임의의 모양을 가지는 면광원 하의 실시간 부드러운 그림자 생성 방법

전영재, 오경수
송실대학교 미디어학부
{dkreformer, oks}@ssu.ac.kr

A Real-time Soft Shadow Rendering Method under the Area Lights having an Arbitrary Shape

Youngjae Chun, Kyoungsu Oh
Dept. of Media, Soongsil University

요 약

면광원에 의한 부드러운 그림자의 표현은 가상 장면을 보다 사실적으로 보이도록 한다. 하지만 부드러운 그림자의 계산은 매우 느리게 수행되기 때문에 실시간 3차원 응용 프로그램에 적용하기 위해서는 가속화가 요구된다. 우리는 기존의 실시간 부드러운 그림자 방법들이 가정했던 면광원의 모양과 색상을 보다 일반적으로 확장하여 임의의 모양과 색상을 갖는 면광원에 대한 부드러운 그림자 생성 방법을 제안한다. 그림자 매핑 정보를 획득할 수 있는 그림자 맵은 픽셀과 면광원 간의 가시성 검사를 근사하기 위해 사용되며 픽셀 주변의 그림자 복잡도에 따라 근사의 정도를 결정하였다. 그 결과 보다 일반적인 형태와 색상의 면광원에 대한 부드러운 그림자를 실시간에 표현할 수 있었다.

ABSTRACT

Presence of soft shadow effects from an area light makes virtual scenes look more realistic. However, since computation of soft shadow effects takes a long time, acceleration methods are required to apply it to real-time 3D applications. Many researches assumed that area lights are white rectangles. We suggest a new method which renders soft shadows under the area light source having arbitrary shape and color. In order to approximate visibility test, we use a shadow mapping result near a pixel. Complexity of shadow near a pixel is used to determine degree of precision of our visibility estimation. Finally, our method can present more realistic soft shadows for the area light that have more general shape and color in real-time.

Keywords : Real-time rendering(실시간 렌더링), Area light illumination(면광원 조명), Soft shadow mapping(부드러운 그림자)

Received: Mar. 24, 2014 Accepted: Apr. 14, 2014
Corresponding Author: Kyoungsu Oh(Soongsil University)
E-mail: oks@ssu.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

1. 서 론

이 논문에서는 임의의 모양과 색상을 갖는 면광원에 대해 정확하고 빠르게 부드러운 그림자를 생성하는 방법을 소개한다. 3차원 그래픽스 연구 분야에 있어서 그림자의 표현에 대한 연구는 매우 중요하며 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 특히 면광원을 이용한 부드러운 그림자의 생성은 많은 처리 시간을 필요로 하지만 가상 장면을 사실적으로 보이는데 중요한 역할을 한다. 그러나 많은 계산량으로 인해 실시간 응용 프로그램에서 사용하기 어렵다.

우리는 픽셀과 면광원 간의 가시성 검사를 보다 빠르게 수행하기 위해 그림자 맵을 사용하였다. 픽셀 주변의 그림자 매핑 결과는 픽셀-면광원 간의 가시성 검사를 위해 사용될 수 있다. 기존의 방법들은 필터링을 통해 평균 가시성 정보만 획득하여 사용하였다. 제안된 방법은 이와 달리 면광원의 각 지점에 대해 가시성 검사를 수행할 수 있도록 필터링 영역을 분할하였다. 각 분할된 영역에 대해 가시성 검사를 수행하는 것은 다양한 모양과 색상의 면광원이 픽셀에 전달하는 조명 색상을 빠르게 계산할 수 있도록 한다. 추가적으로 그림자의 경계 지역이 다른 영역에 비해 시각적으로 중요도가 높은 것에 착안하였다. 따라서 픽셀 주변의 그림자 변화 정도에 따라 적응적으로 필터 영역을 분할하여 가시성 검사의 정밀도를 결정하였다.

이 논문의 2장에서는 기존의 실시간 부드러운 그림자 생성 방법들에 대해서 다룬다. 3장에서는 제안하는 방법의 자세한 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안하는 방법의 결과와 성능을, 마지막으로 5장에서는 우리가 제안한 방법의 기여하는 바를 정리하여 기술한다.

