

에지 보존 전달량 추정 및 픽셀 단위 JBDC를 통한 저 복잡도 단일 영상 안개 제거

김종호
순천대학교 멀티미디어공학과

Low Complexity Single Image Dehazing via Edge-Preserving Transmission Estimation and Pixel-Based JBDC

Jongho Kim
Department of Multimedia Engineering, Sunchon National University

요약 본 논문에서는 기상 및 환경조건에 영향을 받아 열화되기 쉬운 실외영상의 시인성을 개선하고 다양한 기기에 적용하기 위하여 저 복잡도의 단일 영상 안개 제거방법을 제안한다. 기존 방법에서는 거친 형태의 전달량을 추정한 후 연산량 및 메모리 요구량이 큰 정련 과정을 포함하는 반면, 제안하는 전달량 추정 방법은 에지 근처에서 픽셀 단위 dark channel과 패치 단위 dark channel을 비교함으로써 에지를 보존하는 특성이 우수하고 정련 과정이 필요하지 않아 저 복잡도 전달량 추정이 가능하다. 또한, 픽셀 단위 JBDC(Joint Bright and Dark Channel)를 이용하여 각 픽셀마다 안개값을 예측함으로써 정밀한 전달량 추정과 영상의 특성에 따라 적응적인 안개 제거가 가능하다. 다양한 안개 영상에 대해 수행한 실험 결과는 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해 적은 연산량으로 수행됨과 동시에 우수한 안개 제거 성능을 보여 실시간성이 요구되는 기기를 포함한 다양한 분야에 적용될 수 있음을 확인할 수 있다.

Abstract This paper presents low-complexity single-image dehazing to enhance the visibility of outdoor images that are susceptible to degradation due to weather and environmental conditions, and applies it to various devices. The conventional methods involve refinement of coarse transmission with high computational complexity and extensive memory requirements. But the proposed transmission estimation method includes excellent edge-preserving performance from comparison of the pixel-based dark channel and the patch-based dark channel in the vicinity of edges, and transmission can be estimated with low complexity since no refinement is required. Moreover, it is possible to accurately estimate transmissions and adaptively remove haze according to the characteristics of the images via prediction of the atmospheric light for each pixel using joint bright and dark channel (JBDC). Comprehensive experiments on various hazy images show that the proposed method exhibits reduced computational complexity and excellent dehazing performance, compared to the existing methods; thus, it can be applied to various fields including real-time devices.

Keywords : Dehazing, JBDC, Refinement, Single Image Dehazing, Transmission Estimation

1. 서론

최근 영상 감시시스템, 스마트 교통시스템, 자율주행 자동차, (무인)항공 영상 응용 등과 같은 다양한 컴퓨터 비전 분야에서 실외영상(outdoor image)의 활용성이 급격하게 증대되고 있으나, 이러한 영상은 안개 및 스모그 등과 같은 기상과 환경조건에 영향을 받기 쉽고, 객체로부터 반사되는 빛이 대기 중에서 부유입자의 색과 합성 및 산란되어 카메라를 통해 획득된 영상의 색이 변화되거나 대비(contrast)가 감소하게 되는 등의 왜곡이 발생하게 된다[1]. 따라서 실외영상을 대상으로 객체의 특징 및 패턴의 검출, 추적, 분류 등의 작업을 수행하기 위해서는 시인성(visibility)을 개선해야 할 필요성이 강하게 제기됨과 동시에 전처리 과정(preprocessing)으로서 유용성을 확보하기 위하여 적절한 수준의 계산 복잡도를 가져야 한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 안개 제거(dehazing) 방법이 연구되었는데, 크게 복수의 영상을 이용하는 방법과 단일 영상 기반 방법의 두 가지로 구분할 수 있다.

복수의 영상을 이용하는 방법으로서 Schechner 등은 동일한 위치에서 다른 편광필터가 장착된 상태로 촬영된 두 영상의 안개값이 다르다는 점을 이용하는 방법을 제안하였는데, 시간적으로 변화하기 쉬운 안개 환경임에도 동일한 위치에서 다른 편광필터를 사용해야 한다는 강한 제약조건으로 인해 매우 좋은 안개 제거 성능에도 불구하고 본격적인 응용에는 한계가 있다[3-4]. Narasimhan 등은 편광필터 대신 동일한 위치의 다른 기상조건에서 촬영한 여러 영상을 이용하여 구한 깊이(depth) 정보를 기반으로 안개를 제거하는 방법을 발표하였다[5-6]. Kopf 등은 영상이 아닌 카메라에 내장된 GPS 정보를 이용하여 깊이 정보를 얻고, 이에 따라 안개의 농도를 계산하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다[7].

