

논문 2012-50-4-20

# 그래프 기반 영역 분할 방법을 이용한 매체 전달량 계산과 가시성 복원

( Estimation of the Medium Transmission Using Graph-based Image  
Segmentation and Visibility Restoration )

김 상 균\*, 박 종 현\*\*, 박 순 영\*

( Sang-Kyoon Kim, Jong-Hyun Park, and Soon-Young Park )

## 요 약

일반적으로 외부에서 획득되는 영상은 대기 중에 존재하는 먼지, 물방울, 연무, 안개, 연기 등에 의해 화질이 감쇠되고 결과적으로 대비도 감소와 색상의 왜곡 현상이 발생한다. 그러나 안개와 배경 사이에 내재된 모호성 때문에 배경으로부터 안개를 제거하는 작업은 결코 간단한 문제가 아니다. 본 논문에서는 단일 영상에서 비용함수로서 에지의 기울기를 이용한 그래프 기반 영역 분할 방법을 이용하여 안개 제거를 위한 새로운 방법을 제안한다. 우리는 장면을 깊이 관련 정보에 따라 여러 영역으로 분리하고 전역적인 안개값을 추정한다. 매체의 전달량은 그래프 기반 영역 분할 알고리즘의 임계 함수에 의해서 직접적으로 계산된다. 매체 전달량과 안개값이 계산되면 안개 모델식에 의해서 쉽게 안개가 제거된 영상을 복원할 수 있다. 그리고 안개 영상과 복원된 영상간의 에지의 기울기 비율을 계산함으로써 기존의 연구 방법과 제안된 연구 방법의 가시성 복원 정도를 비교 평가하였다. 다양한 안개 영상에 대한 실험 결과 제안된 방법의 우수한 안개 제거 및 화질 복원 능력이 입증되었다.

## Abstract

In general, images of outdoor scenes often contain degradation due to dust, water drop, haze, fog, smoke and so on, as a result they cause the contrast reduction and color fading. Haze removal is not easier problem due to the inherent ambiguity between the haze and the underlying scene. So, we propose a novel method to solve single scene dehazing problem using the region segmentation based on graph algorithm that has used a gradient value as a cost function. We segment the scene into different regions according to depth-related information and then estimate the global atmospheric light. The medium transmission can be directly estimated by the threshold function of graph-based segmentation algorithm. After estimating the medium transmission, we can restore the haze-free scene. We evaluated the degree of the visibility restoration between the proposed method and the existing methods by calculating the gradient of the edge between the restored scene and the original scene. Results on a variety of outdoor haze scene demonstrated the powerful haze removal and enhanced image quality of the proposed method.

**Keywords** : 그래프 기반 영상분할, 안개제거, 정련, 가시성 평가, 양방향 필터

\* 정회원, 목포대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Eng., Mokpo National Univ.)

\*\* 정회원, 목포대학교 대불산학융합지구조성사업단  
(Daebul Industry-University Convergence Institute)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로  
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업  
임(No. 2012R1A1A4A01009097)

접수일자: 2013년1월7일, 수정완료일: 2013년3월18일

## I. 서 론

실외 환경에서 획득되어지는 많은 영상들은 다양한 외부 요인에 의해서 화질의 저하가 발생한다. 특히 안개, 연기, 비, 눈과 같은 날씨의 영향을 많이 받는다. 이러한 날씨에 의한 화질 저하는 카메라를 이용하는 비전

시스템이나 모니터링 시스템의 성능에 치명적인 문제를 야기할 수 있다. 최근에는 스마트 자동차 시스템으로 차량에 카메라를 설치하여 충돌이나 위험 요소를 감지하며 기존의 단순 녹화 방식의 블랙박스에 다양한 비전 기술을 융합하여 지능형 시스템으로 진화하고 있다. 그러나 이러한 시스템 발전의 최대 걸림돌로 날씨에 의한 환경적 요인이 있다. 특히 안개는 빛의 산란과 감쇠로 인하여 주변 영역의 색상을 모두 비슷하게 만들고 채도를 매우 떨어지게 하여 객체의 형태를 구별하기 힘들게 한다. 그러므로 객체의 색상이나 움직임을 바탕으로 객체를 검출하고 추적하는 비전 기술들의 성능은 형편없이 떨어진다. 그래서 안개에 의해서 감쇠된 영상에 대해 화질을 개선하고 가시성을 복원하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

기존의 연구 방법은 편광 필터를 이용하는 방법으로 동일한 장소에서 각기 다른 편광 필터를 이용하여 2장의 영상을 획득하여 편광에 의한 차를 계산하여 안개를 제거한다<sup>[11]</sup>. 그러나 이러한 방법은 동일한 위치에서 서로 다른 편광 필터를 사용해야 되는 단점이 있다. 또한 여러 장의 영상을 이용하는 방법으로 같은 위치에서 다양한 날씨 환경의 사진을 획득하여 안개값에 의해 서로 다른 밝기를 가지는 두 영상으로 부터 안개값과 깊이 정보를 구하는 방법으로 안개를 제거한다<sup>[10]</sup>. 또한 카메라에 내장된 GPS와 같은 부가 정보를 이용하여 깊이 정보를 추출하는 방법 등이 제안되었다<sup>[12]</sup>. 그러나 이러한 방법들은 일반적인 영상에 적용할 수 없는 문제점이 있다.

