

개선된 Dark Channel Prior를 이용한 안개 제거 알고리즘

김진환, 김창수

고려대학교

arite@korea.ac.kr changsukim@korea.ac.kr

Haze Removal Algorithm Using Improved Dark Channel Prior

Jin-Hwan Kim and Chang-Su Kim

Korea University

요약

본 논문에서는 한 장의 영상을 사용하여 영상 내에 존재하는 안개나 흐린 날씨 상태를 제거하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 dark channel prior를 사용하는 기법으로써 기존 알고리즘의 문제점을 보완하고 개선한다. 기존 알고리즘에서는 dark channel prior를 계산하여 전달량(transmission)을 추정된 후, 추정된 전달량을 영상의 모양에 맞추는 과정을 통해 정련된 전달량을 구한다. 본 논문에서는 추정된 전달량을 정련하는 과정을 개선함으로써 불필요한 메모리 사용량을 줄인다. 또한 계산량을 줄이기 위해 영상의 계층 분할을 이용한다. 실험 결과를 통하여 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 개선된 성능을 발휘함을 확인한다.

1. 서론

영상에 안개나 악천후 등과 같은 날씨로 인한 왜곡이 발생하는 경우 영상 처리의 다양한 응용 기법을 사용하기 어렵다. 예를 들어, 영상 내 엣지(edge)를 추출하거나, 차량용 차선 검색 알고리즘과 같은 영상의 화질에 영향을 받는 여러 알고리즘은 획득되는 영상의 화질이 좋지 못할 경우 좋은 결과를 얻기 힘들다. 영상의 화질이 항상 좋다면 문제가 없으나 현실에서는 다양한 날씨로 인하여 가시거리가 짧아지는 등의 애로가 있다. 즉 악천후로 인한 짧은 가시거리의 영상을 획득한 경우 영상을 이용한 알고리즘을 적용했을 때 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 따라서 다양한 날씨 상황 아래에서도 영상 처리 응용을 위해 깨끗한 영상을 취득하기 위해서 많은 연구가 진행되고 있다.

다양한 날씨 환경에서 깨끗한 영상을 제공하는 방법으로 다수의 영상을 이용하거나 외부 장치를 이용한 여러 정보를 이용하는 방법들이 제안되었다. 편광에 기반을 둔 알고리즘[1][2]은 서로 다른 편광에 의해 획득된 영상을 이용하여 안개를 제거한다. 또는 고정된 장소에서 다양한 날씨 상황 아래 촬영한 여러 장의 사진을 이용하여 영상의 안개를 제거하는 방법[3][4][5]도 제안되었다. 혹은 카메라를 통해 획득되는 정보(GPS 정보 등)를 이용하여 안개를 제거하는 방법[6]등의 다양한 알고리즘들이 제시되고 있다.

그러나 이러한 방법은 영상이 하나만 존재하거나 추가적인 정보가 없을 경우 적용할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 한 장의 영상으로부터 안개를 제거하는 알고리즘의 필요가 대두되고 있고, 최근에 하나의 영상을 통해 안개를 제거하는 방법들이 제안되고 있다. 이러한 방법들은 다양한 영상 정보를 획득할 수 없기 때문에 여러 가정을 통해 해법을 제시하고 있다. Tan [7]은 안개가 없는 깨끗한 영상은 안개가 낀



그림 1 a) 안개 낀 영상 , b) 안개가 제거된 영상 (cross bilateral filter 사용)

영상에 비해 높은 채도를 가진다는 가정 하에 화질을 개선하는 알고리즘을 제안하였다. Tan 이 제안한 알고리즘은 전달량은 비슷한 반면 원 영상의 채도 차이가 크다는 성질을 이용하여 Markov Random Field (MRF) 모델을 구성하였다. MRF 모델을 신뢰도 전파(belief propagation: BP)나 그래프 컷 (graph cut) 등의 알고리즘을 이용하여 풀면 원하는 결과 영상을 획득하게 된다. 그러나 결과 영상의 채도를 높이는 것에만 치중하였기 때문에 과도한 채도 증가 현상이 발생할 뿐만 아니라 결과 영상에 후광(halo)이 생성되는 등의 단점이 존재한다.

