

채도 보정 가중치와 영역 분할을 이용한 DCP 기반 단일 영상 안개 제거 알고리즘

홍석근¹ · 조석제[†]

(Received May 18, 2017 ; Revised July 19, 2017 ; Accepted July 26, 2017)

A DCP-based single image defogging algorithm using saturation correction weight and region segmentation

Seok-Keun Hong¹ · Seok-Je Cho[†]

요약: 본 논문에서는 안개 제거 과정에서 발생할 수 있는 채도 왜곡, 경계선 영역의 후광 효과(halo artifact) 및 전달량 정련(transmission refinement)에 소요되는 계산시간을 줄이기 위한 개선된 안개 제거 방법을 제안한다. 제안한 방법은 짙은 안개 영역에 놓은 피사체의 채도의 오추정을 방지하기 위해 처리 전후 영상의 채도비와 채도 보정 가중치를 짙은 안개 영역에 대해 적용하고, 후광 효과를 줄이기 위해 대비 향상 기법을 결합하여 사용한다. 그리고 과정 전반에 걸쳐 안개 제거 성능을 높이기 위해 안개 영상에서 하늘 영역을 분리하여 대기값을 추정하는 방법을 사용한다. 그리고 계산량을 줄이기 위해 별도의 전달량 정련 과정을 거치지 않고 MDCP(median dark channel prior)를 적용한다. 다수의 안개 영상에 대한 실험을 통해 제안한 방법이 기존의 방법들보다 효율적이고 우수함을 확인하였다.

주제어: 안개 제거, dark channel prior(DCP), 영역 분할, median dark channel prior(MDCP), 채도 보정

Abstract: In this paper, we propose an improved defogging method to reduce saturation distortion, halo artifacts, and computational time which are high in transmission refinement process. The proposed method uses the saturation ratio and the saturation correction weight of an image taken in a heavily foggy area, before and after processing, in combination with the contrast enhancement technique, to reduce the halo effect and prevent false estimation of the saturation of the object placed in the foggy area. In order to increase the performance of fog removal throughout the process, we estimate the atmospheric value by separating the sky region from the foggy image. In order to reduce the intensiveness of the calculation, the median dark channel prior is applied without a separate transmission refinement process. Experiments on multiple foggy images confirmed that the proposed method is more efficient than the existing methods.

Keywords: Defogging, Dark channel prior (DCP), Region segmentation, Median dark channel prior (MDCP), Saturation correction

1. 서론

최근 선박, 부두 및 해양플랜트의 모니터링과 감시를 위한 시스템에 대한 필요성이 대두되면서 해상 IT에 CCTV와 영상 처리 기술을 융합시키는 연구에 대한 관심도 증대되고 있다. 이를 위해서는 카메라와 같은 영상 센서로 획득한 장면을 분석하여 물체 인식 및 장면을 이해하는 컴퓨터 시각(computer vision)기술이 반드시 필요하다. 이 중 해무나 안개로 인해 컴퓨터 시각 기술의 성능을 저하되는 것을 방지하는 안개 제거(defogging) 방법에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다[1][2].

단일 안개 제거 방법은 한 장의 안개 영상에서 안개 영역을 판별하여 모호성을 제거하는 방법이다. Tan [1]은 인접한 화소들의 깊이(depth)가 비슷하고, 안개 영역에서의 밝

기 차이 총합이 안개 없는 영역보다 적다는 특성을 이용한 안개 영역 검출 방법을 제안하였고, Fattal [2]은 안개 영상에서 반사율을 추정하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다. Kim [3]은 안개 모델링에서 전달량을 대비 향상 비용 함수 최적화로 얻는 방법을 제안하였다.

He가 제안한 DCP(Dark Channel Prior) [4]를 이용한 방법은 안개 없는 영역에서는 화소의 RGB값 중 최소 채널값(dark channel)이 안개 영역의 화소와 비교해볼 때 매우 작은 값을 갖는다는 특성을 이용한다. DCP는 대표적인 안개 모델링 기반의 안개 제거 방법으로써 대기값(airlight)과 전달량을 추정한 후 안개 없는 영상을 도출해내는 방식이다. 이 방법의 장점은 다른 방법에 비해 결과 영상의 왜곡이 적다는 것이나 결과 영상의 대비가 다른 방법에 비해 좋아

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9979-2252>): Division of Control and Automation Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: sjcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4344

¹ R&D Center, Marinesoft Co., Ltd, E-mail: hsk@marinesoft.co.kr, Tel: 051-418-4930

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지기 쉽고, 블록 단위로 dark channel을 계산하기 때문에 경계 부근에서 뿌옇게 보이는 후광 현상이 발생하기 쉽다[5]. 후광 현상 억제를 위해 별도의 전달량 정련 과정을 거치지 만 계산량이 2.5배 정도 늘어난다는 문제점이 있다[6][7]. 계산량 증가 문제는 MDCP(median dark channel prior) [6]를 적용하면 개선되지만 정방향 윈도우 단위로 안개값이 추정 되는 DCP의 메커니즘을 그대로 수행하기 때문에 경계선 영역에서 조밀한 처리가 이뤄지지 않는다. 또 다른 문제는 무채색 피사체의 영역을 안개 영역으로 추정하기 쉽고 이로 인해 발생하는 채도 왜곡이다. 이를 해결하기 위해 히스토그램 기법과 DCP를 결합한 방법[8]이 제안되었으나 알고리즘이 복잡하고 채도 왜곡 문제가 발생한다.

