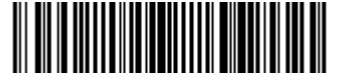




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

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

(11)



2-0002794

(51) **G01S 13/00; G01S 7/00**
2020.01

(13) **Y**

(21) 2-2021-00169

(22) 29/12/2017

(67) 1-2017-05383

(45) 25/01/2022 406

(43) 27/08/2018 365A

(73) Tập đoàn Viễn thông Quân Đội (VN)

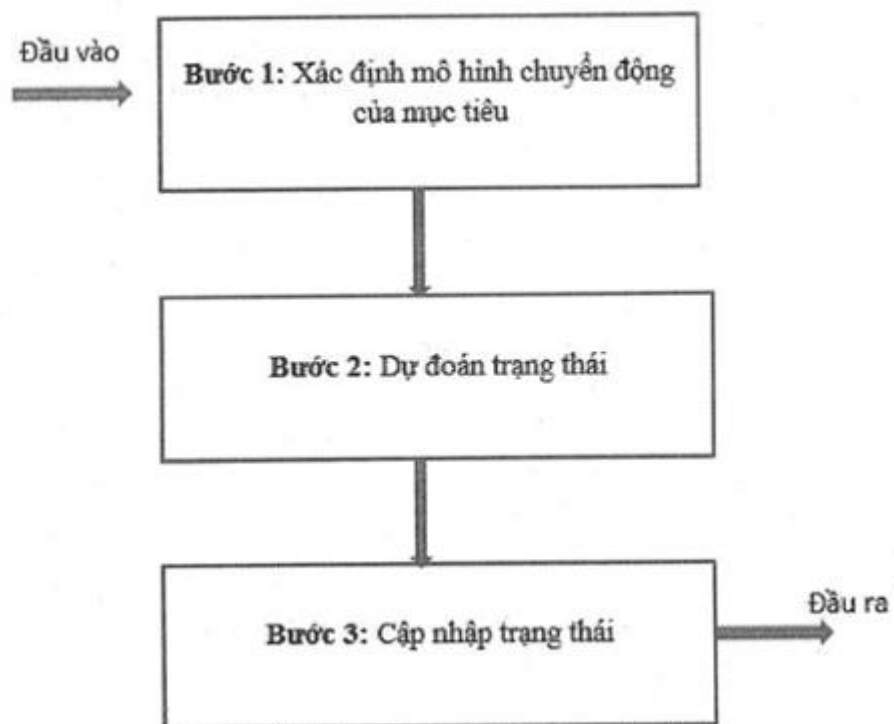
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Bùi Tăng Bảo Ngọc (VN); Nguyễn Quang Bằng (VN); Lê Trần Sự (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP THEO DÕI BẮM SÁT MỤC TIÊU BA CHIỀU (3D) BẰNG CÁCH HỢP NHẤT DỮ LIỆU THU ĐƯỢC TỪ DỮ LIỆU CỦA CÁC RAĐA HAI CHIỀU (2D) VÀ DỮ LIỆU CỦA CÁC CẢM BIẾN GÓC HƯỚNG

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng đã cung cấp phong phú các phương pháp khác nhau để có thể hợp nhất dữ liệu từ những nguồn dữ liệu khác loại, kết quả của các phương pháp này giúp việc bám sát mục tiêu với độ chính xác cao hơn và tùy biến theo hoàn cảnh cần xây dựng hệ thống cảnh giới. Giải pháp hữu ích được đề xuất thực hiện với các bước: bước 1: xác định mô hình chuyển động của mục tiêu; bước 2: dự đoán trạng thái; bước 3: cập nhật trạng thái; trong đó, sự biến đổi của các mô hình sẽ thay đổi như sau: lựa chọn độ đo; hợp nhất độ đo; lọc song song; hợp nhất trạng thái vector; hợp nhất trạng thái vector có phản hồi; kết hợp hợp nhất độ đo với hợp nhất trạng thái vector.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng. Cụ thể, phương pháp được đề cập trong giải pháp hữu ích dùng để hợp nhất dữ liệu từ nhiều nguồn radar khác loại nhau để cho kết quả theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) tốt hơn.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Để xác định một mục tiêu ba chiều (3D), chúng ta cần biết các thông tin về khoảng cách, phương vị và góc nâng của mục tiêu. Phương pháp kết hợp nhiều radar hai chiều (2D) cùng loại nhưng sử dụng phương pháp hình học để tính toán vị trí của mục tiêu ba chiều (3D) hoặc sử dụng các cảm biến góc hướng để theo dõi mục tiêu ba chiều (3D) cần góc nâng có sự thay đổi không được quá lớn, nghĩa là, mục tiêu bay gần như không thay đổi chiều cao. Ngoài ra, những phương pháp này trả về kết quả theo dõi cuối cùng vẫn còn sai số lớn và phạm vi ứng dụng còn hẹp. Các radar hai chiều (2D) chỉ trả kết quả là khoảng cách và phương vị, trong khi đó các cảm biến góc hướng chỉ trả về phương vị và góc nâng nhưng với sai số tốt hơn.

Hiện nay, chưa có phương pháp nào được đề xuất để hợp nhất dữ liệu từ các radar hai chiều (2D) và các cảm biến góc hướng để theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D).

