

색상 분석, 보정을 이용한 안개 제거 알고리즘

*엄태하 **이근민 ***김원하

경희대학교 전자전파공학과

*geniuth@gmail.com

요약

본 논문에서는 영상의 Intensity와 색상의 채도 분석을 통한 안개 강도 측정과 제거, 그리고 색상을 보정하는 방법을 제안한다. 이를 위해 영상에서 안개가 많은 지역과 적은 지역을 히스토그램을 통해 분석하고 안개 강도 맵을 만들어 안개의 양에 따라 안개를 제거한다. 안개로 인하여 악화된 영상의 색상은 HSI 공간에서 분석하여, 안개 강도에 따른 보정을 한다. 색상뿐만 아니라 전달량에 따른 Intensity를 보정하여 영상의 전체적인 밝기와 Contrast를 향상시킨다. 제안하는 기법은 기존의 기법들과 비교하여 색상의 편향성을 보정하여 가시성뿐만 아니라 영상 내에 색상이 자연스럽게 조화된 결과를 얻었다.

1. 서론

안개란 대기 중의 수증기가 응결하여 지표 가까이에서 작은 물방울이 떠 있는 현상이다. 인간이 물체를 인지할 때, 빛이 물체에 반사되어 인간의 눈, 간상세포(rod cell)와 원추 세포(cone cell)로 이루어진 망막을 통과하고 대뇌에서 들어온 빛의 정보를 가지고 물체를 인식한다. 수증기는 빛의 산란을 증가시켜 들어오는 빛의 정보를 저하시킨다. 이 때 색상 정보 또한 저하되어 정확한 물체 인식이 불가능하다.

안개 제거를 위해 기존의 알고리즘은 다양한 방법으로 안개를 제거하였다. Schechner 등이 제안한 방법은 동일한 위치에서 각각 다른 편광 필터가 장착된 카메라로 촬영된 영상을 비교하여 안개의 양을 획득하고 제거한다. Narasimhan과 Nayar에 의해 제안된 방법은 같은 위치에서 시간과 날씨가 다른 환경에서 찍은 여러장의 사진을 이용하여 안개 정보를 획득한다. Kopf 등은 카메라의 내장된 GPS의 정보를 이용하여 영상의 깊이 정보를 이용해 안개정보를 획득한다. He 등이 제안한 방법은 안개가 없는 영상의 일정한 구간의 한 점은 매우 어두운 값을 가진다는 가정하에 안개가 있는 영상에서 안개 정보를 획득한다.

기존의 알고리즘은 RGB공간에서 각 픽셀의 값과 대비를 향상시키거나 변화를 주어 처리한다. 제안하는 알고리즘은 색상의 순도(purity, Hue)를 고려하여 안개 강도에 따라 보정하기 때문에 색상의 편향이 일어나지 않고 가시성과 영상의 색상 조화를 향상시킨다.

2. 안개 제거 모델링

2-1. 수학적 모델

사람의 눈이나 카메라에 들어오는 영상은 Computer vision and Computer graphic에서 다음과 같이 수학적으로 정의한다.

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

$I(x,y)$ 는 카메라나 사람의 눈으로 관측된 영상이고, $J(x,y)$ 는 저하가 없는 영상이다. A 는 영상내 전역적으로 퍼져 있는 대기 중에 산란된 빛이고, $t(x,y)$ 는 빛이 얼마나 산란을 나타내 주는 척도이다. x,y 는 영상의 픽셀을 나타낸다. 안개제거의 목표는 입력된 영상 $I(x,y)$ 에서 A 와 $t(x,y)$ 를 측정하여 $J(x,y)$ 구하는 것이다.

위 모델을 두 가지 부분으로 나눌 수 있다. 물체로부터 반사된 빛의 도달하는 양 $I_D(x,y) = J(x,y)t(x,y)$ 와 대기 중에 산란된 빛의 양 $I_A(x,y) = (1-t(x,y))A$ 이다.

전달량(transmission)은 다음과 같이 정의한다.

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

식 (2)에서 β 는 대기의 산란 계수이고, 거리 $d(x)$ 에 따라 기하급수적으로(exponentially) 빛이 대기에 의해 산란된다.

단일 영상에서 우리가 얻을 수 있는 정보는 입력 영상 $I(x,y)$ 뿐이다. 이 입력 영상으로부터 airlight와 transmission을 계산하여 안개가 제거된 영상 $J(x,y)$ 를 얻는다.

