

Ứng dụng giải pháp khuếch đại phổ cho phát hiện mục tiêu bay chậm trong ra đa

Cao Việt Linh*, Hà Huy Dũng, Vũ Thị Hân, Nguyễn Đức Thanh, Đoàn Văn Tùng

Viện Ra đa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: linhviet306@gmail.com

Nhận bài: 03/10/2023; Hoàn thiện: 17/11/2023; Chấp nhận đăng: 12/12/2023; Xuất bản: 25/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.12-20>

TÓM TẮT

Trong thời gian gần đây, với sự phát triển của các phương tiện bay không người lái có khả năng hoạt động ở dải tốc độ thấp. Điều này gây ra sự khó khăn trong quản lý các mục tiêu đối với các hệ thống ra đa thế hệ cũ, chủ yếu được thiết kế phát hiện các mục tiêu bay tốc độ cao. Bài báo đề xuất một giải pháp ứng dụng kỹ thuật khuếch đại phổ trong vùng vận tốc cận không để phát hiện các mục tiêu bay chậm bằng cách ứng dụng biến đổi chirp Z để khuếch đại phổ trong vùng quan tâm để tăng độ phân giải trong quá trình xử lý phát hiện mục tiêu có vận tốc thấp.

Từ khóa: Biến đổi Chirp Z; Khuếch đại phổ; Mục tiêu bay chậm; Ra đa; Doppler.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các mục tiêu bay với tốc độ lớn có thể được dễ dàng tách biệt giữa tín hiệu phản xạ và nhiễu địa hình địa vật, nhiễu khí tượng trong miền tần số. Trong những năm trở lại đây, cùng với sự phát triển của công nghệ các loại thiết bị bay ở tầng thấp, tốc độ chậm như tàu lượn, các loại máy bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle - UAV), việc tăng cường khả năng phát hiện những loại mục tiêu này đang trở thành một hướng nghiên cứu quan trọng trong ra đa do tầm ảnh hưởng của nó trong nhiều lĩnh vực. Những khó khăn chính trong quá trình phát hiện mục tiêu bay chậm, tầm thấp bao gồm [1]:

- Khi bay ở độ cao thấp, quá trình phát hiện trở nên phức tạp hơn do phản xạ bị ảnh hưởng lớn bởi nhiễu địa hình. Hơn nữa, tỷ lệ tín trên tạp (Signal to Noise Ratio - SNR) cũng bị giảm đáng kể đối với những loại mục tiêu này, diện tích phản xạ hiệu dụng của chúng tương đối nhỏ và khi mục tiêu bay thấp, những phản xạ này thường lẫn với nền nhiễu địa vật.

- Do tốc độ bay chậm, tín hiệu phản xạ gần với vùng vận tốc 0 trong miền tần số Doppler và thường nằm lẫn với những phản xạ địa hình mạnh cùng với các nhiễu khí tượng di chuyển chậm.

Việc lọc nhiễu một cách hiệu quả và phát hiện mục tiêu bay chậm trở thành một vấn đề cấp thiết. Một số nghiên cứu đã được đưa ra tập trung vào quá trình phát hiện các mục tiêu loại này trên nền nhiễu biến như thuật toán phát hiện biến đổi phân số Fourier thời gian ngắn để xử lý hiệu ứng vi Doppler của mục tiêu trên nền nhiễu biến [2]; thiết kế động dạng sóng thích nghi [3]; phân giải Chirplet thích nghi và bù khử phổ [4], biến đổi Fourier-Bessel [5]. Số lượng nghiên cứu đối với quá trình phát hiện mục tiêu bay chậm tầm thấp trên nền nhiễu địa hình vẫn còn rất ít. Hiện chỉ mới có một số nghiên cứu như phương pháp xử lý thích nghi không thời gian [6], biến đổi Fourier rời rạc lệch để tạo ra các mẫu tần số không đồng nhất trong xử lý lọc [7]. Những thuật toán này có độ phức tạp tương đối cao và thường không tính tới khả năng áp dụng với các hệ thống ra đa có độ phức tạp tính toán thấp, kết quả xử lý thông tin nhanh.

