

실감 모델링을 위한 색 추출 기법에서 적합한 이미지 선정 방법 연구

Most Appropriate Image Selection method for Color Extraction in Immersive modeling

박정욱, Jung Wook Park, 이관행, Kwan H. Lee
광주과학기술원 기전공학과 IDEG 연구실

요약 반짝이는 특성의 물체에 대해 이미지를 기반으로 색을 추출하는 경우 반짝이는 특성을 포함하면서 내재되어 있는 색 특성을 표현하기 위해 색 곡선(color line)을 이용한다. 이 경우 추출하려는 색이 왜곡되지 않은 가장 적합한 이미지를 선정하는 방법이 필요하다. 이를 위해서 실감모델링을 위해 색 곡선을 기반으로 색을 추출하는 방법을 제시하고 제시된 방법을 위해 색을 추출하기 가장 적합한 이미지를 선정하는 기준을 색포화율(color saturation ratio)을 통해 제안한다. 색포화율이란 색을 구성하는 요소 중에서 최소한 하나 이상의 색이 포화된 픽셀들을 최대 색거리를 가진 픽셀들로 간주하여 계산된 색거리의 총합에 대해 최소한 하나 이상의 색이 포화된 픽셀들의 색거리 총합의 비율을 의미한다. 이상적으로 이 비율이 최소가 되면 하이라이트를 제외한 어떤 픽셀도 포화되지 않기 때문에 반짝이는 특성을 가진 물체의 색을 추출하기 위해 촬영된 이미지는 하이라이트를 제외한 모든 색이 왜곡되지 않은 가장 적합한 이미지가 생성된다. 또한, 이렇게 선정된 이미지에서 추출된 색의 효율성을 보이기 위해 색 공간과 이미지 상에서 다양한 형태의 응용 결과를 제시하였다.

핵심어: Color line, Color extraction, Color saturation ratio, Immersive modeling

1. 서론

가상현실 기술이 발전함에 따라 가상 환경도 각 사용자가 살고 있는 환경과 동일시 하고 싶어하는 경향이 강해졌고, 이를 위해 실감모델링 기술이 발전하였다. 실감 모델링 기술이란 물체를 설계하고 모델링하는 동안에 현실에서 물체를 제조할 때 인간이 느끼는 오감을 그대로 느끼면서 가상 현실 속에서 작업할 수 있도록 개발된 기술을 의미한다. 이러한 기술에서 역공학(Reverse Engineering: RE)은 현실에 존재하는 물체를 가상 공간에서 그대로 표현 할 수 있도록 해주는 중요한 기술 중에 하나다. 역공학을 통해 획득된 정보 중에서 인간에게 가장 영향을 많이 주는 시각 분야가 가장 중요하기 때문에 최근에는 3차원 형상 정보뿐만 아니라 색상 정보 추출도 중요하게 다루어 지고 있다. 특히, 단순한 색상 추출이 아닌 가상 현실에서 활용 가능하면서 실제와 같이 표현할 수 있는 색상 추출이 방법이 대두되고 있다.

이러한 색상 추출을 위해 이에 적합한 색 표현 방법이 필요하다. 색은 색의 활용하는 범위에 따라 다양한 색 공간에서 표현된다. 이러한 경우, 색이 하나의 값으로 표현되기 때문에 색 특성을 나타내기 보다는 색 공간 전체 특성을 반영하는 표현법이므로 본 연구에서는 색 특성에 따른 색 표현 방법을 색 모델이라고 명명하기로 한다. 색 모델에는 다양한 형태가 있다. 가장 일반적인 방법으로 색 벡터가 있다. 색 벡

터란 같은 비율의 색을 하나의 단위 방향 벡터로 표현하고 동일한 색으로 간주하는 것이다. 어떤 색 공간도 선형성이 보장되지 않기 때문에 이러한 색 표현법은 색공간에서 적용하는데 있어서 제한적으로 사용되어야 하고, 사용한다할지라도 공간에 따라 적합한 색 벡터 표현 법을 제안해야 한다.[1] 하나의 재질을 표현하는데 있어서 단일 백색광원에 대해 다양한 색으로 표현되기 때문에 이를 대표할 수 있는 색 표현 방법으로 본 연구에서 색 공간의 특성에 관계없이 색 특성을 색 분포에 따라 표현되는 색 모델 중에서 색곡선(color line)을 사용한다.[2]

