



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0052728

(51)^{2022.01} G02B 26/00

(13) B

(21) 1-2022-04118

(22) 30/06/2022

(45) 27/10/2025 451

(43) 27/03/2023 420A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

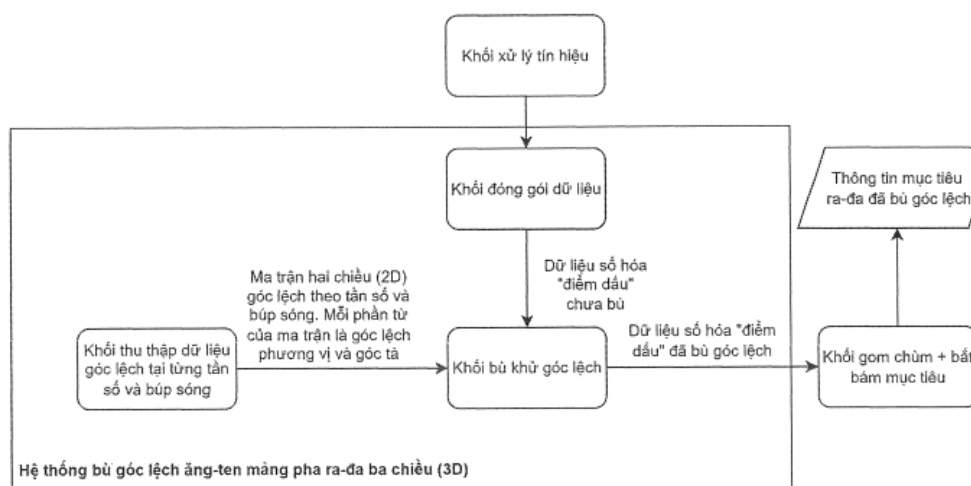
(72) NGUYỄN VĂN KHƯƠNG (VN); NGUYỄN MẠNH TUẤN (VN); NGÔ THỊ HƯỜNG (VN); TRẦN TRUNG KIÊN (VN); NGUYỄN NHƯ THÀNH (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP BÙ KHỦ GÓC LỆCH BÚP SÓNG ẲNG-TEN MẢNG PHA TRONG RA-ĐA BA CHIỀU (3D)

(21) 1-2022-04118

(57) Sáng chế đề xuất phương bù khử góc lệch phương vị, góc tà trong ăng-ten mảng pha đài ra-đa ba chiều (3D). Sáng chế sử dụng hai phương pháp xác định góc lệch là phương pháp mô phỏng dữ liệu ăng-ten trên phần mềm chuyên dụng và phương pháp phân tích thống kê dữ liệu góc lệch thực tế giữa dữ liệu mục tiêu ra-đa và mục tiêu tham chiếu (ADSB), từ dữ liệu đã thống kê được, sáng chế sử dụng phương pháp bù khử góc lệch phương vị và góc tà.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới phương pháp bù khử góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha trong ra-đa ba chiều (3D). Cụ thể, phương pháp bù khử góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha trong ra-đa ba chiều (3D) trong sáng chế này liên quan đến lĩnh vực hiệu chỉnh độ chính xác của mục tiêu ra-đa trong hệ thống ra-đa ba chiều (3D).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hệ thống ra-đa ba chiều (3D) thường sử dụng ăng-ten mảng pha có khả năng quét điện tử theo góc tà, cho phép đài ra-đa xác định được tọa độ ba chiều (3D) của mục tiêu. Trong hệ thống ăng-ten mảng pha, mỗi phần tử phát xạ được cấp pha thông qua bộ dịch pha (phase shifters) để búp sóng tổng hợp có khả năng quét điện tử theo hướng mong muốn nhanh chóng và linh động hơn so với quay cơ khí ăng-ten. Ngoài ra, đài ra-đa ba chiều (3D) còn yêu cầu ăng-ten có mức búp sóng phụ rất nhỏ sẽ tăng khả năng chế áp nhiễu tích cực lên búp sóng phụ.

Với những ưu điểm như kết cấu cơ khí gọn nhẹ, dễ dàng gia công, công suất chịu đựng cao (hàng MW), suy hao thấp, ăng-ten mảng khe ống dẫn sóng được sử dụng rộng rãi cho các đài ra-đa ba chiều (3D). Trong đó, mỗi hàng ăng-ten là một ống dẫn sóng, trên mỗi ống sóng được trổ các khe, mỗi khe tương đương một chấn tử của mảng trong mặt phẳng phương vị, được tiếp điện nối tiếp nhau và phát xạ sóng điện từ vào không gian. Mảng ăng-ten hai chiều (2D) được tạo thành từ việc kết hợp nhiều ống sóng với nhau trong mặt phẳng góc tà. Để tối ưu khoảng cách giữa các hàng ăng-ten trong mặt phẳng góc tà, hệ ăng-ten cho đài ra-đa ba chiều (3D) thường được trổ khe ở thành hẹp ống sóng.

Trong mặt phẳng phương vị, để đạt được mức cánh sóng phụ mong muốn thì biên độ phát xạ sóng điện từ của mỗi khe phải được kiểm soát hiệu quả. Biên độ này tỉ lệ thuận với góc nghiêng mỗi khe nếu ăng-ten xẻ khe chéo hoặc tỉ lệ với khoảng cách của khe tới trục đối xứng của ống sóng nếu ăng-ten xẻ khe dọc theo chiều dài ống sóng. Khoảng cách các khe là P , khi đó hướng búp sóng trong mặt phẳng phương vị sẽ lệch một góc φ_0 so với

trục vuông góc với mặt phẳng phát xạ của ăng-ten. Giá trị góc lệch này thay đổi theo tần số và được xác định bằng công thức sau:

$$\varphi_0 = a \sin\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_G} + \frac{\lambda_0}{2P} + \phi_0\right) \quad (1)$$

Trong đó:

- λ_0 : bước sóng tại tần số f_0 trong không gian tự do;
- P : chu kỳ khe trong ống sóng ăng-ten;
- λ_G : bước sóng trong ống sóng tại tần số f_0 tương ứng;
- ϕ_0 : độ lệch pha cố định của mỗi hàng ăng-ten. Đối với mảng đồng pha thì $\phi_0=0$.

