

실사적 가시화를 위한 전역 조명 기술

글 _ 지중현, 고광희 _ 광주과학기술원 _ khko@gist.ac.kr

1. 서론

컴퓨터를 통하여 모델링 된 가상의 객체를 다양한 연산을 통해서 최종적으로 정지되거나 움직이는 형태로 디스플레이 장치 위에 출력하는 하는 것을 컴퓨터 그래픽스 기술이라고 한다. 최근 컴퓨터 그래픽스 기술은 놀랍도록 진보하여 영화나 게임, 혼합현실 등과 같은 멀티미디어 콘텐츠 분야에 광범위하게 사용되고 있으며, 또한 산업 제품 디자인 및 평가단계에도 체계적으로 접목되어 나날이 파급효과가 커지는 추세이다.

제품의 설계와 생산에서 컴퓨터는 매우 중요한 역할을 한다. 특히 제품의 디자인 단계에서 CAD 기술을 이용한 소프트웨어는 필수 도구이며 보다 신속히 원하는 제품을 만드는데 많은 도움을 준다. 오늘날 제품의 종류가 많아지고 제품이 제공하는 기능의 다양성 및 안정성은 기본으로 갖추어야 하는 것과 외적인 디자인이 제품의 성공에 커다란 요소로 자리잡아감에 따라서, 그러한 소프트웨어의 중요성이 무엇보다도 강조되고 있다. 이에 따라, 제품에 대한 혁신적 디자인이 필요하게 되며, 그 주기도 점차 짧아짐에 따라서, 효율적으로 이에 대한 요구에 대처하기 위해 여러 방안들이 고안되고 있다.

컴퓨터 기술이 발전함에 따라 기존에는 불가능하다

고 여겨졌던 것들이 가능해지면서 디자인 단계에서 제품을 설계하는데 도움을 줄 수 있는 기술들이 소개되었다. 그 중에서 주목을 받는 것으로 실제 프로토타입을 만들지 않고 가상공간 상에서 제품을 평가할 수 있는 방법을 들 수 있으며, 이는 전자제품에서 자동차에 이르기까지 폭넓은 분야에서 그 활용 범위가 점차 늘어나고 있다.

이러한 가상 공간에서 물체를 평가 하는데 중요한 점은 얼마나 사실적으로 제품을 표현 할 수 있는지이다. 제품을 가상공간에서 사실적으로 표현 한다는 것은 평가를 위해서 필요한 요소들에 대한 사실적 묘사에 한하며, 이러한 요소들은 몇 가지로 구분 지을 수 있다. 먼저, 시각적인 사실적 표현을 들 수 있다. 시각적인 사실 표현에서 가장 중요한 부분은 기하학적인 묘사와 재질감 이다. 여기서 재질감은 색뿐만 아니라 재질이 가지고 있는 물리적인 촉감이 아닌 시각에 기반을 둔 특성만을 고려한다. 기하학적인 묘사는 CAD 모델로부터 얻어진 기하학 데이터를 바탕으로 한다. 그렇지만 재질에 대한 사실적 묘사는 매우 복잡한 물리학적이고 수학적이며 알고리즘적인 기법이 요구되는 복잡한 작업이다. 특히 조명조건을 포함한 다양한 환경 아래에서 사실감 있도록 표현하는 것은 매우 어

려운 작업이다. 제품의 평가에서 제일 중요한 부분중의 하나인 디자인의 심미성 평가는 주로 시각에 의존하기 때문에 시각적으로 사실적인 묘사는 제일 중요하다고 볼 수 있으며, 이에 대한 해결책은 컴퓨터 그래픽스 기술에서 찾을 있다.