2. 관련연구

점광원(Point light)은 3차원 장면에 조명 효과

를 주기위해 많이 사용되며 계산량이 많지 않으면서도 효과적인 조명 모델이다. 하지만 점광원은 매우 간단한 조명 효과만을 제공한다. 따라서 보다 사실적인 장면의 렌더링을 위해서는 부드러운 그림자와 같은 사실적인 효과들을 만들기 위한 면광원(Area light)의 사용을 고려해야 한다. 면광원을 사용한 조명 계산은 일반적으로 많은 시간을 필요로 한다. 따라서 면광원을 사용함으로써 얻을 수 있는 사실적인 효과 중 부드러운 그림자의 생성을 실시간에 표현하는 방법들이 많이 연구되어왔다. 이런 연구들은 접근 방식에 따라 필터링 방식과 투영 방식으로 분류될 수 있다.

2.1 필터링 방식

[1,2,3]은 필터링을 통한 부드러운 그림자 생성에 집중하였다. 이 방식들은 하나의 점광원으로부터 생성된 하나의 그림자 맵을 사용하였고 그림자 매핑 결과를 필터링하였다. [1]은 조명과 차폐물(occluder) 그리고 그림자가 드리워지는 지점의 지형적 조건을 고려하여 반영(penumbra)의 크기를 추정하였다. 그 다음 각 픽셀 마다 추정된 반영 크기에 따라 정해지는 필터 영역의 각 지점에 대해 그림자 맵에서의 깊이 값 비교를 수행하였다. 한 픽셀 주변의 그림자 결과는 평균되어 최종 그림자 강도로 사용된다. 하지만 이 방법은 해상도 문제와 같은 일반적인 화면 공간 방법들의 문제점을 가지고 있다.

[2]는 [1]과 [4]에 기반을 둔 부드러운 그림자 생성 방법으로 기존의 방법 [4]가 가지고 있는 누광(light leak) 현상을 개선하였다. 기본적으로 [4]는 그림자 맵을 사용하기 때문에 필터 영역 내의 그림자 변화가 많이 일어나면 그림자 생성에 시각적 오류가 발생한다. [2]는 이런 문제를 해결하기 위해 그림자 변화에 따라 필터 영역을 적응적으로 분할하였다.

[3]은 푸리에 급수(fourier series)를 사용하여 그림자 맵을 근사하고 가시성을 사전 필터링 하였다. 사전 필터링의 결과 [3]의 방법은 면광원 전체

의 영역 중 어느 정도의 영역이 픽셀에서 보이는지를 계산할 수 있다. 하지만 푸리에 급수를 사용한 근사의 한계 때문에 때때로 물결(ringing)현상이 나타난다.

2.2 투영 방식

[5]는 필터링 방식들과 유사하게 그림자 맵에 그려지는 텍셀들을 잠재적인 차폐물들로써 사용하였다. 하지만 일정 영역을 필터링하지 않고 현재 픽셀보다 조명에 가까운 텍셀들을 전부 조명으로 투영하였다. 조명은 사각형의 면광원으로 가정하였으며 그림자 맵은 면광원의 중심에서 면광원의 방향과 평행하게 생성된다. 따라서 텍셀이 투영된 영역 또한 사각형으로 표현된다. [5]는 그림자 맵의 텍셀이 투영된 영역은 면광원을 가린 것으로 판단하여 투영된 모든 텍셀들이 가리고 남은 영역을 계산하여 픽셀의 그림자 강도를 결정하였다. 이 방법은 임의의 모양과 색상을 가지는 면광원에 대한 그림자 결과를 생성할 수 있다. 하지만 텍셀들의 역투영 영역이 서로 겹치는 문제가 발생하여 그림자 계산이 잘못되는 경우가 발생할 수 있다.

[6]은 차폐물들이 그려지는 버퍼를 따로 두어 차폐물 맵(occluder map)을 생성하였다. 차폐물 맵에 그려지는 텍셀들은 매우 작은 조각(micro-patch)로 재구성되며 조각들은 면광원과 기하관계를 고려하여 그림자 맵 공간에 투영된다. 투영한 영역 내의 픽셀들은 투영한 조각에 의해 얼마나 조명이 가려지는지 계산하여 그림자의 강도를 결정한다. [6]의 방법은 차폐물이 그림자가 생성되는 물체들과는 분리되어 있다는 가정을 하기 때문에 일반적인 상황에 적용하기 어려운 문제가 있다. 또한 모든 텍셀들을 투영하여 그림자의 비율을 계산하므로 차폐물 맵의 해상도가 낮은 제한이 있다.

