

하이라이트 기반의 제한된 영역확장방법을 이용한 Color line 생성 연구

박정욱, 유재덕, 유현진, 김강연, 이관행
광주과학기술원 기전공학과
(vzo.uranus,hjyoo@gist.ac.kr), (dark.lee@kyebek.gist.ac.kr)

Color Line Generation based on Highlight using Restrict Region Growing

Joung Wook Park, Jae Doug Yoo, Hyun Jin Yoo, Kang Yeon Kim, Kwan Heng Lee
Dept. of Mechatronics, GIST

요 약

색선(Color line)은 물체의 색을 표현하는 방법으로 단색인 물체의 색은 하나의 색선으로 표현된다. 하이라이트가 발생하는 반짝이는 물체는 색선이 하이라이트를 포함하기 때문에 하이라이트를 찾고 하이라이트에서 영역을 확장하면서 색선을 생성할 수 있다. 그러나 단순한 영역확장 방법은 색을 구분이 난해하기 때문에 제한적인 영역확장 방법을 사용해야 한다. 여기서 노출 시간이 다른 이미지를 한 장 더 촬영하여 하이라이트의 색상 방향을 설정하고 이를 기반으로 색선을 생성한다. 본 연구에서는 하이라이트 기반으로 색선을 생성하고 생성된 색선을 이용하여 반짝이는 특성도 제거한 후 결과를 비교한다.

1. 서론

물체의 색을 표현하는 방법으로 단색인 물체의 색은 하나의 색선(color line)으로 표현된다는 것이다. 이러한 색선을 생성하는 기존의 방법은 색공간에서 반구를 이용하여 반구를 확장하면서 색을 분할하고 분할된 색을 기반으로 색선을 생성하였다[1]. 그러나 이 방법의 경우 사용자가 색의 개수와 영역을 분할하는 방법에 개입해야 되는 단점이 있다.

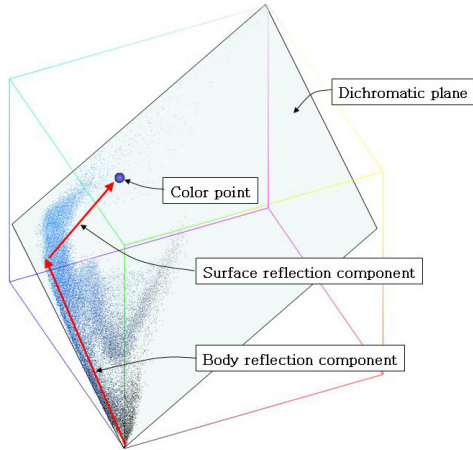
일단 색선을 생성하게 되면 이미지를 세그먼트하거나 물체의 색을 교환할 수도 있다. 또한 색을 이용한 반짝이는 특성 제거도 가능하다[2,3]. 본 논문에서는 이런 색선을 하이라이트를 기반으로 생성하는 효율적인 방법을 제안하고 색선의 생성 결과를 이용하여 하이라이트 및 반짝이는 특성을 제거하는 결과를 제시할 것이다.

1 장의 서론을 비롯하여 2 장에서는 기본 개념 설명을 하고 3 장에 제안된 방법을 제시할 것이다. 4 장에 실험 결과를 제안하고 5 장에 결론을 제시할 것이다.

