



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

计算机图形学

引言

陶钧

taoj23@mail.sysu.edu.cn

中山大学 数据科学与计算机学院
国家超级计算广州中心

- 课程介绍
- 计算机图形学应用举例
- 计算机图形学的基本任务
 - 建模、渲染、动画、交互
- 计算机图形学扩展
 - 可视化、设计



● 相关知识背景

- 引言、历史与应用、渲染管线、OpenGL编程、数学基础
- 1-3周

● 计算机图形学基础

- 光栅化、几何变换、视角、曲线及曲面建模
- 4-7周

● 计算机图形学进阶与扩展课题

- 网格处理、光影、全局光照、纹理映射、形状分析、可视化、GPGPU等
- 8-17周（中间有一周为期中考试）

● 知识储备

- 数学：几何（空间几何、微分几何）
- 编程：熟悉一门编程语言（最好是C++）、算法
 - 计算机图形学对代码能力的要求较高
 - 代码能力不强的同学希望能藉由这门课提高
- 绘图及渲染软件：3D Max、PovRay等
 - 非必需

● 硬件需要

- 支持OpenGL的显卡

● 课程总分组成

- 编程作业 (3次)	45%
- 期中考试	20%
- 期末大作业	25%
- 出勤	10%

● 编程作业评分

- 完成度及正确性	40%
- 美观	20%
- 编程规范	20%
- 书面报告	20%

● 编程规范举例

- 应组织到适当文件中
- 应根据功能适当划分成函数

文件开头应包含程序说明

```
#####
## 姓名: XXX
## 文件说明: *****
## *****
## *****
## *****
## *****
## *****
#####
#include <abc.h>

int main(){
    ...
}
```

函数开头也应包含说明
程序应适当缩进

```
#####
## 函数: do_something
## 函数描述: *****
## *****
## 参数描述:
## par1: *****
## par2: *****
#####
void do_something(par1, par2){
    for( ... ){
        if( ... ){
            ...
        }
    }
}
```

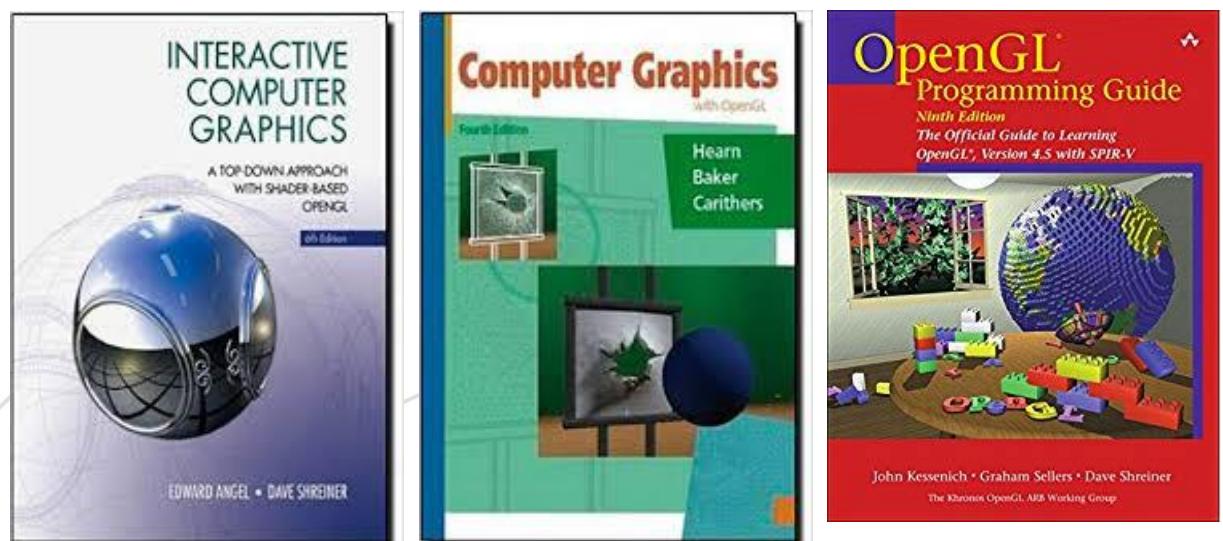
● 期末大作业

- 完成情况 50%
- 技术难度加分 20%
 - 与完成情况相关联
- 报告 30%
 - 书面报告、现场报告

● 其他

- 允许讨论代码, **严禁抄袭**
- 3 slip days!
 - 包括周末节假日
 - 不适用于现场报告

- E. Angel, and D. Shreiner, *Interactive Computer Graphics — A Top-down Approach Using OpenGL*, Addison-Wesley, 7th Edition
 - 中译版：交互式计算机图形学——基于OpenGL的自顶向下方法
 - 其他版本：基于Shader-Based OpenGL、 WebGL
- D. Hearn et al., *Computer Graphics with OpenGL*, 4th Edition, 2014
 - 中译版：计算机图形学
- J. Kessenich et al., *OpenGL Programming Guide*, 9th Edition, 2016
 - 中译版：OpenGL编程指南
 - 官方编程指南（OpenGL 4.5版本）



● 计算机图形基础



● 编程指南 (DirectX, OpenGL, OpenGL ES 等)



● 游戏与动画制作 (Unity, Cocos2d 等)



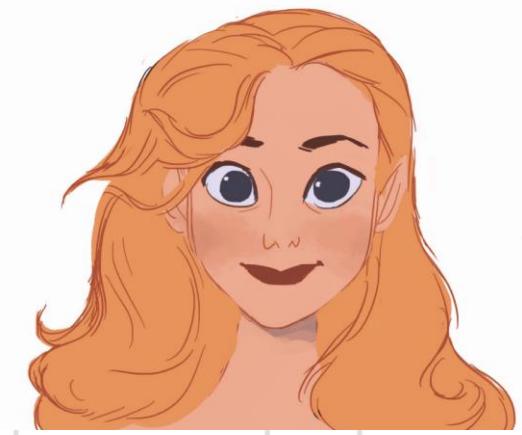
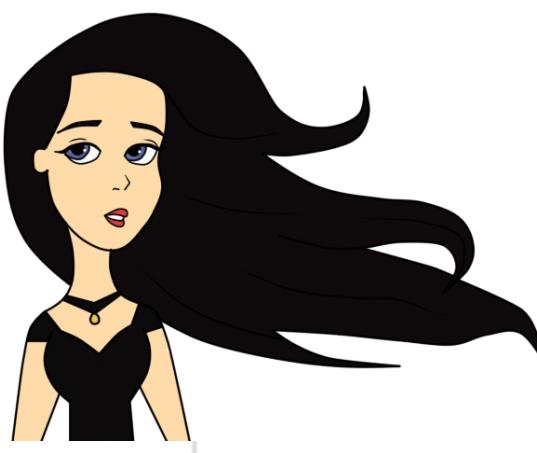
- OpenGL-Song Ho Ahn
 - <http://www.songho.ca/opengl/>
- NeHe Productions – Everything OpenGL
 - <http://nehe.gamedev.net/>
- OpenGL-tutorial
 - <http://www.opengl-tutorial.org/>



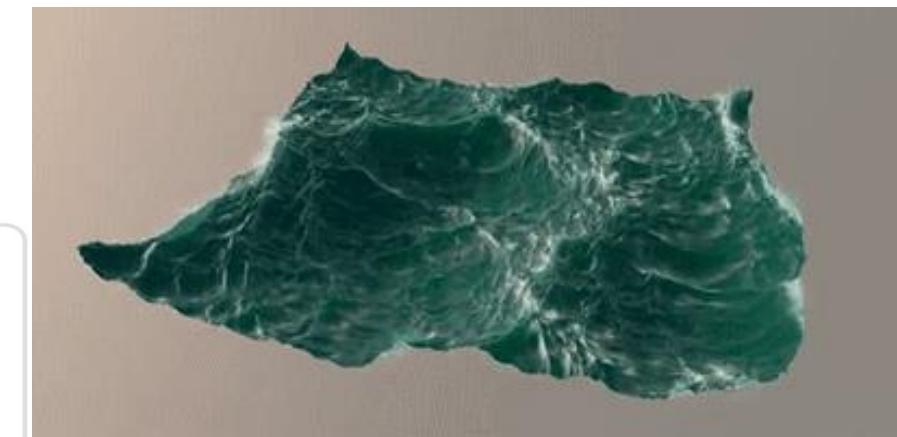
- 课程介绍
- 计算机图形学应用举例
- 计算机图形学的基本任务
 - 建模、渲染、动画、交互
- 计算机图形学扩展
 - 可视化、设计



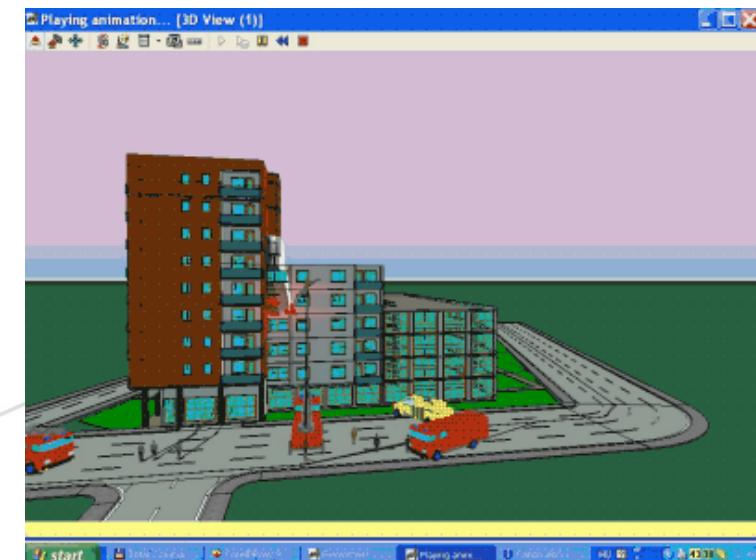
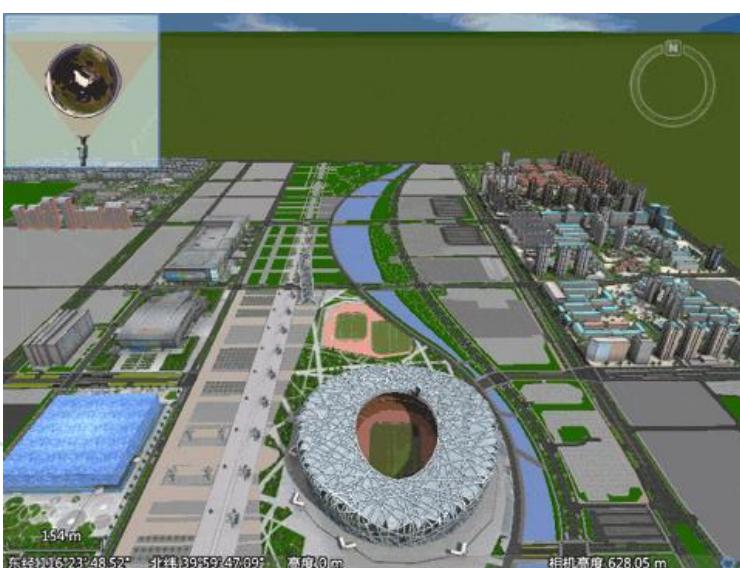
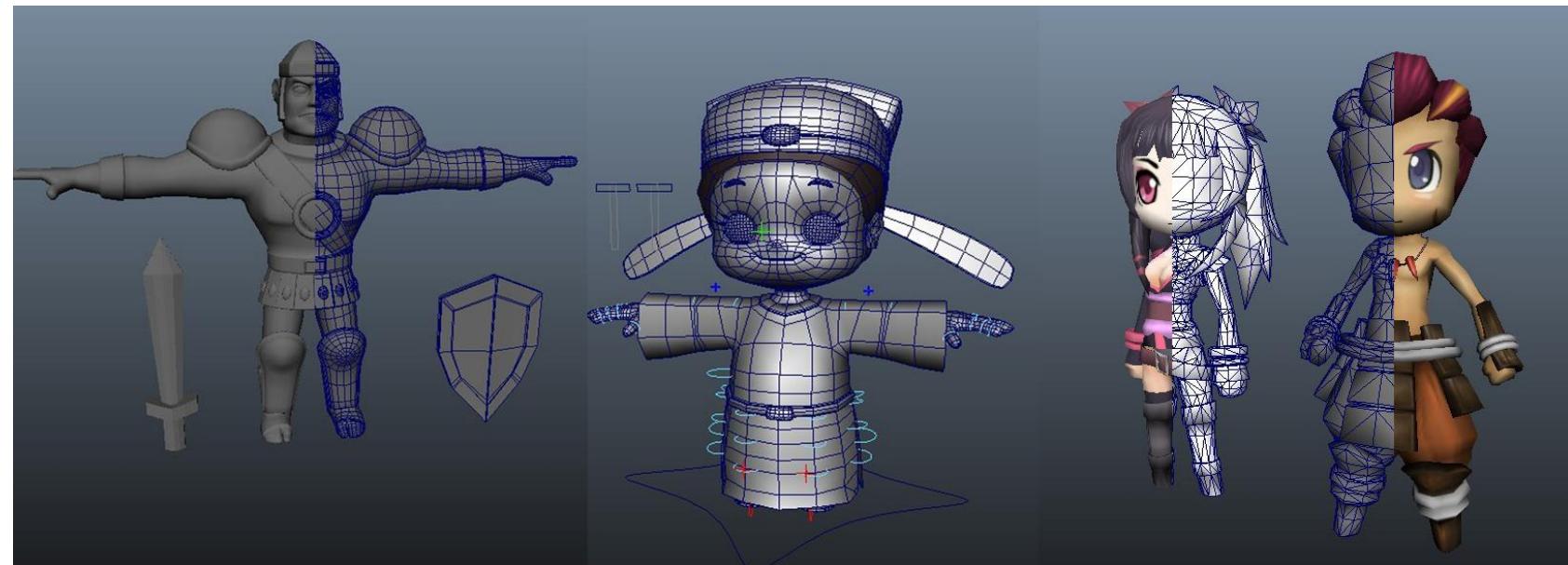
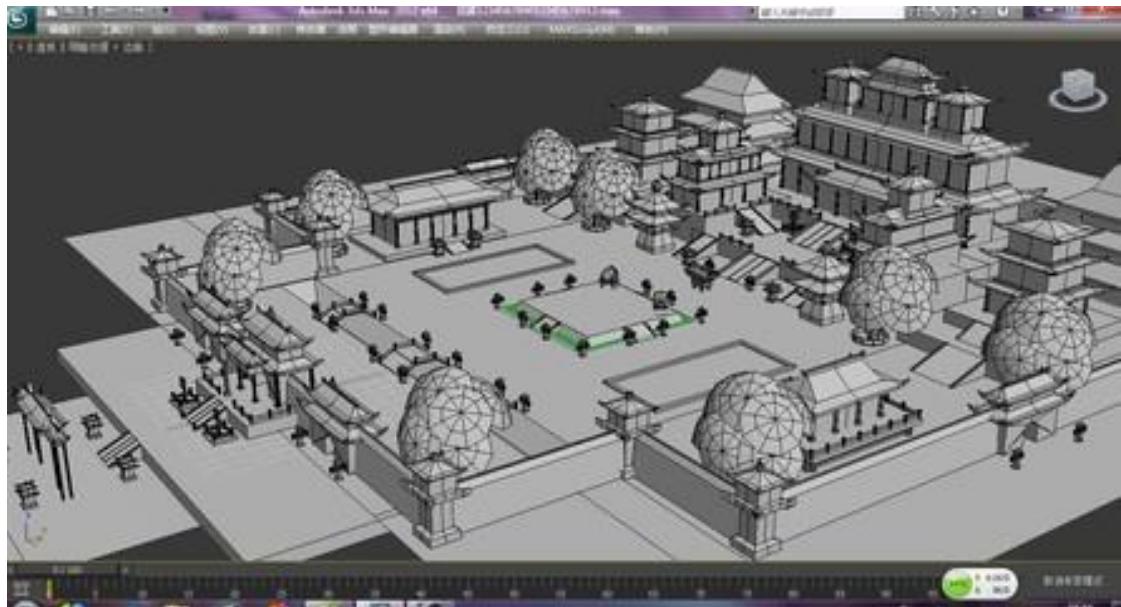
● 头发建模 (hair modeling)



