

Dark Channel Prior를 이용한 영상 블러 측정

Image Blur Estimation Using Dark Channel Prior

박한훈*, 문광석**

Han-hoon Park*, Kwang-Seok Moon**

요약

Dark channel prior는 열화되지 않은 실외 영상의 경우 각 픽셀과 이웃 픽셀의 컬러 채널 중에 하나는 0에 가까운 값을 가진다는 것으로, 열화된 영상의 열화 정도를 추정하는 데 활용될 수 있다. 즉, 영상이 블러에 의해 열화되면 dark channel 값이 주변 픽셀과의 평균을 통해 증가하게 된다. 본 논문에서는 이러한 dark channel의 변화를 이용하여 영상 블러의 세기를 측정하는 방법을 제안한다. 주어진 크기의 가우시안 블러와 수평 모션 블러를 삽입한 영상에 대한 실험을 통해 제안된 방법의 유용성을 검증한다.

ABSTRACT

Dark channel prior means that, for undistorted outdoor images, at least one color channel of a pixel or its neighbors have values close to 0, and thus the prior can be used to estimate the amount of distortion for given distorted images. In other words, if an image is distorted by blur, its dark channel values are averaged with neighbor pixel values and thus increase. This paper proposes a method that estimates blur strengths by analyzing the variation of dark channel values caused by blur. Through experiments with images distorted by Gaussian and horizontal motion blur with given strengths, the usefulness of the proposed method is verified.

Keywords : Dark channel prior, blur estimation, Gaussian blur, motion blur

1. 서론

최근 He 등은 다양한 실외(outdoor) 영상을 이용한 실험을 통해 dark channel prior라고 하는 통계적인 특성을 제안하고, 안개 제거 알고리즘에 적용하여 우수한 성능을 가짐을 증명하였다[1]. 이후, dark channel prior는 안개 제거에만 효과적일 뿐만 아니라, 수중 영상 화질 개선 [2], 야간 영상 화질 개선 [3], 전반사 성분 분리 [4] 등에도 효과적이라는 연구 결과들이 보고되고 있다. 이처럼 dark channel prior는 어떠한 왜곡에도 노출되지 않은 영상이 가진 기본적인 특성이기 때문에, 다양한 왜곡에 의해 손상된 영상으로부터 왜곡 정도를 추정하고, 이를 복원하는 것과 관련된 다양한 응용 분야에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 dark channel prior가 영상 블러(blur) 측정에도 활용될 수 있음을 보여준다. 이를 위해 블러된 영상으로부터 측정된 dark channel 값으로부터 블러의 세기를

추정하는 방법을 제안하고 성능을 검증한다. 이는 블러된 영상의 경우 dark channel의 값이 주변 픽셀에 의해 영향을 받아 변화될 것이며 블러의 세기에 비례해서 밝기가 증가할 것이라는 가정을 기반으로 한다.

제안하는 방법의 초기 실험 결과는 [5]에서 소개되었으나, 본 논문에서는 dark channel prior와 영상 블러의 관계를 엄밀히 분석하고, 보다 다양한 실험을 통해 제안 방법의 성능을 검증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 dark channel prior에 대해 간략히 설명한다. III 장에서는 영상 블러와 dark channel prior와의 관계 및 제안 방법에 대해 설명하고, IV 장에서는 실험을 통해 제안 방법의 성능을 검증한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 제시한다.

II. Dark Channel Prior

He 등은 안개 제거 알고리즘 개발을 목적으로 안개를 포함하지 않는 실외 자연 및 도시 경관 사진 5000장을 선별하여, 각 영상을 500 500 크기로 변환한 후, 각 픽셀을 중심으로 15×15 사각 영역에 대한 연산을 통해 각 픽셀의 dark channel 값을 측정하였다. 이때, 픽셀 x 에서의 dark channel 값은 다음과 같이 측정된다.

* 부경대학교

**부경대학교 교신저자

본 논문은 2014년도 한국항공우주연구원의 위탁과제 지원에 의하여 수행되었음(과제번호: CD20140749).

