Texture Mapping

321190
2012년 봄학기
5/31/2012
박경신

OpenGL Texturing

- OpenGL에서 텍스쳐 맵핑(texture mapping)을 위한 3 단계
  - 텍스쳐 활성화
    glEnable(GL_TEXTURE_2D)
  - 텍스쳐 맵핑방법 (랩핑, 필터 등) 정의
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT)
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT)
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR)
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR)
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGB, width, height, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, imageData)
  - 텍스쳐 좌표 (texture coordinates) 지정
    glTexCoord2f(0, 0);
    glVertex3f(-1.0, -1.0, 0.0);
    glTexCoord2f(1, 0);
    glVertex3f(1.0, -1.0, 0.0);

OpenGL Texture Names

- 텍스쳐의 이름(name) 지정하기 (textureID)

```
GLuint textureID;
glGenTextures(1, &textureID);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, textureID);
glTexImage2D(...);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);
...
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, textureID);
```

glTexImage2D

- glTexImage2D(GLenum target, GLint level, GLint internalFormat, GLsizei width, GLsizei height, GLint border, GLenum format, GLenum type, const GLvoid *pixels);
  - target: GL_TEXTURE_2D
  - level: 텍스쳐 맵의 다양한 해상도를 지원하기 위해 설정.
    - 1개의 해상도를 지정하려면 1로 설정.
    - 밉맵(mipmapping)에 사용
    - 각 텍스쳐를 위한 다수의 크기를 가지고 있는 이미지를 사용하지 않는다면 0으로 지정
  - internalFormat: 일반적으로 format과 같음. RGB라면 3, RGBA라면 4로 설정
  - width, height: 텍스쳐 이미지의 너비와 높이는 2의 자승으로 되어야 함 (즉, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, etc)
  - border: 텍스쳐의 경계선 너비를 지정. 보통 0이고 이미지 데이터가 border를 가지고 있으면 1로 지정.
  - type: 텍스쳐 이미지 데이터의 형식을 설정.

glTexImage1D

- glTexImage1D(GLenum target, GLint level, GLint internalFormat, GLsizei width, GLint border, GLenum format, GLenum type, const GLvoid *pixels);
- glTexImage2D() 함수는 2차원 텍스처 이미지를 정의하고 glTexImage1D()함수는 1차원 텍스처 이미지를 정의한다. glTexImage1D() 함수와 glTexImage2D() 함수의 사용방법과 인자의 의미는 거의 동일하며 glTexImage2D()함수에만 이미지 텍스처의 height(높이) 인자가 추가된다.

glTexSubImage2D

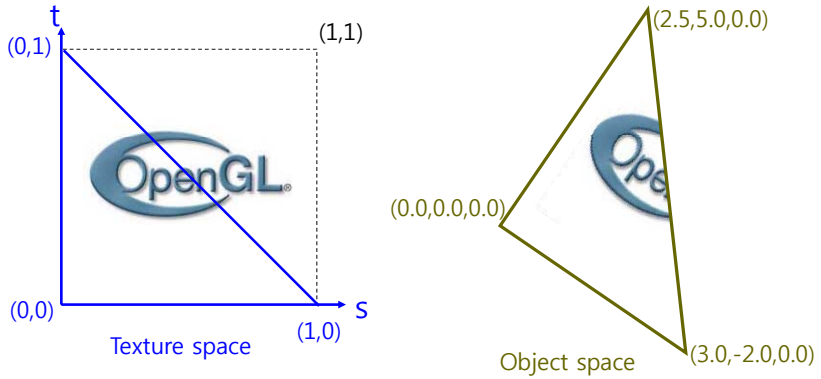
- 텍스쳐 크기가 2의 승수(e.g., 64x64, 128x256, ..)가 아닌 경우 텍스쳐 이미지의 일부분만 읽어 들일 때 사용함
- glTexSubImage2D(GLenum target, GLint level, GLint xoffset, GLint yoffset, GLsizei width, GLsizei height, GLenum format, GLenum type, const GLvoid *pixels);

