



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 计算机图形学

计算机学院 黄章进  
[zhuang@ustc.edu.cn](mailto:zhuang@ustc.edu.cn)

# 课程内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

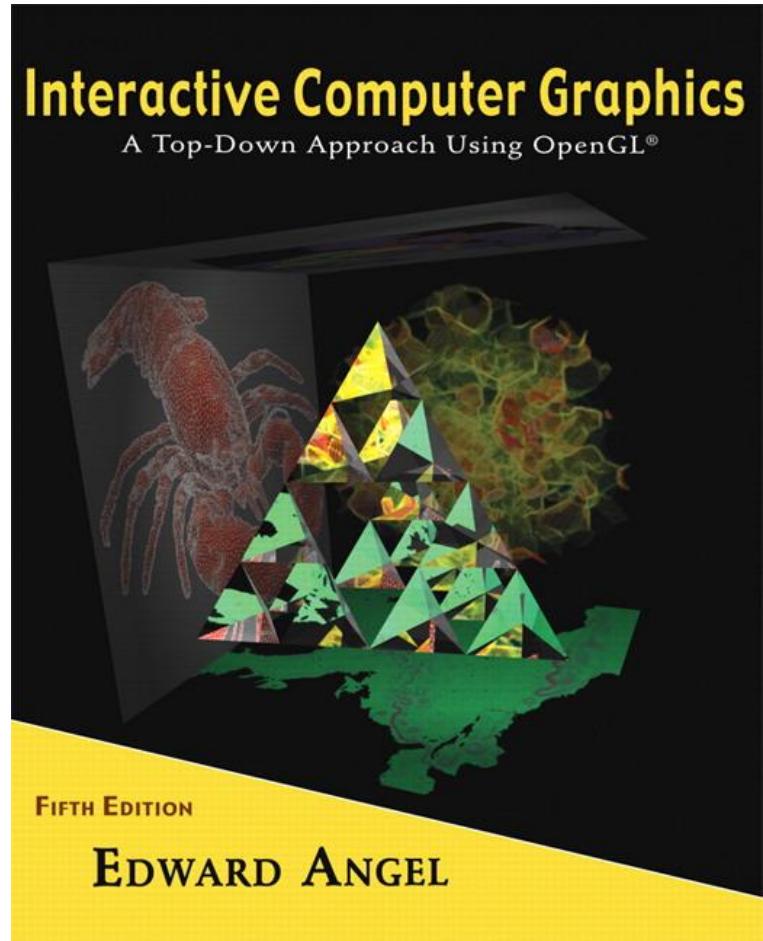
- 交互式计算机图形学的基本原理和算法
- OpenGL编程

# 教材



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- E. Angel, Interactive Computer Graphics — A top-down approach using OpenGL™, 5th edition, 2008. (有影印本)
- 张荣华等译, 交互式计算机图形学——基于OpenGL的自顶向下方法(第五版), 电子工业出版社, 2009.7



# 参考书



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- D. Hearn and M. P. Baker. *Computer Graphics with OpenGL*, 4th Ed., 2010. (影印版: 计算机图形学(第四版), 电子工业出版社, 2005. 第三版有中译版)
- J. D. Foley et al. *Computer Graphics - Principles and Practice*, 3rd Ed., 2013. (影印版: 计算机图形学原理及实践-C语言描述(第二版), 机械工业出版社, 2002)
- D. F. Rogers. *Procedural Elements for Computer Graphics*, 2nd Ed., 1998. (影印版: 计算机图形学的算法基础, 机械工业出版社, 2002. 有中译版)
- F. S. Hill, JR., *Computer Graphics Using OpenGL*, 3rd Ed., 2006. (中译版: 计算机图形学 (OpenGL版)(第3版), 清华大学出版社, 2009)
- S. Cunningham, *Computer Graphics - Programming in OpenGL for Visual Communication*, 2006. (影印版: 计算机图形学, 机械工业出版社, 2008. 有中译版)
- Peter Shirley, et al. *Fundamentals of Computer Graphics*, 3rd Ed., 2009. (中译版: 计算机图形学(第二版), 人民邮电出版社, 2007)

# OpenGL



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- D. Shreiner et al,  
OpenGL Programming  
Guide: The Official Guide  
to Learning OpenGL,  
Version 2.1 (6th Edition),  
2007.
- 中译版: OpenGL编程指南  
(原书第6版), 机械工业出  
版社, 2008.8
- 在线OpenGL 1.1版本

<http://www.openglprogramming.com/red/>

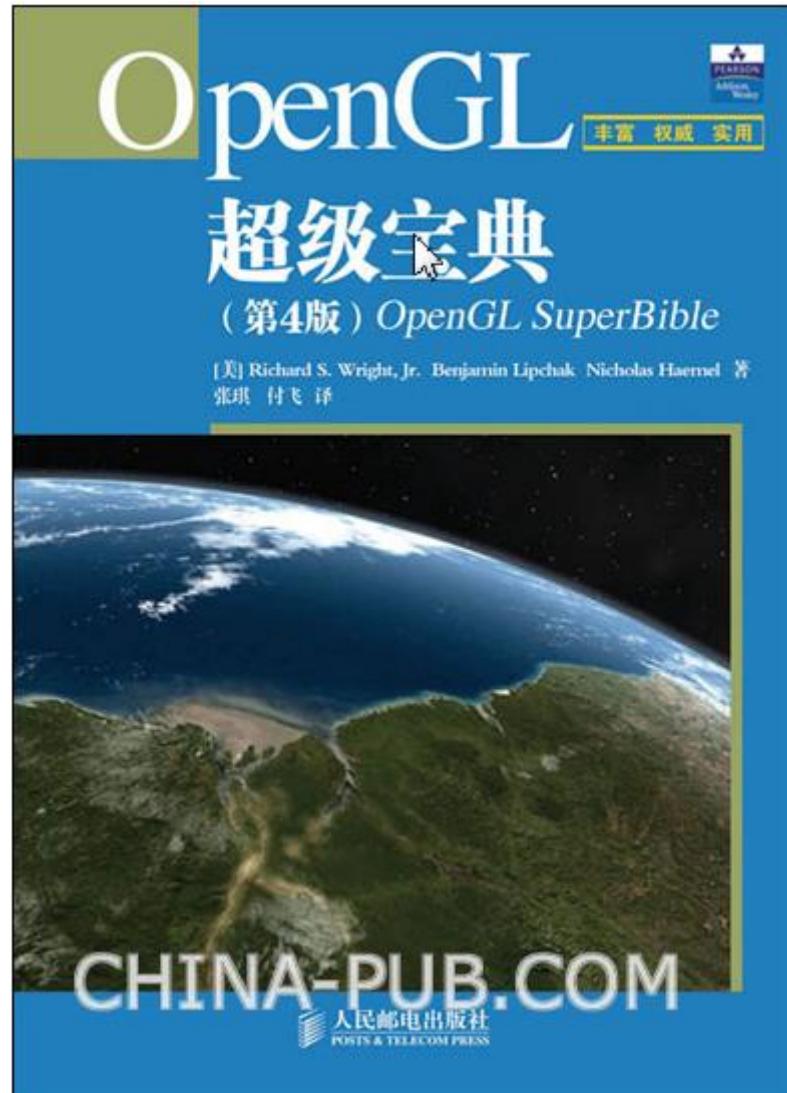


# OpenGL



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- R. S. Wright, et al,  
OpenGL SuperBible:  
Comprehensive Tutorial  
and Reference (4th  
Edition), 2007.
- 中译版: OpenGL超级宝典  
(第4版), 人民邮电出版社,  
2010.9



