

Nâng cao chất lượng hình ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù, sử dụng bộ lọc dẫn hướng đa lớp

Nguyễn Văn Thương*, Nguyễn Ngọc Tú

Trung tâm Quang điện tử, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6 Thanh Xuân Bắc, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 4/5/2023; ngày chuyển phân biên 8/5/2023; ngày nhận phân biên 30/5/2023; ngày chấp nhận đăng 2/6/2023

Tóm tắt:

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thuật toán nhằm nâng cao chất lượng ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù. Đầu tiên, hình ảnh sương mù đầu vào được giảm tỷ lệ để tạo thành một kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, chúng tôi thực hiện ước tính bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển tại lớp ảnh thô nhất của kim tự tháp. Tiếp theo, chúng tôi thu được bản đồ truyền ánh sáng ở hình ảnh tại lớp cao nhất, bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng thực hiện lần lượt trên các lớp hình ảnh của kim tự tháp. Dựa trên những thông tin thu thập được, chúng tôi tinh chỉnh bản đồ truyền sáng cho các lớp có độ phân giải cao hơn, bằng cách áp dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng một cách tuần tự qua kim tự tháp. Cách tiếp cận phân cấp này đảm bảo tính toán hiệu quả, đồng thời bảo toàn các đặc trưng quan trọng của hình ảnh. Bằng cách tích hợp các kỹ thuật xử lý thời gian thực, phương pháp đề xuất giúp giảm đáng kể hiện tượng nhấp nháy, vốn thường làm suy giảm chất lượng hình ảnh của video đã khử sương mù. Kết quả thực nghiệm cho thấy, thuật toán đề xuất có thể áp dụng trong các ứng dụng thời gian thực, đồng thời mang lại hiệu suất tương đương hoặc thậm chí tốt hơn so với các thuật toán khử sương mù hiện nay. Điều này khiến phương pháp này trở nên đặc biệt hữu ích trong các tình huống yêu cầu cải thiện tầm nhìn.

Từ khóa: bộ lọc ảnh dẫn hướng, khôi phục ảnh, khử sương mù, xử lý ảnh, xử lý video.

Chỉ số phân loại: 1.8, 2.2

Hazy image and video enhancement using multi-scale guided filtering

Van Thuong Nguyen*, Ngoc Tu Nguyen

Center for Optoelectronics, National Center for Technological Progress, C6 Thanh Xuan Bac, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

Received 4 May 2023; revised 30 May 2023; accepted 2 June 2023

Abstract:

In this article, we propose an algorithm for enhancing the quality of images and videos captured under foggy weather conditions. First, the input foggy image is downscaled to construct an image pyramid. After that, we estimate the transmission map and atmospheric light at the coarsest layer of the pyramid. Next, the transmission map at the finest layer is obtained by sequentially applying the guided image filter across the pyramid's image layers. Based on the collected information, we refine the transmission map for higher-resolution layers by applying a guided image filter progressively through the pyramid. This hierarchical approach ensures efficient computation while preserving essential image features. By incorporating real-time processing techniques, the proposed method significantly reduces flickering artefacts, which often degrade the visual quality of defogged videos. Experimental evaluations demonstrate that it can be implemented in real-time applications while achieving performance comparable to or superior to state-of-the-art defogging methods. This makes the approach highly practical for scenarios requiring visibility enhancement.

Keywords: dehazing, guided image filtering, image processing, image restoration, video processing.

Classification numbers: 1.8, 2.2

*Tác giả liên hệ: Email: thuongbkhn94@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Hình ảnh và video ngoài trời chụp trong điều kiện thời tiết xấu, chẳng hạn như sương mù, thường mang lại độ tương phản thấp do sự tán xạ của các hạt khí quyển. Hình ảnh và video có chất lượng kém làm giảm hiệu suất của các hệ thống thị giác máy và ứng dụng xử lý ảnh. Vì vậy, việc phát triển một thuật toán hiệu quả để khôi phục khung cảnh gốc từ hình ảnh và video sương mù đầu vào là rất quan trọng trong lĩnh vực xử lý ảnh và thị giác máy. Gần đây, nhiều thuật toán đã được đề xuất để loại bỏ sương mù khỏi một hình ảnh. Hầu hết các thuật toán có thể đạt được kết quả chất lượng cao bằng cách sử dụng các điều kiện biết trước hoặc giả định khác nhau. Ví dụ, K. He và cs (2011) [1] đã phát triển một thuật toán hiệu quả dựa trên giả thiết kênh màu tối. T.M. Bui và cs (2018) [2] đã xây dựng các mô hình elip cho các cụm điểm ảnh sương mù trong không gian. T.V. Nguyen và cs (2021) [3] phát triển thuật toán khử sương mù cho ảnh chụp trên mặt biển dựa vào hàm phân rã ánh sáng. Gần đây, các thuật toán dựa trên học sâu đang được phát triển mạnh mẽ. Một là xuất trực tiếp ảnh không có sương mù theo cách từ đầu đến cuối [4, 5] và cách khác [6, 7] là tạo ra hình ảnh không có sương mù bằng cách ước tính hệ số truyền và ánh sáng xung quanh. Y. Shao và cs (2020) [6] sử dụng mạng nơ-ron tích chập (CNN) để trực tiếp ước tính bản đồ truyền dẫn ánh sáng và ánh sáng khí quyển từ tập dữ liệu ảnh sương mù và ảnh gốc. S.A. Hovhannisyan và cs (2022) [8] đề xuất một mạng tăng cường đầu cuối (AED-Net) để khôi phục các cảnh gốc từ các hình ảnh sương mù. Mặc dù các phương pháp kể trên loại bỏ hiệu quả sương mù trong ảnh, nhưng độ tính toán phức tạp của chúng quá cao để có thể áp dụng trong các ứng dụng thực tế, chẳng hạn như khi làm việc với các bộ dữ liệu đầy thách thức như NTIRE [9].