이미지를 기반으로 색을 추출하는 경우, 색이 포화되는 경우를 제외하고 이상적인 상태에서 촬영된 이미지는 색의 왜곡이 존재하지 않는다. 그러나 하이라이트가 반드시 발생하는 반짝이는 특성의 물체를 촬영하는 경우, 어떤 색도 포화되지 않게 하려면 광원의 세기를 과도하게 약하게 하거나 이미지를 촬영할 때 노출시간을 매우 적게 해야 하는데 이 경우 하이라이트에 해당되는 픽셀의 밝기가 다른 색보다 매우 높기 때문에 다른 색이 제대로 표현되지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 색 추출에 가장 적합한 이미지를 선정하기 위해 색 포화율(color saturation ratio)을 제안하고, 이를 이용하여 색을 추출하기 위해 색곡선을 사용하는 방법을 제안한다. 더 나아가, 이를 응용하여 사용한 예도 제시된다.

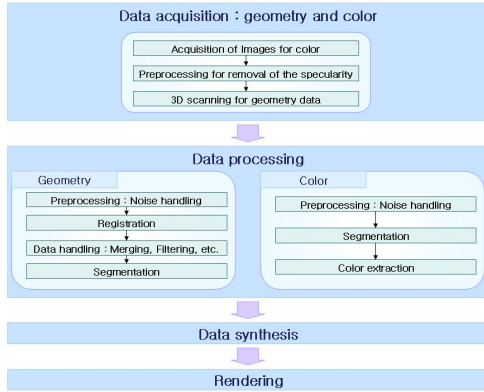


그림 1 실감 모델링을 위한 반짝이는 특성을 지닌 물체로부터 형상 및 색데이터 획득처리 방법 개념도

2. 색 곡선(Color line) 표현법

이미지를 기반으로 색을 추출하는 경우 이미지 센서의 측정 범위가 제한적이기 때문에 이미지에서 측정된 모든 색이 포화되지 않도록 하는 것은 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 HDRI(High Dynamic Range Image)를 사용한다.[3] 그러나 이 경우 많은 데이터가 필요할 뿐만 아니라 처리하거나 다루는데 어려움이 있다. 이를 좀 더 간단하게 표현하여 색의 특성을 표현할 수 있는 방법이 색 곡선(Color Line)이다. 색 곡선은 동일한 재질의 경우 색의 특성 분포가 곡선 형태로 표현되기 때문에 그 분포를 간단히 곡선으로 대표하여 나타내는 방법이다. 그러나 이 표현법은 dichromatic reflection model을 기반으로 하기 때문에 다음 가정을 고려해야 한다.

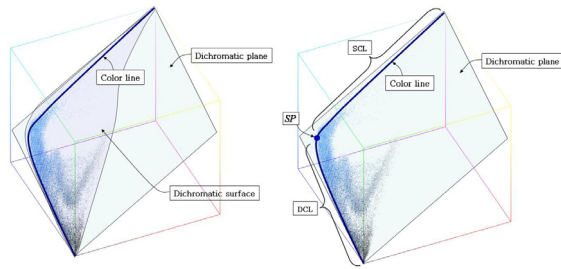


그림 2 기본 개념도

반짝이는 특성물체가 색 분포를 갖기 위해서는 측정 물체는 측정 방향에 대해 물체 표면의 방향벡터가 다양해야 한다. 이 가정은 HDRI의 경우도 동일하게 적용되기 때문에 측정을 위해 평면 형태의 재질을 다양한 방향에서 촬영하거나 구형(sphere shape) 물체를 사용하여 촬영한다.[4][5] 이상적으로 색분포는 dichromatic plane에 존재하기 때문에 색 특성에는 색곡선의 분포형태와 dichromatic plane 특성을 동시에 반영해야 한다.[6] 기존의 색곡선에서는 이러한 특성이 반영되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 반짝이는 재질의 특성 노이즈(Diffuse Noise)로 정의하고 이러한 노이즈 특성을 고려할 것이다. 또한 색 곡선의 고유 특성이 분포로 표현되기 위해서는 반짝이는 특성이 강한 부분과 반짝이는 특성이 거의 나타나지 않는 부분을 분리하여 처리할 필요가 있다. 이

