

Ứng dụng bộ lọc phi tuyến nâng cao chất lượng xử lý ảnh động

Hoàng Minh Sáng, Lê Trần Thắng*

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: ltranthang@gmail.com

Nhận bài: 24/8/2022; Hoàn thiện: 7/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.33-40>

TÓM TẮT

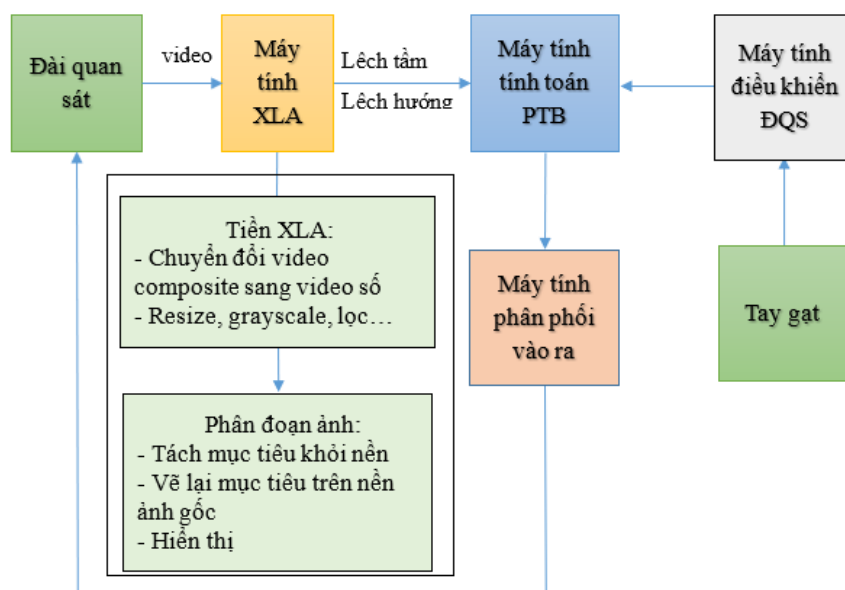
Trong các hệ thống vũ khí khí tài sử dụng quang điện tử chỉ thị mục tiêu, bài toán xử lý ảnh động là một vấn đề cốt lõi. Vì vậy, việc tăng chất lượng xử lý ảnh động giúp tăng hiệu quả làm việc khí tài. Bài báo đề xuất ứng dụng bộ lọc phi tuyến để lược bỏ những thông tin nền và nhiễu của ảnh tại bước tiền xử lý nhằm nâng cao chất lượng xử lý ảnh động trong quá trình làm việc của hệ thống vũ khí.

Từ khóa: Lọc phi tuyến, xử lý ảnh, quang điện tử.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các hệ thống vũ khí hiện đại thường được trang bị đài quan sát quang điện tử để trình sát phát hiện và chỉ thị mục tiêu cho các loại vũ khí. Quá trình trình sát, phát hiện và chỉ thị mục tiêu là quá trình liên tục, đảm bảo thời gian thực. Bài toán xử lý ảnh động là một thành tố quan trọng không thể thiếu trong quá trình hoạt động của hệ thống.

Viện Tự động hóa KTQS đã và đang phát triển nhiều đề tài nghiên cứu ứng dụng, phục vụ quá trình cải tiến, nâng cấp, chế tạo mới các hệ thống vũ khí, khí tài phục vụ quân đội, ví dụ như đại đội pháo phòng không (PPK) 37mm-2N, hệ thống PPK tự hành Zsu23-4 hay Zu23-2 trên tàu biển,... Các hệ thống vũ khí sau cải tiến đã thể hiện được khả năng tác chiến hiệu quả trong các điều kiện khác nhau. Từ thực tiễn hoạt động huấn luyện sẵn sàng chiến đấu tại các đơn vị, nhận thấy cần tiếp tục nghiên cứu nâng cao chất lượng hoạt động tổng thể của hệ thống trong các phiên bản cải tiến tiếp theo. Các bài toán công nghệ lõi cần tiếp tục phát triển, hoàn thiện trong đó có bài toán nâng cao chất lượng xử lý ảnh động.