● 水流模拟



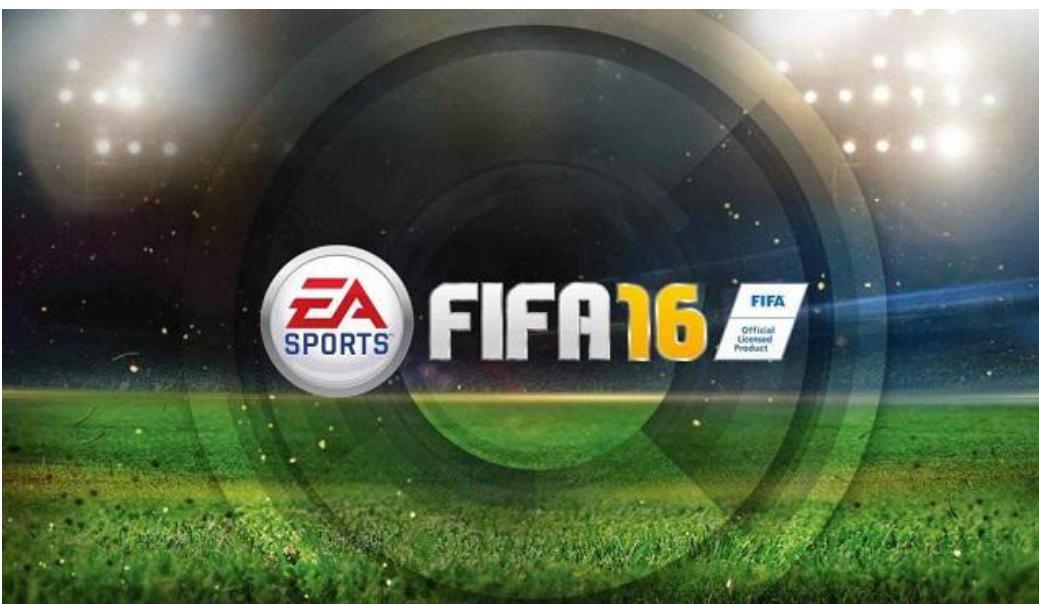
● 场景及人物建模



● 动画及电影制作



● 游戏



● 维基百科定义

- 计算机图形学（英语：computer graphics，缩写为CG）是研究计算机在硬件和软件的帮助下创建计算机图形的科学学科，是计算机科学的一个分支领域，主要关注数位合成与操作视觉的图形内容。虽然这个词通常被认为是指三维图形，事实上同时包括了二维图形以及影像处理。

● 其他定义

- 使用数学算法将二维或三维图形转化为计算机显示器的栅格形式的科学。简单地说，计算机图形学的主要研究内容就是研究如何在计算机中表示图形、以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。

——中科大刘利刚教授

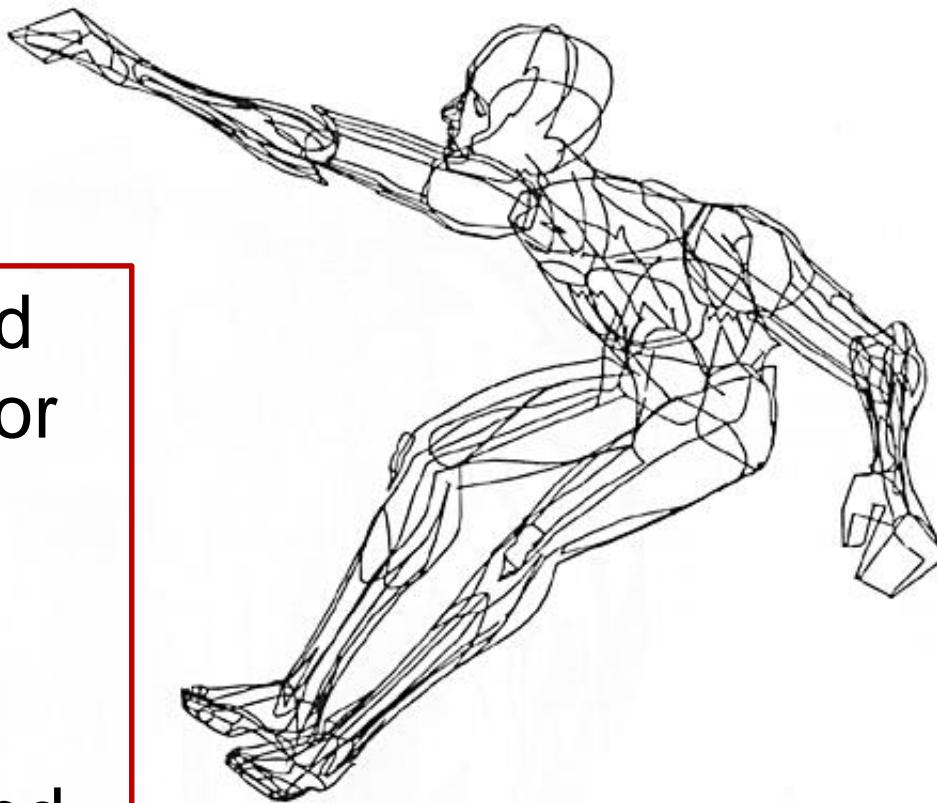
- 起源：波音公司设计师William Fetter

- 使用电脑辅助产品设计
- 最初用于飞机座舱工效学

“Perhaps the best way to define computer graphics is to find out what it is not. It is not a machine. It is not a computer, nor a group of computer programs. It is not the know-how of a graphic designer, a programmer, a writer, a motion picture specialist, or a reproduction specialist.

Computer graphics is all these – a consciously managed and documented technology directed toward **communicating information** accurately and descriptively.”

Computer Graphics, by William A. Fetter, 1966



● 计算机图形学

- 使用计算机将信息转换为图片
 - 如，三维模型、抽象概念/关系

● 图像处理

- 将图像处理成其他形式的图像或特征

● 计算机视觉

- 理解图像中的内容



- 课程介绍
- 计算机图形学应用举例
- 计算机图形学的基本任务
 - 建模、渲染、动画、交互
- 计算机图形学扩展
 - 可视化、设计



Examples in Graphics



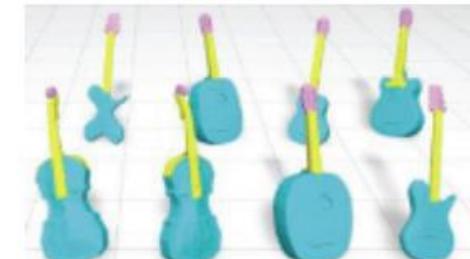
Sketch simplification



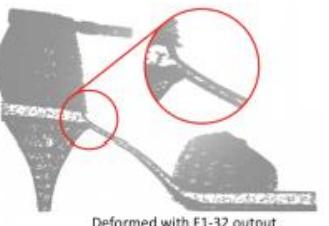
Colorization



Procedural modelling



Mesh segmentation



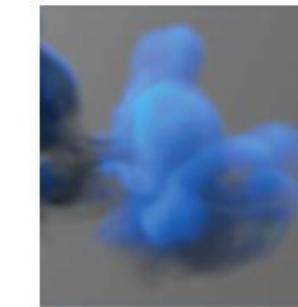
Learning deformations



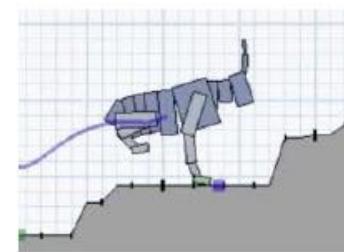
Real-time rendering



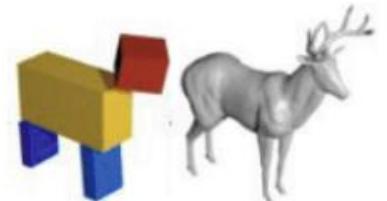
BRDF estimation



Fluid



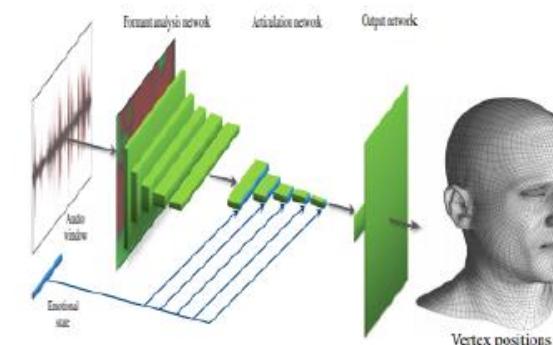
Animation



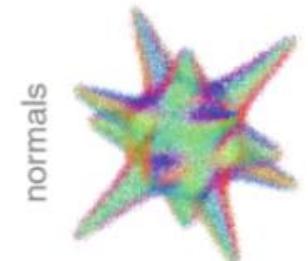
Boxification



Denoising



Facial animation



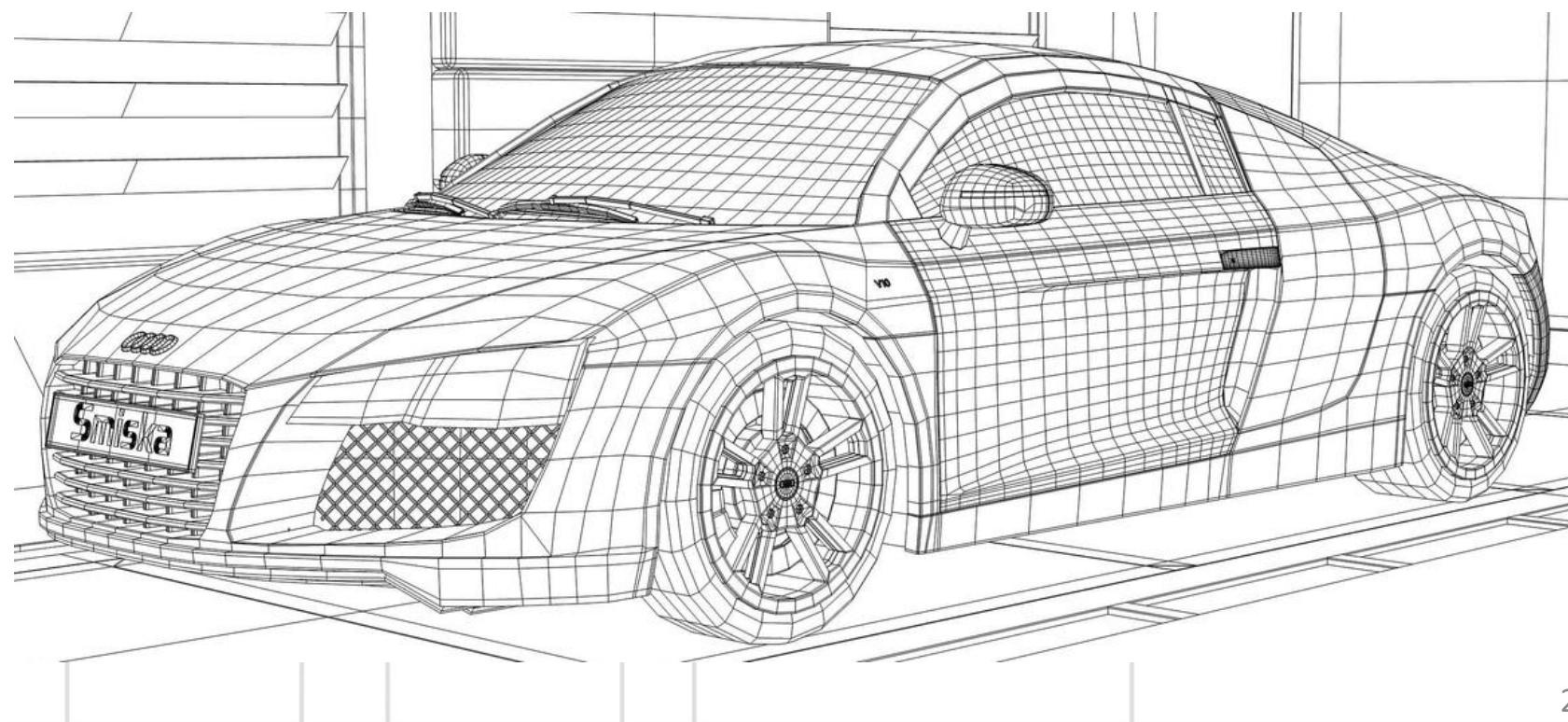
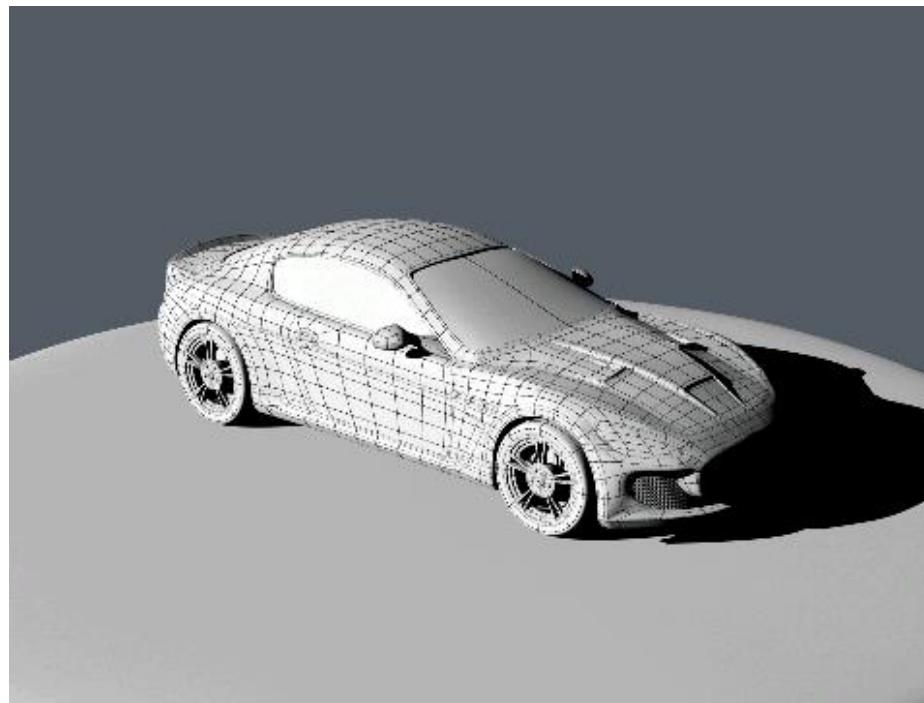
PCD processing

- 建模 (modeling)
 - 如何在计算机中表示三维物体及场景?
- 渲染 (rendering)
 - 如何将三维几何模型绘制出来，产生赏心悦目的图像?
- 动画 (animation)
 - 如何描述物体随时间而产生的变化?
- 人机交互 (human-computer interaction, HCI)
 - 如何通过交互让计算机执行用户所希望完成的任务?



