

Stencil

305890
2009년 봄학기
4/8/2009
박경신

Overview

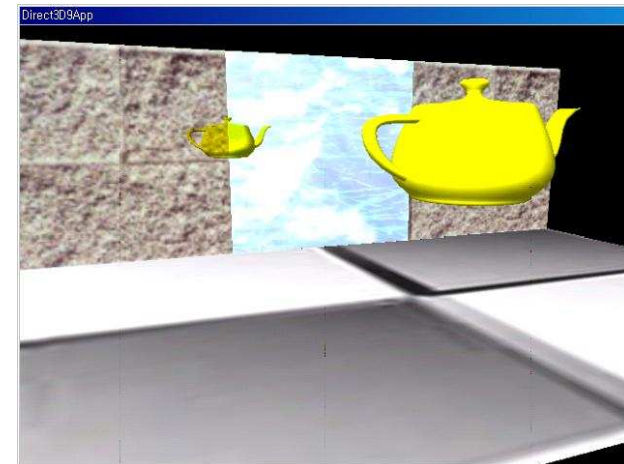
- Using the Stencil Buffer
 - 스텐실 버퍼의 작동 원리
 - 스텐실 버퍼를 만드는 방법.
 - 스텐실 버퍼를 제어하는 방법
- Mirrors
 - 거울을 구현하는 방법
 - 스텐실 버퍼를 이용해 거울이 아닌 표면에 반사가 일어나는 것을 막는 방법
- Planar Shadows
 - 그림자를 렌더링하는 방법
 - 스텐실 버퍼를 이용해 '더블 블렌딩'을 막는 방법

Stencil Buffer

- Stencil Buffer
 - 특수한 효과를 위한 off-screen buffer임
 - Backbuffer, depth buffer와 동일한 해상도임
 - Stencil buffer는 back buffer의 일정 부분이 rendering되지 않도록 함.
 - 대표적인 활용: 거울, 그림자의 구현
 - 예: 벽면에 거울이 있는 경우, 벽면을 제외하고 거울이 있는 영역에 대해서만 반사되는 물체의 drawing을 수행하도록 함.

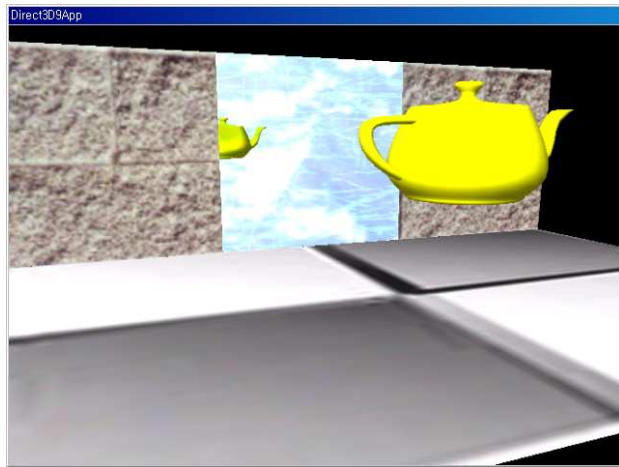
Mirror Effect

- 스텐실 버퍼를 이용하지 않음



Mirror Effect

스텐실 버퍼를 이용



Using Stencil Buffer

Stencil Buffer 이용하기

- Direct3D 초기화 과정에서 stencil buffer를 요청해야 함
- 이용할 시에 이를 활성화시켜야 함

```
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, true); // 활성화  
... // stencil 관련 작업을 수행  
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, false);
```

Stencil buffer의 내용을 clear하기 (back buffer, depth buffer에서의 방법과 동일함)

```
Device->clear(0 /* num of rectangles */, 0 /* rectangles */,  
D3DCLEAR_TARGET | D3DCLEAR_ZBUFFER | D3DCLEAR_STENCIL,  
0xff000000 /* target */,  
1.0f /* depth */,  
0 /* stencil */);
```