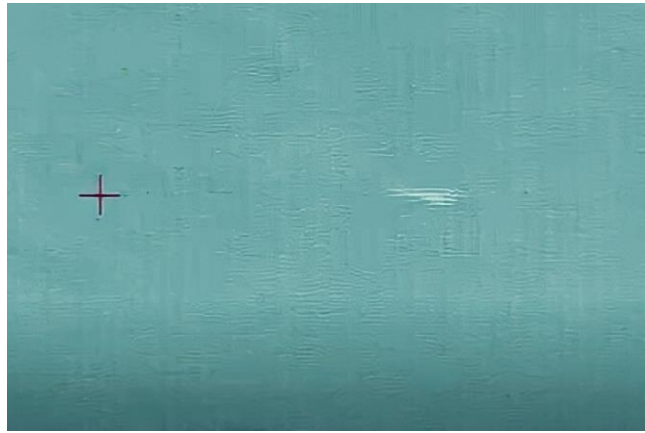


Hình 1. Mô hình tổng quan hệ thống PPK – 37mm 2N đánh đêm bán tự động.

Trong hệ thống pháo phòng không 37mm – 2N đánh đêm bán tự động của đơn vị thì ảnh thu được từ video hệ thống camera ngày và camera đêm trên đài quan sát được tiền xử lý để nâng cao chất lượng, sau đó, sử dụng các thuật toán để phân đoạn (tách mục tiêu ra khỏi nền, vẽ lại mục tiêu trên nền ảnh gốc, hiển thị). Mô hình tổng quan hệ thống như trên hình 1.

Hệ thống trên cho thấy rằng tại bước tiền xử lý ảnh gồm chuyển đổi video composite sang video số, resize, grayscale, lọc,... để nâng cao chất lượng ảnh đầu vào mà tốt thì quá trình phân đoạn, tách mục tiêu ra khỏi nền, vẽ lại mục tiêu trên nền ảnh gốc, hiển thị mục tiêu và bám sát mục tiêu sẽ dễ dàng hơn và cho kết quả tốt.

Hệ thống có các phiên bản đã được cải tiến, tuy nhiên, khi có nhiễu do thời tiết (qua mây) hoặc nhiễu hệ thống thì đối tượng bám sát dễ mất mặc dù đã được khắc phục nhiễu. Hình ảnh dưới đây trích từ video được quay trong quá trình theo mục tiêu huấn luyện thực tế tại đơn vị, minh họa cho trường hợp hệ thống hiện tại không bắt được đối tượng khi có nhiễu do thời tiết.



Hình 2. Đối tượng không được bám sát.

Do đó, nhóm đề tài đề xuất tập trung nghiên cứu, nâng cao chất lượng ảnh đầu vào tại bước tiền xử lý ảnh, lọc ảnh với mục đích làm nổi rõ tiêu trên nền, tạo điều kiện tốt cho bước tiếp theo là tách biên, tách mục tiêu ra khỏi nền được dễ dàng và chính xác hơn, từ đó, bám bắt mục tiêu tốt hơn.

Các kỹ thuật nâng cao chất lượng ảnh thường sử dụng gồm: xử lý nâng cao ảnh trong miền không gian và xử lý nâng cao ảnh trong miền tần số. Tại miền không gian thì xử lý trực tiếp ngay trên các điểm ảnh và lân cận bằng cách sử dụng các phép toán tích chập. Trong miền tần số thì xử lý thông qua các hàm sóng tần số sin, cos của ảnh (sử dụng biến đổi Fourier) và thực hiện bằng cách sử dụng hàm nhân hoặc mặt nạ ảnh. Tùy từng bài toán cụ thể để lựa chọn phương pháp lọc miền không gian hoặc miền tần số cho hiệu quả tối ưu. Trong bài toán thực tế của đơn vị mình, nhóm tác giả đã lựa chọn nâng cao chất lượng ảnh trong miền không gian với phương pháp lọc phi tuyến và phép lọc này được dùng trước khi tách biên đối tượng.

