计算机图形学

纹理

陶钧
taoj23@mail.sysu.edu.cn
中山大学 计算机学院
国家超级计算广州中心

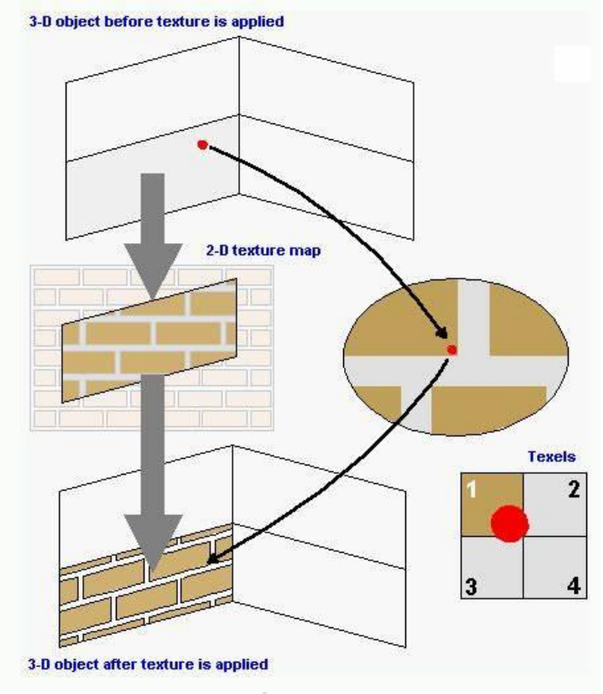
纹理概要

- 纹理简介
- 纹理贴图方法
- 凹凸贴图与移位贴图
- OpenGL中使用纹理

为什么要使用纹理?

- 此前方法的局限性
  - 指定每个顶点的颜色，而多边形内部像素颜色则从顶点颜色中插值得到
  - 即使对于简单的几何形状，为表现复杂图案也需要复杂的网格
    - 如，图中的墙面，纸张上的图案等

Generated with Blue Moon Rendering Tools — www.bmrt.org

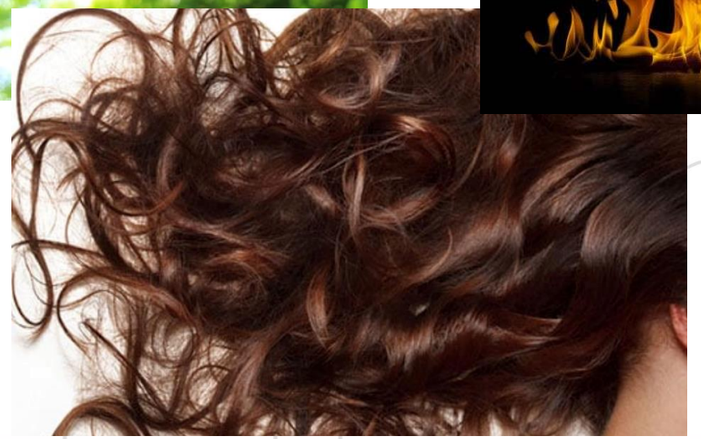


为什么要使用纹理?

- 此前方法的局限性
  - 即使当前显卡已经可以在一秒内渲染上千万个多边形，依然难以通过物理系统模拟自然界的所有现象/物体
    - 云，草，树叶，头发，不规则的陆地表面，水，火，等

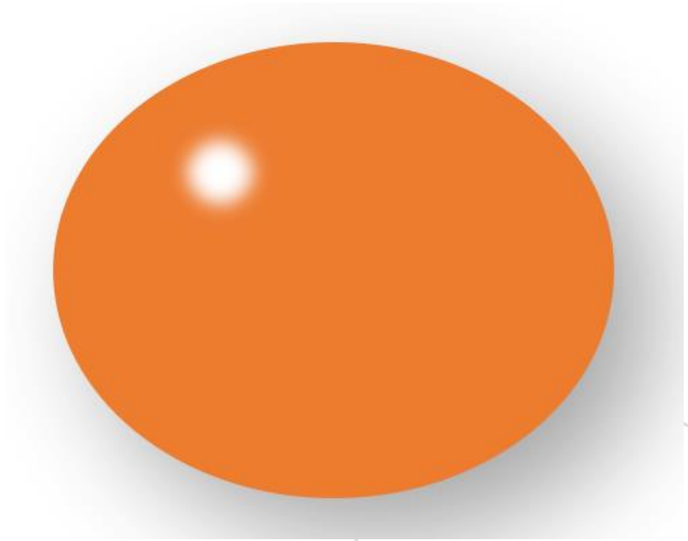






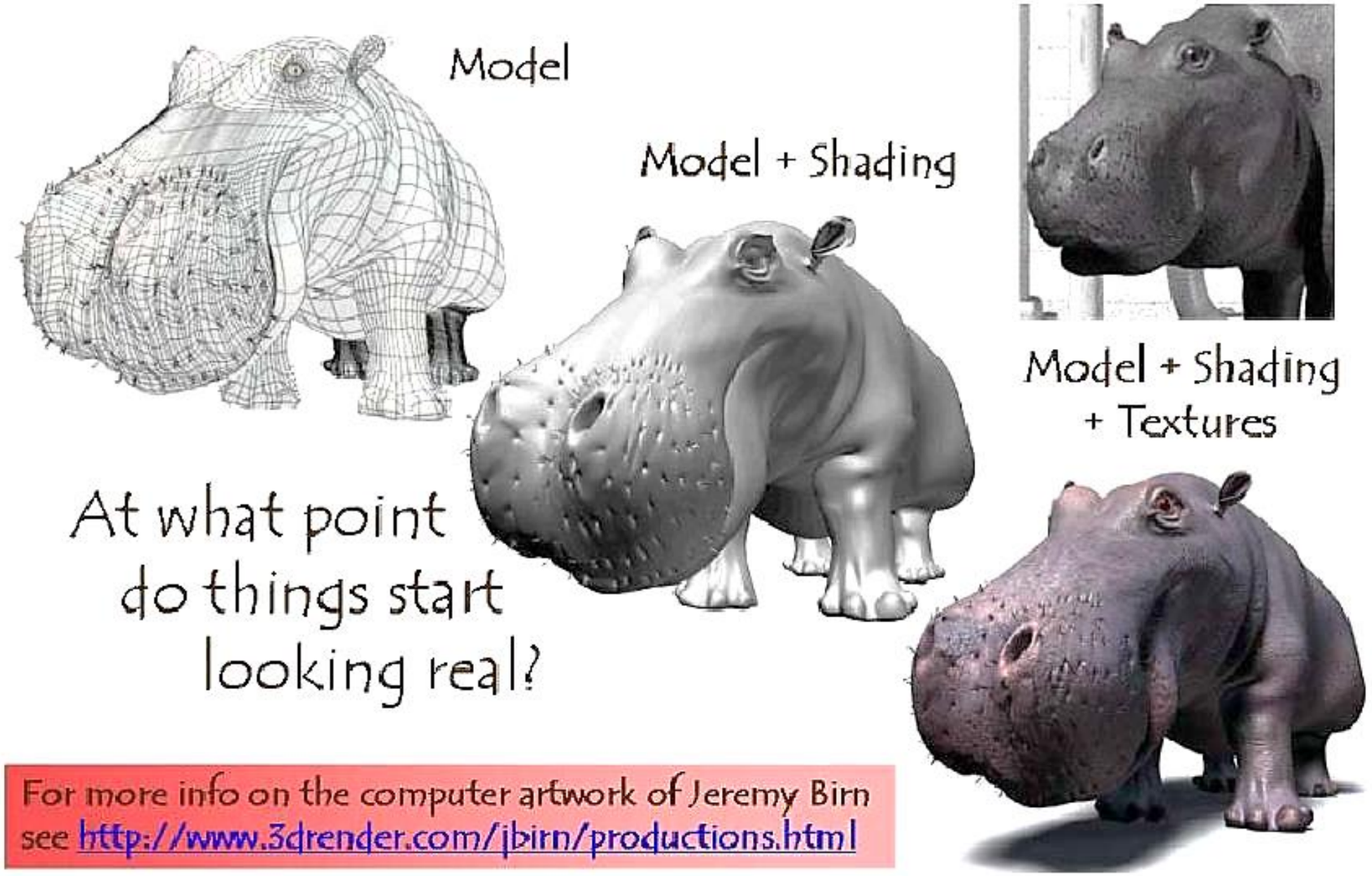
为什么要使用纹理?

- 图像的真实感从何而来?
  - 对橘子（或其他水果）建模
    - 使用一个简单的椭球体表示橘子?
      - 不真实!
    - 使用表面凹凸不平的复杂形状?
      - 需要极大数量的多边形产生具有真实感的形状



为什么要使用纹理?

- 图像的真实感从何而来?



为什么要使用纹理?

