

Dual DCP 및 적응적 밝기 보정을 통한 단일 영상 기반 안개 제거 알고리즘

김종호
순천대학교 멀티미디어공학과

Single Image Haze Removal Algorithm using Dual DCP and Adaptive Brightness Correction

Jongho Kim

Department of Multimedia Engineering, Sunchon National University

요약 본 논문에서는 효과적이고 저 복잡도를 갖는 단일 영상 기반의 안개 제거를 위하여 dual dark channel prior (DCP)와 적응적인 밝기 보정 기법을 이용하는 알고리즘을 제안한다. 작은 크기의 패치에 의한 dark channel은 영상의 에지 정보를 잘 보존하지만 국부적인 잡음 및 밝기 변화에 민감한 반면, 큰 크기의 패치에 의한 dark channel은 정확한 안개 값을 추정하는데 유리하지만 블록 현상과 이로 인한 후광 효과는 안개 제거 성능을 떨어뜨린다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 방법에서는 계산량 및 메모리 요구량이 큰 matting 기법을 활용한 반면, 제안하는 방법은 크기가 다른 패치로부터 구한 dark channel을 합성하여 dual DCP를 구성하고, 이를 이용하여 안개를 제거함으로써 적은 계산량 및 메모리 요구량을 달성한다. 또한 안개 성분을 제거한 영상에 적응적 밝기 보정 기법을 적용하여 영상에 포함된 객체가 선명하게 보존될 수 있도록 한다. 안개 성분이 포함된 다양한 영상에 대해 수행한 실험 결과 제안하는 안개 제거 기법이 기존의 방법에 비해 안개 제거 성능이 우수하면서 계산량과 메모리 요구량이 감소함을 알 수 있다.

Abstract This paper proposes an effective single-image haze-removal algorithm with low complexity by using a dual dark channel prior (DCP) and an adaptive brightness correction technique. The dark channel of a small patch preserves the edge information of the image, but is sensitive to noise and local brightness variations. On the other hand, the dark channel of a large patch is advantageous in estimation of the exact haze value, but halo effects from block effects deteriorate haze-removal performance. In order to solve this problem, the proposed algorithm builds a dual DCP as a combination of dark channels from patches with different sizes, and this meets low-memory and low-complexity requirements, while the conventional method uses a matting technique, which requires a large amount of memory and heavy computations. Moreover, an adaptive brightness correction technique that is applied to the recovered image preserves the objects in the image more clearly. Experimental results for various hazy images demonstrate that the proposed algorithm removes haze effectively, while requiring much fewer computations and less memory than conventional methods.

Keywords : Haze removal, Dual DCP, Dark channel prior, Brightness correction, Image enhancement

1. 서론

컴퓨터 비전 기술을 기반으로 한 다양한 분야에서 실

외영상에 대한 수요가 크게 증가하고 있으나, 환경, 조명 및 기상 조건 등에 의해 많은 영향을 받는 실외영상의 특징으로 인해 이를 반영하지 않고 이용하게 되면 원하

본 논문은 2016년 순천대학교 학술연구비로 연구되었음.

Corresponding Author : Jongho Kim(Sunchon National Univ.)

Tel: +82-61-750-3835 email: jhkim@sunchon.ac.kr

Received August 16, 2018

Revised September 14, 2018

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

는 결과를 얻기 어렵다. 최근에는 대기오염 등에 의한 일상적인 미세먼지 및 이와 결합한 안개로 인해 밝기나 색상 정보가 왜곡된 영상이 획득되어 객체를 탐지 또는 인식하거나 에지 정보를 사용하는 등의 다양한 기법을 적용하기 위해서는 이러한 왜곡을 개선하는 작업이 필요하다[1]. 카메라를 통해 영상을 획득할 때, 객체로부터 반사되는 빛은 공기 중의 밝기 및 색상과 혼합되어 원래의 색과는 다른 색을 갖게 된다. 더욱이 안개와 같은 다른 빛 무리가 있을 경우 객체의 원래 색과 형태를 획득할 때 어려움이 따른다. Fig. 1은 안개 등이 존재하는 상황에서 영상획득의 과정을 나타낸다[2].

