

Survey on Quantitative Performance Evaluation Methods of Image Dehazing

Sungmin Lee[†] · Jae Taeg Yu^{**} · Seung-Won Jung^{***} · Sung Woong Ra^{****}

ABSTRACT

Image dehazing has been extensively studied, but the performance evaluation method for dehazing techniques has not attracted significant interest. This paper surveys many existing performance evaluation methods of image dehazing. In order to analyze the reliability of the evaluation methods, synthetic hazy images are first reconstructed using the ground-truth color and depth image pairs, and the dehazed images are then compared with the original haze-free images. Meanwhile we also evaluate dehazing algorithms not by the dehazed images' quality but by the performance of computer vision algorithms before/after applying image dehazing. All the aforementioned evaluation methods are analyzed and compared, and research direction for improving the existing methods is discussed.

Keywords : Image Dehazing, Performance Evaluation, Quality Metric

안개 제거 기술의 정량적인 성능 평가 기법 조사

이성민[†] · 유제택^{**} · 정승원^{***} · 나성웅^{****}

요약

다양한 안개 제거 기술이 개발되어왔으나 이들의 성능을 정량·정성적으로 평가하는 방식에 대한 연구는 다소 부족하다. 본 논문에서는 안개 제거 기술의 성능을 평가하기 위하여 사용할 수 있는 다양한 척도를 살펴본다. 성능 척도의 신뢰도 검증을 위하여, 고화질 칼라·깊이 영상을 이용하여 안개 영상을 합성하고 안개 제거 영상과 원 영상을 비교하는 방식을 택한다. 한편 안개 제거 기술을 화질을 기준으로 평가하는 방식이 아닌, 안개 제거 전·후 영상에 대한 컴퓨터 비전 기법의 성능을 비교하는 방식을 검토한다. 다양한 안개 제거 기술 성능 척도에 대한 비교 분석 및 문제점에 대한 해결 방안을 토의한다.

키워드 : 영상 안개 제거, 성능 평가, 품질 척도

1. 서론

실외에서 촬영한 영상은 종종 대기 입자의 흡수 및 산란에 의하여 열화된다. 특히 안개가 낀 날씨에는 대기 입자의 크기가 커지므로 흡수·산란의 정도가 커지고, 이로 인하여 촬영된 영상이 뿌옇게 나타난다. 이러한 안개에 의하여 열화된 영상(이하 안개 영상)은 시인성이 떨어질 뿐 아니라, 객체추적·객체인식 등의 컴퓨터 비전 기술의 성능을 크게 떨어트린다. 그러므로 안개 영상으로부터 안개를 제거하는 기술(image dehazing)이 지속적으로 연구되어왔다[1-5].

기존 안개 제거 기술은 크게 화질 개선에 기반한 기술[1]

과 안개 모델을 이용한 영상 복원 기술[2-5]로 나눌 수 있다. 이 중 안개 열화 모델을 고려한 안개 제거 기술이 안개를 보다 근본적으로 제거할 수 있는 방식이므로 많은 후속 연구들이 안개 모델을 채택하고 있다. 이때 연구의 핵심은 각 화소(pixel)마다 안개가 낀 정도(haze density)를 영상으로부터 정확하게 추정(estimation)하는 데 있다. Dark Channel Prior(DCP)를 이용한 안개 제거 기술[5]이 현재 가장 큰 각광을 받고 있는 기술이다.