최근에는 실외영상의 실제 응용을 고려한 단일 영상 기반의 안개 제거방법이 활발하게 연구되고 있는데, 추가적인 가정이나 제한 조건을 도입하고, 이러한 조건을 충족시켜 안개가 제거된 영상을 복원(restoration)하는 접근법을 제시한다[8-17]. 단일 영상 기반 안개 제거 기법에서 주로 사용되는 광학적 모델은 Eq. (1)과 같다.

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

where x is the pixel coordinates in vector form, $I(x)$ is the observed hazy image acquired by a camera, $J(x)$ is the true radiance of the scene point imaged at x , the atmospheric light A is a

single color representing the ambient light in image areas where $t(x) = 0$, and the scene transmission $t(x)$ acts as a mixing coefficient between the scene radiance $J(x)$ and the atmospheric light A

특히, 전달량 $t(x)$ 는 Eq. (2)와 같이 카메라로부터의 거리에 따라 다른 값을 갖는다.

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2)$$

where β is the attenuation coefficient of the atmosphere and $d(x)$ is the distance of the scene at pixel x

일반적으로 β 는 파장에 따라 다른 값을 가지므로 $t(x)$ 는 컬러 채널마다 달라야 하지만, 미지수의 개수를 줄이기 위해 본 논문을 포함하여 기존의 안개 제거방법에서는 동일한 $t(x)$ 를 이용하여 안개를 제거한다.

단일 영상 기반 안개 제거는 $J(x)$ 로부터 A 와 $t(x)$ 를 추정하고, 이들을 이용하여 $J(x)$ 를 복원하는 문제로 볼 수 있다. Tan은 안개 성분이 포함되지 않은 영상은 안개 영상과 비교하여 대비가 높고, 안개값은 급격하게 변하지 않는 특성이 있어 깊이가 비슷한 위치에서의 안개값이 같다는 점을 이용한 방법을 제안하였다[9]. 이 방법은 대비를 높게 개선하여 객체의 형태나 구조가 명확하게 드러나는 장점이 있으나, 과도한 대비 증가로 인한 포화(saturation) 현상 및 깊이가 차이가 큰 영역에서 후광효과(halo effect)가 나타나기도 한다. Fattal은 객체 표면에서 반사된 빛과 전달량이 국부적으로 낮은 상관도를 갖는다는 실험적 관찰결과를 근거로 ICA (Independent Component Analysis) 방법을 적용하여 $J(x)$ 를 복원하는 방법을 제안하였다[10]. He 등은 안개가 포함되지 않은 다양한 실외영상에 대해 R, G, B 중 적어도 하나의 채널에서 값이 매우 작은(또는 거의 0에 가까운) 픽셀의 개수가 많다는 관찰결과를 이용하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다[11]. 이 방법은 대부분 영상에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있지만, 패치 기반의 안개값 예측 및 전달량 추정을 위한 정련(refinement) 과정 등에서 많은 연산량과 메모리량이 요구되어 다양한 응용 분야에 적용하는 데 한계로 지적된다. 본 논문에서는 He 등의 방법에서 패치 단위로 거친(coarse) 전달량을 추정한 후 매팅(matting) 기법을 통해 정련하기 위하여 요구되는 많은 연산량 및 메모리량으로 인해 응용이 제한되는 문제를 개선하기 위하여, 에지 정보 보존 전달량 추정 방법과 픽셀 단위 JBDC(Joint Bright and Dark Channel)를 이용하는 방법을 제안한다. 에지 정보 보존 전달량 추

정은 정련 과정이 필요하지 않아 실시간성이 중요한 응용에도 적용할 수 있고, 픽셀 단위 JBDC는 안개값을 영상 전체에 동일한 값이 아닌 픽셀 단위로 예측함으로써 전달량 추정 성능과 안개 제거 성능을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 DCP 기반 안개 제거방법과 제안하는 에지 보존 전달량 추정 및 픽셀 기반 JBDC를 이용한 단일 영상 기반 안개 제거 방법을 자세하게 기술한다. 3장에서 제안한 안개 제거방법의 성능평가 결과를 보이고, 4장에서 결론을 제시한다.