# 课程信息



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 课件
  - http://staff.ustc.edu.cn/~zhuang/cgi/
- 考核
  - 作业
  - 实验
  - 考试

# 课程大纲



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 计算机图形学概述
- 图形系统和模型
- OpenGL编程
- 输入与交互
- 几何对象与变换
- 视图
- 光照和明暗处理
- 从顶点到片断
- 离散技术



# 第一章 计算机图形学概述

1.1 研究内容

1.2 相关学科

1.3 发展历史

1.4 应用领域

# 什么是计算机图形学



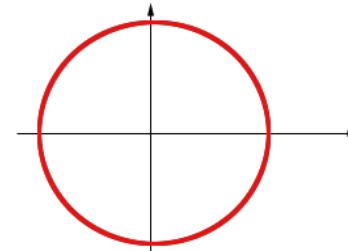
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- **计算机图形学**是研究怎样用计算机表示、处理和显示图形的一门学科
  - 硬件
  - 软件
  - 应用

# 什么是图形



- **图形(graphics)**: 计算机图形学的研究对象
  - 能在人的视觉系统中产生视觉印象的客观对象
  - 包括自然景物、拍摄到的图片、用数学方法描述的图形等等



- 构成图形的要素

- **几何要素**: 刻画对象的轮廓、形状的点、线、面、体等
  - **非几何要素**: 刻画对象的颜色、材质、纹理、线型、线宽等

# 表示图形的方法



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- **参数表示**

- 由图形的形状参数(方程或分析表达式的系数, 线段的端点坐标等)+属性参数(颜色、线型等)来表示图形
  - 称为参数图或**图形** (graphics)

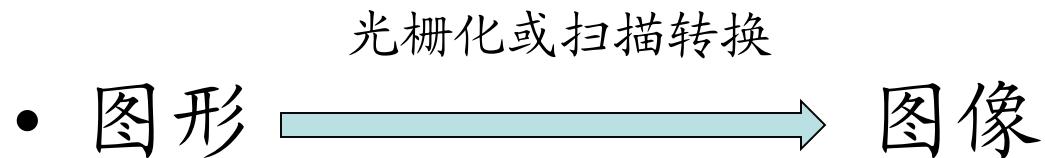
- **点阵表示**

- 枚举出图形中所有的点(强调图形由点构成)
  - 称为像素图或**图像** (image, 数字图像)



# 图形与图像

- 图形含有几何属性，或者说更强调场景的几何表示，是由场景的几何模型和物理属性共同描述
- 图像纯指计算机内以位图形式表示的颜色和亮度信息



# 图形与图像

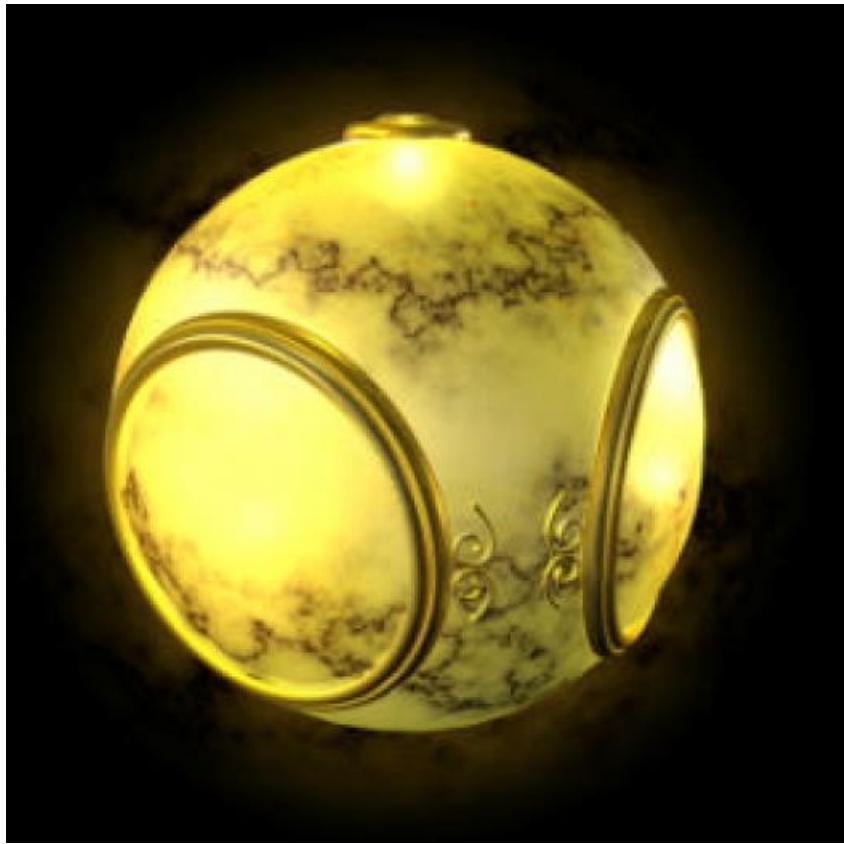


- 图形
  - 有结构，便于编辑修改
  - 能准确表示3D景物，易于生成所需的不同视图
  - 生成视图需要复杂的计算
  - 自然景物的表示很困难
  - 国际标准：PHIGS, STEP, OpenGL等
  - 编辑软件：AutoCAD, CorelDraw
- 图像
  - 无结构，不易编辑修改
  - 3D景物的信息已部分丢失，很难生成不同的视图
  - 生成视图不需要复杂的计算
  - 自然景物的表示不困难
  - 国际标准：JPEG, TIFF等
  - 编辑软件：Photoshop

# 例子



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



- 如何生成左图？
- 需要利用哪些硬件与软件？

# 简要答案



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 应用：艺术家创作的太阳模型
- 软件：Maya建模(modeling)并渲染(rendering)
  - Maya是基于OpenGL开发的
- 硬件：用带有图形显示卡的PC机进行建模和渲染

# 研究内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 图形的表示
  - 用合适的数学模型来表达和反映图形的各种属性，并用合适的数据结构来存放这些属性
    - 用怎样的结构来表示点、线、多面体等图形，以及更复杂的如桌、椅、山、水、人等客观物体
    - 包括图形的交互输入
- 图形的处理
  - 对图形进行变换(几何变换，投影变换)和运算(集合运算)，着色，形变等
- 图形的显示
  - 将计算机内的图形数据转化为图像的形式在屏幕上展示出来

