Mapeamento de Texturas 2D

Maria Cristina F. de Oliveira

2013

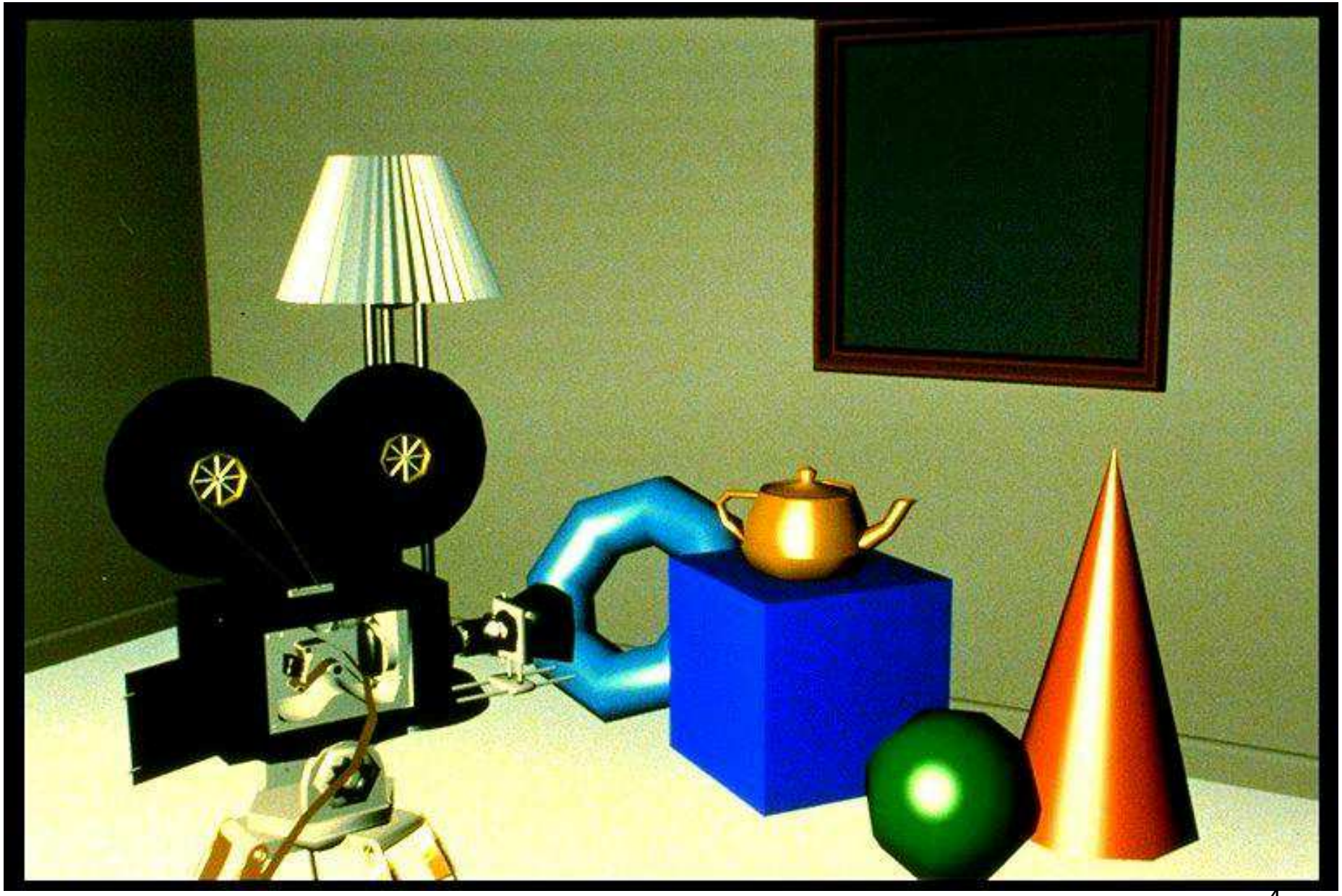
Fontes

- Introdução à Computação Gráfica Texturas, por Claudio Esperança e Paulo Roma Cavalcanti (UFRJ)

- Livro Edward Angel, Interactive Computer Grtaphics, a Top-down approach with OPENGL
- Outras citadas nos slides

Detalhes de Superfícies

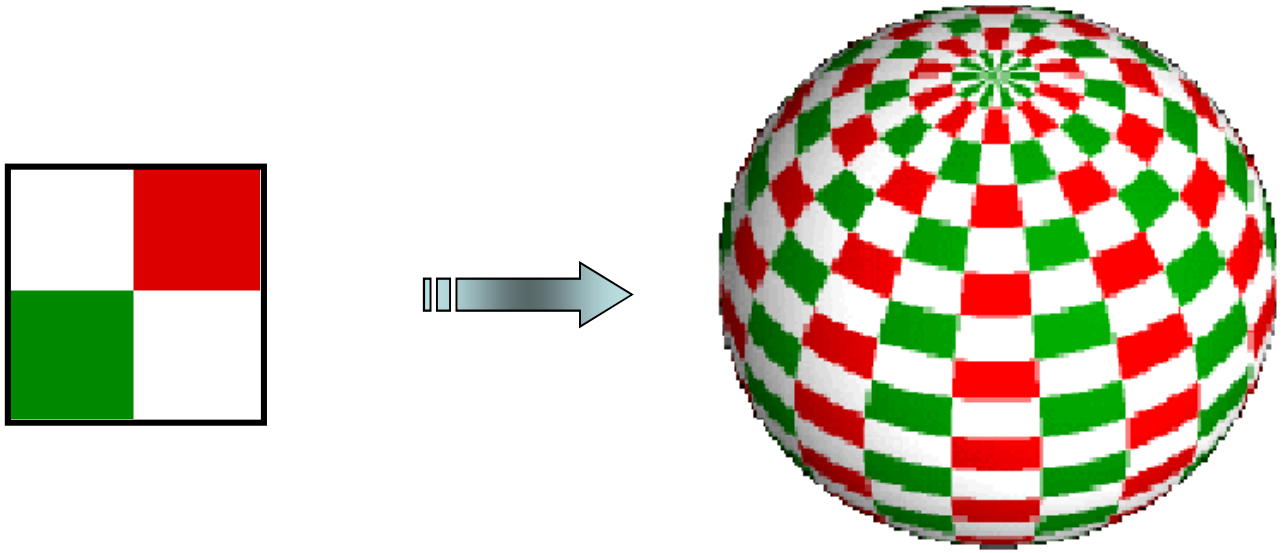
- Modelos de iluminação não são apropriados para descrever todas as diferenças de cor observáveis em uma superfície
  - Superfícies pintadas com padrões ou imagens
    - A capa ou uma página de um livro
  - Superfícies com padrões regulares
    - Tecidos ou uma parede de tijolos
- Em princípio é possível modelar esses detalhes com geometria e usando materiais de propriedades óticas distintas
- Na prática, esses efeitos são modelados usando uma técnica chamada *mapeamento de textura*



Example 2

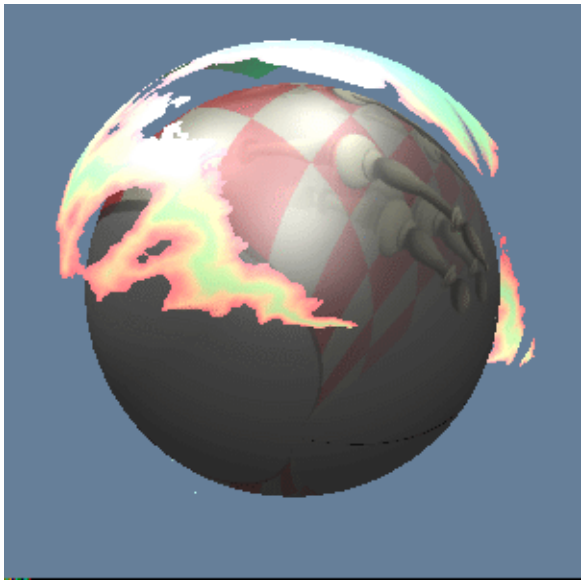
Mapeamento de Textura

- A idéia é reproduzir sobre a superfície de algum objeto da cena as propriedades de alguma função – ou mapa - bidimensional (cor, por exemplo)



Propriedades Mapeáveis

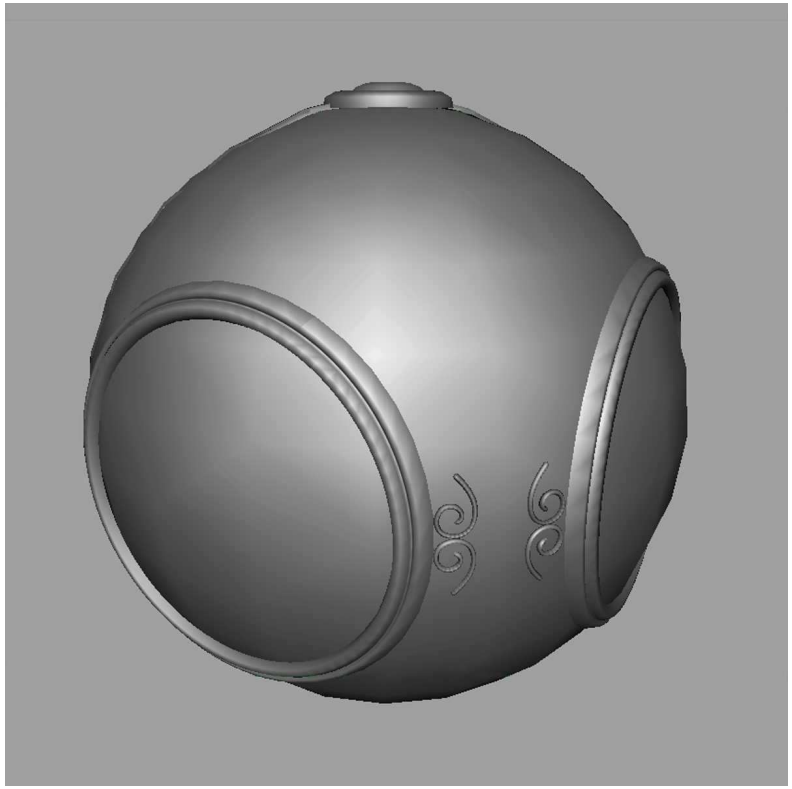
- Quais parâmetros ou propriedades pode-se reproduzir a partir de mapas:
  - Cor (coeficientes de reflexão difusa)
  - Coeficientes de reflexão especular e difusa
    - Mapeamento de ambiente
  - Perturbação do vetor normal
    - "Bump Mapping"
  - Perturbação da superfície na direção da normal
    - "Displacement Mapping"
  - Transparência / opacidade



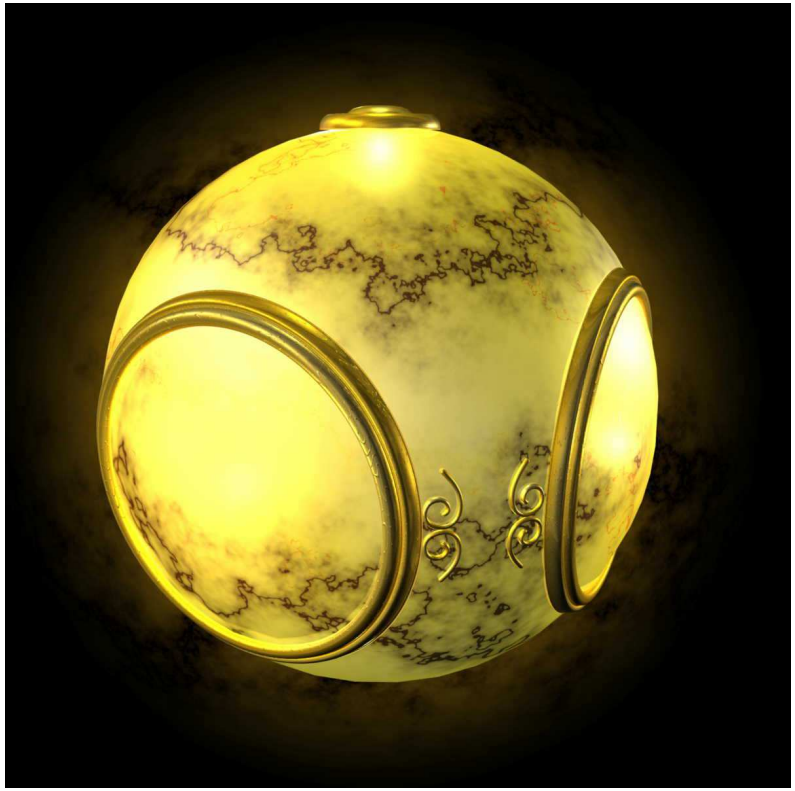
Three Types of Mapping

- Texture Mapping
  - Uses images to fill inside of polygons
- Environment (reflection mapping)
  - Uses a picture of the environment for texture maps
  - Allows simulation of highly specular surfaces
- Bump mapping
  - Emulates altering normal vectors during the rendering process

