

Ứng dụng kết hợp lọc Kalman và logic mờ giải bài toán lọc, bám quỹ đạo các đối tượng trên biển

Võ Xung Hà^{1*}, Nguyễn Phùng Bảo²

¹Viện Ra đa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Viện Tích hợp Hệ thống, Học viện kỹ thuật quân sự.

*Email: vn.microwave@gmail.com.

Nhận bài ngày 31/3/2021; Hoàn thiện ngày 20/10/2021; Chấp nhận đăng ngày 12/12/2021.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.76.2021.37-45>

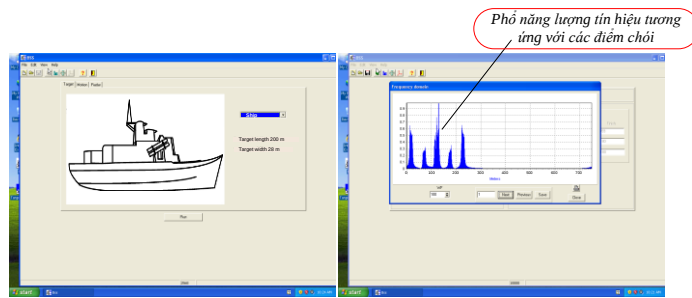
TÓM TẮT

Bài báo sử dụng kết hợp bộ lọc Kalman dạng $\alpha - \beta$ với logic mờ để giải quyết vấn đề xử lý lọc, bám quỹ đạo các mục tiêu trên biển. Việc sử dụng đầu đo radar với độ rộng xung hẹp có thể dẫn đến việc phát hiện nhiều điểm dấu của cùng một mục tiêu. Bộ lọc $\alpha - \beta$ thuộc loại bộ lọc Kalman đơn giản và kinh điển. Việc sử dụng logic mờ cho phép thay đổi thích nghi hệ số α , β và để tổng hợp tối ưu điểm dấu thực dùng lọc, bám và phát triển quỹ đạo của mục tiêu. Cách tiếp cận này có thể giải quyết một phần vấn đề làm gián đoạn việc bám quỹ đạo đối tượng khi sử dụng cảm biến với độ rộng xung hẹp. Kết quả nghiên cứu lý thuyết được kiểm nghiệm bằng mô phỏng.

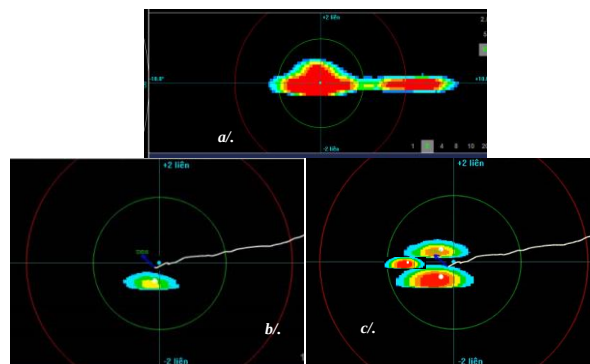
Từ khóa: Hệ thống đầu đo ra đa; Lớp mục tiêu phân bố; Mục tiêu điểm; Mục tiêu đa điểm chói; Chân dung ra đa; Logic mờ.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Như đã biết [1, 5], các hệ thống đầu đo ra đa dùng để điều khiển các phương tiện tác chiến thường được thiết kế, chế tạo để đảm bảo xác định chính xác tham số tọa độ của các đối tượng được lọc, bám. Một trong những giải pháp kỹ thuật triển khai cách tiếp cận này chính là sử dụng tín hiệu thăm dò cao tần có độ rộng hẹp (Ultra-short duration RF pulse) và hệ thống anten có độ rộng cánh sóng $\beta_{0.5}$ nhỏ. Tuy nhiên, vì nhiều lý do khác nhau mà các đầu đo có khả năng như vậy lại rất yếu khi thực hiện bài toán lọc, bám và phát triển (ngoại suy) quỹ đạo. Nguyên nhân chủ yếu là: với cùng một đối tượng, nhưng lại có thể thuộc lớp các “mục tiêu phân bố” hay “mục tiêu điểm” hoàn toàn tùy thuộc vào mối quan hệ giữa kích thước thẳng $L_{m,t}$ của đối tượng và độ rộng tín hiệu thăm dò τ_{xg} . Ví dụ: với tàu hộ vệ có kích thước thẳng khoảng $L_{m,t} = (150 \div 180)$ [m], thì khi dùng đầu đo băng tần X với $\tau_{xg} \sim 500$ [ns], thì tự nó sẽ thuộc lớp mục tiêu phân bố – lớp mục tiêu đa điểm chói (class of targets with multi-shiny dots). Khi đó, tín hiệu phản xạ về vượt ngưỡng từ cùng một đối tượng sẽ hình thành số lượng điểm dấu nhiều hơn một cung cấp cho hệ thống lọc, bám và phát triển quỹ đạo tiếp sau như ví dụ trên hình 1 và 2. Hệ quả là tại một chu kỳ nhịp nào đó, số lượng các điểm dấu “chân thực” từ một đối tượng lớn hơn 1 và không phù hợp với điều kiện liên kết điểm dấu với quỹ đạo khi lọc, bám quỹ đạo [6, 8, 12]. Giải quyết vấn đề này, trong [4], Zhou. H và đồng nghiệp đã dùng mô hình lọc Kalman lệch tâm thích nghi (Adaptive Unscented Kalman Filter) với véc tơ đổi mới và ma trận đổi mới được hiệu chỉnh theo từng chu kỳ nhịp và áp dụng tốt cho một số mô hình lọc, bám chậm. Liên quan tới ứng dụng logic mờ (Fuzzy logic) kết hợp với lọc Kalman, tác giả Amirzadeh, A đã sử dụng lọc Kalman suy rộng và một số quy tắc mờ để giải quyết bài toán thiếu các thông tin tiên nghiệm về gia tốc đối tượng trong cơ động [3]. Trong [10], tác giả Kenshi Saho và đồng nghiệp đã đề xuất mô hình lọc $\alpha - \beta$ kết hợp với các quy tắc của logic mờ và có bổ sung tham số - chỉ số bám (tracking index) λ hoặc chỉ số cơ động để ước lượng thời điểm bắt đầu và kết thúc cơ động. Việc ứng dụng logic mờ đã làm cho việc ước lượng λ trở nên nhanh chóng và đơn giản nhưng vẫn ở tốc độ chậm.



