

대기 산란 계수 비율 기반의 밝기변환과 지역적 히스토그램 평활화를 이용한 실시간 안개 제거 방법

이재원^{*}, 홍성훈^{**}

Real-time Haze Removal Method using Brightness Transformation based on Atmospheric Scatter Coefficient Rate and Local Histogram Equalization

Jae-Won Lee^{*}, Sung-Hoon Hong^{**}

ABSTRACT

Images taken from outdoor are degraded quality by fog or haze, etc. In this paper, we propose a method that provides the visibility improved images through fog or haze removal. We proposed haze removal method that uses brightness transform based on atmospheric scatter coefficient rate with local histogram equalization. To calculate the transmission rate that indicate fog rate in original image, we use atmospheric scatter coefficient rate based on quadratic equations about haze model. And primary brightness transformed image can be obtained by using the obtained transmission rate. Also we use local histogram equalization with proposed brightness transform for effectively image visibility enhancement. Unlike existing methods, our method can process real-time with stable and effect image visibility enhancement. Proposed method use only the luminance images processed by good performance surveillance systems because it represents the real-time processing is required, black-box, digital camera and multimedia equipment is applicable. Also because it shows good performance only with the luminance images processed, Surveillance systems, black boxes, digital cameras, and multimedia devices etc, that require real-time processing can be applied.

Key words: Dehazing, Haze Removal, Haze Model, Visibility Enhancement

1. 서 론

최근 사고예방이나 감지를 위하여 영상 감시시스템이나 차량용 영상 블랙박스 등이 사용되고 있다. 하지만 안개나 연무 등에 의하여 감시효과가 떨어지게 되는 경우가 많이 발생하여, 이를 해결하기 위해

안개가 있는 영상에서 안개를 제거하여 선명한 영상을 추정하는 다양한 방법들이 제시되고 있다. 초기에는 안개가 낀 영상에서 안개를 제거하기 위해서 여러 장의 영상을 이용하거나, 영상 외의 추가 정보를 이용하는 방법이 제안되었다. 여러 장의 영상을 이용한 방법으로 편광을 이용한 방법이 제안되었는데, 이 방

※ Corresponding Author : Sung-Hoon Hong Address: (500-757) Yongbong-ro 77, Buk-gu, Gwangju, Korea, TEL : +82-62-530-1758, FAX : +82-62-530-1759, E-mail : hsh@jnu.ac.kr

Receipt date : Oct. 14, 2015, Revision date : Nov. 16, 2015
Approval date : Nov. 20, 2015

^{*} Dept of Electronic and Computer Engineering, Chonnam National University (E-mail : 777kamja@naver.com)

^{**} School of Electronic and Computer Engineering, Chonnam National University, Information & Telecommunication Research Institute

※ This research was financially supported by the INNOPOLIS Foundation through the INNOPOLIS Technology commercialization services.

법은 정확히 동일한 위치에서 각각 다른 편광 필터가 장착된 상태로 촬영된 2장 이상의 영상을 획득하고 이를 이용하여 안개를 제거한다. 편광 필터는 반사광을 제거하는 역할을 하는데, 서로 다른 편광 필터를 사용함으로써 서로 다른 편광된 양을 측정하고 이를 기반으로 안개가 제거된 영상을 추정한다[1,2]. 이 방법은 매우 좋은 결과 영상을 제공하지만, 동일한 위치에서 각각 다른 편광 필터를 사용해야 한다는 강한 제한 조건이 요구된다. 편광 필터를 이용하지 않고 단순히 여러 장의 영상을 이용하는 방법은 동일한 위치에서 촬영된 다른 기상 환경의 두 영상으로부터 안개 값과 깊이 정보를 구하여 안개를 제거하였다[3, 4,5]. Kopf 등은 여러 장의 영상을 이용하는 대신 영상의 깊이 정보를 이용하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였는데, 카메라에 내장된 GPS 정보를 이용하여 깊이나 텍스처 정보를 획득하고, 안개 값의 농도(밀도)가 깊이정보라고 가정하여 영상의 안개를 제거하였다[6]. 여러 장의 영상을 이용하거나 또는 한 장의 영상을 이용하더라도 추가적인 정보를 이용하여 안개를 제거하는 방법들은 다양한 조건에서의 영상 데이터 확보가 필요하므로 동적으로 움직이는 카메라로 촬영된 영상에 적용할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

따라서 최근에는 단일 영상으로 안개를 제거하는 방법이 연구되어 왔다. Tan은 밝기대비를 늘리는 방법을 통해서 안개를 제거하는 방법을 제안하였는데, 안개가 없는 깨끗한 영상은 안개가 있는 영상에 비해 높은 에지 강도를 가지고 있고, 안개 값은 급격하게 변하지 않는다는 속성을 이용하여 안개를 제거하였다[8]. 이 방법은 밝기대비가 크게 개선되기 때문에 영상의 형태나 구조가 확실히 들어난다는 장점이 있지만, 과도한 대비 증가로 인하여 포화현상이 일어나고, 깊이 정보가 차이가 많이 나는 구간에서는 후광 효과(halo effect)가 발생하기도 한다. Fattal은 일정 영상 영역 내에서 측정된 반사율은 항상 같은 벡터 방향을 갖는다는 가정을 통하여 영상의 반사율을 측정하여 안개가 제거된 영상을 복원하는 방법을 제안하였다[9]. He 등은 안개가 없는 깨끗한 영상은 안개가 있는 영상에 비해 칼라의 채도가 높다는 특성을 이용하였는데, 안개가 없는 깨끗한 영상의 색선명도가 높은 화소는 R, G, B 값 중 한 채널(channel) 값이 매우 작은 값을 가지므로 안개가 없는 칼라 영상의

경우 일정 영역에서 매우 낮은 채널 값을 갖는 화소가 있다는 관측 결과를 이용하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다[10]. 한 장의 영상을 사용하는 기존 방법은 RGB 칼라를 사용하므로 휘도영상만을 사용할 경우 안개제거 성능이 저하되거나, 15크기 이상의 큰 크기의 필터를 사용하므로 후광효과가 나타난다든지, 전달률(transmission rate)을 정제하기 위해 매우 많은 연산량이 요구되는 매팅 연산을 사용하여 실시간 처리가 어려운 문제가 있다. 전달률은 본문에서 자세하게 언급되었지만 간단히 말하면 산란되지 않고 카메라에 도착하는 물체의 반사광의 비율을 나타낸다. Tarel 등은 연산 속도를 개선하기 위하여 중간값 필터를 사용하는 안개제거 방법을 제안하였는데[11], 769×574 크기의 영상에 대해 0.17초의 처리 속도를 보이는 정도로 완벽하게 실시간 처리가 가능하지 않다.