Bước sóng λ_G được tính bằng công thức sau:

$$\lambda_G = \frac{2}{\sqrt{\frac{4}{\lambda^2} - \frac{1}{a^2}}} \quad (2)$$

Trong đó: a là kích thước thành rộng lòng trong ống sóng.

Khi quét búp sóng trong mặt phẳng góc tầ, thì độ lệch pha giữa các hàng ăng-ten ở công thức (1) $\phi_0 \neq 0$, độ lệch phương vị của hệ $\varphi_s \neq \varphi_0$. Góc quét càng lớn thì góc lệch phương vị càng lớn.

Do vậy, cần thiết phải nghiên cứu và đề xuất phương án khử góc lệch búp sóng trong ăng-ten mảng pha. Việc này rất có ý nghĩa trong việc cải thiện độ chính xác, độ tin cậy của mục tiêu ra-đa.

Theo tra cứu của nhóm tác giả, trên thế giới có một số nghiên cứu đề xuất giải pháp cho vấn đề khử góc lệch búp sóng trong ăng-ten mảng pha như: xây dựng mối liên hệ (bằng hàm số) giữa góc lệch búp sóng $\Delta\theta$ và độ lệch tần số Δf , sử dụng TTD (True Time Delay: trễ thời gian) thay cho bộ dịch pha (Phase Shifter). Tuy nhiên, các phương án này chưa khả thi trong thực tế. Trong sáng chế này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp khử góc lệch búp sóng dựa trên đánh giá sản phẩm thực tế tại trận địa, đảm bảo tính khả thi cũng như ứng dụng thực tế.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp để bù góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha trong ra-đa ba chiều (3D) dựa trên các thông tin tần số phát sóng và búp sóng của tín hiệu phản xạ.

Hệ thống bù góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha được đề xuất bao gồm: khối thu thập dữ liệu, khối đóng gói dữ liệu, khối bù góc lệch. Trong đó:

Khối thu thập dữ liệu: thực hiện thu thập dữ liệu góc lệch phương vị, góc tà theo từng tần số và búp sóng. Đầu ra của khối này là ma trận hai chiều (2D) dữ liệu góc lệch về phương vị và góc tà theo từng tần số và búp sóng.

Khối đóng gói dữ liệu: thực hiện đóng gói thông tin tín hiệu phản xạ từ khối xử lý tín hiệu kèm theo dữ liệu búp sóng đang sử dụng và tần số đang hoạt động.

Khối bù góc lệch: thực hiện bù góc lệch điểm đầu mục tiêu, đầu ra là dữ liệu điểm đầu đã bù góc lệch về phương vị, góc tà.

Để đạt được mục đích nêu trên, hệ thống thực hiện theo ba bước chính, bao gồm:

Bước 1: thống kê dữ liệu góc lệch phương vị, góc tà theo tần số và búp sóng; bước 2: điều khiển quét búp sóng và đóng gói thông tin tín hiệu phản xạ từ khối xử lý tín hiệu; bước 3: bù góc lệch dựa trên dữ liệu đã thống kê trong bước 1 và tín hiệu phản xạ nhận được từ khối xử lý tín hiệu trên hệ thống xử lý thông tin.

Trong sáng chế này, tại bước 1, đề xuất hai phương pháp thống kê dữ liệu góc lệch theo từng tần số và búp sóng; phương pháp thứ nhất là sử dụng phần mềm mô phỏng chuyên dụng để xác định đồ thị bức xạ của hệ thống ăng-ten trong trường xa theo từng tần số và búp sóng tương ứng; phương pháp thứ hai là thống kê dữ liệu góc lệch dựa trên sai lệch giữa thông tin mục tiêu tham chiếu (ADSB) và mục tiêu ra-đa bắt được tại từng tần số và búp sóng, dữ liệu đầu ra của bước này là tập hợp ma trận hai chiều (2D) dữ liệu góc lệch về phương vị và góc tà theo từng tần số và búp sóng. Tại bước 2, khi phát tín hiệu ra ngoài không gian và nhận tín hiệu phản xạ về, khối xử lý tín hiệu sẽ phân loại đâu là điểm đầu, đâu là nhiễu, đóng gói các thông tin lại kèm thêm thông tin về búp sóng và tần số đang hoạt động để truyền cho khối xử lý thông tin. Tại bước 3, khối xử lý thông tin dựa trên

thông tin của khối xử lý tín hiệu và dữ liệu đã thống kê góc lệch tại bước 1, thực hiện bù khử hiện tượng lệch phương vị và góc tà.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là sơ đồ hệ thống bù góc lệch ăng-ten mảng pha ra-đa ba chiều (3D);

Hình 2 là sơ đồ phương pháp thống kê góc lệch dựa trên dữ liệu mục tiêu tham chiếu và ra-đa tại một cặp tần số - búp sóng;

Hình 3 là hình ảnh mô tả đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng của mười một hàng ăng-ten theo các búp quét tại tần $f_0 - \Delta f$;

Hình 4 là hình ảnh mô tả đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng của mười hai hàng ăng-ten theo các búp quét tại tần f_0 .

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả chi tiết về phương pháp bù khử góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha dựa trên hình vẽ (Hình 1 là sơ đồ tổng thể của hệ thống), ví dụ kèm theo diễn giải. Cụ thể như sau:

Bước 1: thống kê dữ liệu góc lệch phương vị, góc tà theo tần số và búp sóng cho khối thu thập dữ liệu, đầu ra của khối này là ma trận hai chiều (2D) dữ liệu góc lệch.