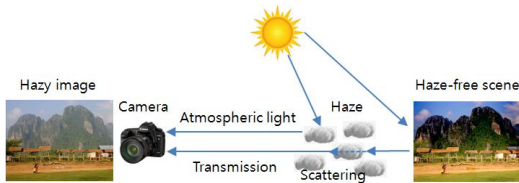


Fig. 1. An example illustration of hazy image acquisition with the optical model

획득되는 영상에서는 안개의 농도에 따라 같은 색을 가진 객체라 하더라도 다른 색으로 획득되는데, 안개의 농도가 진할수록 영상 내 객체는 원래의 색을 많이 잃어버리고, 안개의 색(또는 빛)에 가까운 값을 가진다. 따라서 영상의 색 정보를 이용하는 컴퓨터 비전 알고리즘은 안개가 많은 영역에서 좋은 결과를 제공할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 안개가 있는 영상을 획득하였을 경우 이를 개선하여 안개가 없을 때 획득한 영상과 유사하게 만드는 다양한 방법들이 제안되었다. 이는 여러 영상을 이용하는 방법, 영상 외에 추가적인 정보를 이용하는 방법, 최근에 주목받고 있고 있는 단일 영상에서 안개를 제거하고 영상을 복원하는 방법 등으로 구분할 수 있다.

여러 영상을 이용하는 방법으로 편광을 이용한 방법을 들 수 있는데[3, 4], Schechner *et al.*이 제안한 방법은 정확히 동일한 위치에서 각각 다른 편광 필터가 장착된 상태로 촬영된 2장의 영상을 획득하고, 편광에 의해 변경된 안개값이 다르다는 점을 이용하여 안개를 제거한다. 이는 매우 좋은 결과 영상을 제공하지만 동일한 위치에서 각기 다른 편광 필터를 사용해야 한다는 강한 제약 조건이 있다[3]. Narasimhan과 Nayar는 편광 필터를 사용하지 않고, 같은 위치에서 다른 날씨 환경 아래 찍은

여러 장의 사진을 이용하여 안개의 깊이(depth) 정보를 구하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다[5, 6, 8]. Kopf *et al.*은 여러 장의 영상을 이용하지는 않지만 추가적인 정보를 이용하여 안개를 제거하는 방법을 제안했는데, 카메라에 내장된 GPS 정보를 이용하여 촬영하는 즉시 깊이 정보를 획득하고, 이를 안개의 농도(밀도)로 가정하여 영상의 안개를 제거한다[7].

최근 활발하게 연구되고 있는 단일 영상 기반의 안개 제거 방법은 추가적인 가정이나 제한 조건을 도입하고, 이를 충족시키는 방법을 고안함으로써 안개를 제거하고 깨끗한 영상을 복원하는 처리 기법들을 제시한다[9-12]. 단일 영상 기반의 안개 제거 방법을 위해 안개 영상이 획득되는 광학적 모델을 식 (1)과 같이 표현한다.

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

이때, $I(x)$ 는 카메라를 통해 획득된 안개가 포함된 영상이고, $J(x)$ 는 복원해야 할 원 영상, A 는 영상의 안개값, $t(x)$ 는 전달량(transmission)으로서 획득된 영상에 안개값이 어느 정도의 비율로 포함되어 있는지를 나타낸다. 단일 영상 기반 안개 제거는 $I(x)$ 로부터 A 와 $t(x)$ 를 구하고, 이를 이용하여 최종적으로 $J(x)$ 를 복원하는 것이다. Tan은 안개 성분이 포함되지 않은 영상은 안개 영상에 비해 대비(contrast)가 높고, 안개값은 급격하게 변하지 않으므로 깊이 정보가 비슷한 위치에서의 안개값이 같다는 점을 이용한 방법을 제안하였다[9]. 대비 차이를 데이터 항(data term)으로, 안개값의 차이를 연속 항(smoothness term)으로 하여 MRF (Markov random field)를 만들고, 이를 graph-cut이나 신뢰도 전파(BP; belief propagation)를 이용하여 복원된 결과 영상을 얻는다. 이 방법을 통한 영상은 대비가 높게 개선되기 때문에 영상의 형태나 구조가 확실히 드러난다는 장점이 있지만, 과도한 대비 증가로 인한 포화(saturation) 현상 및 깊이 정보가 많이 차이 나는 구간에서는 후광 효과(halo effect)가 발생하기도 한다. Fattal은 영상의 일정 영역 내의 반사율은 항상 같은 벡터 방향을 갖는다는 가정을 통해 안개를 제거하는 알고리즘을 제안하였는데, 복원된 영상 $J(x)$ 는 안개가 포함된 영상에서 일정한 반사율을 갖는 상수 벡터 R 과 $I(x)$ 를 이용하여 ICA (independent component analysis) 방법으로 구할 수 있다[10]. 이때, 전달량 $t(x)$ 는 안개의 밀도와 깊이 정보에 의존한다는 사실

