

Upper Mean을 이용한 Distance Transform

박정욱^o 박정철 이관행

광주과학기술원 기전공학과

{vzo^o, jucpark}@gist.ac.kr, lee@kyebek.gist.ac.kr

Distance Transform Using Upper Mean

Joungwook Park^o Jeungchul Park Kwan H. Lee

Dept. of Mechatronics, GIST

요 약

반짝이는 물체를 촬영하면 이미지에 하이라이트(highlight)와 반짝거림(specularity)이 발생한다. 하이라이트가 발생한 이미지에서 하이라이트를 제거하고 원색으로 복원하는 방법 중에 하나가 하이라이트 색 복원(inpainting)이다. 하이라이트 색을 복원하는 과정은 다음 두 단계로 구성된다. 첫 단계로 하이라이트의 위치를 알고 있다고 가정하면, 하이라이트의 주변 영역을 찾고 CL-projection을 이용해 주변 영역의 색에서 하이라이트나 반짝거림의 영향을 제거한다. 두 번째 단계로 하이라이트 주변 영역의 색을 기반으로 upper mean을 이용하여 distance transform을 수행한다. Upper mean을 이용한 distance transform의 가장 큰 장점은 하이라이트 주변을 보정하고 그 정보를 이용하기 때문에 하이라이트 색을 복원할 뿐만 아니라 반짝거림에 대한 보정도 된다.

1. 서 론

반짝이는 물체를 촬영하면 이미지에 반짝거림이나 하이라이트가 발생하게 된다. 이때 하이라이트가 없는 이미지로 재생성하기 위해서는 하이라이트 부분의 색 정보가 필요하다. 그러나 하이라이트 부분은 광세가 포화되어 원래 색의 특성을 잃었기 때문에 하이라이트 자체에서 색의 특성을 파악할 수는 없다. 그러므로 하이라이트의 색 정보를 알기 위해 하이라이트 주변 영역의 색 정보를 이용할 수 있다. 그러나 또 하나의 문제는 반짝이는 물체의 경우 하이라이트 주변 영역의 색도 변질되어 있기 때문에, 변질된 영역의 색도 보정해야 된다. 이렇게 하이라이트 주변 영역이 보정되면 이 정보를 이용하여 하이라이트를 다시 칠하게 된다. 여기서 하이라이트 부분이 넓은 영역에 분포하는 경우 실제 물체처럼 자연스럽게 다시 칠하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 하이라이트를 다시 칠하기 위해 하이라이트 주변 영역의 보정을 CL-projection을 이용하여 수행하고, 다시 칠한 하이라이트가 자연스럽게 보이도록 보정된 주변 영역의 정보로부터 upper mean을 이용한 distance transform 방법을 사용한다.

반짝이는 특성을 제거하기 위한 연구는 이미지 자체에서 처리하는 방법과 이미지 획득하는 과정을 달리하여 처리하는 방법이 있다. 이미지 자체를 사용하는 방법 중에서 G.J. Klinker[1]는 한 장의 이미지의 각 픽셀들이 RGB 색공간에서 dichromatic model[2]를 기반으로 분포하는 것을 착안하여 반짝거리는 특성을 제거하였고 Ping Tan[3]은 사용자가 지정한 영역에서 에너지 최소화 기법을 적용하여 투영 방향을 계산하였지만 투영 방향에 따라 결과가 달라진다. Tan, R.T.[4]는 색도(chromaticity)와 명암도(intensity)를 이용하여 반짝거리는 부분을 찾고 반복 수행을 통해 반짝거림을 제거하였다.

이미지 획득 과정을 달리한 방법 중에서 가장 먼저 수행된 방법이 L.B. Wolff[5]가 제안한 편광기를 이용한 방법이 있다. 편광 이미지만을 이용하여 반짝이는 특성이 완전히 제거되지 않기 때문에 다른 방법이 시도되었는데, 편광 이미지와 dichromatic model을 같이 사용하면서 specular 벡터의 투영 방향을 결정하기 위한 다양한 에너지 방법이 적용되었다[6][7]. 이 밖에도 여러 방향의 광원을 이용하는 방법[8][9][10]과 물체를 움직이거나 카메라를 움직여서 여러 장의 이미지를 획득하여 반짝거림을 제거하는 방법이 있다[11][12]. 최근에는 HDR이미지에서 반짝거림을 제거하기 위해 평활화 방법을 이용하였다[13].