# 主要研究方向



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

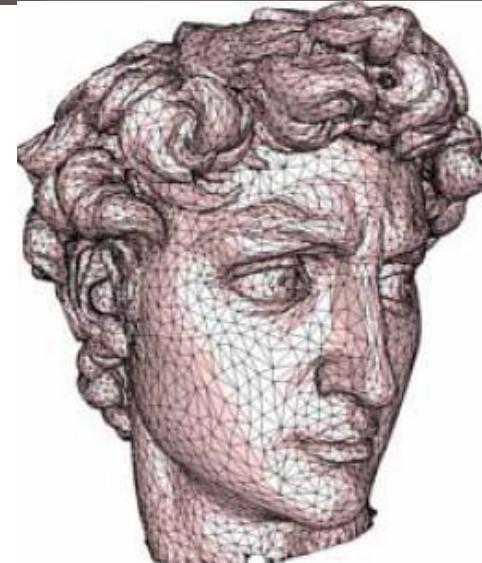
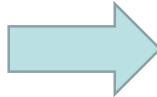
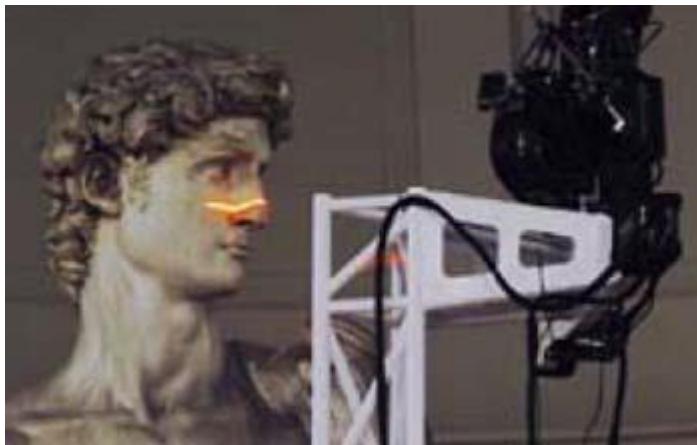
- 建模 ( modeling )
  - 构建三维的几何模型
- 渲染 ( rendering )
  - 将模型真实地显示在屏幕上
- 动画 ( animation )
  - 模拟真实世界的物理运动

# 建模



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 构建三维的几何模型
  - 空间曲面
  - 数字几何



# 渲染



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 将模型真实性（或艺术性）地显示在屏幕上



# 动画



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 模型的运动/变形来模拟真实世界的物理运动



顽皮跳跳灯([Luxo Jr](#)), Pixar, 1986



# 第一章 计算机图形学概述

1.1 研究内容

1.2 相关学科

1.3 发展历史

1.4 应用领域



- 计算机辅助几何设计
- 图像处理
- 计算机视觉（模式识别）



- CAGD: Computer Aided Geometric Design
- 研究几何模型和数据处理，侧重于计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)的数学理论和几何体的构造
  - 几何形体的计算机表示、分析和综合
  - 如何灵活、有效的建立几何形体的数学模型
  - 如何更好地存储和管理这些模型数据



- 将客观世界中原来存在的物体的影像处理成数字化图像的相关技术
- 输入和输出都是图像
  - 图像去噪/恢复
  - 图像增强
  - 图像压缩
  - 图像变换
  - 图像分割



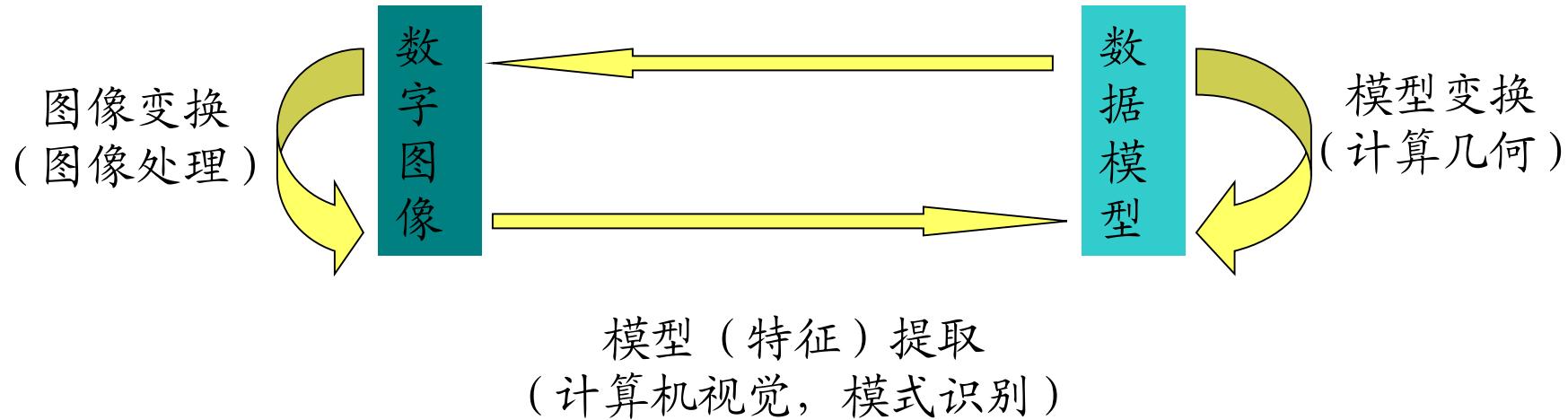
- 计算机视觉: computer vision
- 模式识别: pattern recognition
- 计算机图形学的逆过程
- 对所输入的图像进行分析和识别，找出其中蕴涵的内在联系或抽象模型
- 从大量信息和数据出发，在专家经验和已有认识的基础上，利用计算机和数学推理的方法对形状、模式、曲线、数字、字符格式和图形完成自动识别的过程
  - 学习阶段和实现阶段