수많은 안개 제거 기술이 계속해서 발표되고 있으나 대부분의 문헌에서는 안개 제거 영상(dehazed image)을 단순 제시하고 다소 주관적인 관점에서 영상 화질의 우수성을 주장하고 있다. 한편 일부 문헌에서는 안개 제거 영상으로부터 몇 가지 척도를 추출하여 정량적인 화질 평가를 시도하였다[6]. 또한 보다 근본적으로 안개 제거의 정확성을 측정하기 위하여 합성 안개 영상(synthetic hazy image)을 생성하고 원 영상과 안개 제거 영상을 비교하거나, 원 안개 세기(original haze density)와 예측된 안개 세기(estimated haze density)

[†] 비회원: 동국대학교 전자전기공학부 석사과정
^{**} 정회원: 국방과학연구소 책임연구원
^{***} 종신회원: 동국대학교 멀티미디어공학과 조교수
^{****} 정회원: 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
Manuscript Received: September 8, 2015
First Revision: November 3, 2015
Accepted: November 9, 2015
* Corresponding Author: Jae Taeg Yu(jytadd@add.re.kr)

를 비교하는 시도도 있었다[7].

본 논문에서는 우선 한 장의 안개 제거 영상으로부터 도출된 다양한 성능 척도(no reference quality metric)와 합성 안개 영상으로부터 도출되는 성능 척도(full reference quality metric)의 비교를 수행한다. 실험 결과를 통하여 한 장의 영상으로부터 도출된 성능 척도들의 신뢰도에 대한 정량 평가를 수행한다.

또한 안개 제거 기술은 실외·원거리 환경에서 객체 추출(object extraction/segmentation) 및 객체 추적(object tracking) 등의 컴퓨터 비전(computer vision)기술의 선처리 기술로 활용될 수 있다. 이 경우 결과 영상의 화질을 단순 평가하는 것보다 실제 컴퓨터 비전 기법의 성능을 얼마나 개선시키느냐를 평가하는 것이 더 적합하다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 기존에 제안된 척도[6, 8-12]를 포함한 다양한 척도를 안개 제거 영상에 적용하여 활용 가능성을 평가한다.

2. 물리 모델 기반 안개 제거 기술

2.1 안개 모델

본 논문에서 다루는 안개 제거 기술의 성능 평가 방식을 이해하기 위해서는 안개 물리 모델 및 이를 이용한 안개 제거 기술에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 본 절에서는 안개 모델을 간략하게 설명한다. Koschmieder 모델[3]에 따르면 안개 영상 $I(x)$ 는 Equation (1)과 같은 원리로 획득된다.

$$I(x) = J(x)\exp(-\beta d(x)) + A(1 - \exp(-\beta d(x))) \quad (1)$$

Equation (1)에서 $J(x)$ 는 안개가 없는 원 영상(haze-free image), A 는 대기광(atmospheric light), β 는 안개 상수, $d(x)$ 는 깊이 영상(depth image)을 나타낸다. 즉 영상에서 깊이 값이 큰 영역일수록 안개의 영향력이 커지므로 $I(x)$ 값이 A 와 유사한 값을 갖게 되고, 반대의 경우 $I(x)$ 값이 $J(x)$ 와 유사한 값을 갖게 된다. 일반적으로 안개 영상 $I(x)$ 만 주어진 환경에서 안개 제거 영상 $J(x)$ 를 복원하는 것이 안개 제거 기술의 목적이다. $\exp(-\beta d(x))$ 를 전달량 $t(x)$ 로 나타낼 때, $I(x)$ 로부터 $t(x)$ 와 A 를 예측하고 이를 통하여 Equation (2)와 같이 $J(x)$ 영상을 복원할 수 있다.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A \quad (2)$$

2.2 DCP 기반 안개 제거 기법

앞 절에서 설명한 안개 모델을 기반으로 안개를 제거하는 다양한 기술 중 DCP를 이용하는 기술[5]이 가장 대표적이다. 그러므로 본 절에서는 DCP 기반 안개 제거 기법을 간략하게 설명한다. Equation (1)에서 RGB 세 색상 채널의 local patch에 대하여 최소값 연산을 취하면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) &= \\ \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) + (1 - \tilde{t}(x)) & \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 c 는 red, green, 또는 blue의 칼라 채널을 의미하며 $\Omega(x)$ 는 x 를 중심으로 하는 local patch 안의 픽셀들의 집합을 나타낸다. DCP 기법은 안개가 없는 영상 데이터베이스로부터 통계적인 관찰을 통하여 local patch 내부의 RGB 값 중 적어도 하나 이상은 0에 가까운 값을 갖는다는 특성을 활용한다. 또한 $\tilde{t}(x)$ 는 local patch 내부의 전달량 값을 상수로 근사화한 결과를 나타내었다. Equation (3)에서 $\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) \approx 0$ 이라 하면 $\tilde{t}(x)$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