Hình 1. Tàu hộ vệ $L_{m.t}=200$ [m] (a/.) Thiết bị đầu đo có $\tau_{xg} \sim 500$ [ns] phát hiện và theo dõi ở cự ly $r \sim 50$ mn có chân dung phổ năng lượng hình thành bốn điểm chói (b/.).



Hình 2. Chân dung điểm dấu của tàu hàng cỡ nhỏ được phát hiện bởi đầu đo MR102 (a/- Hai điểm dấu rõ, b/- Một điểm dấu; c/- Ba điểm dấu tương minh).

Phần dưới đây sẽ trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng logic mờ điều khiển khuếch đại của lọc Kalman để giải quyết một phần bài toán lọc, bám quỹ đạo trong các tình huống đa điểm chói đã nêu ở trên. Mục tiêu chính là xây dựng thuật toán lọc quỹ đạo cho các đầu đo sử dụng tín hiệu có độ rộng hẹp đáp ứng một phần yêu cầu điều khiển các phương tiện tác chiến trên biển. Những nội dung chính về lý thuyết sẽ được trình bày tại phần hai. Phần ba và bốn trình bày các kết quả kiểm chứng bằng mô phỏng và định hướng nghiên cứu phát triển.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN SỬ DỤNG LỌC KALMAN KẾT HỢP VỚI LOGIC MỜ TRONG LỌC, BẮM VÀ PHÁT TRIỂN QUỸ ĐẠO

Cách đặt vấn đề ở đây là: trên cơ sở phân tích đặc điểm của bộ lọc kinh điển dạng $\alpha - \beta$ có các hệ số khuếch đại cố định tìm cách điều khiển thích nghi chúng để lọc, bám với độ chính xác đảm bảo cho việc điều khiển các phương tiện tác chiến cơ động [2, 7, 8]. Vấn đề đặt ra là: sự tồn tại nhiều điểm dấu chân thực của cùng một đối tượng trong một nhịp lấy tin sẽ gây khó khăn trong liên kết điểm dấu với quỹ đạo. Việc sử dụng bất kỳ điểm dấu nào trong số đó đều dẫn tới sai lệch do tự nó không trùng với tâm tọa độ chân thực và sẽ dẫn đến mất bám. Phân tích sự mất bám do tác động của hiện tượng này (multi-shiny dots), ta thấy có nhiều nguyên nhân như: đối tượng tăng/giảm tốc (dương hoặc âm) không đều dọc theo trục phát triển quỹ đạo; chuyển hướng chuyển động đột ngột; đầu đo điều khiển không phát hiện được qua một số lần quan sát; các dữ liệu đo có độ chính xác không cao hoặc bị lệch.

Từ đó, đề xuất sẽ là: vẫn dùng lọc $\alpha - \beta$ có hệ số khuếch đại điều khiển thích nghi theo logic mờ thông qua quy tắc ứng xử *If...Then*. Theo đó, khi có sai số vị trí hoặc khi giá trị sai số bị lệch trong ngoại suy thì bộ quy tắc sẽ hỗ trợ điều chỉnh hai α , β để cho ra ngoại suy mới được tổng hợp. Các điểm dấu còn lại sẽ được coi là “nhiều giá”. Như vậy, bằng cách kết hợp bộ lọc

$\alpha - \beta$ và bộ quy tắc mờ xử lý thích nghi khuếch đại, ta có thể thiết lập bộ lọc, bám quỹ đạo với độ chính cao dùng điều khiển các phương tiện tác chiến.

