

TỔNG HỢP THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ GÓC MỤC TIÊU CƠ ĐỘNG TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN HIỆN ĐẠI

SYNTHESIZED ALGORITHM TO DETERMINE THE MANEUVERING TARGET ANGLE COORDINATES ON THE BASIS OF APPLYING MODERN CONTROL TECHNIQUES

Vũ Quang Lương^{1*}, Ngô Văn Dũng¹, Vũ Hữu Thích²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.005>

TÓM TẮT

Hệ xác định tọa độ góc mục tiêu tối ưu là mô hình gia tốc pháp tuyến không đại diện cho mọi chuyển động cơ động của mục tiêu [3, 4]. Vì vậy, sai số đánh giá tọa độ góc mục tiêu sẽ tăng khi chuyển động thực tế của mục tiêu không phù hợp với mô hình gia tốc pháp tuyến giả định. Để khắc phục nhược điểm đó, bài báo này đề xuất một phương pháp nhằm nâng cao độ chính xác xác định tọa độ góc của mục tiêu trên cơ sở ứng dụng và phát triển các thuật toán lọc thích nghi, nhằm đáp ứng với sự cơ động của mục tiêu. Khi mục tiêu cơ động, động học của nó tác động trực tiếp tới bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm. Do đó, vấn đề nâng cao độ chính xác được thực hiện khi sử dụng thuật toán thích nghi trong bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm.

Từ khóa: Mục tiêu, cơ động, tọa độ góc, thích nghi mờ.

ABSTRACT

The optimal target angular coordinate determine system is a non-representative normal acceleration model for all target maneuvers [3, 4]. Therefore, the target angular coordinate evaluation error will increase when the actual motion of the target does not match the assumed normal acceleration model. To overcome that drawback, this paper proposes a method to improve the accuracy of determining the angular coordinates of the target on the basis of application and develops adaptive filtering algorithms to respond to maneuvers of the target. When the target is maneuvering, its dynamics directly affect the line-of-sight angle coordinate evaluation filter. Therefore, the problem of improving the accuracy is realized when using the adaptive algorithm in the line-of-sight angle coordinate evaluation filter.

Keywords: Target, maneuver, angular coordinates, fuzzy adaptive.

¹Học viện Phòng không - Không Quân

²Trường Đại học Công nghiệp Hà nội

*Email: vuquangluong88@gmail.com

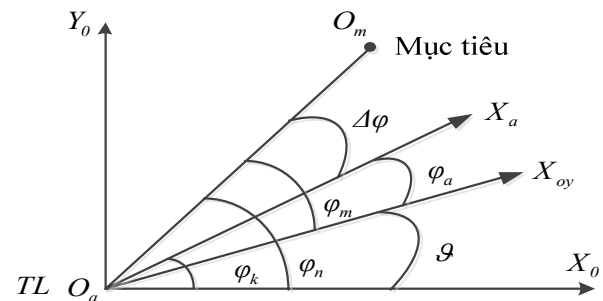
Ngày nhận bài: 12/12/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/01/2023

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

1. MÔ HÌNH KHÔNG GIAN TRẠNG THÁI TỌA ĐỘ GÓC MỤC TIÊU

Mô hình không gian trạng thái tọa độ góc mục tiêu được xây dựng như trong hình 1.



Hình 1. Tương quan giữa tên lửa và mục tiêu

$\hat{\phi}_a, \hat{\omega}_a$ được đánh giá bởi bộ lọc riêng đã được tổng hợp [4];

$\hat{\theta}, \hat{\omega}_\theta$ được đánh giá bởi bộ lọc riêng đã được tổng hợp [3, 4];

ϕ_n, ω_n không được đánh giá mà tiến hành đánh giá ϕ_m và ω_m .