Theo phương pháp thứ nhất, sáng chế đề xuất sử dụng phần mềm mô phỏng chuyên dụng để xác định đồ thị bức xạ của hệ thống ăng-ten trong trường xa theo từng tần số và búp sóng tương ứng, nên sử dụng phương pháp này khi hệ thống không có nguồn dữ liệu thứ cấp như mục tiêu tham chiếu và có đầy đủ những tham số của hệ thống để việc mô phỏng có kết quả chính xác, cụ thể các bước như sau:

- Cấp nguồn cho mỗi hàng ăng-ten với góc lệch pha tương ứng với mỗi búp sóng (beam), mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng để xác định đồ thị bức xạ của hệ thống ăng-ten trong trường xa theo từng tần số.

- Xây dựng bảng dữ liệu góc lệch theo phương vị và góc tà ứng với từng tần số và từng búp sóng.

Ví dụ về dữ liệu góc lệch phương vị, góc tà theo tần số, búp sóng cho mười hai hàng ăng-ten khe với bộ dịch pha số 6 bit, bước pha là 5,625 độ: quy định búp 0 tương ứng độ lệch pha giữa các hàng ăng-ten là $0 \times 5,625 = 0$ độ, búp 1 tương ứng độ lệch pha giữa các

hàng ăng-ten là $1 \times 5,625 = 5,625$ độ,... Cấp nguồn cho mười hai hàng ăng-ten với độ lệch pha tương ứng với mỗi búp sóng. Hình 3 mô tả đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng của mười hai hàng ăng-ten theo các búp quét tại tần $f_0 - \Delta f$. Hình 4 mô tả đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng của mười hai hàng ăng-ten theo các búp quét tại tần f_0 . Ta thấy, góc quét trong mặt phẳng góc tà càng lớn thì góc lệch phương vị càng tăng.

Theo phương pháp thứ hai, tại bước 1, sáng chế đề xuất thống kê dữ liệu góc lệch dựa trên sai lệch giữa thông tin mục tiêu tham chiếu (ADS-B) và mục tiêu ra-đa bắt được tại từng tần số và búp sóng tương ứng (Hình 2). Sử dụng phương pháp này khi cần đánh giá sản phẩm thực tế tại trận địa, không phụ thuộc vào các độ chính xác, sai số của hệ thống, đảm bảo tính khả thi cũng như ứng dụng trong thực tế. Cụ thể các bước:

Sử dụng thiết bị thu ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast: hệ thống giám sát máy bay tự động dựa trên hệ thống thông tin định vị toàn cầu GPS) để thu tất cả dữ liệu tham chiếu ADS-B của các máy bay hàng không dân dụng. Hệ thống sẽ thực hiện ghép cặp mục tiêu ADS-B với mục tiêu ra-đa dựa trên sự tương đồng về vị trí, quỹ đạo, độ cao, vận tốc, hướng đi và thời gian phát hiện. Sáng chế dựa vào thống kê dữ liệu vị trí giữa các cặp mục tiêu đã ghép cặp để xác định góc lệch tại các dải tần và búp sóng khác nhau. Phương pháp thống kê gồm có năm bước chính:

Bước 1.1: thu thập dữ liệu mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B ở các tần số và búp sóng khác nhau ($N \times M$ phiên dữ liệu);

Dữ liệu thu thập của mỗi loại mục tiêu bao gồm các thông tin sau: phương vị θ , cự ly r , góc tà ε , thời gian phát hiện t (s);

Bước 1.2: ghép cặp mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B tại mỗi phiên dữ liệu;

Gọi $(\Delta\theta, \Delta r, \Delta\varepsilon, \Delta t)$ là các hằng số tùy thuộc vào sai số đo đạc của bản thân ra-đa và sai số từ hệ thống ADS-B. Các thông số này thống kê từ dữ liệu thực tế.

Sử dụng lưới bốn miền dữ liệu phương vị, cự ly, góc tà, thời gian, kích thước mỗi ô lưới bằng các giá trị tương ứng với các hằng số $(\Delta\theta, \Delta r, \Delta\varepsilon, \Delta t)$. Dựa vào vị trí của mục tiêu ra-đa và ADS-B, thực hiện chia các mục tiêu vào các ô lưới theo bốn miền dữ liệu.

Điều kiện để ghép cặp thành công là những cặp mục tiêu có cùng vị trí trên các ô lưới theo bốn miền dữ liệu ở nhiều vòng quan sát liên tiếp nhau.

Bước 1.3: nội suy trên dữ liệu ADS-B tại thời điểm xuất hiện mục tiêu;

Do thời gian xuất hiện mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B có thể khác nhau, thời gian để đài ra-đa phát hiện vị trí mới của mục tiêu phụ thuộc vào tốc độ vòng quét của ra-đa còn thời gian cập nhật vị trí của mục tiêu ADS-B phụ thuộc vào thiết bị thu ADS-B. Thông thường thời gian cập nhật vị trí của ADS-B nhanh hơn nhiều với mục tiêu ra-đa. Cho nên cần chuẩn hóa vị trí của hai loại mục tiêu trên cùng một thời điểm để có thể tính chính xác giá trị lệch của mục tiêu ra-đa và mục tiêu tham chiếu ADS-B. Lựa chọn thời gian phát hiện mục tiêu ra-đa là chuẩn do khoảng thời gian cập nhật lớn hơn. Cụ thể:

Gọi t_i^R là thời điểm phát hiện mục tiêu ra-đa tại vòng quét thứ i , t_j^A là thời điểm cập nhật mục tiêu ADS-B lần thứ j (hai mục tiêu ra-đa và ADS-B là hai mục tiêu đã xác định là ghép cặp thành công), t^* là thời gian trên thang thời gian cập nhật mục tiêu ADS-B được chiếu từ thang thời gian cập nhật mục tiêu ra-đa tại thời điểm t_i^R , tiến hành xác định hai khoảng thời gian cập nhật lân cận t^* là t_j^A và t_{j+1}^A .

