

# ĐÁNH GIÁ THAM SỐ MỤC TIÊU CƠ ĐỘNG ĐỂ HIỆN THỰC HOÁ LUẬT DẪN TỐI ƯU TRÊN CƠ SỞ LỌC THÍCH NGHI ĐA MÔ HÌNH

*Vũ Đức Hoàn\* , Vũ Văn Hiếu†*  
*Email: duchoankshk@gmail.com*

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 03/11/2022  
Ngày nhận kết quả phản biện đánh giá: 04/05/2023  
Ngày bài báo được duyệt đăng: 26/05/2023

DOI: 10.59266/houjs.2023.254

**Tóm tắt:** Bài báo đưa ra giải pháp đánh giá tham số mục tiêu cơ động để hiện thực hóa luật dẫn tối ưu trên cơ sở đánh giá thích nghi đa mô hình. Đây là phương án đáp ứng và thay thế có hiệu quả các giải pháp trước khi giải quyết bài toán thích nghi đa mô hình chuyển động của mục tiêu di động với 5 trạng thái chính xác hơn và thời gian nhanh tối ưu hơn cho các bài toán trước đây trong cùng nghiên cứu.

**Từ khóa:** Dẫn đường, điều khiển, lọc Kalman, mục tiêu.

## I. Đặt vấn đề

Trên cơ sở phát triển của nền khoa học trong nước cũng như trên thế giới, việc ứng dụng và phát triển cho từng nhiệm vụ và giải pháp khác nhau nâng cao chất lượng nghiên cứu ứng dụng để đạt hiệu quả cao, trong đó đẩy mạnh các phương pháp đánh giá qua lý thuyết bộ lọc Kalman là lựa chọn tối ưu vào nhiệm vụ. Đáp ứng được mục đích của nghiên cứu “Đánh giá tham số của mục tiêu cơ động để thực hiện hóa luật dẫn tối ưu trên cơ sở lọc thích nghi đa mô hình”.

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng bộ lọc Kalman cho việc đánh giá tham số cho mục tiêu cơ động nhóm tác giả nhận thấy mô hình 5 trạng thái khắc phục được các nhược điểm của các mô hình trạng thái đã nghiên cứu cho bài toán cụ thể. Tuy nhiên, khi mục tiêu thay đổi cường độ cơ động hay thay đổi tần số cơ

động thì hiệu quả bộ lọc này bị suy giảm. Một giải pháp được đưa ra là sử dụng một ngân hàng bộ lọc, mỗi bộ lọc sẽ tương ứng với một giá trị cường độ hay tần số cơ động của mục tiêu, qua đó sẽ nâng cao hiệu quả đánh giá tham số của mục tiêu cơ động. Với ứng dụng thuật toán lọc Kalman, việc đánh giá các mục tiêu cơ động với gia tốc không đổi đã được giải quyết.

## II. Cơ sở lý thuyết xây dựng bộ lọc Kalman đánh giá tham số của mục tiêu cơ động

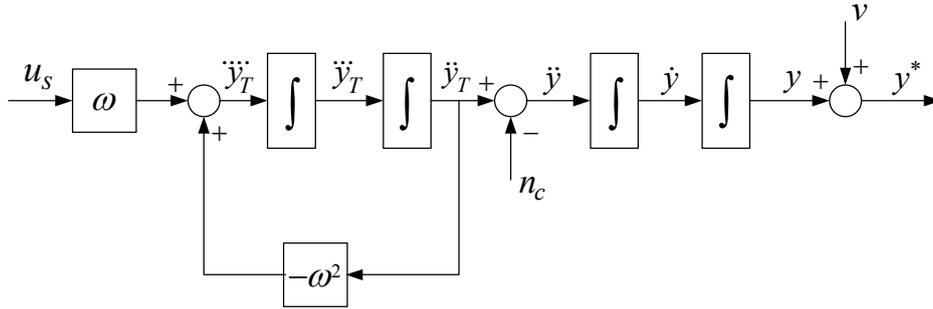
Ngoài nghiên cứu cơ sở lý thuyết cơ bản kết hợp với các tài liệu kỹ thuật để làm rõ mô hình đối tượng, thiết kế bộ điều khiển, bên cạnh đó còn dựa trên phương pháp thống kê, khảo sát giải tích kết hợp với mô phỏng trên máy tính đánh giá các tham số của mục tiêu cơ động.

