

HDRI 환경맵과 GPU 기반 점진적 세분 래디오시티를 이용한 영상기반 재조명

김준환⁰, 홍현기

중앙대학교 첨단영상대학원⁰, 첨단영상학과
interjh@wm.cau.a.kr⁰, honghk@cau.ac.kr

Image based Relighting Using HDRI Environment Map & Progressive refinement radiosity on GPU

Junhwan Kim⁰, Hyunki Hong
Dept. of Image, GSAIM Chung-Ang Univ.

요약

래디오시티(radiosity)는 디퓨즈 반사(diffuse reflection)를 효과적으로 표현하는 전역조명(global illumination) 방법으로 공간 및 물체 표면간의 에너지 교환을 모델링한다. 그러나 많은 계산량으로 인해 실시간 활용에는 제약이 존재하며, 이를 해결하기 위해 GPU(Graphics Processing Unit) 기반의 래디오시티 알고리즘이 제안되고 있다. 본 논문에서는 G. Coombe 등이 제안한 GPU 기반의 점진적 세분(progressive refinement) 래디오시티를 구현하고 HDR(High Dynamic Range) 래디언스(radiance) 맵으로 구성된 3차원 공간에 적용하여 사실적인 합성영상을 렌더링하였다. 대상 공간과 조명환경을 HDR 래디언스 맵으로 구성함으로써 영상기반(image-based) 방법의 장점인 대상 장면의 복잡도와 관계없는 결과 영상을 생성할 수 있었다. 환경맵을 이루는 각 텍셀(texel)의 해상도 설정 및 밍매핑(mipmapping)의 적용에 따라 다양한 실험 결과를 분석하였으며, 기존의 HDR 래디언스 맵과 GPU를 이용한 증분 래디오시티 방법과의 비교를 통해 본 시스템의 개선된 렌더링 성능을 확인하였다.

색인어 : 점진적 래디오시티, GPU, 전역조명, 재조명

ABSTRACT

Although radiosity can represent diffuse reflections of the object surfaces by modeling energy exchange in 3D space, there are some restrictions for real-time applications because of its computation loads. Therefore, GPU(Graphics Processing Unit) based radiosity algorithms have been presented actively to improve its rendering performance. We implement the progressive refinement radiosity on GPU by G. Coombe in 3D scene that is constructed with HDR(High Dynamic Range) radiance map. This radiosity method can generate a photo-realistic rendering image in 3D space, where the synthetic objects were illuminated by the environmental light sources. In the simulation results, the rendering performance is analyzed according to the resolution of the texel in the environmental map and mipmapping. In addition, we compare the rendering results by our method with those by the incremental radiosity.

key-words: progressive radiosity, GPU, global illumination, relighting

본 연구는 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터, 교육부 두뇌 한국 21(BK21) 지원 사업으로 수행되었습니다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스 분야에서 3차원 공간을 사실적으로 표현하는 전역조명(global illumination)은 물체 간에 발생하는 빛의 다양한 상호작용을 모델링하는 경우에 사용된다[1]. 그러나 전역조명은 많은 데이터와 처리시간을 필요로 하기 때문에 실시간 응용에는 활용되지 못했으나, 이런 제약을 해결하기 위한 방법들이 활발히 연구되고 있다. 특히 기존의 CPU(Central Processing Unit)보다 높은 부동소수점 연산능력 등의 장점을 가지는 GPU(Graphics Processing Unit)를 활용함으로써 실제 물리적인 현상을 모델링하기 위해 요구되는 긴 렌더링 시간을 크게 단축시키고 있다[2].

영상기반(image-based) 그래픽스 기술은 실제 영상을 입력으로 하기 때문에 대상 장면의 기하적인 복잡도와는 관계없이 사실적인 장면을 빠르게 표현할 수 있다. 또한 실제 영상으로부터 조명 정보를 추출하여 이를 가상 객체에 적용하는 재조명(relighting) 분야 등에 활발하게 적용되고 있다[3].

본 논문에서는 G. Coombe[4] 등이 제안한 그래픽스 하드웨어 기반의 점진적 세분 래디오시티(progressive refinement radiosity) 방법을 HDR(High Dynamic Range) 래디언스(radiance) 맵으로 구성된 3차원 공간에 적용하여 사실적인 합성 영상을 렌더링하는 방법을 구현하였다. 구현된 시스템은 대상 공간을 HDR 래디언스 정보를 이용하여 구축함으로써 임의의 물체를 합성하기 위해 필요한 전체 렌더링 시간을 크게 단축시켰다.

기존의 CPU에 기반한 점진적 세분 방법은 디퓨즈 반사(diffuse reflection) 표면으로 구성된 3차원 공간에서 전역조명 효과를 비교적 빠른 시간에 표현할 수 있는 방법이다. 그러나 현재 CPU 보다 연산능력이 뛰어난 그래픽스 하드웨어를 적극적으로 사용하면 매우 뛰어난 렌더링 성능이 확보될 수 있다[4].