- 纹理是曲面上属性的变化
  - 颜色，法向量，对光的反射特性，位置偏移，等
  - 计算机为产生具有真实感的图片，必须具备这些复杂细节
  - 由于计算中产生的巨大开销，使用几何建模及物理模拟难以完整描述这些细节
  - 纹理映射以较低的开销有效地“伪造”近似的表面细节
- 纹理贴图（texture mapping）
  - 将纹理通过变换“贴”至三维物体表面上
  - 从函数定义域到三维物体表面的映射
    - 定义域可以为一维，二维，或三维
    - 函数可表示为数组或解析式

纹理概要

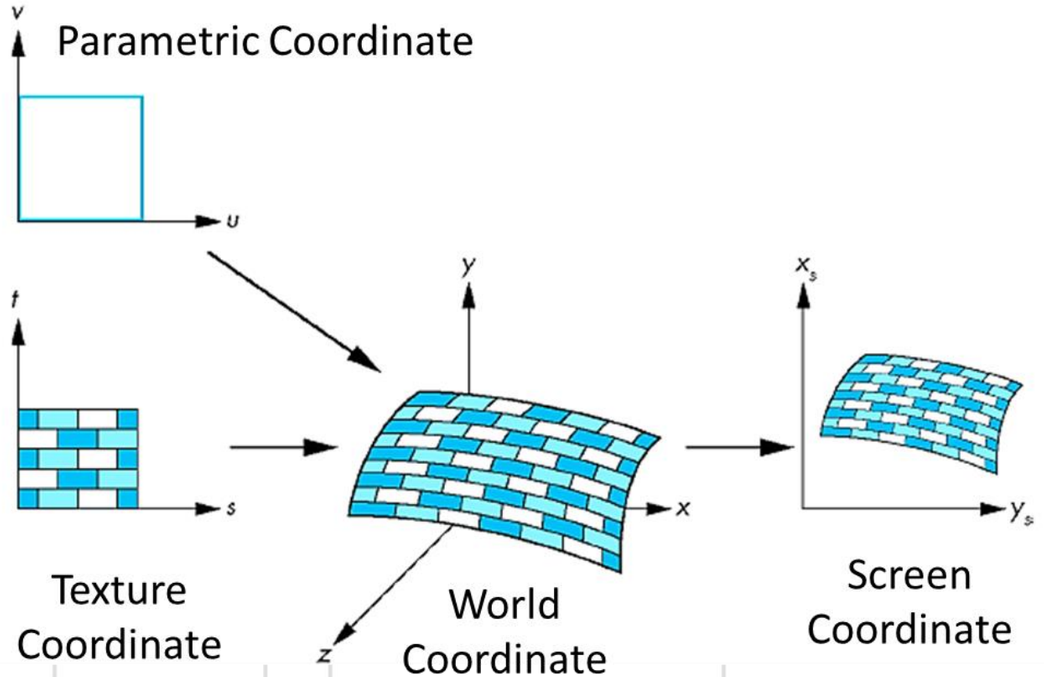
- 纹理简介
- 纹理贴图方法
- 凹凸贴图与移位贴图
- OpenGL中使用纹理

Mapping methods

- 纹理贴图（texture mapping）
- 环境/反射贴图（reflection mapping）
- 凹凸贴图（bump mapping）

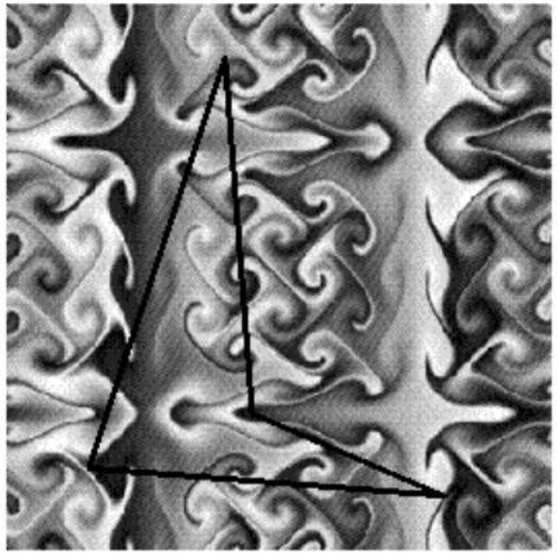
坐标系统

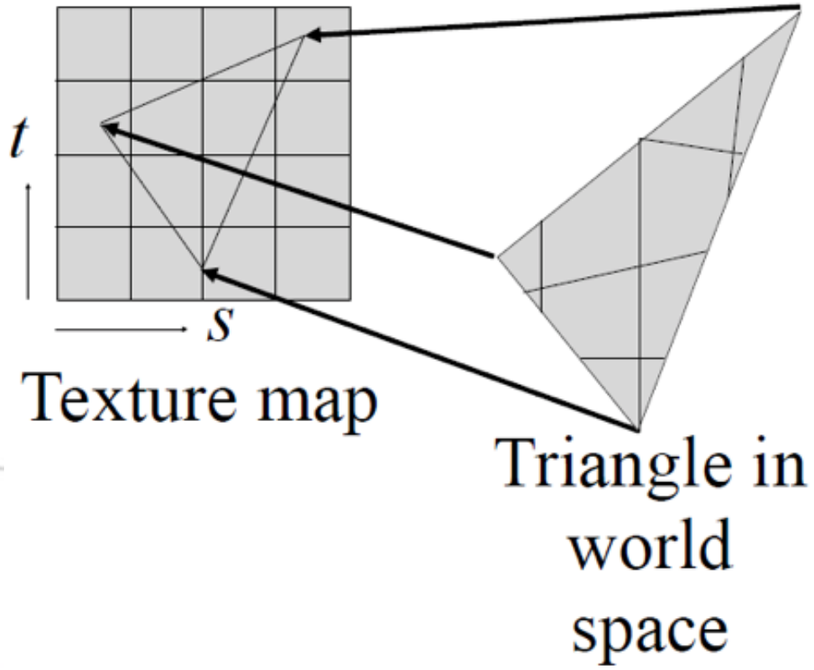
- 参数坐标
  - 三维曲面的二维参数化形式
- 纹理坐标
  - 用于定位纹理中的具体纹理元素（texel）
- 世界坐标
  - 三维物体所处的空间
- 屏幕坐标
  - 最终成像空间



多边形纹理贴图

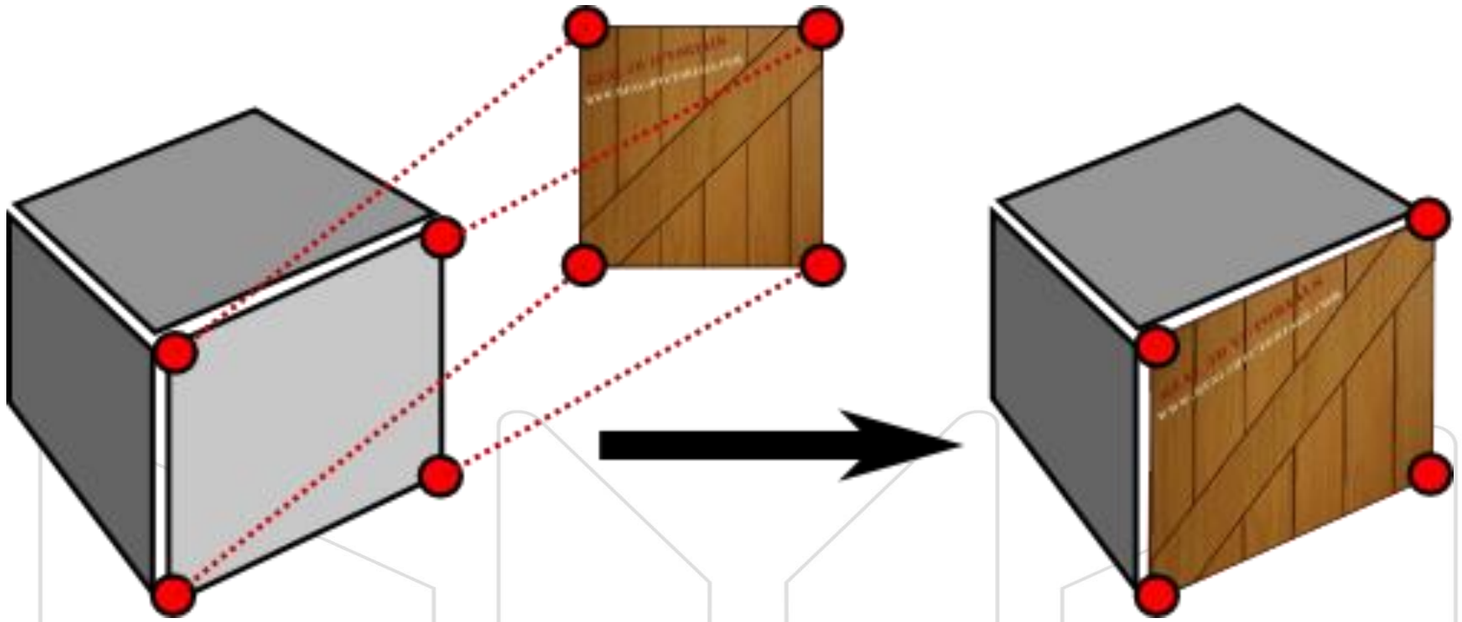
- 指定顶点的纹理坐标，多边形内部对纹理坐标进行线性插值
  - 纹理坐标对应二维纹理图像中的纹理元素
    - 现在也有三维纹理图像
  - 顶点纹理坐标所包围的纹理图像部分将应用于多边形
    - 纹理将被拉升或压缩以适应多边形的大小及形状