를 위해 본 연구에서는 색선분기점(Separate Point)을 제안하여 색 곡선을 반짝이는 특성 곡선(Specular Color Line)과 반짝이는 특성을 포함하지 않은 특성 곡선(Diffuse Color Line)으로 분리하여 각 특성을 고려하여 처리한다.[7] 마지막으로 이미지에서 색이 왜곡되는 부분은 반짝이는 특성이 반영된 하이라이트 주변이고 국부적으로 발생한다.[8] 이상적으로는 하이라이트만 포화되어서 색이 왜곡되어야 하지만 하이라이트 주변에서도 부분 포화가 발생하기 때문에 반짝이는 특성에 적합한 색 분포가 왜곡된다. 그러므로 하이라이트는 다른 색에 비해 포화 정도가 높기 때문에 하이라이트를 제외한 모든 색이 포화되지 않은 상태에서 색 곡선을 획득할 필요가 있다. 이러한 특성을 획득할 수 있는 이미지를 얻기 위해서 본 연구에서는 색 포화율을 제안한다.

3. 색 포화율(Color saturation ratio)

2장에서 제시된 가정을 만족하는 이미지의 경우 빛의 세기에 따라 색의 왜곡이 결정된다. 반짝이는 특성의 물체를 이미지를 기반으로 색을 추출하기 위해 이미지를 획득하는 경우 하이라이트가 반드시 발생하기 때문에 빛의 세기를 고려하여 하이라이트가 존재하는 이미지로부터 색이 왜곡되지 않는 가장 적합한 이미지를 선정하는 방법이 필요하다. 이상적으로 반짝이는 물체의 경우 하이라이트가 항상 발생하고 하이라이트 부분의 밝기가 다른 색 중에서 가장 밝은 부분과 비교하여 현저히 밝다면 하이라이트는 색의 왜곡을 판단하는데 고려하지 않아야 한다. 이 때 하이라이트를 제외한 다른 부분의 색이 가장 밝은 상태에서 색의 분포 특성을 가장 잘 표현할 수 있기 때문에 하이라이트를 제외한 모든 색이 포화되지 않은 가장 밝은 이미지를 획득해야 한다. 하이라이트를 제외하고도 하이라이트 주변에서 일부 색은 포화되기 쉽기 때문에 이러한 색을 고려하고 실제 상태에서 적합한 이미지를 선정하기 위해 본 연구에서는 색 포화율을 제안하고 색 포화율을 쉽게 인지하기 위해 CIERGB 색공간을 사용한다.

색포화율이란 색을 구성하는 요소 중에서 최소한 하나 이상의 색이 포화된 픽셀들을 최대 색거리를 가진 픽셀들로 간주하여 계산된 색거리의 총합에 대해 최소한 하나 이상의 색이 포화된 픽셀들의 색거리 총합의 비율을 의미한다. $NumS_{1st}^{e_k}$ 이 노출시간 e_k 에서 획득된 이미지에서 최소한 채널 이상 포화된 픽셀의 개수라고 하고 Td_m 그 포화된 m번째 픽셀에 대해 각 픽셀과 하얀색 사이의 색 거리 라고 하자. 또한, 이 때, 여기서 계산된 색 거리 중에서 최대 색 거리를 $\max Td$ 라고 하면 색 포화율은 식 (1)과 같다.

$$SatR^{e_k} = \begin{cases} \frac{\sum_{m=1}^M Td_m}{\max Td \times NumS_{1st}^{e_k}} & \text{if } NumS_{1st}^{e_k} > 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

노출시간을 점점 작게하면, 색 포화율이 최소가 될 때가 있다. 이러한 상태는 이상적으로 과다 노출이 되었던 색들이 점점 감소하여 하이라이트를 제외한 모든 색이 포화되지 않은 경우를 나타내기 때문에 색 분포를 가장 잘 표현하는 이미지가 된다.