Ngoài ra, chi phí sử dụng các radar ba chiều (3D) trong hệ thống theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) khá tốn kém.

Với việc sử dụng phương pháp lọc Kalman mở rộng cho mô hình đo phi tuyến trong hệ tọa độ Đề-các kết hợp với việc đề xuất sáu phương pháp hợp nhất dữ liệu từ

những radar khác loại nhau đã giúp việc xác định mục tiêu ba chiều (3D) có kết quả tốt hơn.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là sử dụng phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng nhằm theo dõi và bám sát chính xác mục tiêu ba chiều (3D) cụ thể hơn so với phương pháp kết hợp nhiều radar hai chiều (2D) cùng loại hoặc các cảm biến góc hướng để theo dõi mục tiêu ba chiều (3D). Ngoài ra kết quả trong giải pháp hữu ích cũng chỉ ra rằng việc hợp nhất các radar hai chiều (2D) cùng với các cảm biến góc hướng trả về các kết quả tương đương với việc sử dụng các radar ba chiều (3D) trong hệ thống theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D).

Một yếu tố khác là về giá thành, trong việc xây dựng các hệ thống cảnh giới thì chi phí cấu thành hệ thống là một trong những mục tiêu cần phải đặc biệt quan tâm, xuất phát từ thực tế là giá thành của các radar hai chiều (2D) rẻ hơn rất nhiều so với các radar ba chiều (3D). Vì vậy, kết quả của giải pháp hữu ích sẽ phù hợp với các ứng dụng theo dõi cảnh giới mục tiêu ba chiều (3D) với chi phí thấp nhưng kết quả có độ chính xác cao.

Trong giải pháp hữu ích này, có sáu phương pháp để hợp nhất dữ liệu từ nhiều radar hai chiều (2D) và các cảm biến góc hướng được đề xuất. Các phương pháp này được đưa ra để áp dụng tùy biến theo hiện trạng hiện có của các trung tâm chỉ huy theo dõi (ở địa phương, ở trung tâm hoặc cả hai) cũng như việc cân đối giữa khả năng băng thông truyền dữ liệu về trung tâm chỉ huy, không gian khả dụng lớn để lưu trữ dữ liệu hay là đòi hỏi tốc độ tính toán của hệ thống.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ thể hiện sơ đồ các bước của giải pháp hữu ích;

Hình 2 là hình vẽ thể hiện cấu trúc lựa chọn độ đo (LCĐĐ);

Hình 3 là hình vẽ thể hiện cấu trúc hợp nhất độ đo (HNĐĐ);

Hình 4 là hình vẽ thể hiện cấu trúc lọc song song (SS);

Hình 5 là hình vẽ thể hiện cấu trúc hợp nhất trạng thái vector (HNV);

Hình 6 là hình vẽ thể hiện cấu trúc hợp nhất trạng thái vector có phản hồi (PHHNV);

Hình 7 là hình vẽ thể hiện cấu trúc kết hợp hợp nhất độ đo với hợp nhất trạng thái vector (ĐĐHNV);

Hình 8.1 là hình vẽ thể hiện bảng trung bình bình phương sai số tại mốc thời gian 30 giây;

Hình 8.2 là hình vẽ thể hiện bảng trung bình bình phương sai số tại mốc thời gian 60 giây.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Thuật toán chính sử dụng trong giải pháp hữu ích là dùng thuật toán lọc Kalman mở rộng trong việc thu được các quỹ đạo bám sát mục tiêu vì các phương trình đo của các cảm biến góc hướng là một phép đo phi tuyến so với tọa độ Đề-các chuẩn được sử dụng để quy chiếu tọa độ ba chiều của mục tiêu và việc áp dụng thuật toán này và được tùy biến ở trong sáu phương pháp của giải pháp hữu ích. Tham chiếu Hình 1, các bước tuần tự của phép lọc Kalman mở rộng sẽ được tóm lược dưới đây:

Bước 1: mô hình chuyển động của mục tiêu;

$$\dot{x} = f(x, w) \quad (1)$$

$$z_j = h_j(x, v_j), \quad j = 1, \dots, N \quad (2)$$

Ở đây x là vector trạng thái của mục tiêu và được theo dõi bởi N cảm biến cũng như radar bất kỳ z_j , w và v_j là các nhiễu trắng Gau-xơ có trung bình không và các ma trận hiệp phương sai tương ứng là Q , R_j .

Bước 2: dự đoán trạng thái;

$$\text{Trạng thái dự đoán: } \hat{x}_{k+1,k}^j = f_k(\hat{x}_{k,k}^j, 0) \quad (3)$$

$$\text{Hiệp phương sai dự đoán: } P_{k+1,k}^j = F_k P_{k,k}^j F_k^T + Q \quad (4)$$

Bước 3: cập nhật trạng thái;

$$\text{Hệ số tăng: } K_{k+1,j} = P_{k+1,k}^j H_{k+1,j}^T (H_{k+1,j} P_{k+1,k}^j H_{k+1,j}^T + R_j)^{-1} \quad (5)$$

$$\text{Trạng thái cập nhật: } \hat{x}_{k+1,k+1}^j = \hat{x}_{k+1,k}^j + K_{k+1,j} (z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^j, 0)) \quad (6)$$

$$\text{Hiệp phương sai cập nhật: } P_{k+1,k+1}^j = (I - K_{k+1,j} H_{k+1,j}) P_{k+1,k}^j, j = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Ở đây F_k và $H_{k,j}$ là các ma trận Jacobi tương ứng của hàm f và h_j tại bước thời gian thứ k khi ta tiến hành khai triển Tay-lor để tuyến tính hóa các hàm này.