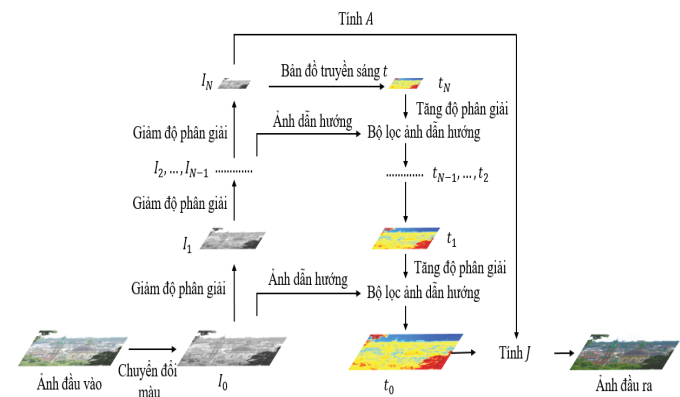
Các thuật toán loại bỏ sương mù trong hình ảnh cũng được mở rộng để khử sương mù trong video khi xem xét đến sự gắn kết về thời gian và tính nhất quán về không gian của các khung hình trong video. Ví dụ, J.H. Kim và cs (2013) [10] đã phát triển một thuật toán hiệu quả dựa trên sơ đồ tăng cường độ tương phản. W. Wang và cs (2017) [11] đề xuất hàm tối thiểu dư độ dốc (gradient residual minimization) để giảm tối đa các hiệu ứng xảy ra trong hình ảnh đã khử sương mù. Thuật toán của họ giữ lại hiệu quả độ mạch lạc và loại bỏ các hiện tượng nhấp nháy do liên kết độ sáng của các khung hình bị phá vỡ, nhưng nó đòi hỏi độ phức tạp tính toán cao để xử lý video có độ phân giải cao. Để giải quyết hạn chế này, chúng tôi đề xuất một thuật toán khử sương mù cho hình ảnh và video đáp ứng thời gian thực dựa trên bộ lọc dẫn hướng đa lớp. Đầu tiên, hình ảnh sương mù đầu vào sẽ được giảm tỷ lệ để tạo thành một kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, chúng tôi thực hiện ước tính bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển tại lớp ảnh thô nhất của kim tự tháp. Tiếp theo, chúng tôi thu được bản đồ truyền ánh sáng ở hình ảnh tại lớp cao nhất bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng, thực hiện lần lượt trên các lớp hình ảnh của kim tự

tháp. Để loại bỏ sương mù trong video, chúng tôi mở rộng thuật toán khử sương mù hình ảnh theo thời gian thực, để giảm hiện tượng nhấp nháy gây ra bởi sự không đồng nhất trong ánh sáng truyền giữa các khung hình. Kết quả thực nghiệm cho thấy, thuật toán đề xuất có thể áp dụng trong các ứng dụng thời gian thực, đồng thời mang lại hiệu suất tương đương hoặc thậm chí tốt hơn so với các thuật toán khử sương mù hiện nay.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp loại bỏ sương mù trong hình ảnh

Phương pháp loại bỏ sương mù do nhóm nghiên cứu đề xuất có sơ đồ thuật toán được thể hiện tại hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thuật toán đề xuất.