2.1. Tóm tắt mô hình lọc bám dạng $\alpha - \beta$

Theo [12], dạng phổ quát của bộ lọc bám dạng $\alpha - \beta$ là như sau:

$$\langle x_s, y_s \rangle(k) = \langle x_p, y_p \rangle(k) + \alpha[\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)] \quad (1)$$

$$\langle x_p, y_p \rangle(k+1) = \langle x_s, y_s \rangle(k) + T \times v_{\langle x_s, y_s \rangle}(k) \quad (2)$$

$$v_{\langle x_s, y_s \rangle}(k) = v_{\langle x_s, y_s \rangle}(k-1) + (\beta / qT) \times [\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)] \quad (3)$$

Trong đó: $\langle x_0, y_0 \rangle(k)$, $\langle x_p, y_p \rangle(k)$, $\langle x_s, y_s \rangle(k)$, $v_{\langle x_s, y_s \rangle}(k)$, T , α , β và q - Tương ứng là: tọa độ mục tiêu bị quan trắc, tọa độ được ước lượng, tọa độ lấy tuyến tính theo hướng chuyển động (trong khoảng thời gian tương ứng với nhịp k), vận tốc tuyến tính theo hướng chuyển động, độ lớn chu kỳ nhịp, hai hệ số cố định của bộ lọc và tham số kích thước số lần quan trắc.

Các điều kiện ban đầu tương ứng với thông tin tiên nghiệm có dạng:

$$\langle x_s, y_s \rangle(1) = \langle x_p, y_p \rangle(2) = \langle x_0, y_0 \rangle(1) \quad (4)$$

$$v_{\langle x_s, y_s \rangle}(1) = 0 \quad (5)$$

$$v_{\langle x_s, y_s \rangle}(2) = 1/T \times [\langle x_0, y_0 \rangle(2) - \langle x_p, y_p \rangle(1)] \quad (6)$$

Với lọc $\alpha - \beta$, có thể tính tới các tình huống khi mà xác suất phát hiện nhỏ, có thể lấy:

$$\langle x_s, y_s \rangle(k) = \langle x_p, y_p \rangle(k); v_{\langle x_p, y_p \rangle}(k) = v_{\langle x_s, y_s \rangle}(k-1) \quad (7)$$

Điều này tương ứng với khởi tạo $\langle x_0, y_0 \rangle(k) = \langle x_p, y_p \rangle(k)$ và $\langle x_p, y_p \rangle(k+1)$ là dữ liệu ngoại suy xác định dựa trên tọa độ hiện thời và vận tốc tuyến tính không đổi.

Tập các phương trình (1) ÷ (7) mô tả bộ lọc $\alpha - \beta$ với α , β được ước lượng chính xác xác định. Tuy nhiên, theo [10], nếu α và β nhỏ, bộ lọc sẽ đáp ứng tốt việc chống nhiễu, nhưng có thể không đáp ứng với trạng thái động học thực của đối tượng. Ngược lại, khi chúng có giá trị đủ lớn, thì bộ lọc sẽ chịu tác động của nhiễu và cũng ảnh hưởng trực tiếp tới việc lọc và bám. Hiện tượng đa điểm chói – đa điểm dấu được coi là hiện tượng “nhiều giả” sẽ gây mất bám. Nhưng nếu thay đổi thích nghi α , β tương ứng với từng chu kỳ sẽ cho phép lựa chọn trên cơ sở tổng hợp từ tập dữ liệu điểm dấu thu được để hình thành điểm dấu chân thực thì sẽ giảm được hiện tượng mất bám. Việc thay đổi thích nghi α , β được thực hiện nhờ công cụ của lô ghích mờ

2.2. Mô hình lọc với các hệ số khuếch đại mờ (Fuzzy gain)

Mô hình lọc, bám với các hệ số α , β được xây dựng và cụ thể hóa bằng cách thiết lập các quy tắc mờ là mô hình có tính tới sai số và độ lệch của kết quả ngoại suy ở chu kỳ trước ($k-1$) với các tham số đo được ở chu kỳ (k). Các sai số và độ lệch này sẽ xác định giá trị của α , β . Xét theo tiêu chí hiệu quả, thì điểm đặc biệt mạnh ở đây là bộ lọc có khả năng chịu lỗi mềm dẻo trong trường hợp đa điểm chói. Cụ thể, việc lọc bám sẽ không lựa chọn bất kỳ một điểm dấu nào. Điểm dấu quyết định để liên kết với quỹ đạo sẽ là điểm dấu dựa trên việc xem xét cấp độ liên thuộc của chúng so với điểm dấu chân thực ứng với tâm của đối tượng. Cách xây dựng sẽ là như sau:

2.2.1. Thiết lập các biến hệ thống

Theo lý thuyết được dẫn tại [9], với hệ sử dụng logic mờ, hai tập biến vào/ra được dùng để

biểu thị các quy tắc mờ cho bộ lọc. Với các biến đầu vào là $E(k)$ và $\Delta E(k)$ được định nghĩa tương ứng với sai số ngoại suy và biến thiên của nó trong chu kỳ nhịp thứ k , ta sẽ có:

$$E(k) = \sqrt{\sum_{\langle x, y \rangle} E_{\langle x, y \rangle}^2(k)}; \quad \Delta E(k) = E(k) - E(k-1)$$

$$\text{và } E_{\langle x, y \rangle}(k) = \langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)$$
(8)