최근에는 단일 영상을 이용한 다양한 안개 제거 방법들이 제안되고 있다. 특히, *R. Tan* 은 안개가 없는 영상은 안개 영상에 비해 높은 대비도를 가진다는 가정과 주변 화소들은 동일한 감쇠 영향을 받는다는 가정하에서 국부 대비도를 최대화시켰으며 안개 제거를 위한 최적화 방법으로 MRF(Markov Random Field)를 이용하였다<sup>[1]</sup>. *Fattal* 은 음영과 전달 신호는 낮은 상관도를 가진다고 생각하여 전달량을 계산하기 위해 독립 성분 분석(ICA) 기법과 MRF를 이용하여 영상의 전체 영역에 대한 색상을 추정하였다<sup>[2]</sup>. *Tarel* 은 실시간 처리에 의한 화질 개선 방법을 제안하였으며 고정된 안개값 보다는 영상 전체에 대한 안개값을 계산하였으며 가시성 복원을 위해 미디언 필터를 사용하고 시각화를 위해 톤 매핑(tone mapping)을 수행하였다<sup>[3]</sup>. 그리고 최근 안개

제거 알고리즘으로 가장 각광받고 있는 알고리즘으로 *He et al.* 가 제안한 Dark Channel Prior 이 있다<sup>[4]</sup>. *He et al.* 는 블랙바디 이론을 기초로 하늘을 포함하지 않는 모든 국부 영역 또는 윈도우 영역은 적어도 하나 이상의 색상 성분이 0 에 가깝다는 통계적 분석을 통하여 전달량을 계산하였으며 급격한 경계 변화에 의한 전달량 불일치로 인한 후광 효과 (artifact effect)를 해소하기 위하여 *Levin et al.* 이 제안한 소프트 매팅 알고리즘 (soft matting algorithm) 을 적용하였다<sup>[5]</sup>. 그렇지만 이 방법은 매우 큰 매팅 행렬을 이용하기 때문에 많은 메모리 용량과 계산 시간을 요구하는 단점이 있다. *Kopf et al.* 은 GPS를 이용하여 장면의 각 픽셀에 대한 거리 정보를 사전에 알고 있다는 가정하에 3D 모델을 기반으로 한 안개 제거 방법을 제안하였다<sup>[12]</sup>.

따라서, 본 논문에서는 안개가 자욱한 영상에서 영상의 색상 성분을 복원하고 가시성을 확보하기 위한 안개 제거 방법으로서 그래프 기반 영역 분할 방법에 의한 깊이 정보 추정과 빠른 정련 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저 II장에서는 그래프 기반 영역 분할 방법과 안개량에 따른 전달량 추정 및 빠른 정련 필터 등에 대해 설명하고 III장에서는 다양한 영상에 대한 안개 제거 결과 및 영상 크기별 처리 시간 등을 보여준다. 또한 가시성 복원 정도를 평가하기 위해 기울기(gradient)비율을 계산하였으며 마지막으로 제안된 알고리즘의 빠른 계산 속도와 화질 복원에 대한 결론과 향후 연구 방향에 대해 설명한다.

## II. 그래프 기반 영역 분할에 따른 전달량 추정과 정련 방법

### 1. 안개 모델

물체로부터 카메라를 향해 들어오는 빛은 물체와 카메라의 가시선상에 존재하는 여러 가지 방해 인자 즉, 먼지, 물방울, 안개, 연기, 눈, 비 등에 의해서 감쇠와 산란의 영향을 받는다. 이러한 효과는 카메라로부터 물체까지의 거리가 증가함에 따라 더욱 증가된다. 컴퓨터 비전 또는 컴퓨터 그래픽스 분야에서 안개에 의한 감쇠 모델은 Koschmieder 의 법칙에 의해 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다<sup>[3, 10~11]</sup>.

$$I(x, y) = J(x, y)e^{-\beta d(x, y)} + A(1 - e^{-\beta d(x, y)}) \quad (1)$$

여기서,  $I(x,y)$ 는 카메라로부터 얻어지는 안개 영상이며,  $J(x,y)$ 는 최종적으로 구하고자 하는 영상으로 안개가 없는 깨끗한 영상을 나타내며,  $A$ 는 전역적인 안개값,  $\beta$ 는 감쇠 계수,  $d(x,y)$ 는 객체에서 카메라까지의 거리를 의미한다. 식(1)에서 첫 번째 항을 직접 감쇠(Direct Attenuation), 두 번째 항을 대기광(Airlight) 이라고 한다.