Mô hình không gian trạng thái ban đầu ϕ_m và ω_m :

$$\phi_m(k) = \phi_m(k-1) + \tau \omega_m(k-1), \quad \phi_m(0) = \phi_{m0}$$

$$\omega_m(k) = (1 - \tau a_m) \omega_m(k-1) + \xi_{\omega_m}(k-1), \quad \omega_m(0) = \omega_{m0} \quad (1)$$

$$\zeta_1(k) = K_\Delta [\phi_m(k) - \phi_a(k)] + \xi_{\zeta_\Delta}(k) \quad (2)$$

2. THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ GÓC MỤC TIÊU CÓ PHÁT HIỆN CƠ ĐỘNG TRÊN CƠ SỞ NHẬN DẠNG THAM SỐ MÔ HÌNH TRẠNG THÁI

Quá trình nhận dạng là tạo ra đánh giá $\hat{\phi}_{ij}$ của ϕ_{ij} . Khi mục tiêu không cơ động, $\hat{\phi}_{ij}$ trùng với giá trị tiền nghiệm ϕ_{ij} , bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm là bộ lọc Kalman thông thường. Khi mục tiêu cơ động, $\hat{\phi}_{ij}$ khác ϕ_{ij} , $\hat{\phi}_{ij}$ sẽ thay thế cho ϕ_{ij} trong thuật toán lọc [1, 2].

Quy tắc phát hiện thời điểm cơ động

$$|\Phi_{ij} - \hat{\Phi}_{ij}| > \lambda_{ij}, \text{ trong đó; } \lambda_{ij} - \text{Ngưỡng.}$$

$$I = \sum_{i=1}^{N,N} Q_{ij} (\Phi_{ij} - \hat{\Phi}_{ij})^2 > \lambda_n$$

trong đó; Q_{ij} - Trọng số; λ_n - Ngưỡng.

Thuật toán nhận dạng tham số mô hình trạng thái

$$\text{Quá trình: } x_p(k) = \Phi_p(k-1)\xi_p(k-1) + \xi_p(k-1) \quad (3)$$

Véc tơ đánh giá:

$$a(k) = [\Phi_{p1}(k-1), \Phi_{p2}(k-1), \dots, \Phi_{pn}(k-1)]^T \quad (4)$$

$$\text{Quan sát: } z(k) = M_p(k)a(k) + \xi_p(k) \quad (5)$$

Phương trình trạng thái của a:

$$a(k) = a(k-1) + \xi_a(k-1) \quad (6)$$

Áp dụng thuật toán lọc Kalman cho quá trình (6) và quan sát (5) sẽ nhận được thuật toán nhận dạng ma trận Φ .

Thuật toán đánh giá tọa độ góc đường ngắm

Thuật toán đánh giá φ_m, ω_m được xác định bởi [4]: với $S = 1$; Vấn đề còn lại là tìm thuật toán nhận dạng Φ . Véc tơ tham số của mô hình:

$$a^T(k) = [\Phi_{11}(k-1) \quad \Phi_{12}(k-1) \quad \Phi_{21}(k-1) \quad \Phi_{22}(k-1)] \quad (7)$$

- Khi mục tiêu cơ động, quy luật thay đổi của $a(k)$ có dạng:

$$a(k) = a(k-1) + \xi_a(k-1) \quad (8)$$

Phương trình quan sát có dạng:

$$\hat{x}(k) = [\hat{\varphi}_m(k) \quad \hat{\omega}_m(k)]^T = M(k) a(k) + \xi_x(k) \quad (9)$$

$$M(k) = \begin{bmatrix} \hat{\varphi}_m(k-1) & \hat{\omega}_m(k-1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\varphi}_m(k-1) & \hat{\omega}_m(k-1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\xi_x(k) = [\xi_{\varphi}(k-1) \quad \xi_{\omega}(k-1)]^T \quad (11)$$

Áp dụng thuật toán nhận dạng tham số mô hình trạng thái, nhận được:

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}_{11}(k) &= \hat{\Phi}_{11}(k-1) + K_{a11}\Delta z_1 + K_{a12}\Delta z_2; \hat{\Phi}_{11}(0) = \Phi_{11} = 1 \\ \hat{\Phi}_{12}(k) &= \hat{\Phi}_{12}(k-1) + K_{a21}\Delta z_1 + K_{a22}\Delta z_2; \hat{\Phi}_{12}(0) = \Phi_{12} = \tau \\ \hat{\Phi}_{21}(k) &= \hat{\Phi}_{21}(k-1) + K_{a31}\Delta z_1 + K_{a32}\Delta z_2; \hat{\Phi}_{21}(0) = \Phi_{21} = 0 \\ \hat{\Phi}_{22}(k) &= \hat{\Phi}_{22}(k-1) + K_{a41}\Delta z_1 + K_{a42}\Delta z_2; \hat{\Phi}_{22}(0) = \Phi_{22} = (1 - \tau\alpha_{cd}) \\ \Delta z_1 &= \hat{\varphi}_m(k) - \hat{\varphi}_m(k-1) - \hat{\Phi}_{11}(k-1) - \hat{\omega}_m(k-1)\hat{\Phi}_{12}(k-1) \\ \Delta z_2 &= \hat{\omega}_m(k) - \hat{\omega}_m(k-1) - \hat{\Phi}_{21}(k-1) - \hat{\omega}_m(k-1)\hat{\Phi}_{22}(k-1) \end{aligned}$$

