

분광분포기반의 광선추적을 이용한 리어램프의 시뮬레이션

이명영, *이철희, 이호근, 하영호
경북대학교 전자전기컴퓨터학부,*경운대학교 컴퓨터공학과
전화 : 053-940-8835 / 핸드폰 : 011-307-0720

Simulation of Rear Lamp using Spectral-Based Ray Tracing

Myong Young Lee, Cheol Hee Lee, Ho Keun Lee, Yeong Ho Ha
School of Electrical Engineering and Computer Science
Kyungpook National University/Color & Imaging Laboratory
E-mail : yha@ee.knu.ac.kr

Abstract

This paper proposes the simulation algorithm of rear lamp of car using a ray tracing method that models transmission and refraction of light frequently used in computer graphics. At first, To reproduce an image accurately, incident on a sight of viewer, we propose the backward ray tracing method based on spectral distribution representing physical characteristics of illuminant and object used in real. We implement the reproduction algorithm of rear lamp image applying the Bouguer-Beer's law to an optical absorptive phenomenon. As the result, more realistic image can be reproduced.

I. 서론

3차원 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달로 가상공간을 이용한 간접체험과 시제품의 개발에 앞선 가상의 모델링 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 가상 환경(virtual environment)의 3차원 형상 모델링과 빛의 방향이나 세기 등을 고려한 사실감 있는 질감구성의 두 가지 단계로 나누어질 수 있다. 질감

구성을 위한 렌더링의 방법에는 크게 물리 기반 방법(physical-based method)과 영상 기반 방법(image-based method)으로 구별된다[1]. 물리 기반 방법은 광원과 물체, 또는 물체와 물체 사이에서 일어나는 빛의 전송을 기하학적으로 모델링함으로써 사실감 있는 영상의 생성에 많이 이용되어 왔다. 특히, 실제 인간의 시각으로 느끼는 것과 유사한, 사실적인 영상(realistic image)을 재현하기 위해서는 광원의 물리적 특성과 광원에 대한 물체의 반사 및 굴절 특성 등과 같은 실세계에서 일어나는 물리 현상을 정확하게 모델링하는 것이 필요하다.

본 논문은 빛의 투과 및 굴절을 모델링하기 위해 컴퓨터 그래픽에서 많이 사용되고 있는 광선추적기법(ray tracing)[2]을 이용하여 자동차 리어 램프(rear lamp)의 표면색을 재현하는 알고리즘을 제안한다. 관찰자의 시야에 들어오는 영상을 재현하기 위해서 실제 사용된 광원과 리어 램프 모델의 물리적 특성을 분광분포로 표현하였고, 역방향 광선추적기법과 Bouguer-Beer의 법칙[3]을 적용하여 실사 영상에 근접한 램프의 표면색을 재현하였다.

II. 분광분포기반의 광선추적기법

2.1 역방향 광선추적기법

광선추적기법은 거울이나 투명한 물체 등을 더욱 현실에 가깝게 표현할 수 있는 강력한 렌더링 기법이다.

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00253)지원으로 수행되었음.

광선추적기법에는 크게 정방향 추적기법(forward ray tracing method)과 역방향 추적기법(backward ray tracing method)이 있다. 빛의 정방향 추적은 광원에서 시작된 광선이 물체에 닿아 반사, 산란, 투과되는 현상을 모델링하여 최종적으로 관찰자의 눈에 들어오는 빛을 찾는 기법으로 너무 많은 샘플과 계산량 때문에 응용하기에 어려움이 있다. 이에 반하여, Arbo[4]에 의해 제안된 역방향 추적기법은 관찰시점이 되는 인간의 눈에서 시공간(viewing space)이 되는 스크린으로 이어지는 광선(ray)의 경로를 하나하나 추적하여 눈에 들어오는 빛만을 찾아내는 효율적인 방법이다. 즉, 그림 1과 같이 스크린으로 표현되는 시공간을 통과하는 광선들의 경로를 따라 반사와 굴절을 반복하여 추적함으로써 최종적인 빛의 강도를 계산한다.