Using Stencil Buffer

Stencil Buffer 요청하기

- 스텐실 버퍼는 깊이 버퍼와 함께 생성하고 버퍼도 공유함
- 깊이 버퍼의 포맷을 지정할 때 스텐실 버퍼의 포맷도 함께 지정가능함

Depth/Stencil buffer format

- D3DFMT_D24S8: 32-bit depth/stencil buffer, pixel당 24-bit depth buffer/8-bit stencil buffer에 할당함
- D3DFMT_D24X4S4: 32-bit depth/stencil buffer, pixel당 24-bit depth buffer/4-bit stencil buffer에 할당함. 나머지 4-bit는 사용하지 않음
- D3DFMT_D15S1: 16-bit depth/stencil buffer; pixel당 15-bit depth buffer/1-bit stencil buffer에 할당함.
- D3DFMT_D32는 depth buffer에만 32-bit를 할당함 (stencil buffer는 없음)
- Stencil 지원은 graphics card에 따라 달라질 수 있음 (8-bit stencil을 지원하지 않는 카드도 있음)

Stencil Test

Stencil test

- 스텐실 버퍼를 사용하여 Back buffer의 일정 부분이 rendering되는 것을 막음. 특정 pixel의 rendering 여부를 결정해야 함.
- (StencilRef & Stencil Mask) CompFunc (StencilBufferValue & StencilMask)
 - StencilRef: app이 정의한 stencil reference 값. Default는 0. 임의의 정수값
 - StencilMask: app이 정의한 stencil mask 값. 사용하지 않을 bit들을 감추는 용도. Default 0xffffffff
 - StencilBufferValue: 테스트하려는 현재 pixel의 stencil buffer 값
 - 스텐실 테스트 결과가 true이면 스텐실을 통과하여 back buffer에 픽셀을 출력함. False이면 픽셀은 출력되지 않고 깊이 버퍼에도 안 써짐.

Stencil Test Control

- Stencil test에 스텐실 참조 값 (reference value), 마스크 (mask), 비교 연산자 (comparison function)를 지정

- Stencil test를 위한 값 지정의 예

```
// enable stencil test
pDevice->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, TRUE);
// specify the stencil comparison function
pDevice->SetRenderState(D3DRS_STENCILFUNC, D3DCMP_EQUAL);
// set the comparison reference value
pDevice->SetRenderState(D3DRS_STENCILREF, 0x1);
// specify a stencil mask
pDevice->SetRenderState(D3DRS_STENCILMASK, 0x0000ffff);
```

Default는 0.
16진수 이용하면 비트 배열 확인 및 AND 연산에 수월

상위 16-bit를 감춤

Stencil Test Control

- 비교연산자 (CompFunc)의 지정:

```
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFUNC, D3DCMP_LESS);
```

- D3DCMPFUNC enum type의 요소:

- D3DCMP_ALWAYS: default임. 항상 test를 통과하도록 함
- D3DCMP_NEVER: test가 항상 실패함
- D3DCMP_LESS/EQUAL/LESSQUAL/GREATER/NOTEQUAL/GREATEREQUAL: lhs < / = / <= / > / != / >= rhs

Stencil Buffer Update

- Stencil test 후 3가지 상황에 따라 스텐실 버퍼의 항목이 갱신되는 방법을 지정

- 스텐실 테스트가 실패한 경우 stencil buffer 갱신 방법을 정의:

```
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFAIL, StencilOperation);
```

- 깊이 테스트가 실패한 경우 stencil buffer 갱신 방법을 정의:

```
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILZFAIL, StencilOperation);
```

- 스텐실 테스트와 깊이 테스트가 모두 성공한 경우 stencil buffer 갱신 방법을 정의:

```
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILPASS, StencilOperation);
```

D3DSTENCILOP_KEEP

Stencil Buffer Update

- Stencil Operation

- 모든 D3DRS_STENCILXXX에 대한 default는 D3DSTENCILOP_KEEP 임.

- D3DSTENCILOP_KEEP/ZERO/REPLACE/INVERT: stencil buffer 항목을 간직, 0으로, StencilRef값으로, 또는 반전.

