

Homomorphic Factorization 기반의 등방성 BRDF의 조명 계산

안미선*, 조청운, 홍현기
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과

Isotropic BRDFs of Homomorphic Factorization-based Lighting Computation

MiSun Ahn*, CheungWoon Jho, HyunKi Hong
Graphics & Media Research Lab, Chung-Ang University.

요 약

최근에 조명의 표현 성능을 향상시키기 위한 몇 가지 기술이 발전되었다. Homomorphic Factorization(HF) 기반의 새로운 기술은 BRDF에 근사화 하지는 않는다. 그러나 전체조명 장면에서의 isotropic BRDF의 full lighting computation을 대신할 수 있다. 이 방법으로 현재 그래픽 하드웨어의 일반적인 성능을 이용하여 최소 두개의 2D Texture로 Isotropic Illumination 환경을 시뮬레이션 할 수 있었다.

1. 서론

BRDF기반의 실시간 렌더링에서의 좀더 사실적인 재질과 라이팅 모델에 관한 기술들은 BRDF lighting function을 기초로 한다.

$$L_o(\hat{\omega}_o) = \int_{\Omega} BRDF(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o) L_i(\hat{\omega}_i) \cos(\theta_i) d\hat{\omega}_i \quad (1)$$

이 식은 hemisphere Ω 를 넘어 $\hat{\omega}_i = (\theta_i, \phi_i)$ 방향으로부터 들어오는 빛 L_i 와 ω_o 방향으로 나가는 빛 L_o 사이의 관계를 설명한다. θ 기호는 위아래 각도, ϕ 는 local tangent plane 에서의 일반적인 각이다. Lambert's law에 의해 $L_i(\hat{\omega}_i) \cos(\theta_i) d\hat{\omega}_i$ 는 표면 위

의 점에 도달하는 단위 평면당 빛의 총합을 설명한다.

그러나, 이 계산은 대개 매우 복잡함으로써 실시간 렌더링 동안 효과적으로 계산할 수 없다. 그러므로, 중요한 연구 중 하나는 몇 개의 낮은 차원의 texture를 이용한 고차원 BRDF의 근사화이다. [1][4] 이러한 기술들은 몇 개의 점광원에 의한 간단한 조명 환경 구성을 이산적인 합으로 일반화시켜 표현하는 것을 가정하며, 일반적으로 몇 개의 texture를 하나의 점광원에 대한 재질로 근사화시켜 만든다. 이러한 texture mapping 기술들은 texture 들을 BRDF값에 대한 lookup table로 만들 수 있다. 이것으로부터 BRDF의 재구성과 각각의 라이트 소스의 결과에 대한 texture mapping이 요구된다. 그러나 이러한 방법들은 복잡한 조명 환경에 대해서는

본 연구는 교육부의 BK21 사업의 지원으로 수행된 결과의 일부임.

안정적이지 않다.

또 다른 연구방향은, 좀더 복잡한 조명의 누적에 대한 논의이다.[3][5] 이러한 방법들은 미리 계산된 환경맵에서 가능한 단순화된 BRDF를 사용한다. 그것은 실시간에서 객체의 반사의 근사화에 사용된다.

우리는 McCool에 의해 소개된 BRDF Separation을 사용한다.[4] 그러나 원래의 식(1)과 달리 완전한 라이팅 함수를 분리할 것이다. McCool[4]과 다른점은 local대신에 전역 매개변수화를 사용한다. 이러한 방법은 일반적인 texture mapping을 사용하는 실시간 렌더링의 응용에서 임의의 BRDF의 통합이 가능하다. 현재 이러한 방법은 Isotropic BRDF의 고정적인 라이팅환경에 대해서만 테스트되었다.

앞으로 우리는 Homomorphic Factorization 근사화에 대해 설명한다. 그리고, lighting function의 세부 설명에서는 parameterization의 형태, lighting function의 샘플링방법을 살펴보고, 마지막으로 렌더링 결과를 보도록 하겠다.

2. 관련연구

2.1 Texture based BRDF

실시간 렌더링에서의 texture를 기반으로 한 BRDF 근사화 기술의 응용은 미리 계산된 몇 개의 분석적인 BRDF를 texture화 하는 방법에 의해 발전되었다[5]. 그들은 Fournier[6]에 의해 소개된 SVD를 사용한 2개의 2D function의 곱의 합에 의한 BRDF를 근사화하는 방법을 발전시켰다.

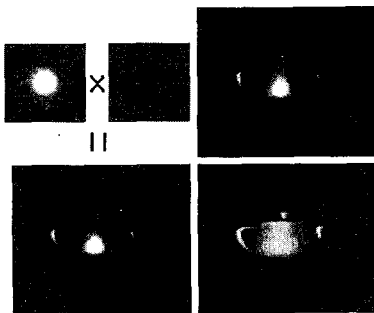


그림1. 2D Function을 이용한 BRDF 근사화

그 함수값은 아래의 근사화식(2)를 통해 texture $t_{j,1}, t_{j,2}$ 에 저장된다.

$$BRDF(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o) \approx \sum_{j=1}^J t_{j,1}(\pi_1(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o)) t_{j,2}(\pi_2(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o)) \quad (2)$$

여기에서 π_1, π_2 는 4차원 parameter공간에서 2차원으로 근사화된 맵이다. 후에 McCool[4]에 의해 소개된 Homomorphic Factorization알고리즘에 의해 중복된 파라메터들의 factor 쌍은 소멸되었다. 이는 BRDF를 J 의 곱(2차원함수 t_j)에 의해 근사화시킨다.