2장에서는 기존의 CPU 및 GPU를 이용한 래디오시티 방법과 영상기반 재조명 관련 연구 등에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 HDR 래디언스 맵과 GPU를 이용한 점진적 세분 래디오시티의 구현에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 구현된 알고리즘으로부터 얻어진 시뮬레이션 결과를 분석하고, 기존 방법과 렌더링 성능을 비교하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존연구

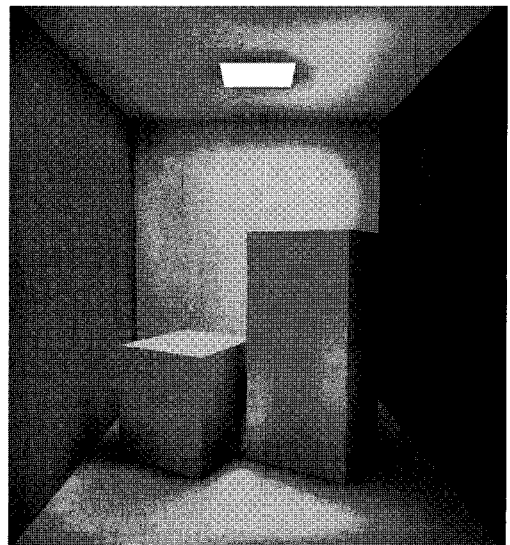
2.1 점진적 세분 래디오시티

주변 환경과 물체의 변화가 없는 정적인 환경에서 조명에 의해 방출되는 에너지는 표면간의 교환과정을 통해 에너지 평형 상태에 이른다. 열복사는 가시광선 영역을 포함하고 있으며 이때 단위 시간당, 단위면적당 임의의 한 면에서 방출되는 복사 에너지를 래디오시티라 한다[5].

래디오시티 방법은 에너지를 방사하는 모든 다른 면으로부터 각 면에 도달하는 에너지의 관계를 고려하여 전역조명을 모델링하며, 색의 섞임(bleeding)과 부드러운 그림자 등을 표현할 수 있는 특징을 가진다. 한 면에서 나오는 빛은 면 자체에서 방출하는 빛과 다른 객체로부터 입사되는 빛이 반사되는 부분으로 구성되며, 수식 (1)과 같이 표현된다

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ji} \tag{1}$$

여기서, A_i , B_j 는 면 i, j 의 면적, E_i 는 면 i 의 단위면적당 방출하는 에너지, ρ_i 는 면 i 의 반사도, F_{ij} 는 면 j 에서 면 i 로의 폼팩터(form-factor)를 각각 의미한다. 폼팩터는 면 j 를 떠나 면 i 에 도달하는 에너지의 비율을 나타낸다. 대상 장면을 구성하는 모든 면에 대해 식 (1)의 관계가 존재하고 이는 래디오시티 행렬식으로 다시 유도된다.



[그림 1] 점진적 세분 래디오시티 결과 영상

기존의 라디오시티 방법은 행렬형태의 연립 방정식을 풀 어 각 면에 분포하는 라디오시티를 구했지만, 이러한 과정 은 많은 메모리와 계산시간이 요구된다. 이러한 단점을 보 완하기 위해 제안된 점진적 세분 방법은 에너지가 높은 면 에서부터 방출되는 에너지를 순차적으로 고려하여 라디오 시티 방정식을 해석하여 렌더링 시간을 크게 단축시켰다[5].

2.2 GPU 기반의 점진적 세분 라디오시티[4]

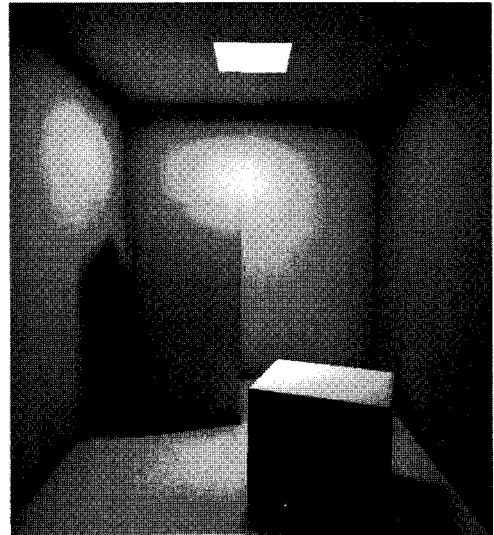
기존의 점진적 세분 방법은 대상 장면을 일정한 면들로 유한(finite)하게 분할하고 다른 면들과의 관계를 이용하여 각 면의 라디오시티를 계산한다. 기존의 CPU 기반의 방법 과는 다르게 GPU를 이용한 점진적 세분 방법은 각 면에 해 당하는 라디오시티 텍스처(texture)와 잔여(residual) 에너지 텍스처를 생성하며, 각 텍스처를 구성하는 단위인 텍셀 (texel)을 기본요소로 라디오시티를 구한다.