본 논문에서는 안개 영상에서 전달량을 효율적으로 추정하여 안개를 제거하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 채도 왜곡 문제를 해결하기 위해 영역 분할을 통해 하늘 영역을 찾아 대기값 추정에 사용하고, 채도비를 입출력 영상의 안개 모델링으로 유도하여 채도 보정 가중치를 계산한다. 채도 보정 가중치는 전달량이 낮은 영역에 위치한 피사체의 채도가 왜곡되는 현상을 방지하는 역할을 한다. 그리고 계산량 감소를 위해 별도의 전달량 정련을 거치지 않고 MDCP를 적용한다. 이 과정에서 발생하는 저대비 문제와 후광 현상은 전달량 추정 과정에서 대비 향상 기법을 결합하여 개선한다. 안개 영상의 주어진 윈도우 영역에서 MDCP와 히스토그램 균등화를 결합한 비용 함수를 색상 왜곡을 최소화하는 방향으로 최적화할 수 있도록 색상 가중치를 이용하여 비용 함수를 조절하며 전달량을 추정한다. 이와 같은 방법들을 적용하여 색상 가중치를 포함한 비용 함수를 통해 안개 제거 영상의 저대비 문제, 색상 왜곡 및 후광 현상을 해결하였고, 채도의 왜곡을 줄일 수 있다.

2. 안개 모델과 DCP 기반 안개 제거 방법

2.1 안개 모델

안개 모델링을 이용한 안개 제거는 안개가 포함된 원영상에서 안개 영역을 검출하고 안개의 정도를 추정한 후 안개 영역에서 안개를 배제한 영상을 얻는 과정을 말한다. 가로축 h 및 세로축 v 으로 구성된 2차원 좌표 $x = (h, v)$ 에 대한 영상 $I(x)$ 은 안개 모델을 이용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[1][4][5].

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

여기서 $J(x)$ 은 안개가 제거된 영상이고, $t(x)$ 는 물체의 색이 산란되지 않고 카메라에 전달된 전달량이다. A 는 대기값이며 안개가 전체 화소에 영향을 준 정도를 나타낸다. 여기서 전달량 $t(x)$ 는 식 (2)와 같이 화소의 깊이에 대한 지수감소함수 형태로 표현된다.

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

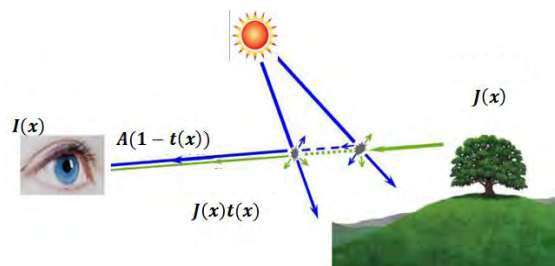
여기서 β 는 산란 계수(scattering coefficient)이고 $d(x)$ 는 화소위치 x 의 깊이를 나타낸다. 먼 물체일수록 깊이가 크기 때문에 안개에 의해 산란되는 정도도 커서 카메라까지 전달되는 정보가 감소함을 의미한다. 그리고 안개값 A 가 크게 반영되기 때문에 안개의 색이 더 강하게 나타나게 된다. 따라서 안개 제거 알고리즘은 안개 모델링 식 (1)에서 획득한 영상 $I(x)$ 에서 전역적 안개값 A 와 각 화소의 전달량 $t(x)$ 를 추정하여 $J(x)$ 를 계산하는 과정을 말한다. r, g, b 중 채널 c 에 대한 안개 제거 영상은 식 (3)과 같다[4].

$$J_c(x) = \frac{I_c(x) - A_c}{t_c(x)} + A_c \text{ when } c \in \{r, g, b\} \quad (3)$$

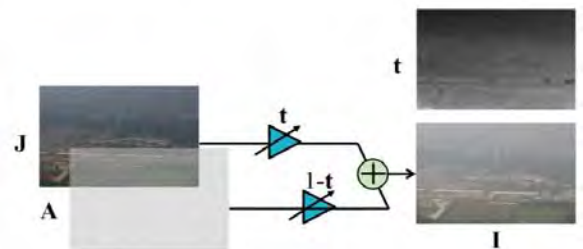
안개 모델링의 원리는 Figure 1 (a)와 같다. 우측의 소나무를 담은 원래 장면 $J(x)$ 는 안개가 끼었을 경우 안개를 구성하는 대기 중 성분에 의해 산란되는 등의 이유로 온전히 전달되지 못하고 안개가 포함된 채로 카메라나 사람의 눈에 도달하게 된다. 이는 대기 중에 산란된 빛의 양 $A\{1-t(x)\}$ 과 물체로부터 직접 반사되어 도달하는 빛의 양 $J(x)t(x)$ 이다. 이러한 모델링을 표현한 그림은 Figure 1 (b)와 같다. 안개 제거 영상 $J(x)$ 는 전역적 대기값 A 과 합성되어 안개 영상 $I(x)$ 를 발생시키는데 이 과정에서 전달량 $t(x)$ 가 적용된다.