Do đó, nhóm tác giả đề xuất một thuật toán phát hiện mới dựa trên sửa đổi bộ trễ đường truyền 3 xung và phương pháp khuếch đại phổ dựa trên biến đổi chirp Z (Chirp Z Transform - CZT) tập trung vào đặc trưng của mục tiêu bay chậm tầm thấp để có thể phát hiện loại mục tiêu này trong khi vẫn giữ được khả năng phát hiện mục tiêu tốc độ cao. Mục 2 trình bày cơ sở lý thuyết về biến đổi Chirp Z và ứng dụng của nó trong khuếch đại phổ để tăng độ phân giải trong miền tần số. Mục 3 đưa ra ứng dụng của nó trong cải tiến các hệ thống ra đa sẵn có nhằm phát

hiện mục tiêu bay. Mô phỏng thuật toán được thực hiện trên Matlab và trình bày trong mục 4. Các kết luận và đánh giá và phương hướng phát triển được đưa ra trong mục 5.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Thuật toán CZT

Với một tín hiệu tương tự $x(t)$ được lấy mẫu với chu kỳ lấy mẫu T_S để tạo ra dãy N điểm rời rạc x_n sao cho $x_n = x(nT_S) = x(t)|_{t=nT; n=0, 1, \dots, N-1}$. Biến đổi z của N điểm x_n được đưa ra trong [8]:

$$X(z) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)z^{-n} \quad (1)$$

với tham số phức biến đổi z được xác định bằng:

$$z = |z| \exp(j\omega T_S) \quad (2)$$

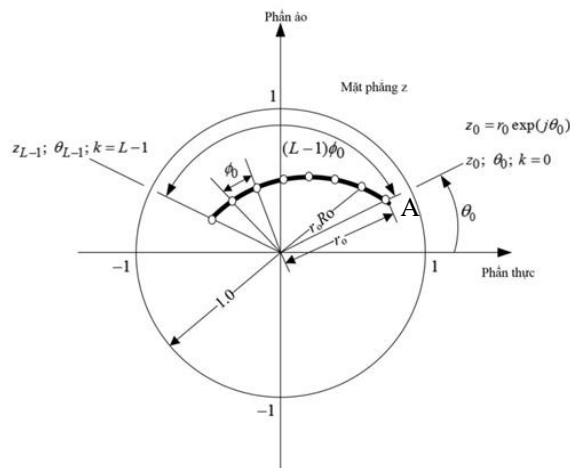
trong đó, ω là tần số góc. Công thức (1) biến đổi chuỗi rời rạc theo thời gian x_n về biểu diễn mặt phẳng phức $X(z)$ của nó chính là phổ của x_n . Tính (1) ở một bộ L mẫu tần số phân cách đều trên một đường cong ngẫu nhiên trong mặt phẳng z , tức là $z = \{z_k\} = \{z_0 z_1 \dots z_{L-1}\}$ được đưa ra bởi:

$$X_k = X(z_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n z_k^{-n}; k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

Trong đó:

$$z_k = [r_0 \exp(j\theta_0)] [R_0 \exp(j\phi_0)]^k \quad (4)$$

với N và L là các số nguyên bất kỳ tương với số mẫu rời rạc đầu vào x_n được biến đổi và số mẫu tần số đầu ra X_k theo thuật toán xử lý CZT. Thuật toán CZT được mô tả bởi (2), (3) được minh họa trên hình 1.



Hình 1. Mô tả thuật toán CZT lấy mẫu tần số theo đường bao xoắn ốc ($R_0 < 1$).

Trong (3) và hình 1, với $k = 0$, $z_0 = r_0 \exp(j\theta_0)$ là tần số lấy mẫu của L mẫu tần số trên đường cong trong mặt phẳng z , trong đó, r_0 ($r_0 > 0$) là bán kính bắt đầu và θ_0 là góc bắt đầu. Với R_0 ($R_0 > 0$) là tỷ lệ xoắn của đường cong và ϕ_0 là phân giải góc giữa 2 mẫu tần số lân cận trên đường cong. Với $R_0 < 1$, các mẫu tần số nằm trên đường cong tiến tới gốc 0 khi k tăng lên. Với $R_0 > 1$, các mẫu tần số nằm trên đường cong mở rộng ra ngoài. Khi $R_0 = 1$, đường cong trở thành đường tròn bán kính r_0 . Khi $R_0 = r_0 = 1$ và thuật toán CZT trở thành biến đổi Fourier rời rạc (Discrete Fourier Transform - DFT). Tuy nhiên, khi đó CZT vẫn có một số ưu điểm so với DFT là:

- (i) N không nhất thiết phải bằng L (đối với DFT, $N = L$),

- (ii) N là L có thể là các số nguyên bất kỳ (đối với DFT, $N = L = 2^p$; $p = 1, 2, \dots$),
- (iii) θ_0 có thể được chọn ngẫu nhiên ($\theta_0 = 0$ đối với DFT),
- (iv) ϕ_0 là có thể được chọn bất kỳ thỏa mãn $\phi_0 \geq 2\pi/N$ để tránh chồng lấn các đỉnh phổ cạnh nhau trong đáp ứng biên độ ($\phi_0 = 2\pi/N$ đối với DFT).