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

A 는 dark channel($=\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c})$)이 최소가 되는 위치의 밝기 값을 이용하여 예측한다. 예측된 $\tilde{t}(x)$ 와 A 를 이용하여 Equation (2)와 같이 안개 제거 영상 $J(x)$ 를 획득할 수 있다.

이때 $\tilde{t}(x)$ 가 local patch 내부 화소의 최소값을 이용하여 생성되기 때문에, $\tilde{t}(x)$ 의 해상도(apparent resolution)가 patch의 크기에 따라 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 Equation (4)의 결과에 soft matting[5], guided image filter[13] 등의 후처리 기법이 적용된다.

3. 안개 제거 영상 화질평가

3.1 안개 제거 영상을 이용한 화질평가

일반적인 안개 제거 기술은 한 장 혹은 여러 장의 안개 영상을 입력으로 사용하여 안개 제거 영상을 생성한다. 그러므로 안개 제거 영상의 품질을 직접적으로 평가하기 위한 참조 영상(reference image)이 존재하지 않는다. Table 1은 이러한 환경에서 안개 제거의 효과를 정량적으로 측정하기 위하여 기존에 적용된 방법을 나타낸다. 기존에 노이즈 제거(denoise), 블러 제거(deblur) 등에서 사용된 화질 척도를 안개 제거에 이용한 경우는 제외하였다.

대부분의 문헌에서 안개를 제거한 후 새롭게 보이는 visible edge의 비율 e , visible edge에서의 평균 gradient 비율 \bar{r} , 완전하게 검정색과 흰색으로 변환된 화소의 비율 σ 이 안개 제거 영상의 정량 화질 평가를 위하여 사용되었다.

Visible edge는 영상의 edge 중 사람의 눈에 보이는 edge만을 추출한 것을 나타내며, Hautiere는 안개 제거 후 visible edge가 늘어나는 정도를 측정하여 안개 제거 영상의

Table 1. List of Conventional Quantitative Quality Metrics for Image Dehazing

Ref	Method
[6], [8]	Ratio of visible edge(e)
	Average ratio of gradient in visible edge(\bar{r})
[10], [12]	Ratio of visible edge(e)
	Average ratio of gradient in visible edge(\bar{r})
	Ratio of pixels completely white or black(σ)
[11]	Ratio of pixels completely white or black(σ)

품질을 평가하였다[12]. Visible edge를 영상으로부터 추출하는 방법은 다음과 같다. 두 화소쌍(X, Y)은 다음과 같은 조건에서 문턱치 s 에 의해서 나뉜다.

$$X \in V_4(Y) \quad (5)$$

$$\min[f(X), f(Y)] \leq s < \max[f(X), f(Y)] \quad (6)$$

이때 $f(X)$ 는 X 에서의 화소 값을 나타내며 V_4 는 4-neighborhood를 나타낸다. $F(s)$ 를 s 에 의해서 나뉜 모든 (X, Y)쌍들의 집합이라 할 때, $[0, 255]$ 의 범위에 속하는 모든 s 에 대하여 $F(s)$ 를 만들 수 있다. 각 문턱치 값 s 에서 대조비 $C_{X,Y}(s)$ 는 다음과 같이 획득한다.

$$C_{X,Y}(s) = \min \left[\frac{|s - f(X)|}{\max(s, f(X))}, \frac{|s - f(Y)|}{\max(s, f(Y))} \right] \quad (7)$$

이때 평균 대조비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(s) = \frac{1}{\text{card}(F(s))} \sum_{(X,Y) \in F(s)} C_{X,Y}(s) \quad (8)$$

$C(s)$ 를 최대가 되게 하는 s 를 최적의 문턱치 값으로 정하고 s_0 로 표시한다. 최종적으로 $2C(s_0) > 5\%$ 을 만족할 때 $F(s_0)$ 가 visible edge로 간주된다.