\* Khoa Vô tuyến điện tử, Trường Sĩ Quan Không Quân

† Viện Thiết kế tàu quân sự, Tổng cục CNQP

### 2.1. Bộ lọc Kalman 4 trạng thái.

Xét vòng điều khiển tự dẫn với mục tiêu cơ động dạng hình sin [1]:



$y^*$ : vị trí tương đối khi có nhiễu;  $v$ : nhiễu

Hình 1. Mô hình vòng điều khiển tự dẫn với mục tiêu cơ động hình sin

Giả thiết đầu vào hàm truyền là tạp trắng  $u_s$ , gia tốc tên lửa  $n_c$  và tần số cơ động của mục tiêu  $\omega$  được biết trước và không phải ước lượng.

Bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái sẽ ước lượng được vị trí tương đối  $y$ , vận tốc tương đối  $\dot{y}$ , gia tốc của mục tiêu  $\ddot{y}_T$  và tốc độ thay đổi gia tốc của mục tiêu tức là đạo hàm gia tốc của mục tiêu  $\ddot{\ddot{y}}_T$ .

Biểu diễn trong không gian trạng thái:

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{y} \\ \ddot{y}_T \\ \ddot{\ddot{y}}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\omega^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ \ddot{y}_T \\ \ddot{\ddot{y}}_T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} n_c + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega u_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Qua các phép biến đổi, ta thu được phương trình bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái:

$$\begin{aligned} \text{RES}_k &= y_k^* - \hat{y}_{k-1} - T_s \hat{y}_{k-1} - \frac{1 - \cos x}{\omega^2} \hat{y}_{T_{k-1}} - \frac{x - \sin x}{\omega^3} \hat{y}_{T_{k-1}} + 0.5 T_s^2 n_{c_{k-1}} \\ \hat{y}_k &= \hat{y}_{k-1} + T_s \hat{y}_{k-1} + \frac{1 - \cos x}{\omega^2} \hat{y}_{T_{k-1}} + \frac{x - \sin x}{\omega^3} \hat{y}_{T_{k-1}} - 0.5 T_s^2 n_{c_{k-1}} + K_1 \text{RES}_k \\ \hat{y}_k &= \hat{y}_{k-1} + \frac{\sin x}{\omega} \hat{y}_{T_{k-1}} + \frac{1 - \cos x}{\omega^2} \hat{y}_{T_{k-1}} - T_s n_{c_{k-1}} + K_2 \text{RES}_k \\ \hat{y}_{T_k} &= \cos x (\hat{y}_{T_{k-1}}) + \frac{\sin x}{\omega} \hat{y}_{T_{k-1}} + K_3 \text{RES}_k \\ \hat{y}_{T_k} &= -\omega \sin x (\hat{y}_{T_{k-1}}) + \cos x (\hat{y}_{T_{k-1}}) + K_4 \text{RES}_k \end{aligned} \quad (3)$$

Với  $x = \omega T_s$  ( $T_s$ : thời gian lấy mẫu)

Trong đó  $K_k$  là hệ số khuếch đại Kalman được tính toán trong khi bộ lọc đang hoạt động từ phương trình Ricatti.

### 2.2. Bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái.

Sử dụng mô hình vòng điều khiển tự dẫn với mục tiêu cơ động dạng hình sin ở hình 1, đầu vào coi là tạp trắng  $u_{s1}$ . Các phương trình mô tả vòng điều khiển tự dẫn với mục tiêu cơ động như sau [1]:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \dot{y} \\ \ddot{y} &= \ddot{y}_T - n_c \\ \ddot{y}_T &= \ddot{y}_T \\ \ddot{y}_T &= -\omega^2 \ddot{y}_T + \omega u_{s1} \end{aligned} \quad (4)$$