Texture Mapping



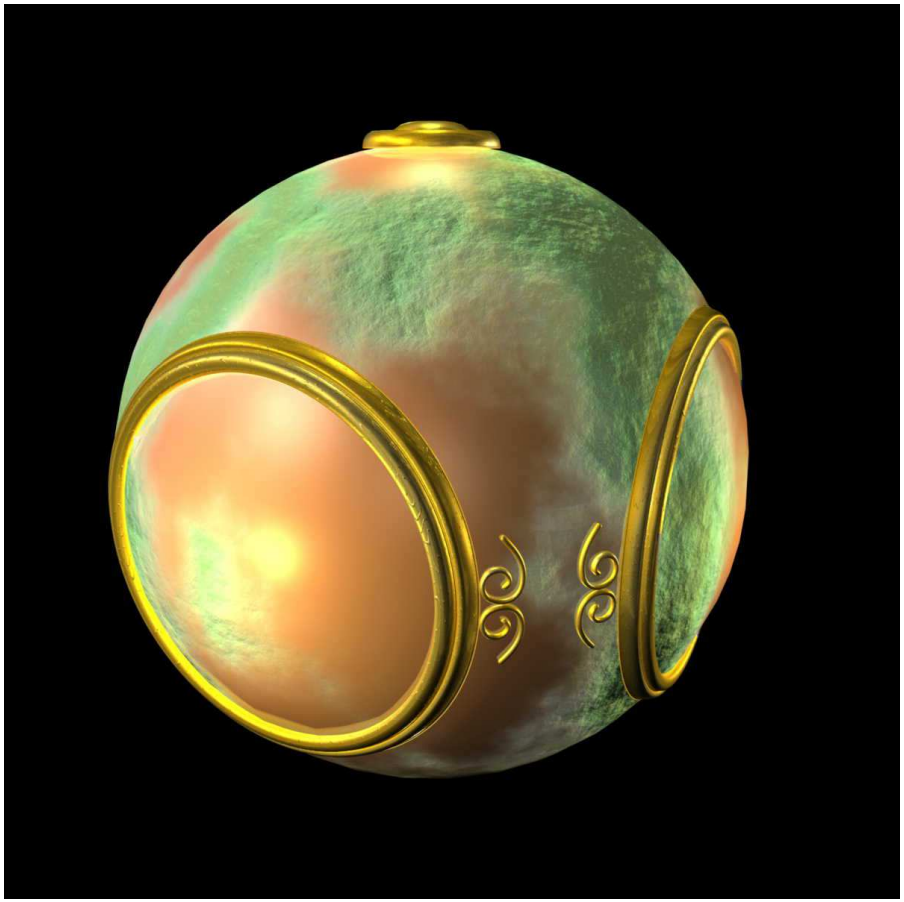
geometric model



texture mapped

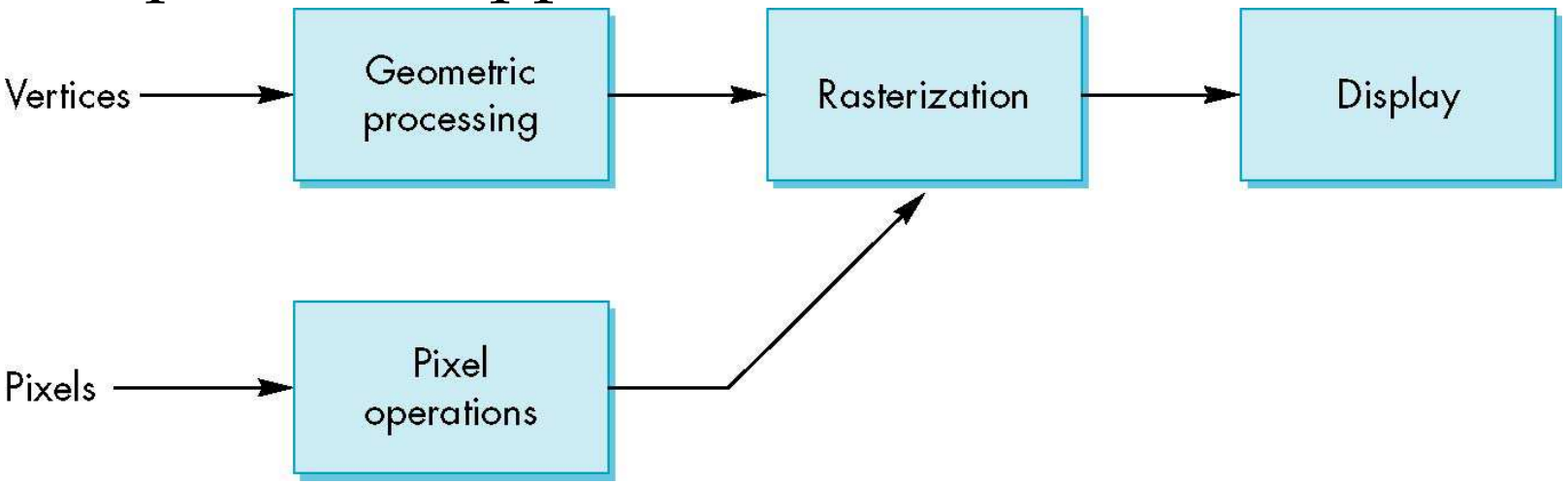
Environment Mapping

Bump Mapping



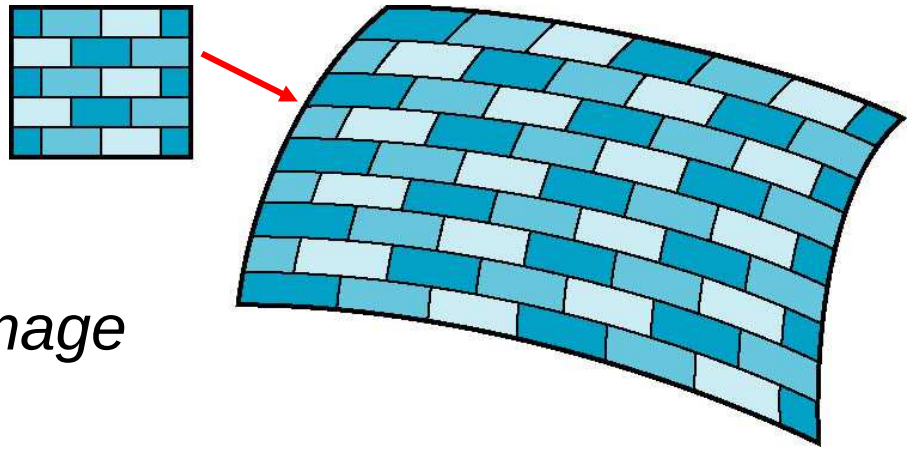
Where does mapping take place?

- Mapping techniques are implemented at the end of the rendering pipeline
  - Very efficient because few polygons make it past the clipper



Is it simple?

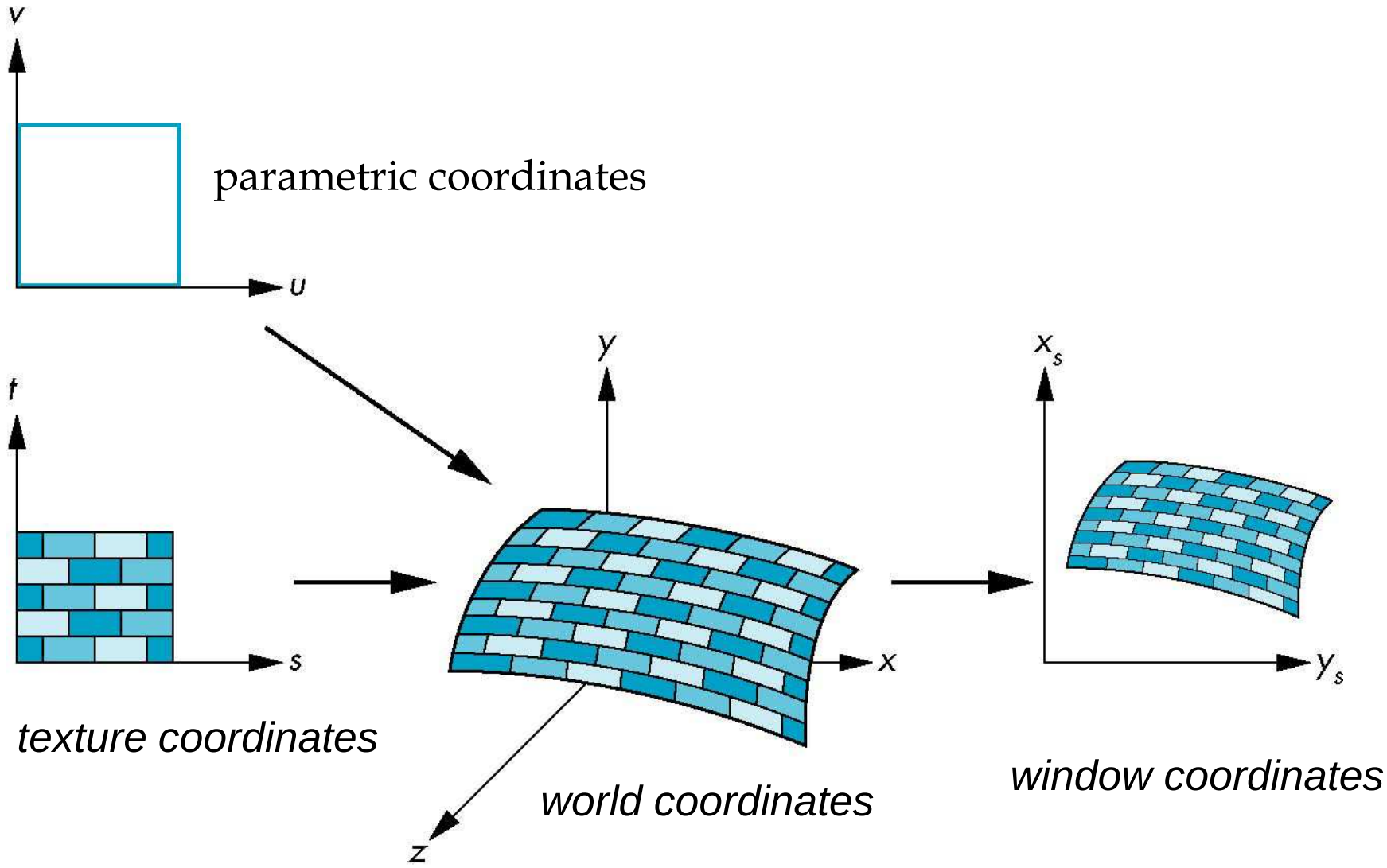
- Although the idea is simple---map an image to a surface---there are 3 or 4 coordinate systems involved



2D image

3D surface

Texture Mapping



Mapping Functions

- Basic problem is how to find the maps
- Consider mapping from texture coordinates to a point a surface
- Appear to need three functions

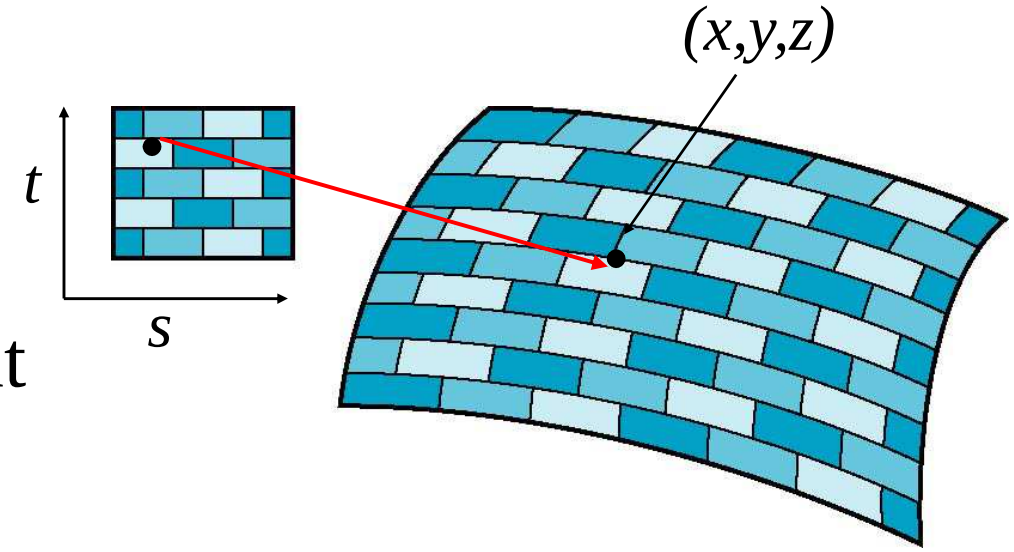
  x = x(s,t)

  y = y(s,t)

  z = z(s,t)

- But we really want

to go the other way



Backward Mapping

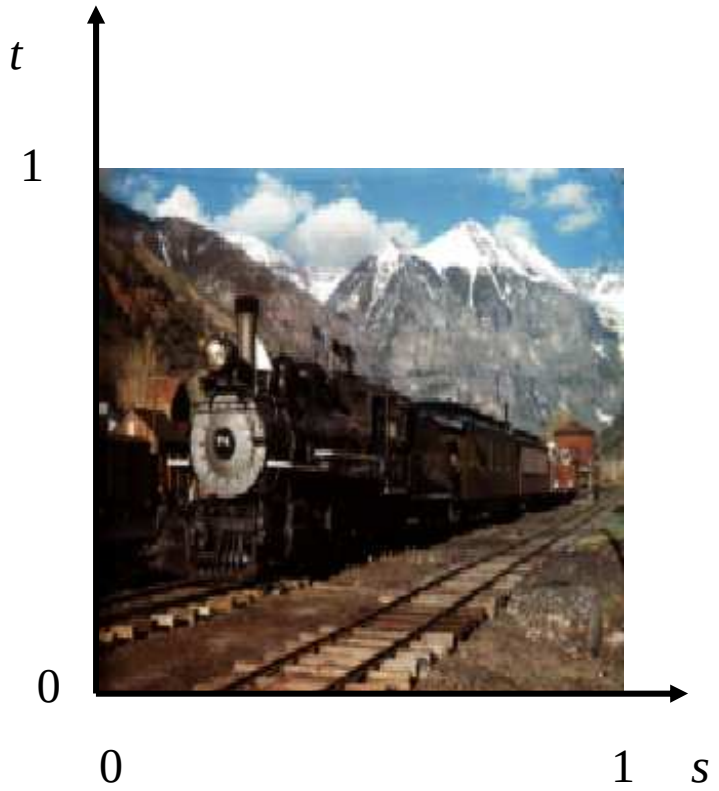
- We really want to go backwards
  - Given a pixel, we want to know to which point on an object it corresponds
  - Given a point on an object, we want to know to which point in the texture it corresponds
- Need a map of the form

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

  $t = t(x,y,z)$
- Such functions are difficult to find in general

Espaço de Textura

- Texturas 2D são funções $T(s, t)$ cujo domínio é um espaço bidimensional e o contradomínio pode ser cor, opacidade, etc
- É comum ajustar a escala da imagem de tal forma que a imagem toda se enquadre no intervalo $0 \leq s, t \leq 1$
- Normalmente a função em si é derivada de alguma imagem capturada
  - Se a imagem está armazenada numa matriz $Im\ [0..N–1\ ,\ 0..M–1]$
  - Então $T(s, t) = Im\ [\lfloor(1 – s)\ N\rfloor, \lfloor t\ M\rfloor]$



Espaço de Textura

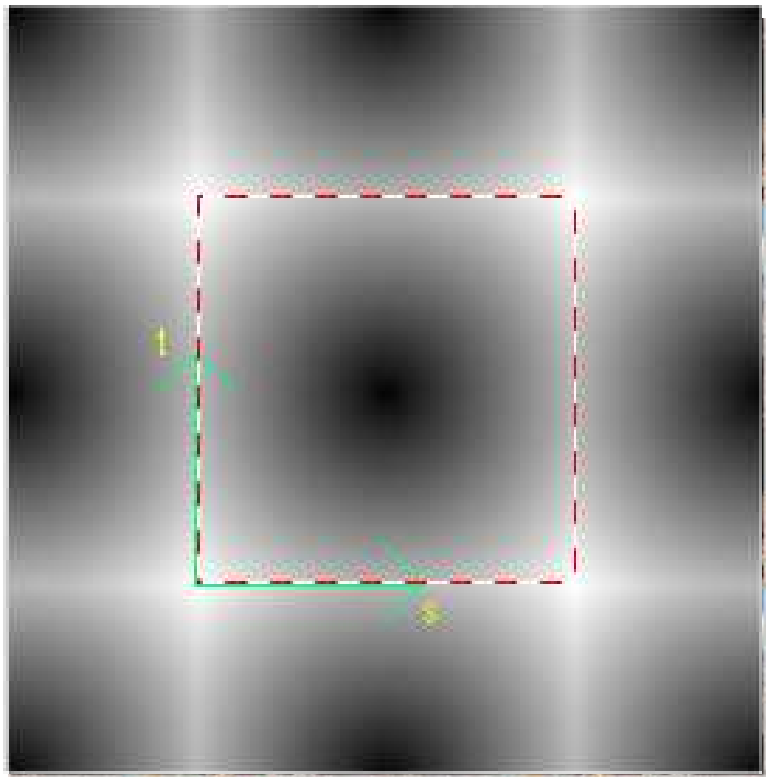
- Pode ser vantajoso assumir que o padrão da imagem se repete fora desse intervalo

$$T(s, t) = Im\left[\lfloor (1 - s)\, N \rfloor \bmod N,\ \lfloor t\, M \rfloor \bmod M\right]$$

