

실용적인 금속 재질 광택 측정 기술 개발

김희민¹, 전성국², 김운용³

¹한국광기술원 책임연구원

²한국광기술원 선임연구원

³한국광기술원 연구원

hmkim@kopti.re.kr, k612051@kopti.re.kr, kuy7023@kopti.re.kr

A Practical Reflectance Measurement Method for Metallic Materials

Hoe-Min Kim¹, SungKuk Chun², Un-Yong Kim³

^{1,2,3}Korea Photonics Technology Institute

요 약

본 연구는 다양한 금속 재질에 대한 광택 특성을 측정하고 비교할 수 있는 실용적인 방안에 대한 것이다. 렌더링되는 재질의 사실감을 극대화하기 위하여 실제 재질의 반사 특성을 측정하고 이를 모델링하고자 하는 많은 연구가 진행되나 있다. 하지만 이러한 연구들의 대부분은 측정의 정교함에 초점에 맞추어져 있어 많은 비용과 시간을 소요하게 된다. 따라서 본 연구는 카메라, 지그와 같은 기본적인 장치와 객체 트래킹 알고리즘을 활용하여 빠르고 저렴하게 금속 재질의 광택 특성을 이해할 수 있는 시스템을 제안한다. 취득한 측정 데이터는 향후 렌더링 엔진 등에 반영되어 보다 사실적으로 다양한 금속 질감을 가시화하는데 활용될 수 있을 것이다.

1. 서론

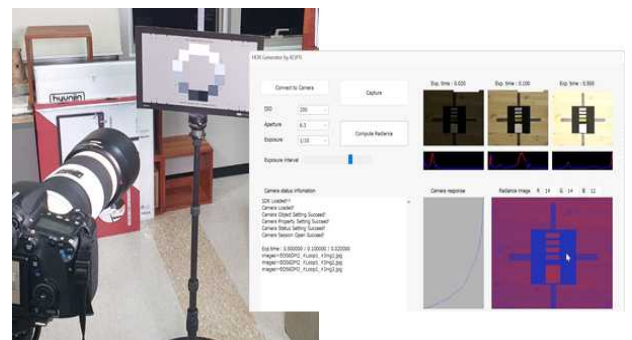
보다 사실적인 렌더링을 위해 재질의 반사 특성을 직접 측정한 다양한 연구가 진행되나 있다[1].

일반적인 재질과 달리 귀금속과 같은 금속 재질의 경우, 난반사 특성보다는 정반사 특성이 매우 강하므로 정반사 부근의 각도별 광택의 특성 변화를 이해하는 것이 매우 중요하다. 더구나 심미적인 디자인을 위해 의도적으로 금속 재질의 표면에 스크래치 혹은 문양을 새기는 경우, 거칠기와 미세 형상 변화로 인해 동일한 금속임에도 불구하고 반사 특성이 크게 달라질 수 있다. 이러한 광택 변화에 대한 충분한 이해도 없이 금속 제품을 임의로 렌더링하는 경우, 텍스처는 유사해보일 수 있으나 시선이나 조명이 변화할 때 금속의 광택이 어색해보일 수 있다.

하지만 재질의 광택 특성을 각도별로 측정하는 것은 고정밀 모터와 이를 제어할 수 있는 제어기를 필요로하므로 많은 시간과 비용이 수반된다. 따라서 본 연구는 카메라, 조명, 지그와 같은 기본적인 장치와 HOG(Histogram Oriented Gradient)[2]와 같은 객체 트래킹 알고리즘을 사용하여 보다 저렴하고 빠르게 재질의 반사 특성을 취득할 수 있는 실용적인 시스템 셋업 방법을 소개하고자 한다.

2. 광택 특성 측정 시스템 구성

측정 시스템은 카메라, 조명, 지그와 같은 최소한의 부품으로 구성되며, 비용과 시스템을 최소화하기 위하여 모터를 제외하였다. 조명이 아닌 주변의 반사로 인해 입사하는 빛을 최소화하기 위해서는 대상 재질과 카메라의 간격을 넓히는 것이 중요하고 카메라 혹은 대상체를 회전시킬 수 있어야하지만 이러한 시스템은 고출력, 고정밀 모터를 필요로한다. 따라서 본 연구에서는 다음 그림과 같이 수동으로 지그를 회전시키되 지그에 부착된 마커 또는 로터리엔코더를 통해 카메라와 지그 평면의 사잇각을 추정할 수 있도록 하였다.



(그림 1) 광택 측정을 위한 카메라와 지그 셋업

유사한 여타 시스템과 마찬가지로 카메라는 DSLR을 활용하였다. 비전카메라의 경우 대부분 센서의 크기가 제한적이며, 활용가능한 렌즈의 성능이 한정적이므로 DSLR을 활용하였다. DSLR의 하중과 움직임으로 인해 다소 진동이 있을 수는 있으나, 지그에 부착된 마커를 활용하여 프레임마다 움직임을 보상하였다.