을 이용하여 R 및 $I(x)$ 를 계산할 수 있다. He *et al.*은 안개가 포함되지 않은 영상의 픽셀값에서 R, G, B 채널 중 적어도 하나의 값은 매우 어두운 값을 가진다는 관측 결과를 이용하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다[11]. 이러한 결과는 대부분의 영상에서 잘 적용되며, 이를 이용하여 만족할만한 결과 영상을 얻을 수 있다. He *et al.*의 알고리즘은 다음 장에서 보다 상세히 기술하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 He *et al.*의 dark channel prior를 활용한 기법과 제안하는 단일 영상 기반 안개 제거 방법을 자세히 기술한다. 3장에서 다양한 영상에 대하여 제안한 방법의 성능평가 결과를 보이고, 결론 및 논의를 4장에서 제시한다.

2. 제안하는 안개 제거 알고리즘

2.1 기존의 dark channel prior 기반 방법

본 절에서는 제안하는 방법의 기반이 되는 He *et al.*의 dark channel prior (DCP)를 이용한 안개 제거 방법을 소개하도록 한다[11]. DCP는 안개가 포함되지 않은 영상에서 대부분의 픽셀은 R, G, B 중 한 채널이 0에 가까운 값을 가진다는 관측 결과로부터 얻어진다. Dark channel은 다음과 같이 표현한다.

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y) \right) \quad (2)$$

이때, J^c 는 영상의 각 채널을 의미하고, $\Omega(x)$ 는 x 를 중심으로 한 일정 영역을 나타낸다. 또한 y 는 $\Omega(x)$ 에 포함된 픽셀 위치를 의미한다. 관측에 의해 안개가 포함되지 않은 영상에서 식 (2)의 대부분의 값은 0의 값을 가지므로 다음과 같이 가정할 수 있는데, 이를 dark channel prior (DCP)라고 하고 단일 영상에서 안개를 제거할 때 추가 정보로 활용한다.

$$J^{dark} \rightarrow 0 \quad (3)$$

DCP를 활용하기 위해서 식 (1)의 양변에 min 연산자를 적용하고, A로 나누어 다음 식을 얻는다.

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{J^c(y)}{A^c} \right) + 1 - \tilde{t}(x) \quad (4)$$

식 (2) 및 (3)의 DCP를 식 (4)에 적용하여 다음과 같이 전달량을 계산할 수 있다.

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (5)$$

식 (5)의 전달량 $\tilde{t}(x)$ 는 일정 영역, 즉 $\Omega(x)$ 에서 일정하다는 가정하에 계산되었기 때문에 원 영상과 에지 등의 정보가 일치하지 않고 블록 현상이 나타나게 된다. 블록 현상을 제거하기 위해서 정련(refinement) 과정을 거치는데, He *et al.*은 식 (1)의 안개 모델링 식과 matting 식이 비슷하다는 점을 이용하여 전달량을 정련한다. 이때 matting 알고리즘은 Levin 등이 제안한 방법을 이용하는데, 이는 영상의 총 픽셀 수가 N일 경우 $N \times N$ 크기의 매우 큰 행렬을 사용하기 때문에 메모리 사용량이 매우 크고 계산 속도가 매우 느린 단점이 있다[13]. 실제로 Levin 등은 matting 과정을 수행할 때 약 400×400 이상의 영상에서는 메모리 용량의 한계로 인하여 결과 영상을 획득할 수 없기 때문에 영상의 크기를 줄여 matting을 적용하고, 이를 다시 보간을 통해 확대하는 방법을 사용하였다.