본 논문에서는 기존 방식에서 발생하는 문제를 해결하기 위하여 안개제거에 대한 폐쇄공식(closed formula)과 지역적 히스토그램 평활화 방법을 함께 사용하는 방법을 제안한다. 폐쇄공식은 가장 밝은 화소값을 계산하고, 계산된 화소값을 이용하여 전달률 하한치를 얻은 후, 전달률 하한치에 거듭제곱 연산 처리된 화소별 전달률을 계산하여 최종적으로 밝기 변환된 영상을 얻는 과정을 일련의 LUT(Look-up Table)를 이용해 처리하는 것이다. 그리고 밝기 변환된 영상에 대해서 지역적 히스토그램 평활화 방법을 적용하여 지역적 히스토그램 단일 처리시보다 훨씬 효과적인 안개가 제거된 영상을 얻을 수 있다. 제안 방법은 사용자가 기상상황에 따라 사용자의 파라미터 입력을 통하여 안개제거 정도를 제어할 수 있고, 기존 방법과 다르게 YCbCr 색좌표계를 기반으로 보다 안정적인 안개제거를 수행하고 낮은 연산량을 기반으로 실시간 안개제거를 수행할 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안하는 안개제거 방법에 대해 상세히 설명한다. 그리고 3장에서 기존 방법들과의 비교평가를 통해 제안된 방법의 성능을 분석하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 이 론

현재까지 한 장의 영상을 이용하여 안개를 제거하는 방법 중에서 He의 Dark channel prior를 이용하는

방법이 가장 보편적이다[10]. He의 방법은 RGB 색좌표계의 영상에서 일정 근접 화소들의 R, G, B 성분 중 가장 어두운 값을 구하여 전달률을 추정한다. 이와 같은 방법으로 구해진 전달률은 근접 화소들의 정보를 이용하기 때문에 원본 영상과 제대로 매칭이 되지 않는다. He는 이러한 문제를 해결하기 위하여 matting 알고리즘을 사용하여 정확한 전달률을 구하였다. 하지만 matting 연산은 연산량이 매우 많기 때문에 전체적인 연산 속도를 크게 증가시키는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 이를 대신하기 위하여 실시간 처리가 가능한 안개제거 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 대기 산란계수를 이용하여 안개제거에서 사용되는 전달률을 추정하고 추정된 전달률을 이용하여 안개 영상의 밝기를 변환시킨다. 또한 지역적 히스토그램 평활화를 함께 사용하여 영상의 안개제거 강도 및 선명도를 향상시킨다. 제안하는 방법은 전달률 추정값의 조절을 통하여 사용자가 임의로 안개제거의 강도를 조절할 수 있다.

일반적으로 야외에서 카메라를 통해 촬영되는 영상은 물체에 의해 반사된 빛에 의해 색과 밝기가 결정된다. 이러한 물체의 반사광은 일반적으로 공기 중의 입자에 의해 산란 및 흡수가 되거나 하늘과 땅 등에 의해 나타나는 다른 반사광들과 혼합되어 색선명도 및 명암대비가 감소된다. 이러한 특징을 기반으로 안개가 낀 영상에 대한 일반적인 모델이 정립되었는데 식 (1)과 같다.

$$I(x) = J(x)t(x) + I_{\infty}(1 - t(x)) \quad (1)$$

여기서 I 는 카메라를 통해 획득된 안개 낀 영상이고, I_{∞} 는 대기산란광(airlight) 값으로 영상내의 화소 중 카메라에서 가장 먼 대기의 밝기값(atmospheric brightness)을 의미한다. J 는 안개가 끼지 않았을 때의 깨끗한 영상, t 는 전달률(transmission rate)으로써 산란되지 않고 카메라에 도착하는 물체의 반사광의 비율을 나타낸다. I 로부터 J , I_{∞} , t 를 구하여 안개 낀 영상의 안개를 제거할 수 있다. 식 (1)에서 첫 번째 항 $J(x)t(x)$ 는 직접 감쇄(direct attenuation)이고, 두 번째 항 $I_{\infty}(1 - t(x))$ 은 대기산란광(airlight)이다. 직접감쇄는 물체에서 반사된 빛이 전달률에 따라 감소함을 의미하고, 대기산란광은 대기의 입자로 인한 산란으로 인해 발생한다.

일반적으로 전달률 $t(x)$ 는 공간상의 물체와 카메라

사이의 거리에 따라 지수함수적으로 감소함을 보이는데 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 β 는 공기의 산란계수(scattering coefficient)이고, $d(x)$ 는 x 번째 화소에 대응하는 공간상의 점과 카메라사이의 거리이다. 산란계수 β 값은 대기 중의 입자 크기와 관계가 있는데, 비나 짙은 안개와 같이 큰 입자의 경우 β 는 1에 근접하고, 날씨가 맑을수록 입자가 작아 0에 가까워진다. 따라서 산란계수 β 가 일정한 경우 하늘과 같이 거리가 먼 곳은 전달률이 0에 가깝게 되어 식 (1)에서 $I(x) \approx I_{\infty}$ 가 되고, 매우 가까운 곳의 화소는 전달률이 1에 근접하므로 $I(x) \approx J(x)$ 이 된다. 따라서 영상에서 밝은 화소는 거리가 멀어 안개가 많이 낀 경우로 가정할 수 있고 전달률 $t(x)$ 는 작은 값을 갖게 된다.

안개제거는 카메라로부터 획득한 입력영상 $I(x)$ 로부터 I_{∞} 와 $t(x)$ 을 구하고, 이를 이용하여 최종적으로 안개가 제거된 영상 $J(x)$ 을 복원하는 것이다. 식 (1)로부터 전달률과 복원영상은 각각 식 (3)과 식 (4)로 구할 수 있다.

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

$$J(x) = \frac{I(x) - I_{\infty}}{t(x)} + I_{\infty} \quad (4)$$

한편 안개가 제거된 영상 $J(x)$ 는 $0 \leq J(x) \leq I(x)$ 을 만족해야하므로 식 (4)로부터 전달률 $t(x)$ 의 범위는 식 (5)와 같이 결정된다.

$$1 - \frac{I(x)}{I_{\infty}} \leq t(x) \leq 1 \quad (5)$$

식 (5)에서 전달률 하한치(lower bound of transmission rate)는 짙은 안개로 인해 객체가 보이지 않거나 원래 객체의 밝기(radiance)가 없는 경우의 전달률을 의미한다.