위의 과정을 통해 얻어진 안개 영상과 안개 제거 영상의 visible edge 수를 각각 n_o, n_r 이라 했을 때, visible edge의 비율 e 는 다음과 같이 정의된다.

$$e = \frac{n_r - n_o}{n_0} \quad (9)$$

다음으로 \bar{r} 는 안개 제거 영상의 대조비 품질을 표현하기 위한 척도로서 visible edge에 해당하는 화소들의 gradient magnitude의 평균값으로 정의된다.

마지막으로 σ 는 안개 제거 영상에서 완전히 흰색과 검정색으로 나타나는 화소의 수(n_s)를 영상의 크기로 정규화한 값을 나타낸다. 이는 부정확한 안개 제거 기법의 적용으로 인하여 화소 값에서 overflow 혹은 underflow가 발생한 정도를 의미하며 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma = \frac{n_s}{H \times W} \quad (10)$$

H 와 W 는 영상의 세로와 가로 길이를 나타낸다. 위의 세 화질 평가 척도 중 e 와 \bar{r} 가 높을수록 안개 제거가 더 잘된 것을 의미하며 σ 가 낮을수록 안개 제거가 더 잘된 것을 의미한다.

3.2 합성 영상을 이용한 화질평가

안개 제거 알고리즘을 개발할 경우, 보다 정확한 안개 제거 영상의 화질평가를 위하여 안개가 없는 원 영상(original haze-free image)을 참조 영상으로 사용하고 안개 생성 및 제거 후, 원 영상과 안개 제거 영상을 비교하는 방식을 이용할 수 있다. 그러나 II절에서 살펴본 바와 같이 안개의 세기는 영상의 깊이에 의존하기 때문에, 정확한 깊이 영상이 안개 영상 생성에 필요하다. 본 연구에서는 정밀한 깊이 영상을 제공하는 FRIDA 데이터베이스를 활용하였다[7]. Fig. 1은 FRIDA 영상 및 이를 이용하여 생성한 안개 영상을 나타낸다.

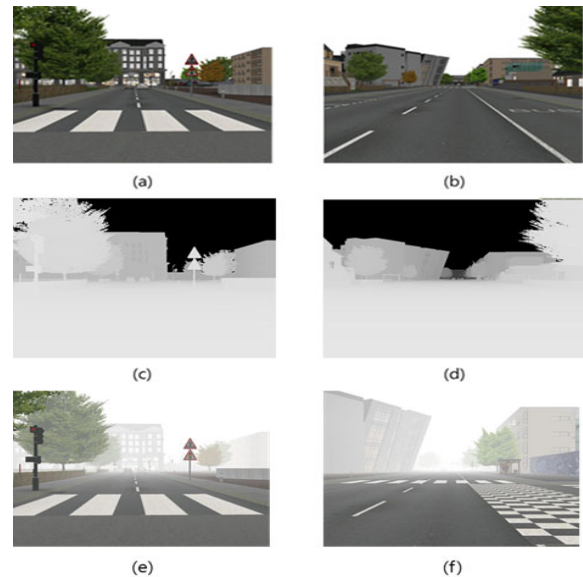


Fig. 1. Example of Haze-Free and Hazy Images Using the FRIDA Database [7]. (a), (b): Haze-Free Original Images, (c), (d): Depth Images, (e), (f): Hazy Images.