투고 일자 : 2014. 6. 24 수정완료일자 : 2014. 7. 29

게재확정일자 : 2014. 8. 2

$$cp = \min_{w(x_i), c \in \{G, B\}} v_w^c(x_i) \quad (1)$$

여기서, v^c 는 픽셀의 컬러 채널 값, $w(x_i)$ 는 x_i 를 중심으로 한 사각영역을 의미한다. 그러므로, x_i 를 중심으로 한 사각영역 내의 모든 픽셀의 컬러 채널 값 중에 최소값이 x_i 의 dark channel 값이 된다. 그 결과, 75% 이상의 픽셀에서 0의 값이 측정되었고, 90%의 픽셀에서 25보다 작은 값이 측정되었다. 이를 dark channel prior라고 한다[1]. 그러므로, 임의의 영상에 대해 측정된 dark channel 값이 크다면, 그 영상은 안개를 포함한다는 의미이고, 안개 농도는 dark channel 값에 비례한다.

여기서 주목할 점은 He의 실험에 사용된 영상은 안개뿐만 아니라 영상 블러도 포함하지 않기 때문에, dark channel prior는 영상 블러가 없는 영상의 특성이기도 하다.

III. 제안 방법

영상 블러는 일반적으로 다음과 같이 표현된다[6].

$$y = Hx + n. \quad (2)$$

여기서, x 는 입력영상, y 는 블러된 영상, H 는 블러 커널(kernel) 함수, n 은 잡음이다. 잡음의 영향을 배제하면, 영상 블러는 각 픽셀과 이웃 픽셀들의 값을 입력으로 하는 지역적(local) 가중치평균(weighted-mean) 함수의 결과로 볼 수 있다. 그러므로, dark channel 값 역시 영상 블러에 의해 주변 픽셀의 영향으로 변하게 될 것이다. 즉, 식 (1)에서 $w(x_i)$ 내의 픽셀 값들은 블러의 세기가 증가할수록 일정한 평균값으로 수렴해가고, dark channel의 값은 점점 커지게 된다(그림 1에서 서로 다른 밝기를 가지는 곡선은 서로 다른 블러 세기를 가지는 영상에 대해 이웃한 픽셀들의 밝기를 연속적인 1차원으로 표현한 것으로, 블러 세기 증가로 인해 이웃한 픽셀의 밝기 값이 비슷해지는 양상을 볼 수 있다).

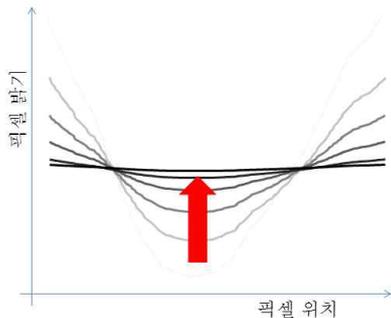


그림 1. Dark channel 값에 대한 영상 블러의 영향.
Fig. 1. Influence of image blur on dark channel value.
결국, 영상 블러의 세기와 각 픽셀의 dark channel의 값은 비례 관계를 가지므로, 다음과 같이 정의할 수 있다.

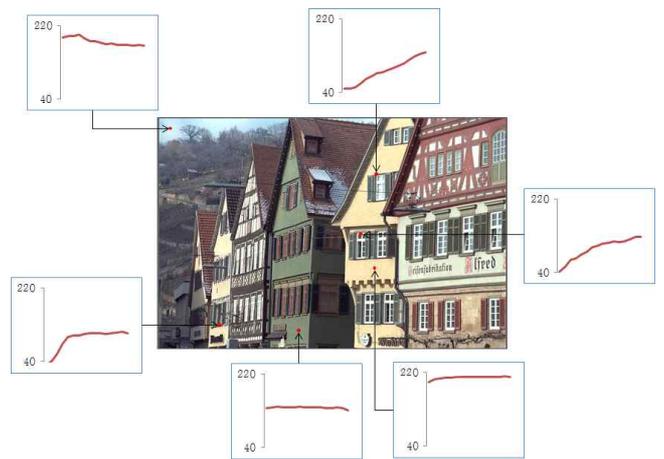
$$dcp_{x_i} = f(b_{x_i}). \quad (3)$$

여기서, b_{x_i} 는 픽셀 x_i 에서의 블러의 세기를 의미하고, $f()$ 는 단조증가하는(monotonically increasing) 함수이다. 이는 블러된 영상으로부터 각 픽셀의 dark channel 값을 측정하면, 블러의 세기를 추정할 수 있다는 것을 의미한다.

