

## Phương pháp trộn ảnh màu nhìn đêm dựa trên kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV

Lê Vũ Nam\*, Nguyễn Thành Dương, Hà Công Nguyễn

Viện Vật lý Kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

\*Email: lvnam.mta@gmail.com

Nhận bài: 08/11/2023; Hoàn thiện: 19/12/2023; Chấp nhận đăng: 27/12/2023; Xuất bản: 25/02/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.93.2024.114-120>

### TÓM TẮT

Kỹ thuật trộn ảnh thông qua kết hợp hình ảnh từ nhiều kênh đầu thu khác nhau lại trên cùng một hình ảnh giúp phát huy ưu điểm của từng loại đầu thu qua đó nâng cao hiệu quả quan sát, tinh gọn trang thiết bị. Khác với trộn ảnh đen trắng truyền thống, trộn ảnh màu đưa hình ảnh từ đầu thu vào các kênh màu khác nhau do đó tăng cường sự nổi bật hình ảnh của từng kênh, tăng khả năng nhận diện và ghi nhớ hình ảnh đối với khung cảnh quan sát. Bài báo giới thiệu một phương pháp trộn ảnh màu nhìn đêm dựa trên kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV. Phương pháp này truyền tải tham số thống kê màu của ảnh thật vào ảnh trộn đồng thời lựa chọn các tham số tổ hợp tuyến tính các kênh đầu thu giúp ảnh trộn trở nên chân thực hơn và nổi bật hình ảnh mục tiêu kênh hồng ngoại. Đánh giá bằng tham số thống kê màu và trực quan cho thấy phương pháp trộn ảnh màu cho hiệu quả tốt.

**Từ khóa:** Nhìn đêm; Trộn ảnh màu; Truyền tải tham số thống kê màu.

### 1. MỞ ĐẦU

Kỹ thuật trộn ảnh kết hợp thông tin hình ảnh thu được từ các kênh đầu thu riêng lẻ lại với nhau để hiển thị trên cùng một hình ảnh giúp nâng cao hiệu quả quan sát, đơn giản hóa trang thiết bị [1-3]. Ban đầu nó chỉ là những tổ hợp tuyến tính đơn thuần giữa tín hiệu các kênh để tạo ra ảnh trộn là ảnh đen trắng nên không phát huy hết được ưu thế của ảnh trộn. Kỹ thuật trộn ảnh màu được đề xuất với mục tiêu làm cho ảnh trộn ban đêm giống với ảnh ban ngày, giúp tăng khả năng phát hiện mục tiêu, thuận lợi cho việc nhận định và ghi nhớ khung cảnh quan sát. Nghiên cứu chỉ ra rằng, khả năng phân biệt của mắt người đối với ảnh màu cao gấp hàng trăm lần so với ảnh đen trắng và ảnh màu có thể giúp tốc độ và độ chính xác của việc nhận diện tăng thêm từ 30% - 60% so với ảnh đen trắng [4, 5].

Trộn ảnh màu đầu tiên là các kỹ thuật trộn ảnh màu giả, trực tiếp chuyển tín hiệu từ các kênh đầu thu vào màu R, G, B của ảnh trộn [6]. Mặc dù dễ dàng thực hiện nhưng nó cho màu sắc quá khác so với màu thực tế, tạo cảm giác không chân thực, thậm chí gây khó khăn cho việc quan sát. Sau đó, các kỹ thuật trộn ảnh màu có nguyên lý khác nhau được đề xuất, mục tiêu tạo ra ảnh trộn có màu giống với ảnh quan sát ban ngày. Ví dụ, thuật toán đối kháng màu trên pixel (pixel based opponent-color fusion), tổ hợp tuyến tính các phần chung và phần riêng của tín hiệu ban đầu vào R, G, B của ảnh trộn qua đó làm nổi bật thông tin riêng của các kênh mà vẫn giữ được thông tin chung [7, 8]. Thuật toán truyền tải tham số thống kê màu (statistical color transform) giúp màu sắc ảnh trộn trở nên tự nhiên và chân thực hơn bằng cách truyền tải các tham số thống kê màu của ảnh màu thật (ảnh tham khảo) vào ảnh trộn [9, 10]. Thuật toán truyền tải màu dựa trên mẫu (sample based color transform) trộn ảnh dựa trên bảng tra cứu giữa giá trị tín hiệu đầu thu và màu sắc tương ứng, giúp cải thiện màu sắc của các chi tiết mà không chỉ là màu sắc tổng thể [11, 12]. Ngoài ra, còn một số kỹ thuật tạo ảnh màu nhìn đêm ứng dụng các kỹ thuật như học sâu, mạng thần kinh,... cũng cho hiệu quả tốt [13, 14]. Nội dung bài báo này xoay quanh thuật toán truyền tải tham số thống kê màu, đề xuất một phương pháp trộn ảnh với các biến đổi tuyến tính nhưng cho kết quả trộn ảnh màu hiệu quả tương đương các phương pháp phi tuyến phức tạp khác. Ảnh trộn được cải thiện về 2 mặt: 1) Nổi bật mục tiêu hồng ngoại; 2) Đưa màu sắc tổng thể về màu xanh lục (là màu sắc chủ đạo của khung cảnh rừng núi).