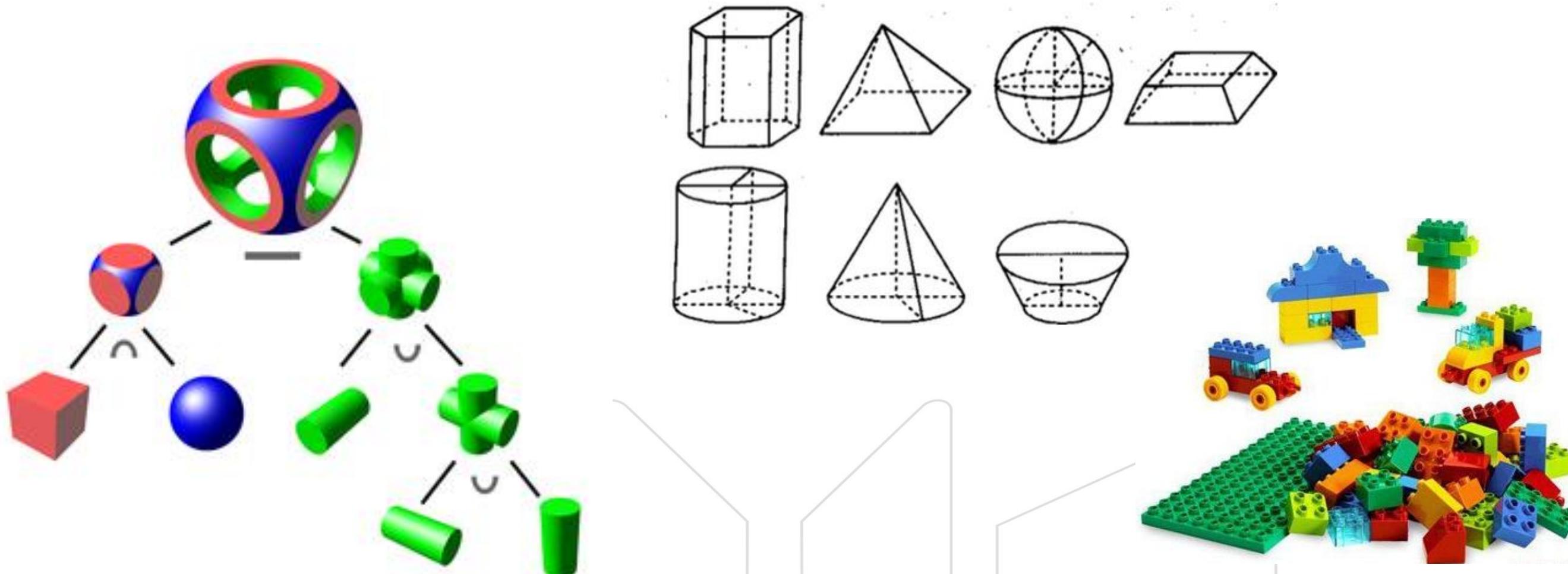
- 表示三维物体或场景

- 形状——物体的几何特征
- 外观——如，物体的材质
 - 对光的反射、折射等特性



- 表示三维物体的形状

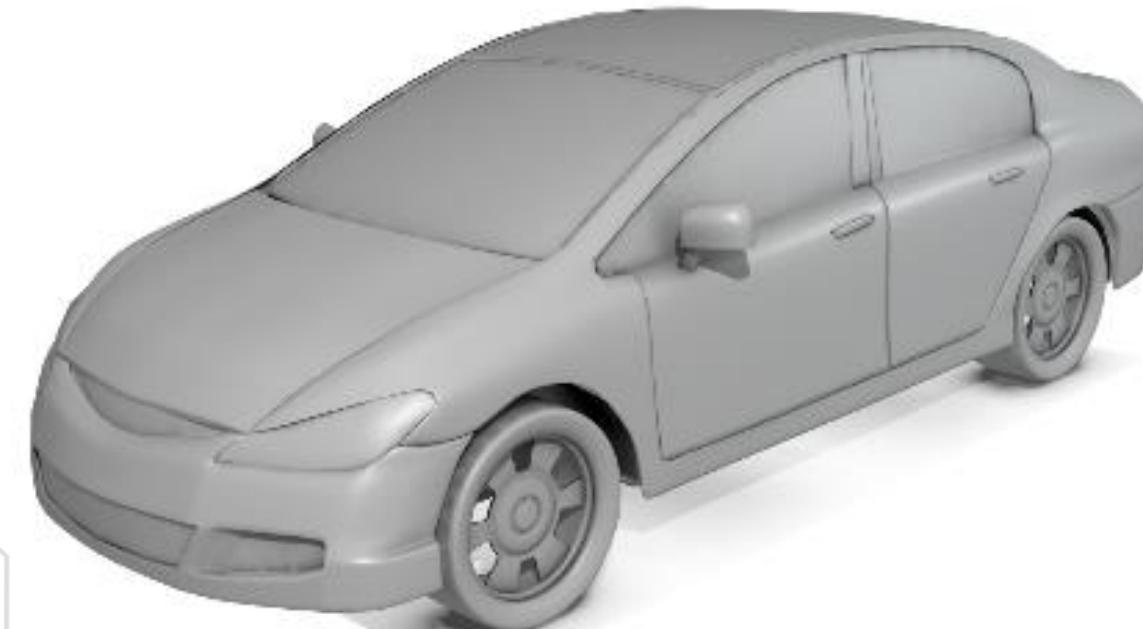
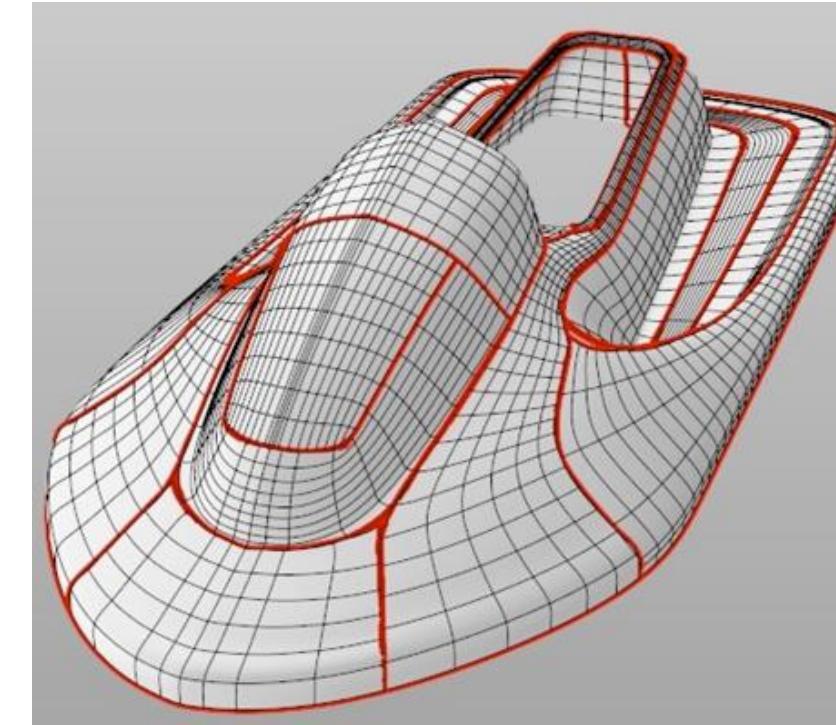
- 构造实体几何 (constructive solid geometry, CSG)
 - 对体素进行几何运算得到新的形体



- 表示三维物体的形状

- 样条曲线曲面

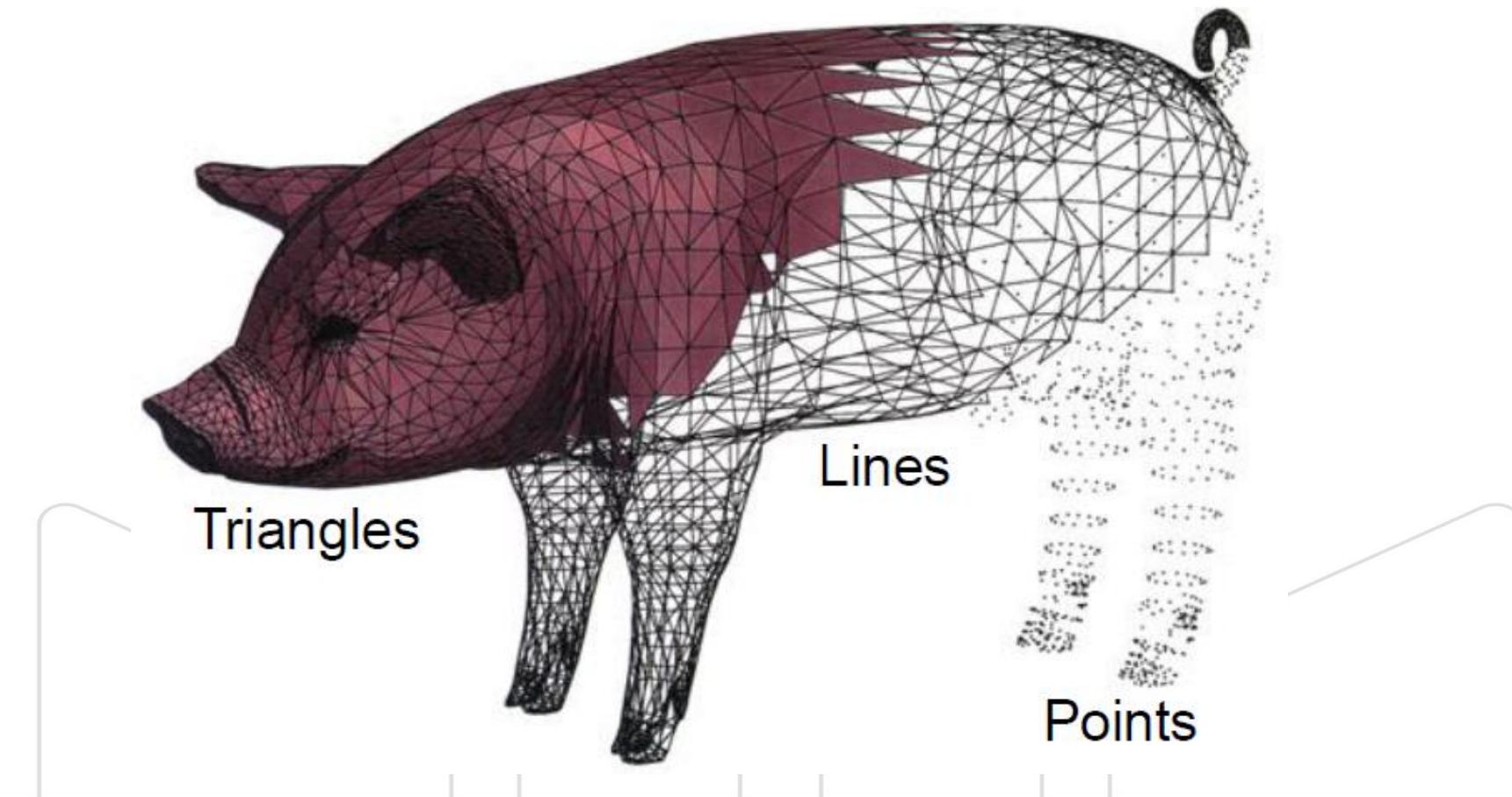
- 工业造型标准
 - STEP, IGES文件等



- 表示三维物体的形状

- 网格 (mesh)

- 记录点的坐标 (x, y, z) 及其连接
 - 连续曲面的分片近似



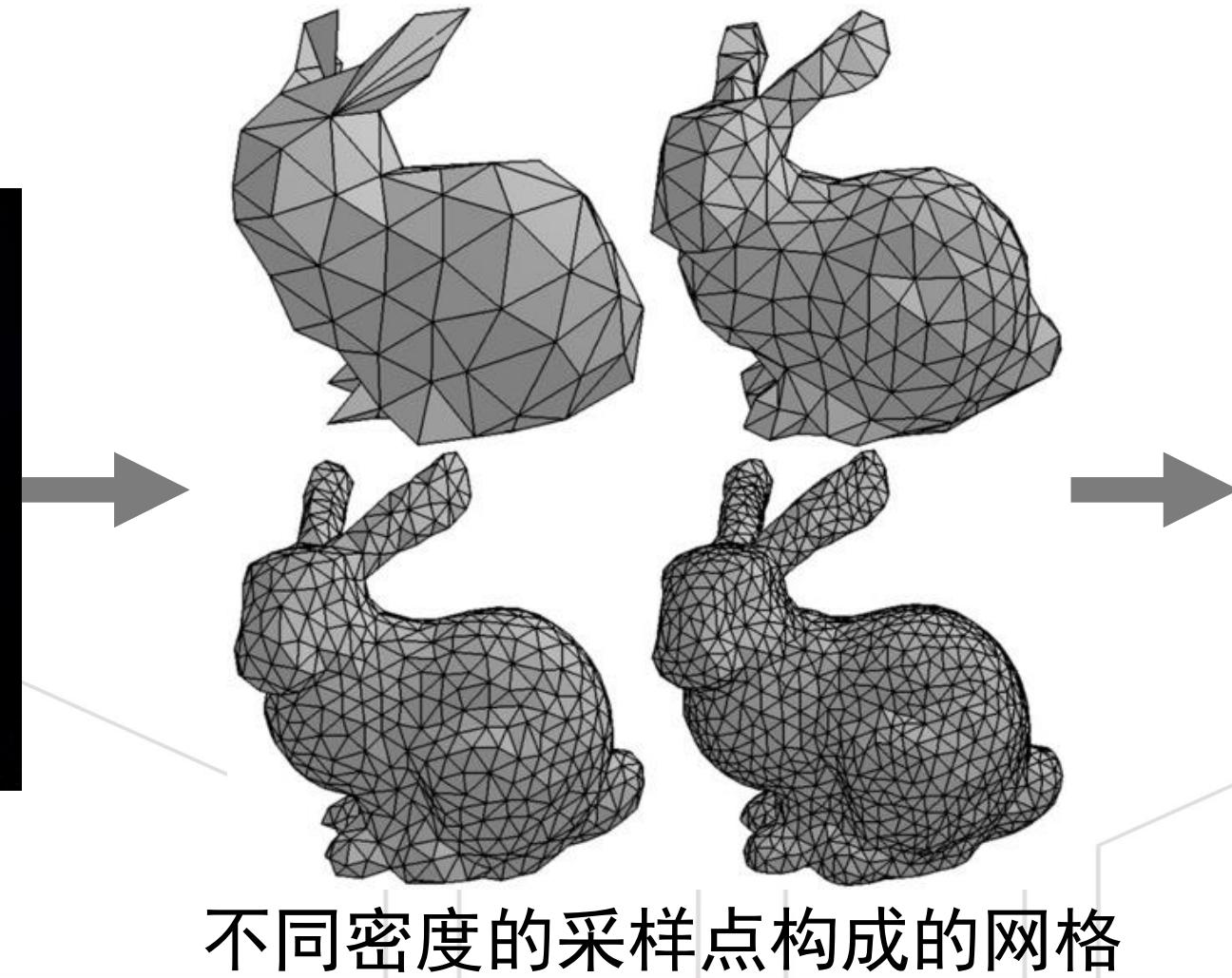
- 表示三维物体的形状

- 网格 (mesh)

