

Viewing

321190
2011년 봄학기
5/12/2011
박경신

Camera Movement

- OpenGL에서 카메라 효과를 주기 위하여, display함수의 시작부분에 카메라의 움직임에 반대되는 변환행렬을 적용시키면 된다.
- 예를 들어, 카메라를 원점에서 10 units만큼 +Z로 움직이려면, world를 -10 units만큼 움직이면 된다.

```
void display()
{
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();
    gluPerspective(45, 1, 0.1, 100);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
    glLoadIdentity();
    glTranslatef(0, 0, -10);
    drawObjects();
}
```

Camera Movement

- 일반적인 카메라 움직임 (Camera movement)은 카메라의 위치와 방향 (Camera position & orientation)을 world에 역변환행렬 (Inverse transformation)로 적용한다.

□ 예

```
float cameraX, cameraY, cameraZ, cameraHeading;
void display()
{
    glLoadIdentity();
    glRotatef(-cameraHeading, 0, 1, 0);
    glTranslatef(-cameraX, -cameraY, -cameraZ);

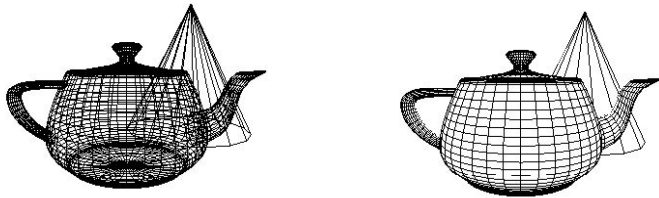
    drawObjects();
}
```

Camera Movement

- Navigation
 - Fly-through (6DOF)
 - Yaw (y), pitch (x), roll (z) orientation
 - Walk forward/backward (z), strafe right/left (x), fly up/down (y) movement
 - Walk-through (2DOF)
 - Pan (y)
 - Walk forward/backward (z)

Hidden Surface

- 은면(hidden surfaces)은 occlusion depth cue를 제공한다.
- 컴퓨터 그래픽스에서, 가려짐 (occlusion)이란 용어는 뷰포트로부터 가까운 물체가 뷰포트에서 멀리있는 물체를 가리는 것을 말한다.
- 그래픽스 파이프라인에서 occlusion culling으로 셰이딩(shading)과 래스터화(rasterization)하기 전에 은면 제거(hidden surface removal)을 한다.