2. 기본 개념

Dichromatic reflection model[4]은 반짝이는 물체의 색을 표현하는 색상 모델 중 하나이다. Dichromatic reflection model에서는 물체의 색은 표면에서 반사되는 특성을 표현하는 색 벡터와 물체 자체에서 반사되는 특성을 표현하는 색 벡터의 합으로 표현된다. 만약 무채색이 아닌 단색의 반짝이는 구가 있고 백색광이 비추진다면 표면 반짝이는 효과가 강한 하이라이트 부근을 제외한 모든 색은 물체 자체에서 반사되는 색 벡터 방향으로 분포한다. 또한 포화되지 않은 색에 대해 물체 전체의 표면 반사특성이 동일하다고 가정하면, 하이라이트와 그 부근의 색은 두 벡터 성분의 합으로 표현된다. 다시 말해 동일한 색과 다양한 surface normal 을 가진 반짝이는 특성의 물체에 백색광원을 비추다면 색은 이상적으로 기울어진 'L' 자 모양의 분포, 즉 2 개의 직선으로 이루어진 분포를 가지게 되고 이 색들의 분포는 두 벡터로 이루어진 하나의 평면에 분포하게 된다. 그러나 실제 물체를 촬영하면 이와 다르게 색의 분포가 특정한 커브를 가지게 되는데 이를 Omer[1]는 색선(color

line)이라 정의하였다. 색선은 조사된 광원에서 동일한 색의 동일한 물체에 대해 측정된 색은 연속된 open polyline 으로 표현된다. 이러한 색선 표현법을 만족하기 위해서는 형상변화가 다양한, 즉 surface normal 이 다양한 단색 물체이고 주변의 환경에 영향을 받지 않아야 한다. 주변환경의 영향을 받는 경우 다양한 색상의 조명을 비춘 것과 같은 효과에 의해 색상 분포가 달라지기 때문에 색 분포가 색선이 아닌 volume 을 가지게 된다. 그러므로 본 연구에서는 색선이 생성되는 단색의 다양한 형상에 대해 단색광을 비춘 물체에 한정하여 적용할 것이다.



(그림 1) Dichromatic reflection model

본 논문에서는 하이라이트에서 시작되는 색선의 실마리를 찾기 위해 하이라이트와 하이라이트 주변 영역을 다음과 같이 정의한다. 정상 상태에서 촬영된 이미지와 동일 조건에서 노출시간을 감소시킨 후 촬영된 두 장의 이미지가 있다고 가정하면, 정상상태 이미지와 노출시간이 감소된 이미지에서 모두 흰색으로 표현되는 이미지 상의 픽셀을 하이라이트가 발생된 픽셀로 정의하고, 정상상태에서는 흰색이지만 노출시간이 감소한 이미지에서는 흰색이 아닌 하이라이트의 주변 영역을 하이라이트 이웃 영역으로 정의한다.

$$I_{t_l}^{e_k}(i, j) \text{ 이 노출 시간 } e_k (e_0 > e_1 > \dots > e_{k-1} > e_k$$

)에서 $t_l (t_0 < t_1 < \dots < t_{l-1} < t_l)$ 번째 촬영된 이미지에서 (i, j) 에 위치한 픽셀 값이라고 하고 $\Phi_{t_l}^{e_k}$ 를 그 이미지 중에서 흰색(\bar{w}) 픽셀들의 위치 집합이라고 하면 정상상태에서 촬영했을 때 이미지의 노출 시간을 e_0 에서 첫번째(t_0) 촬영된 원본이미지와 노출 시간을 e_k 로 감소시킨 t_l 번째 촬영된 이미지의 (i, j) 에 위치한 픽셀 값은 $I_{t_0}^{e_0}(i, j)$ 과 $I_{t_l}^{e_k}(i, j)$ 이 된다. 하이라이트 영역에 포함된 픽셀들의 위치 집합 H 와 하이라이트의 이웃하는 영역에 포함된 픽셀들의 위치 집합을 NH 라고 하면 그 식은 다음과 같다.

$$H = \Phi_{t_0}^{e_0} \cap \Phi_{t_l}^{e_k}, \quad NH = \Phi_{t_0}^{e_0} \cap \Phi_{t_l}^{e_k^c} \quad (1)$$

$$\text{, where } \Phi_{t_l}^{e_k} = \{(i, j) \mid I_{t_l}^{e_k}(i, j) = \bar{w}\}$$

3. 제안된 과정

색선을 생성하기 위해 다음 두 단계로 나눈다. 우선 하이라이트 영역과 하이라이트의 색을 유추하기 위해 하이라이트 이웃영역을 찾는다. 다음 과정으로 하이라이트 영역을 기반으로 변형된 영역확장 방법을 이용하여 하이라이트 주변 영역과 색선을 생성한다.



