

ĐÁNH GIÁ THAM SỐ MỤC TIÊU CƠ ĐỘNG CAO TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT LỌC KALMAN

EVALUATION OF HIGHLY MANEUVERING TARGET PARAMETERS
BASED ON THE APPLICATION OF KALMAN FILTER THEORY

Vũ Hữu Thích², Nguyễn Văn Bằng^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.111>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả xây dựng thuật toán lọc với mục đích đánh giá các tham số của mục tiêu cơ động cao, để hiện thực hóa luật dẫn tên lửa khi tính đến tham số của mục tiêu cơ động trên cơ sở ứng dụng bộ lọc Kalman 3 trạng thái. Thuật toán có cấu trúc đơn giản, độ hội tụ cao và bền vững. Kết quả mô phỏng cho thấy thuật toán có độ tin cậy cao, dễ dàng hiện thực hóa trong thực tế, đáp ứng được yêu cầu của các luật dẫn hiện đại nhằm nâng cao hiệu quả tiêu diệt mục tiêu và độ chính xác dẫn.

Từ khóa: Luật dẫn, mục tiêu, bộ lọc Kalman, cơ động cao, đánh giá.

ABSTRACT

The paper presents the results of building a filter algorithm with the purpose of evaluating the parameters of a highly maneuverable target, in order to realize the missile guidance law when taking into account the parameter of a maneuvering target on the basis of the application of three-states Kalman filter. The algorithm has a simple structure, high convergence and stability. The simulation results show that the algorithm is highly reliable, easy to implement in practice, and meets the requirements of modern guiding laws to advance the efficiency of target destruction and improve the accuracy of the guidance.

Keywords: Guidance law, target, Kalman filter, high maneuvers, evaluate.

¹Học viện Phòng không - Không Quân

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: banghvpkkq@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/01/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 01/4/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. TỔNG QUAN

Trong luật dẫn tiếp cận tỉ lệ, gia tốc của tên lửa n_c tỉ lệ với tốc độ quay đường ngắm $\dot{\sigma}$, tỉ lệ với độ trượt y và tỉ lệ nghịch với bình phương thời gian tự dẫn còn lại t_{go} [3, 4]:

$$n_c = \frac{N}{t_{go}^2} [y + \dot{y}t_{go}] = NV_c \dot{\sigma} \quad (1)$$

Thành phần độ trượt trong luật dẫn tiếp cận tỉ lệ (1) không có tham số mô tả sự cơ động của mục tiêu. Điều này không có nghĩa luật dẫn tiếp cận tỉ lệ không bắn trúng mục tiêu, mà có nghĩa là luật dẫn này không tối ưu với mục tiêu cơ động.

Nếu mục tiêu cơ động là hàm theo thời gian, chúng ta có thể tính độ trượt một cách chính xác và tạo ra mô hình luật dẫn mới là luật dẫn tiếp cận tỉ lệ nâng cao [1, 2, 5, 7]. Biểu thức toán học khi này của độ trượt có chứa thêm thành phần cơ động của mục tiêu là gia tốc của mục tiêu $\ddot{y}_T$.

$$n_c = \frac{N}{t_{go}^2} [y + \dot{y}t_{go} + \frac{1}{2}\ddot{y}_T t_{go}^2] = NV_c \dot{\sigma} + \frac{1}{2}N\ddot{y}_T \quad (2)$$

Luật dẫn tiếp cận tỉ lệ nâng cao (2) gồm hai thành phần, thành phần thứ nhất tỉ lệ với tốc độ quay đường ngắm $\dot{\sigma}$ và thành phần thứ hai tỉ lệ với gia tốc của mục tiêu $\ddot{y}_T$.

Khi mục tiêu cơ động dạng phức tạp, nếu biết được dạng cơ động của mục tiêu, ta có thể xây dựng được một luật dẫn tối ưu ngay cả khi mục tiêu cơ động ở dạng phức tạp.