Ta cần thêm một phương trình thể hiện tần số cơ động của mục tiêu. Coi đạo hàm của tần số cơ động của mục tiêu là tạp trắng  $u_{s2}$ :

$$\dot{\omega} = u_{s2}$$

Qua các phép biến đổi, ta thu được phương trình bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái dạng đơn giản như sau:

$$\begin{aligned} \text{RES}_k &= y_k^* - \hat{y}_{k-1} \\ \hat{y}_k &= \hat{y}_{k-1} + K_1 \text{RES}_k \\ \hat{y}_k &= \hat{y}_{k-1} + K_2 \text{RES}_k \\ \hat{y}_{T_k} &= \hat{y}_{T_{k-1}} + K_3 \text{RES}_k \\ \hat{y}_{T_k} &= \hat{y}_{T_{k-1}} + K_4 \text{RES}_k \\ \hat{\omega}_k &= \hat{\omega}_{k-1} + K_5 \text{RES}_k \end{aligned} \quad (5)$$

## III. Phương pháp nghiên cứu

Quá trình nghiên cứu được tiến hành theo phương pháp nghiên cứu lý thuyết gắn với mô phỏng thử nghiệm.

### 3.1. Nghiên cứu lý thuyết:

- Xây dựng mô hình đánh giá các tham số mục tiêu cơ động theo lý thuyết bộ lọc Kalman;

- Ứng dụng lý thuyết bộ lọc Kalman 4 trạng thái và 5 trạng thái phân tích sự ổn định của bài toán đặt ra.

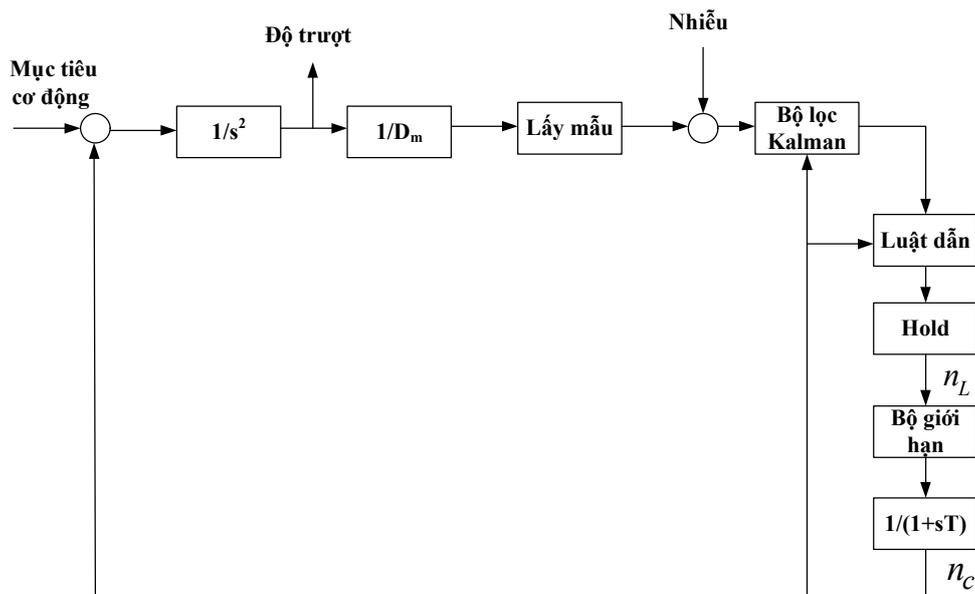
### 3.2. Nghiên cứu thực nghiệm:

- Kiểm chứng kết quả bài toán và hiệu quả mô hình hệ thống với mục tiêu cơ động thông qua mô phỏng trên máy tính.

## IV. Kết quả mô phỏng, đánh giá

Sử dụng mô hình hệ thống dẫn đổi với mục tiêu cơ động dạng phức tạp như hình 2.

Ta sẽ mô phỏng mô hình hệ thống ở hình 2 trên Matlab với các trường hợp: bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái; bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái; thuật toán lọc sử dụng ngân hàng bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái.