OpenGL Texture Coordinates

- 텍스쳐 맵핑이 사용되려면 객체에 텍스쳐 좌표를 정의해야 한다.
- GLUT teapot은 텍스쳐 좌표를 포함하고 있다.
- GLU quadrics도 텍스쳐 좌표를 옵션으로 정의할 수 있다.
  - gluQuadricTexture(quadric, GL_TRUE) 를 사용하여 텍스쳐맵핑 활성화

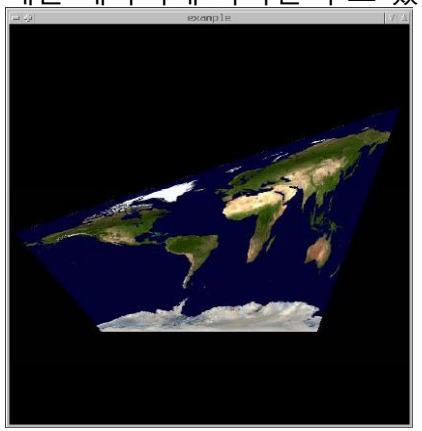
OpenGL Texture Coordinates

- OpenGL에서 텍스쳐 좌표는 텍스쳐 이미지의 각 방향 (S, T)의 0부터 1의 영역으로 형성됨.
- OpenGL에서 각 정점별로 텍스쳐 좌표를 지정해야 함.
- 정점의 텍스쳐 좌표가 객체의 표면에 보간되어 나타남.



OpenGL Texture Coordinates

- 텍스쳐는 다각형에 고르게 입힐 필요는 없음.
- 기하하적 모델이나 텍스쳐 좌표 사용에 따라서, 이미지가 때론 왜곡되게 나타날 수도 있음.



```
glBegin(GL_QUADS);
    glTexCoord2i(0,0);
    glVertex3f(-1.0, -1.0, 0.0);
    glTexCoord2i(1,0);
    glVertex3f(1.0, -1.0, 0.0);
    glTexCoord2i(1,1);
    glVertex3f(x1, y1, 0.0);
    glTexCoord2i(0,1);
    glVertex3f(x0, y0, 0.0);
glEnd();
```

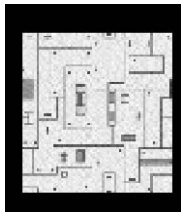
OpenGL Texture Filtering

- OpenGL에서 텍스쳐 좌표가 [0, 1]영역을 벗어날 경우에 texture wrapping방법으로 정의함: Repeat, Clamp
- 사각형에 4개의 텍스쳐좌표를 (0,0), (0,3.5), (3.5,0), (3.5,3.5) 로 정의한 예

Repeat Clamp Repeat &Clamp

OpenGL Texture Filtering

- Mipmap은 이전 mipmap 너비와 폭의 절반 크기임.
  - 텍스쳐가 작아질 수록, 보다 많은 텍셀이 한 픽셀에 적용되야하므로 GL_NEAREST나 GL_LINEAR 필터가 정확한 계산결과를 만들지 않을 수 있음. 따라서 객체가 움직일 때 텍스쳐가 flickering하게 나타날 수 있음.
  - 밉맵은 이런 flickering문제를 줄여줄 수 있음. 그러나 일반적으로 희미하게 보임.



GL_LINEAR

GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR

OpenGL Texture Filtering

- 텍스쳐 맵핑을 위한 필터링 방법
  - 최근점 필터 (nearest neighbor filter)
    - GL_NEAREST
  - 이선형 필터 (bilinear interpolation filter)
    - GL_LINEAR
  - 삼선형 필터 (trilinear interpolation filter) – mipmap filter
    - GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR
  - 혼합 필터 (hybrid filter)
    - GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR
    - GL_LINEAR_MIPMAP_NEAREST
    - GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST

OpenGL Texture Filtering

- glTexParameter{if}v(GLenum target, GLenum pname, TYPE *param);
  - GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_TEXTURE_WRAP_T
    - GL_CLAMP, GL_REPEAT
  - GL_TEXTURE_MAG_FILTER
    - GL_NEAREST, GL_LINEAR
  - GL_TEXTURE_MIN_FILTER
    - GL_NEAREST, GL_LINEAR (Mipmap을 사용하지 않는 경우)
    - GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST, GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR, GL_LINEAR_MIPMAP_NEAREST, GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST
  - GL_TEXTURE_BORDER_COLOR
    - [0.0, 1.0]영역의 값
  - GL_TEXTURE_PRIORITY
    - 0 또는 1