- Stanford bunny: 1994年由Greg Turk及Marc Levoy创建

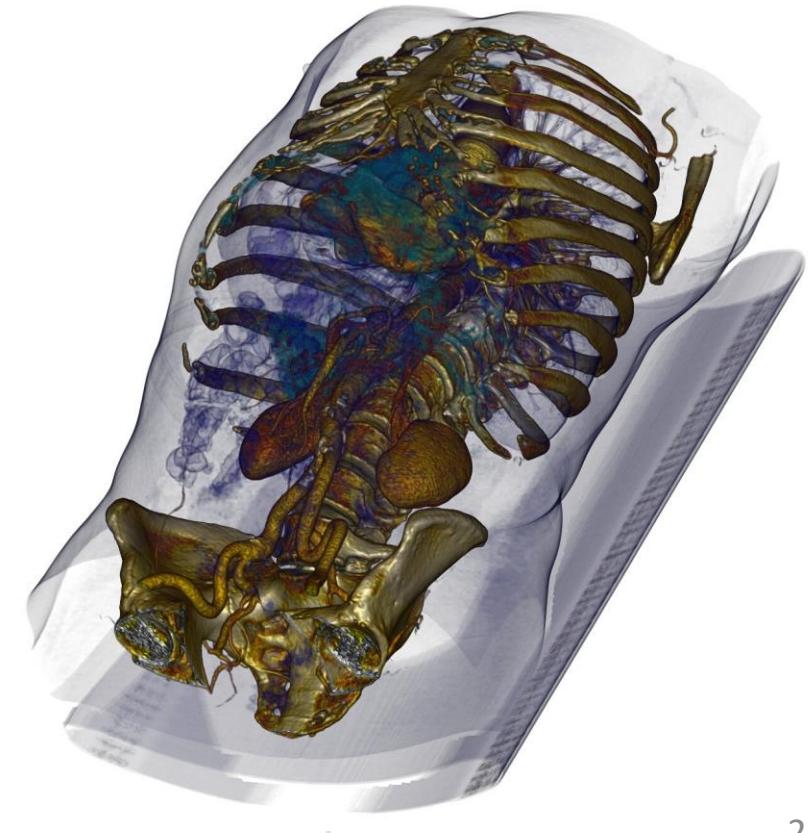
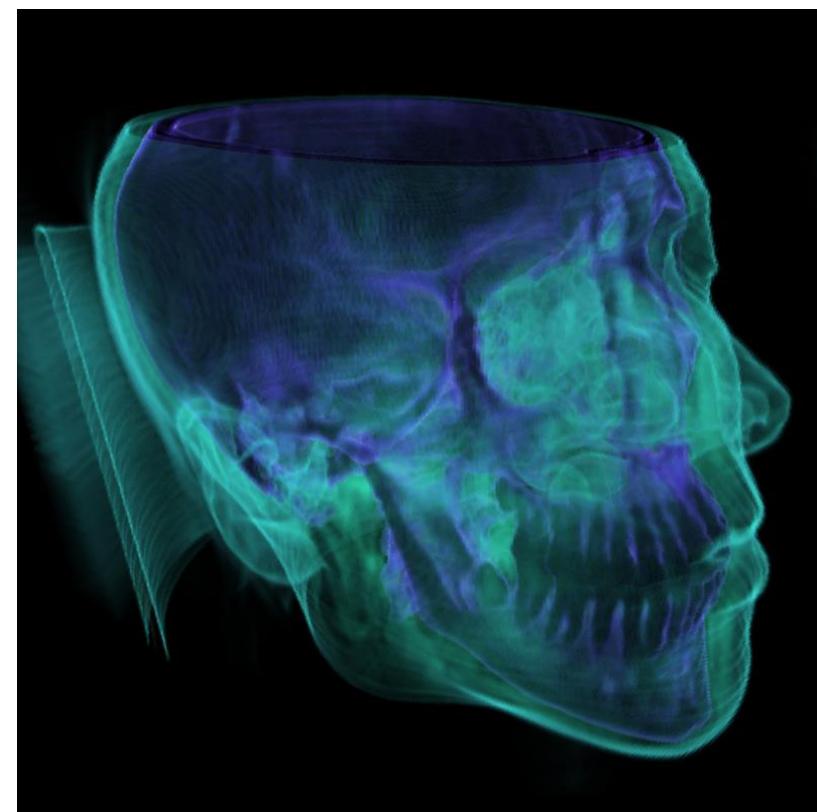
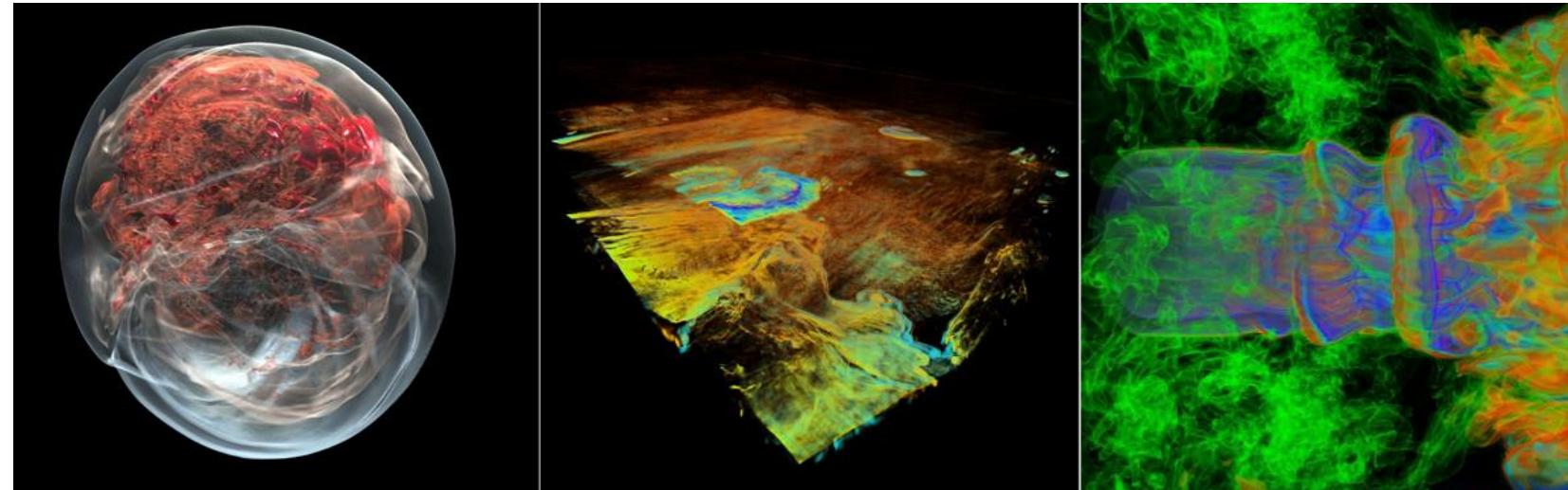
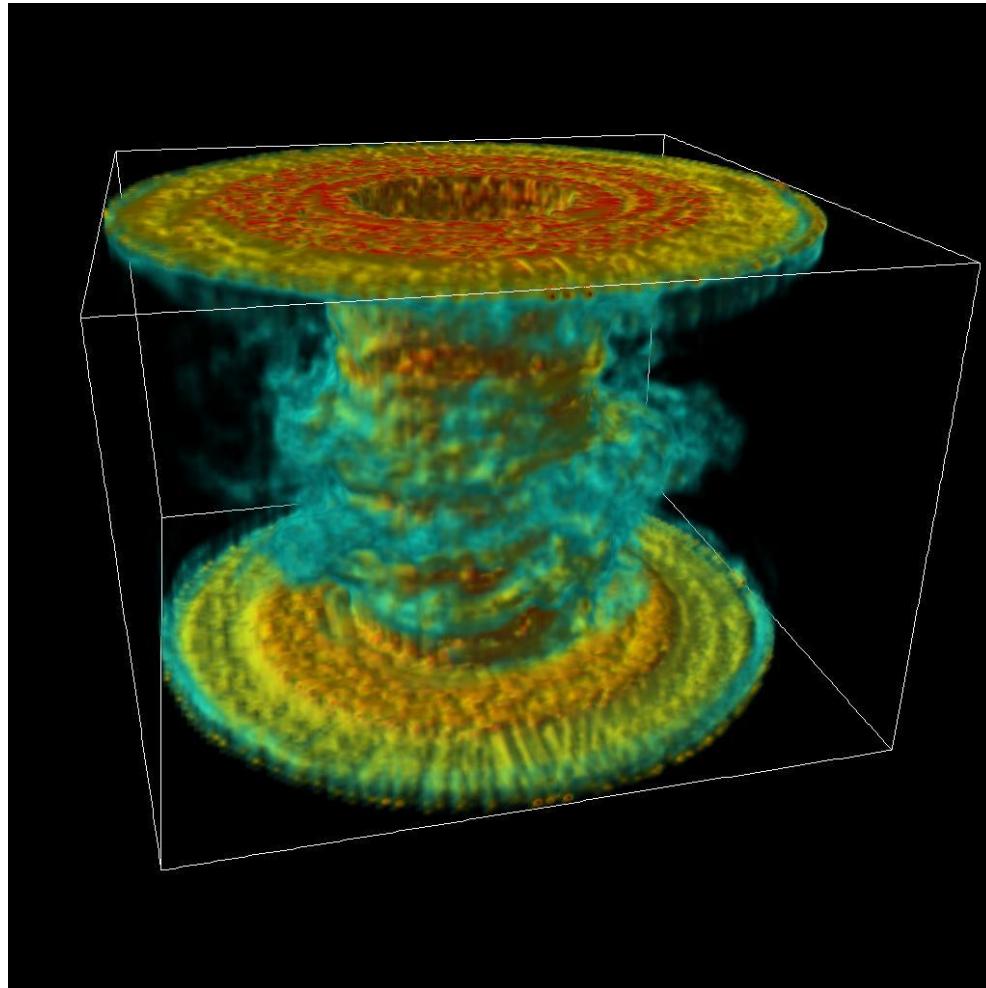


陶瓷兔子实物

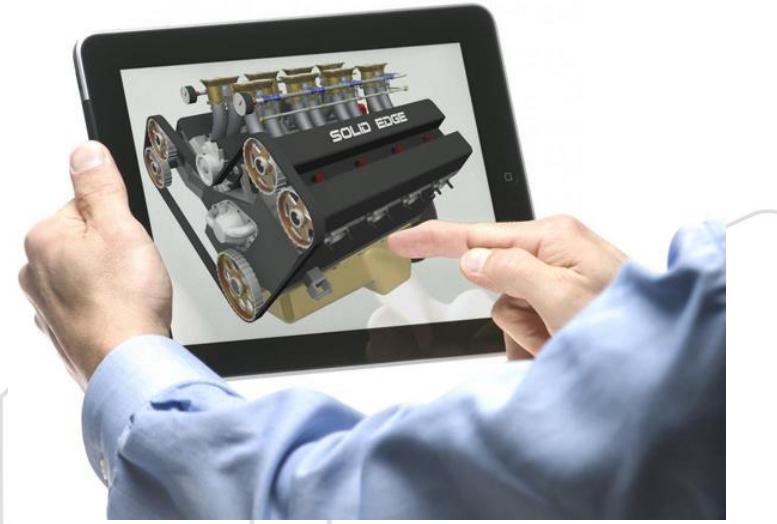


渲染图像

- 表示三维物体的形状
 - 体数据 (volume)
 - 常用来表示标量场



- 构建三维模型
 - 利用软件手工建模



- 构建三维模型

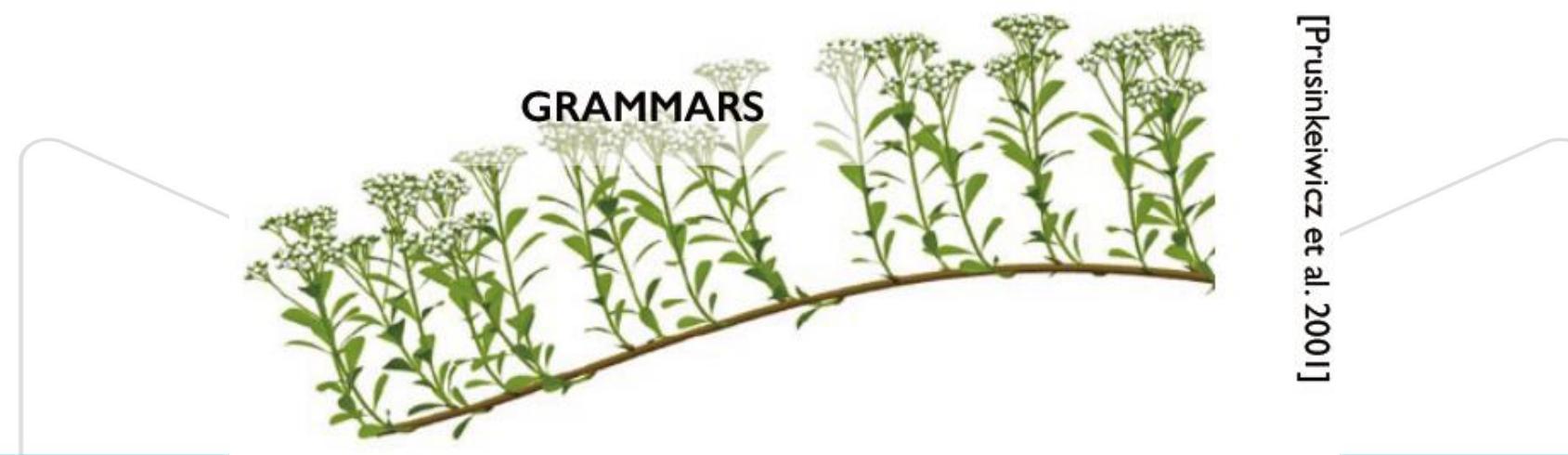
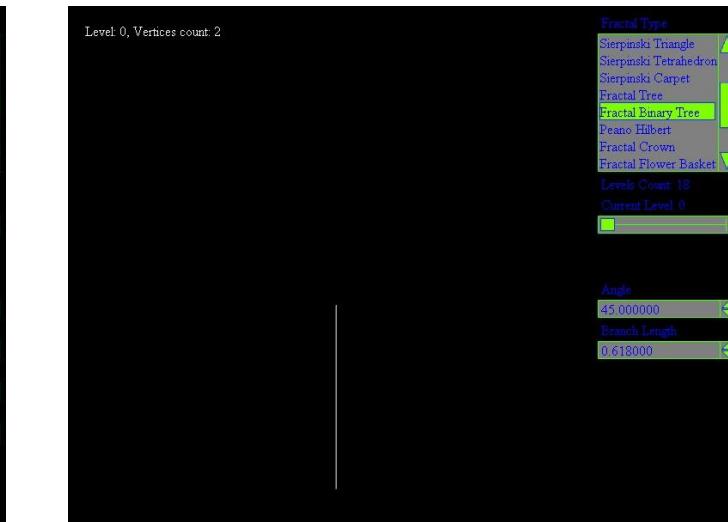
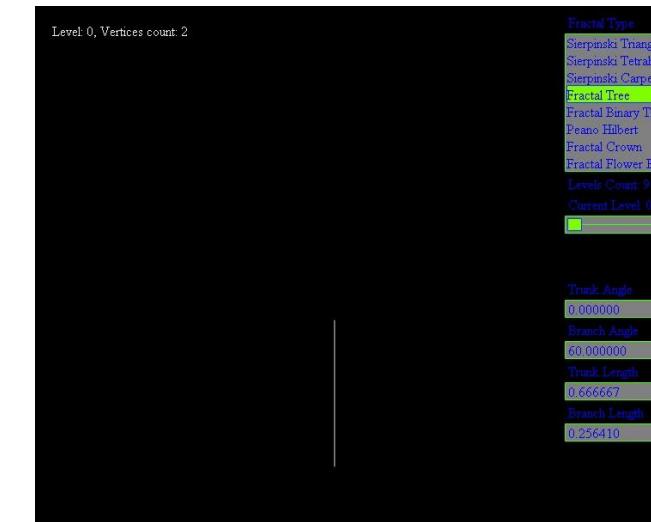
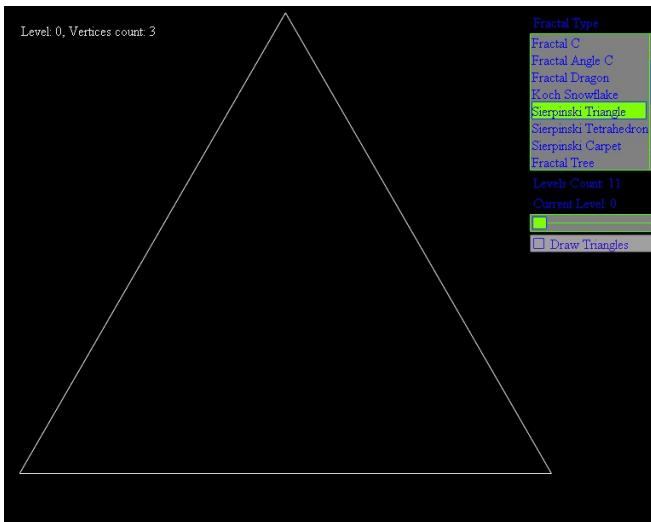
- 利用软件手工建模



