

컴퓨터 그래픽스의 모델링 및 렌더링 기술동향

류승택* · 김성예** · 윤경현***

1. 서론

사람의 인식체계를 보면 문자보다는 영상이 빠른 의미전달을 도와주며 WYSIWYG(What You See Is What You Get)의 패러다임에서 보듯이 영상정보가 정보전달에 중요한 수단으로 등장하였다. 영상정보 생성의 수단으로서 초기의 컴퓨터 그래픽스는 미사일 궤도 표시, 레이더 화면 표시 등 군사적 용도로 사용되었으나 막대 그래프나 원 그래프와 같이 수치 데이터를 그래프로 표현하는 상용 목적으로 일반에 사용되기 시작하였다. 최근에는 컴퓨터 그래픽스 기술이 가상이나 자연 현상을 복잡한 데이터의 집합으로 표현하는데 사용되고 있다.

컴퓨터 그래픽스란 컴퓨터의 도움으로 영상을 창조(Creation)하고, 조작(Manipulation)하고, 저장(Storing)하고, 표현(Display)하는 것을 포함하는 영상 입출력 기술을 말한다.

전통적인 방법의 컴퓨터 그래픽스는 크게 모델링, 렌더링, 애니메이션, 영상합성으로 나눌 수 있다(그림 1). 3차원 물체를 표현하기 위해서는 3차원 물체의 형상을 모델링하는 단계가 필요하다. 모델링된 물체에 자연 환경에서 발생하는 모든

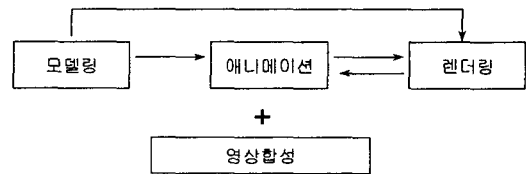


그림 1. 컴퓨터 그래픽스의 구성

효과를 표현하도록 렌더링 단계를 거친다. 이러한 모델을 시간에 따라 변화를 주는 애니메이션 단계를 거쳐 물체의 움직임을 표현할 수 있다.

이렇게 생성된 컴퓨터 생성 영상과 실제 영상을 자연스럽게 조화시키기 위해서는 영상 합성 단계가 필요하다.

본 기술동향에서는 대표적인 컴퓨터 그래픽스의 모델링 및 렌더링 기술을 간략하게 살펴보고 최근에 대두되고 있는 새로운 모델링 및 렌더링 기술들에 대해 알아본다.

2. 모델링 기술

모델링은 컴퓨터 그래픽스를 통해 영상을 구성하는 물체들의 외형적 형태를 정의하고 생성하는 단계이다. 초기의 모델링 기법은 구, 육면체, 사면체, 평면등의 기하학적인 프리미티브를 기반으로 물체를 표현하였다. 단순한 프리미티브들의 조합으로 물체를 정교하고 사실적으로 표현하는데 많은 어려움이 있었다. 특히 대부분의 물체들이 부

* 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수
 ** 한국 전자 통신 연구소, VR research Center 연구원
 *** 중앙대학교 컴퓨터 공학과 교수

드러운 곡면으로 구성되어 있기 때문에 이를 생성하기 어려웠다. 또한, 실제로 존재하는 물체들을 컴퓨터로 구현하고자 할 때에 실제물체들의 형태 정보를 정확하게 추출하는 것은 매우 어려운 일이므로 모델링하고자 하는 물체의 특징을 결정짓는 정보를 바탕으로 대상 물체를 생성하는 모델 기법이 발전되었다.

이러한 기술들은 표현방법에 따라 미처리 데이터(Raw data), 곡면(Surfaces), 솔리드(Solids), 고수준 구조(High-level structure)로 나눌 수 있다. 미처리 데이터란 물체를 비구조적인 3차원 포인트의 집합으로 표현하는 것을 말한다. 포인트간의 연관관계는 고려하지 않으므로 가장 기본적인 표현방법이라 할 수 있다. 곡면이란 포인트들 간의 연관관계를 고려하여 부드러운 면을 생성하는 방법을 말한다. 곡면으로 물체를 표현하는 방법으로는 메쉬(Mesh), 분할 곡면(Subdivision Surface), 매개변수를 이용한 곡면(Parametric Surface), 함축적 곡면(Implicit Surface) 생성 방법등이 있다.

미처리 데이터와 곡면에 의한 물체 표현방법은 물체의 외곽에 중점을 두어 표현하는 방법(Boundary Representation)이다. 솔리드 모델링은 물체의 외곽뿐만 아니라 내부에 대해 표현하는 방법을 말한다. 이러한 방법으로는 복셀(Voxels), 8진트리(Octree), BSP 트리등이 있다. 지금까지 설명한 모델링 방법을 이용하여 고수준 구조물(high-level structures)을 구성할 수 있다. 여기에 해당하는 방법으로는 CSG(Constructive Solid Geometry), 제약적 블록(Constrained Block), 뼈대(Skeleton), 스위프(Sweep), 신 그래프(Scene Graph) 등이 있다.

각 모델링 방법에 대해 자세한 내용은 다음절에서부터 차례로 설명하도록 하겠다. 또한, 이러한 모델링 방법 이외의 고급 모델링 기법에 대해 마지막 절에서 다루도록 하겠다.

2.1 미처리 데이터(Raw Data)

일반적으로, 3차원 물체는 곡면들로 나누어지고 곡면은 다각형으로, 다각형은 선분 단위로 다시 점들로 나누어진다(그림 2). 미처리 데이터는 가장 기본적인 단위가 되는 포인트만을 가지고 물체를 표현한다. 이러한 표현방법을 가지고 물체를 표현하기 위해서는 조밀하게 분포된 점들의 집합이 필요하다. 레인지 파인더(Range finder)에 의해 실세계에 있는 물체에 대한 점들의 집단을 얻을 수 있다. 이러한 점들의 집합을 레인지 영상(Range Image)라고 한다. 전통적인 컴퓨터 그래픽스에서는 이러한 점들의 집합을 다각형화하여 사용한다(그림 3). 최근에는 이러한 점들의 집합만을 가지고 물체를 렌더링하는 포인트 샘플 렌더링 기술이 발표되었다. 이에 대해서는 다음장인 렌더링 기술에서 자세히 다루도록 하겠다.

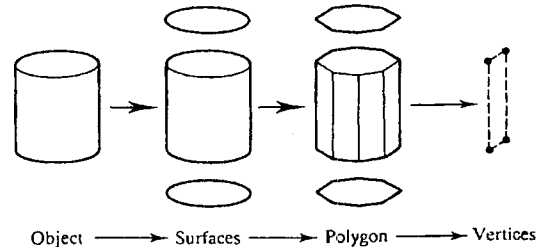


그림 2. 모델의 계층적 구조(참조 (1))

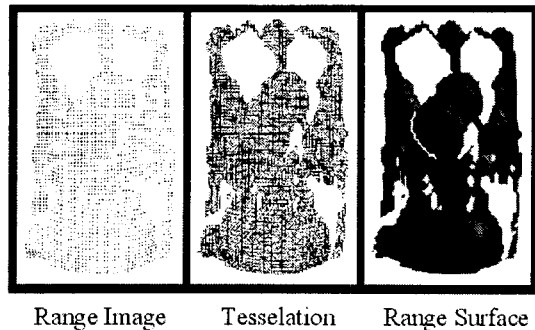
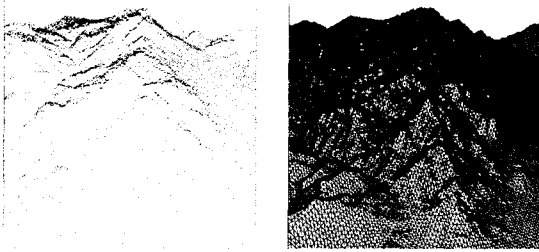


그림 3. 레인지 이미지(참조 (2))

2.2 다각형 표현 (Polygonal Representation)

컴퓨터 그래픽스에서 가장 보편적으로 사용하는 3차원 모델링 방법은 다각형 표현방법이다. 일반적으로 기본 모델링 프리미티브로 물체의 위상 (topology)을 유지하는 삼각형을 사용한다. 삼각형은 면을 이루는 가장 하위 단위이며 삼각형을 이루는 선분을 이용하여 쉽게 면의 노말을 구할 수 있다. 삼각형으로 구성되지 않은 다각형들은 삼각형으로 다시 세분화되어 물체를 표현한다. 다각형의 연결된 집합을 메쉬(Mesh)라고 한다(그림 4).

물체를 상세하게 표현하기 위해서는 조밀한 다각형의 그물망으로 표현해야한다. 그러나 많은수의 다각형들은 렌더링을 위해 높은 비용이 든다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 물체의 위상 기하학을 유지하며 불필요한 다각형들을 통합하거나 제거하는 상세도 단계(LODs)방법이 필요



(a) 포인트 (b) 삼각형화

그림 4. 다각형에 의한 지형 표현

하다(그림 5).

