

안개 모델링 식을 이용한 실시간 안개제거 알고리즘

이재원*, 홍성훈**

*전남대학교 전자컴퓨터공학과

**전남대학교 전자컴퓨터공학과, 정보통신연구소

e-mail : 777kamja@naver.com, hsh@jnu.ac.kr

Real-time Dehazing Algorithm using Haze Modeling Expression

Jae-Won Lee*, Sung-Hoon Hong**

*Dept of Electronic and Computer Engineering, Chonnam National University

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

요 약

야외에서 촬영된 영상은 안개나 연무 등에 의한 화질 저하가 나타난다. 이를 해결하기 위하여 안개제거를 위한 여러 장의 영상, 추가정보를 이용하는 안개제거 방법과 한 장의 영상을 이용한 안개제거 방법들이 제안되어왔다. 본 논문에서는 한 장의 영상에서 안개나 연기를 제거하여 가시성이 향상된 영상을 제공하는 방법을 제안한다. 이를 위하여 본 논문에서는 안개영상 모델에 대한 2차원 방정식 풀이를 통해 원 영상에 안개가 어느 정도의 비율로 섞여있는지를 나타내는 전달률(transmission rate)을 계산하고, 계산된 전달률을 이용하여 안개가 제거된 영상을 구한다. 제안된 방식은 기존 방법들과 달리 필터를 사용하지 않고 화소단위의 연산만을 사용하므로 후광효과가 발생하지 않고, 연산량이 매우 적어 실시간 처리가 가능하다.

1. 서론

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. 초기의 안개제거 방법으로는 동일한 장소에서 기상환경이 서로 다른 여러 장의 영상을 촬영하여 안개를 제거하거나 영상 외에 추가적인 정보를 이용하는 방법이 제안되었고[1-7], 최근에는 한 장의 영상을 통해 안개를 제거하고 영상을 복원하는 방법들이 제안되고 있다[8-11]. 하지만 기존의 방법들은 원영상에 안개가 어느 정도의 비율로 섞여있는지를 나타내는 전달률(transmission rate)을 계산하기 위해 매칭(matting) 처리나 큰 크기의 필터를 사용하므로 매우 많은 연산량을 요구하고, 필터처리에 따른 후광효과(halo effect)가 나타나는 단점이 있다.

본 논문에서는 안개영상 모델에 대한 2차원 방정식을 도출하여 전달률을 계산하고, 계산된 전달률을 이용하여 안개가 제거된 영상을 추정하는 안개제거 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 전달률을 구하기 위해서 별도의 매칭이나 필터처리 수행하지 않고 2차원 방정식을 통해 화소단위로 전달률을 구하기 때문에 매우 적은 연산량을 요구하므로 실시간 처리에 매우 적합하고, 화소단위의 연산만을 수행하므로 후광효과가 발생하지 않는다.

2. 제안하는 실시간 안개제거 방법

기존의 한 장의 영상을 이용하여 안개를 제거하는 방법들은 공통적으로 아래의 안개 모델링 식을 이용한다.

$$I_h(x) = I(x)t(x) + I_\infty(1 - t(x)) \quad (1)$$

여기서 $I_h(x)$ 는 카메라를 통해 획득된 안개영상의 x 번째 화소값이고, $I(x)$ 는 안개가 제거된 깨끗한 영상, I_∞ 는 영상내의 화소 중 카메라에서 가장 먼 대기의 밝기값(atmospheric brightness)이다. $t(x)$ 는 전달률(transmission rate)로 일반적으로 전달률 $t(x)$ 는 식 (2)와 같이 거리에 따라 지수함수적으로 감소한다.

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

여기서 β 는 공기의 산란계수이고, $d(x)$ 는 x 번째 화소에 대응하는 공간상의 점과 카메라사이의 거리이다. 따라서 안개가 일정하게 낀 경우 하늘과 같이 거리가 먼 곳은 전달률이 0에 가깝게 되어 식 (1)에서 $I_h(x) \cong I_\infty$ 가 되고, 매우 가까운 곳의 화소는 전달률이 1에 근접하므로 $I_h(x) \cong I(x)$ 이 된다. 따라서 영상에서 밝은 화소는 거리가 멀어 안개가 많이 낀 경우로 가정할 수 있고 전달률이 작다고 가정할 수 있다.

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

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

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

한편 안개가 제거된 영상 $I(x)$ 는 $0 \leq I(x) \leq I_h(x)$ 을 만족해야하므로 식 (4)로부터 전달률 $t(x)$ 의 범위는 식 (5)와 같이 결정된다. 전달률 하한치는 짙은 안개로 인해 객체가 보이지 않는 경우의 전달률이다.