칼라 영상과 깊이 영상, 그리고 설정된 A 값과 β 값을 이용하여 Equation (1)과 같은 방식으로 안개 영상을 구할 수 있다. Fig. 1E와 Fig. 1F는 $A=[255 \ 255 \ 255]$ 와 $\beta=0.01$ 을 이용하여 생성한 안개 영상의 예를 나타낸다. 이러한 방식으로 생성된 안개 영상에 안개 제거 기술을 적용하고, 안개 제거 영상과 원 영상을 비교하거나, 예측된 안개 세기와 실제 안개 세기 ($t(x)$ 와 $\tilde{t}(x)$)을 비교하는 방식을 통하여 안개 제거 기술의 성능 평가가 가능하다. 결과 영상의 화질을 비교할 경우 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR), Self

Similarity(SSIM) 등의 여러 가지 화질 평가 척도를 적용할 수 있으나, 안개 물리 모델 기반 안개 제거 기술의 성능 평가를 위해서는 $t(x)$ 와 $\tilde{t}(x)$ 을 비교하는 것이 더 적합하다[14].

3.3 합성 영상 기반 평가와 안개 제거 영상 기반 화질 평가의 비교

3.1절에서 분석한, 한 장의 안개 제거 영상으로부터 화질 척도를 추출하는 방식은 모든 환경에서 다양한 영상에 적용이 가능하다. 반면 3.2절에서 서술한 합성 영상을 이용한 안개 제거 기술의 정량 성능 평가 방법은 이상적인 방식으로, 실제 환경에서는 안개 영상만이 존재하기 때문에 적용할 수 없다. 또한 FRIDA를 비롯한 칼라·깊이 영상 데이터베이스는 영상의 숫자 및 장면의 다양성에 한계가 있다. 그러나 FRIDA와 같은 이상적인 실험 환경을 이용하여 3.1절에서 언급한 화질 평가 방법들이 갖는 신뢰도에 대한 개략적인 분석이 가능하다.

이를 위하여 FRIDA로부터 생성한 다양한 안개 영상에 대하여 안개 제거 기법[13]을 적용하고, 3.1절에 열거된 화질 척도와 3.2절에서 이용한 화질 값 ($t(x)$ 와 $\tilde{t}(x)$ 의 Root Mean Square Error(RMSE))의 비교를 수행하였다. Fig. 2의 각 점들은 66개의 FRIDA 영상에 대한 RMSE와 e , \bar{r} , σ 값을 나타낸 것이다. Equation (3)에서 local patch의 크기에 따라 안개 제거의 결과가 달라지므로, 3×3(Red), 11×11(Green), 15×15(Blue)의 세 가지 크기에 따른 결과를 비교하였다. 또한 x 축과 y 축은 0-1사이로 정규화(normalization)하였다.

기대(e 와 \bar{r} 는 RMSE와 반비례, σ 는 RMSE와 비례)와는 달리 세 화질 척도 모두 RMSE와 큰 상관관계가 나타나지 않음을 확인할 수 있다. 선형 회귀(linear regression) 후 결정 계수 R2값은 e 와 RMSE 사이에서 0.232(3×3), 0.050(11×11), 0.005(15×15), \bar{r} 와 RMSE 사이에서 0.001(3×3), 0.044(11×11), 0.073(15×15), 그리고 σ 와 RMSE 사이에서 0.086(3×3), 0.046(11×11), 0.074(15×15)으로 측정되었다. e 와 \bar{r} 의 경우, $\tilde{t}(x)$ 가 정확하게 예측되지 않아서 안개 제거 영상에 열화(artifact)가 존재하는 경우에 열화 화소가 visible edge로 추출되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 σ 도 기본적으로 outlier에 해당하는 화소의 수를 계산하는 방식이기 때문에 정밀한 화질 측정에는 적합하지 않다. 향후 보다 개선된 척도를 고안하여 안개 제거 영상의 화질을 평가할 필요가 있다.

