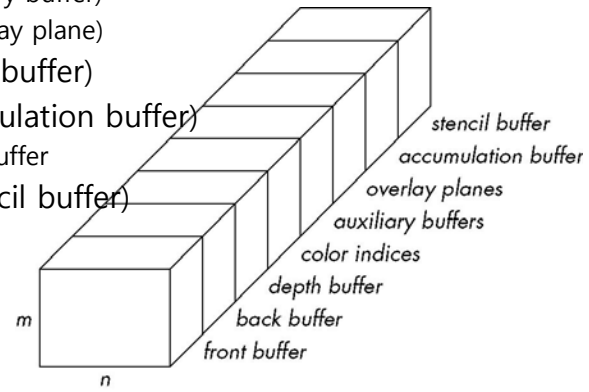
Buffer, Image, and Texture Mapping

514780
2017년 가을학기
11/16/2017
단국대학교 박경신

OpenGL Frame Buffer

- 색 버퍼 (Color buffers)
  - 전면 버퍼 (Front buffer)
  - 후면 버퍼 (Back buffer)
  - 보조 버퍼 (Auxiliary buffer)
  - 오버레이면 (Overlay plane)
- 깊이 버퍼 (Depth buffer)
- 누적 버퍼 (Accumulation buffer)
  - High resolution buffer
- 스텐실 버퍼 (Stencil buffer)
  - Holds masks



Buffer Selection

- OpenGL은 front, back, depth buffer 등 모든 버퍼로부터 데이터를 읽는 것이 가능
- 기본적 프레임버퍼로 back buffer가 선택되어 있으며, **glReadBuffer**를 이용하여 다른 버퍼로 바꿀 수 있음
- Note: 프레임 버퍼에 픽셀 포멧은 프로세서 메모리에 포멧과는 다름. 또한 이 메모리는 각각 다른 곳에 저장됨.
  - 따라서, 데이터 packing과 unpacking이 필요함
  - Reading은 다소 느릴 수 있음

OpenGL Buffer Management Functions

- 버퍼를 clear

```
glClear(GLbitfield mask); // 특정 버퍼를 clear함
GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT |
   GL_ACCUM_BUFFER_BIT | GL_STENCIL_BUFFER_BIT
glClearBuffer();
```

- 버퍼의 clear value set

```
glClearColor(); glClearDepth(); glClearDepthf(); glClearStencil();
```

- 버퍼를 mask (i.e., enabled or disabled)

```
glColorMask[i](GLboolean red, GLboolean green, GLbooleanblue,
   GLboolean alpha); // r,g,b,a 색을 프레임 버퍼에 쓸지 아닌지 지정
glDepthMask(GLboolean flag); // depth 버퍼에 쓸지 아닌지 지정
glStencilMask(GLuint mask); // stencil 버퍼에 bit mask를 쓸지
   아닌지 지정
```

Images

- 이미지 데이터는 파일에서부터 읽어 들이거나 직접 생성
- 일반적인 이미지 파일 포멧:
  - JPEG, TIFF, PNG, GIF, RGB, EPS, BMP, etc
- 이미지 포멧:
  - Color channel: greyscale, RGB, RGBA
  - Bit resolution
  - Compression: 손실 부호화 (lossy coding), 무손실 부호화 (lossless coding)

COIN3D simage

- http://www.coin3d.org/lib/simage
- COIN3D simage library가 제공하는 이미지 파일 포멧
  - JPEG, TIFF, PNG, PIC, TGA, EPS, GIF, RGB, etc
- COIN3D의 simage library를 사용하려면, 프로젝트에 additional library and include directory를 추가해야 한다.
  - Project -> Properties(ALT+F7) -> Configuration Properties -> C/C++ -> General에 Additional Include Directories에 **.₩include**를 넣는다.
  - Project -> Properties(ALT+F7) -> Configuration Properties -> C/C++ -> Preprocessor에 Preprocessor Definitions 에 ;**SIMAGE_DLL**를 넣는다.
  - Project -> Properties(ALT+F7) -> Configuration Properties -> Linker -> General에 Additional Library Directories에 **.₩lib₩debug**를 넣는다.
  - Project -> Properties(ALT+F7) -> Configuration Properties - > Linker -> Input에 Additional Dependencies에 **simage1.lib**을 넣는다.

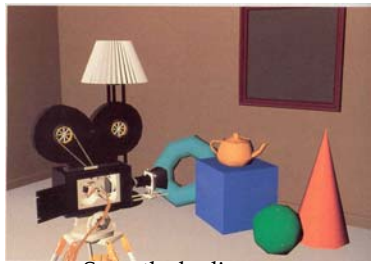
COIN3D simage Example

```
unsigned char *imgPtr;
unsigned char *imageData;
unsigned char *rescaledImageData;
int imageWidth = 0, imageHeight = 0, numComponents = 0;
imageData = simage_read_image (filename, &imageWidth,
                                &imageHeight, &numComponents); // read
GLsizei xdim2,ydim2;          // 만약 이미지 크기가 2의 승수가 아니면, resize
GLenum type;
xdim2 = 1;
while (xdim2 <= imageWidth)
        xdim2 *= 2;
xdim2 /= 2;
ydim2 = 1;
while (ydim2 <= imageHeight)
        ydim2 *= 2;
ydim2 /= 2;
if ((imageWidth != xdim2) || (imageHeight != ydim2))   {
       rescaledImageData = simage_resize(imageData, imageWidth, imageHeight,
                                          numComponents, xdim2, ydim2);
        imgPtr = rescaledImageData;
}    else
        imgPtr = imageData;
```

