

Phương pháp chiếu tổng hợp hệ thống chống nhiễu tiêu cực

Nguyễn Trung Thành*

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

*Email: ntt7680@gmail.com.

Nhận bài ngày 22/9/2021; Hoàn thiện ngày 03/11/2021; Chấp nhận đăng ngày 12/12/2021.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.76.2021.46-53>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ứng dụng phương pháp chiếu để chế áp nhiễu tiêu cực và chỉ ra các đặc tính vượt trội của việc ứng dụng ma trận chiếu vào thiết bị chỉ thị mục tiêu di động (MTI) để đáp ứng các yêu cầu cao về chế áp nhiễu. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống MTI theo phương pháp chiếu cũng có khả năng tách các mục tiêu tốc độ thấp trên nền nhiễu phân xạ. Về mặt tính toán, trong số các phương pháp xử lý tối ưu hiện có phương pháp được đề xuất là hiệu quả nhất trong trường hợp nhiễu mạnh vì không phải tính nghịch đảo ma trận tương quan nhiễu.

Từ khóa: Ra đa; Thiết bị lọc mục tiêu di động (MTI); Phương pháp chiếu; Hệ số chế áp nhiễu; Độ rộng dải chế áp.

1. MỞ ĐẦU

Vấn đề chống nhiễu tiêu cực nguồn gốc tự nhiên và nhân tạo phát sinh đồng thời với sự xuất hiện của các ra đa đầu tiên và cho đến nay vẫn còn mang tính thời sự. Nhiễu tiêu cực là tín hiệu vô tuyến phản xạ từ bề mặt nền, các tích tụ khí tượng và địa vật khi chúng bị chiếu xạ bởi các xung thăm dò ra đa. Tác động của nhiễu tiêu cực thể hiện ở sự chế áp và che giấu tín hiệu, phản ánh từ mục tiêu quan sát. Cường độ nhiễu có thể vượt đáng kể không chỉ mức tạp của máy thu, mà còn tín hiệu mục tiêu hữu ích, gây khó khăn cho ra đa khi quan sát, và đôi khi làm ra đa không thể quan sát.

Theo ước tính hiện nay [1, 5], trong các hệ thống như vậy, tỷ số nhiễu/tín hiệu có thể đạt giá trị từ 60 dB trở lên, đặc biệt đối với phản xạ biển. Tùy thuộc vào các tham số, bao gồm tần số mang, chu kỳ lặp lại xung của ra đa, phạm vi tốc độ gió, v.v., độ rộng phổ nhiễu thụ động có thể chiếm đến $\geq 10\%$ tần số lặp xung thăm dò của ra đa.

Để phân tách phổ của các tín hiệu hữu ích và nền nhiễu thụ động trong những điều kiện như vậy sử dụng bộ lọc tách mục tiêu di động (MTI-Moving Target Indicator) với đặc tính biên độ-tần số bộ lọc tần số gần dạng chữ nhật. Độ sâu vùng lọc chặn của các bộ lọc như vậy phải đạt từ 60 dB trở lên.

Bài báo trình bày một hệ thống MTI chế áp nhiễu tiêu cực dựa trên ma trận chiếu có đáp ứng tần số thỏa mãn các yêu cầu cao nêu trên. Bài viết được tổ chức như sau. Phần 2 giải thích bản chất phương pháp chiếu và bộ lọc MTI chiếu. Phần 3 dành cho mô phỏng, phân tích các đặc điểm của hệ thống MTI chiếu và so sánh với các phương pháp MTI khác. Phần 4 đưa ra sơ đồ khối hệ thống MTI chiếu. Cuối cùng là phần kết luận.

2. XẤP XỈ MA TRẬN TƯƠNG QUAN NHIỄU NGHỊCH ĐẢO BẰNG PHƯƠNG PHÁP CHIẾU

Để giảm thiểu tổn hao trong phát hiện tín hiệu có ích phương pháp chiếu [2] xử lý giữa các chu kỳ theo quy trình phát hiện tối ưu tín hiệu có ích trên nền nhiễu với các thuộc tính tương quan cho trước được đề xuất. Bản chất phương pháp này là xấp xỉ ma trận tương quan nhiễu nghịch đảo bằng một ma trận chiếu lên một không gian trực giao với không gian nhiễu.

Theo [4], véc tơ trọng số xử lý tối ưu được xác định bởi mối quan hệ

$$\mathbf{W} = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{S}(f) \quad (1)$$

trong đó: $\mathbf{R}$ - Ma trận tương quan nhiễu tiêu cực; $\mathbf{S}(f)$ - Véc tơ tín hiệu có ích với tần số Doppler f .