2.3 매개변수에 의한 곡면 표현

다각형을 기반 물체 모델링은 생성할 수 있는 형태에 제약이 따른다. 특히 복잡한 형태의 모델을 생성하기에는 많은 어려움이 있다. 보다 세밀하고 정확한 3차원 곡면을 모델링하기 위해서는 매개변수를 이용하여 물체의 표면을 생성하는 방법이 필요하다. 이러한 곡면은 패치(patch)들로 구성 된다. 곡면의 모양은 조절점(control point)에 의해 조절되어 질 수 있다. 곡면을 생성하기 위해 사용되는 방법으로는 허미트(Hermite), 비지어(Bezier), 바이큐빅(Bicubic), B-스플라인(B-spline) 곡면, NURBS등이 있다. 렌더링시 생성된 곡면을 필요에 알맞은 삼각형들의 집합으로 바

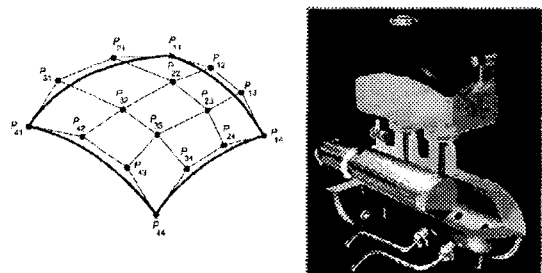
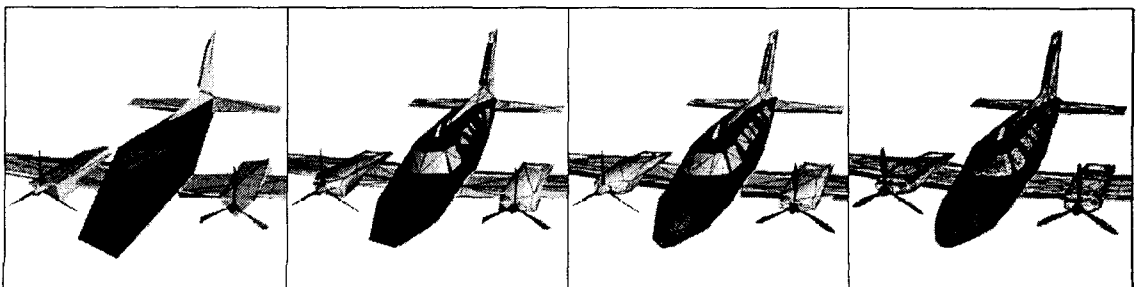


그림 6. Parametric Surface (참조 [4])



(a) Base mesh M^0 (150 faces) (b) Mesh M^{175} (500 faces) (c) Mesh M^{225} (1,000 faces) (d) Original $M=M^0$ (13,546 faces)

그림 5. 점진적 메쉬 (참조 [3])

독판 모양으로 세분화하여 사용한다. 매개변수에 의한 곡면 생성 방법은 세분화된 모델을 표현할 수 있어 좋은 렌더링 결과를 얻어낼 수 있으나 계산하는데 많은 비용이 든다. 이러한 이유로 대부분의 3차원 모델링 상용 프로그램들은 물체를 다각형 표현방법으로 모델링한다.

2.4 곡면 분할(Subdivision Surface)

곡면 분할 방법은 임의의 우상을 갖은 메쉬로부터 부드럽고 연속적이며 흠집없는 곡면을 정의하는 방법을 말한다(그림 7). 이 방법은 곡면 표현 방법이 간단하고 원하는 양의 다각형으로 구성된 모델을 생성할 수 있다. 또한, 분할 규칙이 간단하며 구현하기 쉽다.

분할 곡면을 생성하기 위해서는 정제 단계(refinement phase)와 평탄화 단계(smoothing phase)가 필요하다. 먼저, 조절 메쉬(control mesh)라고 불리는 기본 다각형 메쉬로부터 출발한다. 정제 단계에서는 기본 메쉬에 새로운 점을 추가하여 기본 메쉬보다 작은 새로운 삼각형들을 생성하여 연결한다. 이렇게 정제된 모델은 평탄화 단계에서 각 점들의 새로운 위치를 계산하여 부드러운 곡면을 생성한다(그림 8).

2.5 함축적 표면(Implicit Surface)

함축적 표면 모델은 굉장히 다양한 범위의 표

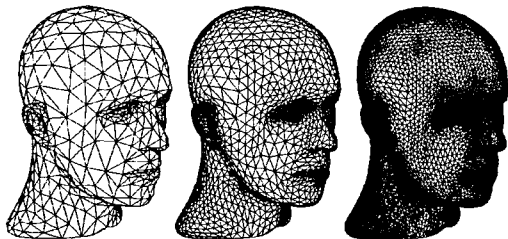


그림 7. Subdivision Surface (참조 [5])

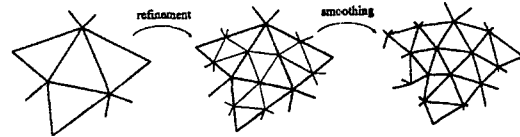


그림 8. 분할 곡면의 생성단계 (참조 [6])

면 모델을 포함한다. 함축적 표면은 3차원 공간에서 임의의 점에 대해 주어진 함수로부터의 값으로 정의된다. 이때 정의된 함수 f 는 3차원 공간내의 세가지 (x,y,z) 스칼라값 (R^3) 으로부터 $f:R^3 \rightarrow R$ 와 같이 하나의 스칼라값을 할당하게 된다. 따라서 임의의 함수가 정의되면 3차원 공간내의 모든점은 하나의 스칼라값으로 대응되며, 이때의 스칼라값이 0인 곳을 표면으로 정의하게 되는 것이다. 즉 함축적 표면은

$$P \equiv (X, Y, Z) \in R^3 \text{ 일 때 } f(P) = 0$$

을 만족하는 모든 점들의 집합을 말한다.

함축적 표면 기법은 흔히 Blinn에 의해 1982년에 블럽 모델(blobby model)이라는 개념이 최초로 소개되었다. 그는 분자 모델링을 위해 이 기법을 사용하였는데 모델링 과정에서 분자간에 자연스러운 전자 밀도 구름이 형성된다는 것을 발견하였다. 따라서 이전에 단순한 형태의 구와 원기둥만으로 표현되던 것이 실제의 분자 모델링과는 거리가 있다는 것을 착안하여 새로운 분자 모델링 기법으로서 블럽 물체를 정의하게 되었다. 이것은 분자 내부의 각 원자들의 연결이 일정한 형태로 이루어지는 것이 아니라 주변 원자의 존재 여부와 거리에 따라 그 형태가 달라지는 성질을 표현하였다. 이렇게 해서 생성된 동위 표면, 즉 동일한 전자 밀도값을 갖는 표면들을 표현함으로써 더 복잡한 형태의 물체를 표현하였다.

1985년 Nishimura는 Blinn이 분자 모델링을 위해 복잡한 지수함수식을 사용했던 것을 단순화시

켜 구간별 2차 다항식을 사용하여 모델링하였다 [7]. 또한 Nishimura는 독자적으로 이러한 모델을 개발하였으며 이것을 특히 “메타볼(metaball)이라 명명하였다(그림 9-a). 1986년 Wyvill이 새로운 모델을 제안하였으며 이것은 기존의 Blinn의 모델이나 Nishimura의 모델과 같은 개념의 동위 표면 모델이었다[8]. 이 모델은 대부분이 기존과 같고, 주어진 점 프리미티브에 대한 근접에 따른 간단한 분포함수를 제안했다는 점이 새롭다. Wyvill 역시 자신이 개발한 모델을 “소프트 오브젝트”라고 정의하고 이 모델에 대한 개발을 계속하였다. 소프트 오브젝트는 기존의 연구와는 달리 프리미티브로서 구만을 사용한 것이 아니라 점, 선, 면 등의 다각형을 프리미티브로서 활용하였고 이것들을 “뼈대”라 정의하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 함축적 표면 모델의 장점은 적은 양의 데이터로 물체를 잘 표현할 수 있으므로 복잡한 곡면 모델링에 널리 사용할 수 있다는 것이다. 또한 부드러운 형태의 변형이 가능하며 애니메이션, 인체, 유체 등과 같은 모델링에 유용하다(그림 9-b).

2.6 공간 분할(Space Subdivision)

공간 분할 방법은 공간을 작은 단위로 분할하고 분할된 공간에 물체가 있는지를 없는지를 표시

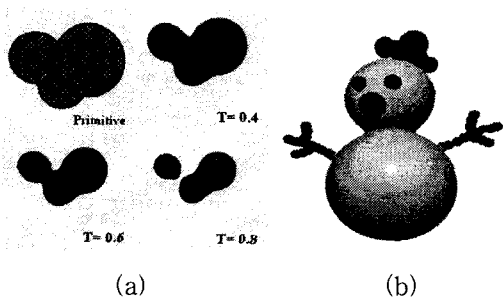


그림 9. 함축적 표면 모델 생성

하는 방법을 말한다. 이러한 방법중 가장 단순한 모델링이 복셀(Voxel)에 의한 물체 표현방법이다. 공간을 일정한 크기의 정육면체의 복셀로 나누고 각 복셀에 대한 특성을 표시하는 방법이다(그림 10). 이 방법은 높은 저장공간이 필요하다는 단점을 갖는다. 대표적인 공간 분할 방법으로는 8진 트리(Octrees) 방법과 BSP(Binary Space partitioning) 트리 방법이 있다.

2.6.1 8진 트리(Octrees)

8진트리 방법은 복셀에 의한 표현 방법과 유사하나 계층적 구조를 가지고 있다. 자세히 설명하면, 원래의 육면체 볼륨 공간이 비워있다면 그 공간을 그 상태로 놓아두고 그공간이 물체로 채워져 있다면 8개의 하부 복셀로 분할한다. 이러한 작업을 공간이 비어질때까지, 최소의 크기를 가질때까지 재귀적으로 반복한다. 그림 11은 8진 트리의 사용한 예를 보여주고 있다.