● 构建三维模型

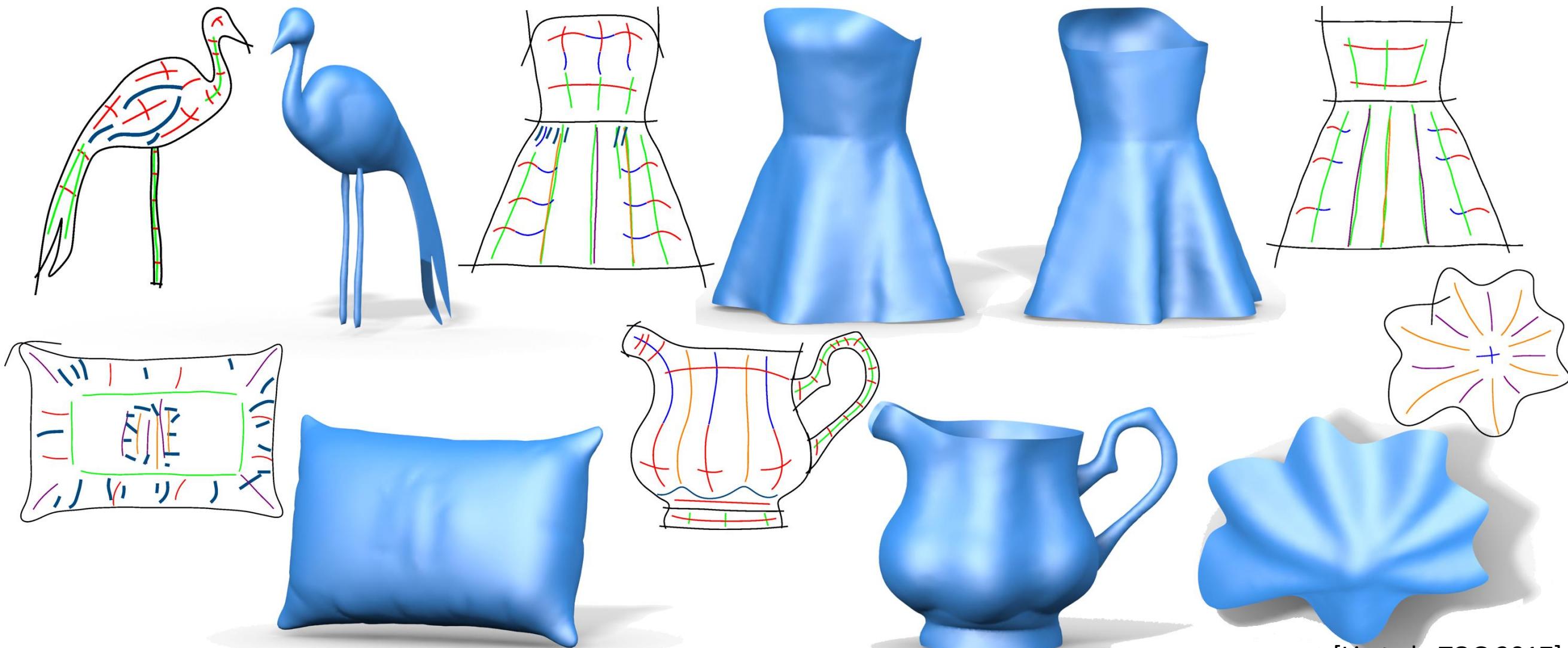
- 过程式 (procedurally) 建模

- 基于语法及规则，适合具有重复特征和结构化的几何物体（树木等）



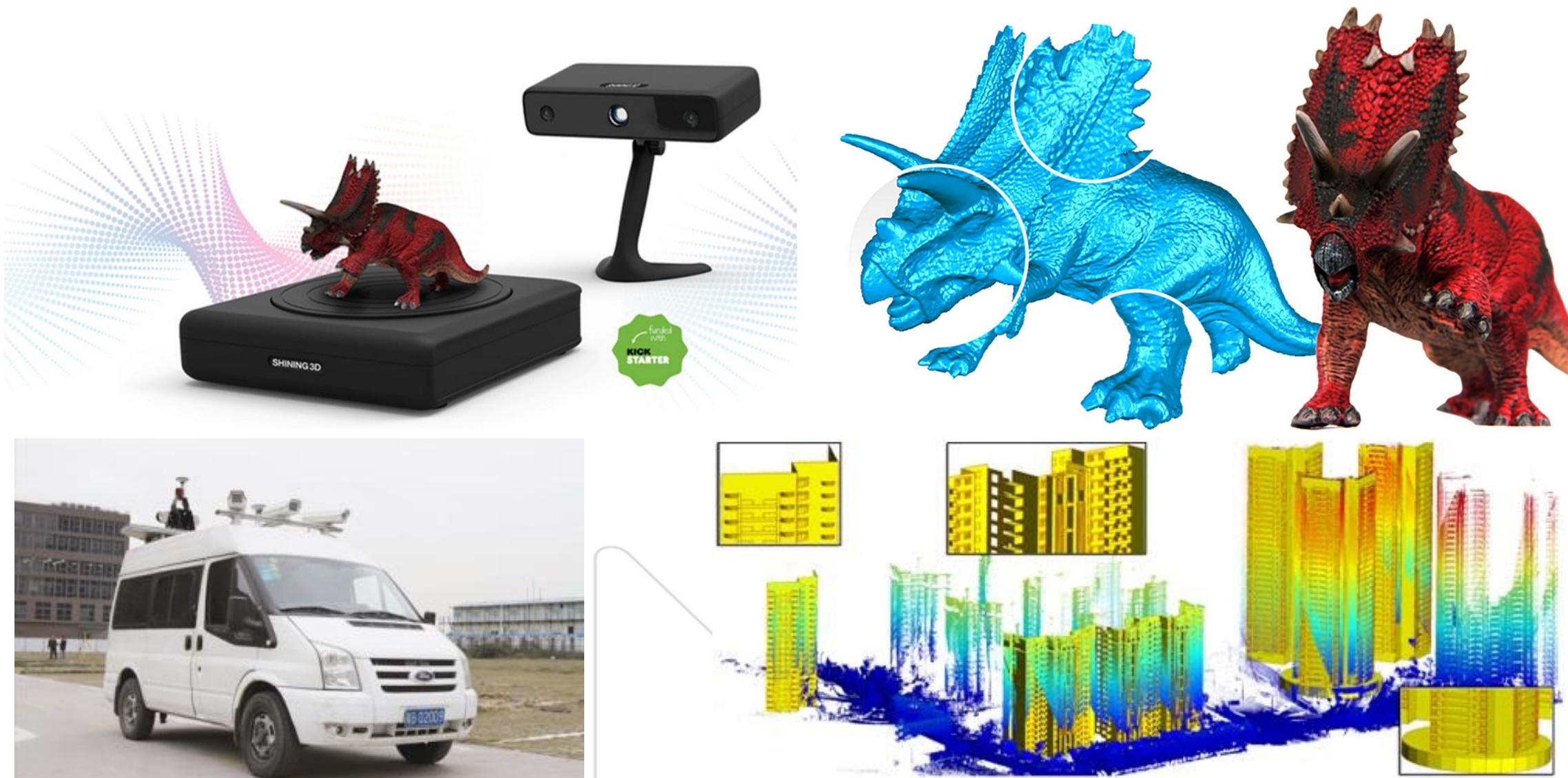
● 构建三维模型

- 基于草图的交互式三维建模方法



● 构建三维模型

– 通过对物体的三维扫描



● 构建三维模型

– 来自2013年4月9日走进科学报道陈宝权教授团队工作



● 构建三维模型

– 恢复损毁建筑物：巴黎圣母院灾后重建

- MIT Technology Review: this digital scan of Notre Dame offers hope for its restoration after the fire

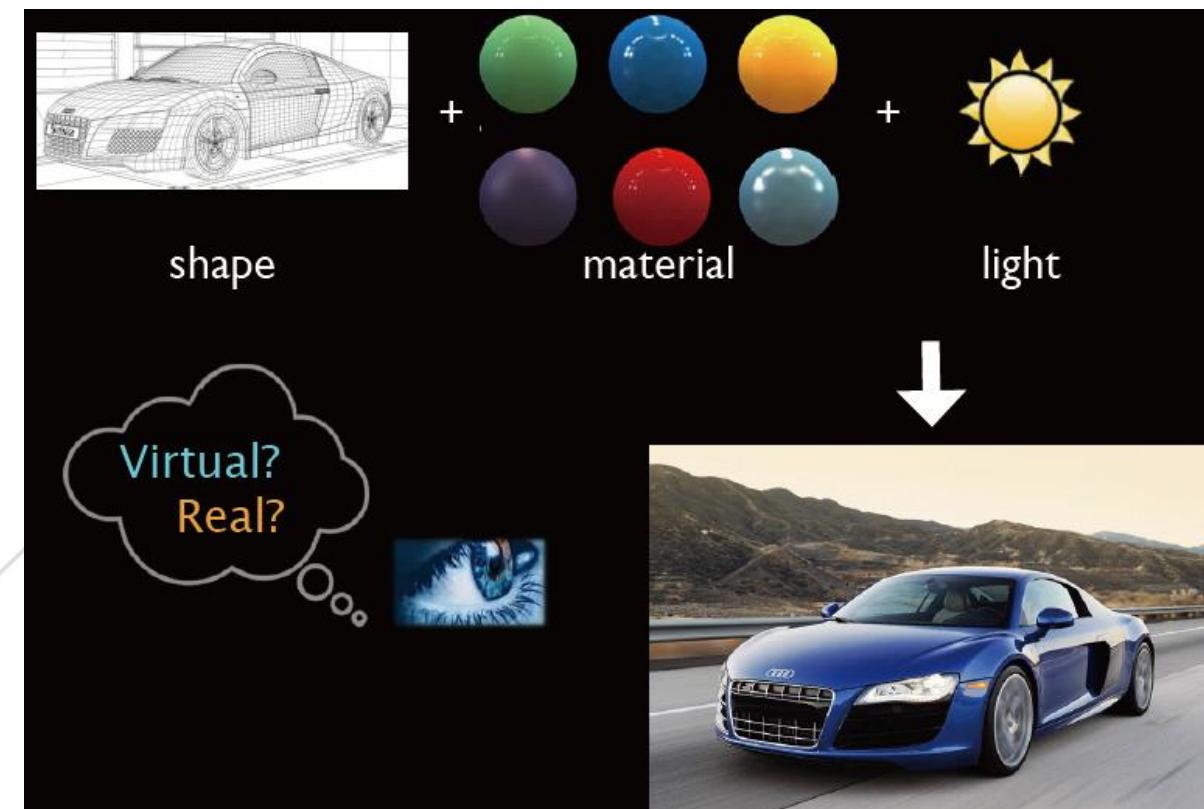
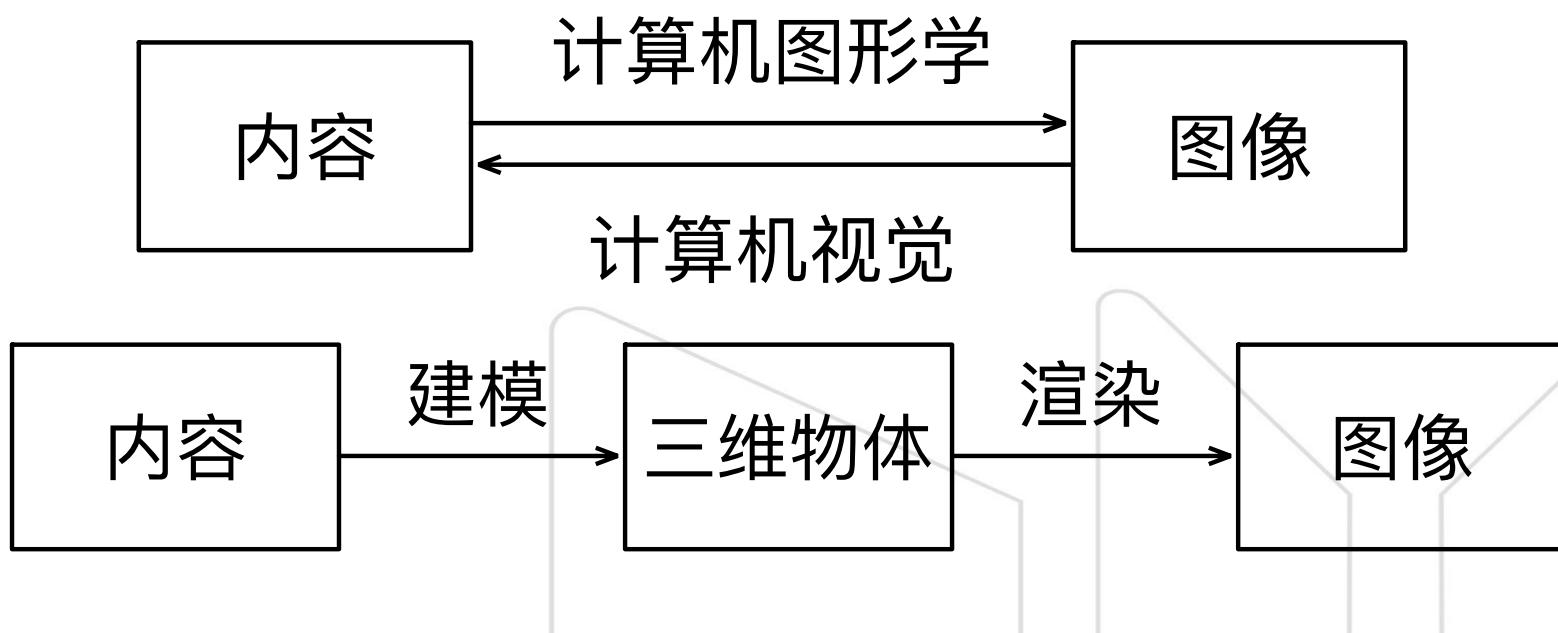


- 建模 (modeling)
 - 如何在计算机中表示三维物体及场景?
- 渲染 (rendering)
 - 如何将三维几何模型绘制出来，产生赏心悦目的图像?
- 动画 (animation)
 - 如何描述物体随时间而产生的变化?
- 人机交互 (human-computer interaction, HCI)
 - 如何通过交互让计算机执行用户所希望完成的任务?