정련 과정이 끝나면 식 (1)을 이용하여 $J(x)$ 를 구할 수 있는데, 이때 안개 값 A는 식 (2)에 의한 dark channel 영상에서 0.1% 밝기를 갖는 픽셀 위치를 선택하고, 이들 위치 중 입력 영상 $I(x)$ 에서 가장 큰 픽셀 값으로 정한다. 간단한 방법이지만 가장 밝은 픽셀을 선택했을 때보다 좋은 결과를 나타낸다.

2.2 제안하는 dual DCP를 이용한 안개 제거

앞에서 언급한 바와 같이 He *et al.*의 안개 제거 기법에서 도입한 matting 알고리즘은 매우 큰 행렬을 사용하기 때문에 연산 속도 및 메모리 사용 측면에서 문제가 있다. 본 논문에서는 dual DCP 기법을 사용하여 저 복잡도로 전달량을 추정하고, 밝기 정보를 보정하여 효과적으로 안개 성분을 제거하는 알고리즘을 제안한다.

식 (2)에 의한 dark channel은 일정한 영역, $\Omega(x)$ 에 대해 minimum filter를 적용한다. 이때 $\Omega(x)$ 의 크기가 작을 경우, 복원된 영상에서 후광 효과가 관찰되지 않지만, 특정 영역(또는 객체)의 밝은 빛을 안개 값으로 잘못 판단하여 저노출(underexposed) 영상으로 복원하게 된다. 반면, $\Omega(x)$ 의 크기가 클 경우, 안개 값은 올바르게 선택하지만, 패치 내에서 전달량이 일정하다는 가정으로 인해

dark channel에 블록 현상이 발생하고 이는 복원된 영상에서 후광 효과가 관찰되는 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 후광 효과를 일으키지 않으면서 올바른 안개 값을 선택하기 위하여 작은 패치에 의한 dark channel과 큰 패치에 의한 dark channel을 결합한 dual dark channel을 식 (6) 및 (7)과 같이 정의한다.

$$J^{dual}(\mathbf{x}) = KJ_s^{dark}(\mathbf{x}) + (1 - K)J_l^{dark}(\mathbf{x}) \quad (6)$$

이때, 작은 패치에 의한 dark channel, $J_s^{dark}(\mathbf{x})$ 과 큰 패치에 의한 dark channel, $J_l^{dark}(\mathbf{x})$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{cases} J_s^{dark}(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{y} \in w_s(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(\mathbf{y}) \right) \\ J_l^{dark}(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{y} \in w_l(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(\mathbf{y}) \right) \end{cases} \quad (7)$$

이때, $w_s(\mathbf{x})$ 와 $w_l(\mathbf{x})$ 는 각각 작은 크기의 패치와 큰 크기의 패치를 의미하고, 본 논문에서는 실험적으로 $w_s(\mathbf{x})$ 의 크기를 3×3 , $w_l(\mathbf{x})$ 의 크기를 31×31 로 설정하였다. 또한 $J_s^{dark}(\mathbf{x})$ 과 $J_l^{dark}(\mathbf{x})$ 의 결합 정도를 나타내는 K 는 0과 1사이의 값을 갖는다. 이를 이용하여 변형된 전달량 $t_m(\mathbf{x})$ 는 식 (6)과 (7)을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$t_m(\mathbf{x}) = 1 - K \min_{\mathbf{y} \in w_s(\mathbf{x})} \left(\min_c \frac{I^c(\mathbf{y})}{A^c} \right) - (1 - K) \min_{\mathbf{y} \in w_l(\mathbf{x})} \left(\min_c \frac{I^c(\mathbf{y})}{A^c} \right) \quad (8)$$

작은 크기의 패치를 적용했을 때의 dark channel과 큰 크기의 패치를 적용했을 때의 dark channel의 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