- D3DSTENCILOP_INCRSAT/DECRSAT/INCR/DECR: stencil buffer 항목을 증가(최대값보다 크면 최대값으로), 감소(0미만이면 0으로), 증가(최대값보다 크면 0으로), 또는 감소(0미만이면 최대값으로)

Stencil Write Mask

Stencil Write Mask

- Stencil buffer에 쓰여지는 모든 값들을 mask함.
- Default는 0xffffffff

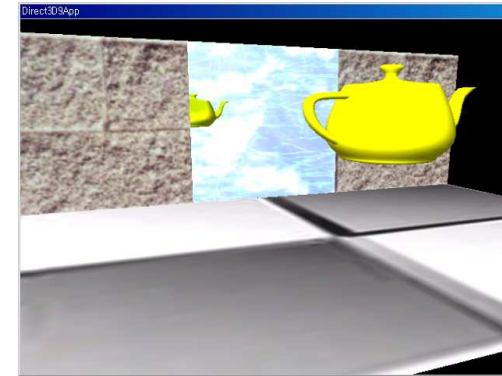
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILWRITEMASK, 0x0000ffff);

↑
상위 16-bit를 감춤

Sample: StencilMirrors

거울 (mirror) 구현

- 임의의 평면에 물체가 반사되는 방법 파악
- 거울 영역에만 반사를 그려야 함 - 스텐실 버퍼이용



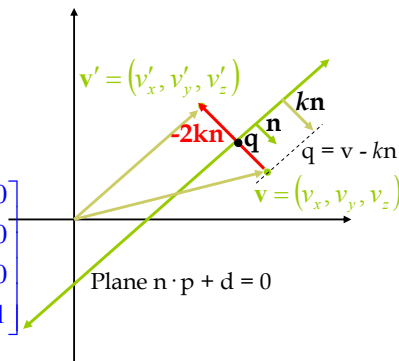
Reflection

- 거울 평면 (n, d)에 대해 점 $v=(v_x, v_y, v_z)$ 의 반사 포인트 $v'=(v'_x, v'_y, v'_z)$ 를 계산하는 방법

$$\begin{aligned} \mathbf{v}' &= \mathbf{v} - 2k\mathbf{n} \\ &= \mathbf{v} - 2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} + d)\mathbf{n} \\ &= \mathbf{v} - 2[(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})\mathbf{n} + d\mathbf{n}] \end{aligned}$$

$$\mathbf{v}' = \mathbf{v}R$$

$$R = \begin{bmatrix} -2n_x n_x + 1 & -2n_y n_x & -2n_z n_x & 0 \\ -2n_x n_y & -2n_y n_y + 1 & -2n_z n_y & 0 \\ -2n_x n_z & -2n_y n_z & -2n_z n_z + 1 & 0 \\ -2n_x d & -2n_y d & -2n_z d & 1 \end{bmatrix}$$



k : v 에서 plane로의 signed shortest distance
 n 이 unit vector인 경우, $k = n \cdot v + d$

Reflection



- D3DX 라이브러리는 R과 같은 임의의 평면에 대한 반사 행렬을 만들어내는 함수 제공

```
D3DXMATRIX *D3DXMatrixReflect(
    D3DXMATRIX *pOut,
    CONST D3DXPLANE *pPlane);
```

- 내부적으로 plane을 정규화한 후, 반사행렬 R을 계산함.
- 세 가지 특수한 경우
 - 표준 좌표 평면(yz, xz, xy 평면)에 대한 반사 변환 행렬

$$R_{yz} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_{xy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Example: StencilMirror Overview

- 바닥, 벽, 거울, 주전자 등 전체 장면을 보통 때와 마찬가지로 rendering 함.
 - 주전자 반사는 아직 포함되지 않음
- 스텐실 버퍼를 0 값으로 clear 함.
 
- 스텐실 버퍼에만 거울을 구성하는 기본 도형(face)을 rendering 함.
 - 스텐실 테스트가 항상 성공하도록 하고 테스트가 성공하면 stencil buffer 항목을 1로 지정하도록 함. (거울에 해당하는 pixel들만 1의 값을 가짐)
- 반사된 주전자를 후면 버퍼와 스텐실 버퍼로 rendering 함.
 - 스텐실 테스트 통과한 부분만 후면 버퍼에 렌더링. Stencil buffer 항목이 1인 경우에만 stencil test를 pass하도록 지정함. 따라서 반사된 주전자가 거울에만 rendering 됨.