그러나, 한 가지 고려되어야 할 것은 자연광에 가까운 색을 가지는 영역이나 픽셀 값의 변화가 적은 영역에서는 지역적 가중치평균 연산인 영상 블러를 수행하더라도 큰 변화가 없다는 것이다. 결국 이는 영상 블러에 의한 dark channel 값의 변화 역시 거의 발생하지 않기 때문에(그림 2 참조), 식 (3)과 같은 관계를 추정할 수 없다. 본 논문에서는 픽셀 값의 변화가 큰 영역인 에지(edge) 영역에서만 식 (3)의 관계를 추정한다. 사실, 에지 영역의 크기는 전체 영상 크기에 비해 상대적으로 매우 작기 때문에, 에지 영역에서만 dark channel 값을 계산하는 것은 처리 속도 면에서도 유리하다.



(a) 가우시안 블러



(b) 모션 블러

그림 2. 서로 다른 영역에서의 블러 세기 증가에 따른 dark channel 값의 변화.

Fig. 2. Variation of dark channel values according to the increase of blur strengths in different pixel areas.

그림 2에서 보는 것처럼, 블러의 종류에 상관없이 에지 영역에서는 블러의 세기와 dark channel 값의 비례 관계를 관찰할 수 있다. 그러나, [5]에서 가정한 선형적인 비례 관계는 아니며, 비선형적인 비례 관계를 가진다. 본 논문에서는 이를 다음과 같이 2차원 다항식으로 모델링하고, 그 성능을 검증한다.

$$cp = k_1 b_{x_i}^2 + k_2 b_{x_i} + k_3. \quad (4)$$

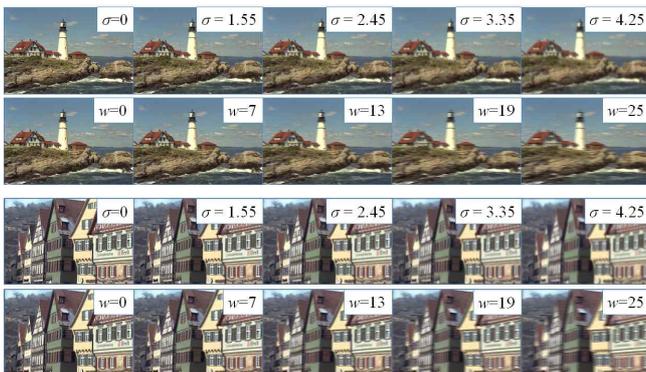
여기서, k_1, k_2, k_3 는 상수이다.

IV. 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 LIVE 데이터베이스[7]의 영상을 사용하였다(일부 영상은 그림 3 참조). 실험에 사용된 영상은 총 12장이며, 영상의 크기는 768×512 이고, 열화되지 않은 각 영상에 대해 OpenCV[8]의 cvSmooth 함수를 이용하여 $\sigma = 0.3 * (0.5 * f - 1) + 0.8$, ($f = 3, 5, 7, \dots, 25$)의 크기를 가지는 가우시안 블러 및 $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$ 의 커널과 $w = f$, ($f = 3, 5, 7, \dots, 25$)의 크기를 가지는 수평 모션 블러를 삽입하였다.



(a) 원 영상



(b) 가우시안 블러 또는 수평 모션 블러된 영상

그림 3. 실험에 사용된 영상 및 블러된 영상 일부.

Fig. 3. A part of images used in experiments and blurred ones.

그러므로, σ 값은 실제 0.95부터 0.3씩 증가한다. 알고리즘은 Matlab을 이용하여 구현되었으며, i5-2400 3.1G CPU와 4GB RAM을 탑재한 PC에서 실행되었다. 에지 검출을

위해 Canny 방법[9]을 이용했다.

Dark channel 값을 영상 전체에서 구하는 것과 에지 영역에서만 구하는 것의 차이를 분석하기 위해 두 가지 방법(전체 영역, 에지 영역)에 대한 결과를 모두 얻었다(그림 4 참조).



(a) 전체 영역



(b) 에지 영역

그림 4. Dark channel 값 계산.

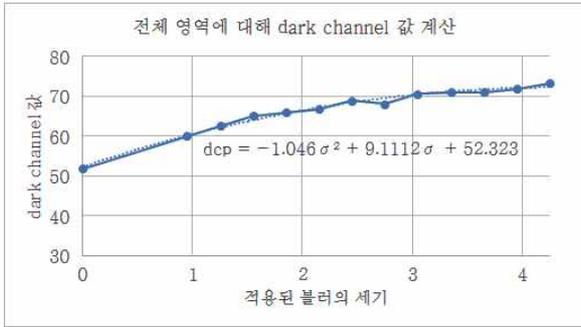
Fig. 4. Computation of dark channel values.