2.2 Surface Light Fields

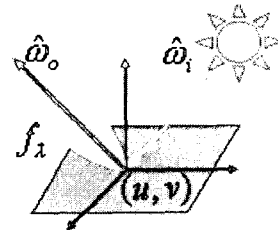


그림2. 표면에 반사된 빛과 BRDF의 관계

BRDF에서 표면 light field $f(r, s, \theta, \phi)$ 는 보는 방향 $\hat{\omega} = (\theta, \phi)$ 에서 표면 위의 한점에 대한 파라메터 (r, s) 의 radiance를 표현한다. Light 표현에서의 중요 작업의 하나는 오브젝트 렌더링이다[7]. chen[8]이 제안한 텍스처를 기반으로한 근사화는 kautz and McCool[1]의해 소개된 것과 매우 유사하다. 그들은 또한 식(4)를 통한 light field data 근사화에 SVD를 사용한다.

$$f(r, s, \theta, \phi) \approx \sum_{j=1}^J t_{j,1}(r, s) t_{j,2}(\theta, \phi) \quad (3)$$

이것은, 매개변수화에도 불구하고, 식(2)와 같다.

3. Lighting Function Factorization

3.1 Approximation

라이팅 함수(LF)의 근사화는 Homomorphic Factorization 접근에 기반한다. 식(4)에서의 아날로

그에서 HF근사화는 월드 좌표계에서의 normal과 반사벡터를 이용한다. 우리는 식(4)를 통해 isotropic

$$L_o(\hat{v}, \hat{n}) \approx \prod_{j=1}^J t_j(\pi_j(\hat{v}, \hat{n})) \quad (4)$$

materials에 대한 일반적인 매개변수화를 유도한다. 매우 효과적이고 간단한 매개변수화는 normal과 $\hat{r}_v = 2(\hat{n} \cdot \hat{v})\hat{n} - \hat{v}$ 에서의 보는 방향에서의 반사를 적용시킨다. 때문에 우리는 아래의 식을 이용할 것이다.

$$L_o(\hat{v}, \hat{n}) \approx t_1(\hat{n})t_2(\hat{r}_v) \quad (5)$$

t_i 는 texture coordinates 방향 벡터의 맵핑을 이용하여 texture로 미리 계산 되어질 수 있다. 예를 들어 구면 parabolic 또는 cubic 맵에 대해 HF 알고리즘은 아래와 같이 계산된다. 근사화는 선형 시스템으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{L}_o(\hat{v}, \hat{n}) \approx \bar{t}_1(\hat{n})\bar{t}_2(\hat{r}_v) \quad (6)$$

LF샘플의 일반적인 숫자는 식의 상수벡터로 되어 있다. 그리고 두개의 근사화 텍스처의 모든 텍셀들은 해 벡터속에 있다. Equation system의 계수 matrix는 현재 맵의 각 LF샘플에서 고유한 texel이다. Sub-pixel 단위의 정밀함은, 현재 샘플의 방향으로부터 정확한 texture 좌표로 유도된다.

$$[L_o] = [A_1 \quad A_2] \begin{bmatrix} \bar{t}_1 \\ \bar{t}_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이 시스템의 몇몇 텍셀들은 텍스처 맵핑 기술을 사용하지 않아도 된다. 즉, 어떤 텍셀을 표현하는 샘플링 기술에 의존하는 유효한 방향은 LF샘플에 의해서 제약적 않다.

우리는 Quasi-Minial Residual(QMR)알고리즘[5]의 반복적으로 해를 구하는 방법을 사용한다. Matrix의 각 row의 오직 몇 개의 텍셀들이 맵핑되는 것으로부터, 압축된 형식으로 저장될 수 있다.

해를 얻기 위한 반복시간은 시작 벡터에 따라 좌우된다. 초기 벡터 얻기는, 각 texel에 LF샘플을 적용한 모든 데이터의 평균을 간단히 계산한다. 텍셀에 제약 조건이 없는 경우에, LF texel이 계산되었다고 고려된 샘플들의 합이 가중치된다. 그 후 가

중치에 따라 반전된 거리를 사용한다.