Nếu A là điểm bắt đầu (tần số ban đầu trong mặt phẳng Z), A_0 và θ_0 xác định tần số của mẫu bắt đầu, W là liên hệ phức giữa các điểm thì:

$$A = A_0 e^{j\theta_0} \quad (5)$$

$$W = W_0 e^{j\phi_0} \quad (6)$$

Thay (5), (6) vào (4), z_k có thể được viết lại ở dạng:

$$z_k = A \cdot W^k \quad (7)$$

với $A_0 = r_0$ và $W_0 = R_0$. Thay (7) vào (3), đầu ra của chuỗi x_n trong thuật toán CZT sẽ là:

$$X(z_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) z_k^{-n} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) A^{-n} W^{kn} \quad k=0, 1, \dots, M-1 \quad (8)$$

Theo Bluestein [9] có thể thay thế:

$$nk = \frac{1}{2} [k^2 + n^2 - (k-n)^2] \quad (9)$$

Thay (9) vào (8), tạo ra:

$$X(z_k) = W^{\frac{k^2}{2}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) A^{-n} W^{\frac{n^2}{2}} \cdot W^{-\frac{(k-n)^2}{2}} \quad (10)$$

Nếu ta tạo hai chuỗi $f(n)$ và $h(n)$ theo công thức

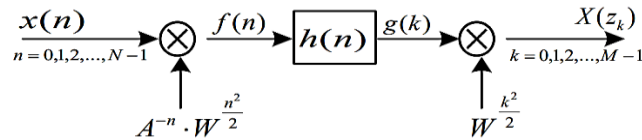
$$f(n) = x(n) A^{-n} W^{\frac{n^2}{2}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

$$h(n) = W^{-\frac{n^2}{2}} \quad (12)$$

Thì:

$$X(z_k) = W^{\frac{k^2}{2}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot h(k-n) \quad k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (13)$$

Như vậy có thể thấy, Bluestein sử dụng thay thế (9) để thay thế quá trình tính toán DFT bằng phương pháp tính tích chập như trên hình 2.



Hình 2. Các bước thực hiện tính toán biến đổi z sử dụng thuật toán CZT.

Theo hình 2, công thức (13) có thể được coi là quá trình xử lý 5 bước tuần tự bao gồm:

B1. Chọn L , $L \geq N + M - 1$.

B2. Chọn chuỗi L điểm $f(n)$ từ $x(n)$, bằng

$$f(n) = \begin{cases} x(n) A^{-n} W^{\frac{n^2}{2}} & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & N \leq n \leq L-1 \end{cases} \quad (14)$$

Tính toán Fourier nhanh (Fast Fourier Transform - FFT) cho $f(n)$, gọi là $F(k)$ $0 \leq k \leq L-1$

B3. Xác định chuỗi L điểm $h(n)$ bằng liên hệ

$$h(n) = \begin{cases} W^{-\frac{n^2}{2}} & 0 \leq n \leq M-1 \\ \text{khác} & M \leq n \leq L-N \\ W^{-\frac{(L-n)^2}{2}} & L-N+1 \leq n \leq L-1 \end{cases} \quad (15)$$

Tính toán DFT cho L điểm của $f(n)$ bằng FFT, kí hiệu là $H(k)$, $0 \leq k \leq L-1$.

B4. $G(k) = F(k)H(k)$. Tính toán L điểm của $G(k)$ bằng IFFT, gọi là $g(n)$

B5. Lấy M điểm trong $g(n)$, gọi là $g(k)$ nhân với $g(k)$ bằng $W^{\frac{k^2}{2}}$ để thu được dãy $X(z_k)$ mong muốn. Các giá trị $g(k)$ với $k \geq M$ bị loại bỏ.

Như vậy, bằng thuật toán CZT chúng ta đã lấy mẫu được M điểm $X(z_k)$ trong tín hiệu $x(n)$ ban đầu.

2.2. Ứng dụng của CZT trong khuếch đại phổ

Trong công thức (5), (6), A_0 và θ_0 được sử dụng để xác định vị trí mẫu ban đầu và ϕ_0 được dùng để xác định độ tăng góc giữa các mẫu. Trong trường hợp $A_0 = W_0 = 1$, biến đổi sẽ được tính toán trên đường tròn đơn vị nhưng bị giới hạn về một vùng phổ cụ thể giữa θ_0 và $(M-1)\phi_0$ được xác định bởi tần số $f = [f_{min}, f_{max}]$.

Các tham số của bộ xử lý CZT có thể được xác định dựa trên hình (1), khi xét toàn bộ đường tròn trên mặt phẳng Z :

$$\frac{2\pi}{f_s} = \frac{(N_{CZT} - 1)\phi_0}{f_{max} - f_{min}} \quad (16)$$

$$\frac{2\pi}{f_s} = \frac{\theta_0}{f_{min}} \quad (17)$$

trong đó, N_{CZT} là số điểm lấy mẫu mong muốn, f_s là tần số lấy mẫu (Hz).