그리고 대기(Atmosphere)가 균일하다고 가정하였을 경우, 대기의 전달량은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

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

그러므로, 식(1)의 안개 모델로부터 깨끗한 영상  $J(x,y)$ 를 얻기 위해서는 거리에 따른 감쇠량을 나타내는 전달량  $t(x,y)$ 와 전역적인 안개값  $A$ 가 반드시 구해져야 한다. 그러나 단일 영상에서는 물리적인 거리  $d(x,y)$ 를 계산하는 것은 현실적으로 불가능하므로 본 논문에서는 그래프 기반 영역분할 방법을 이용한 상대적인 깊이 정보 추정에 의한 전달량을 계산한다. 단일 안개 영상으로부터 깨끗한 영상을 구하기 위한 전체적인 과정은 그림 1과 같다.

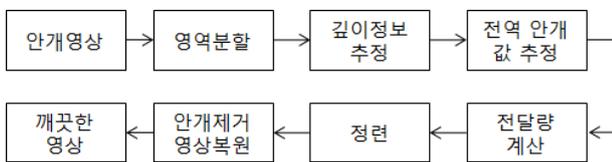


그림 1. 안개 제거를 위한 과정  
Fig. 1. Framework for fog removal.

## 2. 그래프 기반 영역 분할

본 논문은 그래프 기반 영역 분할 방법에서 영역 분할을 결정하는 두 개의 내부 영역과 각 영역간의 차이의 정도를 제어하는 임계함수를 이용하여 영역별 깊이를 추정하고자 한다. 안개 영상에서 분할된 각각의 영역은 유사한 밝기와 색상 성분을 갖고 있으며 물리적으로 동일한 반사 특성을 가지고 있다고 가정할 수 있다. 따라서 분할된 각 영역은 동일한 깊이 정보를 가지며 동일한 전달량을 가지고 있다고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 *F. Felzenszwalb et al.*에 의해서 제안된 그래프 기반 영역 분할 알고리즘을 적용하여 안개 영상을 분할하였다<sup>[6]</sup>. 그래프 기반 영역 분할 방법은 가우시안 필터의 표준편차  $\sigma$ 와 객체의 분할 크기를 결정하는  $k$

값에 따라 분할 영역의 특성을 조정할 수 있으며 빠른 분할 속도가 장점이다.  $\sigma$ 는 에지 가중치를 계산하기 전에 영상을 부드럽게 만들기 위한 가우시안 필터에 사용되며  $k$ 가 클수록 넓은 영역으로 분할되며 만약, 이웃 영역간의 차가 충분히 큰 경우에는 작은 영역으로 분할되는 것을 허용한다.

그래프 기반 영역 분할 알고리즘은 영상의 화소에 해당하는 정점인 노드  $v_i \in V$ 와 이웃 화소 쌍을 연결하는 에지  $E$ 로 구성된 그래프  $G=(V,E)$ 를 생성한다. 그리고 두 정점간의 비유사도를 기반으로 한 가중치를 계산하여 새로운 에지  $E'$ 을 갖는 그래프  $G'=(V',E')$ 에서 연결된 요소에 해당하는 각각의 영역으로 분할된다. 영역 분할은 두 요소내의 인접한 요소간의 비유사도 측정과 상대적인 두 요소의 경계를 따라 요소 사이의 비유사도 계산을 기초로 한다. 즉, 경계를 가로지르는 가중치( $w$ )의 차이와 동일 영역내의 이웃 화소간의 가중치 차이를 비교하여 두 영역의 분할을 결정한다. 다시 말하자면, 동일 요소 내부의 차이는 식(3)과 같이 최소 신장 트리 내에서 최대 가중치로 정의되고 두 요소 사이의 차이는 두 정점을 연결하는 최소 가중치로 정의되며 식 (4)와 같다.

$$\text{Int}(C) = \max_{e \in \text{MST}(C,E)} w(e) \quad (3)$$

$$\text{Dif}(C_1, C_2) = \min_{v_i \in C_1, v_j \in C_2, (v_i, v_j) \in E} w((v_i, v_j)) \quad (4)$$

그리고 두 요소간의 차이는 적어도 두 요소 중 하나의 내부의 차보다 상대적으로 매우 크다. 여기서 요소간의 차이가 최소 내부 차이보다 큰 정도를 결정하기 위해 임계 함수가 이용된다. 임계 함수는 각 요소, 즉 영역의 내부의 유사도와 영역간의 상대적인 비유사도를 바탕으로 영역을 분할하는데 기여한다. 영역 분할을 위한 조건은 식(5), (6)과 같다.

$$D(C_1, C_2) = \begin{cases} \text{true} & \text{if } \text{Dif}(C_1, C_2) > \text{MInt}(C_1, C_2) \\ \text{false} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{MInt}(C_1, C_2) = \min(\text{Int}(C_1) + \tau(C_1), \text{Int}(C_2) + \tau(C_2)) \quad (6)$$

또한 임계함수는 다음 식(7)과 같다.

$$\tau(C) = k/|C| \quad (7)$$

여기서,  $k$ 는 분할 영역의 크기를 결정하기 위한 상수이며,  $C$ 는 분할요소의 크기를 나타낸다.

