2 | 60,9 | 36,0 | 35,7 | 35,8 | 37,7 |
| Số điểm ảnh | 296 | 283 | 311 | 284 | 276 | 238 | 523 | 496 | 542 | 472 |
| Số điểm ảnh còn lại sau khi nhị phân | | | | | | | | | | |
| $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ | 296 | 283 | 311 | 284 | 276 | 238 | 433 | 405 | 446 | 371 |

Số điểm ảnh bị cắt tăng dần tương ứng với các ngưỡng nhị phân lớn, tương ứng với mức năng lượng trung bình T . Ngưỡng nhị phân tối ưu K_{opt} số điểm ảnh bị cắt khoảng 13% đối với MT3. Nếu tăng ngưỡng nhị phân hóa ảnh ra đa lên thì số điểm ảnh bị cắt cũng tăng lên. Như vậy, thông tin về ảnh ra đa sẽ bị mất, dữ liệu ảnh sau nhị phân hóa chỉ còn phần điểm ảnh có mức năng lượng lớn (điểm chói). Tuy nhiên, những điểm chói này lại thẳng giáng lớn sẽ dẫn đến việc sai số rất lớn bài toán ước lượng tâm ảnh ra đa.

Bảng 3. Dữ liệu mục tiêu tàu cá MT4.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 37,4 | 39,4 | 39,8 | 35,7 | 49,4 | 40,2 | 33,3 | 35,2 | 33,6 | 41,6 |
| Số điểm ảnh còn lại sau khi nhị phân | | | | | | | | | | |
| $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ | 39 | 43 | 41 | 34 | 37 | 40 | 44 | 52 | 37 | 39 |

Đối với tàu có kích thước nhỏ (tàu cá, tàu hàng), số điểm ảnh của mục tiêu ra đa nhỏ. Năng lượng phân xạ về cũng không lớn. Mức năng lượng trung bình T có giá trị khoảng 30.

Bảng 4. Dữ liệu mục tiêu tàu hàng MT5.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 30,4 | 27,1 | 31,5 | 43,1 | 31,4 | 25,3 | 32,6 | 32,9 | 23,1 | 30,8 |
| Số điểm ảnh còn lại sau khi nhị phân | | | | | | | | | | |
| $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ | 132 | 93 | 98 | 114 | 98 | 97 | 93 | 94 | 107 | 102 |

Đối với tàu có kích thước lớn (tàu container), số điểm ảnh của mục tiêu ra đa lớn. Mức năng lượng phân xạ về cũng. Số điểm ảnh mà mức năng lượng phụ thuộc vào khoảng cách của mục tiêu so với đài ra đa. Mức năng lượng trung bình T nhỏ dần và số điểm ảnh cũng giảm khi tàu ở

khoảng cách xa, có hướng đi ra so với đài ra đa (bảng 5). Mục tiêu MT6 cự ly khoảng 103,6 km.

Bảng 5. Dữ liệu mục tiêu tàu container đi hướng tâm MT6.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 48,9 | 42,2 | 44,0 | 44,6 | 51,3 | 57,4 | 53,2 | 46,5 | 49,0 | 41,0 |
| Số điểm ảnh còn lại sau khi nhị phân | | | | | | | | | | |
| $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ | 129 | 157 | 171 | 143 | 128 | 125 | 129 | 111 | 103 | 96 |

Mức năng lượng trung bình T lớn và số điểm ảnh cũng nhiều khi tàu ở khoảng cách gần đài ra đa, mục tiêu MT7 cự ly khoảng 17 km (bảng 6).