Espaço de Textura

- A função de textura pode ser também definida algebricamente:

$$T(s,t) = \sqrt{(s-0.5)^2 + (t-0.5)^2}$$



Função de Mapeamento

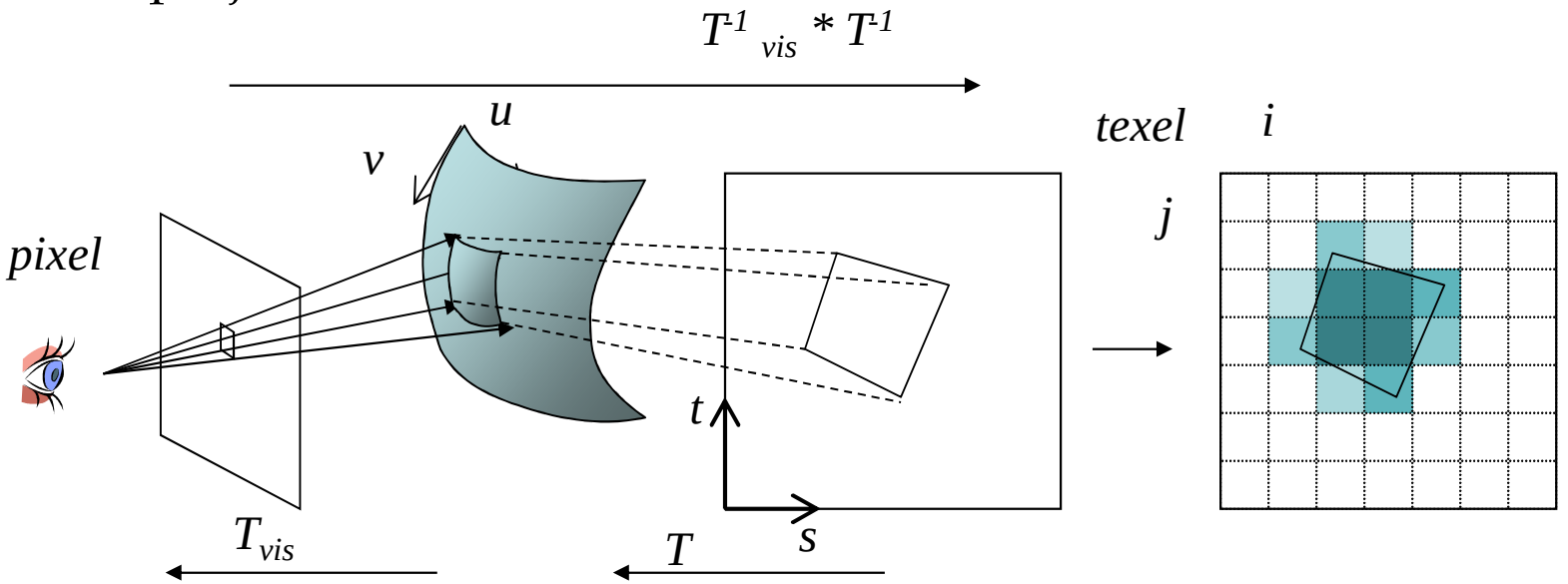
- Retorna o ponto do objeto correspondente a cada ponto do espaço de textura

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

- Corresponde à forma com que a textura é usada para "embrulhar" (*wrap*) o objeto
  - Na verdade, na maioria dos casos, precisamos de uma função que nos permita "desembrulhar" (*unwrap*) a textura do objeto, isto é, a inversa da função de mapeamento
- Se a superfície do objeto pode ser descrita em forma paramétrica esta pode servir como base para a função de mapeamento

Processo de Mapeamento de Texturas

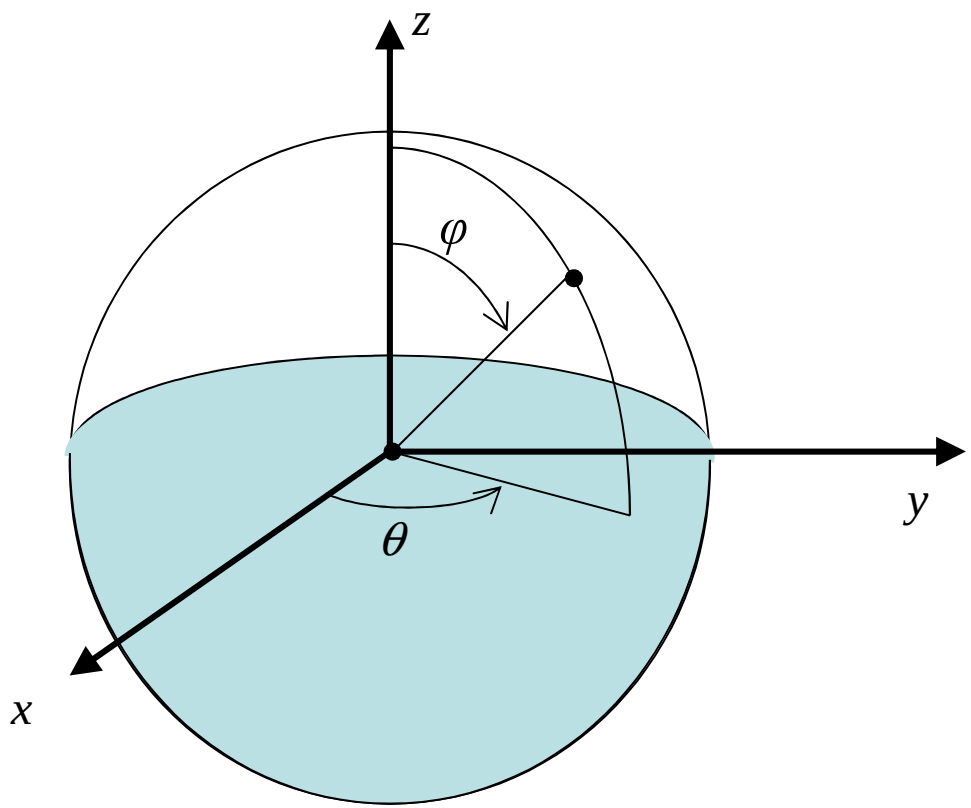
- Projeção do pixel sobre a superfície
  - Pontos da superfície correspondentes aos vértices do pixel
- Parametrização
  - Coordenadas paramétricas dos vértices do pixel projetados
- Mapeamento inverso
  - Coordenadas dos vértices no espaço de textura
- Média
  - Cor média dos "Texels" proporcional à área coberta pelo quadrilátero



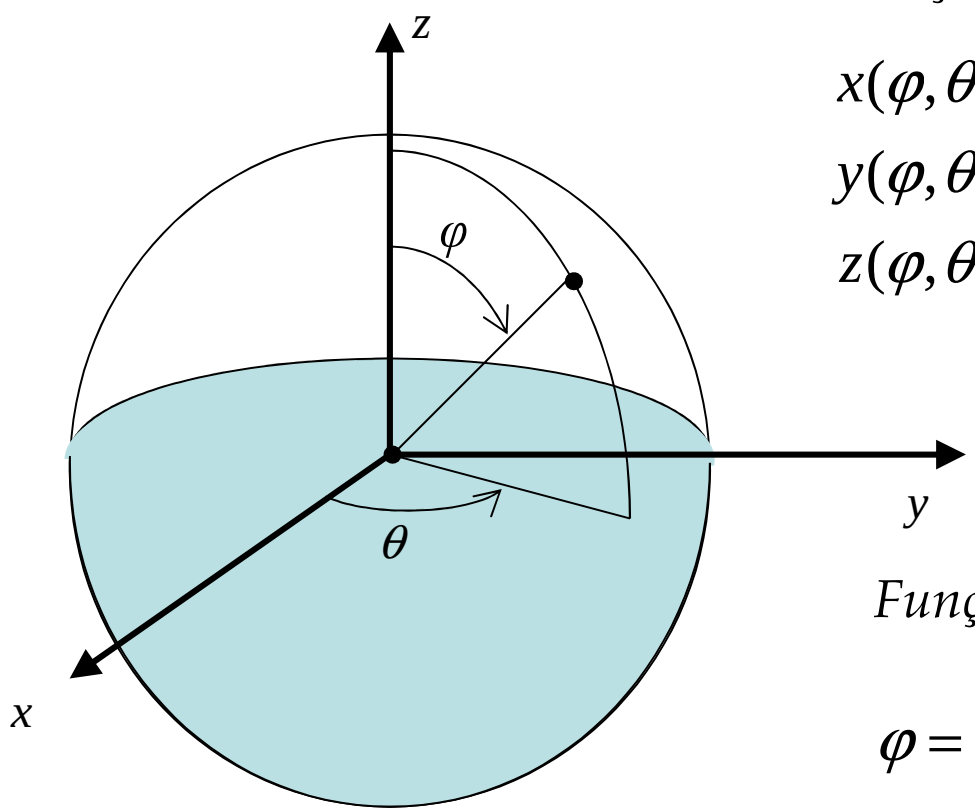
Mapeamentos objeto -> textura

- Mapeando coordenadas do objeto em coordenadas de textura
- Casos simples: esfera, cilindro...
  - Mapeamento derivado a partir das representações paramétricas do objeto
- e uma superfície paramétrica? Mapeamento linear aparentemente simples...Não tão simples quanto parece...
- e objetos genéricos?

Parametrização da Esfera



Parametrização da Esfera



Função de mapeamento

$$x(\varphi,\theta) = \sin\varphi\cos\theta$$
$$y(\varphi,\theta) = \sin\varphi\sin\theta$$
$$z(\varphi,\theta) = \cos\varphi$$

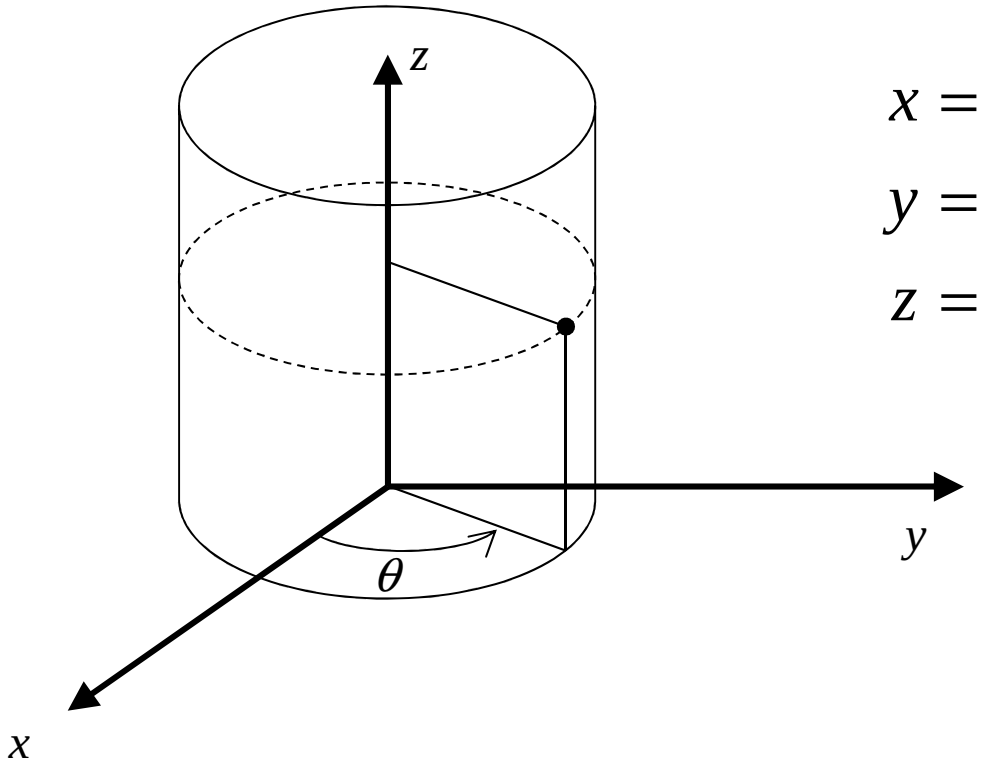
$$\varphi = \pi \cdot t$$
$$\theta = 2\pi \cdot s$$

Função de mapeamento inversa

$$\varphi = \arccos z$$
$$\theta = \arctan\frac{y}{x}$$

$$t = \frac{\arccos z}{\pi}$$
$$s = \frac{\arctan\frac{y}{x}}{2\pi}$$

Parametrização do Cilindro

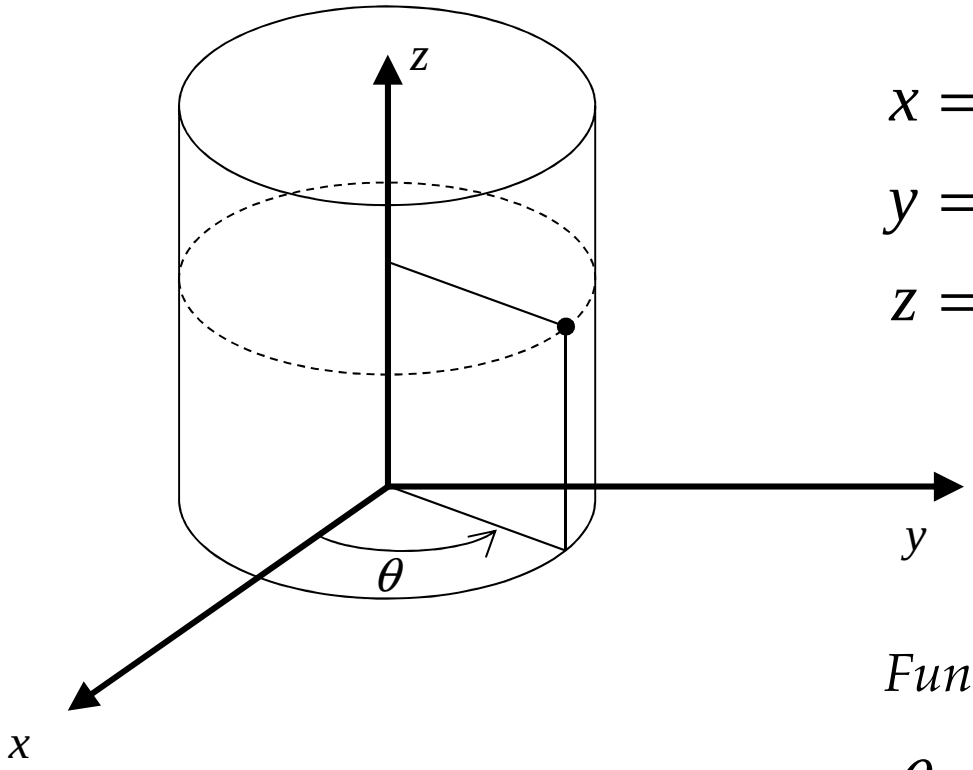


$$x = \cos\theta$$

$$y = \sin\theta$$

$$z = z$$

Parametrização do Cilindro



Função de mapeamento

$$x = \cos\theta \qquad \theta = 2\pi \cdot s$$

$$y = \sin\theta \qquad z = t$$

$$z = z$$

Função de mapeamento inversa

$$\theta = \arctan\frac{y}{x} \qquad s = \frac{\theta}{2\pi}$$

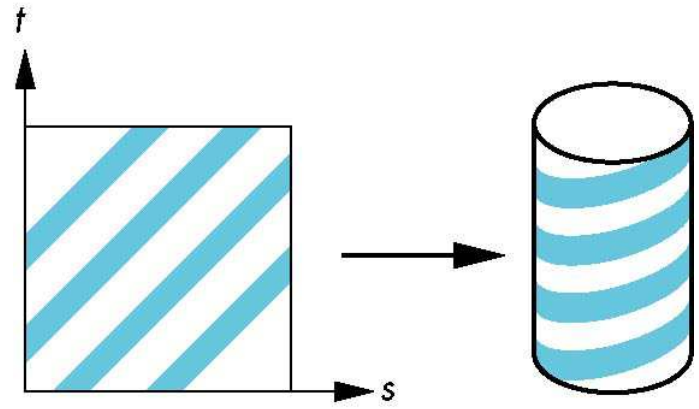
$$z = z \qquad t = z$$

Parametrizando Objetos Genéricos

- O que fazer quando o objeto não comporta uma parametrização natural?
- Uma sugestão é usar um mapeamento em 2 estágios [Bier e Sloan]:
  - Mapear textura sobre uma superfície simples como cilindro, esfera, etc aproximadamente englobando o objeto

Two-part mapping

- One solution to the mapping problem is to first map the texture to a simple intermediate surface
- Example: map to cylinder