2.6.2 BSP 트리

BSP(Binary Space Partitioning) 트리는 n차원

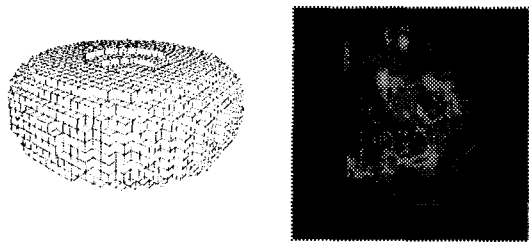


그림 10. 복셀에 의한 물체 표현 (참조 [4])

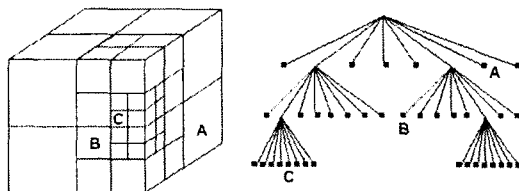


그림 11. 8진 트리의 구조

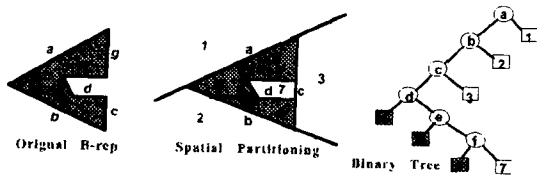


그림 12. BSP 트리 (참조 (9))

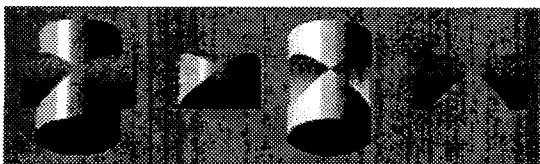
의 공간을 재귀적이고 계층적인 블록한 하위공간으로 분할하는 방법을 말한다. BSP 트리는 하위공간의 내부를 가로지르는 임의의 hyperplane에 의해 공간을 두 개의 새로운 하위 공간으로 분할하고 이러한 과정을 하위 공간에 재귀적으로 적용하여 생성한다.

n 차원 공간에서의 hyperplane이란 공간을 두 개의 이분된 공간으로 나눌 수 있는 n-1 차원의 물체를 말한다. 예를 들어, 3차원 공간에서의 hyper plane은 평면을 말하고, 2차원 공간에서는 직선이 사용된다.

BSP 트리는 뛰어난 정렬과 분류 구조를 가지고 있어 다방면에 매우 유용하다. 이 방법은 은면 제거와 광선 추적법에서부터 솔리드 모델링 및 로봇 운동 계획까지 두루 사용되고 있다.

2.7 CSG

CSG(Constructive Solid Model)는 솔리드 특성을 갖는 기본 프리미티브들을 불린(Boolean) 연산(합, 차, 교집합)을 사용하여 좀 더 복잡한 솔리드 모델들을 생성하는 방법을 말한다(그림 13).



(왼쪽부터: $A \cup B$, $A \cap B$, $A - B$, $B - A$)

그림 13. CSG 연산 (참조 (10))

이렇게 생성된 물체는 트리 구조로 저장된다. 중간 노드에는 불린 연산이나 3차원 변환을 저장하고 리프 노드에서는 물체를 구성하는 기본 프리미티브를 저장한다. CSG 연산을 계층적으로 적용하는 것에 의해 간단한 기본 프리미티브로부터 복잡한 물체를 생성할 수 있다(그림 14).

2.8 절차적 모델(Procedural Model)

자연물을 모델링하는데 있어서는 기존의 모델링 방법들은 복잡한 자연물을 표현하는데는 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 등장한 것이 절차적인 모델링 기법으로 프랙탈 모델링(Fractal Modeling), 파티클 시스템(Particle System), 문법기반 모델링(Grammar Based Modeling) 등이 있다. 절차적인 모델링 기법들은 기존의 방법과 같이 물체의 모양을 있는 그대로 모델링하여 표현하는 것이 아니라 물체의 생성 정보를 프로그램 코드 자체에 포함시킴으로써 물체를 표현하는 것이다.

이러한 방법중 하나인 파티클 시스템은 불, 물, 구름과 같은 퍼지 물체(Fuzzy Object)를 모델링하는 수단이다. 현재 컴퓨터 이미지 합성 기술로는 불, 물 같은 현상을 모델링하는 것은 어렵다. 이러한 퍼지 물체는 불규칙적이고, 복잡하고, 잘 정의할 수 없는 표면을 갖고 있다. 또 그것들은 역동적이고 유동적인 변화들에 관심을 갖고 있다.

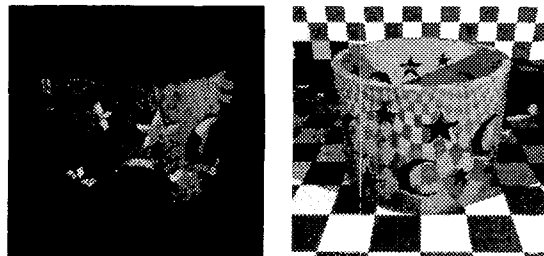


그림 14. CSG 모델 (참조 (4))

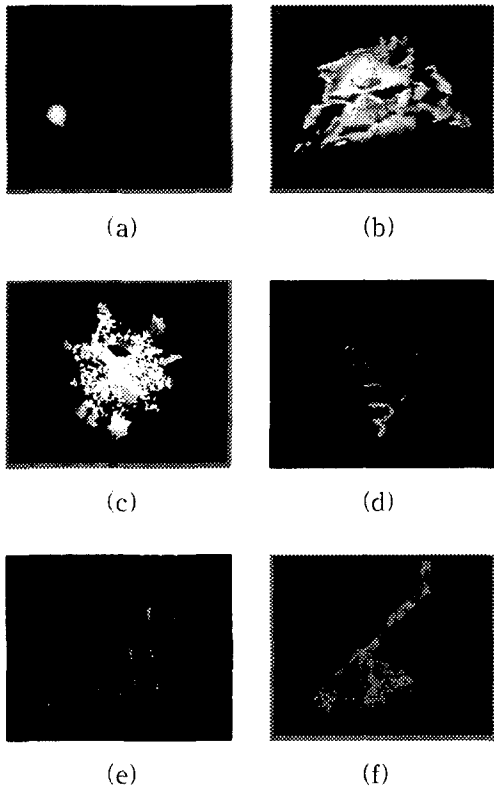


그림 15. 다양한 형태의 파티클 시스템

그것들은 단단한 물체도 아니고 움직임을 일반적인 컴퓨터 그래픽스에서 간단하게 결합된 변형에 의한 표현도 할 수 없다. 파티클 시스템은 기본적으로 다음의 세가지 관점에 의하여 이미지 합성에서 보통 사용되는 표현 방법과 다르다고 볼 수 있다.

첫째, 물체는 다각형이나 그것의 경계를 정의하는 파편처럼 일련의 기본적인 표면 요소로 표현되지 않고 그것의 부피를 정의하는 원시적인 입자들로 표현된다. 둘째, 파티클 시스템은 정적인 실체가 아니고, 그 입자들은 시간의 경과에 따라 형태가 변화하고 움직인다. 새 입자는 생성되고 오래된 입자들은 소멸한다. 셋째, 파티클 시스템에 의해 정의된 물체는 그것의 모양, 형태가 완벽히 특징 지워지지 않아서 결정적이지 않다. 대신 확률적 과정이 객체의 모양과 외양을 생성하고 변화

하는데 사용된다.

아래의 그림들은 다양한 형태의 파티클 시스템을 보여주고 있다. (a)는 불꽃을 모델링 한 그림이고 (b)는 비행기의 폭발 장면, (c)구의 폭발 장면, (d)는 입자들이 나선형의 형태로 뿌려지는 장면, (e)는 비 내리는 장면, (f)는 입자의 흐름을 표현하고 있다.

2.9 물리 기반 모델링

주로 자연공학 및 공학분야의 수치해석 시뮬레이션의 방법론에서 출발한 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법(physically-based modelling)은 자연 현상을 지배하는 일련의 물리법칙 또는 경험적인 법칙들을 컴퓨터 프로그램화하여 주어진 초기 및 경계조건에 대해 그 법칙을 만족하는 해를 구하여 이를 가시화 하는 방법이라고 정의할 수 있다.

이 방법의 장점은 그 결과가 매우 사실적이며 자연스럽다는 것이다. 제작된 애니메이션의 직관 및 예술적 감각에 크게 좌우되는 키프레임 애니메이션에 비해, 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션의 경우에는 적절한 조건을 부여하는 것만으로 사실적인 형태 및 움직임을 얻을 수 있다. 또한 물리법칙에 대한 프로그램화가 끝난 후에는 입력조건을 변화시키는 것만으로 다양한 결과를 손쉽게 얻을 수 있다는 것도 큰 장점이다. 다만 이 방식에 의한 애니메이션을 생성하기 위해서는 물리 법칙에 대한 깊은 이해가 필수적이며, 한편으로 실제보다 과장된 움직임을 만들고자 하는 경우와 같이 제작자의 구체적인 개입이 필요한 경우에 대응하기 어렵다는 문제점이 있다.