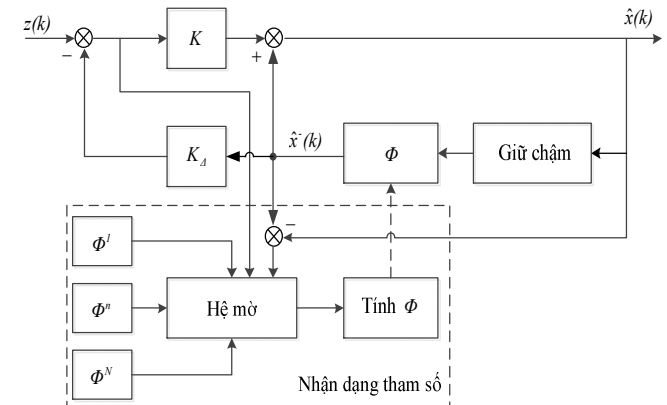
3. THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ GÓC MỤC TIÊU CÓ PHÁT HIỆN CƠ ĐỘNG TRÊN CƠ SỞ SỬ DỤNG HỆ THÍCH NGHIỆM MỜ

Phương pháp nhận dạng Φ (của thuật toán trên) còn tồn tại một số vấn đề, như:

- Sự thay đổi của ma trận Φ phụ thuộc vào việc áp đặt ma trận D_a và Q_a . Nói cách khác, ma trận khuếch đại K_a trong thuật toán nhận dạng ma trận Φ không tính tới sự cơ động nhanh hay chậm của mục tiêu.

- Quá trình thích nghi ma trận Φ không sử dụng thông tin tiên nghiệm về sự cơ động nhanh hay chậm của mục tiêu.

Bài báo đề xuất một thuật toán nhận dạng ma trận Φ trên cơ sở N ma trận Φ^n ($n = 1, 2, \dots, N$) biết trước và được tạo ra từ hai lớp mô hình mục tiêu, mỗi Φ^n phù hợp với mức độ cơ động nào đó. Việc xác định mức độ ảnh hưởng của từng mô hình (Φ^n) tới kết quả nhận dạng Φ được thực hiện bởi bộ điều khiển logic mờ.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm sử dụng hệ mờ

Lớp 1 gồm N_1 mô hình với kích thước bằng 2, các mô hình chỉ khác nhau bởi tham số cơ động α_m^n . Lớp 2 gồm $N_2 = N - N_1$ mô hình với kích thước bằng 3, các mô hình chỉ khác nhau bởi tham số cơ động α_m^n . Bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm gồm hai "khối":

- Khối đánh giá tọa độ pha của đường ngắm: Sử dụng bộ lọc Kalman.

- Khối nhận dạng ma trận Φ : Sử dụng bộ điều khiển logic mờ.

Ma trận Φ được xác định sao cho dự báo trạng thái do nó tạo ra bằng tổng trọng số các dự báo trạng thái được tạo ra bởi các mô hình giả thiết.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \tau & \frac{1}{2}\tau^2 \sum_{n=N_1+1}^N \beta^n \\ 0 & 1 - \tau \sum_{n=1}^{N_1} \beta^n \alpha_m^n & \tau \sum_{n=N_1+1}^N \beta^n \\ 0 & 0 & \sum_{n=N_1+1}^N \beta^n (1 - \tau \alpha_m^n) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\beta^n(k) = \frac{\beta^n(k-1) + K_v \gamma^n}{1 + K_v} \quad (13)$$