라디오시티는 일반적으로 에너지의 방사 면으로부터 에 너지를 받는 면간의 폼팩터를 결정하는 과정에서 많은 계 산을 필요로 한다. 그러나 GPU의 구조에 따라 적합하게 프 로그램하면, 단일 명령 복수 데이터 연산(SIMD: Single Instruction Multiple Data)에 의해 병렬로 데이터를 처리하 기 때문에 CPU를 이용하는 방법에 비해 렌더링 속도가 크 게 단축된다. GPU 기반의 점진적 세분 라디오시티의 의사 (pseudo) 코드를 표 1에 나타내었다.

```

Initialize shooter residual E
while not converged{
  Render scene from POV of shooter
  for each receiving polygon{
    for all texel{
      if texel is visible {
        Compute form factor FF
        E = q * FF * E
        Add E to residual Texture' texel
        Add E to Radiosity Texture' s texel
      }
    }
  }
}
Shooter' s residual E = 0;
    
```

[표 1] GPU를 이용한 라디오시티 의사코드



[그림 2] GPU 기반의 점진적 세분 라디오시티결과영상

2.3 영상기반 재조명

가상 물체와 실제 영상을 효과적으로 합성하기 위해 Fournier 등은 대상 장면에 대한 3차원 모델과 라디오시티 렌 더링을 이용하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 2D 이 미지로부터 조명을 취득하므로 주변환경에 의한 간접조명의 효과를 가상의 물체에 표현할 수 없다는 단점이 있다[6].

Drettakis 등은 영상에서 다면체를 이루는 정점(vertex)등 을 사용자가 선택하고 컴퓨터 비전 기술로 3차원 공간을 재 구성하는 방법을 제안하였다. 또한 모자이크(mosaic) 기술로 파노라마 영상을 만들어서 입력영상의 시야를 넓혀 조명의 위치를 입력하는데 소요되는 시간을 줄였다[7].

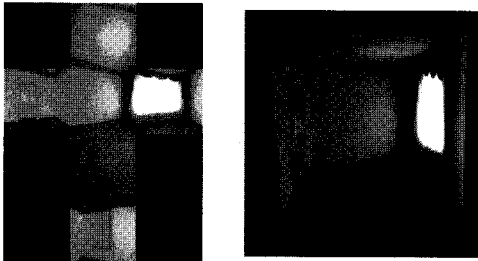
Debevec 등은 노출이 다른 여러 장의 사진으로부터 이미 정 시스템의 응답함수를 복원하고 대상 공간의 라디언스 맵 을 구성하여 3차원 조명 환경을 구성하였다. 그리고 대상 장 면을 먼(distant) 장면, 지역(local) 장면, 합성 물체 등으로 구 분하고 분산 레이트레이싱(distributed ray tracing)의 전역 조명을 적용함으로써 가상 물체가 사실적으로 합성된 렌더 링 영상을 표현하였다[3]. 그러나 분산 레이트레이싱과 각각 의 구분된 장면의 최종합성까지의 많은 시간이 필요하다.

본 논문에서는 HDRI 라디언스 맵로부터 주변 환경의 조 명정보를 얻고 가상의 물체가 자연스럽게 합성된 장면을 빠른 시간에 렌더링하기 위해 GPU 기반의 점진적 세분 래 디오시티를 이용하는 방법이 제안된다. 제안된 방법은 사

실적인 장면을 렌더링하기 위해 HDR 래디언스 맵을 이용한 영상기반 방법[3]을 이용하였으며, GPU 기반의 래디오시티 방법을 적용하여 기존 CPU 기반의 래디오시티를 이용한 방법[6, 7]에 비해 전반적인 렌더링 속도를 향상시켰다. 렌더링된 합성장면과 렌더링 성능을 4장의 실험결과 및 분석에서 확인한다.

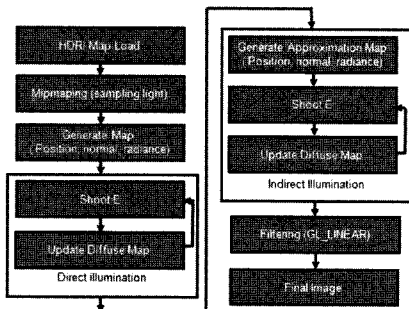
3. HDR 환경맵을 이용한 GPU 기반의 래디오시티 구현

본 논문에서는 HDR 래디언스 맵을 사용하여 3차원 공간과 환경맵을 구성하였다(그림 3). 여기서 래디언스는 단위 시간당, 단위 입체각(solid angle)당, 해당 면의 단위법선당 방출되는 에너지의 분포를 의미하며, 구성된 장면 안의 물체들이 모두 디퓨즈 반사체라고 가정하면 래디언스는 래디오시티와 같다. HDR 래디언스 영상으로 텍스처 맵핑된 3차원 공간상에 가상의 물체를 위치시키고 주변조명에 의해 자연스럽게 영향받는 합성 영상을 표현하기 위해 새로운 래디오시티의 재분배 알고리즘을 구현하였으며, 전체 알고리즘의 흐름도를 그림 4에 나타내었다.