2.10 영상 기반 모델링

전통적인 컴퓨터 그래픽스 모델링 과정에서는 정교한 모델을 만들기 위해 많은 시간과 비용을

들여 많은 수의 다각형 모델을 구성한다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법중의 하나가 영상 기반 모델링이다. 영상 기반 모델링은 영상들의 집합으로부터 특징들을 추출하여 기하 정보를 복원하여 3차원 모델을 생성하여 렌더링을 수행하는 방법을 말한다(그림 16). 영상 기반 모델링 방법에는 사진 계측(photogrammetric) 기반 모델링 방법[11], 매칭 알고리즘을 통해 구해진 디스페리티(disparity)를 이용한 모델링 방법[12,13], 소실점을 이용한 환경 모델링 방법[14]등이 있다. 디스페리티를 이용한 방법은 자세한 3차원 모델을 구성할 수 있으나 스테레오 영상이 필요하며 영상에서 일치점을 찾기 위해 높은 비용을 들여야하는 문제를 가지고 있다. 소실점 기반 방법은 소실점 기반으로 손쉽게 환경을 모델링할 수 있으나 개략적인 모델만을 구성하므로 상세한 환경 표현이 어렵다. 사진 계측 기반 모델링 방법은 원시 모델을 기반으로 구성된 물체들의 연관 관계에 의해 점차적으로 상세한 3차원 환경 모델을 구성할 수 있으나 환경맵에 적용시 영상의 변형으로 인해 영상에서의 물체와 프리미티브를 매칭하기 어렵다.



그림 16. 영상 분할 기반 모델링 (참조 [15])

3. 렌더링 기술

렌더링을 위한 첫 번째 단계는 물체의 형상을 선구조로 생성해야 하며, 완성된 기하학적 형상에 다음과 같은 알고리즘이 적용된다.

- 빛과 물체의 관계로부터 물체 표면의 밝기, 빛의 반사 및 굴절 효과 등을 처리하는 광선

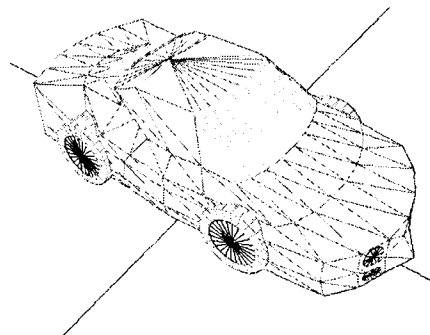
추적법

- 빛의 성질로부터 물체의 광도를 계산하는 셰이딩 알고리즘
- 빛과 물체의 관계에서 발생하는 그림자 생성 알고리즘

이와 같은 기본적인 렌더링 알고리즘은 각 시기별로 다른 중요성을 가지고 각각 발전해 왔으며, 렌더링의 비용을 줄이기 위한 노력에서 영상 기반 렌더링이라는 분야도 발전되었다. 이 장에서는 현재까지 그래픽스 분야에서 연구되고 있는 렌더링 기법들 즉, 선구조 기법, 셰이딩 기법, 텍스처 매핑, 그림자 생성, 광선추적법과 래디오시티, 볼륨 렌더링, 포인트 샘플 렌더링, 영상기반 렌더링, 비사실적 렌더링에 대해서 알아본다.

3.1 선구조 기법 (Wireframe)

선구조 기법은 렌더링 기법 중에서 가장 기본적인 방법으로 60년대 중반부터 70년대 초까지 활발히 연구가 되었다. 이 기법은 사실감있는 영상을 생성하기보다는 모델의 구조를 파악하는데 사용된다. 또한 앞에서 설명한 은선/면 제거 알고리즘을 추가하여 좀더 사실감을 추가할 수도 있다 (그림 17)



〈그림 17〉 모델의 선구조 형상

3.2 텍스처 매핑 (Texture mapping)

다각형이나 곡면으로 구성된 선구조 형상에 대해 광선 추적법이나 셰이딩 알고리즘을 적용하여 물체의 사실감을 나타낼 수 있다. 그러나 형상화하고자 하는 물체의 표면이 오렌지 껍질이나 축구공의 가죽감, 머리카락의 가닥, 곰인형의 털실과 같은 미세한 무늬나 재질의 특성을 갖는다고 할 때 기존의 렌더링 기법으로는 그 효과를 충분히 표현할 수 없다. 텍스처란, 텍스처 맵이라고도 불리우며 물체 표면의 부드러움, 거침, 빛남, 투명함과 같은 질감을 나타내기 위한 무늬를 말한다 [16]. 텍스처 맵은 래스터 스크린의 픽셀 개념과 같은 텍셀(Texture)이라 불리우는 색상요소로 이루어지며, 보통 2차원의 (u, v)좌표로 정의된다. 일반적으로 텍스처 매핑이라 하면 (u, v) 2차원으로 정의된 텍스처 맵을 다각형 또는 곡면으로 구성된 3차원 물체의 표면으로 투영시킴으로써 물체의 사실감을 증가시키는 기법을 말하며, 물체의 표면이 부드러운 재질일 때 많이 쓰이는 기법이다. 반면에 물체의 표면이 거친 특성을 갖는 경우에는 물체 표면의 법선 벡터를 교란시켜서 매핑시키는 Blinn의 범프 매핑(Bump mapping) 기법이 사용된다[17]. 표 1은 텍스처 알고리즘의 종류를 보여준다. 그림 18은 범프 매핑과 일반적인 텍스처 매핑의 결과 영상이다. 특히, 범프 매핑은 거친 표면을 표현할 때는 그림에서와 같이 일반적인 렌더링 기법보다 더 훌륭한 결과 영상을 생성한다.

3.3 그림자 생성 (Shadow generation)

그림자는 그래픽스의 사실감을 표현하는데 매우 중요한 역할을 담당한다. 즉, 3차원 물체가 그림자의 모양으로부터 어디에 위치하는가 하는 위치 정보를 인식할 수 있으며, 광원의 위치 변화에

표 1. 텍스처 매핑 알고리즘의 연구

연구방법	연구자	특징
Surface color mapping	Catmull	Wall paper 기법
Environment mapping	Blinn	조명, 반사 표현
Bump mapping	Blinn Perlin	노말 벡터의 교란
Transparency mapping	Gardner	구름, etching, 유리표현
Frame mapping	Kayjiya	머리카락, 털실 등의 표면 처리
Tow-part mapping	Bier Sloan	1 : 단순한 물체에 매핑 2 : 실제 물체에 매핑

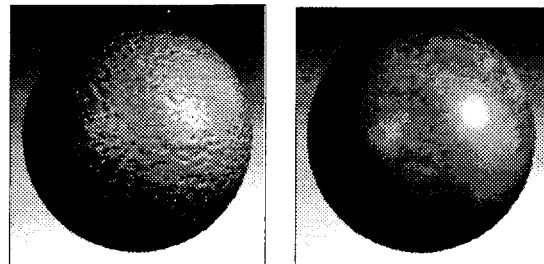


그림 18. 텍스처 매핑의 결과 영상

따른 그림자의 효과가 주변에 위치한 다른 물체에 어떠한 영향을 미치는가를 시뮬레이션 함으로써, 건축물 설계 시 발생할 수 있는 일조권 대한 해결책을 제시해 줄 수 있다. 그림자 생성을 위한 알고리즘의 종류는 표 2에서 보여주고 있다.

그림자는 물체 자신에 의해 가려져 생기는 섀프 웨도우와 광원으로부터 빛을 차단하여 바닥에 생성되는 프로젝트드 웨도우로 구분되며, 프로젝트드 웨도우는 광원의 성질에 따라서 음영(Umbra)과 반음영(Penumbra)으로 나뉜다[18]. 그림 19은 광선추적법을 이용하여 물체의 그림자를 생성한 영상을 보여준다.

표 2. 그림자 생성 알고리즘의 연구

연구방법	연구자	특징
스캔라인 은면 제거 알고리즘과 통합	Appel Bouknight & Kelly	스캔 라인에 의한 은면 제거알고리즘
쉐도우 볼륨	Crow(1977)	View 볼륨과 교차하는 light 볼륨 생성
변환과 절단에 기반한 기법	Atherton et al.	object spacing clipping
Z-버퍼 쉐도우	William, Butman, Badler	곡면에 대한 Z-버퍼 알고리즘
광선추적법에 의한 기법	T. Whitted	Reflection 이용
라디오시티에 의한 기법	M. Cohen & D. Greenberg	Hemicube이용

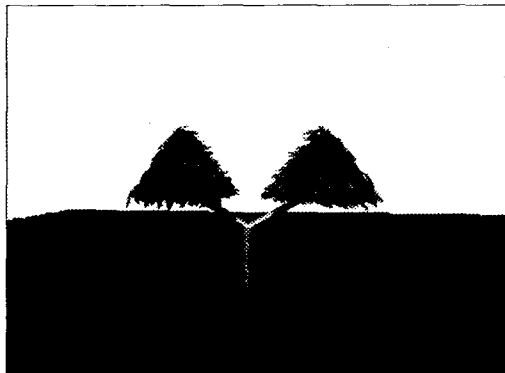


그림 19. 트리에 대한 그림자 생성

3.4 광선 추적법 (Ray Tracing)

광선 추적법(Ray Tracing)은 1968년 Appel에 의해 제안된 레이 캐스팅(Ray Casting)에 기반을 두고 있다. Appel이 제안한 개념은 그림 20과 같이 인간이 물체를 볼 수 있는 것은 물체에서 반사된 빛을 감지함으로써 물체를 인식하지만, 물체에 반사된 빛이 관찰자의 눈으로까지 도달하는 경로

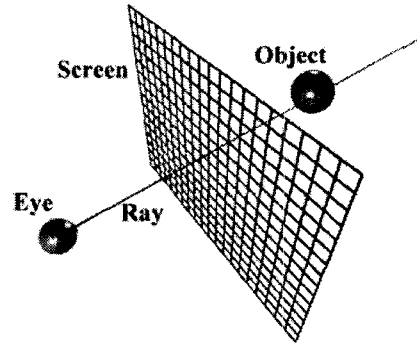


그림 20. Ray Casting

를 추적하는 것은 불가능하므로 관찰자로부터 물체까지, 그리고 물체에서 광원까지의 경로를 역으로 추적하는 것이다. 초기에는 관찰자의 위치에서 보이는 부분만을 결정하는 은선/면 제거를 위한 알고리즘으로 사용되었기 때문에 단순 광선 추적법이라 하였다.