본 연구에서 하이라이트 주변 영역의 반짝이는 특성을 제거하기 위해 사용된 방법은 CL-projection이다[18]. CL-projection이란 같은 색인 경우 색의 특성을 color line[14]으로 표현할 수 있고, color line을 따라 가면서 반짝이는 특성을 제거하는 방법이다. 본 논문에서는 이렇게 주변 영역의 정보로부터 upper mean을 이용한 distance transform[15]방법으로 하이라이트를 다시 칠하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 1장의 서론을 포함하여 총 5장으로 구성된다. 2장에서 본 논문에서 사용된 기초 개념과 highlight inpainting[16] 과정을 설명하고 3장에서는 제안된 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 실제 이미지를 이용한 결과를 제시하고 5장에서는 결론에 대해 서술한다.

2. 기본 개념

2.1 Dichromatic reflection model 과 color line

Dichromatic reflection model[2]이란 물체에서 반사되어 획득된 색은 물체 표면에서 직접 반사되는 성분과 물체 자체에서 반사되는 성분으로 이루어진다는 것이다.

이때 단일 광원에 대해 skewed L-shape[17]이 생성되면 색공간에서 픽셀 분포를 대표하는 곡선을 생성할 수 있고, 이것을 color line[14]이라고 한다.

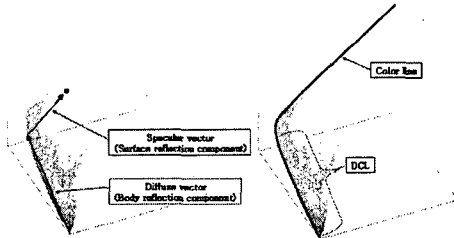


그림 1. Dichromatic model과 color line 개념도

2.2 CL-projection

색공간상에서 color line이 꺾이는 점 r_{CL} 을 기준으로 diffuse color line(DCL)과 specular color line(SCL)으로 분리하면, SCL을 따라서 왜곡된 각 픽셀을 DCL에 투영함으로써 픽셀의 왜곡 현상을 제거할 수 있다. 이때 투영하기 전에 각 색상의 특성을 유지하기 위해 각 색상들 사이의 색 거리 비율을 유지한다. 이러한 방법을 하이라이트 주변 영역으로 확장하면서 r_{CL} 에 도달할 때까지 반복적으로 수행하는 방법이 CL-projection이다

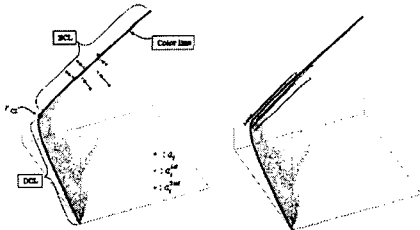


그림 2. 거리비율에 따른 2단계 color line 투영 개념

2.3 Highlight inpainting

하이라이트의 색을 복원하기 위한 과정은 두 단계로 이루어진다. 우선 하이라이트의 부분을 찾는 과정이다. 본 연구에서는 하이라이트를 알고 있다고 가정하고 첫 단계로 하이라이트 주변 영역을 찾는다. 주변 영역을 찾을 때 이미지에서 픽셀 단위로 확장하고 CL-projection을 적용면서 r_{CL} 에 도달할 때까지 반복적으로 수행한다. 두 번째 단계로 하이라이트 경계부터 하이라이트 내부로 들어가면서 upper mean을 이용한 distance transform을 수행하여 하이라이트를 다시 칠한다.

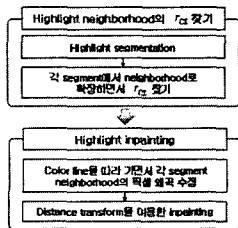


그림 3. Highlight inpainting 과정

3. Upper mean을 이용한 distance transform

하이라이트를 다시 칠하기 위해 하이라이트 주변 정보를 이용하여 하이라이트를 칠해야 한다. 이때 하이라이트는 이상적으로 한 점에 나타나야 하지만 실제로는 넓은 영역으로 나타나기 때문에, 하이라이트 내부를 다시 칠하기 위해 주변의 값보다 큰 값을 적용해야 한다. 그러나 이 경우 주변의 큰 값으로만 적용되기 때문에 주변의 작은 값들과 어울리지 않게 된다. 다시 말해서, 실제와 다르게 보이게 된다. 이런 점을 보완하기 위해 upper mean을 사용한다.