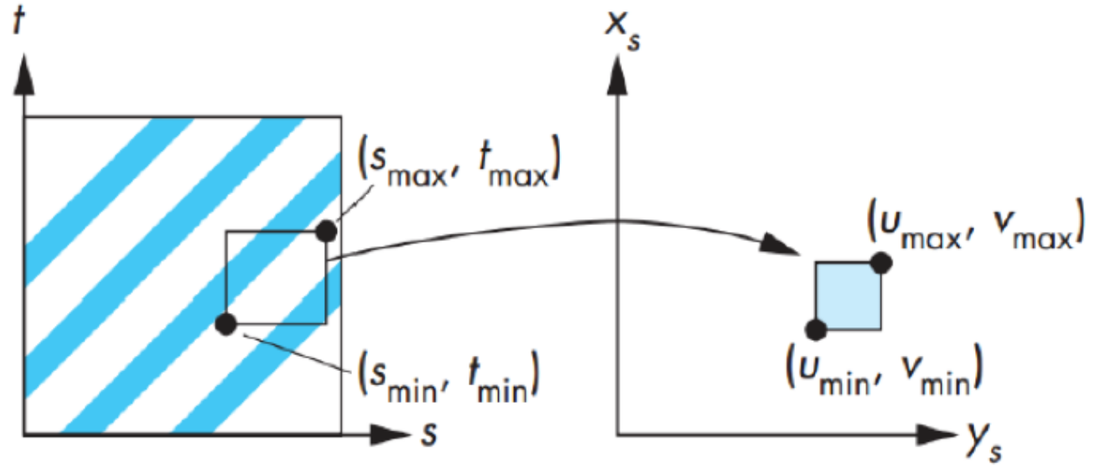
多边形纹理贴图

- 多边形纹理贴图建立二维纹理到二维表面的对应关系
  - 尽管二维表面处于三维空间中
  - 使用扫描算法对纹理坐标进行插值，获取多边形内部像素所对应的纹理元素，从而决定该像素的特定属性取值（通常为颜色）



曲面上的纹理贴图

- 从纹理上的方块到曲面上的方块
  - 只需将纹理上的方块范围
    - $[(s_{min}, t_{min}), (s_{max}, t_{max})]$
  - 映射至曲面上的方块范围
    - $[(u_{min}, v_{min}), (u_{max}, v_{max})]$
  - 简单易行
  - 没有考虑曲面的曲率等形状信息

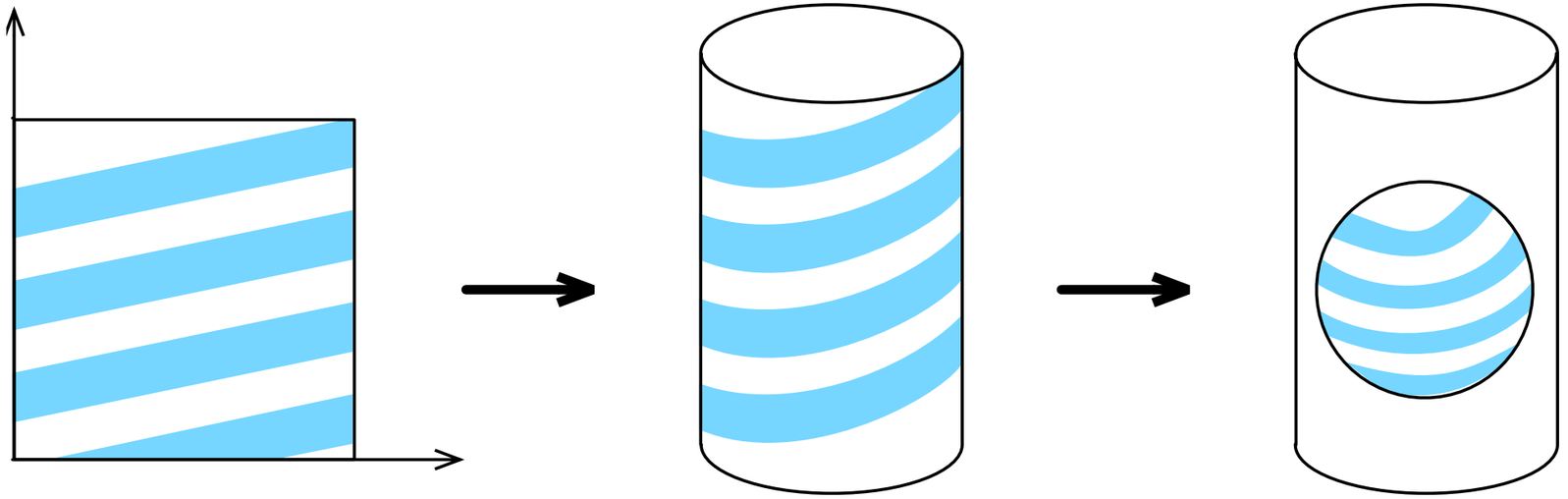


$$u = u_{\min} + \frac{s - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}}(u_{\max} - u_{\min}),$$

$$v = v_{\min} + \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}(v_{\max} - v_{\min}).$$

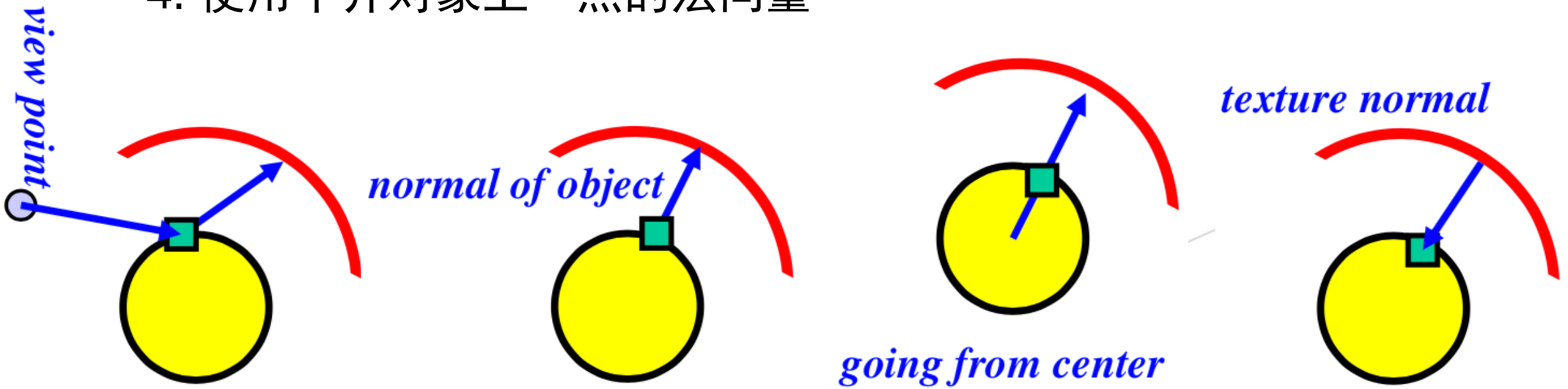
Two-stage mapping

- 纹理→中介对象→实际对象
  - Stage-1: s-mapping，从纹理到中介对象
    - $(u, v) \rightarrow S(x, y, z)$
    - 常见中介包括：平面，长方体，圆柱体，球体，等
  - Stage-2: o-mapping，从中介对象到实际对象
    - $S(x, y, z) \rightarrow O(x, y, z)$



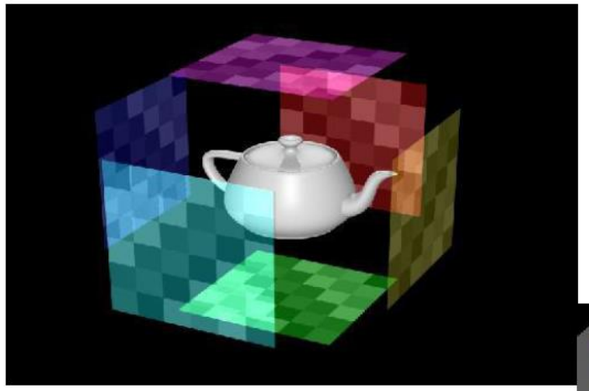
Two-stage mapping

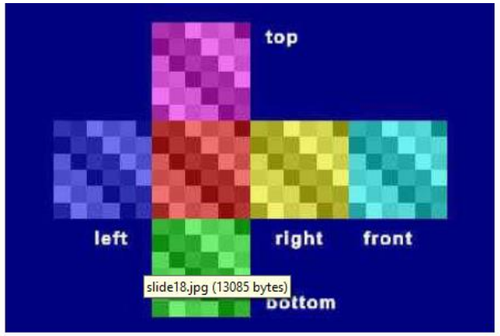
- O-mapping
  - 计算中介对象与实际对象上点的映射关系
    - 该映射关系并非唯一的
    - 1. 使用实际对象上一点反射的视线（依赖于视角）
    - 2. 使用实际对象上一点的法向量
    - 3. 使用实际对象上从中心指向一点的向量
    - 4. 使用中介对象上一点的法向量

