

第7讲：着色 & 几何

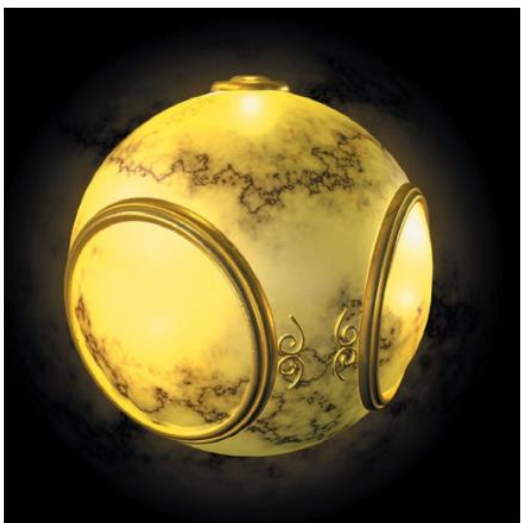
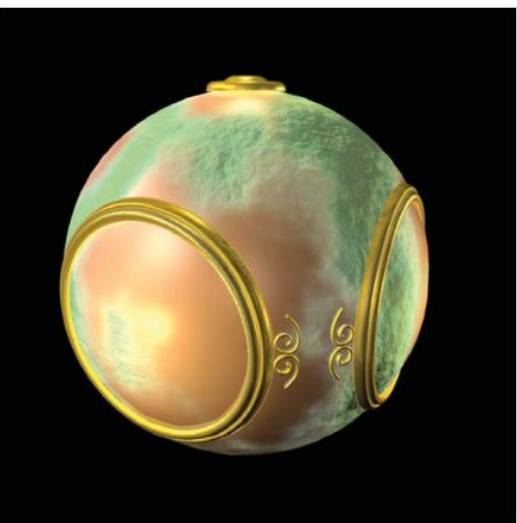
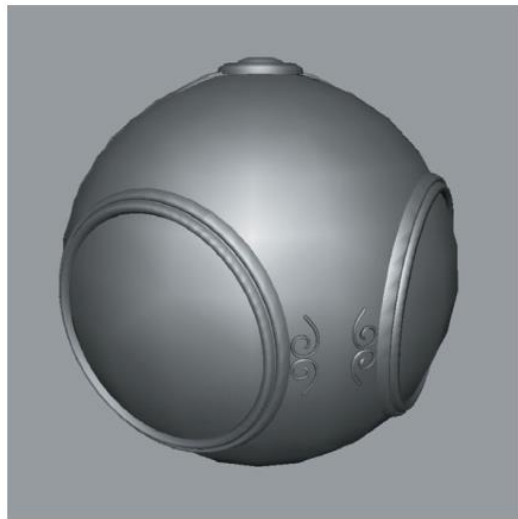
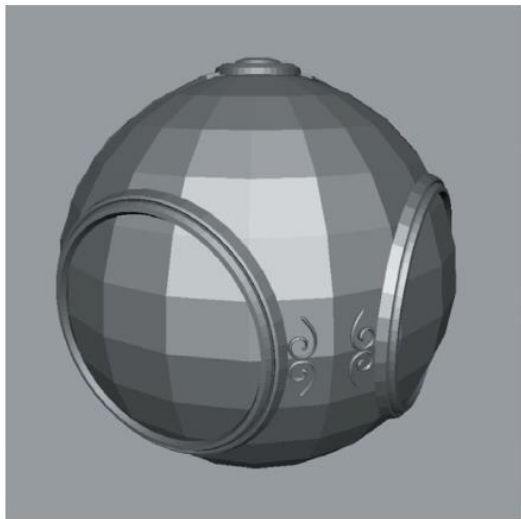
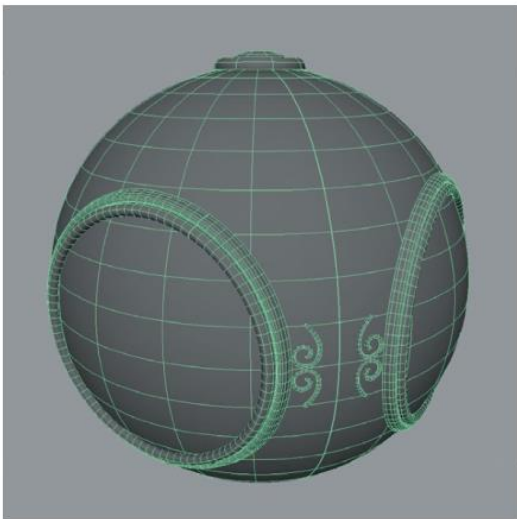
上次课程内容

- 纹理映射
- 重心坐标
- 纹理映射过程中可能出现的问题
 - 纹理过小（双线性插值）
 - 纹理过大（范围查询：Mipmap）

本次课程内容

- 纹理的应用
- 几何概述
 - 几何无处不在
 - 几何的多种表示形式
- 实验3发布
- 实验1-3报告要求发布
- 实验2提交截止

纹理的应用



纹理的应用

- 在现代GPU中，纹理=内存+范围查询
 - 将数据带入片元（fragment）计算的通用方法
- 纹理的应用
 - 环境光照
 - 存储微观几何形状
 - 过程纹理
 - 实体造型
 - 体绘制
 -

环境贴图 (Environment Map)



Light from the environment



Rendering with the environment

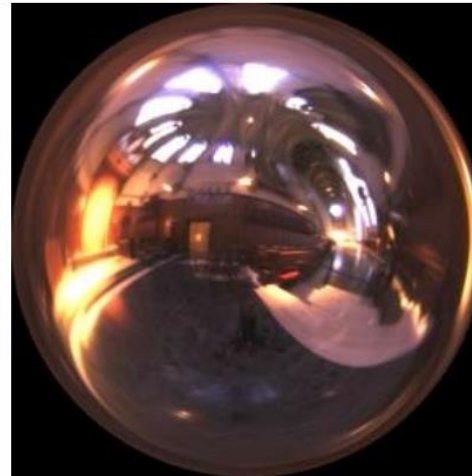
环境光照 (Environmental Lighting)



球形环境贴图 (Spherical Environment Map)



Hand with Reflecting Sphere. M. C. Escher, 1935. lithograph



Light Probes, Paul Debevec

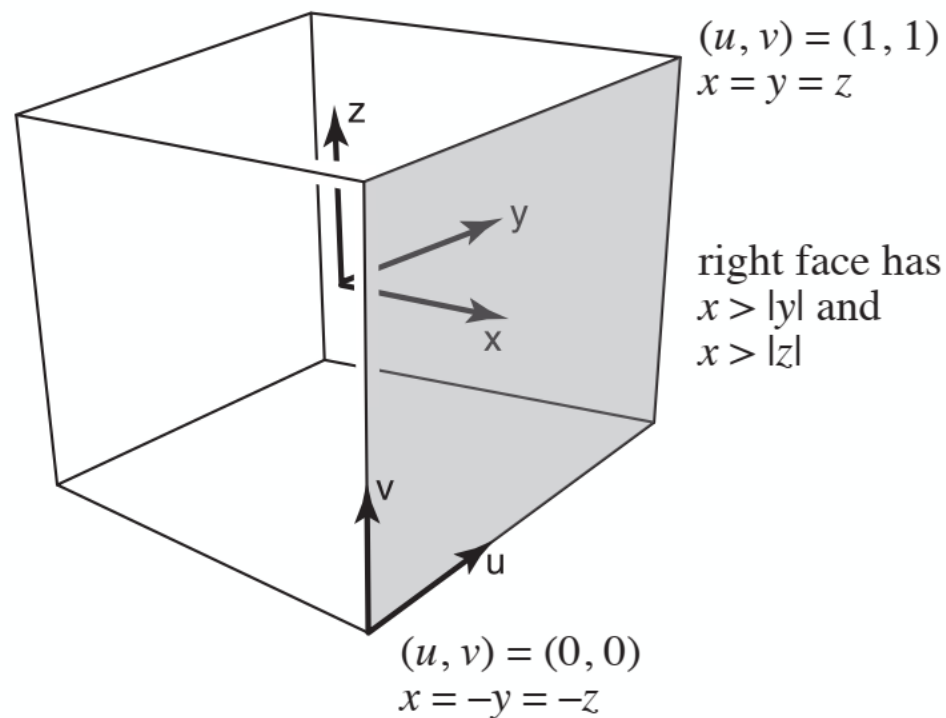
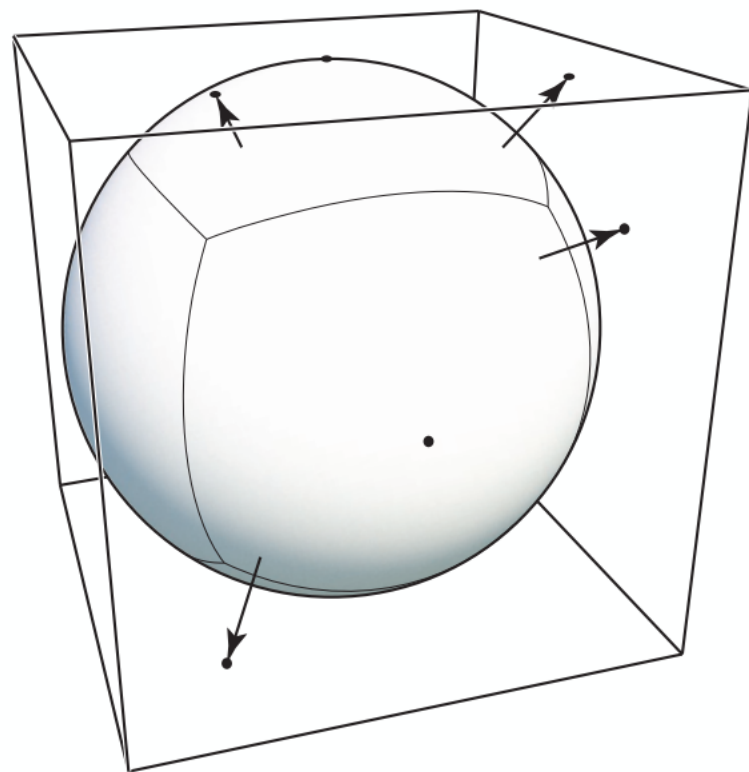
球形贴图的问题



