

TỔNG HỢP HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG BÙ KHỦ NHIỀU TẬP TÍCH CỰC TRONG ĐIỀU KIỆN NHIỀU KHÔNG DỪNG

Nguyễn Trung Thành*, Lê Ngọc Uyên

Tóm tắt: Một trong những hướng chính được sử dụng rộng rãi trong chống nhiễu tập tích cực là hình thành các vùng lồi (điểm không) trong giản đồ hướng anten (GDHA) ra đa về hướng máy gây nhiễu được thực hiện bằng cách sử dụng anten mảng pha thích nghi hoặc bộ tự động bù khử các búp bên. Hiệu quả bảo vệ ra đa khỏi nhiễu tập tích cực chủ yếu được xác định bởi mức các búp bên GDHA, nơi nhiễu tập tích cực (NTTC) rất có thể tác động vào. Trong thực tế, do chuyển động của anten ra đa hoặc máy gây nhiễu mà NTTC trở nên không dừng khi hệ thống ra đa có các khoảng thời gian “dịch vụ”. Các hệ thống tự động bù khử NTTC được xây dựng trên cơ sở hình thành vectơ cột các trọng số bằng cách đảo ngược ma trận thu được (gọi là nghịch đảo trực tiếp ma trận nhiều tương quan (NOM)) kết hợp với thuật toán nội suy tuyến tính vec tơ trọng số cho phép duy trì chất lượng bù khử NTTC không dừng.

Từ khóa: Giản đồ hướng anten; Nhiễu tập tích cực; Ma trận tương quan nhiều; Vectơ cột các trọng số.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiệu quả bảo vệ ra đa khỏi nhiễu tập tích cực trong miền không gian chủ yếu được xác định bởi mức các búp bên GDHA, nơi nhiễu tập tích cực (NTTC) rất có thể tác động vào.

Thông thường, trong hệ thống ra đa các phương pháp chủ yếu được triển khai để giảm ảnh hưởng NTTC theo búp bên mảng anten là:

- Bổ sung xử lý trọng số;
- Hình thành các điểm "không" thích nghi trong các búp sóng GDHA theo hướng NTTC tác động bằng hệ thống tự động bù khử nhiễu;
- Đổi tần số thích nghi.

Phương pháp chuyển tần thích nghi cho phép khi có nhiễu dải hẹp do trạm nhiễu phát ra chuyển sang điểm tần công tác khác không trùng với tần số trung tâm nhiễu. Điều chỉnh tần số thích nghi hoạt động như sau. Trong thời gian dịch vụ giữa các khoảng thời gian ra đa hoạt động tích cực tiến hành tuần tự chuyển tần bộ dao động tại chỗ thiết bị thu. Đồng thời, giá trị trung bình bình phương xung nhiễu được xác định tại mỗi tần số và tần số có mức nhiễu tối thiểu được chọn và chuyển tần số công tác của ra đa đến tần số này.

Mục tiêu chính các hệ thống tự động bù khử (AK) nhiễu là đảm bảo hoạt động cho hệ thống ra đa đa chức năng trong môi trường nhiễu phức tạp.

Trong các ra đa có chu kỳ lặp ngắn, số lượng phần tử cự ly sau lấy mẫu nhỏ việc tính toán các trọng số AK phải được thực hiện trong các khoảng dịch vụ đặc biệt khi ra đa không phát xạ mà chỉ hoạt động để thu. Trên thực tế, điều này có nghĩa là mất mát thông tin có ích, dẫn đến giảm khả năng phát hiện và suy giảm chất lượng xử lý giữa các chu kỳ do sự mở rộng dải thông các bộ lọc Doppler và tăng mức búp bên bộ lọc. Tuy nhiên, khoảng thời gian giữa các vùng dịch vụ càng dài thì độ dư trung bình NTTC do sự không phối hợp các trọng số AK càng nhỏ. Do đó, đối với các hệ thống ra đa tầm gần, nhiệm vụ chọn tối ưu khoảng thời gian giữa các khoảng dịch vụ theo quan điểm triển khai tích hợp các hệ thống AK NTTC và xử lý giữa các chu kỳ trở nên cấp thiết.

Vấn đề giảm thiểu ảnh hưởng nhiễu không dừng đối với hệ thống bù nhiễu tập tích cực đặc biệt cấp bách trong các hệ thống ra đa cơ động tầm gần và phát hiện các mục tiêu.

2. MÔ HÌNH TÍN HIỆU ĐỀN MẢNG ANTEN

Xét mảng Anten đều tuyến tính (AR) có N phần tử (chấn tử). Bộ chuyển đổi tương tự sang số được đặt ở đầu ra mỗi phần tử AR thực hiện lấy mẫu quá trình với khoảng rời rạc Δt . Do đó, sau mỗi lần lấy mẫu, một tập hợp N số đọc nhận được từ đầu ra các phần tử AR. Xử lý không gian bằng một thuật toán xác định sẽ chuyển đổi mỗi tập đó thành một mẫu. Kết quả là một chuỗi các số đọc được hình thành ở đầu ra quá trình xử lý không gian sau đó chuyển sang xử lý thời gian. Xử lý thời gian không được xem xét ở đây.

Mục đích xử lý không gian là để lọc tín hiệu có ích dựa trên nền nội tập của các phần tử mảng Anten và NTTC ngoài.

Giả định rằng mặt sóng các tín hiệu thu là phẳng áp dụng cho cả tín hiệu có ích và nhiễu tích cực bên ngoài. Ở đầu ra các phần tử AR, mặt sóng phẳng được chuyển thành một tập các giá trị đọc có thể được biểu diễn dưới dạng một vector cột:

$$S(\varepsilon) = [e^{jU}, e^{2jU}, \dots, e^{NjU}]^T, \quad (1)$$

Trong đó: $U = 2\pi \cdot d \sin(\varepsilon)$, d là tỷ số bước sóng mạng so với bước sóng và ε là góc giữa pháp tuyến với Anten và hướng đến tín hiệu.

