

실감 모델링을 위한 반짝이는 특성을 지닌 물체에서 색상선 추출 방법 연구

박정욱¹, 유현진², 이관행³
광주과학기술원 IDEG 연구실^{1 2 3}
{vzo¹,hjyoo²}@gist.ac.kr,lee³@Kyebeok.gist.ac.kr

Estimation of Color Lines from the Specular Object for Immersive Modeling

Joung Wook Park¹, Hyun Jin Yoo², Kwan H. Lee³
GIST IDEG Lab.^{1 2 3}

요약

실감모델링(Immersive modeling)이란 모델링하는 사람이 물체의 특성을 고려하여 오감을 활용하여 모델링하는 것을 의미한다. 실감모델링을 위한 오감 중에서 시각은 모델링하는 사람에게 가장 영향을 많이 주기 때문에 실제와 같은 색상과 형상을 생성하는 것이 중요하다. 그러나 가상현실을 위한 데이터를 실시간으로 다루기 위해 많은 데이터를 사용할 수 없고 처리 과정이 단순해야 하기 때문에 시각데이터를 획득하는 과정에도 이를 고려해야 한다. 그 중에서 반짝이는 특성을 가진 물체의 색을 정확히 표현하기 위한 방법으로 색상선(color line)을 사용한다. 색상선은 반짝이는 특성의 표면의 색을 이색성 반사 모델(dichromatic reflection model)로 간주하면 색 특성을 표현하는 선이 생성되게 된다. 본 연구는 반짝이는 물체로부터 색상선을 추출하기 위한 방법으로 노출 시간이 다른 여러 장의 이미지로부터 색상을 추출하는 방법을 제안한다. 노출 시간이 다른 이미지를 사용함으로써 한 장에 의해 분류하기 어려운 색상도 분류 가능하고 하이라이트가 발생하여 색상이 왜곡된 경우도 본래 색이 어떤 색상인지 추정되기 때문에 정확한 색상 추출이 된다. 본 연구에서는 3 차원 측정 장비를 이용하여 3 차원 형상과 색상이 동시 추출된 모델을 이용하여 렌더링된 결과와 제안된 방법으로 추출된 색상을 적용하여 렌더링된 결과를 비교할 것이다.

Keyword : 실감모델링(Immersive modeling), 색상선(color line), 이색성반사 모델(dichromatic reflection model), 색상선 추출

1. 서론

실감모델링(Immersive modeling)이란 모델링하는 과정에서 물체의 특성을 오감으로 느끼면서 물체를 직접 만들듯이 설계하는 것이다. 실감모델링을 위한 오감 중에서 시각은 모델링하는 사람에게 가장 영향을 많이 주기 때문에 실제와 같은 색상과 형상을 생성하는 것이 중요하다. 그러나 가상 공간에서 가상현실 장비와 연동하여 데이터를 실시간으로 다루기 위해서는 데이터의 양이 적고 처리 과정이 간단해야 한다. 이를 위해 시각화를 위

한 데이터를 획득하는 과정에도 이러한 특징을 고려해야 한다.

실감모델링을 위한 데이터 획득 과정 중에서 현실감을 주기 위해 반드시 필요한 과정이 현실에 존재하는 물체를 직접 측정하여 복원하는 역공학(Reverse Engineering:RE)이다. 최근에 많은 측정 장비가 개발되었음에도 불구하고 반짝이는 특성을 가진 물체의 경우 데이터를 측정할 수 없기 때문에 그림 1 과 같이 반짝이는 특성을 제거하여 형상데이터 획득한 후에 칼라 데이터를 획득하는 과정을 수행해야 한다. 여기서 반짝이는 특성은 형

상 데이터뿐만 아니라 칼라 데이터 획득에도 영향을 준다. 본 연구에서는 반짝이는 특성의 물체에서 촬영한 이미지만을 이용하여 칼라 데이터를 추출하고 반짝이는 특성을 제거하는 과정을 제안한다.

