

난반사와 거울반사 라디안스 맵을 이용한 재조명

정기숙^o, 김모곤, 정순기
경북대학교 컴퓨터 공학과 가상현실연구실
(gsjung, mgkim)@vr.knu.ac.kr, skjung@knu.ac.kr

Relighting Using Diffuse and Specular Radiance Map

Gi Sook Jung^o, Mo Gon Kim and Soon Ki Jung
Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요약

본 논문에서는 각 광원의 위치에 대해 미리 구한 라디안스 맵에 시간-색 공간에서의 반사요소 분리방법을 적용하여 난반사 라디안스 맵과 거울반사 라디안스 맵을 구한다. 퍽셀 BRDF를 얻기 위한 입력으로 반사요소가 분리된 라디안스 맵을 사용하였다. 따라서, 광원의 조작에 대해 난반사와 거울반사 이미지를 각각 제어할 수 있다. 시간-색 공간에서의 반사요소 분리방법을 사용함으로써, 이미지의 전역 정보가 아니라 지역 정보만을 이용한 반사요소 분리가 가능하다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽 분야에서, 광원에 대한 물체의 반사특성을 체(體)반사(body reflection)과 경계반사(interface reflection)의 합으로 나타낸 DRM(Dichromatic Reflection Model) [1]이 제안된 후 색의 반사요소 분리 및 그 응용에 대한 다수의 논문들이 발표되었다. Klinker 등[2]은 PCA(Principal Component Analysis)를 사용하여 RGB 색공간을 체반사와 경계반사로 분리하였다. Bajcsy 등[3]은 새로운 색 특성공간인 S-space를 제안하였다. Yoichi 등[4]은 시간에 따른 퍽셀값의 변화를 나타내는 시간-색 공간(Time-color space)을 사용하여 색의 반사요소를 분리한 후 3D reconstruction을 하였다.

가상환경에서의 재조명(relighting)에 대한 연구로 Wong 등[5,6]과 Loscos 등[7], 김 등[8]의 연구가 있다. Wong은 기존의 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function) 대신 좀더 구하기 쉬운 퍽셀 BRDF를 정의한 후, 이미지의 퍽셀값을 반사광의 라디안스(radiance) 대신 사용하여 그 값을 구하였다. Loscos는 실제 영상의 그림자를 제거한 텍스처(unoccluded illumination texture)를 얻어 Hierachical Radiosity 알고리즘으로 증강현실(Augmented Reality)에서의 재조명을 구현하였다. 김은 라디안스 맵(radiance map)[9]을 사용하여 퍽셀 BRDF를 구한 후, 광원의 조작에 따라 라디안스 맵을 재구성하여 장면을 렌더링하였다.

본 논문에서는 광원의 각 위치(θ, ϕ)에 대해 라디안스 맵을 구한 후, Yoichi의 시간-색 공간에서의 반사요소 분리방법을 라디안스 맵에 적용하여 난반사(diffuse reflection) 요소와 거울반사(specular reflection) 요소를 분리하였다. 그리고 김이 제안한 "라디안스 맵을 사용한 BRDF 재구성 방법"의 입력으로 난반사와 거울반사 요소가 분리된 라디안스 맵을 이용하였다. 이로써, 광원 및 난반사와 거울반사 요소를 각각 조정하여 장면을 렌더링 할 수 있게 되었다.

2. 반사요소의 분리와 재조명

이 장에서는 반사요소 분리모델로 가장 널리 알려진 DRM과 DRM을 이용한 시간-색 공간에서의 반사요소 분리방법에 대해 간략하게 알아보고 본 논문에서 구현한 반사요소가 분리된 라디안스 맵에 의한 재조명에 대해 논한다.

2.1 DRM

본 논문에서 난반사와 거울반사가 분리된 라디안스 맵을 구하기 위해 DRM을 사용하였다. 이 모델에서는 물체의 표면요소로 입사되는 빛의 반사특성을 법선 벡터에 대해 특정 각도로 반사되는 경계반사, 내부 산란 및 흡수 등을 거친 후 표면을 통해 다시 반사되는 체반사의 합으로 나타낸다. 경계반사는 거울 반사, 체반사는 난반사 특성을 가진다.