산과 적응적 필터 분할을 통한 부드러운 그림자 생성 방법을 설명한다. 우리의 목표는 임의의 모양과 색상을 갖는 면광원에 대해 사실적인 부드러운 그림자를 실시간에 정확하게 생성하는 것이다. 이를 위해서 우리는 투영 방식과 유사한 접근법을 기존의 필터링 기반의 부드러운 그림자 방법에 적용하였다. 하지만 필터 영역에 대해서 모든 작업을 수행하는 것은 비효율적이기 때문에 픽셀 주변의 그림자 복잡도를 고려하여 적응적으로 그림자를 계산한다. [Fig. 1]은 제안하는 방법의 흐름을 보여준다. [3]과 동일하게 먼저 면광원에 대한 그림자 맵을 생성한 후 필터 영역을 계산하기 위해 밍맵을 생성한다. 각 픽셀에 대해서는 그림자 맵에 대한 필터 영역을 계산하고 그림자 매핑 결과를 고려하여 적응적으로 필터 영역을 분할한다. 마지막으로 동일하게 분할한 면광원 이미지를 사용하여 픽셀의 최종 조명 색상을 결정한다.

[Fig. 1] System flow chart

3. 알고리즘

이 장에서는 픽셀-면광원 간의 평균 가시성 계

3.1 평균 가시성 계산

우리의 알고리즘은 먼저 [3]의 방식을 이용하여 현재 픽셀이 그림자 영역이라면 면광원이 얼마나

가려져있는지 계산한다. [3]은 현재 픽셀 주변의 그림자 매핑 결과의 평균을 그림자 맵의 주파수 공간에서 계산하여 픽셀의 그림자 강도를 계산하였다. [3]은 사진 필터링 방식을 사용하여, 즉 실제 그림자 매핑이 적용되기 전에, 주어진 “픽셀-면광원의 중심”간의 거리와 필터 영역 크기를 입력으로 면광원의 얼마나 많은 영역이 픽셀에 보이는지 계산할 수 있었다. 이 때 그림자 맵의 주파수 영역을 생성하기 위해 푸리에 급수를 사용하였다. 결과적으로 [Fig. 2]와 같은 부드러운 그림자 결과를 얻을 수 있다. 하지만 [3]의 방법은 면광원의 모양이 사각형이며 색상은 단색인 것을 가정한다. 이 가정은 [5]나 [7]이 생성할 수 있는 보다 사실적인 그림자를 표현할 수 없게 만든다[Fig. 3].

[Fig. 2] Approximated soft shadow mapping

필터 영역 내의 그림자 매핑 결과는 픽셀과 면광원간의 가시성 검사 결과의 근사 값으로 사용할 수 있다. 하지만 필터 영역이 이산적인 공간이고 영역 내 텍셀의 개수는 유한할지라도 모든 지점에 대한 그림자 매핑 결과를 참조하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 우리는 [3]과 동일한 방법으로 현재 픽셀로의 평균 가시성 검사 결과를 계산하였고 가장 기본적인 부드러운 그림자 결과를 생성하였다.

3.2 가시성 필터 영역의 적응적 분할

[Fig. 3] Correct soft shadow under the arbitrary shape and color of an area light

평균 가시성 계산 결과는 면광원의 모양이 사각형이고 색상이 단색일 때에는 정답에 가까우나 면광원의 색상이 다양하게 변화하는 경우에는 사실적이지 않게 된다. 따라서 우리는 그림자 맵 상의 필터 영역 내의 텍셀들이 픽셀로의 빛을 가로막는다는 것에 착안하여 필터 영역을 분할하여 지역적인 가시성 검사를 수행하였다. 우리는 필터 영역을 분할하는 기준으로 영역 내 그림자의 복잡도를 사용하였다. 그림자의 복잡도는 그림자 매핑 결과의 분산을 사용함으로써 구하였다. 만약 그림자의 복잡도가 크다면 우리는 필터 영역을 더 많이 분할하여 지역적으로 차이가 많이 나는 가시성 검사 결과를 참조하는 것으로 부드러운 그림자를 생성한다. 일반적으로 분산의 계산은 아래의 식을 이용한다. 아래의 식에서 $E(x)$ 와 $V(x)$ 는 각각 하나의 필터 영역에 대한 그림자 매핑 결과의 평균 값과 분산 값을 의미한다.

$$V(x) = E(x^2) - E(x)^2$$

[4]는 GPU 상에서 분산을 빠르게 계산하기 위

해 한 개의 텍스처를 더 사용하여 각 텍셀마다 깊이 값의 제곱을 저장하였다. 하지만 그림자 매핑 결과는 0 아니면 1이기 때문에 다음의 식을 만족한다.