2.2 DCP 기반의 안개 제거 방법

안개 영상에서 안개 영역은 전반적으로 무채색에 회색 계열의 색을 띠는 반면, 안개의 영향이 적거나 안개 없는 영역은 본래 피사체의 고유색을 잘 유지하는 특성을 갖는다. 특히 안개 없는 영역의 임의의 화소를 추출하여 r, g, b 채널을 분석해보면 이들 중 적어도 한 채널의 값이 0에 수렴하는 성질이 있음을 알 수 있다. DCP는 이러한 통계적 특성을 이용한다[4].



(a)



(b)

Figure 1: (a) Fog modelling (b) modeling via images

임의의 화소 x 를 중심으로 형성된 일정한 크기의 안개 영역 $\Omega(x)$ 의 dark channel $J_{dark}(x)$ 는 식 (4)과 같다.

$$J_{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J_c(y))) \quad (4)$$

여기서 y 는 중심화소 x 의 주변영역 $\Omega(x)$ 에 포함된 화소이고 $J_c(y)$ 는 화소 y 의 각 채널값이다. $J_{dark}(x)$ 는 영역 $\Omega(x)$ 의 각 화소별 r, g, b 중 가장 작은 채널값을 각 화소의 대푯값으로 하고, 이들 중 가장 작은 값을 취한다. 이때 안개가 없는 영역의 $J_{dark}(x)$ 는 0에 수렴한다. 안개 영상과 추출한 dark channel 예시는 Figure 2와 같다. 영상 하단의 나무에는 안개가 없기 때문에 dark channel이 0에 가깝게 나타난다.

획득된 안개 영상 $I(x)$ 에서, 임의의 안개 영역 $\Omega(x)$ 의 대기값 A 은 0이 될 수 없다는 전제하에 식 (1)에 식 (4)을 대입하여 각 화소별 전달량 $t(x)$ 를 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 전달량을 적용하면 흰색 또는 검은색 화소와 같은 포화된 화소가 많아지기 때문에 시각적으로 부자연스럽다. 이러한 점을 개선하기 위해 식 (5)와 같이 가중치 ω 를 적용하여 전달량을 계산한다[4].

$$t(x) = 1 - \omega \cdot \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I_c(y)}{A_c})) \quad (5)$$

이 때 ω 는 경험적인 수치 0.9 또는 0.95로 정하는 경우가 대부분이다. 대기값 A 는 각 채널별로 독립적으로 산출되며 영상에서 가장 높은 명암도로 간주하는게 일반적이다.

DCP 처리후 에지 영역의 보전을 위해 soft matting [4], guided filter [8][9], bilateral filter [7][10][11]를 이용하여 전달량 보정한다. 이 과정은 일종의 후처리 과정에 해당하며 후광 효과 등을 완화시킬 수 있으나 많은 계산량을 요구한다. 이를 개선하기 위해 전달량 계산 과정에서 중간값 필터를 적용하는 MDCP 방법이 제안되었다 [6]. 이는 식 (6)과 같다.

$$t(x) = 1 - \omega \cdot med_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I_c(y)}{A_c})) \quad (6)$$



Figure 2: dark channel evaluation (a) input fog image (b) dark channel of (a) by 15x15 window

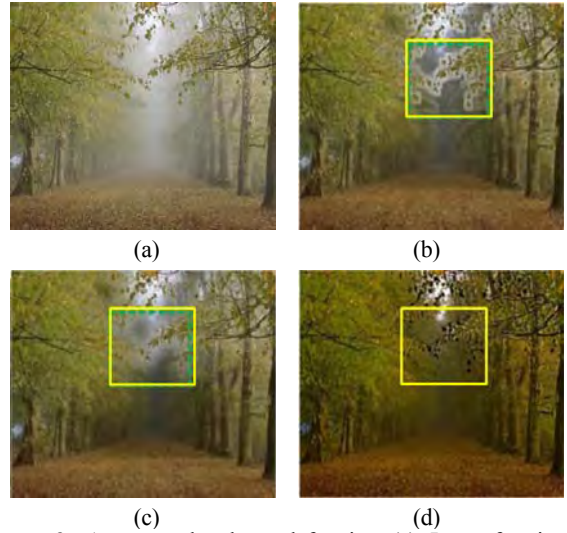


Figure 3: An example about defogging (a) Input fog image (b) defogging image with halo artifact before transmission map refinement (c) defogging image after transmission map refinement (d) defogging image using MDCP

DCP를 이용하여 안개를 제거한 결과의 예시를 Figure 3에 보였다. 입력 안개 영상은 Figure 3 (a), DCP만 적용하여 안개를 제거한 영상은 Figure 3 (b), soft matting으로 전달량 정련한 영상은 Figure 3 (c), 그리고 MDCP로 처리한 영상이 Figure 3 (d)이다. DCP만 적용했을 때 관심영역의 경계선 주변에 후광 현상이 두드러짐을 Figure 3 (b)를 통해 확인할 수 있으며, Figure 3 (c)와 같이 전달량 정련을 통해 완화시킬 수 있다. MDCP도 후광 현상을 억제하는데 효과는 있으나 안개 제거 후 채도를 왜곡시킬 수 있음을 Figure 3 (d)를 통해 확인할 수 있다.