Example: StencilMirror

```
#include "d3dUtility.h"

IDirect3DDevice9* Device = 0;
const int Width = 640;
Const int Height = 480;

IDirect3DVertexBuffer9* VB = 0;
IDirect3DTexture9* FloorTex = 0;
IDirect3DTexture9* MirrorTex = 0;

D3DMATERIAL9 FloorMtrl = d3d::WHITE_MTRL;
D3DMATERIAL9 WallMtrl = d3d::WHITE_MTRL;
D3DMATERIAL9 MirrorMtrl = d3d::WHITE_MTRL;

ID3DXMesh* Teapot = 0;
D3DXVECTOR3 TeapotPosition(0.0f, 3.0f, -7.5f);
D3DXMATERIAL9 TeapotMtrl = d3d::YELLOW_MTRL;
```

Example: StencilMirror

```
Struct Vertex {
    Vertex() {}
    Vertex(float x, float y, float z, float nx, float ny, float nz, float u, float v) {
        _x = x; _y = y; _z = z;
        _nx = nx; _ny = ny; _nz = nz;
        _u = u; _v = v;
    }
    float _x, _y, _z;
    float _nx, _ny, _nz;
    float _u, _v;
    static const DWORD FVF;
};
Const DWORD Vertex::FVF =
    D3DFVF_XYZ|D3DFVF_NORMAL|D3DFVF_TEX1;
```

Example: StencilMirror

```
bool Setup() {
    WallMtrl.Specular = d3d::WHITE * 0.2f;
    D3DXCreateTeapot(Device, &Teapot, 0); // create teapot
    Device->CreateVertexBuffer(24 * sizeof(Vertex), 0, Vertex::FVF,
        D3DPOOL_MANAGED, &VB, 0);

    Vertex *v = 0;
    VB->Lock(0, 0, (void**)&v, 0);
    v[0] = Vertex(-7.5f, 0.0f, -10.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
    v[1] = Vertex(-7.5f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f);
    v[2] = Vertex(7.5f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
    ...

    v[23] = Vertex(2.5f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 1.0f, 1.0f);
    VB->Unlock();
}
```

Example: StencilMirror

```
// load textures, set filters
D3DXCreateTextureFromFile(Device, "checker.jpg", &FloorTex);
D3DXCreateTextureFromFile(Device, "brick0.jpg", &WallTex);
D3DXCreateTextureFromFile(Device, "ice.bmp", &MirrorTex);
Device->SetSamplerState(0, D3DSAMP_MAGFILTER, D3DTEXF_LINEAR);
Device->SetSamplerState(0, D3DSAMP_MINFILTER, D3DTEXF_LINEAR);
Device->SetSamplerState(0, D3DSAMP_MIPFILTER, D3DTEXF_LINEAR);
// light
D3DXVECTOR3 lightDir(0.707f, -0.707f, 0.707f);
D3DXCOLOR color(1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f);
D3DLIGHT9 light = d3d::InitDirectionalLight(&lightDir, &color);
Device->SetLight(0, &light);
Device->LightEnable(0, true);
Device->SetRenderState(D3DRS_NORMALIZENORMALS, true);
Device->SetRenderState(D3DRS_SPECULARENABLE, true);
// set camera
// set projection matrix
return true;
}
```

Example: StencilMirror

```
bool Display(float timeDelta) {
    if (Device) {
        static float radius = 20.0f;
        if (::GetAsyncKeyState(VK_LEFT) & 0x8000f)
            TeapotPosition.x -= 3.0f * timeDelta;
        if (::GetAsyncKeyState(VK_RIGHT) & 0x8000f)
            TeapotPosition.x += 3.0f * timeDelta;
        if (::GetAsyncKeyState(VK_UP) & 0x8000f)
            radius -= 2.0f * timeDelta;
        if (::GetAsyncKeyState(VK_DOWN) & 0x8000f)
            radius += 2.0f * timeDelta;
        static float angle = (3.0f * D3DX_PI) / 2.0f;
        if (::GetAsyncKeyState('A') & 0x8000f) angle -= 0.5f * timeDelta;
        if (::GetAsyncKeyState('S') & 0x8000f) angle += 0.5f * timeDelta;
    }
}
```

Example: StencilMirror

```
D3DXVECTOR3 position(cosf(angle)*radius, 3.0f, sinf(angle)*radius);
D3DXVECTOR3 target(0.0f, 0.0f, 0.0f);
D3DXVECTOR3 up(0.0f, 1.0f, 0.0f);
D3DXMATRIX V;
D3DXMatrixLookAtLH(&V, &position, &target, &up);
Device->SetTransform(D3DTS_VIEW, &V);
// draw scene
Device->Clear(0, 0, D3DCLEAR_TARGET | D3DCLEAR_ZBUFFER |
            D3DCLEAR_STENCIL, 0xff000000, 1.0f, 0L);
Device->BeginScene();
RenderScene();
RenderMirror();
Device->EndScene();
Device->Present(0, 0, 0, 0);
}
return true;
}
```