## 2. PHƯƠNG PHÁP TRỘN ẢNH MÀU DỰA TRÊN TRUYỀN TẢI THAM SỐ THỐNG KÊ MÀU TRÊN KHÔNG GIAN YUV

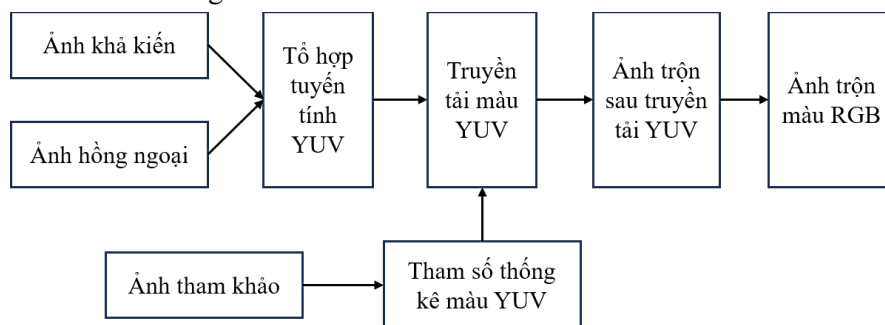
Trong phần này, tác giả giới thiệu chung về kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu, không gian màu YUV và những điểm cải tiến của thuật toán truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV trong bài báo này.

### 2.1. Kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu

Như giới thiệu ở phần mở đầu, các kỹ thuật trộn ảnh màu nhìn chung đều có thể tạo ra ảnh trộn có màu sắc, cải thiện rõ về khả năng phân biệt các chi tiết trong ảnh. Tuy nhiên, màu sắc đưa vào trong ảnh trộn chủ yếu không liên quan hoặc ít liên quan tới màu sắc ngoài thực tế, thường sẽ quy định mỗi kênh đầu thu tương ứng một màu nhất định, dẫn tới màu sắc của ảnh trộn thiếu chân thực, tông màu khác xa với màu sắc quan sát ban ngày. Giải quyết vấn đề này, kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu đưa vào ảnh trộn một số tham số thống kê màu sắc được lấy từ ảnh tham khảo nhằm đưa màu sắc của ảnh trộn về giống với của ảnh tham khảo. Ảnh tham khảo là một ảnh màu thật chụp vào ban ngày của một khung cảnh tương tự với khung cảnh quan sát vào ban đêm (nhưng không nhất thiết phải trùng khớp với nhau). Các tham số thống kê màu truyền tải vào ảnh trộn thường là giá trị bình quân và phương sai giá trị độ xám các màu của ảnh trộn trên các không gian màu khác nhau, như  $l\alpha\beta$  hay YUV [9, 10]. Các không gian màu này là một miền trung gian để tính toán tham số màu và truyền tải các tham số này vào ảnh trộn nhằm tăng hiệu quả trộn ảnh.