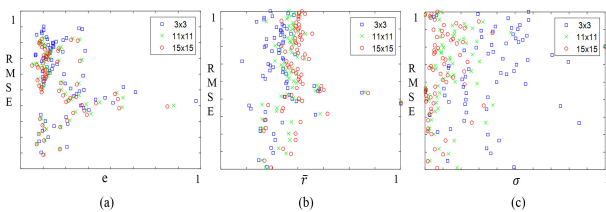


Fig. 2. Comparison Between (a) e and RMSE, (b) \bar{r} and RMSE, and (c) σ and RMSE Using the Dehazing Algorithm[13].

4. 컴퓨터 비전 응용을 고려한 화질평가

4.1 특징점 매칭을 이용한 성능 평가

3장에서 비교·분석한 안개 제거 기술의 성능 평가 기법은 영상 자체의 화질을 평가하는 것에 초점을 맞추고 있다. 한편 안개 제거 기술은 원거리 탐사 및 보안 등의 응용에서 객체 추출 및 객체 추적 등의 컴퓨터 비전 기술의 선처리 기법(preprocessing)으로 사용될 수 있다. 이 경우 안개 제거 기술이 영상의 화질을 얼마나 개선시키는지 측정하기 보다는 실제 컴퓨터 비전 응용의 성능을 얼마나 향상시키느냐를 측정하는 것이 보다 합리적이다.

특징점 추출(feature extraction)은 컴퓨터 비전 응용 기술의 가장 중요한 요소 기술 중 하나이다. 이 중 Scale Invariant Feature Transform(SIFT)이 가장 널리 사용되는 특징점 추출 방식이다. 안개가 포함되지 않은 영상과 SIFT 매칭이 되는 특징점 쌍의 숫자를 비교하는 방식을 통하여 결과 영상의 컴퓨터 비전응용에 대한 적합성을 평가할 수 있다. 안개가 특징점 검출에 큰 영향을 미치는 것을 Fig. 3A - Fig. 3C를 통해 확인할 수 있다. 안개가 있는 FRIDA 영상을 이용하여 안개가 포함되지 않은 영상과 안개가 포함된 영상(C/H)에 SIFT를 적용하여 매칭이 되는 특징점 쌍의 개수와 안개가 포함되지 않은 영상과 안개 제거 기법[13]으로 안개를 제거한 후의 영상(C/D)의 매칭이 되는 특징점 쌍을 계산하였다.

Fig. 4는 FRIDA의 66개의 영상에 대해 SIFT 매칭이 되는 특징점 쌍의 개수를 비교한 결과이다. 안개가 포함되지 않은

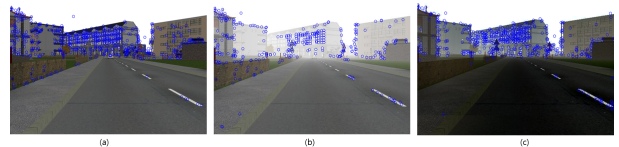


Fig. 3. (a) SIFT Feature Extraction Result from the Haze-Free Image(920 features), (b) SIFT Feature Extraction Result from the Hazy Image(429 Features), (c) SIFT Feature Extraction Result from the Dehazed Image(762 Features).

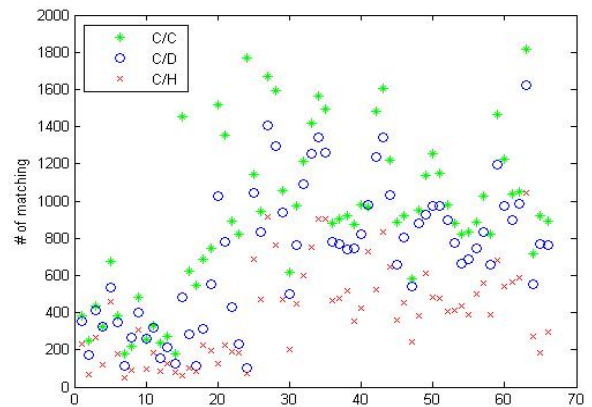


Fig. 4. Comparison of the Number of Matched SIFT Features Using Haze-Free, Hazy and Dehazed Images.