Tiến hành nội suy ra dữ liệu góc tà (ε^*) và phương vị (θ^*) của mục tiêu ADS-B tại thời điểm t^* (thời điểm mục tiêu ra-đa phát hiện được). Sử dụng công thức sau:

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_{j+1}^A - \varepsilon_j^A}{t_{j+1}^A - t_j^A} (t^* - t_j^A); \quad \theta^* = \frac{\theta_{j+1}^A - \theta_j^A}{t_{j+1}^A - t_j^A} (t^* - t_j^A)$$

Bước 1.4: xác định độ lệch phương vị, góc tà giữa mục tiêu ra-đa và dữ liệu ADS-B nội suy.

Sau khi đã xác định được các dữ liệu góc tà, phương vị của tất cả các quỹ đạo của mục tiêu ra-đa và ADS-B tại cùng một thang thời gian. Thực hiện xác định độ lệch giữa mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B đã nội suy tại tất cả các vòng quan sát của mục tiêu ra-đa.

Sử dụng phương pháp tính RMSE (Root Mean Square Error: căn bậc hai trung bình tổng bình phương sai số) để xác định độ lệch trung bình trên tất cả quỹ đạo của mục tiêu ra-đa và ADS-B.

$$\Delta_{\varepsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i^A - \varepsilon_i^R)^2}{N}}; \quad \Delta_{\theta} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\theta_i^A - \theta_i^R)^2}{N}};$$

Trong đó Δ_{ε} là sai số RMSE độ lệch góc tà của mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B;

Δ_{θ} là sai số RMSE độ lệch phương vị của mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B.

Bước 1.5: tổng hợp dữ liệu độ lệch phương vị, góc tà của nhiều cặp mục tiêu và sử dụng phương pháp Histogram để tính ra độ lệch.

Thực hiện xác định độ lệch phương vị, góc tà của tất cả các cặp mục tiêu đã ghép cặp, tạo thành các mẫu dữ liệu, sử dụng phương pháp Histogram để chia các mẫu vào các bin, mỗi bin có độ rộng bằng nhau và ứng với một khoảng độ lệch. Với đặc trưng dữ liệu, góc lệch sẽ phân bố đều ở mọi hướng và các cự ly khác nhau, cho nên độ lệch sẽ phân bố theo phân phối chuẩn (Gauss), khi đó thực hiện xác định giá trị độ lệch phương vị, góc tà bằng trung bình trọng số dựa trên tần xuất xuất hiện của các bin độ lệch.

Sau bước này, đã thống kê được độ lệch phương vị và góc tà tại các tần số và búp sóng khác nhau. Các bước trong khối thu thập dữ liệu chỉ thực hiện trong quá trình hiệu chỉnh hệ thống, nhằm đưa ra được 1 bộ số góc lệch chuẩn để thực hiện bù khử trong quá trình bắt bám mục tiêu ra-đa.

Bước 2: điều khiển quét búp sóng và đóng gói thông tin tín hiệu phản xạ từ khối xử lý tín hiệu.

Khi phát tín hiệu ra ngoài không gian, tại mỗi thời điểm hệ thống xử lý tín hiệu sẽ thực hiện điều khiển các bộ dịch pha (phase shifter) đến một giá trị pha xác định (tương ứng với một búp sóng xác định) theo một quy luật cho trước, quy luật này có thể được thiết lập trước hoặc tùy chỉnh theo yêu cầu người dùng; tín hiệu phản xạ sau khi đi qua hệ thống xử lý tín hiệu sẽ được trích xuất dưới dạng số hóa thành các “điểm dấu” trên các ô phân giải của lưới phương vị - cự ly theo tọa độ cực hai chiều (2D) và thông tin góc tà. Các điểm dấu này là các điểm dấu chưa bù, khối đóng gói dữ liệu sẽ thực hiện đóng gói các điểm dấu chưa bù này kèm theo đó là thông tin về búp sóng được sử dụng và tần số đang hoạt động. Toàn bộ thông tin sau khi được số hóa sẽ được đóng gói và truyền cho hệ thống xử lý thông tin.

Bước 3: bù góc lệch dựa trên dữ liệu đã thống kê trong bước 1 và tín hiệu phản xạ nhận được từ khối xử lý tín hiệu tại bước 2 trên hệ thống xử lý thông tin.

Khối xử lý thông tin nhận được tập hợp các điểm dấu từ khối xử lý tín hiệu. Các điểm dấu này bao gồm các thông tin như sau:

- Vị trí: phương vị (θ), cự ly (r), góc tà (ε);
- Giá trị Doppler, công suất tín hiệu phản hồi tại vị trí của điểm dấu;
- Tần số phát (f), Beam ID (β).

Bảng thống kê dữ liệu góc lệch có dạng ma trận hai chiều (2D) kích thước $N \times M$ (trong đó N là số lượng tần số hoạt động của đài, M là số lượng búp sóng - beam).

$$\begin{bmatrix} O_{\beta_0}^{f_0} & O_{\beta_0}^{f_1} & \dots & O_{\beta_0}^{f_N} \\ O_{\beta_1}^{f_0} & O_{\beta_1}^{f_1} & \dots & O_{\beta_1}^{f_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{\beta_M}^{f_0} & O_{\beta_M}^{f_1} & \dots & O_{\beta_M}^{f_N} \end{bmatrix} (N \times M)$$

Giá trị mỗi vị trí của ma trận là giá trị hiệu chỉnh góc lệch (phương vị, góc tà) cho từng tần số và từng búp sóng (beam): $O_{\beta_j}^{f_i} = (\Delta_\theta, \Delta_\varepsilon)$ với Δ_θ là góc lệch phương vị (đơn vị độ) và Δ_ε (đơn vị độ).

Khi khối xử lý thông tin nhận được điểm dấu, khi đó đã xác định tần số phát và búp sóng của mỗi điểm dấu, truy vấn vào bảng thống kê dữ liệu từ bước 1 để xác định góc lệch phương vị và góc tà tại điểm dấu đó; gọi giá trị góc lệch đã truy vấn được là Δ_θ và Δ_ε .