단순 광선 추적법은 물체의 가시성만을 결정하여 물체의 밝기를 계산하기 때문에 은선/면 처리와 불투명 물체의 명암을 표현하는 데에는 매우 효과적인 방법이다. 그러나 유리잔과 같이 빛의 굴절 효과를 갖는 투명 물체 및 빛의 반사에 의하여 주변의 물체가 투영되는 광택 물체에 대해서는 처리하지 못하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 80년에 Whitted는 기존의 단순 광선 추적법에 전역 조명 모델(Global Illumination model)을 접목함으로써, 형상화하고자 하는 물체의 명암, 그림자, 투명한 물체에서의 반사와 굴절 등 자연현상의 모든 효과를 완벽하게 처리할 수 있는 재귀적 광선 추적법(Recursive Ray Tracing)을 제안하였다.

3.4.1 재귀적 광선 추적법

그림 21에의 재귀적 광선 추적법에서 관찰자로부터 생성된 시선광선을 1차 광선라 하고 반사, 굴절된 광선들을 2차 광선라고 한다. 즉, 하나의

1차 광선이 물체를 만나면 그 교점을 중심으로 2차 광선인 반사 및 굴절광을 생성한다. 반사 및 굴절된 광선은 또 다시 다른 물체와 만날 수 있으며, 이때 1차 광선처럼 또다른 2차 광선을 재귀적으로 생성한다. 이와 같은 과정을 거쳐 각 광선의 경로는 광선 트리를 형성하게 된다.

하나의 시선 광선이 반사 및 굴절을 통하여 새로운 물체와 만나는 과정을 실제로 광선이 소멸되는 시점까지 계속 추적해야 하지만 컴퓨터 상에서는 그대로 구현할 수 없다. 따라서 그 추적 깊이를 사용자가 미리 지정하여 반사 및 굴절광선을 종료시키는 방법을 일반적으로 사용하고 있다. 그림 22은 재귀적 광선추적법의 결과를 보여준다.

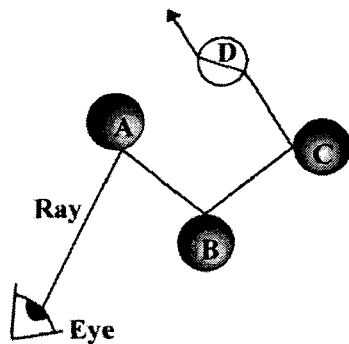


그림 21. 재귀적 광선 추적법

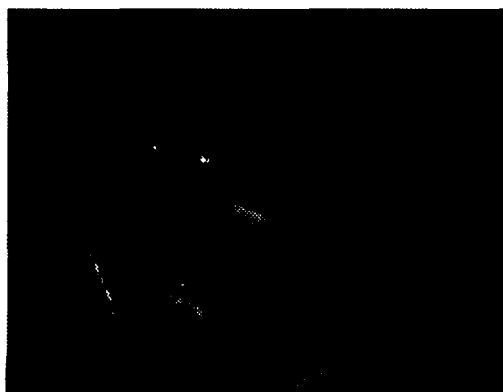


그림 22. 재귀적 광선 추적법의 결과 영상

3.4.2 광선 추적법의 속도 개선 기법

광선 추적법은 은면 처리, 그림자, 빛의 반사 및 굴절, 투명성 등 실세계에서 발생하는 모든 효과를 거의 완벽하게 시뮬레이션 할 수 있으므로 매우 사실적인 영상을 제작할 수 있으나 계산 시간이 많이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 특히, 관찰자로부터 발생된 시선광선과 기하학적 물체와의 교점을 구하는데 요구되는 시간이 전체 계산 시간의 95%를 차지하고 있다. 그 이유는 첫째, 각 물체의 명암 계산을 점 샘플링 방법에 의한 픽셀 단위의 계산을 수행해야 하기 때문에 물체의 긴밀성(Coherence)을 이용할 수 없으며, 둘째 재귀적 방법에 의한 계산량의 증가 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기법들을 속도 개선 기법이라고 하며 가장 쉽게 사용되는 것이 바운딩 볼륨이다. 바운딩 볼륨은 Rubin등에 의해 제안된 방법으로 렌더링하고자 하는 복잡한 물체를 구 또는 직육면체와 같이 간단한 물체로 둘러싸서 교차점 검사를 수행한다. 이때 사용되는 구나 직육면체와 같은 물체를 바운딩 볼륨이라고 한다. Glassner에 의해 제시된 8진트리 구조에 의한 공간 분할법은 3차원 공간을 작은 영역으로 분할하여 각각의 작은 영역에 존재하는 물체의 리스트를 저장하여 이 리스트에 따라서 광선 추적법을 실행해 나간다. 8진트리 구조는 작은 물체가 대단히 많은 환경에 대해 매우 효과적으로 사용된다. 이 밖에도 많은 연구자들에 의해 가속화 기법 및 흐릿한 반사, 반투명(Translucency), 운동효과(Motion Blur) 등의 문제를 해결하기 위한 새로운 알고리즘들이 제안되어 왔다. 표 3은 Whitted 이후에 발표된 확장된 광선추적법의 주요 연구 결과를 보여준다. 이러한 광선 추적법은 실제 산업에도 많은 응용이 되었는데, David Rogers는 그 응용 분야를 다음과 같이 열거하였다[19].

표 3. 광선 추적법 알고리즘의 주요 연구

연구방법	연구자	특징
광선추적법	T. Whitted (1980)	반사, 굴절, 투명처리
전역조명모델 Beam Tracing	Heckert, Hanrahan (1984)	Spatial Coherence이용
Cone Tracing	Amanatides (1984)	Cone의 형태로 추적
분산광선 추적법	Cook et al. (1984)	Motion Blur, Depth of Field, Fuzzy Shadow, Translucency
Path Tracing	Kajiya(1986)	
역광선추적법	Arbo(1986)	Caustic 효과 처리
Pencil Tracing	Shinya et al.(1987)	Paraxial 근사 이론을 기초로 여러개의 광선을 동시에 추적
Backward Beam Ray Tracing	Watt(1990)	

- 실세계 현상의 시뮬레이션
- 의료분야(radiation treatment planning)
- 지진(density calculations along a ray)
- 기계공학(interference checking)
- 식물디자인(pipeline interference checking)
- 기하학적어플리케이션에서의 교차검사 등.

그러나 컴퓨터 그래픽스 관점에서의 광선 추적법은 오락 영상 분야에서 폭넓게 사용된다. Pixar의 경우 렌더링 과정에서 광선 추적법을 주로 사용하지는 않지만, 광범위하게 광선 추적법을 사용했던 작품인 블루 스카이스튜디오에 의해서 제작된 '버니(Bunny)'가 오스카 상을 받았다. 또한 아폴로 13, 포레스트 검프, 주만지, 터미네이터 2와 같은 작품들도 흥행을 거뒀다. 이처럼 광선 추적

법은 현재 사용되고 있는 렌더링 알고리즘 중에서 사실적인 영상을 생성하는데 가장 기본적이면서도 강력한 기법이다.

3.5 셰이딩 기법 (Shading)

셰이딩이란, 광선 추적법에 의해 계산된 물체의 보이는 부분에 대해 광원과 관찰자의 위치를 고려해 조명값을 결정하는 과정을 말한다. 물체의 조명을 표현할 때, 물체 표면의 형태나 응용분야에 따라 조명모델을 여러 가지 방법으로 적용할 수 있다. 물체의 면에 조명모델을 적용할 때 관찰자로부터 보이는 점에 대하여 표면의 법선을 구하여 조명모델을 적용하지만 각 점을 모두 계산하기는 어려우므로 표현을 다각형으로 구분하여 각 면에 대해 조명모델을 적용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이와 같은 방법을 폴리곤 메쉬 셰이딩이라 하며 균일 광도법(Constant Shading), 그로우 광도법(Gouraud Shading), 그리고 풍 광도법(Phong Shading)의 3가지 방법이 있다.

3.5.1 균일 광도법(Constant Shading)

균일 광도법은 물체를 이루는 여러 다각형 중 하나의 다각형을 모두 균일한 밝기의 광도로 음영 처리하는 방법으로 플랫 셰이딩(Flat Shading)이라고도 한다. 이 방법은 물체를 이루는 각 면의 법선 벡터는 하나이므로 면의 법선 벡터를 중심으로 광원으로부터 정반사 및 난반사 광도를 계산한다. 곡면으로 이루어진 물체의 경우는 곡면을 여러개 면으로 분할하여 각 면에 균일 광도로 음영 처리한다. 이 방법은 계산 시간이 빠르다는 장점을 가지고 있으나 면 곡률이 급격히 변하는 물체에 대해서는 광도의 불연속성을 띠는 문제점을 가지고 있다. 그림 23은 균일 광도법으로 생성한 결과 영상이다.