Trong đó, dải thay đổi của $E(k):[\max, \min]$ và $\Delta E(k):[\max, \min]$ được hiểu là độ chênh giữa tọa độ đo và ngoại suy. Khi đó, thực tế $E_{\min}(k) = \emptyset$ và $\Delta E_{\min}(k) = \emptyset$ còn $E_{\max}(k)$ và $\Delta E_{\max}(k)$ phải lớn hơn vận tốc tối đa của đối tượng khác nhau. Thêm nữa, các tham số $E(k)$ và $\Delta E(k)$ cần chuẩn hóa khi thiết lập hàm liên thuộc. Do đó, ở đây sẽ thay thế bằng $E'(k)$, $\Delta E'(k)$.

$$E'_{\langle x, y \rangle}(k) = \begin{cases} \frac{\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)}{\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_0, y_0 \rangle(k-1)} & \text{if } |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)| < |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_0, y_0 \rangle(k-1)| \\ \frac{\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)}{\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k-1)} & \text{if } |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)| > |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_0, y_0 \rangle(k-1)| \\ 0 & \text{if } |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_p, y_p \rangle(k)| = |\langle x_0, y_0 \rangle(k) - \langle x_0, y_0 \rangle(k-1)| \end{cases} \quad (9)$$

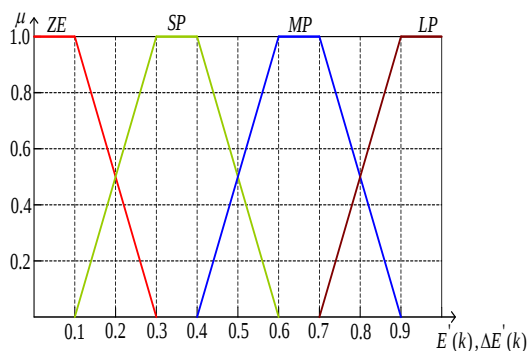
$$\Delta E'_{\langle x, y \rangle}(k) = \begin{cases} \frac{E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)}{E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)} & \text{if } |E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| < |E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| \\ \frac{E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)}{|E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)|} & \text{if } |E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| > |E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| \\ 0 & \text{if } |E'_{\langle x, y \rangle}(k) - E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| = |E'_{\langle x, y \rangle}(k-1)| \end{cases} \quad (10)$$

Và miền của $E'(k)$, $\Delta E'(k)$ sẽ chỉ là $[0 \div 1]$, thuận tiện để xác lập các hàm logic.

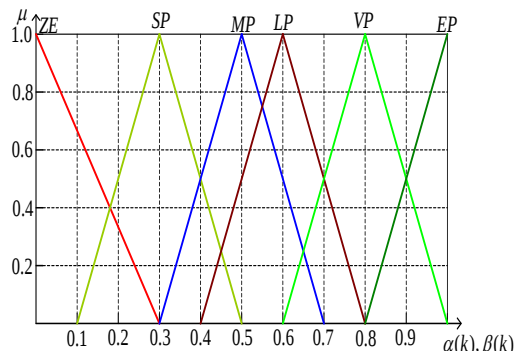
2.2.2. Các hàm liên thuộc

Việc dùng công cụ logic mờ trong một số bài toán điều khiển đã được trình bày chi tiết trong [10]. Ở đây, bài toán sẽ là ứng dụng chúng trên cơ sở thiết lập các miền xác định của $E'(k)$ và $\Delta E'(k)$. Theo đó, tương đồng với [10], các bộ quy tắc có thể mô tả với tập khái niệm mờ sau đây: "zero"–ZE; tích cực thấp – "small positive"–SP; tích cực trung bình – "medium positive"–MP và tích cực cao – "large positive" –LP. Từ đó, thiết lập các hàm liên thuộc ứng với từng tập nhằm xác định "trọng số" quan hệ giữa kết quả đo với giá trị ngoại suy và nhận giá trị trong miền của $E'(k)$, $\Delta E'(k)$. Còn cấp độ liên thuộc sẽ được "link" với các biến thông qua các hàm đã được định nghĩa ở trên. Cụ thể như sau: chúng ta có 04 khái niệm mờ trong khoảng giá trị chuẩn hóa $[0, 1]$. Như vậy, có thể cho các khoảng mờ cách nhau chắc chắn với một lượng nào đó có độ lớn xác định. Ví dụ là 0.2 và các hàm liên thuộc đạt giá trị max trong khoảng 0.1. Khi đó, sẽ có: $ZE = 0 \rightarrow 0.1$; $SP = 0.3 \rightarrow 0.4$; $MP = 0.6 \rightarrow 0.7$ và $LP = 0.9 \rightarrow 1.0$ như ở hình 3. Tại các khoảng mà ở đó, hàm liên thuộc không đạt giá trị max được gọi là khoảng biên mô tả tính mềm dẻo, thích nghi của bài toán liên kết, đơn giản trong biểu diễn. Đây chính là điểm mạnh nói lên khả năng xác định thích nghi cấp liên thuộc trong các