Cylindrical Mapping

parametric cylinder

$$x = r \cos 2\pi u$$
$$y = r \sin 2\pi u$$
$$z = v/h$$

maps rectangle in u,v space to cylinder of radius r and height h in world coordinates

$$s = u$$
$$t = v$$

maps from texture space

Spherical Map

We can use a parametric sphere

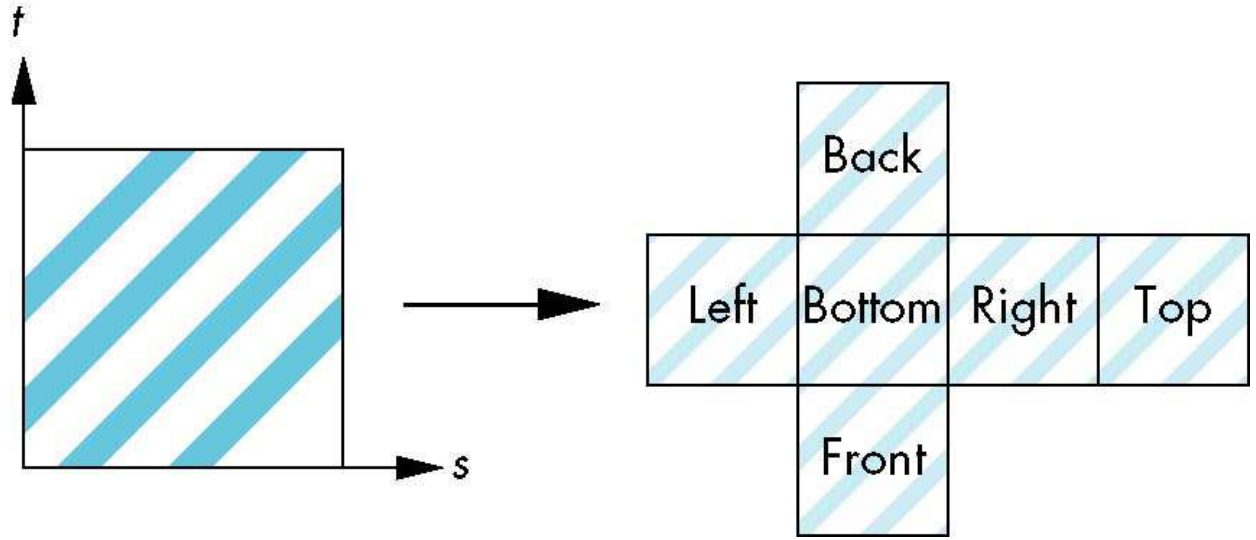
$$x = r \cos 2\pi u$$
$$y = r \sin 2\pi u \cos 2\pi v$$
$$z = r \sin 2\pi u \sin 2\pi v$$

in a similar manner to the cylinder but have to decide where to put the distortion

Spheres are used in environmental maps

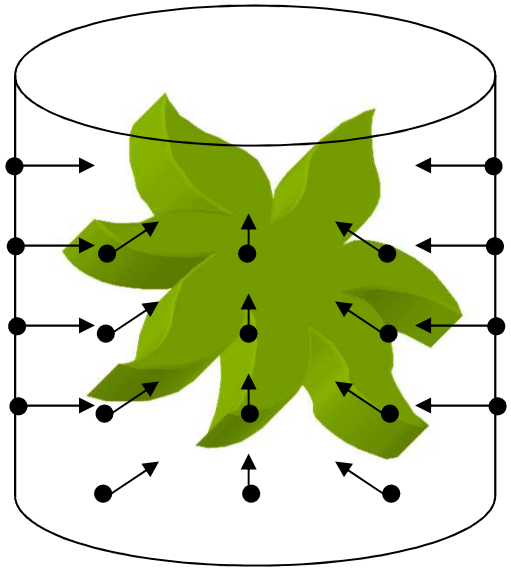
Box Mapping

- Easy to use with simple orthographic projection
- Also used in environment maps



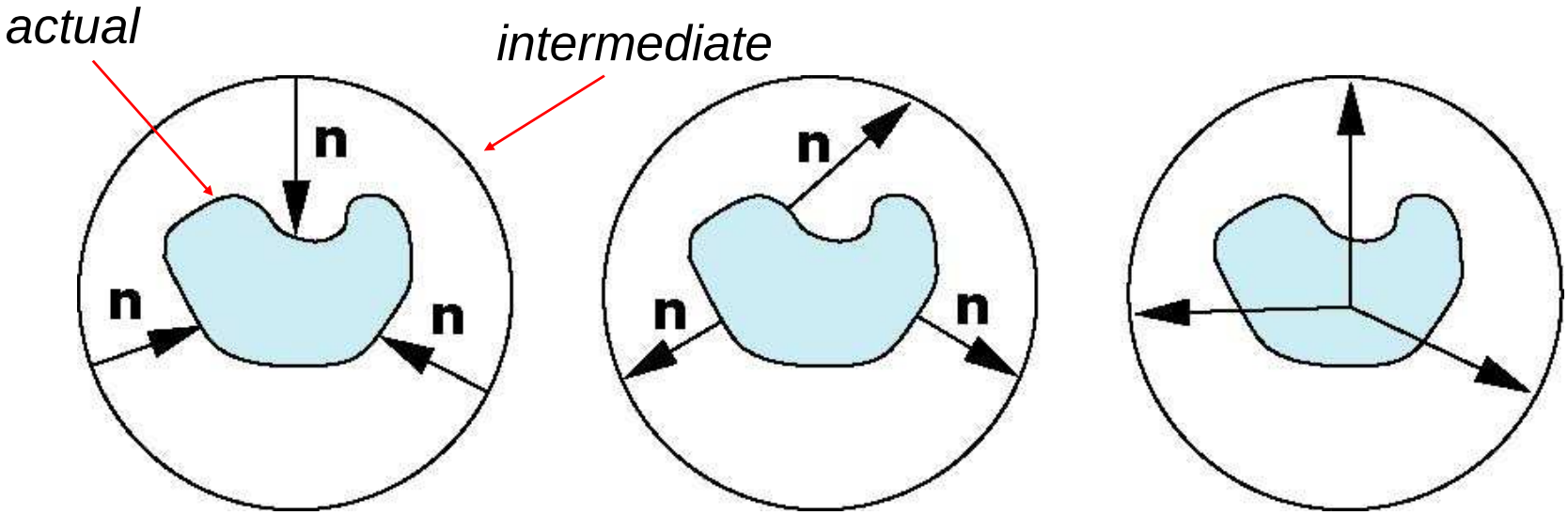
Parametrizando Objetos Genéricos

- mapeamento em 2 estágios:
  - Mapeamento da textura do objeto intermediário para o objeto alvo pode ser feito de diversas maneiras
    - Raios passando pelo centróide do objeto
    - Raios normais à superfície do objeto
    - Raios normais à superfície simples
    - Raios refletidos (*environment mapping*)



Second Mapping

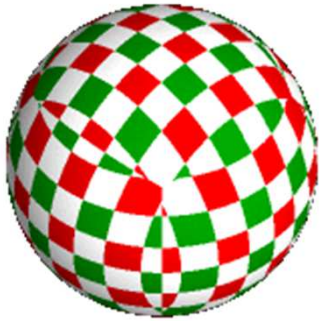
- Map from intermediate object to actual object
  - Normals from intermediate to actual
  - Normals from actual to intermediate
  - Vectors from center of intermediate