사실적 묘사에서 또 다른 중요한 요소로 기능적인 사실성을 들 수 있다. 제품이 의도한 기능을 얼마나 잘 제공하는지를 평가하는 작업으로 현존하는 최신 기술을 이용해서 어느 정도 해결 할 수 있다. 다음으로 시각 이외의 감각에 대한 사실적 묘사이다. 시각 이외의 감각으로 촉각, 청각, 미각과 후각을 들 수 있으며, 현재의 컴퓨터 기술로 촉각과 청각에 대해서 어느 정도 사실에 가까운 느낌을 제공할 수 있다. 비록 많은 기술적 진보를 이루었지만, 촉각과 청각에 대해서 아직 그 중요성이 제대로 인식되고 있지 않으며, 미각과 후각에 대해서는 결음마 단계라고 볼 수 있다.

본 기사에서는 시각적 사실성을 추구하기 위해 필요한 이론 및 기술에 대해서 소개하고자 한다. 특히 재질에 대한 것 보다는 렌더링을 수행하는 이론 및 현재까지 소개된 방법들에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

보통 컴퓨터 그래픽스를 통한 화상이 디스플레이 장치에 보여지기 위해서 렌더링이라고 하는 연산단계를 거쳐야 하는데 이는 3차원의 모델객체들에 대한 조명 계산(색상, 음영, 반사, 굴절등)을 수행하여 2차원 투영평면에 카메라로 찍어내듯 하는 단계를 말한다. 조명 계산은 광원으로부터의 빛의 기여도를 직접 계산하는 방법인 직접조명(local illumination)과 광원 및 장면 전체에 분포하는 기하물체로부터의 직/간접적인 기여도를 모두 고려하여 계산하는 전역조명(global illumination)으로 크게 나눌 수 있다. 그림 1은 직접조명(왼쪽)과 전역조명(오른쪽)에 대한 예를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 직접조명으로만 렌더링한 결과는 밋밋하고 날카로운 것이 특징이지만 전역조명을 이용한 결과에는 좀 더 밝고 다양하고 복잡한 상호 반사 및 부드러운 그림자 등이 잘 반영되

어 있으며 시각적으로 훨씬 더 풍부하고 보다 사실적인 느낌을 주고 있다.

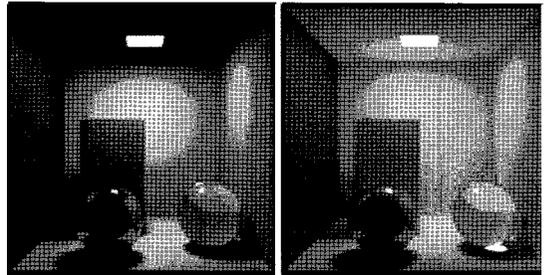


그림 1. 직접조명과 전역조명의 렌더링 결과 비교

렌더링 단계에서는 사실에 얼마나 가까운지에 따라 최종 결과물의 품질 및 그 응용성이 좌우 된다. 사실적인(photorealistic) 품질의 화상을 얻기 위해서는 전역조명 렌더링방법을 선택해야 하지만, 계산이 직접조명에 비해 월등히 복잡하므로 결과까지의 소요시간이 대단히 증가하게 되는 문제점이 있다. 이에 반해 직접조명은 사실성 측면에서 한계를 보이지만, 계산속도 면에서 우수하다. 각 방법의 이러한 장/단점을 바탕으로 사용되는 응용분야가 서로 다르다. 연산 시간에서 제약이 없고 극사실적 품질을 요구하는 전문 분야에는 전역조명 기술을 주로 사용하고 있으며, 실시간성이 요구되는 게임과 같은 분야에서는 사실성을 포기하는 대신 계산속도에 초점을 맞춘 방법을 사용한다. 그렇지만, 전역조명 기술은 아직까지 실시간성을 요구하는 분야에서만 한정적으로 사용하고 있으나, 점진적인 하드웨어의 발달로 보다 그 응용범위가 넓어지는 추세에 있다.

