Game Graphics

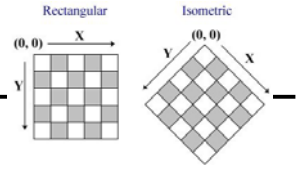
305900
2007년 가을학기
9/27/2007
박경신

Sprite-based graphics

- 스프라이트 게임 (sprite games) 은 일반적으로
  - Top down (e.g. 미로 게임)
  - Front facing (e.g. platform games)
- 작은 부분은 클리핑 (clipping) 함
- 은면제거 (hidden surface removal) 를 위해
  - 뒤에서부터 그리고 앞은 나중에 그림 (drawn from back to front)
  - 주변에 투명한 영역을 줌
- 상태정보는 오버레이 (overlay) 해서 보여주거나 다른 패널에서 보여줌
- 깊이정보는 레이어 (layers)를 사용해서 줌
  - 패럴랙스 스크롤링 (parallax scrolling) 를 사용 – 산, 울타리, 전경 등 서로 다른 깊이로 층이 된 타일을 저장하고 서로 다른 속도로 그들을 움직여서 깊이감을 전달함
  - 스프라이트 (sprites)의 크기를 조절하여 사용
- 충돌검사 (collision detection)
  - 바운딩 박스 (bounding boxes) 사용
  - 픽셀 기반 충돌검사 – 이미지 자체의 충돌을 픽셀마다 검사하는 방법. 효율이 떨어지고 느림. action이 필요할 때만 사용.

Isometric Games

Basics of Isometric Games



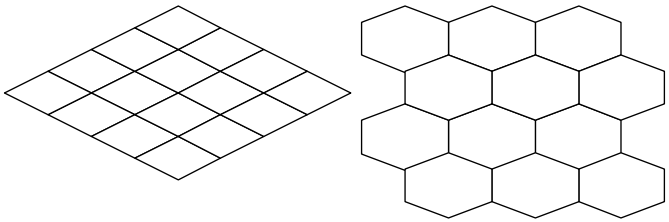
- 등축 (isometric) 게임
  - 각 물체는 지면 (x, y) 위에 위치하고 있음
  - 각 물체는 필요에 따라 지면으로부터 (z) 만큼 올라간 높이를 가짐
  - 게임세계는 등축 원근 투영으로 보여짐
    - 평행 (parallel) 투영
    - 주요 축에 대해 45 각도로 회전된 것임
    - 장점 – 모든 물체가 같은 크기로 보임. 전체적으로 보기에 좋음.
    - 단점 – 투영이 왜곡됨
    - 시점을 제한함으로써 개선시킬 수 있음
    - 수직축에 대한 왜곡 (distortion)이 심함
  - 3차원과는 달리 모든 기능이 지면에서 이루어짐
  - 은면제거는 깊이 정렬 (depth sorting)을 이용함
    - 쉽게 구현이 가능함
  - 많은 게임에서 사용됨
    - Command and Conquer (except Generals) , Diablo, Age of Empires , SimCity, 등등

Sprites

- 화면 위에서 유령(sprite)처럼 둥둥 떠다니는 것
  - 투명색
    - 찍히지 않는 색
    - 그림과 구별이 잘 되어야 함
    - 이미지에 사용되지 않아야 함
  - 잔상이 남지 않는 그림
  - 흔히들 일반적으로 게임에 쓰이는 모든 그림을 스프라이트 (sprite) 라고 부르는 경향이 있음

Tiles

- 대부분의 등축 게임 (isometric games)은 타일 (tiles)에 기반을 두고 있음
  - 원근투영으로 다이아몬드처럼 보이는 사각형
  - 육각형
  - (perspective가 없어서) 모든 깊이에 다 같은 고정된 크기 (fixed size)를 가짐



Tiles

- 타일의 표면은 겉으로 타일의 구조가 보이지 않게 잘 배치해야 함
  - 주의 깊게 디자인된 타일
  - 약간의 변형 (비슷한 terrain에서 더욱 중요함)
  - 높이의 차이만이 보여짐 (실제로 게임에서 구현되진 않음)
  - 투명하지 않으며 움직이지 않는 정적인 것임

Tiles

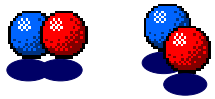
- 3차원의 느낌이 나도록 만듦 (주요 축이 확연히 들어나도록)
  - 그래픽에서 길이나 벽 등등
  - 움직임에서 키맵핑 (key mapping) 시
- 미리 구성될 수도 있으며, 날아다니게 만들 수도 있음
  - 배치 규칙 (alignment rules)이 필요함
  - 일반적으로 고수준의 표현으로부터 생성됨 – 길, 강, 산, 바다, 등등

Structures on the Surface

- 지면에 고정된 것들 - 나무, 빌딩, 등
  - 2차원 지면에서 고정된 지점에 위치함
  - 종종 그리드 (grid)로 배치됨
  - 투명한 스프라이트 (sprites)
  - 애니메이션이 될 수도 있음
  - 게임에서의 물체들이거나 또는 배경 또는 전경
- 지면에서 움직이는 유니트 (moving unit) - 사람, 자동차, 등
  - 2차원 지면에서 위치로 표현됨
  - 타일 안에 고정돼 있을 필요가 없음
  - 구조나 다른 유니트 뒤로 움직일 수 있음
- 지면 위에서 움직이는 유니트 - 총알, 풍선, 등
  - 지면 위에 한 점과 높이로 표현됨
- 움직임 (movement)
  - 사용자 인터페이스 (예, 화살방향키)
  - 원하는 대각선 움직임
  - 수직, 수평의 움직임 속도를 다르게 함

Collision Detection

- 복잡한 3차원 계산을 피하도록 함
- 스프라이트는 중첩이 가능함 (물체는 중첩이 안됨)
- 물체의 경우, 지면에 이 물체의 그림자를 저장함
  - 혹은 약간의 대략적인 형체나 그림자의 관련된 부분을 저장함
  - 필요하면, 이 물체의 높이 간격도 저장함
- 지면 투영은 convex라 가정함 (아니면, 지면을 여러 개로 분리함)
- 충돌검사
  - 그림자와 충돌하는지 검사
  - 만약 그렇다면, 그것의 높이 간격도 충돌하는 지 검사
  - 만약 그렇다면, 충돌된 것임
  - 그러나 가끔 보다 복잡한 충돌검사가 요구됨