Một trong các giải pháp để nâng cao khả năng tiêu diệt các mục tiêu cơ động phức tạp là cải thiện luật dẫn theo hướng thêm vào biểu thức của luật dẫn các tham số của mục tiêu bao gồm gia tốc mục tiêu, đạo hàm gia tốc mục tiêu và tần số cơ động của mục tiêu.

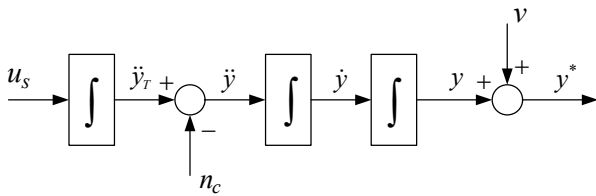
Tuy nhiên, trên các thiết bị thực hiện nay mới chỉ xác định được vị trí và vận tốc mục tiêu mà chưa xác định được gia tốc mục tiêu, đạo hàm gia tốc mục tiêu và tần số cơ động của mục tiêu. Do đó, để hiện thực hóa luật dẫn hiện

đại [6, 8, 9, 11] thì ta cần đo được hoặc đánh giá được các tham số trong biểu thức của luật dẫn. Ngoài các tham số giống như luật dẫn tiếp cận tỉ lệ thì ta cần phải đánh giá được các tham số như gia tốc của mục tiêu, sự thay đổi gia tốc của mục tiêu (đạo hàm gia tốc của mục tiêu) và tần số cơ động của mục tiêu.

Trên cơ sở ứng dụng lý thuyết lọc Kalman, bài báo đề xuất một phương pháp nhằm xây dựng thuật toán lọc để đánh giá gia tốc của mục tiêu cơ động cao.

2. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐÁNH GIÁ GIA TỐC MỤC TIÊU CƠ ĐỘNG CAO

Để đánh giá khả năng ứng dụng của bộ lọc Kalman, trước tiên cần xem xét vòng điều khiển tự dẫn ở dạng lý tưởng (bậc 0) [2, 10, 12].



Hình 1. Bộ lọc Kalman trong vòng điều khiển tự dẫn

Trong vòng tự dẫn này, ta chỉ đo được vị trí tương đối tên lửa - mục tiêu y^* do có nhiễu v và cố gắng ước lượng vị trí tương đối tên lửa - mục tiêu y (tức là cố gắng ước lượng giá trị thực không có nhiễu), vận tốc tương đối tên lửa - mục tiêu $\dot{y}$ và gia tốc pháp tuyến $\ddot{y}_T$ của mục tiêu. Lúc này, gia tốc của tên lửa n_c được coi là đã biết (do luật dẫn quyết định), còn gia tốc của mục tiêu $\ddot{y}_T$ được mô hình hóa như nhiễu tạp trắng u_s thông qua khâu tích phân.

Mật độ phổ của tạp trắng u_s có dạng như sau:

$$\Omega_s = \frac{n_{TMAX}^2}{t_f} \quad (3)$$

n_{TMAX} : Mức độ cơ động cực đại của mục tiêu.

t_f : Thời gian tự dẫn.

Phương trình vi phân biểu diễn mối quan hệ động học của hệ thống có dạng [4, 5]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{G}\mathbf{u} + \mathbf{w}$$

Từ sơ đồ cấu trúc vòng điều khiển tự dẫn hình 1, ta có thể biểu diễn dưới dạng hệ phương trình không gian trạng thái:

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\ddot{y}}_T \\ \ddot{y}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ \ddot{y}_T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} n_c + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ma trận động học của hệ thống có dạng:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ma trận cơ sở liên tục có thể được tính từ ma trận động học của hệ thống theo công thức sau:

$$\Phi(\mathbf{t}) = \mathbf{E}^{-1} \{ [\mathbf{sI} - \mathbf{F}]^{-1} \} \quad (6)$$

Trong đó: $\mathbf{I}$ - Ma trận đơn vị và $\mathbf{E}^{-1}$ - Phép biến đổi Laplace ngược.