Khối bù khử góc lệch sẽ thực hiện bù giá trị phương vị, góc tà tại mỗi điểm dấu để được giá trị phương vị, góc tà mới:

$$\begin{cases} \theta_* = \theta - \Delta_\theta \\ \varepsilon_* = \varepsilon - \Delta_\varepsilon \end{cases} \text{ với } \theta_* \text{ là giá trị phương vị mới và } \varepsilon_* \text{ là giá trị góc tà mới của điểm dấu.}$$

Tập hợp các điểm dấu sau khi đã bù giá trị góc lệch về phương vị và cự ly sẽ được đưa qua khối gom chùm và khối bắt bám mục tiêu để hình thành lên quỹ đạo mục tiêu để

hiển thị trên màn hình ra-đa. Thông tin về phương vị, góc tà của các mục tiêu này đã được bù góc lệch phương vị, góc tà theo dữ liệu đã được thống kê, phân tích.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Các kết quả thực nghiệm với dữ liệu thật thu được từ đài ra-đa ba chiều (3D) băng S tại Việt Nam cho thấy thông tin mục tiêu ra-đa sau khi bù góc lệch phương vị, góc tà tương đối khớp với dữ liệu nguồn tham chiếu (ADS-B).

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp bù khử góc lệch búp sóng ăng-ten mảng pha trong ra-đa ba chiều (3D), bao gồm các bước:

bước 1: thống kê dữ liệu góc lệch phương vị, góc tà theo tần số và búp sóng cho khối thu thập dữ liệu, đầu ra của khối này là ma trận hai chiều (2D) dữ liệu góc lệch;

theo phương pháp thứ nhất, sử dụng phần mềm mô phỏng chuyên dụng để xác định đồ thị bức xạ của hệ thống ăng-ten trong trường xa theo từng tần số và búp sóng tương ứng, cụ thể các bước như sau:

cấp nguồn cho mỗi hàng ăng-ten với góc lệch pha tương ứng với mỗi búp sóng (beam), mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng để xác định đồ thị bức xạ của hệ thống ăng-ten trong trường xa theo từng tần số;

xây dựng bảng dữ liệu góc lệch theo phương vị và góc tà ứng với từng tần số và từng búp sóng;

theo phương pháp thứ hai, tại bước 1, thống kê dữ liệu góc lệch dựa trên sai lệch giữa thông tin mục tiêu tham chiếu (ADS-B) và mục tiêu ra-đa bắt được tại từng tần số và búp sóng tương ứng; cụ thể các bước:

bước 1.1: thu thập dữ liệu mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B ở các tần số và búp sóng khác nhau ($N \times M$ phiên dữ liệu);

dữ liệu thu thập của mỗi loại mục tiêu bao gồm các thông tin sau: phương vị θ , cự ly r , góc tà ε , thời gian phát hiện t (s);

bước 1.2: ghép cặp mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B tại mỗi phiên dữ liệu;

gọi $(\Delta\theta, \Delta r, \Delta\varepsilon, \Delta t)$ là các hằng số tùy thuộc vào sai số đo đạc của bản thân ra-đa và sai số từ hệ thống ADS-B; các thông số này thống kê từ dữ liệu thực tế.

sử dụng lưới bốn miền dữ liệu phương vị, cự ly, góc tà, thời gian, kích thước mỗi ô lưới bằng các giá trị tương ứng với các hằng số $(\Delta\theta, \Delta r, \Delta\varepsilon, \Delta t)$; dựa vào vị trí của mục tiêu ra-đa và ADS-B, thực hiện chia các mục tiêu vào các ô lưới theo bốn miền dữ liệu;

điều kiện để ghép cặp thành công là những cặp mục tiêu có cùng vị trí trên các ô lưới theo bốn miền dữ liệu ở nhiều vòng quan sát liên tiếp nhau;

bước 1.3: nội suy trên dữ liệu ADS-B tại thời điểm xuất hiện mục tiêu;

gọi t_i^R là thời điểm phát hiện mục tiêu ra-đa tại vòng quét thứ i , t_j^A là thời điểm cập nhật mục tiêu ADS-B lần thứ j (hai mục tiêu ra-đa và ADS-B là hai mục tiêu đã xác định là ghép cặp thành công), t^* là thời gian trên thang thời gian cập nhật mục tiêu ADS-B được chiếu từ thang thời gian cập nhật mục tiêu ra-đa tại thời điểm t_i^R , tiến hành xác định hai khoảng thời gian cập nhật lân cận t^* là t_j^A và t_{j+1}^A ;

tiến hành nội suy ra dữ liệu góc tà (ε^*) và phương vị (θ^*) của mục tiêu ADS-B tại thời điểm t^* (thời điểm mục tiêu ra-đa phát hiện được). Sử dụng công thức sau:

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_{j+1}^A - \varepsilon_j^A}{t_{j+1}^A - t_j^A} (t^* - t_j^A); \quad \theta^* = \frac{\theta_{j+1}^A - \theta_j^A}{t_{j+1}^A - t_j^A} (t^* - t_j^A)$$

bước 1.4: xác định độ lệch phương vị, góc tà giữa mục tiêu ra-đa và dữ liệu ADS-B nội suy;

sử dụng phương pháp tính RMSE (root mean square error: căn bậc hai trung bình tổng bình phương sai số) để xác định độ lệch trung bình trên tất cả quỹ đạo của mục tiêu ra-đa và ADS-B:

$$\Delta_\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i^A - \varepsilon_i^R)^2}{N}}; \quad \Delta_\theta = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\theta_i^A - \theta_i^R)^2}{N}};$$

trong đó:

Δ_ε là sai số RMSE độ lệch góc tà của mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B;