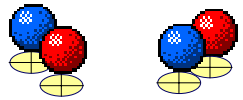


Collision Detection

- 만약 다른 장소에서 다른 높이 간격이 존재한다면, 분리함
  - 예를 들어, 왼쪽, 가운데, 오른쪽 부분으로 구성된 대문이 있다면
  - 가운데 부분에서는 충돌검사를 위한 마스크를 저장하지 않기도 함 (사람들이 단지 걸어간다고만 하면 충돌이 생기지 않을 것이기 때문에)
- 게임제작 시
  - 충돌검사를 위하여 모든 물체의 스프라이트 그림자에 대해 마스크를 지정함
  - 높이 간격은 필요에 따라 지정해야 함

Hidden Surface Removal

- 은면제거를 위한 그리기 순서 (drawing order)
  - 배경 (backgrounds)
  - 물체 (objects)
  - 전경 (forgrounds)
  - 중첩 (overlays)
- 각 물체는 지면에 위치를 가지고 있음
  - 위치를 잘 지정해야 함 – 예를 들어 그림자의 가운데 안에 물체를 위치시킴과 같이
- 등축관측 시 그리기 순서 (drawing order)
  - 위에서부터 아래로 위치를 정렬시킴
  - 그리고, 뒤에 멀리 있는 것부터 먼저 그리기 시작



Hidden Surface Removal

- 그러나, 그리기 순서가 항상 정확하지는 않음 – 특히 물체가 서로 가까이 근접했을 시 판단하기 어려움
- 그림자가 중첩됐고 높이 정보가 있을 때는
  - 높이가 증가하는 순서로 정렬함
  - 그리고, 다른 물체보다 아래쪽에 있는 것부터 먼저 그리기 시작
- 게임제작 시
  - 지면의 위치에서 스프라이트의 원점을 선택함 (스프라이트의 바깥쪽도 가능함!)
  - 깊이 정렬을 확실하게 하기 위해 각 단계마다 깊이를 -y로 지정함

Path Finding

- 게임세상을 셀의 배열 (an array of cells)로 저장함
- 물체 (또는 물체의 일부)를 포함하고 있다면 금지된 셀로 표시함
- 게임에서 자주 쓰이는 길찾기 (path finding problem)에 가장 범용적이고 확실한 알고리즘인 A* algorithm을 사용함

3D Graphic Games

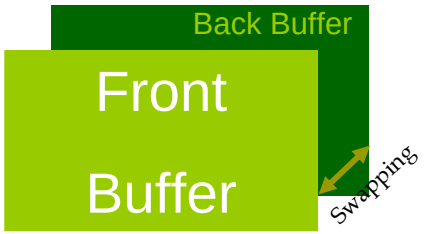
3D Graphics

- Frame buffer and Double buffering
- Visibility and Depth buffer
- Alpha blending, Stencil buffer
- Coordinate Systems
- Triangle, Vertex, Index, Polygon, Mesh
- Transformations
- Camera
- Lightings, Shading, Materials
- Textures
- Billboarding
- Normal mapping, Bump mapping, Displacement mapping

Frame Buffer

- 넓은 의미로 프레임 버퍼는 화면에 도시할 래스터 이미지 (raster image)일 뿐만 아니라 그러한 이미지를 생성하는데 필요한 여러 부류의 정보를 저장해주는 포괄적 의미의 그래픽스 전용 메모리를 뜻함
- 색 버퍼 (color buffer)
  - 더블 버퍼 (double buffer) – front buffer & back buffer
  - 스테레오 버퍼 (stereo buffer) – 양안 시차 이미지
  - 알파 버퍼 (alpha buffer) - 투명도
- 깊이 버퍼 (depth buffer) – 은면 제거
- 스텐실 버퍼 (stencil buffer) – 2차원 이미지와 블렌딩
- 축척 버퍼 (accumulation buffer) – 렌더링 속도 향상
  - 보통의 이미지들을 혼합된 이미지들로 **축적**하는데 사용. 사용자는 장면 안티앨리어싱과 같은 작업들을 수행할 수 있음.
- 픽셀 버퍼 (pixel buffer)

Double Buffering

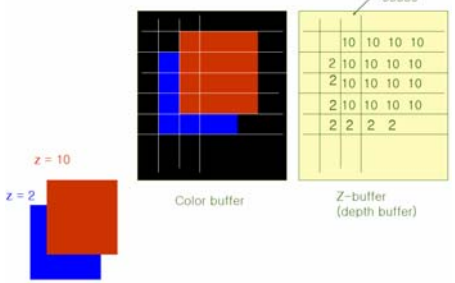


이미지가 후면 버퍼 (back buffer)에 그려질 동안 전면 버퍼 (front buffer)는 완성된 이미지를 viewer에게 보여줌

다음 보여질 화면을 후면 버퍼에 미리 그려놓은 다음에, 그것을 현재 화면에 보여주고 있는 전면 버퍼와 바꿔치기 (swapping buffer) 하는 방법

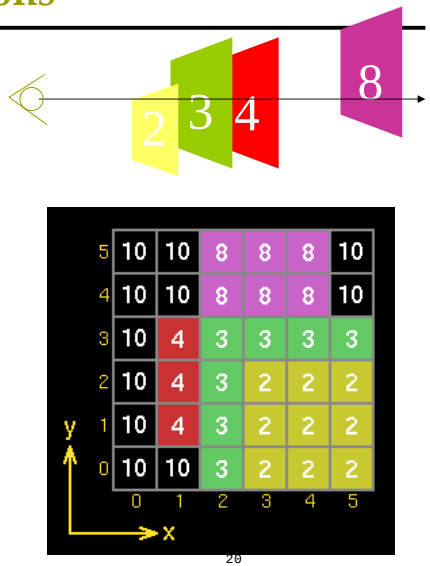
Visibility and Depth Buffer

- 색 버퍼 (color buffer)와 동일한 해상도임
- 깊이 버퍼 (z-buffer, depth buffer)는 그리고자 하는 픽셀당 깊이 정보 (depth value)를 가짐
- Z-buffer algorithm은 새로운 픽셀을 그릴 때마다, 새로운 깊이 정보를 깊이 버퍼 (z-buffer) 안에 있는 깊이(depth) 정보와 비교하여, 더 먼 것이 깊이 버퍼에 저장됨
- 다각형 (polygons)은 어떠한 방향에서도 그려질 수 있으며 교차할 수도 있음



