

사실적인 피부 렌더링을 위한 직관적 셰이딩 인터페이스

유태경*, 이원형**, 장성갑***
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과

A Intuitive shading interface for rendering realistic skin

Tae-Kyung Yoo, Won-Hyung Lee, Sung-Ghab Jahng

Dept. of Image Engineering, Graduated School of Advanced Imaging Science, Multimedia & Film,
Chung-Ang University

Email: tk-you@daum.net*, whlee@cau.ac.kr**, makefilm@cau.ac.kr***

요 약

최근의 영화나 애니메이션에 자주 등장하는 디지털 인간 캐릭터의 제작에서 사실적인 피부 렌더링을 위하여 다양한 공학적, 예술적 접근이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 사실적인 피부 렌더링을 위해 subsurface illumination 테크닉을 이용한 셰이더를 구현하고 아티스트들의 효율적인 제어를 위해 보다 직관적인 인터페이스를 제안하였다. 구현한 셰이더는 3D 그래픽 응용 프로그램인 Maya의 플러그인 형태로 제작되었으며 기존의 전통적인 셰이딩 인터페이스와의 조화를 고려하여 제안된 매개변수들을 확장 형태로 제공하였다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽에서 피부를 렌더링하는 것은 여러 가지 이유에서 매우 힘든 일이다. PDI/Dreamworks의 Jonathan Gibbs는 피부가 렌더링 하기 힘든 이유를 다음과 같이 세가지로 설명 하였다.

우선, 피부와 같은 반투명성 물체에서는 subsurface scattering이 일어난다. 또 피부는 균질하지 않은 물질로 이루어진 여러 층으로 구성되어 있다. 마지막으로 피부는 사람들이 일상에서 자주 접하는 재질이기에 때문에 사람들에게 너무나도 익숙하다는 것이다. 그

러 렌더링 된 피부가 조금만 시각적으로 낮설어도 그것은 관객들이 작품에 몰입하지 못하는 장애로 작용하게 된다[1].

컴퓨터 그래픽에서 재질을 표현하는 과정은 크게 표면 셰이더의 텍스처링 부분과 반사 모델 부분의 두 가지 영역으로 나누어 생각해 볼 수 있다[2]. 텍스처링을 통해서 표면 상의 어느 위치에서 표면의 매개변수들이 어떻게 변하는지를 표현하고 반사모델은 텍스처 정보를 어떻게 계산할 것인지를 결정한다. 피부 렌더링을 위해 사용하였던 전통적인 셰이더들은 반사모델이 피부의 시각적인 특성들을 반영하는데 한계를 가지고 있을 뿐만 아니라 텍스처링에서도 매개변수들이 피부의 특성을 제어하기에는 비직관적

* 본 연구는 교육부 BK21 사업의 지원으로 수행된 결과의 일부임

이다.

본 논문에서는 사실적인 피부 렌더링에 적합한 셰이딩 모델을 3D 응용프로그램인 마야의 플러그인 형태로 제작하고 제어의 효율성을 고려한 셰이딩 인터페이스를 제안한다.

2. 관련연구

2.1 과학적 접근과 예술적 접근

인간의 피부를 렌더링 하기 위한 과거의 시도들은 대부분 피부의 물리적 특성을 직접적으로 시뮬레이션 하는 것이다. 피부의 반사특성을 연구하고 데이터를 수집하여 피부 구성 요소들과 조명의 상호작용을 설명하는 모델을 만든 후, 이러한 모델을 기반으로 사실적인 피부를 렌더링 하는 것이다. 하지만 이와 같은 과학적 접근이 실질적으로 영상 콘텐츠를 제작하는 아티스트들에게는 코에 있는 주근깨의 수를 알기 위해 그 사람의 DNA를 검사하는 것과 같은 일이 될 수가 있다[3]. 아티스트들에게는 결과물이 생성되기 위한 내부적인 계산 방식보다는 결과를 제어하는 능력이 중요하며 또한 그러한 능력이 컴퓨터 그래픽스의 한계 내에서 양질의 결과를 만드는 중추적 역할을 한다.