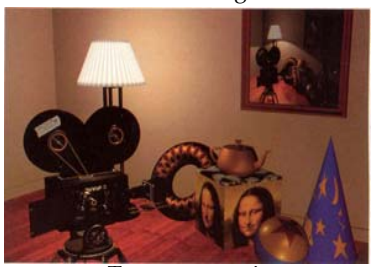
Texture Mapping

Wireframe

Flat shading



Smooth shading



Texture mapping

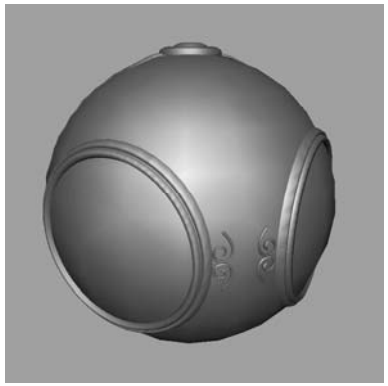
The Limits of Geometric Modeling

- 기하학적 모델링
  - 고성능 그래픽스카드가 초당 1000만개의 폴리곤을 렌더링할 수 있다 하더라도 구름, 초원, 지형, 스킨 (skin)등과 같은 객체/현상을 기하학적 텍스쳐들로 모델링하여 처리하기엔 무리가 있음.
- 텍스쳐 맵핑
  - 2차원 영상을 직접 평면 표면에 입힘.
  - 제한된 수의 다각형을 사용해야 하는 실시간 렌더링에 있어서 비교적 적은 추가 비용으로 이미지의 사실성을 상당히 높일 수 있는 기법임.

Three Types of Mapping

- 텍스쳐 맵핑 (Texture Mapping)
  - 이미지를 사용하여 다각형 (polygon)의 내부에 그려짐.
- 환경 맵핑 (Environment/Reflection mapping)
  - 환경 이미지가 렌더링될 표면 위에 그려짐.
  - 반사맵 (reflection map) 또는 환경맵 (environmental map)은 반사광을 추적하지 않고도 광선 추적법에 의한 매우 반짝이는 표면 (highly specular surface)을 만들 수 있음.
- 범프 맵핑 (Bump mapping)
  - 렌더링 음영 작업시 법선벡터 (normals)를 왜곡시켜 실제 오렌지 표면의 융기와 같은 모양을 생성.

Texture Mapping

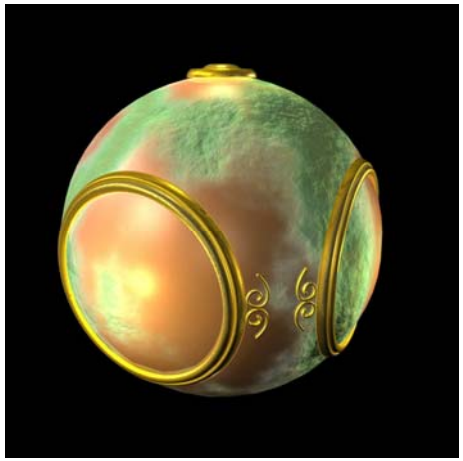


geometric model

texture mapped

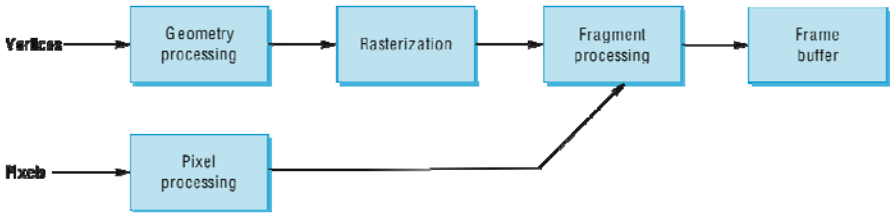
Environment Mapping

Bump Mapping



Where does texture mapping take place?