Từ (16), (17) suy ra:

$$\phi_0 = \frac{2\pi(f_{max} - f_{min})}{f_s(N_{CZT} - 1)} \quad (18)$$

$$\theta_0 = \frac{2\pi f_{min}}{f_s} \quad (19)$$

Để thu được các tham số CZT ta chỉ cần quan tâm tới tần số cực đại, cực tiểu và số điểm dữ liệu mong muốn. Thay các giá trị này vào (5), (6) ta thu được

$$W = W_0 e^{-j \frac{2\pi(f_{max} - f_{min})}{N_{CZT} \cdot f_s}} \quad (20)$$

$$A = A_0 e^{-j \frac{2\pi f_{min}}{f_s}} \quad (21)$$

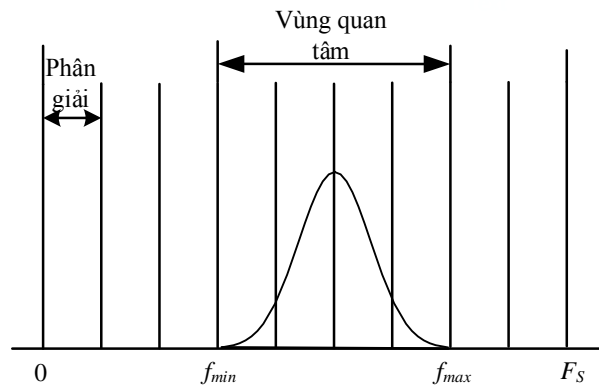
Các tham số này sẽ được sử dụng để khởi tạo hàm đầu vào tính toán cho thuật toán CZT. So với FFT độ phân giải của CZT sẽ là bất kỳ vì ta có thể chọn tham số bất kỳ:

$$\Delta f = \frac{f_{max} - f_{min}}{N_{CZT}} \quad (22)$$

Để có thêm nhiều thông tin và dữ liệu phục vụ cho tính toán phát hiện mục tiêu, thường sử

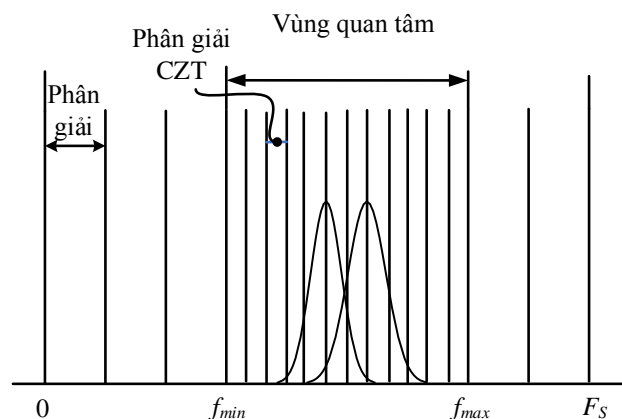
dụng phương pháp lấy mẫu vượt hơn so với chỉ tiêu Nyquist. Phương pháp này làm tăng độ phân giải xử lý nhưng đồng thời cũng tăng gánh nặng tài nguyên cho các bộ xử lý. Khi mục tiêu quan tâm của chúng ta chỉ nằm trong một vùng xử lý nhất định, nếu lấy mẫu quá toàn dải sẽ chỉ làm tăng thêm lượng dữ liệu thừa (các ô phân giải nằm ngoài vùng không có đóng góp gì cho đối tượng quan tâm). Sử dụng CZT cho phép chúng ta lựa chọn vùng với các tần số bắt đầu và kết thúc cùng với độ phân giải tăng lên, còn các vùng khác vẫn giữ nguyên độ phân giải như ban đầu. Điều này làm tăng độ phân giải của vùng quan tâm nhưng không tạo ra gánh nặng dữ liệu đối với các vùng khác.

Như có thể quan sát trên hình 3, khi sử dụng FFT, nếu hai tần Doppler rơi vào cùng một ô phân giải Doppler thì đầu ra sẽ giống như là một mục tiêu lớn. Khi xử lý phát hiện sẽ chỉ coi là có một mục tiêu tại vị trí này. Khi sử dụng CZT (hình 4), số ô phân giải tăng lên trong vùng quan tâm. Ta có thể thấy, tín hiệu có sự phân tách rõ ràng, từ đó có thể xác định được đây là 2 mục tiêu khác nhau. Như vậy, bằng phương pháp này chúng ta có thể áp dụng để lọc mục tiêu di động có vận tốc thấp.