따라서 본 논문에서는 임계 함수의 임계값을 깊이 정보 추정을 위한 방법으로 이용하고자 한다. 분할된 안개 영상을 관측한 결과, 안개 영역의 임계값은 매우 낮고 카메라와 가까울수록 임계값이 커지는 경향이 뚜렷하게 나타난다. 안개 영역은 균질 영역 (homogeneous region) 으로서 거의 에지 성분이 존재하지 않고 매우 평탄한 특성을 가지고 있는 반면 카메라와 가까운 영역일수록 색상 성분은 다양해지고 에지의 복잡성이 증가된다. 그리고 에지의 복잡성이 증가됨에 따라 분할된 영역의 내부 차이와 외부 영역간의 차이는 더욱더 커지게 되고 영역간의 차이는 각 영역의 내부 차이 보다 크게 되므로 카메라에 가까울수록 상대적으로 큰 값을 갖게 된다. 그림 2는 임계값에 따른 깊이 정보를 보여주고 있다. 밝을수록 가까운 영역을 의미하고 어두울수록 먼거리를 나타내고 있다.



(a)

(b)

그림 2. 그래프 기반 영역분할 알고리즘의 임계값에 의한 깊이 정보 (a) 안개 영상, (b) 깊이 맵.

Fig. 2. Depth information by threshold function of graph-based segmentation algorithm.

(a) Outdoor haze image, (b) Depth map.

## 2. 분할 영역에 따른 전달량 추정

### 가. 전역적인 안개값 $A$ 추정

전역적인 안개값  $A$ 는 전달량 계산이나 깨끗한 영상으로 복원하기 위해 필수적인 매우 중요한 값으로 활용된다. 식(1)의 두 번째 항은 대기광(Airlight)을 나타내며 만약 거리가 거의 무한대인 경우 지수항은 0이되고 대기광은 전역적인 안개값  $A$ 와 동일해진다. 그러므로 전역적인 안개값  $A$ 는 하늘색 또는 수평선 부근의 색과 일치한다. 대부분의 안개 영상의 경우 영상의 상단은 하늘 또는 수평선에 가까우며 거의 흰색에 가깝고 밝기의 변화가 일정하다. 따라서, 본 논문에서는 전역적인

안개값을 추정하기 위해서 그래프 기반 영역 분할 알고리즘에서 임계값이 가장 낮은 영역을 안개 영역으로 선택하였으며 이 영역에서 가장 밝은 색상을 전역적인 안개값  $A$ 로 설정하였다.

### 나. 전달량 계산

그래프 기반 영역 분할 방법에 의해 추정된 깊이 정보는 영역 분할 정도에 따라 다양한 범위로 나타날 수 있다. 그러므로 추정된 깊이 정보로부터 전달량을 계산하기 위해서는 정규화를 위한 과정이 필요하다. 본 논문에서는 추정된 깊이 정보의 평균값을 계산하고 Log 함수를 이용하여 전달량을 정규화하였다. 깊이 정보에 대한 전달량 계산은 다음 식(8)과 같이 이루어진다.

$$\hat{t}(x) = \log(x_0 + \alpha x) \quad (8)$$

여기서,  $x_0$ 는  $\log(d)$  함수의 특성을 이용하여 정규화를 위한 인자의 값을  $d > 1$  가 되도록 만들고 출력 범위를  $[0, 1]$  이 되도록 하기 위해 사용하였으며  $x_0$ 의 값을 크게 할수록 안개 영역의 대비도는 개선되는 반면에 카메라와 가까운 영역에서는 색상의 과포화 현상(oversaturation) 이 발생한다. 본 논문에서는  $x_0 = 1.4$  를 이용하였다. 그리고 깊이 정보에 따라 전달량을 조절하기 위한 척도로  $\alpha$ 를 이용하였다. 이 값은 다음 식(9)와 같이 계산된다.

$$\alpha = \frac{e^y - 1}{1.2 \overline{THF}} \quad (9)$$

여기서,  $\overline{THF}$ 는 영상 전체 영역에 대한 임계함수의 평균값이다.  $y$ 는 전달량 조절 척도를 계산하기 위해 통계적인 방법에 의해 결정한 값으로 본 논문에서는 0.8을 사용하였다.