본 연구에서는 색추출을 하기에 가장 적합한 이미지를 획득하기 위해 광원을 조절하지 않고 카메라 노출시간을 변화

하여 촬영한 여러 장의 이미지에서 색 포화율을 이용하여 가장 적합한 상태의 노출 시간을 찾는다. 이렇게 선정된 이미지는 color line을 생성하고 이를 기반으로 활용하게 된다.

4. 하이라이트를 기반으로 색곡선을 생성하는 방법

색곡선을 활용하기 위해 하이라이트를 기반으로 색 곡선을 생성하는 과정은 그림 3과 같다.

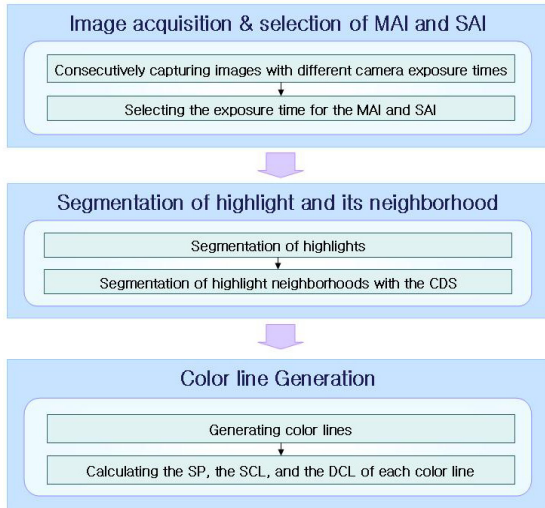


그림 3 기본 개념도

첫 번째 과정으로 노출 시간을 달리하여 여러 장의 이미지를 획득하고 색 포화율을 이용하여 가장 적합한 이미지(MAI)를 선정한다. 이때, 가장 적합한 이미지를 분석하여 노이즈 특성을 파악하고 하이라이트 영역을 분리하기 위해 SAI를 선정한다. 두 번째 과정으로 MAI와 SAI를 이용하여 하이라이트를 세그먼트하고 색 공간에서 색의 구별이 불가능한 영역(CDS)과 그 크기를 정의한다. 이 영역에서는 색 구별이 불가능하기 때문에 하이라이트 주변에 있는 픽셀들 중에서 CDS 내부에 존재하는 픽셀들을 하이라이트 주변 영역으로 정의하고 하이라이트와 쌍을 이루어 세그먼트를 한다. 마지막 단계로 하이라이트를 기반으로 이미지 상에서 영역확장 방법을 진행하고 이와 동시에 색 공간에서 색곡선을 확장하고 갱신하면서 색곡선이 더 확장되지 않을 때까지 색곡선을 생성한다. 색곡선이 완성되면 색곡선을 기반으로 색 특성을 분석한다. 이 과정이 종료되면 색곡선을 기반으로 색 추출하는 과정이 완료된다.