2.2. Mô hình ảnh sương mù

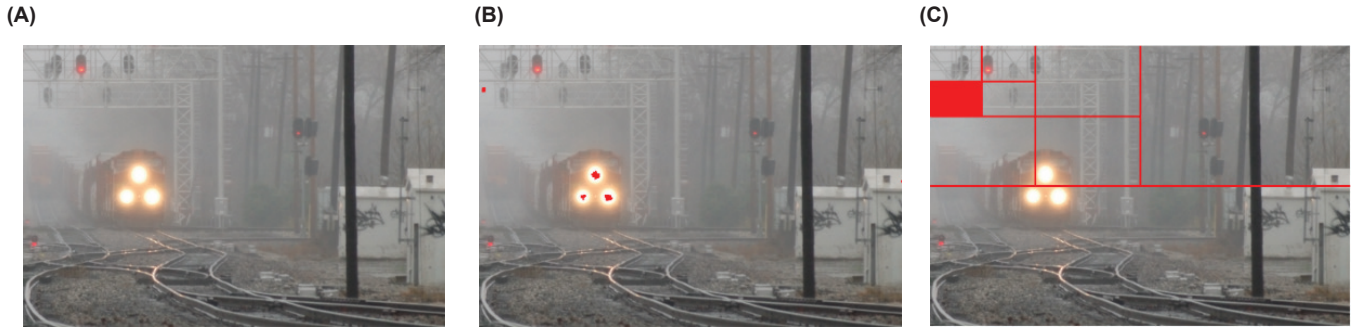
Trong bài toán khử sương mù, màu sắc quan sát được $I^c(x)$ của kênh màu c_{th} tại điểm ảnh x được diễn giải như sau:

$$I^c(x) = J^c(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

trong đó, $J^c(x)$ biểu diễn màu sắc của ảnh không có sương mù, $t(x)$ và A lần lượt là bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển. Vì khí quyển được coi là đồng nhất, bản đồ truyền sáng $t(x)$ phụ thuộc vào khoảng cách và được mô hình hóa bởi $t(x) = e^{-\beta d(x)}$, với β là hệ số tán xạ khí quyển và $d(\cdot)$ biểu thị khoảng cách từ vật thể tới hệ quang. Trong phương trình 1, khó khăn lớn nhất trong khôi phục ảnh không sương mù $J^c(x)$ là ước tính A và $t(x)$ chỉ từ một ảnh sương mù đầu vào $I^c(x)$.

2.3. Tính toán ánh sáng khí quyển

Trong hầu hết các thuật toán khử mờ thông thường, ánh sáng khí quyển A được chọn là điểm ảnh có cường độ sáng lớn nhất trong hình ảnh sương mù, với giả thiết rằng sương mù làm cho hình ảnh sáng hơn. Tuy nhiên, phương pháp đơn giản như vậy có thể không ước tính được giá trị chính xác của A (theo công thức 1) nếu hình ảnh chứa các đối tượng màu trắng, như minh họa trong hình 2B. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi sử dụng sơ đồ tìm kiếm phân



Hình 2. So sánh kết quả tính toán ánh sáng khí quyển. (A) Ảnh đầu vào, (B) Thuật toán truyền thống, (C) Thuật toán đề xuất.

cấp dựa trên cây phân chia phân tử [10] để thu được độ lớn ánh sáng khí quyển chính xác và hiệu quả hơn. Dựa trên quan sát rằng các vùng sương mù tồn tại ở nửa trên của hình ảnh, chúng tôi chỉ xem xét nửa trên của hình ảnh đầu vào. Sau đó, chúng tôi chia nửa trên của hình ảnh thành hai khối và tính giá trị cường độ trung bình của mỗi khối. Chúng tôi chỉ áp dụng cây phân chia cho khối có giá trị cường độ trung bình cao hơn như hình 2C. Chúng tôi dừng quá trình tìm kiếm phân cấp nếu chênh lệch giữa hai khối cường độ trung bình cao nhất nhỏ hơn ngưỡng. Cuối cùng, ánh sáng khí quyển được tính là giá trị cường độ trung bình của 10% điểm ảnh sáng nhất trong khối cuối cùng. Hình 2 cho thấy, sơ đồ được đề xuất ước tính ánh sáng khí quyển chính xác hơn so với các thuật toán thông thường.

2.4. Tính toán bản đồ truyền sáng

Để ước tính hiệu quả bản đồ truyền sáng t , chúng tôi xây dựng một kim tự tháp hình ảnh từ hình ảnh sương mù đầu vào I , sau đó chỉ ước tính t ở lớp hình ảnh thô nhất. Cụ thể, ảnh đầu vào được chuyển thành ảnh xám I_0 sau đó được giảm kích thước theo hệ số 2^N lần để thu được kim tự tháp hình ảnh I_0, I_1, \dots, I_N . Trong đó, N được chọn sao cho $\max(W_N, H_N) \leq 320$, trong đó W_N và H_N lần lượt biểu thị chiều rộng và chiều cao của ảnh ở mức thô nhất N .