이미지에서 (i, j) 에 위치한 픽셀 값을 $I(i, j)$ 라고 하고 그 픽셀의 색 거리를 $D(i, j)$ 라고 하자. 또한 임의의 픽셀 (x, y) 주변 $M \times M$ 에 존재하는 픽셀의 위치 집합 $E(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$E(x, y) = \left\{ (i, j) \mid x - \frac{M}{2} \leq i \leq x + \frac{M}{2}, x - \frac{M}{2} \leq j \leq x + \frac{M}{2} \right\} \quad (1)$$

그러면 집합 $E(x, y)$ 에 해당되는 픽셀들의 색 거리 평균 $MED(x, y)$ 은 다음과 같이 정의 된다.

$$MED(x, y) = \frac{\sum_{(i, j) \in E(x, y)} D(i, j)}{M \times M} \quad (2)$$

임의의 픽셀 (x, y) 주변 픽셀들 중에서 색 거리가 $MED(x, y)$ 보다 큰 픽셀들 위치의 집합 $UE(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$UE(x, y) = \left\{ (i, j) \mid D(i, j) > MED(x, y), x - \frac{M}{2} \leq i \leq x + \frac{M}{2}, y - \frac{M}{2} \leq j \leq y + \frac{M}{2} \right\} \quad (3)$$

여기서 upper mean $UMED(x, y)$ 는 임의의 픽셀 (x, y) 주변 픽셀들 중에서 색 거리가 $MED(x, y)$ 보다 큰 픽셀들의 평균값이고 다음 식과 같다.

$$UMED(x, y) = \frac{\sum_{(i, j) \in UE(x, y)} D(i, j)}{\# \text{ of element}} \quad (4)$$

하이라이트를 다시 칠하기 위해 하이라이트 경계선에 위치하는 픽셀에 대한 $UMED(x, y)$ 을 생성하여 하이라이트 경계선의 픽셀 값을 대치한다. 하이라이트 영역 안에 존재하는 픽셀들 위치의 집합을 HE 라고 하면, 이 때 하이라이트의 픽셀 값은 계산에 사용되지 않아야 하기 때문에 식(3)과 (4)는 식(5)와 (6)으로 변형되어야 한다.

$$\overline{UE}(x, y) = \left\{ (i, j) \mid (i, j) \in UE(x, y) \text{ and } (i, j) \notin HE \right\} \quad (5)$$

$$MED(x, y) = \frac{\sum_{(i, j) \in \overline{UE}(x, y)} D(i, j)}{\# \text{ of element}} \quad (6)$$

그러므로 하이라이트에 있는 모든 픽셀에 대해 경계선 픽셀부터 반복 수행하면서 식(6)을 적용하면 하이라이트를 실제와 유사한 색상으로 다시 칠한 결과를 얻을 수 있다.

4. 실험 결과

노출 시간을 달리한 이미지를 촬영하기 위해 Cannon EOS 300D를 사용하였고 렌즈는 Cannon EFS(18-55mm)를 사용하였다. F-stop은 5.6으로 하고

노출시간을 달리한 두 장의 이미지를 만들기 위해 셔터 스피드를 1/100s와 1/500s를 사용하였다. 촬영을 위해 5400K 광원을 사용하였고 diffuse film을 광원 앞에 설치하였다. 촬영시 실측된 색 온도는 5200K다.

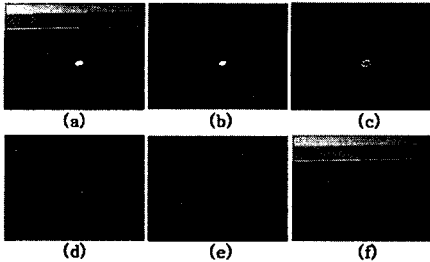


그림 4. Highlight inpainting 전체 과정

그림 4(a)의 원본 이미지에서 하이라이트를 찾은 그림이 4(b)다. 하이라이트의 주변 영역을 나타내는 그림 4(c)를 CL-projection을 이용하여 보정된 결과가 그림 4(d)다. 그림 4(d)를 이용하여 하이라이트 부분을 upper mean distance transform을 수행한 것이 그림 4(e)고, 원본 이미지에서 하이라이트 부분과 주변 영역의 이미지를 그림 4(f)로 대신하면 그림 4(f)를 얻을 수 있다.

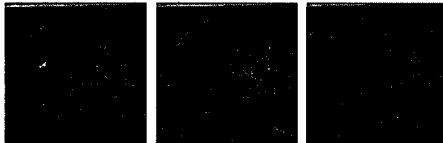


그림 5. Upper mean을 이용한 distance transform 방법(우)과 다른 방법(평균(좌), 최대(중앙)) 비교

그림 5는 세 가지 방법으로 distance transform을 수행한 결과다. 그림 5에서 좌측에 있는 그림은 평균을 이용하였고, 중앙의 그림은 최대치를 이용하였고, 우측에 있는 그림은 upper mean을 이용한 그림이다. 평균을 이용한 경우는 주변 값에서 상대적으로 어두운 픽셀의 영향으로 부분적으로 어두워 보이고, 최대치를 이용한 경우는 전체적으로 밝기 때문에 일정 거리 안쪽의 픽셀에 대해 모두 가장 밝은 값을 가지게 된다. 제안된 방법은 어두운 부분에 대해 점점 밝은 값으로 대치되고 밝은 픽셀 값의 경우 주변 픽셀 값을 고려하여 최소 평균 이상의 값으로 대치하기 때문에 보다 자연스러워 보인다.