이와 같은 가정 하에 만일 기상 상태가 다른(산란계수 β 가 다른) 두 개의 상황에서 동일한 장면(카메라와 공간상의 점의 거리가 같음)을 촬영한 경우 카메라를 통해 촬영된 영상들은 각각 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I_1(x) &= J(x)t_1(x) + I_{\infty 1}(1 - t_1(x)) \\ I_2(x) &= J(x)t_2(x) + I_{\infty 2}(1 - t_2(x)) \end{aligned} \quad (6)$$

또한 식 (2)로부터 두 상황에 대한 전달률간의 상호관계는 식 (7)과 식 (8)로 표현된다.

$$\frac{\ln t_1(x)}{\ln t_2(x)} = \frac{\beta_1}{\beta_2} = C \quad (Constant) \quad (7)$$

$$t_1(x) = [t_2(x)]^C \quad (8)$$

결국 두 상황에 대한 산란계수의 비율과 한 상황에서의 전달률을 알면 다른 기상상황에서의 전달률도 계산할 수 있다. 만일 대기의 밝기 값이 같고(즉, $I_{\infty 1} = I_{\infty 2} = I_{\infty}$) 한 개의 기상상황에서의 전달률이 식 (5)의 하한값과 같다면 식 (8)로부터 특정 기상상황에서의 전달률을 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$t(x) = \left[1 - \frac{I(x)}{I_{\infty}} \right]^C, \quad 0 \leq C < 1 \quad (9)$$

여기서 전달률의 하한값 상황에서의 산란계수는 다른 기상상황에서의 산란계수보다 크기 때문에 산란계수 비율 상수 C는 1보다 작다.

한편 식 (9)의 전달률을 식 (4)에 대입하면 안개가 제거된 복원영상은 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$J(x) = I_{\infty} \left(1 - \left[1 - \frac{I(x)}{I_{\infty}} \right]^{1-C} \right) \quad (10)$$

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 산란계수 비율에 따른 전달률과 복원영상의 밝기값 변화를 보여준다. 입력화소의 밝기값이 0에서 255로 증가할 때 산란계수 비율 상수 C를 0.2에서 0.8까지 증가시키면서 식 (9)의 전달률과 식 (10)의 복원영상의 밝기값을 계산한 그래프이다. 전달률은 C가 증가할수록 전달률의 하한(C=1)에 근접하고, 복원영상은 안개제거 효과가

증가하지만 어두운 영상을 출력하게 된다. 따라서 C를 사용자가 제어할 수 있도록 안개영상 개선장치를 구현하면 안개제거 강도와 밝기를 사용자가 직접 제어할 수 있다.

제안하는 대기산란계수 기반 밝기변환은 안개영상이 크게 분포하고 있는 전체 밝기에서 중간부터 밝은 영역까지의 밝기값에 대해서 밝기 차이를 벌리는 변환을 수행한다. 안개진 영상의 대부분 밝기값이 모여 있는 영역에 대해서 밝기차이를 더 벌려 안개제거 효과를 높인다. 이러한 밝기변환과 유사한 방법으로 감마변환이 있는데, 감마변환은 전체적으로 밝기 값 차이를 잘 벌려서 제안 밝기변환과 마찬가지로 안개제거의 효과는 보일 수 있지만 어두운 영역에 대해서 밝기값 소실로 인한 영상정보가 없어지고 그로인해 자연스러운 결과영상을 얻을 수 없는 단점이 나타난다. Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 대기산란계수 비율을 이용한 밝기변환과 감마변환의 입력 파라미터 변화에 따른 출력 밝기값 비교를 보인다.

또한 앞서 언급한바와 같이, 제안하는 방법은 안개제거 효과를 높이기 위하여 지역적 히스토그램 평활화 방법과 제안하는 대기산란계수 기반의 밝기변환을 함께 사용한다. 제안하는 밝기변환은 단순한 화소 밝기변환에 대한 수행으로 단일적으로는 효과적인 안개제거 결과를 얻기 힘들다. 이를 위하여 본 논문에서는 지역적 히스토그램 평활화 방법으로 CLAHE (Contrast Limit Adaptive Histogram Equalization) [12]를 함께 사용하는 방법을 제시한다. CLAHE는 매우 잘 알려진 지역적 히스토그램 평활화 방법으로,

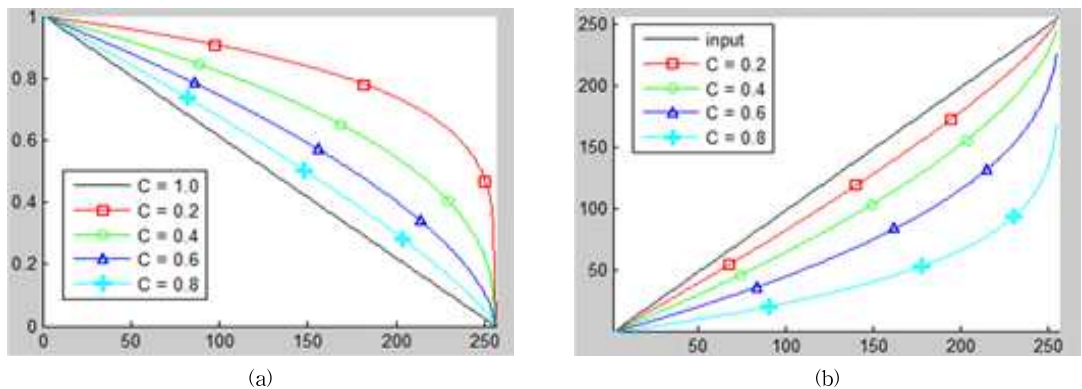


Fig. 1. The changes of estimated transmission rate and brightness of de-hazed image corresponding to user control of atmospheric scatter coefficient. (a) Estimated transmission rate using atmospheric scatter coefficient rate, (b) brightness of de-hazed image using the transmission rate.

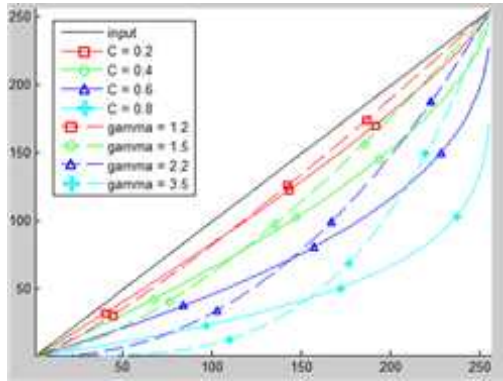


Fig. 2. The comparison between Gamma correction and proposed brightness transform.