(a) HDR 래디언스 맵 (b) 환경맵

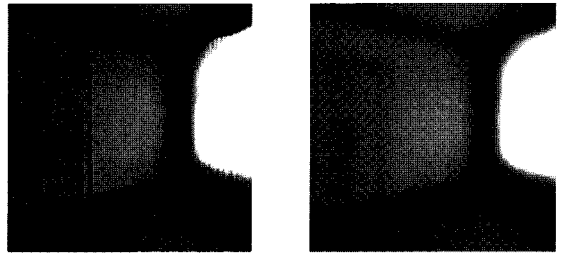
[그림 3] HDR 래디언스 맵과 환경맵



[그림 4] 전체 알고리즘의 흐름도

3.1 GPU 기반 래디오시티의 자료구조

구현에서 사용된 HDR 래디언스맵은 512×512의 해상도를 가진 6개의 이미지로 구성된다. 각 픽셀이 래디언스 정보를 반영하기 때문에 일반적으로는 래디오시티에서는 총 1,572,846개의 광원(light source)을 모두 이용해 렌더링한다. 그러나 광원의 개수가 많아지면, 최종 렌더링 시간이 급격하게 증가한다. 본 논문에서는 결과 영상의 질을 크게 저하시키지 않으면서 렌더링 속도를 개선하기 위해 GPU에서 지원하는 mip맵(mipmap)을 이용한다. 그림 6과 같이 32×32 해상도를 가진 6개의 이미지로부터 6,144개의 광원을 이용하여 렌더링 시간을 줄였으며, 이에 대한 비교 및 분석 결과는 4장에서 제시한다.



(a) 512×512 해상도 (b) 32×32 해상도

[그림 5] mip맵으로 구성된 합성 공간

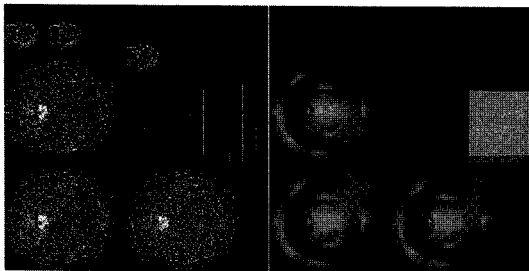
SIMD 구조인 GPU를 이용하여 다수의 데이터를 효과적으로 처리하기 위해서 일반적으로 데이터를 텍스처화한다 [4]. 본 논문에서는 정점이 가지는 위치좌표, 법선, 색상, 래디오시티 에너지를 텍스처 형태로 전환하며, 이를 용이하게 하기 위해 대상 모델을 2차원 맵으로 파라미터화 한다. 이 과정에서 기하 이미지(geometry image)[8] 등의 방법이 적용될 수 있으며, 여기서는 상용 소프트웨어인 3D MAX를 이용했다. 본 논문에서 구현된 알고리즘은 Nvidia社 Cg 프로그램 언어로 구현되어 오프 스크린 버퍼(off-screen buffer)에서 MRT(Multi Render Target)를 이용하여 위치좌표 및 법선 맵 등을 동시에 얻을 수 있다. 2차원 맵으로 파라미터화된 결과와 위치좌표, 법선 및 색상 데이터 텍스처를 그림 6 (a) ~ (d)에 각각 나타내었다.

```

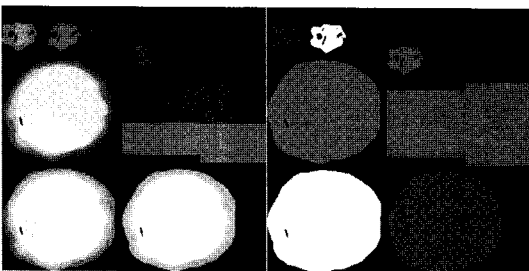
void vgenmap(
    uniform float4x4 ModelView,
    float4 Pos : POSITION,
    float2 Texcoord : TEXCOORD0,
    float4 Normal : NORMAL,
    out float4 oHpos : POSITION,
    out float2 oTexcoord : TEXCOORD0,
    out float4 oPosition : TEXCOORD1,
    out float4 oNormal : TEXCOORD2
)
{
    oHpos.xy = 2.0f * Texcoord - 1.0f;
    oHpos.z = 0.0;
    oHpos.w = 1.0;
    oTexcoord = Texcoord;
    oPosition = Pos;
    oNormal = normalize(Normal);
}
(a) 버텍스 프로그램

void fgenmap(
    float4 Position : TEXCOORD1,
    float4 Normal : TEXCOORD2,
    out float4 oColor1 : COLOR0,
    out float4 oColor2 : COLOR1
)
{
    oColor1 = Position;
    oColor2 = normalize(Normal);
}
(b) 프래그먼트 프로그램
    
```

[표 2] Cg 프로그램 언어



(a) 2차원 매핑된 모델 (b) 위치 데이터 텍스처



(c) 법선 데이터 텍스처 (d) 색상 데이터 텍스처

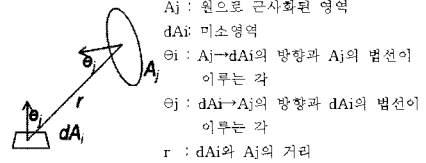
[그림 6] 각각의 속성 텍스처

3.2 표면의 에너지 방출 및 자기 반사

점진적 래디오시티 방법은 대상 면이 가지는 에너지의 크기에 따라 고려되는 면의 순서가 결정된다. 즉, 높은 에너지의 면에서부터 에너지를 방출하며, 해당 표면으로부터 에너지를 받는 대상 공간 내의 모든 면과의 관계를 구한다. 본