● 从三维模型到二维图像

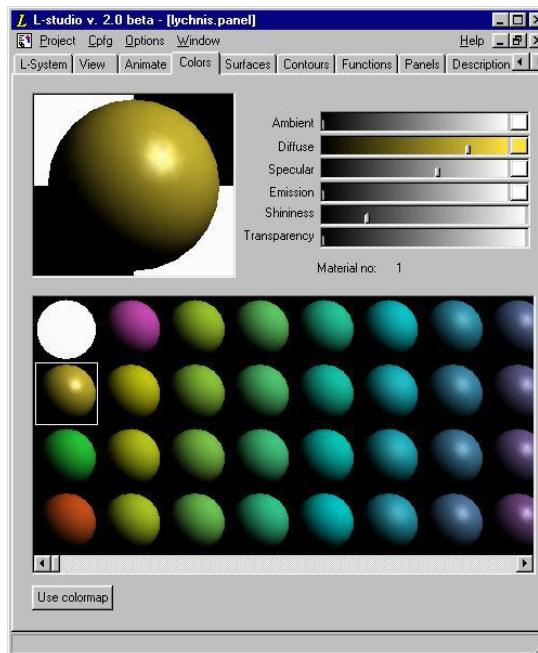
- 输入：三维物体（形状，材质，等）
- 输出：图像（二维RGB数组）
- 使用显卡加速（众核并行）
- 标准化API（OpenGL, DirectX）



● 渲染目标

- 真实感 (photorealistic)
- 实时 (interactive)
- 非真实 (nonphotorealistic/artistic)

材质



暗

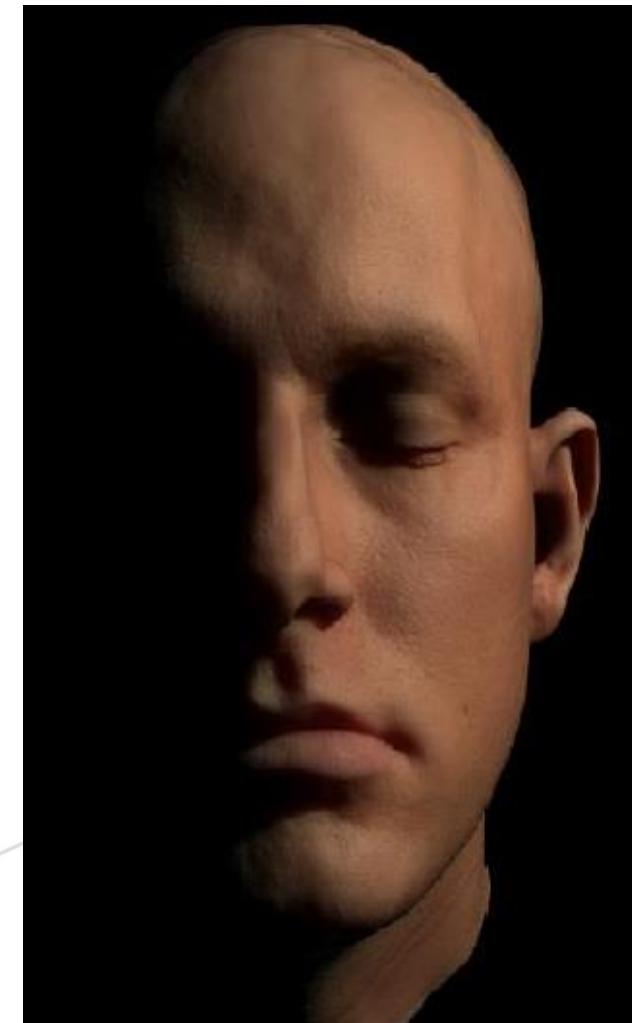
亮

环境：光



● 真实感 (photorealistic) 渲染

- 基于物理模拟 (光、相机等条件)
- 阴影，真实的照明，多个光源
- 如，电影特效等



- 真实感 (photorealistic) 渲染
 - GODZILLA – 视觉效果分解



Godzilla
VFX Breakdown

● 真实感 (photorealistic) 渲染

- 渲染开销往往十分巨大

- 难以实时完成，多用于产生高质量的视频或电影
- 在Monsters University (2013) 电影中，使用一台24,000核的render farm产生一帧动画需要29小时！



Monsters University



Render farm

- 真实感 (photorealistic) 渲染
 - 渲染开销往往十分巨大



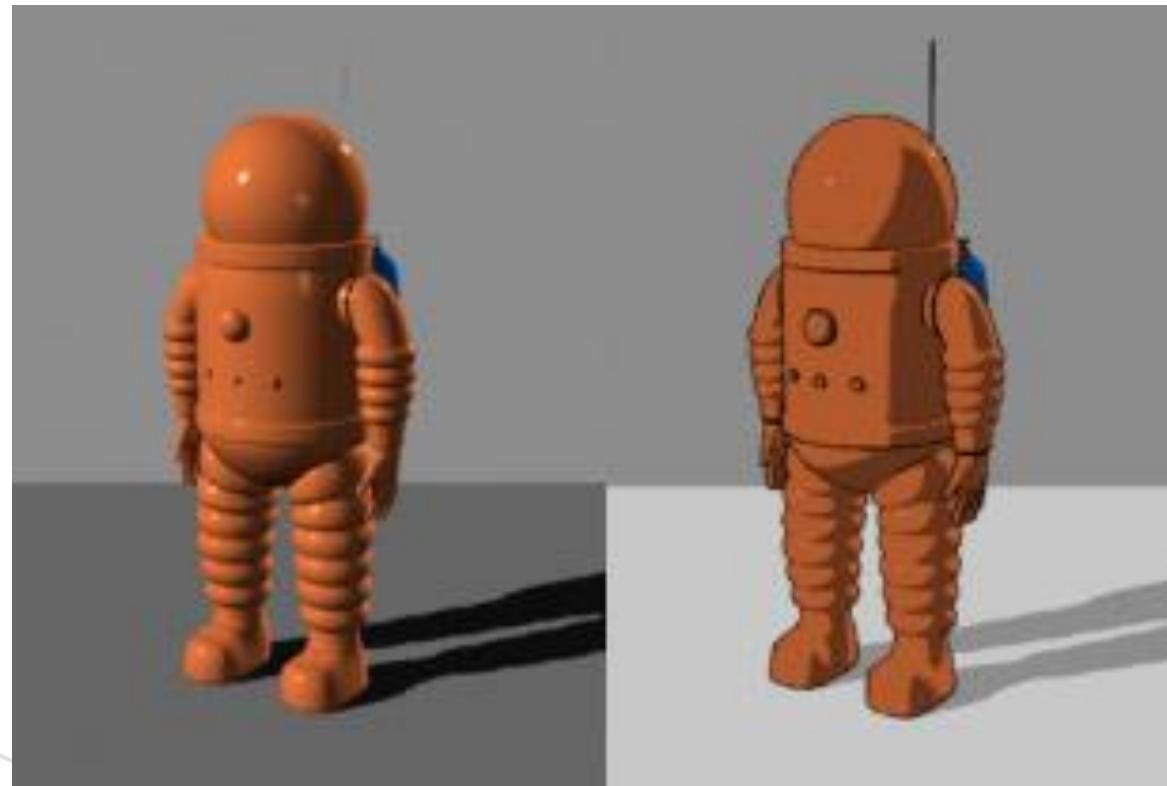
- 实时 (interactive) 渲染

- 在数毫秒乃至微秒内产生图像
- 通常目标为 “尽可能真实”
- Hard shadow, fake soft shadow, 单光源
- 常用于游戏



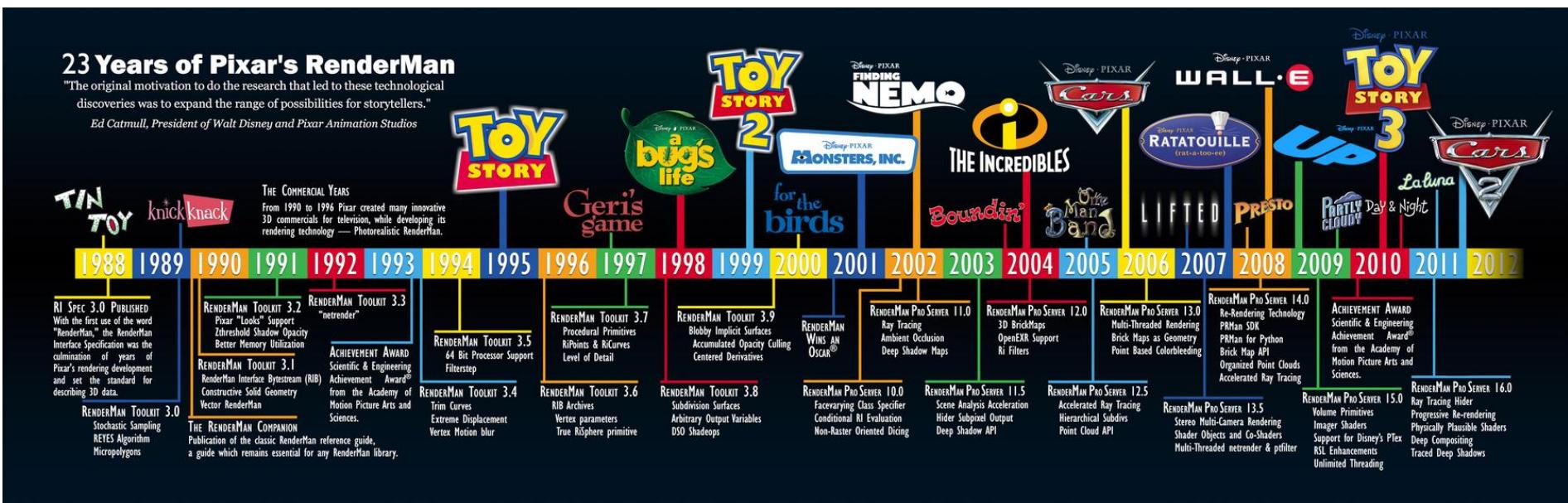
- 非真实感 (non-photorealistic/artistic) 渲染

- 风格化
- 如艺术作品和示意图等



● 渲染软件

– Pixar's RenderMan



- 渲染软件

- Pixar's RenderMan

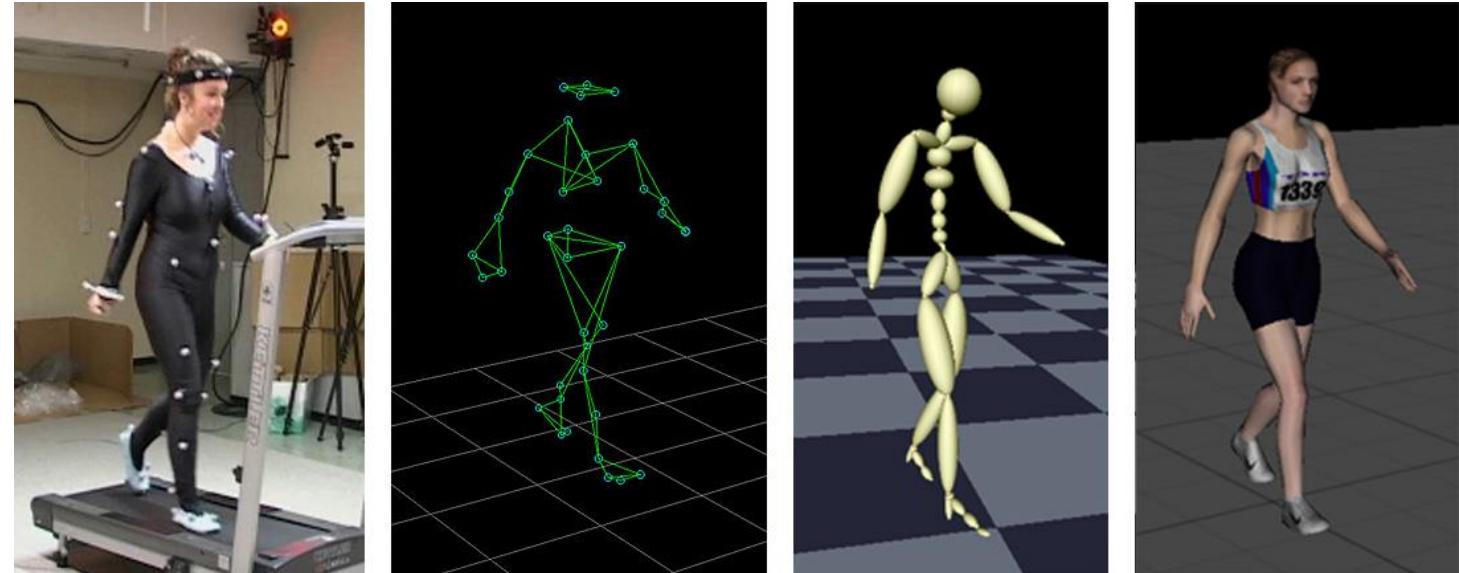


- 建模 (modeling)
 - 如何在计算机中表示三维物体及场景?
- 渲染 (rendering)
 - 如何将三维几何模型绘制出来，产生赏心悦目的图像?
- 动画 (animation)
 - 如何描述物体随时间而产生的变化?
- 人机交互 (human-computer interaction, HCI)
 - 如何通过交互让计算机执行用户所希望完成的任务?