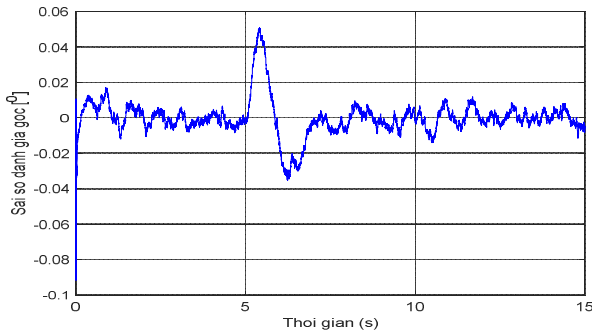
Để xác định γ^n (với $n = 1, 2, \dots, N$), sử dụng bộ điều khiển logic mờ với đầu vào là sai lệch của đánh giá trạng thái so với dự báo trạng thái $\Delta\varphi(k)$, $\Delta\omega(k)$ và $\Delta\dot{\omega}(k)$. Hệ mờ đảm bảo tăng hiệu quả của mô hình được xem là hợp lý nhất đến mô hình nhận dạng. Nếu mô hình thứ n là hợp lý thì γ^n nhận giá trị lớn còn γ^i ($i \neq n$) nhận giá trị nhỏ.

Khâu mờ hoá xác định độ hợp lý của từng mô hình giả thiết theo từng thành phần phần sai số dự báo; thiết bị hợp

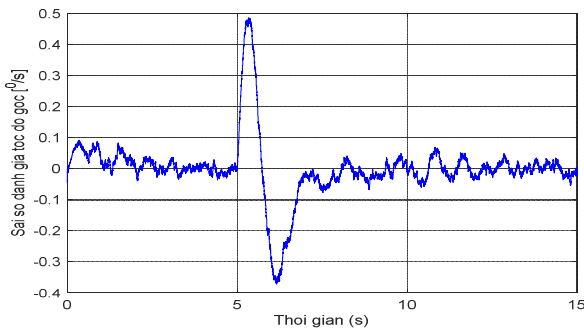
thành xác định độ hợp lý của các mô hình từ các luật mờ; mỗi luật mờ xác định mỗi mô hình giả thiết chiếm ưu thế; khâu giải mờ xác định độ hợp lý của mỗi mô hình.

4. KHẢO SÁT, ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

- Bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm có phát hiện cơ động trên cơ sở nhận dạng tham số mô hình trạng thái



Hình 3. Sai số đánh giá tọa độ góc ϕ_m



Hình 4. Sai số đánh giá tốc độ góc ω_m

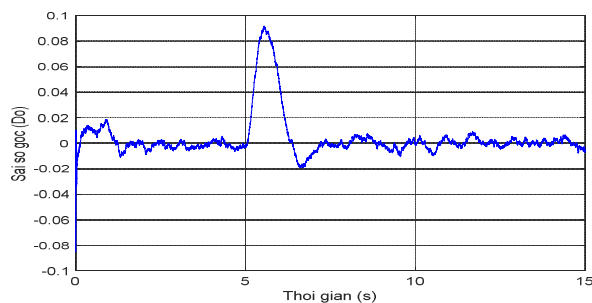
Từ kết quả mô phỏng thấy rằng, sai số đánh giá cả tọa độ góc và tốc độ góc đều nhỏ.

- Bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm có phát hiện cơ động trên cơ sở sử dụng hệ thích nghi mờ

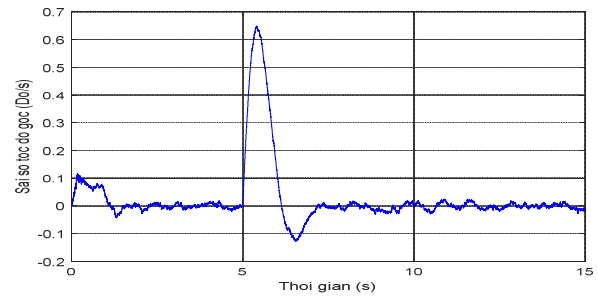
Bảng 1. Tham số bộ lọc sử dụng hệ thích nghi mờ

Lớp 1					Lớp 2					Tham số khác		
N_1	α_m				N_2	α_m				β^n	$\gamma_{\max}$	σ_{ω_m}
4	0,001	0,33	0,66	1	4	1	0,66	0,33	0,001	0,25	0,9	0,002

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, sai số đánh giá khi sử dụng hệ mờ thích nghi nhỏ ngay cả khi mục tiêu chuyển động với tốc độ góc thay đổi.