(그림 2) 제안된 과정

3.1 노출시간이 다른 두 이미지를 기반으로 하이라이트와 하이라이트 이웃 영역 찾기

이미지에서 흰색과 하이라이트를 구별할 수 없기 때문에 하이라이트를 찾기 위해서 정상 상태 이미지와 노출 시간을 감소시킨 이미지가 필요하다. 흰색인 픽셀의 경우 노출 시간을 감소시킨 이미지에서 픽셀 값이 감소하는 반면, 광원에 대한 정반사 특성이 강하기 때문에 하이라이트의 경우 흰색을 유지한다. 이때, 정상상태의 촬영 조건에서 노출 시간 감소에 의한 이미지 픽셀들 값의 감소량과 노이즈 발생에 의한 픽셀값의 변화를 구별하기 위해 정상상태 이미지에서 노이즈 크기를 계산해야 된다. 이를 위해 동일한 조건에서 연속으로 이미지를 촬영하고, 차영상 노이즈 모델을 기반으로 이미지들끼리의 차영상으로부터 노이즈 크기($\bar{\sigma}$)를 구한다. 그러므로 하이라이트를 구별하기 위한 감소된 노출 시간은 정상상태 이미지와 노출 시간을 감소시킨 이미지의 차영상에서 각 픽셀의 노이즈 평균은 식 2 와 같고 노출 시간 감소량을 정의하기 위해 차영상의 평균 경계치를 $3\bar{\sigma}$ 보다 커질 때로 정의하면 하이라이트를 구별하기 위한 최대 노출 시간 $e_{3\bar{\sigma}}$ 는 식 3 과 같다. 식 1 에 최대노출 시간 $e_{3\bar{\sigma}}$ 를 적용하여 하이라이트 영역과 하이라이트 이웃 영역에 포함되는 픽셀들의 위치 집합을 구하면 식 4 가 된다.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{u,v} \sum_{i,j} |I_{t_u}^{e_0}(i, j) - I_{t_v}^{e_0}(i, j)|^2}{\# \text{ of element}}} \quad (2)$$

$$e_{3\bar{\sigma}} = \min(\Psi_{3\bar{\sigma}}) \quad (3)$$

,where

$$\Psi_{3\bar{\sigma}} = \{e_k \mid \frac{\sum_k \sum_l \sum_{i,j} |I_{t_0}^{e_0}(i,j) - I_{t_i}^{e_k}(i,j)|}{\# \text{ of element}} > 3\bar{\sigma}, k=1,2,\dots\}$$

$$H = \Phi_{t_0}^{e_0} \cap \Phi_{t_i}^{e_{3\bar{\sigma}}}, \quad NH = \Phi_{t_0}^{e_0} \cap \Phi_{t_i}^{e_{3\bar{\sigma}}}^C \quad (4)$$

3.2 각 하이라이트 주변 영역으로부터 색선 생성하기

하이라이트 주변으로 물체가 연속적으로 형상이 변화된다고 가정하면 하이라이트나 하이라이트 이웃 영역이 아니더라도 하이라이트 이웃 인근 영역에서 표면 반사 성분을 포함한 픽셀들이 존재한다. 이러한 픽셀들은 SCL 주변에서 분포를 형성하게 되기 때문에 하이라이트 이웃의 인근 영역을 확장하면서 색선을 생성할 수 있다. 이를 위해 우선 하이라이트로 지정된 픽셀들로부터 하이라이트의 세그먼트들을 생성해야 한다. 하이라이트의 위치 집합 H 에서 생성한 세그먼트가 n 개 존재한다면 하이라이트의 각 세그먼트들과 각 하이라이트 세그먼트에 대응되는 하이라이트 이웃하는 영역의 세그먼트들은 식 5와 같다.