3. 제안한 안개 제거 방법

제안한 방법의 순서도는 Figure 4와 같다. 안개 영상 $I(x)$ 를 HSI 영역으로 표현하고 채도에 곱해질 가중치 $w_{ts}(x)$ 를 계산하고 적용한다. 채도 가중치가 적용된 안개 영상 $I_{sw}(x)$ 에 영역 분할을 적용하여 하늘 영역 $SR(x)$ 를 검출하고 전역적 대기값 A 를 계산한다. 그리고 $M \times M$ 크기의 윈도우를 기반으로 MDCP를 이용해 기준 전달량 $t_{dark}(x)$ 를 구한다. 이후 MDCP와 대비 향상 기법이 결합된 비용 함수에 $t_{dark}(x)$ 를 적용하여 전달량 맵 $t(x)$ 를 계산한다. 이 과정에서 안개 유무와 상관없이 일정한 색상 가중치 $w_{hue}(x)$ 를 계산하여 비용함수에 적용한다.

3.1 채도 보정 가중치

채도 보정 가중치는 안개값과 안개 영상과의 관계를 이용해 계산한다. 안개 영상에 DCP를 적용하는 과정에서 무채색의 물체 영역이 안개 영역으로 판단되는 경우가 있다. 해당 영역에 안개가 없더라도 물체가 무채색이라면 계산 과정에서 최소 채널값이 다소 높게 나타나기 때문이다. 이

러한 현상은 무채색 물체 영역에 비슷한 밝기의 안개가 분포되어 있는 경우에도 발생한다. 이와 같은 경우에 적은 전달량으로 인해 안개 제거 과정에서 무채색 물체에 색상이 입혀져 있는 등의 문제가 발생한다.

이러한 특성은 **Figure 5**를 통해 확인할 수 있다. 해당 영역의 대기값이 100이라고 했을 때, 전달량이 0.5이상 범위, 즉 전달량이 클 때는 화소값의 변화에 상관없이 채도비가 1에 수렴한다. 이는 안개 제거 전후 채도의 왜곡이 없다는 의미이다. 반면 안개값과 화소값의 차이가 적어질수록 낮은 전달량에서 채도비가 기하급수적으로 늘어나는 것을 볼 수 있다. 이는 그만큼 채도가 왜곡될 여지가 크다는 의미이다. 특히 안개값보다 화소값이 작을 때 채도비가 더 커지는데 이 경우에는 실제로 안개 영상에서는 안개색만 나타나는, 즉 원래 물체색이 온전히 전달되지 못하는 경우를 말한다. 따라서 이를 보정해 줄 가중치가 필요하다. 제안한 방법은 채도 보정 가중치를 안개 제거 전 영상에 적용한다.

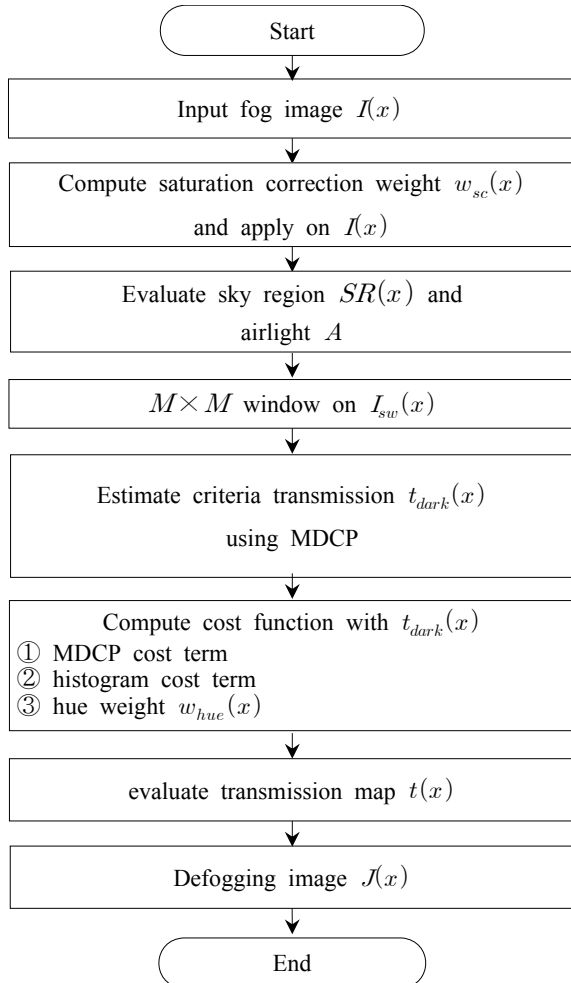


Figure 4: Summary of processing step of the proposed method

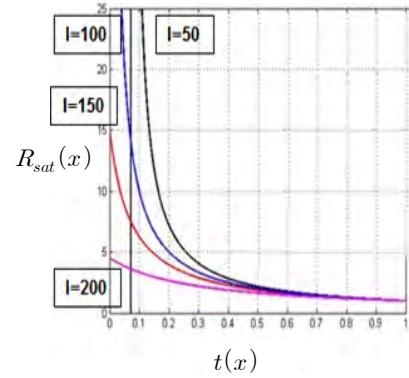


Figure 5: A graph about saturation ratio according to transmission value ($A = 100$)

안개 영상 $I(x)$ 와 안개 제거 영상 $J(x)$ 의 채도는 HSI 색공간의 채도 변환식에 의해 각각 식 (7)과 식 (8)과 같다.

$$Sat_I(x) = 1 - \frac{\min(r_f, g_f, b_f)}{I_f} \quad (7)$$

$$Sat_J(x) = 1 - \frac{\min(r_f, g_f, b_f)}{I_f} \quad (8)$$

안개 제거 전후 영상 각 화소의 최소 채널은 그 값은 변하지만 최소 채널 자체는 동일하다. 이러한 성질을 이용하여 구해지는 채도비 R_{sat} 는 식 (9)와 같다.