tình huống đa điểm chọi. Bằng cách xây dựng hàm liên thuộc như vậy cho phép đảm bảo cơ hội cho xác định một trong số các tập mờ đầu vào có cùng cơ hội trong kích hoạt các quy tắc mờ là như nhau với trục biểu diễn cho $E'(k)$, $\Delta E'(k)$ mặc dù chúng độc lập với nhau. Ta vẫn sử dụng các khái niệm đã có ở trên để thiết lập các quy tắc mờ cho $\alpha(k)$ và $\beta(k)$, có bổ sung thêm hai: “rất tích cực” (very positive - VP) và “cực kỳ tích cực” (extremely positive - EP) với điều kiện về sự không tồn tại miền mà ở đó $\alpha(k)$ và $\beta(k)$ nhận đẳng giá trị.



Hình 3. Hàm liên thuộc của các quy tắc mờ trong lọc tám quỹ đạo.



Hình 4. Hàm liên thuộc của các quy tắc mờ thiết lập $\alpha(k)$ và $\beta(k)$.

Khác với việc xây dựng hàm liên thuộc cho $E'(k)$, $\Delta E'(k)$, miền xác định của $\alpha(k)$, $\beta(k)$ được phân thành sáu lớp, với giá trị max của chúng phân bố không đều trong khoảng $[0, 1]$. Khoảng giữa thiết lập nhất quán bởi: ZE, SP, MP, và LP với hai lý do. Một là, theo thực nghiệm và suy nghiệm (heuristic properties) thì SP, MP, LP và VP nhận tối ưu trong khoảng $[0.3 \div 0.8]$. Hai là, để tránh thay đổi đột ngột ở đầu ra kéo theo lọc $\alpha - \beta$ thay đổi nhảy bậc, thì phân bố của SP, MP, LP và VP có dạng chuẩn. Do vậy, hàm liên thuộc của $\alpha(k)$, $\beta(k)$ có dạng như trên hình 4.

2.2.3. Về thiết lập các quy tắc mờ

Việc kết hợp logic mờ với bộ lọc $\alpha - \beta$ cho phép ước lượng những biến đổi động của α , β . Nghĩa là: α , β được xác định theo độ lớn của sai số ngoại suy và biến thiên của chính chúng. Các mức kích hoạt sẽ kết hợp để cho ra α , β ở từng nhịp. Về cú pháp, ta sẽ có:

$$\text{IF } E'(k) = e' \text{ AND "...", THEN } \alpha(k) = \alpha \text{ AND } \beta(k) = \beta \quad (11)$$

Trong đó: e' , $\Delta e'$, α và β - là các tập mờ lấy trên miền $E'(k)$, $\Delta E'(k)$, $\alpha(k)$ và $\beta(k)$ và ký hiệu “...” được hiểu là điều kiện bổ sung tùy theo đặc điểm thiết kế chương trình.

Thực tế là: với từng quy tắc, có thể coi là một liên kết (mờ) thường gặp trong các bài toán liên kết dữ liệu theo xác suất kinh điển. Bảng 1 là các quy tắc mờ đã kết hợp với thuật toán $\alpha - \beta$.

Bảng 1. Các quy tắc mờ điều chỉnh hệ số khuếch đại thích nghi.

$\alpha(k)$		$E'(k)$				$\beta(k)$		$E'(k)$			
		ZE	SP	MP	LP			ZE	SP	MP	LP
$\Delta E'(k)$	ZE	VP	SP	EP	EP	$\Delta E'(k)$	ZE	VP	SP	ZE	EP
	SP	LP	LP	VP	VP		SP	ZE	ZE	ZE	ZE
	MP	EP	VP	MP	MP		MP	ZE	ZE	LP	VP
	LP	VP	ZE	MP	EP		LP	ZE	LP	MP	SP

2.3. Hệ lọc, bám quỹ đạo sử dụng công cụ lọc Kalman

Mô hình lọc Kalman với một số tham số cụ thể trình bày dưới đây chỉ nhằm để chứng minh lợi điểm của lọc $\alpha - \beta$ khi không và khi có sử dụng kết hợp logic mờ. Do vậy, để tóm tắt ta sẽ mô tả bộ lọc trên cơ sở các phương trình sau:

$$K_p = F \times P[k | (k-1)] \times H^T \times \{H \times P[k | (k-1)] \times H^T + R\}^{-1} \quad (12.a)$$

$$\hat{x}[(k+1)k|k] = F \times \hat{x}[k | (k-1)] + K_p(k) \times \{y(k) - H \times \hat{x}[k | (k-1)]\} \quad (12.b)$$

$$P[(k+1)k|k] = [F - K_p(k) \times H] \times P[k | (k-1)] \times F^T + Q \quad (12.c)$$

Trong đó: $\hat{x}$, y , F , $P[k | (k-1)]$, $K_p(k)$, Q , H , R - Tương ứng là véc tơ trạng thái; véc tơ đo; ma trận chuyển đổi; ma trận nhiễu tại nhịp thứ k ước lượng từ $k-1$, hệ số khuếch đại tại nhịp thứ k , ma trận hiệp biến của tap, ma trận đo và ma trận tap đo.