논문에서는 광원들을 영역광원들로 근사화 하므로 에너지를 방출하는 영역광원과 이를 받는 미소 영역사이의 관계는 식 (2)를 이용해 계산한다.

$$F_{A_i, dA_j} = \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2 + A_j} dA_j \quad (2)$$



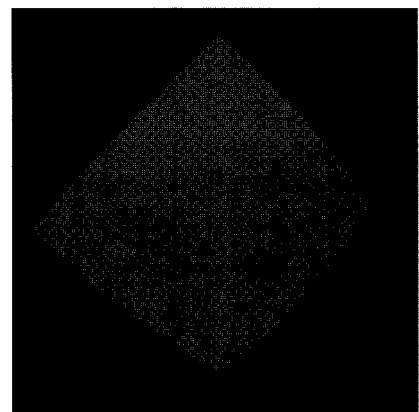
[그림 7] 그림 . 폼팩터 관계

장면을 구성하는 텍셀의 가시성 여부를 결정하기 위한 반육면체(hemicube) 사영은 다섯 개의 사영 면에 대해 각각 고려해야 하는 단점이 있다. 따라서 한 번에 대상 장면을 구성하는 모든 표면의 가시성을 결정할 수 있는 반구(hemisphere) 사영 방법을 구현했으며, 의사코드를 표3에 나타내었다[10].

```

Out HemiShpereproj(v = vertex, M = modelview, n = near, f = far)
{
    v = M * v;
    vn = normalize( v );
    out.x = vn.x;
    out.y = vn.y
    out.z = (-2*v.z-f-n)/(f-n)
}
    
```

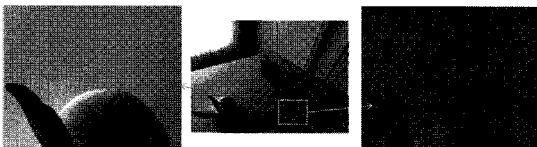
[표 3] 반구사영의 의사코드



[그림 8] 반구사영에 의해 얻어진 깊이값

가장 큰 에너지를 가진 면이 고려된 다음, 이후의 중요한 광원을 결정하기 위해 1×1 크기의 오프 스크린 버퍼를 생성하고 정점을 그린다. 그리고 프래그먼트 프로그래밍과 MRT를 이용하여 버퍼 상에 두 개의 1×1 크기의 텍스처를 동시에 생성한다. 이 과정에서 해당 지점에서 바라보는 장면내의 모든 광원의 라디오시티는 정점의 색상값으로, 광원의 실제 에너지양은 깊이값으로, 광원의 위치좌표는 텍스처 좌표값으로 각각 결정한다. 버퍼 상에서 깊이값을 비교하여 중요한 면, 즉, 에너지가 가장 큰 표면을 선택하고, 광원의 에너지 데이터 및 위치 데이터가 저장된 두 개의 텍스처 정보를 사용한다. 이 텍스처들은 메인 메모리를 거치지 않고 바로 GPU의 메모리로 전달되어 에너지 방출과정의 프래그먼트 프로그램에서 사용된다.

물체의 디퓨즈 표면의 자기 반사에 의한 컬러 섞임 현상을 표현하기 위해 물체의 라디오시티 텍스처로부터 일정한 레벨의 맵핑을 얻는다. 라디오시티와 위치 텍스처가 1024×1024의 해상도를 가지는 경우, 맵핑하여 32×32의 해상도인 라디오시티 텍스처를 얻고 이를 배열로 저장한다. 그리고 이후 에너지 방출 면의 결정과정을 통해 물체 표면의 라디오시티 에너지가 다른 면으로 방출됨으로써 그림 9과 같이 자연스러운 컬러 섞임 현상 등이 표현된다.



[그림 9] 렌더링 영상에서의 컬러 섞임 효과

4. 실험결과 및 분석

본 논문에서는 Intel zeon CPU 3.4Ghz, RAM 4GB, Nvidia Quadro FX4400 그래픽스 하드웨어가 장착된 PC에서 테스트 하였으며 윈도우XP 기반 아래서 C++와 OpenGL, Nvidia Cg Shading Language[11]로 구현되었다. 이후 결과 렌더링 영상의 해상도는 1600×1200이며, 환경맵을 구성하는 라디오시티 텍스처의 해상도, HDR 라디언스 맵에서 추출되는 광원의 수, 그리고 라디오시티 텍스처에서 추출되는 자기 디퓨즈 반사체들의 개수를 변화하면서 시뮬레이션 하였다.