Tuy nhiên, việc áp dụng trực tiếp công thức (1) hầu như không thực tế do cần phải tính toán ma trận tương quan nghịch đảo cho từng phần tử phân biệt trong thời gian thực.

Biết rằng, biên độ phức tín hiệu ra đa phản xạ từ một đối tượng điểm có cấu trúc thời gian giữa các chu kỳ được đặc trưng bởi véc tơ các hình sin rời rạc:

$$\mathbf{S}(f) = (e^{-j f T}, e^{-j 2 f T}, \dots, e^{-j N f T})^H \quad (2)$$

trong đó, f là tần số Doppler, T là chu kỳ xung thăm dò ra đa, N là số xung trong chùm nhận được.

Trong trường hợp này, tín hiệu nhiều tiêu cực là sự kết hợp nhiều dao động sin có dạng (2), tạo thành một tập liên tục tần số Doppler. Tính liên tục này có thể được xấp xỉ bằng một tập hữu hạn các sin xếp đủ dày theo tần số Doppler và ma trận tương quan $\mathbf{R}$ có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\mathbf{R} = \langle \mathbf{S} \mathbf{S}^H \rangle \quad (3)$$

Vì ma trận (3) là Hermitian và xác định không âm nên nó có hệ thống trực chuẩn các véc tơ riêng đơn vị $\mathbf{U}_1, \dots, \mathbf{U}_N$ và tập hợp các giá trị riêng không âm $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ tương ứng với các véc tơ đó. Do hệ thống trực chuẩn các véc tơ riêng của ma trận (3) tạo thành một cơ sở trong không gian N chiều, nên bất kỳ thể hiện nào của tín hiệu $\mathbf{S}$ đều có thể được biểu diễn dưới dạng tổ hợp tuyến tính:

$$\mathbf{S} = \sum_{i=1}^N a_i \mathbf{U}_i, \quad (4)$$

ở đây, a_i là các thừa số vô hướng ngẫu nhiên.

Sử dụng khai triển phổ [3] có thể chỉ ra rằng:

$$\mathbf{R} = \sum_{i=1}^r \lambda_i \mathbf{U}_i \mathbf{U}_i^H \quad (5)$$

trong đó, r là hạng ma trận (3).

Về mặt toán học, phép tính gần đúng (5) tương đương với việc chiếu tín hiệu nhiều tiêu cực lên không gian con có chiều hữu hạn cho nên nó có thể được biểu diễn dưới dạng kết hợp tuyến tính số hữu hạn các sin phức (2) với tần số Doppler $f_1, f_2, \dots, f_M$. Véc tơ các sin có các thừa số biên độ $a_1, a_2, \dots, a_M$ ngẫu nhiên và độc lập thống kê, trong đó M ($M < N$) là số sin được sử dụng cho xấp xỉ nhiều tiêu cực. Khi đó, ma trận tương quan véc tơ tổng các tín hiệu nhiều tiêu cực và nội tập có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\mathbf{R} = \mathbf{E} + \sum_{m=1}^M v_m \mathbf{S}(f_m) \mathbf{S}^H(f_m) \quad (6)$$

trong đó, $\mathbf{E}$ là ma trận đơn vị $N \times N$ chiều đặc trưng cho tính chất tương quan của nội tập (không làm mất tính tổng quát, giả sử rằng công suất mỗi thành phần riêng lẻ véc tơ tập bằng 1); $v_m = \langle a_m^2 \rangle$ là công suất thành phần sin thứ m nhiều tiêu cực. Xem $v_m \gg 1$, tức là công suất nhiều ngoài ở tần số Doppler f_m lớn hơn đáng kể công suất nội tập.

Vì ma trận (6) là Hermitian và xác định dương, ma trận nghịch đảo với ma trận này có thể được biểu diễn bằng khai triển phổ

$$\mathbf{R}^{-1} = \sum_{m=1}^M \frac{u_m u_m^H}{\lambda_{m+1}} + \sum_{m=M+1}^N \mathbf{U}_m \mathbf{U}_m^H \quad (7)$$

trong đó, λ_m - Giá trị riêng khác 0 của số hạng thứ hai ở vế phải (6) mà tổng các giá trị riêng xác định công suất nhiều tiêu cực; $\mathbf{U}_1, \dots, \mathbf{U}_M$ là các véc tơ đơn vị riêng trực chuẩn tương ứng với các giá trị riêng λ_m và là cơ sở trong không gian con nhiều; $\mathbf{U}_{M+1}, \dots, \mathbf{U}_N$ là các véc tơ đơn vị riêng trực chuẩn của ma trận $\mathbf{R}$, tạo thành một cơ sở trong không gian con trực giao với nhiều tiêu cực.