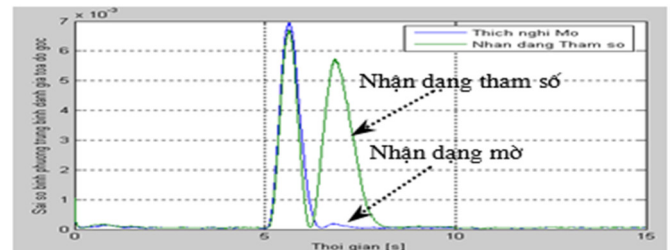


Hình 5. Sai số đánh giá tọa độ góc ϕ_m

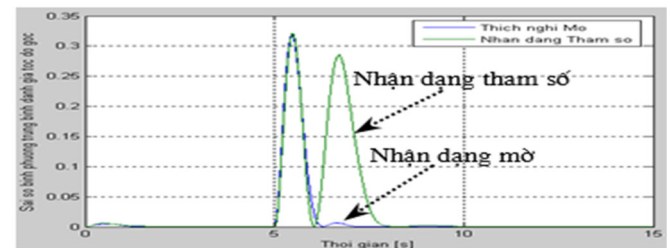


Hình 6. Sai số đánh giá tốc độ góc ω_m

- So sánh các bộ lọc đánh giá tọa độ góc đường ngắm thích nghi



Hình 7. Sai số trung bình bình phương tọa độ góc ϕ_m

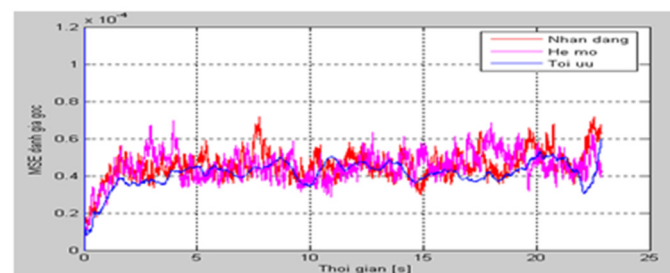


Hình 8. Sai số trung bình bình phương tốc độ góc ω_m

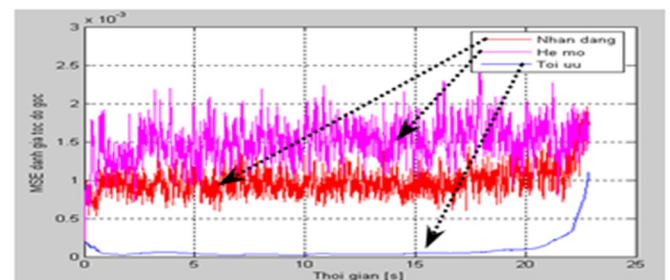
Mô phỏng các hệ xác định tọa độ góc mục tiêu

+ Trường hợp mục tiêu chuyển động thẳng đều.

Tham số mục tiêu: $V_m = -350[m/s]$, $\vartheta_m = 1^\circ$, $j_m = 0$.

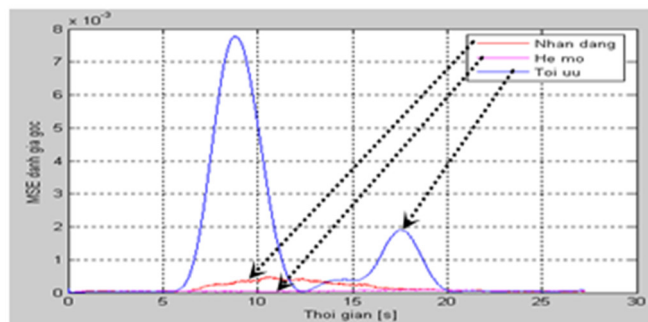


Hình 9. Sai số trung bình bình phương ϕ_n

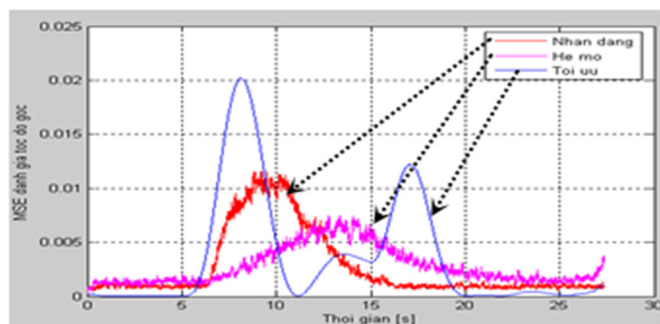


Hình 10. Sai số trung bình bình phương ω_n

+ Trường hợp mục tiêu cơ động. Tham số mục tiêu: $V_m = -350[m/s]$, $\vartheta_m = 1^\circ$.