Texture Environment Parameters

- glTexEnv{fi}[v](..)를 사용하여 텍스쳐의 색 (C_t, A_t) 과 현재 처리하는 프레임버퍼의 픽셀색 (C_f, A_f)을 어떻게 혼합할 지 설정함
  - GL_TEXTURE_ENV_MODE의 모드:
    - GL_MODULATE: 텍스쳐의 색 성분과 음영에서 주어지는 색성분을 곱함으로써 텍스쳐 맵핑없이 할당될 음영을 변조가능
    - GL_DECAL: 텍스쳐의 색이 객체의 색을 완전히 결정
    - GL_BLEND: 환경색과 합성함
    - GL_REPLACE: 텍스쳐 색만 사용함
- GL_BLEND의 합성색은 GL_TEXTURE_ENV_COLOR으로 지정함

```
GLfloat blendcolor[] = {0.0, 1.0, 0.0, 0.5};
glTexEnvfv(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_COLOR,
   blendcolor);
```

Texture Environment Parameters

int. format	GL_REPLACE	GL_MODULATE
GL_ALPHA	$C = C_f,\ A = A_t$	$C = C_f,\ A = A_f A_t$
GL_LUMINANCE	$C = L_t,\ A = A_f$	$C = C_f L_t,\ A = A_f$
GL_LUMINANCE_ALPHA	$C = L_t,\ A = A_t$	$C = C_f L_t,\ A = A_f A_t$
GL_INTENSITY	$C = I_t,\ A = I_t$	$C = C_f I_t,\ A = A_f I_t$
GL_RGB	$C = C_t,\ A = A_f$	$C = C_f C_t,\ A = A_f$
GL_RGBA	$C = C_t,\ A = A_t$	$C = C_f C_t,\ A = A_f A_t$
int. format	GL_DECAL	GL_BLEND
GL_ALPHA	undefined	$C = C_f,\ A = A_f A_t$
GL_LUMINANCE	undefined	$C = C_f(1 - L_t) + C_c L_t,\ A = A_f$
GL_LUMINANCE_ALPHA	undefined	$C = C_f(1 - L_t) + C_c L_t,\ A = A_f A_t$
GL_INTENSITY	undefined	$C = C_f(1 - I_t) + C_c I_t,\ A = A_f(1 - I_t) + A_c I_t$
GL_RGB	$C = C_t,\ A = A_f$	$C = C_f(1 - C_t) + C_c C_t,\ A = A_f$
GL_RGBA	$C = C_f(1 - A_t) + C_t A_t,\ A = A_f$	$C = C_f(1 - C_t) + C_c C_t,\ A = A_f A_t$

OpenGL Texture Transformations

- 텍스쳐 좌표의 변환
  - 기하물체의 정점에 변환하듯이 텍스쳐 좌표에 이동 (translation), 회전 (rotate), 크기변환 (scaling)을 적용함
  - glMatrixMode(GL_TEXTURE)를 사용하여 정점이 아닌 텍스쳐 좌표에 변환을 적용함을 지시함

```
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
glLoadIdentity();
glTranslatef(0.1, 0.05, 0);
glRotatef(30.0, 0, 0, 1);
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
// geometry with texture coordinates
```

OpenGL Texture Transformations

- 텍스쳐 좌표의 변환
  - 텍스쳐 좌표에 크기변환 (scaling)을 적용할 때 물체도 또한 같은 크기변환을 해야함

```
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
glLoadIdentity();
glScalef(size, 1, 1);
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glScalef(size, 1, 1);
// geometry with texture coordinates
```

OpenGL Texture Movies

- 텍스쳐 이미지 sequence를 이용하여 flipbook 애니메이션 제작
  - initTexture()함수에서 전체 텍스쳐 이미지를 읽어 들임
  - idle() 함수에서 currentTextureID를 update함
  - drawTexture()함수에서는 동일한 정점좌표와 텍스쳐 좌표에 glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, currentTextureID);를 사용하여 프레임당 한 텍스쳐를 binding함 – 애니메이션 효과를 줌

image1 image2 image3 image4 image5 image6

OpenGL Compressed Textures

- glCompressedTexImage2DARB를 사용하여 압축한 텍스쳐를 생성할 수 있음.
  - 너비와 높이의 RGB 값을 가진 일반 텍스쳐보다 압축한 텍스쳐는 메모리 사용량을 줄이고 빨리 그릴 수 있음
  - glCompressedTexImage2DARB(GL_TEXTURE_2D, 0, format, width, height, 0, size, imageBuffer);