Vì công suất nhiều tiêu cực được giả định là lớn hơn nhiều công suất tín hiệu có ích nên từ bất đẳng thức $\lambda_m \gg 1$ cho phép bỏ qua số hạng đầu tiên ở vế phải (7) và có được xấp xỉ ma trận nhiều nghịch đảo bằng ma trận

$$\mathbf{P} = \sum_{m=M+1}^N \mathbf{U}_m \mathbf{U}_m^H \quad (8)$$

Ma trận $\mathbf{P}$ là chiếu lên không gian con nhiều tiêu cực trực giao [2, 4] và tác động toán tử ma

trận này lên tổ hợp tuyến tính bất kỳ các sóng hình sin $S(f_1), S(f_2), \dots, S(f_M)$ dẫn đến "quy không" tổ hợp đó. Điều này có thể được hiểu là sự triệt tiêu (chế áp) nhiễu tiêu cực.

Do đó, ma trận tương quan nghịch đảo nhiễu mạnh có thể được xấp xỉ bằng ma trận chiếu lên không gian con trực giao với không gian con nhiễu, tức là

$$R^{-1} \approx E - P, \quad (9)$$

trong đó, E là ma trận đơn vị, $P = M(M^H M)^{-1} M^H$ - Ma trận chiếu lên không gian con nhiễu, H là dấu hiệu liên hợp Hermitian, $M = [S(f_1), S(f_2), \dots, S(f_M)]$ - Ma trận gồm các vec tơ cột tín hiệu có tần số Doppler $f_1, \dots, f_L$ cách nhau và bao trùm lên dải tần số nhiễu tiêu cực.

Theo xấp xỉ (9), vec tơ trọng số tối ưu xử lý giữa các chu kỳ có dạng

$$W = (E - P)S(f) \quad (10)$$

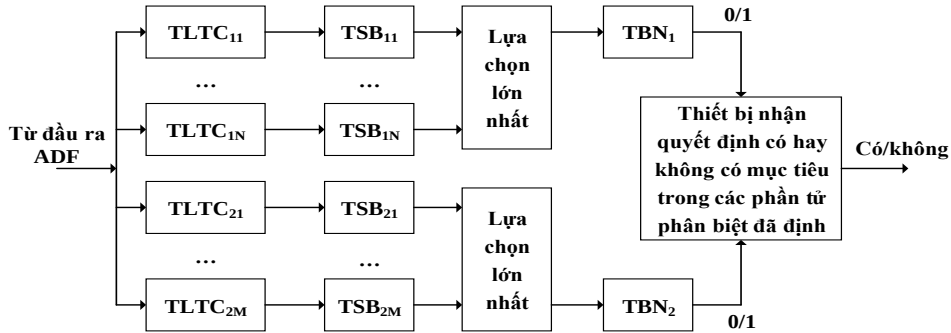
và quy trình xử lý tối ưu sẽ là tính modul biểu thức:

$$\xi = Y^H (E - P)S(f_0) \quad (11)$$

trong đó, Y là vec tơ tương ứng với chùm phương vị thu được.

Trong trường hợp này, ma trận-chiều (9) thực hiện chức năng lọc chặn nhiễu tiêu cực chung đối với tất cả các bộ lọc Doppler. Các điểm không (chặn) được xác định bởi các tần số $f_1, \dots, f_L$ của các vec tơ tạo thành ma trận M trong biểu thức (9).

Khi ra đa thăm dò không đều với các chu kỳ lặp T_1, T_2 , hệ thống xử lý giữa các chu kỳ được đề xuất có dạng như trong hình 1, trong đó sử dụng các ký hiệu sau: TSB - Tách sóng biên độ; ADF - Bộ lọc phối hợp tương tự - rời rạc; TLTC₁₁ – TLTC_{1N} - Các bộ tích lũy tương quan với chu kỳ lặp lại T_1 ; TLTC₂₁ – TLTC_{2M} - Các bộ tích lũy tương quan với chu kỳ lặp lại T_2 ; TBN - Thiết bị ngưỡng.



Hình 1. Bộ xử lý giữa các chu kỳ với T_1 và T_2 .

Tín hiệu đến đầu vào các bộ tích lũy tương quan được cấp từ đầu ra ADF. Các bộ tích lũy tương quan đối với các chùm có chu kỳ lặp lại T_1 và T_2 bao trùm dải vận tốc hướng tâm nhất định của mục tiêu. Ngoài ra, mỗi bộ tích lũy tương quan, cùng với tích lũy tín hiệu có ích đồng thời thực hiện lọc loại bỏ phản xạ từ các địa vật và, nếu cần, cả nhiễu tiêu cực dịch chuyển.