$$R_{sat}(x) = \frac{Sat_I(x)}{Sat_J(x)} = \frac{I(x)}{I(x) - [1 - t(x)]A} \quad (9)$$

화소값과 대기값의 차이가 적을 때 전달량을 낮게 보정해 주기 위해 제안한 방법은 가중치 $w_{ts}(x)$ 를 대기값과 화소값에 대한 가우시안 함수로 표현하였고 이는 식 (10)과 같다.

$$w_{ts}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(I(x) - A)^2}{2\sigma^2}\right) + 1 \quad \text{if } |I(x) - A| < T \quad (10)$$

안개 영상에 곱해질 채도 보정 가중치는 다음과 같다.

$$R_{sat}(x) = \omega_{sc}(x) = \frac{I(x)}{I(x) - [1 - \omega_{sc}(x)t(x)]A} \quad (11)$$

제안한 채도 보정 가중치의 효과는 **Figure 6**을 통해 확인할 수 있다. **Figure 6 (a)**와 같이 안개 영역에 무채색 건물이 겹쳐져 있을 경우 **Figure 6 (b)**와 같이 건물의 색이 왜곡되어 나타난다. 제안한 채도 보정 가중치를 적용하여 얻은 영상이 **Figure 6 (c)**이다. 기존 방법에서 주변 조명색과 유사하게 나타난 건물의 색이 왜곡되지 않았음을 확인할 수 있다.

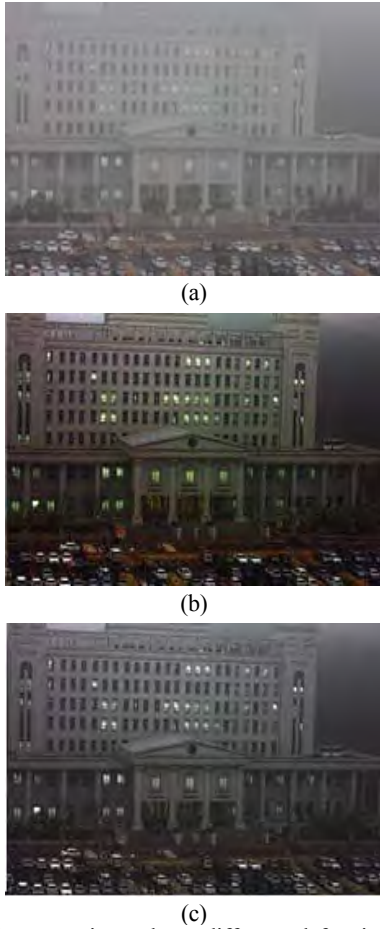


Figure 6: A comparison about different defogging image according to saturation weight (a) input fog image (b) defogging image using MDCP (c) defogging image using saturation weight

3.2 영역 분할과 대기값 계산

제안한 방법은 안개 영상에서 색상 및 채도 왜곡을 줄이기 위해 영역 분할을 통해 하늘 영역을 검출하고 대기값 A 를 얻는다. 제안한 하늘 영역 검출 순서는 **Figure 7**과 같다. 채도 보정된 안개 영상 $I_{sw}(x)$ 전체에 대해 차분연산을 수행하여 기울기 영상 $G(x)$ 를 얻고 이진화한다. 이진화 영상에서 각 영역들에 대해 모폴로지 침식 연산 수행후 라벨링을 수행하고 그 중 영상 전체의 평균 명암도보다 큰 영역들 중 가장 큰 영역을 하늘 영역으로 간주한다.

보통 영상에서 하늘은 깊이가 거의 무한대에 가깝고 이웃 화소와의 차분 연산 결과가 거의 0에 수렴한다. 그리고 순백색 피사체를 제외하고 명암도가 가장 높으며 넓은 영역에 걸쳐서 분포되어 있다. 제안한 방법의 기울기 연산은 하늘 영역의 차분 연산 특성을 판별하기 위해 적용한다. 평균 명암도와 비교 후 가장 큰 넓은 영역을 선택하는 것도 또한 하늘 영상의 특성을 반영하기 위함이다. 제안한 방법으로 영역 분할을 수행한 예가 **Figure 8**과 같다. 흰 영역들이 평균 명암도보다 큰 영역들이며 이들 중 가장 큰 최상단 영역을 하늘 영역으로 판별한다.

