

# 지연된 음영처리 기반 부드러운 그림자 매핑

김성구<sup>o</sup> 이성길

성균관대학교 컴퓨터공학과

noid9@skku.edu, sungkil@skku.edu

## Soft Shadow Mapping Based on Deferred Shading

Sunggoo Kim<sup>o</sup> Sungkil Lee

Dept. of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### 요약

컴퓨터그래픽스에서 지연된 음영처리는 깊이 버퍼링을 통해 화면에 나타날 기하 정보만을 저장한 후, 픽셀의 음영처리를 화면공간에서 후처리하는 기법이다. 이러한 기법은 일반적인 그림자 매핑과 달리 렌더링 파이프라인의 구조를 바꾸지 않고도, 다중 광원에 의한 그림자 효과를 다룰 수 있게 한다. 이에, 본 논문에서는 지연된 음영처리 기반의 그림자 생성 방법과 이를 부드러운 그림자로 확장하는 방법을 제안한다. 광원으로부터의 가시도 맵을 따로 저장한 후, 부드러운 그림자를 위한 필터링을 적용한 가시도 맵을 생성하고 이를 음영처리 결과에 적용하여 부드러운 그림자 효과를 얻도록 한다.

### 1. 서론

컴퓨터그래픽스에서 지연된 음영처리는 기하 정보로부터 바로 음영처리를 계산하지 않고, 깊이 버퍼링을 통해 가시도를 계산하여 이미지에 저장한 후, 화면에 나타날 픽셀에 대해서만 음영처리를 후처리하는 기법이다 [1]. 지연된 음영처리는 화면공간에서의 다양한 특수 효과를 적용하는데 적합한 구조이므로, 상용 게임엔진에서 모션 블러, screen space ambient occlusion (SSAO) 등에 사용되고 있다 [2].

일반적으로 그림자 매핑도 후처리로 처리될 수 있는 특수 효과 중 하나이다. 후처리 없이 그림자를 생성하는 방법은 물체와 광원사이의 차폐물(occluder)을 찾기 위해 광선 추적(ray tracing) [3]을 수행하는 방법이 있다. 그러나 광선 추적은 상당한 양의 복잡한 계산을 요구하기 때문에, 실시간 렌더링을 필요로 하는 경우에는 적용하기 어렵다.

이에, 실시간 렌더링에서는 그림자 매핑을 이용하여 그림자를 생성하는 방법을 주로 사용하고 있다. Hard shadow mapping (HSM) [4], variance shadow mapping (VSM) [5], exponential shadow mapping (ESM) [6] 등과 같은 비교적 간단한 그림자 매핑(shadow mapping) 방법이 자주 사용되고 있다. 이러한 방법은 광원의 시점에서 z-버퍼를 렌더링하여 그림자 맵을 생성한 후, 추후 음영처리에서 추가적인 깊이 테스트(depth test)를 통해 광원으로부터의 차폐를 판정하고 렌더링 될 화면에서 음영처리의 밝기를 결정한다.

본 논문에서는 지연된 음영처리에 기반한 그림자 매핑 처리 방법과 이를 확장하여 부드러운 그림자를 얻는 후처리 방법을 제안한다. 본 방법은 지연된 음영처리를 할 때, 화면공간의 위치를 복원한 후 그림자 맵과의 깊이 비교를 통해 차폐 여부를 다중 광원에 대하여 판단하고, 이 가시도를 이미지로 저장한다. 이러한 가시도는 추후 이미

지 필터링을 통해 부드럽게 바뀌게 되고, 지연된 음영처리 단계에서 음영값의 밝기의 스케일로 사용된다.

### 2. 관련 연구

컴퓨터그래픽스에서 그림자를 생성하기 위한 그림자 매핑에 관한 연구는 매우 활발히 이루어져 왔으며, 다양한 방법이 제시되었다.