Depth Sorting of Polygons

- PS1는 Z-Buffering 하지 않음. 따라서, polygon은 전향순서 (back-to-front order)로 정렬 (depth sorting of polygons) 해서 그려야 함
- Z-buffer algorithm은 픽셀 단위로 어느 픽셀이 다른 것보다 앞에 있는 지 판단하여 작은 z 값을 가진 것이 앞에 있음
- 래스터 시 polygon의 깊이 정렬화가 필요 없음



Alpha Buffer

- RGBA – alpha는 4번째 색으로 불투명도(opacity of color) 조절에 사용함
  - 불투명도 (opacity)는 얼마나 많은 빛이 면을 관통하는가의 척도임
  - 투명도 (transparency)는 1 – alpha로 주어짐
  - Alpha=1.0 – 완전히 불투명
  - Alpha=0.5 - 반투명
  - Alpha=0.0 – 완전히 투명
- 알파 블렌딩 – 물체의 색을 투명하게 나타나게 함

Blending and Drawing Order

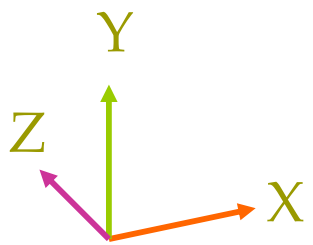
- 블렌딩은 현재 그리고자 하는 물체와 이전에 그려진 물체의 그림 그리는 순서(drawing order)가 중요함
  - 블렌딩 함수의 source color(현재 그리고자 하는 물체의 색)와 destination color (이미 그려진 프레임버퍼의 색)로 작용함
- 만약 투명한 물체와 불투명한 물체를 같이 그리고자 한다면, 불투명부터 먼저 그린 후에 투명한 것을 그릴 것
  - Depth-buffer가 블렌딩 전에 실행되도록 함
- 만약 여러 개의 투명한 물체를 같이 그리고자 한다면, 전향 순서 (back-to-front order)로 그릴 것
  - 이 순서는 카메라의 위치에 의해서 달라질 수 있음
- 여러 개의 투명한 물체를 같이 그릴 때, 서로를 가리는 현상 (occlusion)을 막기 위해서 depth mask를 비활성화함
  - 깊이버퍼를 read-only로 만듬

Stencil Buffer

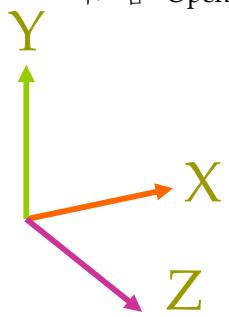
- 특수한 효과를 위한 off-screen buffer
- Back buffer, depth buffer와 동일한 해상도임
- Stencil buffer를 사용하여 back buffer의 일정 부분이 렌더링 되지 않도록 함 – 스텐실 참조값 (reference value)와 마스크 (mask)를 비교 (comparison)하여 특정 픽셀의 렌더링 여부를 결정
- 마스킹 (masking) 또는 컬링 (culling)에 자주 사용
- 대표적으로는 거울 (mirror), 그림자(shadow) 구현에 사용
- 예를 들어, 벽면에 거울이 있는 경우, 벽면을 제외하고 거울이 있는 영역에 대해서만 반사되는 물체의 drawing을 수행하도록 함

Coordinate Systems

왼손 좌표계
Left-handed
Coordinate System
(일반적인 컴퓨터 그래픽 시스템 – DirectX)



오른손 좌표계
Right-handed
Coordinate System
(전통적인 Cartesian 시스템 - OpenGL)

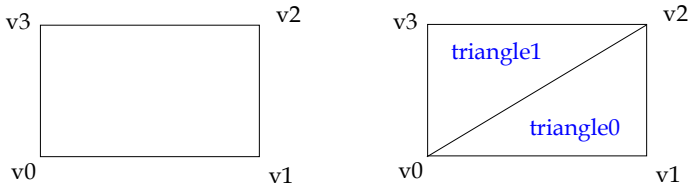


Vertex

- 정점 (vertex)은 공간적 위치
- 부가적 특성
  - 표면의 법선 벡터 (surface normal)
  - 색 (color)
  - 텍스쳐 좌표 (texture coordinate)
  - 그외에 데이터 세이더 프로그램에서 필요한 정보들..
- 한 삼각형 (triangle)은 3 점 (vertices)를 사용
  - 인접한 삼각형 (adjacent triangle)에 대한 정점은 공유됨

Triangle

- 3차원 물체의 기본 구성 요소 (fundamental primitive)
  - 선과 스프라이트만 제외한 폴리곤 등 모든 물체는 삼각형으로 만들어질 수 있음
  - 예를 들어, 사각형은 두 개의 삼각형으로 표현할 수 있음
- 세 점으로 한 평면을 형성함
- 삼각 평면은 텍스쳐 (textures)와 색 (colors) 정보와 연결됨

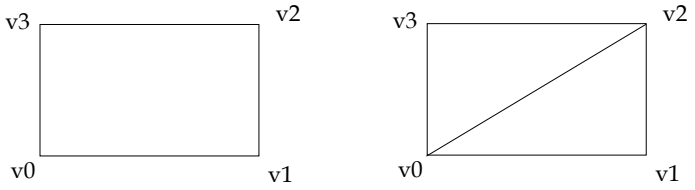



```
Vertex rect[6] = { v0, v1, v2,        // triangle 0
                   v0, v2, v3 };      // triangle 1
```

- Vertex의 나열 순서(winding order)를 꼭 지켜야 함

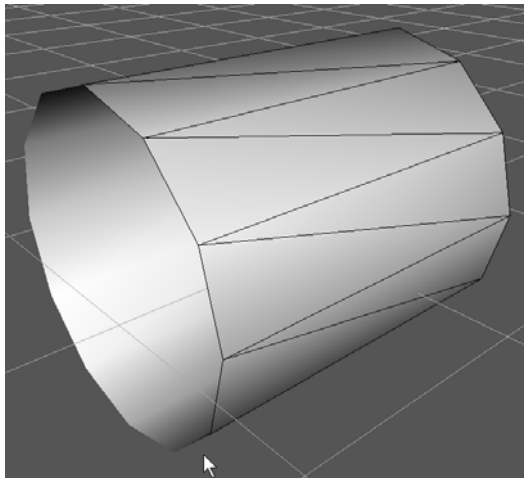
Index

- Index의 필요성
  - 많은 vertex들이 중복으로 사용됨
  - 따라서 vertex list와 index list를 구성해서
    - Vertex list는 모든 vertex들
    - Index list는 vertex list로의 index값들




```
Vertex vertexList[4] = { v0, v1, v2, v3};      // vertex list
int indexLIST[6] = {0, 1, 2,                   // index list
                    0, 2, 3 };
```