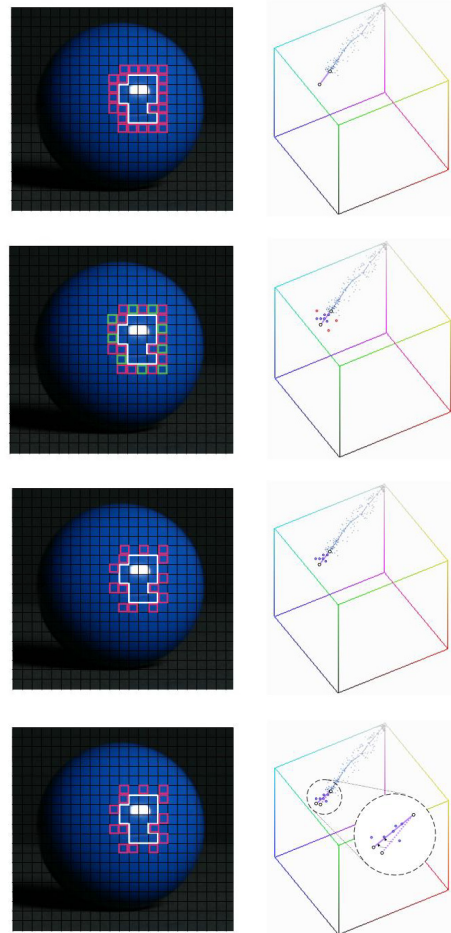


그림 4 광원 특성 그래프

그림 4은 이미지와 색공간에서 상보적으로 영역확장과 색곡선 갱신을 이용하여 색곡선을 생성하는 과정을 개념적으로 보여주는 그림이다. 임의의 색곡선의 한 부분을 생성하고 있다고 하면 이전 색곡선 부분을 생성할 때 사용된 이미지를 seed로 하여 이미지를 기반으로 영역을 확장한다. 색공간에서 생성된 색곡선 주변의 색인지 확인한 후에 주변의 색이 아니면 이미지에서 대상 색에서 제외한 후에 색 곡선을 갱신한다. 이런 방식으로 색곡선이 완성될 때까지 반복한다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 Canon EOS 300D를 사용하여 이미지를 촬영하였고 D65광원의 암실환경에서 측정하였다. 반짝이는 특성 물체로 스누커 볼을 사용하였고 활용을 보이기 위해 MP3 플레이어도 사용하였다.

그림 5는 본 실험에서 사용된 D65광원의 특성 그래프다. 실측된 색 온도는 6757K이고 광원의 각 파장별 반응도가 고르게 분포되어 있다.

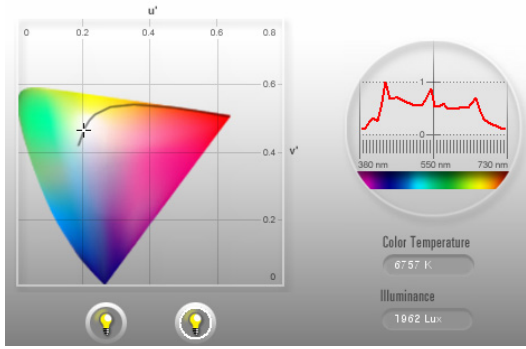


그림 5 광원 특성 그래프

그림 6는 위쪽 처음부터 0.25초, 0.125초, 0.1초의 노출시간에서 촬영한 이미지다. 본 연구에서는 CIERGB를 기반으로 색 포화도를 측정하고 처리하기 때문에 RGB 색 공간을 기반으로 색 분포를 보여주고 있다. 그림 6의 아래쪽은 위쪽 이미지에 대응되는 색 공간상의 분포를 보여준다. 처음 이미지는 포화된 색상이 많기 때문에 많은 색이 RGB색공간의 벽면에 분포함을 볼 수 있고 이미지에서도 과란 공을 촬영하였음에도 불구하고 노란빛을 띠를 알 수 있다. 반면에 마지막 이미지는 노출시간이 매우 적기 때문에 이미지에서 하이라이트를 제외한 대부분의 색이 어두운 것을 볼 수 있고 색공간에서도 색의 특성을 충분히 표현하지 못함을 볼 수 있다.