### 2.2. Phương pháp trộn ảnh màu dựa trên truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV

Không gian màu YUV là một loại không gian màu được Liên minh Truyền thông quốc tế ITU đề xuất, thường được dùng để truyền tải và xử lý tín hiệu hình ảnh [15]. Với Y là tín hiệu về độ sáng của ảnh, U và V lần lượt là tín hiệu sắc sai giữa màu lam và màu đỏ so với độ sáng. Không gian màu YUV dựa vào đặc tính cảm nhận hình ảnh của thị giác người để biểu thị hình ảnh thông qua độ sáng và sắc sai, từ đó tách riêng được độ sáng và màu sắc để thuận lợi cho việc xử lý ảnh. Chuyển đổi giữa không gian YUV và không gian RGB là một phép biến đổi tuyến tính, như Công thức (4) [16]. Trong bài báo này tác giả sử dụng không gian màu YUV làm không gian để thực hiện truyền tải tham số thống kê màu của ảnh.



**Hình 1.** Sơ đồ nguyên lý phương pháp trộn ảnh màu dựa trên kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV.

Phương pháp đề xuất thực hiện trộn ảnh màu giữa 2 kênh ảnh khả kiến và ảnh hồng ngoại dựa trên kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu với không gian xử lý là không gian YUV, gọi nó là Phương pháp trộn ảnh màu dựa trên truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV. Hình 1 là sơ đồ nguyên lý của phương pháp này, nó bao gồm 3 bước: 1) Tổ hợp tuyến tính hai kênh ảnh khả kiến và ảnh hồng ngoại tạo ra ảnh trộn ban đầu trên YUV; 2) Truyền tải tham số thống kê màu từ ảnh tham khảo sang ảnh trộn ban đầu trên YUV; 3) Chuyển đổi ảnh trộn sau khi truyền tải từ YUV sang RGB và hiển thị. Trong bài báo này, tác giả thay đổi công thức của tổ hợp tuyến tính từ tín hiệu ảnh đơn kênh sang ảnh trộn ban đầu trên YUV nhằm mục đích tăng cường khả năng phát hiện mục tiêu hồng ngoại cũng như cải thiện độ chân thực về màu sắc tổng thể của ảnh trộn, cụ thể như sau.

Giả sử  $I_v$  và  $I_i$  lần lượt là ảnh của kênh khả kiến và kênh hồng ngoại của khung cảnh quan sát, vì ảnh đơn kênh là ảnh đen trắng nên  $I_v$  và  $I_i$  là các ma trận 2 chiều. Đầu tiên, tiến hành tổ hợp tuyến tính giữa  $I_v$  và  $I_i$  để tạo ra ảnh trộn ban đầu trên YUV theo công thức:

$$\begin{aligned} Y_o &= m_1 * I_v + (1 - m_1) * I_i \\ U_o &= m_2 * I_v + m_3 * I_i \\ V_o &= m_4 * I_v + m_5 * I_i \end{aligned} \quad (1)$$

Ở đây,  $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$  là các tham số quyết định chi tiết cũng như màu sắc của ảnh trộn ban đầu. Đối với tham số  $m_1$ , nó sẽ quyết định tỉ lệ đóng góp của ảnh khả kiến và ảnh hồng ngoại trong độ sáng của ảnh trộn, phạm vi của nó là  $(0,1)$ , nếu  $m_1$  càng gần đến 0 đóng góp của ảnh hồng ngoại càng lớn nhưng của ảnh khả kiến càng nhỏ, ảnh trộn càng thiếu các thông tin về khung cảnh có trong ảnh khả kiến, ngược lại nếu  $m_1$  càng gần đến 1, đóng góp của ảnh khả kiến càng lớn, nhưng đóng góp của ảnh hồng ngoại càng nhỏ, khó để nhận ra các mục tiêu hồng ngoại có trong ảnh trộn. Thông qua tính toán tác giả lựa chọn giá trị  $m_1 = 0,7$ , cụ thể xem mục 3.1.3. Như đã trình bày ở trên,  $U$  và  $V$  lần lượt đại diện cho sắc sai của màu lam và đỏ của ảnh trộn, tổng màu của khung cảnh chúng ta quan sát lại thường là màu xanh lục, màu sắc của mục tiêu hồng ngoại thường đưa về màu đỏ, do vậy  $V$  phải hoàn toàn là tín hiệu của kênh hồng ngoại còn  $U$  là phần bù đối với màu trắng của cả kênh khả kiến và kênh hồng ngoại (vì Đỏ + Lục + Lam = Trắng). Do các hằng số và độ lớn tham số sẽ không ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng, nên để đơn giản cho tính toán lựa chọn:  $m_2 = -1, m_3 = -1, m_4 = 0, m_5 = 1$ . Qua đó, xác định được công thức tổ hợp tuyến tính tạo ra ảnh trộn ban đầu như sau:

$$\begin{aligned} Y_o &= 0,7 * I_v + 0,3 * I_i \\ U_o &= -I_v - I_i \\ V_o &= I_i \end{aligned} \quad (2)$$

Ảnh trộn ban đầu sau khi được hình thành mặc dù có mang thông tin của cả hai kênh và có màu sắc, tuy nhiên, màu sắc chưa thông qua xử lý, để cải thiện độ chân thực của màu sắc chúng ta cần truyền tải tham số thống kê màu sắc của ảnh tham khảo vào ảnh trộn. Ảnh tham khảo sử dụng trong bài báo này được trích dẫn từ tài liệu tham khảo [17]. Các tham số truyền tải được sử dụng gồm 6 tham số, là các giá trị trung bình và phương sai của 3 kênh YUV của ảnh tham khảo. Quá trình truyền tải tham số thống kê màu thực hiện theo công thức:

$$\begin{aligned} Y' &= \frac{\delta_r^Y}{\delta_o^Y} (Y_o - \bar{Y}_o) + \bar{Y}_r \\ U' &= \frac{\delta_r^U}{\delta_o^U} (U_o - \bar{U}_o) + \bar{U}_r \\ V' &= \frac{\delta_r^V}{\delta_o^V} (V_o - \bar{V}_o) + \bar{V}_r \end{aligned} \quad (3)$$

Ở đây,  $Y', U', V'$  lần lượt là YUV của ảnh trộn sau khi truyền tải,  $\bar{\quad}$  là giá trị trung bình và  $\delta$  là phương sai, kí hiệu  $o$  và  $r$  phía dưới để chỉ ảnh trộn ban đầu và ảnh tham khảo, kí hiệu  $Y, U, V$  phía trên để chỉ các kênh Y, U, V tương ứng. Ảnh trộn trên YUV sau khi truyền tải tham số màu sẽ được chuyển đổi sang RGB theo công thức dưới đây để hiển thị.

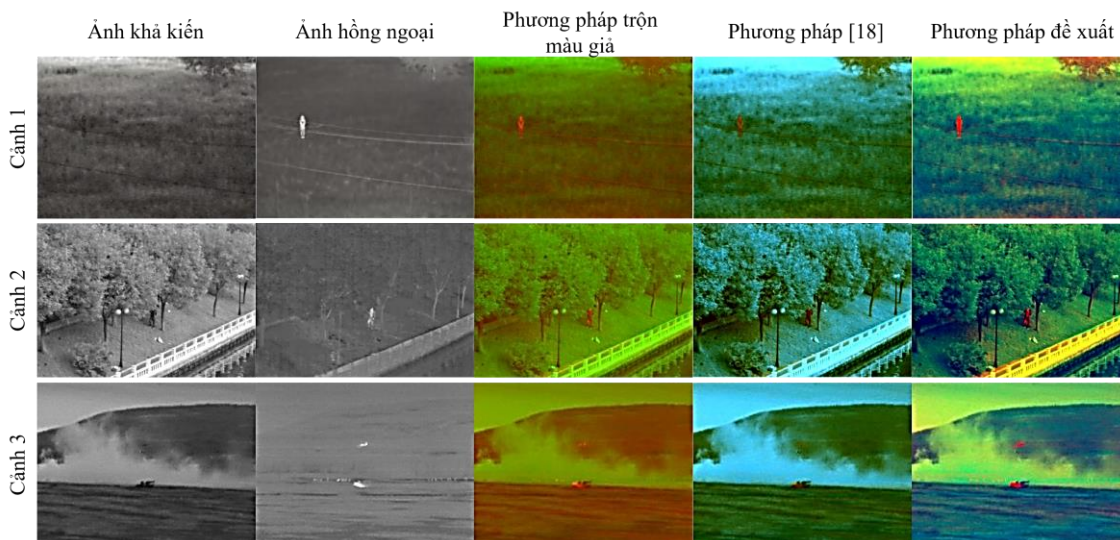
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1,402 \\ 1 & -0,344 & -0,714 \\ 1 & 1,772 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y' \\ U' \\ V' \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