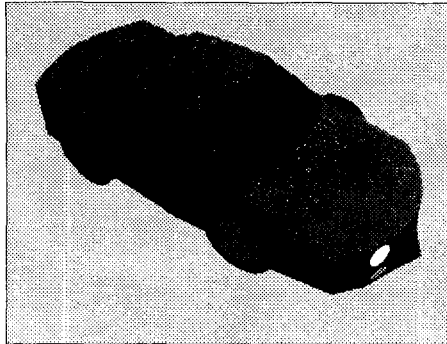


그림 23. 균일 광도법 영상

3.5.2 그로우 광도법(Gouraud Shading)

1975년 유타 대학의 Gouraud에 의해서 제안된 방법으로 광도 보간(Intensity interpolation)법이라고도 한다. 이 방법은 각 평면의 법선 벡터를 이용하여 조명을 결정하는 균일 광도법과는 달리 면을 이루는 각 꼭지점의 법선 벡터를 이용한다. 그리고 이 법선 벡터를 이용하여 각 꼭지점의 조명을 계산한다. 마지막으로 각 꼭지점의 조명을 선형 보간하여 다각형내의 조명을 결정한다. 그림 24은 그로우 광도법으로 생성한 결과 영상이다.

3.5.3 풍 광도법(Phong Shading)

풍 셰이딩은 각 꼭지점에서 계산한 빛의 광도를 보간하는 대신 꼭지점의 법선 벡터를 그로우 방법과 같이 선형 보간 한다. 따라서 법선 벡터

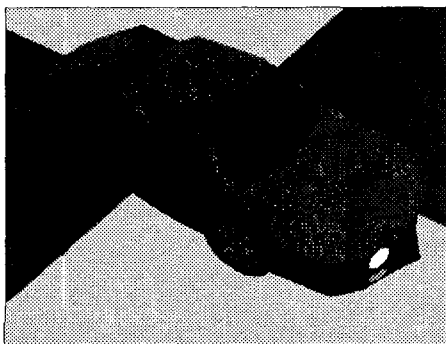


그림 24 그로우 광도법 영상

보간법이라고도 한다. 이 방법은 면의 하이라이트를 실감있게 표현해 주며 마흐밴드 효과를 크게 감소시킬 수 있기 때문에 현재까지 알려진 셰이딩 알고리즘 중 가장 많이 쓰이고 있다. 그림 25은 풍 셰이딩 기법에 의한 결과 영상이다.

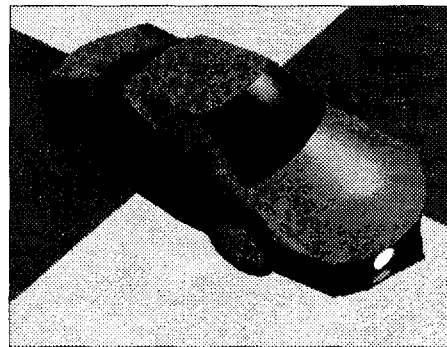


그림 25. 풍 광도법 영상

3.6 래디오시티 (Radiosity)

기존에 사용되어 오던 광선 추적법은 빛의 성질 중에서 정반사와 굴절의 성질만을 고려하여 물체 표면의 밝기를 계산하였다. 그러나 실세계에서는 빛의 반사와 함께 빛의 분산도 존재하므로, 이를 정확하게 시뮬레이션하기 위해서는 모델링 환경 내에 존재하는 빛의 평형분산을 고려해야 한다. 즉, 다음과 같은 문제를 해결할 수 있을 때, 비로소 모델링 환경 내에 정의된 빛의 완벽한 시뮬레이션이 가능해 진다.

- 방사광원에서 발생된 빛의 분산을 형상공간에서 어떻게 특징지을 것인가?
- 이때 발생된 물체와 물체 사이의 반사를 어떻게 다루어야 하는가?
- 이와 같은 문제를 해결하기 위해 빛의 평형흐름 문제를 어떻게 공식화하여 계산할 것인가?

이러한 문제를 해결하기 위해 1984년 Goral등

은 래디오시티 알고리즘을 제안하였다[20]. 래디오시티는 열역학에 기초를 두고 있다. 즉, 난로를 가열하였을 때, 난로내의 물질들 사이에 열전달이 어떤 방식에 의해 이루어짐으로써, 난로 주위의 온도가 일정하게 유지되는가를 다룬 복사열 전달 이론을 빛의 평형분산 문제와 결합시켰다. Goral은 물리학의 이론을 컴퓨터 그래픽스에 응용하기 위해 모델링 환경내의 모든 물체는 완전 난반사체(Lambertian Surface) 특성을 가지고 있으며, 입사된 빛은 모든 방향으로 같은 빛의 세기로 확산 및 반사된다고 가정하였다. 래디오시티는 기존의 렌더링 알고리즘에서 거의 다루지 않는 빛의 난반사 효과를 중점적으로 표현함으로써 사무실, 공장 내부 등과 같은 실내 공간을 렌더링 하는데 매우 효과적이다. 그림 26은 래디오시티에 의한 렌더링 결과를 보여준다.

래디오시티 기법은 그림 26과 같이 매우 현실감 있는 영상을 생성할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 또한 계산 시간이 많이 소요되는 점과 정반사를 표현하기에는 적합하지 않은 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 많은 연구가 80년대 이후로 계속되어 왔고, 래디오시티 문

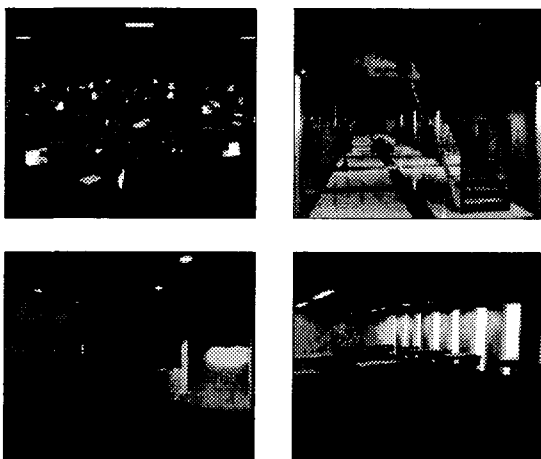


그림 26. 래디오시티 기법에 의한 렌더링

제를 해결하기 위한 기법에 따라서 다음과 같이 분류 할 수 있다[21,22]. 현재 주로 관심있게 연구되고 있는 분야는 웨이블렛 래디오시티(Wavelet Radiosity)이다.

- Hierarchical Radiosity
- Stochastic Radiosity
- Monte-Carlo Radiosity
- Perceptually-Driven Radiosity
- Wavelet Radiosity

3.7 볼륨 렌더링(Volume Rendering)

전통적인 컴퓨터 그래픽스에서 3차원 물체란 점, 선, 면, 곡선과 같은 프리미티브로 형성된 선구조 형상을 말한다. 3차원 좌표계로 정의된 선구조 형상의 프리미티브들을 스크린 좌표계로 변환, 매핑하고 래스터라이즈 하여 생성된 이산 데이터를 프레임 버퍼에 저장한다. 이러한 접근을 흔히 면 그래픽스라고 하며, 3차원 물체의 모델링, 변환, 렌더링 등이 포함된다. 특히 면 그래픽스에서 사용되는 렌더링 기법들은 정의된 물체 표면의 특성 표현에 중점을 두고 있으며, 이를 표면 렌더링이라고 한다. 표면 렌더링은 물체의 표면에서 발생하는 여러 가지 효과를 훌륭하게 표현할 수 있으나, 물체의 내부 구조까지는 표현할 수 없다. 그러나 3차원 공간에 존재하는 대부분의 물체들은 물체의 표면 뿐 아니라 내부 정보까지 포함된 3차원 볼륨 데이터로 이루어져 있다. 이와 같은 3차원 물체의 합성, 조작 및 렌더링을 볼륨 그래픽스라고 한다. 볼륨 그래픽스의 기본 단위는 복셀이라 불리는 3차원 요소로서, 래스터 그래픽스의 픽셀에 대응되는 개념이다. 픽셀은 2차원 단위 면적의 속성을 나타내는 반면에 복셀은 3차원 단위 볼륨을 의미한다. 각 복셀은 3차원 물체의 색, 투명도,

농도 등에 대한 정보를 가진다. 이러한 복셀들의 집합은 볼륨 데이터를 형성하고 3차원 볼륨 버퍼를 이용해 저장한다. 볼륨 그래픽스 중에서도 볼륨 렌더링은 3차원 복셀 데이터를 입력하여 물체의 면 뿐만 아니라 그 내부 구조까지도 표현할 수 있는 기법이다. 볼륨 렌더링은 주로 컴퓨터 단층 촬영장치(CT)나 핵 자기 공명 장치(MRI) 등의 영상을 이용하여 3차원 구조를 생성하는 의료영상 분야에서 많이 사용되고 있다. 그 이유는 생성된 3차원 인체 구조의 내부를 관찰할 수 있고, 복잡한 인체구조의 이해를 도와주기 때문이다. 또한 샘플링 기법에 의한 샘플 데이터를 이용하여 생물학, 지구과학, 기상학, 유체역학 등 과학의 전 분야에 응용될 수 있다. 그림 27는 CT 데이터를 이용하여 볼륨을 구성하는 영상을 보여준다.



그림 27. CT 데이터의 볼륨생성

3.8 Point Sample Rendering

합축적 곡면, NURBS 또는 분할 곡면 방법과 같은 고급 모델링 기술은 복잡한 모양의 모델을 생성할 수 있다. 그러나 이러한 모델은 렌더링을 위해 다각형들로 분할되어진다. 모델을 실감있게 렌더링하기 위해서는 많은 수의 다각형에 의해



그림 28. 포인트 샘플 렌더링 (참조 [23])

표현된 모델이 필요하다. 이러한 다용량의 다각형들의 처리는 렌더링 파이프라인의 병목화 현상을 초래한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 렌더링 프리미티브로 다각형을 사용하는 대신에 포인트를 사용하여 모델을 표현하는 방법(Point Sample Rendering)이 사용되어 지고 있다[24-27].