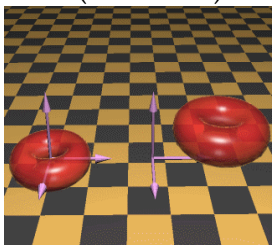

Polygons, Meshes



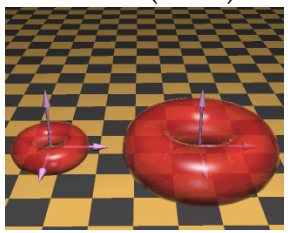
Transformations

- 변환은 좌표계의 원점을 중심으로 일어남

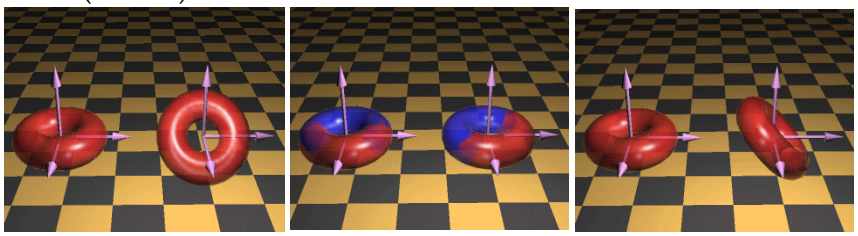
이동 (Translate)



크기변환 (Scale)

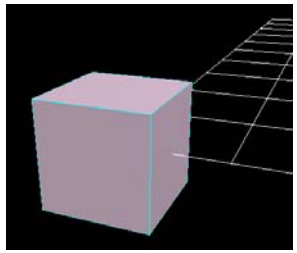


회전 (Rotate)

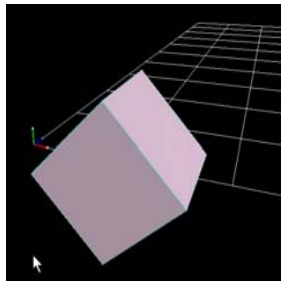


Transformation Order Matters

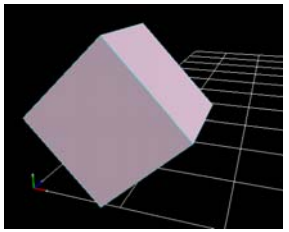
원점에 위치한 Box



Rotate about Z 45;
Translate along X 1

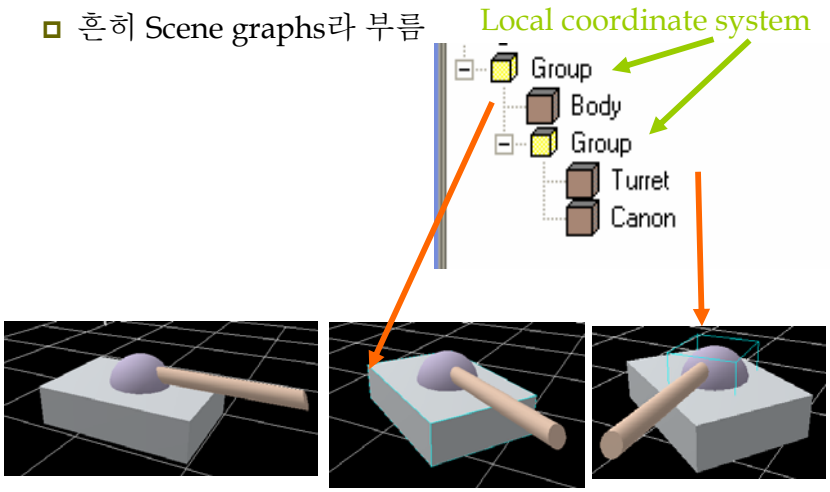


Translate along X 1;
Rotate about Z 45



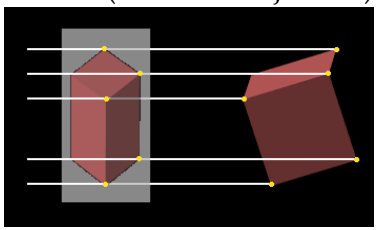
Hierarchy of Coordinate Systems

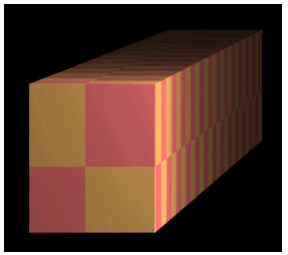
- 흔히 Scene graphs라 부름



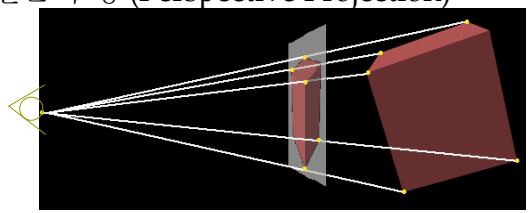
Camera – Parallel vs. Perspective Projection

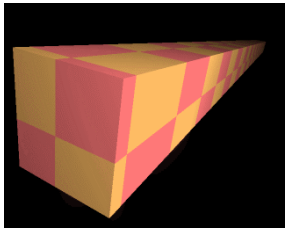
평행 투영 (Parallel Projection)



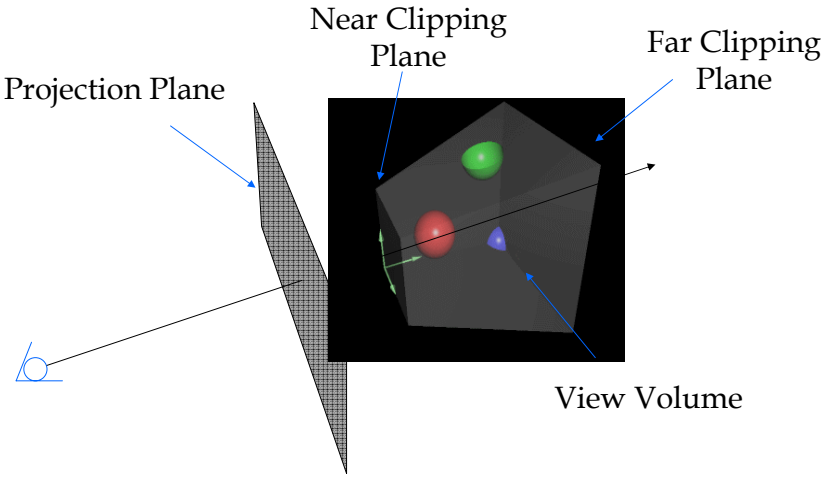


원근 투영 (Perspective Projection)