Example: StencilMirror

```
void RenderScene() {
    // draw teapot
    Device->SetMaterial(&TeapotMtrl);
    Device->SetTexture(0, 0);
    D3DXMATRIX W;
    D3DXMatrixTranslation(&W, TeapotPosition.x, TeapotPosition.y,
                        TeapotPosition.z);
    Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &W);
    Teapot->DrawSubset(0);

    D3DXMATRIX I;
    D3DXMatrixIdentity(&I);
    Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &I);
    Device->SetStreamSource(0, VB, 0, sizeof(Vertex));
    Device->SetFVF(Vertex::FVF);
}
```

Example: StencilMirror

```
// draw floor
Device->SetMaterial(&FloorMtrl);
Device->SetTexture(0, FloorTex);
Device->DrawPrimitive(D3DPT_TRIANGLELIST, 0, 2);
// draw wall
Device->SetMaterial(&WallMtrl);
Device->SetTexture(0, WallTex);
Device->DrawPrimitive(D3DPT_TRIANGLELIST, 6, 4);
// draw mirror
Device->SetMaterial(&MirrorMtrl);
Device->SetTexture(0, MirrorTex);
Device->DrawPrimitive(D3DPT_TRIANGLELIST, 18, 2);
}
```

Example: StencilMirror

```
void RenderMirror() {
    // draw mirror quad to stencil buffer ONLY
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, true);
    // stencil test가 항상 성공하도록 함
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFUNC, D3DCMP_ALWAYS);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILREF, 0x1);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILMASK, 0xffffffff);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILWRITEMASK, 0xffffffff);
    // depth test가 실패하면 pixel이 가려졌음을 의미 렌더링할 필요 없음.
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILZFAIL, D3DSTENCILOP_KEEP);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFAIL, D3DSTENCILOP_KEEP);
    // depth/stencil test가 성공하면 stencil 참조 값을 0x1로 함.
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILPASS, D3DSTENCILOP_REPLACE);
    // depth/back buffer에 쓰는 것을 방지함.
    Device->SetRenderState(D3DRS_ZWRITEENABLE, false);
    Device->SetRenderState(D3DRS_ALPHABLENDENABLE, true);
    // blending시 back buffer가 바뀌지 않게 함.
    Device->SetRenderState(D3DRS_SRCBLEND, D3DBLEND_ZERO);
    Device->SetRenderState(D3DRS_DESTBLEND, D3DBLEND_ONE);
}
```

Example: StencilMirror

```
// stencil buffer에 거울을 그린다.
Device->SetStreamSource(0, VB, 0, sizeof(Vertex));
Device->SetFVF(Vertex::FVF);
Device->SetMaterial(&MirrorMtrl);
Device->SetTexture(0, MirrorTex);
D3DXMATRIX I;
D3DXMatrixIdentity(&I);
Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &I);
Device->DrawPrimitive(D3DPT_TRIANGLELIST, 18, 2);
// re-enable depth write
Device->SetRenderState(D3DRS_ZWRITEENABLE, true);
// 거울에 비친 주전자만 그린다
// stencil값이 0x1인 경우에만 pass함
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFUNC, D3DCMP_EQUAL);
// stencil test가 pass이면 stencil buffer값을 계속 유지함
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILPASS, D3DSTENCILOP_KEEP);
```