Biết rằng xử lý không gian tối ưu được thực hiện bằng cách sử dụng vector trọng số và là nghiệm phương trình ma trận [1]:

$$RW_{opt} = S(\varepsilon), \quad (2)$$

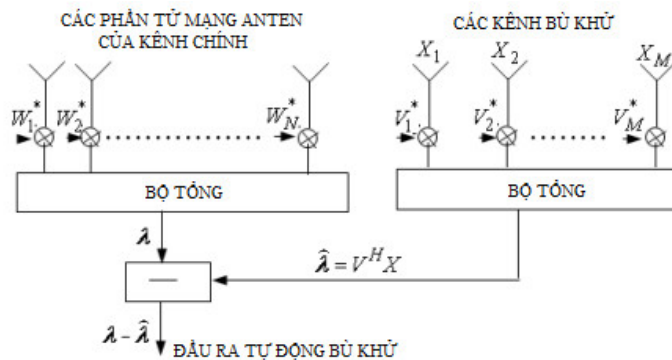
Ở đây, $R = \langle ZZ^H \rangle$ là ma trận tương quan (CM) nhận được từ tất cả các phần tử AR vector nhiễu Z (nhiều trong trường hợp này là tổng nội tập các phần tử AR và NTTC), W_{opt} là vector trọng số cần tìm; $S(\varepsilon)$ là vector tín hiệu có ích; ε là hướng đến tín hiệu có ích, dấu ngoặc $\langle \rangle$ biểu thị trung bình thống kê; $(\bullet)^H$ là liên hợp Hermitian.

Đối với vector mẫu $Y(k)$ nhận được từ các phần tử AR tại thời điểm thứ k , thuật toán xử lý không gian tối ưu được xác định bởi biểu thức:

$$\xi(k) = W_{opt}^H Y(k) \quad (3)$$

Vector W_{opt} cực đại hóa tỷ số (tín hiệu có ích)/(tín hiệu gây nhiễu) tại đầu ra xử lý không gian.

Tuy nhiên, xử lý không gian tối ưu thường đòi hỏi chi phí phản ứng (tính toán) đáng kể, vì AR thường có một số lượng phần tử lớn. Thật vậy, ma trận R trong thực tế chưa biết tiên nghiệm. Do đó, trong thực tiễn, xử lý tối ưu thường được thay thế bằng gần tối ưu với mục đích không phải là cực đại hóa tỷ số (tín hiệu có ích)/(tín hiệu gây nhiễu) để giảm thiểu công suất NTTC bên ngoài tại đầu ra xử lý không gian. Một thiết bị như vậy được triển khai bằng cách sử dụng bộ tự động bù khử nhiễu tích cực (AK NTTC) [2].



Hình 1. Sơ đồ khối quá trình xử lý không gian gần tối ưu.

Sơ đồ khối quá trình xử lý không gian gần tối ưu được thể hiện trong hình 1. Nó chứa một mảng anten N phần tử, trong đó kênh chính xử lý không gian được hình thành.

Với bộ lọc phối hợp, mức búp bên thường không đủ thấp để chế áp đáng tin cậy các tín hiệu thu được thông qua chúng (đặc biệt là nhiễu tích cực). Một cách hình thức, để giảm mức búp bên, có thể sử dụng các cửa sổ trọng số khác nhau: Dolph-Chebyshev, Hamming, Kaiser-Bessel,... [1]. Trong trường hợp này, các hệ số bộ lọc không gian phối hợp được nhân với hệ số thực hàm cửa sổ và một vector xử lý không gian mới được hình thành. Tuy nhiên, việc sử dụng cửa sổ trọng số ngụ ý mức độ đồng nhất cao ở các phần tử AR, vì với sự khác biệt nhỏ nhất giữa chúng (đặc biệt là pha) làm mức búp bên tăng mạnh và việc sử dụng cửa sổ trọng số trở nên không hiệu quả. Trong thực tế, rất khó để đảm bảo đồng nhất như vậy, vì các phần tử AR bao gồm cả thiết bị tương tự.

Do đó, để chế áp nhiễu tích cực tác động lên búp bên GDH nên sử dụng bộ tự động bù khử cho phép hạ thấp mức búp bên kênh chính, nhưng không phải trong toàn bộ phạm vi góc mà chỉ trong các hướng nhiễu tác động [2].

Để thực hiện bộ tự động bù khử nhiễu (xem hình 1), ngoài kênh chính, các kênh phụ (bù) M được hình thành, mỗi kênh có anten định hướng yếu. Hơn nữa, $M \ll N$, cho phép giảm đáng kể lượng tính toán so với thích nghi hoàn toàn AR theo công thức (2). Anten bù có thể được hình thành từ các phần tử AR kênh chính hoặc được lắp đặt riêng. Khi ấy, ở đầu ra kênh chính cùng với nội tạng và có thể tín hiệu có ích, tín hiệu NTTTC sẽ xuất hiện. Ký hiệu tín hiệu NTTTC ở đầu ra kênh chính bằng λ .

Tín hiệu NTTTC cũng được thu bởi anten các kênh bù (vector $\mathbf{X}$). Các tín hiệu NTTTC trong kênh chính (OK) và kênh bù (KK) có mối tương quan với nhau, vì chúng được tạo bởi cùng một nguồn nhiễu. Điều này cho phép nhận được ước tính tín hiệu NTTTC λ trong kênh chính dưới dạng tổ hợp tuyến tính $\hat{\lambda} = \mathbf{V}^H \mathbf{X}$ tín hiệu NTTTC trong các kênh bù. Trừ ước tính này khỏi quá trình trong kênh chính rõ ràng sẽ dẫn đến giảm tín hiệu λ nếu ước tính $\hat{\lambda}$ đủ chính xác [3].

