

라디안스 맵을 이용한 다양한 광원의 조작

김성진*, 정순기**

*경북대학교 컴퓨터공학과

{saintjin, skjung}@vr.knu.ac.kr

Manipulation of light using radiance map

SungJin Kim*, SoonKi Jung**

**Dept. of Computer Engineering Kyungpook National University

요 약

전통적인 컴퓨터 그래픽스분야에서 실제감 있는 장면(scene)을 만들어 내기 위해 표면의 반사 특성에 대한 연구가 많이 행해 졌다. 표면의 반사특성을 구하기 위하여 기존의 방법들은 복잡한 기하학적 정보를 구하거나 실제 표면의 반사 특성을 얻기 위한 장치를 사용하였다. 본 논문에서는 기하학적 정보 없이 샘플링한 영상으로부터 라디안스맵(radiance map)을 만들고, 이를 이용하여 BRDF를 구하는 방법을 제시한다. 또한 BRDF를 효과적으로 저장하는 방법을 제시한다. 본 논문에서 제시한 방법을 사용하여 임의의 위치에서의 광원에 대하여서 조작이 가능하며 빠른 시간에 새로운 장면을 재구성(reconstruction)할 수 있다. 또한 사용자가 임의로 광원(color light)의 색깔을 변화시킬 수 있고, 여러 개의 광원(multiple light source)에 대하여 장면의 재구성이 가능하다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스분야에서 실제감 있는 장면을 생성해 내기 위하여 표면의 반사특성(reflection property)에 대한 연구가 많이 이루어 졌다. 실제로 정확한 표면에 대한 반사특성을 구하기 위해서는 복잡하고 정교한 모델을 요구한다. 이러한 모델은 많은 파라미터를 요구하기 때문에 표면의 반사특성을 모델링 하는 것은 어렵다. 적은 파라미터를 사용해서 표면의 반사특성을 구하려는 방법으로 BRDF에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근에는 실제 물체의 표면의 특성을 근사화하여 실제감 있는 렌더링을 하는 방법[1]을 제시하였다.

Ward는 하드웨어적인 장치를 사용하여 표면의 반사특성을 측정하고 복원해 내는 방법[2]을 제안하였다. SATO는 레이저 레이저 스캐닝(laser range scanning)을 통하여 물체를 모델링(modeling)하고 텍스처(texture)를 통하여 표면의 반사특성을 구하는 방법[3]을 제시하였다. 이러한 방법들은 반사특성을 구하기 위하여 장치가 필요하거나 또한 물체의 기하학적 정보를 뽑아내는 작업이 필요하다. Wong은 기하학적 정보 없이 광원의 위치를 다르게 하여 얻어진 여러 장의 영상으로부터 임의의 광원에 대한 영상을 얻어내는 방법[4]을 제시하

였다. 그러나 이 방법은 픽셀의 밝기정보(intensity)를 표면의 반사특성에 이용하므로 물리적으로 정확하지 않다. 본 논문에서는 기하학적 정보 없이 광원의 위치를 달리한 여러 장의 라디안스 맵(radiance map)으로부터 장면(scene)을 생성할 수 있는 방법을 제시한다. 또한 표면의 반사되는 빛의 양을 픽셀의 밝기(intensity) 대신에 카메라의 노출시간을 달리한 영상으로부터 얻은 라디안스 맵을 이용함으로써 물리적으로 더 정확한 표면의 반사 특성을 얻어낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제시한 알고리즘을 사용하여 임의의 광원에 대한 라디안스 맵을 생성하는 방법에 대해 설명하고, 톤 매핑(tone mapping) 방법을 써서 영상을 만드는 방법 설명한다. 4장에서는 실험결과를 보여주고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. BRDF

전통적인 그래픽스에서 표면의 특성(surface property)을 구하기 위해 여러 가지 모델이 있다. 그러나 이러한 모델들은 많은 변수를 가지고 있기 때문에 실제 영상을 가지고 모델링하기는 어렵다. 이런 모든 변수들을 제거하고 광원의 입사각과 반사각을 이용하여 표면의 특성을 나타내는 함수를 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)라 한다. 이 함수는 입사되는 에너지 양(energy flux)과 표면에 반사되는 빛의 양(irradiance)의 비로 정의한다. 식 1은

* 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단 선도과제(KRE-99-E00294)와 2000년도 한국과학기술원 가상현실 연구센터의 지원을 받았다

BRDF함수를 나타낸다.

$$\rho(\theta_i, \psi_i, \theta_r, \psi_r) = \frac{dL_r(\theta_r, \psi_r)}{dE_i(\theta_i, \psi_i)} \quad (1)$$

여기서 θ_i, ψ_i 는 입사각, θ_r, ψ_r 는 반사각을 나타내며 dL 과 dR 은 각각 입사되는 빛의 양과 반사되는 빛의 양을 나타낸다.