Hình 3. Độ phân giải khi sử dụng FFT.

CZT có ưu điểm là người dùng không chỉ có thể xác định được điểm đầu và cuối vùng tần số quan tâm mà còn có thể đặt được số lượng ô phân giải trong băng thông đó.

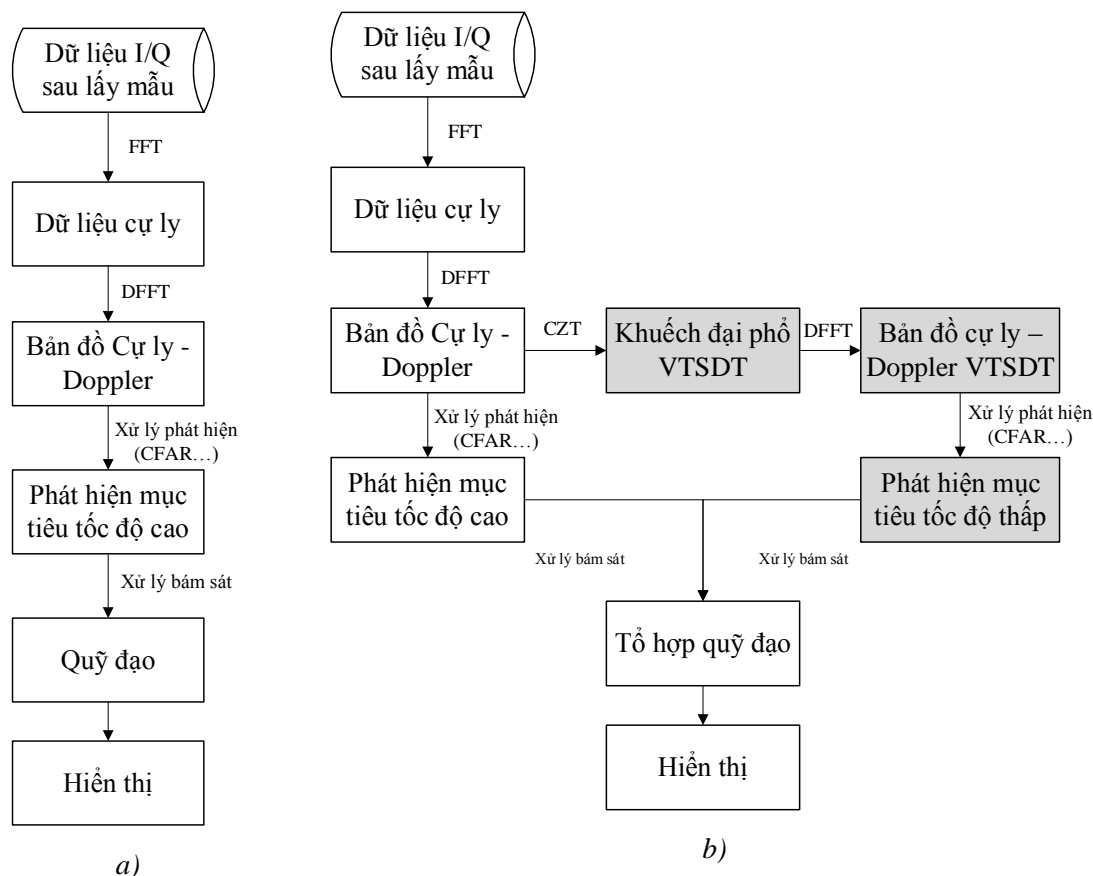


Hình 4. Tăng độ phân giải bằng CZT trong xử lý FFT.

3. ÁP DỤNG KHUẾCH ĐẠI PHỔ TRONG PHÁT HIỆN MỤC TIÊU BAY CHẬM TẦM THẤP

Dựa trên kỹ thuật CZT đã mô tả, nhóm tác giả đưa ra một sơ đồ xử lý mới được thiết kế để

cải tiến các hệ thống ra đa thế hệ cũ sử dụng các kỹ thuật xử lý Doppler xung hay kỹ thuật phát hiện mục tiêu di động (Moving Target Detection). Sơ đồ này sử dụng các dữ liệu cự ly – Doppler trong các hệ thống ra đa để thu được thông tin phổ chi tiết trong dải băng tần Doppler thấp nhằm phân tách phân xạ mục tiêu và nhiễu địa vật trong miền tần số và cải thiện quá trình tích lũy xử lý mục tiêu.



Hình 5. Sơ đồ xử lý nguyên bản (a) và cải tiến (b).