- 텍스쳐 맵핑은 렌더링 파이프라인의 마지막 단계에서 실행

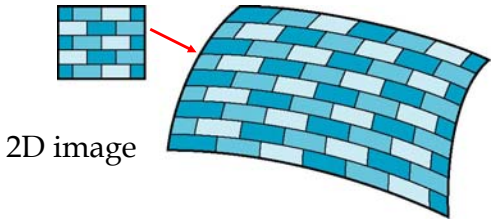


Texture Mapping

- 개념적인 2차원 텍스쳐 맵핑 과정
  - 표면 매개화 (surface parameterization)과정
    - 텍스쳐 이미지를 물체에 어떻게 입힐 것인가?
    - 물체의 각 점에 맵핑되는 텍스쳐 이미지의 좌표가 필요함
    - $(x_0, y_0, z_0) \Rightarrow (x_t, y_t)$
  - 기하 변환 과정
    - 기하 변환은 물체의 각 점과 투영 화면에서의 위치간의 맵핑 관계를 결정.
    - $(x_0, y_0, z_0) \Rightarrow (x_s, y_s)$
  - 래스터 과정
    - 각 기하물체가 투영되는 화소들을 찾아주는 과정
  - 텍스쳐 색 계산 과정
    - 각 화소에 적절히 텍스쳐 색으로 칠해주는 과정
    - 각 화소를 통하여 보이는 텍스쳐 이미지의 색을 어떻게 계산할 것인가?
    - 계산된 텍스쳐 색을 물체의 원래의 색깔과 어떻게 혼합할 것인가?

2D Texture Mapping

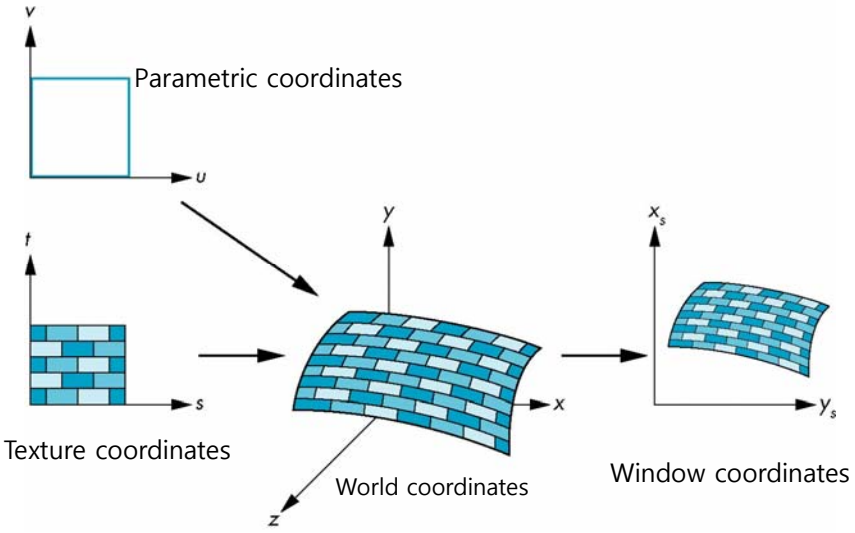
- 텍스쳐 맵핑은 2차원의 이미지를 3차원의 표면에 맵핑
  - 모두 3~4 개의 좌표계간 맵핑 처리를 포함한 일련의 과정이 필요함



Coordinate Systems

- Parametric coordinates
  - 곡선과 곡면 (curves & surfaces) 모델링에 사용하는 매개변수형 좌표계 (u, v)
- Texture coordinates
  - 텍스쳐 내의 위치지정을 위해 사용하는 텍스쳐 좌표계 (s, t)
- Object or World Coordinates
  - 텍스쳐가 입혀질 물체를 기술하는 객체 좌표계 또는 세상 좌표계 (x, y, z)
- Window Coordinates
  - 최종적인 이미지가 형성되는 윈도우 좌표계 (x_s, y_s)

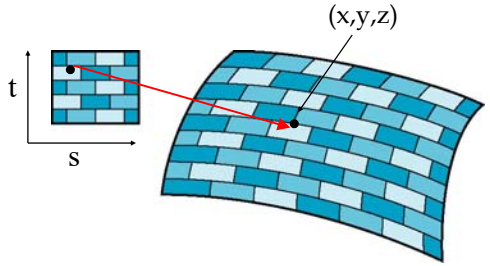
Texture Mapping



Mapping Functions

- 텍스쳐는 생성하여 프로세서 메모리에 배열로 저장됨
  - 텍스쳐는 응용 프로그램에 의해 생성되거나 사진으로부터 스캔하여 생성할 수 있음
  - 이 배열의 요소들을 텍셀 (texture element = texel)이라 부름
- 텍스쳐 좌표에서 표면의 한 점으로 맵핑하는 함수
  - 텍스쳐 좌표: T(s, t)
  - 객체 좌표: P(x, y, z)

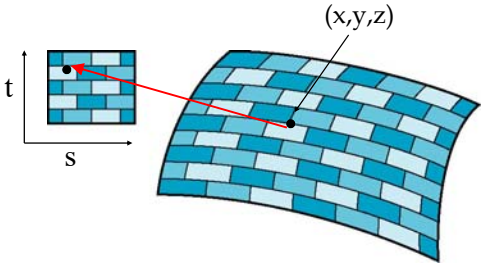
x = x(s,t)
y = y(s,t)
z = z(s,t)