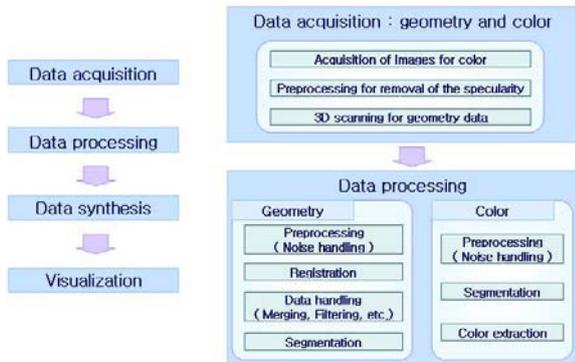


그림 1. 반짝이는 특성을 가진 물체에서 형상 및 칼라 데이터를 획득하기 위한 RE 과정

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 이미지를 이용하여 반짝이는 특성이 완전히 제거되지 않기 때문에 다른 방법이 시도되었는데, 편광 이미지와 dichromatic model 을 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]. 최

근에는 HDRI 이미지에서 반짝거림을 제거하기 위해 평활화 방법을 이용하였다[13].

본 연구에서 반짝이는 특성을 제거하기 위해 CL-projection 을 사용한다[16]. CL-projection 이란 같은 색인 경우 색의 특성을 color line[14]으로 표현할 수 있고, color line 을 따라 가면서 반짝이는 특성을 제거하는 방법이다. 이렇게 반짝이는 특성이 제거되면 모든 색이 diffuse color line(DCL)[16]로 표현되고 이를 기반으로 색을 정의할 것이다. 또한 측정된 형상이 단순하여 한 장의 이미지로부터 DCL 이 생성되지 않는 경우 노출 시간을 달리한 여러 장의 이미지로부터 DCL 을 생성하여 색상을 정의 하였다.

본 논문에서는 1 장의 서론을 포함하여 총 5 장으로 구성된다. 2 장에서는 본 논문에서 사용된 기초 개념을 설명하고, 3 장에서는 반짝이는 특성을 제거하여 색상선을 추출하기 위한 방법을 설명한다. 4 장에서는 실제 이미지를 이용한 결과를 제시하고, 5 장에서는 결론에 대해 서술한다.

2. 기본 개념

2-1. Dichromatic reflection model 과 color line

Dichromatic reflection model[2]이란 반짝이는 물체에서 반사되어 측정된 색은 물체 자체에서 반사되어 산란되는 성분과 물체 표면에서 정반사되는 성분으로 표현되고 각 성분은 광원의 특성이 동일하다면 형상과 관련된 벡터성분으로 표시된다는 것이다.

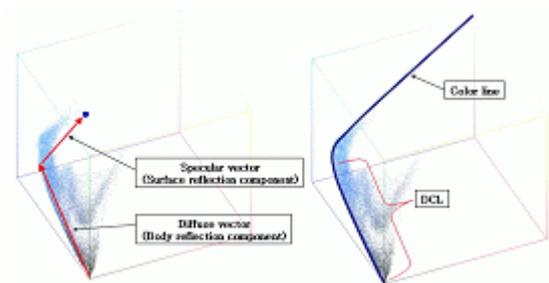


그림 2. Dichromatic model 과 color line 개념도

이때 단일 광원에 대해 표면의 방향 벡터가 다양한 방향을 지닌 구 형상의 물체가 동일한 색을 가지고 표면 반사에 의해 발생된 하이라이트와

물체 자체에서 생성된 하이라이트가 동일하다면 그 분포는 T skewed L-shape[15]을 생성하고, 색 공간에서 이를 표현하는 곡선을 생성할 수 있고, 이것을 색선(color line)[14]이라고 한다. 여기서 색선은 이상적으로 두 개의 직선으로 구별되는데 이 경계가 되는 diffuse 벡터 중에서 가장 밝은 점을 r_{CL} 이라 하고 diffuse 벡터를 DCL(diffuse color line) 이라고 한다.