Camera – Perspective Projection

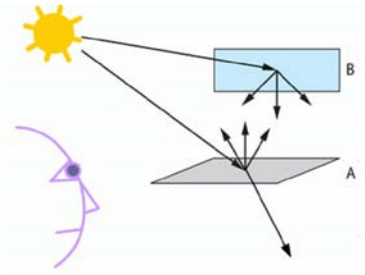


Camera Movement

- 1인칭 시점 카메라
  - 게이머가 카메라를 직접 제어함 (캐릭터에 의한 것이 아님)
  - 지면으로부터 높이는 일반적으로 시스템에 의하여 이루어짐
  - Twist는 일반적으로 사용되지 않음 (Descent 게임을 제외하고)
  - View volume은 원근투영에 중요함
    - 모니터 뒤의 게이머의 위치에 의해 영향을 받음
    - zoom-in 또는 zoom-out은 부자연스러우며 위험스러움
- 3인칭 시점 카메라
  - 캐릭터로 부터 일정한 거리에 위치함
  - 움직임에는 약간의 lag이 있어야 함
  - 캐릭터가 움직이지 않거나 게이머가 제어할 때만 회전이 가능하도록 함
  - 카메라의 up-vector (즉, twist) 에 조심할 것
  - 장애물이 있을 시 조심할 것

Lighting

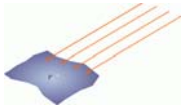
- 광원 (lighting source)에서 출발
- 물체 표면에서 재질(material)에 따라
  - 흡수 (absorption)
  - 반사 (reflection)
  - 투과 (transmission) 또는 굴절 (refraction)
- 물체를 본다는 것은 우리 눈으로 입사하는 빛에 의함
- 물체 색은 광원, 물체, 관찰자 위치, 광원과 물체의 특성에 의해 결정



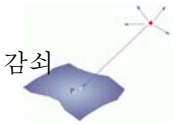
Light Source

- 환경 광원 (ambient light)
  - 장면을 전반적으로 밝게 하는 기본적인 조명

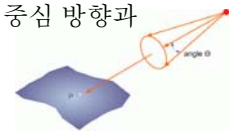
- 방향성 광원 (directional light)
  - 빛이 물체면을 향하여 일정한 방향으로 진행
  - 거리에 상관없이 빛의 방향 (direction)이 중시됨. 태양광 같은 원거리 광원.



- 점 광원 (point light)
  - 한 점을 중심으로 주변으로 퍼져나가는 빛
  - 빛이 반사될 표면과의 거리의 제곱에 비례하여 밝기가 감쇠

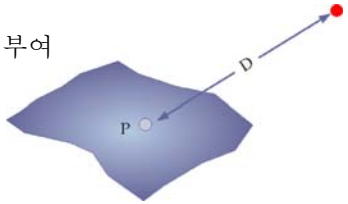


- 점적 광원 (spot light)
  - 점광원의 특수한 형태로 원뿔과 같이 일정한 범위로 빛을 발하는 광원. Flashlight 같음. 광원의 위치, 빛을 발하는 중심 방향과 범위의 설정이 필요함



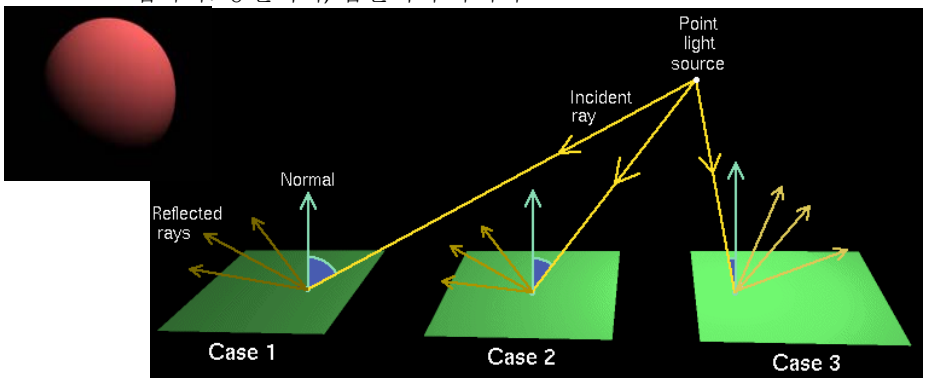
Ambient Reflection

- 광원에 직접 노출되지 않는 면에 밝기를 부여
- 모든 빛의 경로를 추적하기 어려움
  - 면마다 상수 크기의 밝기를 추가
  - 전역 조명모델 효과를 근사적으로 부여



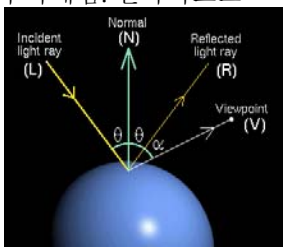
Diffuse Reflection

- 면의 방향에 따라 차등적 밝기로 입체감 부여
- 램버트 법칙(Lambertian Law)
  - 면의 밝기는 입사각의 코사인에 정비례. 입사각이 0도 일 때 가장 많이 반사되고 90도 일 때 반사되지 않음.
  - 입사각: 광원벡터, 법선벡터 사이각

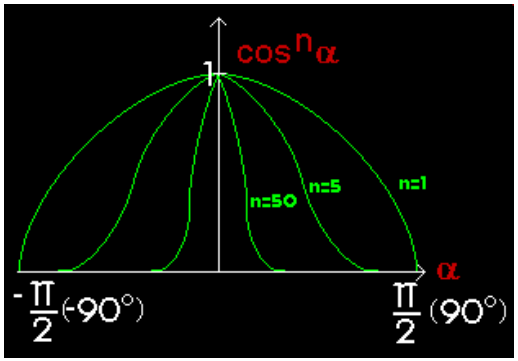


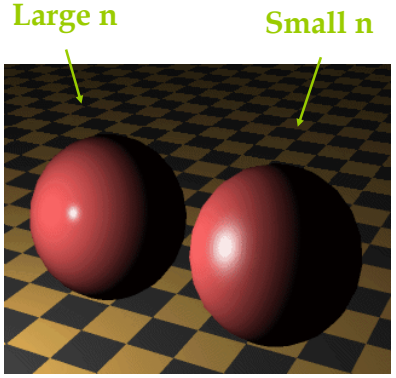
Specular Reflection (Phong Lighting Model)