Đáp ứng tần số mỗi bộ tích lũy tương quan riêng lẻ (bộ lọc chiều) tính theo biểu thức:

$$K_i(f) = \frac{|S^H(f)(E-P)S(f_i)|}{N} \quad (12)$$

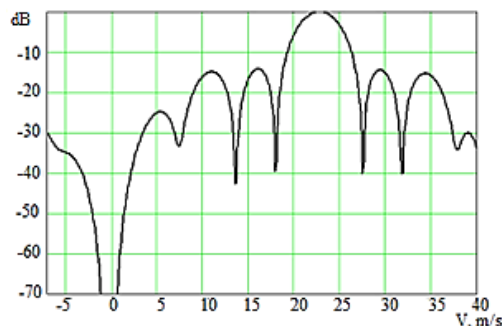
trong đó, N là số xung trong chùm.

Một trong những đáp ứng tốc độ (12) này được thể hiện trong hình 2.

Có thể thấy vùng lọc chặn sâu trong vùng địa vật, đỉnh chính tương ứng với tốc độ hướng tâm tín hiệu có ích dự kiến và các búp bên thấp dần theo hàm $\sin(x)/x$. Nếu cần thiết, có thể sử dụng một cửa sổ trọng số để giảm mức những búp bên này.

Sau tách sóng biên độ tín hiệu ra các bộ tích lũy tương quan qua lựa chọn cực đại đồng thời với đo vận tốc hướng tâm. Sử dụng bộ tích lũy nhị phân tiếp theo (tiêu chuẩn "hai trong số hai") cho

phép loại bỏ các báo động lầm liên quan đến vượt ngưỡng đồng thời trong TBN_1 và TBN_2 bởi các đỉnh nhiễu tương ứng với các tốc độ xuyên tâm khác nhau.



Hình 2. Đáp ứng tần số một bộ tích lũy tương can.

3. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA HỆ THỐNG MTI CHIỀU

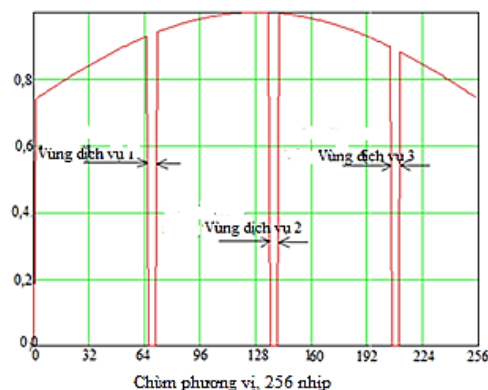
Các đặc tính ưu việt của hệ thống MTI dựa trên phương pháp chiếu là:

Khả năng chống biến dạng biên độ chùm xung;

Khả năng tạo các vùng lọc chặn độ rộng $\geq 10\%$ tần số lặp xung với độ sâu chế áp ≥ 60 dB;

Có thể lọc tín hiệu mục tiêu tốc độ xuyên tâm thấp và rất thấp;

Để làm rõ những đặc tính ưu việt của hệ thống MTI bằng phương pháp chiếu, chúng tôi đã thực hiện mô phỏng trên Matlab chế độ hoạt động của radar đa như sau: bước sóng 0,2 m, chu kỳ thăm dò $T_1 = 140 \cdot 10^{-6}$ giây, (tương ứng cự ly đơn trị $D_1 = 21$ km), $T_2 = 170 \cdot 10^{-6}$ (tương ứng cự ly đơn trị $D_2 = 25,5$ km); kích thước chùm phương vị là $N = 256$. Kết quả xử lý các chùm có chu kỳ T_1 và T_2 ở đầu ra các sơ đồ chọn cực đại nhận được 21 và 25 mẫu cự ly (rời rạc cự ly), tương ứng. Sau đó, chúng được so sánh với các ngưỡng trong TBN_1 và TBN_2 , đối với mỗi mẫu này một dấu hiệu vượt hoặc không vượt ngưỡng được tạo ra. Đồng thời, mỗi cự ly thực đến mục tiêu trong dải 1- 20 km sẽ tương ứng với một cặp mẫu nhất định: một mẫu - từ chuỗi ở đầu vào TBN_1 và một mẫu khác - từ chuỗi ở đầu vào TBN_2 .



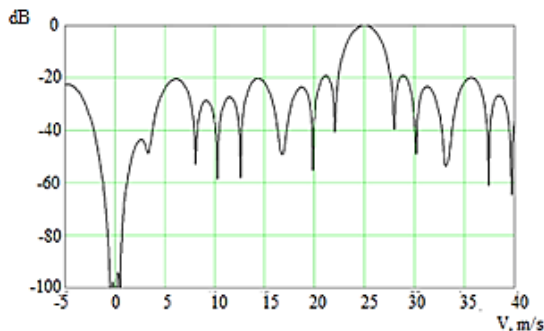
Hình 3. Cấu trúc chùm phương vị với các vùng dịch vụ.