Với giả thiết, đối tượng là các mục tiêu trên biển cơ động nhanh có $v_{(x,y)} = 45 \text{ km/h}$ tương ứng với $T = 10 \text{ s}$ sẽ đi được 125 m. Theo bộ lọc, bám Kalman thông thường [1, 12], với mô hình mục tiêu biển cơ động có gia tốc lên tới 0.6 g [m/s^2], $\sigma_m \sim 0.2 \text{ g}$ có thể lấy:

$$P \sim \begin{bmatrix} .4 & .04 & .008 \\ .04 & .004 & .0008 \\ .008 & .0008 & .00016 \end{bmatrix}; \hat{x} \sim \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ a_x \end{bmatrix} \text{ và } Q^T \sim (\sigma_m^2 / \tau_m) \begin{bmatrix} T^5 / 20 & T^4 / 8 & T^3 / 8 \\ T^4 / 8 & T^3 / 3 & .0006 \\ T^3 / 8 & .0008 & T \end{bmatrix} \quad (13)$$

để phục vụ cho việc nghiên cứu khảo sát.

3. KIỂM CHỨNG BẰNG MÔ PHỎNG

Bảng 2. Các số liệu kết quả mô phỏng lọc, bám quỹ đạo sử dụng lọc Kalman và lọc $\alpha - \beta$ có fuzzy.

Chỉ số k	Chân thực		Lọc Kalman		$(\alpha - \beta)$ có fuzzy		Sai số	
	X	Y	X	Y	X	Y	δ_K	$\delta_{(\alpha - \beta) \& F}$
1	38.930	31.240	39.125	29.250	38.940	31.190	2.000	0.051
4	39.250	29.540	39.652	28.756	39.221	29.550	0.881	0.031
...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	37.809	27.001	38.556	26.331	37.821	26.992	1.003	0.015
24	36.371	26.604	Mất bám		36.334	26.615		0.039
28	35.272	27.01	Mất bám		35.292	26.982		0.034
32	34.571	27.684	Mất bám		34.650	27.669		0.080
36	34.732	28.776	35.125	28.832	34.752	28.755		0.029
...	...	...	...	...	...	...	...	...
60	38.648	31.000	38.891	30.787	38.665	31.005	0.323	0.018
64	39.540	31.356	Mất bám		39.550	31.350		0.012
68	40.484	31.447	Mất bám		40.501	31.468		0.027
72	41.068	31.187	Mất bám		41.082	31.200		0.019
...	...	...	...	...	...	...	...	...
88	45.109	32.716	45.500	33.421	45.125	32.730	0.806	0.021
92	46.901	32.437	Mất bám		46.895	32.455		0.019
96	46.801	31.367	Mất bám		46.781	31.331		0.041
100	47.412	30.312	47.362	30.000	47.400	30.300	0.316	0.017
104	48.062	29.792	48.750	29.450	48.070	29.810	0.768	0.020
108	49.402	30.557	Mất bám		49.410	30.550		0.011
112	50.095	31.240	Mất bám		50.090	31.230		0.011
116	50.571	32.301	50.82	32.341	50.560	32.311	0.252	0.015
...	...	...	...	...	...	...	...	...
124	52.715	33.284	52.66	34.001	52.725	33.320	0.719	0.037
128	53.868	34.002	Mất bám		53.880	34.008		0.013
...	...	...	...	...	...	...	...	...
144	57.134	32.717	57.246	33.089	57.125	32.731	0.388	0.017
...	...	...	...	...	...	...	...	...
156	60.013	34.011	60.891	33.921	60.000	34.021	0.883	0.016

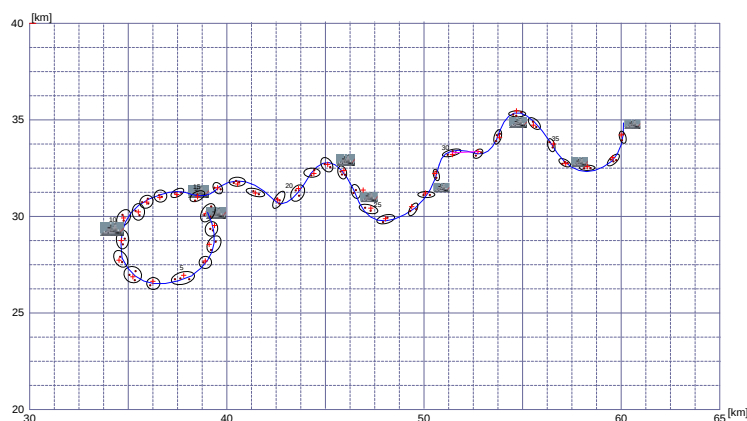
Việc kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết bằng mô phỏng theo trình tự như sau:

1. Thiết lập dữ liệu đầu vào trên cơ sở:

+ Sử dụng công cụ MatLab tạo giả quỹ đạo chuyển động của đối tượng là mục tiêu trên biển trong điều kiện lý tưởng. Nghĩa là, ở từng chu kỳ cập nhật (k) đều có tín hiệu vượt ngưỡng.