Δ_θ là sai số RMSE độ lệch phương vị của mục tiêu ra-đa và mục tiêu ADS-B;

bước 1.5: tổng hợp dữ liệu độ lệch phương vị, góc tà của nhiều cặp mục tiêu và sử dụng phương pháp histogram để tính ra độ lệch;

thực hiện xác định độ lệch phương vị, góc tà của tất cả các cặp mục tiêu đã ghép cặp, tạo thành các mẫu dữ liệu, sử dụng phương pháp histogram để chia các mẫu vào các bin, mỗi bin có độ rộng bằng nhau và ứng với một khoảng độ lệch; với

đặc trưng dữ liệu, góc lệch sẽ phân bố đều ở mọi hướng và các cự ly khác nhau, cho nên độ lệch sẽ phân bố theo phân phối chuẩn (gauss), khi đó thực hiện xác định giá trị độ lệch phương vị, góc tà bằng trung bình trọng số dựa trên tần xuất xuất hiện của các bin độ lệch;

sau bước này, đã thống kê được độ lệch phương vị và góc tà tại các tần số và búp sóng khác nhau; các bước trong khối thu thập dữ liệu chỉ thực hiện trong quá trình hiệu chỉnh hệ thống, nhằm đưa ra được một bộ số góc lệch chuẩn để thực hiện bù khử trong quá trình bắt bám mục tiêu ra-đa;

bước 2: điều khiển quét búp sóng và đóng gói thông tin tín hiệu phản xạ từ khối xử lý tín hiệu;

khi phát tín hiệu ra ngoài không gian, tại mỗi thời điểm hệ thống xử lý tín hiệu sẽ thực hiện điều khiển các bộ dịch pha (phase shifter) đến một giá trị pha xác định (tương ứng với một búp sóng xác định) theo một quy luật cho trước, quy luật này có thể được thiết lập trước hoặc tùy chỉnh theo yêu cầu người dùng; tín hiệu phản xạ sau khi đi qua hệ thống xử lý tín hiệu sẽ được trích xuất dưới dạng số hóa thành các “điểm dấu” trên các ô phân giải của lưới phương vị - cự ly theo tọa độ cực hai chiều (2D) và thông tin góc tà; các điểm dấu này là các điểm dấu chưa bù, khối đóng gói dữ liệu sẽ thực hiện đóng gói các điểm dấu chưa bù này kèm theo đó là thông tin về búp sóng được sử dụng và tần số đang hoạt động; toàn bộ thông tin sau khi được số hóa sẽ được đóng gói và truyền cho hệ thống xử lý thông tin;

bước 3: bù góc lệch dựa trên dữ liệu đã thống kê trong bước 1 và tín hiệu phản xạ nhận được từ khối xử lý tín hiệu tại bước 2 trên hệ thống xử lý thông tin;

khối xử lý thông tin nhận được tập hợp các điểm dấu từ khối xử lý tín hiệu; các điểm dấu này bao gồm các thông tin như sau:

vị trí: phương vị (θ), cự ly (r), góc tà (ε);

giá trị doppler, công suất tín hiệu phản hồi tại vị trí của điểm dấu;

tần số phát (f), ID búp sóng (β);

bảng thống kê dữ liệu góc lệch có dạng ma trận hai chiều (2D) kích thước $N \times M$ (trong đó N là số lượng tần số hoạt động của đài, M là số lượng búp sóng - beam):

$$\begin{bmatrix} O_{\beta_o}^{f_o} & O_{\beta_o}^{f_1} & \dots & O_{\beta_o}^{f_N} \\ O_{\beta_1}^{f_o} & O_{\beta_1}^{f_1} & \dots & O_{\beta_1}^{f_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{\beta_M}^{f_o} & O_{\beta_M}^{f_1} & \dots & O_{\beta_M}^{f_N} \end{bmatrix} (N \times M)$$

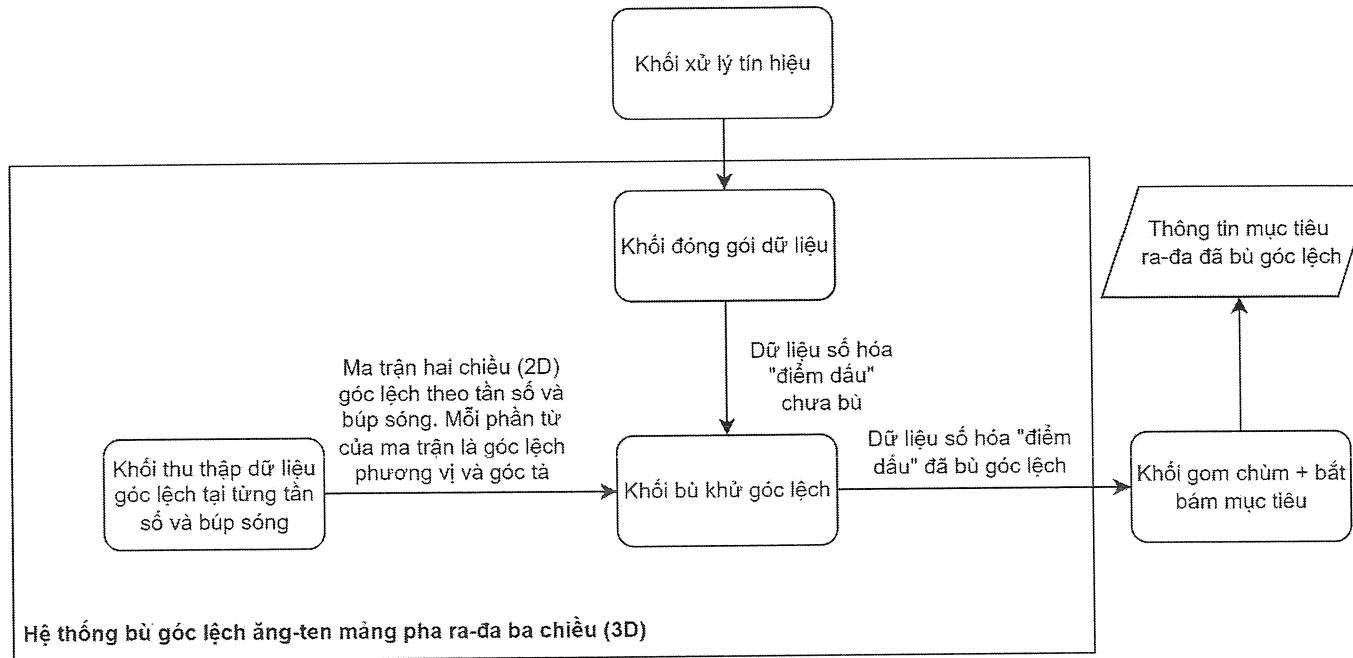
giá trị mỗi vị trí của ma trận là giá trị hiệu chỉnh góc lệch (phương vị, góc tà) cho từng tần số và từng búp sóng (beam): $O_{\beta_j}^{f_i} = (\Delta_\theta, \Delta_\varepsilon)$ với Δ_θ là góc lệch phương vị (đơn vị độ) và Δ_ε (đơn vị độ);