대상 샘플을 가운데 위치시킨 후, 카메라를 회전할 수 있는 지그 기구물을 제작하였다. 그리고 앞서 언급하였듯 지그에는 정해진 간격마다 원형 마커를 부착하여 영상의 위치를 보정함과 동시에 지그와 카메라가 이루는 사잇각을 계산할 수 있도록 하였다. 카메라 회전시 마커간의 간격이 점차 변화하므로 이를 기하학적인 계산을 통해 각도를 추정하였다.

조명으로서의 가급적 연색성이 높은 조명을 권장한다. 대상 재질과 함께 컬러 샘플 사진을 취득한 후 컬러 보정을 수행할 수도 있으나, 본 연구는 광택 특성 취득에 좀 더 초점이 맞추어져 있으므로 화이트 표준 광학 샘플을 촬영한 후, 이를 기반으로 컬러를 보정하였다.

3. 마커 및 중심 트래킹 방법

앞서 언급하였듯이 지그에 일정한 간격으로 부착된 마커는 카메라와 대상 재질이 이루는 각도를 추정하는데 활용되므로 정교하게 마커의 중심을 계산할 수 있는 방법을 필요로 한다.

마커를 인식하는 방식은 여러 가지 알고리즘이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 객체의 형태소를 인식하는 HOG 알고리즘을 활용하였다.

Yolo[3]와 같은 객체 인식 모델을 통해 다양한 각도와 크기의 마커를 학습시킨 후 주어진 영상에서 한꺼번에 마커를 트래킹할 수도 있으나, 실험 결과 마커 검출시 많은 에러가 발생하였다. 우선 회전각 변화에 따라 마커의 형태와 함께 조명 환경이 크게 변화하므로 프레임마다 탐지되는 마커의 개수와 위치가 크게 달라지는 현상이 발생하였다. 더욱이 본 연구에서 대상으로 하는 금속 재질은 대부분의 빛을 강하게 반사하므로 영상에 과포화되는 영역이 발생하게 되어 금속의 광택을 정확하게 추출할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 대상 객체는 구별되 과포화가 발생하지 않는 최소한의 조명 환경에서 실험을 진행하였다.

따라서 본 연구에서는 저조도 환경에서도 객체 트래킹 알고리즘이 정상적으로 작동할 수 있도록 매

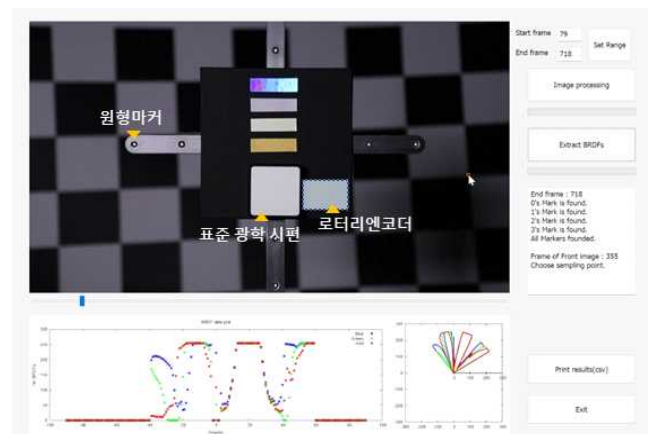
프레임마다 마커의 위치를 추정하고, 그때마다 마커의 HOG를 계산하였다. 다음 프레임에서는 이전 프레임에서 마커가 위치하였던 주변을 중심으로 마커를 탐색하여 정확도와 연산 효율을 제고하였다. HOG 알고리즘은 각도 변화에 강건한 알고리즘으로 알려져 있으나 저조도 환경에서 각도가 많이 변화하는 경우에는 한계가 존재하였기에 매프레임마다 HOG를 계산한 후 다음 프레임에서 가장 유사한 HOG를 갖는 위치를 탐색하는 방식을 채택하였다.

그럼에도 불구하고 마커의 정확한 중심점을 찾는 것은 한계가 있으므로, 본 연구에서는 마커의 위치를 찾은 후, 마커의 흰 중심원을 재탐색하고, 흰 픽셀들의 평균 위치값을 마커의 중심으로 산정하여 중심 위치를 보정하였다.