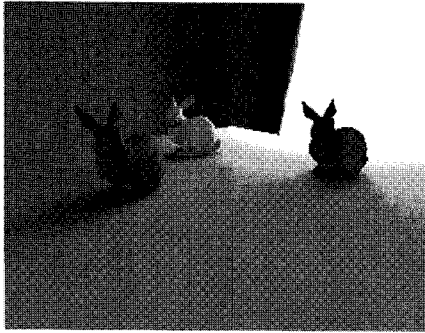


[그림 10] 결과 렌더링 영상

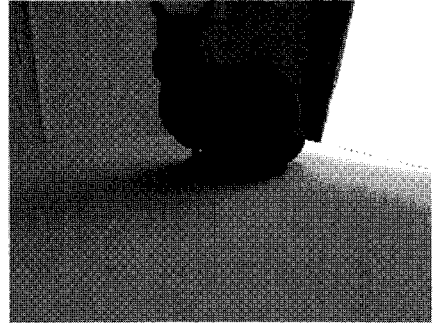
그림 10은 1024×1024 크기의 라디오시티 텍스처를 가지고 6,144의 광원을 이용하여 얻은 1600×1200 해상도의 최종 렌더링 영상이다. 렌더링 시간은 약 28초가 소요되었으며 최종 렌더링 후에 조명 및 물체의 이동 등을 포함한 동적인 상황은 고려하지 않았다. 라디오시티 텍스처의 해상도, HDR 라디언스 맵에서 추출되는 광원의 개수, 그리고 물체의 정점의 개수에 따른 렌더링 시간을 비교하며 시뮬레이션한 결과를 표 4와 그림 11에 각각 나타내었다.

모델 (그림 10)	정점 (개)	추출된 광원(개)	물체 텍스처 해상도(텍셀)	렌더링 시간(초)
토끼상 3개 (a)	9225	6144	1024×1024	28.504
			512×512	19.904
			256×256	16.208
토끼상 3개 (b)	9225	1536	1024×1024	10.396
			512×512	5.344
			256×256	4.520
토끼상 3개 (c)	9225	384	1024×1024	3.152
			512×512	1.924
			256×256	1.754
토끼상 3개 (d)	8225	96	1024×1024	1.105
			512×512	1.066
			256×256	0.705
토끼상 1개 (e)	3395	6144	1024×1024	27.950
			512×512	18.640
			256×256	13.050

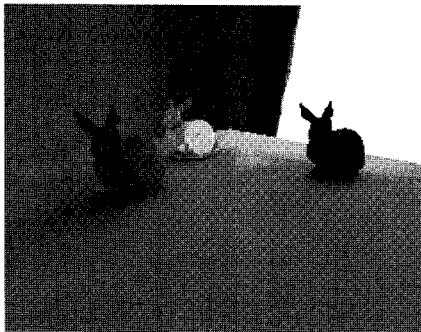
[표 4] 정점, 라디오시티 텍스처, 광원의 개수에 따른 렌더링 성능 비교