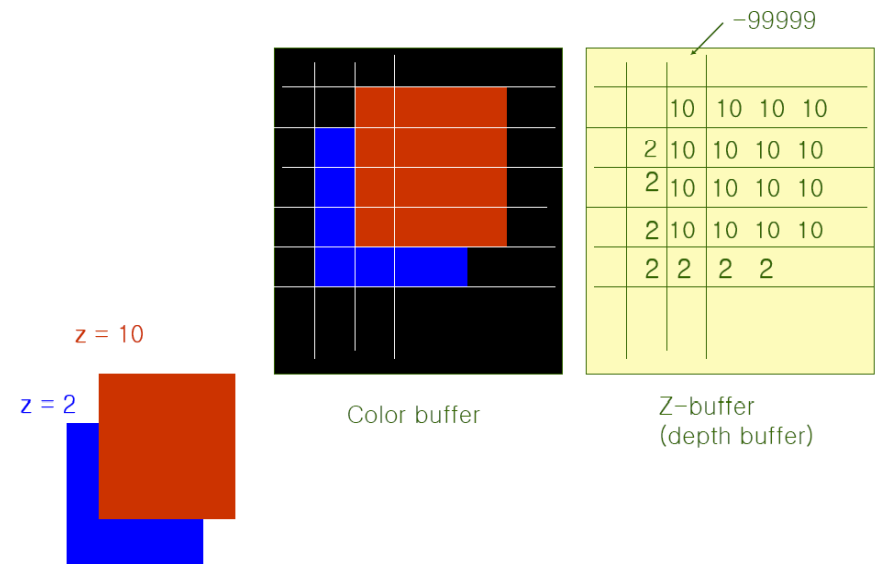
Hidden Surface Removal

- 은면 제거 (Hidden Surface Removal) 알고리즘
 - 객체 공간기법 - 객체나 객체 부분들을 서로 비교하여 전체적으로 어느 면과 선이 보이지 않는 것인지 결정
 - 깊이 정렬 알고리즘 (Depth-sorting algorithm) - 폴리곤의 각 면을 깊이에 따라 정렬한 뒤, 먼 것부터 투영하여 그린다. Painter's algorithm라고도 불린다.
 - Binary Space Partitioning (BSP) tree - BSP tree를 사용하여 관측 방향에 따라 front, back을 구분하여 공간을 계속적으로 분할한다.
 - 이미지 공간 기법 - 투영 과정의 일부분으로 동작하여, 각 투영선 위의 객체 화소 위치에서 점 단위로 가시성이 결정
 - Z-buffer (depth buffer) - 가장 일반적으로 사용되는 이미지 공간 기법으로, 물체의 가시성을 화소 단위로 조사하여 z (깊이) 값이 가장 작은 평면의 값을 그린다. Z값을 저장하는 깊이버퍼 (z-buffer)가 필요하다.
 - Ray-casting - 시점에서 투영면의 각 화소를 통해 빛 (ray)를 투사하고, 이 빛과 처음으로 만나는 객체를 선택하여 해당 픽셀을 그린다. 임의의 곡면과 같은 표면에서 효과적인 은면 제거 방법이다.

Hidden Surface Removal

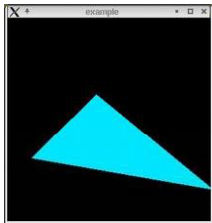
- 은면 제거가 적용된 다양한 방법
 - 깊이 정보 테스트
 - glEnable(GL_DEPTH_TEST);
 - 표면/이면 제거
 - glEnable(GL_CULL_FACE);
 - glCullFace(GL_FRONT);
 - glCullFace(GL_BACK);

Z-buffer

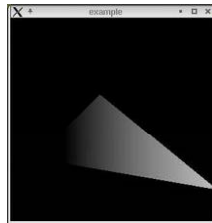


Z-buffer

- 폴리곤 렌더링이란 결국 픽셀로 채워지는 것을 의미한다.
- 컬러 버퍼 (Color buffer)는 그리고자 하는 픽셀당 RGB 색 정보를 가진다.
- 깊이 버퍼 (Z-buffer, depth buffer)는 그리고자 하는 픽셀당 깊이 정보 (depth value)를 가진다.



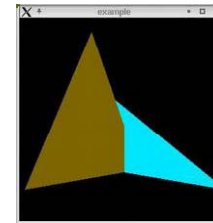
Color buffer



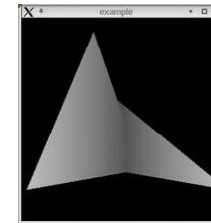
Depth buffer

Z-buffer Algorithm

- Z-buffer algorithm은 새로운 픽셀을 그릴 때마다, 새로운 깊이 정보를 깊이 버퍼 (z-buffer) 안에 있는 깊이(depth) 정보와 비교한다.
- 폴리곤 (Polygons)은 어떠한 방향에서도 그려질 수 있으며 교차할 수도 있다.



Color buffer



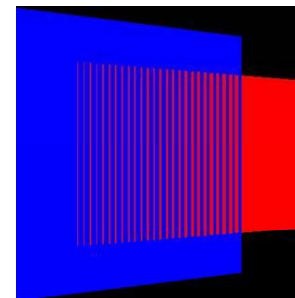
Depth buffer

OpenGL Z-buffering

- OpenGL에서 z-buffer를 사용하려면 먼저 깊이 버퍼를 초기화하고, 깊이정보 테스트를 활성화한다.
`glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE|GLUT_RGB|GLUT_DEPTH);`
`glEnable(GL_DEPTH_TEST);`
- 매 프레임마다 깊이 버퍼를 지운다.
`glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT);`
- 정육면체와 같은 객체의 경우 관측자로부터 멀어지는 방향을 향하는 모든 면을 제거하고자 할 때 사용한다.
`glEnable(GL_CULL);`

Depth Fighting

- Z-buffer의 깊이 값은 한정된 해상도를 갖고 있다.
- 깊이 버퍼에서 아주 가까운 깊이 값(depth value)을 가지는 폴리곤의 중첩(overlap)은 "depth-fighting"을 만든다.
- 폴리곤이 그려질 때 부동 소수점 반올림 에러 (floating point round-off errors) 때문에 생기는 현상으로, 폴리곤 임의의 부분이 서로 렌더링하려는 현상이다.