렌더링 방정식

실사적 영상은 물리적으로 정확한 전역조명을 계산해서 얻어 질 수 있다. 이를 계산하기 위한 방법은 컴퓨터 그래픽스 역사에서 비교적 늦은 1980년대 중반에 James Kajiya 등에 의해 최초로 제안되었는데, 전역조명의 풀이를 위한 이론적 토대인 '렌더링 방정식'

을 소개하였다[1]. 렌더링 방정식에는 위치와 방향에 관한 매개변수뿐만 아니라 시간, 빛의 파장(가시광선) 등이 지정되어야 하지만 이해를 위하여 다음과 같이 간략화 하여 나타내기로 한다.

$$L(x', \bar{\omega}') = \int_{\Omega} f(x', \bar{\omega} \rightarrow \bar{\omega}') L(x', \bar{\omega}) \cos \theta d\bar{\omega}$$

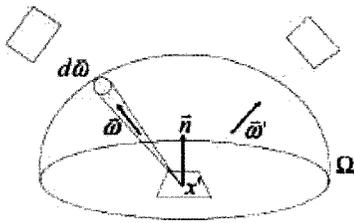


그림 2. 반사된 빛의 복사휘도

이 때 그림 2와 같이 한 점에서 반사된 빛의 복사 휘도는 한 점으로 조사되는 복사휘도들의 각 특정방향으로의 반사분포 기여도를 곱한 것을 반구위의 모든 방향에 똑같이 적용하여 더한 것이라고 볼 수 있다. 만약 반사된 빛의 복사 휘도가 영상좌표의 특정한 부분으로 들어오게 된다면 그 픽셀에 대한 색상 및 세기를 계산할 수 있다.

렌더링 방정식을 들여다보면 구하고자 하는 해답이 적분식 속에도 들어있는 데, 적분식이 비선형방정식으로 주어져 있기 때문에, 해석적인 방법으로 푸는 것은 거의 불가능하다. 따라서 몬테카를로 방법을 통한 수치적인 근사해를 구하는 것이 일반적인 접근법이다. 몬테카를로 방법을 이용하면 많은 매개변수를 가진 방정식의 근사해를 구하는 것이 불가능하지는 않다. 그러나, 해를 구하기 위한 일련의 과정들이 복잡하기 때문에 여러 조건에 맞는 가정들을 도입해서 항들을 단순화 할 수 있다. 즉, 구하고자 하는 특정 빛의 경로(예를 들자면 난반사 경로)나 빛이 진공상태에서 있어서 중간에 소실 혹은 유입되는 에너지가 없다고 가정

한다던가, 물체의 내부에서 산란현상들이 일어나지 않는다면가 하는 가정들을 생각할 수 있으며, 이를 통해, 복잡한 항, 예를 들면, 반사분포 기여도 함수를 단순화 시켜서 해를 쉽게 구할 수 있도록 할 수 있다.

2. 전역조명 기법 및 최근 동향

이 장에서는 현재 주로 쓰이고 있는 몇 가지 전역 조명 기법을 분류하고 소개한 후 각각의 현재기술 동향에 대해 살펴보기로 한다.

라디오시티 기법

라디오시티 기법은 오래 전에 소개 되었으나, 컴퓨터 그래픽스에서는 1980년대 중반에 도입 되어 쓰이기 시작했다 [6]. 이 기법은 그림 3과 같이 장면내의 모든 광원과 물체들을 패치로 세분화한 뒤에 패치와 패치간의 전체 반사광 기여도를 패치간의 거리와 시야차폐, 기울어진 각도등을 고려하여 폼팩터 행렬을 만든 후 라디오시티 방정식을 이용해 방사조도를 산출한다. 이 계산 후에는 렌더링시 시점에 상관없이 이미지의 생성이 가능한 특징을 가지고 있다. 이 점은 시점이 바뀔 때 마다 매번 경로를 새롭게 만들어야 하는 경로추적법과 대비되는 특징인데, 미리 나누어진 세분화의 정도에 따라 전처리 시간과 메모리 사용량이 크게 차이가 나고, 영상의 품질이 미리 결정되는 단점이 있다.