Exemplos

Parametrização cúbica

Projetada em uma esfera



Projetada em um cilindro

Exemplos

Parametrização cilíndrica

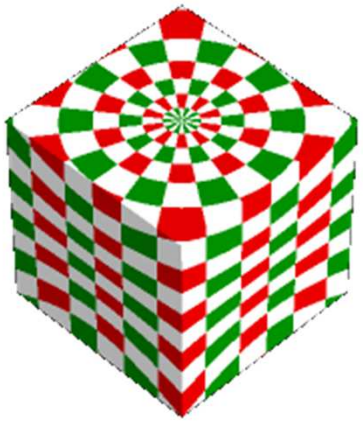
Projetada em uma esfera

Projetada em um cubo

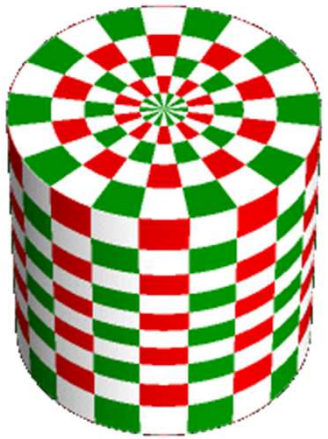
Exemplos

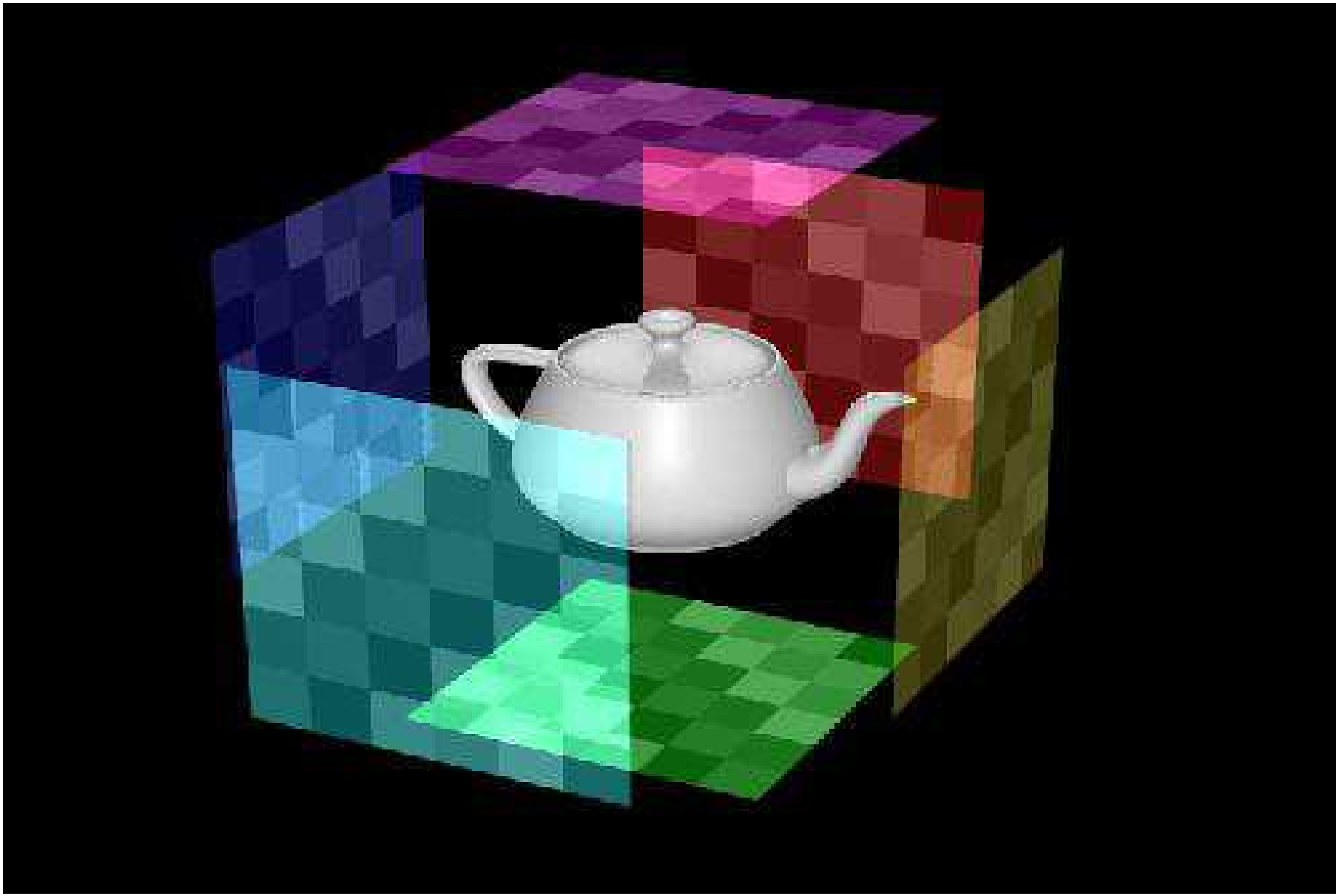
Parametrização esférica

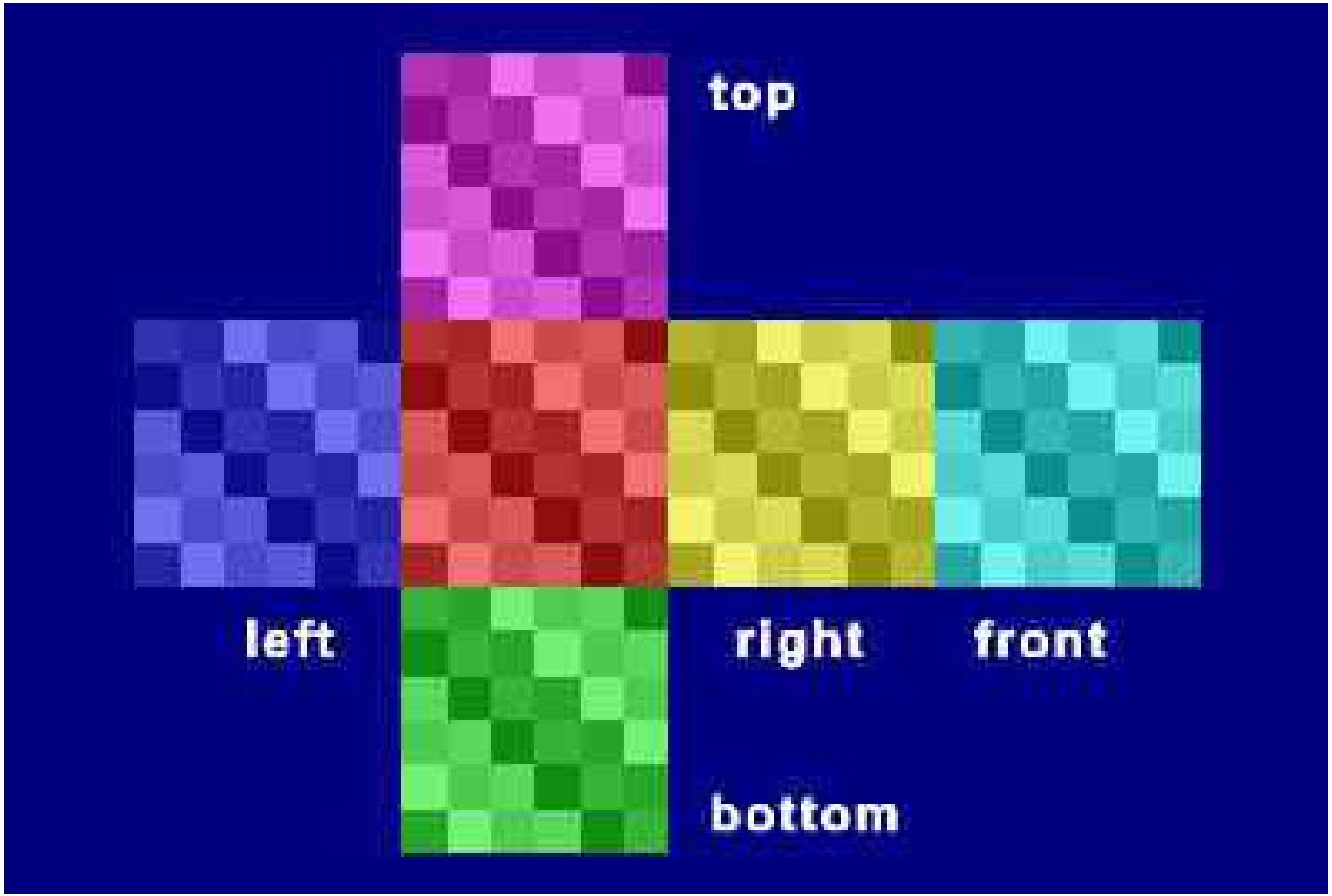
Projetada em um cubo

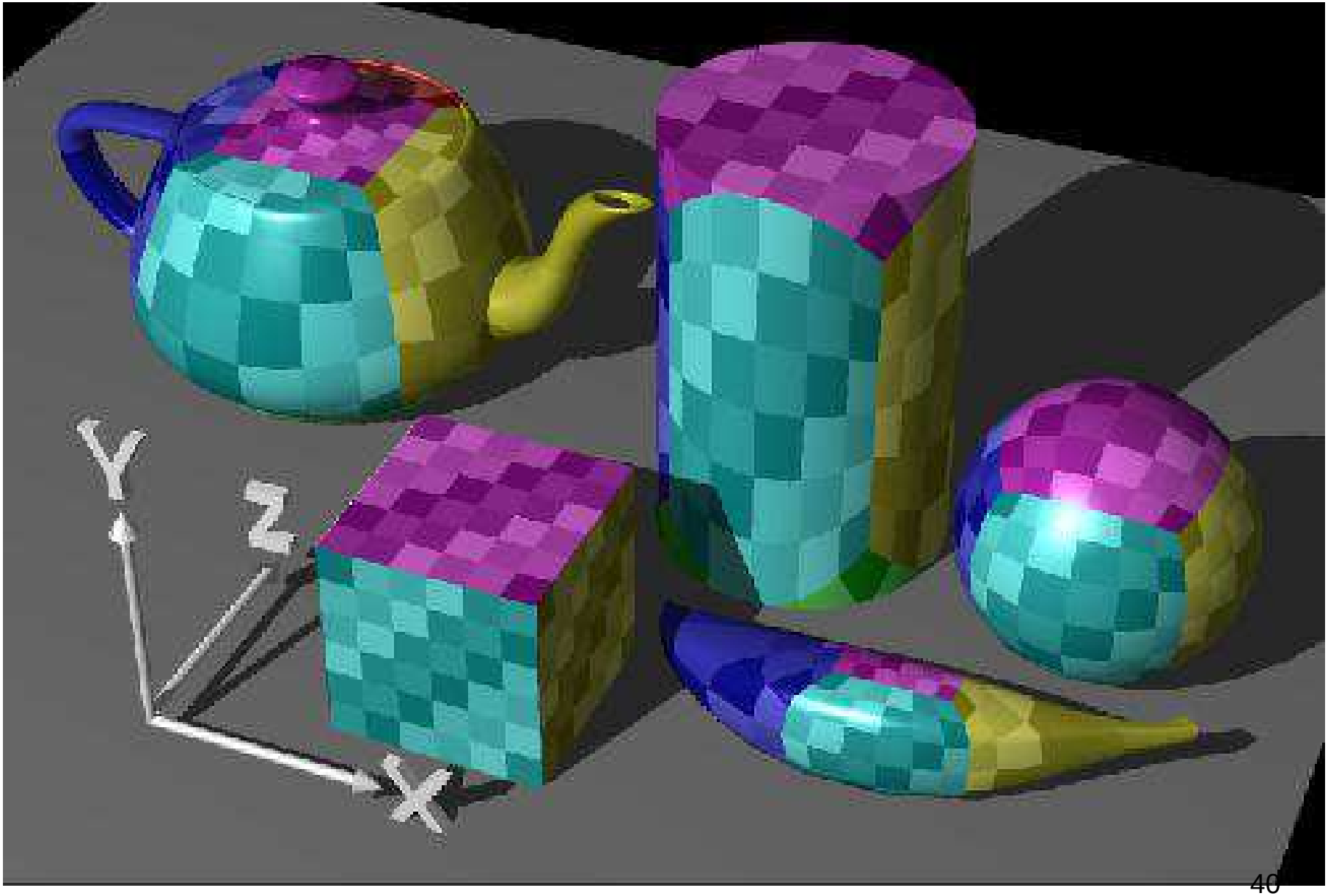


Projetada em um cilindro



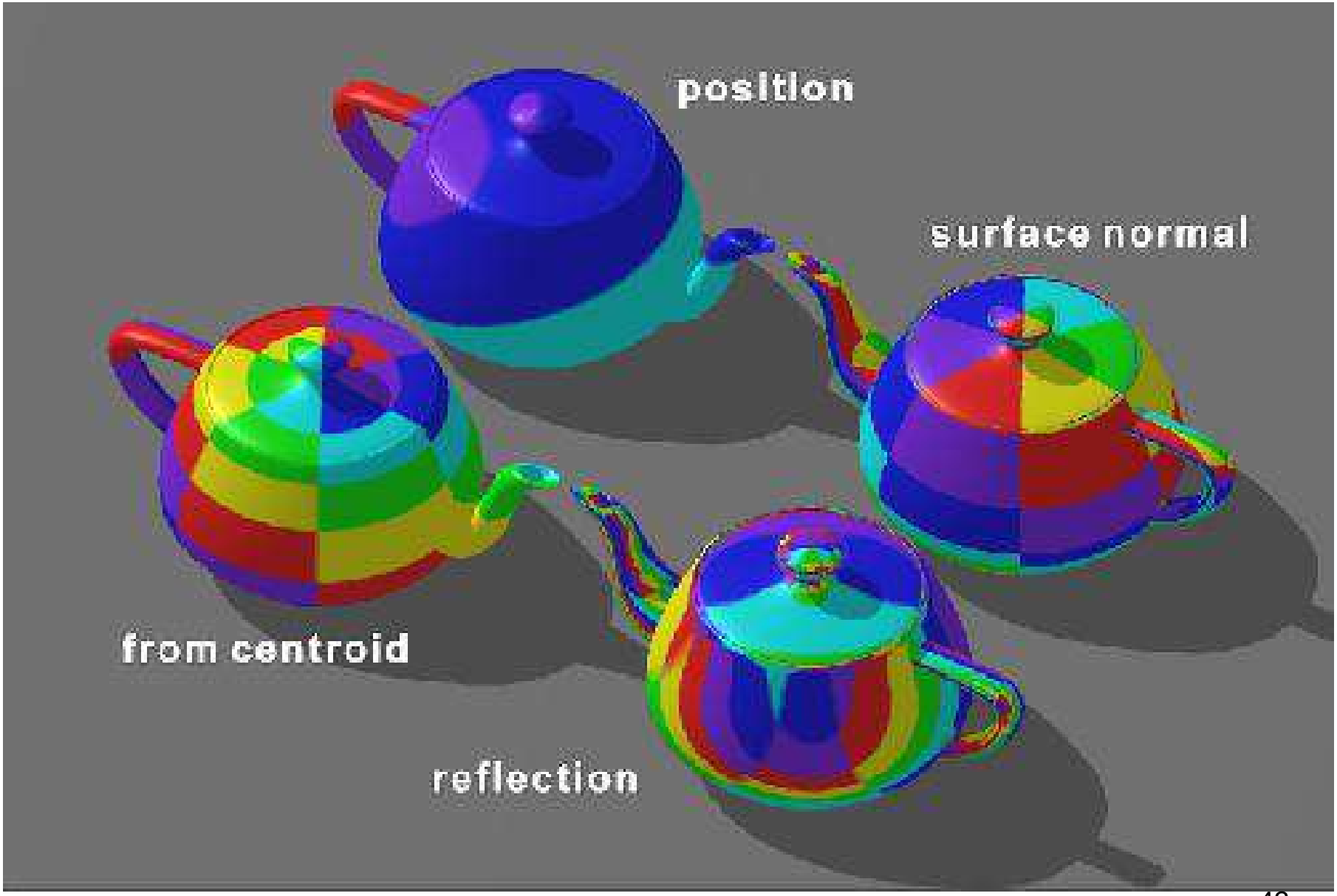



top
left
right
front
bottom


Y
Z
X

Two Part Texture Mapping

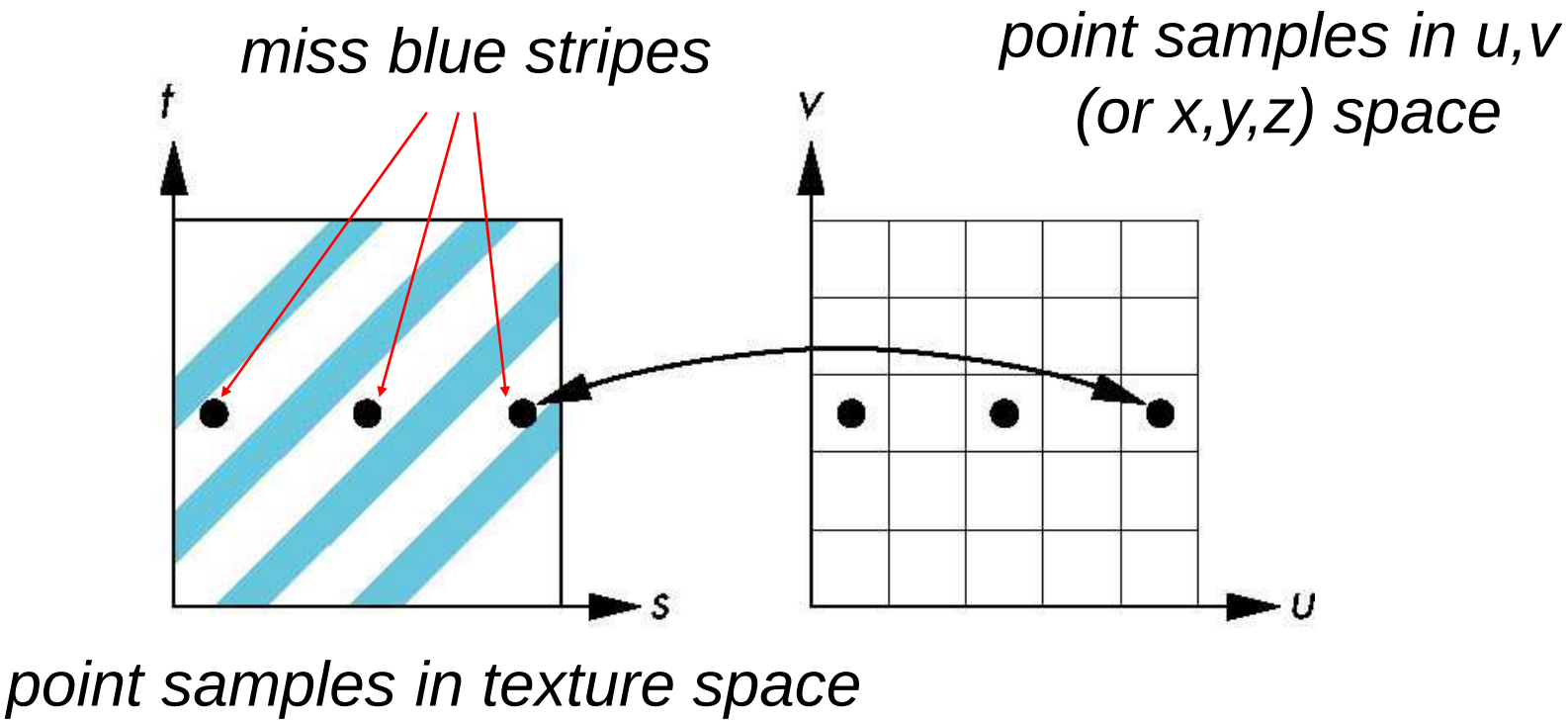
- Different approaches for mapping the texture from the intermediate surface to the object, e.g.:
  - Reflected ray
  - Object normal
  - Object centroid
  - Intermediate surface normal



Different mappings for a cylinder intermediate surface

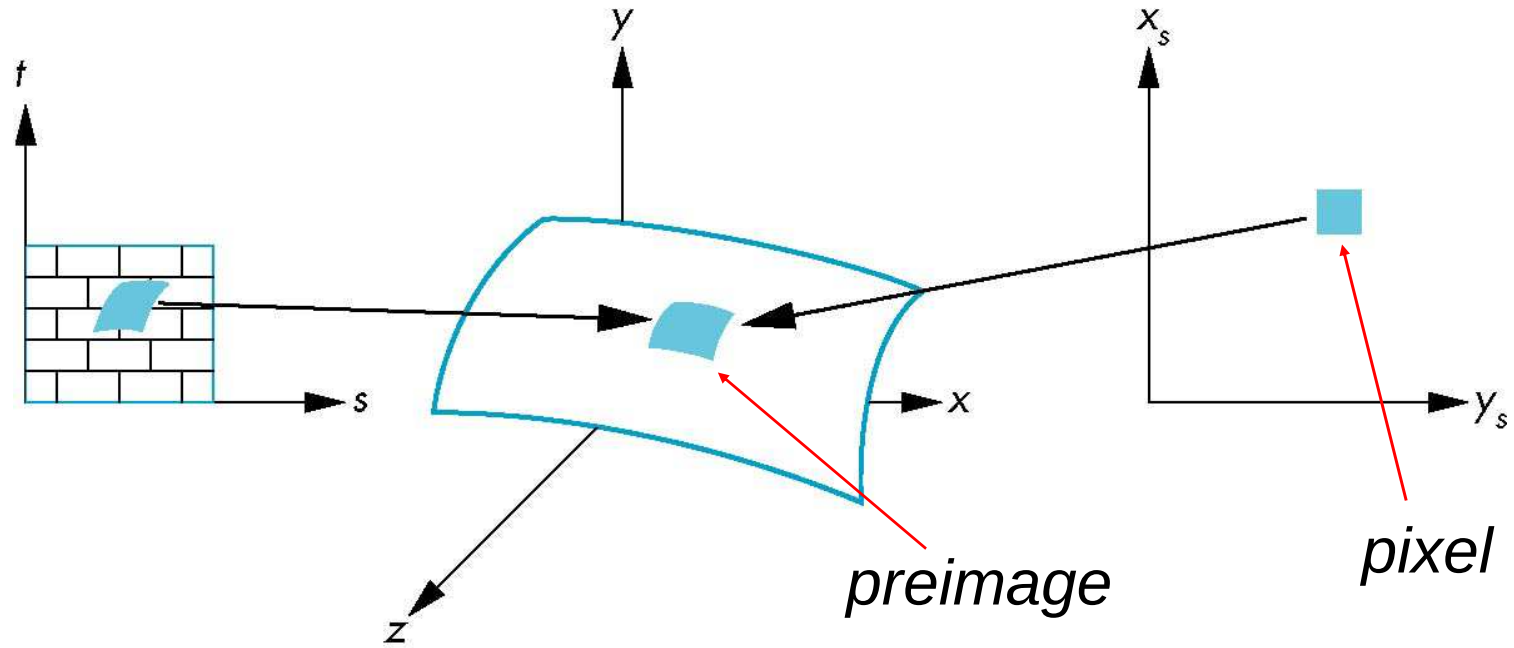
Aliasing

- Point sampling of the texture can lead to aliasing errors



Area Averaging

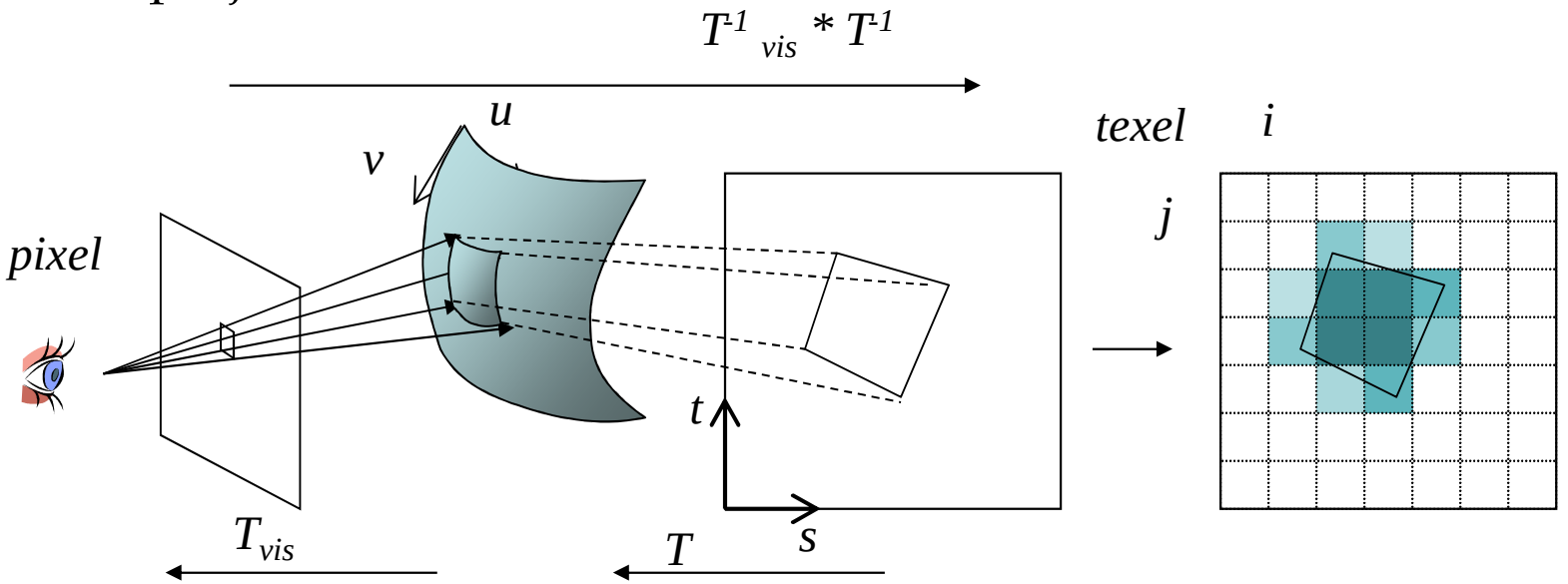
A better but slower option is to use *area averaging*