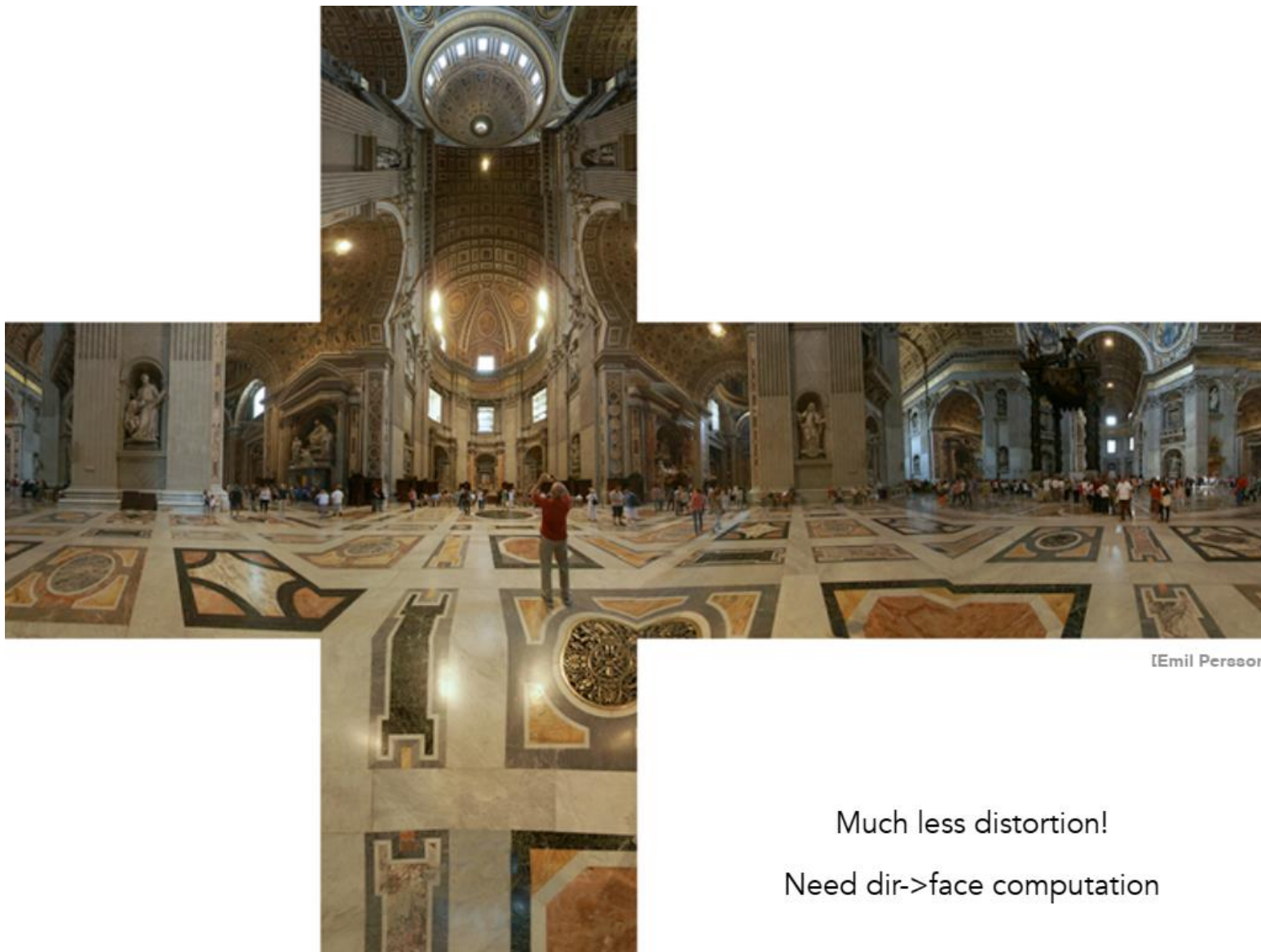
Prone to distortion (top and bottom parts)!

立方体贴图 (Cube Map)

- 三维空间中的表面上的一点总可以对应于二维图像（纹理）上的一点



立方体贴图



Much less distortion!
Need dir->face computation

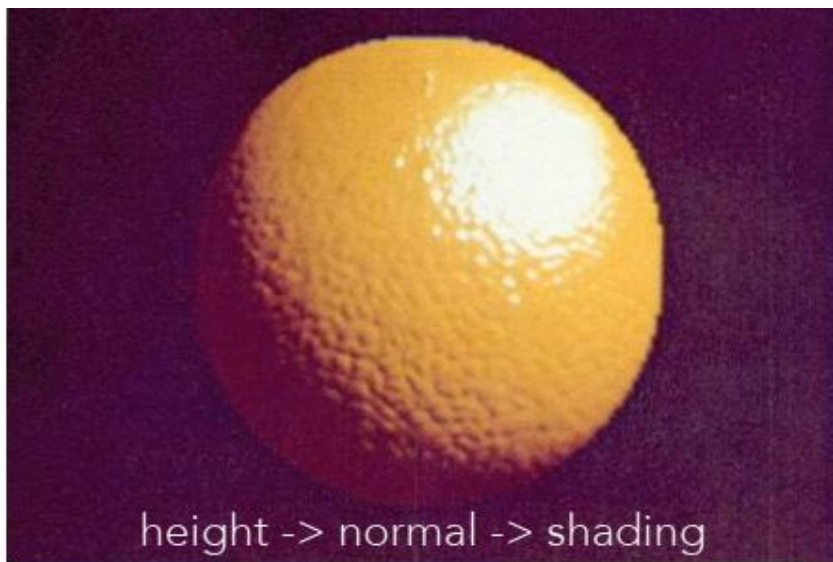
纹理可以影响着色

Q: 纹理只能表示颜色信息吗?