Backward Mapping

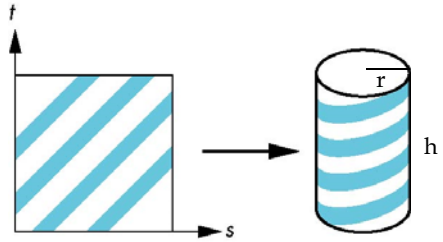
- 물체 위의 점 (x, y, z)이 주어졌을 때, 대응하는 텍스쳐 좌표를 어떻게 찾을 것인가?
  - 한 픽셀의 음영을 결정할 때 텍스쳐 이미지의 어떤 점을 사용할지를 결정해야 할 경우, 화면좌표로부터 텍스쳐 좌표로의 맵핑을 필요로 함
- 텍셀 T(s, t)를 찾는 역함수

s = s(x,y,z)
t = t(x,y,z)



Two-part mapping

- 맵핑 문제의 해법: Two-part mapping
  - 텍스쳐를 먼저 구(sphere), 원기둥(cylinder), 입방체와 같은 간단한 3차원 매개변수형 표면에 텍스쳐를 맵핑
- 예제: 원기둥 (cylinder)으로 맵핑

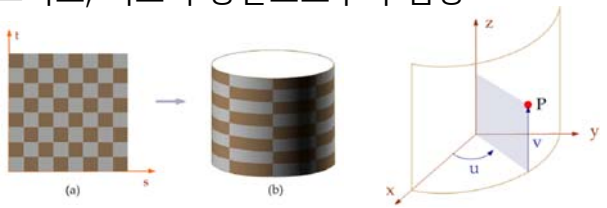


Cylindrical Mapping

- 매개변수형 원기둥 함수 (parametric cylinder)

  $x = r \cos 2\pi u$ u: (0,1)
  $y = r \sin 2\pi u$ v: (0,1)
  $z = v/h$
- u, v 공간의 사각형을 세상 좌표계의 반지름 r과 높이 h를 가진 원기둥에 맵핑

  $s = u$
  $t = v$
- 그리고, 텍스쳐 공간으로부터 맵핑

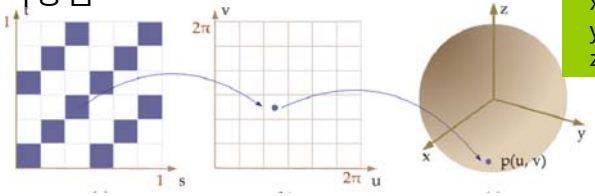


$x = r \cos 2\pi s$
$y = r \sin 2\pi s$
$z = t/h$

Spherical Map

- 매개변수형 구 함수 (parametric sphere)

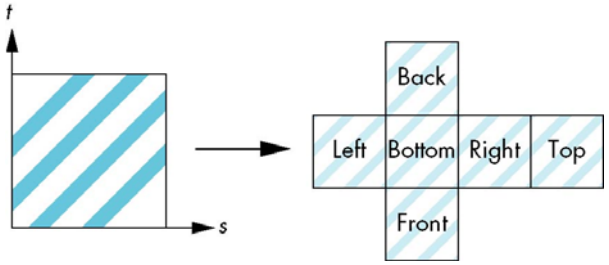
  $x = r \cos 2\pi u$
  $y = r \sin 2\pi u \cos 2\pi v$
  $z = r \sin 2\pi u \sin 2\pi v$
- 원기둥 함수와 비슷함. 그러나 구와 같이 닫힌 객체에 맵핑할 경우 형상의 일그러짐이 필요함.
  - 메르카토르(Mercator) 투영의 경우, 양 극(pole)에 가장 큰 일그러짐을 만듬
- Spherical mapping은 환경맵(environmental maps)에서 사용됨



$x = r \cos 2\pi s$
$y = r \sin 2\pi s \cos 2\pi t$
$z = r \sin 2\pi s \sin 2\pi t$

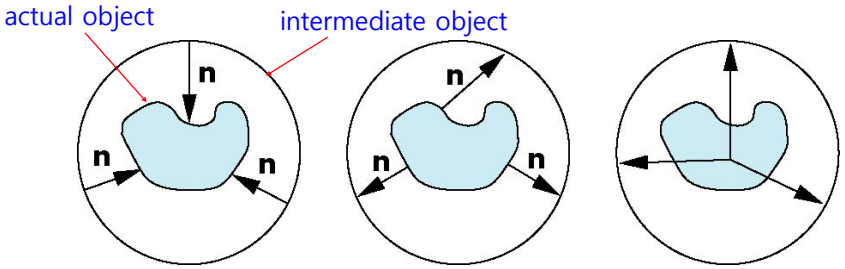
Box Mapping

- 간단한 직교 투영 (simple orthographic projection)과 사용하기에 편리함
- Box mapping은 환경맵(environmental maps)에서 사용됨