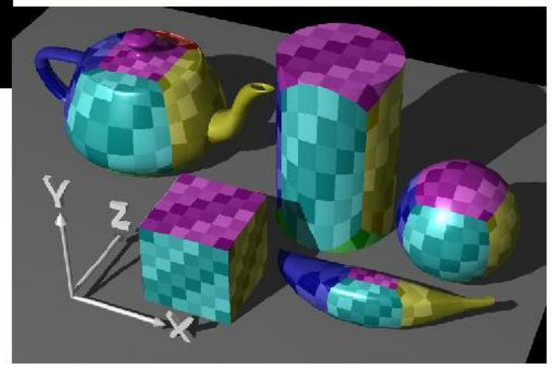


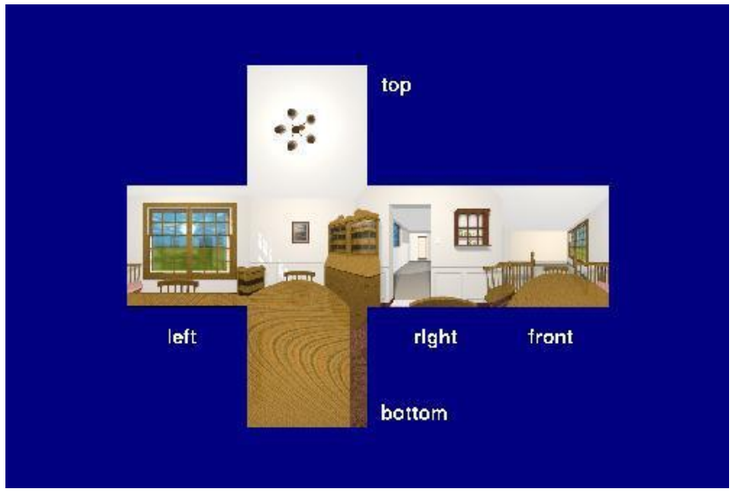
Two-stage mapping

- Cube mapping
  - 易于计算：使用正交投影
  - 常用于环境映射



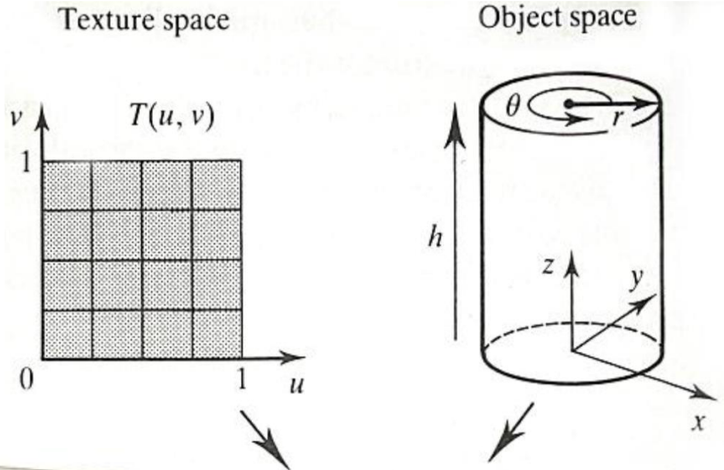


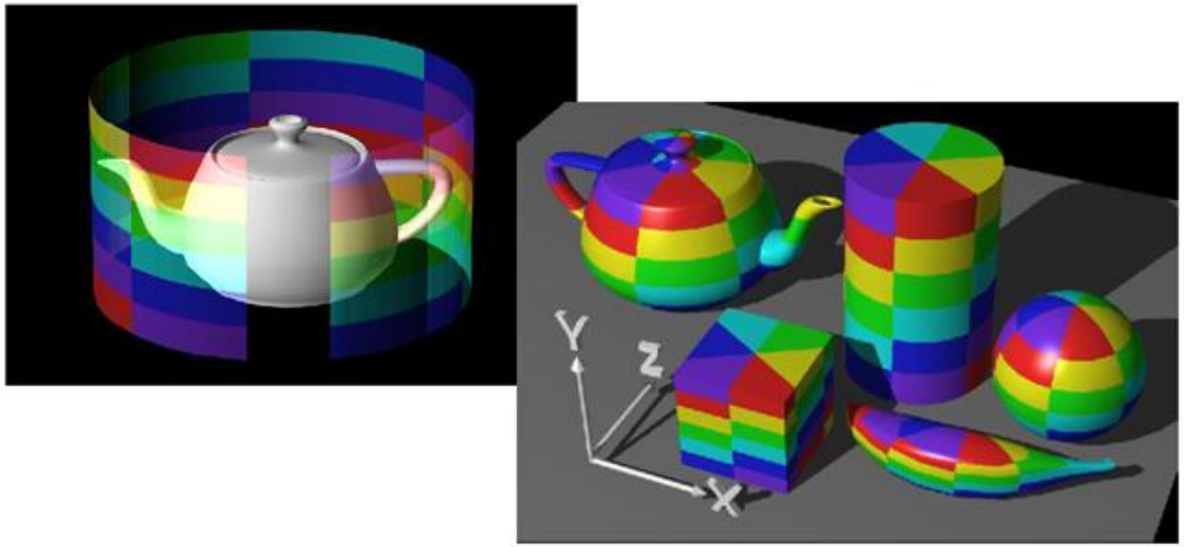


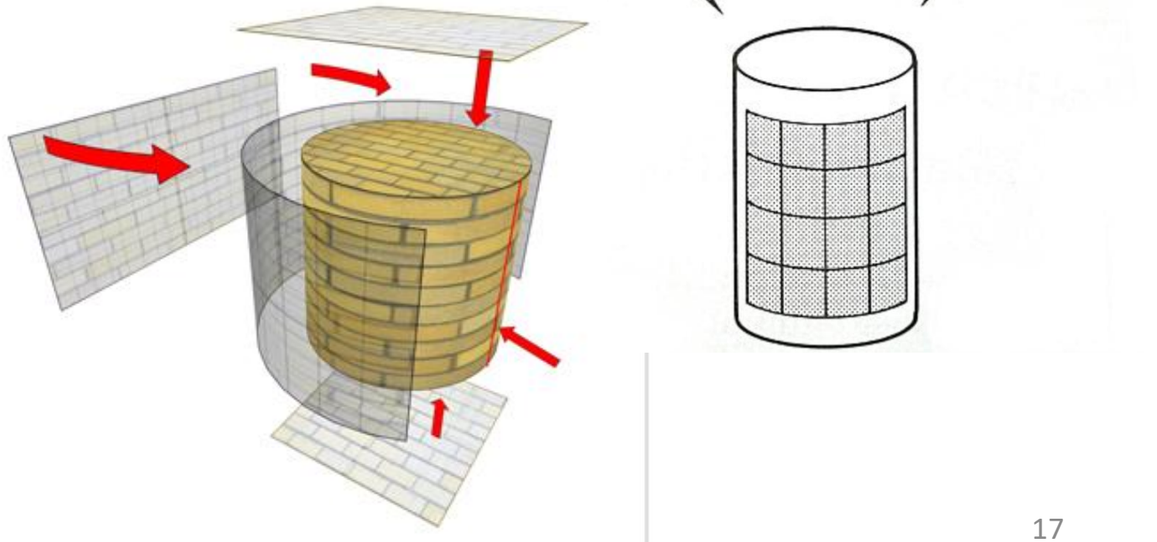


Two-stage mapping

- Cylindrical mapping
  - 假设纹理坐标在单位正方形$[0,1]^2$内变化，圆柱高h，半径为r
  - 圆柱上一点可表示为$(r \cdot \cos(\theta), r \cdot \cos(\theta), h \cdot z)$
    - 2D纹理图像上任意一点$(u,v) = (\frac{\theta}{2\pi}, z)$可映射至该点
  - 从纹理坐标到圆柱上没有变形
  - 适合于与无底的圆柱面拓扑同构的曲面上的纹理
    - 否则需要额外的顶部及底部（可能造成不连续）