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

I_∞ 를 영상 내에서 가장 밝은 화소값으로 설정할 경우, 전달률 $t(x)$ 는 식 (5)에 나타난 전달률의 하한치보다 커야하므로 전달률의 추정치를 식 (6)으로 가정한다.

$$\tilde{t}(x) = 1 - \frac{\alpha I(x)}{I_\infty}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (6)$$

식 (6)의 전달률의 추정치 $\tilde{t}(x)$ 를 식 (4)에 대입하여 2차방정식의 해를 계산하면 안개가 제거된 화소의 추정치 $\tilde{I}(x)$ 를 식 (7)과 같이 입력영상의 화소값 $I_h(x)$ 로 표현할 수 있고, 만일 $\alpha=1$ 인 경우 식 (8)로 간단히 표현된다.

$$\tilde{I}(x) = \frac{I_\infty(\alpha+1)}{2\alpha} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4\alpha I_h(x)}{I_\infty(\alpha+1)^2}} \right) \quad (7)$$

$$\tilde{I}(x) = I_\infty \left(1 - \sqrt{1 - \frac{I_h(x)}{I_\infty}} \right) \quad (8)$$

식 (7)에서 α 가 클수록 입력화소의 밝기를 많이 감소시키고 안개제거의 강도가 강해진다. 식 (7)으로부터 구한 안개제거 영상의 추정치 $\tilde{I}(x)$ 를 다시 식 (3)에 대입하여 전달률의 추정치를 구하면 식 (9)와 같다.

$$\tilde{t}(x) = \frac{I_h(x) - I_\infty}{\tilde{I}(x) - I_\infty} \quad (9)$$

그림 1은 식(9)로 구한 전달률 추정치와 식 (5)의 전달률 하한치를 각각 보여준다.



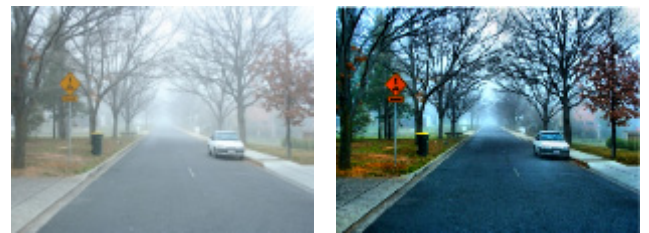
(a) 전달률 추정치 (b) 전달률 하한치

(그림 1) 전달률 추정치 예

본 논문에서는 안개 제거된 영상을 구하는데 사용되는 전달률은 식 (10)과 같이 전달률 추정치 $\tilde{t}(x)$ 와 전달률 하한치와의 가중합으로 계산한다.

$$t(x) = \omega \tilde{t}(x) + (1 - \omega) \left(1 - \frac{I(x)}{I_\infty} \right), \quad 0 < \omega < 1 \quad (10)$$

최종적으로 안개 제거된 영상은 식 (10)에서 구한 전달률을 식 (4)에 대입하여 구하고, 히스토그램 평활화 등의 후처리 과정을 수행하여 최종적으로 안개가 제거된 영상을 출력한다. 그림 2는 입력 영상과 식(10)에서 가중치를 0.5를 적용하여 구해진 전달률을 통해 구해진 안개가 제거된 결과 영상을 보여준다.



(a) 원본 영상 (b) 안개 제거 결과($\omega=0.5$)