Hình 2. Bộ lọc Kalman trong mô hình vòng điều khiển tự dẫn với khâu tên lửa là khâu quán tính bậc một

Và các giá trị danh định đầu vào hệ thống sử dụng mô phỏng trên Matlab:

Các giá trị danh định đầu vào hệ thống

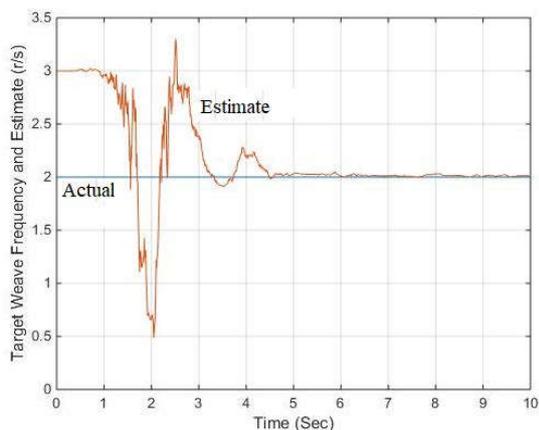
Tham số	Định nghĩa	Giá trị
$n_T$	Cường độ cơ động của mục tiêu	3g (96.6 ft/s <sup>2</sup> )
$V_M$	Vận tốc tên lửa	3000 ft/s
$\sigma_{Noise}$	Nhiều đo đầu tự dẫn	0.1 mr
$V_c$	Vận tốc tiếp cận	9000 ft/s
T	Hằng số thời gian hệ thống điều khiển bay	0.5 s
$\omega$	Tần số cơ động của mục tiêu	Từ 1÷10 rad/s
$t_F$	Thời gian tự dẫn (thời gian bay)	10 s
$T_s$	Thời gian lấy mẫu	0.01 s

**4.1. Đánh giá hiệu quả bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái**

Từ hình 3 có thể thấy rằng trong trường hợp tần số cơ động thực tế của mục tiêu là 2 rad/s và nếu đánh giá ban đầu về tần số cơ động của mục tiêu là 3 rad/s (sai số đánh giá ban đầu 1 rad/s), bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái có thể đánh giá tốt tần số cơ động của mục tiêu sau hơn 4 giây.

Tuy nhiên, nếu đánh giá ban đầu về

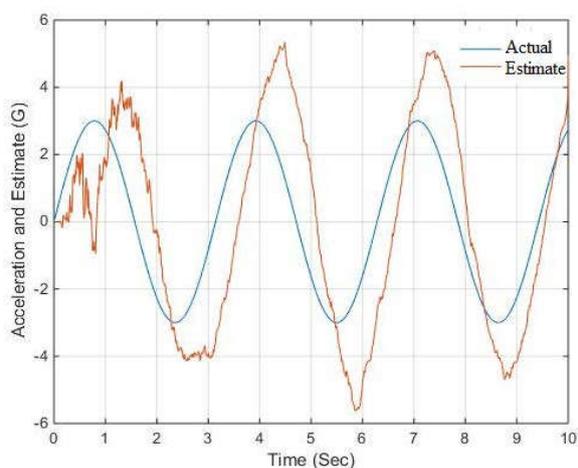
tần số cơ động của mục tiêu là 4 rad/s (sai số đánh giá ban đầu 2 rad/s), đánh giá của bộ lọc Kalman mở rộng 5 trạng thái về tần số cơ động của mục tiêu sẽ sai với thực tế và có sai số đáng kể. (hình 4)



Hình 3. Đánh giá của bộ lọc Kalman mở rộng về tần số cơ động của mục tiêu khi tần số thực tế là 2 rad/s, đánh giá 3 rad/s (sai số 1 rad/s)

#### 4.2. Đánh giá hiệu quả bộ lọc Kalman 4 trạng thái

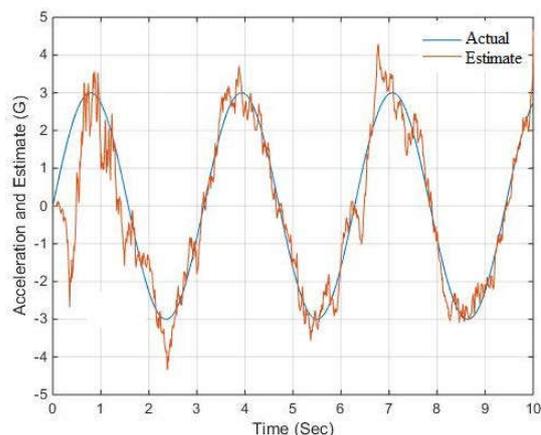
Nếu tần số cơ động của mục tiêu đã biết, bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái có đánh giá rất tốt về gia tốc của mục tiêu sau một khoảng thời gian ngắn. (hình 5)



Hình 6. Đánh giá của bộ lọc Kalman 4 trạng thái khi tần số thực tế là 2 rad/s, đánh giá 1 rad/s.