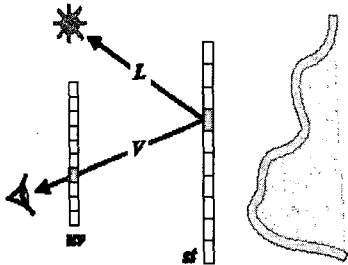


그림 1. 픽셀의 BRDF측정

2.1 BRDF 획득

BRDF를 구하는 기본적인 알고리즘은 Tien-Tsin Wong의 접근 방법을 근거로 한다. Wong의 방법은 영상의 각 픽셀을 표면 요소(surface element)로 두고 영상의 픽셀밝기를 표면의 반사되는 빛의 양으로 가정하고 BRDF를 구하였다. 그러나 픽셀의 밝기(intensity)는 물리적으로 정확한 밝기 정보가 아니다. 즉 픽셀의 밝기가 2배라고 해서 실제 밝기가 2배는 아니다. 본 논문에서는 BRDF를 구하기 위하여 픽셀의 밝기 대신에 카메라의 노출시간을 달리한 여러 장의 영상을 이용하여 라디안스 맵을 사용한다. 그림 1은 픽셀의 BRDF를 설명한다. 입사하는 광원의 라디안스를 L 이라 두고 영상의 각 픽셀의 라디안스 값을 반사되는 빛의 양으로 두었다. 각 픽셀의 BRDF를 구하는 알고리즘은 그림2 와 같다.

```

Radiance map 샘플링
for( 광원의 각 위치( $\theta, \phi$ )에 대하여){
    for( 노출시간에 대하여){
        실제 카메라로부터 영상의 획득
    }
    radiance map을 구함
}

BRDF 획득 알고리즘
for(영상의 모든 픽셀( $s, t$ )에 대하여){
     $\rho(\theta, \psi) = I_{u,v,\theta,\phi}$ 의 픽셀( $s, t$ )의 radiance값
    / 광원의 radiance값
}
    
```

그림 2. BRDF측정 알고리즘

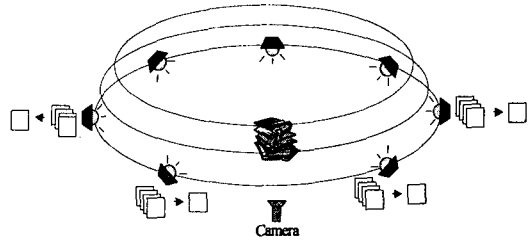


그림 3. 라디안스 맵 샘플링

광원의 위치를 표현하기 위하여 극 좌표계를 사용한다. 여기서 파라미터 θ 와 ϕ 는 각각 수직각과 수평각을 나타낸다. 본 논문에서는 반사되는 빛의 양(irradiance)을 구하기 위하여 카메라의 노출시간을 변화시킨 여러 장의 영상으로부터 라디안스 영상을 구하는 방법[5]을 사용하였다. 그림 3은 BRDF를 구하기 위하여 라디안스 맵에 대한 샘플링을 보여준다.