Do đó, việc tổng hợp bộ tự động bù khử tối ưu dẫn đến tìm vector $\mathbf{V}$ giúp giảm thiểu công suất tín hiệu NTTTC ở đầu ra.

3. TỔNG HỢP VEC TƠ TRỌNG SỐ BỘ TỰ ĐỘNG BÙ KHỬ NHIỄU TẬP TÍCH CỰC

Nguyên lý hoạt động bộ tự động bù khử dựa trên việc trừ ước tính nhiễu $\hat{x}_0$ khỏi nhiễu x_0 trong kênh chính. Ước tính này được hình thành như hàm các giá trị nhiễu trong các kênh bù [2]. Khi ấy, ước tính $\hat{x}_0$ phải giảm thiểu bình phương trung bình hiệu:

$$y = \langle |x_0 - \hat{x}_0|^2 \rangle, \quad (4)$$

trong đó, $\langle \rangle$ là ký hiệu tính trung bình thống kê.

Ước tính $\hat{x}_0$ thường được hình thành bằng cách sử dụng các vòng phản hồi (vòng lặp Howells-Appelbaum) [1]. Phương pháp này tương đối đơn giản để thực hiện trong cả xử lý tương tự và kỹ thuật số. Tuy nhiên, nó có một số nhược điểm. Một trong số đó là sự phụ thuộc mạnh thời gian thích nghi bộ tự động bù khử đa kênh vào độ tán mát các giá trị riêng ma trận tương quan nhiễu. Trong trường hợp này, thời gian điều chỉnh có thể được giảm nếu các kênh bù trước tiên được trực giao hóa bằng thuật toán Gram-Schmidt [3]. Điều này đòi hỏi chi phí tính toán bổ sung, nhưng ngay cả như vậy thì thời gian hiệu chỉnh vẫn còn khá lớn. Nó có thể được giảm bằng cách tăng hệ số khuếch đại phản hồi vòng lặp. Nhưng khi tăng khuếch đại phản hồi thì thăng giáng vector trọng số chế áp ở trạng thái dừng cũng tăng khi điều chỉnh đã kết thúc. Điều này làm giảm hiệu quả bù nhiễu.

Mâu thuẫn nêu trên giữa thời gian thiết lập và chất lượng thích nghi được loại bỏ trong

phương pháp gọi là trực tiếp đảo ngược ma trận (DMI- direct matrix inversion). Như đã chỉ ra trong [1], phương pháp DMI trong các biến thể khác nhau chỉ với số mẫu đào tạo $\sim 2N$, trong đó N là tổng số kênh, đã đảm bảo chất lượng thích nghi (trong trường hợp này là mức chế áp) chỉ kém hơn 3dB so với giá trị tối ưu khi biết chính xác các tính chất tương quan của nhiễu. Phương pháp DMI rất nhạy cảm với độ chính xác của các phép tính: bậc ma trận khả nghịch càng lớn, thì các phép toán cộng và nhân phải được thực hiện càng chính xác. Máy tính chuyên dụng được sử dụng trong các hệ thống ra đa hiện đại chắc chắn đáp ứng các yêu cầu này.

Do đó, ở đây sẽ nghiên cứu hệ thống tự động bù khử đối với nhiễu tạp tích cực trong môi trường không dừng thông qua ví dụ về bộ tự động bù khử ba kênh dựa trên phương pháp DMI. Cụ thể hóa phương pháp này khi áp dụng cho bài toán tối thiểu hóa bình phương trung bình hiệu (4) nêu ở trên. Do đó, sẽ nhận được các quan hệ để đánh giá hiệu quả AK trong các điều kiện nhiễu khác nhau, đặc biệt là với sự có mặt ba nguồn NTTC, khi số lượng nhiễu vượt quá số kênh bù [1].

Bài toán tối thiểu hóa (4) là bài toán Bayes kinh điển (cả ở dạng tổng quát [2] và cũng như với các ứng dụng kỹ thuật vô tuyến liên quan [1]) với hàm phạt bậc hai do sai lệch ước tính so với giá trị thực đại lượng được ước tính. Nghiệm bài toán này trên tập hợp tất cả các ước tính có thể là đã biết và được xác định bởi kỳ vọng toán có điều kiện [2]

$$x_0 = \int_{(x_0)} x_0 p(x_0/X) dx_0 \quad (5)$$

Ở đây: $X[x_1, \dots, x_N]^T$ là vector bao gồm các giá trị nhiễu trong N kênh bù; $p(x_0/X)$ là mật độ xác suất nhiễu trong kênh chính khi vector X cố định.

Thực hiện thuật toán (5) bị cản trở bởi thực tế là nó đòi hỏi thông tin đầy đủ về các thuộc tính thống kê nhiễu. Do đó, ta giới hạn chỉ trong lớp ước tính tuyến tính dạng

$$\hat{x}_0 = AX \quad (6)$$

Trong đó A là ma trận hệ số.

Thay (6) vào (4) và tối thiểu hóa đối với A , dễ dàng cho thấy giá trị tối ưu ma trận này thỏa mãn phương trình Wiener-Hopf [1]

$$R_{x_0X} = AR_{XX} \quad (7)$$

Ở đây, $R_{x_0X} = \langle x_0 X^H \rangle$ là ma trận tương quan chéo nhiễu trong kênh chính và kênh bù; $R_{XX} = \langle XX^H \rangle$ là ma trận tương quan nhiễu trong các kênh bù; H là dấu hiệu liên hợp Hermitian.

Do đó, theo biểu thức (6) và (7), nhận được ước tính tuyến tính tốt nhất nhiễu trong kênh chính:

$$\hat{x}_0 = R_{x_0X} R_{XX}^{-1} X. \quad (8)$$

Cần lưu ý rằng, đối với trường hợp phổ biến trong thực tế, phân bố nhiễu Gaussian chung trong kênh chính và các kênh bù, các ước tính (5) và (8) trùng nhau [2].