Khác với lọc tuyến tính thay đổi giá trị điểm ảnh đó bằng hàm tuyến tính thì lọc phi tuyến trả lại giá trị của pixel khi phép toán thực hiện trên nó là hàm phi tuyến.

2. THUẬT TOÁN LỌC PHI TUYẾN BẰNG HÀM MŨ

Lọc trung vị, lọc dẫn hoặc lọc co là những bộ lọc phổ biến mà chúng ta hay biết đến trong hệ thống các bộ lọc phi tuyến. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này đề xuất bộ lọc phi tuyến theo hàm mũ, bộ lọc này làm tăng tỷ lệ chênh lệch giữa đối tượng, nhiễu và nền. Việc tăng tỷ lệ chênh lệch trên làm tăng hiệu quả ở khâu tách biên đối tượng, trực tiếp ảnh hưởng đến tỷ lệ phát hiện và bám mục tiêu.

Giả sử ảnh G có kích thước $M \times N$ là ảnh đầu vào trước khi sử dụng bộ lọc và G' là ảnh thu

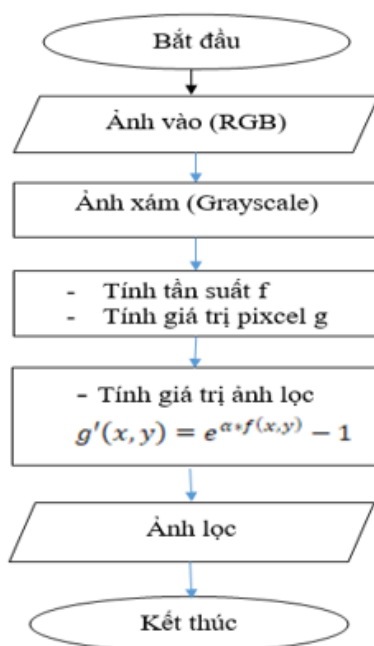
được sau khi sử dụng bộ lọc, khi đó, thuật toán lọc gồm các bước:

- Bước 1: Chuyển ảnh vào thành ảnh xám, lúc này giá trị các điểm ảnh nằm trong đoạn $[0, 255]$.
- Bước 2: Lấy giá trị tần suất (frequency value) của các điểm ảnh bằng việc sử dụng histogram, kí hiệu f là tần suất và g là giá trị điểm ảnh.
- Bước 3: Tính giá trị các điểm ảnh mới trên G' theo hàm mũ tương ứng mỗi điểm ảnh (x,y) trên ảnh G như sau:

$$g'(x, y) = e^{\alpha * f(x,y)} - 1 \quad (1)$$

với $x = 1, 2 \dots M; y = 1, 2 \dots N; \alpha$ tùy ý trong khoảng $(0, 1)$.

Lưu đồ thuật toán lọc ảnh hàm mũ như trên hình 3.



Hình 3. Lưu đồ thuật toán lọc ảnh hàm mũ.

3. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG

Nhóm tác giả đã cài đặt thuật toán lọc ảnh theo hàm mũ trên Matlab R2021a. Sử dụng nguồn ảnh từ huấn luyện thực tế tại đơn vị, các video được quay trong quá trình bám bắt mục tiêu ngoài thực địa.