OpenGL Texture Coordinate Generation

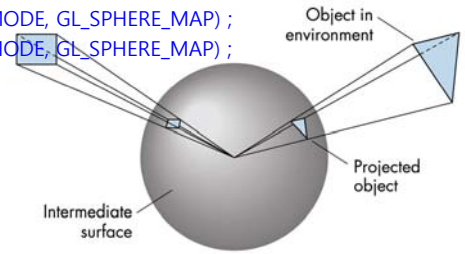
- OpenGL에서는 텍스쳐 좌표를 자동적으로 생성할 수 있음
  - S, T 방향으로 텍스쳐 좌표 자동생성을 활성화해야 함
    - glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S), glEnable(GL_TEXTURE_GEN_T)
  - GL_TEXTURE_GEN_MODE 모드:
    - GL_OBJECT_LINEAR, GL_EYE_LINEAR, GL_SPHERE_MAP
  - 평면 (plane)을 지정해야 함 - 평면으로부터의 거리에 바탕을 둔 텍스쳐 좌표를 생성
    - glTexGenfv(GL_S, GL_OBJECT_PLANE, planeCoefficients)

```
planeCoefficients = { 1, 0, 0, 0 };
glTexGeni(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_OBJECT_LINEAR) ;
glTexGenfv(GL_S, GL_OBJECT_PLANE, planeCoefficients);
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S) ;
glBegin(GL_QUADS) ;
glVertex3f(-3.25, -1, 0); glVertex3f(-1.25, -1, 0) ;
glVertex3f(-1.25, 1, 0); glVertex3f(-3.25, 1, 0) ;
glEnd() ;
```

OpenGL Sphere Mapping

- OpenGL에서는 구형 맵핑 (sphere mapping) 지원
  - 구형 맵핑 텍스쳐 좌표는 view 벡터가 구 표면의 법선 벡터에 반사된 reflection 벡터로 계산됨.
  - 반사벡터를 2차원 텍스쳐 좌표로 맵핑하는 것이 간단하고 하드웨어, 소프트웨어로도 구현이 가능.
  - 그러나 원형 이미지를 구하는 것이 어려움 (360도의 주변환경을 담은 이미지여야 함). 아주 넓은 광학 렌즈에 의한 원근 투영을 구하거나, 입방체 투영을 이용하여 근사한 값을 얻음.

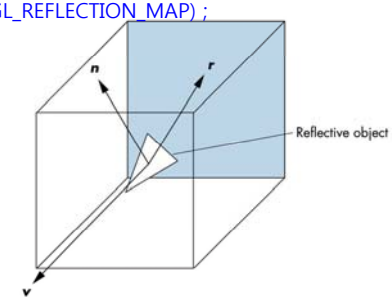
```
glTexGeni(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP) ;
glTexGeni(GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP) ;
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S) ;
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_T) ;
```



OpenGL Box Mapping

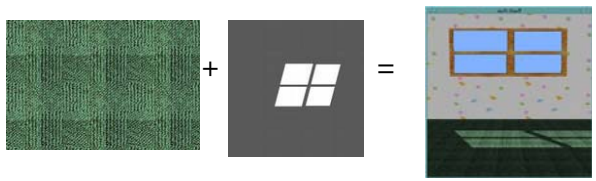
- OpenGL에서는 입방체 맵핑 (box mapping) 지원
  - 입방체맵은 반사 맵핑(reflection mapping)의 하나임
  - 그러나 입방체맵은 3차원 텍스쳐 좌표를 사용해야 함
  - 반사 텍스쳐는 환경을 둘러 싸고 있는 입방체의 6면 2차원 텍스쳐

```
glTexGeni(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP) ;
glTexGeni(GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP) ;
glTexGeni(GL_R, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP) ;
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S) ;
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_T) ;
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_R) ;
glEnable(GL_TEXTURE_CUBE_MAP);
```