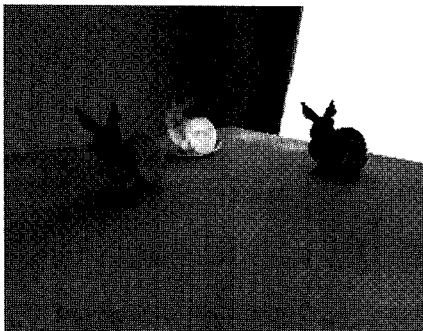
(a) 6144 광원



(e) 6144 광원



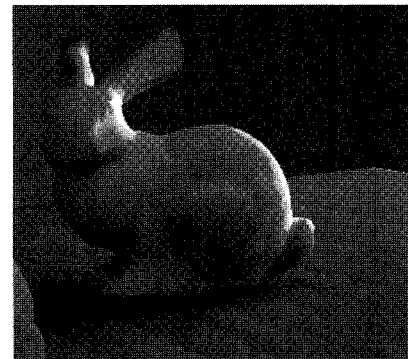
(b) 1536 광원



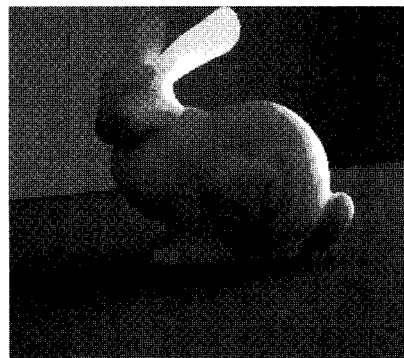
(c) 384 광원



(d) 96 광원



(a) 텍스처 해상도: 1024×1024



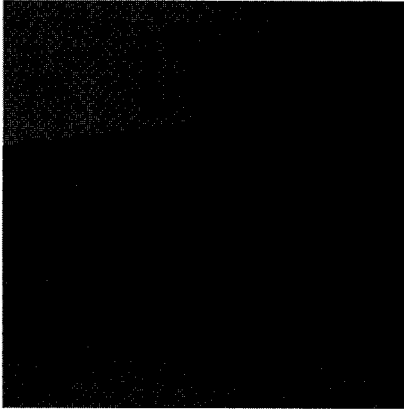
(b) 텍스처 해상도: 256×256

[그림 11] 광원의 개수에 따른 결과 렌더링 영상

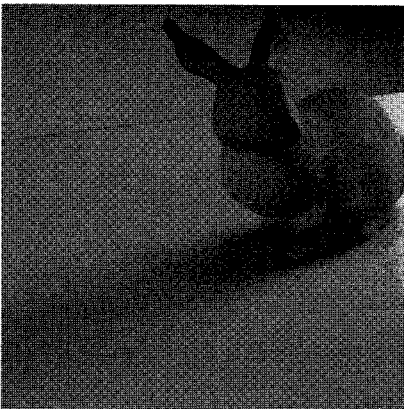
물체에 대한 래디오시티 계산은 텍스처에 담긴 데이터를 이용하기 때문에 물체를 구성하는 정점의 개수 보다는 텍스처의 해상도에 영향을 많이 받는다(그림 12 (a), (b)). 그러나 렌더링 영상으로부터 텍스처의 해상도가 낮아질수록 물체의 데이터를 저장할 공간이 줄어들어 섬세한 렌더링 결과를 얻기 어렵다는 것을 확인하였다.

[그림 12] 래디오시티 텍스처의 해상도 비교

광원의 개수에 따라 얻어진 그림 13 (a)와 (b)의 영상을 비교하면, 광원의 숫자가 줄어들수록 렌더링된 영상에서 그림자의 질이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 광원의 개수가 줄어들수록 광원간의 거리가 멀어지고, 가시성 테스트에 의한 그림자들이 맺히는 각도가 벌어지게 되기 때문에 그림 13 (b)와 같이 부드러운 그림자를 생성하지 못한다.



(a) 광원: 96개



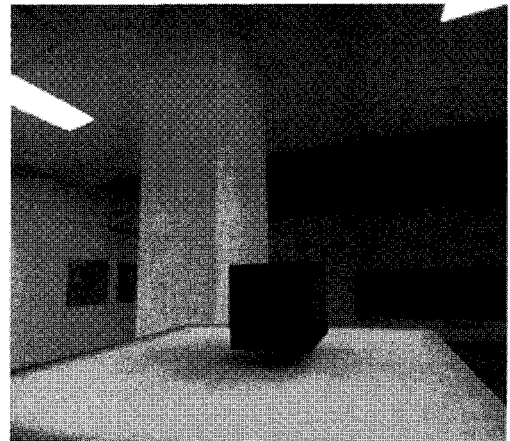
(b) 광원: 6,144개

[그림 13] 광원의 개수에 따른 그림자 변화

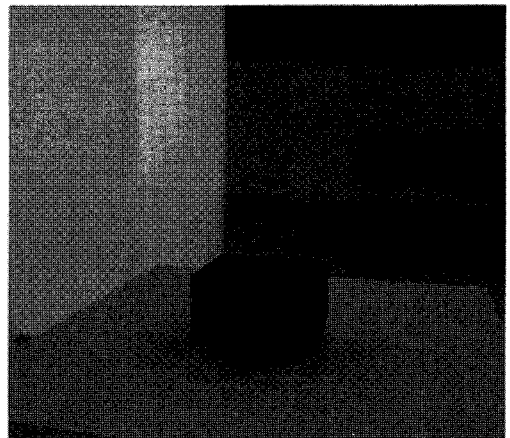
그림 14(a), 14(b)는 동일한 16개의 정점을 가진 물체를 대상으로 동일한 HDR 래디언스 환경맵을 이용하였다. 본 논문에 구현된 알고리즘과 기존의 방법 중에 그래픽스 하드웨어를 이용한 래디오시티 방법을 HDRI 환경맵을 이용하기 위해 증분 래디오시티 방법[12]으로 확장하여 구현된 방법[13]을 이용하여 재조명한 결과이다. 본 논문의 방법은 광원과 텍셀의 관계를 고려하여 래디오시티를 계산하지만

기존의 방법은 면과 면사이의 관계를 고려하여 래디오시티를 계산한다. 또한 본 논문의 방법은 자기반사, 가려짐이 환경맵에 영향을 미치지 않지만 기존의 방법은 영향을 미친다는 차이가 있다.

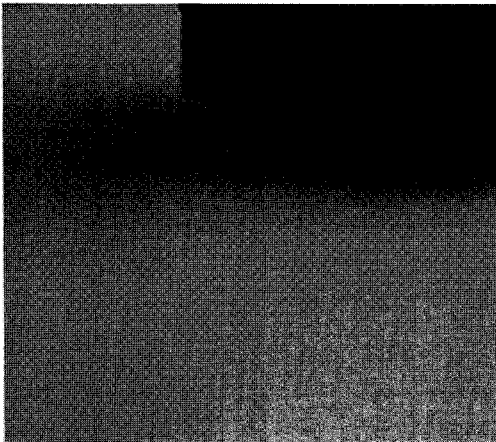
그림 14 (c)는 제안된 방법에 의해 얻어진 결과에서 그림자 부분을 확대한 영상이며, 그림 14 (d)는 기존의 방법의 그림자 부분의 영상이다. 본 논문의 방법은 텍셀을 이용했기 때문에 정점마다 계산하는 기존 방법보다 훨씬 부드러운 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문의 방법에서는 그림 14의 대상 물체가 비교적 단순하여 256×256 해상도의 래디오시티 텍스처를 사용했으며, 8초가 소요되었다. 기존 방법의 렌더링 시간은 약 35초이며 본 논문에서 구현된 방법이 상대적으로 렌더링 성능이 효율적임을 확인하였다.