Fattal [8]은 일정 구간 내에 있는 반사율(albedo)은 일정하다는 가정을 이용한다. 그러므로 일정 구간 내 깨끗한 영상의 벡터 방향 ($J(x)$)은 일정한 반사율 R의 벡터 방향과 같다고 놓을 수 있다. 이를 이용하여 independent component analysis(ICA)에 의해 R을 추정함

본 논문은 삼성전자의 지원에 의해 수행된 연구 결과임

으로써 원하는 결과 영상을 획득한다. 그러나 Fattal의 방법은 안개가 짙은 영역에 대해서는 깨끗한 영상을 얻을 수 없다는 단점이 있다.

가장 최근에 dark channel prior를 이용한 안개 제거 알고리즘[9]이 제안되었다. 이 방법은 안개가 없는 영상에서는 일정 구역 내에 항상 0에 가까운 밝기를 가지는 화소 값이 존재한다는 관측에 기반한다. 안개가 짙은 영역일수록 일정 구역 내에 존재하는 가장 어두운 화소가 밝아진다는 성질을 이용하여 전달량을 구하고 이를 통해 영상을 복원한다. 매우 깨끗한 결과 영상을 얻을 수 있으나 전달량을 정련하는 과정에서 매우 큰 행렬을 사용하기 때문에 메모리 사용량이 많고 속도 면에서도 제한이 있다. 따라서 본 논문에서는 메모리 사용량을 줄이고 속도도 개선된 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 본 논문에서 개선할 알고리즘인 dark channel prior에 대해 설명하고, 이를 개선하는 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 통해 개선점을 확인한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 향후 연구 계획에 대해 논하도록 한다.

2. 본론

가. Dark Channel Prior 기법

가 - 1) 안개 영상의 모델링

안개 낀 영상의 모델링은 Narsimhan 등이 처음 제안하여 여러 알고리즘에서 사용되는 아래의 모델링 식을 사용한다.

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

여기서 $I(x)$ 는 획득한 영상, A 는 안개의 밝기 정도를 나타내며, $t(x)$ 는 전달량으로 빛이 산란되지 않고 카메라까지 도달된 정도를 나타낸다. $J(x)$ 는 원 영상의 밝기 값이다. 따라서 안개 제거는 입력 영상 $I(x)$ 로부터 A , $t(x)$, 그리고 $J(x)$ 를 구하는 것이다. $t(x)$ 는 1보다 작은 값을 가지므로 획득한 영상의 밝기는 안개가 없는 깨끗한 영상과 안개의 깊이(양)의 조합으로 볼 수 있다.

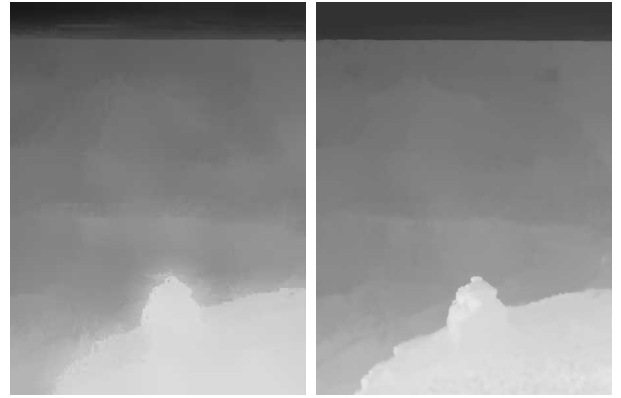
가 - 2) Dark channel prior

He 등이 제안한 기법[9]은 다음의 관측에서부터 시작된다. 안개가 없는 깨끗한 영상의 한 화소 값을 확인하면, RGB 채널 중 한 채널은 매우 어두운 값을 가진다. 즉, 일정 영역 중 매우 작은 값을 가지는 값이 적어도 하나 존재한다. 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$J^{dark}(x) = \min_{c \in \{rgb\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right), \quad (2)$$

식(2)에서 $J^{dark}(x)$ 는 dark channel prior, J^c 는 입력 영상 J 의 각 채널을 의미하며 Ω 는 점 x 를 중심으로 한 일정 영역을 의미한다. 안개가 없는 영상에서 위의 식을 통해 구한 dark channel prior를 보면 하늘을 제외한 대부분의 영역에서 0의 값을 가짐을 확인할 수 있다.