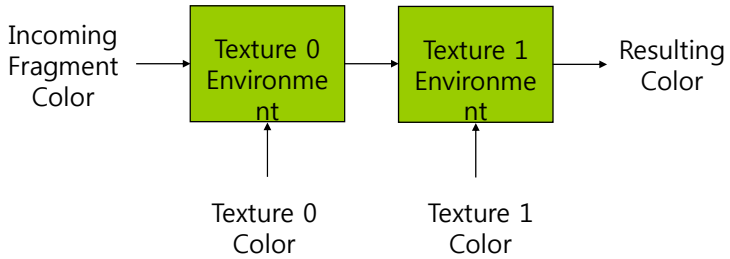


Multitexturing

- 멀티 텍스쳐 (Multitexturing)
  - 하나 이상의 텍스쳐를 객체에 적용해서 렌더링 효과를 높이는 경우

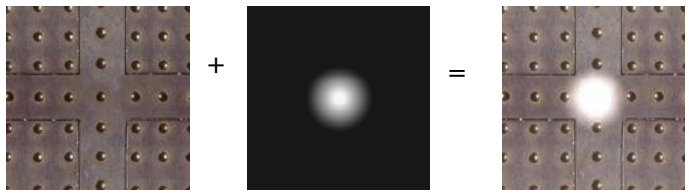


- OpenGL 1.2.1 revision (**ARB_multitexture** extension)



Multitexturing

- Single-Pass vs. Multi-Pass Multitexturing
  - 싱글 패스 다중 텍스쳐링은 하나의 렌더링 패스 안에서 텍스쳐를 여러 개 입히는 것
  - 다중 패스 다중 텍스쳐링은 블렌딩으로 장면이나 다각형 자체를 여러 번 렌더링하는 것
- 라이트 매핑 (Light Mapping)
  - 물체면의 밝기를 계산하는 대신 텍스쳐와 조명 결과를 혼합하여 결과적으로 영상을 직접 물체 면에 입힘 (e.g. Quake 등 게임)



Single-Pass Multitexturing

- 확장 지원 헤더 포함

```
#include <GL/glext.h>

PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC    glActiveTextureARB   = NULL;
PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC  glMultiTexCoord2fARB  = NULL;
PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC glClientActiveTextureARB = NULL;
```

Single-Pass Multitexturing

- 확장 지원 여부 확인 및 함수 포인터 설정

```
char *ext = (char*) glGetString(GL_EXTENSIONS);
if(strstr(ext, "GL_ARB_multitexture") == NULL) {
   printf("GL_ARB_multitexture extension was not found₩n");
   return;
} else {
   glActiveTextureARB       = (PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC)

wglGetProcAddress("glActiveTextureARB");
   glMultiTexCoord2fARB     = (PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC)

wglGetProcAddress("glMultiTexCoord2fARB");
   if(!glActiveTextureARB || !glMultiTexCoord2fARB) {
      printf("One or more GL_ARB_multitexture functions were not found₩n");
      return;
   }
}
```

Single-Pass Multitexturing

- **glActiveTextureARB (texture);**
  - *texture is* GL_TEXTURE*n*_ARB
  - **GL_TEXTURE*n*_ARB == GL_TEXTURE0_ARB+*n***
  - *n = 0 .. numTextureUnits - 1, maximum 32*

- *query number of texture units:*
  - **glGetIntegerv(GL_NUMBER_OF_TEXTURE_UNITS_ARB, &numTextureUnits);**

Single-Pass Multitexturing

- Bind and enable two 2D multitextures

```
// stage 0
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, tex0);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
// stage 1
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, tex1);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
// set texture environment
glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_ADD);
```