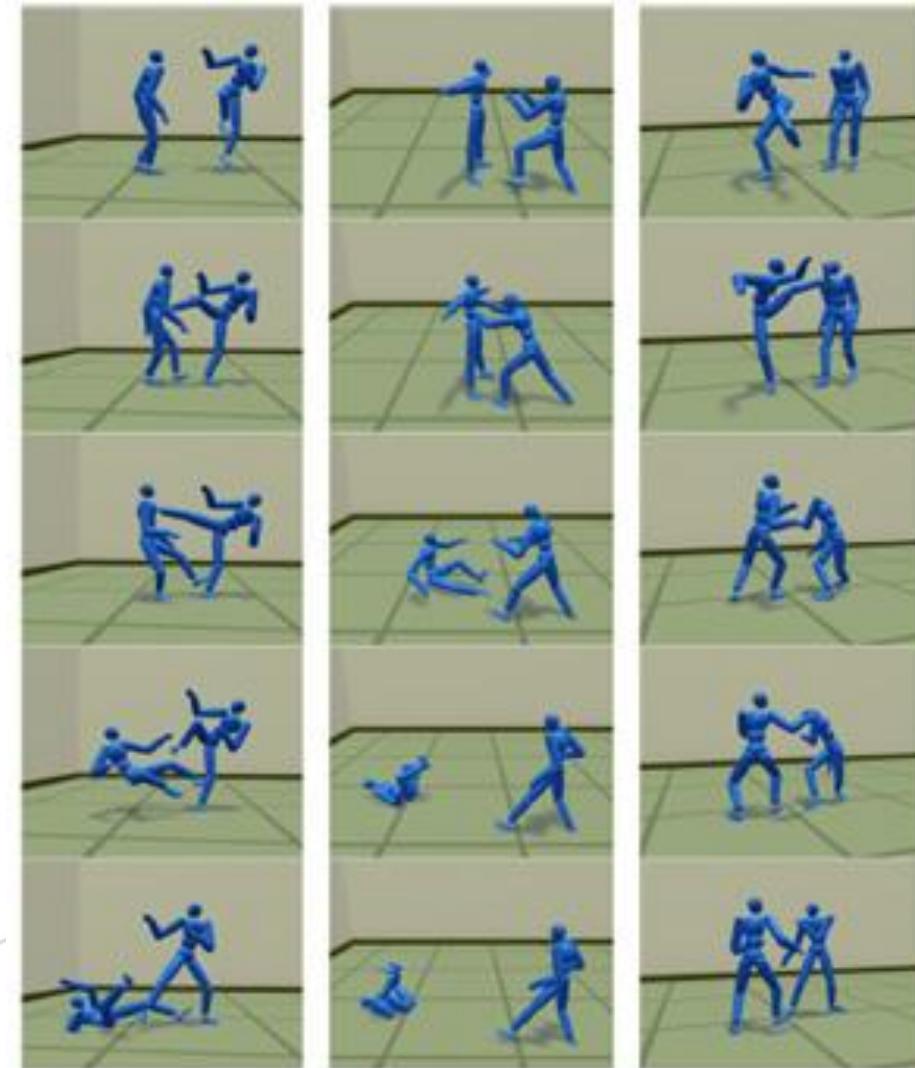
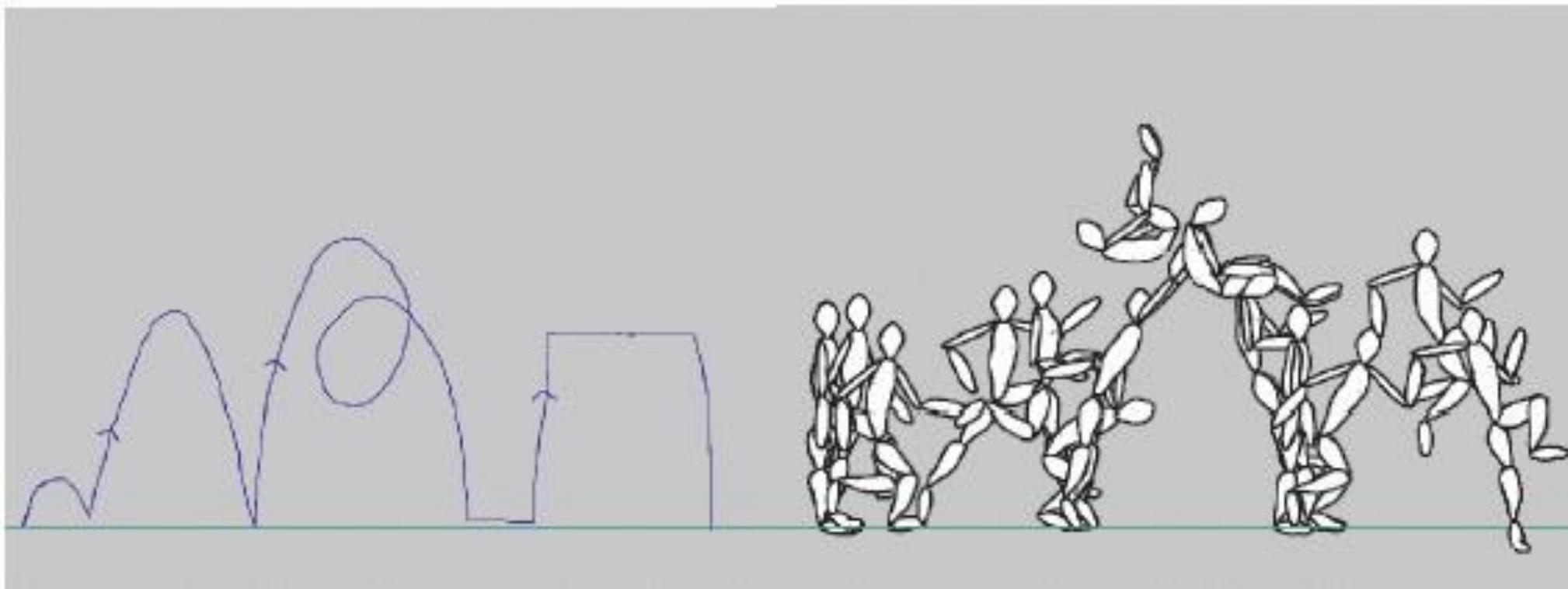


● 使几何模型移动或形变

- 物体动作的表示
 - 位置, 角度随时间的变化
- 产生/控制动作
 - 手动产生, 添加关键帧信息
 - 行为模拟
 - 物理模拟
 - 动作捕捉 (motion capture)



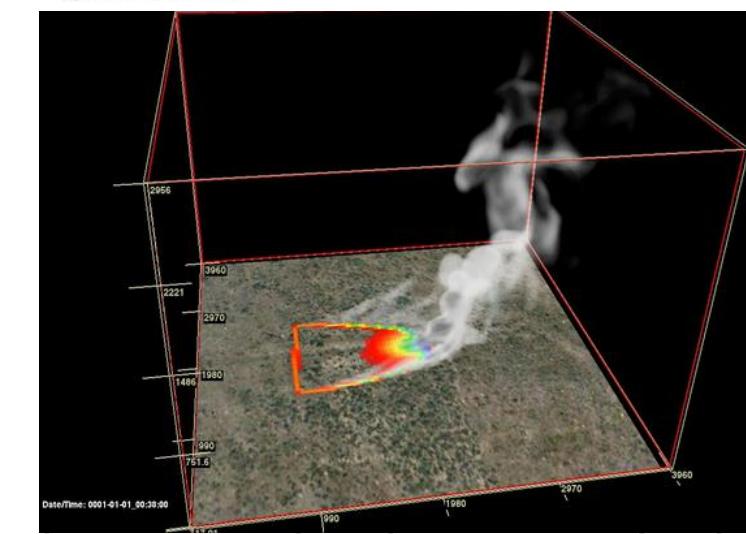
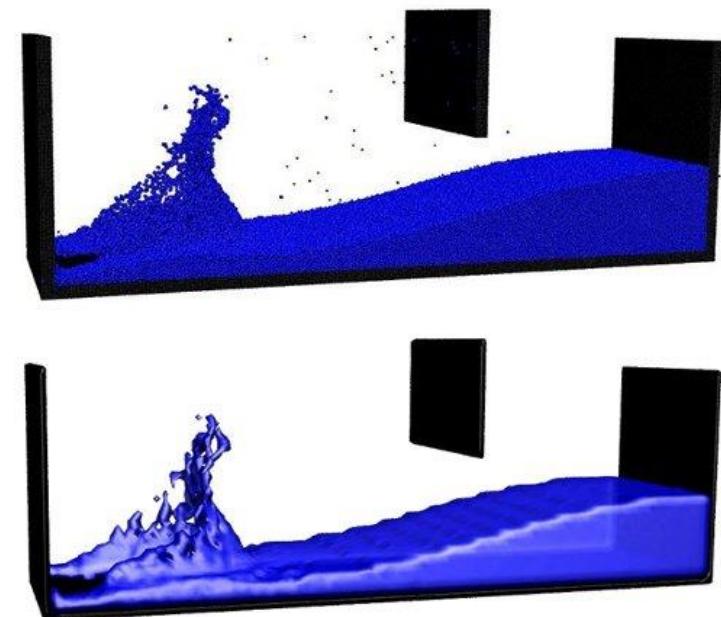
- 使几何模型移动或形变
 - 对帧与状态进行插值



- 使几何模型移动或形变
 - 对几何模型进行形变或编辑



- 使几何模型移动或形变
 - 物理模拟



- 建模 (modeling)
 - 如何在计算机中表示三维物体及场景?
- 渲染 (rendering)
 - 如何将三维几何模型绘制出来，产生赏心悦目的图像?
- 动画 (animation)
 - 如何描述物体随时间而产生的变化?
- 人机交互 (human-computer interaction, HCI)
 - 如何通过交互让计算机执行用户所希望完成的任务?



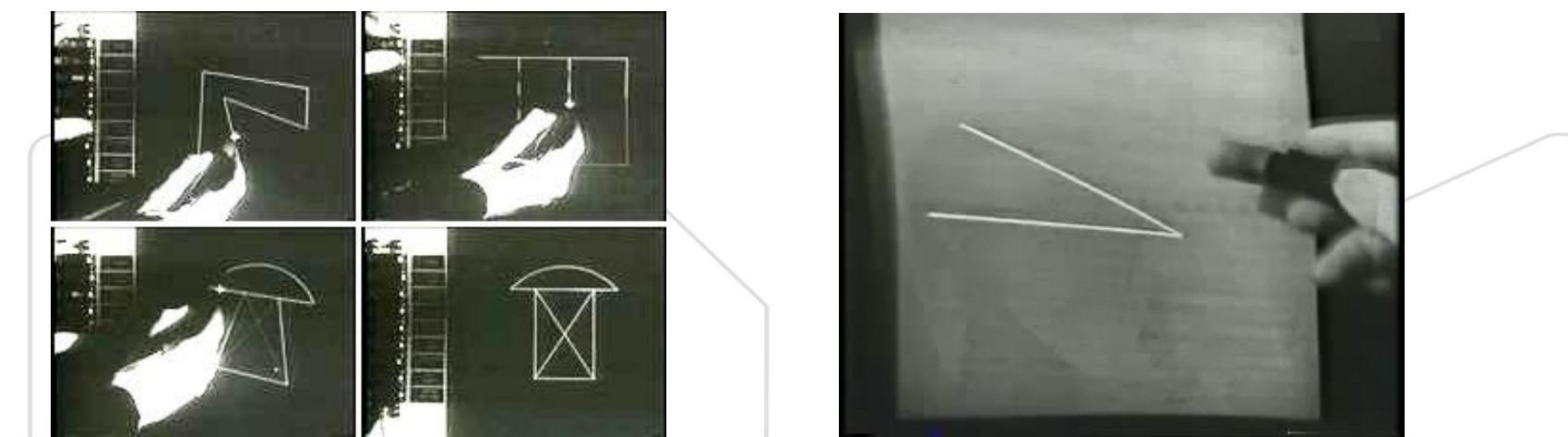
- 用户控制物体的内容，结构，外观以及绘制的图像并产生快速的视觉反馈
- 交互式图形系统的基本组件
 - 输入设备：鼠标、手绘笔、多点触控，等
 - 处理（及存储）设备
 - 输出设备：屏幕、打印机，等
- 第一个真正意义上的交互式计算机图形系统为Sketchpad
 - 1963年由Ivan Sutherland在其博士论文 *Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System*中提出
 - 运行于麻省理工学院的Lincoln TX-2计算机上
 - 1988年Ivan Sutherland凭此获得图灵奖



● 第一个真正意义上的交互式计算机图形系统为Sketchpad

- 1963年由Ivan Sutherland在其博士论文 *Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System* 中提出
- 其博士论文中的第一段已经指出交互系统中所需的几乎所有要素

The Sketchpad system uses drawing as a novel communication medium for a computer. The system contains input, output, and computation programs which it to interpret information drawn directly on a computer display. Sketchpad has shown the most usefulness enables an aid to the understanding of processes, such as the motion of linkages, which can be described with pictures. Sketchpad also makes it easy to draw highly repetitive or highly accurate drawings and to change drawings previously drawn with it...