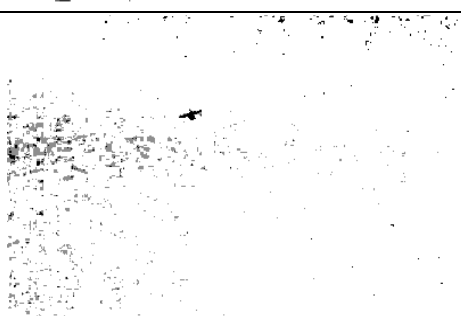
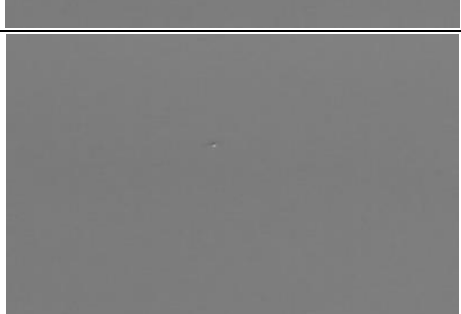
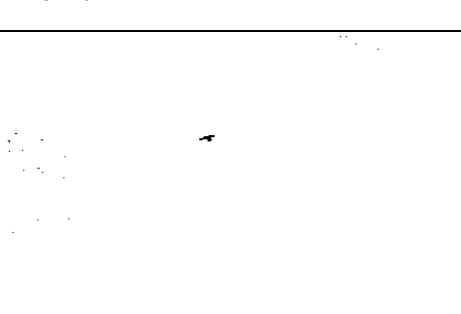
Ở các bộ lọc khác chất lượng lọc phụ thuộc vào nhiều tham số, tuy nhiên, với lọc hàm mũ chất lượng chỉ còn phụ thuộc vào một tham số duy nhất đó là hệ số α , việc này giúp dễ dàng thực hiện bằng các biện pháp kỹ thuật hỗ trợ cho người điều khiển hệ thống khi lựa chọn tham số α trong khoảng $(0, 1)$ để nhận được kết quả tốt hơn.

3.1. Đánh giá ảnh hưởng tham số α đến chất lượng lọc ảnh

Để đánh giá ảnh hưởng của tham số α đến chất lượng lọc ảnh sẽ sử dụng cùng một ảnh đầu vào và cho tham số α thay đổi rồi thu nhận ảnh đầu ra. Việc thay đổi tham số này căn cứ vào từng nguồn ảnh (nguồn video) khác nhau mà thay đổi, tuy nhiên, với nguồn dữ liệu là các video mục tiêu bay tham số α nên chọn ở ngưỡng từ 0,009 đến 0,1. Việc tăng hệ số này sẽ giảm bớt đáng kể tín hiệu nhiễu và nền, giúp tách biệt đối tượng ra khỏi nền nhiễu từ đó hỗ trợ quá trình

tách biên và bám sát. Tuy nhiên nếu tăng quá lớn thì không chỉ thông tin của nhiễu, nền bị loại bỏ mà ngay cả thông tin của đối tượng cũng bị ảnh hưởng. Các ảnh hưởng này được thể hiện trong bảng 1.