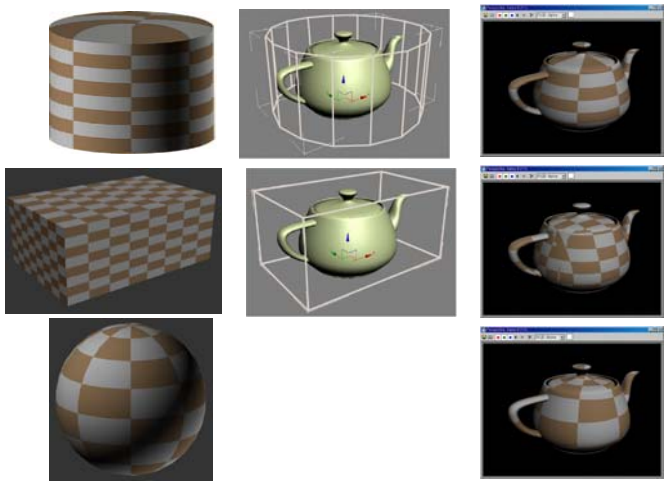
Second Mapping

- 두번째 맵핑 (second mapping): 중간 객체 (intermediate object) 상의 텍스쳐 값을 원하는 표면 (actual object)에 맵핑
  - 중간 매개 표면으로부터의 법선 사용
  - 객체 표면으로부터의 법선 사용
  - 객체 중심으로부터의 벡터 사용



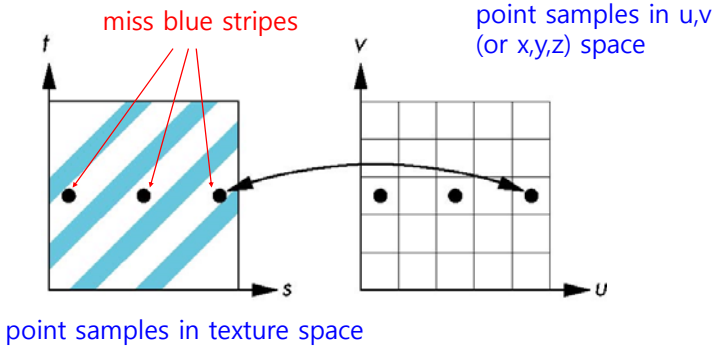
Second Mapping

- 물체를 중개면 내부에 넣고 물체 면에 텍스쳐를 입힘.



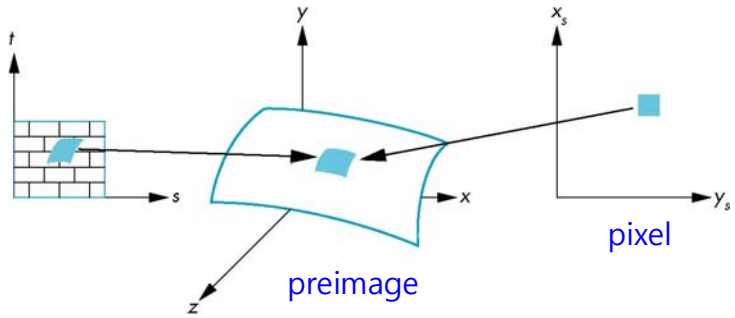
Aliasing

- 텍스쳐의 포인트 샘플링 (point sampling) 방법은 앨리어싱 문제(aliasing error)를 만들 수 있음
  - 포인트 샘플링 – 점에서 점으로의 맵핑



Area Averaging

- 보다 효과적이나 다소 느린 영역 평균법 (area averaging) 방법을 사용 가능함
  - 영역 평균법 - 영역에서 영역으로의 맵핑

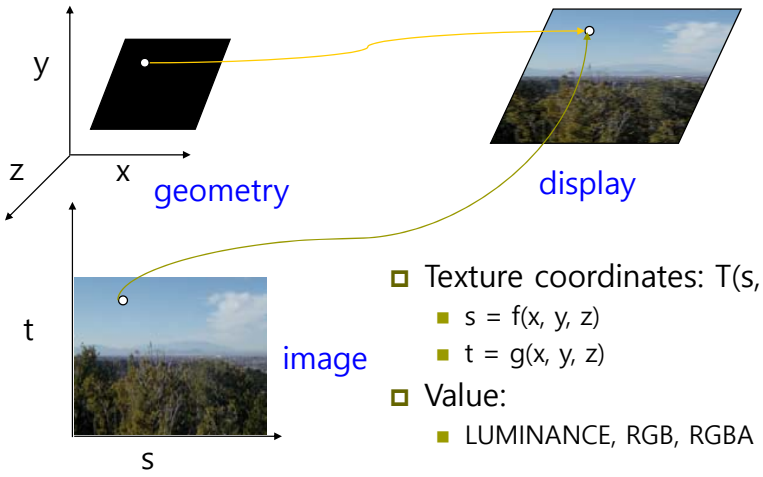


  - Note: 화소의 전이미지 (*preimage*)는 곡면임

Basic Strategy

- 텍스쳐를 입히기 위한 3가지 단계
  1. 텍스쳐를 지정
     - 이미지를 파일에서 읽거나 직접 생성
     - 텍스쳐에 할당
     - 텍스쳐링 활성화
  2. 각 정점에 텍스쳐 좌표를 할당
     - 프로그래머가 직접 적절한 맵핑 함수 작성
  3. 텍스쳐 맵핑 방법을 지정
     - 랩핑 (wrapping)
     - 필터링 (filtering)