Thay ước tính (8) vào (4) cho giá trị công suất dư còn lại sau khi bù khử

$$\eta_d = \sigma_0^2 - R_{x_0X} R_{XX}^{-1} R_{x_0X}^H, \quad (9)$$

trong đó, σ_0^2 là công suất nhiễu trong kênh chính trước khi chế áp.

$$\text{Do đó, mức chế áp nhiễu là } \eta_d = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_0^2 - R_{x_0X} R_{XX}^{-1} R_{x_0X}^H} \quad (10)$$

Việc thực hiện thuật toán (8) chỉ đòi hỏi kiến thức về tương quan ma trận R_{x_0X} và R_{XX} . Các ma trận này thông thường không biết trước nhưng theo mẫu thời gian của nhiễu có sẵn có thể nhận được ước tính tỷ số hợp lý cực đại của chúng

$$\hat{R}_{x_0X} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L x_0(l) X^H(l) \quad (11)$$

$$\hat{R}_{XX} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L X(l) X^H(l) \quad (12)$$

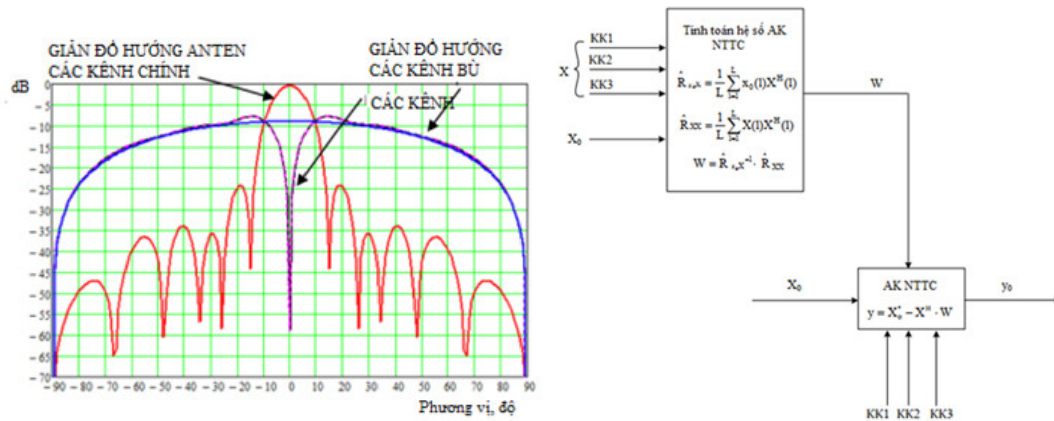
Trong đó l là thứ tự số đọc thời gian nhiều; L là lượng mẫu.

Như đã chỉ ra, khi thích nghi với nhiễu mạnh (khi có thể bỏ qua ảnh hưởng nội tap), số lượng mẫu L gấp đôi số kênh bù cho phép nhận được hệ số chế áp chỉ nhỏ hơn 3 dB so với giá trị lý thuyết được xác định bởi biểu thức (10) [3].

4. TỔNG HỢP THUẬT TOÁN NỘI SUY TUYẾN TÍNH CÁC HỆ SỐ BÙ TỰ ĐỘNG NHIỀU TẬP TÍCH CỰC

Xét bộ tự động bù khử (AK) NTTC ba kênh. Để đảm bảo thực hiện các thuật toán tự động bù khử nhiễu tích cực trong hệ thống anten hình thành ba GDH của kênh chính và các kênh bù (hình 2). Như có thể thấy từ hình 2, bên ngoài vùng cực đại búp chính GDHA các kênh bù chồng phủ các búp bên GDHA kênh chính, còn trong vùng cực đại chính hệ số khuếch đại kênh chính lớn hơn của các kênh bù 13 dB.

Sơ đồ chức năng AK NTTC ba kênh được trình bày trong hình 3.



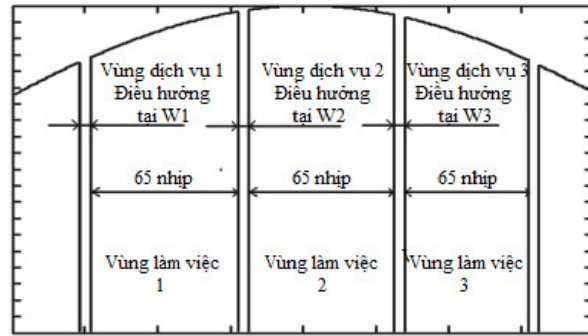
Hình 2. GDH kênh chính và các kênh bù. **Hình 3.** Sơ đồ chức năng AK NTTC ba kênh.

Khi triển khai bộ tự động bù khử đã lấy $L = 50$ nên với ba kênh bù cho phép điều chỉnh hiệu quả không chỉ đối với nhiễu tương đối yếu, mà cả với tạp riêng, khi ước tính $\hat{x}_0$ phải gần bằng không.

Bằng mô hình toán, khi hiệu chỉnh AK theo tạp riêng tổn hao tỷ số tín/tạp do các kênh bù không quá 0,2 dB. Bộ tự động bù khử được hiệu chỉnh vào cuối khoảng thời gian dịch vụ giữa hai chùm xung phát xạ, khi không có nhiễu thụ động.

Các tâm pha anten chính và anten bù được đặt cách nhau bởi một giá trị nhỏ hơn đáng kể so với phân tử phân biệt cự ly, trong trường hợp không có các yếu tố làm biến dạng, nhiều trong các kênh chính và kênh bù phải hoàn toàn tương quan. Điều này, theo (10), cung cấp sự chế áp vô hạn. Tuy nhiên, trong thực tế, luôn có sự khác biệt về biên độ - tần số trong phần thiết bị tương tự các kênh chính và kênh bù, dẫn đến sự suy giảm mức tương quan nhiễu [1]. Hơn nữa, do bộ tách pha và bộ lọc thông dải được triển khai ở dạng kỹ thuật số, còn băng tần bộ lọc, trong hầu hết các trường hợp thực tế, tương đối nhỏ (100 - 200 kHz), có thể dự kiến một mối tương quan khá cao giữa các kênh bù với kênh chính. Khi ấy, với hệ số tương quan $\rho = 0,999$ giữa kênh chính và kênh bất kỳ trong ba kênh bù, theo công thức (10), ta có được mức chế áp tổng công suất nhiễu khoảng 27 dB.