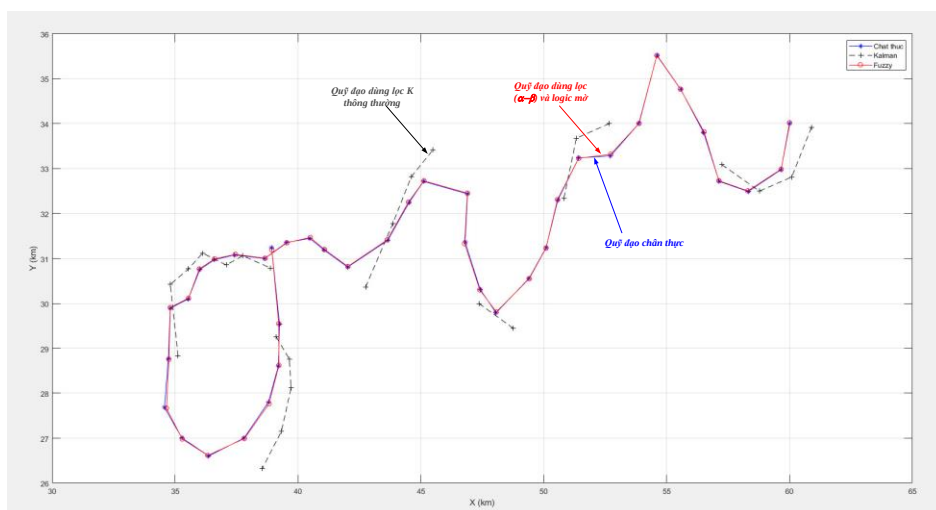
+ Sử dụng công cụ Backscattering simulation – BSS [11] xác định số các điểm chói (shiny dots) ở từng nhịp phụ thuộc vào mối tương quan (về cự ly, tốc độ, gia tốc cơ động, góc hướng chuyển động) giữa đối tượng và đầu đo ra đa (dải sóng, độ rộng xung).

+ Xây dựng bộ dữ liệu đầu vào $\alpha - \beta$ thông thường và $\alpha - \beta$ kết hợp với logic mờ.



Hình 5. Kết quả phục dựng quỹ đạo chân thực có kèm với số lượng các điểm chói tại từng chu kỳ nhịp lấy tin.

Hình 5 là kết quả dựng quỹ đạo thu được theo tập dữ liệu (cột 5, 6 và 7, 8) tại bảng 2. Hình 6 trình bày kết quả lọc bám quỹ đạo đối tượng bằng hai công cụ lọc Kalman thông thường và lọc $(\alpha - \beta)$ có điều khiển hệ số khuếch đại bằng logic mờ. Về định tính, dễ nhận thấy là khi đối tượng cơ động (thay đổi tốc độ có gia tốc âm hoặc dương, hướng chuyển động v.v.) thường sẽ xuất hiện hiện tượng đa điểm chói. Việc hiệu chỉnh mờ - thích nghi (α, β) cho phép tổng hợp điểm dấu liên kết phù hợp, mà khi đó, sẽ xảy ra hiện tượng mất bám khi dùng lọc $(\alpha - \beta)$ thông thường. Thêm nữa, cửa sổ liên kết trên đầu đo ra đa thực thường có dạng khác xa so lý thuyết, nên càng làm tăng xác suất mất bám. Đặc biệt là với các đầu đo điều khiển phương tiện hỏa lực.



Hình 6. Kết quả mô phỏng lọc, bám quỹ đạo sử dụng bộ lọc $\alpha - \beta$ kết hợp với logic mờ điều khiển thích nghi hai hệ số khuếch đại α, β .

Từ các kết quả nghiên cứu ở trên, cho phép rút ra một số nhận xét sau đây:

1. Việc sử dụng các đầu đo có độ chính xác, khả năng phân biệt cao để phát hiện, lọc bám quỹ đạo mục trên biển là phù hợp với yêu cầu thực tiễn. Tuy nhiên, với mục tiêu là các điều khiển

phương tiện hỏa lực, yêu cầu sẽ cao hơn nhiều so với bài toán lọc, bám thông thường. Việc sử dụng bộ lọc $\alpha - \beta$ kết hợp với logic mờ cho phép thay đổi thích nghi hệ số khuếch đại lọc; tổng hợp điểm dấu chân thực góp phần đảm bảo độ chính xác và giải quyết bài toán mất bám. Các dữ liệu mô phỏng tại hai cột 8 và 9 của bảng 2 chứng minh được điều đó. Quỹ đạo đối tượng khi dùng lọc Kalman thông thường bị đứt (hình 5) tương ứng với kết quả tại cột 5, 6 của bảng 2.