동일한 두 영상(C/C)에 SIFT를 적용하여 매칭이 되는 특징점 쌍의 개수와 각각 C/H와 C/D의 매칭되는 특징점 쌍의 개수를 비교하였다. 실험 결과를 통하여 안개 제거 기법 적용 시 매칭되는 특징점 쌍의 개수가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있으나, 여전히 동일한 안개가 없는 두 영상에서 적용한 결과에는 미치지 못하므로 개선의 여지가 있는 것을 확인할 수 있다.

4.2 문자 인식을 이용한 성능 평가

앞 절의 SIFT를 이용한 성능 평가 방법을 통하여 안개 제거 기술의 컴퓨터 비전 응용에 대한 적합성을 간접적으로 평가할 수 있다. 특징점 추출은 컴퓨터 비전 응용의 중간 단계에 해당하기 때문에, 보다 직접적으로 컴퓨터 비전 응용의 결과 성능을 기준으로 안개 제거 기술을 평가할 필요가 있다. 이에 대한 하나의 예시로 FRIDA 영상에 문자를 삽입하고 안개를 생성한 후, 안개 제거 전·후 영상에 대한 문자 인식의 정확도를 측정하였다. 문자 인식을 위해서 기존에 개발된 Optical Character Recognition(OCR) 기법을 활용하였다[15]. Fig. 5A는 안개를 포함하지 않은 영상에 임의로 Text를 삽입한 결과이며 Fig. 5B는 Fig. 5A에 $A=255$ 와 $\beta=0.015$ 를 사용하여 생성한 안개 영상을 나타낸다. Fig. 5C는 Fig. 5B에 안개 제거 기법[13]을 적용한 결과를 나타낸다.

Fig. 5와 같은 방식으로 FRIDA 66개 영상에 대한 문자 인식 결과를 계산하였다. Table 2는 안개가 포함된 영상과, 안개 제거 영상에서 문자가 인식되는 정도를 Precision과 Recall의 수치로 비교한 결과를 나타낸다. 이와 같은 방식을 통하여 안개 제거 기술의 문자 인식 응용에 대한 효과를 정량적으로 측정할 수 있다.

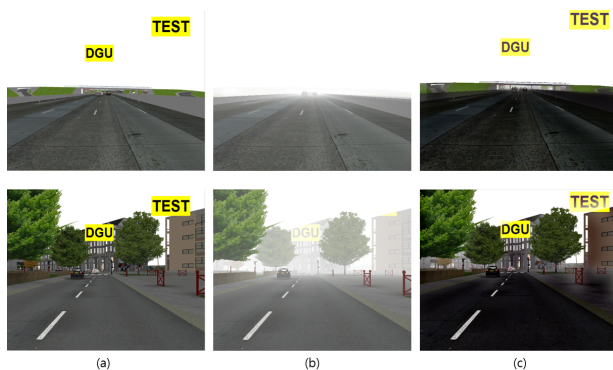


Fig. 5. Illustration of OCR Using FRIDA. (a) Haze-Free Image with Augmented Texts, (b) Hazy Images($A=[255,255,255]$, $\beta=0.015$), (c) Dehazed Images Using the DCP Method[13].

Table 2. Comparison of OCR Accuracy for Hazy and Dehazed Images

	Precision	Recall
Before haze removal	76.37%	20.99%
After haze removal	91.19%	82.90%

5. 결론

영상의 화질을 정량적으로 측정하는 기술은 화질 개선 및 영상 복원 기술 개발에 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 기존 안개 제거 관련 문헌에서 이용된 정량 화질 척도를 조사 및 분석하였다. 또한 칼라·깊이 합성 영상을 이용한 정량 화질 평가와의 비교를 통하여 기존 척도의 신뢰도를 살펴보았다. 기존 척도의 신뢰도가 크지 않은 것으로 나타났다으므로 향후 좀더 개선된 척도의 개발이 필요한 것으로 판단된다. 끝으로 컴퓨터 비전 응용을 고려한 안개 제거 효과 측정 방식을 검토하였다.