Single-Pass Multitexturing

- **glMultiTexCoord2fvARB(texture, ...);**

v: indicates vector format, if present

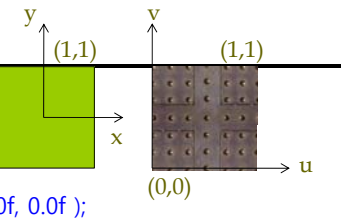
data type:

f	single precision float
d	double precision float
s	signed short integer
i	signed integer

number of components: 1,2,4

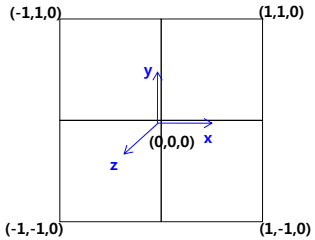
- texture *is GL_TEXTURE*n*_ARB*

Single-Pass Multitexturing



- 멀티텍스쳐 사각형 렌더링

```
glBegin(GL_QUADS);
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f );
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f );
glVertex3f(-1.0f, -1.0f, 0.0f);
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f );
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f );
glVertex3f(1.0f, -1.0f, 0.0f);
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f );
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f );
glVertex3f(1.0f,  1.0f, 0.0f);
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f );
glMultiTexCoord2fARB( GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f );
glVertex3f(-1.0f, 1.0f, 0.0f);
glEnd();
```



Single-Pass Multitexturing

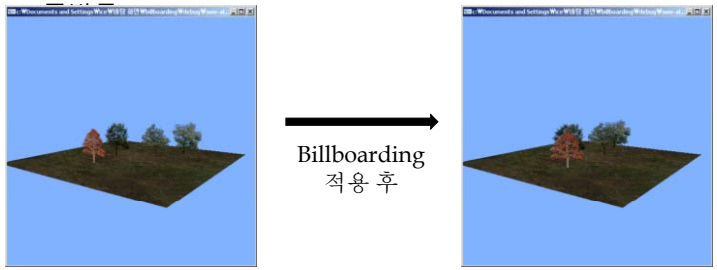
- **glClientActiveTextureARB(texture);**
  - Client state analog to **glActiveTextureARB();**
  - 멀티 텍스쳐 vertex array 상태를 지정하는데 사용

- 2 texture coordinate arrays 지정하는 예:

```
glClientActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glTexCoordPointer(2, GL_FLOAT, 0, tex_array_ptr0);
glEnableClientState(GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
glClientActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
glTexCoordPointer(2, GL_FLOAT, 0, tex_array_ptr1);
glEnableClientState(GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
```

Billboarding

- 빌보드 기법
  - 사각형의 정면이 항상 카메라의 정면을 향하여 바라보도록 만드는 것으로, 결과적으로 카메라가 어느 방향에서 바라보아도 사각형은 항상 같은 면을 보여주게 됨
  - 사용 예로써, 넓은 지면 위에 나무를 나타내고자 할 때 나무를 메쉬 모델링으로 표현하지 않고 나무 이미지를 빌보드로 구현함
  - 알파 텍스처 기법과 애니메이션이 결합된 빌보드 기법은 고체 표면을 갖지 않는 여러 현상을 표현하는데 사용 : 연기, 불, 안개,



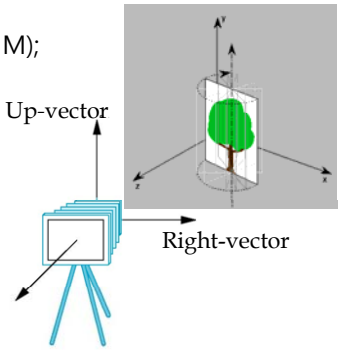
Billboarding

- 빌보드 원리
  - 구현의 핵심은, 항상 시점을 바라보도록 Modelview 행렬을 이용하여 빌보드 사각형을 이루는 vertex를 조정해야 함
  - Modelview 행렬에는 관찰자의 시점에 대한 수직벡터(up vector)와 우측벡터(right vector) 정보가 있음

```
Glfloat M[16];
glGetFloatv(GL_MODELVIEW_MATRIX, M);
```

Right-vector Up-vector Look-vector

$$\begin{pmatrix} m_0 & m_1 & m_2 & m_3 \\ m_4 & m_5 & m_6 & m_7 \\ m_8 & m_9 & m_{10} & m_{11} \\ m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \end{pmatrix}$$



Billboarding

- Axial Symmetry
  - 빌보드 사각형이 vertical axis를 중심으로 회전 (rotate) 해야 함
  - Modelview matrix M에서부터 카메라의 yaw angle을 계산함

```
theta = 180.0f * atan2f(M[8], M[10]) /M_PI;
```