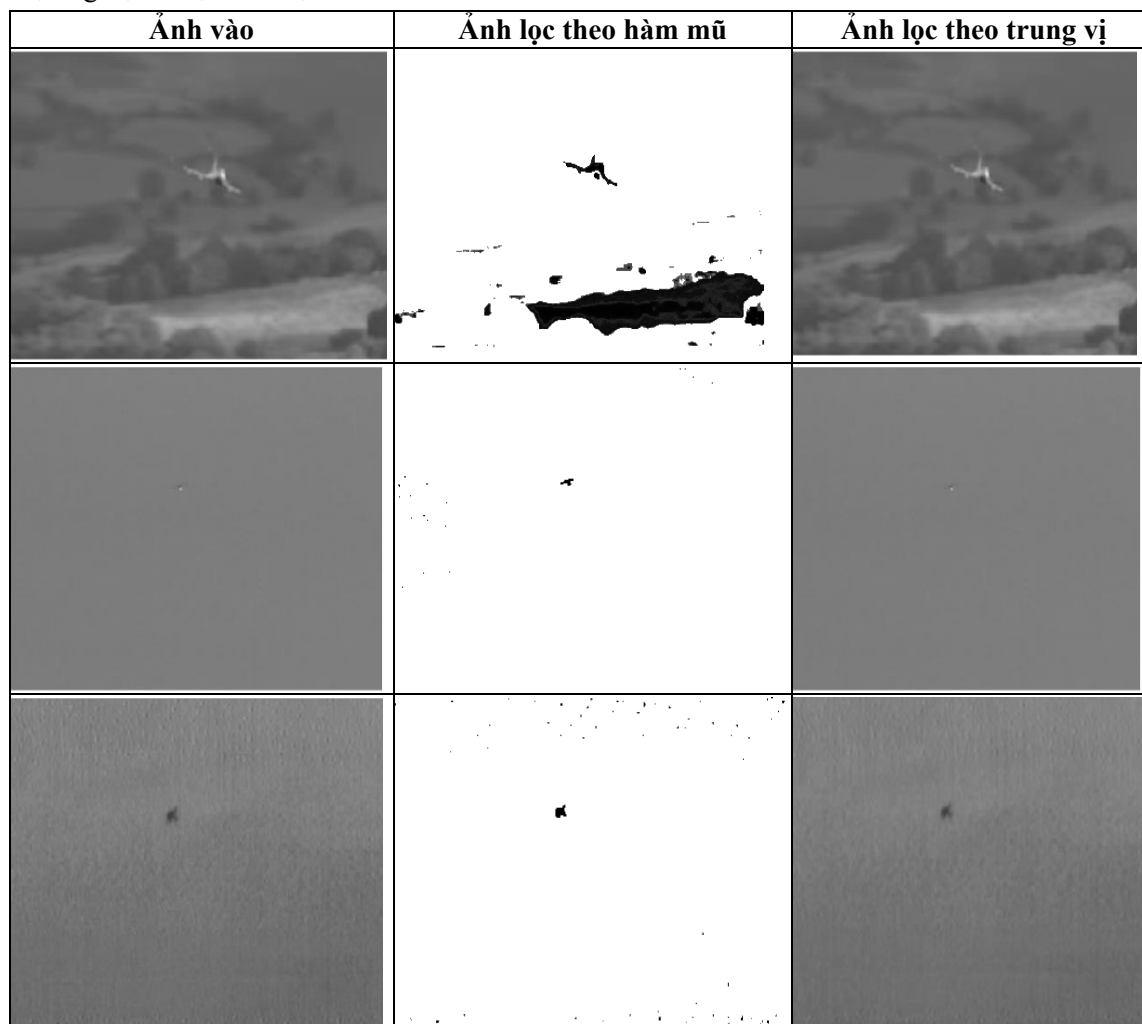
Bảng 1. Ảnh hưởng tham số α đến chất lượng ảnh lọc phi tuyến theo hàm mũ.

Tham số α	Ảnh vào (Input)	Ảnh kết quả (Output)
0,001		
0,009		
0,001		
0,09		

Đánh giá ảnh thứ nhất khi tham số là 0,001 bộ lọc đã loại bỏ được một số vùng nền và nhiễu, tuy nhiên, lượng thông tin đó là chưa đủ để phục vụ quá trình tách biên, khi tăng tham số lên 0,009 bộ lọc đã lược bỏ được hầu hết thông tin nền và nhiễu làm nổi bật đối tượng trên phông nền. Tương tự với ảnh thứ 2 cho thấy khi thay đổi tham số α trong miền khuyến nghị sẽ tăng hiệu quả làm việc của bộ lọc.

3.2. So sánh lọc trung vị và lọc theo hàm mũ

Nhóm tác giả đã tiến hành so sánh kết quả giữa hai bộ lọc: lọc trung vị với ma trận lọc kích thước 3×3 và lọc phi tuyến theo hàm mũ, chương trình được thực hiện trên Matlab2021a, kết quả thực nghiệm được thể hiện ở hình 4.



Hình 4. Hình ảnh so sánh lọc trung vị và lọc hàm mũ.

Từ kết quả thu được qua hai bộ lọc ta nhận thấy một số điểm như sau. Thứ nhất, bộ lọc trung vị giữ lại được nhiều thông tin của ảnh gốc, làm chất lượng ảnh tăng lên, tuy nhiên, chính vì giữ lại nhiều thông tin ảnh đầu vào nên hiệu quả phân lập đối tượng khỏi nền chưa cao. Ngược lại, với lọc hàm mũ thì giữ lại được rất ít thông tin ảnh đầu vào, làm giảm chất lượng ảnh, tuy nhiên, chính việc lược bỏ các thông tin này lại giúp tăng sự phân lập đối tượng ra khỏi nền và nhiều, hỗ trợ cho quá trình tách biên đối tượng.