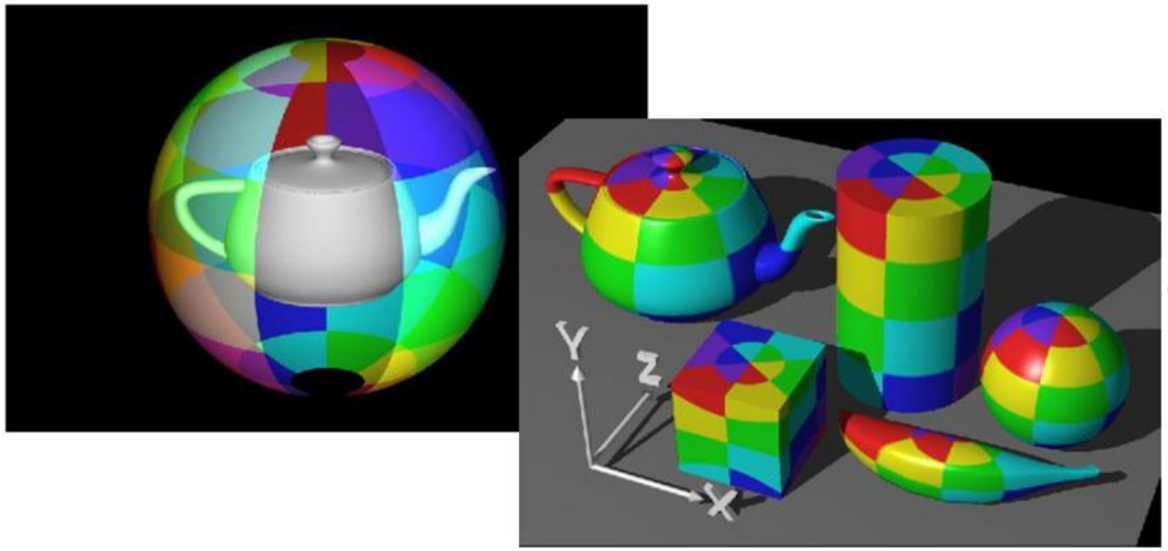


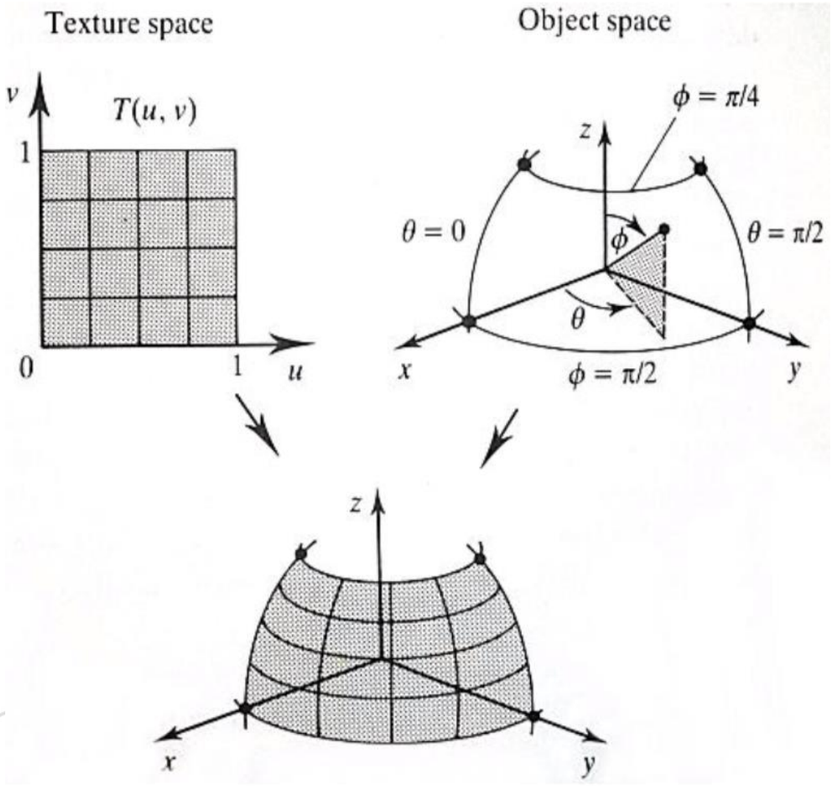




Two-stage mapping

- Spherical Mapping
  - 球面上的一点可表示为$(r \cdot \cos\theta \sin\theta,\ r \cdot \sin\theta \sin\theta,\ r \cdot \cos\phi)$
  - 类似于地图中的映射
    - 无法避免变形，在靠近极点处失真尤其严重
    - 近年来常使用保角映射代替上述参数化映射
  - 可用于环境映射中



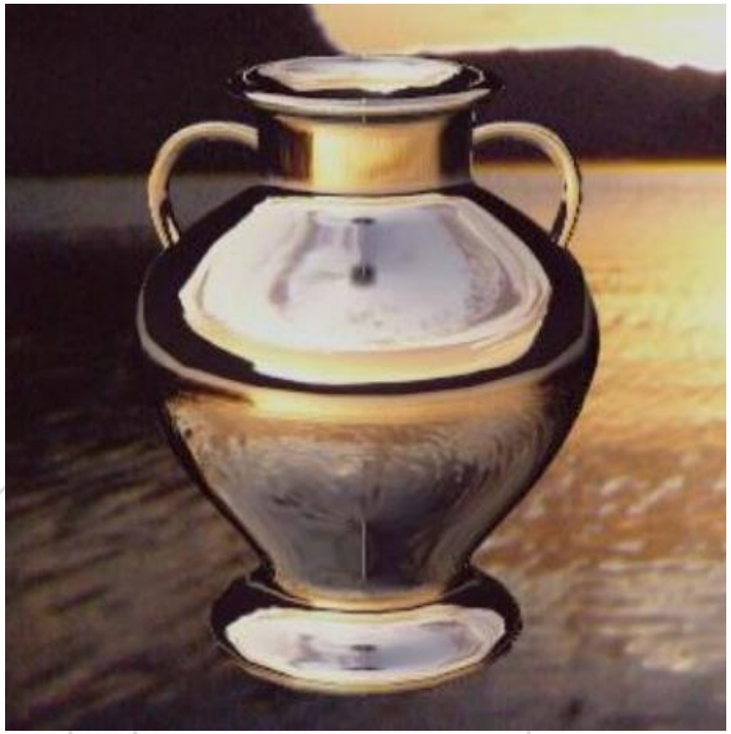


Two-stage mapping

- Planar mapping vs cylindrical mapping

Two-stage mapping

- 环境贴图/反射贴图（environment/reflection mapping）
  - 使用环境图片填充多边形近似光滑表面对环境的反射
    - 避免基于物理模拟的渲染方法的高昂开销（如，ray-tracing）
    - 常不可避免地造成形变失真

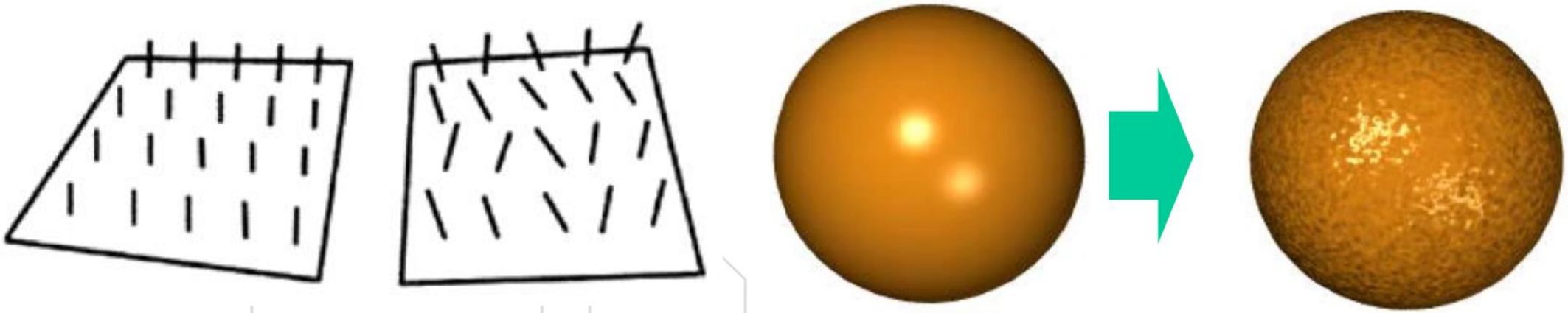


纹理概要

- 纹理简介
- 纹理贴图方法
- 凹凸贴图与移位贴图
- OpenGL中使用纹理

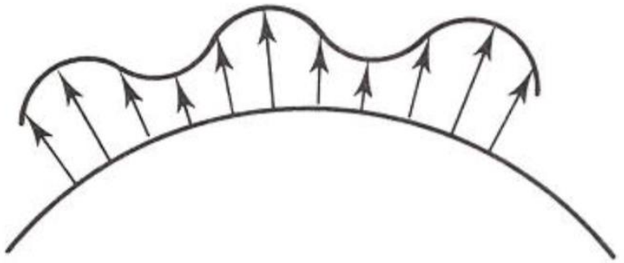
凹凸贴图与移位贴图

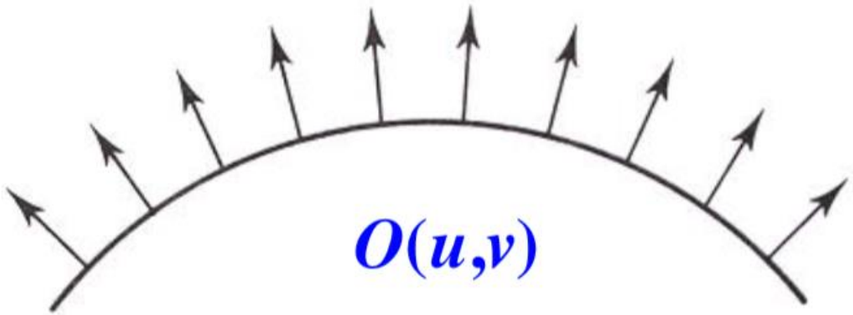
- 凹凸贴图（bump mapping）
  - 在三维环境中通过纹理方法模拟表面凹凸不平的视觉效果
    - 如皱褶，波浪等
  - 改变表面光照方程中的法向量，而不是表面的几何形状本身
    - 光照影响我们对物体三维形状的感知，而法向量改变光照效果
    - 对表面上每个点的法向量增加一个小的扰动，从而给几何形状增加波纹