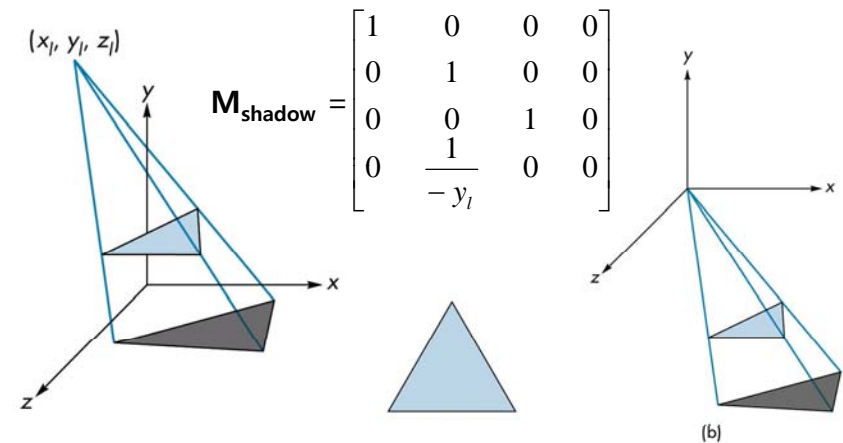


Projections and Shadows

- 물리적으로 그림자는 하나 이상의 광원을 요구 - 즉, 광선과 재질간의 상호작용이 필요하다.
- 그림자 행렬 (Shadow Matrix)
 - 그림자는 $y=0$ 에 떨어져있다고 가정하고 그림자 다각형을 생성한다.
 - 임의의 위치에 있는 광원에서 시작하여 광원이 원점에 있도록 하면 원점을 통한 간단한 투시 투영을 획득한다.
 - 다시 원래의 위치로 이동 (즉, 이동->투시투영 획득->이동)을 통해서 특정 도형에 대한 그림자를 획득할 수 있다.
 - 그리고, 같은 다각형에 대해 두 번의 렌더링(즉, 정상적인 다각형 렌더링 & 그림자 행렬을 적용한 다각형 렌더링)을 통해 그림자를 획득한다.

Projections and Shadows

- 투시투영을 사용한 간단한 그림자 생성

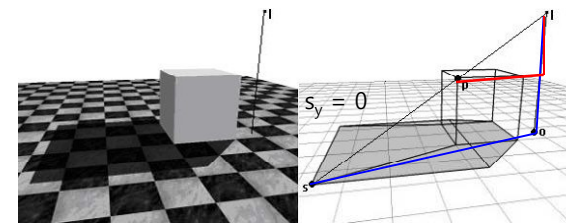


Projections and Shadows

```

GLfloat m[16]           // shadow projection matrix
m[0] = m[5] = m[10] = 1.0;
m[7] = -1.0/y_l;
glColor3fv(polygon_color);
glBegin(GL_POLYGON);
.. // draw polygon normally
glEnd();
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glPushMatrix();
glTranslatef(x_l, y_l, z_l); // translate back
glMultMatrixf(m);           // project shadow matrix
glTranslatef(-x_l, -y_l, -z_l); // move light to the origin
glColor3fv(shadow_color);
glBegin(GL_POLYGON);
.. // draw the polygon again
glEnd();
glPopMatrix();
    
```

Planar Shadow [J. Blinn, 88]



$$\begin{bmatrix} s_x \\ 0 \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_y & -l_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -l_z & l_y & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{s} &= \mathbf{l} + t(\mathbf{p} - \mathbf{l}) \\ \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} + d &= 0 \\ t &= \frac{l_y}{l_y - p_y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{l_y - p_y}{p_x - l_x} &= \frac{l_y - 0}{s_x - l_x} \\ \Rightarrow \frac{s_x - l_x}{p_x - l_x} &= \frac{l_y - 0}{l_y - p_y} \\ s_x &= \frac{l_y(p_x - l_x)}{l_y - p_y} + l_x \\ t &= \frac{l_y}{l_y - p_y} \end{aligned}$$

Planar Shadow [J. Blinn, 88]