Giả sử, hệ thống ra đa hoạt động theo giản đồ thời gian được trình bày trong hình 4.



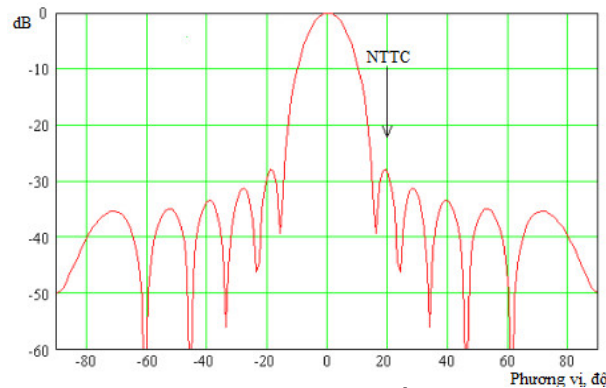
Chùm phương vị 260 nhíp

Hình 4. Giảm độ thời gian các chế độ hoạt động hệ thống ra đa.

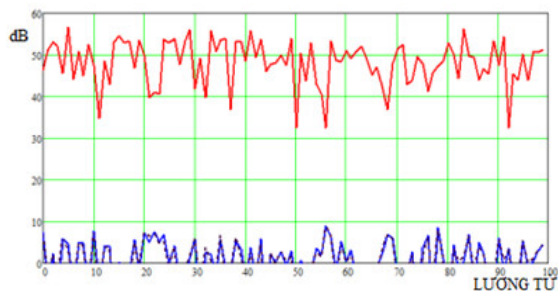
Khoảng thời gian giữa các khoảng dịch vụ, trong trường hợp này, $\sim 1/4$ chiều rộng GĐH OK ở mức âm 3 dB.

Xét chi tiết hơn về mô hình toán về ảnh hưởng sự không phối hợp giữa các tham số hệ số trọng số bộ tự động bù khử và vị trí không gian GĐHA và nguồn nhiễu liên quan đến chuyển động антен hệ thống ra đa [2].

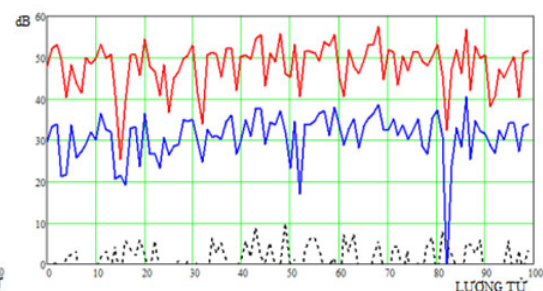
Hãy xét trường hợp với một nguồn gây nhiễu tạp tích cực duy nhất tác động vào búp bên thứ nhất kênh chính GĐH антен có công suất 60 dB (hình 5). Độ rộng GĐH $\beta_{GDH} = 10^\circ$ ở mức 3 dB.



Hình 5. Nguồn gây nhiễu tạp tích cực duy nhất tác động vào búp bên thứ nhất kênh chính GĐH антен.



Hình 6. Sự phụ thuộc dao động đầu vào và nhiễu đầu ra tại góc quét $\beta_{scan} = 0^\circ$.



Hình 7. Sự phụ thuộc dao động đầu vào và đầu ra nhiễu tại góc quét $\beta_{scan} = 1^\circ$

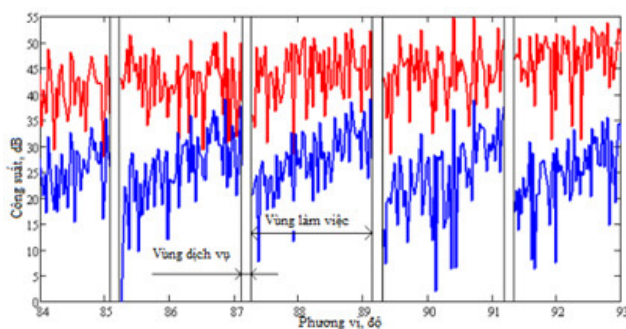
Các kết quả mô phỏng được thể hiện trong các hình 6 đến 9 cho thấy sự phụ thuộc nhiễu đầu vào (đường cong trên) và dao động đầu ra (đường cong dưới), cũng như nội tạp (đường nét đứt) bộ tự động bù khử nhiễu. Trên trục X là các lượng tử (rời rạc) cự ly. Hiệu

quả chế áp cực đại của AK đạt được khi chế áp hoàn toàn dao động nhiễu xuống đến mức nội tạp, được phản ánh trong hình 6.

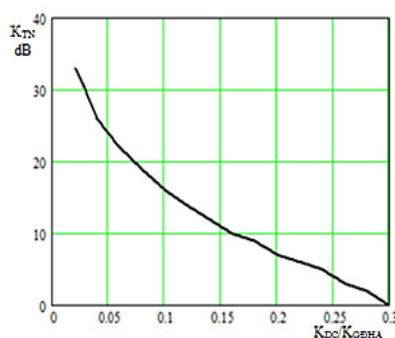
Hệ số trọng số (HSTS) được hình thành ở giai đoạn phân tích môi trường nhiễu và chế độ lựa chọn tần số hoạt động. Tuy nhiên, do GDHA ra đa quét hoặc thiết bị gây nhiễu di chuyển trong không gian, hệ số trọng số đã lưu trở nên lỗi thời. Tình huống này được xác nhận bởi các kết quả mô phỏng. Từ các biểu đồ trên cho thấy do Anten quét, hiệu suất làm việc bộ tự động bù khử suy giảm do hệ số chế áp giảm.