$$Sub_i(H), Sub_i(NH), i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

임의의 하이라이트 세그먼트의 색을 찾기 위해 그 하이라이트가 포함되는 색선을 찾아야 한다. 이를 위해 하이라이트 주변에 하이라이트와 같은 색을 지닌 픽셀이 존재한다고 가정하면 하이라이트 주변 영역으로 확장하면서 하이라이트와 같은 색선을 이룰 수 있는 픽셀을 찾고 이러한 픽셀을 이용하여 색선을 생성한다. 여기서 하이라이트 주변 영역 색상 중에서 하이라이트와 같은 색상인지 판단하기 위해 먼저 하이라이트의 색에 대한 정보가 필요하다. 하이라이트 이웃하는 영역에 대응되는 감소된 노출시간 이미지의 픽셀은 하이라이트의 색상정보를 포함하고 있기 때문에 하이라이트 이웃하는 부분의 색이 단색이고 하이라이트 색이라고 가정하면 색선의 초기 color vector 방향을 정의할 수 있다.

하이라이트의 주변으로 영역을 확장하면서 색선을 생성하려면 확장된 영역 내의 픽셀이 같은 색선을 구성하는지 판단해야 한다. 다시 말해, 영역을 확장한 뒤 확장한 영역내 픽셀들 중에서 이미 선행하여 만들어진 색선과 유사하지 않은 픽셀들은 확장된 영역에 포함하지 않는 것이다. 이를 본 논문에서는 제한적인 영역확장 방법으로 정의한다.

제한적인 영역확장 방법을 통해 색선을 생성하기 전에 하이라이트의 이웃하는 영역 $Sub_i(NH)$ 에 대응되는 노출시간이 감소한 이미지로부터 색선의 초기 방향을 설정해야 한다. i 번째 하이라이트 세그먼트에 대한 색선의 초기 방향 설정하는 과정은 다음과 같다.

1) i 번째 하이라이트영역과 그 하이라이트의 이웃 영역으로부터 초기 영역을 설정

2) 하이라이트의 이웃 영역에 대응되는 노출시간이 감소된 이미지의 픽셀들의 최소 eigen vector 를 이용

한 색선의 초기 방향을 설정

3) 하이라이트 색상으로 색선 픽셀의 초기 값을 설정

초기 방향이 설정되면 제한된 영역확장 방법과 색선 생성 병행된다. 전 단계에서 확장된 영역이 있다면 일단 영역을 확장하여 확장 영역의 대상 픽셀을 정하고 전 단계에 생성된 색선과 유사성을 검사한다. 유사한 픽셀은 확장 영역으로 확정하고 색선을 생성한다. 이러한 과정을 반복 수행하여 색선 주변에 유사한 픽셀이 존재하지 않으면 색선 생성을 종료한다. 제안된 제한된 영역확장 방법을 이용한 색선 생성 과정을 단계별로 보면 다음과 같다.

(1) 영역확장을 위한 하이라이트 seed 집합을 설정.

$$S_0' = S_0$$

(2) 색선 방향 집합과 색선 집합을 생성.

(3) S_0' 의 영역 확장

(4) S_1 에 대응되는 픽셀 중에서 색선 생성에 적합한 픽셀 선택. $S_1'(\eta_1)$

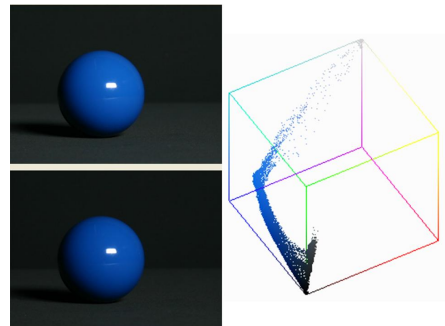
(5) $S_1'(\eta_1)$ 의 원소가 존재하면 과정 (3)에서 (4)를 반복 수행.