Ta có:

$$\mathbf{sI} - \mathbf{F} = \begin{bmatrix} s & -1 & 0 \\ 0 & s & -1 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} = \mathbf{A}$$

$$\det \mathbf{A} = s^3; A_{11} = s^2, A_{12} = 0, A_{13} = 0;$$

$$A_{21} = s, A_{22} = s^2, A_{23} = 0; A_{31} = 1, A_{32} = s, A_{33} = s^2;$$

$$[\mathbf{sI} - \mathbf{F}]^{-1} = \frac{1}{s^3} \begin{bmatrix} s^2 & s & 1 \\ 0 & s^2 & s \\ 0 & 0 & s^2 \end{bmatrix}$$

$$\Phi(s) = [\mathbf{sI} - \mathbf{F}]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s^2} & \frac{1}{s^3} \\ 0 & \frac{1}{s} & \frac{1}{s^2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Thay vào phương trình (6) ta có:

$$\Phi(\mathbf{t}) = \mathbf{E}^{-1} \{ [\mathbf{sI} - \mathbf{F}]^{-1} \} = \begin{bmatrix} 1 & t & 0,5t^2 \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Bằng việc thay biến thời gian t bằng thời gian lấy mẫu T_s , nhận được ma trận cơ sở dạng rời rạc như sau:

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & T_s & 0,5T_s^2 \\ 0 & 1 & T_s \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Phương trình đo được biểu diễn ở dạng rời rạc như sau:

$$\mathbf{y}_k^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_k \\ \dot{y}_k \\ \ddot{y}_{T_k} \end{bmatrix} + \mathbf{v}_k \quad (9)$$

Do đó ma trận đo rời rạc có dạng:

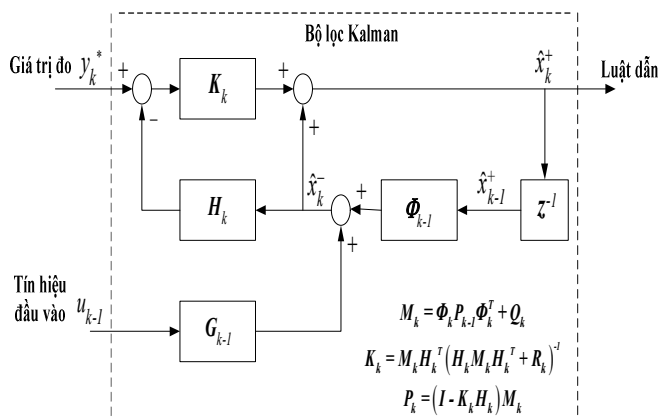
$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Từ hệ phương trình không gian trạng thái ban đầu ta có ma trận điều khiển **G** liên tục:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ma trận điều khiển $\mathbf{G}_k$ rời rạc được tính bởi:

$$\mathbf{G}_k = \int_0^{T_s} \Phi(t) \mathbf{G}(t) dt = \int_0^{T_s} \begin{bmatrix} 1 & t & 0.5t^2 \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} dt = \begin{bmatrix} -0.5T_s^2 \\ -T_s \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$



Hình 2. Sơ đồ tổng quát bộ lọc Kalman rời rạc

Theo thuật toán lọc Kalman rời rạc [3, 10], ta có phương trình bộ lọc Kalman rời rạc được tính theo công thức:

$$\hat{X}_k^+ = \Phi_k \hat{X}_{k-1}^+ + \mathbf{G}_k u_{k-1} + \mathbf{K}_k (y_k^* - \mathbf{H}_k \Phi_k \hat{X}_{k-1}^+ - \mathbf{H}_k \mathbf{G}_k u_{k-1}) \quad (13)$$

Từ hệ phương trình không gian trạng thái và thay thế các ma trận thích hợp vào phương trình (13), ta có:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_k \\ \hat{y}_k \\ \hat{y}_{T_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_s & 0,5 T_s^2 \\ 0 & 1 & T_s \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{k-1} \\ \hat{y}_{k-1} \\ \hat{y}_{T_{k-1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,5 T_s^2 \\ -T_s \\ 0 \end{bmatrix} n_{c_{k-1}} + \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} y_k^* [1 & 0 & 0] \begin{bmatrix} 1 & T_s & 0,5 T_s^2 \\ 0 & 1 & T_s \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{k-1} \\ \hat{y}_{k-1} \\ \hat{y}_{T_{k-1}} \end{bmatrix} \\ -[1 & 0 & 0] \begin{bmatrix} -0,5 T_s^2 \\ -T_s \\ 0 \end{bmatrix} n_{c_{k-1}} \end{bmatrix} \right) \quad (14)$$