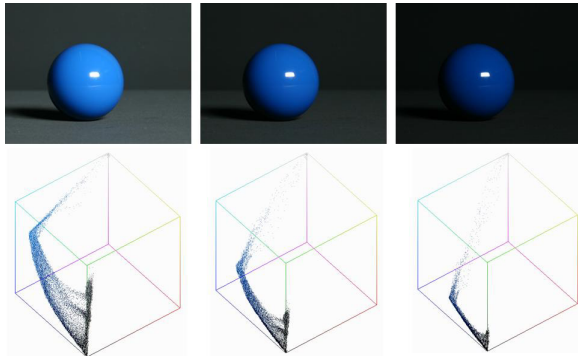


그림 6 노출 시간에 따른 이미지들과 CIERGB 색공간에서 각 이미지에 대응되는 색 분포

그림 7은 노출 시간을 달리한 여러 장의 이미지에 대해 색 포화율을 계산한 그래프다. 색 포화율이 노출시간에 따라 급격히 감소하다가 노출 시간이 0.125초일 때 포화율이 최저가 됨을 볼 수 있고, 그림 7의 두번째 이미지가 본 연구에서 제안한 색 추출을 위해 가장 적합한 이미지가 된다. 노출 시간 0.04초 이하의 이미지들의 경우 이미지 내부의 픽셀들 중에서 포화된 픽셀이 존재하지 않기 때문에 노출시간이 0.04초 이하의 픽셀들에 대해 포화율은 1이 된다. 노출 시간이 0.125초와 0.1초일 때를 비교해 보면 하이라이트를 제외하고 포화된 픽셀의 개수는 0.1초일 때가 더 적지만 이미지의 픽셀 값이 전체적으로 적기 때문에 이미지의 색 특성 표현이 0.125초일 때가 더 낫다. 그러므로 본 연구에서는 과란 공을 측정하는 경우 0.125초의 노출 시간을 사용하여 실험을 하였다.

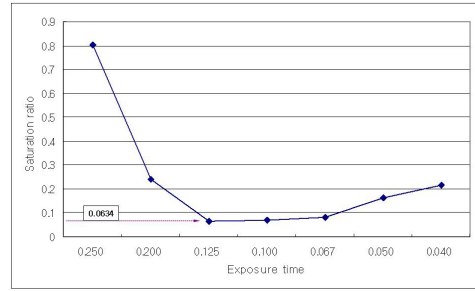


그림 7 색 포화율 그래프 및 최적 이미지를 위한 노출 시간 선정

노이즈의 특성을 파악하기 위해서 노출 시간 0.125초일 때 모든 환경 조건을 동일하게 한 뒤에 10장의 이미지를 촬영하여 차영상을 통해 노이즈를 특성을 파악하였다. 이 때 노이즈의 특성을 활용하기 위한 방법으로 10장의 이미지에서 2장씩 이미지를 선정하고 이를 차영상함으로써 노이즈 특성을 파악하였다. 이 때, 차영상의 경우 노이즈 특성이 픽셀 값에 따라 독특한 분포를 갖기 때문에 픽셀값이 0.2에서 0.8 사이의 픽셀값에 대해서 노이즈 특성을 분석하였다.[9] 이때, 0.125에 대해 픽셀값에 따른 노이즈 분포 특성은 그림 8과 같다.

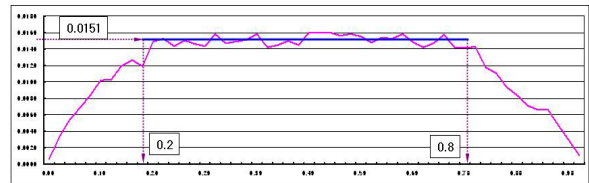
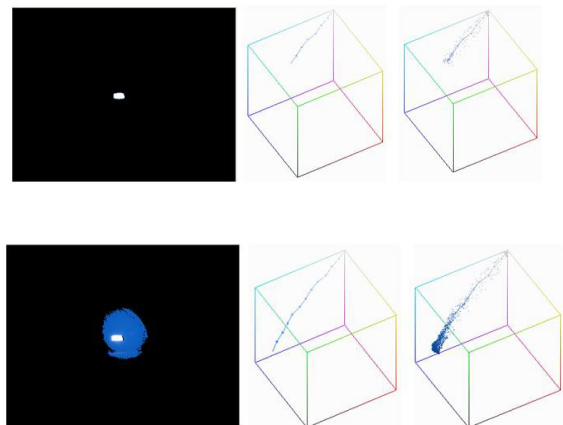


그림 8 노출 시간 0.125초인 이미지 두 장의 차영상에서 에서 각 픽셀 값에 따른 노이즈 특성 그래프

제안된 방법을 통해 색곡선을 생성하는 과정을 이미지와 색 공간에서 보면 그림 9와 같다. 그림 9의 왼쪽은 영역확장을 수행하는 과정에서 선정된 seed 이미지고 가운데 그림은 그때 생성된 색곡선의 부분이고 오른쪽 그림은 왼쪽 그림에 대응되는 픽셀의 색공간상의 분포를 색곡선의 부분과 같이 표현한 그림이다.