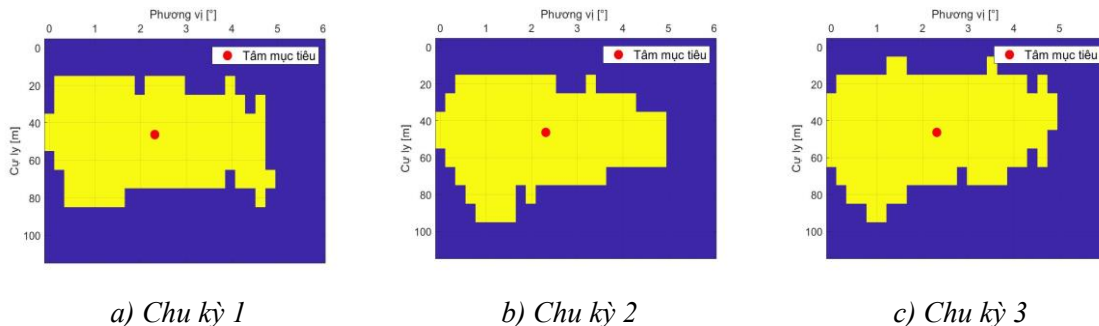
Bảng 6. Dữ liệu mục tiêu tàu container đi ngang MT7.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T | 66,6 | 70,3 | 59,7 | 62,3 | 67,8 | 66,0 | 61,2 | 55,4 | 58,5 | 67,7 |
| Số điểm ảnh còn lại sau khi nhị phân | | | | | | | | | | |
| $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ | 369 | 360 | 411 | 328 | 358 | 296 | 371 | 359 | 355 | 316 |

Như vậy, các mục tiêu có kích thước lớn trên biển, ảnh ra đa có nhiều điểm chói trắng giáng nhanh qua các chu kỳ quét. Trên cơ sở phân tích và tính toán, nhóm tác giả đề xuất lựa chọn ngưỡng tối ưu $K_{opt} = 1,5\sqrt{T}$ để nhị phân hóa ảnh mục tiêu ra đa với mục đích nén nhiễu nền, mà vẫn đảm bảo giữ đầy đủ thông tin ảnh và nâng cao chất lượng bài toán ước lượng tọa độ tâm của ảnh mục tiêu ra đa.

3.2. Kết quả ước lượng tọa độ tâm của mục tiêu ra đa

Trên hình 11 mô tả kết quả nhị phân hóa và ước lượng tọa độ tâm MT1 với ngưỡng tối ưu trong 3 chu kỳ quét 1, 2 và 3. Kết quả cho thấy tọa độ tâm của mục tiêu qua các chu kỳ quét phụ thuộc vào số điểm ảnh phân bố của ảnh sau khi nhị phân.



a) Chu kỳ 1

b) Chu kỳ 2

c) Chu kỳ 3

Hình 11. Kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu MT1 các chu kỳ khác nhau.

Trong trường hợp vùng ảnh ra đa sau khi nhị phân tương đối ổn định qua các chu kỳ quét thì tọa độ tâm mục tiêu không thay đổi nhiều và tương ứng với tâm hình học của ảnh. Tuy nhiên, nếu tín hiệu phản xạ từ mục tiêu ra đa trắng giáng nhanh thì hình dạng vùng ảnh mục tiêu sau khi nhị phân bị thay đổi, dẫn đến tọa độ tâm của mục tiêu cũng thay đổi theo.

Bảng 7. Kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu MT1, MT2.

| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MT1 | Cự ly (m) | 45428 | 45419 | 45415 | 45412 | 45406 | 45401 | 45394 | 45386 | 45380 | 45373 |
| | Phương vị (độ) | 262 | 262 | 262 | 262 | 262 | 261 | 261 | 262 | 261 | 261 |
| MT2 | Cự ly (m) | 15794 | 15783 | 15775 | 15771 | 15767 | 15764 | 15760 | 15753 | 15745 | 15750 |
| | Phương vị (độ) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |

Phân tích kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu MT1, MT2 trong bảng 7 (dữ liệu trong bảng được làm tròn) cho thấy: các mục tiêu đang có xu hướng di chuyển về gần đài ra đa, tuy nhiên đối với MT1 tại chu kỳ quét 8 và MT2 tại chu kỳ quét 7 cự ly mục tiêu tăng so với chu kỳ quét

trước (véc tơ vận tốc ngược so với hướng chuyển động của mục tiêu). Điều này xảy ra do tín hiệu phản xạ từ mục tiêu thẳng giáng, dẫn đến kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu bị lệch khá lớn tại các chu kỳ quét trên.