Các thông số cần thiết để tiến hành xây dựng các phương pháp hợp nhất dữ liệu giữa các radar hai chiều (2D) và các cảm biến góc hướng:

$z_r = [\varphi_r \ r_r]^T$ và $z_i = [\theta_i \ \varphi_i]^T$: là các vector của các phép đo góc tương ứng lần lượt với radar hai chiều (2D) và cảm biến góc hướng trong tọa độ cực. Ở đây ký hiệu r là đại diện cho radar và i tương ứng cho cảm biến góc hướng.

$R_r = \begin{bmatrix} \sigma_{r,r}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\varphi,r}^2 \end{bmatrix}$, $R_i = \begin{bmatrix} \sigma_{\theta,i}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\varphi,i}^2 \end{bmatrix}$: là các ma trận hiệp phương sai tương ứng các nhiễu trên các độ đo. (8)

Ngoài ra, chúng ta phải sử dụng phép chuyển đổi từ tọa độ Đề-các sang tọa độ cực theo công thức sau đây:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{z}{r}\right). \quad (9)$$

Trong giải pháp hữu ích việc tính toán các ma trận Jacobi, mô tả sự biến đổi của các mô hình sẽ thay đổi tùy thuộc vào mỗi phương pháp và sẽ được trình bày chi tiết dưới đây:

Phương pháp 1: lựa chọn độ đo (LCĐĐ).

Hình 2 minh họa lược đồ và dòng chảy của phương pháp. Như được thể hiện trên Hình 2, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: mô hình chuyển động của mục tiêu;

$$\dot{x} = f(x, w)$$

$$z_k = [\theta_i \varphi_i r_r]^T$$

Trong phương pháp này một vector độ đo mới z_k như trên sẽ được thiết lập bằng việc lựa chọn các độ đo $[r_r]^T$ từ các vector độ đo của các radar hai chiều (2D) và vector độ đo $[\theta_i \varphi_i]^T$ của cảm biến góc hướng thay thế cho các độ đo chọn trực tiếp như trong phương trình (2).

Bước 2: dự đoán trạng thái; sử dụng phương trình (3), (4).

Bước 3: cập nhật trạng thái; sử dụng phương trình (5) với ma trận hiệp phương sai được thiết lập mới : $R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \sigma_{\varphi,i}^2 \sigma_{r,r}^2]$, phương trình (6) và phương trình (7) với ma trận Jacobi được xây dựng mới tương ứng với hàm độ đo mới như sau:

$$h(x) = \left[\tan^{-1}\left(\frac{z}{r}\right), \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right]$$

Phương pháp 2: hợp nhất độ đo (HNĐĐ).

Hình 3 minh họa lược đồ và dòng chảy của phương pháp. Như được minh họa trên Hình 3, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: mô hình chuyển động của mục tiêu;

$$\dot{x} = f(x, w), \quad z_k = [\theta_i \varphi_f r_r]^T$$

Trong phương pháp này góc phương vị trích chọn từ vector độ đo của radar hai chiều (2D): $[\varphi_r]^T$ kết hợp với góc phương vị trích chọn ra từ vector độ đo của cảm biến góc hướng: $[\varphi_i]^T$ được hợp nhất với nhau dựa theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số. Độ đo mới sẽ được kết hợp với góc nâng của cảm biến góc hướng và độ đo khoảng cách của radar hai chiều (2D) để tạo thành vector độ đo mới z_k như trên.

Bước 2: dự đoán trạng thái; sử dụng phương trình (3), (4).

Bước 3: cập nhật trạng thái; sử dụng phương trình (5) với ma trận hiệp phương sai được thiết lập mới: $R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \sigma_{\varphi,f}^2 \sigma_{r,r}^2]$, phương trình (6) và phương trình (7).

Phương pháp 3: lọc song song (SS);

Hình 4 minh họa lược đồ và dòng chảy của phương pháp. Như được minh họa trên Hình 4, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: mô hình chuyển động của mục tiêu;

$$\dot{x} = f(x, w), \quad z_k = [\theta_i \varphi_i \varphi_r r_r]^T$$

Trong phương pháp này, vector độ đo mới z_k được tính bằng cách sắp xếp theo thứ tự tất cả các vector độ đo của radar hai chiều (2D): $z_r = [\varphi_r r_r]^T$, vector độ đo của cảm biến góc hướng: $z_i = [\theta_i \varphi_i]^T$ với nhau tương ứng.

Bước 2: dự đoán trạng thái; sử dụng phương trình (3), (4).

Bước 3: cập nhật trạng thái; sử dụng phương trình (5) với ma trận hiệp phương sai được thiết lập mới: $R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \sigma_{\varphi,i}^2 \sigma_{\varphi,r}^2 \sigma_{r,r}^2]$, phương trình (6) và phương trình (7) với ma trận Jacobi được xây dựng mới tương ứng với hàm độ đo mới $h_k = [h_i h_r]^T$.

Phương pháp 4: hợp nhất trạng thái vector (HNV).