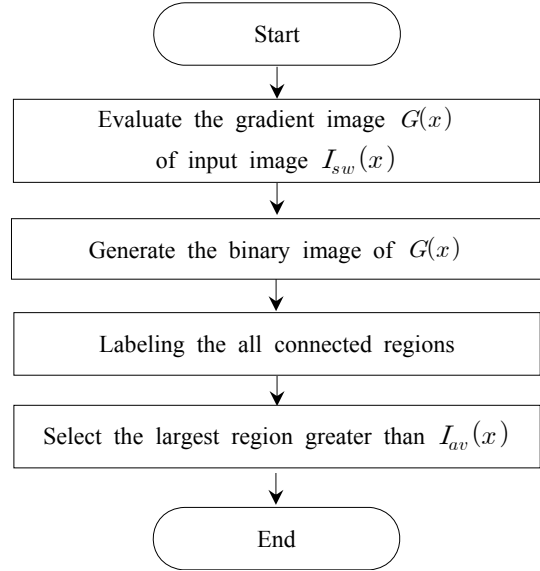


Figure 7: Processing step of the sky region detection

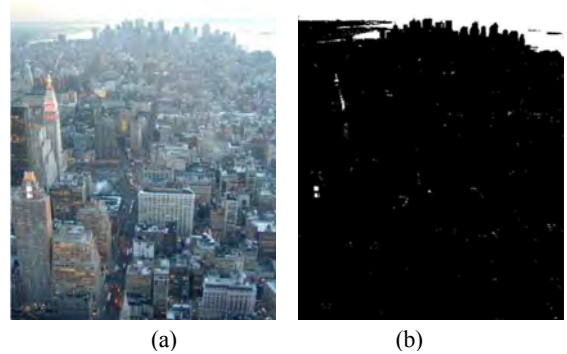


Figure 8: Region segmentation (a) input fog image (b) white :sky region candidates, black : non-sky region

하늘 영역을 검출한 후 대기값을 결정해야 한다. 기존의 안개 모델링 기반 방법들은 경험적으로 0.9~0.95로 설정하는게 일반적이었다. 그러나 노을 등 특정 색이 섞여 있거나 안개 자체가 전반적으로 짙게 분포되어 있는 경우 위와 같이 대기값을 설정한다면 별도의 색상 보정 과정을 거쳐야 한다. 제안한 방법은 검출된 하늘 영역의 평균 명암도를 대기값으로 설정한다. 이는 본래 안개 모델링에서 대기값이 갖는 의미인 깊이가 가장 큰 화소의 값이라는 의미에도 부합될 뿐만 아니라 안개 자체가 유색광에 영향을 받은 경우에도 피사체의 색상의 왜곡을 최소화할 수 있다.

3.3 전달량 추정

제안한 방법의 비용 함수는 MDCP 항과 히스토그램 균등화 항의 가중합으로 표현되며, 적용하는 가중치는 해당 영역의 안개 제거 전의 색상(hue)값과 현재 전달량에 의해 얻어진 새로운 색상값의 비로 결정된다. 최적 전달량 $t(x)$ 에 대한 총 비용함수 $S_{total}(t(x))$ 는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{total}(t(x)) = \omega_{hue} S_{HE}(t(x)) + (1 - \omega_{hue}) S_{MD}(t(x)) \quad (12)$$

$S_{total}(t(x))$ 를 구성하는 MDCP항 $S_{MD}(t(x))$ 과 히스토그램항 $S_{HE}(t(x))$ 은 각각 식 (13)과 식 (14)로 표현된다.

$$S_{MD}(t(x)) = \left\| \sum_{c \in \{r, g, b\}} \left[\sum_{x=1}^{M^2} \frac{\{J_{dark}(x) - J_c(t(x))\}}{M^2 3L} \right] \right\| \quad (13)$$

$$S_{HE}(t(x)) = \frac{1}{M^2} \left\| \sum_{x=1}^{M^2} \left[\sum_{i=0}^{L-1} \left\{ \frac{1}{L} - \frac{h_i(t(x))}{M^2} \right\} \right] \right\| \quad (14)$$

여기서 $J_{dark}(x)$ 는 $M \times M$ 윈도우내의 화소 x 에 대해 MDCP를 이용해 사전에 얻은 기준 전달량 $t_{dark}(x)$ 에 의해 안개를 제거한 후 도출된 x 의 화소값이다. 이때 화소값의 동적범위는 $[0, L-1]$ 이고 최대값은 8비트 최대치인 255이다. $J_c(t(x))$ 는 특정 전달량 $t(x)$ 에 대한 안개 제거 결과 얻은 화소값이다. $h_i(t(x))$ 는 현재 화소 x 에서의 임의의 전달량 $t(x)$ 에 대해 얻어진 x 의 화소값 i 에 해당하는 히스토그램의 bin값이며 해당 윈도우 영역에서 히스토그램 성분들이 균등하게 분포될수록 작은 값을 갖는다.

총비용함수의 가중합에 적용되는 가중치는 안개 제거 과정에서 색상이 왜곡되는 것을 방지하기 위해 먼저 전달량에 대한 색상 함수 $F(t(x))$ 는 식 (15)와 같이 계산한다.

$$F(t(x)) = \left\| \sum_{x=1}^{M^2} \frac{g_{hue}(H(J_{dark}(x)) - H(J(t(x))))}{M^2} \right\| \quad (15)$$

색상 함수 $H(J_{dark}(x))$ 는 기준 전달량 $t_{dark}(x)$ 를 적용하여 안개를 제거한 영상에서 특정 화소 x 의 hue값이고 $H(J(t(x)))$ 는 실제 구해야 할 전달량 $t(x)$ 에 대한 특정 화소 x 의 hue값이다. g_{hue} 는 HSI 색공간 상에서 H가 360° 주기로 반복되기 때문에 식 (16)과 같다[12].

$$g_{hue}(x) = \begin{cases} x, & x < 180^\circ \\ 360^\circ - x, & o.w. \end{cases} \quad (16)$$

색상 가중치 ω_{hue} 는 색상함수 $F(t)$ 를 이용하여 식 (17)과 같이 지수함수로 나타낼 수 있다.

$$\omega_{hue} = \exp\left(-\frac{F(t(x))^2}{2\sigma^2}\right) \quad (17)$$

히스토그램항으로 최적화되는 전달량은 색상 왜곡을 발생시킬 여지가 비교적 크기 때문에 이 경우 또한 $F(t)$ 가 증가하므로 $S_{HE}(t(x))$ 의 비중을 낮춰줌으로써 색상 왜곡을 방지할 수 있다.