Note that preimage of pixel is curved

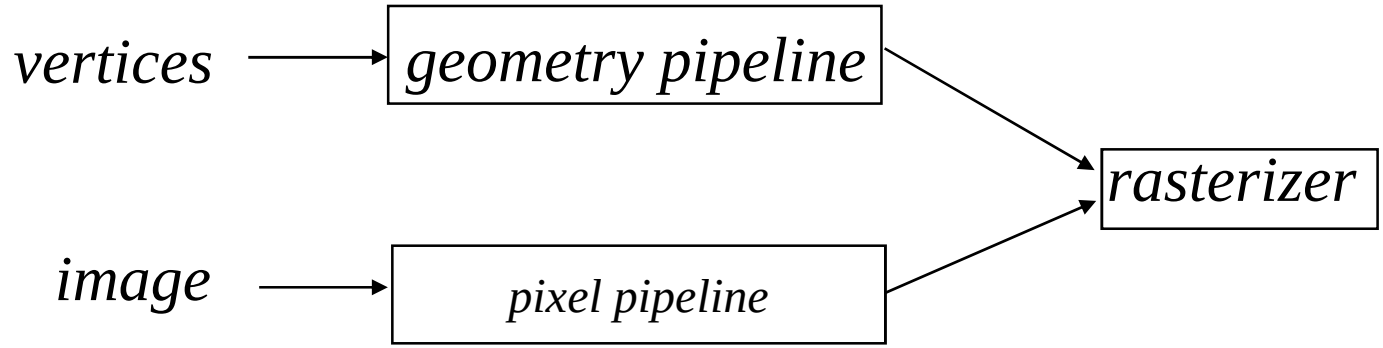
Processo de Mapeamento de Texturas

- Projeção do pixel sobre a superfície
  - Pontos da superfície correspondentes aos vértices do pixel
- Parametrização
  - Coordenadas paramétricas dos vértices do pixel projetados
- Mapeamento inverso
  - Coordenadas dos vértices no espaço de textura
- Média
  - Cor média dos "Texels" proporcional à área coberta pelo quadrilátero



Texture Mapping and the OpenGL Pipeline

- Images and geometry flow through separate pipelines that join at the rasterizer
  - "complex" textures do not affect geometric complexity

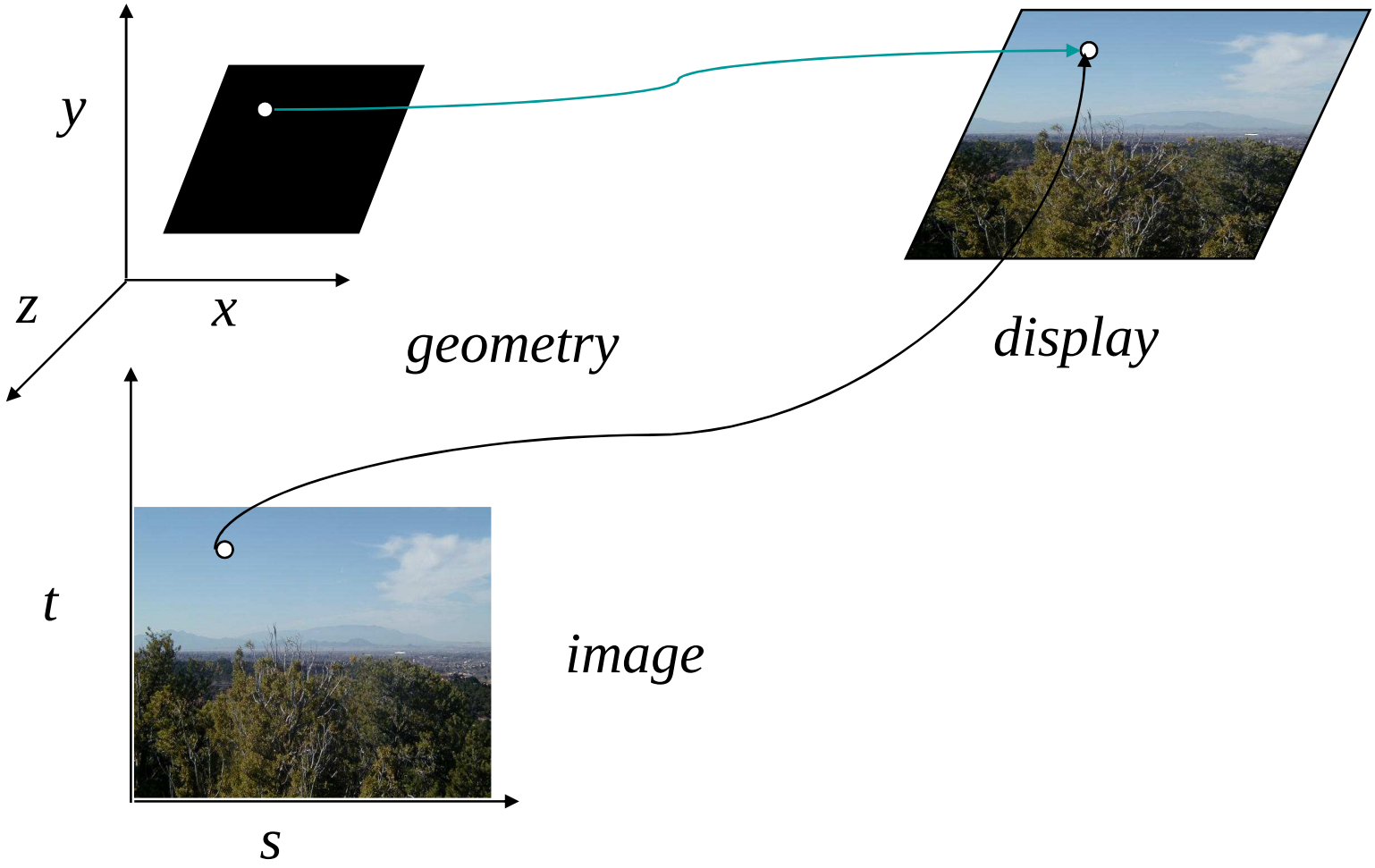


Basic Stragegy

Three steps to applying a texture

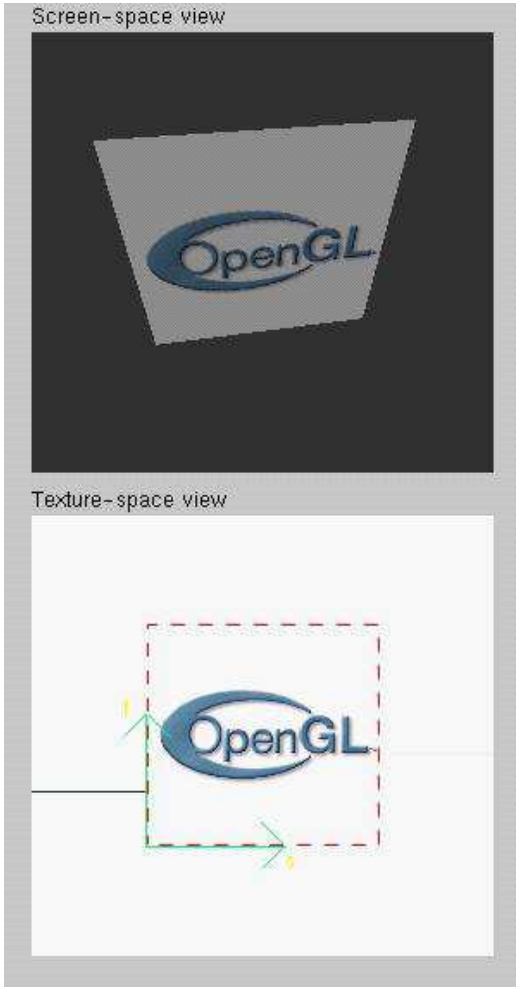
1. specify the texture
   - read or generate image
   - assign to texture
   - enable texturing
2. assign texture coordinates to vertices
   - Proper mapping function is left to application
3. specify texture parameters
   - wrapping, filtering

Texture Mapping



Texture Example

- The texture (below) is a 256 x 256 image that has been mapped to a rectangular polygon which is viewed in perspective



Mapeamento de Texturas em Polígonos

- Polígonos são freqüentemente usados para representar fronteiras de objetos
- Em OpenGL, além das coordenadas dos vértices e do vetor normal, é possível também especificar coordenadas de textura:

```
glBegin (GL_POLYGON);
   glNormal3fv (N);
   glTexCoord2fv (T);
   glVertex3fv (V);
   ...
glEnd ();
```

Mapeamento de Texturas em Polígonos

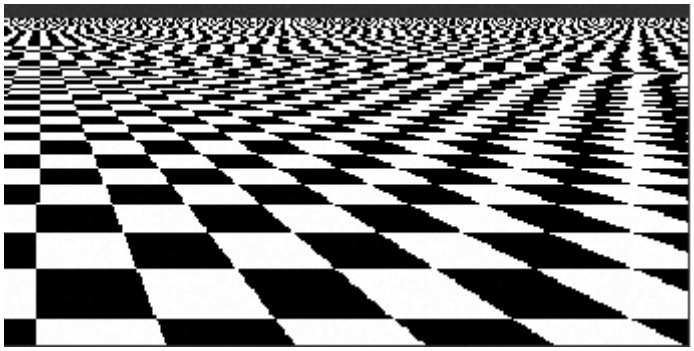
- A maneira mais simples e rápida:
  - Projetar os vértices do polígono na imagem
  - A cada vértice projetado P_i corresponde um ponto Q_i no espaço de textura
  - Um pixel P do polígono na imagem é dado por uma combinação afim. Ex.:

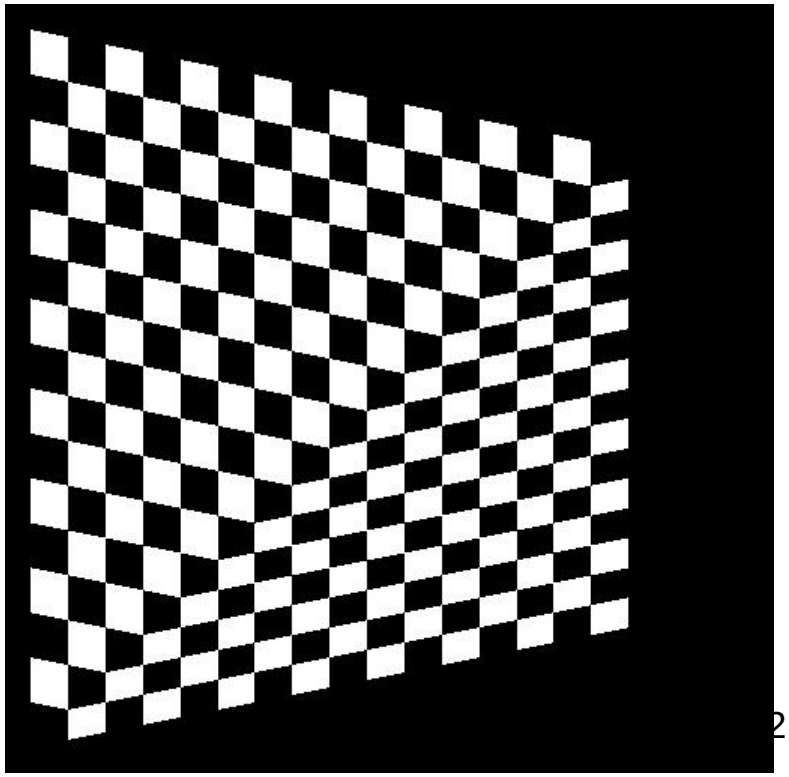
    $P = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3$
  - Pixel P é pintado com a cor do texel obtido com a mesma combinação afim. Ex.:

    $Q = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3$

Mapeamento de Texturas em Polígonos

- Problemas da abordagem simples:
  - Aliasing
    - Pixel <≠> Texel
    - Soluções:
      - Interpolação
      - Mip-mapping
  - Deformação
    - Combinações afim não são preservadas em projeções perspectivas
    - Soluções:
      - Mais vértices
      - Coordenadas homogêneas





Mapeamento de Texturas em OpenGL

1. Ligar o mapeamento de texturas
   - **`glEnable(GL_TEXTURE_2D);`**
2. Especificar a textura
   - Usar **glTexImage2D** que tem o formato

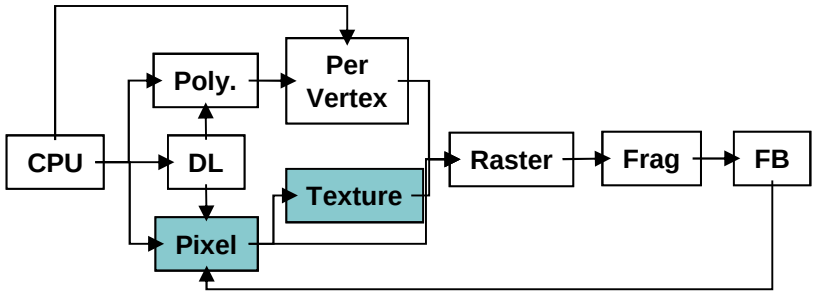
     void **glTexImage2D** (*GLenum* target, *GLint* level, *GLint* internalFormat, *GLsizei* width, *GLsizei* height, *GLint* border, *GLenum* format, *GLenum* type, *const GLvoid* *pixels);
   - **Exemplo:**

     glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, 128, 128, 0, GL_RGBA, GL_UNSIGNED_BYTE, img);

Mapeamento de Texturas em OpenGL

3. Configurar diversos parâmetros
   - Modos de filtragem
     - Magnificação ou minificação
     - Filtros mipmap de minificação
   - Modos de repetição de padrões
     - Cortar ou repetir
   - Funções de aplicação de textura
     - Como misturar a cor do objeto com a da textura
       - Misturar, modular ou substituir texels
4. Especificar coordenadas de textura
   - Por vértice
     - glTexCoord*
   - Coordenadas computadas automaticamente
     - glTexGen*

Especificando imagem de textura



- Imagem de textura normalmente carregada a partir de um array de texels na memória principal
  - `glTexImage2D( target, level, components, w, h, border, format, type, *texels );`
  - Tamanho da imagem tem ser potência de 2
- Cores dos texels são processadas pela parte do pipeline que processa pixels
  - Boa parte do repertório de operações sobre bitmaps pode ser usada

Convertendo Imagem de Textura

- Se o tamanho da imagem não é uma potencia de 2
  - `gluScaleImage( format, w_in, h_in, type_in, *data_in, w_out, h_out, type_out, *data_out );`
  - *_in **= *imagem original***
  - *_out **= *imagem destino***
- Imagem é interpolada e filtrada durante a escala

Outros métodos para especificar texturas

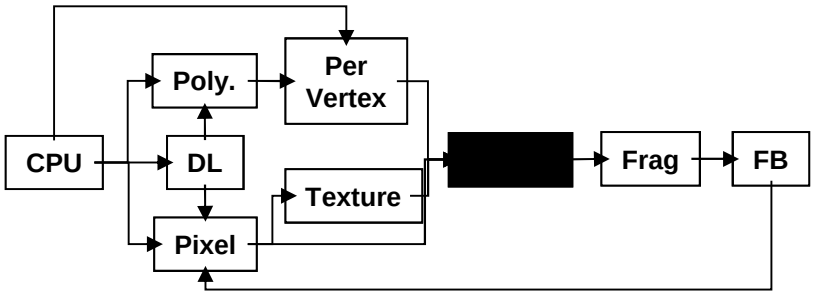
- Usar o frame buffer como fonte da imagem de textura