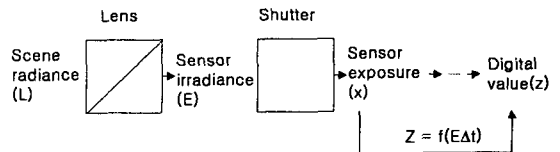


그림 4. 영상획득 파이프 라인

2.2 라디안스 맵 획득

그림 4는 카메라로부터 디지털영상을 획득하는 과정을 나타낸다. 실세계의 장면의 라디안스(L)은 카메라의 렌즈를 통과하고 다시 셔터의 노출시간에 의해 센서 노출(x)이 결정된다. 그리고 다시 필름에 의해 현상되고 아날로그 디지털 변환기에 의해 영상의 픽셀밝기가 결정된다. 그림에서 센서의 노출(x)과 픽셀밝기(z)사이에는 비선형 매핑이므로 하나의 영상에서 장면의 라디안스(L)을 구할 수 없다. Debevec은 장면의 라디안스(L)을 구하기 위하여 카메라의 노출시간을 달리한 몇 장의 영상으로부터 라디안스 맵을 구하는 방법을 제시하였다. 우리는 이 방법을 BRDF를 구하기 위한 라디안스값으로 사용한다.

2.3 Spherical Harmonics

앞에서 획득한 BRDF는 상당한 저장공간이 필요하다. 만일 θ 와 ψ 를 따라 각각 20개의 라디안스 맵을 샘플링 한다면 각 픽셀마다 400개의 BRDF를 저장해야한다. 만일 하나의 라디안스 맵의 크기가 256x 256이라면 100MB의 저장공간이 필요할 것이다. 따라서 BRDF를 효과적으로 저장하기 위한 표현 방법이 필요하다. BRDF를 저장하기 위한 수학적 방법으로 썬 Cabral이 제안한 방법[7]을 이용한다. Cabral은 spherical harmonics를 써서 BRDF를 효율적으로 저장하는 방법을 제시하였다. 광원의 위치를 다르게 하여 미리 구한 BRDF를 이용하여 계수(Coefficient)를 구한다. 이렇게 구한 계수는 다시 임의의 위치에서의 BRDF를 구하는데 이용될 수 있다. 식 2는 계수를 구하는 식이다.

$$C_{l,m} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \rho(\theta, \psi) \sin \theta d\theta d\psi \quad (2)$$

$$Y_{l,m}(\theta, \psi) = \begin{cases} N_{l,m} P_{l,m}(\cos \theta) \cos(m\psi) & \text{if } m > 0 \\ N_{l,0} P_{l,0}(\cos \theta) / \sqrt{2} & \text{if } m = 0 \\ N_{l,m} P_{l,m}(\cos \theta) \sin(|m|\psi) & \text{if } m < 0 \end{cases}$$

$$N_{l,m} = \sqrt{\frac{2l+1}{2\varphi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}}$$

$$P_{l,m}(x) = \begin{cases} (l-2m)\sqrt{1-x^2} P_{m-1,m-1}(x) & \text{if } l = m \\ x(2m+1)P_{m,m}(x) & \text{if } l = m+1 \\ x \frac{2l-1}{l-m} P_{l-1,m}(x) - \frac{l+m-1}{l-m} P_{l-2,m}(x) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{0,0}(x) = 1$$

여기에서 $C_{l,m}$ 은 spherical harmonics의 계수이다. 더 많은 계수를 구할수록 더 정확한 BRDF를 구할 수 있다. 보통 16개에서 25개의 계수만으로 충분하다. 이렇게 구한 계수를 이용하여 식 3에 적용하면 임의의 위치(θ, ψ)에 대한 BRDF를 구할 수 있다.

$$\rho(\theta, \varphi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l C_{l,m} Y_{l,m}(\theta, \varphi) \quad (3)$$

이렇게 구한 BRDF를 이용하여 임의의 (θ, ψ)에 대한 라디안스 맵을 재구성(reconstruction) 할 수 있다.

2.4 라디안스 맵의 재구성

앞에서 구한 BRDF와 식 1을 사용하여 라디안스 맵을 재구성할 수 있다. 또한 여러 개의 광원에 대하여 라디안스 맵을 구할 수도 있다. 식 4는 n개의 광원에 대하여 라디안스를 구하는 식이다.