4. 실험 및 고찰

제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 안개 분포의 특성에 따른 결과 영상을 제시하고 기존의 DCP 방법[4]과 대비 향상-DCP 결합 방법[8]의 결과와 비교하였다. 분포 특성이

다른 다양한 안개 영상에 대해 실험하였고, 성능 비교를 위해 정성적인 특성 분석과 정량적인 척도를 계산하여 비교 제시하였다. 제안한 방법의 처리과정에서 사용된 각종 파라미터 등 실험 조건들은 Table 1과 같다.

Table 1: Experiment conditions about proposed method

item	value
window size of MDCP	15×15
window size of erode	5×5
σ of ω_{hue}	0.5
threshold (binary image)	0.8
σ of ω_{sc}	0.1

전역적 안개 영상과 안개 제거 영상은 Figure 9과 같다. 안개영상은 Figure 9 (a)와 같이 다양한 깊이의 피사체가 공존한다. DCP를 이용한 방법은 Figure 9 (b)와 같이 바위 영역의 세세한 경계선들이 비교적 모호해졌고 결과 영상들 중 대비가 가장 좋다. 대비향상기법과 결합한 방법의 결과인 Figure 9 (c)는 DCP보다 대비가 향상되었고 특히 하단의 바위색이 복원되었다. 제안한 방법의 결과인 Figure 9 (d)는 하늘 영역의 파란색을 반영한 대기값을 이용하기 때문에 Figure 9 (c)보다 바닥의 색을 더 잘 복원하였다.

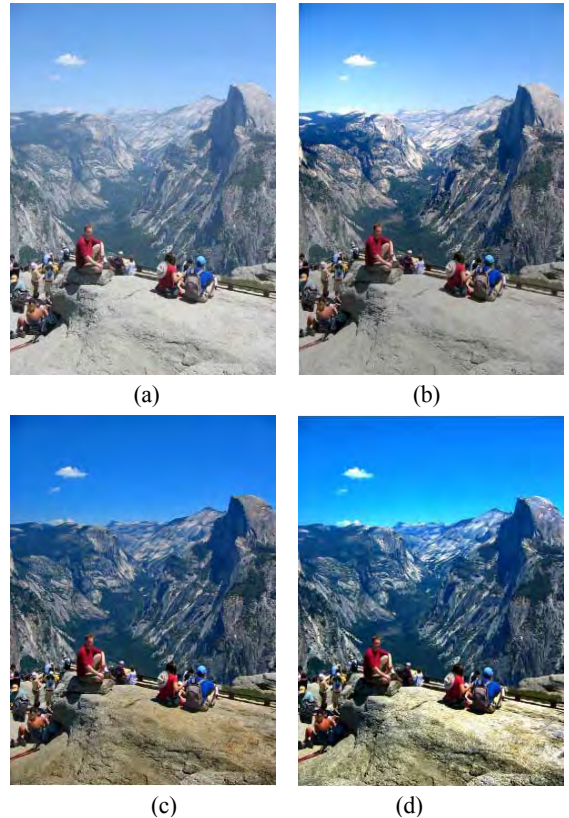


Figure 9: Testbed image 1 and Results (a) Input fog image (b) DCP [4] (c) Yang's method [8] and (d) proposed method

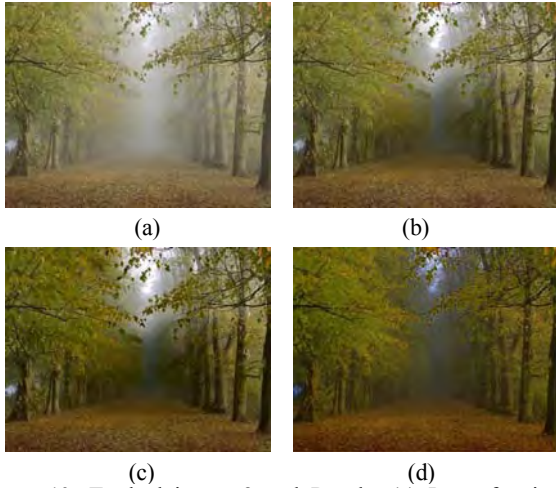


Figure 10: Testbed image 2 and Results (a) Input fog image (b) DCP [4] (c) Yang's method[8] and (d) proposed method

두 번째 실험영상은 Figure 10과 같이 근거리 사물을 제외한 배경영역에 안개가 보인다. DCP 처리 결과는 Figure 10 (b)이다. 좌측에 보이는 나뭇가지와 잎 뒤쪽의 안개 영역과 겹치는 부분에서 안개가 제거되지 못하고 후광 현상이 발생하였고, 우측 상단에 걸쳐진 나뭇잎들의 경계가 뭉개져 있다. 이는 안개 영역의 전달량을 추정하는 과정에서 사물의 경계선을 명확히 반영하지 못하기 때문에 발생한다. 대비향상과 결합한 방법은 Figure (c)와 같이 나뭇잎과 가지들의 경계를 잘 복원했지만 안개의 영향을 많이 받았던 중앙의 나뭇잎의 채도가 과포화 상태로 나타난다. 제안한 방법은 채도 보정 가중치를 적용하였기 때문에 채도 왜곡을 방지할 수 있음을 Figure (d)를 통해 확인할 수 있다.