영상을 $N*N$ 으로 분할하고 각 영역에 대해서 히스토그램 평활화를 수행하고 각 영역을 보간하여 다시 병합하는 방법이다. 지역적인 히스토그램 평활화는 전체적인 영상의 명암대비를 향상시키기 때문에 안개제거에 효과적인 결과를 가져올 수 있다. 하지만 안개영상은 전체적으로 밝은 영역 내에서 영상의 밝기가 밀집되어 있기 때문에 지역적 히스토그램 평활화만 사용할 경우에는 영상의 밝기가 전체적으로 밝아져서 명암대비는 향상되나 확실하게 안개가 제거

된 결과를 얻을 수는 없다. 이러한 분석아래, 본 논문에서는 제안하는 대기산란 계수 기반의 밝기변환과 지역적 히스토그램 평활화 방법의 조합 방법을 통해 효율적인 안개제거 방법을 제안한다. Fig. 3과 4는 제안하는 대기산란계수 기반의 밝기변환과 감마변환, CLAHE 결과와 제안하는 밝기변환과 감마변환을 CLAHE와 함께 사용하여 안개제거를 수행한 결과를 보여준다. Fig. 3과 4의 (b)는 감마변환 적용 결과, (c)는 대기산란계수 기반 밝기변환 결과, (d)는 CLAHE만 사용한 결과, (e)는 감마곡선과 CLAHE를 함께 사용한 결과, (f)는 제안하는 밝기변환과 CLAHE를 함께 사용한 결과를 보여준다. 제안하는 밝기변환 곡선과 CLAHE 방법을 함께 사용하여 안개영상에 대한 안정적인고 효과적인 안개제거를 수행한다. Fig. 3과 4에서 CLAHE가 명암대비를 향상을 통해 안개제거 측면에서 좋은 결과를 보이지만 감마변환이나 제안하는 밝기변환과 함께 사용하여 더 효율적인 안개제거를 수행함을 알 수 있다. 감마변환과 제안 밝기변환은 독립적으로는 효과적인 안개제거 결과를 가져오지 못하지만 지역적 히스토그램 평활화와 함께 사용하여 효과적이고 안정적인 안개제거를 수행할 수 있다. Fig. 4의 결과를 보면 감마

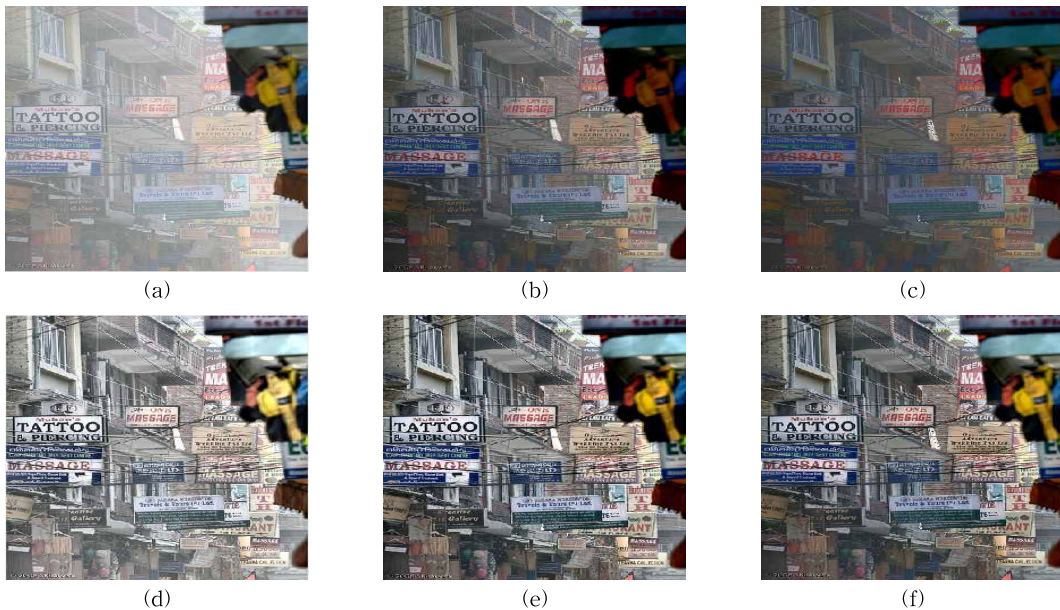


Fig. 3. The result of proposed de-haze method with or without CLAHE. (a) Input image, (b) The result of gamma correction($\gamma=2.2$), (c) The result of proposed brightness transform($C=0.6$), (d) CLAHE-ed image, (e) The result of gamma correction with CLAHE($\gamma=2.2$), (f) The result of proposed brightness transform with CLAHE($C=0.6$).

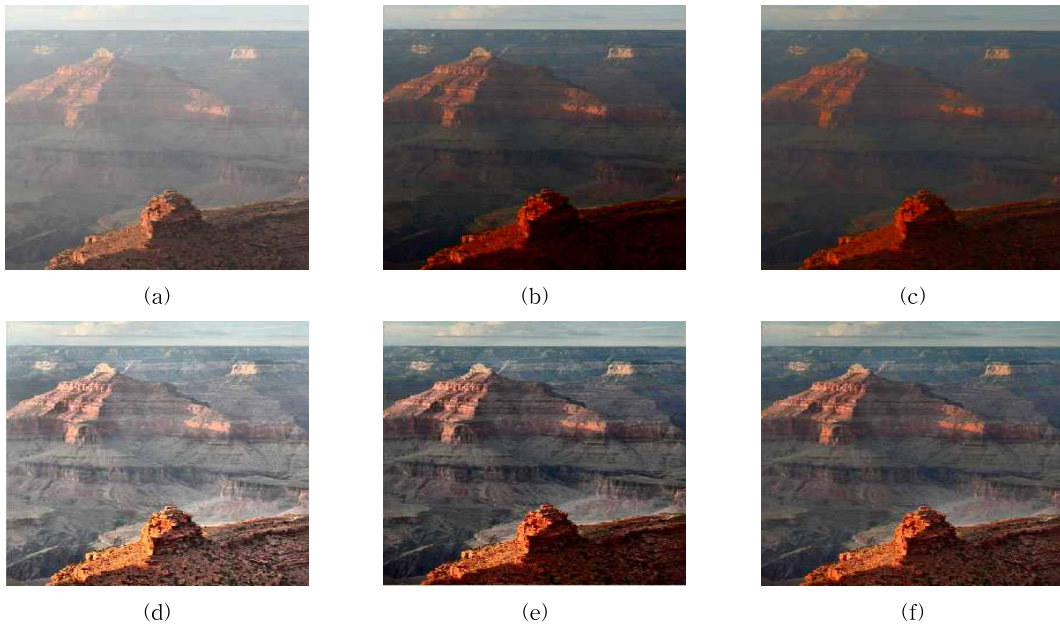


Fig. 4. The result of proposed de-haze method with or without CLAHE. (a) Input image, (b) The result of gamma correction($=2.2$), (c) The result of proposed brightness transform($=0.6$), (d) CLAHE-ed image, (e) The result of gamma correction with CLAHE($=2.2$), (f) The result of proposed brightness transform with CLAHE($=0.6$).