Từ (14), ta có thể khai triển để tạo thành bộ lọc Kalman tuyến tính 3 trạng thái như sau:

$$\begin{aligned} \text{RES}_k &= y_k^* - \hat{y}_{k-1} - T_s \hat{y}_{k-1} - 0,5 T_s^2 (\ddot{y}_{T_{k-1}} - n_{c_{k-1}}) \\ \hat{y}_k &= \hat{y}_{k-1} + T_s \dot{\hat{y}}_{k-1} + 0,5 T_s^2 (\ddot{y}_{T_{k-1}} - n_{c_{k-1}}) + K_1 \text{RES}_k \\ \dot{\hat{y}}_k &= \dot{\hat{y}}_{k-1} + T_s (\ddot{y}_{T_{k-1}} - n_{c_{k-1}}) + K_2 \text{RES}_k \\ \ddot{\hat{y}}_{T_k} &= \ddot{\hat{y}}_{T_{k-1}} + K_3 \text{RES}_k \end{aligned} \quad (15)$$

Hệ số khuếch đại K_k nhận được từ việc giải hệ phương trình Ricatti. Phương trình Ricatti đầu tiên có dạng:

$$\mathbf{M}_k = \Phi_k \mathbf{P}_{k-1} \Phi_k^T + \mathbf{Q}_k \quad (16)$$

Q_k - Ma trận nhiễu quá trình dạng rời rạc được xác định theo biểu thức:

$$\mathbf{Q}_k = \int_0^{T_s} \Phi(t) \mathbf{Q} \Phi^T(t) dt \quad (17)$$

Q - Ma trận nhiễu quá trình và **Q** được tính theo công thức [7, 11]:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{E}(\mathbf{w} \mathbf{w}^T) \quad (18)$$

Với:

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u_s \end{bmatrix} \quad (19)$$

Thay biểu thức (19) vào biểu thức (18) ta có:

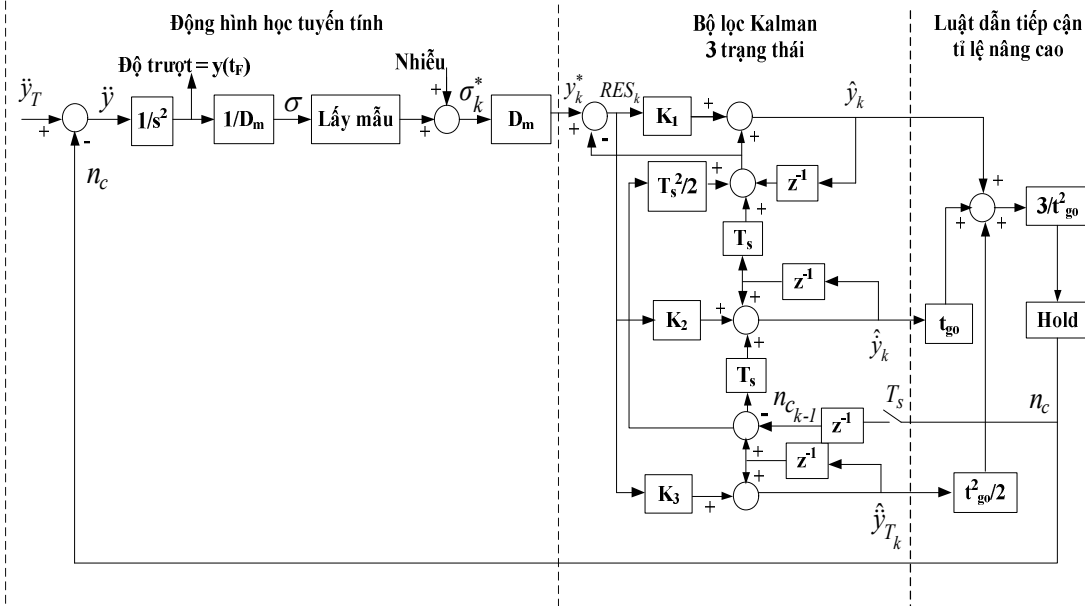
$$\mathbf{Q} = \mathbf{E}(\mathbf{w} \mathbf{w}^T) = \mathbf{E} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{u}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \mathbf{u}_s^T \end{bmatrix} = \mathbf{\Omega}_s \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Thay biểu thức (20) vào biểu thức (17) ta có:

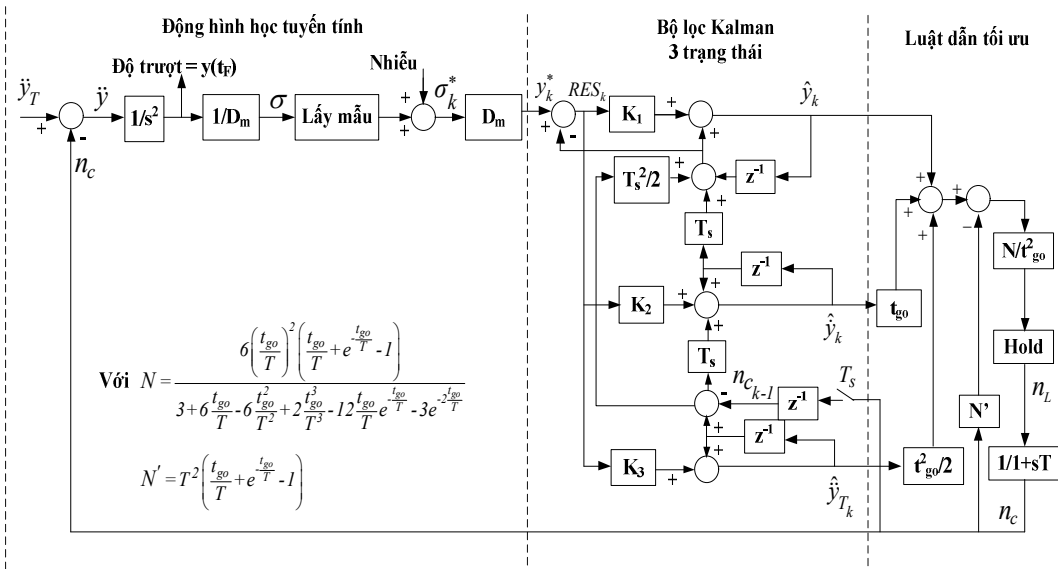
$$\mathbf{Q}_k = \Omega_s \begin{bmatrix} \frac{T_s^5}{20} & \frac{T_s^4}{8} & \frac{T_s^3}{6} \\ \frac{T_s^4}{8} & \frac{T_s^3}{3} & \frac{T_s^2}{2} \\ \frac{T_s^3}{6} & \frac{T_s^2}{2} & T_s \end{bmatrix} \quad (21)$$

Thay các tham số vào biểu thức (16) ta có:

$$\mathbf{M}_k = \begin{bmatrix} 1 & T_s & 0,5 T_s^2 \\ 0 & 1 & T_s \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{12} & P_{22} & P_{23} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ T_s & 1 & 0 \\ 0,5 T_s^2 & T_s & 1 \end{bmatrix} + \mathbf{\Omega}_s \begin{bmatrix} \frac{T_s^5}{20} & \frac{T_s^4}{8} & \frac{T_s^3}{6} \\ \frac{T_s^4}{8} & \frac{T_s^3}{3} & \frac{T_s^2}{2} \\ \frac{T_s^3}{6} & \frac{T_s^2}{2} & T_s \end{bmatrix} \quad (22)$$



Hình 3. Bộ lọc Kalman 3 trạng thái trong vòng điều khiển tự dẫn với luật dẫn tiếp cận tỉ lệ nâng cao