(6) $S_1'(\eta_1) = \phi$ 이고 $S_1'(\eta_2)$ 의 원소가 존재하면 과정 (1)에서 (5)를 반복 수행.

(7) $S_1'(\eta_2) = \phi$ 이면 종료

4. 실험 결과

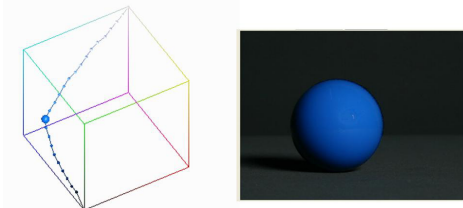
본 연구에서는 노출 시간을 달리한 이미지를 획득하기 위해 Canon EOS 300D 를 사용하였고, 렌즈는 Canon EFS(18-55mm)를 사용하였다. F-stop 은 5.6 으로 설정하였고 카메라 RGB 작업공간은 sRGB 를 사용하였다. 촬영시 광원의 색 온도는 6500K 의 백색광을 사용하였고, 촬영 대상 물체 주변에서 실측 색온도는 6200K 이다. 촬영은 암실 환경에서 수행되었고 측정하는 사람은 암실 밖에서 카메라 SDK 를 이용한 프로그램으로 자동 촬영하였다.



(그림 3) 제안된 과정

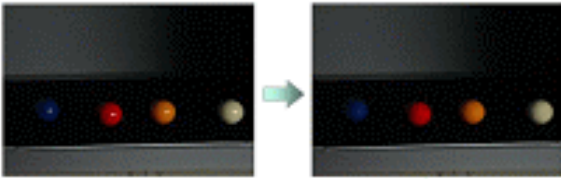
노출 시간을 달리한 두 장의 이미지는 그림 3 과 같고 이를 색공간에 표현한 그림이다. 좌측 위의 그림은 노출시간이 1/80 초에서 촬영한 그림이고 좌측 아래 그림은 1/100 에서 촬영된 그림이다. 제안된 방법에 따라 하이라이트를 찾고 색선을 생성하면 그림 4

의 좌측 그림과 같이 색선이 생성되고 CL-projection 을 이용하여 반짝이는 특성 제거[3] 및 하이라이트를 재채색한 결과다[5]. 색선의 우측과 같이 생성된다.



(그림 4) 제안된 과정

이 결과를 이용하여 여러 색의 공에 대해 적용한 결과는 다음과 같다.



(그림 5) 제안된 과정

5. 결론

제안된 방법은 하이라이트를 기반으로 영역을 제한적으로 확장하면서 색선을 생성하는 방법을 제안하였다. 기존의 색선 생성방법보다 빠르게 색선을 생성할 수 있고 하이라이트를 이용하기 때문에 반짝이는 특성의 물체에 대해서는 색선이 보다 정확하다는 것이다. 더 나아가 무채색 계열의 경우 색선 생성에 사용할 수 없지만 하이라이트의 색의 정보를 노출 시간이 다른 이미지를 이용하여 생성하기 때문에 하이라이트 부근에서 무채색인 경우도 색선을 생성할 수 있다. 그러나 검은색 근처에서는 여전히 색선을 생성하기 어렵고 하이라이트가 발생하지 않는 경우 적용하기 어렵다는 단점이 있다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.

- [3] 박정욱, 유재덕, 이관행, "Color line 을 이용하여 highlight 의 반짝이는 특성을 제거하는 방법 연구", 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티 하계학술대회 논문집 제 28 권 제 1 호, pp. 49 - 52. 2005
- [4] KLINKER, G.J., A Physical Approach to Color Image Understanding, A K Peters, Wellesley, Massachusetts, 1993
- [5] 박정욱, 박정철, 이관행, "Upper mean 을 이용한 distance transform," 한국정보과학회 32 회 추계학술발표회 논문집 Vol. 32, No.2(I), pp. 718-720, 2005