Hình 5 minh họa lược đồ và dòng chảy của phương pháp. Như được minh họa trên Hình 5, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: thực hiện các bước 1, 2, 3 cho radar hai chiều (2D) tại địa phương thu được đầu ra là vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai của nó:

$$\hat{x}_{k+1,k+1}^r = \hat{x}_{k+1,k}^r + K_{k+1,j}(z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^r, 0))$$

$$P_{k+1,k+1}^r = (I - K_{k+1,j}H_{k+1,j})P_{k+1,k}^r$$

Bước 2: thực hiện các bước 1, 2, 3 cho cảm biến góc hướng tại địa phương thu được đầu ra là vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai của nó:

$$\hat{x}_{k+1,k+1}^i = \hat{x}_{k+1,k}^i + K_{k+1,j}(z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^i, 0))$$

$$P_{k+1,k+1}^i = (I - K_{k+1,j}H_{k+1,j})P_{k+1,k}^i$$

Bước 3: thực hiện hợp nhất những vector trạng thái địa phương ở bước 2 của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_f, P_f$.

Phương pháp 5: hợp nhất trạng thái vector có phản hồi (PHHNV).

Hình 6 minh họa lược đồ và dòng chảy của phương pháp. Như được thể hiện trên Hình 6, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: thực hiện bước 1, 2, 3 trong phương pháp 4 được kết quả đầu ra là vector trạng thái hợp nhất và ma trận hiệp phương sai hợp nhất: $\hat{x}_{k,k}^f, P_{k,k}^f$.

Bước 2: kết quả này lại được sử dụng như tiếp như là giá trị phản hồi lại cho đầu vào là vector dự đoán trạng thái để tính toán vector dự đoán trạng thái ở bước 1:

$$\text{Trạng thái dự đoán: } \hat{x}_{k+1,k} = F_k \hat{x}_{k,k}^f \quad (3)$$

$$\text{Hiệp phương sai dự đoán: } P_{k+1,k} = F_k P_{k,k}^f F_k^T + Q \quad (4)$$

Phương pháp 6: kết hợp hợp nhất độ đo với hợp nhất trạng thái vector (ĐĐHNV).

Hình 7 minh họa lược đồ và dòng chảy của cấu trúc của phương pháp. Như được minh họa trên Hình 7, phương pháp bao gồm các bước:

Bước 1: thực hiện các bước 1, 2 cho radar hai chiều (2D) tại địa phương thu được đầu ra là vector dự đoán trạng thái và ma trận hiệp phương sai $\hat{x}_{k+1,k}^r, P_{k+1,k}^r$.

Bước 2: thực hiện các bước 1, 2 cho cảm biến góc hướng tại địa phương thu được đầu ra là vector dự đoán trạng thái và ma trận hiệp phương sai $\hat{x}_{k+1,k}^i, P_{k+1,k}^i$.

Bước 3: thực hiện hợp nhất lần một những vector dự đoán địa phương ở bước 1, 2 của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector dự đoán trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_{k+1,k}^f, P_{k+1,k}^f$.

Bước 4: thực hiện bước 3 (cập nhật trạng thái) cho radar hai chiều (2D) và cảm biến góc hướng tại trung tâm chỉ huy với đầu vào là các vector dự đoán trạng thái đã hợp nhất ở bước 2 của phương pháp này đầu ra là các vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai tương ứng: $\hat{x}_{k+1,k+1}^r, \hat{x}_{k+1,k+1}^i, P_{k+1,k+1}^r, P_{k+1,k+1}^i$.

Bước 5: thực hiện hợp nhất lần hai những vector đánh giá trạng thái ở bước 4 của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector đánh giá trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_{k+1,k+1}^f, P_{k+1,k+1}^f$.

Lược đồ và dòng chảy của cấu trúc được mô tả chi tiết trong Hình 6.

Bậc hai của trung bình bình phương sai số của sáu phương pháp hợp nhất dữ liệu đã giới thiệu ở trên, kết quả đánh giá là tốt hơn rất nhiều cụ thể sai số chỉ còn lại khoảng

(2,4% đến 7,5%) so với giá trị độ đo gốc radar hai chiều (2D) và (0,7 đến 1,7%) so với giá trị độ đo gốc của cảm biến góc hướng. Hầu hết các sai số sau khi đã hợp nhất của các phương pháp là tương đương với nhau chỉ có đối với cấu trúc lọc song song cả hai kết quả chạy với hai mốc thời gian 30 giây và 60 giây là khá cao so với mức sai số chung của các phương pháp khác.

Phương pháp	Vị trí	Vận tốc	Gia tốc
Radar 2D	67,6318	4,0273	0,2621
Cảm biến	286,5010	3,5111	0,2581
LCĐĐ	4,9208	1,9761	0,2858
HNĐĐ	4,9202	1,9764	0,2858
SS	22,7763	1,9667	0,2858
HNV	4,9259	1,6781	0,2203
PHHNV	4,5545	1,3898	0,1761
ĐĐHNV	4,5492	1,3973	0,1757

Bảng 1.1: Căn bậc hai trung bình bình phương sai số ($T = 30$ giây)

Phương pháp	Vị trí	Vận tốc	Gia tốc
-------------	--------	---------	---------

Rađa 2D	192,1441	9,4295	0,3950
Cảm biến	635,9223	13,0237	0,4615
LCĐĐ	4,3175	1,7204	0,2949
HNĐĐ	4,3166	1,7203	0,2949
SS	17,3093	1,7190	0,2953
HNV	16,5370	2,3392	0,2891
PHHNV	4,0166	1,2730	0,1887
ĐĐHNV	4.0131	1,2772	0,1882

Bảng 1.2: căn bậc hai trung bình bình phương sai số ($T = 60$ giây).