Hình 4. Bộ lọc Kalman 3 trạng thái trong vòng điều khiển tự dẫn với luật dẫn tối ưu

Phương trình Ricatti thứ 2 được dùng để xác định các hệ số khuếch đại của bộ lọc Kalman:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{M}_k \mathbf{H}_k^T [\mathbf{H}_k \mathbf{M}_k \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k]^{-1} \quad (23)$$

$\mathbf{R}_k$ - Ma trận nhiễu đo liên hệ với véc tơ nhiễu đo theo biểu thức sau:

$$\mathbf{R}_k = \mathbf{E}[\mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^T] = \sigma_n^2 \quad (24)$$

σ_n^2 - Phương sai của nhiễu đo lường.

Với sơ đồ cấu trúc hình 1, $\mathbf{R}_k$ là ma trận 1×1 , vì thế chúng ta có thể tính được các hệ số khuếch đại Kalman K_k có dạng như sau:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{M_{11}}{M_{11} + \sigma_n^2} \\ K_2 &= \frac{M_{12}}{M_{11} + \sigma_n^2} \\ K_3 &= \frac{M_{13}}{M_{11} + \sigma_n^2} \end{aligned} \quad (25)$$

Phương trình Ricatti thứ 3 được dùng để xác định ma trận tương quan sai số ước lượng trạng thái sau khi cập nhật đo lường có dạng:

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{M}_k \quad (26)$$

Có thể dễ dàng viết dưới dạng sau:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} (1-K_1)M_{11} & (1-K_1)M_{12} & (1-K_1)M_{13} \\ M_{12}-K_2M_{11} & M_{22}-K_2M_{12} & M_{23}-K_2M_{13} \\ M_{13}-K_3M_{11} & M_{23}-K_3M_{12} & M_{33}-K_3M_{13} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Với z^{-1} biểu diễn sự trễ mà có $z^{-1}y_k = y_{k-1}$. Trong mô hình trên ta đo góc đường ngắm σ_k^* do có nhiễu đo đầu tự dẫn gây ra. Chúng ta tạo ra một thiết bị đo vị trí tương đối y_k^* nhờ phép nhân của góc đường ngắm σ_k^* với cự ly tên lửa - mục tiêu D_m . Đầu ra của bộ lọc Kalman sau đó sẽ cung cấp các đánh giá tối ưu về vị trí tương đối $\hat{y}_k$, vận tốc tương đối $\hat{y}_{\dot{k}}$ và gia tốc của mục tiêu $\hat{y}_{\ddot{k}}$, từ đó hình thành nên luật dẫn.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô phỏng thuật toán lọc Kalman tuyến tính 3 trạng thái trong vòng điều khiển tự dẫn với luật dẫn tiếp cận tỉ lệ, tiếp cận tỉ lệ nâng cao, tối ưu.

Tham số đầu vào hệ thống:

Biên độ cơ động của mục tiêu: $n_T = 3g$ (m/s²)

Vận tốc tên lửa: $V_M = 900$ (m/s)

Nhiều đo đầu tự dẫn: $\sigma_{\text{Noise}} = 1$ (mr) và $\sigma_{\text{Noise}} = 10$ (mr)

Vận tốc tiếp cận: $V_c = 2700$ (m/s)

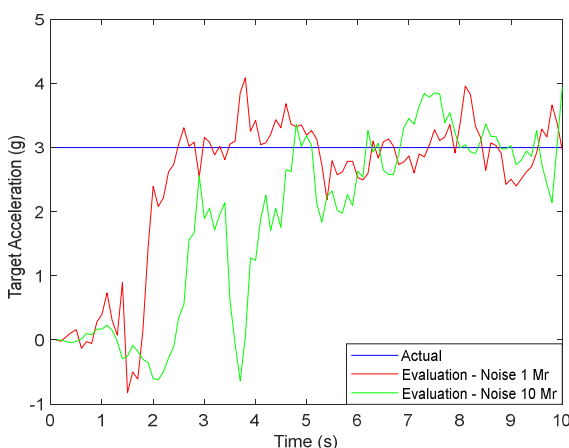
Hằng số thời gian: $T = 0,5$ (s)