객관적인 성능 비교를 위해 정량적인 성능척도를 계산하였다. 각각의 항은 연산시간, 입출력 영상 에지 비율 및 포화도이다. 입출력 영상의 에지 비율 e 은 안개 제거 후 복원된 에지의 양을 가늠할 수 있으며 식 (18)와 같다[13].

$$e = \frac{n_d}{n_f} \quad (18)$$

n_d, n_f 는 각각 안개 제거 영상의 에지 화소수와 안개 영상의 에지 화소수이다. 포화도 σ 는 안개 제거 후 영상의 동적 범위의 양극값을 갖는 화소들의 비율을 의미한다[13].

$$\sigma = \frac{n_{sat}}{\dim_x \times \dim_y} \quad (19)$$

실험에 사용한 영상은 Figure 11과 같다. 왼쪽부터 순서대로 testbed 1, 2, 3이다. 정량적 성능척도 계산결과는 다음과 같다. 에지 비율 e 는 안개로 가려진 영역의 에지가 안개 제거 후 복원되는 정도를 나타내기 때문에 클수록 성능이 좋을수록 의미한다. 반면 포화도 σ 는 안개 제거 후 심한 안개 영역에 해당하는 흰색 화소의 감소율을 나타내므로 작을수록 왜곡이 적다고 볼 수 있다.



Figure 11: Testbed image set

Table 2: Comparison about Computational time (sec)

image	DCP [4]	Yang [8]	Proposed method
testbed 1	1.336	0.944	0.48
testbed 2	0.745	0.395	0.248
testbed 3	0.464	0.26	0.167

Table 3: Comparison about Performance measure (e)

image	DCP [4]	Yang [8]	Proposed method
testbed 1	1.58	1.64	1.75
testbed 2	1.21	1.42	1.39
testbed 3	1.15	1.27	1.33

Table 4: Comparison about Performance measure (σ)

image	DCP [4]	Yang [8]	Proposed method
testbed 1	0.24	0.33	0.19
testbed 2	0.57	0.67	0.54
testbed 3	0.66	0.58	0.48

5. 결론

본 논문에서는 안개 제거 과정에서 발생하는 채도 왜곡을 방지하고 전달량을 효율적으로 추정하기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 채도 왜곡 문제를 해결하기 위해 영역 분할을 통해 하늘 영역을 찾아 대기값 추정을 추정하고 채도비율 이용한 채도 보정 가중치를 계산하여 적용하였다. 그리고 계산량 감소를 위해 별도의 전달량 정련을 거치지 않고 MDCP를 적용하였고 저대비 문제와 후광 현상은 전달량 추정 과정에서 대비 향상 기법을 결합하여 개선하였다. 이와 같은 방법들을 적용하여 색상 가중치를 포함한 비용함수를 통해 안개 제거 영상의 저대비 문제, 색상 왜곡 및 후광 현상을 해결하였고, 채도의 왜곡을 줄일 수 있었다. 실험을 통해 제안한 방법은 기존의 방법으로 안개를 제거할 때 발생하는 과포화 현상과 후광 현상 등을 줄이는데 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

References

- [1] R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1-8, 2008.
- [2] R. Fattal, "Single image dehazing," ACM Transactions on Graphics, vol. 27, no. 3, pp. 1-9, 2008.
- [3] J. H. Kim, J. Y. Sim, and C. S. Kim, "Single image

- dehazing based on contrast enhancement,” Proceedings of the IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 1273-1276, 2011.
- [4] K. He, J. Sun, and X. Tang, “Single image haze removal using dark channel prior,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353, 2011.
- [5] K. Gibson, D. Vo, and T. Nguyen, “An investigation of dehazing effects on image and video coding,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 21, no. 2, pp. 662-673, 2012.
- [6] Q. Zhu, J. Mai, and L. Shao, “A fast single image haze removal algorithm using color attenuation prior,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 11, pp. 3522-3533, 2015.
- [7] S. Huang, B. Chen, and W. Wang, “Visibility restoration of single hazy images captured in real-world weather conditions,” IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 24, no. 10 pp. 1814-1824, 2014.
- [8] S. Yang, J. Yang, S. Hong, and S. Cho, “A single image defogging algorithm based on multi-resolution method using histogram information and dark channel prior,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 6, pp. 649-655, 2015 (in Korean).
- [9] K. He, J. Sun, and X. Tang, “Guided image filtering,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, 2013.
- [10] Y. Zhang, W. Huang, W. Bi, and G. Gao, “Colorful image enhancement algorithm based on guided filter and Retinex,” IEEE International Conference on Signal and Image Processing, pp. 33-36, 2016.
- [11] S. Hong and S. Cho, “A single image defogging algorithm using histogram analysis and bilateral filter based on dark channel prior,” Proceedings of the Korean Society of Marine Engineering Fall Conference, p. 168, 2013 (in Korean).
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Third Edition, Prentice Hall, 2007.
- [13] J. Kopf, B. Neubert, B. Chen, M. Cohen, C. Cohen-Or, O. Deussen, M. Uyttendaele, and D. Lischinski, “Deep photo: Model-based photograph enhancement and viewing,” ACM Transactions on Graphics, vol. 27, no. 5, pp. 1-10, 2008.