Tuy nhiên, nếu phân tích sâu và chi tiết hơn nữa ở Hình 8.1, Hình 8.2 bằng cách sử dụng độ đo trị tuyệt đối sai số (TĐSS) theo ba chiều không gian và tổng bình phương sai số (TBPSS) của các vị trí ta có thể thấy cấu trúc lợc song song tại những thời điểm khởi đầu có sai số rất lớn nhưng rất nhanh tiệm cận về các phương pháp khác theo các độ đo khác nhau nói ở trên.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo các bước cơ bản dưới đây:

bước 1: thực hiện mô hình chuyển động của mục tiêu, sử dụng phương trình:

$$\dot{x} = f(x, w) \quad (1)$$

$$z_j = h_j(x, v_j), \quad j = 1, \dots, N \quad (2)$$

trong đó:

x là vector trạng thái của mục tiêu và được theo dõi bởi N cảm biến cũng như radar bất kỳ z_j , w và v_j là các nhiễu trắng Gau-xơ có trung bình không và các ma trận hiệp phương sai tương ứng là Q , R_j ;

bước 2: dự đoán trạng thái; tại bước này tiến hành xác định:

$$\text{trạng thái dự đoán theo phương trình } \hat{x}_{k+1,k}^j = f_k(\hat{x}_{k,k}^j, 0) \quad (3)$$

$$\text{hiệp phương sai dự đoán theo phương trình } P_{k+1,k}^j = F_k P_{k,k}^j F_k^T + Q \quad (4)$$

bước 3: cập nhật trạng thái, trong đó bao gồm:

xác định hệ số tăng sử dụng phương trình:

$$K_{k+1,j} = P_{k+1,k}^j H_{k+1,j}^T (H_{k+1,j} P_{k+1,k}^j H_{k+1,j}^T + R_j)^{-1} \quad (5)$$

xác định trạng thái cập nhật sử dụng phương trình:

$$\hat{x}_{k+1,k+1}^j = \hat{x}_{k+1,k}^j + K_{k+1,j} (z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^j, 0)) \quad (6)$$

hiệp phương sai cập nhật sử dụng phương trình:

$$P_{k+1,k+1}^i = (I - K_{k+1,j} H_{k+1,j}) P_{k+1,k}^j, j = 1, \dots, N \quad (7)$$

theo đó, với các bước tóm lược như trên, sử dụng phương pháp lựa chọn độ đo bao gồm các bước:

bước 1: thực hiện mô hình chuyển động của mục tiêu theo các phương trình:

$$\dot{x} = f(x, w)$$

$$z_k = [\theta_i \varphi_i r_r]^T$$

trong đó việc mô hình hóa chuyển động mục tiêu bao gồm bước:

thiết lập một vector độ đo mới z_k bằng việc lựa chọn các độ đo $[r_r]^T$ từ các vector độ đo của các radar hai chiều (2D) và vector độ đo $[\theta_i \varphi_i]^T$ của cảm biến góc hướng thay thế cho các độ đo chọn trực tiếp như trong phương trình:

$$z_j = h_j(x, v_j), \quad j = 1, \dots, N;$$

bước 2: dự đoán trạng thái, sử dụng phương trình (3), (4);

bước 3: cập nhật trạng thái, sử dụng phương trình (5) trong đó bao gồm các bước:

$$\text{thiết lập mới ma trận hiệp phương sai: } R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \sigma_{\varphi,i}^2 \sigma_{r,r}^2];$$

xây dựng mới phương trình (6) và phương trình (7) với ma trận Jacobi tương ứng với hàm độ đo mới như sau:

$$h(x) = \left[\tan^{-1}\left(\frac{z}{r}\right), \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right]$$

2. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo điểm 1, trong đó căn cứ vào các bước cơ bản ở điểm 1, còn có thể được thực hiện theo phương pháp hợp nhất độ đo bao gồm các bước:

bước 1: thực hiện mô hình chuyển động của mục tiêu theo phương trình:

$$\dot{x} = f(x, w), \quad z_k = [\theta_i \ \varphi_f \ r_r]^T; \text{ trong đó bao gồm:}$$

trích chọn góc phương vị từ vector độ đo của radar hai chiều (2D): $[\varphi_r]^T$;

trích chọn góc phương vị từ vector độ đo của cảm biến góc hướng: $[\varphi_i]^T$;

kết hợp góc phương vị từ vector độ đo của radar hai chiều (2D): $[\varphi_r]^T$ và góc phương vị từ vector độ đo của cảm biến góc hướng: $[\varphi_i]^T$ được hợp nhất với nhau dựa theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số;

kết hợp độ đo mới với với góc nâng của cảm biến góc hướng và độ đo khoảng cách của radar hai chiều (2D) để tạo thành vector độ đo mới z_k ;

bước 2: dự đoán trạng thái nhờ sử dụng phương trình (3), (4);

bước 3: cập nhật trạng thái nhờ sử dụng phương trình (5) với ma trận hiệp phương sai được thiết lập mới: $R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \ \sigma_{\varphi,f}^2 \ \sigma_{r,r}^2]$.

3. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo điểm 1, trong đó căn cứ vào các bước cơ bản ở điểm 1, còn có thể được thực hiện theo phương pháp lọc song song bao gồm các bước:

bước 1: xây dựng mô hình chuyển động của mục tiêu theo phương trình:

$$\dot{x} = f(x, w), \quad z_k = [\theta_i \ \varphi_i \ \varphi_r \ r_r]^T$$

trong đó, việc xây dựng mô hình chuyển động mục tiêu bao gồm bước:

tính vector độ đo mới z_k bằng cách sắp xếp theo thứ tự tất cả các vector độ đo của radar hai chiều (2D): $z_r = [\varphi_r \ r_r]^T$, vector độ đo của cảm biến góc hướng: $z_i = [\theta_i \ \varphi_i]^T$ với

nhau một cách tương ứng; và

bước 2: dự đoán trạng thái nhờ sử dụng phương trình (3), (4);

bước 3: cập nhật trạng thái nhờ sử dụng phương trình (5), trong đó bao gồm các bước:

thiết lập mới với ma trận hiệp phương sai: $R_k = \text{diag}[\sigma_{\theta,i}^2 \ \sigma_{\phi,i}^2 \ \sigma_{\phi,r}^2 \ \sigma_{r,r}^2]$, và

xây dựng mới phương trình (6) và phương trình (7) với ma trận Jacobi tương ứng với hàm đo mới $h_k = [h_i \ h_r]^T$.

4. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo điểm 1, trong đó căn cứ vào các bước cơ bản ở điểm 1, còn có thể được thực hiện theo phương pháp hợp nhất trạng thái vector bao gồm các bước:

bước 1: thực hiện các bước 1, 2, 3 nêu ở điểm 1 cho radar hai chiều (2D) tại địa phương để thu đầu ra là vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai của nó:

$$\hat{x}_{k+1,k+1}^r = \hat{x}_{k+1,k}^r + K_{k+1,j} (z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^r, 0))$$

$$P_{k+1,k+1}^r = (I - K_{k+1,j} H_{k+1,j}) P_{k+1,k}^r$$

bước 2: thực hiện các bước 1, 2, 3 nêu ở điểm 1 cho cảm biến góc hướng tại địa phương thu được đầu ra là vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai của nó:

$$\hat{x}_{k+1,k+1}^i = \hat{x}_{k+1,k}^i + K_{k+1,j} (z_{k+1,j} - h_{k+1,j}(\hat{x}_{k+1,k}^i, 0))$$

$$P_{k+1,k+1}^i = (I - K_{k+1,j} H_{k+1,j}) P_{k+1,k}^i$$

bước 3: thực hiện hợp nhất những vector trạng thái địa phương ở bước 2 của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_f, P_f$.

5. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo điểm 1, trong đó căn cứ vào các bước cơ bản ở điểm 1, còn có thể được thực hiện theo phương pháp hợp nhất trạng thái vector có phản hồi bao gồm các bước:

bước 1: thực hiện bước 1, 2, 3 nêu ở điểm 4 để thu kết quả đầu ra là vector trạng thái hợp nhất và ma trận hiệp phương sai hợp nhất: $\hat{x}_{k,k}^f, P_{k,k}^f$;

bước 2: sử dụng kết quả ở bước 1 làm giá trị phản hồi lại cho đầu vào là vector dự đoán trạng thái để tính toán vector dự đoán trạng thái ở bước 1 theo các phương trình:

$$\text{trạng thái dự đoán: } \hat{x}_{k+1,k} = F_k \hat{x}_{k,k}^f;$$

$$\text{hiệp phương sai dự đoán: } P_{k+1,k} = F_k P_{k,k}^f F_k^T + Q.$$

6. Phương pháp theo dõi bám sát mục tiêu ba chiều (3D) bằng cách hợp nhất dữ liệu thu được từ dữ liệu của các radar hai chiều (2D) và dữ liệu của các cảm biến góc hướng theo điểm 1, trong đó căn cứ vào các bước cơ bản ở điểm 1, còn có thể được thực hiện theo phương pháp kết hợp hợp nhất độ đo với hợp nhất trạng thái vector bao gồm các bước:

bước 1: thực hiện các bước 1, 2 nêu ở điểm 1 cho radar hai chiều (2D) tại địa phương để thu đầu ra là vector dự đoán trạng thái và ma trận hiệp phương sai $\hat{x}_{k+1,k}^r$,

$$P_{k+1,k}^r;$$

bước 2: thực hiện các bước 1, 2 nêu ở điểm 1 cho cảm biến góc hướng tại địa phương thu để thu đầu ra là vector dự đoán trạng thái và ma trận hiệp phương sai $\hat{x}_{k+1,k}^r$,