Quá trình xử lý trong đài ra đa được biểu diễn trên hình 5(a): trước tiên thực hiện xử lý dữ liệu lấy mẫu bằng FFT để thu được dữ liệu cự ly trong mỗi khung. Tiếp tục thực hiện biến đổi Fourier rời rạc để thu được dữ liệu bản đồ cự ly – Doppler. Sau đó, xử lý phát hiện trên mỗi khung dữ liệu. Tần số Doppler của các phân xạ mục tiêu tốc độ cao thường lớn hơn nhiều so với nhiễu địa vật và khí tượng. Do đó, có thể dễ dàng tách biệt chúng trong miền tần số. Các kỹ thuật xử lý CFAR truyền thống có thể được áp dụng để tách các loại mục tiêu. Cuối cùng, các kết quả xử lý của nhiều khung thu được sẽ được tiếp tục xử lý để cải thiện hiệu suất phát hiện và bám sát mục tiêu.

Hình 5(b) biểu diễn sơ đồ xử lý đề xuất thay thế cho các hệ thống ra đa hiện có bằng kỹ thuật CZT. Các quy trình xử lý nguyên bản của đài vẫn được giữ nguyên, chỉ bổ sung thêm các phân đoạn xử lý để phát hiện mục tiêu bay chậm (các ô màu đậm).

Để phát hiện các mục tiêu bay chậm trước tiên cần xác định vùng tần số quan tâm:

Thông thường, vận tốc cao nhất của các mục tiêu bay chậm không vượt quá $v_{max} = 55$ m/s [10]. Tuy nhiên, tùy thuộc vào từng đài ra đa cụ thể giá trị này có thể khác nhau. Ta sử dụng giá trị này để xác định vùng tần số quan tâm theo công thức [11]:

$$f_d = \frac{2v_{\max}}{\lambda} \quad (23)$$

trong đó, λ là bước sóng của tín hiệu phát ra đa. Các ô Doppler trong vùng nhỏ hơn f_d này được gọi là vùng tần số Doppler thấp (VTSDT). Phần còn lại của dải tần số được gọi là vùng tần số Doppler cao.

Để có thể phát hiện được mục tiêu bay chậm ta cần có thêm một giá trị cận dưới v_{\min} do hầu hết các mục tiêu bay chậm đều có vận tốc tối thiểu (v_{\min}). Trong bài báo lựa chọn độ phân giải vận tốc Δv tương ứng với v_{\min} . Dựa vào các giá trị này ta có thể xác định tham số cho bộ xử lý CZT:

$$\Delta f = \frac{2v_{\min}}{\lambda} \quad (24)$$

Như vậy, ta quan tâm tới vùng vận tốc $-f_d$ tới f_d . Thay vào (22) ta có:

$$\Delta f = \frac{f_d - (-f_d)}{N_{CZT}} = \frac{2f_d}{N_{CZT}} \quad (25)$$

Thay (23) vào (25) ta có:

$$\Delta f = \frac{4v_{\max}}{N_{CZT} \cdot \lambda} \quad (26)$$

Từ (24) và (26) ta có

$$N_{CZT} = \frac{2v_{\max}}{v_{\min}} \quad (27)$$

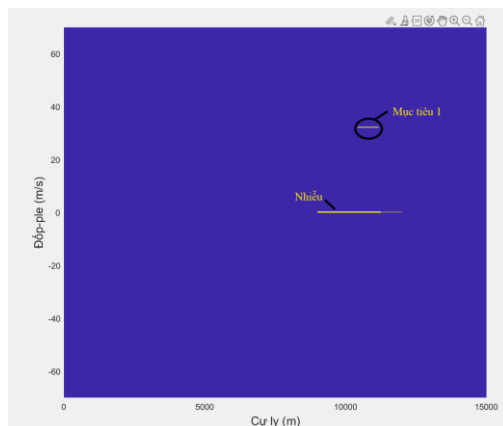
Như vậy, từ công thức (27), ta có thể lựa chọn N_{CZT} dựa vào giá trị vận tốc cực đại, v_{\max} và cực tiểu, v_{\min} , trong vùng vận tốc quan tâm. Giá trị v_{\max} thường được lựa chọn bằng giá trị cận dưới trong vùng vận tốc phát hiện được của đài ra đa. Còn giá trị v_{\min} được lựa chọn lớn hơn 0 để có thể phân tách được mục tiêu bay chậm với nhiễu địa vật.

Sau khi xây dựng được bộ tham số của thuật toán khuếch đại phổ, sử dụng quá trình xử lý 5 bước trên hình 2 để thu được dữ liệu tần số trong VTSDT. Dữ liệu này được biến đổi Fourier rồi rọc để thu được bản đồ cự ly – Doppler. Với độ phân giải tăng lên, có thể sử dụng các thuật toán phát hiện CFAR để phân tách các mục tiêu bay chậm trên nền nhiễu. Sau đó, việc tổ hợp kết quả phát hiện giữa các mục tiêu bay chậm và các mục tiêu tốc độ cao do đài xử lý để đưa ra hiển thị.