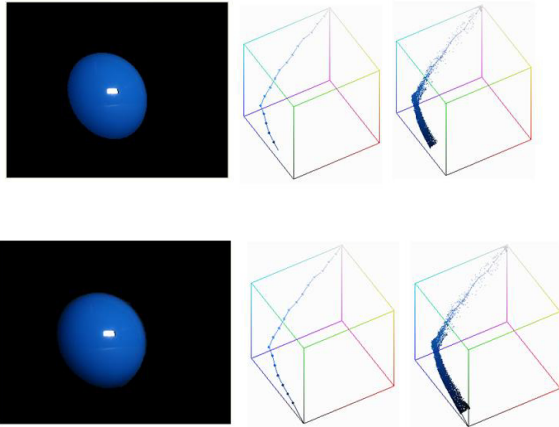


그림 9 색곡선 생성과정에 따른 색곡선 생성 결과

물체의 특성을 표현한 색곡선 중에서 반짝이는 특성을 보이는 SCL은 외부 환경에 따라 변화가 심하기 때문에 색을 기반으로 물체를 감지하는 경우 DCL을 기반으로 색을 감지해야 한다. 그림 10은 MSI를 기반으로 추출된 색곡선으로부터 DCL를 추정하여 반짝이는 물체를 감지한 결과다. 색곡선을 이용하는 경우 반짝이는 특성에도 감지 결과가 좋을 뿐 아니라 광원의 세기가 변화여도 감지 효율이 좋다.

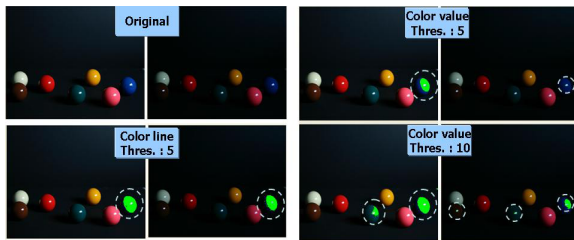


그림 10 선정된 이미지와 색곡선을 이용한 물체 감지

그림 10의 좌상 두 이미지는 감지하기 위해 촬영된 이미지로 좌측이 노출시간이 많은 상태에서 촬영된 이미지고 우측이 노출시간이 적은 상태에서 감지된 8비트 RGB이미지이다. 그림 10의 우상 그림은 가장 적합한 색값을 기준으로 경계치(threshold value)를 5로 하여 물체를 감지한 결과다. 색값이 지정되어 있기 때문에 노출 시간이 많은 이미지에서 감지된 정도가 높은 반면, 노출 시간이 적은 이미지에서는 감지효율이 현저히 감소함을 알 수 있다. 그림 10의 우하 그림처럼 경계치를 증가시키면 감지되지 않아야 되는 부분까지 감지됨을 알 수 있다. 이에 반해서 그림 10의 좌하 그림과 같이 색곡선을 이용한 감지의 경우 감지효율이 높을 뿐 아니라 광원의 변화에도 감지 효율이 높음을 알 수 있다.

그림 11은 MP3플레이어의 3차원 형상 데이터와 제안된 방법을 통해 색 곡선을 추출하여 DCL을 생성하고 이를 기반으로 렌더링한 결과다. 그림 11(a)는 촬영된 원본 이미지고 그림 11(b)는 측정된 3차원 형상 데이터다. 색 곡선으로부터 DCL을 추출한 후에 렌더링하기 위해 가장 적합한 색은 DCL 색 중에서 가장 밝은 색이기 때문에 그림 11(c)는 그림 11(a)에서 추출된 색곡선의 가장 밝은 색값을 이용하여 렌더링한 결과다.[1]

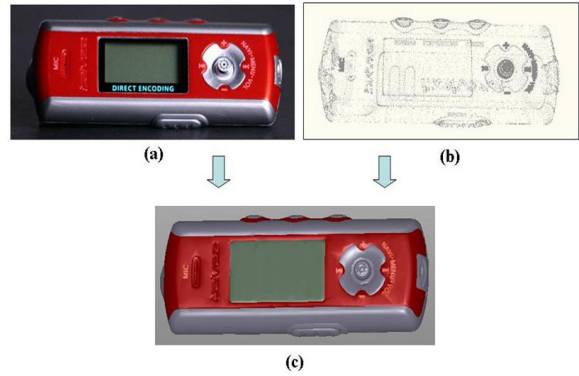


그림 11 색곡선을 이용한 렌더링

5. 결론

반짝이는 특성 물체를 촬영한 이미지 한 장으로부터 색 추출을 하기 위해서는 적합한 이미지를 선정하는 방법이 가장 중요하다. 특히 색이 왜곡되지 않으면서 가장 색 특성 표현이 잘된 이미지를 찾는 것이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 색포화율을 이용하여 적합한 이미지를 찾는 방법을 제안하였고, 이렇게 선정된 이미지에서 정확한 색 추출을 위해 색곡선을 이용하는 방법과 활용 방안을 제시하였다.