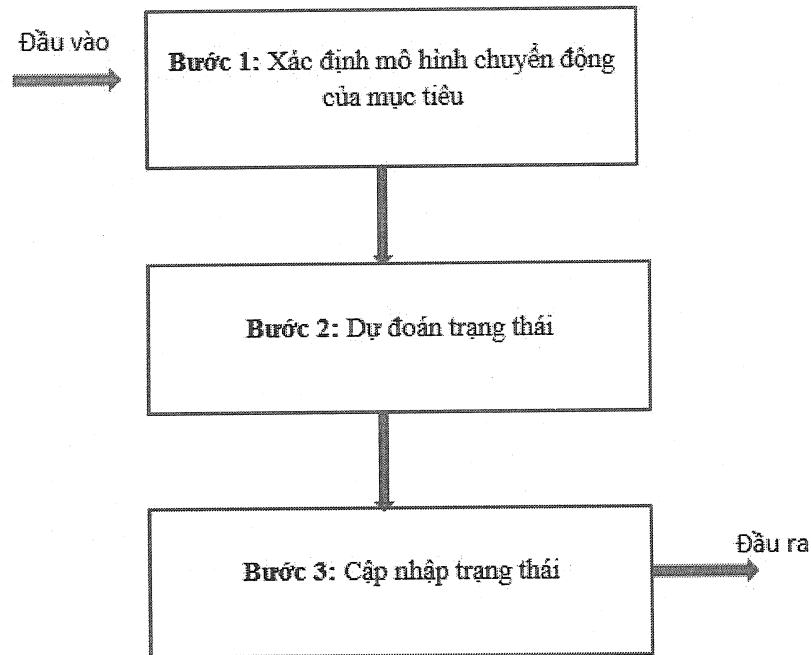
$$P_{k+1,k}^r;$$

bước 3: thực hiện hợp nhất lần một những vector dự đoán địa phương ở bước 1, 2

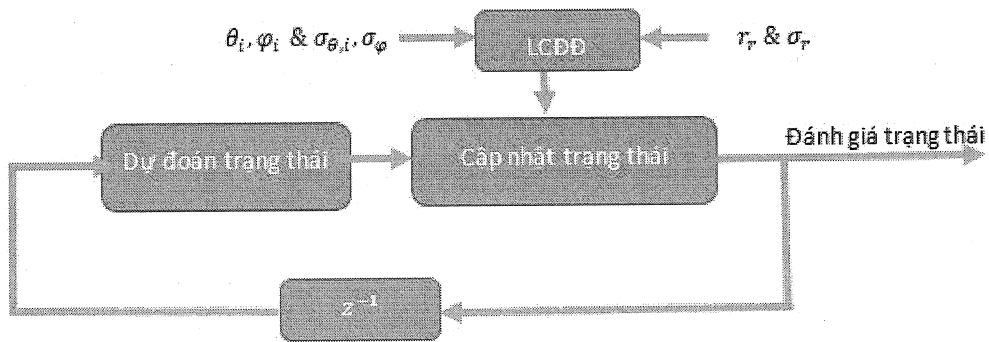
của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector dự đoán trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_{k+1,k}^f, P_{k+1,k}^f$;

bước 4: thực hiện bước 3 (cập nhật trạng thái) cho radar hai chiều (2D) và cảm biến góc hướng tại trung tâm chỉ huy với đầu vào là các vector dự đoán trạng thái đã hợp nhất ở bước 2 của phương pháp này đầu ra là các vector đánh giá trạng thái và ma trận hiệp phương sai tương ứng: $\hat{x}_{k+1,k+1}^r, \hat{x}_{k+1,k+1}^i, P_{k+1,k+1}^r, P_{k+1,k+1}^i$;

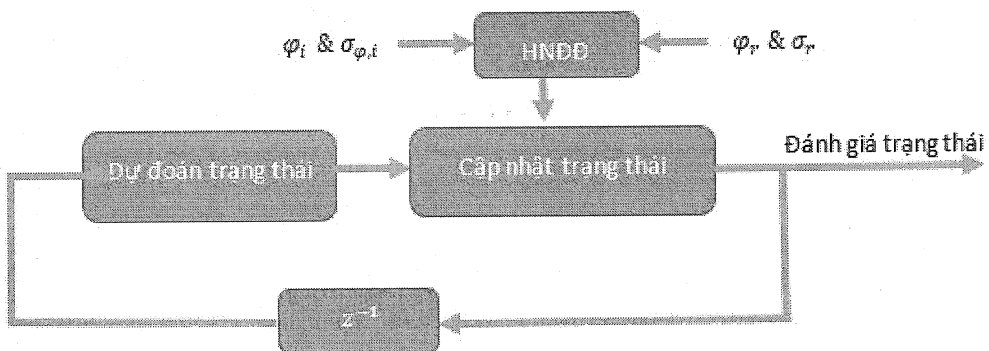
bước 5: thực hiện hợp nhất lần hai những vector đánh giá trạng thái ở bước 4 của phương pháp này theo phương pháp cực tiểu trung bình bình phương sai số để thu được các vector đánh giá trạng thái hợp nhất ở trung tâm chỉ huy $\hat{x}_{k+1,k+1}^f, P_{k+1,k+1}^f$.