가우시안 블러에 대한 결과(모든 영상에 대한 결과를 평균)로, 그림 5에서 보는 것처럼, 전체 영역에 대해 계산할 경우 식 (4)의 $k_1 = -1.046, k_2 = 9.1112, k_3 = 52.323$ 이고, 에지 영역에 대해서만 계산할 경우 $k_1 = -1.4118, k_2 = 13.455, k_3 = 32.217$ 이었다. Dark channel 값이 주어지면, 다음과 같은 식을 이용하여 블러의 세기를 추정했으며,

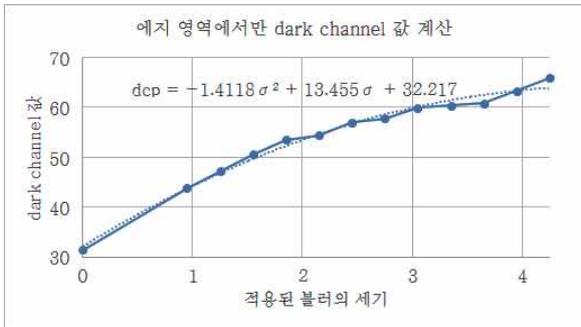
$$\sigma : k_1 \sigma^2 + k_2 \sigma + k_3 - dcp = 0. \quad (5)$$

주어진 σ 의 범위(0.95 ~ 4.25)에서 평균 추정 오차는 전체 영역에 대해 계산할 경우 0.146이었고, 에지 영역에 대해서만 계산할 경우, 0.106이었다([5]의 선형 모델에 비해 추정 오차가 크게 감소했다). 식 (5)에서 dcp 는 dark channel 값을 계산한 픽셀들에 대한 평균값이다. 결과적으로, 에지 영역에 대해서만 계산하는 것이 추정 오차가 작았으며, 그림 5(a)에서 보는 것처럼 전체 영역에 대해 계산할 경우 dark channel 값과 블러 세기의 관계는 일부 구간에서 단조 증가하지 않는 문제도 있었다. 또한, 전체 영역에 대해 계산할 경우 픽셀 값의 변화가 적은 영역을 많이 포함하기 때문에 블러의 세기가 0일 때도 dark channel 값이 에지 영역에 대해 계산할 경우에 비해 상대적으로 크게 나타났다(즉, dark channel prior에서 크게 벗어났다). 이는 전체 영역에 대해 계산하는 것보다 에지 영역에서만 계산하는 것이 정확성, 신뢰성 면에서 우수한 성능을 가짐을 보여준다.

모션 블러에 대한 결과(모든 영상에 대한 결과를 평균)로, 그림 6에서 보는 것처럼, 전체 영역에 대해 계산할 경우 식 (4)의 $k_1 = -0.0289, k_2 = 1.334, k_3 = 52.452$ 이고, 에지 영역에 대해서만 계산할 경우 $k_1 = -0.0342, k_2 = 1.8002, k_3 = 33.169$ 였다. Dark channel 값이 주어지면, 다음과 같은 식을 이용하여 블러의 세기를 추정했으며,



(a) 전체 영역에 대해



(b) 에지 영역에서만

그림 5. Dark channel 값과 가우시안 블러 세기의 관계 추정.

Fig. 5. Estimation of the relationship between dark channel values and Gaussian blur strengths.

$$: k_1 w^2 + k_2 w + k_3 - dcp = 0. \quad (5)$$

주어진 w 의 범위(3 ~ 25)에서 평균 추정 오차는 전체 영역에 대해 계산할 경우 1.121이었고, 에지 영역에 대해서만 계산할 경우, 0.544였다. 결과적으로, 가우시안 블러에 대한 결과에서와 마찬가지로 에지 영역에 대해서만 계산하는 것이 정확성 면에서 우수한 성능을 가졌다.

마지막으로, 추정 시간은 블러의 종류와 상관없이 전체 영역에 대해 계산할 경우 1.69초, 에지 영역에 대해서만 계산할 경우 0.36초였다.