Khả năng chống biến dạng biên độ chùm xung. Mô phỏng đã chỉ ra, thuật toán xử lý được đề xuất (12), so với việc sử dụng các cửa sổ có trọng số (Dolph-Chebyshev, Kaiser-Bessel, v.v.), ổn định hơn đối với biến dạng chùm phương vị bởi giản đồ hướng (GDH) anten và chùm phương vị không liên tục do có các vùng dịch vụ (hình 3) khi tín hiệu thăm dò không được phát ra. Trong những điều kiện này, mức búp bên tăng đáng kể so với giá trị lý thuyết. Ưu điểm của phương pháp này được giải thích bởi thực tế là các yêu cầu gia tăng đối với mức búp bên chỉ áp dụng

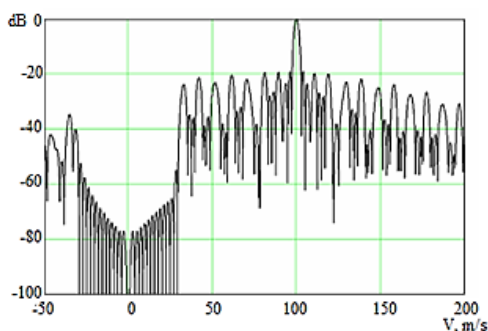
trong dải tần số nhiễu tiêu cực mà không phải ở mọi nơi ngoài đỉnh chính đáp ứng tần số bộ lọc. Điều này cho phép tích lũy tương quan toàn bộ chùm phương vị, đồng thời triệt tiêu hiệu quả nhiễu tiêu cực.

So sánh các đáp ứng tần số (tốc độ) ở $N = 256$ đối với chùm phương vị không có vùng dịch vụ và chùm phương vị có các vùng dịch vụ (trường hợp như hình 3) đối với các dải chế áp nhiễu tiêu cực khác nhau cho thấy các biến dạng đáng kể ảnh hưởng đến “nền” đáp ứng tần số. Tuy nhiên, nếu một tín hiệu đơn lẻ được phát hiện dựa trên nền nhiễu tiêu cực, hiệu ứng này có thể bỏ qua, vì các biến dạng không ảnh hưởng đến các tham số chính bộ lọc. Ngoài ra, biến dạng biên độ phát sinh cũng không ảnh hưởng đến hình dạng tín hiệu có ích và mức các búp bên đầu tiên. Trong trường hợp phát hiện hỗn hợp hai tín hiệu hình sin có tần số Doppler khác nhau hiệu ứng này có thể có tác động tiêu cực. Khi đó, vì nền chung các búp bên không vượt quá mức các búp bên chính, nên hiệu ứng biến dạng chỉ có thể tác động đến trường hợp đặc biệt là phát hiện hai tín hiệu có biên độ khác nhau – đến mức các búp bên chính, tức là phát hiện tín hiệu yếu trên nền mạnh. Từ đó có thể kết luận rằng, phương pháp chiếu được đề xuất để xử lý giữa các chu kỳ là ổn định với biến dạng biên độ tín hiệu (dạng chùm phương vị).

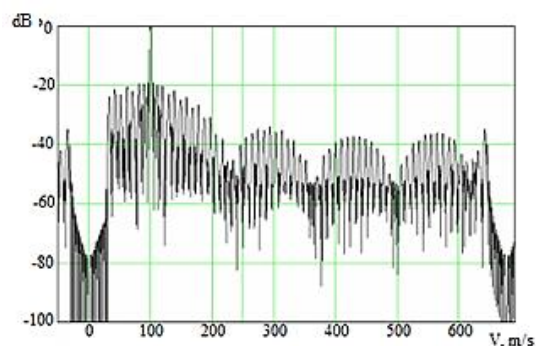
Khả năng tạo các vùng lọc chặn độ rộng tùy ý, lọc tín hiệu mục tiêu tốc độ xuyên tâm thấp và rất thấp. Đáp ứng tần số bộ lọc MTI với véc tơ trọng số $\mathbf{W}$ (10) khi kích thước chùm phương vị $N = 256$ được biểu thị trong hình 4. Đáp ứng có đỉnh chính tương ứng với tốc độ hướng tâm là 25 m/s và một vùng lọc chặn địa vật có chiều rộng 2 m/s ở mức âm 60 dB. Trong dải vận tốc hướng tâm còn lại, mức các búp bên thay đổi từ âm 19 đến âm 37 dB. Chùm phương vị lớn ($N > 100$) cho phép tạo ra các bộ lọc với dải lọc chặn lớn hơn nhiều so với trong hình 4. Đáp ứng tần số các bộ lọc này được hiển thị trong hình 5 và 6.