2-2. CL-projection

r_{CL} 를 알고 있다면 왜곡된 각 픽셀을 DCL 에 투영함으로써 이러한 왜곡 현상을 제거할 수 있다. r_{CL} 에서 시작되는 specular color line(SCL)을 기준으로 본 논문에서는 왜곡되었다고 판단되는 픽셀을 거리 비율에 따라 SCL 과 수직 방향으로 투영하고 투영된 픽셀을 다시 SCL 방향의 거리 비율에 따라 DCL 방향으로 투영한다. 이렇게 함으로써 반짝이는 특성을 제거할 때 각 픽셀의 색 특성을 고려하게 되고 이 방법을 CL-projection(color line projection)이라고 한다(그림 3).

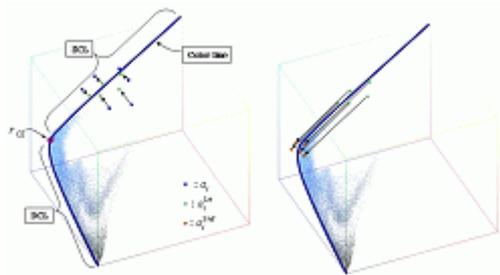


그림 3. 거리비율에 따른 2 단계 color line 투영 개념

3. 반짝이는 특성의 물체의 색상을 추출하기 위해 제한된 방법

이미지로부터 반짝이는 특성을 제거하기 위해 제안하는 방법은 5 단계로 구성된다. 첫 단계로 노출시간을 달리한 이미지를 여러 장 촬영한다. 다음 단계로 각 이미지에서 color line 을 추출한다. 세 번째 단계로 하이라이트 부분을 분리하고 하이라이트가 아닌 부분은 반짝이는 특성을 제거한다. 마지막으로 하이라이트 부분을 재(再)채색하여 색상을 복원한다.

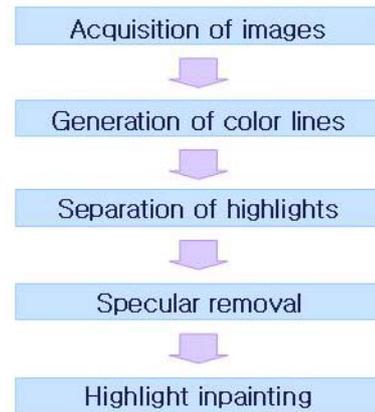


그림 4. 반짝이는 특성의 물체에서 색상을 추출하기 위해 제안된 과정

3-1. 노출시간을 달리한 이미지 획득

반짝이는 물체의 이미지를 획득하면 표면의 반짝이는 효과에 의해 광원이 정반사되는 부분이 발생한다. 이 부분은 하이라이트가 되거나 심하게 왜곡되어 색상이 변질되게 된다. 이러한 특성을 제거하고자 노출 시간을 달리한 여러 장의 이미지를 측정함으로써 하이라이트 영역을 분리하거나 하이라이트 부분의 색상을 알 수 없는 경우 노출 시간을 줄인 이미지로부터 하이라이트 색 특성을 추출하게 된다. 하이라이트가 흰색이라고 하면 본 연구에서는 추출된 이미지 중에서 가장 짧은 노출 시간에서 촬영된 이미지의 경우, 하이라이트를 포함하지 않았다고 가정한다. 이때 이미지의 각 픽셀이 변화하는 경향을 보기 위해 10 장 이상의 이미지를 사용한다.

3-2. Color line 생성

같은 색상인 부분에 대해 측정 대상 물체 표면의 방향 벡터가 다양하다면 색 공간에서 이 색들은 연속성이 있다. 이를 이용해 각 이미지에 대해 검은 점에서 시작하는 octree 를 구성하고 octree 를 기준으로 color line 을 생성한다. 각 이미지에서 생성된 color line 으로부터 사용자가 지정한 개수의 색을 유사성 검사를 통해 추출한다.

3-3. 하이라이트 분리

하이라이트는 색이 왜곡되어 하얀색으로 변질된 부분이다. 이 경우 이미지의 하이라이트 부분의 색은 하얀색이지만 실제 물체 색을 추정할 수

있는 방법이 없기 때문에 하이라이트 부분을 분리하여 하이라이트 부분의 색을 추정한다. 하이라이트를 분리하기 위해 연속해서 촬영된 노출시간을 달리한 이미지의 차영상을 이용한다. 이때, 차영상의 픽셀 값이 0 인 것 중에 픽셀값이 하얀색인 경우 하이라이트고, 노출 시간이 긴 이미지에서 하얀색이고 노출 시간이 짧은 이미지에서는 하얀색이 아닌 경우에 하이라이트 주변 부분으로 구별한다.