  `glCopyTexImage1D(...)`
  `glCopyTexImage2D(...)`

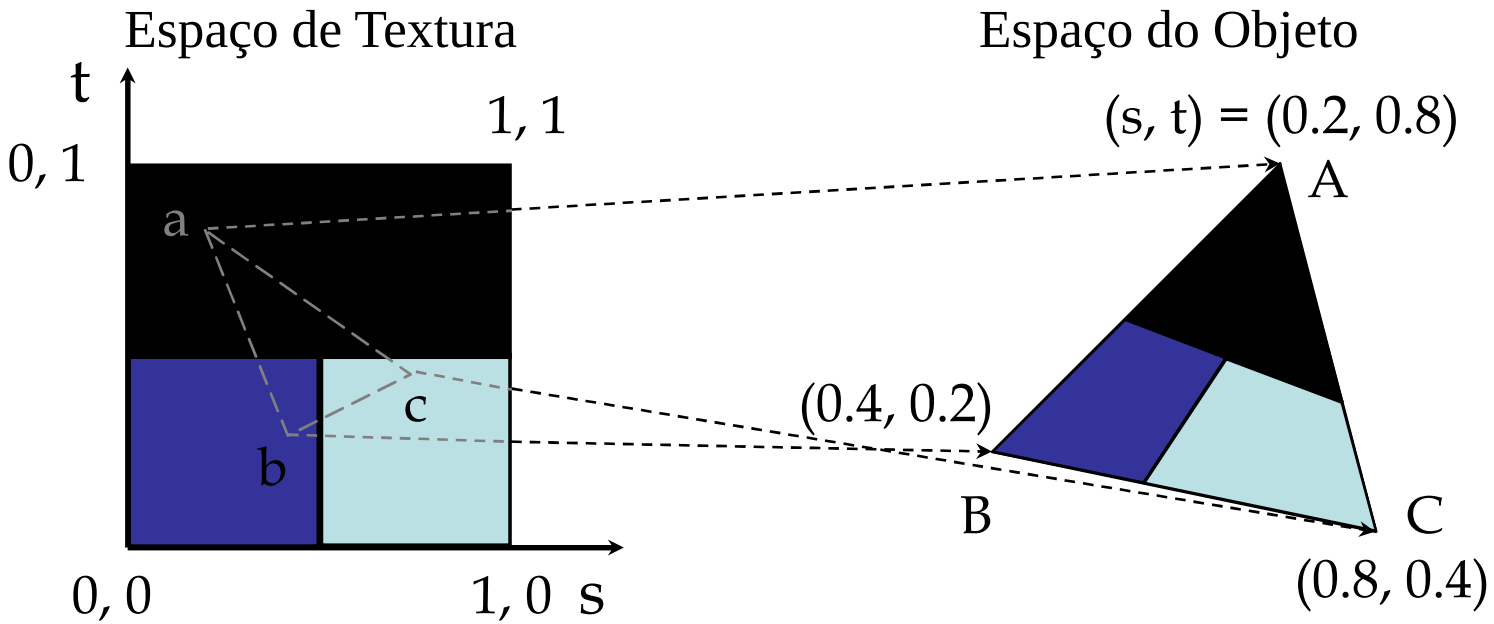
- Modificar parte de uma textura pré-definida

  `glTexSubImage1D(...)`
  `glTexSubImage2D(...)`
  `glTexSubImage3D(...)`

Mapeando a Textura



- Baseado em coordenadas paramétricas de textura
- Chamar `glTexCoord*()` para cada vértice



Gerando Coordenadas de Texturas Automaticamente

- Habilitar a geração automática de coordenadas de textura

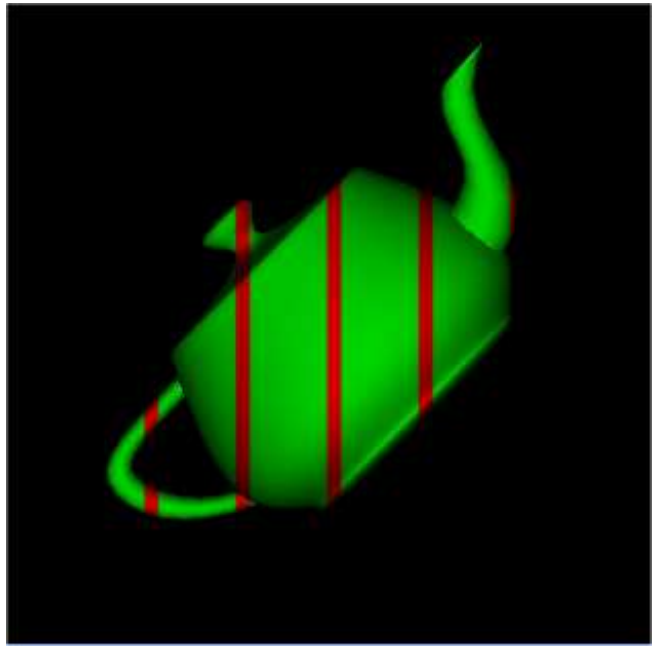
  `glEnable` `(GL_TEXTURE_GEN_{STRQ});`
- Especificar parâmetros

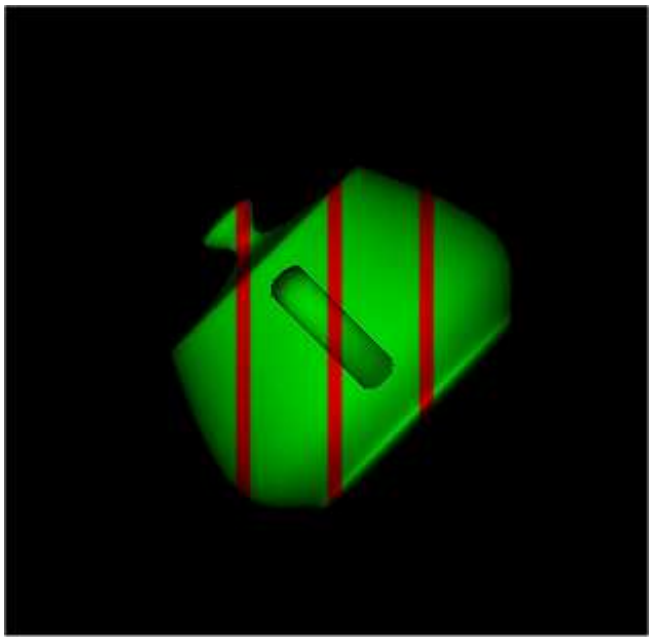
  void **`glTexGen`**{ifd} (*GLenum coord, GLenum pname, TYPE param*);

  void **`glTexGen`**{ifd}**`v`** (*GLenum coord, GLenum pname, TYPE *param*);
  - Qual coordenada de textura?
    - *Coord* = `GL_S / GL_T / GL_R / GL_Q`
  - Plano de referência
    - *Pname* = `GL_OBJECT_PLANE / GL_EYE_PLANE`
    - *Param* = coeficientes A/B/C/D do plano
  - Modos de geração de coordenadas
    - *Pname* = `GL_TEXTURE_GEN_MODE`
    - *Param* = `GL_OBJECT_LINEAR / GL_EYE_LINEAR / GL_SPHERE_MAP`

Geração Automática de Coordenadas de Textura

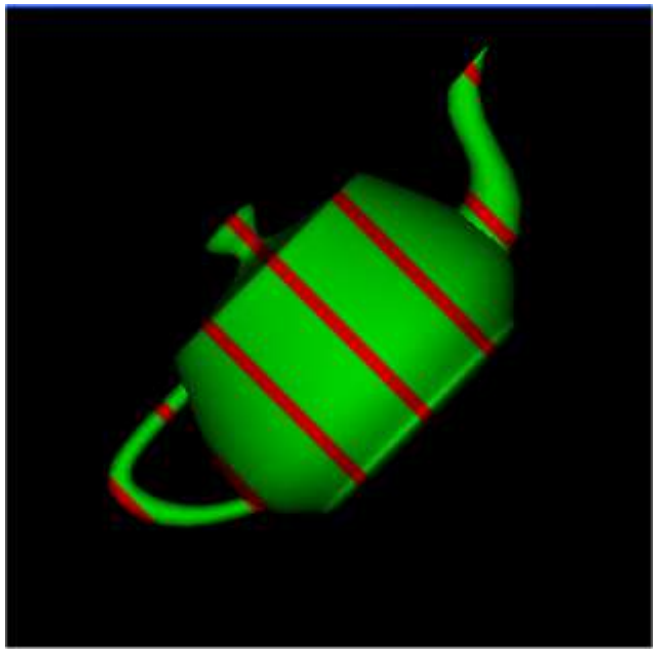
GL_EYE_LINEAR

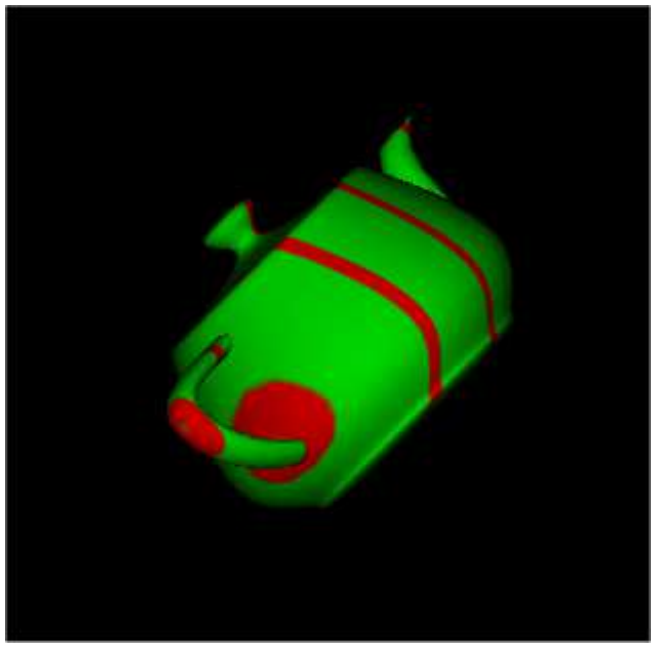




Geração Automática de Coordenadas de Textura

GL_OBJECT_LINEAR





Filtragem

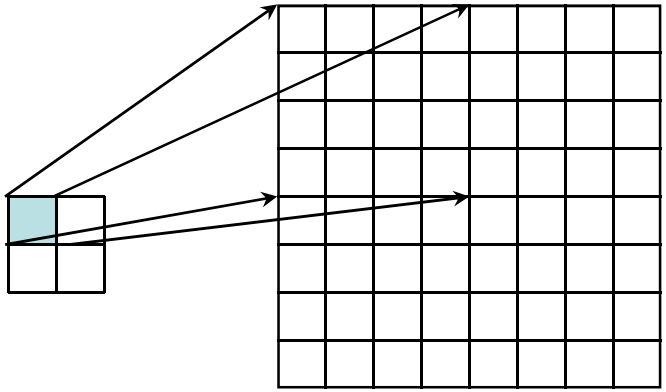
GL_TEXTURE_2D
GL_TEXTURE_1D

GL_TEXTURE_MAG_FILTER
GL_TEXTURE_MIN_FILTER

GL_NEAREST
GL_LINEAR
GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST
GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR
GL_LINEAR_MIPMAP_NEAREST
GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR

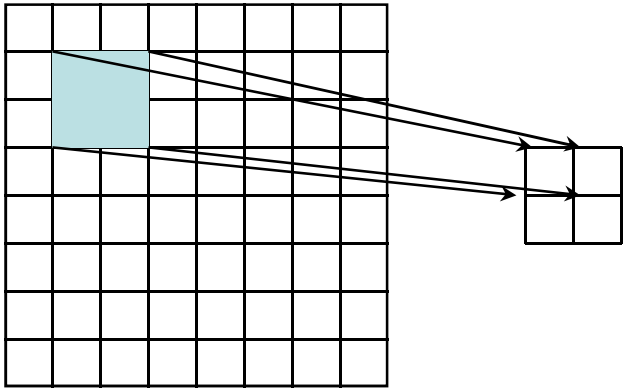
Exemplo:

```
glTexParameteri( target, type, mode );
```



Textura Polígono

Magnificação

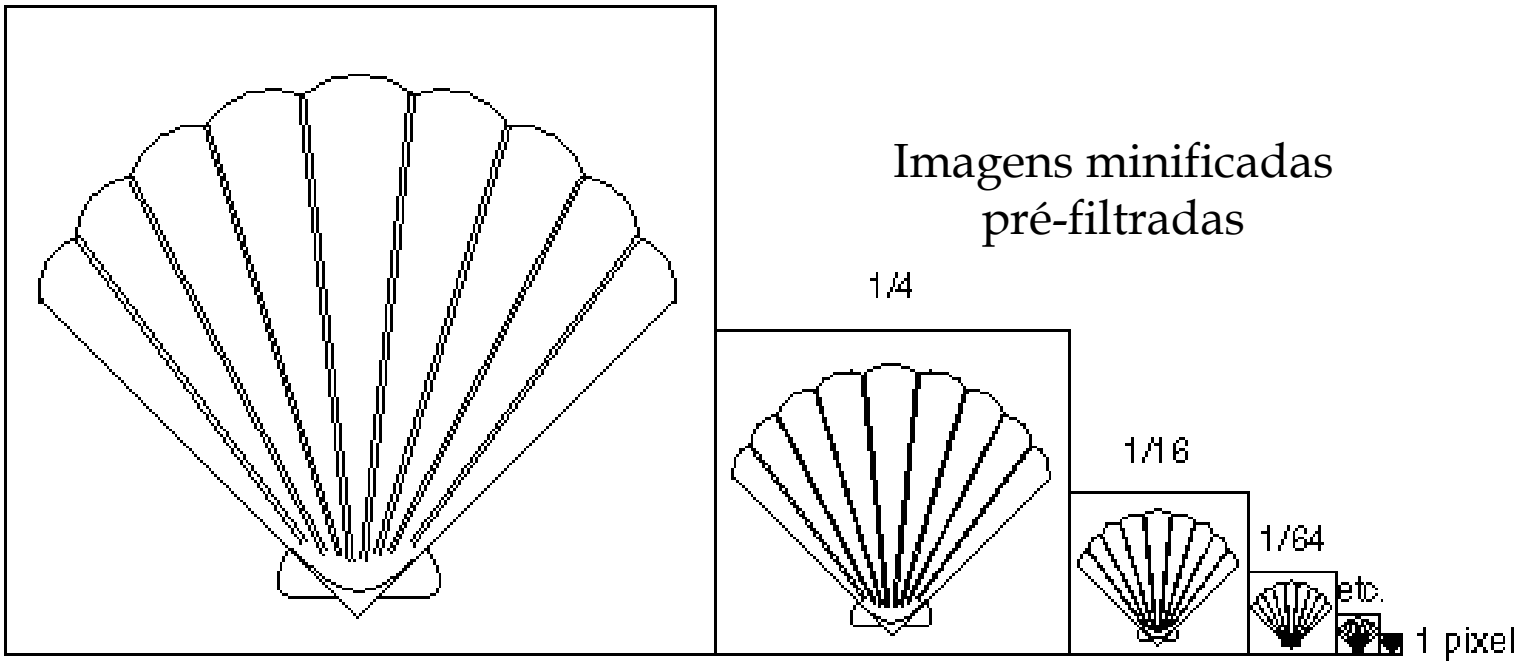


Textura Polígono

Minificação

Texturas Mipmap

Textura original



Texturas Mipmap

- Permite que texturas de diferentes níveis de resolução sejam aplicadas de forma adaptativa
- Reduz aliasing devido a problemas de interpolação
- O nível da textura na hierarquia mipmap é especificada durante a definição da textura