2. Phân tích kết quả nghiên cứu khi xây dựng các bộ quy tắc mờ cho thấy: khả năng lọc, bám liên tục quỹ đạo và độ chính xác các tham số tọa độ quỹ đạo phụ thuộc rất nhiều vào tính chất kinh nghiệm, suy nghiệm (heuristic) của việc hiệu chỉnh các miền phủ của bộ quy tắc mờ.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu bước đầu việc sử dụng biến thể của lọc Kalman kinh điển là lọc $\alpha - \beta$ kết hợp với logic mờ nhằm giải bài toán chống mất bám quỹ đạo đối với các đầu đo sử dụng tín hiệu có độ rộng hẹp. Việc ứng dụng công cụ logic mờ đã cho phép điều chỉnh thích nghi các hệ số khuếch đại của bộ lọc $\alpha - \beta$ nhằm giúp giải quyết có hiệu quả xác định việc tổng hợp, lựa chọn điểm dấu chân thực để ngoại suy, phát triển quỹ đạo với độ chính xác phù hợp cho các đầu đo ra đa điều khiển hỏa lực. Các kết quả nghiên cứu được kiểm chứng bằng mô phỏng cho thấy một phần tính hiệu quả và khả năng bắt bám liên tục quỹ đạo các đối tượng. Tuy nhiên, thực tế cho thấy: các đối tượng có thể hoạt động trong đội hình với các tính huống cơ động đa dạng và cực đoan dẫn tới khả năng phản ứng thích nghi của α, β không đáp ứng kịp. Những tình huống như vậy có thể dẫn tới lọc và bám quỹ đạo nhầm hoặc mất bám. Do đó, cần có những nghiên cứu bổ sung hoàn thiện đối với cách tiếp cận đã nêu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Thọ Tu, “Cơ sở xây dựng đài ra đa cảnh giới phòng không,” Học viện KTQS. Tái bản có cập nhật lần thứ nhất, bổ sung 2005.
- [2]. Một số kết quả đo thực nghiệm sử dụng ra đa có xung hẹp MR-102 của Phòng Kỹ thuật Anten – Đường truyền/ Viện Ra đa/Viện KHCNQS năm 2018 – 2019.
- [3]. Amirzadeh, A.; Karimpour, A. “An interacting Fuzzy-Fading-Memory-based Augmented Kalman Filtering method for maneuvering target tracking”. Digit. Signal Process. 2013, 23, 1678–1685.
- [4]. Zhou, H.; Huang, H.; Zhao, H.; Zhao, X.; Yin, X. “Adaptive Unscented Kalman Filter for Target Tracking in the Presence of Nonlinear Systems Involving Model Mismatches. Remote Sens”. 2017, 9, 657.
- [5]. Баев А.Б., Кузнецов Ю.В. “Оценивание параметров радиолокационных сигналов в сверхкороткоимпульсной радиолокации”, 10-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение», М.: ИПУ РАН, март 2008 г.
- [6]. Головачев М.В. “Когерентная СКИ РЛС с последовательной квадратурной обработкой сигналов”. II-ые Всероссийские Арmandовские чтения “Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред”, Муром, 2013.
- [7]. Горбунова. А.А. “Разработка алгоритма получения точечного портрета сложной цели по комплексному радиолокационному изображению” Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45. УДК 621.391.2. www.mai.ru/science/trudy/
- [8]. Чугай.К. Н. “Современные методы формирования радиолокационных изображений заглубленных объектов”. Журнал Новости Науки и технологий No1.(44) 2018 стр 3-10.
- [9]. Bao. N. F, Hieu. D. Q. “Synthesis of an algorithm for trajectory processing of object by methods of data clustering theory”. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. Apr. 2021, vol. 23, No2, УДК 621.391.6
- [10]. Kenshi Saho. “Performance analysis of α - β - γ tracking filters using position and velocity measurements”. Department of Electronic and Computer Engineering, Ritsumeikan University,

EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (2015) 2015:35 . DOI 10.1186/s13634-015-0220-3

[11]. Shirman.Y.D “*Computer Simulation of target Radar scattering recognition, detection and tracking*” 2002. Artech House, Inc.

[12]. Yaankow Bar – Shalom “*Tracking and Data Fusion*” 2012. 3-rd Edition. NY

ABSTRACT

COMBINATION OF KALMAN FILTER AND FUZZY LOGIC TO SOLVE FILTER PROBLEM, TRACKING OBJECTS ON THE SEA

The paper presents an approach that combines a form of Kalman filter as a-b filter with fuzzy logic to solve the problem of targets tracking of objects at sea. The use of radar probes with narrow width pulses can lead to multiple markers from the same target. The filter a-b belongs to the class of simple and classical K filters. The use of fuzzy logic allows adaptive changes a and b to optimally synthesize the true mark used to track and develop the object's trajectory. The aforementioned approach allows to partially solve the orbital loss phenomenon when using a radar detector with a narrow width pulse.

Keywords: Radar detector system; Distributed target class; Point target; multi - shiny dots target; Radar portrait; Fuzzy logic.