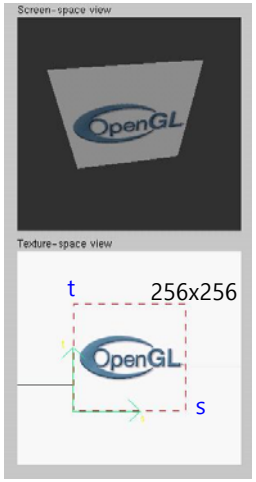
Texture Mapping



- Texture coordinates: T(s, t)
  - s = f(x, y, z)
  - t = g(x, y, z)
- Value:
  - LUMINANCE, RGB, RGBA

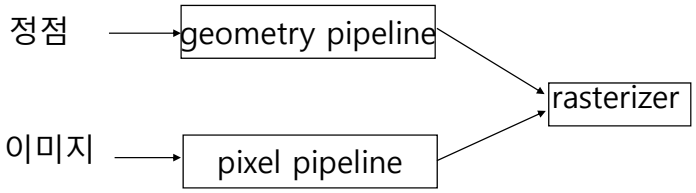
OpenGL Texture Example

- 다음 예제는 256 x 256 이미지를 사각형 (rectangular polygon)에 텍스쳐 맵핑하여 원근 투영한 모습을 보여주고 있음.



Texture Mapping in the OpenGL Pipeline

- 이미지와 기하학적 객체는 각기 다른 파이프라인에서 연산된 후 래스터 과정에서 합성됨
  - 즉, 복잡한 텍스쳐가 있다 하더라도 기하학적 객체의 복잡성 (complexity)에 전혀 영향을 주지 않음



Specifying a Texture Image in OpenGL

- 512x512크기의 이미지 imageData 텍스쳐 이미지를 프로그램에서 생성하거나 파일로부터 읽혀서 CPU 메모리에 배열로 정의함
  - GLubyte imageData[512][512];
- 텍스쳐 맵핑을 활성화
  - glEnable(GL_TEXTURE_2D)
  - OpenGL은 1,2,3,4-차원 텍스쳐 맵을 지원함

Define Image as a Texture

- glTexImage2D(target, level, components, width, height, border, format, type, texels);
  - target: 텍스쳐 타입, e.g., GL_TEXTURE_2D
  - level: mipmapping에서 사용
  - components: texel별 요소, e.g., RGB
  - width, height: texel의 너비와 높이 (in pixels)
  - border: smoothing에 사용
  - format, type: texel을 정의하는 포멧과 타입
  - texels: texel 배열에 대한 포인터

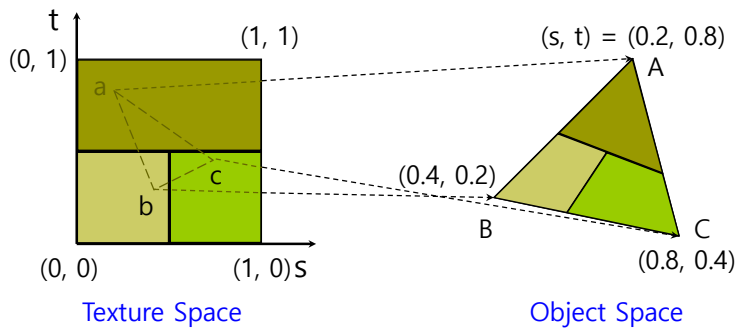
```
glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, RGB, imageWidth, imageHeight,
             0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, imageData);
```

Converting A Texture Image

- OpenGL은 텍스쳐 이미지 크기가 2의 승수 (power of 2)로 지정되어야 함
  - 64x64, 64x128, 512x512, ...
- 만약 이미지의 크기가 2의 승수가 아니면, 프로그램상에서 gluScaleImage를 사용하여 크기조절을 해야 함
  - gluScaleImage(format, w_in, h_in, type_in, *data_in, w_out, h_out, type_out, *data_out);
    - data_in – 원본 이미지
    - data_out – 이미지 크기가 조절된 최종 이미지
- 크기조절 시 이미지는 자동적으로 보간과 필터링됨

Mapping a Texture

- 매개변수형 텍스쳐 좌표에 바탕을 두고 있음
- 각 정점별로 텍스쳐 좌표를 지정해야 함



Mapping a Texture

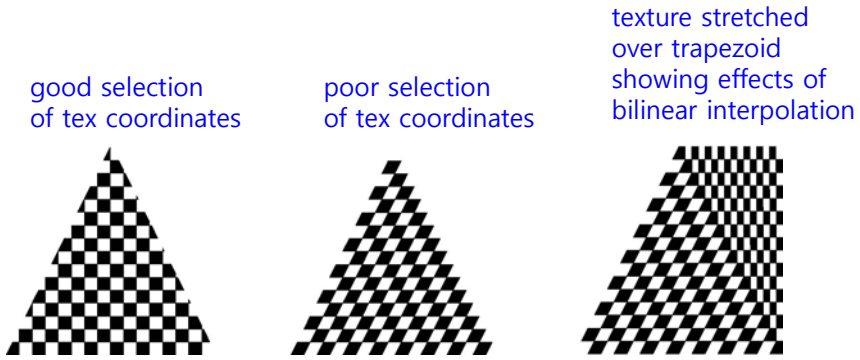
- 각 정점별로 텍스쳐 좌표 지정

```
// Square Vertices Positions
squareVertices.push_back(glm::vec3(-0.75f, -0.75f, 0.0f));
squareVertices.push_back(glm::vec3(0.75f, -0.75f, 0.0f));
squareVertices.push_back(glm::vec3(0.75f, 0.75f, 0.0f));
squareVertices.push_back(glm::vec3(-0.75f, 0.75f, 0.0f));
// Square Vertices Texture Coordinates
squareTextureCoords.push_back(glm::vec2(0.0f, 0.0f));
squareTextureCoords.push_back(glm::vec2(1.0f, 0.0f));
squareTextureCoords.push_back(glm::vec2(1.0f, 1.0f));
squareTextureCoords.push_back(glm::vec2(0.0f, 1.0f));
```