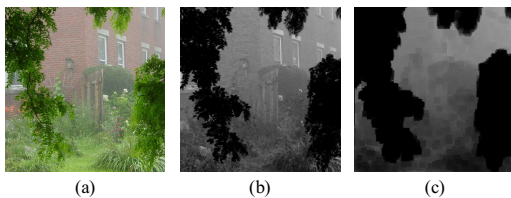


Fig. 2. Dark channels for different patch sizes
(a) Input hazy image (b) 3×3 patch size
(c) 31×31 patch size

Fig. 2(b)와 (c)에서 보는 바와 같이, 작은 크기의 패치를 이용한 결과에서는 에지 정보를 비교적 잘 유지하고 있지만 특정 위치의 밝은 부분이 유지되어 안개 값을 추정하는데 어려움이 있는 반면, 큰 크기의 패치를 이용한 결과에서는 앞서 언급한 바와 같이, 안개 값을 추정하는데 유리하지만 블록 현상에 의해 에지 정보를 많이 잃게 되어 복원 영상에서 후광 효과가 나타나게 된다.

안개 값 A 는 기존의 방법과 유사하게 식 (7)의 $J_l^{dark}(\mathbf{x})$ 영상에서 0.1% 밝기를 갖는 픽셀 위치를 선택하고, 이들 위치 중 입력 영상 $I(\mathbf{x})$ 에서 가장 큰 픽셀 값으로 정한다.

2.3 적응적 밝기 보정 기법

전달량과 안개 값을 이용하여 결과 영상을 복원할 수 있는데, 기존의 방법과 유사한 식 (9)를 이용한다.

$$J(\mathbf{x}) = \frac{I(\mathbf{x}) - A}{\max(t_m(\mathbf{x}), t_0)} + A \quad (9)$$

이때, t_0 는 전달량의 최소 경계값(lower bound)으로서 0.1로 설정하는데, 이는 전달량이 매우 작을 경우 결과 영상이 어색하게 보이는 것을 방지하는 역할을 한다. 안개 제거 기법은 R, G, B 각 채널별로 적용하기 때문에 복원된 영상에서 color shift 현상이 발생하거나, 식 (9)에서 확인할 수 있는 바와 같이 획득 영상에서 안개 값을 빼서 복원하였기 때문에 밝기가 전반적으로 어두워질 수 있다[14, 15]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 식 (9)에 의해 복원된 영상을 HSV 컬러 공간으로 변환한 후, 밝기 성분에 대해 감마보정을 적용한다. 감마 값은 식 (10)과 같이 영상에 따라 적응적으로 구한다.

$$\gamma = \begin{cases} (255 - \mu)/255, & \mu < 128 \\ \mu/255, & \mu \geq 128 \end{cases} \quad (10)$$

이때, μ 는 영상의 밝기 성분이 8비트로 표현되었을 경우, 평균 밝기를 의미한다. 식 (10)에 의한 γ 는 1.0보다 작은 값을 가지게 되어, 원본 영상 $I(\mathbf{x})$ 와 비교했을 때 조금 더 어두운 값을 갖는 복원된 영상 $J(\mathbf{x})$ 의 밝기를 증가시키게 된다. 제안하는 단일 영상 기반 안개 제거 기법의 전체적인 과정은 Fig. 3과 같다.