깊이맵을 이용하여 계단현상을 처리한 그림자 렌더링 기법 [7]은 차폐영역의 크기를 구하고 이로부터 반그림자 영역의 크기를 추정하여 깊이 값이 아닌, 깊이 테스트 결과에 차폐물과의 거리의 비율을 반영하여 빛의 감쇠를 결정한다. 이러한 percentage-closer filtering [8]을 적용한 부드러운 그림자는 필터 크기가 작아질수록 경계가 부드러워지며 텍스처 축소 앨리어싱(texture minification aliasing)을 피할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 그림자 맵의 인접한 텍셀(texel)간에 깊이 차이가 클 경우 간섭현상이 발생하고 이를 해결하기 위해 bias를 적용하면 그림자가 밀려나는 peter-panning 결함이 발생한다는 단점이 있다.

VSM [5]은 그림자 텍스처에 광원-시점의 깊이와 그 계급을 저장함으로써 밍맵을 이용한 가우시안 필터링을 가늠케 한다. 평균 깊이보다 멀리 있는 픽셀에 대해서 평균 깊이와 제곱평균의 분산을 이용해서 음영의 스케일을 조절함으로써 부드러운 그림자를 생성한다. 그러나 이 방법은 음영지점에 대한 서로 다른 두 차폐물의 거리 비가 클 경우 빛샘 현상(light-bleeding)이 발생하는 문제가 있다.

ESM [6]은 HSM [4]의 그림자 경계에서 밝기의 스케일이 계단 함수로 감소하는 것을 지수적(exponential)으로 감소하도록 근사시키는 방법을 사용하여 부드러운 그림자를 생성한다.



그림 1. [왼쪽] Hard Shadow Mapping을 사용한 그림자. [가운데/오른쪽] 지연된 음영처리 기반 부드러운 그림자 매핑을 사용한 그림자. (각각 mipmap level 1, 3)

### 3. 알고리즘

지연된 음영처리 기반의 부드러운 그림자 매핑 방법은 그림자 맵의 생성, 지연된 음영처리 기반의 그림자 매핑과 이로부터 구한 shadow factor의 혼합처리를 수행하여 최종적으로 부드러운 그림자를 생성하는 과정으로 이루어져 있다.

#### 3.1 그림자 맵 생성

광원 시점에서의 렌더링을 통해 그림자 맵을 생성한다. 깊이 테스트에 의해 광원으로부터 다른 물체에 의해 가려지는 지점의 깊이는 저장되지 않으며, 광원으로부터 빛이 닿는 지점의 깊이가 저장된다. 둘 이상의 광원을 사용할 경우 각각의 광원에 대한 그림자 맵을 만들기 위해 여러 장으로 그림자 맵을 생성한다.

#### 3.2 지연된 음영처리 기반 그림자 매핑

사전에 계산한 기하정보로부터 eye의 위치를 이용해 화면공간으로부터 각 픽셀의 world space 위치를 구할 수 있다. 각 픽셀의 world space 위치는 투영 행렬 (projection matrix)이 정의하는 절두체 (frustum)의 near 평면과 far 평면사이에서 픽셀의 깊이 값에 대한 선형 보간법 (linear interpolation)을 통해 구할 수 있다. 복구된 위치의 깊이와 각 광원에 대해 그림자 맵에 저장된 깊이를 비교하고, 광원으로부터 차폐된 지점의 경우 각 광원마다 밝기를 감소시키는 일정한 비율로서 shadow factor를 계산한다. 계산된 shadow factor는 텍스처로 저장된다.