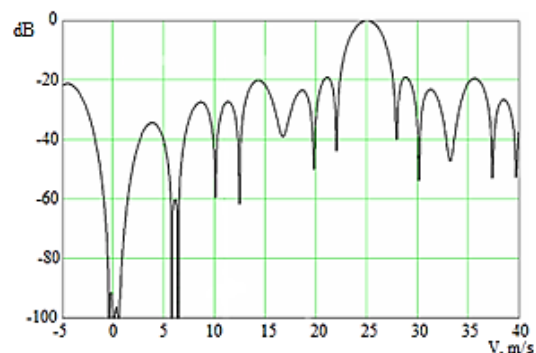
Hình 4. Đáp ứng tần số bộ lọc với véc tơ trọng số (10) khi kích thước chùm phương vị $N = 256$.



Hình 5. Đáp ứng tần số một trong các bộ lọc khi $N > 100$.



Hình 6. Đáp ứng tần số một trong các bộ lọc khi $N > 100$.



Hình 7. Đáp ứng tần số một bộ lọc phát hiện mục tiêu có vận tốc hướng tâm thấp so với nền địa vật và nhiễu tiêu cực dịch chuyển.

Vùng lọc chặn chiếm một phạm vi tốc độ từ âm 30 đến 30 m/s, nghĩa là gần như toàn bộ phạm vi tốc độ nhiễu tiêu cực, bao gồm địa vật, nhiễu lưỡng cực và tích tụ khí tượng.

Bằng phương pháp chiếu cũng có thể tạo thành một nhóm bộ lọc thứ ba (hình 7) được thiết kế để phát hiện các mục tiêu có vận tốc hướng tâm thấp so với nền địa vật và nhiễu tiêu cực dịch chuyển. Đáp ứng bộ lọc có hai vùng lọc chặn hẹp trong vùng địa vật và nhiễu lưỡng cực.

Giống như các bộ lọc MTI khác, ở bộ lọc chiếu MTI có sự phụ thuộc hệ số triệt nhiễu vào chiều rộng vùng lọc chặn và chiều dài mẫu N (kích thước chùm phương vị). Khi mở rộng vùng lọc chặn thì hệ số chế áp cũng giảm nếu không tăng N . Hệ số chế áp nhiễu tiêu cực là 60 dB và độ rộng vùng lọc chặn trong phạm vi ± 25 m/s được đảm bảo một cách đáng tin cậy với chùm phương vị $N \geq 128$ xung (bảng 1). Để đảm bảo hệ số chế áp 60 dB khi $N = 64, 32$ và 16, cần phải giảm độ rộng vùng lọc chặn hoặc bằng cách giảm khoảng cách và giảm số điểm không. Khoảng tần số tối thiểu sẽ tương ứng với trường hợp hai véc tơ trực giao bất kỳ $S_1, S_2 \dots S_L$ trong ma trận M biểu thức (9), tạo thành các điểm 0 vùng lọc chặn và được xác định bởi các giá trị tần số $f_1, \dots, f_L$.

Bảng 1. Sự phụ thuộc hệ số và chiều rộng vùng chế áp vào chùm phương vị (N).

$K_{chế áp}$ dB	$N=512$	$N=256$	$N=128$	$N=64$	$N=32$	$N=16$
30	± 25 m/s	± 25 m/s	± 25 m/s	± 25 m/s	± 24 m/s	± 22 m/s
40	± 25 m/s	± 25 m/s	± 25 m/s	± 24 m/s	± 23 m/s	± 15 m/s
50	± 25 m/s	± 25 m/s	± 24 m/s	± 23 m/s	± 13 m/s	± 9 m/s
60	± 25 m/s	± 24 m/s	± 24 m/s	± 18 m/s	± 8 m/s	± 3 m/s

Cosin góc giữa hai véc tơ bất kỳ S_1 và S_1 được xác định thông qua tích vô hướng chuẩn hóa $\cos \alpha = \frac{S_1^H S_2}{\sqrt{S_1^H S_1 S_2^H S_2}}$. Nếu $|\cos(\alpha)| \approx 1$ thì các véc tơ là gần song song, và trong trường hợp

$|\cos(\alpha)| \ll 1$ - là gần trực giao [3]. Hai thành phần sin phức sẽ gần song song nếu mất phối hợp tần số giữa chúng không vượt quá nghịch đảo độ dài của chúng. Do đó, ví dụ, ma trận lọc chặn P được xác định bởi biểu thức (8) triệt tiêu hiệu quả không chỉ các sin với tần số $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$ mà là tất cả các thành phần phổ quá trình thu được có tần số Doppler thỏa mãn ít nhất một trong các bất đẳng thức

$$|\omega - \omega_m| \leq \frac{\pi}{N}, m = 1, 2, \dots, M \quad (13)$$

Theo đó, tất cả các tín hiệu có ích có tần số Doppler thuộc hai khoảng $[\omega_1 - \frac{\pi}{N}; \omega_1]$ và $[\omega_M; \omega_M + \frac{\pi}{N}]$ liên kế vùng lọc chặn nhiễu tiêu cực sẽ bị loại bỏ đáng kể [3].