2. 제안하는 안개 제거방법

2.1 기존의 DCP 기반 안개 제거

DCP(Dark Channel Prior)는 안개가 포함되지 않은 영상에 대해 많은 픽셀이 R, G, B 중 한 채널에서 0에 가까운 값을 갖는다는 관찰결과로부터 도출된다[11]. 이를 위하여 He 등은 패치 기반의 dark channel을 Eq. (3)과 같이 정의하였다.

$$J^{dark}(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(\mathbf{y}) \right) \quad (3)$$

where $\mathcal{A}(\mathbf{x})$ is a local patch centered at \mathbf{x} , \mathbf{y} denotes the index for a pixel in the patch, c is one of the three color channels (r, g, b), and $f^c(\mathbf{x})$ denotes the color channel c of $\mathcal{A}(\mathbf{x})$

DCP의 의미에 따라 Eq. (3)의 $J^{dark}(\mathbf{x})$ 을 0이라 할 수 있고, 이를 단일 영상에서 안개를 제거하기 위한 추가 정보로 활용한다. DCP를 적용하기 위하여 Eq. (1)의 양변에 최솟값 연산을 적용하고, \mathbf{A} 로 나누어 Eq. (4)와 같이 정리한다.

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

Eq. (4)에 DCP를 적용하면, 우변 첫 번째 항이 0이므로 Eq. (5)와 같이 전달량을 추정할 수 있다.

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

전달량 $t(\mathbf{x})$ 는 Eq. (5)에서 패치 단위로 계산되었기 때문에 원 영상과 에지 정보가 일치하지 않고 블록현상이 나타나 복원된 영상에 후광효과를 발생시키는 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 정련 과정을 거치는데, He 등은 Eq. (1)의 안개 영상의 모델링 식과 매팅 식이 형태상 유

사하다는 점을 이용하여 전달량을 정련한다. 매팅 알고리즘은 Levin 등이 제안한 방법을 이용하는데, 이는 영상의 총 픽셀 수가 N 일 경우 $N \times N$ 의 매우 큰 행렬을 사용하기 때문에 메모리 사용량 및 계산량이 매우 크다[18]. 실제로 Levin 등은 약 400×400 이상의 영상에 대해서 메모리 용량의 한계를 극복하기 위해 영상의 크기를 줄여 매팅을 적용하고, 이를 보간(interpolation)을 통해 확대하는 방법을 사용하였다. 정련 과정 이후, Eq. (1)에 의해 $\mathcal{A}(\mathbf{x})$ 를 복원할 수 있는데, 안개값 \mathbf{A} 는 dark channel에서 상위 0.1%의 밝기를 갖는 픽셀들을 선택하고, 이들 중 입력영상 $\mathcal{A}(\mathbf{x})$ 에서 가장 큰 픽셀 값으로 정한다.

2.2 에지 보존 전달량 추정 방법

패치 단위 dark channel은 안개값 예측에는 유리하지만, 전달량 추정에 있어, 특히 에지 정보를 반영하지 못해 왜곡이 발생한다. 반면, 픽셀 단위 dark channel은 에지 정보를 충실하게 반영한 전달량 추정이 가능하지만, 안개값 예측에 문제가 있다. 본 논문에서는 두 방법의 특성을 결합하여 에지 정보를 보존하면서 효과적으로 안개값 예측이 가능한 전달량 추정 방법을 제안한다.

이를 위하여 입력 영상에 대한 패치 단위 dark channel, $I^d(\mathbf{x})$ 을 Eq. (6)과 같이 구한다.

$$I^d(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} I^c(\mathbf{y}) \right) \quad (6)$$

where c denotes one of the three color channels, and I^c denotes the color channel c of \mathcal{A}

또한, 픽셀 단위 dark channel, $I^{cd}(\mathbf{x})$ 을 Eq. (7)과 같이 정의한다.