### 3. 전달량 정련을 위한 빠른 양방향 필터

양방향 필터 (bilateral filter) 는 강한 에지를 보존하는 반면에 신호를 부드럽게 만드는 비선형 필터로 컴퓨터 비전, 그래픽스 분야의 다양한 문제 해결에 매우 효과적이다. 양방향 필터는 거리에 따라 감소하는 계수를 갖는 가중화된 화소값에 의해 근사되는 전통적인 도메인 필터와 영상의 밝기나 색상에 의한 비유사성에 따라 감소하는 가중치를 부여하여 영상의 값을 평균화하는 범위 필터로 구성되어 있다. 이런 특성으로 양방향 필

```

Fast Bilateral Filter

1. Initialize all  $w_{\downarrow} i_{\downarrow}$  and  $w_{\downarrow}$  values to 0.
2. Compute the minimum intensity value:

$$I_{\min} \leftarrow \min_{(X, Y) \in S} I(X, Y)$$

3. for each pixel  $(X, Y) \in S$  with an intensity  $I(X, Y) \in R$ 
  (a) Compute the homogeneous vector  $(wi, w)$ :

$$(wi, w) \leftarrow (I(X, Y), 1)$$

  (b) Compute the downsampled coordinates

$$(x, y, \zeta) \leftarrow \left( \left[ \frac{X}{s_s} \right], \left[ \frac{Y}{s_s} \right], \left[ \frac{I(X, Y) - I_{\min}}{s_r} \right] \right)$$

  (c) Update the downsampled  $S \times R$  space

$$\begin{pmatrix} w_{\downarrow} i_{\downarrow}(x, y, \zeta) \\ w_{\downarrow}(x, y, \zeta) \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} w_{\downarrow} i_{\downarrow}(x, y, \zeta) \\ w_{\downarrow}(x, y, \zeta) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} wi \\ w \end{pmatrix}$$

4. Convolve  $(w_{\downarrow} i_{\downarrow}, w_{\downarrow})$  with a 3D gaussian  $g$  whose parameters are  $\sigma_s/s_s$  and  $\sigma_r/s_r$ 

$$(w_{\downarrow}^b i_{\downarrow}^b, w_{\downarrow}^b) \leftarrow (w_{\downarrow} i_{\downarrow}, w_{\downarrow}) \otimes g$$

5. For each pixel  $(X, Y) \in S$  with an intensity  $I(x, Y) \in R$ 
  (a) Tri-linearly interpolate the functions  $w_{\downarrow}^b i_{\downarrow}^b$  and  $w_{\downarrow}^b$  to obtain  $W^b I^b$  and  $W^b$ 

$$W^b I^b(X, Y) \leftarrow \text{interpolate} \left( w_{\downarrow}^b i_{\downarrow}^b, \frac{X}{s_s}, \frac{Y}{s_s}, \frac{I(X, Y)}{s_r} \right)$$


$$W^b(X, Y) \leftarrow \text{interpolate} \left( w_{\downarrow}^b, \frac{X}{s_s}, \frac{Y}{s_s}, \frac{I(X, Y)}{s_r} \right)$$

  (b) Normalize the result

$$I^b(X, Y) \leftarrow \frac{W^b I^b(X, Y)}{W^b(X, Y)}$$


```

그림 3. 빠른 양방향 필터 의사코드.  
Fig. 3. Fast Bilateral Filter Pseudo code.

터는 에지의 세기에 따라 전달량이 불일치하는 경우 매우 효과적인 정련을 수행할 수 있다. 그러나 두 개의 가우시안 연산에 의해서 매우 많은 계산 시간을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 정련을 보다 효율적으로 수행하고 빠른 계산 처리를 위해 S. Paris et al. 가 제안한 "Fast Bilateral Filter"를 이용하여 정련을 수행하였으며 그림 3 는 정련에 사용된 의사코드(pseudo code)를 보여주고 있다<sup>[7-8]</sup>.

#### 4. 안개 영상 복원

안개 영상 복원은 식(1)로 부터 전역 안개값  $A$ 와 매체 전달량  $t(x)$ 를 계산하여 최종적으로 깨끗한 영상  $J(x)$ 를 구하는 것이다.

깨끗한 영상  $J(x)$ 는 식(1)으로부터 다음과 같이 간단하게 유도할 수 있다.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (10)$$

여기서, 전달량  $t(x)$ 와 전역 안개값  $A$ 는 제안된 방법에 의해 추정된 값이며  $t_0$ 는 전달량이 매우 적은 경우 무시하기 위한 항목으로 기존의 방법들과 마찬가지로 0.1로 설정하였다.

### III. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 안개 영상의 크기에 따른 실행 시간과 J. P. Tarel et al. 이 제안한 에지의 기울기(gradient) 비율을 계산함으로써 가시성 복원 정도를 평가하였다<sup>[3,9]</sup>.

먼저, 기존의 방법들과 제안된 방법에 대해 실행 시간을 계산하여 표 1.과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 제안된 방법은 그래프 기반 영역 분할 알고리즘의 임계값 수만을 이용하여 깊이 정보를 추정하고 전달량을 계산함으로 많은 계산량을 요구하지 않으므로 실행시간이 매우 빠르게 나타나며 하드웨어적인 처리나 부가적인 장치를 이용하지 않았음에도 불구하고 매우 빠른 처리 속도를 얻을 수 있었다.