3.3. Xây dựng tiêu chí đánh giá bộ lọc hàm mũ

Theo thông thường, chúng ta đánh giá chất lượng ảnh bằng sử dụng sai số bình phương trung bình MSE (Mean square error) và tỉ lệ tín hiệu nhiễu PSNR (peak signal to noise ratio), theo cách này thì sẽ tính được độ sai số giữa ảnh trước và sau khi lọc và giá trị PSNR này có giá trị từ 30-50 là chấp nhận được. Tuy nhiên, với cách đánh giá này lại không phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đặc thù trong bài toán xử lý ảnh động phục vụ bám bắt mục tiêu di động là phân tách mục tiêu ra

khỏi nền và nhiều khi mà qua bộ lọc sẽ loại bỏ rất nhiều thông tin, chỉ giữ lại thông tin đối tượng cần bắt bám.

Vì vậy, nhóm tác giả đề xuất cách đánh giá hiệu quả của phương pháp lọc này là hệ số giữa giá trị điểm ảnh trung bình tiêu (đối tượng) và giá trị điểm ảnh trung bình nền. Giả sử chúng ta đã biết được vùng ảnh của mục tiêu (trong thực tế để xác định tiêu cần sử dụng các thuật toán hỗ trợ hoặc công cụ hỗ trợ), khi đó, hệ số giữa trung bình tiêu và trung bình nền của ảnh sau lọc lớn hơn hệ số giữa trung bình tiêu và trung bình nền của ảnh trước lọc. Nghĩa là, ảnh sau lọc có tiêu rõ hơn ảnh trước lọc, từ đó, dễ tách biên và dễ phát hiện được mục tiêu. Ảnh có giá trị trung bình tiêu trên trung bình nền càng lớn thì tiêu càng rõ

Giả sử ảnh vào S kích thước $M \times N$, tiêu là S_1 (là đối tượng cần bám sát), nền là S_2 , số điểm ảnh tiêu là N_1 , số điểm ảnh nền là N_2

Khi đó, nền của ảnh có giá trị là $S_2 = S - S_1$

Ta có trung bình tiêu (TB_T) và trung bình nền (TB_N) được tính như sau:

$$TB_T = \frac{\sum S_1}{N_1}$$

$$TB_N = \frac{\sum S_2}{N_2}$$

Trong đó:

$$N_2 = M \times N - N_1$$

Tương tự, ta có ảnh kết quả là S' kích thước $M \times N$, tiêu là S'_1 , nền $S'_2 = S' - S'_1$, số điểm ảnh tiêu là N'_1 , số điểm ảnh nền là N'_2

Trung bình tiêu (TB'_T) và trung bình nền (TB'_N) được tính như sau:

$$TB'_T = \frac{\sum S'_1}{N'_1}$$

$$TB'_N = \frac{\sum S'_2}{N'_2}$$

$$N'_2 = M \times N - N'_1$$

Trung bình tiêu và trung bình nền của ảnh vào và ảnh kết quả là H và H'

$$H = \frac{TB_T}{TB_N}$$

$$H' = \frac{TB'_T}{TB'_N}$$

Ảnh sau lọc có giá trị $H' > H$. H' càng lớn thì tiêu càng rõ.

Một tiêu chí nữa giúp đánh giá hiệu quả của bộ lọc đó là tiêu chí thời gian. Như đã biết để có thể áp dụng được cho bài toán xử lý ảnh động là thời gian làm việc của bộ lọc càng ngắn càng tốt, vì tổng thời gian xử lý mỗi frame ảnh trong hệ thống không vượt quá bốn mươi mi li giây (40 ms). Theo yêu cầu của đơn vị đặt hàng thời gian xử lý của bộ lọc không vượt quá 10ms. Độ phức tạp của thuật toán đề xuất không cao như các thuật toán xử lý ảnh phổ biến hiện nay, vì vậy, thuật toán đề xuất có thể rút ngắn thời gian xử lý.