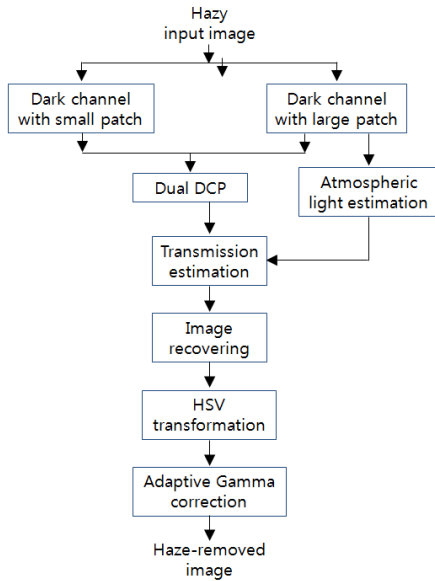


Fig. 3. Overall flow diagram of the proposed algorithm

3. 실험 및 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 기존의 안개 제거 기법의 결과와 비교하였는데, 특히 영상의 대비를 개선시키는 접근법의 Tan의 방법[9], 안개 영상의 반사율을 이용해 제거하는 Fattal의 방법[10], DCP를 이용한 He *et al.*의 방법[11]과 비교하였다. 성능 평가는 널리 사용되는 테스트 영상에 대한 각 기법의 주관적 화질 평가와 더불어 PC 기반의 실행 속도를 통해 계산 복잡도를 간접적으로 비교하도록 한다. 이때 He *et al.*의 방법은 전달량을 정련하기 위하여 matting 기법을 사용하였는데, 앞서 언급한 바와 같이 400×400 이상의 영상 크기에서는 메모리 용량의 한계로 인해 다른 알고리즘과 동등하게 비교할 수 없으므로 복잡도 비교에서는 제외하였다. 또한 제안하는 안개 제거 기법에서 결과 영상의 화질에 영향을 미치는 파라미터로서 dual DCP를 구할 때 크기가 다른 패치를 이용하여 구한 dark channel을 합성하는 비율을 의미하는 K 는 각 영상에 대해 후광 효과가 인식되지 않도록 실험적으로 설정하였다.

주관적 화질 평가를 위하여 테스트 영상에 대해 원영상과 각 안개 제거 기법의 결과를 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4. Comparison results for the test image
 (a) Input hazy image (b) Tan's method
 (c) Fattal's method (d) He's method
 (e) Proposed method

Tan의 방법에서는 Fig. 4(b)와 같이 영상의 대비는 증가하나, 특히 파란색의 포화 현상이 나타나고, 이로 인해 영상이 제대로 복원되지 않음을 알 수 있다. Fattal은 영상의 반사율을 고려하기 때문에 원영상과 비교하면 Fig. 4(c)와 같이 전반적으로 밝기가 증가함을 알 수 있으나, 대비가 낮고 시야에서 먼 영역의 안개 제거 성능이 미흡하여 영상이 전반적으로 흐릿하게 보인다. He *et al.*의 안개 제거 결과는 Fig. 4(d)와 같이 상당히 우수하지만, 복원된 영상의 밝기가 전반적으로 어둡고 바다 색깔에서 color shift 현상이 나타난다. Fig. 4(e)에서 보는 바와 같이, 제안한 방법에 의한 결과는 기존의 방법에 비해 효과적으로 안개를 제거하여 대비가 향상되었고, 객체를 인지하는데 용이한 밝기를 나타냄을 확인할 수 있다.

안개 제거 기법의 복잡도를 비교하기 위하여 PC를 기반으로 기존의 각 알고리즘의 실행 시간을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 앞서 밝힌 바와 같이, He *et al.*의 방법은 공정한 비교를 위하여 제외하였고, 실행 시간의 효과적인 비교를 위해 제안한 방법의 실행 시간에 대한 다른 방법의 실행 시간 비율로 나타내었다.

Table 1. Execution time ratio for comparison of computational complexity

Methods	Proposed	Tan	Fattal
Execution time ratio	1.0	3.42	5.08

Table 1과 Fig. 4의 결과를 통해 제안하는 기법이 기존의 방법에 비해 실행 속도가 큰 폭으로 감소하면서도 안개 제거 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 제안하는 안개 제거 기법을 모바일 기기 또는 카메라 내부의 DSP칩에 장착하여 실시간으로 동작하는 안개 제거를 위한 기기를 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 dual DCP와 복원 영상의 밝기 보정을 통해 효과적인 단일 영상 기반 안개 제거 알고리즘을 제안하였다. 기존의 DCP 기반 안개 제거 기법에서 전달량을 정련하기 위해 필요했던 매우 큰 메모리 요구량과 계산량을 서로 다른 크기의 패치를 통해 계산한 dark channel을 합성하여 얻은 dual DCP를 사용하여 빠른 계산 속도 및 적은 메모리 요구량을 달성하면서도 후광 효과 등이 적어 안개 제거 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 복원된 영상에서 객체를 좀 더 선명하게 보존할 수 있도록 적응적으로 밝기 정보를 보정하는 기법을 적용하였다. 따라서 제안한 알고리즘은 PC 기반이 아닌 모바일 장치나 카메라 내부의 DSP칩에 장착되어 실시간으로 동작되는 안개 제거 모듈을 제작할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 안개 영상의 특성을 분석하여 dark channel을 구하고, 이를 이용하여 안개 성분을 제거하는 알고리즘을 개발할 예정이다.