반짝이는 특성 물체의 색특성을 표현하기 위해서는 HDRI를 이용하는 것이 좋지만 간단히 측정하여 가시영역에서 실감나게 표현하기 위한 방법으로 색곡선을 이용하는 방법을 제안하였다. 이때, 색 특성을 표현한 색곡선과 함께 제시되어야 할 요소로 광원의 특성, 이미지의 노이즈 특성, 반짝이는 재질의 특성 노이즈, 그리고 색곡선의 분석 데이터가 필요하다. 이러한 요소들이 갖춰지면 대표색을 지정하여 물체 감지나 렌더링을 수행할 수도 있고, 노이즈 특성이나 재질 특성을 고려한 재채색(inpainting)을 수행할 수도 있다.[10]

제안된 방법은 광원의 특성에 따라 색곡선의 형태가 달라지기 때문에 렌더링에 적용하기 위해서는 다른 광원에 대해 색곡선의 변형 및 수정에 대한 연구가 더 진행되어야 한다. 또한, 색곡선으로 획득된 색을 활용하기 위한 색곡선 전용 렌더링 과정이 개발되어야 한다. 마지막으로 색에 대해 정의하고 활용하기 위해서는 색을 획득하는 장비의 보정 및 조절 방법이 선행될 뿐만 아니라 이미지를 기반으로 획득된 색의 적합성을 보장할 수 있는 추출된 색에 대한 검증과정에 대한 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감콘텐츠 연구센터(ICRC)를 통한 과학기술부 특장연구개발 사업의 지원과 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2006-C1090-0603-0017)의 연구결과로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 박정욱, 유재덕, 이관행, " Color line projection," 2006 한국컴퓨터종합학술대회(2006 6 21~23), 논문집(A), pp. 100-102.
- [2] 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.
- [3] F. Nicodemus, J. Richmond, J. Hsia, I. Ginsberg, and T. Limperis, Geometric considerations and nomenclature for reflectance, Monograph 160, National Bureau of Standards (US), October 1977
- [4] P.E. Debevec and J.Mlik. : Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs. In SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, August 1997, pp.369-378
- [5] Stephen R. Marschner, Stephen H. Westin, Eric P. F. and Kenneth E. Torrance, "Image-based Bidirectional Reflectance Distribution function measurement", APPLIED OPTICS, Vol. 39, No. 16, June 2000.
- [6] S.A. Shafer, "Using Color to Separate Reflection Components," Color research and application, Vol. 10, 1985, pp. 210-218
- [7] 박정욱, 유재덕, 이관행, "실감나는 색 복원을 위해 DCL 을 이용한 색 정의 방법 연구," 제 18 회 신호처리합동 학술대회, Vol. 18, No. 1, 2005.10. pp.82
- [8] G. J. Klinker, S. A. Shafer, T. Kanade, "A Physical Approach to Color Image Understanding," International Journal of Computer Vision, Vol. 4, 1990, pp. 7-38.
- [9] Jungwook Park and Kwan H. Lee, "A novel noise modeling for object detection using uncalibrated difference image," Lecture Notes in Computer Science Vol. 3314, J. Zhang, J.-H. He, and Y. Fu (Eds.), Computational and Information Science, First International Symposium, CIS 2004, Shanghai, China, December 2004, pp. 1208-1215.
- [10] Jung Wook Park, Jae Doug Yoo, and Kwan H. Lee, "Specular Removal using CL-Projection" Lecture Notes in Computer Science / PCM 2005, 6th Pacific Rim Conference on Multimedia, Jeju, Korea