$$I^{cd}(\mathbf{x}) = \min_{c \in \{r, g, b\}} I^c(\mathbf{x}) \quad (7)$$

패치 $\mathcal{A}(\mathbf{x})$ 에 대해서, Eq. (6)의 $I^d(\mathbf{x})$ 와 Eq. (7)의 $I^{cd}(\mathbf{x})$ 를 픽셀 단위로 비교하여 큰 값을 선택함으로써 에지 정보를 보존하면서 전달량을 추정할 수 있다. 즉, Fig. 1(a)의 왼쪽 패치와 같이 동일한 객체 내에 속한 영역(homogeneous)에서는 $I^d(\mathbf{x})$ 와 $I^{cd}(\mathbf{x})$ 의 차이가 작으므로 기존의 패치 기반 방식과 동일하게 동작하고, Fig. 1(a)의 오른쪽 패치와 같이 에지 근처에서는 픽셀 단위로 $I^d(\mathbf{x})$ 또는 $I^{cd}(\mathbf{x})$ 이 선택되므로 에지 정보를 보존하는 dark channel을 구할 수 있다. 기존 패치 기반 방법은 Fig. 1(b)와 같이 객체의 에지를 따라 패치 내의 최솟값이 선택되므로 에지 정보를 잃어버리지만, 제안하는 방법은 Fig. 1(c)와 같이 패치 내의 각 픽셀에 대해 $I^d(\mathbf{x})$ 와

$I^{pc}(\mathbf{x})$ 를 비교하여 큰 값을 선택하므로 에지 정보를 보존하면서 dark channel을 구할 수 있다.

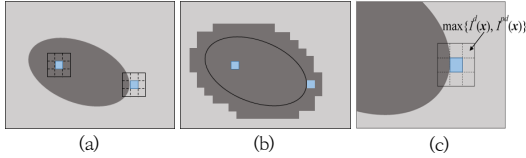


Fig. 1. Comparative illustration of dark channel methods (a) Distribution of the object and patches (b) Patch-based dark channel method (c) Proposed dark channel method

제안한 방법은 에지 근처와 같이 변화가 있는 영역에서 픽셀 단위로 전달량을 추정하기 때문에 안개가 제거된 복원영상의 후광효과를 줄이기 위한 정련 과정이 필요하지 않고, 이로 인해 기존의 방법에 비해 복잡도를 크게 감소시킬 수 있다.

2.3 픽셀 단위 JBDC를 이용한 안개값 예측

DCP 기반 방법을 포함한 기존의 안개 제거방법은 안개값이 영상 전체에 대해 동일하다는 가정에 기반하였는데, 이는 부정확한 전달량 추정 및 패치의 크기에 따라 계산량의 급격한 증가와 같은 문제를 발생시켰다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 본 논문에서는 픽셀 기반의 JBDC(Joint Bright and Dark Channel)를 이용하여 안개값을 예측하는 방법을 제안한다.

안개가 없는 실외영상에 대해 적어도 한 채널에서 매우 큰 값을 갖는 픽셀의 수가 많은 사실을 관찰할 수 있는데, 이를 bright channel이라고 하고, Eq. (8)과 같이 픽셀 단위 bright channel를 구할 수 있다.

$$I^{bh}(\mathbf{x}) = \max_{c \in \{r, g, b\}} I^c(\mathbf{x}) \quad (8)$$

안개의 밀도는 Eq. (2)로 표현되는 바와 같이 영상의 각 영역에서 다른 값을 가지므로 올바른 전달량 추정 및 안개 제거 영상의 복원을 위하여 픽셀 단위로 안개값을 구한다. 이를 위하여 Eq. (9)와 같이 픽셀 단위의 HSV (Hue, Saturation, Value) 거리를 정의한다.

$$g(\mathbf{x}) = \|I^{hsv}(\mathbf{x}) - \mathbf{p}_{max_v}\| \quad (9)$$

where $I^{hsv}(\mathbf{x})$ is an input image transformed into the HSV color space to separate luminance and color information, and \mathbf{p}_{max_v} denotes the brightest color value in the HSV color space

Eq. (9)에서 픽셀 \mathbf{x} 가 밝을수록 $g(\mathbf{x})$ 가 작고, 이는 안

개 밀도가 높음을 의미한다. 안개 밀도와 직접적으로 비례하도록 $g(\mathbf{x})$ 를 Eq. (10)과 같이 수정한다.

$$f(\mathbf{x}) = 1 - \frac{g(\mathbf{x})}{M} \quad (10)$$

where M represents the maximum $g(\mathbf{x})$ value in the $I^{hsv}(\mathbf{x})$