- 반질반질한 표면에서 반사되는 빛
- 가장 많은 정반사는 시점 (viewpoint)이 빛의 방향에 정확히 반대 방향일 때 생김 (즉, alpha가 0도 일 때)
  - 정반사 (specular reflection)는 alpha가 커질 수록 급격하게 감쇠함
- 빛의 세기 감쇠는 $\cos^n(\text{alpha})$로 근사적으로 계산
  - 재질에 따라 n은 1에서 수백 사이로 지정함
  - n=1이면 넓고 부드럽게 빛의 세기가 약해짐
  - n이 커지면 작고 선명하게 빛의 세기가 약해짐. 결과적으로 생성되는 하이라이트가 작게 나타남
  - 완벽한 정반사 모델은 n이 무한대임



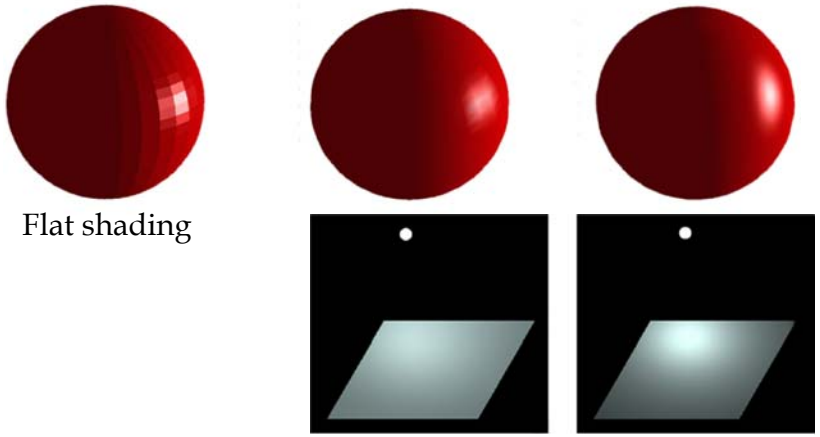
Fall off in Phong Shading





Flat, Gouraud, and Phong Shading

- 음영 또는 표면 렌더링(surface rendering) - 물체 면의 색을 부여



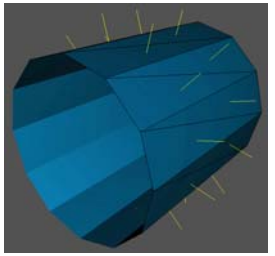
Flat shading

Gouraud shading

Phong shading

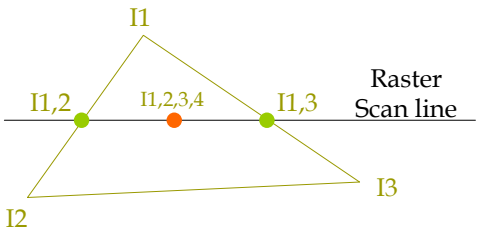
Flat Shading

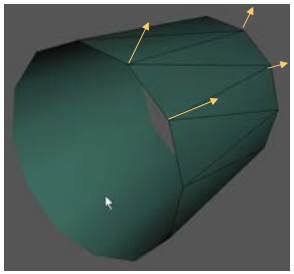
- 주어진 하나의 다각형 전체를 동일한 색으로 칠함. 빠르고 간단함.
- 다각형을 구성하는 다각형 정점의 위치를 평균하여 중심점(centroid)를 구하고, 중심점에서의 법선벡터, 광원벡터, 시점벡터를 기준으로 조명모델이 가해지며 그 결과 색이 면 내부를 모두 채움
- 상수 셰이딩 (constant shading), 깎은 면 셰이딩 (facet shading)



Gouraud Shading

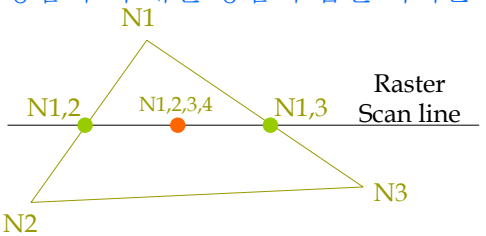
- 정점의 색을 보간함
  - 정점의 법선 벡터를 요함. 인접면의 법선벡터를 평균하여 구함
  - 정점의 색으로부터 내부면의 색을 선형보간
- 다각형 내부를 서로 다른 색으로 채우는 방법
- 경면광 (specular highlight)을 감안하지 않음
  - 실제적인 정점의 법선벡터와 근사적으로 계산된 법선벡터가 완전히 일치하지 않기 때문



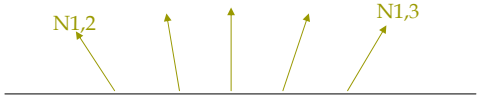


Phong Shading

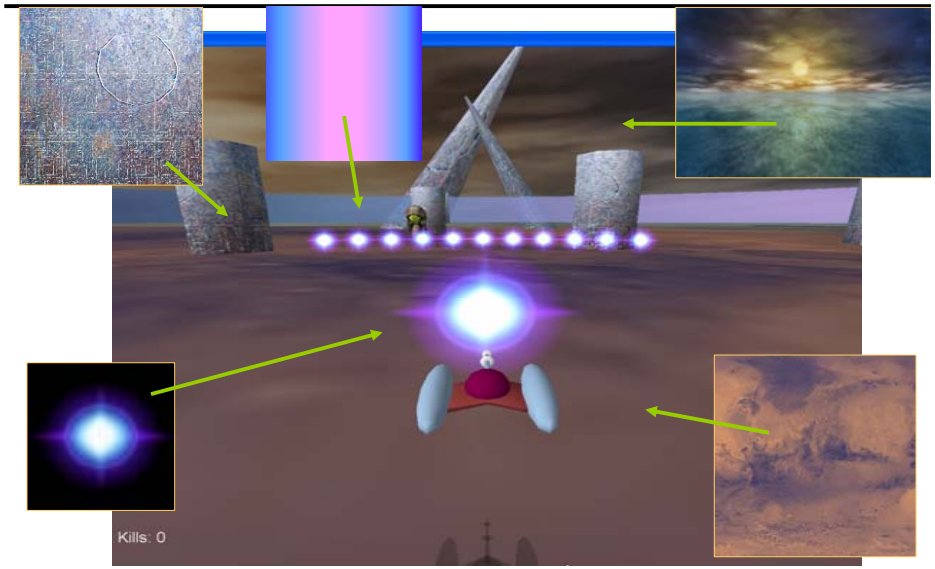
- 정점의 색 대신 정점의 법선 벡터를 보간.