안개가 낀 영상일 경우 안개의 밝기(식(1)에서의 A)에 의해 dark channel prior는 밝은 값을 가짐을 확인할 수 있다. 안개가 짙어질수록 A 의 비율이 많아지므로 dark channel prior는 더 밝은 값을 가진다. 따라서 식(2)를 통해 구한 dark channel prior를 이용하여 안개의 밀도를



(a)

(b)

그림 2 Matting 방법과 cross bilateral filter 방법의 비교 a) cross bilateral filter를 사용한 전달량 b) matting을 사용한 전달량

예측할 수 있고 이를 이용하여 전달량을 계산할 수 있다.

가 - 3) 전달량 계산

[9]의 전달량 계산은 매우 단순하게 이루어진다. 앞 절에서 설명한 것처럼 안개가 없는 영상에서의 dark channel prior는 대부분 0의 값을 가지므로 $J^{dark}(x) \approx 0$ 이라고 놓을 수 있다. 따라서 식(1)을 아래와 같이 변형하면 알 수 없는 정보인 $J(x)$ 를 제거할 수 있다.

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

식(2)에서 $J^{dark}(x) \approx 0$ 이라고 놓을 수 있으므로 식(3)의 오른쪽 부분 중 J 가 들어간 부분을 0으로 놓을 수 있다. 따라서 전달량 $t(x)$ 는 간단히 1에서 안개 값으로 정규화된 dark channel prior를 뺀 값과 같다.

$$t(x) = 1 - \min_{c \in \{rgb\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right), \quad (4)$$

하지만 식(4)를 통해 구한 전달량은 지역적인 구간 내 최소값을 구하여 계산된 값이므로 획득된 영상의 엣지와 일치하지 않는 전달량이 구해진다. 따라서 이를 그대로 이용할 경우 후광 효과와 같은 현상이 발생한다. 따라서 He 등은 이를 개선하기 위해 A. Levin 등[10]의 matting 알고리즘을 적용하였다. 전경과 후경을 matting 하는 식은 안개 낀 영상의 모델링 식과 매우 유사하기 때문에 $t(x)$ 를 미리 주어진 tri-map 이라고 가정하면 $t(x)$ 를 원 영상의 엣지 정보에 맞출 수 있다. 그러나 Levin 등이 제안한 matting 기법은 매우 큰 매트릭스를 사용하기 때문에 메모리 사용량이 많고 계산속도 역시 느릴 수 있다. 따라서 matting을 사용하지 않고 영상의 엣지 정보에 맞출 필요가 있다.

가 - 4) 결과 영상 획득

결과 영상 획득은 식(1)로부터 얻을 수 있다. 식(1)에서 $J(x)$ 로

정리 하면 아래 식을 얻을 수 있다.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A \quad (5)$$

식(4)에서 구해진 $t(x)$ 와 dark channel prior에서 가장 밝은 화소값 중에 선택된 안개값 A 그리고 원 영상으로부터 $J(x)$ 를 구할 수 있다. 이 때, $t(x)$ 값이 너무 작은 값을 가지면, 복원된 $J(x)$ 는 매우 큰 노이즈를 가질 수 있으므로, 원 논문에서처럼 임계값을 줌으로써 노이즈를 억제한다. 따라서 최종 복원 식은 아래와 같다.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x) - t_o)} + A \quad (6)$$

나. 전달량 정련

앞 절에서 말한 것처럼 matting 기법은 메모리 사용량이 매우 큰 단점이 있기 때문에 본 논문에서는 matting 기법을 사용하는 대신 cross bilateral filter[11]를 사용하여 전달량을 엷지 정보에 맞추도록 하였다. Bilateral filter는 영상을 고주파 성분을 제거하여 흐리게 하는 필터이지만 영상의 특성을 이용하여 엷지 정보를 보존하는 필터이다. 아래는 기본적인 bilateral filter의 식이다.

$$O(p) = \frac{1}{w} G(p - q) G(I_p - I_q), \quad (5)$$

식(5)에서 q 는 일정 구역 내 모든 화소이고, I_x 는 화소의 밝기 값이며, G 는 가우시안 필터이다. 따라서 bilateral filter를 이용하면 영상의 밝기가 비슷한 영역 내에서 가우시안 필터가 적용되므로 엷지 정보를 보존할 수 있다.