Example: StencilMirror

```
// position reflection
D3DXMATRIX W, T, R;
D3DXPLANE plane(0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f); // xy plane
D3DXMatrixReflect(&R, &plane);
D3DXMatrixTranslation(&T, TeapotPosition.x, TeapotPosition.y,
                    TeapotPosition.z);
W = T * R;

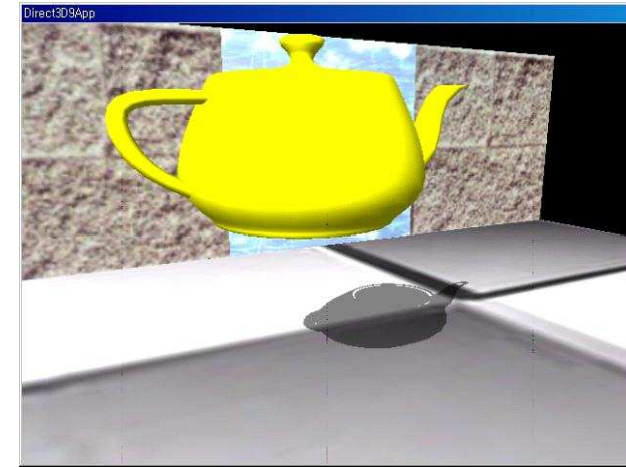
// clear depth buffer and blend reflected teapot with mirror
// 깊이버퍼 소거
Device->Clear(0, 0, D3DCLEAR_ZBUFFER, 0, 1.0f, 0);
// 동시에 반사된 주전자를 거울과 블렌드(blending) 해줘야함
Device->SetRenderState(D3DRS_SRCBLEND, D3DBLEND_DESTCOLOR);
Device->SetRenderState(D3DRS_DESTBLEND, D3DBLEND_ZERO);
```

Example: StencilMirror

```
// finally draw the reflected teapot
Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &W);
Device->SetMaterial(&TeapotMtrl);
Device->SetTexture(0, 0);
// 반사될 때 물체의 전후면이 뒤바뀌나 두르기 순서는 바뀌지않아서
// 후면 추리기 조건을 변경해야 한다.
Device->SetRenderState(D3DRS_CULLMODE, D3DCULL_CW);
Teapot->DrawSubset(0);

// restore render states
Device->SetRenderState(D3DRS_ALPHABLENDENABLE, false);
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, false);
Device->SetRenderState(D3DRS_CULLMODE, D3DCULL_CCW);
}
```

Shadow



Shadow

- 평면에 놓이는 그림자
 - 어느 곳에서 빛이 비추고 있는지 인식할 수 있도록 함
 - 장면의 사실감을 높임
- 그림자 볼륨
 - 매우 사실적, 수준 높은 개념
 - DirectX SDK에 그림자 볼륨의 예제 프로그램
- 구현 방법
 1. 3차원 수학 - 물체를 평면에 떨어뜨림
 2. 50% 투명한 검은 재질을 이용하여 렌더링
 3. “더블 블렌딩” 이라는 약간의 부작용 방지를 위해 스텐실 버퍼 이용

Directional Light Shadow

- 광선과 평면의 교차

Ray $\mathbf{r}(t) = \mathbf{p} + t\mathbf{L}$

Plane $\mathbf{n} \cdot \mathbf{p} + d = 0$

Intersection Point

$$\mathbf{s} = \mathbf{p} + t\mathbf{L}$$

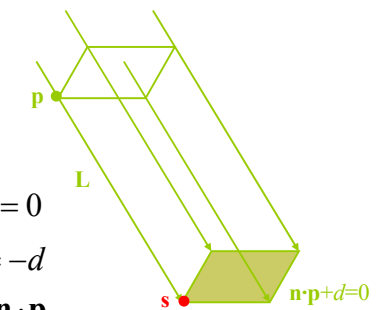
$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{s} + d = 0 \Rightarrow \mathbf{n} \cdot (\mathbf{p} + t\mathbf{L}) + d = 0$$

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{p} + t(\mathbf{n} \cdot \mathbf{L}) = -d$$

$$t(\mathbf{n} \cdot \mathbf{L}) = -d - \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}$$

$$t = \frac{-d - \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{L}}$$

평행광원 (벡터 L)



$$\therefore \mathbf{s} = \mathbf{p} + \left[\frac{-d - \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{L}} \right] \mathbf{L}$$

Point Light Shadow

□ 광선과 평면의 교차

Ray $r(t) = p + t(p - L)$

Plane $n \cdot p + d = 0$

Intersection Point

$$s = p + t(p - L)$$

$$n \cdot s + d = 0$$

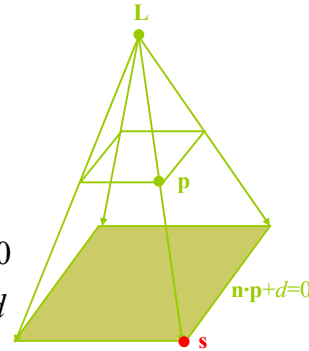
$$\Rightarrow n \cdot (p + t(p - L)) + d = 0$$

$$n \cdot p + t(n \cdot (p - L)) = -d$$

$$t(n \cdot p - n \cdot L) = -d - n \cdot p$$

$$t = \frac{-d - n \cdot p}{n \cdot p - n \cdot L} \quad \therefore s = p + \left[\frac{-d - n \cdot p}{n \cdot p - n \cdot L} \right] (p - L)$$