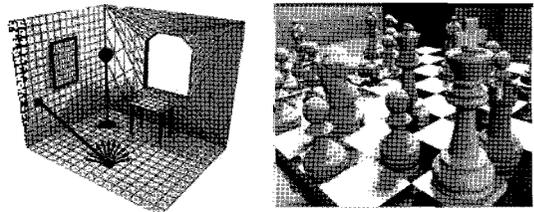


그림 3. 라디오시티의 패치를 이용한 전처리 과정 및 결과 화상



라디오시티법의 단점을 개선하기 위해 패치간의 명도가 급격히 변하는 곳에 차등을 두어 적응적으로 세분화 과정을 실시하는 적응적 라디오시티법 [7] 및 한정된 메모리 공간을 이용하여 세분화를 실시하는 점진적 라디오시티 [8] 등이 제안되었다. 그러나 이 방법들은 기본적으로 난반사 속성의 물체들을 다루므로 일반적이지 않고 특수한 상황에서 이용된다. 최근에는 VPL(가상 점광원)들을 이용한 즉각적인 라디오시티 [13]등도 고안되었다. 이와 더불어 하드웨어 가속을 이용하여 빠르게 라디오시티를 계산할 뿐만 아니라, 기존의 한계였던 다양한 재질감을 표현할 수 있도록 여러 가지 방법들이 소개되고 있는데 이것은 실제 렌더링 전에 적당한 품질의 렌더링 프리뷰를 제공하기 위한 용도로 주로 국한된다.

경로추적 기반 기법

본 방법은 대부분의 렌더러에서 적용하고 있으며 대표적인 예로 James Kajiya에 의해 제안된 방법을 들 수 있다 [1]. 먼저 이미지 평면에서 각 픽셀당 샘플 지점을 정하고 시점으로부터 그 샘플 위치에 대해 가상 광선을 투사하여 장면의 가장 가까운 교차점에서 광원이 보이는 지 계산한다. 그 다음, 그 계산된 교차점으로부터 불체가 가진 고유한 반사분포 특성을 이용하여 재귀적으로 2차 광선을 임의로 생성한다. 여기까지는 일반적인 광선추적법[2]과 같지만 경로추적법은 이와 더불어 난반사 경로등 모든 경로를 다발적이며 분산적으로 추적하는 것이 다른 점이다. 이렇게 생성된 광선을 통해 그림 4와 같이 사용자가 정해놓은 최대 경로까지 탐색 하여, 기여값을 계산하게 되는데 모든

하위 경로는 난수를 이용하여 생성한다.

경로추적법은 구현하기가 쉽고 값의 왜곡이 없어서 다양한 목적으로 사용되는 장점이 있지만, 노이즈에 취약하고 적당한 품질의 화상을 얻기 위해 굉장히 많은 샘플이 요구되므로 느린 것이 단점이다. 또한 광원의 경로가 대부분 차폐되어있는 경우 시점에서 발생된 샘플 광선이 최종 목적지인 광원까지 도착할 확률이 희박하므로 굉장히 비효율적이다. 이를 해결하기 위하여 Lafortune등[3]과 Veach등[4]이 시점 및 광원 모두로부터 기여도를 동시에 계산하고자 하는 양방향 경로추적법을 제안 하였다. 이 방법은 양방향에서 경로를 모두 구성하는 만큼 오버헤드가 큰 것이 단점이지만 어려운 경로를 처리하는데 이점이 있다. 위 두 방법은 모두 무작위 걷기(random walk) 경로 생성을 하기 때문에, 우연히 어려운 경로를 찾았다 할 지라도 그 주위에 비슷한 경로들을 효율적으로 탐색하기 어려운 점이 있다. MLT (Metropolis Light Transport)[5]는 원본 경로의 중요도에 따라 경로를 조금씩 변이(mutation)하는 방법을 통해 무작위 걷기 방법이 가진 문제를 해결하려고 하였다. MLT는 경로 샘플링 방법이므로 경로추적법과 양방향 경로추적법에 각각 적용될 수 있다. 경로추적 기반 전역조명 기술은 기본 골자가 꽤 오래되었지만 새로운 알고리즘이 10년이 넘도록 거의 발전되지 않고 있다. 그러나 기본적 골격의 간단한 및 병렬처리의 용이성으로 인하여 최근에 병렬가속화 기술을 적용한 공개/상용 소프트웨어 렌더러에 많이 탑재되고 있다. 특히 NVIDIA社は 그래픽스 하드웨어뿐만 아니라 GPU를 이용한 가속화 기술도 활발히 연구 개발하고 있는데 전역조명 알고리즘을 구현하기 용이하도록 개발 언어를 제공하고 있고, OptiX[®] 라이브러리 등을 제공하여 사용자가 손쉽게 렌더링 모듈을 제작할 수 있도록 하고 있다.