픽셀 단위 dark channel과 bright channel을 결합한 JBDC를 이용하여 안개값을 구하기 위하여 $I^{pc}(\mathbf{x})$ 에서 상위 0.1%의 밝기를 갖는 픽셀 중 $I^r(\mathbf{x})$ 에서 가장 큰 픽셀값을 p_h^c 라고 하고, $I^{pb}(\mathbf{x})$ 에서 상위 30%의 어두운 픽셀 중 $I^r(\mathbf{x})$ 에서 가장 어두운 픽셀값을 p_l^c 라고 할 때, 해당 컬러 채널의 픽셀 단위 안개값은 Eq. (11)과 같이 $f(\mathbf{x})$ 를 이용한 안개 밀도를 p_h^c 와 p_l^c 사이에서 선형적으로 적용하여 구한다.

$$A^c(\mathbf{x}) = \left| \frac{p_h^c - p_l^c}{M - m} \right| f(\mathbf{x}) \quad (11)$$

where m represents the minimum $g(\mathbf{x})$ value in the $I^{hsv}(\mathbf{x})$

픽셀 단위로 예측된 안개값을 Eq. (5)에 적용하면 Eq. (12)와 같이 전달량을 구할 수 있다.

$$t(\mathbf{x}) = 1 - w(\mathbf{x}) \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(\mathbf{x})}{A^c(\mathbf{x})} \quad (12)$$

where $w(\mathbf{x})$ is a weight with the range of $0 < w(\mathbf{x}) \leq 1$

영상의 자연스러운 복원을 위하여 멀리 있는 객체에 대해 매우 적은 양의 안개를 유지하는데, 이를 위하여 He 등은 영상의 모든 픽셀에 대해 0.95의 상수로 설정한 것과 달리, 본 논문에서는 각 픽셀 \mathbf{x} 에 대하여 $w(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x})^{1/3}$ 로 설정하여 깊이에 적응적인 가중치 함수를 사용한다.

3. 실험 및 결과

제안하는 안개 제거방법의 성능을 평가하기 위하여 테스트 영상으로 널리 사용되는 안개 영상에 기존의 방법 및 제안하는 방법을 적용하여 그 결과를 비교하였다. 성능평가는 안개가 제거된 영상의 주관적 화질 평가와 PC 기반의 실행시간 측정을 통한 연산량 비교의 두 가지 관점에서 이루어졌고, 비교 평가를 위한 기존 안개 제거방법은 Tan의 방법[9], Fattal의 방법[10], He 등의 방법[11]을 포함하였다. 특히, He 등의 방법에서 전달량 정련



Fig. 2. Dehazing results for *Red Bricks House*
 (a) Hazy image (b) Tan's method (c) Fattal's method (d) He's method (e) Proposed method

을 위한 매칭 과정을 수행하는 데 있어 행렬 연산의 제한으로 400×400 크기 이상의 영상에 대해 간축 (downsampling) 및 보간 과정을 수행하는데, 이는 전체 실행시간에 포함한다. 또한, 제안하는 방법에서 패치의 크기는 기존의 방법보다 작은 7×7 크기로 설정하였다.

테스트 영상에 대하여 제안한 방법과 기존의 안개 제거방법을 적용한 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었는데, Fig. 2는 깊이 차이가 크지 않은 영상이고, Fig. 3은 깊이 차이가 상당히 크고, 하늘 영역이 포함된 영상이다. Tan의 방법은 Fig. 2(b)와 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 결과 영상의 대비가 증가하지만, 카메라로부터 멀리 떨어진 영역의 컬러가 포화되는 현상이 나타난다. 반면, Fattal의 방법은 영상의 반사율을 고려하기 때문에 Fig.