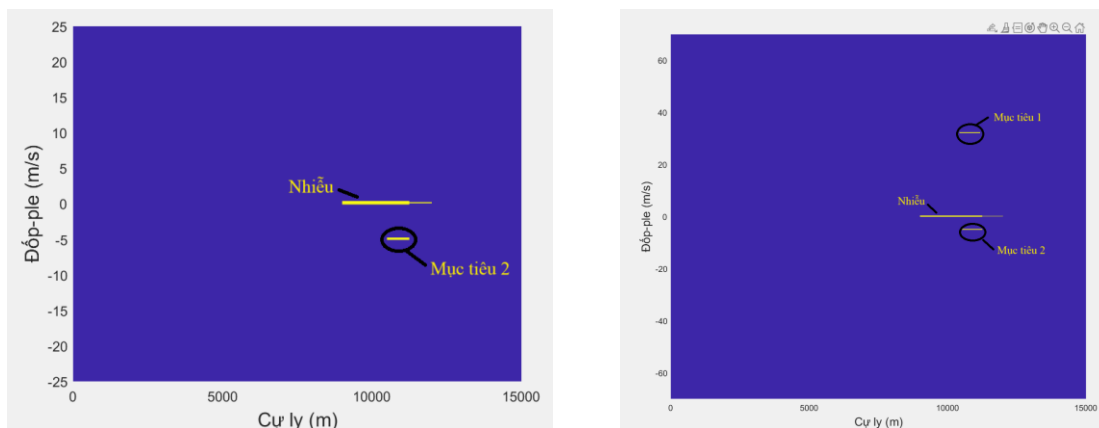
Như vậy, sơ đồ cải tiến vẫn giữ được tất cả các hoạt động xử lý của hệ thống ra đa hiện có, đồng thời tận dụng được toàn bộ thông tin phổ Doppler trong vùng quan tâm, phục vụ cho phát hiện. Quá trình này không tăng nhiều tài nguyên xử lý cho hệ thống hiện có do chỉ tập trung khuếch đại một vùng nhỏ. Điều này giúp giải pháp được nghiên cứu là một phương án khả thi trong cải tiến các ra đa thế hệ cũ.

4. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá hiệu quả của thuật toán phát hiện dựa trên CZT, sử dụng các tham số thực tế hiện có của một hệ thống ra đa xung có khả năng xử lý phát hiện các mục tiêu trong dải vận tốc từ 25 tới 520 m/s. Quá trình xử lý của ra đa này thực hiện với bộ dữ liệu xử lý gồm dữ liệu mỗi khung chứa $N = 16$ xung. Chu kỳ lặp xung $T_p = 18 \mu s$ và tần số lấy mẫu $f_s = 72$ MHz, số ô phân giải Doppler là 512. Để đánh giá khả năng phát hiện ta sử dụng 2 mục tiêu: mục tiêu 1 ở cự ly 10 km với vận tốc 35 m/s. Mục tiêu 2 ở cự ly 10km với vận tốc 5 m/s. Ngoài ra, còn có nhiễu địa vật trong cùng ô cự ly với mục tiêu 2.



Hình 6. Phát hiện mục tiêu nguyên bản của đài.



a) Mục tiêu khi zoom vào dải [-25, 25] (m/s)

b) Kết hợp với toàn đài

Hình 7. Kết quả xử lý phát hiện mục tiêu bay chậm trong vùng vận tốc nhỏ (a) và khi kết hợp với toàn đài (b).

Kết quả mô phỏng đối với đài ra đa nguyên bản được thể hiện trên hình 6 cho thấy, mục tiêu 1 dễ dàng phân biệt được so với phản xạ nhiễu trong miền tần số. Tuy nhiên, mục tiêu 2 bị che mất. Để phát hiện mục tiêu này ta sẽ lấy khuếch đại phổ bằng thuật toán CZT trong vùng từ -25 m/s tới 25 m/s. Để phân tách mục tiêu bay chậm với nhiễu địa vật ta chọn vận tốc $v_{min} = 1$ m/s. Từ (26) có thể thấy, ta sẽ bổ sung thêm 50 ô dữ liệu Doppler trong xử lý. Số lượng ô chỉ tăng lên 9,76% so với nguyên bản, không ảnh hưởng nhiều tới quá trình xử lý nguyên bản của đài. Kết quả xử lý phát hiện được đưa ra trên hình 7a. Như vậy, khi độ phân giải tăng lên, mục tiêu 2 có thể phân tách được so với nhiễu trong miền tần số và được phát hiện bởi ra đa. Khi kết hợp với nguyên bản của đài (hình 7b), các mục tiêu ở dải vận tốc thấp và cao đều được phát hiện bởi ra đa.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày thuật toán ứng dụng biến đổi Chirp-Z để khuếch đại phổ trong vùng tần số Doppler thấp giúp tăng độ phân giải trong quá trình xử lý dữ liệu ra đa. Phương pháp này cho phép phân tách các phản xạ mục tiêu bay chậm khỏi các phản xạ địa hình từ đó giúp phát hiện các mục tiêu này. Quá trình tăng độ phân giải chỉ tập trung vào một vùng tần số nhỏ cận không, nhằm không gây ra sự quá tải tài nguyên của hệ thống xử lý. Do đó, đây là phương pháp khả thi để cải tiến, bổ sung khả năng phát hiện các mục tiêu bay chậm trong các hệ thống ra đa thể hệ cũ