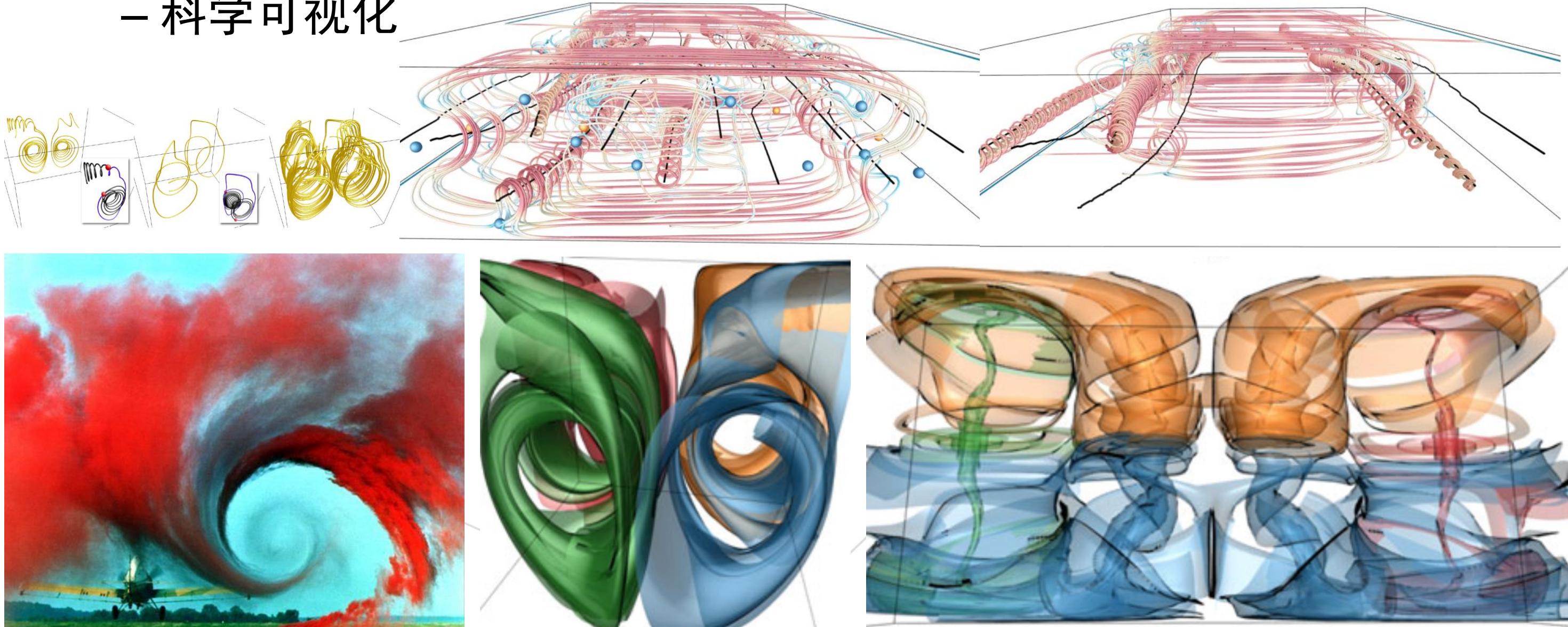


- 课程介绍
- 计算机图形学应用举例
- 计算机图形学的基本任务
 - 建模、渲染、动画、交互
- 计算机图形学扩展
 - 可视化、设计

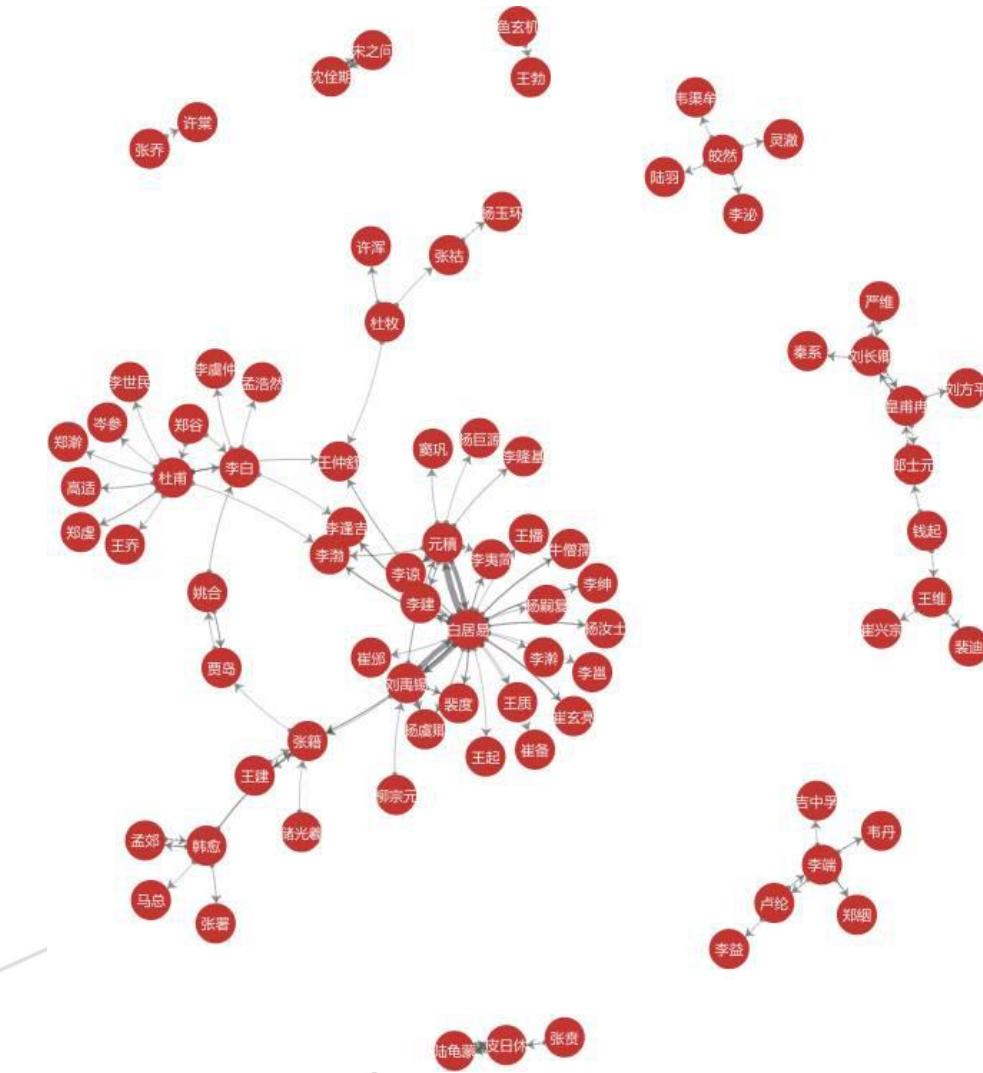


- 可视化是计算机图形学中的一个分支

- 科学可视化



- 可视化是计算机图形学中的一个分支
 - 信息可视化

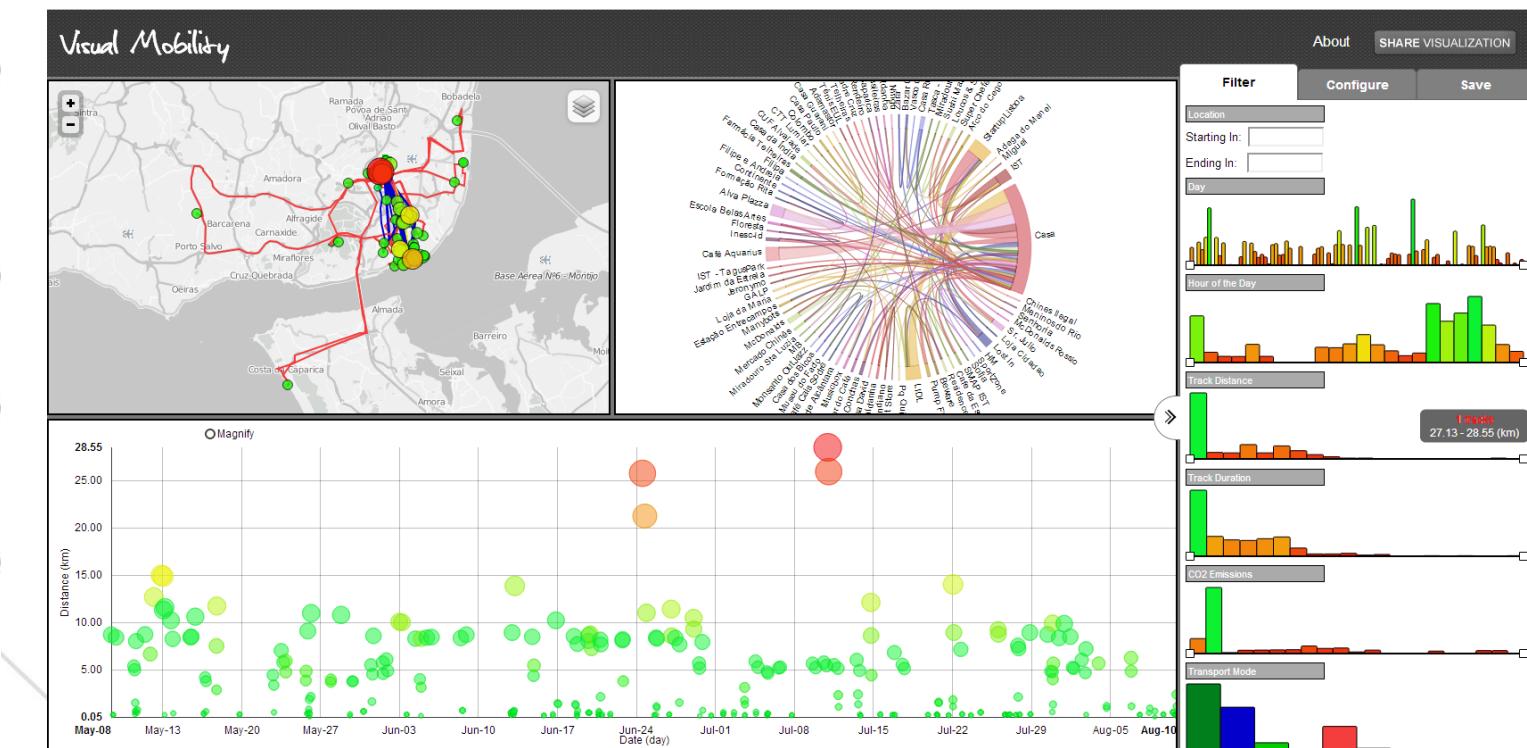
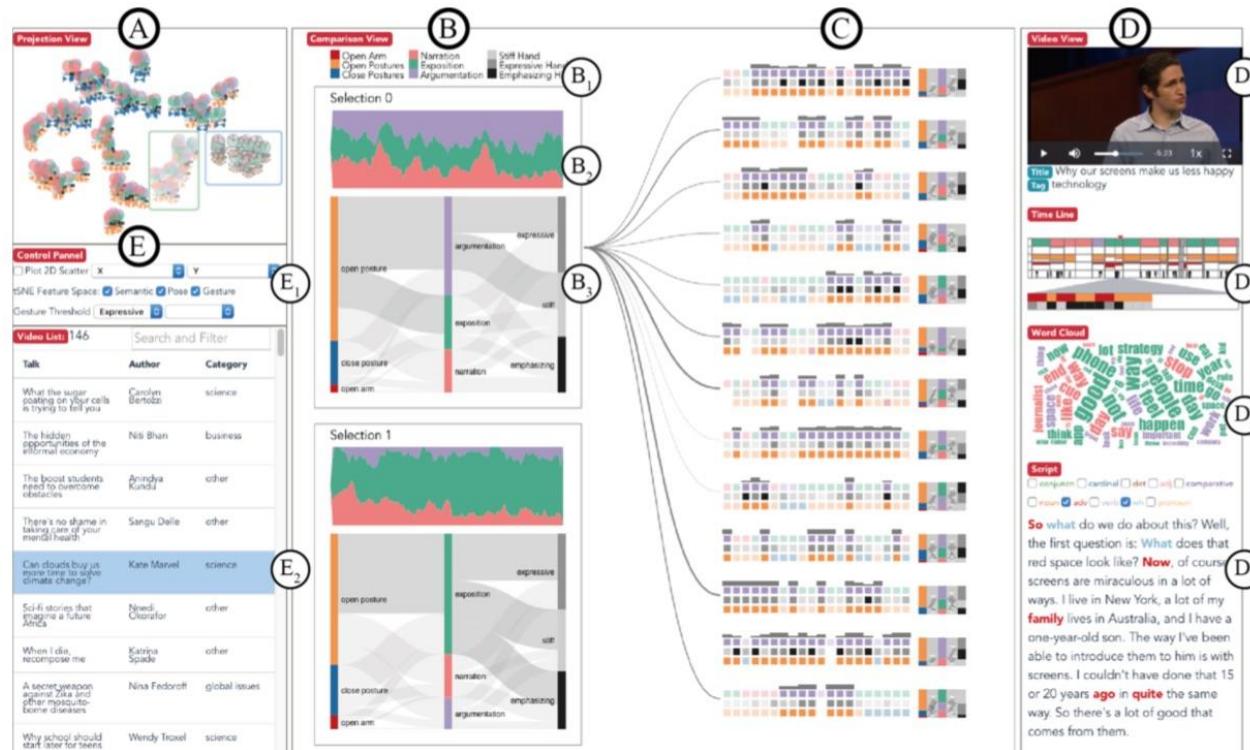


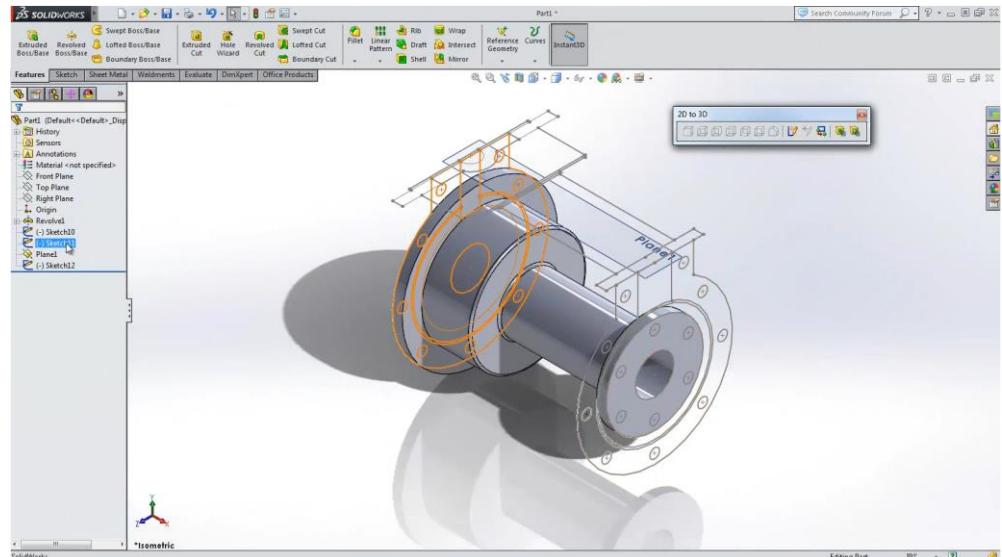
全唐诗人关系网

- 可视化是计算机图形学中的一个分支

- 可视分析

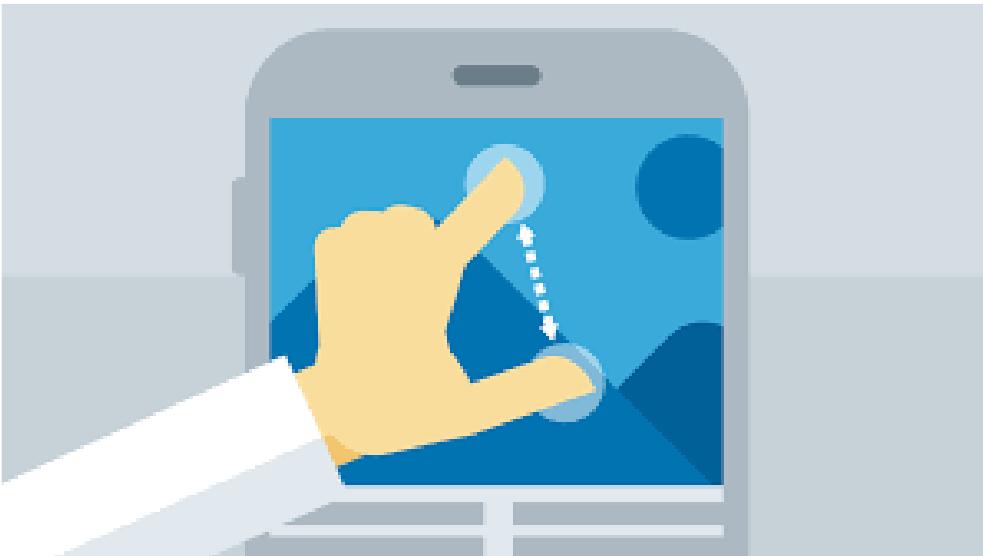
- 通过人机交互进行数据分析





Industry design

CAD



Interaction design

HCI



Communication design

Visualization

----同济大学曹楠教授

Questions?