Bảng 8. So sánh ước lượng tốc độ.

| Chu kỳ quét | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Vận tốc trung bình (Hải lý/giờ) |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
| MT6 | 12,3 | 20,7 | 18,9 | 16,2 | 15,0 | 16,2 | 0,9 | 22,7 | 13,4 | 14,9 |
| MT7 | 16,3 | 15,8 | 15,7 | 15,0 | 17,1 | 16,8 | 15,0 | 18,1 | 15,9 | 17,02 |

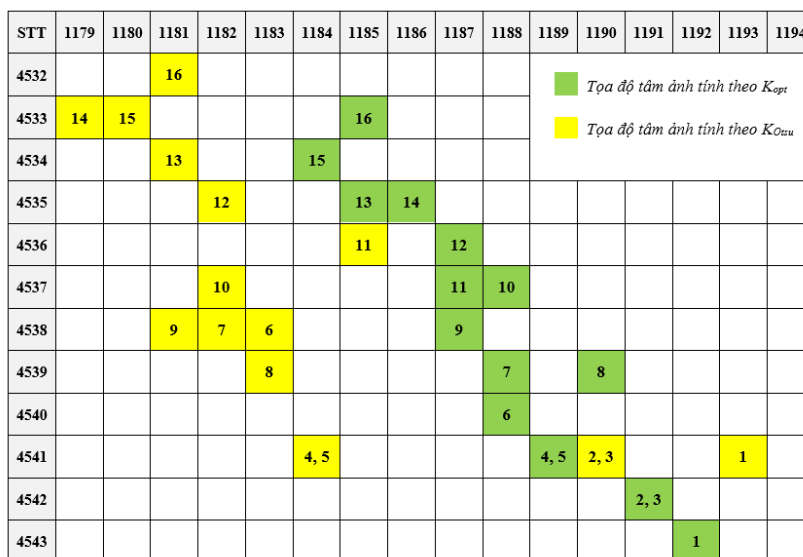
Để đánh giá ảnh hưởng thẳng giáng đến kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu tiến hành so sánh kết quả ước lượng vận tốc MT6, MT7 trong bảng 8. Đối với mục tiêu là MT7 container đi ngang độ lệch ước vận tốc không lớn. Tuy nhiên, với mục tiêu MT6 container đi hướng tâm, độ lệch ước lượng tốc độ giữa các chu kỳ và so với vận tốc trong cả 16 chu kỳ quét lớn. Phân tích kết quả ước lượng tọa độ tâm của 7 mục tiêu với 16 chu kỳ quét liên tiếp, kết quả cho thấy, với mục tiêu ở cự ly lớn và thẳng giáng lớn và độ lệch ước lượng lớn dẫn đến ước lượng vận tốc thẳng giáng.

So sánh kết quả ước lượng tâm mục tiêu đối với ngưỡng tối ưu K_{opt} và ngưỡng K_{Otsu} theo thuật toán Otsu, kết quả tính tọa độ tâm theo ô cự ly và phương vị thể hiện trên bảng 9.

Bảng 9. Kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu theo ô cự ly và phương vị của MT1.