Sau đó, chúng tôi ước tính bản đồ truyền sáng ban đầu t_N ở lớp ảnh thô nhất N bằng cách sử dụng phép biến đổi tuyến tính [11]. Lưu ý rằng, do bản đồ truyền của các kênh màu giống nhau nên mô hình ảnh sương mù trong phương trình 1 có thể được viết lại là:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2)$$

trong đó: $I(x)$ và $J(x)$ lần lượt biểu thị cường độ ảnh quan sát được và cường độ ảnh không có sương mù của ảnh đầu vào trong kênh màu xám. Sau đó, từ phương trình 2, bản đồ truyền sáng được tính bởi:

$$t(x) = \frac{A - I(x)}{A - J(x)} \quad (3)$$

Lưu ý rằng, trong phương trình 3, $J(x)$ phải được ước tính trước để tính $t(x)$. Theo đó, W. Wang và cs (2017) [11] đã giả định một mối quan hệ tuyến tính giữa các giá trị cường độ của $I(x)$ và $J(x)$. Cụ thể hơn, trong điều kiện thời tiết nhiều sương mù, cường độ điểm ảnh của ảnh gốc được

coi là tỷ lệ thuận với cường độ điểm ảnh của hình ảnh sương mù, nghĩa là:

$$J(x) = \alpha \times I(x) + \beta \quad (4)$$

trong đó: α và β là các tham số. Tuy nhiên, trong thực tế, thật khó để tìm ra giá trị chính xác cho hai tham số này chỉ từ một hình ảnh đầu vào duy nhất. Để giải quyết vấn đề này, W. Wang và cs (2017) [11] đã phát triển một phép tính gần đúng sử dụng hàm bậc hai, được cho bởi:

$$J(x) = \delta \frac{I(x) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \times I(x) + \epsilon \quad (5)$$

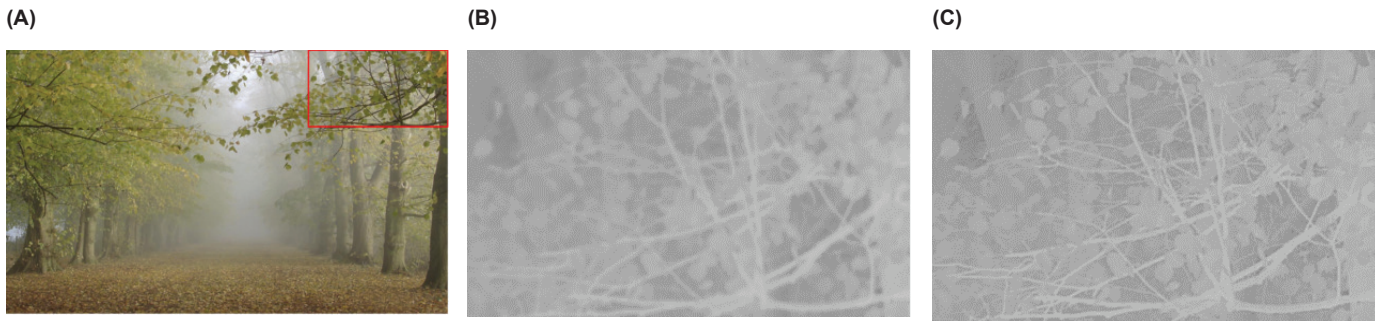
với Max và Min lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của $I(x)$, và δ là tham số điều chỉnh lượng sương mù được loại bỏ. Lưu ý rằng, trong khi W. Wang và cs (2017) [11] phát triển quan hệ bậc hai trong (6) giữa $J(x)$ và $I(x)$ đối với ảnh màu, chúng tôi sử dụng mối quan hệ này đối với ảnh thang độ xám. Trong phương trình 5, nếu $I(x) = \text{Max}$, $J(x)$ có thể lớn hơn $I(x)$. Để tránh trường hợp này, chúng tôi giới hạn giá trị của $J(x)$ bởi $J(x) = \min(J(x), \text{Max})$. Cuối cùng, bằng cách thay $J(x)$ ở phương trình 5 vào phương trình 3, chúng ta thu được bản đồ truyền sáng ban đầu ở lớp N là:

$$t(x) = \delta \frac{A - I(x)}{A - (\delta \frac{I(x) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \times I(x) + \epsilon)} \quad (6)$$

Lưu ý rằng, trong phương trình 6, chúng tôi ước tính bản đồ truyền ban đầu $t_N(x)$ ở lớp ảnh thô nhất N . Do đó, chúng tôi tăng độ phân giải bản đồ $t_N(x)$ lên độ phân giải ban đầu $t_0(x)$, trong khi vẫn giữ được chi tiết hình ảnh. Để làm được điều này, chúng tôi sử dụng bộ lọc hình ảnh dẫn hướng [12]. Cụ thể, đặt t_k biểu thị bản đồ truyền sáng cho hình ảnh I_k tại lớp hình ảnh thứ k trong kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, bản đồ truyền sáng $t_{(k-1)}$ cho ảnh $I_{(k-1)}$ ở lớp $(k-1)$ được tính như sau:

$$t_{k-1} = G(B_{\text{up}}(t_k); I_{k-1}) \quad (7)$$

với B_{up} biểu thị toán tử tăng độ phân giải bằng nội suy song tuyến tính và G là bộ lọc ảnh dẫn hướng sử dụng ảnh $I_{(k-1)}$ làm ảnh hướng dẫn. Chúng tôi tiếp tục quy trình này cho đến khi độ phân giải của bản đồ truyền sáng trở nên giống



Hình 3. Tinh chỉnh bản đồ truyền sáng. (A) Ảnh đầu vào, bản đồ truyền sáng trong vùng đỏ, (B) Bản đồ truyền sáng thô, (C) Bản đồ truyền sáng sau khi tinh chỉnh.

như hình ảnh đầu vào. Hình 3 cho thấy bản đồ truyền sáng sau khi tinh chỉnh sử dụng bộ lọc dẫn hướng giữ lại hiệu quả các chi tiết hình ảnh.