변환을 사용할 경우 어두운 영역에 대한 영상 개선 효과가 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 산란계수 비율에 따른 제안하는 방법의 산란계수 비율에 따라 구해진 전달률과 복원된 영상, 복원된 영상의 히스토그램을 보인다. Fig. 1에서 보여진 것과 같이 산란계수 비율에 따라서 영상의 안개 제거 정도가 다를 수 있다. 산란계수 비율 상수 C 가 0에 가까울수록 안개 제거 정도가 약하고, 1에 가까워질수록 강력한 안개 제거 효과를 보인다. Fig. 3의 (a)는 안개 낀 입력영상이고, (b)는 사용자 제어 변수 $C = 0.25$, (c)는 $C = 0.5$, (d)는 $C = 0.75$ 경우 안개 제거 처리된 결과 영상이다.

각 산란계수 비율에 따라 구해진 전달률을 통해서 영상내의 안개 제거 효율이 좋은 영역을 확인 가능하다. 이를 통하여 전달률의 조합을 통해 좀 더 개선된 영상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 안개의 강도에 따라서 사용자가 원하는 정도의 안개 제거 성능을 선택할 수 있다. 또한 CLAHE 방법을 제외한 연산은 최종적으로 밝기변환 곡선에 대한 결과이기 때문에 LUT(Look-up Table)을 구성하여 빠른 연산을 수행할 수 있다.

3. 실험 결과 및 분석

제안하는 안개 제거 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 다양한 영상에 대해 정량적 평가와 주관적 평가를 위하여 안개 제거 성능 결과를 기존의 안개 제거 알고리즘과 비교 평가하였다. 비교하는 방법은 Tarel의 방법[11], He의 방법[10]과 제안 밝기변환 곡선만 사용한 경우, CLAHE만 사용한 경우, 제안하는 밝기변환과 CLAHE의 통합 방법에 대해서 비교하였다. 본 논문에서 제안하는 안개 제거 방법의 결과를 구하기 위하여 Matlab을 이용하여 코드를 구현하고 결과를 얻었다.

본 논문에서는 정량적 평가를 위하여 연산시간과 Tarel의 논문에서 제안된 측정방법을 사용한다[13]. 이 방법은 e , \bar{r} 그리고 Σ 세 가지 값을 입력과 개선된 출력 휘도영상을 비교하기 위하여 측정한다. e 는 영상 개선 후 새롭게 나타난 에지의 비율로 나타난 에지의 비율을 통해 안개 제거 정도를 나타낼 수 있는 지표이고, 이는 5%의 명암대비 임계치를 사용하여 구한다. \bar{r} 은 입력영상과 출력영상의 gradient norm의 에지의 비율이고 이는 평균적인 가시성 향상 정도를 나타내는 지표이다. 이 두 지표는 높을수록 안개

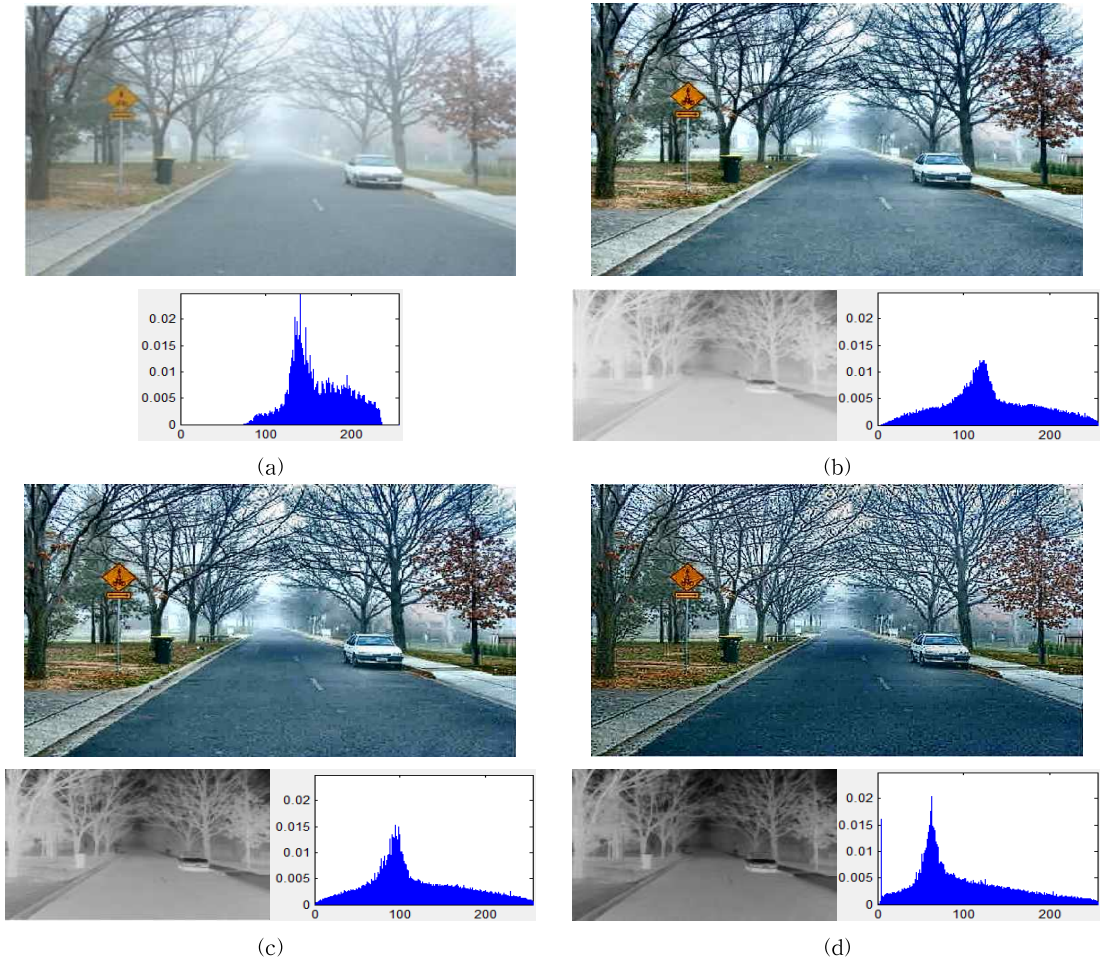


Fig. 5. The result of de-hazing corresponding to user control of atmospheric scatter rate. (a) Input image, (b) $C = 0.25$, (c) $C = 0.5$, (d) $C = 0.75$.