- 곡면의 기울기가 복원됨. 경면광 (specular highlight)을 부여할 수 있음.

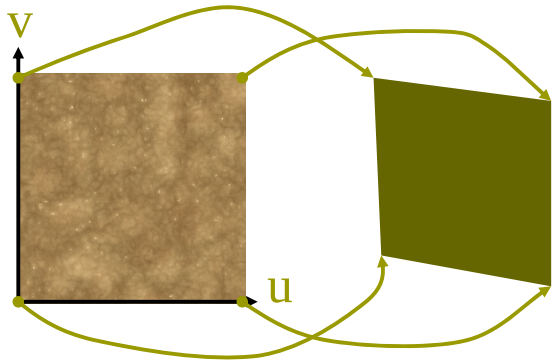


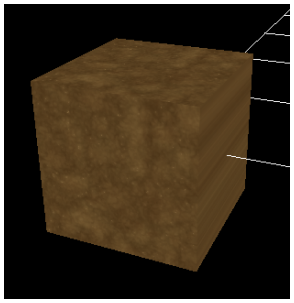
Texture Maps Used in Tank Game



Texture Mapping

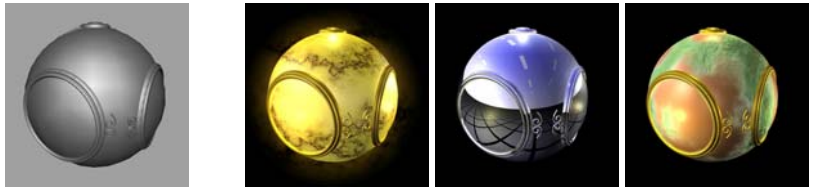
- 제한된 수의 다각형을 사용해야 하는 실시간 렌더링에 있어서 비교적 적은 추가 비용으로 이미지의 사실성을 상당히 높일 수 있는 기법임





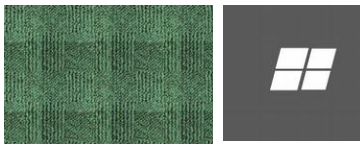
Texture Mapping

- 텍스쳐 맵핑 (texture mapping)
  - 이미지를 사용하여 다각형 (polygon)의 표면에 그림
- 환경 맵핑 (environment mapping/reflection mapping)
  - 환경 이미지가 렌더링될 표면 위에 그림
  - 반사맵 (reflection map) 또는 환경맵 (environmental map)은 반사광을 추적하지 않고도 광선추적법에 의한 매우 반짝이는 표면 (highly specular surface)을 만들 수 있음
- 범프 맵핑 (mump mapping)
  - 렌더링 음영 작업 시 법선벡터 (normals)를 왜곡시켜 실제 오렌지 표면의 융기와 같은 모양을 생성



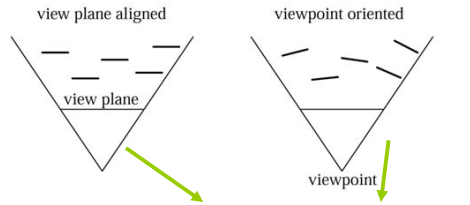
Multipass Rendering

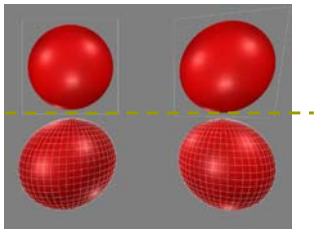
- 같은 물체를 다른 모드를 사용하여 여러 번 렌더링하는 것
  - 예를 들어, 라이트 맵 (lightmap) 효과를 위해 물체를 정상적으로 그리고 난 후 블렌딩 함수를 사용하여 같은 물체를 다시 한번 그려줌



Billboarding

- 물체의 방향이 언제나 카메라를 향하도록 하는 것

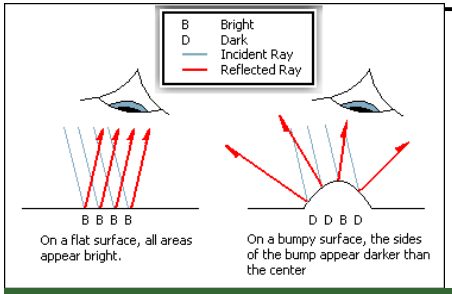




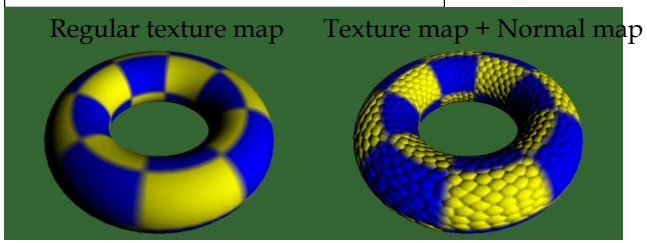
Billboards

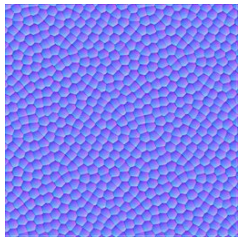
Real

Normal Mapping



- 노말맵 (normal map)의 명칭은 normal bump map임. 기본적으로 범프맵 (bump map)과 마찬가지로 작은 요철을 표현하는데 쓰임.