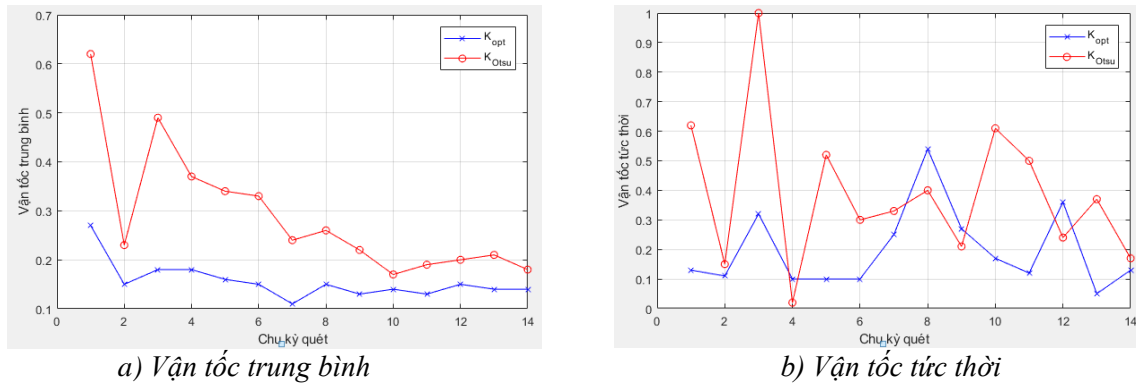
| Chu kỳ quét | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Tọa độ tâm ảnh tính theo K_{opt}</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cự ly (ô) | 4543 | 4542 | 4542 | 4541 | 4541 | 4540 | 4539 | 4539 | 4538 | 4537 | 4537 | 4536 | 4535 | 4535 | 4534 | 4533 |
| Phương vị (ô) | 1192 | 1191 | 1191 | 1189 | 1189 | 1188 | 1188 | 1190 | 1187 | 1188 | 1187 | 1187 | 1185 | 1185 | 1184 | 1185 |
| <i>Tọa độ tâm ảnh tính theo K_{Otsu}</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cự ly (ô) | 4541 | 4541 | 4541 | 4541 | 4541 | 4538 | 4538 | 4539 | 4538 | 4537 | 4535 | 4535 | 4534 | 4533 | 4533 | 4532 |
| Phương vị (ô) | 1193 | 1190 | 1190 | 1184 | 1184 | 1183 | 1182 | 1183 | 1181 | 1182 | 1185 | 1182 | 1181 | 1179 | 1180 | 1181 |

Từ kết quả tính tọa độ tâm theo các ngưỡng tối ưu K_{opt} và K_{Otsu} thấy rằng tọa độ tâm ngưỡng tối ưu chính là tọa độ tâm ảnh ra đa đối với hai ngưỡng này khác nhau (hình 12). Tọa độ tâm tính theo ngưỡng Otsu bám theo mức năng lượng đỉnh của các điểm chói và thẳng giáng rất lớn. Giá trị vận tốc tức thời tính theo từng chu kỳ quét thẳng giáng cả về hướng chuyển động và độ lớn của vận tốc.



Hình 12. Tọa độ tâm mục tiêu MT1 (16 chu kỳ).

Trên hình 13 là kết quả tính vận tốc trung bình và vận tốc tức thời của mục tiêu qua các chu kỳ quét. Kết quả cho thấy, đối với ngưỡng nhị phân hóa theo K_{Otsu} vận tốc trung bình và vận tốc tức thời thay đổi nhanh qua các chu kỳ, điều này không phù hợp với thực tế khi mục tiêu được chọn chuyển động chậm, hướng di chuyển gần như không thay đổi qua các chu kỳ. Đối với ngưỡng nhị phân hóa theo K_{opt} vận tốc trung bình và vận tốc tức thời của mục tiêu bằng phẳng không nhiều và tương đối ổn định, điều này phù hợp với mục tiêu được lựa chọn. Điều này một lần nữa khẳng định ngưỡng tối ưu nhị phân hóa ảnh hưởng đã được lựa chọn phù hợp cho bài toán xử lý ảnh ra đa có kích thước lớn, bằng phẳng nhanh qua các chu kỳ.