Hình 11. Sai số trung bình bình phương φ_n



Hình 12. Sai số trung bình bình phương ω_n

Thuật toán lọc thích nghi có phát hiện cơ động trên cơ sở nhận dạng tham số mô hình trạng thái do ma trận dự báo liên tục được nhận dạng nên dự báo trạng thái sẽ chính xác hơn và do không thực hiện tăng hệ số khuếch đại nên không làm tăng ảnh hưởng của nhiễu quan sát tới đánh giá trạng thái. Vì vậy, độ chính xác đánh giá trạng thái của thuật toán được nâng cao. Tuy nhiên, do việc thích nghi ma trận chuyển trạng thái chưa sử dụng thông tin tiên nghiệm về mức độ cơ động khác nhau của mục tiêu nên độ chính xác nhận dạng đối với các trường hợp cơ động khác nhau là khác nhau.

Thuật toán lọc thích nghi có phát hiện cơ động trên cơ sở sử dụng hệ thích nghi mờ nhờ việc kiểm soát độ hợp lý của từng mô hình thành phần và tăng trọng số của mô hình hợp lý nhất trong mô hình nhận dạng nên độ chính xác nhận dạng được cải thiện trong các trường hợp mục tiêu cơ động với mức độ khác nhau. Bằng việc áp dụng bộ điều khiển mờ thích nghi đã nhận được thuật toán đơn giản hơn, tránh được kỹ thuật đánh giá đa mô hình rất phức tạp.

5. KẾT LUẬN

Trong hệ xác định tọa độ góc mục tiêu tối ưu nhiều vòng bám, yếu tố cơ động của mục tiêu được tính tới nhờ mô hình gia tốc pháp tuyến của mục tiêu j_m . Mô hình này được đặc trưng bởi tần suất cơ động α_{j_m} và cường độ cơ động $\sigma_{j_m}^2$. Tham số α_{j_m} và $\sigma_{j_m}^2$ chỉ được lựa chọn bằng hằng số, nên nó không đại diện cho mọi chuyển động cơ động của mục tiêu; sai số bám sát sẽ tăng khi chuyển động thực tế của mục tiêu không phù hợp với mô hình giả thiết.

Hệ xác định tọa độ góc mục tiêu trên cơ sở nhận dạng mô hình trạng thái và hệ xác định tọa độ góc mục tiêu trên cơ sở hệ thích nghi mờ đã khắc phục được các nhược điểm của hệ xác định tọa độ góc mục tiêu tối ưu, đáp ứng được với sự cơ động đa dạng của mục tiêu nhờ việc thích nghi ma trận chuyển trạng thái. Đặc biệt với việc sử dụng hệ mờ ma trận chuyển trạng thái được thích nghi trên cơ sở các mô hình giả thiết, nhờ đó nó có khả năng nâng cao độ chính xác nhận dạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Duh F.B., Lin C.T., 2012. *Radar tracking for a maneuvering target using neural fuzzy based Kalman filter*. 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. FUZZ-IEEE'02 Proceedings.
- [2]. Parlos A.G., 2001. *An algorithmic approach to adaptive state filtering using recurrent neural network*. IEEE Transactions on Neural Networks (volume 12, Issue 6) pp. 1411-1432.
- [3]. Yegupova N.D., 2012. *Methods of robust neuro-fuzzy and adaptive control*. Bauman Moscow State Technical University, Moscow.
- [4]. Kanashchenkov A.I., Merkulova V.I., 2013. *Aircraft radio control systems*. Radiotekhnika, Moscow.

AUTHORS INFORMATION

Vu Quang Luong¹, Ngo Van Dung¹, Vu Huu Thich²

¹Air Defence - Air Force Academy

²Hanoi University of Industry