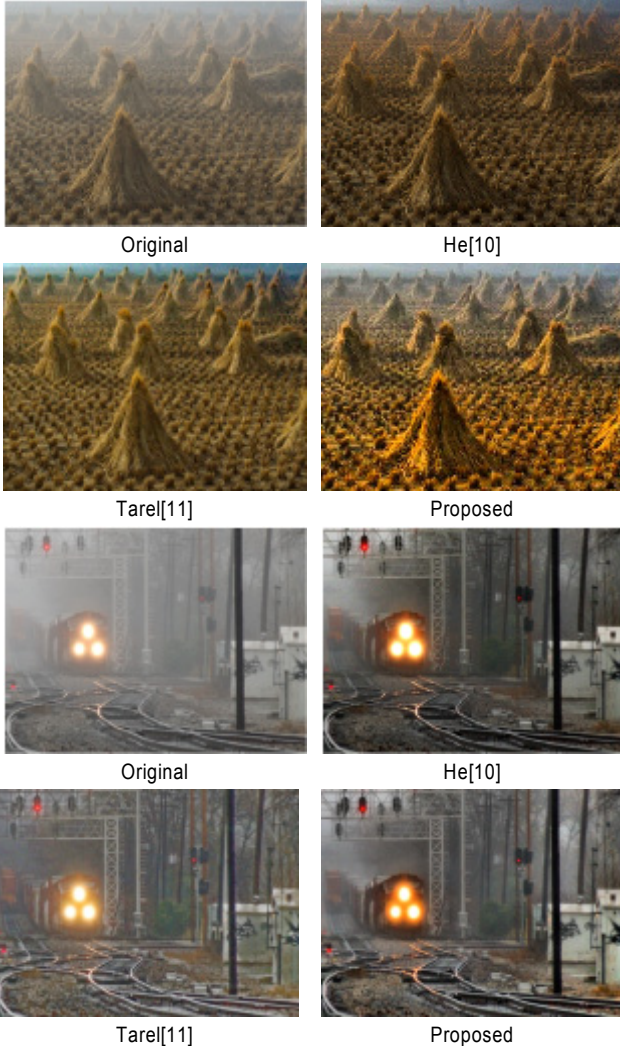
(그림 2) 안개 제거 결과 예

3. 실험 결과 및 분석

제안된 방법은 기존방식과 달리 휘도영상만을 사용하여 안개를 제거하고, 색차신호를 추가하여 칼라영상을 출력하였다. 제안 방법은 Core2Duo 2.8GHz 사양의 PC에서 1024×768 크기의 영상의 안개제거를 수행하는데 0.066초가 소요하고, 640×480 크기의 영상에 대해서는 0.027초가 소요되었다. 위의 수행시간은 프로그램 최적화 과정을 통해서 충분히 단축될 수 있다. 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 기존의 방법들 중에서 He[10]과 Tarel[11]의 방법과 연산시간 및 결과영상을 비교하였다. 연산시간은 He[10]의 방법은 3.0GHz Pentium 4 사양의 PC에서 600×400 크기의 영상에 대해 10~20초의 수행시간이 필요하고, Tarel [11]의 방법은 759×574 크기의 영상에 대해 0.17초가 필요하다고 언급되어 있다. 이와 비교하였을 때 제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 실시간을 요구하는 응용분야에 매우 적합한 방법임을

알 수 있다.

그림 3은 안개가 낀 영상들에 대해 기존의 방법들과 제안하는 방법을 사용하여 안개를 제거한 결과를 보여준다. 기존 방법들에 대한 시뮬레이션은 각 저자가 제공하는 MATLAB 프로그램을 사용하였다. 제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 연산속도가 빠르면서도 기존방법들의 수행결과와 비교해서 충분히 안개가 제거된 결과를 보인다.



(그림 3) 기존 방법들과의 결과 비교

4. 결론

본 논문에서는 안개, 연기, 구름 등에 의하여 가시성이 낮아진 영상에 대하여 안개나 연기, 구름을 제거하여 선명한 영상을 제공하는 방법을 제안하였다. 기존 안개제거 방법은 입력영상의 R, G, B 성분을 이용하고, 휘도성분만을 사용할 경우 성능 저하가 발생한다. 하지만 현재 대부분의 멀티미디어 시스템에서 사용되는 색좌표계는 RGB 좌표계가 아닌 YCbCr 색좌표계와 같이 휘도신호와 색차신호를 사용하므로 기존 방식을 적용하기 위해서는 색좌표계 변환 처리가 요구되고, 각 R, G, B 각 신호성분에 대해 독립적인 처리를 할

경우 색상 변화가 발생할 수 있다. 또한 기존 안개제거 방법은 큰 크기의 필터를 사용하므로 후광효과가 나타나며, 매우 많은 연산량이 요구되어 실시간 처리가 어려운 문제가 있다. 본 논문에서는 기존 방식에서 발생하는 문제를 해결하기 위하여 입력 휘도영상으로부터 안개가 제거된 영상을 구하는 추정모델을 제안하고, 추정모델로부터 전달률을 계산하고, 계산된 전달률을 이용하여 안개가 제거된 영상을 구하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방식은 필터를 사용하지 않고 화소단위의 연산만을 사용하므로 기존 방법에서 나타나는 후광효과와 높은 연산량 문제를 해결할 수 있다.

5. 사사

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(2012H1B8A2025531)과 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업으로 수행된 연구 결과임,

참고문헌

- [1] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, "Instant dehazing of images using polarization," in Proc. CVPR, pp. 1984-1991, Hawaii, USA, Dec. 2001.
- [2] S. Shwartz, E. Namer, and Y. Y. Schechner, "Blind haze separation," in Proc. CVPR, pp. 1984-1991, New York, USA, Oct. 2006.
- [3] S.G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Chromatic framework for vision in bad weather," in Proc. CVPR, pp. 598-605, SC, USA, June 2000.
- [4] 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, June 2003.
- [5] S. K. Nayar and S. G. Narasimhan, "Vision in bad weather," in Proc. ICCV, pp. 820-827, Corfu, Greece, Sep. 1999.
- [6] 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," ACM Trans. Graphics, vol. 27, no. 5, pp. 1-10, Dec. 2008.
- [7] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Interactive deweathering of an image using physical models," In Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision, OCT. 2003
- [8] R.Tan, "Visibility in bad weather from a single image," in Proc CVPR, pp. 1-8, Alaska, USA, June 2008.
- [9] R.Fattal, "Single image dehazing," ACM Trans. Graphics, vol. 27, no. 3, pp. 1-9, Aug. 2008.
- [10] K. He, J. Sun, and X.Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," in Proc. CVPR, pp. 1956-1963, Miami, USA, June 2009.
- [11] Tarel, Jean-Philippe; Hautiere, Nicolas; "Fast visibility restoration from a single color or gray level image," Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on, pp.2201-2208, Sept. 2009.