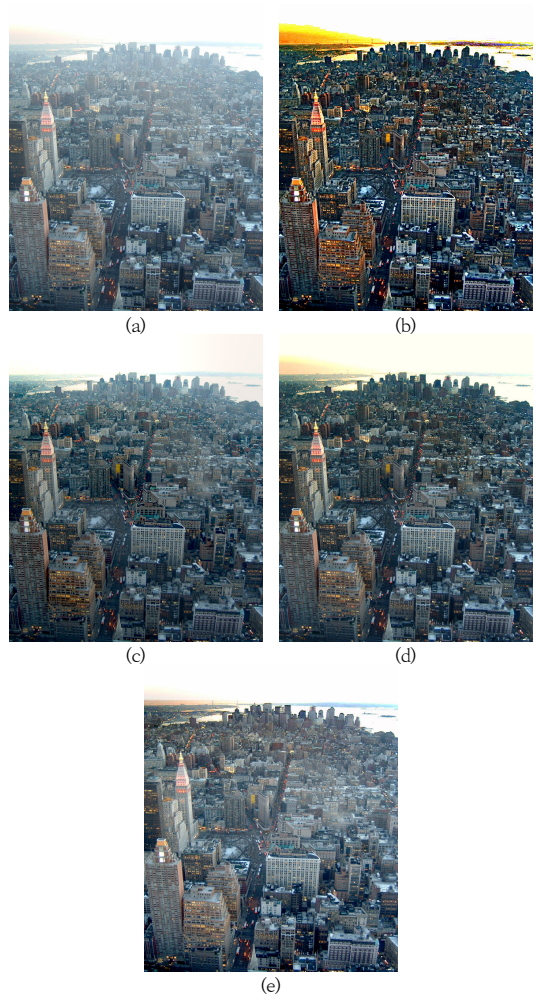


Fig. 3. Dehazing results for *Manhattan*
 (a) Hazy image (b) Tan's method (c) Fattal's method (d) He's method (e) Proposed method

2(c)와 Fig. 3(c)에서 보는바와 같이 원 영상과 비교해 전반적으로 밝기가 증가하지만, 부분적으로 (특히 시야에서만 영역) 안개 제거 성능이 떨어져 흐릿하게 보인다. 이는 Fig. 3(c)와 같이 깊이 차이가 큰 영상에서 두드러진다. He 등의 방법은 안개 제거 성능이 우수하지만, Fig. 2(d)에서 보는 바와 같이 복원된 영상에 안개 성분이 남아있어 다소 흐리게 보이거나, Fig. 3(d)와 같이 거리가 먼 영역에서 다소 어둡게 복원되는 결과를 볼 수 있다. 제안한 방법의 결과를 나타낸 Fig. 2(e)와 Fig. 3(e)는 기존의 방법에 비해 효과적으로 안개를 제거하여 영상의 시인성이 향상되고, 특정 컬러 채널의 포화 현상이 없어 객체의 인식에 문제가 없음을 확인할 수 있다.

연산량 비교를 위하여 2.8GHz CPU, 3.5GB 메모리,

32-bit 운영체제가 탑재된 PC를 이용하여 총 30종류의 테스트 영상에 대해 제안한 방법을 포함한 각 안개 제거 방법을 10회 반복하여 평균 실행시간을 측정한 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Execution time comparison

Methods	Tan	Fattal	He	Proposed
time(s)	110.53	15.81	6.93	3.22

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 제안하는 안개 제거방법의 실행시간이 기존의 방법, 특히 He 등의 방법과 비교하여 줄어들었음을 확인할 수 있다. 이는 제안하는 방법에서 패치의 크기가 작아 계산량이 줄어들었고, 특히 예지 정보를 보존하는 전달량 추정 방법에 의해 이를 정련하는 과정이 필요하지 않기 때문이다. 결과 영상의 화질 측면에서는 Fig. 2와 Fig. 3을 통해 제안하는 안개 제거방법이 기존의 방법과 비교하여 성능이 향상되었고, 객체의 시인성이 좋아졌음을 알 수 있다. 안개 제거방법의 계산량 측면에서는 Table 1의 결과를 통해 제안하는 방법의 실행시간이 기존의 방법에 비해 크게 향상되어 자율주행 자동차, 영상 감시시스템, 드론 및 무인항공기 등의 실외영상을 활용하는 다양한 기기에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 안개 및 스모그 등의 환경조건에 취약한 실외영상의 시인성을 개선하고 이를 저 복잡도를 갖는 방법으로 구현하기 위하여 예지 정보 보존 전달량 추정 및 픽셀 단위 JBDC 방법을 통한 효과적인 단일 영상 안개 제거방법을 제안하였다. 제안하는 예지 보존 전달량 추정은 연산량 및 메모리 요구량이 많은 정련 과정이 필요하지 않고, 작은 크기(7×7)의 패치 크기 및 픽셀 단위 dark channel을 이용하여 저 복잡도 구현을 가능하게 하였다. 또한, 영상의 영역에 따라 안개의 밀도가 다르다는 점을 고려하여 정확한 전달량을 추정하기 위하여 픽셀 단위의 JBDC를 이용한 안개값 예측방법을 제안하였다.