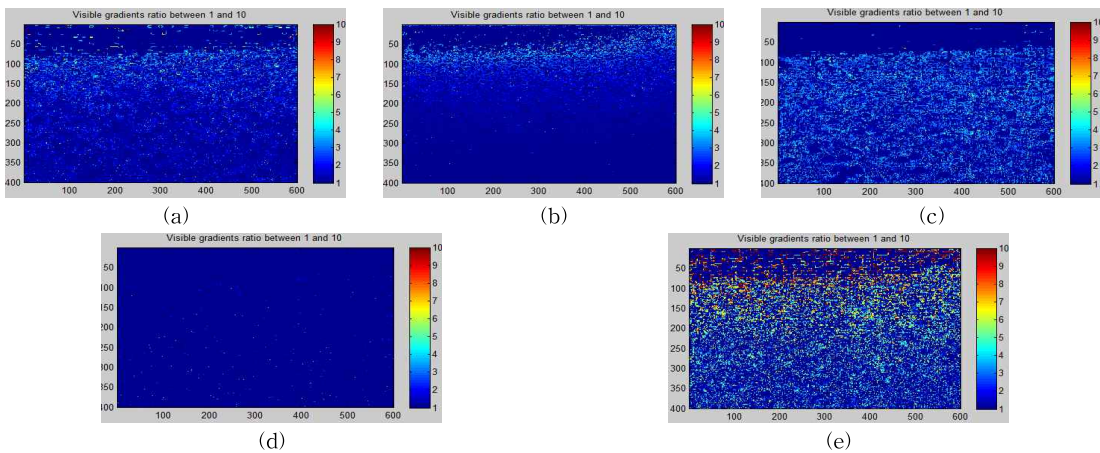


Fig. 6. The map of ratio \bar{r} of the gradients at visible edges. (a) Tarel's, (b) He's, (c) CLAHE method, (d) Proposed brightness transform's, (e) Proposed method.

제거가 많이 되고 가시성이 잘 향상되었음을 보인다. Σ 는 두 영상에 대한 완전히 검은색 또는 하얀색 화소가 나타난 백분율 값으로 과도한 개선에 대한 지표로써 높을수록 과도한 개선이 나타났음을 보인다. Table 1의 결과를 보면, e 와 \bar{r} 값이 기존방법에 비해 제안하는 방법이 평균적으로 높은 것을 확인할 수 있다. Table의 논문에서 이 값들이 너무 높은값은 과도한 명암대비 향상의 결과로 밸런스를 잘 유지하는 것이 중요하다고 하였다. Fig. 6을 확인하면 제안하는 방법이 하늘 부분에서 추가적인 에지가 많이 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 기존 방법들은 기존의 에지가 있는 부분에서의 에지를 많이 살지 못한 것을 확인할 수 있다. Σ 은 기존 방법에 비해 제안하는 방법이 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 제안 방법이 다른 방법에 비해 좀 더 과도한 개선 효과를 나타냄을 보인다. 제안방법의 평가를 위해 주관적 영상 분석을 추가로 수행한다. 연산시간은 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 매우 빠른 것을 Table 1을 통해서 알 수 있다. 이를 통하여

제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 실시간을 요구하는 응용분야에 매우 적합한 방법임을 알 수 있다.

제안하는 방법의 객관적 성능 평가에 대한 추가분석을 위하여 주관적 영상 분석을 여러 장의 영상에 대해 각 알고리즘을 적용한 결과를 통해 분석한다. Fig. 7-9는 안개가 낀 영상들에 대해 기존의 방법들과 제안하는 방법을 사용하여 안개를 제거한 결과를 보여준다. 기존방법들에 대한 시뮬레이션은 각 저자가 제공하는 MATLAB 프로그램을 사용하였다. Fig. 7은 호박 밭 영상으로 Tarel과 He의 방법의 결과를 보면 안정적으로 안개를 제거하는 것을 볼 수 있다. 하지만 Tarel 결과의 경우에는 영상이 너무 어두워 멀리 있는 부분에 대해서 안개제거가 확실히 되지 못하였다. 제안 밝기변환 곡선만을 이용한 결과는 약간의 안개제거 효과만을 보였고, CLAHE방법은 안개를 확실히 제거하지 못하고 영상이 너무 밝아지는 단점을 보였다. 반면 제안하는 통합 방법은 영상이 매우 선명하고 멀리 있는 안개까지도 잘 제거되고

Table 1. Quantitative measurement

Method	Fig.	Size	Time(sec)	e	\bar{r}	Σ
Tarel's	5	600*400	4.9747	0.3779	0.0095	1.8680
	6	500*360	2.4842	1.9687	0.0000	2.5281
	7	560*470	4.5771	0.6877	0.0000	2.1092
	8	1000*330	18.9156	0.4483	0.0003	2.1359
	Average	-	4.01	1.01	0.00	2.17
He's	5	600*400	31.4896	0.2909	0.0000	1.5499
	6	500*360	23.5408	1.8207	0.5416	2.1554
	7	560*470	34.4168	0.4378	0.0000	1.5255
	8	1000*330	443.1020	0.3988	0.0064	2.1022
	Average	-	23.36	0.89	0.14	1.85
CLAHE	5	600*400	0.0384	0.0991	0.1016	2.8899
	6	500*360	0.0312	2.5937	0.0000	3.1614
	7	560*470	0.0449	0.3307	0.0121	3.1705
	8	1000*330	0.0536	0.6704	0.0027	3.2375
	Average	-	5.87	0.98	0.06	2.77
Proposed curve	5	600*400	0.0181	0.1454	0.0008	0.7226
	6	500*360	0.0162	0.7286	0.0005	0.9292
	7	560*470	0.0193	0.1930	0.0303	0.6978
	8	1000*330	0.0223	0.1375	0.0027	0.7996
	Average	-	1.48	0.51	0.02	1.28
Proposed (curve+CLHAE)	5	600*400	0.0583	0.1238	0.9533	4.6198
	6	500*360	0.0462	4.4826	0.0600	4.9009
	7	560*470	0.0644	0.2815	0.4024	5.0966
	8	1000*330	0.0772	0.4136	0.5495	4.9948
	Average	-	0.41	1.35	0.36	3.97