- 如果用来存储高度/法线信息会怎样?
- 凹凸/法线贴图
- 伪造详细的几何形状

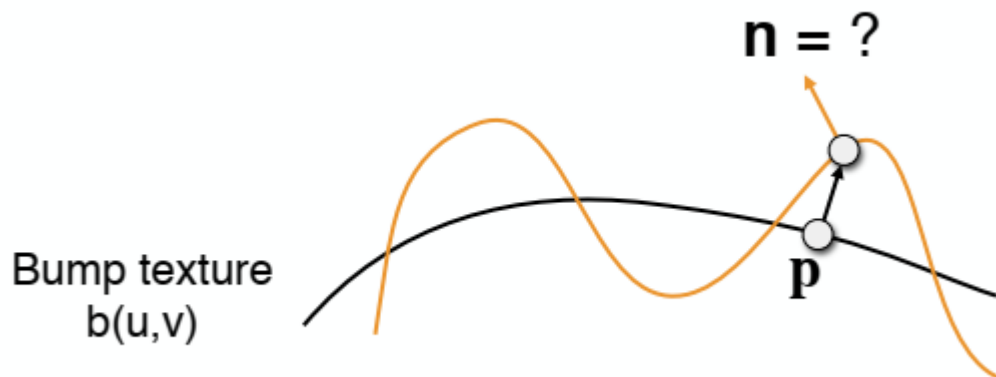


Relative height to the underlying surface



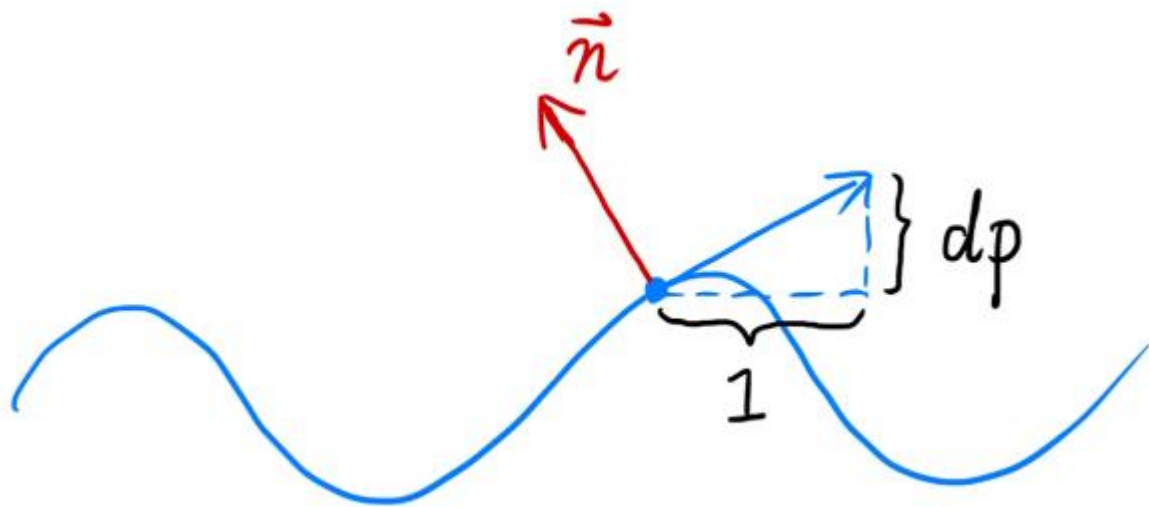
凹凸贴图 (Bump Mapping)

- 添加表面细节但不改变任何几何信息（并不会增加三角形的数目）
 - 在每个像素上扰动表面法线（仅用于着色计算）
 - 利用纹理定义每个纹素上的“高度偏移”
 - 如何改变法向量？



如何计算扰动后的法向量（2D）？

- 原始表面法线 $n(p) = (0, 1)$
- P点处的导数: $dp = c * [h(p + 1) - h(p)]$
- 扰动后的法向量: $n(p) = (-dp, 1).normalized()$



如何计算扰动的法向量 (3D) ?

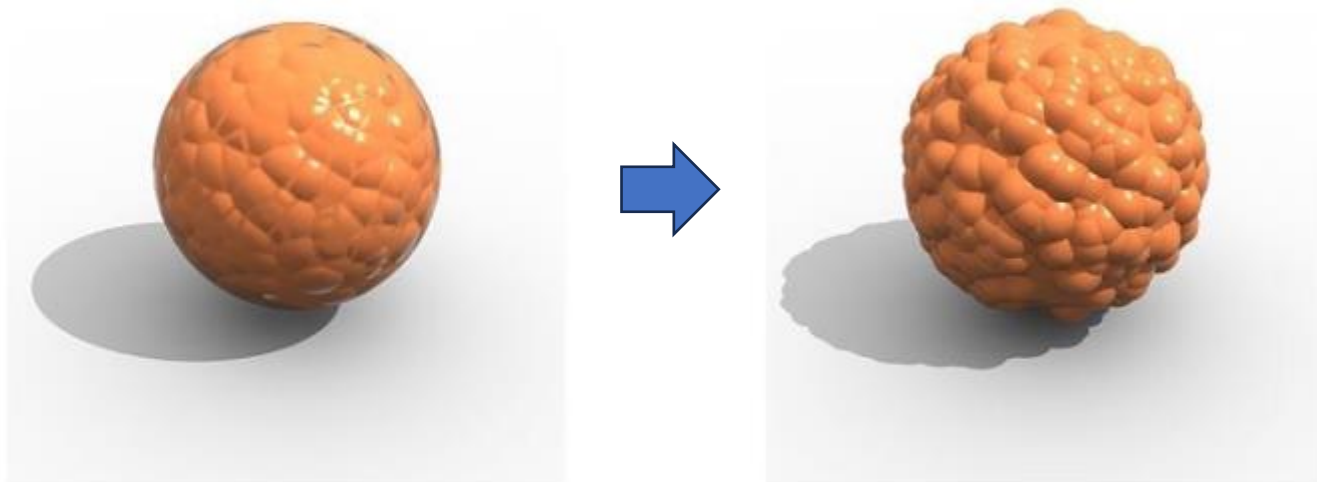
- 原始表面法线 $n(p) = (0,0,1)$
- P点处的偏导数:
 - $dp/du = c1 * [h(u + 1) - h(u)]$
 - $dp/dv = c2 * [h(v + 1) - h(v)]$
- 扰动后的法向量: $n(p) = \left(-\frac{dp}{du}, -\frac{dp}{dv}, 1\right).normalized()$

凹凸贴图

Q: 凹凸贴图有什么问题吗?

- 在模型边缘不能很好的模拟凹凸效果
- 阴影效果还是由真实的几何信息计算得出

Q: 有没有比凹凸贴图更好的方法?

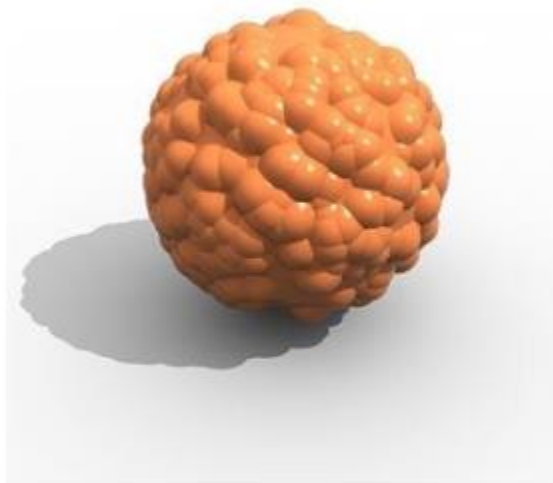


位移贴图 (Displacement Mapping)

- 与凹凸贴图相比，使用的是同样的纹理
- 区别在于位移贴图真正的移动了三角形的顶点



凹凸贴图

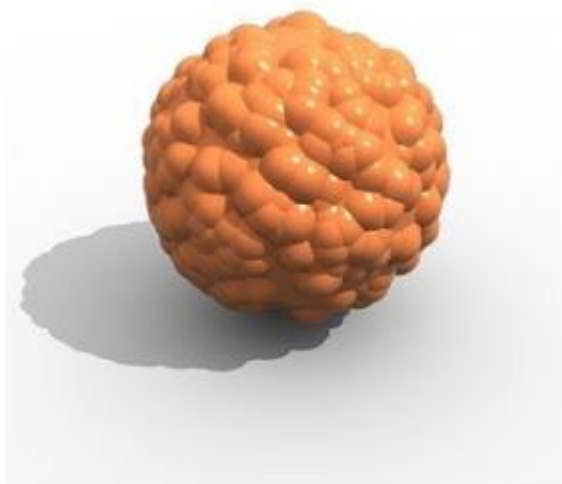


位移贴图

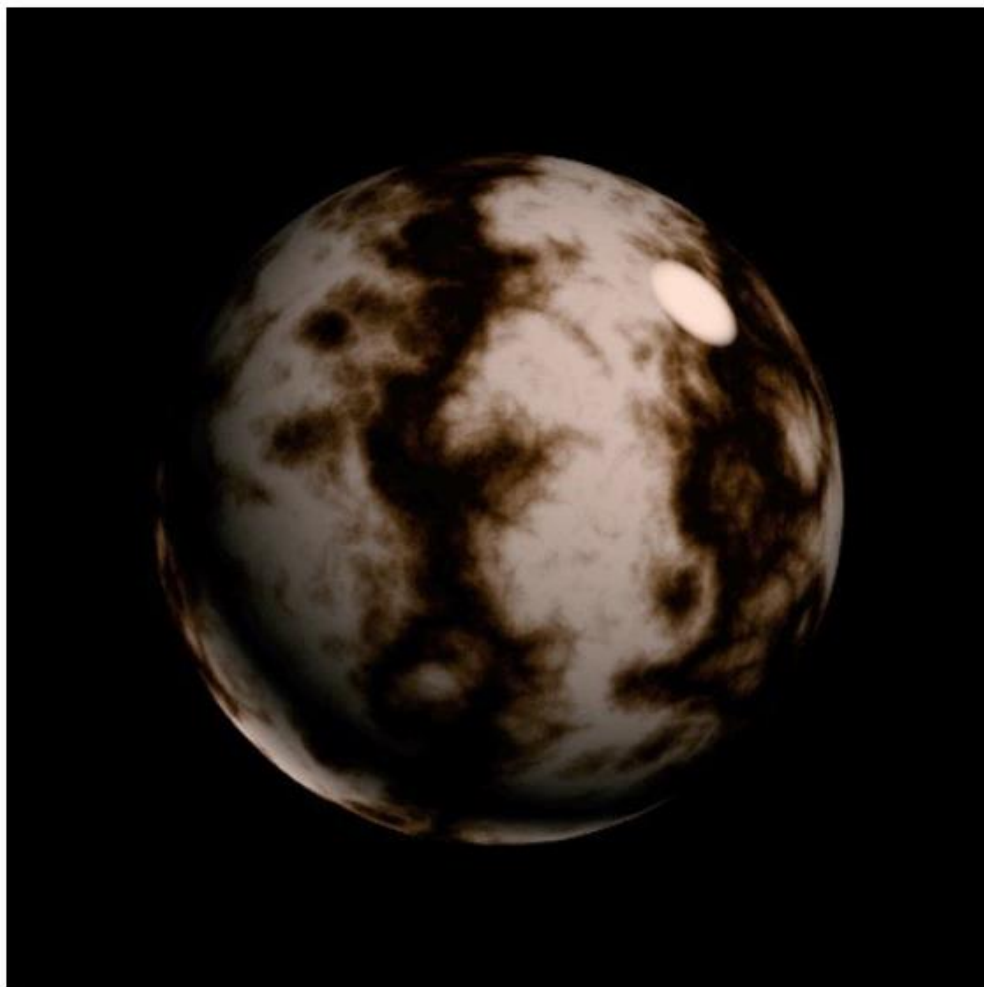
位移贴图

Q: 应用位移贴图存在什么新的问题吗?