Phần này trình bày các kết quả mô phỏng thuật toán trộn ảnh ở trên với các ảnh mẫu là ảnh khả kiến và ảnh hồng ngoại của các khung cảnh khác nhau với công cụ mô phỏng là phần mềm Matlab. Kết quả trộn ảnh được so sánh với các thuật toán khác và đưa ra các nhận định, đánh giá.

### 3.1. Kết quả mô phỏng trộn ảnh màu và đánh giá

Hình 2 bao gồm ảnh gốc (ảnh khả kiến, ảnh hồng ngoại) và ảnh trộn theo 3 phương pháp khác nhau (phương pháp trộn màu giả, phương pháp [18] và phương pháp đề xuất) của 3 khung cảnh (cảnh 1, cảnh 2, cảnh 3). Trong đó, phương pháp [18] là một phương pháp trộn ảnh màu dựa trên truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV truyền thống trích dẫn trong tài liệu [18]. Cả 3 khung cảnh này đều có phong nền là rừng cây hoặc đồi núi với mục tiêu hồng ngoại lần lượt là động vật (cảnh 1), người (cảnh 2) và phương tiện (cảnh 3).

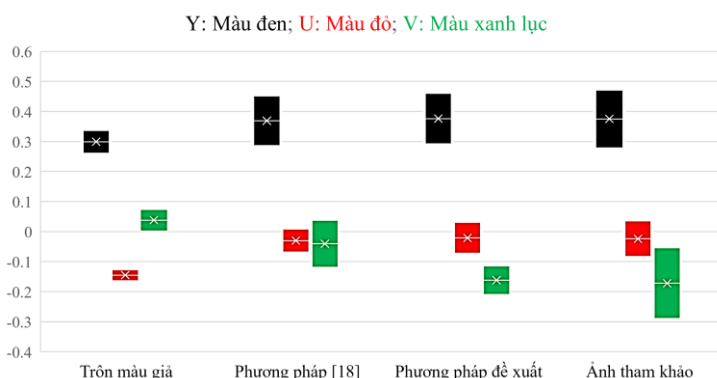


**Hình 2.** Từ trái qua phải lần lượt: Ảnh khả kiến; Ảnh hồng ngoại; Ảnh trộn màu giả; Ảnh trộn theo phương pháp [18]; Ảnh trộn theo phương pháp đề xuất.

Dễ dàng nhận thấy các kết quả trộn ảnh màu cho dù là phương pháp trộn màu giả đều cho hiệu quả quan sát tốt hơn rất nhiều so với từng kênh quan sát riêng lẻ với ảnh đen trắng, thể hiện ưu điểm rõ rệt của kỹ thuật trộn ảnh màu. Để đánh giá hiệu quả trộn ảnh màu của thuật toán trong bài báo này, tác giả so sánh kết quả trộn ảnh màu của 3 phương pháp kể trên với nhau. Ảnh được đánh giá theo 2 phương pháp: 1) Đánh giá tham số thống kê màu trong YUV của ảnh (giá trị trung bình và phương sai); 2) Đánh giá trực quan bằng mắt người.

#### 3.1.1. Đánh giá bằng tham số màu YUV của ảnh trộn

Chúng tôi tính toán các giá trị trung bình và phương sai tham số màu (trên các kênh Y, U và V) của các ảnh trộn đối với cảnh 1 (hình 1) và của ảnh tham khảo sau đó so sánh chúng với nhau như trong biểu đồ ở hình 3.