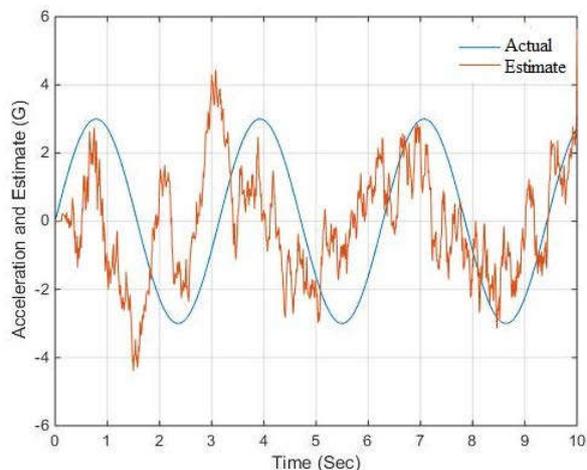
#### 4.3. Đánh giá hiệu quả thuật toán lọc thích nghi đa mô hình

Xét trường hợp trong đó ngân hàng bộ lọc có ba bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái. Với giả định rằng một trong ba bộ lọc là thực sự chính xác nghĩa là được giả định chính xác tần số cơ động của mục tiêu trong thực tế.



Hình 5. Đánh giá của bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái khi tần số thực tế là 2 rad/s, đánh giá 2 rad/s

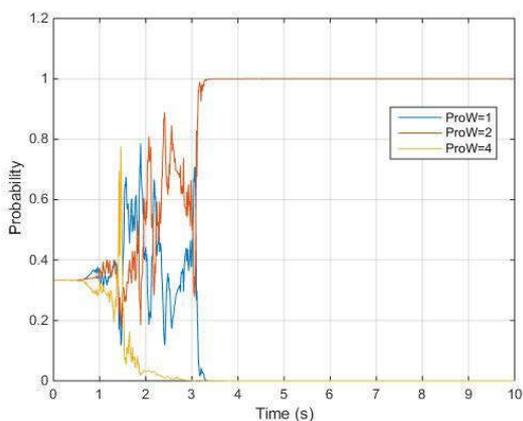
Tuy nhiên nếu thông tin về tần số cơ động của mục tiêu là sai, đánh giá của bộ lọc Kalman tuyến tính 4 trạng thái về gia tốc của mục tiêu sẽ thực sự xấu đi.



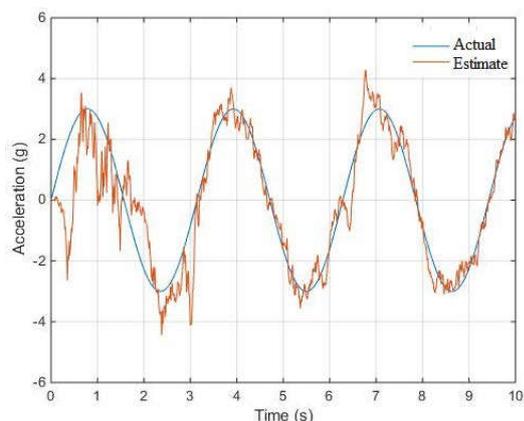
Hình 7. Đánh giá của bộ lọc Kalman 4 trạng thái khi tần số thực tế là 2 rad/s, đánh giá 4 rad/s.

Mô phỏng với tần số cơ động của mục tiêu trong thực tế là 2 rad/s. Bộ lọc thứ nhất trong ngân hàng bộ lọc được giả định với tần số cơ động của mục tiêu là 1 rad/s, bộ lọc thứ hai được điều chỉnh lên 2 rad/s và bộ lọc thứ ba được điều chỉnh ở 4 rad/s. Do đó bộ lọc chính xác ở đây là bộ lọc thứ hai với tần số 2 rad/s.