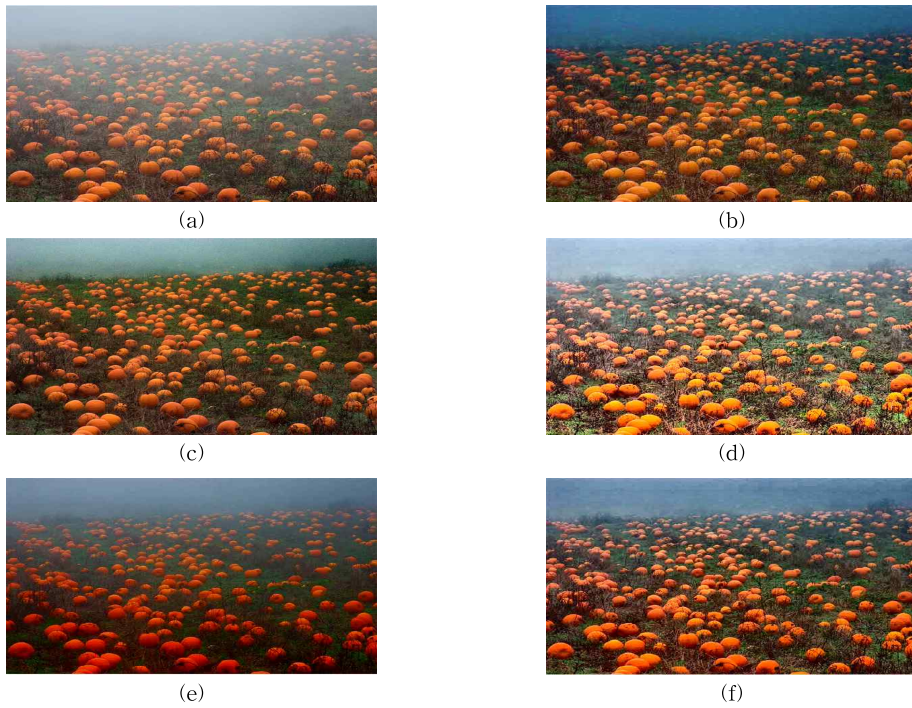


Fig. 7. The results of de-hazing method for 'Pumpkins' image. (a) Original, (b) Tarel's method, (c) He's method, (d) CLAHE, (e) Proposed brightness transform, (f) Proposed method.

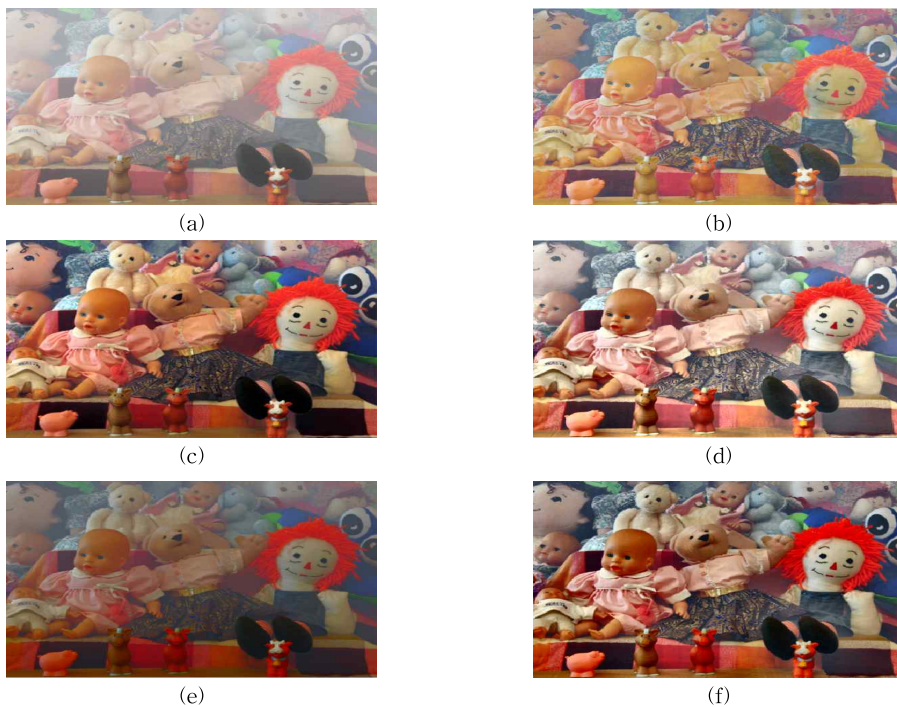


Fig. 8. The results of de-hazing method for 'Toys' image. (a) Original, (b) Tarel's method, (c) He's method, (d) CLAHE, (e) Proposed brightness transform, (f) Proposed method.

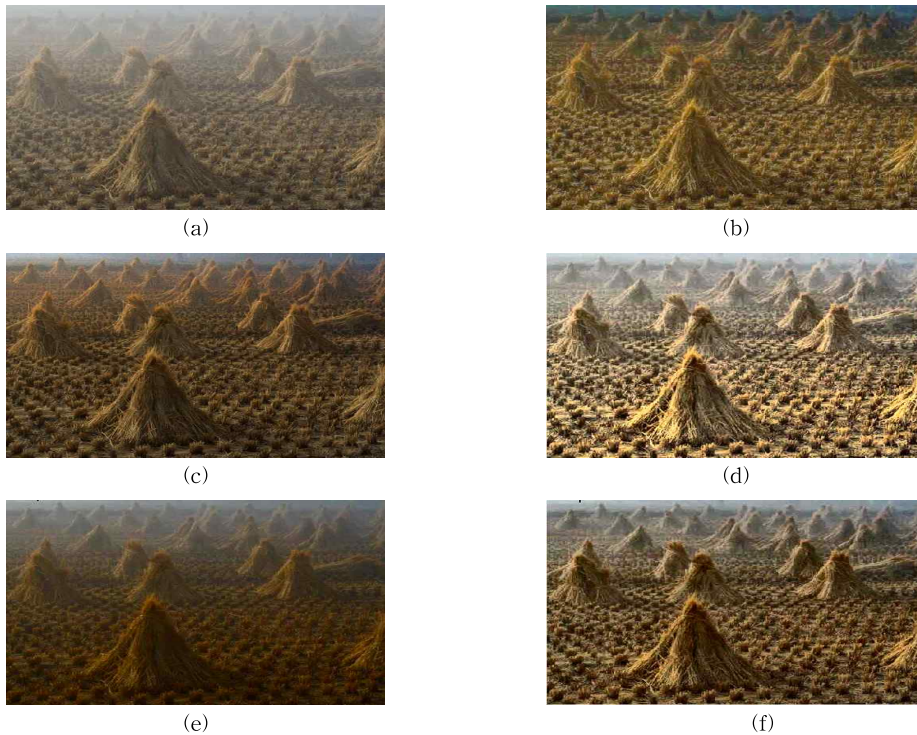


Fig. 9. The results of de-hazing method for 'Cones' image. (a) Original, (b) Tarel's method, (c) He's method, (d) CLAHE, (e) Proposed brightness transform, (f) Proposed method.