픽셀(s, t)에서의 radiance값 =

$$\sum_{i=0}^n \rho_{u,v,s,t}(\theta_i, \psi_i) \times i\text{번째 광원의 radiance} \quad (4)$$

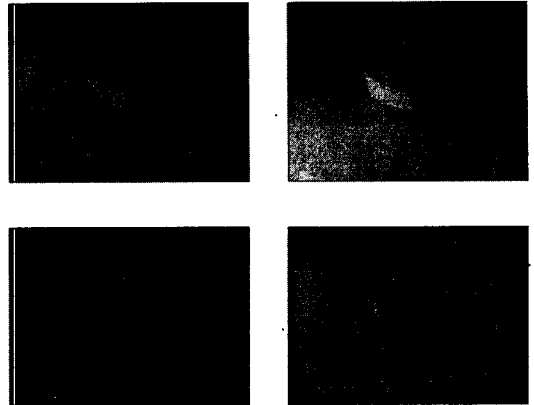
또한 광원의 라디안스의 조절을 통하여 다양한 광원의 밝기에 대한 라디안스를 구할 수 있다.

2.5 적응성 히스토그램(adaptive histogram)

실세계의 밝기를 화면의 밝기로 바꾸어 주는 것을 톤 매핑(tone mapping)이라고 한다. 우리는 앞에서 구한 라디안스 맵을 화면의 영상으로 보여 주기 위기 위하여 적응성 히스토그램 방법[6]을 사용하였다.

3. 실험 결과

제안된 방법은 Windows NT를 기반으로 하여 visual c++6.0을 사용하여 구현하였다. 또한 디지털 카메라를 사용하여 노출시간이 다른 10개의 영상으로부터 라디안스 맵을 구하였다. 수평으로 0-90도, 수직방향으로 0-30도까지를 10도씩 간격으로 라디안스 맵을 샘플링하여 실험에 이용하였다. 그림5는 본 논문에서 제시한 방법을 통하여 영상을 복원한 결과이다. a는 수평0도, 수직30도의 위치의 광원에 대해 영상을 복원한 영상이고, b는 수평 90도 수직30도 위치의 광원에 대해 복원한 영상이다. c는 RED성분이 강한 광원에 대하여 복원한 영상이고, d는 BLUE성분이 강한 광원에 대해 복원한 영상이다. 실험에서 보여주듯이 제시한 방법을 통하여 임의의 위치에 있는 광원에 대해 영상을 복원할 수 있고 광원의 색깔도 변화시킬 수 있다.



a) 광원의 위치[30,0] b) 광원의 위치[30, 90]
c) RED성분이 강한 광원 d) BLUE성분이 강한 광원
그림 5. 실험 결과

4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 기하학적 정보 없이 광원에 대해 미리 샘플링한 영상을 이용하여 임의의 위치에서의 광원에 대해 빠르게 영상을 복원하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 BRDF를 구하는 방법에서 영상의 픽셀값을 사용하는 대신에 노출시간이 다른 영상으로 구한 라디안스 맵을 정확한 BRDF를 구하였다. 실험결과를 통하여 광원에 대한 다양한 조치가 가능하여, 위치가 다른 몇 개의 광원에 대하여도 영상을 재구성(reconstruction)할 수 있게 되었다.

앞으로의 연구과제는 BRDF를 저장할 수 있는 방법에 대하여 웨이블릿(wavelet)이나 DCT를 이용한 방법을 모색중이다.

참고문헌

- [1] HE, X. D., TORRANCE, K. E., SILLION, F., AND GREENBERG, D. P. A comprehensive physical model for light reflection. In SIGGRAPH91, (August 1991)
- [2] WARD, G.J. The RADIANCE lighting simulation and rendering system. In SIGGRAPH 94(July 1994). pp. 459-472.
- [3] SATO, Y., WHEELER, M.D., AND IKEUCHI, K. Object shape and reflectance modeling from observation. In SIGGRAPH 97(1997), pp. 379-387.
- [4] WONG T.-T., HENG P.-A., OR S.-H. AND NG W.-Y. Image-based Rendering with Controllable Illumination. In 8th Eurographics Workshop on Rendering, (June 1997), pp. 13-22
- [5] Debevec, Paul and Jitendra Malik, "Rendering High Dynamic Range Radiance Maps from Photo
- [6] WARD, G. J., RUSHMEIER, H., AND PIATKO, C. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes. Tech. Rep. LBNL-39882, Lawrence Berkeley National Laboratory, March 1997.
- [7] Brian Cabral, Nelson Max, and Rebecca Spingmeyer. Bidirectional reflection functions from surface bump maps. In Computer Graphics (SIGGRAPH '87 Proceedings), volume 21, pages 273-281, July 1987.