Trên hình 8 có thể thấy sau khoảng thời gian hơn 2 giây thuật toán chỉ ra rằng bộ lọc chính xác nhiều khả năng là bộ lọc được giả định ở tần số 2 rad/s. Và sau khoảng thời gian hơn 3 giây thuật toán gần như chắc chắn bộ lọc tần số 2 rad/s là bộ



Hình 8. Đánh giá của thuật toán lọc thích nghi về bộ lọc có tần số chính xác

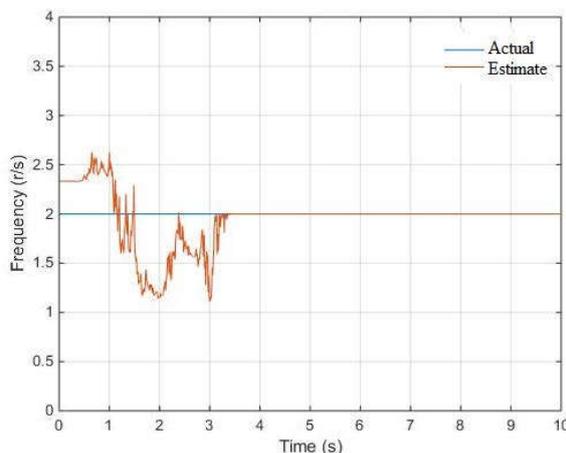


Hình 10. Đánh giá của thuật toán lọc thích nghi đa mô hình về gia tốc của mục tiêu

lọc chính xác, xác suất chính xác của bộ lọc bằng 1 còn xác suất chính xác của hai bộ lọc còn lại tiến về 0.

Hình 9 cho ta thấy mất khoảng hơn 3 giây để thuật toán hoàn toàn chắc chắn bộ lọc nào trong ba bộ lọc là chính xác, điều đó được thể hiện đánh giá về tần số cơ động của mục tiêu là bằng với tần số cơ động của mục tiêu trong thực tế.

Hình 10 cũng cho thấy rằng việc kết hợp các đánh giá trạng thái của ba bộ lọc trong ngân hàng bộ lọc sẽ mang lại đánh giá rất tốt về gia tốc của mục tiêu sau khoảng thời gian hơn 3 giây.



Hình 9. Đánh giá của thuật toán lọc thích nghi đa mô hình về tần số cơ động của mục tiêu

## V. Kết luận

Nội dung bài báo đã chứng minh thuật toán lọc thích nghi đa mô hình sử dụng một ngân hàng bộ lọc Kalman tuyến tính 5 trạng thái có thể được sử dụng cho mục đích đánh giá tần số cơ động của mục tiêu. Nó cho thấy rằng việc kết hợp các đầu ra của bộ lọc ở dạng xác suất sẽ mang lại các đánh giá có độ chính xác cao về tần số cơ động của mục tiêu và cho kết quả không hề thua kém các thuật toán lọc Kalman khác trong việc đánh giá các tham số của mục tiêu cơ động.

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. M. Briggs, P. Menon, *A midcourse guidance law for air-to-air missiles*, in Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, AIAA Paper 1987-2509, August 1987.
- [2]. Paul Zarchan (2012), *Tactical and Strategic Missile Guidance*, six edition, Vol.2, Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington, D.C.
- [3]. V. H. L. Cheng and N. KGupta, *Advanced midcourse guidance for air-to-air missiles*, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, pp. 135–142, 1986.
- [4]. В. И Меркулова, А. И. Канащенкова, *Авиационные системы радиоуправления* (том 2), Радиотехника, Москва, 2003.
- [5]. В. Мальшев, *Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления*, Учебное пособие - М.: Изд. МАИ-ПРИНТ, 2010 - 440с.

**ASSESSMENT OF EVERY PARAMETER OF EVERY PERFORMANCE  
MONITORING PRACTICE OPTIMIZATION LAW ON THE BASIS OF  
MULTI-MODEL ADJUSTABLE FILTER**

*Vu Duc Hoan<sup>‡</sup>, Vu Van Hieu<sup>§</sup>*

***Abstract:** The article proposes a solution to evaluate the dynamic objective parameter to realize the optimal conduction rule based on the multi-model adaptive evaluation. This is an effective response and replacement of solutions before solving the problem of multi-model adaptation of moving targets with five more accurate states and faster optimal time for different problems from previous calculations in the same study.*

***Keywords:** Navigation, control, Kalman filter, target.*

---

<sup>‡</sup> Faculty of Radioelectronics, Air force officer university, Nhatrang, Vietnam

<sup>§</sup> Military ship design institute, General Department of Defense Industry, Hanoi, Vietnam