4. 결 론

본 논문은 하이라이트의 원색을 복원하고 보다 자연스러운 값으로 대치하기 위해 upper mean을 이용한 distance transform을 사용하였다. 이 방법의 장점은 주변 색에 대한 고려를 하여 하이라이트라 할지라도 자연스럽게 보이도록 만들어 준다. 또한 하이라이트 주변 영역도 반짝이는 효과에 의해 왜곡되어 있기 때문에 CL-projection을 이용하여 보정을 선행하기 때문에 보다 자연스러운 하이라이트 다시 칠하기가 수행되었다. 그러나 본 연구는 주변 색이 동일하고 단일 색인 것을 가정하기 때문에 제한된 범주에서만 사용이 가능하다. 같은 색을 기반으로 하더라도 텍스처를 고려하여 하이라이트를 다시 칠하면 더 좋은 결과를 낼 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 대학IT연구센터(ITRC) 사업의 지원과 광주과학기술원 실감콘텐츠 연구센터(ICRC)를 통한 과학기술부 특정연구개발 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] KLINKER, G.J., A Physical Approach to Color Image Understanding, A K Peters, Wellesley, Massachusetts, 1993
- [2] Shafer, S.A., "Using color to separate reflection components", COLOR research and application 10, pp. 210-218, 1985.
- [3] Ping Tan, Lin, S., Long Quan, Heung-Yeung Shum, "Highlight removal by illumination - constrained inpainting", Computer Vision, 2003. Proceedings. Ninth IEEE International Conference on, vol.1 pp. 164 169, 13-16 Oct. 2003.
- [4] Tan, R.T., Nishino, K., Ikeuchi, K., "Separating reflection components based on chromaticity and noise analysis", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on ,vol. 26, Issue 10, pp. 1373 1379, Oct. 2004.
- [5] L.B. Wolff and T. Boulton, "Constraining Object Features Using Polarization Reflectance Model", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, no. 7, pp. 635-657, July 1991.
- [6] S.K. Nayar, X.S. Fang, and T. Boulton, "Separation of Reflection Components Using Color and Polarization", Int'l J. Computer Vision, vol. 21, no. 3, 1996.
- [7] Dae-Woong Kim, Stephen Lin, Ki-Sang Hong, Heung-Yeung Shum, "Variational Specular Separation Using Color and Polarization", IAPR WORKSHOP ON MACHINE VISION APPLICATIONS, 2002.
- [8] Y. Sato and K. Ikeuchi, "Temporal-Color Space Analysis of Reflection," J. Optics Society of Am. A., vol. 11, no. 11, pp. 2990-3002, 1994.
- [9] S. Lin and H.Y. Shum, "Separation of Diffuse and Specular Reflection in Color Images", Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.
- [10] R. Feris, R. Raskar, K. Tan and M. Turk, "Specular reflection reduction with multi-flash imaging," IEEE Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, Curitiba, Brazil, 2004.
- [11] S.W. Lee and R. Bajcsy, "Detection of Specularity Using Color and Multiple Views," Image and Vision Computing, vol. 10, pp. 643-653, 1990.
- [12] S. Lin, Y. Li, S.B. Kang, X. Tong, and H.Y. Shum, "Diffuse-Specular Separation and Depth Recovery from Image Sequences," Proc. European Conf. Computer Vision, pp. 210-224, 2002.
- [13] Pawel G'orny, "Highlight Removal Method for HDR Images", Central European Seminar on Computer Graphics (CESCG), 2005.
- [14] Omer, I. and Werman, M., "Color lines: image specific color representation" Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on vol. 2, pp. II-946 - II-953, 27 June-2 July 2004.
- [15] Anil k.Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, 1989.
- [16] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles and C. Ballester. Proceedings of SIGGRAPH 2000, New Orleans, USA, July 2000.
- [17] R. Gershon, A.D. Jepson, and J.K. Tsotsos, "Highlight identification using chromatic information," Proc. 1st Int. Conf. Computer Vision, pp. 161-171. IEEE, London, June 1987.
- [18] 박정록, 유재덕, 이관행, "Color line을 이용하여 highlight의 반짝이는 특성을 제거하는 방법 연구", 대한전공학회 컴퓨터소사이어티 하계학술대회 논문집 제28권 제1호, pp. 49 - 52. 2005