Trong hình 8 là đồ thị sự phụ thuộc mức NTTC trước (đường cong trên) và sau (đường cong dưới) tự động bù khử vào góc quay Anten với nhịp quan sát là 2 giây. Từ các đồ thị thấy rằng, do sự thay đổi trong mối quan hệ góc giữa tia Anten và thiết bị gây nhiễu, hệ số chế áp nhiễu giảm. Nếu sau khi hiệu chỉnh các trọng số ở đầu khoảng làm việc, hệ số chế áp nhiễu ($K_{chế áp}$) trung bình là ~ 25 dB, thì ở cuối khoảng này chỉ là $K_{chế áp} \sim 10$ dB. Hơn nữa, khoảng thời gian này càng dài thì mức chế áp trung bình NTTC càng thấp do mức độ “lỗi thời” các tham số trọng số AK.

Hình 9 là sự phụ thuộc hệ số triệt nhiễu vào góc dịch chuyển của thiết bị gây nhiễu. Có thể thấy rằng khi thiết bị gây nhiễu di chuyển một góc tương ứng với $1/3$ GDH Anten, hệ số triệt nhiễu giảm xuống đến không.

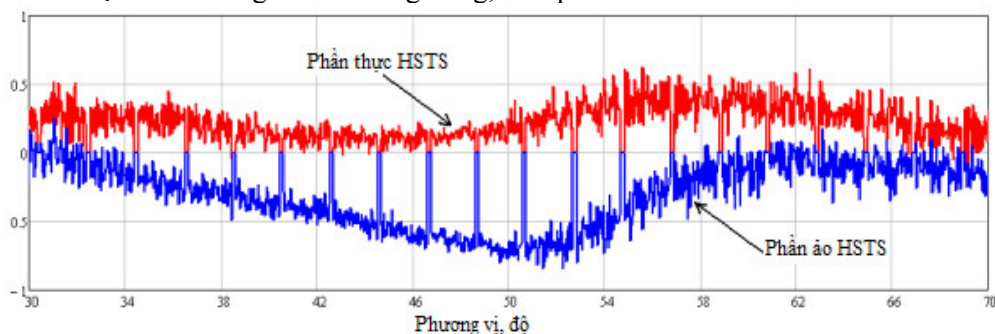


Hình 8. Đồ thị sự phụ thuộc công suất nhiễu vào góc quay Anten: khi tắt AK (đường cong trên); khi bật AK (đường cong dưới).



Hình 9. Sự phụ thuộc hệ số chế áp nhiễu vào góc dịch chuyển nguồn nhiễu.

Do đó, có thể kết luận rằng nhiệm vụ nâng cao hiệu quả hệ thống tự động bù khử nhiễu tập tích cực khi thay đổi mối quan hệ góc giữa tia Anten và thiết bị gây nhiễu, tức là trong các điều kiện môi trường nhiễu không dừng, là cấp thiết.

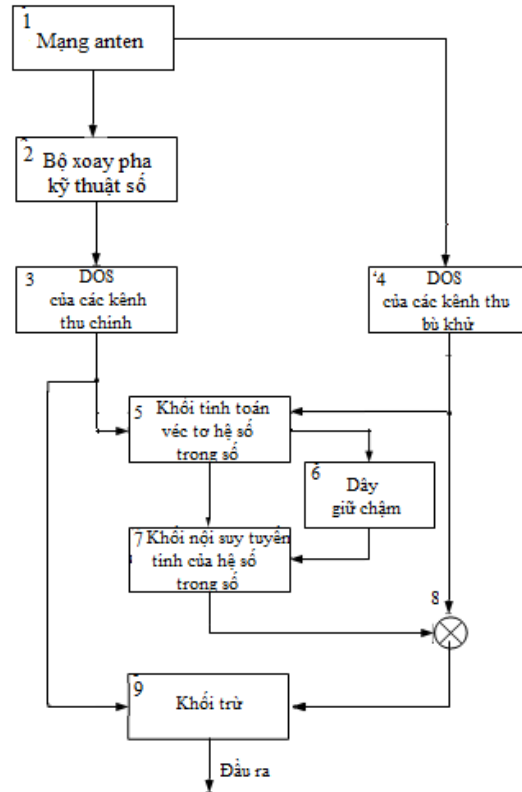


Hình 10. Sự thay đổi các trọng số AK NTTC được tính đối với từng chu kỳ làm việc, tùy thuộc vào góc quay Anten.

Xét các kết quả mô hình hóa để đánh giá tính cách biến đổi trong các giá trị trọng số trong khoảng làm việc. Hình 10 cho thấy giá trị các trọng số được tính toán trong mỗi chu kỳ làm việc. Có thể thấy rằng trong khoảng khu vực làm việc (giữa các vùng lờm đến 0,

tương ứng với khoảng dịch vụ), sự biến đổi các trọng số gần với quy luật tuyến tính.

Do đó, có thể kết luận rằng có thể tăng hiệu quả hệ thống bù tự động NTTC bằng cách giảm hiệu ứng không tương ứng giữa các tham số trọng số bộ tự động bù khử và vị trí không gian GĐHA và nguồn nhiễu liên quan đến quay anten ra đa bằng thủ tục nội suy tuyến tính các hệ số hiệu chỉnh được đề xuất.



Hình 11. Sơ đồ chức năng thiết bị AK NTTC với phép nội suy tuyến tính các hệ số hiệu chỉnh.