그림 4는 표 1에서와 같이 기존의 방법과 제안된 방법의 실행 시간을 비교하기 위해 사용된 안개 영상들이다. 실험 결과, 기존의 방법들에 비해 매우 빠른 실행 시간을 갖는 반면에 그림 5에서 보는 것과 같이 색상의 열화없이 화질이 개선된 것을 알 수 있었다. 특히, 그림 5 (b)와 그림 6의 첫 번째 열에 있는 기존의 방법들과 비교했을 때 산 정상 부근의 바위 색상에서 열화 현상이 제안된 방법에서는 발생하지 않았다.

다음은 안개가 제거된 영상의 가시성 복원 척도를 비교하였다. 이 방법은 J. P. Tarel et al. 에 의해서 제안

표 1. 실행 시간 비교 (초)  
Table 1. Comparison of Running Time (sec).

안개영상	Fattal	Tan	He	Proposed
441x450	29.88	324.43	15.82	0.605
576x769	64.95	527.56	32.15	1.403
835x557	67.92	746.73	42.38	1.386
1000x327	47.24	249.30	23.15	1.06

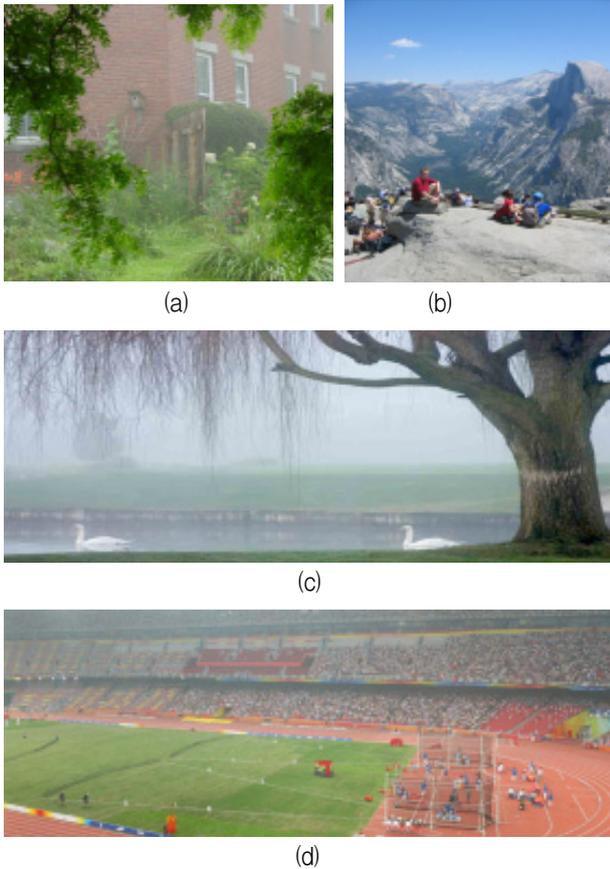


그림 4. 테스트 안개영상  
Fig. 4. Test Hazy Images.

된 방법으로 가시적인 에지 분할 방법을 사용한다. 비교 척도로  $e$ ,  $\bar{r}$ ,  $\sigma$  세 가지가 있으며  $e$ 는 복원 후 새로 나타나는 에지의 비율을 계산한 것으로 안개 영상에는 나타나지 않지만 복원된 영상에는 나타나는 에지의 비율이다.  $\bar{r}$ 은 복원 전후의 평균 기울기 비율로서 복원 알고리즘에 의해서 얻어지는 평균 가시성 향상 정도로 대비도 향상 정도를 평가한다. 마지막으로  $\sigma$ 는 복원 후 포화(over saturation)되는 즉, 복원 전 흰색 또는 검정색이 아니었던 색상이 복원 후 흰색 또는 검정색이 되는 화소의 퍼센트를 계산한 것이다. 보여지는 에지의 임계값은 국부 대비도의 5%로 설정하였다. 결과적으로  $e$ 와  $\bar{r}$ 이 높을수록  $\sigma$ 는 낮을수록 좋은 결과를 나타낸다<sup>[9]</sup>.

그림 6은 기존의 방법들과 제안된 방법에 대한 가시성 복원 척도를 비교 평가하기 위해 사용된 안개 영상들이며 항목별로 실험한 결과를 표 2, 표 3, 그리고 표 4에 나타냈다. 위 척도를 이용하여 복원된 영상을 비교한 결과, 새로 나타나는 에지의 비율은 *He et al.* 와