#### 3.3 Shadow factor의 혼합처리

Shadow factor 텍스처의 mip맵을 이용하여 기저 단계보다 높은 수준에서 mip맵 보간법을 통해 샘플링하면 shadow factor 텍스처에 가우시안 블러를 적용한 효과를 얻을 수 있다 [9]. 그러나 블러링 된 텍스처를 사용하더라도 mip맵의 쌍선형 보간법에 의한 결과는 계단현상을 유발하게 된다. 이러한 문제는 합산영역 테이블 (summed-area table)을 이용해서 해결할 수 있지만 [10], 더욱 간편한 방법으로서 mip맵 수준을 반대로 한 단계 낮춰서 3x3 크기로 인접한 샘플을 혼합하면 그림자 경계에서 비(非)차폐영역과 혼합되어 부드러운 그림자를 생성하는 shadow factor 텍스처를 얻을 수 있다. 이를 최종 렌더링에 반영하면 후처리를 통한 부드러운 그림자를 얻을 수 있다 (그림 1).

### 4. 결과

본 논문에서 제안된 방법은 Intel Core i7-3770 3.40GHz, NVIDIA GeForce GTX 780에서 구현되었다. 렌더링 성능은 아래 그래프와 같이 광원의 수와 해상도에 따라 본 논문에서 제안하는 방법과 HSM을 비교하였다 (그림 2). 본 방법의 수행 성능(후색 바)은 광원의 수가 많아질수록 HSM에 비해서 성능 저하를 거의 보이지 않는다. 뿐만 아니라 광원의 수가 많아지면 성능하락폭은 더욱 줄어들어 1920x1080의 해상도에서 10개의 광원에 대해서 약 10 프레임이 감소하여 평균적으로 초당 158 프레임의 성능을 보인다.

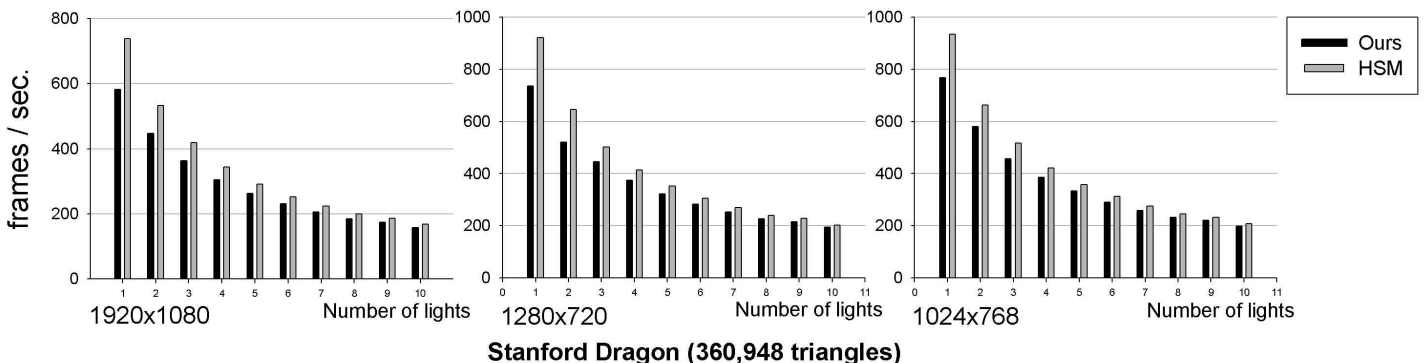


그림 2. 다중 광원에서 hard shadow mapping과의 성능 테스트 비교 결과. (Stanford Dragon, 360,948 triangles)