3.4. Kết quả đánh giá

Sau khi thu được ảnh đầu ra sau bộ lọc theo hàm mũ, nhóm tác giả bằng các công cụ hỗ trợ đã thực hiện tính toán để xác định tiêu của ảnh đầu vào và tiêu ảnh đầu ra sau bộ lọc, từ đó, xác định được các giá trị nền và giá trị điểm ảnh trung bình tiêu, giá trị điểm ảnh trung bình nền như trong bảng sau.

Bảng 2. So sánh tiêu giữa ảnh đầu vào và ảnh đầu ra bộ lọc.

Tên ảnh	Tham số α	Ảnh đầu vào (S)	Ảnh kết quả (S')	Thời gian lọc ảnh
Ảnh 1 có kích thước 480x320	0,009	$N_1=766$ $N_2=152834$ $\sum S_1 = 274783$ $\sum S_2 = 69848972$ $H = 0,7849$	$N'_1= 461$ $N'_2 = 153139$ $\sum S'_1 = 104945$ $\sum S'_2 = 1998078$ $H' = 17,4475$	T = 4,9875 ms
Ảnh 2 có kích thước 480x320	0,09	$N_1=116$ $N_2=153484$ $\sum S_1 = 43612$ $\sum S_2 = 59753797$ $H = 0,9657$	$N'_1= 120$ $N'_2 = 153480$ $\sum S'_1 = 19520$ $\sum S'_2 = 9755$ $H' = 2559,3$	T = 2,9589 ms
Ảnh 3 có kích thước 480x320	0,09	$N_1=260$ $N_2=153340$ $\sum S_1 = 127435$ $\sum S_2 = 62410857$ $H = 1,2042$	$N'_1= 232$ $N'_2 = 153368$ $\sum S'_1 = 117120$ $\sum S'_2 = 12355$ $H' = 6266,6$	T = 4,7368 ms

Như vậy, ảnh nhận được sau bộ lọc có tỷ lệ giá trị điểm ảnh trung bình đối tượng trên nền là cao, tỉ lệ này càng cao thì sự chênh lệch giữa đối tượng và nền càng lớn, điều này đã chứng minh và khẳng định rằng đối tượng được hiển thị rõ trên nền, từ đó, dễ dàng bám bắt đối tượng. Thời gian chạy của bộ lọc cũng nằm trong ngưỡng cho phép.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất ứng dụng bộ lọc phi tuyến theo hàm mũ nhằm nâng cao chất lượng xử lý ảnh động, bộ lọc lược bỏ nhiều thông tin từ ảnh đầu vào như thông tin nền, thông tin nhiễu, bộ lọc giữ lại được đặc trưng đối tượng điều này làm cho đối tượng nổi rõ trên nền, và nhiều qua đó hỗ trợ cho các bước tiếp theo của bài toán xử lý ảnh động. Thời gian thực hiện của bộ lọc là tương đối nhỏ, phù hợp cho bài toán điều khiển thời gian thực. Tham số α thuộc đoạn (0,1) của bộ lọc sẽ được người dùng tùy chỉnh trong quá trình bắt bám thực tế. Trong thời gian tiếp theo, nhóm tác giả tích hợp thuật toán lọc ảnh phi tuyến theo hàm mũ vào hệ thống PPK37mm-2N tại đơn vị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Trung Kiên, “Pháo phòng không tầm thấp 37mm-2N đánh đêm bán tự động”, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, (2018).
 [2]. Sankalp Kallakuri, “Frequency Domain Filtering”, Lecture-5.
 [3]. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing”, Pearson Education, (2011).
 [4]. J.R.Paker, “Algorithms for Image processing and Computer Vision”, Wiley Publishing, Inc, (1997).

- [5]. T. Pavlidis, “*Algorithms for Graphics and Image Processing*”, Computer Science Press, (1982).

ABSTRACT

Application of nonlinear filtering to animated images enhanced

In weapon systems using optoelectronics to detect targets, the problem of dynamic image processing is a major problem. Therefore, increasing the quality of image processing helps to increase the working efficiency of the weapon systems. The article proposes the application of a nonlinear filter to remove background information and noise of the image at the preprocessing step in order to improve the quality of dynamic image processing during the working process of the weapon systems.

Keywords: Nonlinear filtering; Image processing; Opto-electronics.