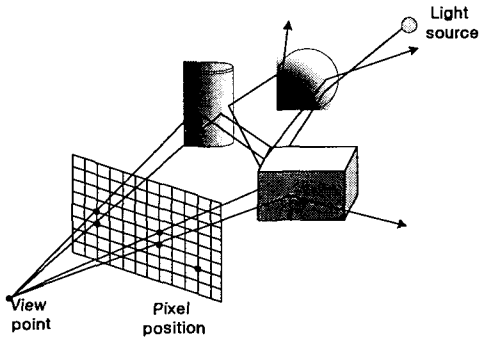


그림 1. 역방향 광선추적의 개념도

2.2 물체의 설정과 광선추적

본 논문에서는 이러한 역방향 광선추적기법을 사용하여 물체의 실사영상의 시물레이션을 위한 모델링 알고리즘을 구현하였다. 광선의 경로를 추적할 때에는 진행되는 광선과 물체간의 교점을 계산해야 하므로 가상의 3차원 공간에 위치하고 있는 모든 물체는 3차원 방정식으로 표현되어야 한다. 본 논문에서는 간단한 식으로 나타낼 수 있는 구와 삼각뿔과 같은 몇 가지의 기본형태(primitive)들을 실험에 사용하였고, 실제로 3차원 매쉬구조로 표현된 자동차의 리어램프의 실사영상을 재현하는데 제안한 알고리즘을 적용하였다. 본 논문에서는 일반적인 광선과 다각형의 교차점 검사법 [5]을 사용하여 매쉬형태의 곡면교차점을 계산하였다. 광선추적의 과정으로는 진행하고 있는 광선과 물체의 교차점을 찾아서 음영모델을 적용하고, 교차하고 있는 물체의 특성을 고려하여 광선의 다음 진행방향을 계산하게 된다. 그림 2에서는 이러한 과정을 나타내고 있

다.

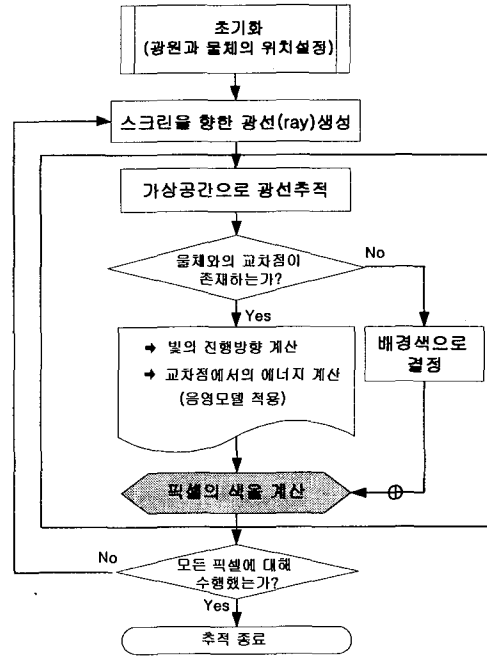


그림 2. 광선추적기법의 흐름도

2.3 분광분포 기반의 재현색 계산

실사영상을 생성하기 위한 렌더링 기술에는 더욱 실재감 있는 영상을 만들기 위해 광원과 물체의 분광분포가 정확히 모델링될 필요가 있다. Cook[6]은 구릿빛 화병(copper vase)이나 고무와 같은 실제의 특정 재료의 렌더링을 위해 그 재료의 분광반사분포도(reflectance spectrum)를 사용하였다. Hall의 음영모델(shading model)에는 물체의 경면반사(specular reflection)와 확산반사(diffuse reflection), 그리고 투과 특성이 파장의 함수로 나타나 있다.

본 논문에서는 광원과 물체의 물리적인 성질을 고려하기 위해서, 조명(illumination), 반사(reflection), 그리고 투과(transmission)와 같은 광학적 현상을 각 모델의 분광분포특성에 기반 하여 최종적인 픽셀의 색을 다음과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda \\
 Y &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda \\
 Z &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta\lambda
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda$, 그리고 \bar{z}_λ 은 표준등색함수 (color matching function)이며 S_λ 는 광원의 분광분포이다. 광원에서 출발한 빛에너지의 분광분포는 반사와 투과를 반복하면서 물체의 반사와 투과특성에 따라 각각 변형되고, 최종적으로 눈에 도달하는 빛에너지 R_λ 는 식(1)을 통해 XYZ 삼자극치로 변환된다. 스크린에 표현되는 최종적인 색은 현재의 디스플레이 모니터에서 재현할 RGB 값으로 최종 변환하여 나타내었다. 이러한 과정을 그림 3에 나타내었다.