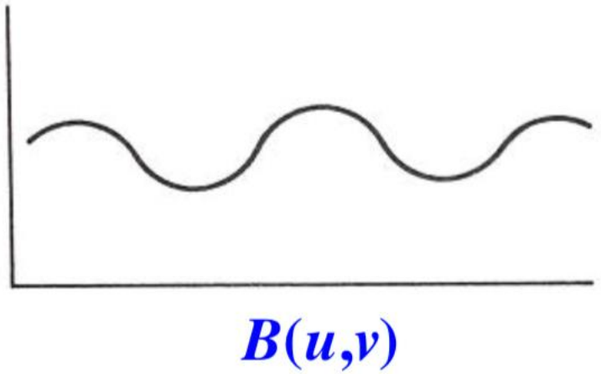


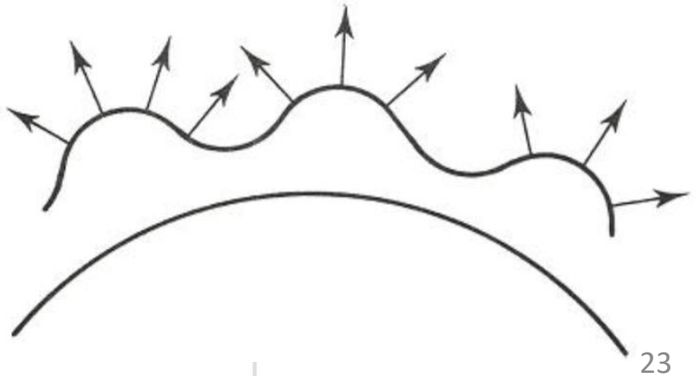
凹凸贴图与移位贴图

- 凹凸贴图（bump mapping）
  - 增加扰动的方式并非唯一
    - 在此，我们介绍一种基于参数化曲面的方法
  - 原物体表面为$O(u,v)$而凹凸贴图表示为$B(u,v)$
  - 将原表面根据凹凸贴图沿法向量方向移动
    - 从而产生不光滑（凹凸）的表面
  - 实际计算中，只更新法向量而不改变位置







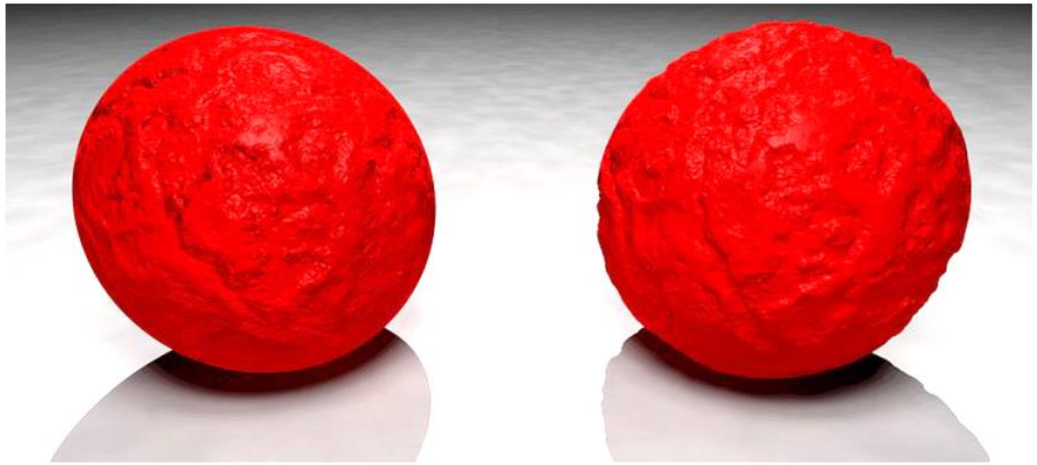


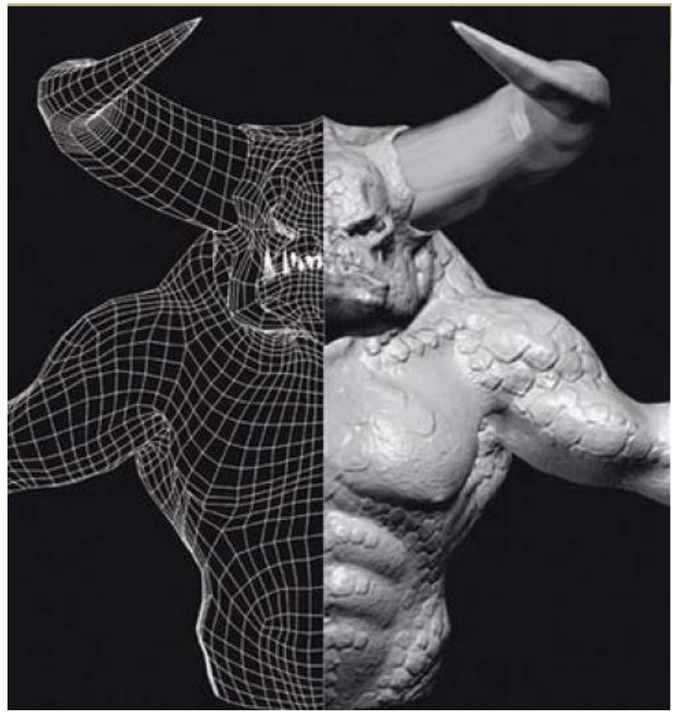
凹凸贴图与移位贴图

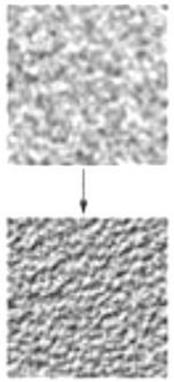
- 凹凸贴图（bump mapping）
  - 令$p=(u,v)$为参数化曲面上的一点，曲面在该点的偏微分为
    - $p_u=\left[\frac{\partial x}{\partial u},\frac{\partial y}{\partial u},\frac{\partial z}{\partial u}\right], p_v=\left[\frac{\partial x}{\partial v},\frac{\partial y}{\partial v},\frac{\partial z}{\partial v}\right]$
  - 该点处法向量为$n=\frac{p_u \times p_v}{|p_u \times p_v|}$
  - 该点处根据凹凸贴图$B(u,v)$得到的偏移量为$d(u,v)$
  - 则偏移后位置为$p'=p+d(u,v)$
  - 需要计算偏移后的法向量$n'=p'_u \times p'_v$
    - $p'_u=p_u+\frac{\partial d}{\partial u}n+d(u,v)n_u$
    - $p'_v=p_v+\frac{\partial d}{\partial v}n+d(u,v)n_v$

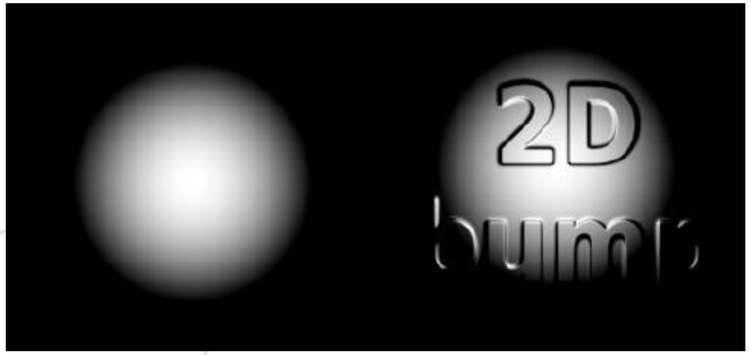
凹凸贴图与移位贴图

- 凹凸贴图（bump mapping）



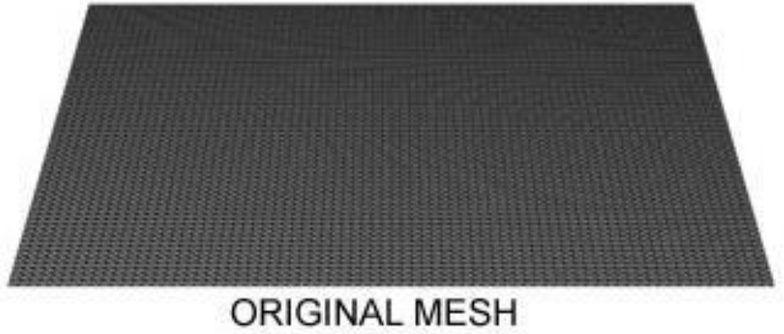


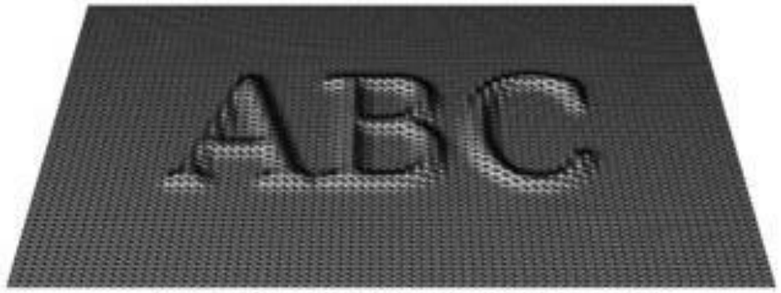




凹凸贴图与移位贴图

- 移位贴图（displacement mapping）
  - 移位贴图是凹凸贴图的一种取代方案
  - 对点的几何位置进行实际的移位
    - 同样，让点沿法向量方向移动
  - 使贴图具备表面纹理的细节和深度表现能力
  - 允许自我遮盖，自我投影和呈现边缘轮廓
    - 然而需要大量额外的几何结构支持
    - 此类方法中开销最高的