- 对三角形数目的要求
- 可以利用动态曲面细分来解决



基于噪声的三维过程纹理、实体造型



Perlin noise, Ken Perlin

带有预计算的着色



Simple
shading

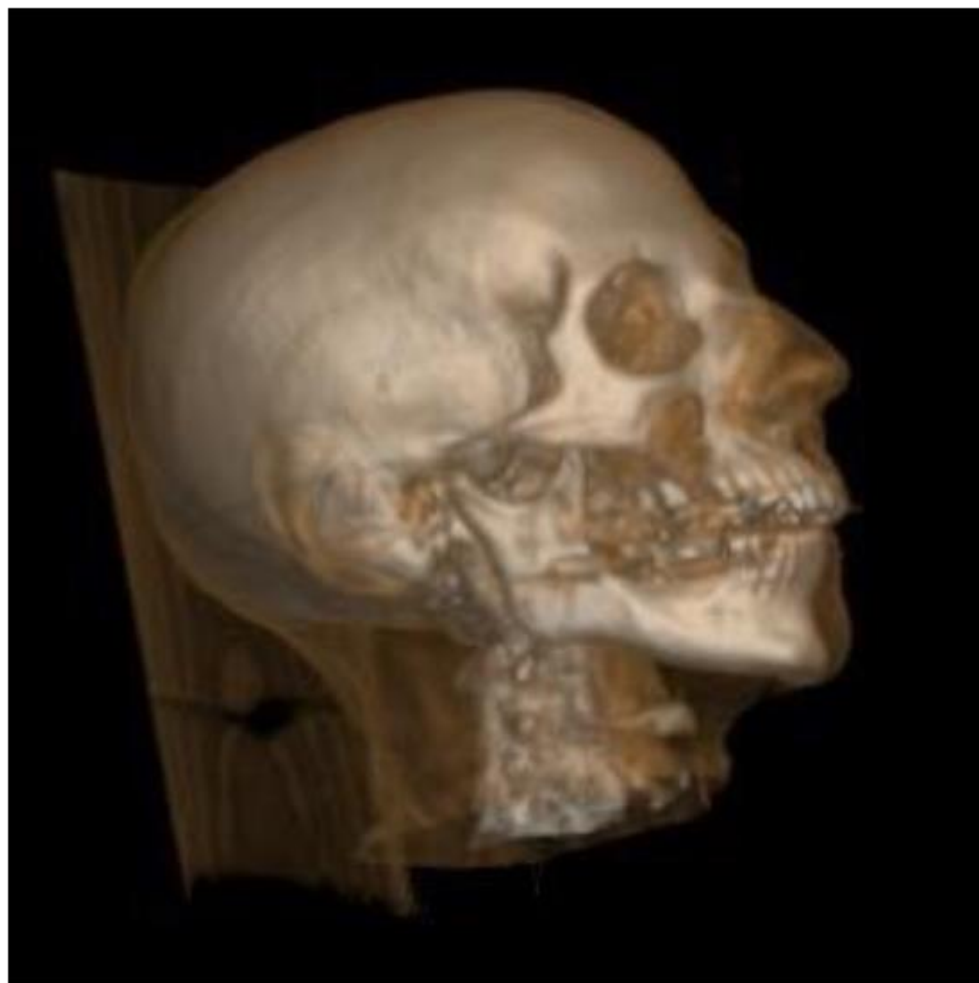
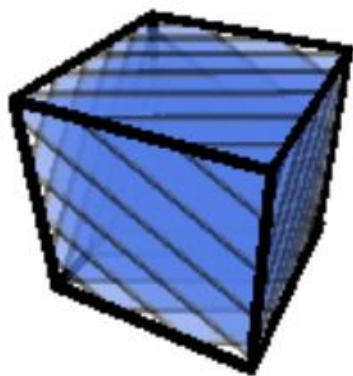


Ambient occlusion
texture map



With ambient
occlusion

三维纹理、体绘制 (Volume Rendering)