# 与相关学科的关系



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

图像生成（计算机图形学）





# 第一章 计算机图形学概述

1.1 研究内容

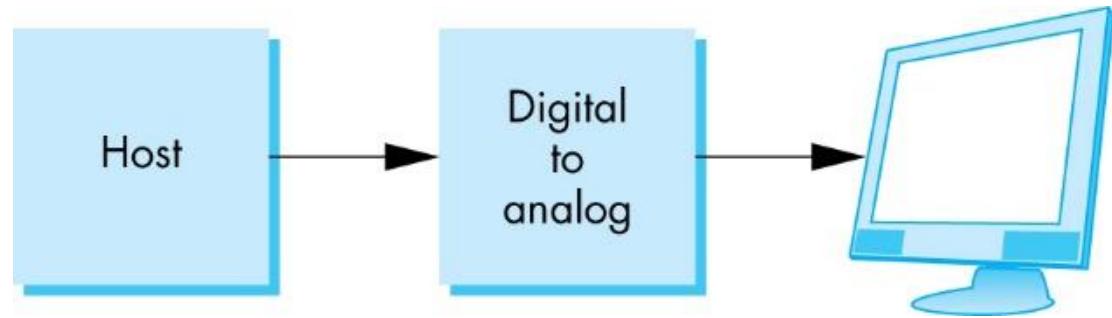
1.2 相关学科

1.3 发展历史

1.4 应用领域



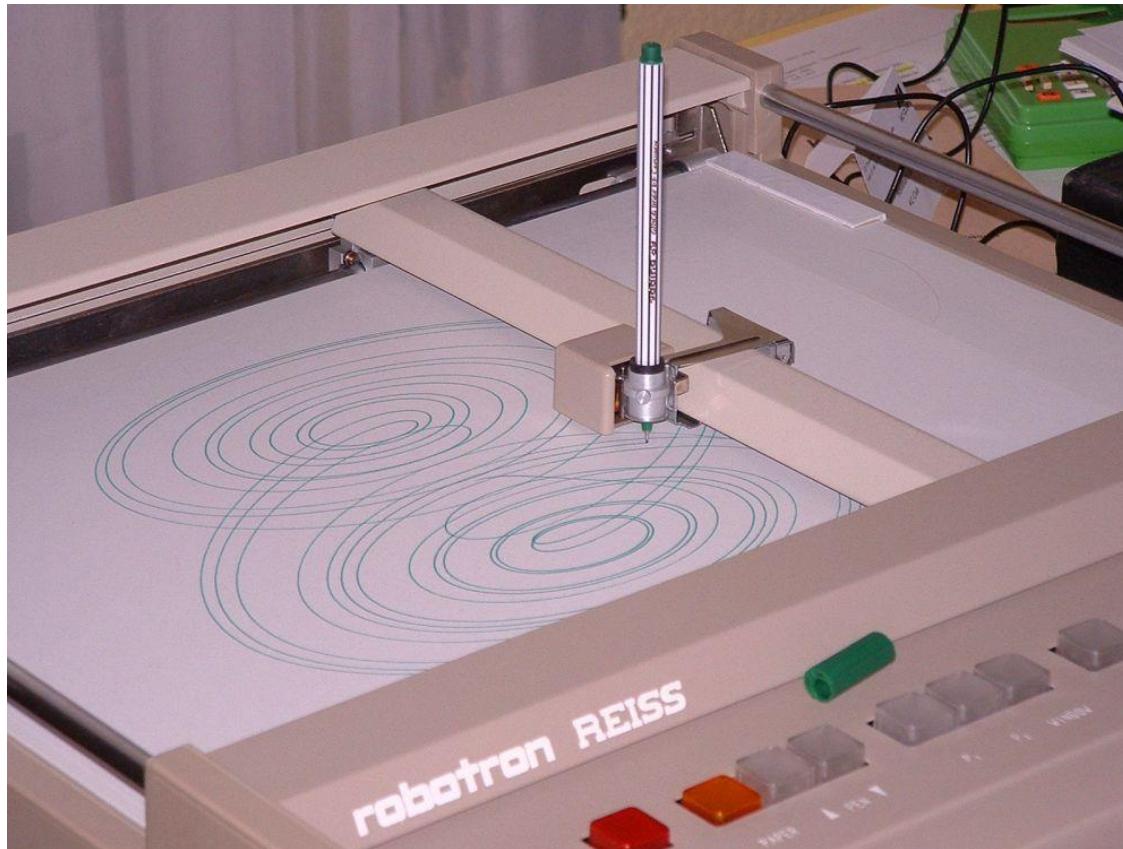
- 图形学的历史可以追溯到用计算机进行计算的早期历史
  - 条形图
  - 笔式绘图仪
  - 画线CRT显示器（向量CRT显示器）
- CRT的刷新代价太高
  - 计算机价格昂贵，速度很慢，可靠性差



# 笔式绘图仪



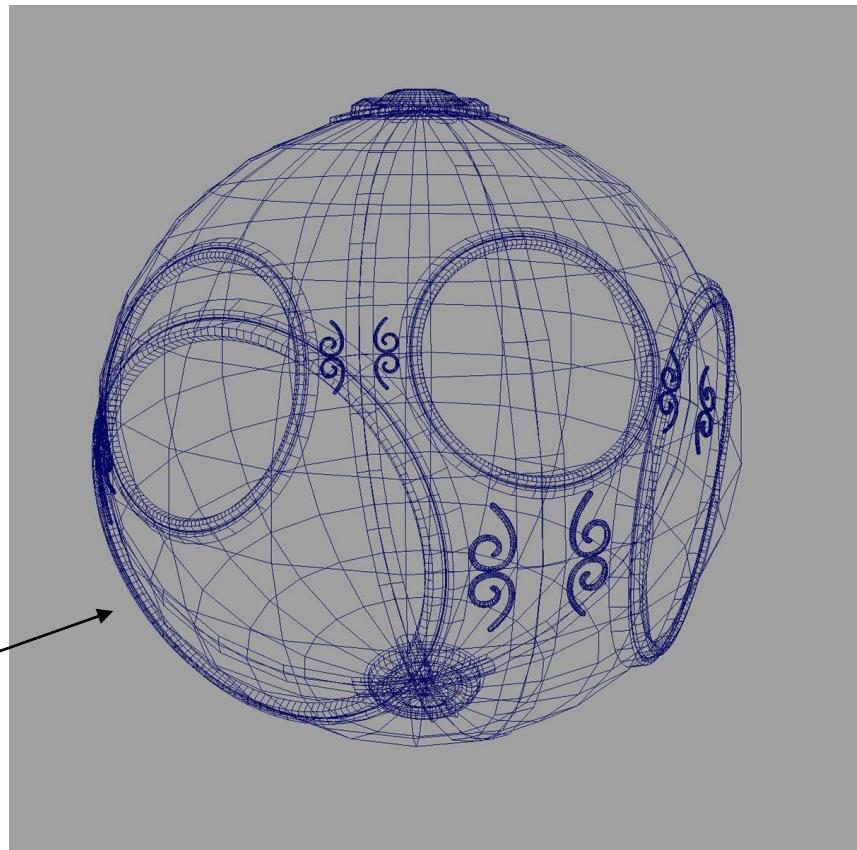
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China