DRM은 R, G, B의 세 협대역에 대해 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 L &= \begin{pmatrix} L(red, n, s, v) \\ L(green, n, s, v) \\ L(blue, n, s, v) \end{pmatrix} \\
 &= L_d + L_s \\
 &= m_d(n, s, v) \cdot c_d + m_s(n, s, v) \cdot c_s \\
 &= m_d(n, s, v) \cdot \begin{pmatrix} C_{d,R} \\ C_{d,G} \\ C_{d,B} \end{pmatrix} + m_s(n, s, v) \cdot \begin{pmatrix} C_{s,R} \\ C_{s,G} \\ C_{s,B} \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{식(1)}$$

이때, L 은 장면 라디안스(Scene Radiance or Reflected Radiance), n 은 표면의 법선 벡터, s 는 입사광의 방향 벡터, v 는 시선의 방향벡터이다. L_d 와 L_s 는 각각 체반사, 경계 반사의 라디안스를 나타내고, c_d 와 c_s 는 체반사 색, 경계반사 색 벡터이며, m_d 와 m_s 는 3차원 정보를 가지는 기하적 요소이다.

2.2 시간-색 공간에서의 반사요소 분리

시간-색 공간상의 광원의 위치 θ_s 가 변함에 따라 한 픽셀의 값이 어떻게 변하는가를 그림1에서 보여준다.

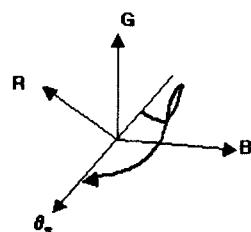


그림 1. 시간-색 공간

m 개의 다른 광원 위치에 대해 이미지 시퀀스를 얻은 후, 한 픽셀의 R,G,B값을 순서대로 측정하여 행렬 $I_{m \times 3}$ 에 저장한다. 그 때 I 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I &= [I_R \ I_G \ I_B] \\
 &= [D_d \ D_s] \begin{bmatrix} K_d^T \\ K_s^T \end{bmatrix} \\
 &= DK
 \end{aligned} \tag{식(2)}$$

식(2)에서 D 는 물체의 기하학적 정보를 가지는 두 벡터 D_d 와 D_s 로 구성되며 광원의 방향 θ_s 에 대해 각각 체반사 요소(body reflection component)와 거울반사 요소

(specular reflection component)의 세기를 나타낸다. K 는 난반사, 거울반사에 대해 아래 식(3)과 같이 R,G,B 정보를 가진다.

$$K_d^T = [k_{dR} \ k_{dG} \ k_{dB}], \quad K_s^T = [k_{sR} \ k_{sG} \ k_{sB}] \text{ 식(3)}$$

K_d^T 와 θ_s 에 의한 신장 공간을 체반사 평면(body reflection plane)이라 하고 K_s^T 와 θ_s 에 의한 신장 공간은 거울반사 평면(specular reflection plane)이라 하며 그림 2는 시간-색 공간에서 B축이 생략된 픽셀 값의 궤적을 보여준다.

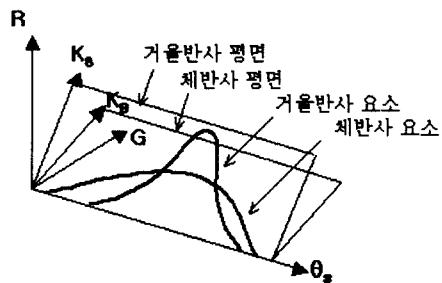


그림 2. 두 개의 반사 평면과 두 개의 반사 요소

일단 K_d 와 K_s 가 주어지면 $D = IK^T$ 에 의해 D_d , D_s 가 구해진다. 그때 난반사, 거울반사 요소는 다음과 같이 주어진다.

$$I_d = D_d K_d^T, \quad I_s = D_s K_s^T \tag{식(4)}$$

본 절에서 제시한 방법은 이미지의 전역 정보가 아니라 지역 정보, 즉 해당 픽셀 정보만을 사용하여 식(4)와 같이 시간-색 공간에서 반사요소를 분리한다.

2.3 난반사와 거울반사 라디안스맵을 이용한 제조명

영상획득 파이프라인은 비 선형성(non-linearity)을 가진다. 따라서, 실제 표면의 반사특성을 정확하게 모델링하기 위해서 필요한 정보는 영상획득 파이프라인의 최종단계인 디지털 영상의 각 픽셀의 밝기가 아니라 실제로 카메라로 들어오는 장면 라디안스이다. 본 논문에서는 표면에 대한 반사특성을 정확하게 표현하기 위해 라디안스 맵으로부터 픽셀 BRDF를 측정하는 방법을 사용한다[8,9].

Wong은 그림 3과 같이 이미지 평면의 각 픽셀을 보통의 표면 요소로 취급하여 픽셀 BRDF를 식(5)로 정의하였다.