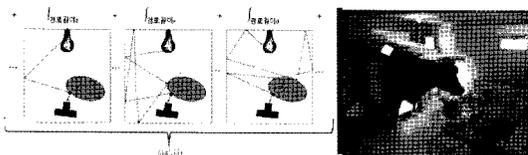


그림 4. 경로추적에서의 경로예시 및 결과 화상

포톤맵핑 기법

포톤매핑 (photon mapping)[9]은 근래에 가장 각광

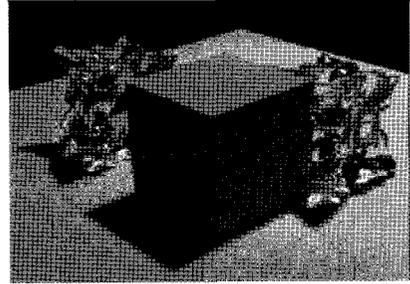
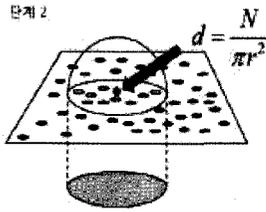
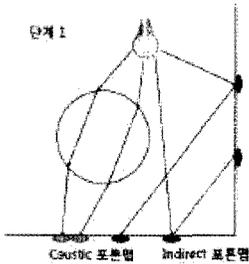


그림 5: 포톤맵핑의 단계와 결과 화상

받고 있는 전역조명 방법으로서 전처리 과정이 필요한 래디오시티의 특징과 광원과 시점에서 각각의 경로를 연결하는 양방향 경로추적법이 가지는 특징을 모두 포함하고 있다. 그림 5에서 설명된 바와 같이, 전처리 과정인 단계 1에서 광자(photon)를 광원으로부터 방사한 후 난반사 물체 표면 위에 포톤의 강도와 방향 그리고 교차점의 위치 등을 저장하게 되며 포톤 추적의 최대 깊이까지 이를 반복한다. 단계 2에서는 시점에서 깊이가 1인 광선을 한번씩만 사용하여 시점의 교차점 부근의 가까운 포톤들을 모아 시점 방향에 해당하는 방사휘도를 근사할 수 있는데, 이 때 지정된 반경을 선택하거나 탐색할 최대 포톤의 개수를 정하여 수행한다 (그림 5의 중간 참조).

그림 5의 오른쪽 사진에서 나타난 바와 같이, 이 방법은 특히 건물의 내부 장면 혹은 광원의 면적이 작은 경우나 유리 바닥 등에 생기는 커스틱 무늬(정반사 물체에서 반사되거나 굴절된 광선이 난반사 물체의 표면에 닿는 경우에 생기는 조명 집중현상)를 렌더링 하는데 굉장히 효율적이다. 다만 렌더링의 품질이 포톤의 개수에 비례하므로 메모리가 많이 필요하고 매끄러운 물체가 많은 장면에 대하여 비효율적인 측면이 있다.