khi khối xử lý thông tin nhận được điểm dấu, khi đó đã xác định tần số phát và búp sóng của mỗi điểm dấu, truy vấn vào bảng thống kê dữ liệu từ bước 1 để xác định góc lệch phương vị và góc tà tại điểm dấu đó; gọi giá trị góc lệch đã truy vấn được là Δ_θ và Δ_ε ;

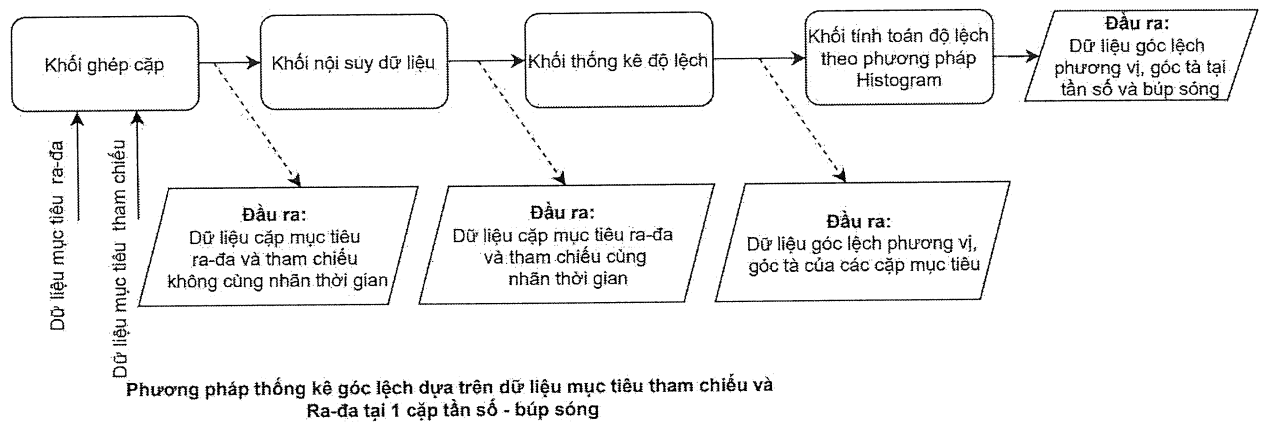
khối bù khử góc lệch sẽ thực hiện bù giá trị phương vị, góc tà tại mỗi điểm dấu để được giá trị phương vị, góc tà mới:

$$\begin{cases} \theta_* = \theta - \Delta_\theta \\ \varepsilon_* = \varepsilon - \Delta_\varepsilon \end{cases} \text{ với } \theta_* \text{ là giá trị phương vị mới và } \varepsilon_* \text{ là giá trị góc tà mới của điểm dấu;}$$

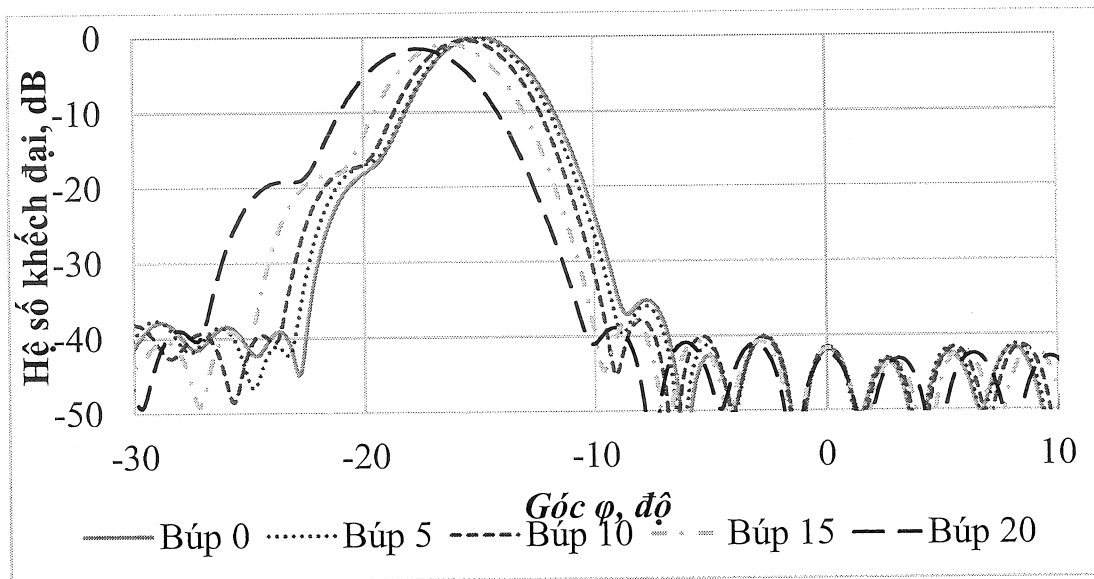
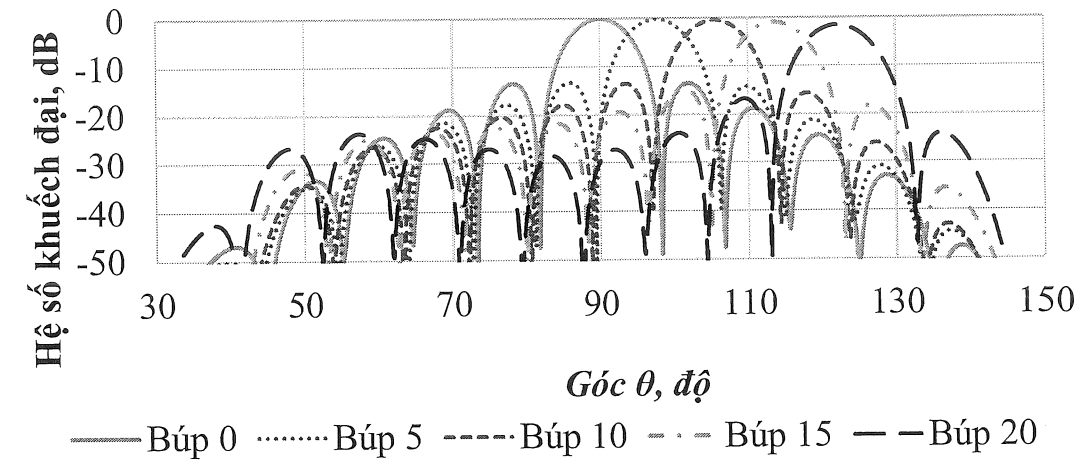
tập hợp các điểm dấu sau khi đã bù giá trị góc lệch về phương vị và cự ly sẽ được đưa qua khối gom chùm và khối bắt bám mục tiêu để hình thành lên quỹ đạo mục tiêu để hiển thị trên màn hình ra-đa; thông tin về phương vị, góc tà của các mục tiêu này đã được bù góc lệch phương vị, góc tà theo dữ liệu đã được thống kê, phân tích.