컴퓨터 그래픽스 분야에서는 물체를 그래픽 환경에서 사실감 있게 표현하기 위한 셰이딩 모델에 관한 연구와 더불어 아티스트들의 역량을 효율적으로 이끌어 내기 위한 다양한 칼라 인터페이스 디자인에 관한 연구가 이루어져 왔다[4][5]. 지금까지의 칼라 인터페이스는 RGB, CMYK, HSV와 같은 칼라 모델에 기준한 상호작용에 초점을 맞추어 왔다. 인간의 피부와 같이 쓰임새에 따라 색상의 범위가 한정되는 경우, 전체 칼라 공간은 오히려 칼라 선택에 비효율적일 수 있다. 본 논문에서는 피부의 표면 칼라 특성을 규정하는 매개변수들을 실질적인 범위 안에서 제한하여 효율적인 제어를 가능하게 하고자 한다.

2.2 피부 모델링

인간의 피부와 같은 계층구조 표면의 모델링 문제에 대한 초기 접근법은 1930년대, Kubelka와 Munk에

의해 연구되기 시작하여 실질적으로 컴퓨터 그래픽스에서 이용 가능한 모델을 만들기 위한 노력이 계속되어 왔다. 하지만 single scattering을 해석적으로 표현한 Hanrahan과 Krueger의 모델[6]을 제외한 대부분의 BRDF 모델들은 모든 subsurface scattering을 Lambertian 요소로 근사하였기 때문에 피부와 같이 subsurface scattering 효과가 큰 영향을 미치는 물질을 표현하기에는 적합하지 않다.

물질의 표면특성에 대하여 BSSRDF(Bidirectional Surface Scattering Reflectance Distribution Function)를 고려한 모델은 BRDF 모델이 표현하지 못하는 물질 내부에서의 칼라 브리딩과 같은 반투명 (translucent) 물질의 특성을 제대로 표현할 수 있다. 최근 이와 같은 모델에 대한 효과적인 렌더링 방법들이 제시되고 있다[7][8].

Jensen에 의해 제안된 BSSRDF 모델은 단순한 ray-tracer에서 구현 가능할 뿐 아니라 몇 가지 트릭을 사용함으로써 Z-buffer 렌더러에서도 구현이 가능하다는 이점이 있다. 그래서 프로덕션의 애니메이션 제작에도 사실적인 피부 렌더링을 위해 Jensen의 BSSRDF 모델이 사용되고 있다[9].

본 논문에서도 피부 렌더링에 적합한 셰이더를 제작을 위해 Matt Pharr의 피부 모델[2]과 Jensen의 BSSRDF 모델[7][8]을 참고 하였다.

3. 피부 셰이더

3.1 Single Scattering

셰이더 구현에 사용된 BSSRDF 모델의 전체적인 구성은 single scattering 성분과 multiple scattering 성분으로 나누어진다.

$$S(x_i, w_i, x_o, w_o) = S_d(x_i, w_i, x_o, w_o) + S^{(1)}(x_i, w_i, x_o, w_o) \quad (1)$$

식 (1)의 $S^{(1)}$ 에 해당하는 single scattering은 그림 1에서와 같이 굴절된 입사 광선과 나가는 광선(outgoing ray)이 교차할 때, 즉 빛이 피부 내부에서 한번만 방향 전환을 할 경우만을 고려하는 1차 근사(approximation)이다. single scattering은 반무한(semi-infinite)하고 균질한 매질을 가정함으로써 식 (2)를 이

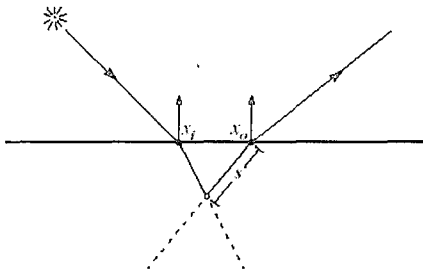
용하여 해석적으로 구해질 수 있다.

$$L_0(x_0, \vec{w}_0) = \int_{\Omega} \int_{\Omega} S(x_i, \vec{w}_i; x_0, \vec{w}_0) L_1(x_i, \vec{w}_i) (\vec{n} \cdot \vec{w}_i) d\omega dA(x_i). \quad (2)$$

single scattering에 의한 전체 방출에너지 L_0 은 굴절되어 나가는 광선을 따라 경로 길이 s 의 구간에서 적분하여 구해진다. 실제로 구현에 사용된 single scattering은 식 (3)과 같다.

$$L_0(x_0, \vec{w}_0) = [L_1(x, \vec{w}) \frac{\sigma_s(x) Fp(\vec{w}_i \cdot \vec{w}_o)}{\sigma_c} e^{-\sigma_s(x)s} e^{-\sigma_a(x)s}] L_1(x, \vec{w}). \quad (3)$$

$\sigma_s(x) Fp(\vec{w}_i \cdot \vec{w}_o)$ 는 위상 함수(phase function)와 프레넬 반사 성분을 나타낸다. 이들 성분은 어느 방향으로 산란이 일어날 것인가를 나타낸다[7][8].