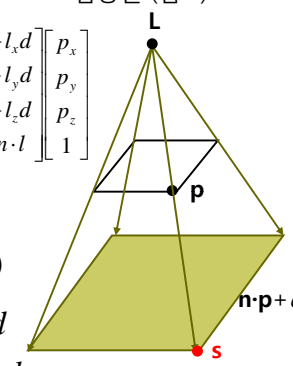
$$\begin{aligned}
 s &= l + \frac{l_y}{l_y - p_y}(p - l) & s_x &= l_x + \frac{l_y}{l_y - p_y}(p_x - l_x) & s_z &= l_z + \frac{l_y}{l_y - p_y}(p_z - l_z) \\
 s_x &= l_x + \frac{l_y}{l_y - p_y}(p_x - l_x) & &= \frac{l_x(l_y - p_y) + l_y(p_x - l_x)}{l_y - p_y} & &= \frac{l_z(l_y - p_y) + l_y(p_z - l_z)}{l_y - p_y} \\
 s_y &= 0 & &= \frac{l_y p_x - l_x p_y}{l_y - p_y} & &= \frac{-l_z p_y + l_y p_z}{l_y - p_y} \\
 s_z &= l_z + \frac{l_y}{l_y - p_y}(p_z - l_z)
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} s_x \\ 0 \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_y & -l_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -l_z & l_y & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 s_x &= l_y p_x - l_x p_y + 0 p_z \\
 s_y &= 0 \\
 s_z &= 0 p_x - l_z p_y + l_y p_z \\
 w &= 0 p_x - p_y + 0 p_z + l_y
 \end{aligned}$$

Projection Shadow

점광원 (점 L)



$$\begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \cdot l + d - l_x n_x & -l_x n_y & -l_x n_z & -l_x d \\ -l_y n_x & n \cdot l + d - l_y n_y & -l_y n_z & -l_y d \\ -l_z n_x & -l_z n_y & n \cdot l + d - l_z n_z & -l_z d \\ -n_x & -n_y & -n_z & n \cdot l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 s &= l + t(p - l) \\
 \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} + d &= 0 \\
 \mathbf{n} \cdot (l + t(p - l)) + d &= 0 \\
 \mathbf{n} \cdot l + t(\mathbf{n} \cdot (p - l)) + d &= 0 \\
 t(\mathbf{n} \cdot p - \mathbf{n} \cdot l) &= -d - \mathbf{n} \cdot l \\
 t &= \frac{-d - \mathbf{n} \cdot l}{\mathbf{n} \cdot p - \mathbf{n} \cdot l} \quad \therefore s = l + \left[\frac{\mathbf{n} \cdot l + d}{\mathbf{n} \cdot l - \mathbf{n} \cdot p} \right] (p - l)
 \end{aligned}$$

Projection Shadow

$$\begin{aligned}
 s &= l + \frac{n \cdot l + d}{n \cdot l - n \cdot p}(p - l) & s_x &= l_x + \frac{n \cdot l + d}{n \cdot l - n \cdot p}(p_x - l_x) \\
 s_x &= l_x + \frac{n \cdot l + d}{n \cdot l - n \cdot p}(p_x - l_x) & &= \frac{l_x(n \cdot l - n \cdot p) + (n \cdot l + d)p_x - (n \cdot l + d)l_x}{n \cdot l - n \cdot p} \\
 s_y &= l_y + \frac{n \cdot l + d}{n \cdot l - n \cdot p}(p_y - l_y) & &= \frac{l_y n \cdot l - l_x n_x p_x - l_x n_y p_y - l_x n_z p_z + (n \cdot l + d)p_y - l_x n \cdot l - l_x d}{-n_x p_x - n_y p_y - n_z p_z + n \cdot l} \\
 s_z &= l_z + \frac{n \cdot l + d}{n \cdot l - n \cdot p}(p_z - l_z) & &= \frac{(n \cdot l + d - l_x n_x)p_x - l_x n_y p_y - l_x n_z p_z - l_x d}{-n_x p_x - n_y p_y - n_z p_z + n \cdot l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \cdot l + d - l_x n_x & -l_x n_y & -l_x n_z & -l_x d \\ -l_y n_x & n \cdot l + d - l_y n_y & -l_y n_z & -l_y d \\ -l_z n_x & -l_z n_y & n \cdot l + d - l_z n_z & -l_z d \\ -n_x & -n_y & -n_z & n \cdot l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Projection Shadow Matrix

$$\begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \cdot l - l_x n_x & -l_x n_y & -l_x n_z & -l_x n_w \\ -l_y n_x & n \cdot l - l_y n_y & -l_y n_z & -l_y n_w \\ -l_z n_x & -l_z n_y & n \cdot l - l_z n_z & -l_z n_w \\ -l_w n_x & -l_w n_y & -l_w n_z & n \cdot l - l_w n_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