Look.x Look.z

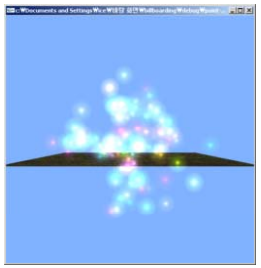
  - 빌보드 사각형의 Rotation matrix R은 arbirary axis (일반적으로 up vector=(0, 1, 0))과 angle (카메라 yaw angle의 반대)로 계산함

$$R = \mathrm{I}\cos\theta + \mathbf{Symmetric}\ (1-\cos\theta) + \mathbf{Skew}\sin\theta$$

$$= \begin{bmatrix} a_x^2+\cos\theta(1-a_x^2) & a_xa_y(1-\cos\theta)-a_z\sin\theta & a_xa_z(1-\cos\theta)+a_y\sin\theta \\ a_xa_y(1-\cos\theta)+a_z\sin\theta & a_y^2+\cos\theta(1-a_y^2) & a_ya_z(1-\cos\theta)-a_x\sin\theta \\ a_xa_z(1-\cos\theta)-a_y\sin\theta & a_ya_z(1-\cos\theta)+a_x\sin\theta & a_z^2+\cos\theta(1-a_z^2) \end{bmatrix}$$

Point Sprites

- Point Sprites이란 하드웨어 기반의 빌보드 기법으로, 사용 예로써 파티클 시스템 (Particle System)에서 다수의 입자 (Particle)을 텍스쳐 사각형 메쉬 (Quad) 대신 점 (Point)를 사용하여 지정함
- OpenGL extension (**GL_ARB_point_parameters** & **GL_ARB_point_sprite**)



Point Sprites

- 확장 지원 헤더 포함

```
#include <GL/glext.h>

PFNGLPOINTPARAMETERFARBPROC      glPointParameterfARB  = NULL;
PFNGLPOINTPARAMETERFVARBPROC     glPointParameterfvARB = NULL;
```

Point Sprites

- 확장 지원 여부 확인 및 함수 포인터 설정

```
char *ext = (char*) glGetString(GL_EXTENSIONS);
if(strstr(ext, "GL_ARB_point_parameters") == NULL) {
   printf("GL_ARB_point_parameters extension was not found₩n");
   return;
} else {
   glPointParameterfARB       = (PFNGLPOINTPARAMETERFARBPROC)

wglGetProcAddress("glPointParameterfARB");
   glPointParameterfvARB = (PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC)
                                        wglGetProcAddress("
glPointParameterfvARB ");
   if(! glPointParameterfARB || ! glPointParameterfvARB ) {
      printf("One or more GL_ARB_point_parameters were not found₩n");
      return;
   }
}
```

Point Sprites

- **glPointParameterf[v]ARB (GLenum pname, GLfloat param);**
  - *GL_POINT_SIZE_MIN_ARB (default: 0.0)*
  - *GL_POINT_SIZE_MAX_ARB*
  - *GL_POINT_FADE_THRESHOLD_SIZE_ARB (default: 1.0)*
  - *GL_POINT_DISTANCE_ATTENUATION_ARB (default: 0, 0, 0)*

- Point sprite으로 texture coordinate을 지정하고 enable 함
  - **glTexEnvf(GL_POINT_SPRITE_ARB, GL_COORD_REPLACE_ARB, GL_TRUE);**
  - **glEnable(GL_POINT_SPRITE_ARB);**

Point Sprites

- Point 를 렌더링

```
// enable point sprites...
glEnable(GL_POINT_SPRITE_ARB);

glBegin(GL_POINTS);
for (int i = 0; i < MAX_PARTICLES; ++i) {
   glColor4f(g_particles[i].col[0],  g_particles[i].col[1], g_particles[i].col[2], 1.0f);
   glVertex3fv(g_particles[i].pos);
}
glEnd();

// disable point sprites
glDisable( GL_POINT_SPRITE_ARB );
```

Reference

- OpenGL Billboarding Tutorial
  http://www.lighthouse3d.com/opengl/billboarding
- SIGGRAPH'97 Advanced OpenGL Programs
  http://www.opengl.org/resources/code/samples/advanced/advanced97/programs/programs.html
- OpenGL Point Sprites
  http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=770639&seqNum=7
- Particle Systems http://www.gamedev.net/