$$E(x^2) = E(x)$$

따라서 우리의 분산 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V(x) &= E(x^2) - E(x)^2 = E(x) - E(x)^2 \\ &= E(x)(1 - E(x)) \end{aligned}$$

이것은 분산을 계산하기 위한 추가적인 작업이나 데이터 저장 공간이 불필요함을 의미한다. 만약 분산이 사용자가 정의한 임계값보다 크다면 우리는 사진트리(quad-tree)와 비슷한 형태로 필터 영역을 균등 분할한다[Fig. 4]. 균등 분할을 한 다음, 우리는 각 세부 영역에 대해서 다시 분산을 계산한다. 만약 영역의 분산이 임계값보다 큰 영역이 있다면 전체 영역을 다시 균등 분할한다. 이 작업은 수행 시간과 분할 정도에 따른 시각적 오류의 상대적인 감소를 고려하여 세부 필터 영역의 개수가 최대 16개가 될 때까지만 수행한다. 결과적으로 각 세부 영역은 매우 낮거나 매우 높은 가시성 결과를 우리에게 준다. 이 가시성 결과는 동일하게 분할된 면광원의 각 지점에 대한 가시성 결과로 사용한다.

추가적으로 우리는 필터 영역의 분할을 위해 면광원을 대신하여 사용하는 이미지의 복잡도 또한

고려하였다. 아주 복잡한 색상의 면광원 이미지를 사용하는 경우, 픽셀 주변의 그림자 변화가 복잡하지 않을지라도 필터 영역을 분할하였다. 우리의 방법은 [4]의 방식과 유사하게 면광원 이미지의 분산을 GPU에서 실시간에 계산할 수 있다. 따라서 제안하는 방법은 햇불이나 촛불 같은 더욱 일반적인 면광원을 사용할 수 있다.

[Fig. 4] Adaptive subdivision for a filter region and pixel color computation

[Fig. 5] An example of our soft shadow rendering for a pixel in a 3D scene

3.3 최종 렌더링

픽셀의 최종 색상 결정은 적응적으로 계산된 가시성 검사 결과와 면광원 이미지를 참조하는 것으로 간단하게 수행된다. 부드러운 그림자 생성을 위한 필터 영역은 면광원 전체 표면을 대신할 수 있다. 따라서 필터 영역의 세부 영역 들은 그에 해당하는 면광원 이미지의 일부분에 대한 가시성 검사를 위해 사용된다. [Fig. 4]의 가장 하단부에는 필터 영역과 동일하게 분할한 면광원 이미지의 색상들을 사용하여 결정된 픽셀의 최종 렌더링 색상이 표시된다. 그 결과, 기존의 부드러운 그림자 방법의 가정에 의해 표현될 수 없었던 더욱 사실적인 그림자 결과를 얻을 수 있다. [Fig. 5]는 설명된 과정에 따라 장면의 한 픽셀에 대해 그림자를 계산하는 과정을 보여준다. 추가적으로 만약 우리가 필터 영역을 분할하지 않는다면 기존의 부드러운 그림자 방법과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

[Fig. 6] Result details

4. 실험 및 결과

이 장에서 우리는 몇 개의 면광원 이미지에 대한 결과 화면을 소개한다. [Fig. 6]는 우리의 방법을

통해 생성되는 주요 시각적 효과와 효과의 세부 장면을 보여준다. [Fig. 7]은 각각 다른 면광원 이미지에 대한 렌더링 결과를 보여준다. [5]와 [7]이 이미지를 사용한 면광원에 대해 부드러운 그림자를 사실적으로 생성한 것과 같이, 우리의 방법도 동일한 효과를 표현할 수 있었다. 실험을 위해 그래픽스 라이브러리로 DirectX 3D 9.0을 그래픽스 디바이스로 NVIDIA GeForce GTX 460을 사용하였다.

제안된 알고리즘을 사용하여 800x800 해상도의 장면을 렌더링 하는 경우 평균 초당 약 40프레임의 성능을 보였다[Table 1]. 기존의 부드러운 그림자 방법보다 약 10프레임 가량 성능이 저하되지만 여전히 실시간에 화면을 출력할 수 있으므로 3차원 응용 프로그램에 적용될 수 있다. 또한 모든 픽셀에 대해서 고정적으로 2번 분할을 수행하는 경우에도 여전히 실시간에 수행됨을 확인할 수 있었다. [Fig. 3]의 장면을 렌더링 할 때, 우리의 알고리즘에서 필터 분할을 통해 면광원 조명을 계산하는 픽셀들의 개수는 [Table 2]에서 확인할 수 있듯이 전체 픽셀의 약 4.59%를 차지한다. 이 비율은 그림자의 형태 그리고 카메라의 시점에 따라 변할 수 있지만 일반적으로 분할하지 않아도 되는 픽셀의 개수에 비해 상대적으로 매우 적다.