Marc Levoy

Q&A



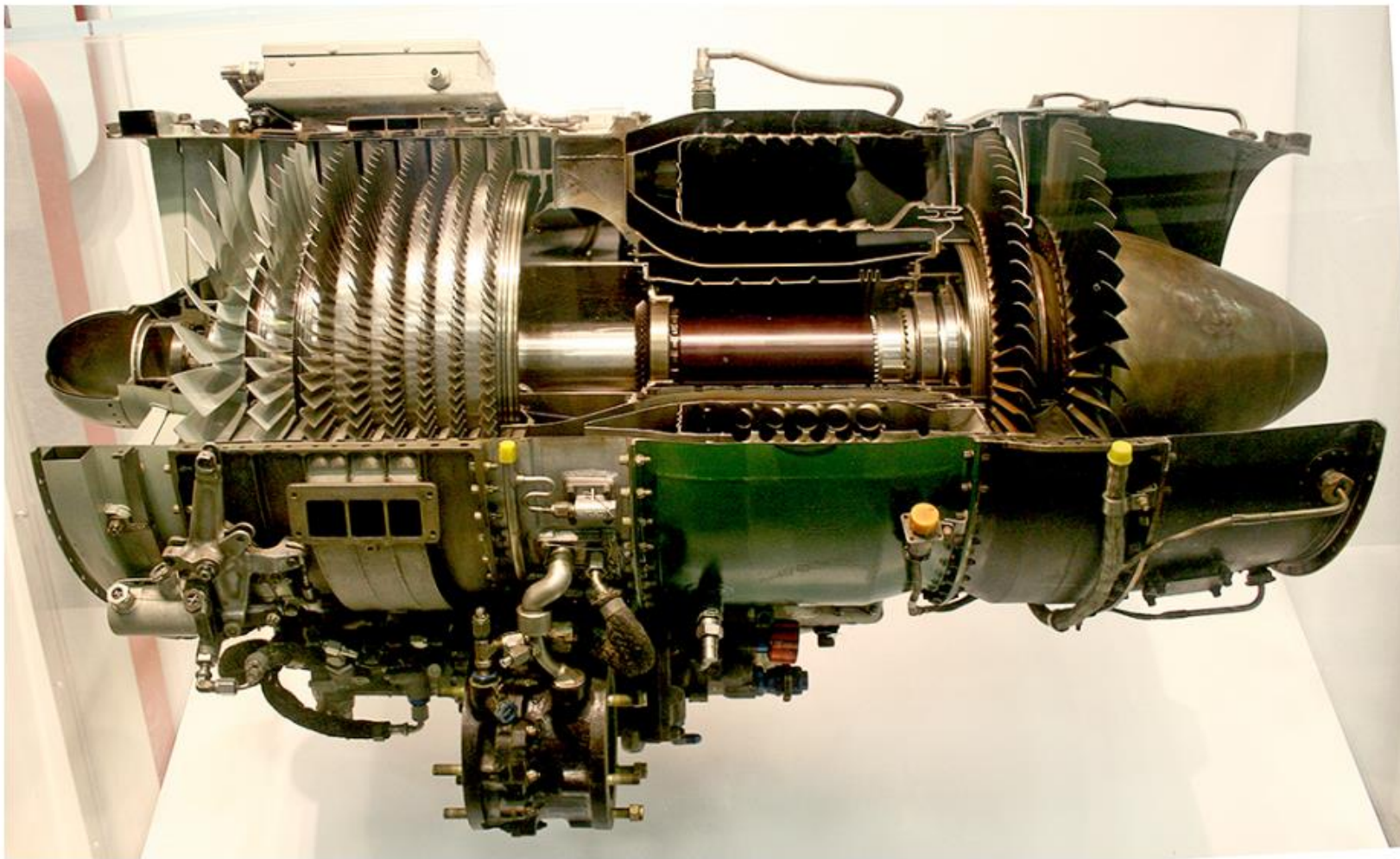
几何无处不在



几何无处不在



几何无处不在



几何无处不在



几何无处不在



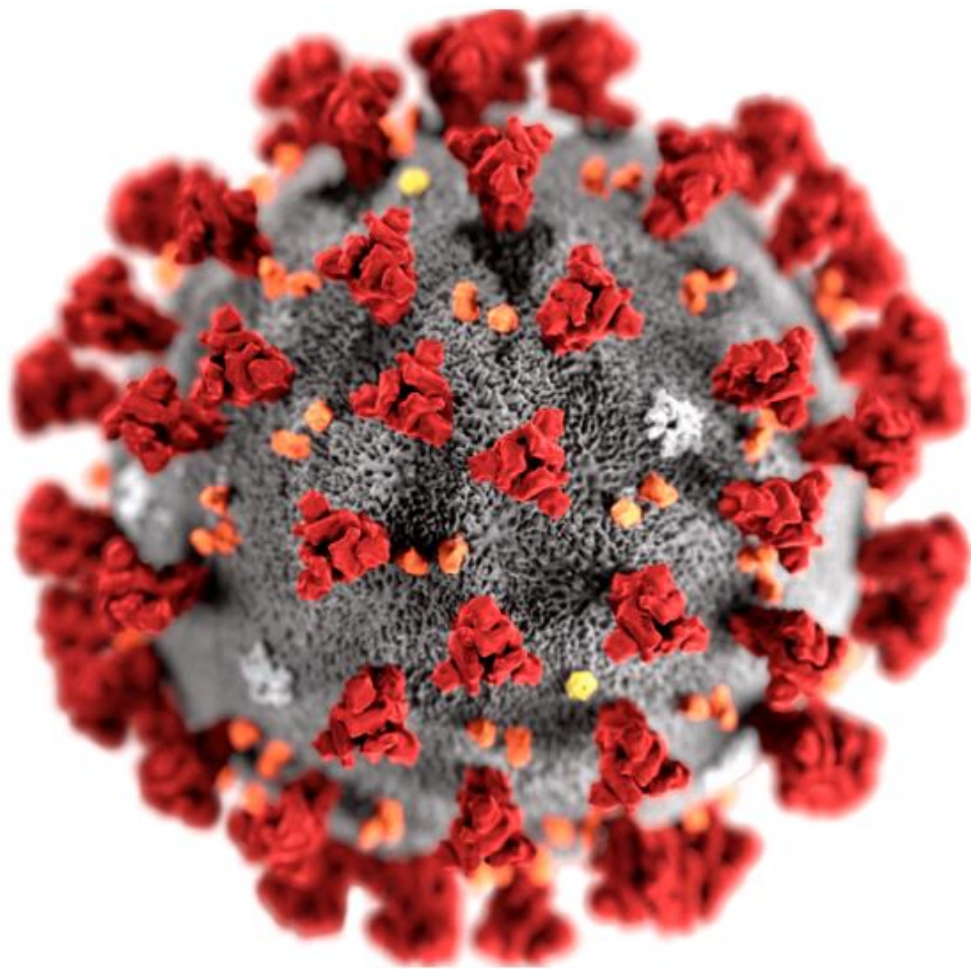
几何无处不在



几何无处不在



几何无处不在



COVID-19

几何无处不在



几何的表示形式

- 隐式 (Implicit)

- 代数曲面

- 水平集

- 距离函数

-

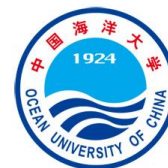
- 显式 (Explicit)

- 点云

- 多边形网格

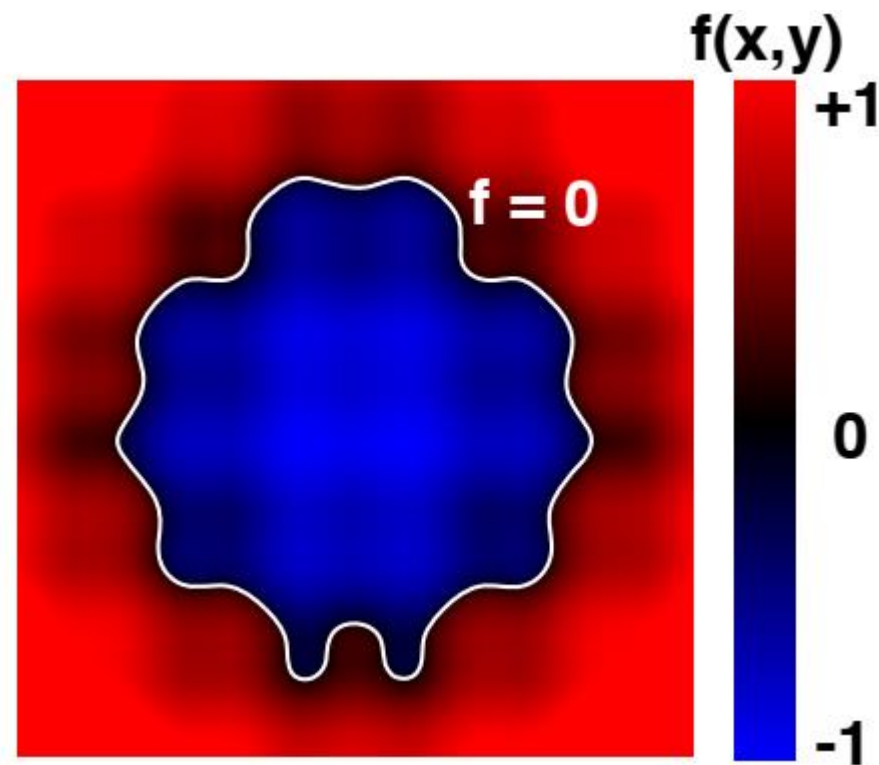
- 细分、NURBS

-



几何的隐式表示

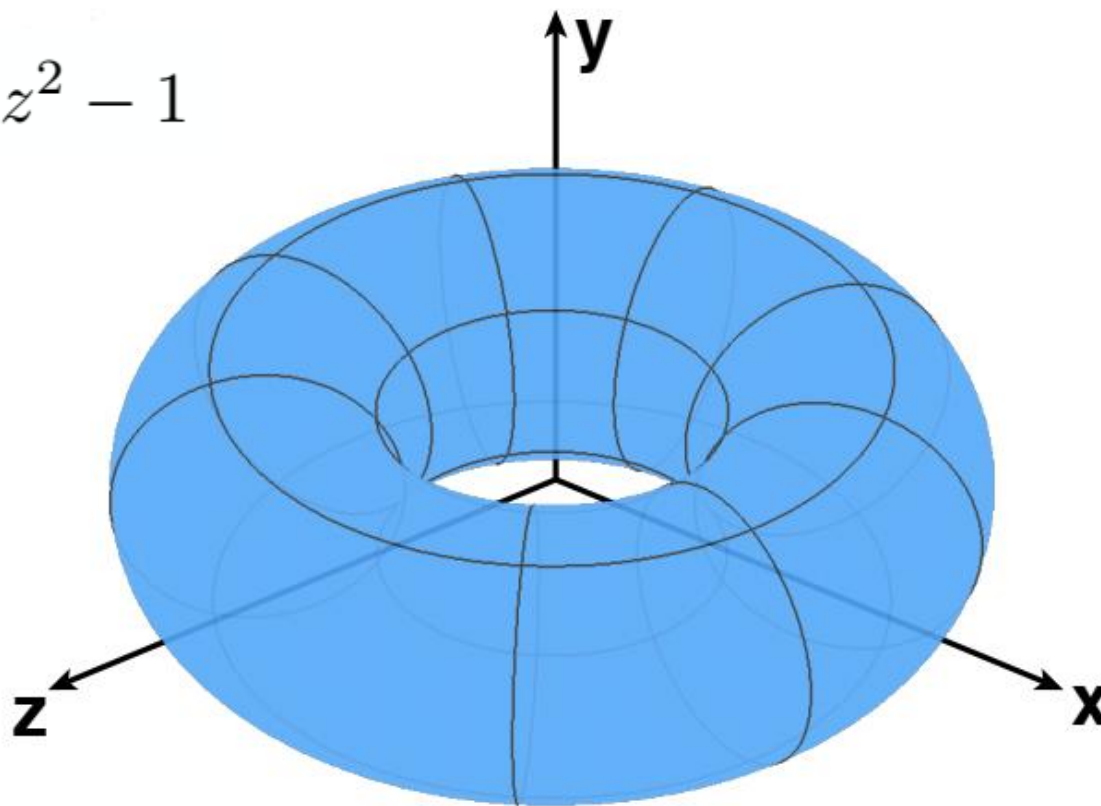
- 定义几何体上的点满足的关系，并不给出实际的点
 - 例如单位球的隐式表示：三维空间中的点满足 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$
 - 一般形式为： $f(x, y, z) = 0$