Hình 13. Ước lượng vận tốc MT1.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả phân tích dữ liệu các mục tiêu thực tế, với mức ngưỡng tối ưu K_{opt} có thể nén nhiễu nền tốt, đồng thời vẫn giữ được thông tin về hình học của mục tiêu có độ phân giải cao trên biển phục vụ bài toán ước lượng tọa độ tâm. Giá trị mức năng lượng trung bình T phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như vận tốc, cự ly và kích thước của mục tiêu biển. Nếu mức năng lượng trung bình T lớn, tọa độ tâm ảnh ra đa có xu hướng dịch chuyển về các vùng điểm chói ảnh ra đa. Kết quả ước lượng tọa độ tâm mục tiêu ra đa đối với ngưỡng K_{opt} có thể được sử dụng để cung cấp tọa độ cho bài toán lọc bám quỹ đạo mục tiêu. Ưu điểm của cách tính tọa độ tâm theo ngưỡng tối ưu so với ngưỡng dựa trên thuật toán Otsu là tốc độ tính toán nhanh, có thể xử lý tọa độ tức thời với số lượng mục tiêu lớn. Tuy nhiên, với mục tiêu ở khoảng cách xa tọa độ tâm mục tiêu bị ảnh hưởng sự bằng phẳng năng lượng của các vùng điểm chói. Để nâng cao độ chất lượng bài toán ước lượng tọa độ tâm ảnh mục tiêu phân giải cao, nhóm tác giả đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo ước lượng tọa độ tâm có tính đến mức năng lượng của các vùng điểm chói của ma trận điểm ảnh mục tiêu ra đa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Quang Hiệu, “Nghiên cứu, xây dựng giải pháp nâng cao chất lượng xử lý, hợp nhất quỹ đạo trong hệ thống tự động hóa chỉ huy”, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, (2022).
- [2]. Горбунова. А.А. “Разработка алгоритма получения точечного портрета сложной цели по комплексному радиолокационному изображению” Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45. УДК 621.391.2. www.mai.ru/science/trudy/
- [3]. Чугай.К. Н. “Современные методы формирования радиолокационных изображений заглубленных объектов”. Журнал Новости Науки и технологий No1.(44) стр 3-10, (2018).
- [4]. Zhou, H.; Huang, H.; Zhao, H.; Zhao, X.; Yin, X. “Adaptive Unscented Kalman Filter for Target Tracking in the Presence of Nonlinear Systems Involving Model Mismatches. Remote Sens”. 9, 657, (2017).
- [5]. Amirzadeh, A.; Karimpour, A. “An interacting Fuzzy-Fading-Memory-based Augmented Kalman Filtering method for manoeuvring target tracking”. Digit. Signal Process. 23, 1678–1685, (2013).
- [6]. Селезнева Ольга Владимировна. “Сопровождение малоразмерных маневрирующих судов в радиолокационной системе”. Выпускная квалификационная работа аспиранта, Санкт-Петербург (2016).

- [7]. Yantong Zhan, Guoying Zhang “*An Improved OTSU Algorithm Using Histogram Accumulation Moment for Ore Segmentation*”, *Symmetry*, 11, 431, (2019).
- [8]. Hoàng Thọ Tu, Nguyễn Mạnh Cường, Nguyễn Trọng Lưu, Nguyễn Ngọc Đông. “*Lý thuyết và xử lý tín hiệu ra đa*”, NXB QĐ, (2022).
- [9]. R. Vicen-Bueno, R. Carrasco-A´lvarez, M. Rosa-Zurera (EURASIP Member), J. C. Nieto-Borge, and M. P. Jarabo-Amores, “*Artificial Neural Network-Based Clutter Reduction Systems for ship size Estimation in Maritime Radars*”, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Hindawi Publishing Corporation (2010).
- [10]. Hamza Bounaceur, Ali Khenchaf, Jean-Marc Le Caillec, “*Analysis of small sea-surface targets detection performance according to airborne radar parameters in abnormal weather environments*”, *Sensors*, 22, 3263, (2022).

ABSTRACT

Studying the problem of determining the coordinate of high-resolution marine targets

For large marine targets, their high-resolution radar images are distributed over many range and azimuth plots. This brings a requirement to estimate the coordinates of the centers of the targets to provide input for tracking filters. The article proposes a method to determine the threshold for binaryization of radar images on the basis of generalization of “the algorithm to determine the optimal threshold for detecting binary quantum signal beams” and estimating large marine target center coordinates.

Keywords: Radar image; Complex target; Binary image; Estimated coordinates.