- Note: 코드의 효율을 향상시키기 위하여 정점 배열을 사용

Interpolation

- OpenGL은 다각형 내부점에 대한 텍스쳐 좌표를 계산하기 위해 보간(interpolation)을 이용함



Checkerboard 텍스쳐를 삼각형에 맵핑하기

Checkerboard 텍스쳐를
사다리꼴에 맵핑하기

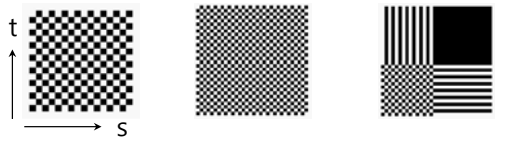
Texture Parameters

- OpenGL에서 텍스쳐가 어떻게 적용될지 결정해주는 다양한 인자(parameters)를 제공하고 있음
  - 랩핑 (Wrapping) – s, t가 (0, 1)의 범위를 넘었을 때 어떻게 s, t 값을 어떻게 정할 것인지 결정해주는 인자. CLAMP, REPEAT
  - 필터 (Filter modes) – 포인트 샘플링 대신 영역 평균법을 사용하도록 함.
  - 밉맵 (Mipmapping) – 텍스쳐를 여러 개의 해상도를 사용할 수 있도록 함.
  - 환경인자 (Environment parameters) –텍스쳐 맵핑이 음영(shading)과 어떻게 상호작용할 지 결정해줌

Wrapping Mode

- Clamp: (0, 1) 범위 내로 값을 강제 조정
  - 만약 s, t가 1보다 크면, 1을 사용
  - 만약 s, t가 0보다 작으면, 0을 사용
- Repeat: (0, 1) 범위를 넘어선 값에 대해 텍스쳐 반복
  - s,t %1을 사용

```
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D,
                GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP)
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D,
                GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT)
```



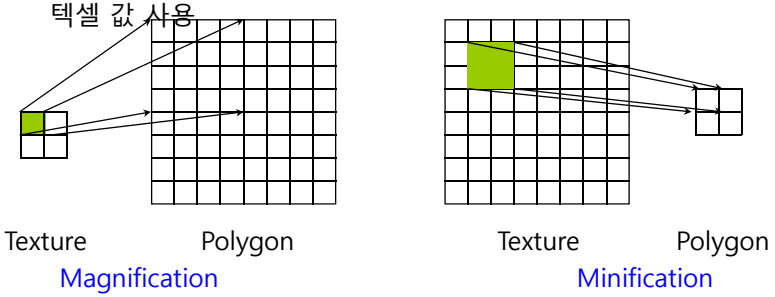
texture

GL_REPEAT
wrapping

GL_CLAMP
wrapping

Magnification and Minification

- 확대 (Magnification) – texel이 한 pixel보다 클 때
- 축소 (Minification) – texel이 한 pixel보다 작을 때
- 포인트 샘플링 (Point sampling)
  - 선형 필터링 (linear filtering) – 포인트 샘플링에 의해 결정된 텍셀의 이웃을 포함한 텍셀 그룹의 가중평균을 사용
  - 최근점 (nearest) – 선형보간에 의해 계산된 값에 가장 가까운 텍셀 값 사용



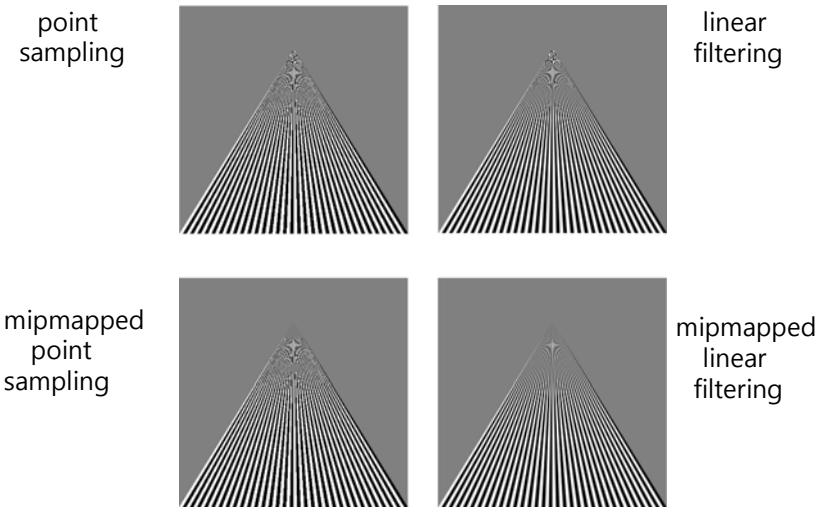
Filter Modes

- 텍스쳐 필터 지정
  - glTexParameteri(target, type, mode)
  - glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXURE_MAG_FILTER, GL_NEAREST);
  - glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);