2.5. Loại bỏ sương mù trong ảnh

Cuối cùng, với độ lớn ánh sáng khí quyển A và bản đồ truyền sáng $t_0(x)$, chúng tôi thu được ảnh đã khử sương mù dựa trên công thức (1), được cho như sau:

$$J^c(x) = \frac{I^c(x) - A}{\max(t_0(x), \gamma)} + A \quad (8)$$

trong đó: γ là giới hạn dưới nhằm giúp $J^c(x)$ tránh bị tiến tới vô cực khi $t_0(x)$ quá nhỏ.

2.6. Phương pháp loại bỏ sương mù trong video

Nếu thuật toán khử sương mù cho hình ảnh đơn lẻ trong phần trước được áp dụng độc lập cho từng khung hình của video, thì kết quả video sẽ xảy ra hiện tượng nhấp nháy do tính nhất quán tạm thời giữa các khung hình bị phá vỡ. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi phát triển một thuật toán mới để duy trì sự gắn kết độ sáng giữa các khung hình trong video đầu vào.

Chúng tôi chọn khung hình đầu tiên I^1 làm hệ quy chiếu I^{ref} . Trước tiên, chúng tôi loại bỏ sương mù trong I^{ref} bằng cách sử dụng thuật toán khử sương mù trong ảnh như trình bày trong phần trước. Tiếp theo, đặt I^k và $I^{(k-1)}$ biểu thị hai khung hình liên tiếp thứ k và $(k-1)$ của video đầu vào. Sau đó, chúng tôi sử dụng kỹ thuật luồng quang học [9] để thu được khung hình dự kiến \hat{I}^k từ khung trước đó $I^{(k-1)}$. Tiếp theo, chúng tôi tính toán hệ số liên kết độ sáng tạm thời giữa các khung hình hiện tại I^k và khung hình trước đó $I^{(k-1)}$ là:

$$\tau = \exp\left[-\frac{\|\hat{I}^k - I^k\|^2}{\sigma^2 \times N}\right] \quad (9)$$

trong đó: N là số điểm ảnh trong I và tham số σ kiểm soát phương sai của mô hình xác suất. Trong thực nghiệm của chúng tôi, σ được chọn theo kinh nghiệm là 10. Nếu $\tau \geq 0,5$, qua thực nghiệm chúng tôi nhận thấy sự khác biệt khung cảnh giữa I^k và I^{ref} nhỏ thì bản đồ truyền sáng t_N^{ref} của khung hình I^{ref} được sử dụng cho bản đồ truyền sáng t_N^k của khung I^k . Tương tự, ánh sáng khí quyển của khung hình I^{ref} cũng

được sử dụng cho khung hình I^k . Lưu ý rằng t_N^{ref} là bản đồ truyền ban đầu ở lớp ảnh thấp nhất của kim tự tháp hình ảnh, có thể có sự không khớp về chi tiết giữa t_N^{ref} và t_N^k . Tuy nhiên, bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng để tinh chỉnh bản đồ truyền, với hình ảnh dẫn hướng là I^k , các chi tiết không khớp giữa khung hình I^k và bản đồ truyền t_N^{ref} được giải quyết.

Mặt khác, khi hệ số tương đồng $\tau < 0,5$, cảnh trong khung hình I^k bị thay đổi đáng kể so với khung tham chiếu. Do đó, khung hình I^k sẽ được loại bỏ bằng thuật toán khử sương mù trong ảnh. Sau đó, I^k sẽ được chọn làm khung hình quy chiếu mới.