**Hình 3.** Biểu đồ so sánh giá trị tham số thống kê màu của ảnh trộn và ảnh tham khảo.

Trong đó có 3 ảnh trộn bằng các phương pháp đó là phương pháp trộn màu giả, phương pháp [18] và phương pháp đề xuất. Tương ứng với mỗi ảnh có 3 cột thể hiện tham số, cột màu đen thể hiện tham số kênh Y, màu đỏ là kênh U, màu xanh lục là kênh V. Đối với mỗi cột, giá trị trung điểm của cột thể hiện giá trị trung bình của tham số màu, chiều cao của cột thể hiện giá trị phương sai của tham số màu. So sánh từng cột tham số với nhau có thể thấy, phương pháp trộn màu giả cho ảnh trộn có tham số sai lệch rất nhiều so với tham số của ảnh tham khảo, phương pháp [18] và phương pháp đề xuất nhờ có quá trình truyền tải nên tham số ảnh trộn rất giống với ảnh tham khảo. Trong đó, phương pháp đề xuất cho ảnh trộn có tham số gần với tham số của ảnh tham khảo hơn so với phương pháp [18]. Đối với khung cảnh 2 và khung cảnh 3 cũng cho kết quả tương tự, do giới hạn khuôn khổ của bài báo nên tác giả không trình bày thêm.

### 3.1.2. Đánh giá hiệu quả quan sát của ảnh trộn bằng mắt người

Để tiếp tục đánh giá hiệu quả của ảnh trộn trên các tiêu chí khác nhau, chúng tôi tiến hành khảo sát kết quả quan sát trực tiếp bằng mắt người, đây là một phương pháp đánh giá mang tính trực quan có nhiều yếu tố ảnh hưởng nhưng mang tính quyết định đối với hiệu quả trộn ảnh.

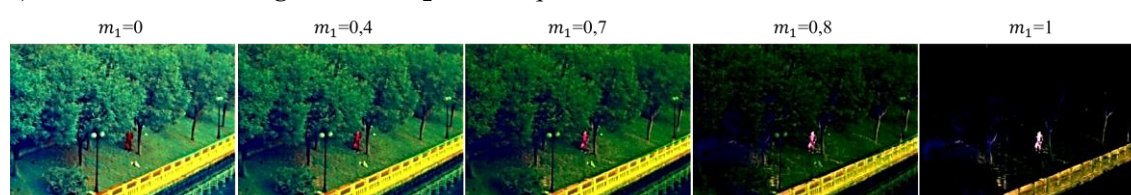
**Bảng 1.** Đánh giá hiệu quả quan sát của ảnh trộn.

Tiêu chí đánh giá	Phát hiện mục tiêu (%)			Độ chân thực màu sắc (%)		
	Mức đánh giá	1	2	3	1	2
Ảnh màu						
Phương pháp trộn màu giả	3	74	23	5	12	83
Phương pháp [18]	0	23	77	37	46	17
Phương pháp đề xuất	97	3	0	58	42	0

Cụ thể như sau, tiến hành khảo sát với 20 người trong độ tuổi từ 25-50 tuổi, có sức khỏe bình thường và không có các dị tật về mắt, không bị mù màu. Người khảo sát sẽ quan sát và đánh giá ảnh trộn bằng 3 phương pháp kể trên của 3 khung cảnh theo 2 tiêu chí: Khả năng phát hiện mục tiêu hồng ngoại và Độ chân thực của màu sắc tổng thể. Đánh giá theo 3 mức 1, 2 và 3, mức 1 tương ứng với hiệu quả tốt nhất, tiếp theo là mức 2, mức 3 là kém nhất. Như vậy tổng cộng sẽ có 60 mẫu khảo sát và tổng hợp kết quả như trong bảng 1. Có thể thấy, đối với phương pháp đề xuất, gần như toàn bộ (97%) số mẫu khảo sát nhận định khả năng phát hiện mục tiêu hồng ngoại là tốt nhất và có 58% số mẫu khảo sát nhận định Độ chân thực của màu sắc tổng thể là tốt nhất, điều này khẳng định hiệu quả vượt trội của phương pháp này so với 2 phương pháp còn lại đặc biệt là khả năng làm nổi bật mục tiêu hồng ngoại.