포인트 샘플 렌더링에 의해 모델링되는 물체는 빠르게 렌더링될 수 있는 촘촘한 포인트 샘플의 집합으로 표현되어진다. 이러한 포인트 샘플들은 정밀한 환경내에서의 동적으로 변하는 빛의 변화를 렌더링하기 위해 깊이값과 반사정보를 가지고 있다. 포인트 샘플들은 시점 독립적이기 때문에 중복된 자료를 대부분 제거할 수 있어 메모리를 효과적으로 사용할 수 있다.

이러한 유용성 때문에, 포인트 샘플 렌더링은 비행 시뮬레이터, 가상 박물관과 비디오 게임같이 동적 조명을 갖는 가상 환경에 있는 복잡한 물체를 모델링하고 렌더링하는데 적합하다. 또한, 포인트 샘플 렌더링은 적은 메모리를 필요로 하기 때문에 값이 싼 개인 컴퓨터상에서 구현되어질수 있다.

3.9 영상기반 렌더링(IBR)

영상 기반 표현(Image-based Representation) 기술은 전통적인 컴퓨터 그래픽스 영상 생성과정을 거치지 않고 시각화 하고자 하는 장면에 대한 여러 시점의 2차원 입력 영상을 이용하여 3차원 공간의 임의의 시점에서 본 영상을 생성하는 기술

을 말한다.

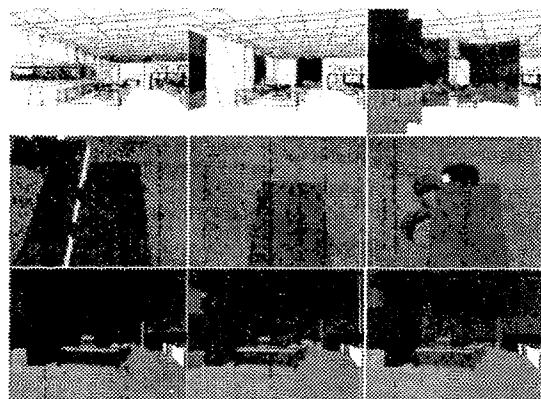
전통적인 그래픽스 표현 방법에서는 3차원 좌표 값을 이용하여 물체를 모델링한 후 광원과의 관계를 고려한 여러 가지 렌더링 알고리즘을 이용하여 사실적 영상을 생성하여 왔다. 그러나 이와 같은 렌더링 과정은 그 과정이 복잡하고 생성하고자 하는 영상의 복잡도에 따라 많은 시간이 소요되는 단점을 갖는다. 전통적인 렌더링과정의 이러한 문제점을 보완하기 위해 연구되고 있는 영상기반 렌더링 기법은 실제 영상들을 입력자료로 하여 영상의 복잡도와는 독립적이고 새로운 시점의 영상을 실시간으로 생성할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 또한, 영상 기반 표현 기술은 2차원 입력 영상으로 사용하므로 영상 정보 추출 및 픽셀 재투사 기술을 위해 컴퓨터 비전 기반 기술이 필요하고 복원된 영상의 정보를 사용하여 출력 영상을 생성하므로 렌더링을 위한 컴퓨터 그래픽스 기반 기술이 필요하다. 그러므로 영상기반 표현 기술은 컴퓨터 비전 기술과 컴퓨터 그래픽스 기술이 접목된 기술이라 할 수 있다. 표 4에서 전통적인 모델기반 렌더링 기술과 영상 기반 렌더링 기술의 특징을 비교하였다.

표 4. 렌더링 기술 비교

	3차원 모델기반렌더링	영상기반렌더링
입력 자료	3차원 모델	2차원 영상들의 집합
렌더링	전통적인 렌더링 기술	보간법 및 픽셀 재투사기술
속도	영상의 복잡도에 의존	영상에 복잡도와는 무관
	하드웨어 가속기에 의존	프로세서의 속도에 의존
실감형 영상	정교한 소프트웨어를 필요	입력 영상의 해상도에 따라

영상기반 표현기술은 영상기반 모델링 기술, 영상기반 렌더링 기술, 영상 기반 가속화 기술, 영상 기반 라이팅 기술로 나눌 수 있다. 영상기반 모델링 기술은 2차원 영상으로부터 3차원 모델을 복원하여 표현하며 영상기반 렌더링 기술은 2차원 영상들의 조합으로부터 새로운 시점의 영상을 생성한다. 영상기반 가속화 기술은 실시간 렌더링을 위해 시점에 가까운 물체 대해서는 기하모델로 표현하고 멀리있는 물체에 대해서는 이미지로 대체하는 기술이다. 마지막으로, 영상 기반 라이팅 기술은 2차원 영상으로부터 조명 정보를 추출하여 새로운 광원을 부여하는 기술이다. 그림 29는 실시간 가상 공간 탐색을 위해 영상 기반 가속화 방법중의 하나인 포탈 대체 알고리즘을 사용하여 나타난 영상을 보여주고 있다. 그림 29-a는 기하 모델, 그림 29-b는 포탈 텍스처 알고리즘, 그림 29-c는 반실린더를 이용한 환경맵 알고리즘을 적용한 영상이다.

현재 연구되고 있는 영상 기반 표현 방법은 실감형/실시간 영상을 생성할 수 있지만, 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 먼저, 물체 및 배경이 움직이는 동적 환경에서의 적용이 어려우며, 물



a. 기하 모델 b. 포탈 텍스처 c. 환경맵

그림 29. 영상 기반 환경 탐색 시스템 (참조 [28])

체들간의 겹침에 의해 발생하는 영상의 왜곡현상이 발생한다. 또한, 새로운 시점에서 생성하는 영상이 정확한 영상이 아니라 시점에 근사된 영상을 생성하는 문제점을 가지고 있어 해결해야할 과제로 남아 있다.

3.10 비사실적 렌더링(NPR)

90년대 중반에 들어서 SIGGRAPH를 통해서 주목을 받게 된 비사실적 렌더링(Non Photorealistic Rendering)은 초창기 컴퓨터 그래픽스가 이제껏 사실주의(Photorealism)를 지향해 오던 동안에도 끊임없이 그 연구가 계속 되어 왔다. 90년대 초반부터 연구가 본격적으로 시작되었다고 볼 수 있으며, 94년부터는 많은 국외 그래픽스와 영상 관련 연구자들에 의해서 활발히 연구가 진행되었다. 기존의 현실주의는 실세계의 장면과 물체들을 사진과 같은 합성영상을 생성하기 위한 기법들을 만들어 냈다. 그 중에 가장 두드러진 것이 물리 기반(Physically-based) 기법이다. 광선 추적법과 래디오시티가 사실감있는 영상을 생성하기 위한 렌더링 툴에 있어서 강력한 기법으로 자리를 잡아왔다. 그러나 비사실적 렌더링 기법은 예술적인 감성의 표현에 주안점을 둔다. 이 연구 분야는 사실적 렌더링과 반대로 언급되었고, 따라서 비사실적 렌더링으로 알려지기 시작했다.

NPR은 사실감을 얻고자 하지 않는 영상을 생성하는 수단이라고 간단히 정의할 수 있다[29]. 초창기 NPR의 제창자들은 자연 매체 에뮬레이션(Natural media emulation)에 관심을 두었다. 이것은 펜이나 잉크와 같은 스타일이나 캔버스 위의 수채물감이나 오일과 같은 형태의 전형적인 예술물의 재생산이었다. 이러한 자연 매체 에뮬레이션은 NPR의 한 연구 분야로서 간주될 수 있을 뿐이며, NPR은 이 보다 더 범위가 넓고 이전에 잘 알

려지지 않은 새로운 예술물-이것은 손으로 생성하기에는 비현실적인 예술물-을 실험하기 위한 기회를 제공한다.

• 비사실적 렌더링 기법의 분류

역사적으로, NPR은 초기에 퀀텔 페인트 박스(Quantel Paintbox)와 같은 2차원 상호 작용 페인트 시스템(2D Interactive Paint System)으로부터 시작했다고 간주될 수 있다. 이 시스템은 에어 브러쉬와 연필과 같은 드로잉 툴을 제공하고 있다. 연구자들은 이러한 기법들을 좀더 개발하였고, 다음과 같은 2가지 분야가 출현하였다[30].

- 2D 브러쉬 페인팅 (brush-oriented painting)
 - : 브러쉬, 캔버스, 스트록)등을 위해서 좀 더 정교한 모델을 포함한다.
- 2D/2.5D 후처리(post processing) 시스템
 - : Raw or Augmented 이미지 데이터가 이미 지 프로세싱을 위한 기반으로 사용된다. 또한 사용자의 개입이 어느 정도로 요구되는가에 따라서,
- 자동적 기법
 - : 사용자의 개입이 거의 요구되지 않는다.
- 비 자동적 기법
 - : 사용자의 개입에 따라서 스트록을 정한다.

로 구분된다. 2.5D 페인팅 시스템은 이미 렌더링된 환경에 대해서 예술가에 의해서 초기화 된 페인팅 동작을 자동화하기 위해 사용된다. 그림 30은 NPR기법의 출현 과정을 보여준다.