[그림 1] single scattering illustration [7]

3.2 Diffusion Approximation

확산 근사는 산란이 많은 물질 내에서 광원의 분포가 등방성을 보이는 경향이 있다는 관찰결과에 근거한다. 각 산란현상은 광원의 분포를 분산시키기 때문에 산란현상이 일어나는 수가 증가함에 따라 광원의 분포 결과는 균일해진다[7].

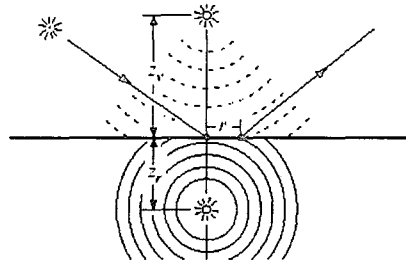
그림 2와 같은 쌍극 광원 모델은 두 개의 점광원을 사용하여 부피 광원 분포(Volumetric Source distribution)의 근사를 위해 사용하는 방법이다. Jensen의 BSSRDF 모델에서도 쌍극 방법을 사용하여 확산 근사를 구하고 있다[7].

쌍극 광원에 의한 확산 반사는 식 (4)와 같다.

$$R_d(r) = \frac{\alpha'}{4\pi} \left[(\sigma_r d_r + 1) \frac{e^{-\sigma_r d_r}}{\sigma_r d_r^3} + z_v (\sigma_v d_v + 1) \frac{e^{-\sigma_v d_v}}{\sigma_v d_v^3} \right] \quad (4)$$

본 논문에서는 확산 근사 부분의 실제적인 구현에

참고문헌 [9]에서 제시된 방법을 따랐다.



[그림 2] 쌍극광원 모델 [7]

4. 셰이딩 인터페이스

Subsurface scattering 효과의 계산에 사용되는 매개변수들이 기존의 일반적인 매개변수들에 비해 피부 셰이더의 거동을 직관적으로 제어할 수 있게 해준다.

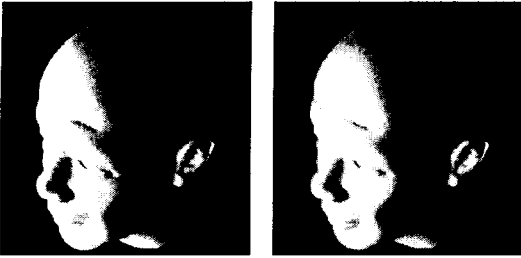
본 논문에서 제안하고자 하는 매개변수들은 피부 셰이더의 표면 칼라의 조절을 직관적으로 하고자 전체적인 제어를 할 수 있는 기본 매개변수와 함께 인터페이스를 구성하고 있다. 피부 셰이더의 일반적인 이용에서 칼라를 결정하는 사용자 중심적인 기준을 인종, 성별, 나이로 규정하고 인류학적, 의학적 통계 데이터를 바탕으로 시각적인 결과에 중점을 두어 매개변수에 따른 칼라를 선형보간 하였다.

5. 실험 및 고찰

제안된 셰이더는 3D 그래픽 응용프로그램인 마야의 플러그인 셰이더 형태로 구현되었다. 마야에서는 기능 확장을 위한 플러그인 개발을 위해 마야 API와 MEL(Maya Embedded Language)이라는 두 가지 접근 방식을 제공한다. 개발자들은 마야의 C++ API를 통해 마야의 내부 핵심 기능들에 접근할 수 있으면 MEL을 사용하여 GUI를 개선하고 다양한 기능의 스크립트들을 작성할 수 있다. 본 논문에서도 렌더링 시에 셰이딩 값의 계산은 마야 API로 GUI는 MEL을 사용하여 구현하였다.