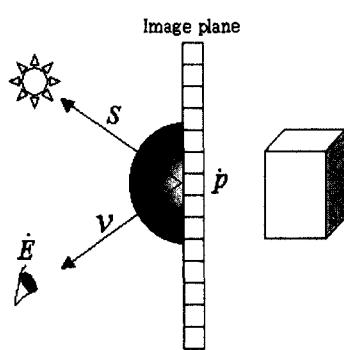


그림 3. 이미지 평면의 각 픽셀을 표면요소로 다루기

$$\rho(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) = \frac{L^E(\vec{p})}{L(\vec{p}, \theta_s, \phi_s)} \quad \text{식(5)}$$

식(5)의 $L^E(\vec{p})$ 대신, Wong은 이미지의 픽셀값을 사용하였으나 김은 라디안스 맵의 픽셀값을 사용하였다.

본 논문에서는 시간-색 공간에서의 반사특성 분리 방법을 라디안스 맵에 적용시켜 시간-라디안스 공간에서의 난반사 라디안스 ($L_d^E(\vec{p})$)와 거울반사 라디안스 ($L_s^E(\vec{p})$)를 구한 후, 다음과 같이 픽셀 BRDF를 계산하였다.

$$\begin{aligned} \rho(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) &= \frac{L_d^E(\vec{p}) + L_s^E(\vec{p})}{L(\vec{p}, \theta_s, \phi_s)} \\ &= \rho_d(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) + \rho_s(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) \end{aligned} \quad \text{식(6)}$$

식(6)의 분리된 픽셀 BRDF를 Spherical Harmonics 기법을 이용하여 각각 압축 저장한 후, 마찬가지로 식(6)을 이용하여 난반사 라디안스 맵과 거울반사 라디안스 맵을 다음과 같이 분리 복원할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_d^E(\vec{p}) &= \rho_d(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) \cdot L(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) \\ L_s^E(\vec{p}) &= \rho_s(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) \cdot L(\vec{p}, \theta_s, \phi_s) \end{aligned} \quad \text{식(7)}$$

식(7)은 반사 요소가 분리된 라디안스 맵으로부터 장면을 제어할 수 있음을 보여준다.

3. 결론

본 논문에서는 각 광원의 위치(θ, ϕ)에 대한 라디안스 맵에 시간-색 공간에서의 반사요소 분리기법[4]을 적용

하여 난반사 라디안스 맵과 거울반사 라디안스 맵을 구하였다. 따라서, 퍽셀 BRDF를 얻는데 분리된 라디안스 맵 사용할 수 있으므로 광원의 조작에 대해 난반사와 거울반사 이미지를 각각 제어할 수 있게 되었다. 본 논문에서 제시한 기법은 장면에 대한 기하학적 정보를 필요로 하지 않고 이미지의 지역정보만을 이용하여 반사요소를 분리하여 재조명 할 수 있다.

참고문헌

- [1] S. A. Shafer, Using color to separate reflection components, COLOR Research and Application, Vol.10, No.4, pp.210-218, 1985
- [2] G. J. Klinker, S. A. Shafer, and T. Kanade. A physical approach to color image understanding. International Journal of Computer Vision, Vol. 4, No. 1, pp.7-38, 1990.
- [3] R. Bajcsy, S. W. Lee, and A. Leonardis. Detection of diffuse and specular interface reflections and inter-reflections by color image segmentation. International Journal of Computer Vision, Vol. 17, No. 3, pp.241-272, 1996
- [4] Y. Sato and K. Ikeuchi, Temporal-Color Space Analysis of Reflection, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 570-576, 1993.
- [5] Tien-Tsin Wong, Pheng-Ann Heng, Siu-Hang Or, Wai-Yin Ng, Image-based Rendering with Controllable Illumination, Rendering Techniques '97, Proc. Eurographics Workshop, pp. 13-22
- [6] Tien-Tsin Wong, Chi-Wing Fu and Pheng-Ann Heng, Interactive Relighting of Panoramas, IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 21, No. 2, pp 32-41, 2001
- [7] Celine Loscos, George Drettakis, Luc Robert, Interactive Virtual Relighting of Real Scenes, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics Vol.6, No.3 , 2000
- [8] 김성진, 김모곤, 정순기, 영상기반 광원 모델링, HCI 2001 학술대회 발표 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 898-903, 2001
- [9] Paul E. Debevec, Jitendra Malik, Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. Proceeding of SIGGRAPH 97, pp. 369-378, 1997