2-2 빛의 산란

빛은 파동성과 입자성 두 가지의 성질을 가지고 있다. 반사, 굴절, 간섭, 회절 등 파동의 특성과 광전효과(금속

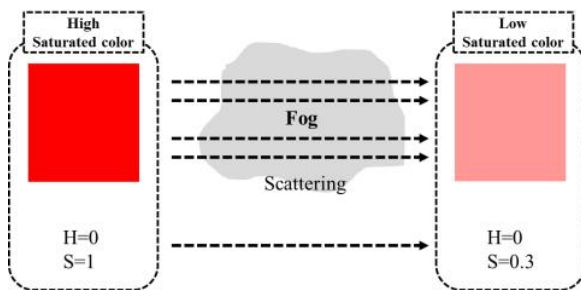


그림 1 안개에 의한 단일 색의 산란

표면에 자외선이나 가시광선을 쬐면 거기서 전자가 튀어나오는 현상)와 같은 입자성을 지니고 있다.

빛의 두 가지 성질 중 날씨와 관련된 빛의 성질은 파동성이다. 빛은 여러 가지 부분으로 나뉘는데, 대표적인 것이 자외선, 가시광선, 적외선이다. 가시광선은 사람이 인식할 수 있는 빛의 파장으로 약 400nm~700nm이다. 인간의 눈은 445nm(청), 535nm(녹), 575nm(적) 파장에 가장 민감히 반응한다. CIE(Commission International de l'Eclairage the-International)는 이 세 파장에 대해 표준을 정하고 RGB의 조합으로 색상을 표현한다.

빛은 파동성을 지니고 있기 때문에 대기 중의 입자(Airlight)에 의해 반사, 굴절이 일어난다. 이 때문에 빛의 에너지는 100% 카메라나 사람의 눈에 도달하지 못하는 데 이러한 현상을 산란이라 한다. 대기 중에 안개나 연기 같은 입자가 많아지게 되면 산란이 많이 일어나 색상 저하가 일어난다. 빛은 다양한 색상(파장)이 섞일수록 하얀색을 띄는데, 안개가 하얗게 보이는 이유는 주변에 산란된 다른 파장이 섞여 들어오기 때문이다.

산란은 파장의 길이에 따라 다르게 나타난다. Rayleigh에 의하면 산란의 정도는 파장의 네제곱에 반비례 한다. 표x의 안개 영상의 각 RGB의 평균을 비교해 보면 R값이 대부분 높게 가오는데, 이는 적색 파장이 가장 길이 산란이 적게 되기 때문이다.

3. Intensity 와 색상 분석, 보정

앞서 설명한 바와 같이 색에 따라 파장이 다르고, 산란되는 정도가 다르다. DCP, MDCP에서는 동일한 transmission을 파장이 다른 R,G,B에 적용한다. 그림(2)의 결과 영상을 보면 전반적으로 mDCP를 적용한 영상들이 붉은색이 많이 나타나는데, 그 이유는 빨간색의 파장이 길어 산란이 다른 색에 비해 적게 일어나기 때문이다. 또한 노이즈가 두드러지거나 색상이 두드러져 부자연스러운 영상이 출력된다.

3-1. Airlight Estimation

대기의 값(Airlight)은 Intensity 영상 내에서 상위 1%에 해당하는 값으로 정한다. 앞서 설명한 바와 마찬가지로 대기보다 밝은 값이 존재할 수 있기 때문이다. 또한 대기는 색이 없기 때문에 각 채널의 값이 같다고 가정한다.

다.

3-2. Transmission

Transmission은 DCP에서 속도가 개선된 mDCP[11]를 사용한다.

$$t(x) = 1 - w \cdot \text{med} \left(\min_{R,G,B} \frac{I_{\Omega}}{A} \right) \quad (3)$$

DCP로부터 구하여진 t(x)는 원 영상과 엣지 정보가 다르기 때문에 복원시 halo artifact가 생긴다. 엣지를 보완하기 위해 soft matting 기법을 이용하는데, 이 기법은 시간이 오래 걸린다. MDCP는 이러한 단점을 보완하여 윈도우내에 최솟값 대신 중간 값으로 대체한다. 기존의 DCP와 비교시 결과 값에 대한 차이가 크지 않고 중간 값을 이용함으로써 인해 엣지를 보존하고 soft matting 단계를 생략하기 때문에 빠른 처리 속도를 보여준다.

$$t(x, y) = 1.05 - 0.90 \times \text{med} \left(\min_{R,G,B} \frac{I_{\Omega}(x, y)}{A} \right) \quad (4)$$

1이 아닌 1.05를 준 이유는 DCP에서 중간값을 취하기 때문에 mDCP 값이 DCP보다 높은 것을 고려하였다. 또한 w를 0.90으로 고정하였다.