- 线框图形
  - 只绘制线段
- Sketchpad项目
- 显示处理器
- 存储设备改进

模型的线框表示



# Sketchpad项目(1963)



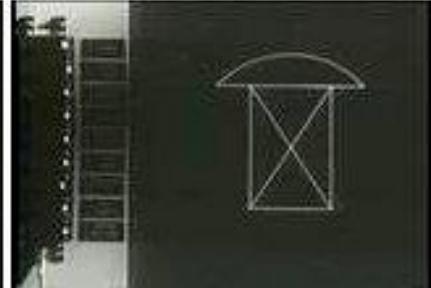
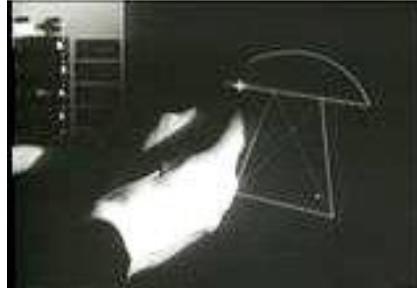
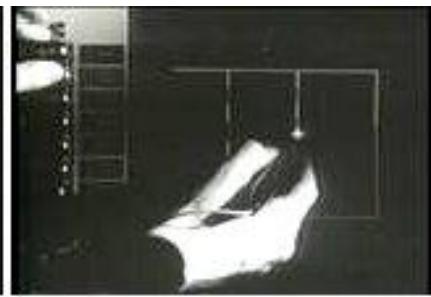
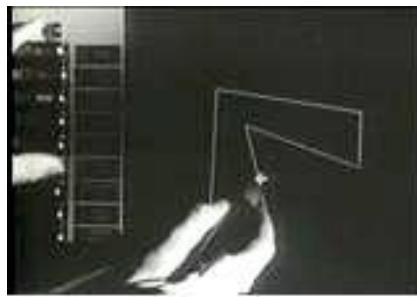
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- Ivan Sutherland在MIT的博士论文
  - 意识到人机交互的潜力，标志着“计算机图形学”学科的诞生
  - 循环结构
    - 显示出一些内容
    - 用户移动光笔
    - 计算机生成新的显示内容
- Sutherland也是许多图形学常用算法的创始人，交互式计算机图形学的奠基人
  - 1988年获图灵奖

# Skechpad项目



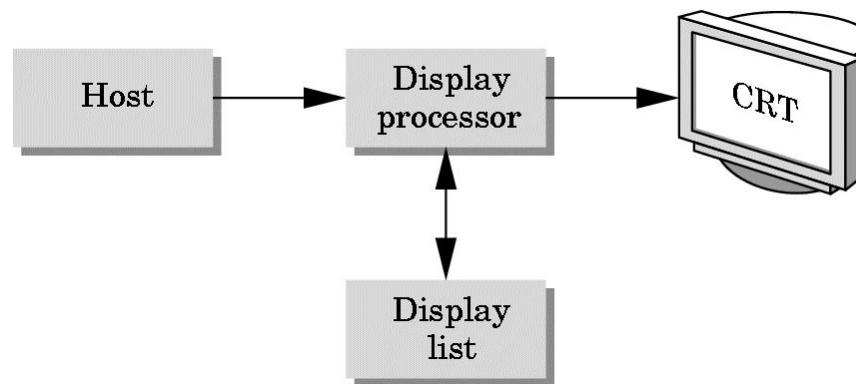
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 显示处理器(DPU)



- 不是直接由主机负责刷新显示，而是利用专用计算机进行这项工作，该计算机称为**DPU**



- 图形以显示列表或文件形式存贮在DPU
- 主机编译生成显示列表并发送到DPU

# 1970's



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

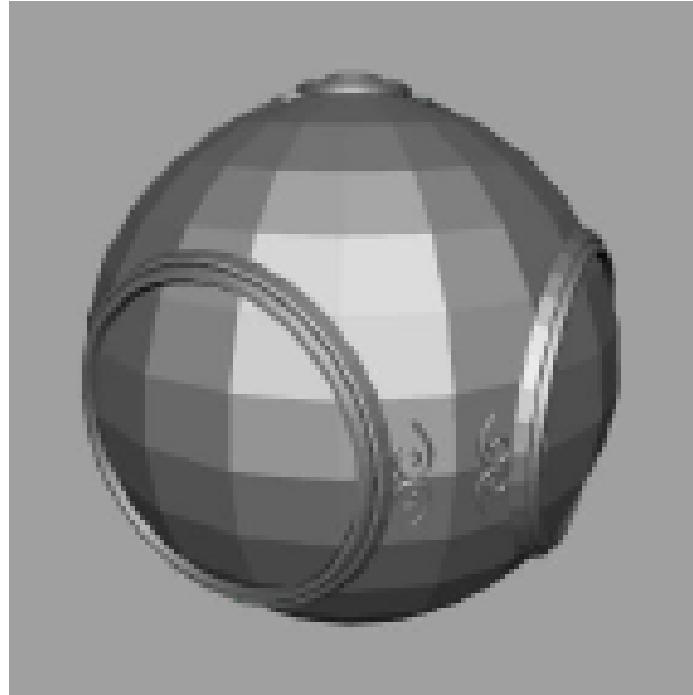
- 光栅化图形
- 图形标准开始出现
  - GKS: 欧洲，成为二维图形的ISO标准
  - Core: 北美，但没有成为三维图形的ISO标准

# 光栅图形



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 利用光栅图形既可以绘制直线与曲线以及线框图，也可以生成填充的多边形

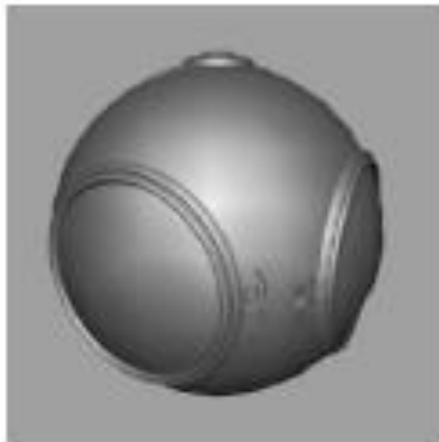


# 1980's



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

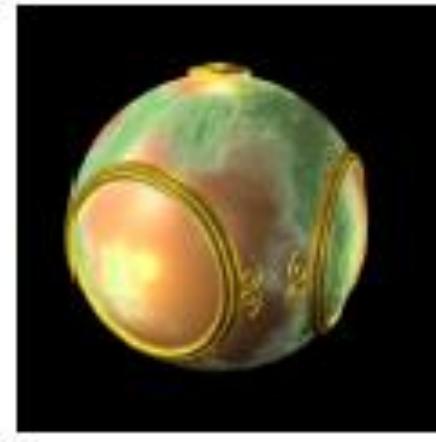
- 真实感图形



光滑明暗处理



环境映射



凹凸映射



- 专门硬件的出现
  - Silicon Graphics公司的geometry engine
    - 图形流水线的VLSI实现
- 工业图形标准的出现
  - PHIGS
  - RenderMan
- 网络图形系统：X Windows系统
- 人机交互(HCI)

# 1990's



- 完全由计算机生成的电影正片(feature-length) – 玩具总动员(Toy Story, 1995)
- OpenGL API
- 新型硬件的能力
  - 纹理映射
  - 融合
  - 累加、模版缓冲区





- 照片真实感图形
- PC上的图形卡占领市场
  - Nvidia, ATI
- 游戏机和玩家决定了市场的走向
- 电影业中的计算机图形学软件：Maya, Lightwave
- 可编程流水线