References

- [1] 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, 2003.
- [2] R. Fattal, "Single image dehazing," *ACM Trans. Graph.*, Vol.27, No.72, pp.1-9, 2008.
- [3] R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, Anchorage, USA, Jun., 2008.
- [4] S. K. Nayar and S. G. Narasimhan, "Vision in bad weather," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision*, pp.820-827, Kerkyra, Greece, Sept., 1999.
- [5] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1956-1963, Miami, USA, Jun., 2009.
- [6] X. Liu and J. Y. Hardeberg, "Fog removal algorithms: Survey and perceptual evaluation," *Visual Information Processing (EUVIP), 2013 4th European Workshop on*, pp.118-123, 2013.
- [7] J.-P. Tarel, N. Hautiere, L. Caraffa a, H. Halmaoui, and D. Gruyer, "Vision enhancement in homogeneous and heterogeneous," *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol.4, No.2, pp.6-20, 2012.
- [8] Y.-Q. Zhang, Y. Ding, J.-S. Xiao, J. Liu, and Z. Guo, "Visibility enhancement using an image filtering approach," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol.2012, No.1, pp.220, 2012.
- [9] X. Lan, L. Zhang, H. Shen, Q. Yuan, and H. Li, "Single image haze removal considering sensor blur and noise," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol.2013, No.1, pp.86, 2013.
- [10] J.-P. Tarel and N. Hautiere, "Fast visibility restoration from a single color or gray level image," *ICCV*, pp.2201-2208, 2009.
- [11] A. K. Tripathi and S. Mukhopadhyay, "Removal of fog from images: A review," *IETE Technical Review*, 2012.
- [12] N. Hautiere, J. P. Tarel, D. Aubert, and E. Dumont, "Blind contrast enhancement assessment by gradient ratioing at visible edges," *Image Analysis & Stereology*, Vol.27, No.2, pp.87-95, 2008.

- [13] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided image filtering," *IEEE Tans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol.35, No.6, pp.1397-1409, 2013.
- [14] Y.-H. Lai, Y.-L. Chen, and C. -T. Hsu, "Single-image dehazing via optimal transmission map under scene priors," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.25, No.1, 2015.
- [15] S. Mori, H. Nishida, and H. Yamada, "Optical Character Recognition," John Wiley&Sons Inc., 1999.



정 승 원

e-mail : swjung83@dongguk.edu
 2005년 고려대학교 전자공학과(학사)
 2011년 고려대학교 전기전자공학과(박사)
 2011년~2012년 고려대학교 정보통신연구소 연구교수
 2012년~2014년 삼성전자 종합기술원 전문연구원

2014년~현 재 동국대학교 멀티미디어공학과 조교수
 관심분야 : Computer Vision, Image Processing



이 성 민

e-mail : min4140@donggk.edu
 2014년 동국대학교 전자전기공학부(학사)
 2014년~현 재 동국대학교 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : Computer Vision, Image Processing



유 제 택

e-mail : yjtadd@add.re.kr
 1990년 인하대학교 전자공학과(학사)
 1999년 부산대학교 메카트로닉스공학과 (석사)

1990년~현 재 국방과학연구소 책임연구원
 관심분야 : Telemetry, Image-Signal Processing



나 성 응

e-mail : swra@cnu.ac.kr
 1976년 서울대학교 전기공학과(학사)
 1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)

1988년~현 재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
 관심분야 : Telecommunications, Digital Signal Processing, Image Processing