Tần số cơ động của mục tiêu: $\omega = 2$ (rad/s)

Thời gian tự dẫn (thời gian bay): $t_f = 10$ (s)

Thời gian lấy mẫu: $T_s = 0,01$ (s)

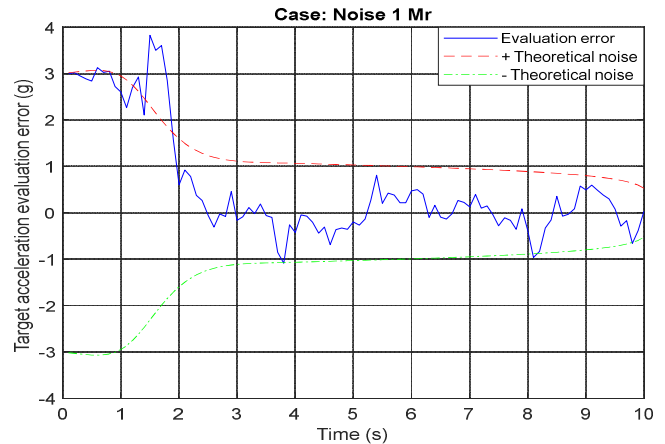
Luật dẫn (2) [3, 7, 8, 12]:



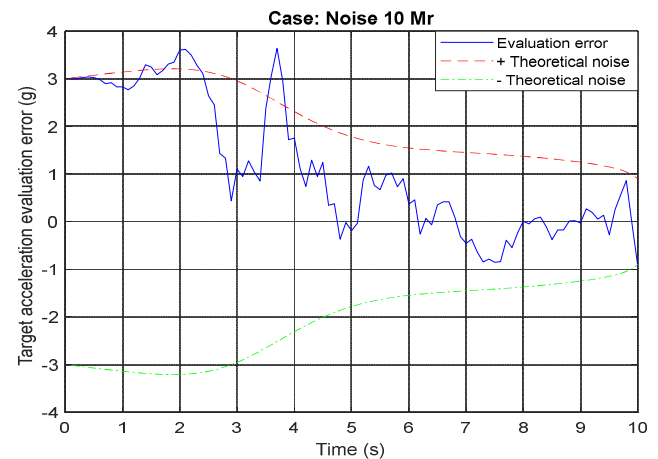
Hình 5. Đánh giá gia tốc mục tiêu

Thuật toán đánh giá được gia tốc mục tiêu với sai số nhỏ (hình 6, 7). Khi cường độ nhiễu thấp thì sai số gần như bằng 0 và gia tốc được đánh giá có độ chính xác cao

(hình 6). Khi cường độ nhiễu tăng thì sai số đánh giá gia tốc mục tiêu cũng tăng lên, nhưng không đáng kể (hình 7).

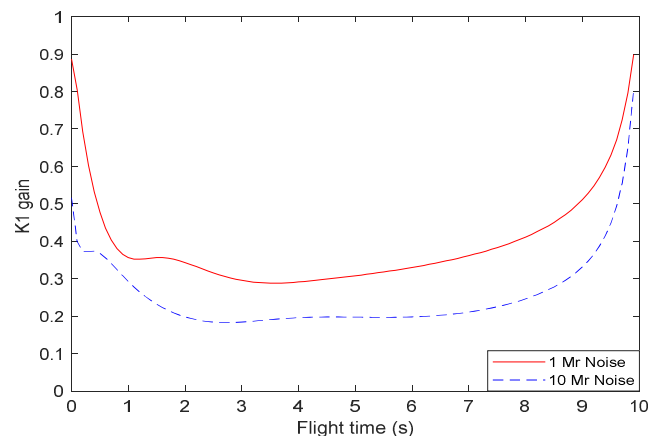


Hình 6. Sai số đánh giá gia tốc mục tiêu với nhiễu 1mr



Hình 7. Sai số đánh giá gia tốc mục tiêu với nhiễu 10mr

Thuật toán có độ hội tụ cao và bền vững, giai đoạn đầu quá trình đánh giá thì sai số lớn (với nhiễu 1mr mất 2s, nhiễu 10mr mất 4s), còn cuối quá trình dẫn thì sai số gần như bằng 0 (hình 5). Kết quả gần như hoàn hảo. Đảm bảo sai số dẫn nhỏ, nâng cao hiệu quả tiêu diệt mục tiêu.