투영평면 $n = [n_x, n_y, n_z, n_w]$

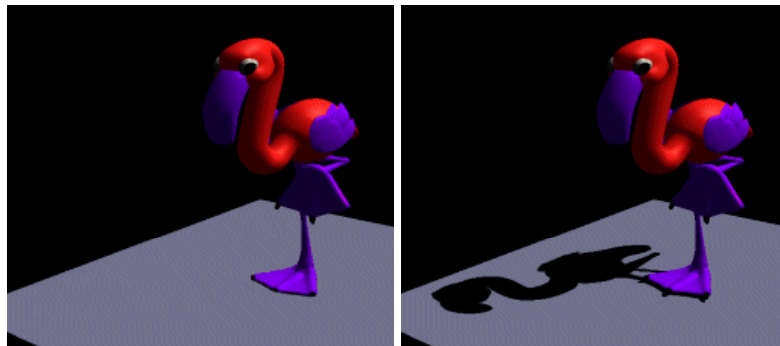
광원 $l = [l_x, l_y, l_z, l_w]$ where l = 평행 광원이면 $l_w = 0$, l = 점 광원이면 $l_w = 1$

Projection Shadow Matrix

```
// create a shadow matrix that will project the desired shadow
void ShadowMatrix(GLfloat shadowMat[16], GLfloat plane[4], GLfloat lightpos[4])
{
    GLfloat dot; // dot product of light position and ground plane normal
    dot = plane[0] * lightpos[0] + plane[1] * lightpos[1] + plane[2] * lightpos[2]
        + plane[3] * lightpos[3];
    shadowMat[0] = dot - lightpos[0] * plane[0];
    shadowMat[1] = 0.f - lightpos[0] * plane[1];
    shadowMat[2] = 0.f - lightpos[0] * plane[2];
    shadowMat[3] = 0.f - lightpos[0] * plane[3];
    shadowMat[4] = 0.f - lightpos[1] * plane[0];
    shadowMat[5] = dot - lightpos[1] * plane[1];
    shadowMat[6] = 0.f - lightpos[1] * plane[2];
    shadowMat[7] = 0.f - lightpos[1] * plane[3];
    shadowMat[8] = 0.f - lightpos[2] * plane[0];
    shadowMat[9] = 0.f - lightpos[2] * plane[1];
    shadowMat[10] = dot - lightpos[2] * plane[2];
    shadowMat[11] = 0.f - lightpos[2] * plane[3];
    shadowMat[12] = 0.f - lightpos[3] * plane[0];
    shadowMat[13] = 0.f - lightpos[3] * plane[1];
    shadowMat[14] = 0.f - lightpos[3] * plane[2];
    shadowMat[15] = dot - lightpos[3] * plane[3];
}
```

```
void renderShadow(void) {
    renderOccluders(); // 1. Step - Render all object that cast shadows
    glClear(GL_STENCIL_BUFFER_BIT); // clear stencil buffer
    glEnable(GL_STENCIL_TEST); // 2. Step - Render all receivers
    glStencilOp(GL_KEEP, GL_KEEP, GL_REPLACE);
    while (pReceiver) {
        glStencilFunc(GL_ALWAYS, pReceiver->getId(), ~0);
        render(pReceiver);
        pReceiver = pReceiver->getNext();
    }
    glDisable(GL_TEXTURE_2D); // 3. For every receiver plane (pReceiver)
    glDisable(GL_DEPTH_TEST);
    glEnable(GL_BLEND);
    glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);
    glColor4f(0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.5f); // shadow color
    glStencilOp(GL_KEEP, GL_KEEP, GL_ZERO);
    while (pReceiver) {
        glStencilFunc(GL_EQUAL, pReceiver->getId(), ~0);
        glPushMatrix();
        glMultMatrixf((GLfloat *) pReceiver->ShadowMatrix());
        renderOccludersFast(); // texturing, use constant shading only (GL_FLAT) etc
        glPopMatrix();
        pReceiver = pReceiver->getNext();
    }
    glDisable(GL_BLEND);
    glDisable(GL_STENCIL_TEST);
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
    glEnable(GL_LIGHTING);
    glEnable(GL_TEXTURE_2D);
}
```