đang được sử dụng. Thử nghiệm mô phỏng với các tham số thực tế cho thấy kỹ thuật này có khả năng tăng độ phân giải trong vùng tần số thấp từ đó phát hiện được các mục tiêu bay chậm hơn 25 m/s. Đây là điều mà đài ra đa nguyên bản không thực hiện được.

Trong bài báo chỉ tập trung vào trường hợp mục tiêu bay chậm, tuy nhiên, kỹ thuật này có thể áp dụng được cho mọi dải vận tốc quan tâm để tập trung phát hiện các loại mục tiêu trong dải vận tốc đó. Phương pháp có thể phát triển cho các loại ra đa chuyên dụng quản lý một số loại mục tiêu nhất định.

THAM KHẢO

- [1]. R.Xu, H. Zhang, “Study of Low-altitude Slow and Small Target Detections on Radar,” Proceedings of the 2017 5th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology (ICMMCT 2017), pp.529-523, (2017). Doi: 10.2991/icmmct-17.2017.113
- [2]. X. Chen, J. Guan, Z. Bao, and Y. He, “Detection and extraction of target with micromotion in spiky sea clutter via short-time fractional fourier transform,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 52, no. 2, pp. 1002–1018, (2014).
- [3]. S. P. Sira, D. Cochran, A. Papandreou-Suppappola et al., “Adaptive waveform design for improved detection of low-RCS targets in heavy sea clutter,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 1, no. 1, pp. 56–66, (2007).
- [4]. Y. Zhang, S. Qian, and T. Thayaparan, “Detection of a manoeuvring air target in strong sea clutter via joint time-frequency representation,” IET Signal Processing, vol. 2, no. 3, pp. 216–222, (2008).
- [5]. P. Suresh, T. Thayaparan, and K. Venkataramaniah, “Fourier-Bessel transform and time-frequency-based approach for detecting manoeuvring air target in sea-clutter,” IET Radar, Sonar & Navigation, vol. 9, no. 5, pp. 481–491, (2015).
- [6]. Z. Zhou, S. Zhigang, and W. Renbiao, “Method for detecting ground moving target with range migration,” in Proceedings of the IET International Radar Conference, pp. 141–141, (2009).
- [7]. A. Makur and S. K. Mitra, “Warped discrete-Fourier transform: Theory and applications,” IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 48, no. 9, pp. 1086–1093, (2001).
- [8]. J. G. Proakis and D. G. Manolakis, “Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications”, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, p. 152 and pp. 482–483, (1996).
- [9]. H. Yongping, L. Caixia, T. Xiuli, “The simulation of the Chirp-Z Transform based on MATLAB GUI”, Proceeding of 3rd International Conference on Multimedia Technology (ICMT-13), Atlantis Press, pp. 48-54, (2013).
- [10]. J. Guo, S. Chang, F. Yang, J. Cai, Q. Liu and T. Long, “Low-slow-small target detection using stepped-frequency signals in a strong folded clutter environment”, IET Radar Sonar Navigat., vol. 15, no. 9, pp. 1030-1044, (2021).
- [11]. M. A. Richards, “Fundamentals of Radar Signal Processing”, McGraw-Hill, USA, pp:93-97, (2005).

ABSTRACT

Application of spectrum enhance technique for slow flying target detection in radar

In recent times, with the development of unmanned aerial vehicles capable of operating at low-speed ranges. This causes difficult problems in managing this type of target for older-generation radar systems designed primarily to detect high-speed flying targets. This article proposes a solution to apply a spectral enhancement technique in the near-zero velocity region to detect slow-flying targets by applying the chirp Z transform to enhance the spectrum in the region of interest to increase resolution for low-velocity target detection processing.

Keywords: Chirp Z transform; Spectrum enhancement; Slow flying target; Radar; Doppler.