[Table 1] Average frames per second(fps)

Subdivision	Before apply the proposed algorithm	After apply the proposed algorithm
adaptive (0~2)	50fps	40fps
Fixed (2)		30fps

[Table 2] The number of pixel of [Fig. 3]

Pixel type		The number of pixel(Ratio)
Not rendered (background)		243,260(38%)
Rendered	No subdivision	367,460(57.41%)
	1 subdivision	11,016(1.73%)
	2 subdivisions	18,264(2.86%)
Total(800*800)		640,000(100%)

5. 결 론

이 논문에서 우리는 임의의 모양과 색상을 갖는 면광원에 대해 빠르고 정확하게 부드러운 그림자를 생성하는 방법을 소개하였다. 일반적으로 면광원을 사용한 부드러운 그림자 계산은 복잡하고 많은 시간을 필요로 한다. 우리는 조명 계산을 빠르게 하기 위해 그림자 맵을 사용하여 가시성 검사의 횟수를 감소시켰다. 기존의 부드러운 그림자 생성 방식이 픽셀에 대한 평균 가시성 검사를 사용한 것과 달리 우리는 주변 그림자의 복잡함에 따라 더욱 자세한 가시성 검사를 적응적으로 수행하였다. 그 결과 우리의 방법은 반영 근처에서 생기는 면광원 조명 효과를 정확하면서도 빠르게 표현할 수 있었다. 제안된 방법은 렌더링 성능이 기존 부드러운 그림자 방법보다 거의 유사하면서도 시각적으로는 더욱 사실적인 결과를 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 제안된 방법은 필터 영역의 분할에 따라 기존의 부드러운 그림자 생성 방법처럼 사용할 수 도 있기 때문에 장면의 상황이나 콘텐츠에 따라 각각의 알고리즘을 선택적으로 적용할 수 있다.

[Fig. 7] Results using various area light images

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation(KOSEF) grant funded by the Korea government(MEST) (No.2011-0012214).

REFERENCES

- [1] Randima Fernando, "Percentage-closer soft shadows", ACM SIGGRAPH 2005 Sketches, 2005.
- [2] Baoguang Yang, Zhao Dong, Feng Jieqing, Hans-Peter Seidel and Jan Kautz, "Variance soft shadow mapping.", Computer Graphics Forum, Vol. 29, No. 7, pp2127-2134. 2010.
- [3] Thomas Annen, Zhao Dong, Tom Mertens, Philippe Bekaert, Hans-Peter Seidel and Jan Kautz, "Real-time, all-frequency shadows in dynamic scenes", ACM Transactions on Graphics(TOG), Vol. 7, No. 3, 2008.
- [4] William Donnelly and Andrew Lauritzen, "Variance shadow maps", Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games, pp161-156, 2006.
- [5] Gaël Guennebaud, Loïc Barthe and Mathias Paulin, "Real-time soft shadow mapping by backprojection", Eurographics Symposium on Rendering, pp227-234, 2006.
- [6] Lionel Atty, Nicolas Holzschuch, Marc Lapierre, Jean-Marc Hasenfratz, Charles Hansen and François X. Sillion, "Soft shadow maps: Efficient sampling of light source visibility", Computer Graphics Forum, Vol. 25, No. 4, 2006.
- [7] Samuli Laine, Timo Aila, Ulf Assarsson, Jaakko Lehtinen and Tomas Akenine-Möller, "Soft shadow volumes for ray tracing", ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 24, No. 3, pp1156-1165, 2005.

전 영 재 (Youngjae Chun)

2007 숭실대학교 미디어학부 학사
2007-현재 숭실대학교 미디어학부 석박사통합과정

관심분야 : 실시간 렌더링, 게임 레벨 자동 생성

오 경 수 (Kyoungsu Oh)

2001 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부 박사
2001-2002 (주) 조이먼트 개발팀장
2003-현재 숭실대학교 미디어학부 부교수

관심분야 : 실시간 컴퓨터 그래픽스, 시리즈스 게임