# 第一章 计算机图形学概述

1.1 研究内容

1.2 相关学科

1.3 发展历史

1.4 应用领域

# 应用领域



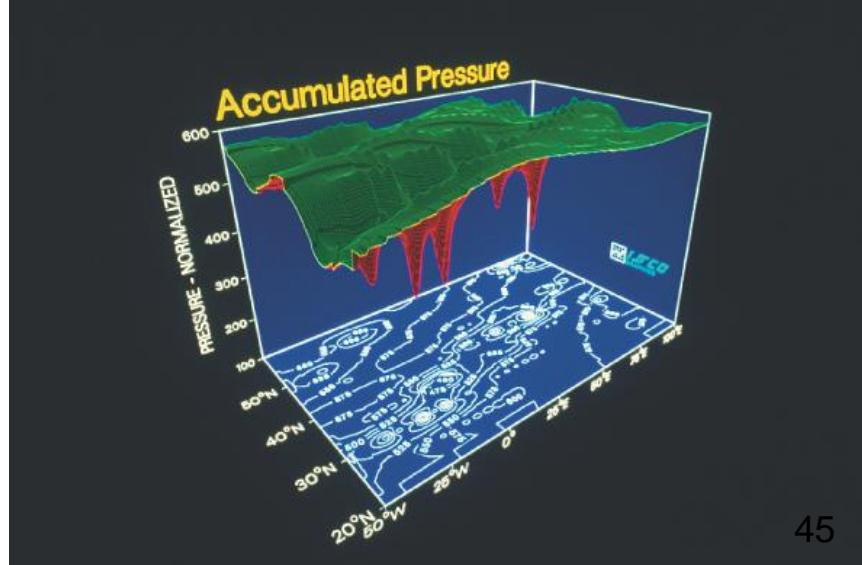
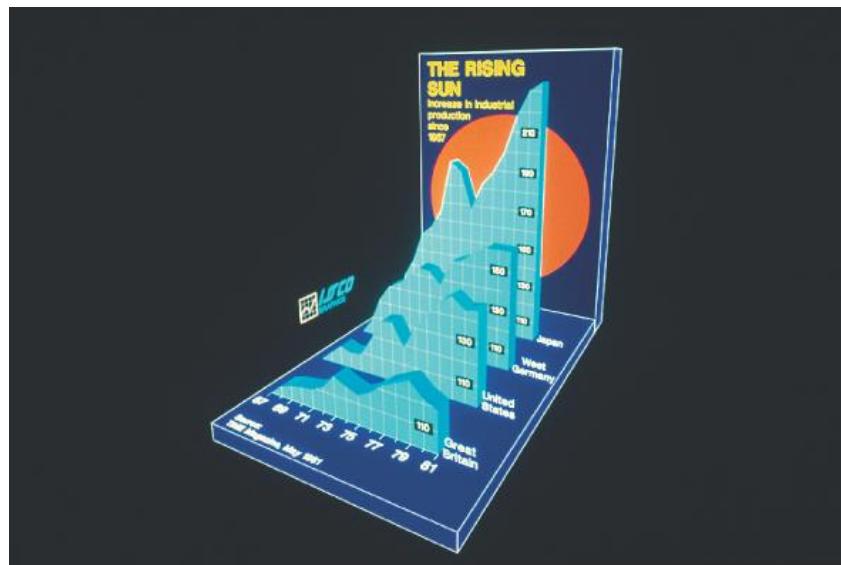
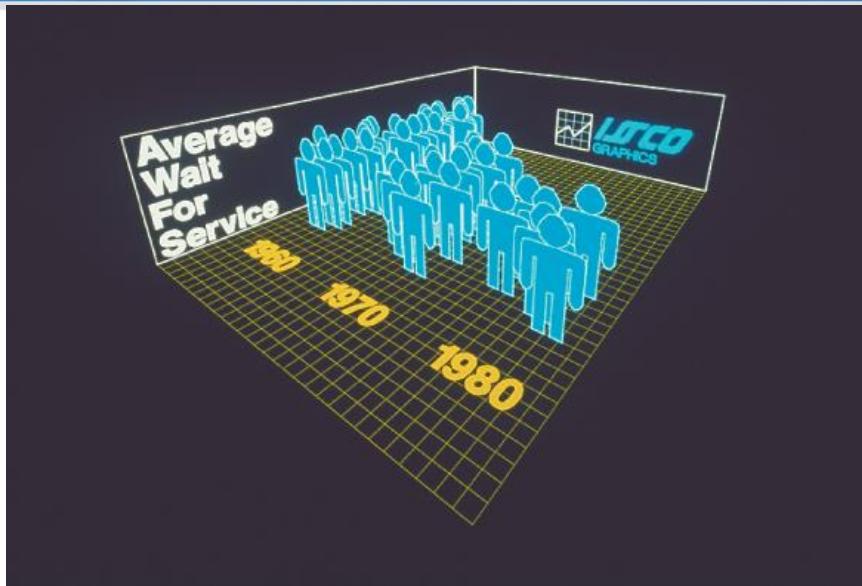
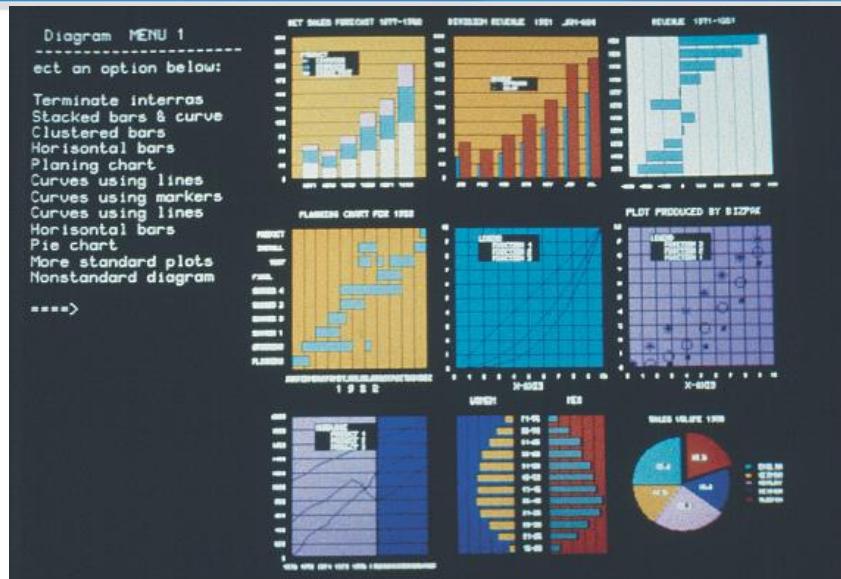
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 信息的显示
- 设计
- 模拟与动画
- 用户界面



# 图和表

- 计算机图形学的一个早期应用：数据绘图
- 典型实例
  - 折线图、直方图、饼图、曲面图、等高线图等
- 应用领域
  - 研究报告的汇总数据
  - 管理摘要
  - 消费者信息