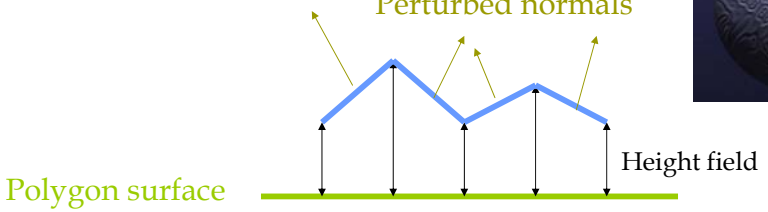


Normal Mapping

- 노말맵은 R,G,B 채널로 되어 있으며, 이 세 값은 폴리곤 표면의 tangent에 관련된 법선 벡터의 방향을 나타냄. 실제로 쓰이는 의미는 "수직" "수평" "깊이" 즉 x, y, z 축으로의 값을 표현하는 것임
- 폴리곤의 표면 상의 한 점은 최종적으로 x, y, z 축의 기울기를 모두 갖게 되는 것임
- 최근 게임에서는 노말맵이 high-polygon 장면에서 계산된 다음 low-polygon 모델에 맵핑되어 생생하게 세부묘사를 하고 있음

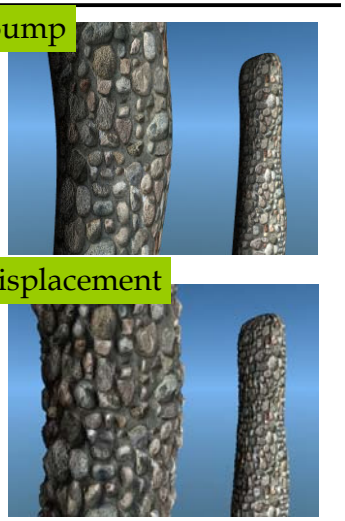
Bump Mapping

- 노말맵이 있기 전까지는 흑백의 이미지 (greyscale texture)를 사용해서 어둡고 밝은 부분에 따라 높낮이 (height field)를 조정하는 범프맵 (bunp map)을 사용
- 픽셀단위로 폴리곤의 표면에서 밝은 부분은 튀어나오게 하고 어두운 부분은 들어가게 함



Displacement Mapping

- 노말맵/범프맵은 폴리곤의 옆면에서 보게 되면 편평하게 보이는 단점이 존재함
- 디스플레이스먼트 맵핑 (displacement mapping)을 사용하면 메쉬 (mesh)의 실제 geometry를 움직여서 보다 울퉁불퉁하게 보이게 할 수 있음
- 디스플레이스먼트 맵의 높낮이 (height field)는 메쉬의 geometry를 법선 벡터에 따라 옮겨놓는 데 사용



Texture mapping

- 각종 텍스쳐 맵핑 기법
  - Color (diffuse reflection coefficients) - Texture mapping
  - Specular color (to simulate specular light and reflection coefficients) - Environment mapping
  - Normal vector (to simulate roughness and structure in materials) - Bump mapping/Normal mapping
  - Position (normally only perpendicular to the surface) - Displacement mapping
  - Transparency (to get glass effects) (no refraction though)
- 하드웨어에서의 텍스쳐 맵핑은 하드웨어에서 텍스쳐 맵핑에 일치하는 라이팅 계산을 해줘야 가능함

Modeling

- Levels
  - 2차원 하드웨어 - pixels
  - 3차원 하드웨어 - filled triangles with textures and Gouraud shading
  - 저수준 3차원 그래픽스 라이브러리 – same plus Phong shading, 변환 (transformations), 투영 (projections), 클리핑 (clipping)
  - 그래픽 엔진 - levels of detail, curved primitives, etc
  - 모델링 패키지 도구 - solid modeling, CSG, fractals, parametric surfaces, etc.

Polygonal representations

- Polygon
  - Gouraud 나 Phong shading 을 사용하여 smooth한 표면
  - 텍스쳐 맵핑을 사용해서 일부 상세한 표현 가능
- 폴리곤 설계의 어려움
  - Manual
  - 3차원 스캐닝
    - 어떻게 점들을 연결할 지
  - 인터랙티브한 생성
    - 기본 요소 (구, 입방체, 등), extrusions, sweeping volumes
    - Mesh generation
    - Density dependent on curvature
    - Problems with crossing boundaries
  - 고수준 기하요소 생성
    - Constructive solid geometry (CSG), Extrusions, Curves and surfaces

Polygonal representations

- Level of Detail (LOD)
  - 사용하는 이유
    - 메쉬의 단순화 (mesh simplification)
    - 거리에 따라 다른 복잡한 구조를 사용함 (level of detail approximation)
    - 인터넷으로 프로그래시브한 전송 (progressive transmission)
  - 문제점
    - 어떤 정점을 버려야 할 지
    - 어떻게 부드러운 표면으로 만들지 (geomorph)
      - 픽셀 수준의 몰핑 (morphing)을 사용함
    - 어떻게 저장을 줄일지
    - 모델의 일부를 선택적으로 개선할 지
  - 기법
    - Resampling
    - Edge collapse/edge swaps
    - Vertex removal and retriangulation

Landscape/Terrains

- Terrains은 특수하게 처리해야 함
  - 연결된 것 (continuous)
  - 매우 커서 물체 클리핑이 필요하지 않는 것 (no object clipping)
  - LOD가 좀 더 어려움
- Height fields
  - 픽셀이 높낮이 정보인 2차원 비트맵(bitmap) 사용
  - 쉽게 그릴 수 있음
  - 쉽게 삼각형 표현으로 변환시킬 수 있음
  - 별개의 색깔맵 (color map)이나 높낮이 정보 (height field)로 생성
- Fractal landscape generation
  - 모델링 패키지 지원
- Level of Detail (LOD)
  - Triangle binary tree 를 사용
  - LOD시 갑작스럽게 사라지는 peaks나 valleys의 문제가 있음
    - 다른 LOD에서 높이 간의 보간이 필요함
  - 보다 나은 방법으로, 주요 특징에 기반한 tree를 구성함

Additional issues

- 그림자 (shadows)
  - 빛과 물체 하나 하나씩에 관련된 계산이 요구됨
  - 지면에서만 사용 (지면을 하나의 별개 물체로 취급함)
  - Shadow volumes
  - Shadow z-buffers
- 투명 (transparency)
  - Back to front drawing order
- 반사 (reflections)
  - 반사맵 (reflection maps)
  - 스텐실 버퍼를 사용하여 더블 렌더링 (double rendering)
- 세이더 (shaders)
  - HLSL, GLSL, Cg
  - 프로그램으로 버텍스나 픽셀의 내용을 변경

Efficiency

- 아직도 게임 그래픽을 효과적으로 만들기는 어려움
- 때문에, 주의 깊은 설계가 요구됨
  - Level of detail (LOD) techniques
  - 클리핑 (clipping)
  - 포탈 기법 (portal techniques)
  - 레벨 디자인 (level design)
  - 충돌 검사 (collision detection)