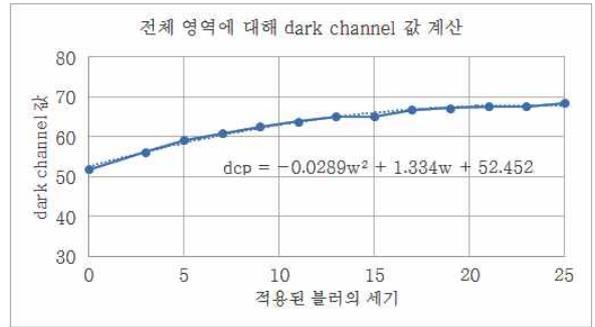
결과적으로, 블러의 종류에 상관없이 dark channel 값으로부터 성공적으로 영상 블러를 추정할 수 있으며, 블러의 종류에 따른 성능의 차이는 없었다. 또한, 에지 영역에 대해서만 dark channel 값을 구해서 블러를 추정하는 것이 더 효율적임을 알 수 있었다.

V. 결론

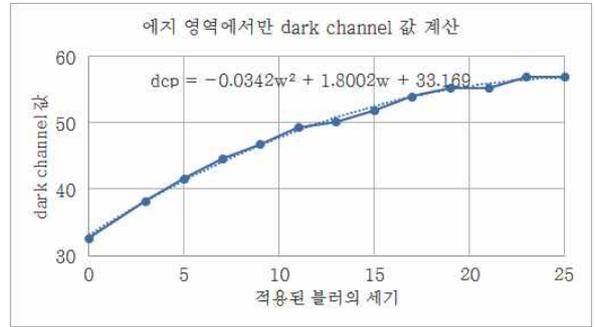
본 논문에서는 dark channel prior를 이용하여 영상 블러의 세기를 측정하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 에지 영역에서 dark channel 값을 계산함으로써, 0.95 ~ 4.25의 세기를 가지는 가우시안 블러에 대해서 0.106의 추정 오차, 3 ~ 25의 세기를 가지는 수평 모션 블러에 대해서는 0.544

의 추정오차를 가지고 블러의 세기를 측정할 수 있음을 검증하였다.

본 논문에서는 식 (2)에서 잡음의 영향을 고려하지 않았다. 향후, 제안 방법의 실용성을 향상시키기 위해 잡음을 전처리 과정에서 없애거나 잡음의 영향을 고려하여 블러의 세기를 추정하도록 제안 방법을 개선하는 연구가 필요하다.



(a) 전체 영역에 대해



(b) 에지 영역에서만

그림 6. Dark channel 값과 모션 블러 세기의 관계 추정.

Fig. 6. Estimation of the relationship between dark channel values and motion blur strengths.

참고 문헌

- [1] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," Proc. of CVPR, pp. 1956-1963, 2009.
- [2] H. Wen, Y. Tian, T. Huang, and W. Gao, "Single underwater image enhancement with a new optical model," Proc. of ISCAS, pp. 753-756, 2013.
- [3] X. Jiang, et al., "Night video enhancement using improved dark channel prior," Proc. of ICIP, pp. 553-557, 2013.
- [4] H. Kim, H. Jin, S. Hadap, and I. Kweon, "Specular reflection separation using dark channel prior," Proc. of CVPR, pp. 1460-1467, 2013.
- [5] 박한훈, 조정아, 문광석, "Dark channel prior를 이용한 영상 블러 측정에 관한 연구," 한국신호처리시스템학회 하계학술대회 논문집, 2014.

- [6] R. L. Lagendijk and J. Biemond, Iterative Identification and Restoration of Images, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [7] Live database, <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>
- [8] OpenCV library, <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [9] J. Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, Issue 6, pp. 679-698, 1986.



박 한 훈 (Hanhoon Park)

正會員

2000년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학사)

2002년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학석사)

2007년 8월 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학박사)

2007년 9월 ~ 2008년 10월 한양대학교 BK21박사후연구원

2008년 11월 ~ 2011년 10월 NHK방송기술연구소 박사후연구원

2011년 11월 ~ 2012년 2월 한양대학교 전기정보통신기술연구소 연구교수

2012년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 조교수

※주관심분야 : 3차원 영상처리, 증강현실, 인간컴퓨터상호작용



문 광 석 (Kwang-Seok Moon)

正會員

1979년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)

1981년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사)

1989년 2월 경북대학교 전자공학과(공학박사)

1988년 일본 동경대학교 학부연구원

1997년 8월 ~ 1998년 7월 미국 JSU 객원교수

2006년 1월 ~ 2006년 12월 미국 NSU 객원교수

1990년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 교수

※주관심분야 : 영상신호처리, 적응신호처리 등