점광원 (점 L)



Point Light Shadow

□ 광선과 평면의 교차

Ray $r(t) = L + t(p - L)$

Plane $n \cdot p + d = 0$

Intersection Point

$$s = L + t(p - L)$$

$$n \cdot s + d = 0$$

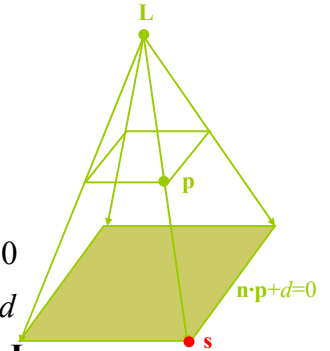
$$\Rightarrow n \cdot (L + t(p - L)) + d = 0$$

$$n \cdot L + t(n \cdot (p - L)) = -d$$

$$t(n \cdot p - n \cdot L) = -d - n \cdot L$$

$$t = \frac{-d - n \cdot L}{n \cdot p - n \cdot L} \quad \therefore s = L + \left[\frac{-d - n \cdot L}{n \cdot p - n \cdot L} \right] (p - L)$$

점광원 (점 L)



Shadow Matrix

평행 광원 그림자
→ 평행 투영 이용

점 광원 그림자
→ 원근 투영 이용

□ 변환 행렬

- 투영면 $n \cdot p + d = 0 \rightarrow 4D$ 벡터 (n_x, n_y, n_z, d)
- 조명의 방향이나 위치 $\rightarrow 4D$ vector (L_x, L_y, L_z, L_w)
 - $L_w = 0$ 이면, L 은 평행 조명의 방향
 - $L_w = 1$ 이면, L 은 점 조명의 위치

$$s = pS \quad S = \begin{bmatrix} n_x L_x + k & n_x L_y & n_x L_z & n_x L_w \\ n_y L_x & n_y L_y + k & n_y L_z & n_y L_w \\ n_z L_x & n_z L_y & n_z L_z + k & n_z L_w \\ d L_x & d L_y & d L_z & d L_w + k \end{bmatrix}$$

where $k = (n_x, n_y, n_z, d) \cdot (L_x, L_y, L_z, L_w) = n_x L_x + n_y L_y + n_z L_z + d L_w$

Shadow Matrix

□ DirectX는 그림자 행렬을 만들어 내는 함수 제공

```
D3DXMATRIX *D3DXMatrixShadow(
    D3DXMATRIX *pOut,
    CONST D3DXVECTOR4 *pLight, // light
    CONST D3DXPLANE *pPlane); // shadow plane
```

- $pLight$ 의 $w=0$ 일 경우, 평행 조명 (directional light)
 $w=1$ 일 경우, 점 조명 (point light)
- 내부적으로 plane을 정규화한 후, light 위치와 평면과의 dot product를 계산한 후, 그림자 행렬 S를 계산함.

P = normalize(Plane)

L = light

D = dot(P, L)