3-3. 색상 분석

사람은 색을 인지하거나 표현할 때, 삼원색(RGB)의 백분율로 인식하거나 표현하지 않는다. 인간의 색상 인지 능력은 색상, 채도, 명도도 인식한다. HSI는 RGB 색 공간에서 색(Hue), 채도(Saturation), 밝기(Intensity)로 변환된 공간이다. RGB공간에서 HSI 공간으로 변화 수식은 아래와 같다.

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5 * [(R - G) + (R - B)]}{\left[\frac{1}{2} [(R - G)^2 + (R - B)(G - B)] \right]^{1/2}} \right\} \quad (6)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad (7)$$

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (8)$$

Airlight는 대기 중의 입자로서 색이 없다. 따라서 아래와 같이 가정한다. 태양으로부터 오는 빛은 일출과 일몰을 제외하고 백색광으로 가정한다.

$$A_r = A_g = A_b = A_I \quad (9)$$



그림 2 좌-원본 안개 영상, 가운데-mDCP, 우-제한한 알고리즘으로 처리한 결과 영상

$A_{r,g,b}$ 는 Airlight 값의 각 RGB 값이고, A_I 는 intensity의 Airlight 값으로 실험에 의해 최상의 값으로부터 1% 값으로 정한다. 안개 영상과 안개가 제거된 영상의 채도 S_f , S_d 는 아래 수식과 같다.

$$S_f = 1 - \frac{\min(R_f, G_f, B_f)}{I_f} \quad (10)$$

$$S_d = 1 - \frac{\min(R_d, G_d, B_d)}{I_d} \quad (11)$$

R,G,B는 안개 영상과 안개가 제거된 영상의 각 채널이고 I는 intensity 값이다.

안개 영상과 안개가 제거된 영상의 어느 한 픽셀에서 최솟값을 갖는 채널은 같다. 만약 안개 영상의 한 픽셀(x, y)에서 R_f 값이 최솟값을 갖는다면, 안개가 제거된 영상의 픽셀(x, y)의 최솟값도 R_d 값이 된다. DCP나 MDCP는 같은 t(x,y)로 R,G,B 채널을 처리하기 때문에 아래와 같이 풀이된다.

$$\min_d(x,y) = \frac{\min_f(x,y) - A}{t(x,y)} + A \quad (12)$$

\min_f 은 입력영상의 최솟값을 가지는 채널이고, \min_d 는 안개가 제거된 영상의 최솟값을 가지는 채널이다. 따라서 S_d 를 안개 영상 식으로 풀면 아래와 같다.

$$S_d(x,y) = 1 - \frac{\frac{\min(R_f, G_f, B_f)(x,y) - A}{t(x,y)} + A}{\frac{I_f(x,y) + A}{t(x,y)} + A}$$

$$\begin{aligned} & \frac{I_f(x,y) - \min(R_f, G_f, B_f)(x,y)}{t(x,y)} \\ &= \frac{\frac{I_f(x,y) + A}{t(x,y)} + A}{\frac{I_f(x,y) + A}{t(x,y)} + A} \\ &= \frac{I_f(x,y) - \min(R_f, G_f, B_f)(x,y)}{I_f(x,y) - [1 - t(x,y)]A} \end{aligned} \quad (13)$$

안개 영상과 안개가 제거된 영상의 채도의 비(w_s)를 구하면 아래와 같다.

$$w_s(x,y) = \frac{S_f(x,y)}{S_d(x,y)} = \frac{I_f(x,y)}{I_f(x,y) - [1 - t(x,y)]A} \quad (14)$$

기존의 알고리즘(DCP,mDCP)를 식(x)와 같이 Airlight가 같다고 가정하고 HSI영역에서 풀이하면 아래와 같다.

$$H_d(x,y) = H_f(x,y) \quad (15)$$

$$S_d(x,y) = w_s(x,y) \cdot S_f(x,y) \quad (16)$$

$$I_d(x,y) = \frac{I_f(x,y) - A}{t(x,y)} + A \quad (17)$$

H_f , S_f , I_f 는 안개 영상의 색, 채도, 명암이고, H_d , S_d , I_d 는 안개가 제거된 영상의 색, 채도 명암이다. Airlight가 Gray에 위치하고 있기 때문에 H(색상) 값은 변하지 않고, 채도와 명암만 transmission에 의해 변한다.