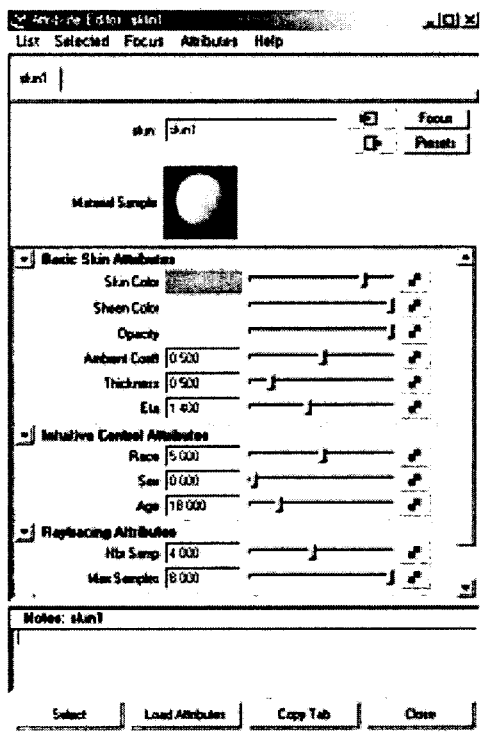
그림 3은 구현된 셰이더를 기본값으로 얼굴 모델에 적용시킨 결과 이미지이고 그림 4는 Lambertian 모델을 적용한 결과 이미지이다. 큰 차이는 아니지만 얼굴 윤곽을 따른 추가적인 프레넬 반사와 subsurface

scattering 효과를 확인할 수 있다.



[그림 3] 피부셰이더 적용 예 [그림 4] Lambert 셰이더 적용 예

그림 5는 마야에서 구현된 피부 셰이더의 Attribute editor의 이미지이다. 셰이딩 값의 계산에 직접적으로 영향을 주는 기본적인 매개변수들을 제공함으로써 사용자의 직접적인 접근을 가능하게 하였다. 그 외에 직관적인 제어와 관련된 매개변수들을 intuitive control attributes 항목에 제공함으로써 셰이더의 효율적인 사용을 가능하게 하였다.



[그림 5] Attribute Editor

6. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 사실적인 피부 렌더링에 적합한 셰이딩 모델을 구현하고 사용자의 직관적인 제어를 위해 새로운 인터페이스를 제안하였다.

영화나 애니메이션에서 볼 수 있는 버추얼 캐릭터들은 컴퓨터 그래픽스 기술에 의해서만 창조된 것은 아니다. 사물에 대한 이해를 바탕으로 발전된 기술을 효율적으로 운용하여 결과물을 제어할 수 있는 아티스트들의 능력이 image synthesis에 있어 무엇보다도 중요한 요소이다. 이러한 능력의 발휘를 극대화해 줄 수 있는 인터페이스에 관한 연구가 필요하겠다.

[참고문헌]

- [1] Jonathan Gibbs, "Rendering Skin and Hair", <http://silicon-valley.siggraph.org>, March 2001
- [2] Matt Pharr, "Layered Media for Surface Shaders", SIGGRAPH 2001 Course 48: Advanced RenderMan 3, August 2001
- [3] Mitch Prater, "The Artistry of Shading: Human Skin", SIGGRAPH 2000 Course 40, July 2000
- [4] Penny F. Bauersfeld et al., "User-oriented Color Interface Design: Direct Manipulation of Color in Context", In Proceedings of SIGCHI Conference, March 1991
- [5] Sarah A. Douglas et al., "Model and Representation: The Effect of Visual Feedback on Human Performance in a Color Picker Interface", ACM Transactions on Graphics, April 1999
- [6] P. Hanrahan and W. Krueger, "Reflection from layered surfaces due to Subsurface Scattering", SIGGRAPH 93, August 1993
- [7] H. W. Jensen et al., "A Practical Model for Subsurface Light Transport", In Proceedings of SIGGRAPH 2001, August 2001
- [8] H. W. Jensen et al., "A Rapid Hierarchical Rendering Technique for Translucent Materials", In Proceedings of SIGGRAPH 2002, July 2002
- [9] Christophe Hery, "Implementing a Skin BSSRDF", SIGGRAPH 2003 Course 9: RenderMan, Theory and Practice, July 2003