4. 광택 특성 취득 및 분석

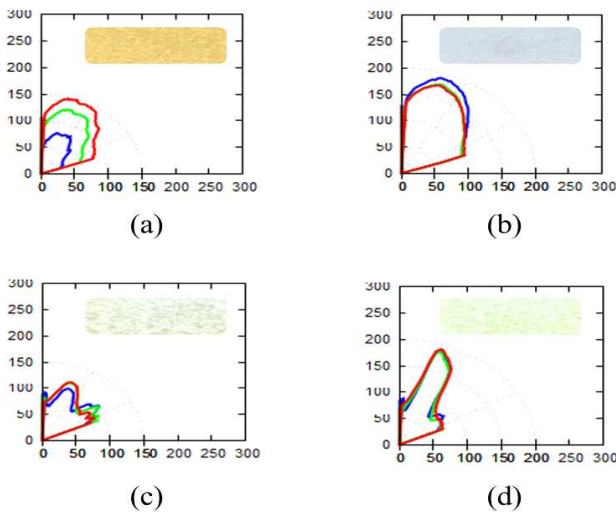
다음 그림은 반사 특성을 취득하는데 사용한 지그와 반사 특성 가시화 소프트웨어의 인터페이스를 보여주고 있다. 카메라를 회전시켜 취득한 동영상은 소프트웨어 인터페이스에 입력하면 각 프레임마다 마커의 위치와 영상에 해당하는 각도를 계산하여 대상 재질의 각도별 반사 강도를 데카르트 혹은 극좌표계 형태로 가시화해준다. RGB 스펙트럼마다 달라지는 광택의 특성 변화를 손쉽게 관찰할 수 있다.

수십초간 수동으로 카메라 지그를 움직이는데서 오는 불편함이 있을 수는 있으나, 빠른 시간안에 대상 재질의 광택 특성을 파악하는데 상당한 정보를 제공해줄 수 있다. 재질의 광택 특성을 취득하는데 필요한 비용과 편리함의 장점은 시스템의 불편함과 불완전함을 충분히 커버할 수 있다고 사료된다.



(그림 2) 마커가 부착된 지그 및 광택 특성 가시화 SW

다음 그림은 제안한 시스템을 활용하여 재질 샘플을 측정된 결과이다. 노란색 금속 재질(a)의 경우 스펙트럼별 반사값이 크게 다른 것을 알 수 있는 반면, 은빛 재질(b)의 경우 반사값 자체는 높지만 스펙트럼간의 수치적인 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 또한 표면에 불규칙적인 반짝임이 있는 재질(c)은 반사값 자체에 불규칙성이 존재함을 알 수 있으며, 또다른 재질(d)은 정반사 영역에서만 광택이 두드러짐을 정량적으로 확인해볼 수 있다.



(그림 3) 다양한 재질에 대한 광택 특성

5. 결론 및 향후 계획

회전이 가능한 샘플 지그와 마커 트래킹 알고리즘을 활용하여 대상 금속의 각도별 반사 특성을 손쉽게 취득할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히 동시에 여러 샘플을 부착하여 여러 반사 특성을 각도별로 비교하는데 매우 유용하다.

하지만 제안하는 시스템은 몇 가지 단점이 존재한다. 우선 많은 금속들은 평편한 형태로 가공하기 어려운 경우가 존재한다. 또한 표면이 매우 매끄러워 거울 반사 특성이 매우 강한 샘플의 경우 소수점 이하의 각도별 정반사 형태를 완벽하게 구현하기 어려울 수 있다. 이를 보완하기 위하여 로터리엔코더를 도입하여 카메라 또는 대상 재질이 회전하였을 때, 정확한 각도를 물리적으로 전달받고 이를 다시 샘플을 측정하는 영상에 동시에 기록되도록 한다. 회전 각도를 딥러닝이 이해할 수 있는 수치 혹은 특정 형태로 표시하면 하나의 영상을 통해 샘플 측정 영상과 동시간대의 각도를 기록할 수 있게 된다. 샘플 혹은 카메라를 수동으로 회전하더라도 측정 영상과

측정 각도를 번거로운 장비 없이도 동기화시킬 수 있다. 또한 본 연구에서는 광원으로서 면광원 LED 조명을 활용하였으나 고출력의 점광원으로 대체하여 금속의 정반사 특성을 보다 정교하게 측정할 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 제안하는 시스템은 간단한 장비만으로 광택 특성을 취득하고 비교할 수 있는 방법을 제공하므로, 관련 실험을 진행하고자 하는 연구자들에게 실용적인 반사 특성 취득 방안을 소개하는데 의의가 있을 것으로 사료된다.

향후에는 금, 은과 같은 보편적인 귀금속 뿐만 아니라 팔라듐, 티타늄과 같이 육안으로 구분이 쉽지 않은 금속에 대한 광택 특성을 정량적으로 분석해보고자 하며, 최근 패션 주얼리로서 사용 빈도가 늘어나고 있는 이중 색상의 금속들을 혼합한 합성 금속들의 컬러와 광택 특성 변화까지 탐구해보고자 한다. 또한 이러한 실험 결과를 바탕으로 귀금속 제품에 대한 질감을 보다 사실적으로 렌더링할 수 있는 방법에 대한 연구로 확장하고자 한다[3].

감사의 글

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기술평가원(KEIT)의 디자인산업기술개발사업(2410012346)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Ngan, A., Durand, F., Matusik, W., "Experimental Analysis of BRDF Models", Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering (EGSR), pp. 117 - 126, 2005
- [2] Dalal, N., Triggs, B., "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 886 - 893, 2005.
- [3] Redmon, J., Farhadi, A., "YOLO9000: Better, Faster, Stronger", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 7263 - 7271, 2017.
- [4] <https://us.bmarings-configurator.com/home>