Hình 8. Hệ số khuếch đại Kalman và nhiễu đo

Hệ số khuếch đại của bộ lọc Kalman giảm khi nhiễu đo tăng (hình 8).

4. KẾT LUẬN

Bộ lọc Kalman 3 trạng thái có khả năng ước lượng được các tham số như vị trí tương đối, vận tốc tương đối và gia tốc của mục tiêu. Do vậy các luật dẫn tương ứng có thể được sử dụng kết hợp với bộ lọc Kalman 3 trạng thái tạo thành vòng điều khiển tên lửa là luật dẫn tiếp cận tỉ lệ, luật dẫn tiếp cận tỉ lệ nâng cao, luật dẫn tối ưu.

Kết quả mô phỏng cho thấy sự ảnh hưởng đáng kể của các dạng mục tiêu cơ động khác nhau đến độ chính xác xác định tọa độ hệ tọa độ góc mục tiêu. Với việc đánh giá dạng cơ động kiểu hình sin càng tăng thêm độ tin cậy của kết quả khảo sát khi mà mô hình này không được tính đến trong quá trình tổng hợp bộ lọc tọa độ pha mục tiêu, đây là cơ sở trong việc cải thiện chất lượng hệ tọa độ góc mục tiêu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H. Jin Kim, Min-Jea Tahk, *Fast Adaptive Guidance Against Highly Maneuvering Targets*. Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) Daejeon, Korea, 2008.
- [2]. Moon J., Kim K., Kim Y., "Design of missile guidance law via variable structure control," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 24, 4, 659-664, 2015.
- [3]. Neil F. Palumbo, Ross A. Blauwkamp, Justin M. Lloyd, "Modern Homing Missile Guidance Theory and Techniques," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 29, 1, 1367-1385, 2010.
- [4]. Liu T., Xie Y., "A relative navigation algorithm for a chaser tracking a non-cooperative maneuvering target in space," *Journal of Astronautics*, 31, 5, 1338-1344, 2016.
- [5]. Ming-Hsiung Hsueh, Chin-I Huang, Li-Chen Fu, "A Differential Game Based Guidance Law for the Interceptor Missiles," in *Industrial Electronics Society, IECON, 33rd Annual Conference of the IEEE*, 665-670, 2017.
- [6]. Jiyan L., Jun Z., Yingying L., "Applying auto-adaptation filter to tracking of maneuvering target in special relative navigation," *J. Northwest Polytech. Univ.* 4, 013, 2018.
- [7]. Le X.R., Kilkov V.P., "A survey of maneuvering target tracking: Approximation techniques for nonlinear filtering," in *Proceedings of SPIE conference on signal and data processing of small targets*, 537-550, 2014.
- [8]. Li X.R., Jilkov V.P., "Survey of maneuvering target tracking-part V," *IEEE transaction on aerospace and electronic system*, 41 (4), 1255-1321, 2015.
- [9]. Xu B., "An adaptive tracking algorithm for bearings-only maneuvering target," *International journal of computer science and network security*, 7 (1), 2017.

[10]. Yang C. C., Tsung T. K., "An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning," *Land Use Policy*, 36, 13-22, 2016.

[11]. Qian G.H., Li Y., Luo R.J., "One maneuvering frequency and the variance adaptive filtering algorithm for maneuvering target tracking," *J. Radars*, 2(6), 258-264, 2017.

[12]. Paul Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance, six edition, Vol.2, Progress in Astronautics and Aeronautics*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington, D.C, 2012.

AUTHORS INFORMATION

Vu Huu Thich², Nguyen Van Bang¹

¹Air Defence - Air Force Academy, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Vietnam