3-4. 색상 왜곡과 보정

그림 (2,가운데 영상)를 보면 건물의 외벽이 붉게 변한 것을 볼 수 있다. 적색 파장은 녹색, 청색파장에 비해 파장의 길이가 길기 때문에 산란이 덜 되고 안개가 있을 경우 관찰자에 조금 더 많이 도달하게 된다. 실제로 안개

영상의 값에서는 차이가 거의 없다. 안개가 제거 될 때, transmission에 따라 픽셀값의 변화량이 결정되는데 하얀색 건물이나 하늘은 그 값이 매우 낮기 때문에 작은 차이가 큰 차이가 된다. 또한 채도 영역에서 분석할 경우 Intensity의 값이 Airlight보다 높을 때는 가중치의 변화가 적지만, 조금이라도 낮으면 낮은 transmission에서 급격한 가중치가 곱해진다.(그래프 참조) 따라서 이 부분에 대한 보정을 해주어야 한다. transmission이 매우 낮은 지역은 안개가 짙은 지역, 하늘 영역, 그리고 회색 물체로 분류할 수 있다. 여기서 문제는 안개가 짙은 지역의 경우 실제 색상을 알 수가 없다는 것이다. 왜냐하면 빛이 산란되면서 색의 채도가 낮아 질 수도 있고, 색이 왜곡될 수도 있기 때문이다. 따라서 극히 낮은 부분의 transmission에 가중치를 주어 색상의 왜곡을 줄이고 붉게 나타나는 현상을 없앨 필요성이 있다.

Intensity와 Airlight에 대한 차이가 적을수록 transmission이 낮기 때문에 그에 따른 가중치를 Gaussian Function을 이용하여 적용한다.

$$\eta = |I(x,y) - A| \quad (18)$$

$$\alpha(x,y) = \frac{1}{k \times \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\eta - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] + 1 \quad (19)$$

$$\mu = 0, \sigma = 0.05$$

η 는 Airlight와 Intensity의 차이이고, μ 는 가우시안 함수의 평균값, σ 는 표준편차를 의미한다.

$$w_s(x,y) = \frac{I_f(x,y)}{I_f(x,y) - [1 - \alpha(x,y) \times t(x,y)]A} \quad (20)$$

따라서 S_f 에 곱해지는 가중치 w_s 는 위와 같다.

5. Result

그림 (2, 첫 번째 행)에서 제안한 알고리즘으로 처리한 영상은 건물의 색이 그대로 유지되는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 (2, 두 번째 행)에서 하늘영역이 색상이 왜곡되는 것 또한 보정하여 붉은 하늘을 제거 하였다. 이는 기존의 transmission 추정 방법의 맹점은 하얀색 건물이나 물체 또한 안개로 추정되어 강한 가중치를 주어 미비한 색상을 왜곡시키는 결과를 낳는다. 제안한 알고리즘은 이러한 단점을 보완하여 극히 낮은 transmission에 대하여 airlight와 intensity의 차이를 계산하여 색상 왜곡을 보정하였다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0012331)

참고문헌

- [1] E. H. Land, "The retinex theory of color vision," *SCI. Amer.*, vol. 237, no. 6, pp.451-462, Mar. 1997.
- [2] A. R. Varkonyi-Koczy, "Improved fuzzy logic supported HDR colored information enhancement," in *IEEE international instrumentation and measurement technology conference, I2MTC'2009*, pp.361-366.
- [3] R. Fattal, "Single image dehazing," in *SIGGRAPH*, pages 1-9, 2008.
- [4] 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," *SIGGRAPH Asia*, 2008.
- [5] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Chromatic framework for vision in bad weather," *CVPR*, pages 598-605, 2000.
- [6] S. K. Nayar and S. G. Narasimhan, "Vision in bad weather," *ICCV*, page 820, 1999.
- [7] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, "Instant dehazing of images using polarization," *CVPR*, 1:325, 2001.
- [8] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR 2009)*, pages 1956-1963, 2009.
- [9] J. Kim, S. Seong, Y.H.Kim, "A single image enhancement using inter-channel correlation," in *ICCE*, pages 496-497, 2012.
- [10] R.T.Tan, "Visibility in bad weather from a single image," *2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, Jun. 2008.
- [11] K. Gibson, D. Vo, and T. Nguyen, "An investigation of dehazing effects on image and video coding," *TIP*, vol.pp, no.99, p. 1, 2011.