거리를 통한 가우시안 필터와 밝기 차이를 통한 가우시안 필터를 이용하여 전달량을 정련할 수 있다. 즉, 밝기 차이를 통한 가우시안 필터는 원 영상으로 부터 이용하고, 거리 차이를 통한 가우시안 필터는 전달량에 적용하면 엷지 정보를 보존한 전달량을 얻을 수 있다. 그림 2는 matting을 이용했을 때와 cross bilateral filter를 이용했을 때의 정련된 전달량을 비교한 결과 이다. Cross bilateral filter를 이용할 경우 matting과 같은 과도한 메모리 사용을 하지 않고 거의 유사한 결과 영상을 획득할 수 있다. 하지만 cross bilateral filter를 사용하게 되면 모든 화소에 대해 필터를 적용하므로 속도 면에서는 이득을 볼 수 없다. 따라서 다음 절에서 이를 보완하기 위한 계층적 구조를 이용한 속도 개선 방법을 제안한다.

다. 계층적 구조를 이용한 속도 개선

계층적 구조를 이용하여 cross bilateral filter를 적용하게 되면, 전체적인 부분에 대해서는 피라미드의 상위에서 계산이 되고 엷지 정보가 필요한 세밀한 부분은 피라미드가 내려갈 때 계산이 되므로, 필요한 영역에 한하여 cross bilateral filter를 적용할 수 있다. 자세한 내용은 아래와 같다.

우선 계층적 구조를 이용한 dark channel prior를 계산하여 안개 값 A 를 측정한다. n 단계의 피라미드 영상이 있을 경우, $1/n$ 로 축소된 영상과 $1/n$ 크기의 구역을 이용하여 최초의 dark channel prior를 계산한다. 원 논문에서 측정된 것과 같은 방법으로 안개 값 A 를 측정하는 데, 우선 dark channel prior 중 10%까지의 밝기를 지닌 후보군을 찾는다. 후보군 중 실제 화소 값이 가장 밝은 화소를 선택하여 안개 값으로 사용한다.



그림 3 피라미드의 마지막 단계에서 bilateral filter가 적용될 부분 및 그 결과. 붉은 색이 bilateral filter가 적용될 부분임

이 후 식(4)를 이용하여 전달량을 계산한다. 전달량은 계산한 dark channel prior를 A 값으로 나누어 정규화한 값을 이용한다. 이 때 만들어진 dark channel prior는 피라미드의 가장 상위 단계, 즉 가장 크기가 작은 영상이다.

정규화 된 dark channel prior를 이용하여 transmission을 계산한다. 이 때, 안개가 짙은 영상에서는 엷지 정보가 거의 나타나지 않는다는 점을 이용하여 엷지 정보가 있는 부분에 대해서만 cross bilateral filter를 적용한다. 엷지 정보는 Sobel 엷지 검출기 등의 알고리즘을 사용하여 검출 할 수 있다. 엷지 정보가 없는 부분은 상위 단계의 dark channel prior를 그대로 사용함으로써 계산량을 줄일 수 있다. 그림3은 cross bilateral filter를 적용하는 영역을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 안개가 짙게 나타난 영역에 대해서는 필터를 적용하지 않고 전 단계의 dark channel prior를 그대로 사용한다. 따라서 cross bilateral filter를 적용하는 영역을 최소화 할 수 있다. 그러나 이 방법으로 부분적인 필터링만 하게 될 경우, 엷지를 벗어난 부분에 블로킹 현상이 일어난다. 블로킹 현상을 없애기 위해서 가장 윗 단계의 영상, 즉 피라미드의 최상위 단계 영상 전체에 cross bilateral filter를 적용해준다. 최상위 단계 영상에 필터를 적용시킬 경우 블로킹 현상을 최소화 할 수 있다.