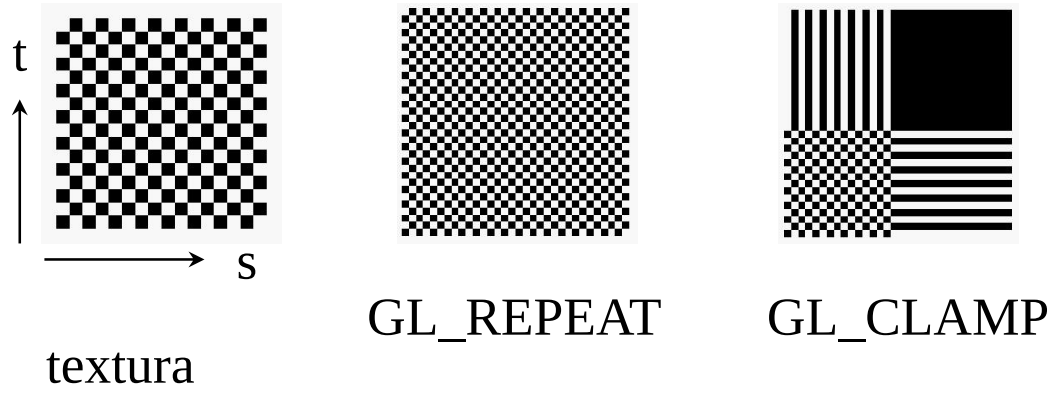
  `glTexImage*D( GL_TEXTURE_*D, level, … )`
- GLU possui rotinas auxiliares para construir texturas mipmap com filtragem adequada

  `gluBuild*DMipmaps( … )`
- OpenGL 1.2 suporta facilidades mais sofisticadas para níveis de detalhe (LOD)

Modos de Repetição

- Exemplo:

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



Modos de Aplicação de Textura

- Controla como a cor da textura afeta a cor do pixel

  `glTexEnv{fi}[v](`*`GL_TEXTURE_ENV, prop, param`* `)`
- Modos (*prop* = *`TEXTURE_ENV_MODE`*)
  - `GL_MODULATE`
  - `GL_BLEND`
  - `GL_REPLACE`
- Cor a ser misturada (`GL_BLEND`)
  - Especificada com *prop* = *`GL_TEXTURE_ENV_COLOR`*

Correção Perspectiva

- Mapeamento de texturas em polígonos pode ser feito:
  - Da forma simples e rápida (interpolação linear)
  - Usando interpolação em coordenadas homogêneas
- Comportamento do OpenGL é influenciado por "dicas" ("*hints*")

  `glHint( GL_PERSPECTIVE_CORRECTION_HINT, hint )`

  onde *`hint`* pode ser
  - `GL_DONT_CARE`
  - `GL_NICEST`
  - `GL_FASTEST`
- O OpenGL não necessariamente obedece!

Outras Facilidades

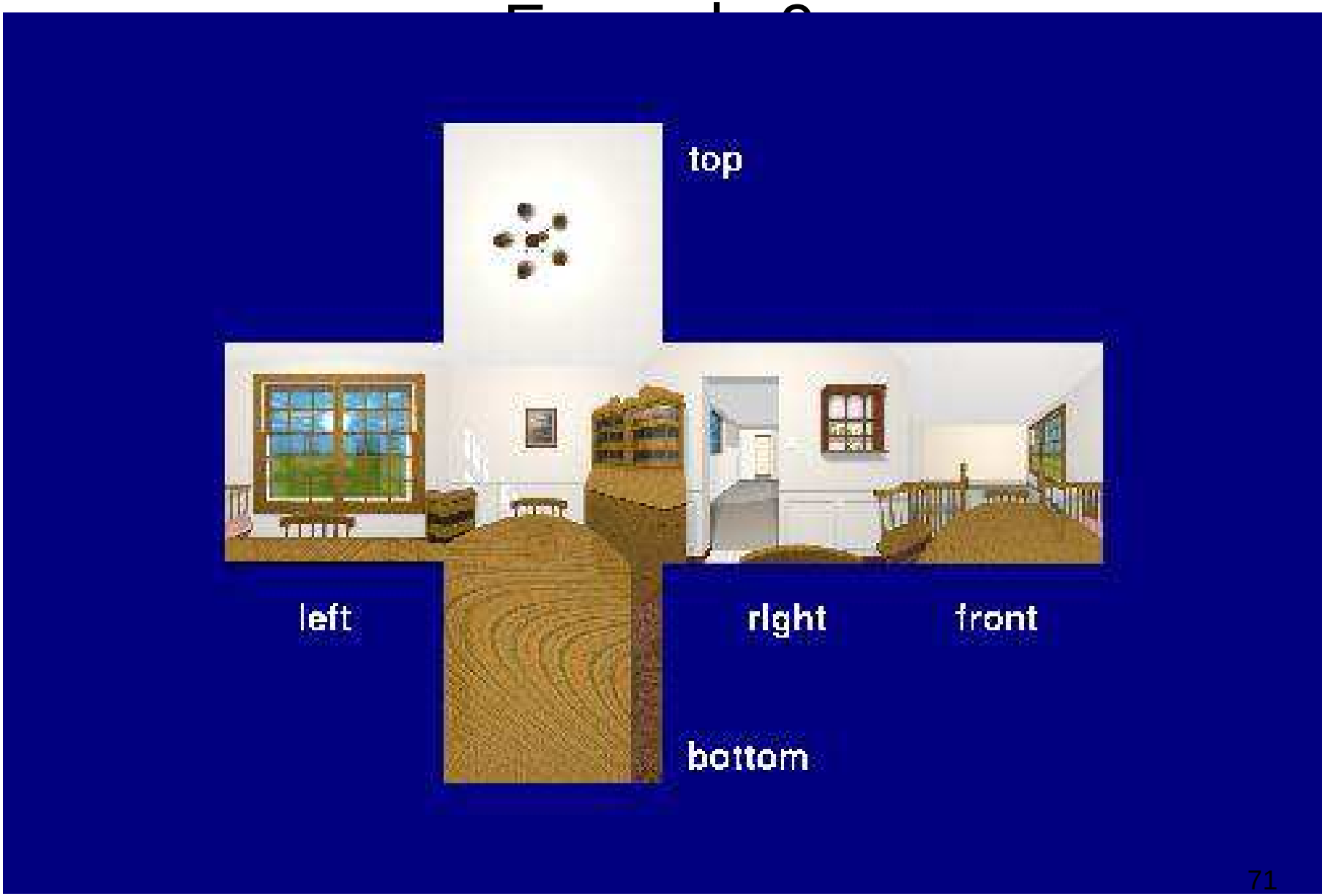
- Objetos de Textura (*Texture Objects*)
  - Permite mudar rapidamente de texturas durante a renderização de diversos objetos
- Controle de espaço na memória de texturas
  - Texturas residentes na placa são mais rápidas
- Multitexturas (Extensões OpenGL)
  - Placas + modernas (NVidia GeForce / ATI Radeon)
  - Mais de uma textura mapeada no mesmo objeto
  - Permite uma série de efeitos interessantes
    - Shadow mapping
    - Bump mapping

Other Approaches

- **Environment mapping**: simulates the reflection of the environment (e.g. lighting, reflections, shadows) on the surface of an object
  - Blinn & Newell 1976
- Assumes scene environment composed of objects and lights that are far distant from the object being textured.

Environment Mapping

- One (or multiple) images of the environment are mapped to the inside of a bounding sphere or box.
- Example: six images of the environment produced from the appropriate viewpoints are mapped to the sides of the box.


top
left
right
front
bottom

Example 9

Environment Mapping

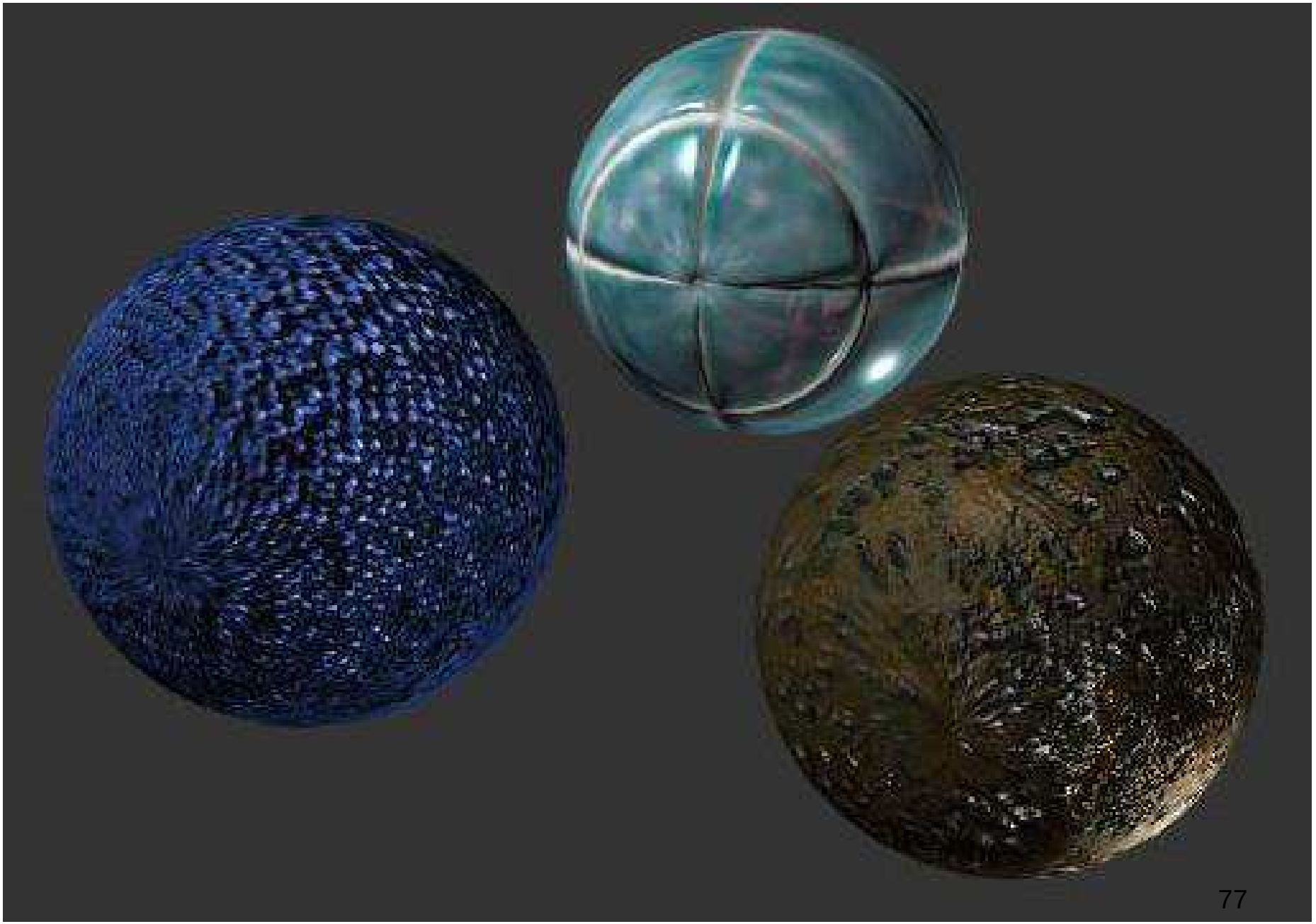
- Could use a sphere as the bounding mapping surface
- Distortion relative to ray tracing increases with the size of the object and its distance from the viewer.
- Limited capabilities compared to ray tracing, but computationally much less expensive...

Reflection Mapping

- Simulates a global illumination model in scan line rendering.
  - Scene is rendered from the view point of the surface to be mapped.
  - Next, this image is turned into a texture map, which is then mapped to the specular surface.
- Does a "one bounce" reflection, unlike true global illumination algorithms, such as ray tracing.
- Example from http://www.education.siggraph.org/materials/HyperGraph/mapping/

Bump Mapping

- **Bump mapping** alters the surface of an object so that it appears non-smooth: rough, dented or pitted.
- Example from http://www.education.siggraph.org/materials/HyperGraph/mapping/



Bump Mapping

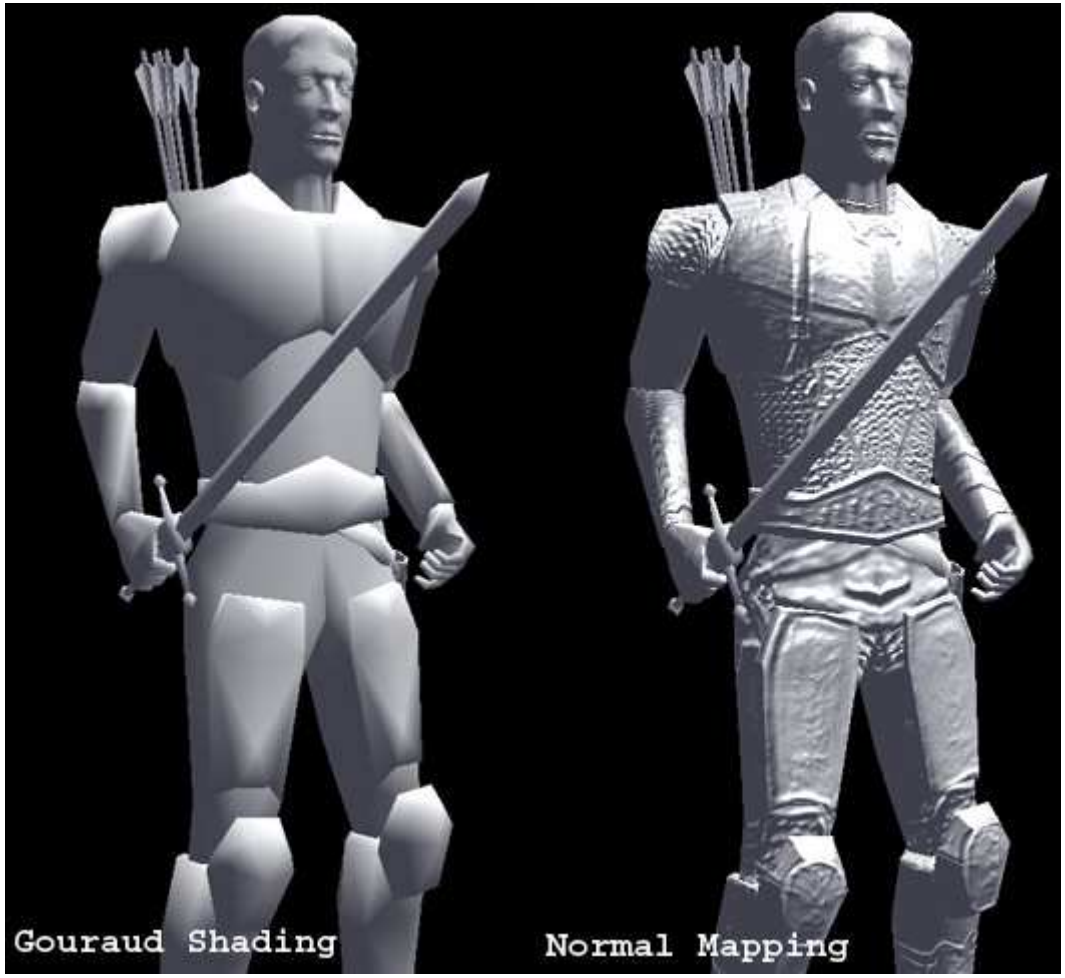
- We visually detect bumps in a surface by the relative darkness or lightness of the surface feature.
- Rough surfaces have a small random component in the surface normal, and hence in the light reflection direction
- In local illumination models, this is primarily determined by the diffuse reflection term
  - proportional to N*L.

Bump Mapping

- J. Blinn suggested an approach to perturbe the surface normal when applying the illumination model
  - Effect is creating spots of darkness or brightness.

$$\vec{n}' = \vec{n} + \frac{P_u(\vec{n} \otimes \vec{Q}_v)}{|\vec{n}|} + \frac{P_v(\vec{Q}_u \otimes \vec{n})}{|\vec{n}|}$$

Normal mapping



http://www.3dkingdoms.com/tutorial.htm