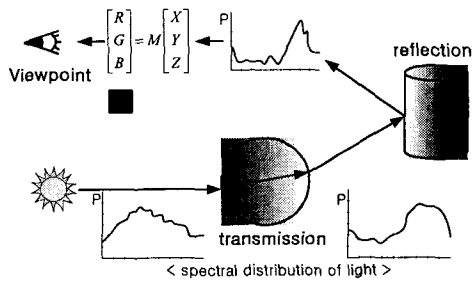


그림 3. 광원과 물체의 분광분포에 기반한 색의 계산과정

2.3 에너지 감소인자와 음영모델

직진하던 빛이 특성이 다른 매질을 통과할 때 굴절이 일어나고 빛에너지의 감소는 매질의 두께가 커질수록 크게 된다. 본 논문에서는 Bouguer-Beer의 법칙을 적용하여 진행되는 빛에너지의 감소현상을 두께와 분광투과도의 관계로 모델링 하였다. Bouguer는 특정 물체의 분광투과도와 두께 사이에는 다음 식에서와 같이 지수관계가 성립한다는 것을 실험을 통해 증명하였다 [3].

$$T_{\lambda,i} = t_\lambda^b \quad (2)$$

과 단위두께 당 분광투과율을 나타내고 b 는 물체의 두께를 나타낸다. 즉, 단위두께 1mm당 분광투과율이 여기서 T_λ 와 $T_{\lambda,i}$ 는 각각 물체 내부의 분광투과율이 0.9이고, 두께가 3mm인 물체를 통과할 때 전체의 흡수

율보절가 $t_\lambda = 0.9$ (3mm) 통과할 때 $t_\lambda^3 = 0.729$ 의 흡수

한 관계를 나타내었다.

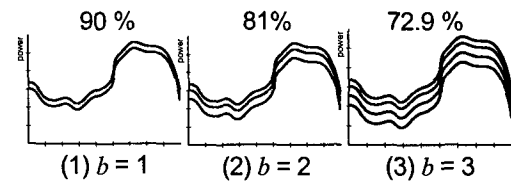
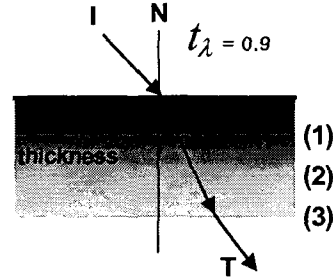


그림 4. 물체두께에 대한 빛에너지 감소율

광선추적기법에서는 진행하던 빛이 가상의 3차원 공간상에 있는 물체에 닿아서 교점이 발생했을 때 그 지점에서의 빛에너지를 계산하게 된다. 일반적으로 물체에 부딪힌 빛에 대해서 난반사를 고려해야 하지만 난반사로 발생한 모든 광선(ray)을 추적하기란 불가능하므로 본 논문에서는 난반사를 고려하지 않고 경면반사와 경면투과 특성만을 고려하여 실험하였다. 경면투과와 반사에 대한 각각의 음영모델(shading model)을 다음 식으로 나타내었다.

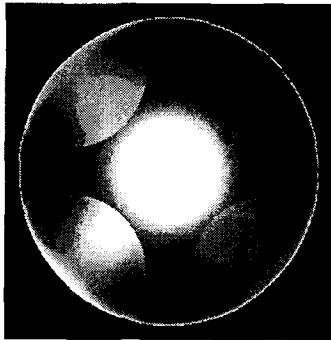
$$I(\lambda) = k_{sr} * I_r(\lambda) * (F_{sr}(\lambda) * t_\lambda^b) * ((L \cdot N)^n) + k_{sa} * I_a(\lambda) * F_{sa}(\lambda) \quad (3)$$

$$I(\lambda) = k_{sr} * I_r(\lambda) * F_{sr}(\lambda) * ((L \cdot N)^n) + k_{sa} * I_a(\lambda) * F_{sa}(\lambda) \quad (4)$$