다른 방법에 비해 호박이나 풀의 에지도 잘 보존되는 결과를 보였다. 다만 과도한 선명화로 인하여 먼 하늘 부분의 에지가 나타나는 단점이 나타났다. Fig. 8은 인형들 영상으로 Tarel의 방법은 매우 부자연스러운 안개제거 결과를 보였다. He의 방법은 매우 안정적이고 효과적으로 안개를 제거하였다. CLAHE방법 역시 효율적인 안개제거를 수행하였지만 짙은 안개부분에 대한 안개제거가 확실히 되지 않았다. 제안하는 통합방법은 안정적이면서도 He의 방법보다 더욱 선명하고 더 강력한 안개제거 효과를 보였다. Fig. 9는 짙단 영상으로 짙단이 쌓여진 곳에 안개가 낀 영상으로 뒤쪽의 멀리 있는 짙단의 형상이 He와 Tarel의 방법과 비교할 때 잘 복원되고 훨씬 선명한 결과를 보였다. 위의 실험 결과를 통해서 제안 방법은 수행시간이 매우 빠름에도 불구하고 기존 방법들과 비교하여 안개제거 성능이 우수한 결과를 보였다. 제안 방법은 다양한 안개 영상에 대해서 안개를 잘 제거하면서도 명도와 색상도 잘 유지함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 안개, 연기, 구름 등 공기 중의 밝기와 색상 성분이 객체의 빛과 색 성분과 혼합되어 가시성이 낮아진 영상에 대해 공기 중의 밝기와 색상성분을 제거하여 선명한 영상을 제공한다. 제안하는 방법은 안개모델 기반의 이차방정식을 기반으로 대기 산란 계수의 비율을 이용하여 전달률을 계산하고 이를 이용하여 영상의 밝기변환하고 효과적인 안개제거를 위하여 지역적 히스토그램 평활화를 함께 사용하여 안정적이고 실시간으로 안개제거를 수행한다. 기존의 대부분 멀티미디어 시스템에서 사용되는 색좌표계는 RGB 좌표계가 아닌 YCbCr 색좌표계와 같이 휘도신호와 색차신호를 사용하므로 휘도 정보만으로도 우수한 성능을 발휘하는 제안된 방법은 색좌표계의 변환없이 멀티미디어 시스템에 적용이 용이하고, 입력칼라의 색상을 유지할 수 있다. 특히 제안된 방법은 화소단위의 연산을 수행하므로 큰 크기의 필터를 사용하는 기존 방법의 문제인 후광효과와 높은 연산량 문제를 해결할 수 있으므로, 실시간 응용

에 적용할 수 있고, 사용자가 직접 기상상황에 따라 안개제거 정도와 영상의 밝기를 제어할 수 있다. 또한 제안방법을 이용하여 안개제거 뿐만 아니라 야간 영상 개선 방법에 적용도 가능하다[14]. 따라서 고화질 감시시스템, 차량용 영상 블랙박스, 화재 방지시스템 등에 적용할 경우 안개나 연기 등으로 가시성이 감소되는 문제를 해결할 수 있고, 최근에 많은 연구가 이루어지는 첨단 안전차량에 적용이 가능할 것으로 보인다.

REFERENCE

- [1] Y.Y. Schechner, S.G. Narasimhan, and S.K. Nayar, "Instant Dehazing of Images Using Polarization," *Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1984-1991, 2001.
- [2] S. Shwartz, E. Namer, and Y.Y. Schechner, "Blind Haze Separation," *Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1984-1991, 2006.
- [3] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar, "Chromatic Framework for Vision in Bad Weather," *Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 598-605, 2000.
- [4] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar, "Contrast Restoration of Weather Degraded Images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence*, Vol. 25, No. 6, pp. 713-724, 2003.
- [5] S.K. Nayar and S.G. Narasimhan, "Vision in Bad Weather," *Proceeding of International Conference on Computer Vision*, pp. 820-827, 1999.
- [6] J. Kopf, B. Neubert, B. Chen, M. Cohen, D. Cohen-Or, O. Deussen, et. al., "Deep Photo: Model-based Photograph Enhancement and Viewing," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 5, pp. 1-10, 2008.
- [7] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar, "Interactive Deweathering of an Image Using Physical Models," *Proceeding of Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision (CPMCV)*, Oct. 2003.
- [8] R. Tan, "Visibility in Bad Weather from a Single Image," *Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, 2008.
- [9] R. Fattal, "Single Image Dehazing," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 1-9, 2008.
- [10] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior," *Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1956-1963, 2009.
- [11] Jean-Philippe Tarel, Nicolas Hautiere, "Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Image," *Proceeding of IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, pp. 2201-2208, 2009.
- [12] S.M. Pizer, E.P. Amburn, J.D. Austin, Robert Cromartie, Ari Geselowitz, Trey Greer, et al., "Adaptive Histogram Equalization and Its Variations," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol. 39, No. 3, pp 355-368, 1987.
- [13] N. Hautiere, J.P. Tarel, D. Aubert, and E. Dumont, "Blind Contrast Enhancement Assessment by Gradient Ratioing at Visible Edges," *Image Analysis & Stereology Journal*, Vol. 27, No. 2, pp.87-95, 2008.
- [14] Jae-Won Lee, Sung-Hoon Hong, "Robust Real-time Night Visibility Enhancement for Environmental Change using Haze Removal Method," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.18, No.3, pp 339-348, 2015.



이 재 원

2004년 3월 ~ 2009년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사

2009년 3월 ~ 2012년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사

2012년 3월 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어시스템



홍 성 훈

1988년 2월 영남대학교 전자공학과 공학사

1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사

1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

1991년 ~ 2000년 7월 LG전자 DTV 연구소 책임연구원
2007년 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
관심분야: 의료영상처리, 영상부호화, 멀티미디어시스템