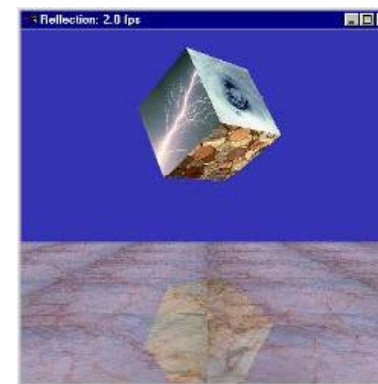
Shadow



Render without shadow

Render with shadow

Reflection



Planar Reflection

- 거울 평면 (n, d)에 대해 점 $q=(x_0, y_0, z_0)$ 의 반사 포인트 $q'=(x'_0, y'_0, z'_0)$ 를 계산하는 방법

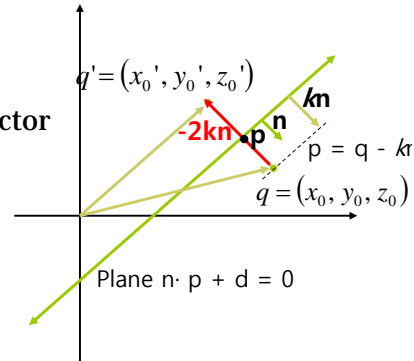
$$q' = q - 2kn$$

$$= q - 2 \frac{ax_0 + by_0 + cz_0 + d}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \mathbf{n}$$

$$= q - 2(n \cdot q + d)\mathbf{n} \text{ when } \mathbf{n} \text{ is unit vector}$$

$$q' = Rq$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1-2a^2 & -2ab & -2ac & -2ad \\ -2ab & 1-2b^2 & -2bc & -2bd \\ -2ac & -2bc & 1-2c^2 & -2cd \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



점 q에서 plane로의 signed shortest distance는 $n \cdot q + d$ unit vector인 경우, $k = n \cdot q + d$

Planar Reflection

$$\begin{bmatrix} x'_0 \\ y'_0 \\ z'_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} - 2(ax_0 + by_0 + cz_0 + d) \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \text{ when } \mathbf{n} \text{ is unit vector } (a^2 + b^2 + c^2 = 1)$$

$$x'_0 = x_0 - 2(ax_0 + by_0 + cz_0 + d)a$$

$$= (1 - 2a^2)x_0 - 2aby_0 - 2acz_0 - 2ad$$

$$y'_0 = y_0 - 2(ax_0 + by_0 + cz_0 + d)b$$

$$= 2abx_0 + (1 - 2b^2)y_0 - 2bcz_0 - 2bd$$

$$z'_0 = z_0 - 2(ax_0 + by_0 + cz_0 + d)c$$

$$= -2acx_0 - 2bcy_0 + (1 - 2c^2)z_0 - 2cd$$

$$\begin{bmatrix} x'_0 \\ y'_0 \\ z'_0 \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1-2a^2 & -2ab & -2ac & -2ad \\ -2ab & 1-2b^2 & -2bc & -2bd \\ -2ac & -2bc & 1-2c^2 & -2cd \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Planar Reflection

- 세 가지 특수한 경우

- 표준 좌표 평면(yz, xz, xy 평면)에 대한 반사 변환 행렬

yz평면 Plane(1,0,0,0)

xz평면 Plane(0,1,0,0)

xy평면 Plane(0,0,1,0)

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

Planar Reflection Matrix

```
void ReflectionMatrix(GLfloat reflectionMat[16], GLfloat plane[4]) // create a reflection matrix
{
    reflectionMat[0] = 1 - 2 * plane[0] * plane[0];
    reflectionMat[1] = - 2 * plane[0] * plane[1];
    reflectionMat[2] = - 2 * plane[0] * plane[2];
    reflectionMat[3] = - 2 * plane[0] * plane[3];

    reflectionMat[4] = - 2 * plane[1] * plane[0];
    reflectionMat[5] = 1 - 2 * plane[1] * plane[1];
    reflectionMat[6] = - 2 * plane[1] * plane[2];
    reflectionMat[7] = - 2 * plane[1] * plane[3];

    reflectionMat[8] = - 2 * plane[2] * plane[0];
    reflectionMat[9] = - 2 * plane[2] * plane[1];
    reflectionMat[10] = 1 - 2 * plane[2] * plane[2];
    reflectionMat[11] = - 2 * plane[2] * plane[3];

    reflectionMat[12] = 0.0;
    reflectionMat[13] = 0.0;
    reflectionMat[14] = 0.0;
    reflectionMat[15] = 1.0;
}
```