隐式曲面：采样困难

$$f(x, y, z) = (2 - \sqrt{x^2 + y^2})^2 + z^2 - 1$$

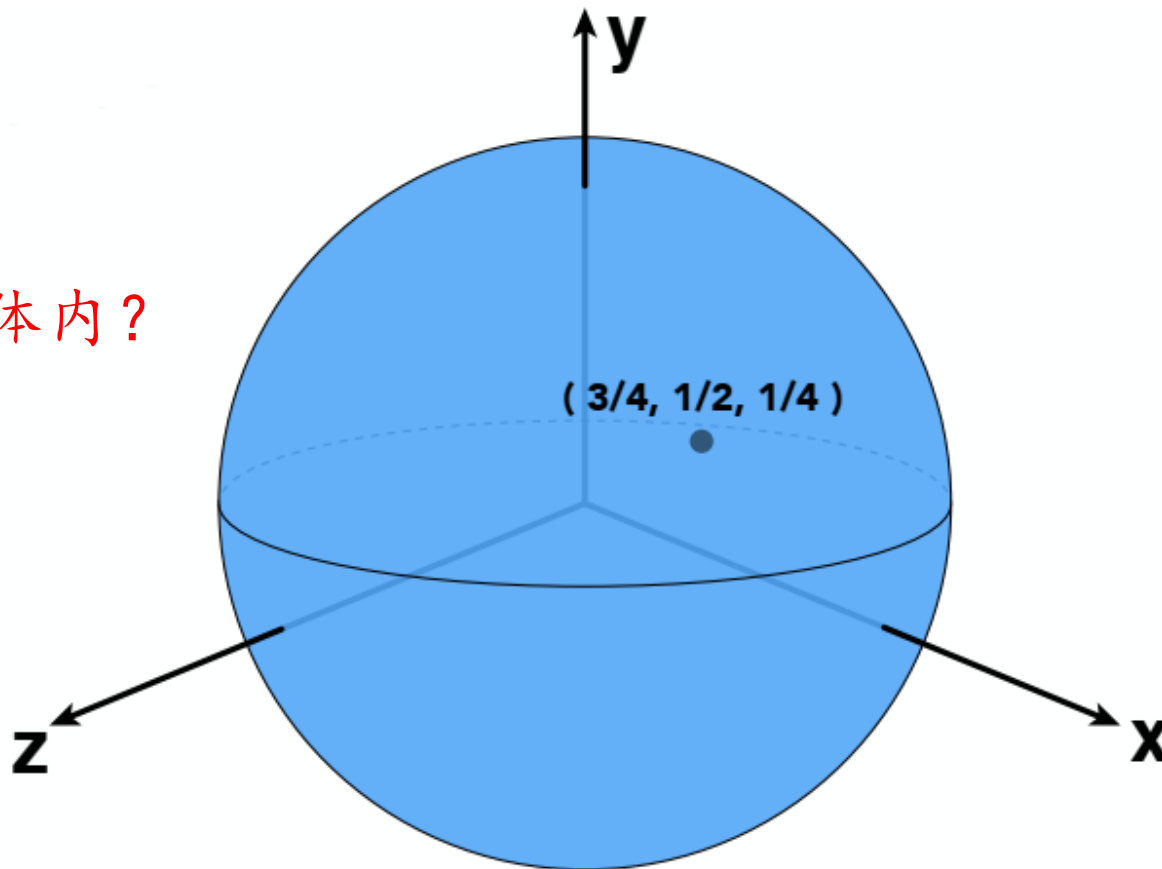
Q: 哪些点在 $f(x, y, z) = 0$ 上?



隐式曲面：内/外测试简单

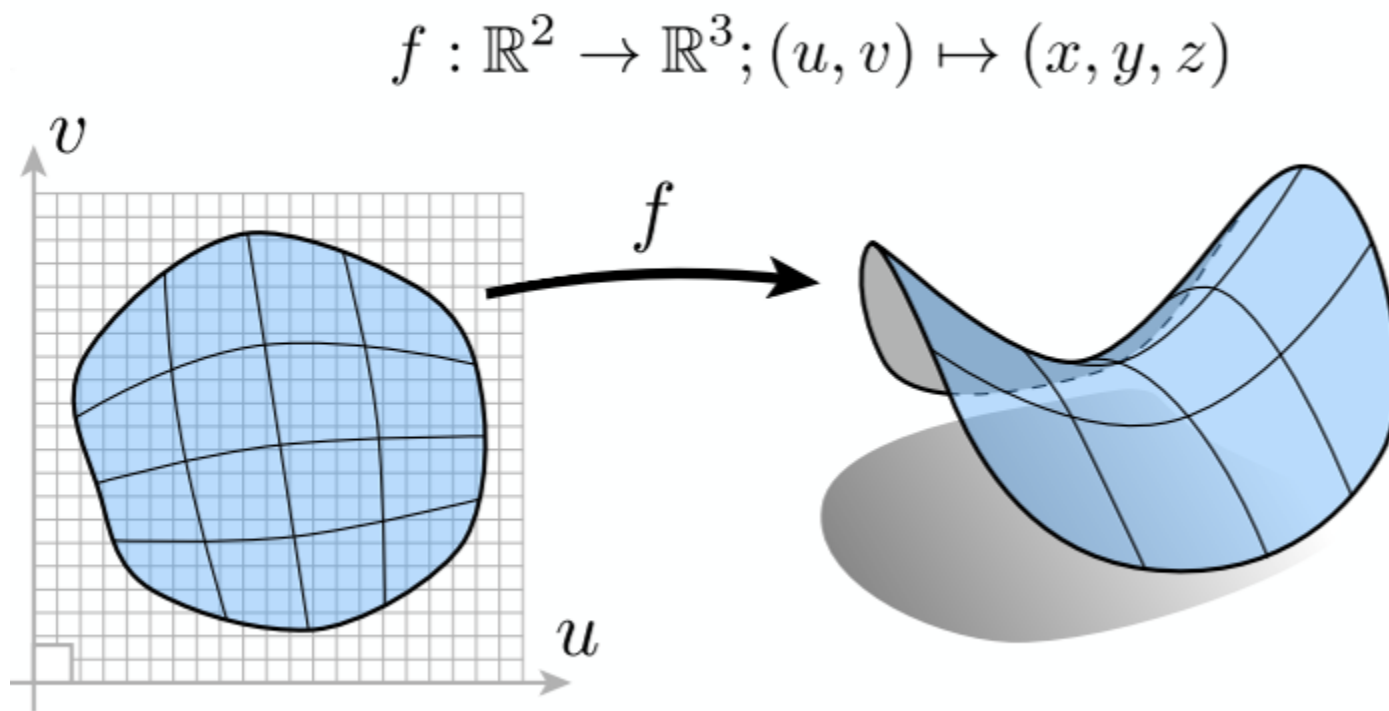
$$f(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - 1$$