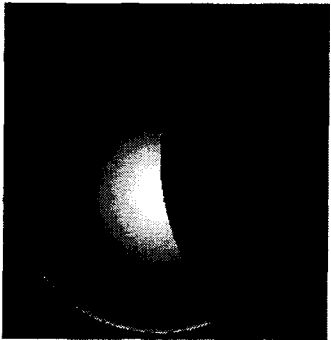
여기서 $I(\lambda)$ 와 $I_a(\lambda)$ 는 각각 교점 표면과 주변광의 빛에너지 분광분포를 나타내고, k_{sr} 와 k_{sa} 는 각각 경면투과계수와 반사계수를 나타낸다. $I_r(\lambda)$ 는 광원의 분광분포, $F_{sr}(\lambda)$ 와 $F_{sa}(\lambda)$ 는 각각 물체표면의 경면분광투과분포와 경면분광반사분포를 나타내고, t_λ^b 는 제안한 Bouguer-Beer의 감소인자를, $(L \cdot N)$ 는 광원과 법선의 내적, 그리고 n 는 표면의 하이라이트 계수를 나타내고 있다.

III. 결과 및 평가

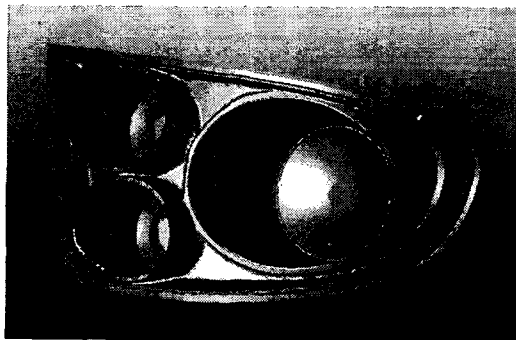
본 논문에서 제안한 분광분포 기반의 역방향 광선추적기법을 이용하여 임의의 플라스틱투명체의 실사영상을 재현하는 실험을 하였다. 기존의 RGB 기반의 음영모델을 사용한 영상과 제안한 분광분포 기반의 음영모델을 사용한 결과영상을 그림 5의 (a)와 (b)에서 나타내었다.



(a) RGB 기반의 렌더링 결과영상



(b) 분광분포 기반의 렌더링 결과영상



(c) 실험에 사용된 자동차의 리어램프 모델

그림 5. 광선추적을 적용한 결과영상과 실험모델

실제의 플라스틱 재질의 분광분포와 굴절률, 그리고 사용된 광원의 특성을 고려할 때, 분광분포 기반의 결과영상이 RGB 기반의 결과영상에 비해 시각적으로 실제와 유사함을 알 수 있다. 그림 5의 (c)에서 나타낸 자동차의 리어램프에 제안한 알고리즘을 적용하여 실제와 더욱 유사한 결과영상을 얻을 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 사실적인 영상(realistic image)을 재현하기 위해서 분광분포 기반의 광선추적기법을 제안하였다. 물리적 특성을 고려하기 위해 분광분포 이외에 빛에너지의 흡수현상을 고려하였고, 제안한 알고리즘으로 자동차 리어램프의 실사영상을 재현하는 시뮬레이션에 적용하였다. 기존의 단순한 RGB 기반의 렌더링 방법이 아닌 광원과 물체의 실제적인 분광분포를 고려한 물리적 기반에서 모델링 하였으므로, 시제품의 개발에 앞선 가상의 모델실험을 위한 실사영상의 재현 분야에 응용할 수 있는 모델링 알고리즘이다. 앞으로 물리적 특성에 기반한 좀 더 정확한 음영모델의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Tein-tsin Wong, Pheng-ann heng, Siu-Hang, and Wai-yin "Illumination of Image-based Objects," The Journal of Visualization and Computer Animation, vol. 9, pp. 113 - 127, April. 1998.
- [2] Andrew Woo, Pierre Poulin, and Alain Fournier, "A Survey of Shadow Algorithms," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 10, Issue 6, pp. 13 - 32, Nov. 1990.
- [3] Roy S. Berns, "Principles of Color Technology," Wiley Interscience.
- [4] J.Arvo, "Backward Ray Tracing," Tutorial Notes on the Developments in Ray Tracing, SIGGRAPH 86, Aug. 1986.
- [5] Didier Badouel, "An efficient ray-polygon Intersection," In Andrew S. Glassner, editor, Graphics Gems, pp. 390 - 393, Academic Press, Boston, MA, 1990.
- [6] Robert L. Cook, "A Reflectance Model for Computer Graphics," Computer Graphics, vol. 15, no. 3, Aug. 1981.