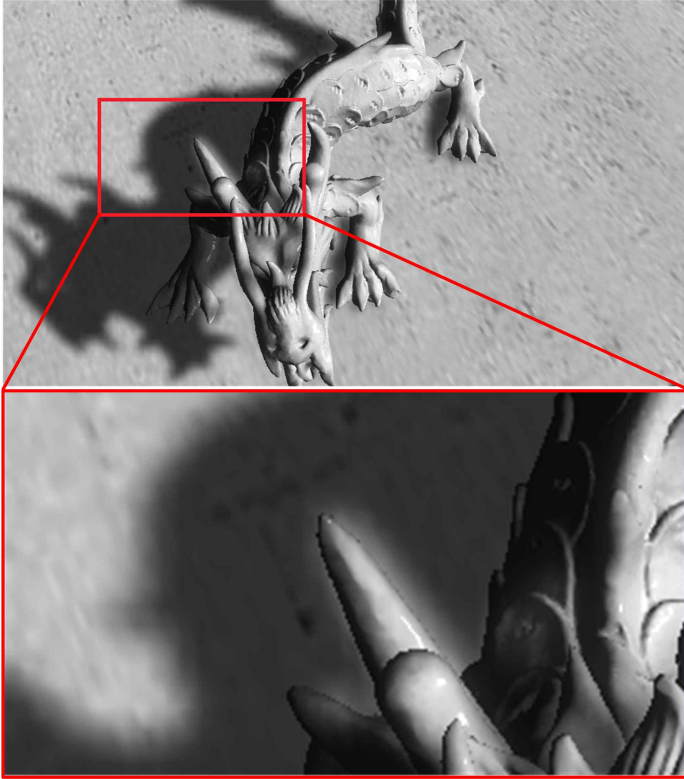


그림 3. 비(非)차폐영역의 shadow factor가 혼합되어 발생하는 빛샘 현상.

## 5. 토론

본 논문은 지연된 음영처리를 기반한 그림자 매핑 방법과 필터링을 이용하여 그럴듯한 부드러운 그림자를 표현하는 방법을 제안한다. 다수의 광원에 대해서 HSM, ESM을 사용하더라도 한 번의 블러링을 통해 부드러운 그림자를 쉽게 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그러나 본 연구에서 제안하는 방법은 부드러운 그림자 표현의 근사적 방법으로서 사실적인 그림자 표현에서 나타나는 모습을 그대로 표현하지 못하는 한계를 지닌다. 따라서 HSM, ESM 등에 공통적으로 내재된 문제점을 포함한다. 또한 차폐영역이 아닌 지점의 shadow factor가 혼합되어 사물과 그림자의 경계면 근처 차폐영역에서 밝은 지점이 발생하는 현상인 빛샘 현상이 발생한다. 그림 3은 이러한 결함이 발생하는 지점을 나타내고 있다. 추후 연구에서는 이러한 결함을 해결하기 위한 방법을 연구할 예정이다.

## 참 고 문 헌

[1] Policarpo, Fabio, Francisco Fonseca, and CheckMate Games. "Deferred shading tutorial." Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro 31 (2005): 32.  
 [2] Mittring, Martin. "Finding next gen: Cryengine 2."

ACM SIGGRAPH 2007 courses. ACM, 2007.

[3] Appel, Arthur. "Some techniques for shading machine renderings of solids." Proceedings of the April 30--May 2, 1968, spring joint computer conference. ACM, 1968.

[4] Williams, Lance. "Casting curved shadows on curved surfaces." ACM Siggraph Computer Graphics. Vol. 12. No. 3. ACM, 1978.

[5] Donnelly, William, and Andrew Lauritzen. "Variance shadow maps." Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games. ACM, 2006.

[6] Annen, Thomas, et al. "Exponential shadow maps." Proceedings of graphics interface 2008. Canadian Information Processing Society, 2008.

[7] Reeves, William T., David H. Salesin, and Robert L. Cook. "Rendering antialiased shadows with depth maps." ACM SIGGRAPH Computer Graphics. Vol. 21. No. 4. ACM, 1987.

[8] Lauritzen, A. "Chapter 8: Summed-area variance shadow maps." GPU Gems 3: 157-181.

[9] Lee, Sungkil, G. Jounghyun Kim, and Seungmoon Choi. "Real-time depth-of-field rendering using anisotropically filtered mipmap interpolation." Visualization and Computer Graphics, IEEE transactions on 15.3 (2009): 453-464.

[10] Crow, Franklin C. "Summed-area tables for texture mapping." ACM SIGGRAPH computer graphics 18.3 (1984): 207-212.