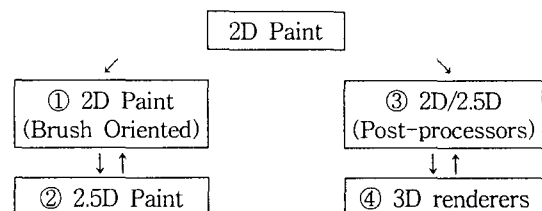


그림 30. NPR 기법의 출현 과정

최근의 NPR의 경향은 3D 기법을 채택하고 있다. 많은 연구자들은 NPR이 인터랙티브하게 조작될 수 있는 3D 데이터의 스타일 가시화를 위한 실시간 알고리즘을 제공하는데 초점을 맞추고 있다. 이러한 접근방법들 중의 몇 가지는 애니메이션의 생성을 위해서 시점에 독립적이라는 장점을 제공하기도 한다. SIGGRAPH 애니메이션 필름에서도 이 NPR 기법을 이용한 3D 애니메이션이

종종 등장한다. 그림 31-a는 1994년에 발표된 Winkenbach[31]의 펜과 잉크 기법에 의한 영상이다. 3차원 건축물 모델을 이용하여 펜으로 그린 듯한 영상을 생성한다. 그림 31-b는 1998년 Hertzmann[32]에 의한 렌더링을 보여준다. 그림 31-c는 David Gainey의 수채화 효과의 "고기잡이" 애니메이션의 한 장면을 보여준다.

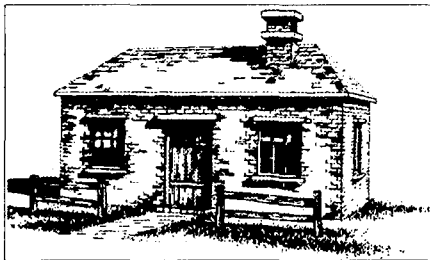
4. 향후 동향

지금까지의 컴퓨터 그래픽스는 실세계에 있는 물체를 사실감있게 실시간으로 렌더링하는데 주안점을 두고 개발되어 왔다. 전통적인 컴퓨터 그래픽스에서는 사실감 있는 환경 표현을 위해 많은 수의 다각형 모델을 필요로 하나 이러한 모델을 렌더링시 많은 비용이 들어 실시간으로 영상을 생성하기 어렵다. 이렇듯 사실성과 실시간은 서로 상충되어 두가지를 모두 만족하도록 하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 90년대 중반에 컴퓨터 그래픽스와 영상처리의 중간 단계의 형태인 영상 기반 표현 기술을 개발되었고 현재 활발히 연구중이다.

이와는 다른 형태로, 사실적인 영상 표현과 반대로 그림이나 만화와 같이 비사실적인 형태로 렌더링을 하는 방법들이 90년대 중반이후부터 꾸준히 개발되고 있으며 그래픽스의 하나의 연구분야로 자리매김을 하고 있다. 또한, 최근에는 가상 현실과 실세계를 결합하여 표현하는 증강 현실 (Augmented Reality) 기술과 3차원 물체의 내부와 외부를 자세히 표현할 수 있는 볼륨 렌더링 기술이 의료분야를 기반으로 연구되고 있다.

참 고 문 헌

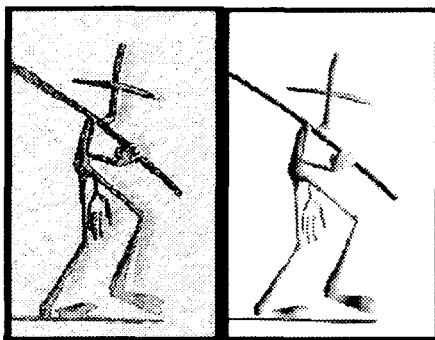
[1] Alan Watt, 3D Computer Graphics Second



(a)



(b)



(c)

그림 31. 비사실적 렌더링 영상

- Edition, Addison Wesley.
- [2] Brian Cyrless, 3D Photography, SIGGRAPH '99 course note #4, 1999.
- [3] H. Hoppe, Progressive meshes. SIGGRAPH '96, pp 99-108, 1996.
- [4] Foley, vanDam, Feiner and Huges, Computer Graphics: Principles and Practice Second Edition, Addison Wesley.
- [5] D. Zorin and P. Schrder. Subdivision for modeling and animation. SIGGRAPH 2000 Course Notes, 2000.
- [6] Akenine-Moller and Haones, Real-time Rendering Second Edition, A K Peters.
- [7] Hitoshi Nishimura, Makoto Hirai, toshiyuki Kawai, Toru Kawata, Isao Shirakawa, Koichi Omura, "Object Modeling by distribution Function and a Method of Image Generation", Proceedings of Electronics Communication Conference '85, Vol. J68-d, nO.4, 718-725, 1985.
- [8] Brian Wyvill, "Metamorphosis of Implicit Surfaces", SIGGRAPH 1993. (Course Notes)
- [9] Bruce Naylor, A Tutorial on Binary Space Partitioning Trees, course notes for the course The Computational Representation of Geometry at SIGGRAPH '94 or '96.
- [10] Ching-Kuang Shene, Computing with Geometry, Course CS3621.
- [11] Debevec, P. E., Taylor, C. J., and Malik, J., "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach," Proc. SIGGRAPH, ACM Press, New York, 1996, pp. 11-20.
- [12] M. Pollefeys, Self-calibration and metric 3D reconstruction from uncalibrated image sequences, Ph.D. Thesis, ESAT-PSI, K.U.Leuven, 1999.
- [13] Paul Beardsley, Phil Torr and Andrew Zisserman, 3D Model Acquisition from Extended Image Sequences, ECCV96, pp 683-695, 1996.
- [14] Horry, Y., Anjyo, K., Arai, K., "Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image", Proc. SIGGRAPH, ACM Press, pp. 225-232, New York, 1997.
- [15] SeungTaek Ryoo, Image Based Panoramic View Rendering Using Multiple Orthogonal Cross Cylinder, PhD thesis, 2002.
- [16] Bier E. A. and Sloan K. R., "Two pass texture mapping", IEEE Computer Graphics and Applications, 6(9), 40-53, 1986.
- [17] James F. Blinn. Simulation of Wrinkled Surfaces, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 78), 12 (3), pp.286-292, Aug. 1978.
- [18] Atherton P., Weiler K. and Greenberg D., "Polygon shadow generation", Computer Graphics, 12(3), 275-281, 1987.
- [19] Rogers, David. Techniques for Computer Graphics. New York: Springer-Verlag, 1987.
- [20] Goral, Cindy M., Kenneth E. Torrance and Donald P. Greenberg, Bennett Battaile, "Modeling the Interaction of Light Between Diffuse surfaces", Computer Graphics, SIGGRAPH, 18(3), 212- 222, July, 1984.
- [21] Hanrahan P., Salzman D., Aupperle L., "Arapid Hierarchical Radiosity algorithm", July, 1991.
- [22] Steven J. Gortler, Peter Schroder, Cohen M. F., Hanrahan P., "Wavelet Radiosity", Computer Graphics, 221-230, 1993.
- [23] Hanspeter Pfister, Matthias Zwicker, Jeroen vanBaar, Markus Gross, Surfels-Surface Elements as Rendering Primitives, SIGGRAPH 2000.
- [24] T. W. Marc Levoy. "The Use of Points as a Display Primitive" Technical report, University of North Carolina at Chapel Hill, 1985. (figure)
- [25] W. Dally, L. McMillan, G. Bishop, and H. Fuchs. "The Delta Tree: An Object-Centered Approach to Image-Based Rendering." AI Memo 1604, AI Lab, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [26] J. Grossman. "Point Sample Rendering." Maste's

thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1998.

- [27] Szymon Rusinkiewicz, Marc Levoy, "QSplat: A Multiresolution Point Rendering System for Large Meshes", presented at SIGGRAPH 2000.
- [28] SeungTaek Ryoo, YoungSeok Kim,, Kyung Hyun Yoon, "Real-time Walkthrough of Virtual Space using Environment Map", 6th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, International Society on Virtual Systems and Multimedia, pp 514-521, 2000.10.
- [29] Stuart Green, Non-Photorealistic Rendering, SIGGRAPH 99 Course Note 17, Aug. 1999.
- [30] Daniel Teece, "Three Dimensional Interactive Non-Photorealistic Rendering", PhD thesis, University of Sheffield, England, 1998.
- [31] Georges Winkenbach and David H. Salesin, "Computer Generated Pen and Ink Illustration", Computer Graphics Proc. SIGGRAPH, Vol. 28, No. 4, 1994.
- [32] Aron Hertzmann, "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes", Computer Graphics Proc. SIGGRAPH, Vol. 24, No. 4, Aug. 1990.



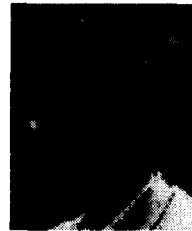
류 승 택

- 1996년 2월 : 중앙대학교 전자계산학과 공학학사
- 1998년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터 공학과 컴퓨터 그래픽스 전공 공학석사
- 2002년 8월 : 중앙대학교 영상 공학과 공학박사
- 2002년 9월 : 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수
- 관심분야 : 3D Terrain Modeling, Image Based Rendering, Realtime Rendering
- E-mail : bluancer@cglab.cse.cau.ac.kr



김 성 예

- 1998, 2000 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사, 공학석사
- 2000~현재 : 한국 전자 통신 연구소, VR research Center 연구원
- 관심분야 : Global Illumination, Radiosity, NPR, Image-based Rendering
- E-mail : insideblue@etri.re.kr



윤 경 현

- 1991년 3월 : University of Conecticut CS&E 박사
- 1983년 9월~1985년 8월 : 한국전기연구소 연구원
- 1991년 9월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터 공학과 교수
- 관심분야 : Rendering, Global Illumination, Image-based Rendering, NPR
- E-mail : khyoon@cau.ac.kr