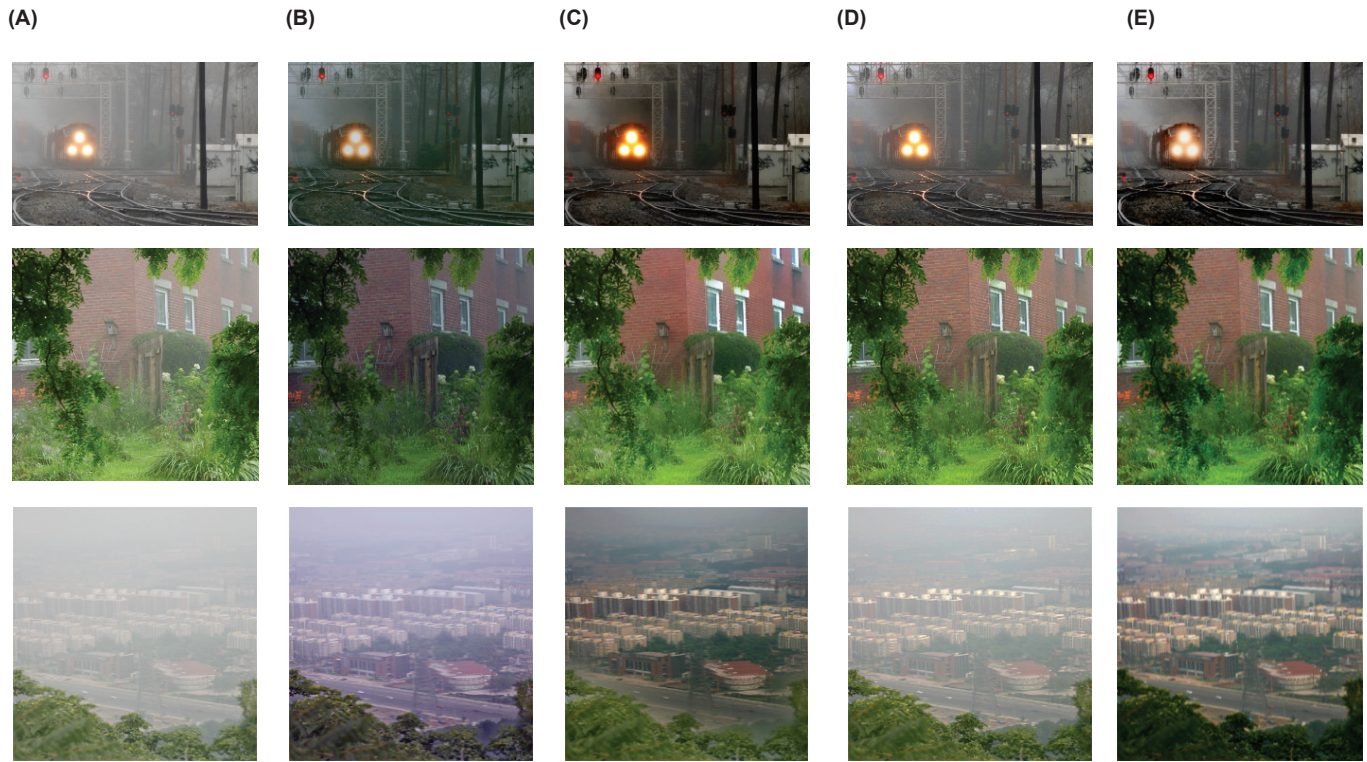
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Phương pháp, công cụ mô phỏng