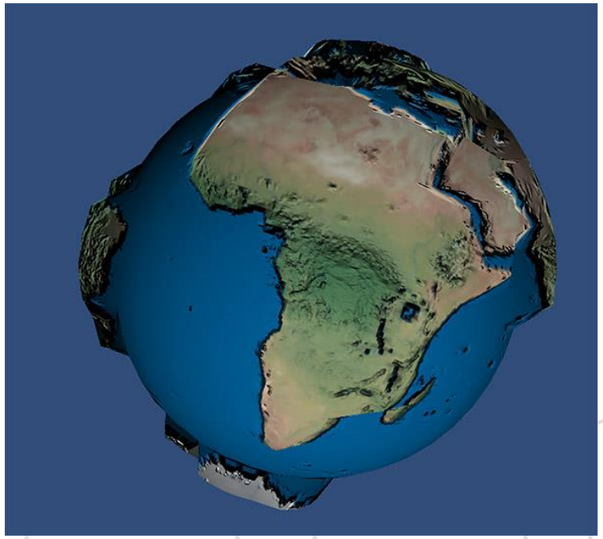


凹凸贴图与移位贴图

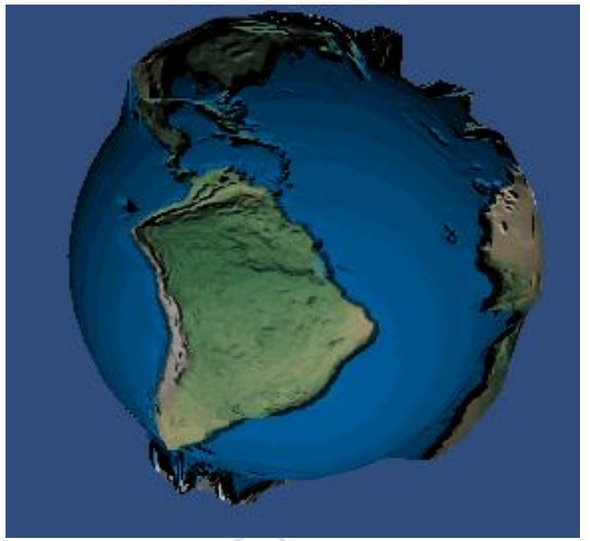
- 移位贴图（displacement mapping）

移位前

移位后



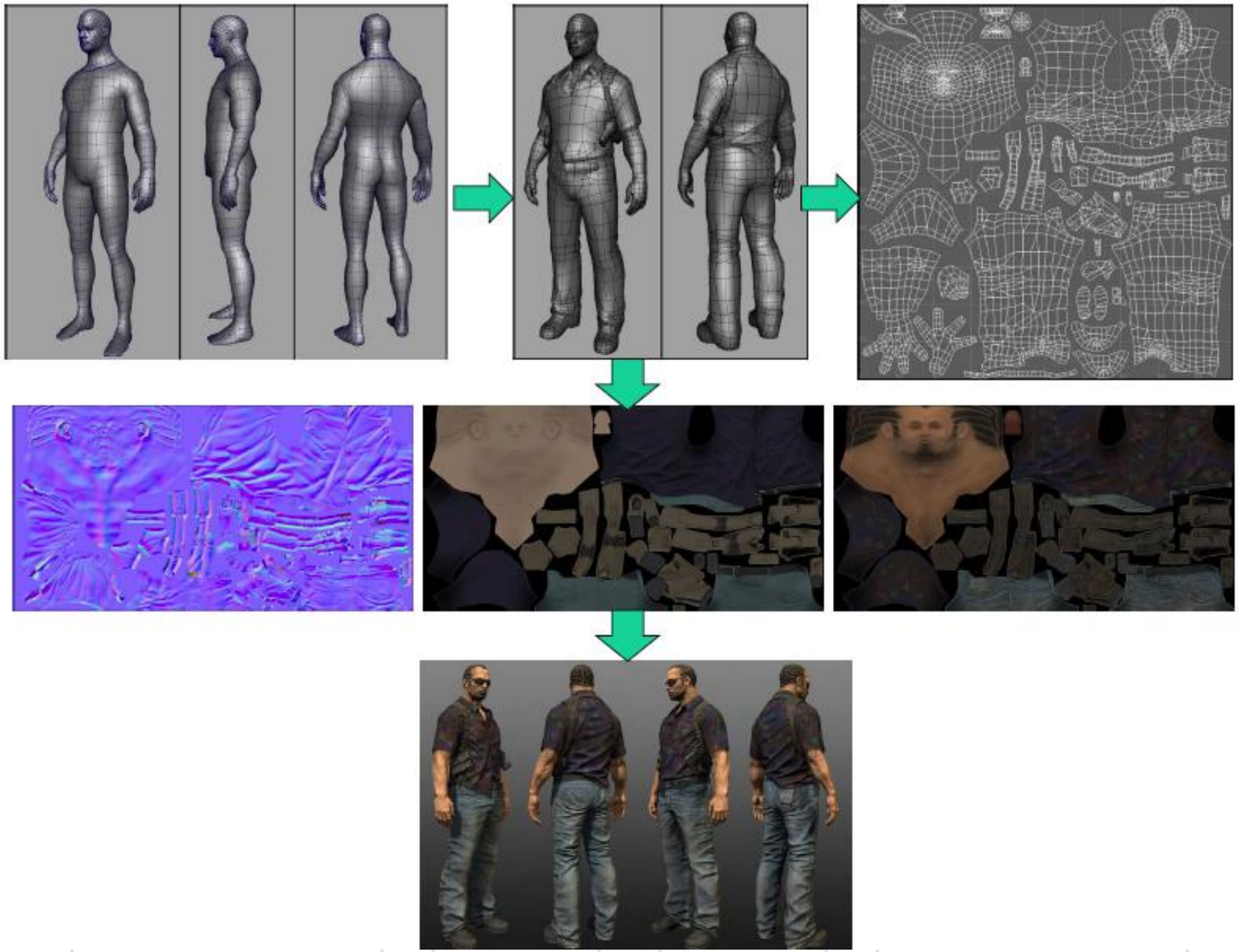
动画



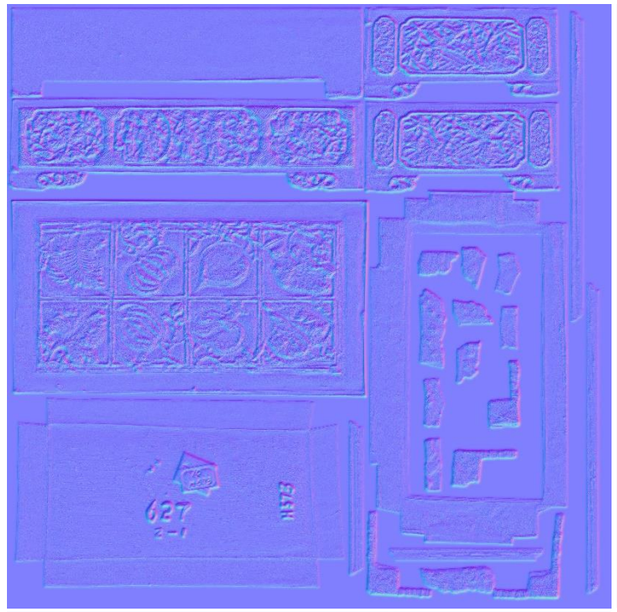
凹凸贴图与移位贴图

- 移位贴图（displacement mapping）

实际应用中往往综合多种贴图方式



实际应用中往往综合多种贴图方式



纹理概要

- 纹理简介
- 纹理贴图方法
- 凹凸贴图与移位贴图
- OpenGL中使用纹理

OpenGL中使用纹理

- 基本步骤
  - 1. 指定纹理
    - 读取或产生纹理图像
    - 将图像赋值给纹理
    - 打开纹理功能
  - 2. 指定顶点的纹理坐标
    - 具体的映射函数由应用决定
  - 3.指明纹理参数
    - Wrapping, filtering

OpenGL中使用纹理

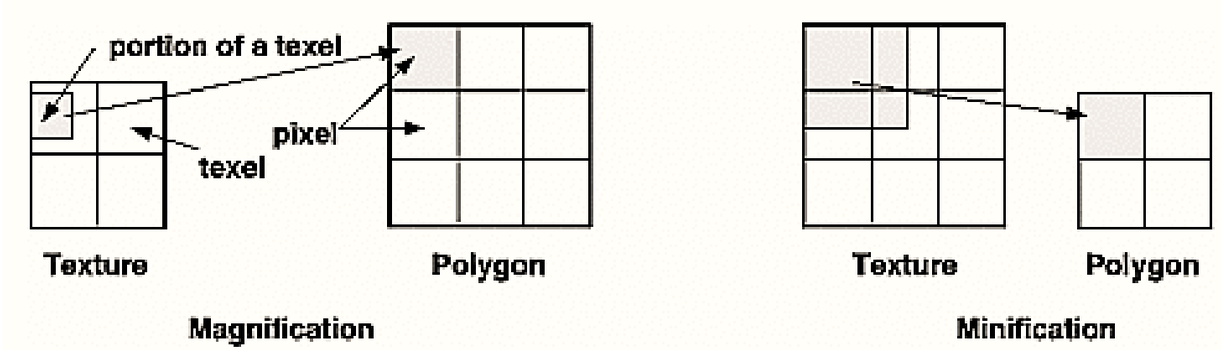
- 创建纹理图像
  - 使用主内存中的数组指明纹理元素（texels）定义纹理图像
    - Glubyte my_texels[512][512];
    - 该数组可由图像文件中读取或使用代码产生
  - 打开纹理贴图功能
    - **glEnable**(GL_TEXTURE_2D);
    - OpenGL中支持1-4D纹理
  - 创建纹理图像
    - void **glGenTextures**(**GLsizei** n, **GLuint** *textures)
    - void **glBindTexture**(**GLenum** target, **GLuint** texture)
    - void **glTexImage2D**(target, level, components, w, h, border, format, type, *texels)