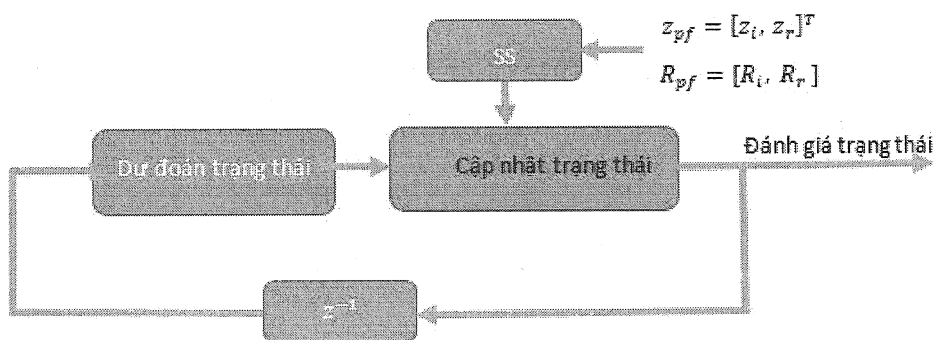
Hình 1



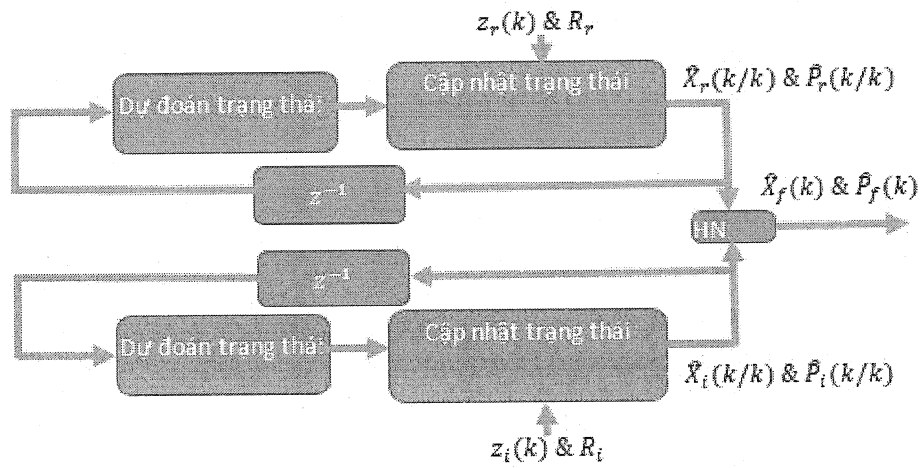
Hình 2



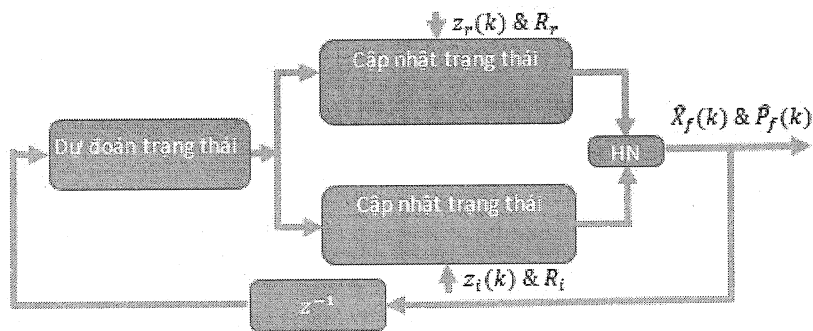
Hình 3



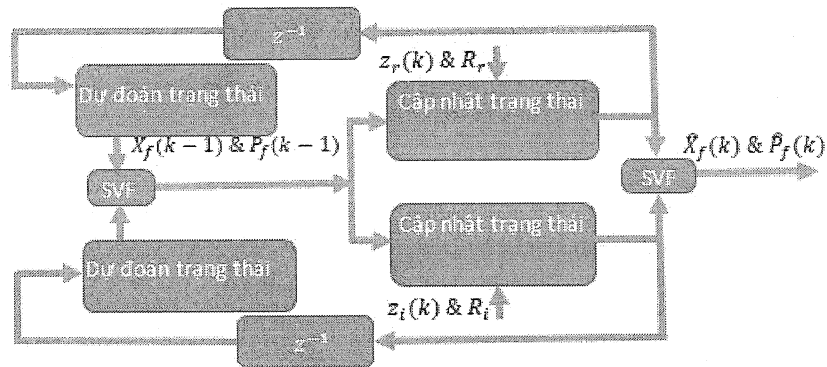
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7

Phương pháp	Vị trí	Vận tốc	Gia tốc
Radar 2D	67.6318	4.0273	0.2621
Cảm biến	286.5010	3.5111	0.2581
LCĐĐ	4.9208	1.9761	0.2858
HNĐĐ	4.9202	1.9764	0.2858
SS	22.7763	1.9667	0.2858
HNV	4.9259	1.6781	0.2203
PHHNV	4.5545	1.3898	0.1761
ĐĐHNV	4.5492	1.3973	0.1757

Hình 8.1

Phương pháp	Vị trí	Vận tốc	Gia tốc
Radar 2D	192.1441	9.4295	0.3950
Cảm biến	635.9223	13.0237	0.4615
LCĐĐ	4.3175	1.7204	0.2949
HNĐĐ	4.3166	1.7203	0.2949
SS	17.3093	1.7190	0.2953
HNV	16.5370	2.3392	0.2891
PHHNV	4.0166	1.2730	0.1887
ĐĐHNV	4.0131	1.2772	0.1882

Hình 8.2