### 3.1.3. Một số phân tích khác

#### a) Phân tích ảnh hưởng tham số $m_1$ đến kết quả trộn ảnh



**Hình 4.** Ảnh hưởng của tham số  $m_1$  đến kết quả trộn ảnh đối với cùng một khung cảnh.

Hình 4 là kết quả trộn ảnh của phương pháp đề xuất tương ứng với các giá trị khác nhau của  $m_1$ . Kết quả phân tích hoàn toàn phù hợp với nhận định như trong mục 2.2, khi  $m_1$  đạt các giá trị cực trị 0 và 1 kết quả trộn ảnh đều không tốt, chỉ phản ánh được tín hiệu của đơn kênh. Cũng qua phân tích này lựa chọn được giá trị của  $m_1$  là 0,7.

#### b) Kết quả trộn ảnh đối với các khung cảnh khác

Hình 5 là kết quả trộn ảnh của phương pháp đề xuất với các khung cảnh khác, trong đó lần lượt

từ trái qua phải ảnh thứ 1, 2, 3 đều là khung cảnh đồi núi, ảnh thứ 4 là khung cảnh đô thị và ảnh thứ 5 là khung cảnh biển. Có thể thấy 3 ảnh đầu tiên vẫn cho các kết quả màu sắc giống thực tế, tuy nhiên 2 ảnh sau màu sắc đã rất khác so với màu sắc thực tế. Nguyên nhân ở đây khá rõ ràng, đó là do thuật toán đề xuất đã đưa tông màu khung cảnh về màu xanh lục để phù hợp với khung cảnh đồi núi, do đó sẽ không còn phù hợp với khung cảnh là màu sắc khác. Rõ ràng lựa chọn một phương pháp trộn ảnh để phù hợp với tất cả các tông màu của các loại khung cảnh khác nhau là một vấn đề quan trọng cần chúng ta tiếp tục nghiên cứu. Trong giới hạn của bài báo này, thuật toán đề xuất chỉ nhằm phục vụ chính cho một loại khung cảnh là rừng cây đồi núi như đã trình bày.



**Hình 5.** Kết quả trộn ảnh theo phương pháp đề xuất của một số khung cảnh khác.

#### **4. KẾT LUẬN**

Trộn ảnh màu nhìn đêm giúp tăng cường hiệu quả quan sát, phát hiện, nhận định và ghi nhớ đối với khung cảnh quan sát hơn rất nhiều so với trộn ảnh đen trắng truyền thống. Phương pháp trộn ảnh màu nhìn đêm dựa trên kỹ thuật truyền tải tham số thống kê màu trên không gian YUV đề xuất trong bài báo này là một phương pháp trộn ảnh màu tương đối đơn giản với các phép biến đổi tuyến tính nhưng vẫn cho kết quả trộn ảnh có hiệu quả tốt, đặc biệt thể hiện ở việc làm nổi bật mục tiêu hồng ngoại và tăng độ chân thực màu sắc tổng thể. Việc nghiên cứu, phát triển và ứng dụng những thuật toán trộn ảnh màu nhìn đêm vào thực tiễn, như ứng dụng vào các hệ thống, thiết bị quan sát cảnh giới,... giúp nâng cao hiệu quả sử dụng, hiện đại hóa các trang thiết bị này. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm đề tài sẽ là tiếp tục cải thiện kỹ thuật trộn ảnh màu nhằm nâng cao hiệu quả quan sát của ảnh trộn và giảm mức sử dụng tài nguyên xử lý của thuật toán. Mục tiêu hướng tới là đưa thuật toán trộn ảnh màu sử dụng trên các mô đun phần cứng nhỏ gọn và đáp ứng được yêu cầu thời gian thực.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. N. A. Tuấn, “*Tính toán thiết kế và chế tạo hệ quang trộn ảnh kết hợp khuếch đại ánh sáng yếu và ảnh nhiệt*,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số Đặc san FEE, tr. 212-221, (2020).
- [2]. N. A. Tuấn, “*Ứng dụng thuật toán tách biên hình ảnh Canny cho thiết bị quan sát trộn ảnh quang học*,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số Đặc san FEE, tr. 273-280, (2019).
- [3]. T. V. Hà, “*Thiết kế khối xử lý tách biên và trộn màu video ảnh nhiệt trên bộ kit Pynq-Z1 bằng Vivado HLS cho các ứng dụng trộn ảnh*,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số 77, tr. 129-136, (2022).
- [4]. A. Toet, *et al.* “*New false colour mapping for image fusion.*” *Optical Engineering*, **Vol.35**, No.3, pp. 650-658, (1996).
- [5]. Y. F. Jiang *et al.* “*Summary of color night vision technology.*” *Laser Technology*, **Vol.44**, No.1, pp.5, (2020).
- [6]. P. Philip. “*Part task investigation of multispectral image fusion using gray scale and synthetic color night-vision sensor imagery for helicopter pilotage*,” *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 3062, pp.88-100, (1997).
- [7]. Waxman, *et al.* “*Color Night Vision: Opponent Processing in the Fusion of Visible and IR Imagery.*” *Neural Networks*, **Vol.10**, No.1, pp.1-6, (1997).
- [8]. Waxman, *et al.* “*Solid-state color night vision: fusion of low-light visible and thermal infrared imagery.*” *MIT Lincoln Laboratory Journal*, **Vol.11**, pp.41-60, (1999).
- [9]. E. Reinhard, *et al.* “*Color transfer between images.*” *IEEE Computer Graphics and Applications*, **Vol.21**, No.5, pp.34-41, (2001).
- [10]. A. Toet. “*Natural colour mapping for multiband nightvision imagery.*” *Information fusion*, **Vol.4**, No.3, pp.155-166, (2003).