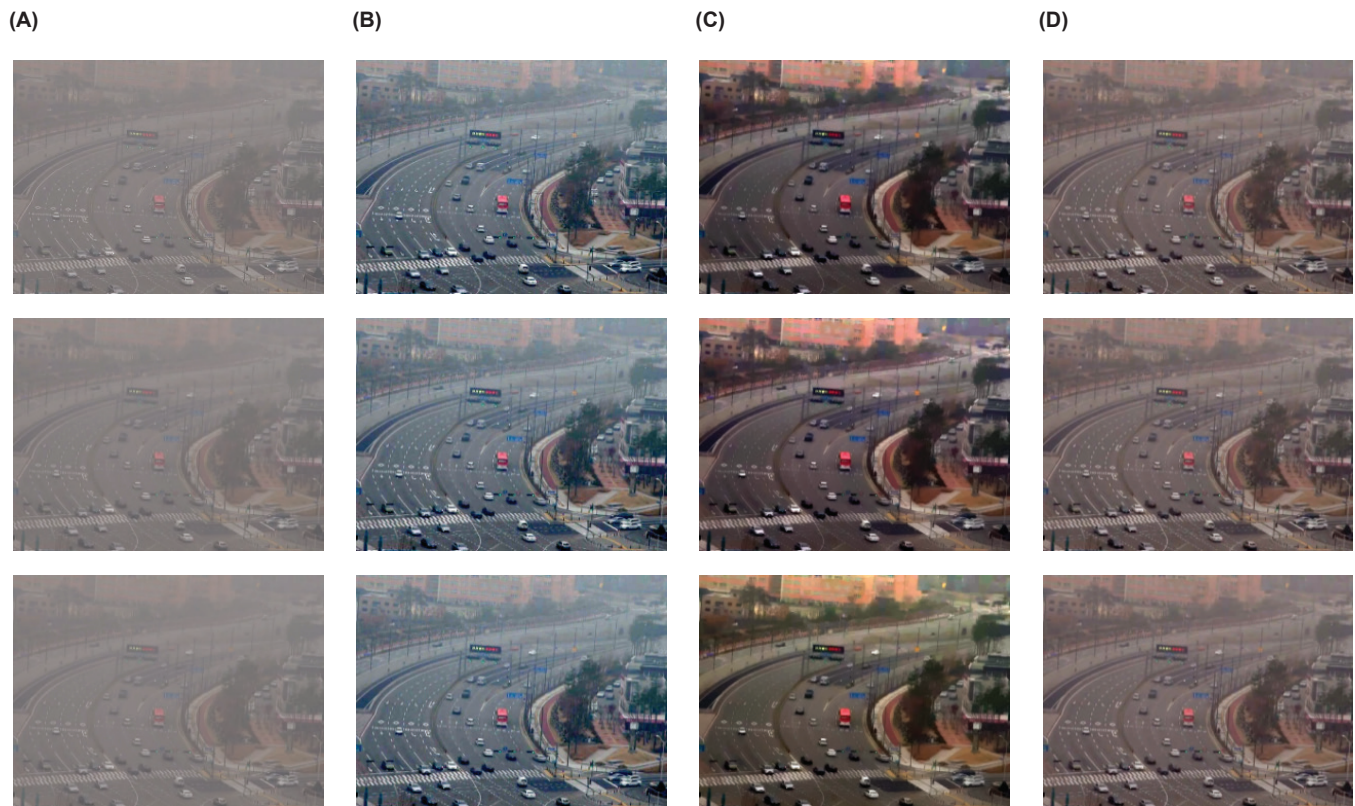
Chúng tôi đánh giá hiệu quả của thuật toán khử sương mù được đề xuất với các thuật toán hiện nay bao gồm: thuật toán của J.H. Kim và cs (2013) [10] (OCE), C. Chen và cs (2016) [13] (GRM) và thuật toán của W. Wang và cs (2017) [11] (LT). Trong tất cả các thử nghiệm, chúng tôi đặt $\delta=0,95$ trong phương trình 6, $\gamma=0,05$ trong phương trình 8 để mang lại chất lượng hình ảnh chủ quan tốt nhất. Kết quả của OCE [10] và GRM [13] thu được bằng cách thực thi mã nguồn do các tác giả tương ứng cung cấp, trong khi kết quả nghiên cứu thuật toán LT của W. Wang và cs (2017) [11] thu được bằng mã nguồn triển khai bởi chính chúng tôi. Ngoài những đánh giá chủ quan, chúng tôi so sánh thuật toán đề xuất với các thuật toán thông thường về độ phức tạp tính toán. Dữ liệu 50 hình ảnh sương mù có độ phân giải 1280×720 điểm ảnh được xử lý trên PC có CPU Core i7-9700 3,00 GHz và RAM 16 GB. Tất cả các thuật toán được thực hiện trong MATLAB, nhưng chưa tối ưu hóa.

3.2. Kết quả loại bỏ sương mù trong ảnh

Hình 4 cho thấy, kết quả khử sương mù của các thuật toán. Phương pháp OCE [10] trong hình 4C tạo ra kết quả với sự biến dạng màu sắc. Ví dụ, màu của kết quả ở hàng 1 và hàng 3 khác với màu trong cảnh thực. GRM đạt được hiệu quả tốt trên ảnh ở hàng 2 và 3, nhưng màu sắc trong kết quả ở hàng 1 là không được thực tế [13]. Thuật toán LT [11]



Hình 4. Kết quả các thuật toán. (A) Ảnh đầu vào; (B) Ảnh sau khi được khử sương mù bởi thuật toán OCE [10]; (C) GRM [13]; (D) LT [11]; (E) thuật toán đề xuất.



Hình 5. Kết quả khử sương mù trong video. (A) Ảnh gốc và kết quả của chuỗi khung hình được xử lý bởi (B) OCE [10], (C) GRM [13] và (D) Thuật toán đề xuất.

trong hình 4D không loại bỏ được sương mù một cách hiệu quả. Ngược lại, như đã thấy trong hình 4E, thuật toán được đề xuất tạo ra kết quả tốt nhất với ít tạo ra các hiệu ứng hơn, loại bỏ hiệu quả các thành phần sương mù so với với các thuật toán còn lại.

3.3. Kết quả loại bỏ sương mù trong video

Hình 5 so sánh kết quả khử sương mù trong video của các thuật toán. Trong hình 5B và 5C, thuật toán của OCE [10] và GRM [13] tạo ra sự khác biệt màu sắc trong cùng một khu vực, trong hai khung hình liên tiếp bởi vì sự khác biệt trong ánh sáng khí quyển mà các thuật toán ước tính cho từng khung hình. Những khác biệt này gây ra hiện tượng nhấp nháy trong video kết quả đầu ra. Ngược lại, chúng ta thấy rằng, trong hình 5D, thuật toán được đề xuất loại bỏ hiệu quả các thành phần sương mù, đồng thời duy trì tính nhất quán về độ sáng và màu sắc giữa các khung hình.