3. 실험 결과

크기 \ 방법	matting	cross bilateral filter	계층적 cross bilateral filter
300 x 225	13.4610	6.5000	4.000
600 x 450	불가	40.7500	22.0780

표 1 각 방법에 대한 비교 (단위 : 초)

실험 결과는 원 논문의 방법과 비교하였다. 실험은 펜티엄 2.8GHz 및 2 GByte의 메모리를 가진 컴퓨터 환경에서 Matlab을 사용하여 실험하였다. 실험에서 사용한 가우시안 피라미드는 3단계의 단순 가우시안 피라미드를 이용하였다.

그림 4는 원 논문의 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 비교한 결과이다. 정련된 전달량을 비교해 봤을 때, 원 논문에서 사용한 matting 방법과 제안하는 방법인 cross bilateral filter를 사용하는 것에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.



(a) (b) (c)

그림 4 결과 영상 비교 (a) 원 영상, (b) bilateral filter를 이용한 결과, (c) 원 논문의 결과 영상

Matlab 환경 아래에서 matting 알고리즘은 매우 큰 메모리 사용하기 때문에 320 x 240 이상의 영상에서 메모리 부족으로 실행될 수 없다. 따라서 matting 방법을 적용하기 위해서는 영상의 크기를 줄이고 matting을 한 후 영상의 크기를 확장하는 방법 등을 사용하여야 한다.

Cross bilateral filter를 사용하였을 경우에는 메모리 문제에서 자유로울 수 있다. 그러나 cross bilateral filter를 사용할 경우에는 계산 속도 면에서 이득을 볼 수 없다.

제한하는 방법인 계층적 구조를 이용한 cross bilateral filter를 사용하였을 경우 전 영역에 대해 cross bilateral filter를 사용했을 때와 거의 유사한 결과를 얻을 수 있는 반면, 속도 면에서는 약 2배 정도의 속도 증가가 있음을 확인할 수 있었다. 표 1은 각각의 방법에 대해 측정된 시간을 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 계층적 cross bilateral filter를 사용했을 때 가장 빠른 결과를 얻었음을 확인할 수 있다.

그림 5는 계층적 구조를 사용했을 때의 결과와 전 영역에 대해 cross bilateral filter를 사용했을 때의 결과를 비교한 영상이다. 결과 영상을 두고 봤을 때 거의 차이가 없음을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구 계획

전달량의 정련과정에서 matting 이 아닌 계층적 cross bilateral filter를 사용할 경우 메모리 및 속도 면에서 이득을 볼 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 전달량 지도의 경계부분에서 matting에 비해 후광현상이 발생하는 경우가 있었다. 따라서 앞으로의 연구에서는 후광현상을 줄일 계획이다. 궁극적으로는 dark channel prior를 이용하지 않는 새로운 안개 제거 알고리즘을 개발할 계획이다.

5. 참고 문헌

[1] Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, "Instant dehazing of images using polarization," in *Proc. CVPR*, pp. 325-332, June 2001.

[2] S. Schwartz, E. Namer, and Y. Y. Schechner, "Blind haze separation," in *Proc. CVPR*, pp. 1984-1991, Oct. 2006.

[3] S.G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Chromatic framework for vision in bad weather," in *Proc.*



(a)



(b)



(c)

그림 5 계층적 필터를 사용했을 때의 비교, (a) 원본 영상, (b) cross bilateral filter 결과, (c) 계층적 cross bilateral filter 결과

CVPR, pp. 598-605, 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, 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, Dec. 2008.

[7] R.Tan, "Visibility in bad weather from a single image," in *Proc CVPR*, pp. 1-8, June 2008.

[8] R.Fattal, "Single image dehazing," *ACM Trans. Graphics*, vol. 27, no. 3, Aug. 2008.

[9] K. He, J. Sun, and X.Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," in *Proc. CVPR*, June 2009.

[10] A. Levin, D. Lischinski, and 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.

[11] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Proc. ICCV*, pp. 839-846, Jan. 1998.