Xét thuật toán nội suy tuyến tính các hệ số bù khử tự động nhiễu NTTC. Trong khoảng dịch vụ đầu tiên, hệ số trọng số W_1 được hiệu chỉnh và lưu. Tín hiệu phát và tín hiệu có ích thu về trong khoảng làm việc đầu tiên. Tiếp theo, trong khoảng dịch vụ thứ hai thực hiện hiệu chỉnh kế tiếp và lưu giữ trọng số W_2 . Để bù nhiễu cho vùng làm việc đầu tiên, cần phải trừ hệ số trọng số W_1 khỏi hệ số trọng số W_2 và chia cho toàn bộ khoảng thời gian vùng làm việc D.

$$\Delta W = \frac{|W_2 - W_1|}{D} \quad (13)$$

Cách 1: Hiệu các trọng số (gia số trọng số) phải được nhân với số lần đọc hiệu chỉnh i và được cộng vào hệ số trọng số W_1 :

$$W = W_1 + \Delta W \cdot i \quad (14)$$

Cách 2: Kết quả chênh lệch về trọng số phải được nhân với số lượng số đọc hiệu chỉnh $i/2$ và thêm vào hệ số trọng số W_1 trước thời điểm giữa khu vực làm việc $D/2$, còn sau giữa khu vực làm việc thì nhân với các mẫu $i/2$ tiếp theo theo thứ tự ngược lại (từ i đến $i/2$) và thêm vào hệ số trọng số W_2 :

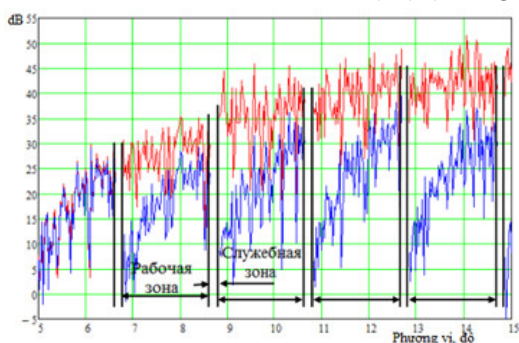
$$\begin{cases} W = W_1 + \Delta W \cdot i/2, D \leq D/2 \\ W = W_2 + \Delta W \cdot i/2, D > D/2 \end{cases} \quad (15)$$

Sơ đồ chức năng thiết bị AK NTTC với phép nội suy tuyến tính các hệ số hiệu chỉnh được thể hiện trong hình 11.

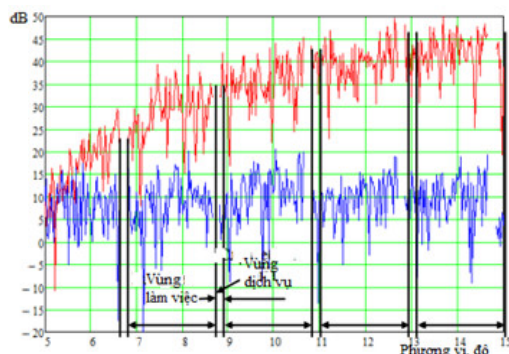
Do kết quả các biểu thức (14) và (15), cũng như theo sơ đồ chức năng (hình 11), ta sẽ xây dựng một mô hình toán một thiết bị thích nghi để bù nhiễu tự động với phép nội suy tuyến tính các hệ số AK NTTC. Hãy xét trường hợp tương tự với một nguồn NTTC tác động vào búp bên thứ nhất kênh chính GĐH anten với công suất 60 dB (hình 5). Độ rộng GĐH ở mức 3dB $\beta_{GDH} = 10^0$.

Hình 12 - 15 trình bày các kết quả mô phỏng:

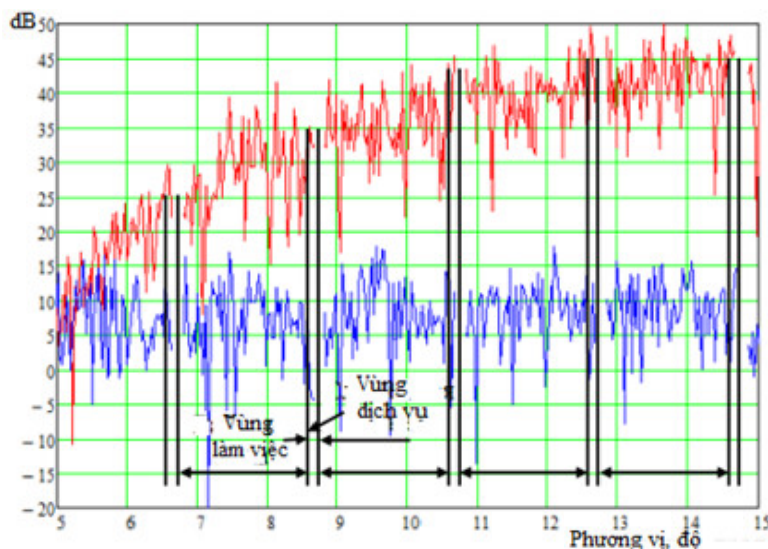
- NTTC được điều chế bởi GĐH kênh chính-OK (đường màu đỏ trong hình 12);
- NTTC ở đầu ra hệ thống AK khi không nội suy tuyến tính các trọng số (đường cong dưới trong hình 12);
- NTTC ở đầu ra hệ thống AK với phép nội suy tuyến tính các trọng số được thực hiện theo cách 1, theo các biểu thức (14) (đường cong dưới trong hình 13);
- NTTC ở đầu ra hệ thống AK với phép nội suy tuyến tính các trọng số, được thực hiện theo cách 2, theo các biểu thức (15) (đường cong dưới trong hình 14).



Hình 12. NTTC ở đầu ra hệ thống AK khi không nội suy tuyến tính trọng số.



Hình 13. NTTC ở đầu ra hệ thống AK với phép nội suy tuyến tính trọng số, thực hiện theo cách 1.