P.a * L.x + D

P.b * L.x

P.c * L.x

P.d * L.x

P.a * L.y

P.b * L.y + D

P.c * L.y

P.d * L.y

P.a * L.z

P.b * L.z

P.c * L.z + D

P.d * L.z

P.a * L.w

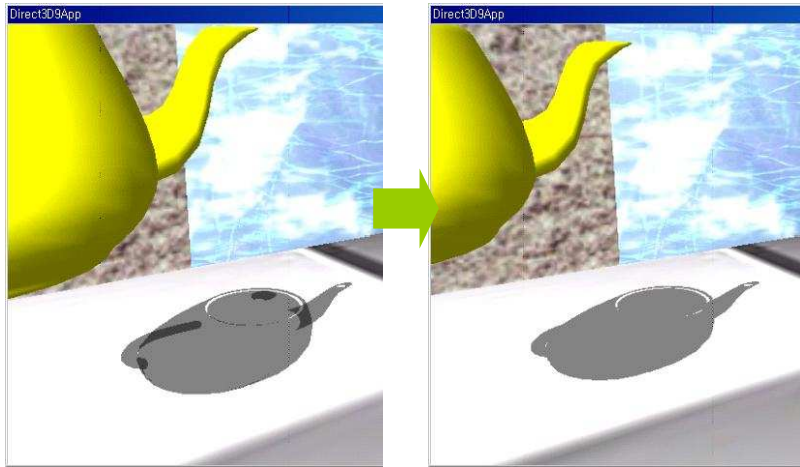
P.b * L.w

P.c * L.w

P.d * L.w + D

Double Blending 해결

□ 더블 블렌딩 (Double blending)



Double Blending 해결

□ Double Blending

- 물체의 기하 정보를 평면에 flatten하게 만들면 여러 개의 flatten된 삼각형들이 겹쳐나게 됨.
- 이들을 반투명으로 그림자 렌더링하면 겹쳐진 영역들이 더욱 어둡게 나타남.

□ 해결방법

- Stencil buffer를 사용하여 처음으로 렌더링되는 픽셀들만 받아들여도록 스텐실 테스트를 구성함.
- 그림자 pixel이 후면버퍼에 렌더링 되는 동안 스텐실 버퍼에 표시를 남겨 놓음.
- 이미 렌더링된 (스텐실 버퍼에 표시된) 그림자 영역에 다시 픽셀을 쓰려고 하면, 스텐실 테스트가 실패하므로 blending되지 않음.

Example: StencilShadow

```
bool Display(float timeDelta) {
    ....
    RenderScene();
    RenderShadow();
    ...
}
void RenderShadow()
{
    // stencil buffer는 0으로 clear 됐다고 가정
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, true);
    // stencil buffer의 해당값이 0인 경우에만 back buffer에 그림자를 렌더링
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILFUNC, D3DCMP_EQUAL);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILREF, 0x0);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILMASK, 0xffffffff);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILWRITEMASK, 0xffffffff);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILZFAIL, D3DSTENCILOP_KEEP);
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILIFAIL, D3DSTENCILOP_KEEP);
    // 두 번째 이후 실패하도록 하기 위해서 1을 증가시킴
    Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILPASS, D3DSTENCILOP_INCR);
}
```

Example: StencilShadow

```
// 주전자의 그림자 행렬
D3DVECTOR4 lightDirection(0.707f, -0.707f, 0.707f, 0.0f);
D3DPLANE groundPlane(0.0f, -1.0f, 0.0f, 0.0f);
D3DXMATRIX S;
D3DXMatrixShadow(&S, &lightDirection, &groundPlane);
D3DXMATRIX T;
D3DXMatrixTranslation(&T, TeapotPosition.x, TeapotPosition.y,
    TeapotPosition.z);
D3DXMATRIX W = T * S;
Device->SetTransform(D3DTS_WORLD, &W);

// alpha blend the shadow
Device->SetRenderState(D3DRS_ALPHABLENDENABLE, true);
Device->SetRenderState(D3DRS_SRCBLEND, D3DBLEND_SRCALPHA);
Device->SetRenderState(D3DRS_DESTBLEND, D3DBLEND_INVSRCALPHA);
```

Example: StencilShadow

```
// 그림자를 50%투명도의 검은 재질로 지정
D3DMATERIAL9 mtrl = d3d::InitMtrl(d3d::BLACK, d3d::BLACK,
                                d3d::BLACK, d3d::BLACK, 0.0f);
mtrl.Diffuse.a = 0.5f; // 50% transparency
// 그림자를 렌더링할 때 바닥면과 z-buffer fighting하지 않도록 z-buffer를 끈다.
Device->SetRenderState(D3DRS_ZENABLE, false);
Device->SetMaterial(&mtrl);
Device->SetTexture(0, 0);
Teapot->DrawSubset(0);

Device->SetRenderState(D3DRS_ZENABLE, true);
Device->SetRenderState(D3DRS_ALPHABLENDENABLE, false);
Device->SetRenderState(D3DRS_STENCILENABLE, false);
}
```

Reference

- <http://www.opengl.org/resources/features/StencilTalk/>