- 
- [11]. Hogervorst, *et al.* "Method for applying daytime colors to nighttime imagery in realtime", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Bellingham, pp.697403-6974039, (2008).
- [12]. Hogervorst, *et al.* "Fast natural color mapping for night-time imagery." Information Fusion, **Vol.11**, No.2, pp. 69-77, (2010).
- [13]. A. Toet, *et al.* "Real-Time Full Color Multiband Night Vision." Vision Sensors and Edge Detection, pp. 105-142, (2010).
- [14]. A. W. Browne, *et al.* "Deep learning to enable color vision in the dark." PLoS ONE, **Vol.17**, No. 4, pp. 1-11, (2022).
- [15]. G. Q. He, *et al.* "Synthesis Performance Evaluation of Multi-Sensor Image Fusion." Chinese Journal of Computers, **Vol.31**, No.3, pp. 486-492, (2008).
- [16]. C. Christopoulos, *et al.* "The JPEG2000 still image coding system: An overview." IEEE Transactions on Consumer Electronics, **Vol.46**, No.4, pp. 1103-1127, (2000).
- [17]. J. Liu, *et al.* "Visible and Infrared Thermal Image Fusion Algorithm Based on Self-Adaptive Reference Image." Spectroscopy and Spectral Analysis, **Vol.36**, No.12, pp.3907-3914, (2016).
- [18]. L. X. Wang, *et al.* "Color transfer and its real-time system based on a YUV space for dual-channel video images." Transactions of Beijing Institute of Technology, **Vol.27**, No.3, pp.189-191, (2007).

### ABSTRACT

#### **A night vision color image fusion method based on statistical color transform technology in YUV color space**

*Image fusion technology combines images from different sensors into one image to fully utilize sensors, thereby improving observation efficiency and streamlining the equipment. Unlike grayscale image fusion, color image fusion assigns images from the sensors into different color channels, emphasizing the image of each sensor and enhancing the ability to detect, recognize and remember the scene. In this paper, a method of night vision color image fusion based on statistical color transform technology in YUV color space is proposed. This method transfers the color statistical parameters of a real image to the fused image and selects the optimal fusion parameters to make it more realistic and enhance infrared target visibility. The evaluation, based on color statistical parameters and human eye observation, demonstrates the effectiveness of the proposed color image fusion method.*

**Keywords:** Night vision; Color image fusion; Statistical color transform.