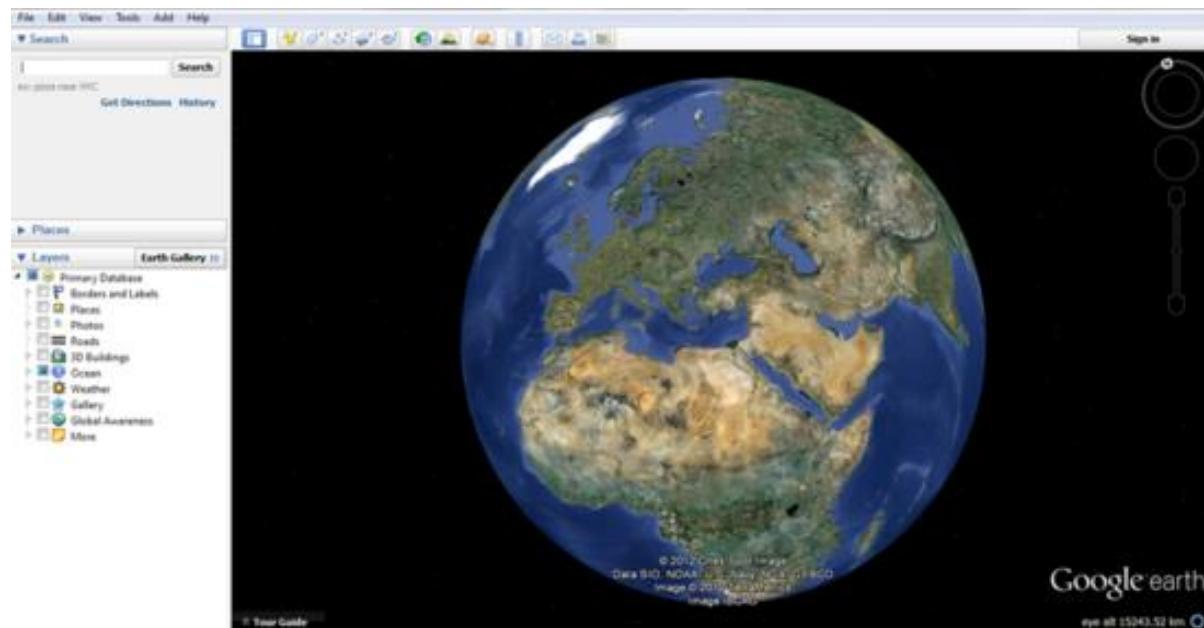




- 地理信息系统(GIS)是建立在地理图形之上的关于各种资源的综合信息管理系统
  - GPS导航
  - 三维地形地貌图
  - 气象图
  - 人口分布图
  - 矿藏分布图
    - 军事、政府决策、城市规划、资源开发



- Google earth
- Bing maps (previously Microsoft Virtual Earth)



# 数据可视化

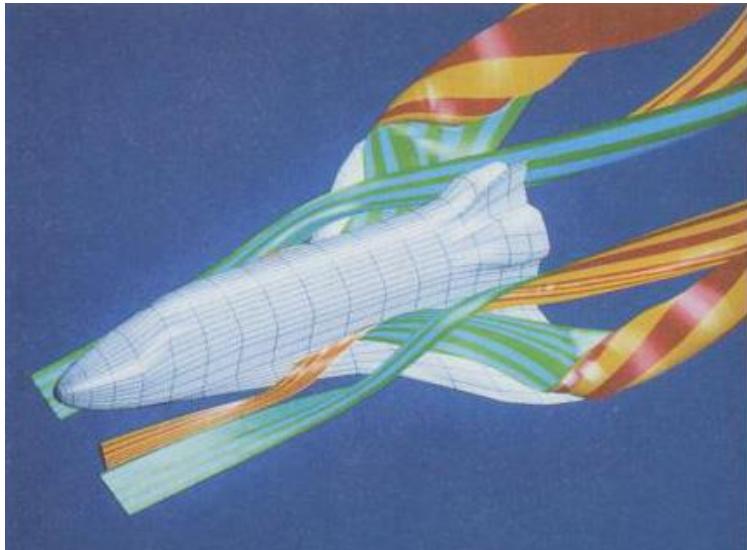
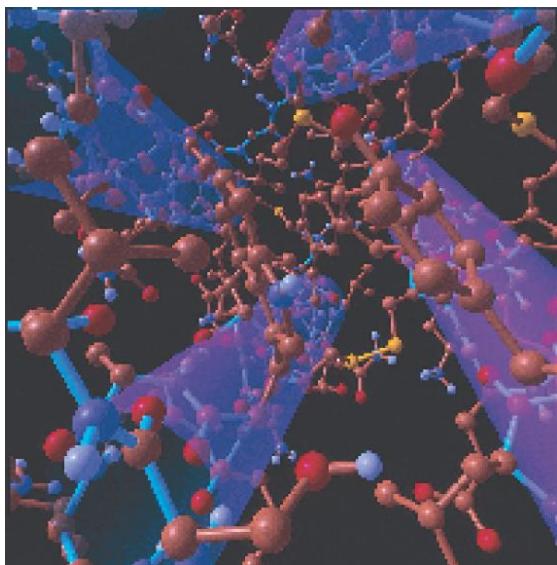
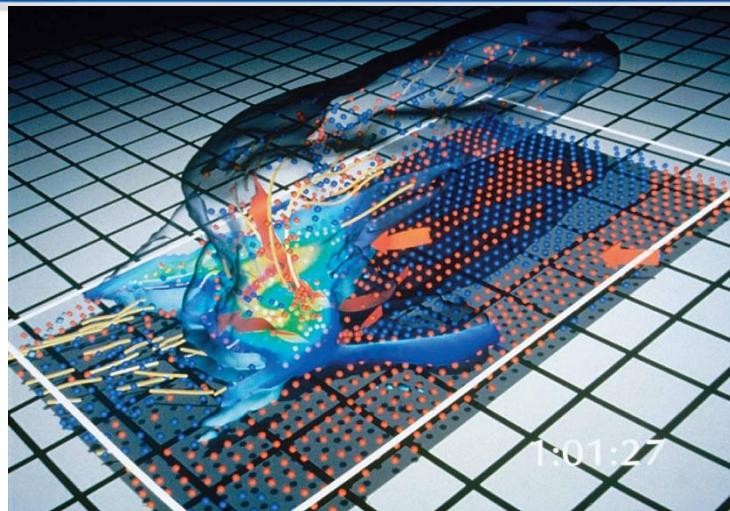
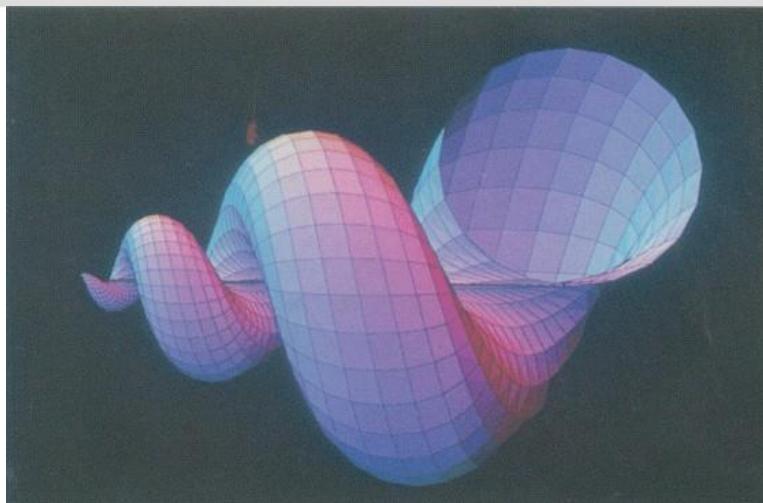