3-4. 반짝이는 특성 제거

본 연구에서는 반짝이는 특성을 제거하기 위해 CL-projection 을 사용한다. 그러나 하이라이트인 경우는 색의 특성을 알 수 없기 때문에 어떤 color line 을 이용하여 CL-projection 을 사용할지 알 수 없다. 그러므로 색의 정보가 남아 있는 하이라이트 주변의 픽셀 값에 대해서만 CL-projection 을 이용하여 반짝이는 특성을 제거한다.

3-5. 하이라이트 재(再)채색

하이라이트 부분의 색을 복원하기 위한 방법으로 upper mean 을 이용한 distance transform 을 사용하여 채색(inpainting)하는 방법을 사용한다[17]. 이 방법을 사용하기 전에 노출시간이 가장 짧은 이미지에서 하이라이트 부분이 없다면 노출 시간이 가장 짧은 이미지에서 CL-projection 을 적용하여 반짝이는 특성을 제거한 후 color line 을 이용하여 색상 값을 비례적으로 증감하여 하이라이트 색을 복원한다. 그러나 측정 장비의 한계성에 의해 가장 노출시간이 짧은 이미지에서도 하이라이트가 생성된 경우 하이라이트 주변의 반짝이는 특성을 제거한 색에 상치평균값(upper mean value)을 이용한 distance transform 을 적용하여 하이라이트를 재채색한다.

4. 실험 결과

노출 시간을 달리한 이미지를 촬영하기 위해 Cannon EOS 300D 를 사용하였고 렌즈는 Cannon EFS(18-55mm)를 사용하였다. F-stop 은 5.6 으로 하였다. 노출 시간을 달리한 이미지를 만들기 위해 카메라에서 제공하는 셔터 스피드의 10 단계를 사

용하였다. 촬영을 위해 5400K 광원을 사용하였고 diffuse film 을 광원 앞에 설치하였다. 촬영시 실측된 색 온도는 5200K 이다.

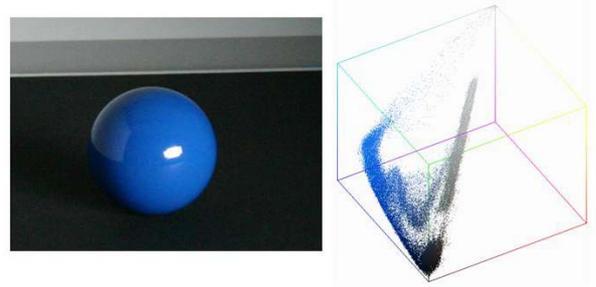


그림 5. 측정된 원본 이미지(좌)와 색 공간에서 색 분포(우)

그림 5 의 좌측은 스누커볼을 측정한 원본 이미지고 우측은 색 공간에서 색 분포를 나타내고 있다. 이 경우는 표면에 반짝이는 효과가 강하게 나타나고 있고 하이라이트도 발생하였다. 이상적으로 하이라이트와 동일한 위치에서 가장 밝은 색이 발생하였다면 대표색은 흰색이 될 것이다. 그러나 이 색의 대표 색은 파란색 계열임을 직감적으로 알 수 있다.

그림 6 은 제안된 방법을 적용한 결과를 단계별로 표현한 그림이다. 제안된 방법 중에서 하이라이트가 존재하여 상치평균값을 이용한 distance transform 을 사용한 방법이다. 원본 이미지 (a)로부터 color line 을 생성하고 하이라이트(b)와 하이라이트 주변 부분(c)을 분리하고 하이라이트 주변 부분을 CL-projection 을 이용하여 반짝이는 특성을 제거하고(d) distance transform 을 이용하여 하이라이트 부분을 다시 칠한 결과가 (e)이고 이것을 원본 이미지와 합성한 결과가 (f)다.