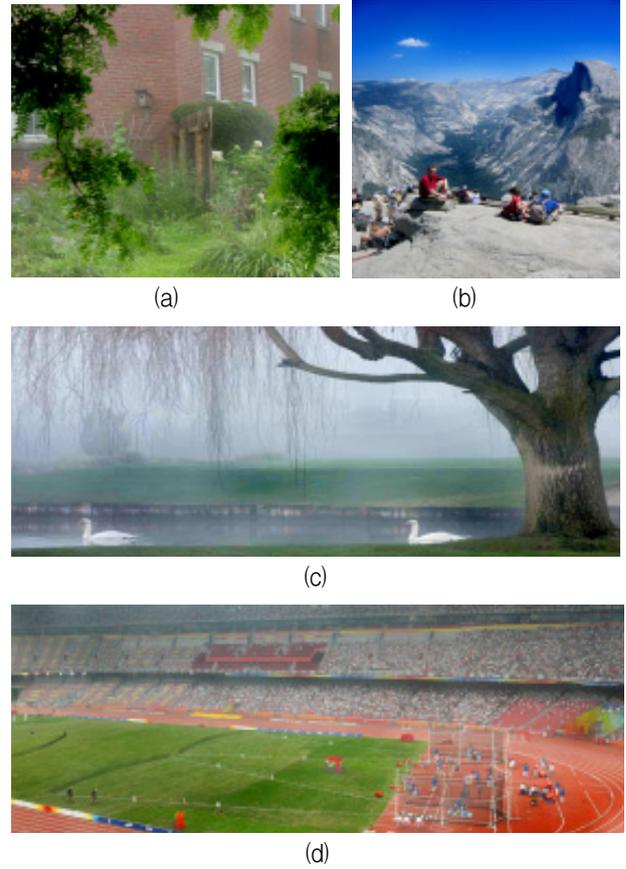


그림 5. 안개 제거 영상  
Fig. 5. Haze Removal Results.

표 2. 새로 보여지는 에지의 비율  $e$   
Table 2. Rate  $e$  of new visible edges.

$e$	Fattal	He	Tan	Tarel	Proposed
y16	0.058	0.131	0.016	0.241	0.110
ny12	0.054	0.048	0.083	0.145	0.023
ny17	0.106	0.023	0.041	0.110	0.037
y01	0.086	0.143	0.122	0.209	0.099

표 3. 보여지는 에지의 그래디언트의 평균 비율  $\bar{r}$   
Table 3. Mean ratio  $\bar{r}$  of the gradients at visible edges.

$\bar{r}$	Fattal	He	Tan	Tarel	Proposed
y16	1.203	1.367	2.060	1.958	1.147
ny12	1.288	1.398	2.180	1.762	1.189
ny17	1.535	1.630	2.190	1.706	1.172
y01	1.215	1.313	2.228	1.990	1.134

표 4. 완전히 흰색 또는 검정색으로 바뀌는 비율  
Table 4. Percentage of pixels which becomes completely black or white after restoration.

$\sigma$	Fattal	He	Tan	Tarel	Proposed
y16	0.149	0.152	0.447	0.000	0.239
ny12	0.641	0	1.836	0.000	0.493
ny17	1.699	0.014	0.765	0.000	3.329
y01	0.113	0.014	0.387	0.000	0.000

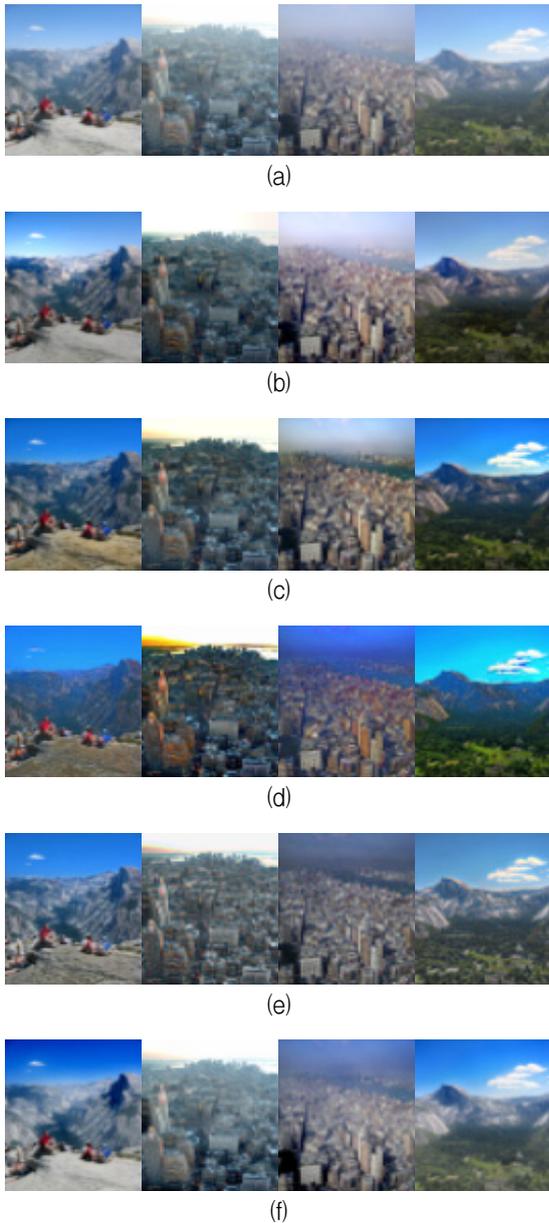


그림 6. (a) 입력 안개영상(y16, ny12, ny17, y01), (b) Fattal, (c) He et al., (d) Tan, (e) Tarel et al., (f) 제안된 방법에 대한 실험 결과.  
Fig. 6. (a) Input haze images(from left to right, y16, ny12, ny17, y01), (b) Fattal, (c) He et al., (d) Tan, (e) Tarel et al., (f) Proposed method.