So sánh ba bộ lọc MTI phổ biến với bộ lọc chiếu được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. So sánh các bộ lọc MTI (Bù khử qua chu kỳ $(\sin x/x)^n$, n - Số lần bù khử [8], tối ưu hóa có giới hạn [3], IIR [7] và Bộ lọc chiếu) theo độ sâu và độ rộng dải chế áp.

Tham số chế áp	Yêu cầu	Bộ bù khử qua chu kỳ	Bộ lọc tối ưu hóa có giới hạn	Bộ lọc IIR dạng elliptic	Bộ lọc chiếu
Độ sâu chế áp	≥ 60 dB	Không đạt	Có thể đáp ứng	Đảm bảo khi số xung ≥ 200	Đảm bảo
Độ rộng dải tần	≥ 10 %	Giảm khi n tăng		Đảm bảo	Đảm bảo
Nhuộm điểm		Không điều chỉnh được	Độ sâu chế áp tỷ lệ nghịch độ rộng dải chế áp	Thời gian thiết lập ổn định lớn	Đòi hỏi dữ liệu có độ chính xác cao

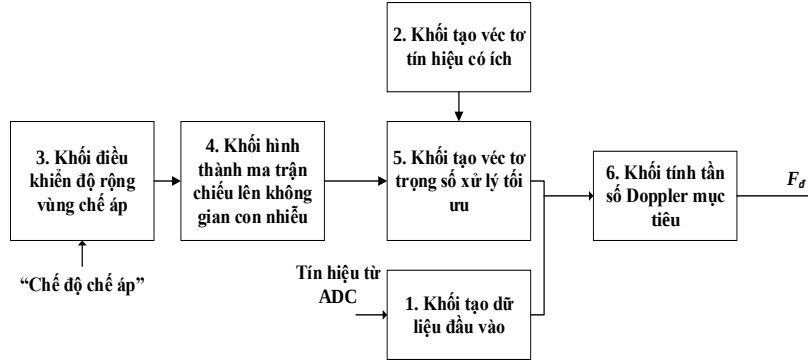
Từ bảng 2 có thể nhận định, đối với ra đa cảnh giới tầm gần, khi chu kỳ lặp nhỏ, chùm

phương vị tương đối lớn và nhiều mạnh các bộ lọc chiếu phù hợp để lọc mục tiêu di động.

4. TỔNG HỢP HỆ THỐNG LỌC MỤC TIÊU DI ĐỘNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP CHIẾU

Bằng phương pháp chiếu được xem xét ở trên chúng ta sẽ tổng hợp hệ thống lọc mục tiêu di động. Sơ đồ khối hệ thống MTI chiếu được nêu trong hình 8.

Thủ tục lọc mục tiêu di động dựa trên phương pháp chiếu bao gồm: 1-Khối tạo dữ liệu đầu vào là véc tơ tương ứng với chùm phương vị nhận được, 2-Khối tạo véc tơ tín hiệu có ích có cấu trúc thời gian giữa các chu kỳ đặc trưng bởi véc tơ sin rời rạc, 3-Khối điều khiển độ rộng vùng chế áp hình thành ma trận gồm các cột – véc tơ tín hiệu có tần số Doppler với bước bao trùm dải tần nhiều tiêu cực, 4-Khối hình thành ma trận - chiếu lên không gian con nhiều tác động lên tổ hợp tuyến tính bất kỳ các véc tơ tín hiệu có ích làm cho nó bằng không, 5-Khối tạo véc tơ trọng số xử lý tối ưu bằng cách nhân ma trận tương quan nghịch đảo với véc tơ tín hiệu có ích, 6-Khối tính tần số Doppler F_d mục tiêu bằng cách nhân véc tơ liên hợp Hermitian tương ứng với chùm phương vị nhận được và véc tơ trọng số xử lý tối ưu.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống lọc mục tiêu di động.