전달량을 추정할 때 예지 정보를 효과적으로 보존함으로써 복원된 영상의 후광효과를 감소시키는 데 결정적인 역할을 한다. 또한, 픽셀 단위 JBDC를 이용하여 영상의 각 위치마다 다른 안개값을 구하여 영상의 특성을 반영

한 전달량 추정이 가능하다. 예지 보존 전달량 추정 과정에서 이용하는 픽셀 단위 dark channel은 픽셀 단위 JBDC를 구할 때 다시 이용하므로 별도의 연산이 요구되지 않는다.

다양한 테스트 영상에 대해 기존 방법 및 제안하는 안개 제거방법을 적용한 결과, 제안하는 방법이 주관적 화질 측면에서 기존 방법보다 영상의 시인성이 뛰어나고, 실행시간으로 측정한 연산량도 낮다는 점을 확인할 수 있었다. 제안한 방법은 자원이 충분한 PC뿐만 아니라 모바일 기기나 카메라 내부 등에 구현되어 실시간으로 동작하는 안개 제거 모듈을 구성하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 하늘 영역을 포함하는 영상에 대해 포화 현상을 완화하기 위해 컬러 라인(color line) 또는 안개 라인(haze line) 등의 방법을 활용하는 방법과 저 복잡도 구현 방법에 관한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] 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, pp. 27127-27141, Nov. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.21.027127>
- [2] J. Tarel and N. Hautiere, "Fast visibility restoration from a single color or gray level images," *Proceedings of IEEE Int. Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, Kyoto, Japan, pp. 2201-2208, Sep. 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459251>
- [3] Y. Schechner, S. Narasimhan, and S. Nayer, "Instant dehazing of images using polarization," *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, Kauai, USA, pp. 325-332, Dec. 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2001.990493>
- [4] S. Shwartz, E. Namer, and Y. Schechner, "Blind haze separation," *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, New York, USA, pp. 1984-1991, Jun. 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2006.71>
- [5] S. Narasimhan and S. Nayer, "Contrast restoration of weather degraded images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 25, No. 6, pp. 713-724, Jun. 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2003.1201821>
- [6] S. Nayer and S. Narasimhan, "Vision in bad weather," *Proceedings of IEEE Int. Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, Kerkyra, Greece, pp. 820-827, Sep. 1999.
DOI: <http://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: <http://dx.doi.org/10.1145/1409060.1409069>
- [8] S. Lee, S. Yun, J. Nam, C. Won, and S. Jung, "A review on dark channel prior based image dehazing algorithms," *The European Association for Signal Processing (EURASIP) Journal on Image and Video Processing*, Vol. 2016, No. 4, pp. 1-23, Dec. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13640-016-0104-y>
- [9] R. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, Anchorage, USA, pp. 1-8, Jun. 2008.
DOI: <http://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: <http://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 Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 33, No. 12, pp. 2341-2353, Dec. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2010.168>
- [12] J. Kim, "Histogram modification based on additive term and gamma correction for image contrast enhancement," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 13, No. 5, pp. 1117-1124, Oct. 2018.
- [13] J. Kim, "Single image haze removal algorithm using dual DCP and adaptive brightness correction," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 11, pp. 31-37, Nov. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11.31>
- [14] W. Oh and J. Kim, "Single image haze removal technique via pixel-based joint BDCP and hierarchical bilateral filter," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 14, No. 1, pp. 257-264, Feb. 2019.
- [15] J. Kim, "Efficient single image dehazing by pixel-based JBDCP and low complexity transmission estimation," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 14, No. 5, pp. 977-984, Oct. 2019.
- [16] S. Salazar-Colores, J. Ramos-Arreguin, J. Pedraza-Ortega, and J. Rodriguez-Resendiz, "Efficient single image dehazing by modifying the dark channel prior," *The European Association for Signal Processing (EURASIP) Journal on Image and Video Processing*, Vol. 2019:66, No. 1, pp. 1-8, May 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13640-019-0447-2>
- [17] Z. Mi, H. Zhou, Y. Zheng, and M. Wang, "Single image dehazing via multi-scale gradient domain contrast enhancement," *IET Image Processing*, Vol. 10, No. 3, pp. 206-214, Mar. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-ipr.2015.0112>
- [18] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "A closed form solution to natural image matting," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 2, pp. 228-242, Feb. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1177>

김 종 호(Jongho Kim)

[중신회원]



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

<관심분야>

영상압축 및 처리, 컴퓨터비전, 머신러닝, 신호처리