비슷한 결과가 나타남을 알 수 있다. 또한 색상의 과포화 현상은 기존 방법과 유사한 결과를 보이며 평균 기울기 비율은 기존의 방법에 비해 낮게 나타났지만 그림 6의 실험 결과에서 보듯이 안개 제거 효과와 영상의 화질은 매우 좋게 나타남을 확인 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문은 그래프 기반 영역 분할 알고리즘의 임계값 수를 이용하여 안개 영상에 대한 깊이 정보와 매체의 전달량을 계산하였으며 빠른 양방향 필터를 이용하여 에지의 불일치에 의한 후광 효과를 제거하고 깨끗한 영상으로 복원하였다. 그리고 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 실행 시간과 기울기의 비율 등을 통한 가시성을 평가하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 매우 빠른 실행 시간을 가지며 가시성 복원 측면에서도 새로 보여지는 에지의 비율과 기울기 평균 비율 측면에서 기존의 방법과 유사한 결과를 보여주고 있음을 확인하였다. 그러나 복원 영상에 대한 다양한 평가 방법에 대한 부재와 주관적인 화질 개선 평가 등으로 기존의 방법들과 성능을 비교하는데 많은 문제점이 드러났다. 따라서 향후에는 안개 영상과 복원 영상의 화질을 비교할 수 있는 객관적인 방법에 대한 연구가 더 필요한 것으로 고려된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," in Proc. CVPR, pp. 1-8, June 2008.
- [2] R. Fattal, "Single image dehazing," ACM Trans. Graphics, vol. 27, no. 3, pp. 1-9, Aug. 2008.
- [3] J. P. Tarel and N. Hautiere, "Fast visibility restoration from a single color or gray level image," in Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV '09), pp. 2201-2208, Kyoto, Japan, 2009.
- [4] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," in Proc. CVPR, June 2009.
- [5] A. Levin, D. Lischinski, 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.
- [6] F. Felzenszwalb, D. P. Huttenlocher, "Efficient graph based image segmentation," Int'l J. of Computer Vision, vol. 59, pp. 167-181, 2004.
- [7] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in Proc. ICCV, pp. 839-846, Bombay, India, Jan. 1998.
- [8] S. Paris and F. Durand, "A fast approximation of the bilateral filter using a signal processing

approach,” Int’l J. of Computer Vision, vol. 81, no. 1, pp. 24-52, 2009.

[9] N. Hautiere, J. P. Tarel, D. Aubert, and E. Dumont. “Blind contrast enhancement assessment by gradient ratioing at visible edges,” Image Analysis & Stereology Journal, 27(2):87-95, June 2008.

[10] S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, “Chromatic Framework for Vision in Bad Weather,” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 598-605, 2000.

[11] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, “Instant dehazing of images using polarization,” IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 325-32, 2001.

[12] Kopf, J., B., Chen, B., Cohen, M., Cohen-Or, D., Deussen, O., Uyttendaele, M., and Lischinski, D., “Deep photo: model-based photograph enhancement and viewing,” ACM Transactions on Graphics, 27(5):116:1-116:10, 2008.

저 자 소 개



김 상 균(정회원)  
 1998년 목포대학교 전자공학과 학사  
 2000년 목포대학교 전자공학과 석사  
 2002년 목포대학교 전자공학과 박사 과정 수료.

<주관심분야 : 신호처리, 컴퓨터비전>



박 순 영(정회원)-교신저자  
 1982년 연세대학교 전자공학과 학사.  
 1984년 연세대학교 전자공학과 석사.  
 1989년 State University of New York 전기및컴퓨터공학과 박사.

1990년~현재 목포대학교 정보전자공학과 교수  
 <주관심분야: 영상 및 비디오처리, 컴퓨터비전>



박 중 현(정회원)  
 1995년 목포대학교 전자공학과 학사  
 1997년 목포대학교 전자공학과 석사  
 2001년 목포대학교 전자공학과 박사

2004년 10월~2006년 6월 University of Southern California, USA, Post Doc.

2006년 8월~2010년 5월 전남대학교 BK21 유비쿼터스정보가전사업단 연구교수

2010년 5월~2012년 1월 목포대학교 해상풍력중심 신재생에너지 연구교수

2012년 1월~2012년 8월 목포대학교 산학협력중점교수

2012년 8월~현재 목포대학교 대불산학융합지구 조성사업단 선임연구원

<주관심분야 : 컴퓨터비전, 의료영상처리, HCI, Wind turbine system and Condition Monitoring System 등>