Ngoài những kết quả đánh giá chủ quan, chúng tôi so sánh thuật toán đề xuất với các thuật toán thông thường xét về độ phức tạp tính toán. Bảng 1 thể hiện thời gian thực hiện trung bình của các thuật toán. Thuật toán được đề xuất nhanh hơn nhiều lần so với thuật toán của OCE [10], GRM [13] và nhanh hơn 1,5 lần so với thuật toán LT của W. Wang và cs (2017) [11]. Chúng tôi cũng thấy rằng, thuật toán được đề xuất đạt tốc độ 30 khung hình/giây, thỏa mãn điều kiện thời gian của các ứng dụng thời gian thực.

Bảng 1. Bảng thời gian tính toán của các thuật toán OCE [10], GRM [13], LT [11] và thuật toán đề xuất.

OCE [10]	GRM [13]	LT [11]	Đề xuất
0,35(s)	50(s)	0,034(s)	0,025(s)

4. Kết luận

Chúng tôi đã đề xuất một thuật toán khử sương mù trong hình ảnh và video theo thời gian thực dựa trên bộ lọc hình ảnh dẫn hướng đa lớp. Đầu tiên, chúng tôi xây dựng một kim tự tháp hình ảnh từ một hình ảnh sương mù đầu vào. Sau đó, chúng tôi ước tính ánh sáng khí quyển và bản đồ truyền chỉ ở lớp ảnh thấp nhất để giảm độ phức tạp tính toán. Cuối cùng, chúng tôi thu được bản đồ truyền sáng tại lớp ảnh tốt nhất bằng cách tăng tỷ lệ và sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng. Chúng tôi cũng mở rộng thuật toán khử sương mù trong hình ảnh sang khử sương mù trong video, bằng cách sử dụng luồng quang học. Kết quả thử nghiệm cho thấy thuật toán đề xuất xử lý nhanh hơn đáng kể so với các thuật toán hiện nay, đồng thời cung cấp kết quả tương đương hoặc tốt hơn trong một số trường hợp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện thông qua đề tài cấp bộ 2021-2023: “Nghiên cứu phát triển hệ thống kiểm tra quang học bằng công nghệ xử lý ảnh 2D trong dây chuyền công nghiệp”. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. He, J. Sun, X. Tang (2011), “Single image haze removal using dark channel prior”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **33(12)**, pp.2341-2353, DOI: 10.1109/TPAMI.2010.168.
- [2] T.M. Bui, W. Kim (2018), “Single image dehazing using color ellipsoid prior”, *IEEE Transactions on Image Processing*, **27(2)**, pp.999-1009, DOI: 10.1109/TIP.2017.2771158.
- [3] T.V. Nguyen, T.T.N. Mai, C. Lee (2021), “Single maritime image defogging based on illumination decomposition using texture and structure priors”, *IEEE Access*, **9**, pp.34590-34603, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3062030.
- [4] X. Qin, Z. Wang, Y. Bai, et al. (2020), “FFA-Net: Feature fusion attention network for single image dehazing” *Proceedings of The AAAI Conference on Artificial Intelligence*, **34(7)**, pp.11908-11915, DOI: 10.1609/aaai.v34i07.6850.
- [5] M. Hong, Y. Xie, C. Li, et al. (2020), “Distilling image dehazing with heterogeneous task imitation”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.3462-3471, DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00352.
- [6] Y. Shao, L. Li, W. Ren, et al. (2020), “Domain adaptation for image dehazing”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.2808-2817, DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00287.
- [7] L.A. Tran, S. Moon, D.C. Park (2022), *A Novel Encoder-Decoder Network With Guided Transmission Map For Single Image Dehazing*, arXiv preprint arXiv:2202.04757.
- [8] S.A. Hovhannisyan, H.A. Gasparyan, S.S. Agaian, et al. (2022), “AED-Net: A single image dehazing”, *IEEE Access*, **10**, pp.12465-12474, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3146610.
- [9] C.O. Ancuti (2021), “NTIRE 2021 nonhomogeneous dehazing challenge report”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp.627-646, DOI: 10.1109/CVPRW53098.2021.00710.
- [10] J.H. Kim, W.D. Jang, J.Y. Sim, et al. (2013), “Optimized contrast enhancement for real-time image and video dehazing”, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, **24(3)**, pp.410-425, DOI: 10.1016/j.jvcir.2013.01.017.
- [11] W. Wang, X. Yuan, X. Wu, et al. (2017), “Fast image dehazing method based on linear transformation”, *IEEE Transactions on Multimedia*, **19(6)**, pp.1142-1155, DOI: 10.1109/TMM.2017.2654359.
- [12] F. Kou, W. Chen, C. Wen, et al. (2015), “Gradient-domain guided image filtering”, *IEEE Transactions on Image Processing*, **24(11)**, pp.4528-4539, DOI: 10.1109/TIP.2015.2466080.
- [13] C. Chen, M. Do, J. Wang (2016), “Robust image and video dehazing with visual artifact suppression via gradient residual minimization”, *Proceedings of The European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp.576-591, DOI: 10.1007/978-3-319-46454-1_35.