Mipmapped Textures

- 밉맵핑 (Mipmapping)은 일련의 축소된 크기의 텍스쳐 배열 (prefiltered texture map)을 생성하는 것을 허용
- 밉맵핑은 작은 객체에 텍스쳐 맵핑을 할 시 보간문제를 줄여줌
- 텍스쳐 정의할 시 밉맵계층 레벨을 지정할 수 있음
  - glTexImage2D(GL_TEXTURE_*D, level, …)
- 밉맵함수를 통해서 자동으로 축소된 크기의 텍스쳐 생성
  - **glGenerateMipmap(GL_TEXTURE_2D)**
- OpenGL에서 최적의 밉맵핑과 포인트 샘플링을 이용하기 위해 다음 옵션 사용
  - glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST)
  - glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR)

Aliasing Example



Texture Environment

- glTexEnv{fi}[v](..)를 사용하여 텍스쳐와 음영간의 상호작용을 지정함

  glTexEnvf(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, mode);

  - 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_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE
- 합성할 색은 GL_TEXTURE_ENV_COLOR으로 지정함

Generating Texture Coordinates

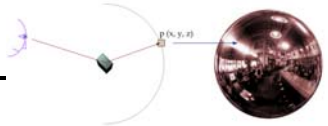
- glTexGen{ifd}[v]()를 사용하여 텍스쳐 좌표를 자동적으로 생성할 수 있음
  - 평면 (plane)을 지정해야 함 - 평면으로부터의 거리에 바탕을 둔 텍스쳐 좌표를 생성
  - 모드:
    - GL_OBJECT_LINEAR: 탁자 상단에 나무결을 입힐 때
    - GL_EYE_LINEAR: 동적으로 움직이는 객체의 외형을 표현할 때
    - GL_SPHERE_MAP: 환경맵에서 사용함

```
Glfloat planes[] = {0.5, 0.0, 0.0, 0.5} // s=x/2 + ½
Glfloat planet[] = {0.0, 0.5, 0.0, 0.5} // t=y/2 + ½
glTexGeni(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_OBJECT_LINEAR);
glTexGeni(GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_OBJECT_LINEAR);
glTexGenfv(GL_S, GL_OBJECT_LINEAR, planes);
glTexGenfv(GL_T, GL_OBJECT_LINEAR, planet);
```

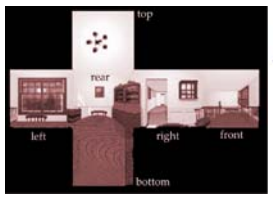
Texture Objects

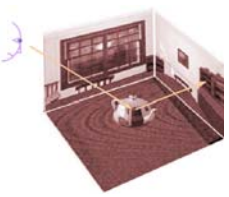
- 텍스쳐는 OpenGL state임
  - 다른 객체마다 다른 텍스쳐를 가진다면, OpenGL은 CPU 메모리에서 텍스쳐 메모리로 아주 큰 데이터를 움직여야 함.
- 최신 OpenGL은 텍스쳐 객체 (texture objects)를 가짐
  - 텍스쳐 객체당 1개 이미지
  - 텍스쳐 메모리 (Texture memory)는 여러 개 텍스쳐 객체를 가질 수 있음

Environment Mapping



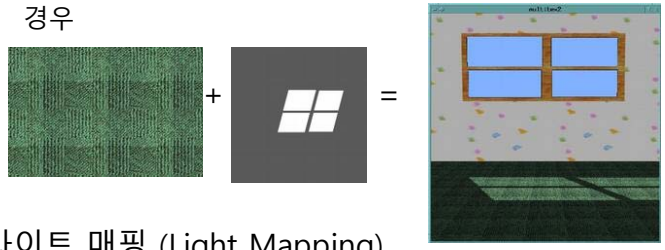
- 환경맵 (Environment Maps)
  - 물체를 둘러싸고 있는 주위 환경이 이 물체에 반사되는 결과를 원할 경우
  - 3차원 공간이 매우 큰 가상적 구(sphere) 또는 입방체(cube)에 의해 둘러싸였다고 가정하고 Second mapping에서 시점 반사벡터를 사용 - 시점 위치에 따라 서로 다른 모습을 보임.
  - Spherical environment mapping – 180도 와이드 앵글 렌즈로 찍은 환경 이미지로부터 spherical map 생성 후 자동 텍스쳐 좌표 생성을 사용






Multitexturing

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



- 라이트 매핑 (Light Mapping)
  - 물체면의 밝기를 계산하는 대신 텍스쳐와 조명 결과를 혼합하여 결과적으로 영상을 직접 물체면에 입힘