최근에는 포톤맵핑의 메모리 한계를 극복한 점진적 포톤맵핑[10]이나, 매끄러운 물체나 렌즈효과등을 빠른 시간 내에 부드럽게 렌더링 할 수 있는 추계적 기법이 추가된 점진적 포톤맵핑[11]등이 소개되어서 대

용량의 포톤맵 없이 GPU등에서 병렬적으로 가속할 수 있게 되었다. 또한 MLT와 결합하여 보다 효율적으로 어려운 빛의 경로를 탐색하는 방법[12] 등이 추가되는 등 연구가 활발히 진행되고 있으므로 현재 여타 전역조명 방법보다 일반적으로 적용할 수 있는 범위가 점차 넓어지고 있다.

3. 결론

최근의 그래픽스 하드웨어 기술이 많이 진보하여 실사적인 영상 생성이 보다 용이해지고 있고 기존의 전역조명 방법들도 많은 진보를 거듭하고 있다. 그렇지만 각 방법마다 장/단점들이 분명히 존재하기 때문에 현재의 단계에서는 어느 한 가지 만으로는 모든 문제를 해결하기 어렵다. 따라서 추후에는 각기 다른 장점들을 가진 여러 가지 방법을 조합하여 지능적으로 전역조명 문제를 풀 수 있는 알고리즘이 더 많이 개발될 것으로 판단한다. 또한 2차원 화상에서 더 나아가 3차원 디스플레이를 위한 입체적 전역조명 기술도 향후 발전성이 있으리라 전망하며, 이 기술들이 CAD와 접목되어서 제품의 디자인에 대한 가상 품질 수준을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.



참고문헌

1. Kajiya, J. T. The rendering equation. SIGGRAPH Comput. Graph. 20 (August 1986), 143-150.
2. Whitted, T. An improved illumination model for shaded display. Commun. ACM 23 (June 1980), 343-349.
3. Lafortune, Eric P.; Willems, Yves. Bi-directional path tracing. Compugraphics '93, Alvor, Portugal, Compugraphics '93, pages 145-153, 1993.
4. Veach, E., and Guibas, L. J. 1994. Bidirectional estimators for light transport. In Photorealistic Rendering Techniques (Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering), 147-162.
5. Veach, E., and Guibas, L. J. 1997. Metropolis light transport. In proceedings of SIGGRAPH 97, 65-76.
6. Goral, C. M., Torrance, K. E., Greenberg, D. P., and Battaile, B. Modeling the interaction of light between diffuse surfaces. SIGGRAPH Comput. Graph. 18 (January 1984), 213-222.
7. Campbell, III, A. T., and Fussell, D. S. Adaptive mesh generation for global diffuse illumination. SIGGRAPH Comput. Graph. 24 (September 1990), 155-164.
8. Cohen, M. F., and Greenberg, D. P. The hemi-cube: a radiosity solution for complex environments. SIGGRAPH Comput. Graph. 19 (July 1985), 31-40.
9. Jensen, H. W. Global illumination using photon maps. In Proceedings of the eurographics workshop on Rendering techniques '96 (London, UK, 1996). Springer-Verlag, pp. 21-30.
10. Hachisuka, T., Ogaki, S., and Jensen, H. W. Progressive photon mapping. ACM Trans. Graph. 27 (December 2008), 130:1-130:8.
11. Hachisuka, T., and Jensen, H. W. Stochastic progressive photon mapping. ACM Trans. Graph. 28 (December 2009), 141:1-141:8.
12. Hachisuka, T., and Jensen, H. W. Robust adaptive photon tracing using photon path visibility. In ACM ACM Trans. Graph. In press. (New York, NY, USA, 2011)
13. Keller, Alexander. Instant radiosity. In proceedings of SIGGRAPH 97. 45-56.