Q: 点 $(3/4, 1/2, 1/4)$ 是否在几何体内？



几何的显式表示

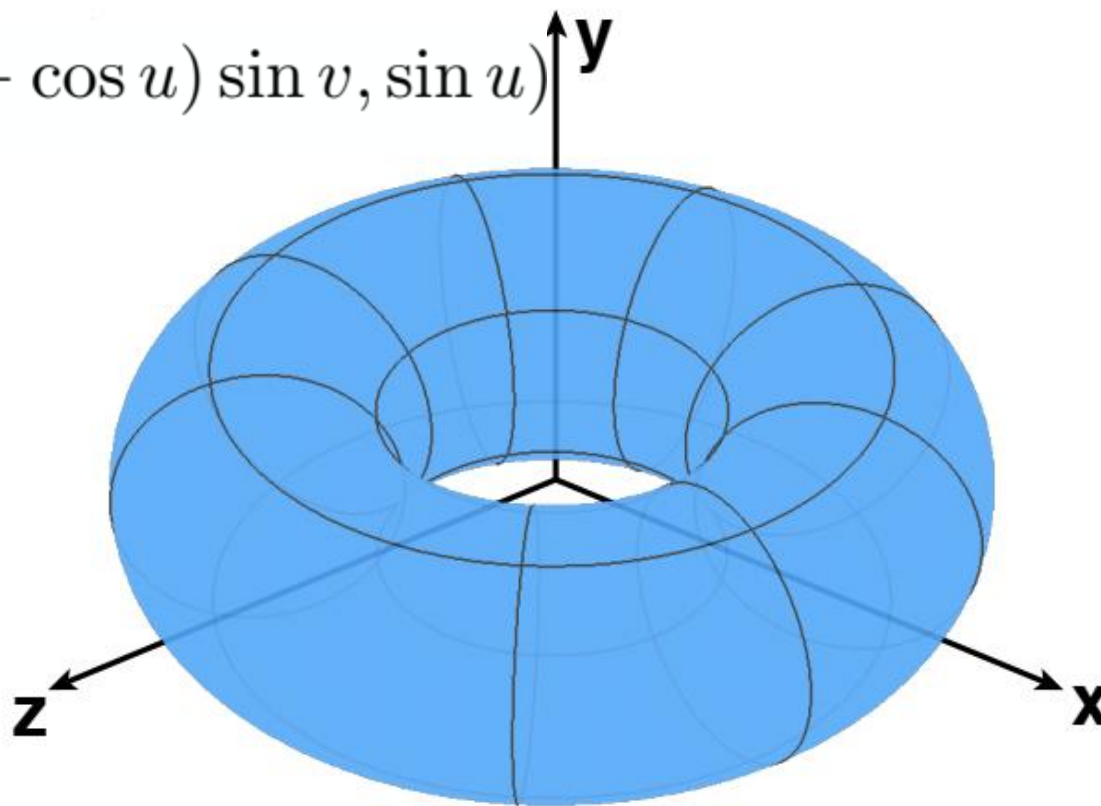
- 直接给出几何体上的所有点，或者通过参数映射给出



显式曲面：采样简单

$$f(u, v) = ((2 + \cos u) \cos v, (2 + \cos u) \sin v, \sin u)$$

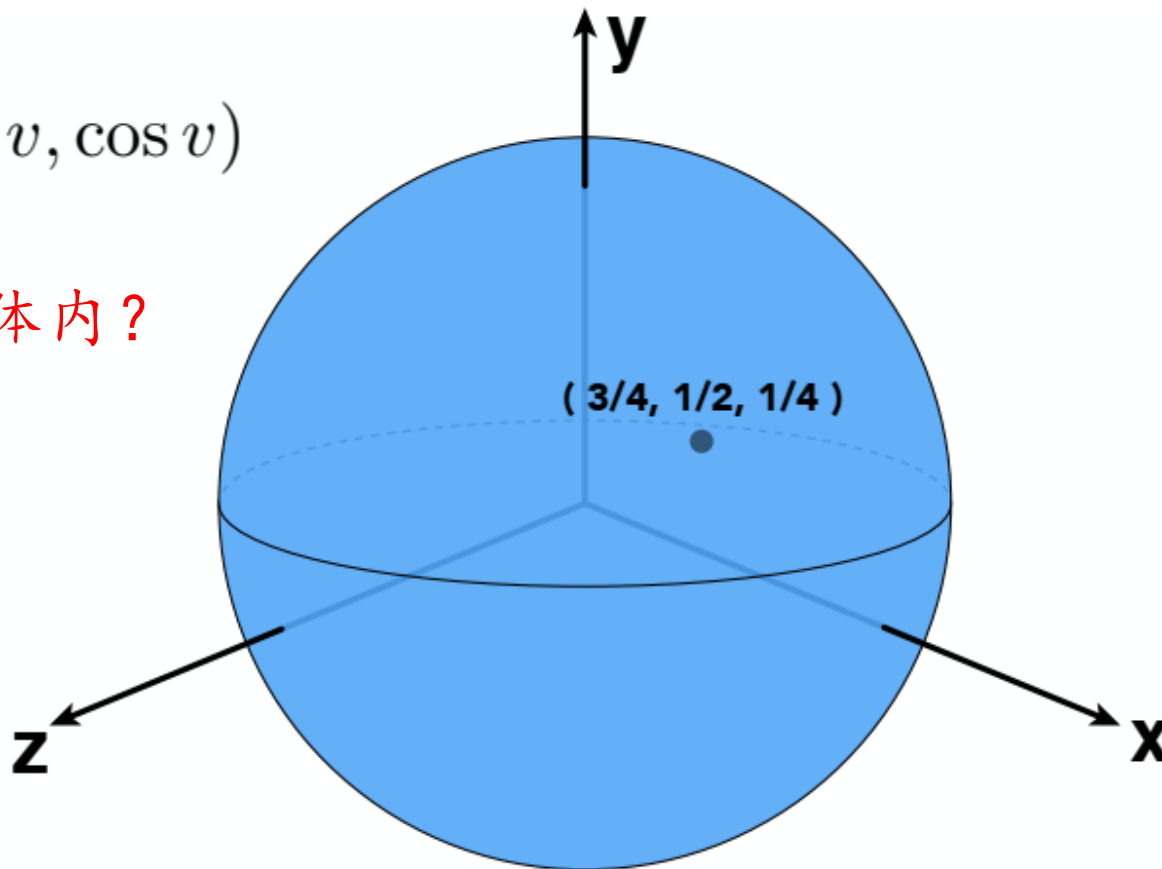
Q: 哪些点在 $f(x, y, z) = 0$ 上?



显式曲面：内/外测试困难

$$f(u, v) = (\cos u \sin v, \sin u \sin v, \cos v)$$

Q: 点 $(3/4, 1/2, 1/4)$ 是否在几何体内?



几何的表示形式

- 隐式 (Implicit)

- 代数曲面
- 水平集
- 距离函数
-

- 显式 (Explicit)

- 点云
- 多边形网格
- 细分、NURBS
-

没有最好的几何表示形式，由任务驱动
选择适合的表示形式！

Q&A



几何的隐式表示

- 代数曲面 (Algebraic Surfaces) : 把表面表示成 x 、 y 、 z 多项式的零集

Q: 更复杂的几何体如何表示?



$$x^2 + y^2 + z^2 = 1$$



$$(R - \sqrt{x^2 + y^2})^2 + z^2 = r^2$$



$$\left(x^2 + \frac{9y^2}{4} + z^2 - 1\right)^3 = x^2 z^3 + \frac{9y^2 z^3}{80}$$

几何的隐式表示

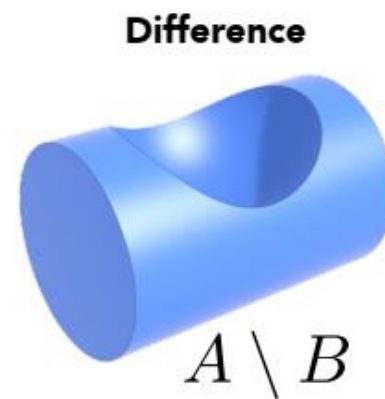
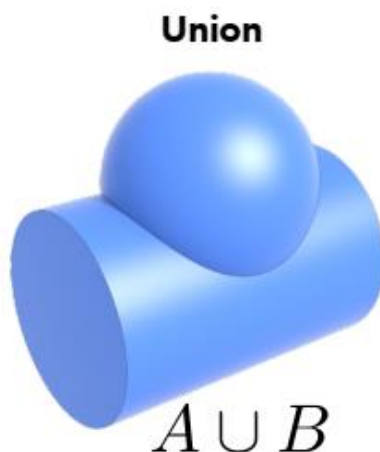
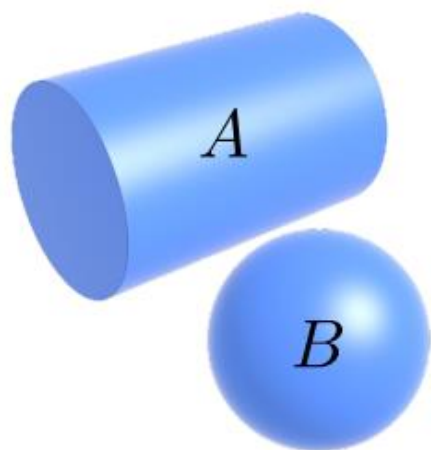
- 代数曲面 (Algebraic Surfaces) : 把表面表示成 x 、 y 、 z 多项式的零集

Q: 更复杂的几何体如何表示?

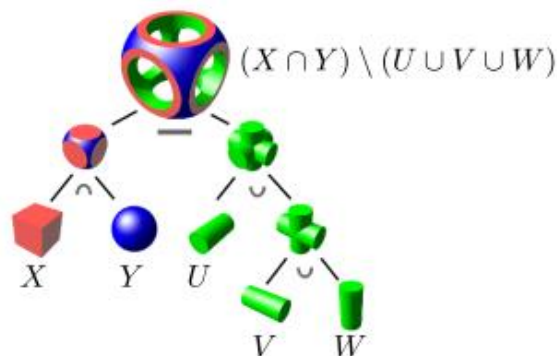


几何的隐式表示

- 构造实体几何 (Constructive Solid Geometry): 通过布尔运算组合隐式几何

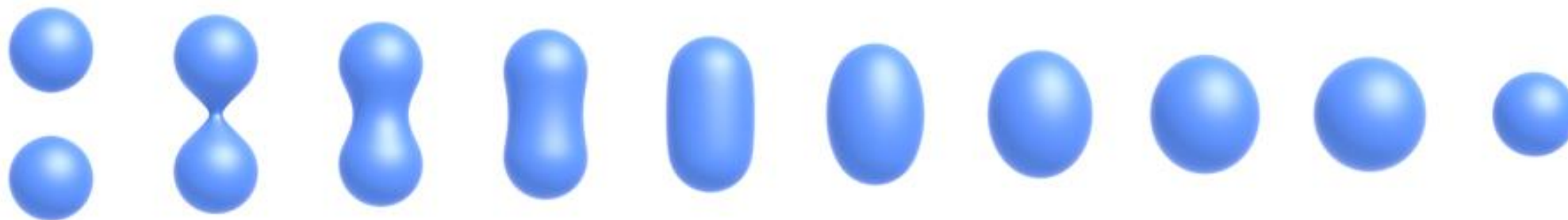


Boolean expressions:



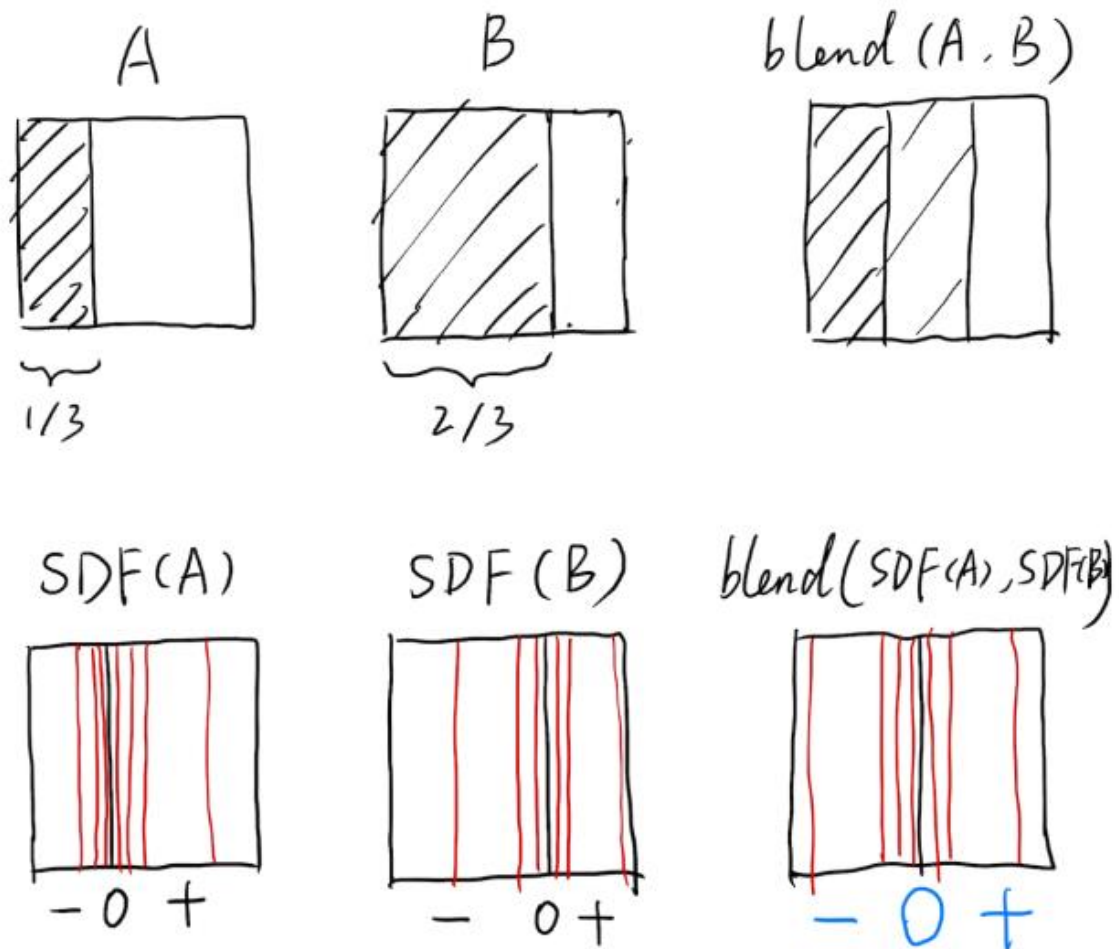
几何的隐式表示

- 距离函数 (Distance Functions)：给出从任何地方到物体的最小距离
(可以有向距离)
- 使用距离函数逐渐将曲面融合在一起



几何的隐式表示

- 例如：利用距离函数混合（线性插值）移动边界



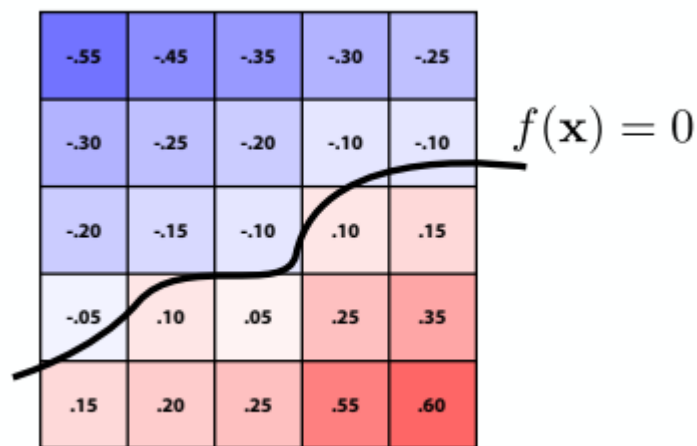
几何的隐式表示

- 距离函数的应用：<https://iquilezles.org/www/articles/raymarchingdf/raymarchingdf.htm>



几何的隐式表示

- 水平集(Level Set): 对于复杂形状, 将逼近函数的值存储在格子中
- 通过插值得到曲面



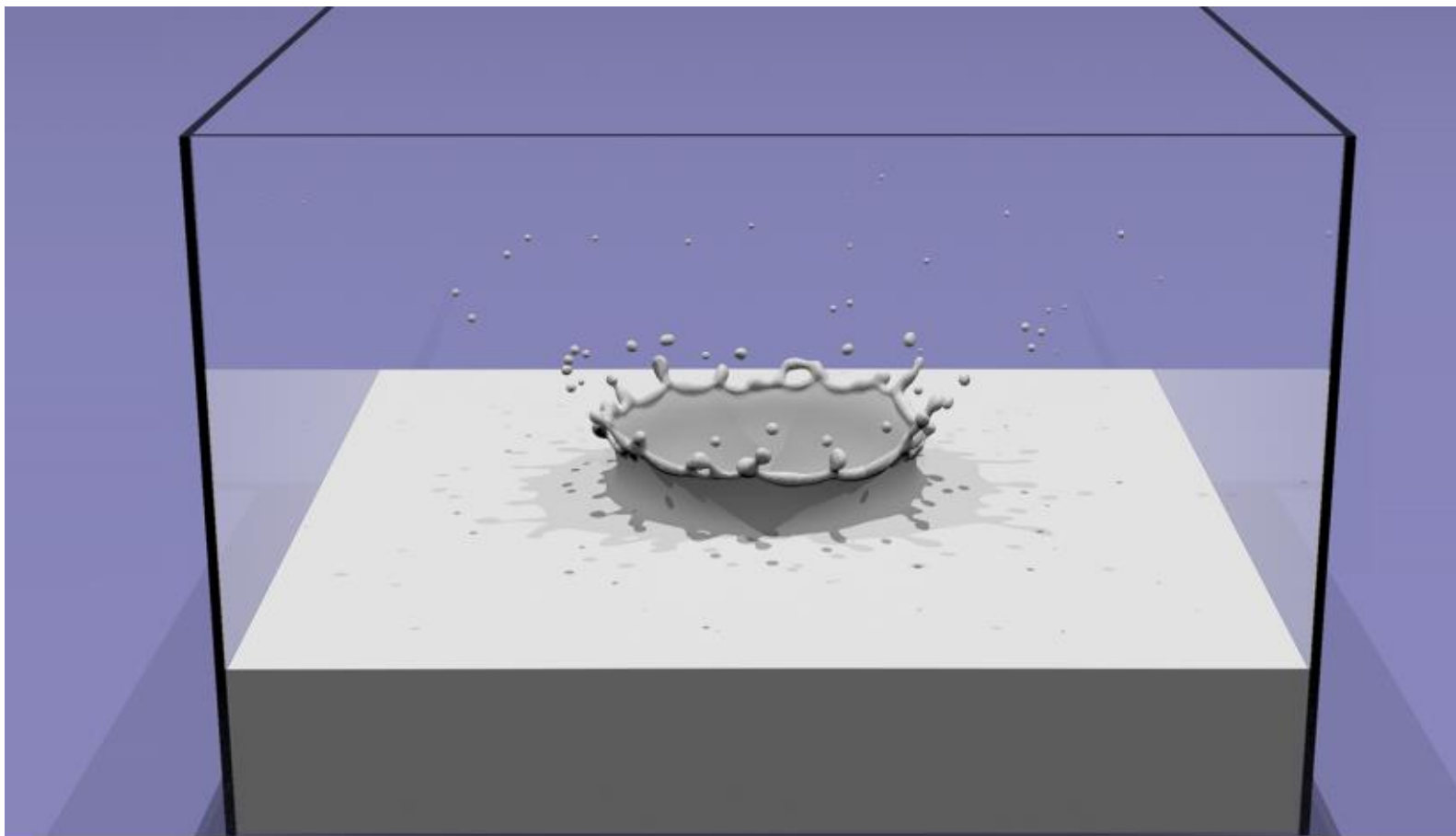
几何的隐式表示

- 水平集的应用：三维空间中水平集编码医疗数据（例如恒定组织密度）



几何的隐式表示

- 水平集的应用：水平集编码气液距离进行物理模拟



几何的隐式表示

- 分形(Fractals): 在所有尺度上展现自相似性
- 自然现象的“语言”
- 形状很难控制!