다른 전역 매개변수화 방법과 비교하여, 우리가 사용하는 방법은 hemisphere대신에 전체 sphere의 지름이 필요하다. 전체 sphere는 두개의 parabolic map을 사용해 묘사할 수 있다

3.2 Sampling the Lighting Function

라이팅 함수의 샘플링은 2가지 중요사항을 수반한다. 샘플들을 factorization하는 것과 들어오는 빛의 정보 $L_i(\hat{l})$ 에 기반한 이러한 샘플들을 어떻게 계산할지에 대한 문제이다(식6). 측정된 BRDF를 사용할 때, 샘플들은 알려진 BRDF에 대한 방향을 나타낸다. 그러나 임의의 방향에 대해서는 알려지지 않은 BRDF값을 근접한 샘플들로부터 보간해야 한다. 우리는 이를 해결하기 위해 Homomorphic Factorization기술을 BRDF근사화에 사용하고, LF 전체에 재구성된 BRDF를 사용했다. 렌더링시 floating point 정밀도로 실행할 수 있고, 하드웨어 가속된 BRDF렌더링의 경우에 texture의 저장에 대해 양자화가 필요 없다. 적분의 경우 BRDF값에 관계된 가중치는 불연속적 라이팅 정보의 합이 되어야 한다.

4. 구현 및 고찰

Factorization texture들은 LF를 재구성하는 동안 매우 정밀한 계산이 필요하다. 각 texture의 최대값으로 정규화한다. 정규화에 대해 알맞은 고정된 컬러값은 렌더링하는 동안 텍스처로 곱해진다. 이 컬러는 버텍스 컬러에 대한 계산으로 구할 수 있다.

Normal은 대개 시각좌표계에서의 Phong lighting에 대해 필요하다. 이 변환은 월드 좌표계 계산에 의해 대체 할 수 있다. 보는 방향은 변환 후에 반사 벡터의 계산에 대해 사용된다.

제안된 알고리즘은 Pentium IV 1.7 GHz, 256 MB, NVIDIA GeForce4 MX440 8x에서, 몇 개의 isotropic BRDF와 light환경으로 테스트 되었다.

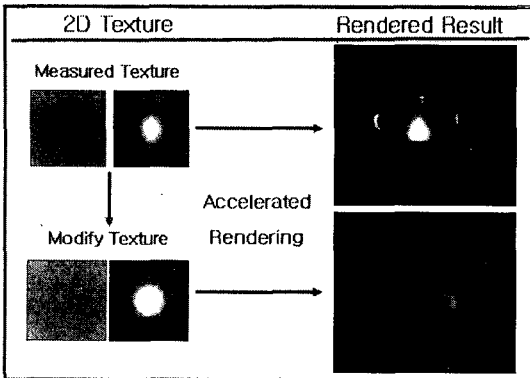


그림3. Rendering 실험 결과

5. 결론

분석적인 Cook-Torrance[9]과 수정된 Phong[10] BRDF는 측정된 BRDF를 바탕으로 재구성되었다. BRDF계산의 많은 양을 2D Texture를 이용해 분리시킨 후 하드웨어 가속을 이용해 계산하는 방법으로 렌더링시 작업량과 시간을 평균 20%정도 단축시킬 수 있었다. 추후, Anisotropic BRDF에서의 효율적인 BRDF 계산에 대한 연구가 필요하며, 이를 통해 좀 더 디테일한 렌더링 표현이 가능할 것으로 생각된다.

[참고문헌]

- [1] KAUTZ, J., AND MCCOOL, M.-D. 1999. Hardware rendering with bidirectional reflectances. Tech. rep., Department of Computer Science, University of Waterloo.
- [2] KAUTZ, J., AND MCCOOL, M.-D. 1999. Interactive rendering with arbitrary BRDFs using separable approximations. In EUROGRAPHICS Rendering Workshop, Eurographics, 253-253.
- [3] KAUTZ, J., AND MCCOOL, M. D. 2000. Approximation of glossy reflection with prefiltered environment maps. In Proc. Graphics Interface, Morgan Kaufmann, Canadian Human-Computer Communications Society, 119-126.
- [4] MCCOOL, M.-D., ANG, J., AND AHMAD, A. 2001. Homomorphic factorization of BRDFs for high-performance

rendering. In ACM Proceedings SIGGRAPH, Addison Wesley, vol. 35, ACM, 171-178.

[5] HEIDRICH, W., AND SEIDEL, H.-P. 1999. Realistic, hardwareaccelerated shading and lighting. In ACM Proceedings SIGGRAPH, Addison Wesley, vol. 33, ACM, 171-178.

[6] FOURNIER, A. 1995. Separating reflection functions for linear radiosity. In EUROGRAPHICS Rendering Workshop, Eurographics, 296-305.

[7] LEVOY, M., AND HANRAHAN, P. 1996. Lightfield rendering. In ACM Proceedings SIGGRAPH, Addison Wesley, vol. 30, ACM, 31-42.

[8] CHEN, W.-C., GRZESZCZUK, R., AND BOUGUET, J.-Y. 2001. Light field mapping: Hardware-accelerated visualization of surface light fields. In SIGGRAPH 2001 Course Notes "Acquisition and Visualization of Surface Light Fields".

[9] COOK, R., AND TORRANCE, K. 1981. A reflectance model for computer graphics. In ACM Proceedings SIGGRAPH, Addison Wesley, vol. 15, ACM, 307-316.

[10] PHONG, B. T. 1975. Illumination for computer generated pictures. Communications of the ACM 18, 6, 311-317.