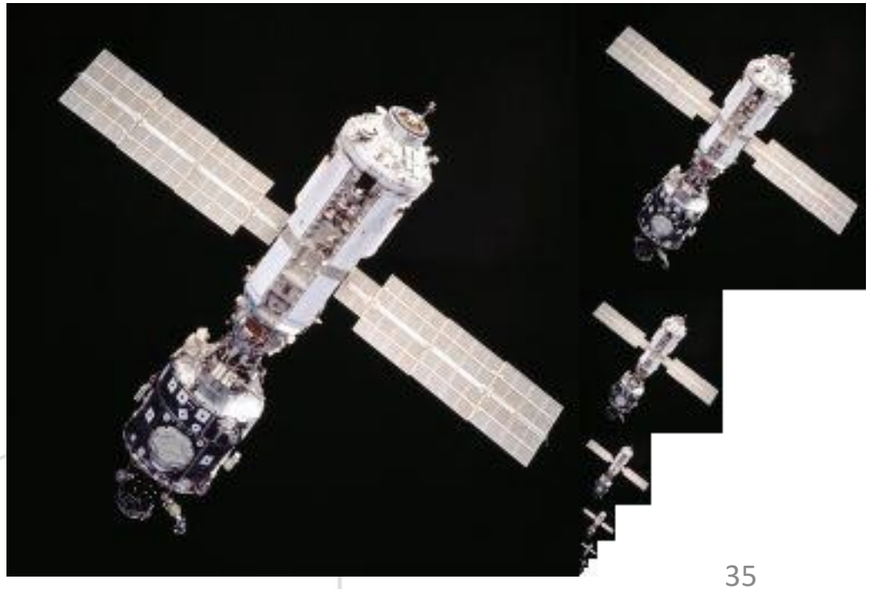
OpenGL中使用纹理

- 创建纹理图像
  - void **glTexImage2D**(target, level, components, w, h, border, format, type, *texels)
    - target: 纹理类型，如，GL_TEXTURE_2D
    - level: mipmap中的级别
    - components: 每个纹理元素的分量数
    - w, h: 纹理图像的宽与高（以像素为单位）
    - border: “This value must be 0.”
    - format, type: 纹理元素的格式与数据类型
    - texels: 指向存储纹理图像数组的指针
    - 例：**glTexImage2D**(GL_TEXTURE_2D, 0, 3, 512, 512, 0, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, my_texels)

OpenGL中使用纹理

- Mipmap
  - MIP (multum in parvo) map
    - multum in parvo：拉丁语，放置很多东西的小空间
    - 1983年，Lance Williams发明
  - 为了加快渲染速度、减少图像锯齿，贴图被处理成由一系列预先计算和优化过的图片组成的文件
    - 读取像素远少于普通贴图
    - 图片预先进行抗锯齿处理，减少实时运算开销





OpenGL中使用纹理

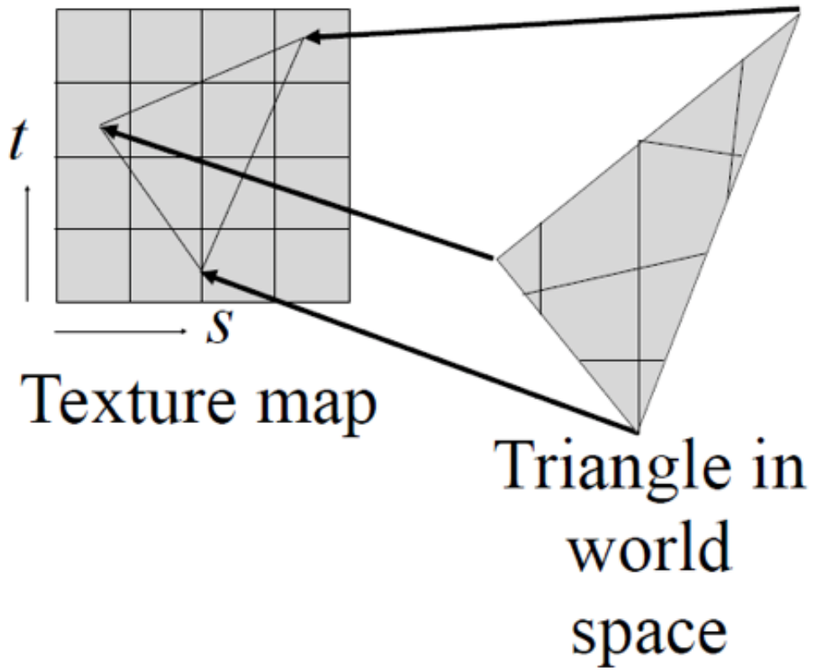
- Mipmap
  - 可使用**glTexParameteri**()与**glTexImage2D**()提供每个级别的纹理图像
    - **glTexParameteri**(GL_TEXTURE_2D,GL_TEXTURE_BASE_LEVEL, 2);
    - **glTexImage2D**(..., 2, ...);
  - 也可以提供最高分辨率的纹理图像，而使用OpenGL自动创建低级别预处理后的纹理图像
    - **gluBuild2DMipmaps**()
    - **gluBuild2DMipmapsLevels**()
      - 创建指定的级别子集

OpenGL中使用纹理

- 例：生成纹理并指明顶点纹理坐标

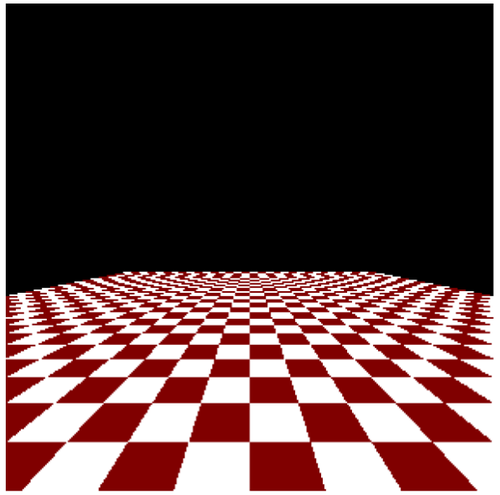
```
//generating texture
GLuint texture;
glGenTextures(1, &texture);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texture);
glTexImage2D(...);

//drawing
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texture);
glBegin(GL_TRIANGLES);
glTexCoord2f(0.2f, 0.6f);
glVertex2f(0.0f, 1.0f);
glTexCoord2f(0.5f, 0.2f);
glVertex2f(1.0f, 0.0f);
glTexCoord2f(0.8f, 0.8f);
glVertex2f(2.0f, 3.0f);
glEnd();
```

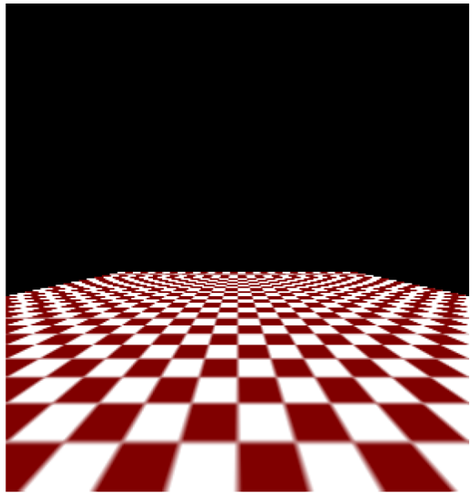


OpenGL中使用纹理

- Filtering
  - OpenGL提供多种简单高效的filtering
    - 通过glParameteri()指明
    - 对放大与缩小可使用不同filtering方式
      - GL_TEXTURE_MAG_FILTER
      - GL_TEXTURE_MIN_FILTER
    - Filtering方式
      - GL_NEAREST, GL_LINEAR, GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR
  - 如，glParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILLTER, GL_NEAREST)



GL_NEAREST

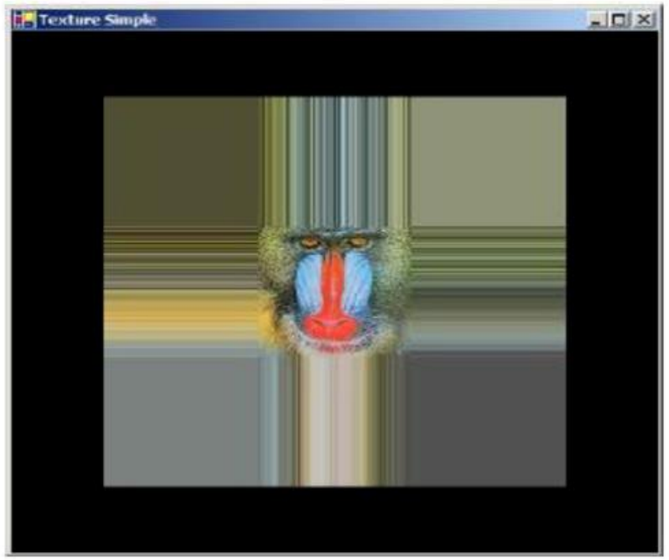


GL__LINEAR

OpenGL中使用纹理

- Wrapping
  - 表明如何处理超出纹理坐标边界的点
    - 纹理坐标在(0,0)到 (1,1)的范围内
  - 使用**glTexParameteri**(GL_TEXTURE_2D,GL_TEXTURE_WRAP_S, …)
    - GL_REPEAT与GL_CLAMP

GL_REPEAT



GL_CLAMP

Questions?