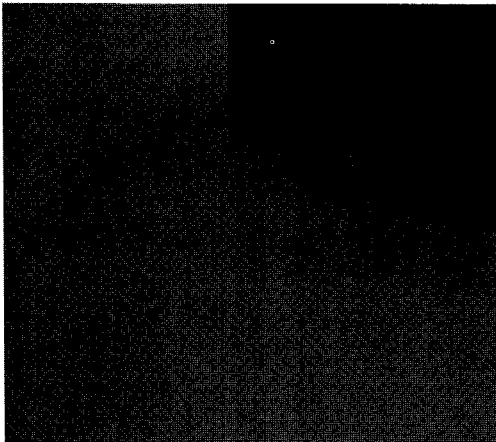
(a) 구현된 방법의 결과



(b) 증분 래디오시티 결과



(c) 렌더링 영상(a)에서 그림자



(d) 렌더링 영상(b)에서 그림자

[그림 14] 증분 래디오시티와 렌더링 영상 비교

5. 결론

본 논문에서는 HDR 래디언스 맵으로 구성된 3차원 공간에서 GPU 기반의 점진적 세분 래디오시티 렌더링을 이용하여 가상의 물체를 자연스럽게 합성하는 영상기반 재조명 기술을 구현하였다. 그리고 대상 장면 존재하는 광원의 구성, 대상 물체의 정점의 개수, 그리고 텍스처의 해상도에 따른 렌더링 성능을 분석 하였다. 시뮬레이션 결과로부터 구현된 방법이 기존 방법에 비해 상대적으로 효율적인 렌더링 성능을 보임을 확인하였다. 이후 연구에서는 임의

의 전처리를 통해 장면 내의 광원 또는 물체가 이동하는 경우를 포함하는 동적인 상황에서도 사실적인 장면을 생성할 수 있는 실시간 렌더링 시스템을 개발할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] M. F. Cohen, and J. R. Wallace, Radiosity and Realistic Image Synthesis, Cambridge, MA, Academic Press, 1993.
- [2] M. Pharr and R. Fernando. GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General Purpose Computation, Addison Wesley Professional, 2005.
- [3] P. Debevec, "Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-Based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography," Proc. of SIGGRAPH, pp. 189-198, 1998.
- [4] G. Coombe, M. J. Harris, and A. Lastra, "Radiosity on Graphics Hardware," Proc. of Graphics Interface, pp.161-168, 2004.
- [5] M. F. Cohen, S. E. Chen, J. R. Wallace, and D. P. Greenberg, "A Progressive Refinement Approach to Fast Radiosity Image Generation," Proc. of SIGGRAPH, pp. 45-84, 1988.
- [6] A. Fournier, A. Gunawan, and C. Romanzin, "Common illumination between real and computer generated scenes," Proc. of Graphics Interface, pp. 254-262, 1993.
- [7] G. Drettakis, L. Robert, and S. Bounoux, "Interactive common illumination for computer augmented reality," Proc. of Eurographics Workshop on Rendering, pp. 45-57, 1997.
- [8] X. Gu, S. Gortler, and H. Hoppe, "Geometry images," Proc. of SIGGRAPH, pp. 355-361, 2002.
- [9] J. R. Wallace, K. A. Elmquist, and E. A. Haines. "A ray tracing algorithm for progressive radiosity," Proc. of SIGGRAPH, pp. 315-324, 1989.

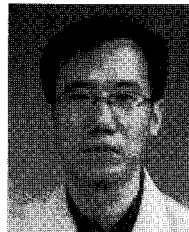
- [10] W. Heidrich and H. P. Seidel, "View Independent Environment maps," Proc. of Workshop on Graphics Hardware, pp. 39-45, 1998.
- [11] W. R. Mark, R. S. Glanville, K. Akeley, and M. J. Kilgard, "Cg: A system for programming graphics hardware in a c-like language," Proc. of SIGGRAPH, pp. 896-907, 2003.
- [12] S. E. Chen, "Incremental radiosity: an extension of progressive radiosity to an interactive image synthesis system," Proc. of SIGGRAPH, pp. 135-144, 1990
- [13] 김준환, 황용호, 홍현기, "영상기반 재조명을 위한 GPU 기반 래디오시티 구현", 한국HCI, 2007



김준환

2006년 2월 한림대학교
수학과, 컴퓨터공학과 졸업
2006년 3월 ~ 현재 중앙대학교
첨단영상대학원 첨단영상학과 석사과정.

관심분야: 게임, 컴퓨터그래픽스



홍현기

1993, 1995, 1998년 중앙대학교
전자공학과 학사, 석사, 박사 졸업
1998년 9월 ~ 1999년 8월 서울대학교 자동차어특화연구센터 연구원.
1999년 9월 ~ 2000년 2월 중앙대학교 정보통신연구소 연구교수
2002년 2월 ~ 2003년 1월 Univ. of Colorado at Denver 방문 연구원.
2000년 3월 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 첨단영상학과
부교수 재직 중.

관심분야: 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터비전 등