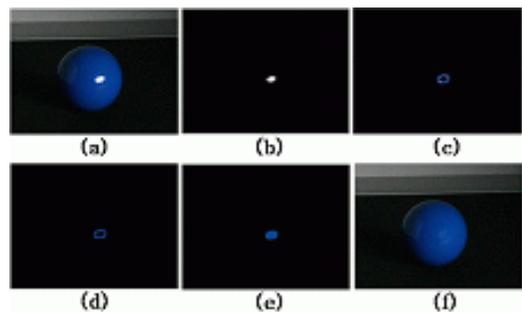


그림 6. 제안된 과정에 따라 수행과정상의 결과

그림 7 은 반짝이는 특성을 가진 여러 색상

공에 대해 제안된 방법을 적용한 결과다. 각 색상은 각기 다른 DCL 을 가지고 있기 때문에 각 색상에 대해 반짝이는 특성 제거 과정이 수행된다.

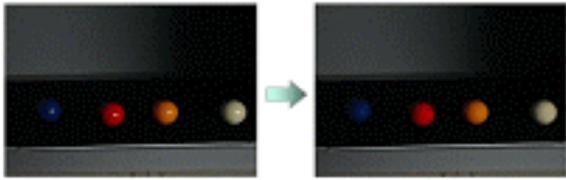


그림 7. 여러 색상 스누커볼(좌)에 대한 결과(우)

그림 8 은 MP3 플레이어에 대한 RE 전과정을 수행한 결과다. 그림 8(a)와 같은 영상을 노출 시간을 달리하여 10 장을 촬영하고 그림 8(b)와 같은 형상 데이터를 측정한다. 그림 8(c) 제안된 방법을 이용하여 색상을 추출하고 추출된 색상을 형상 데이터에 적용하여 상용 소프트웨어에서 적용한 결과다.

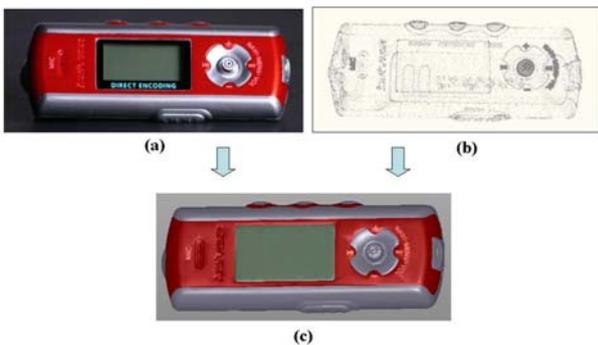


그림 8. MP3 에 적용한 결과

5. 결론

본 연구에서는 반짝이는 물체의 색상선을 추출하는 방법과 그 방법에 의해 추출된 결과를 형상 데이터에 적용하여 결과를 확인하였다. 제안된 방법에서는 노출시간을 달리한 여러 장의 이미지를 이용하여 색상선을 추출하고 하이라이트가 발생하여 색을 알 수 없는 부분에 대한 색상을 복원하였다. 제안된 방법으로 색상을 추출하는 경우 표면 반사효과를 제거하여 색상을 추출하기 때문에 표면 반사 효과에 의한 색의 왜곡을 색 추출하는 과정에서 보정하게 되고 하이라이트 색상도 보정하여 색을 추출하는 장점이 있다.

제안된 방법은 단색이라고 생각되는 반짝이는 물체에 대해서만 적용 가능하다는 제한 점이 있고,

물체의 형상의 변화가 충분히 많다는 가정에서만 가능하다는 단점이 있다.

역공학(reverse engineering)으로써 색을 복원하는 과정으로 사용될 경우 추출된 색상을 지정하여 형상에 색을 지정하기 보다는 각 색상선의 특징을 반영하는 방법이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 대학 IT 연구센터(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. Boult, "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. Boult, "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] 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.
- [16] 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
- [17] 박정욱, 박정철, 이관행, "Upper mean 을 이용

한 distance transform," 한국정보과학회 32 회 추계학술발표회 논문집 Vol. 32, No.2(I), pp. 718-720, 2005