References

[1] S. Lee, S. Yun, J. Nam, C. Won, and S. Jung, "A Review on Dark Channel Prior based Image Dehazing Algorithms," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, no. 4, pp. 1-23, Dec. 2016
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s13640-016-0104-y>

[2] C. Yeh, L. Kang, M. Lee, and C. Lin, "Haze Effect Removal from Image via Haze Density Estimation in Optical Model," *Optics Express*, vol. 21, no. 22, Nov. 2013.

DOI: <https://dx.doi.org/10.1364/OE.21.027127>

[3] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, "Instant Dehazing of Images Using Polarization," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, vol. 1, pp. 325-332, Dec. 2001.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2001.990493>

[4] S. Shwartz, E. Namer, and Y. Y. Schechner, "Blind Haze Separation," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, vol. 2, pp. 1984-1991, Oct. 2006.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2006.71>

[5] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Contrast Restoration of Weather Degraded Images," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 25, no. 6, pp. 713-724, Jun. 2003.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2003.1201821>

[6] S. K. Nayar and S. G. Narasimhan, "Vision in Bad Weather," *Proc. 7th IEEE Int'l Conf. Computer Vision (ICCV)*, vol. 2, pp. 820-827, Sep. 1999.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICCV.1999.790306>

[7] J. Kopf, B. Neubert, B. Chen, M. Cohen, D. Cohen-Or, O. Deussen, M. Uyttendaele, and D. Lischinski, "Deep Photo: Model-Based Photograph Enhancement and Viewing," *ACM Trans. Graphics*, vol. 27, no. 5, pp. 116:1-116:10, Dec. 2008.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1145/1409060.1409069>

[8] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Interactive Deweathering of an Image Using Physical Models," *Proc. IEEE Workshop Color and Photometric Methods in Computer Vision, in Conjunction with IEEE Int'l Conf. Computer Vision*, Oct. 2003.

[9] R. Tan, "Visibility in Bad Weather from a Single Image," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 1-8, Jun. 2008.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2008.4587643>

[10] R. Fattal, "Single Image Dehazing," *ACM Trans. Graphics*, vol. 27, no. 3, pp. 1-9, Aug. 2008.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1145/1360612.1360671>

[11] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353, Dec. 2011.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2010.168>

[12] J. P. Tarel and N. Hautiere, "Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Images," *Proc. IEEE Int'l Conf. on Computer Vision (ICCV)*, pp. 2201-2208, 2009.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459251>

[13] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "A Closed Form Solution to Natural Image Matting," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 30, no. 2, pp. 228-242, Feb. 2008.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1177>

[14] T. Celik, "Spatial Entropy-Based Global and Local Image Contrast Enhancement," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 23, no. 12, pp. 5298-5308, Dec. 2014.
 DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TIP.2014.2364537>

[15] Z. Mi, H. Zhou, Y. Zheng, and M. Wang, "Single Image Dehazing via Multi-scale Gradient Domain Contrast Enhancement," *IET Image Process.*, vol. 10, no. 3, pp.

206-214, Mar. 2016.

DOI: <https://dx.doi.org/10.1049/iet-ipr.2015.0112>

김 중 호(Jongho Kim)

[종신회원]



- 1998년 2월 : 한양대학교 전자통신 공학과 (공학사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
- 2008년 9월 ~ 2009년 2월 : 삼성 전자 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

<관심분야>

영상압축 및 통신, 컴퓨터비전, 영상처리, 디지털 신호처리