Về mặt tính toán, phép xử lý (11) được thực hiện như sau. Véc tơ tín hiệu có ích có thể được biểu diễn dưới dạng tích

$$S(f) = DS_0(f) \quad (14)$$

trong đó, $S_0(f)$ là sin phức có đường bao hình chữ nhật, D là ma trận đường chéo $N \times N$ có tính đến dạng đường bao chùm phương vị do GDH anten cũng như sự hiện diện các vùng dịch vụ. Theo đó, ở giai đoạn đầu (sơ bộ), véc tơ sau được tính

$$Z^H = Y^H(E - P)D \quad (15)$$

Do ma trận P có dạng đặc biệt, phép tính véc tơ (7) yêu cầu $\sim 2NL$ phép nhân phức, trong đó N là kích thước chùm phương vị và L là số điểm không trong vùng lọc chặn. Tiếp đó, bằng cách sử dụng biến đổi Fourier nhanh (FFT), tín hiệu đầu ra các bộ lọc được xác định

$$\xi = Z^H S(f_m), \quad (16)$$

trong đó, m là số thứ tự bộ lọc.

Sử dụng FFT trong phương pháp xử lý giữa các chu kỳ có thể làm giảm đáng kể các yêu cầu về hiệu suất máy tính kỹ thuật số thực hiện hệ thống xử lý số tín hiệu ra đa. Một trong những ưu thế quan trọng, theo quan điểm thực hiện thực tế, của phương pháp chiếu so với quy trình tính véc tơ trọng số tối ưu (1) là không cần thực hiện các thủ tục tính toán phức tạp liên quan đến ước lượng ma trận tương quan R và ma trận nghịch đảo R^{-1} (đối với mỗi phần tử phân giải trong thời gian thực). Việc thực hiện các quy trình tính toán này kéo theo các vấn đề liên quan đến ma trận kém điều hòa làm cho tổng hợp véc tơ xử lý trọng số tối ưu liên quan đến R^{-1} trở nên không ổn định đáng kể đối với các sai số tính toán và các nhiễu loạn khác ở ma trận chính xác.

Do đó, về mặt tính toán, phương pháp xấp xỉ ma trận tương quan nghịch đảo bằng ma trận

chiều P được đề xuất áp dụng cho hệ thống MTI chỉ bao gồm việc hình thành sơ bộ (trước) ma trận chiếu theo quy trình (15) và áp dụng quy trình FFT tiêu chuẩn.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu lý thuyết phương pháp chiếu cho thấy có thể áp dụng để xây dựng hệ thống chế áp nhiễu tiêu cực trong ra đa cảnh giới. Trong số các phương pháp xử lý giữa chu kỳ gần tối ưu hiện có, phương pháp được đề xuất là hiệu quả hơn cả về mặt đáp ứng các yêu cầu chế áp nhiễu tiêu cực cao lẫn về mặt tính toán trong trường hợp nhiễu mạnh. Từ quan điểm triển khai thực tế, ưu điểm đáng kể nhất của phương pháp MTI chiếu được đề xuất so với quy trình tối ưu tính toán véc tơ trọng số là không cần phải thực hiện các thủ tục tính toán phức tạp liên quan đến ước lượng ma trận tương quan, tính ma trận đảo cho từng phần tử phân biệt trong thời gian thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Защита радиолокационных систем от помех. *Состояние и тенденции развития* / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. М: Радиотехника, 2003. 416с.
- [2]. Heinrich V. *Projection methods for nonlinear sparse eigenvalue problems*. Research Gate. January 2005.
- [3]. T.K. Moon and W.C. Stirling, “*Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing*”, Prentice Hall, 2000.
- [4]. S. Haykin, “*Adaptive filter theory*”, Fourth ed. N.J.: Prentice Hall, 2002.
- [5]. M. Skolnik, “*Radar Handbook 3rd Edition*”, New York, NY: McGraw-Hill, 2008.
- [6]. Lizhe Tan. “*Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications*”, DeVry University Decatur, Georgia. 2008, Elsevier Inc.
- [7]. Marple, S.L., Jr., “*Digital Spectral Analysis with Application*”, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1987.
- [8]. Hoàng Thọ Tu. “*Cơ sở xây dựng đài ra đa cảnh giới*”. Học viện KTQS. 2003.

ABSTRACT

SYNTHESIZING AN MTI SYSTEM BY PROJECTION METHOD

This paper presents the application of the projection method to suppress clutter and shows the outstanding characteristics of the application of the projection matrix to the moving target indicator device (MTI) to meet the high requirements of the clutter suppression. The simulation results show that the projection-based MTI system is also capable of separating low-speed targets on the background of clutter. Computationally, among the existing optimal processing methods, the proposed method is the most effective in the case of strong clutter because it does not have to compute the inverse of the noise correlation matrix.

Keywords: Radar; Moving target indicator (MTI); Projection method; Clutter suppression factor; Suppression band width.