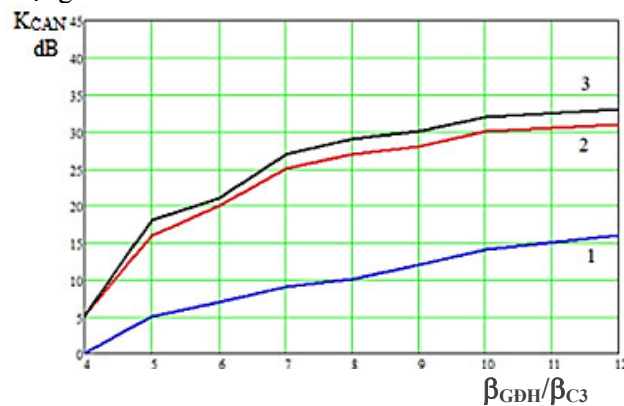
Hình 14. NTTC ở đầu ra hệ thống AK với phép nội suy tuyến tính trọng số, được thực hiện theo cách 2.

Đồ thị hình 15 là kết quả mô hình hóa sự phụ thuộc hệ số chế áp NTTC ($K_{chế áp}$) vào độ rộng giữa các vùng dịch vụ đối với trường hợp được xét (1 số vùng dịch vụ) đối với độ rộng GDHA kênh chính: không có nội suy tuyến tính HSTS (đường cong 1) phương pháp 1 (đường cong 2) và phương pháp 2 (đường cong 3). Trong đó: β_{GDH} là chiều rộng GDHA kênh chính ở mức âm 3 dB; β_{C3} - khoảng giữa các vùng dịch vụ.

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng khi không sử dụng phép nội suy tuyến tính các trọng số, hệ số chế áp trung bình NTTC không vượt quá 15 dB. Sử dụng phép nội suy tuyến tính các hệ số trọng số cho phép tăng hệ số chế áp NTTC trung bình từ 5 đến 15 dB.

Điều quan trọng cần lưu ý là sự phụ thuộc này cho phép giải quyết vấn đề triển khai tổ hợp các hệ thống AK NTTC và xử lý giữa các chu kỳ. Đó là, bằng cách chọn số lượng khoảng dịch vụ tối ưu, một mặt, sẽ đảm bảo được hệ số chế áp NTTC cần thiết và mặt khác, đảm bảo được tổn hao tối thiểu khi phát hiện tín hiệu bởi hệ thống xử lý giữa các chu kỳ.

Trong hình 12 có thể quan sát thấy ở cuối mỗi vùng làm việc, chế áp nhiễu bị giảm do ảnh hưởng lỗi thời trọng số AK.



Hình 15. Sự phụ thuộc hệ số chế áp nhiễu tạp tích cực vào độ rộng giữa các khoảng dịch vụ.

Mặc dù việc áp dụng quy trình nội suy tuyến tính HSTS trong thời gian thực đòi hỏi sử dụng các tài nguyên và bộ nhớ máy tính bổ sung (cần phải ghi nhớ tất cả các nhịp chu kỳ dịch vụ và sau khi tính các giá trị HSTS, nhiễu trong kênh chính được trừ các ước tính được hình thành có tính đến các hiệu chỉnh đối với mỗi nhịp ghi nhớ). Đó không phải là trở ngại cho việc thực hiện thuật toán đề xuất vì tài nguyên máy tính số của các hệ thống ra đa đa chức năng hiện đại cho phép khả năng này.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp tổng hợp hệ thống tự động bù khử nhiễu tạp tích cực trong môi trường nhiễu không dừng. Thuật toán bộ tự động bù khử ba kênh nhiễu tạp tích cực được xem xét dựa trên phương pháp đảo ngược trực tiếp ma trận tương quan nhiễu khi các tín hiệu nhiễu phân bố Gaussian với ma trận tương quan suy biến. Qua đó, đã chứng minh hiệu quả các phương pháp bù khử nhiễu tích cực hiện tại giảm đáng kể trong trường hợp nhiễu không dừng do sự không phối hợp các tham số trọng số bộ tự động bù khử với vị trí không gian gián đồ anten và nguồn nhiễu trong quá trình quay anten hệ thống radar.

Quan hệ phụ thuộc giữa hệ số chế áp và giá trị khoảng thời gian giữa các vùng nhận được dùng để tính hệ số hiệu chỉnh bộ bù khử tự động. Đã cho thấy sự phụ thuộc này cho phép tổng hợp tối ưu hệ thống bù khử nhiễu, cung cấp hệ số chế áp cần thiết với tổn thất tối thiểu về tỷ số tín/tạp khi phát hiện tín hiệu bằng hệ thống xử lý giữa các chu kỳ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Introduction to Adaptive Arrays. Robert A. Monzingo, Thomas W. Miller -2004.
- [2]. W.L. Melvin, "*Application of STAP in advanced sensor systems*," Proceedings of the Research and Technology Agency, North Atlantic Treaty Organization (RTA-NATO) Lecture Series 228 - Military Applications of Space-Time Adaptive Processing, September 2002.
- [3]. L.E. Brennan and I.S. Reed, "*Theory of adaptive radar*," IEEE Trans. AES, Vol. 9, No. 2, March 1973, pp. 237-252.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF AUTOMATIC DISPOSAL REMEDIATION SYSTEM IN NOISE STOP CONDITIONS

One of the main methods widely used in active noise jammer cancellation is to form concave (zero) zones in the antenna pattern of radar towards the jamming source by using adaptive phased array antennas or auto compensate sidelobes. The effective protection of radar from active noise jammer is primarily determined by the level of the buds on the antenna pattern side, where active noise is most likely to be affected. In fact, due to the motion of the radar antenna or interfering source, the active noise becomes non-stationary when the radar system has "service" intervals. Automated active noise compensation systems are built base on forming weight vectors by reversing the obtained matrix (called direct inverse correlation matrix (NOM) combined with the algorithm Linear weight vector interpolation allows the maintenance of non-stationary active noise compensatory quality.

Keywords: Antenna pattern; Active noise; Interference correlation matrix (CMP); Weight vectos.

Nhận bài ngày 05 tháng 02 năm 2020

Hoàn thiện ngày 20 tháng 02 năm 2020

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 4 năm 2020

Địa chỉ: Viện Ra đa, Viện KH – CN quân sự.

**Email:* ntt7680@gmail.com.