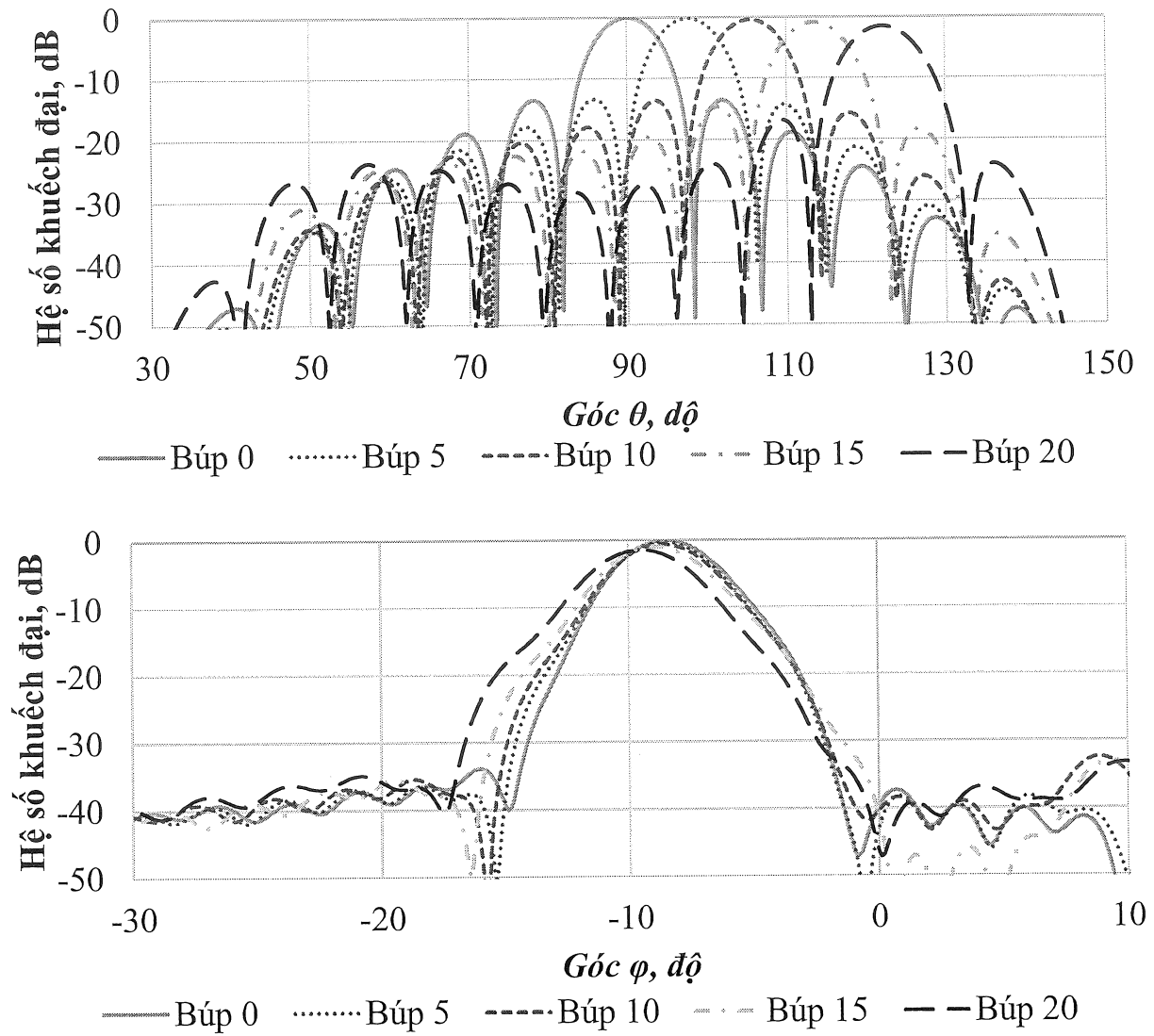
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4