- **科学可视化**: 为科学计算、工程和医学等数据集或过程生成图形表示
- **商务可视化**: 对贸易、工业和其他非科学计算领域相关的数据可视化
- 帮助分析大量的信息或研究高度复杂过程的行为

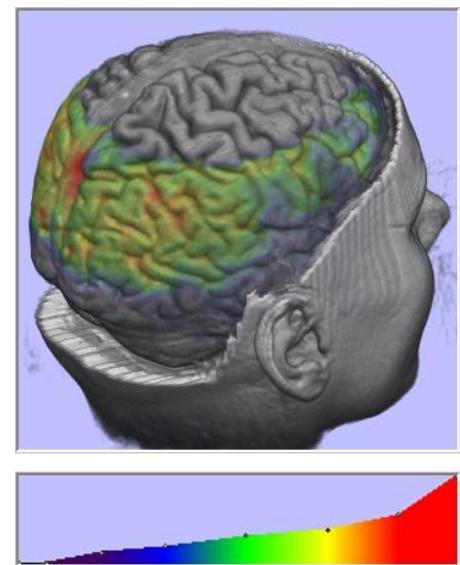
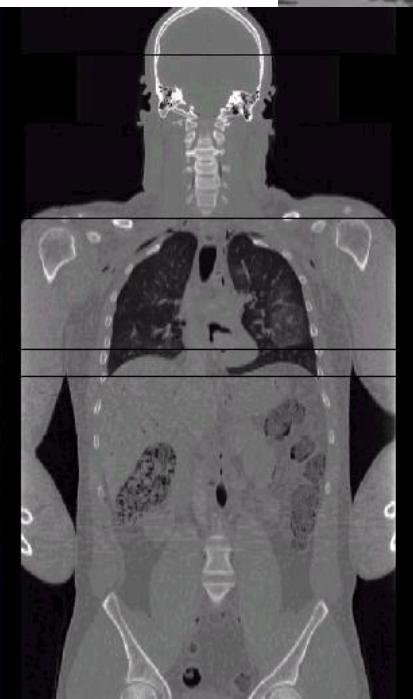
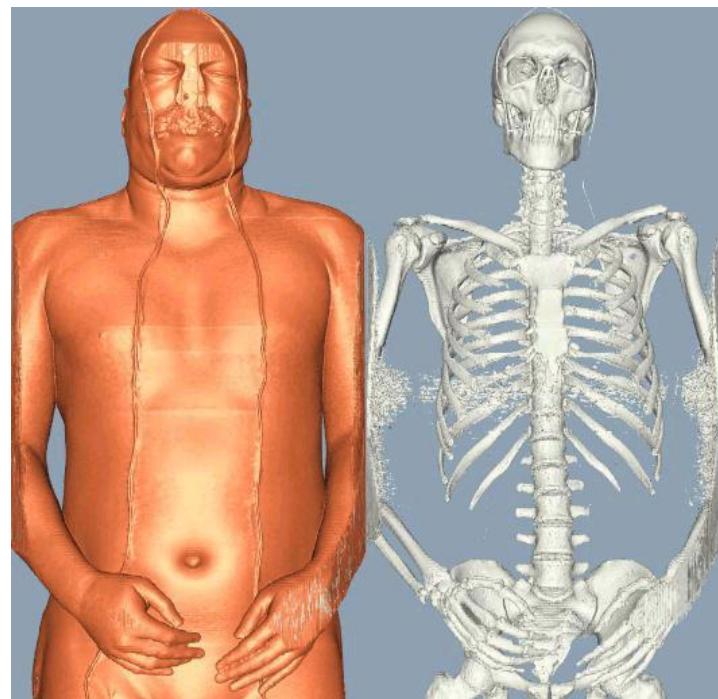
# 科学可视化



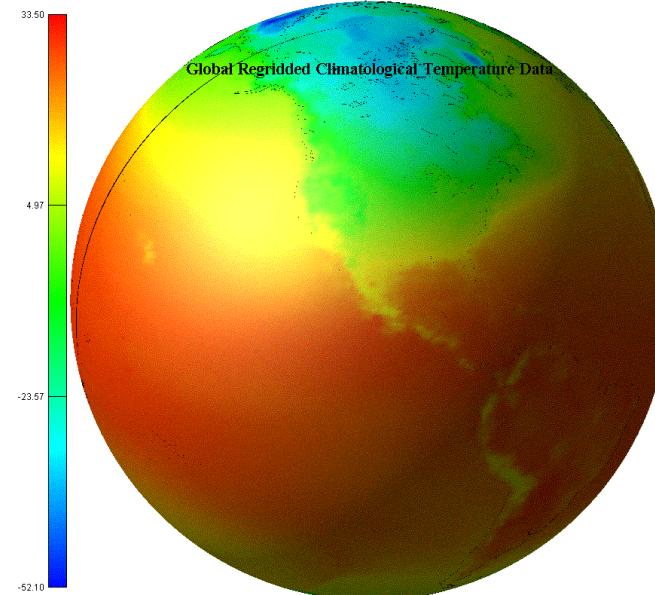
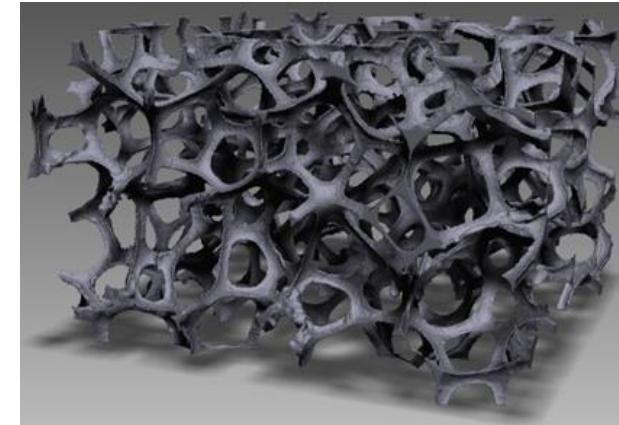
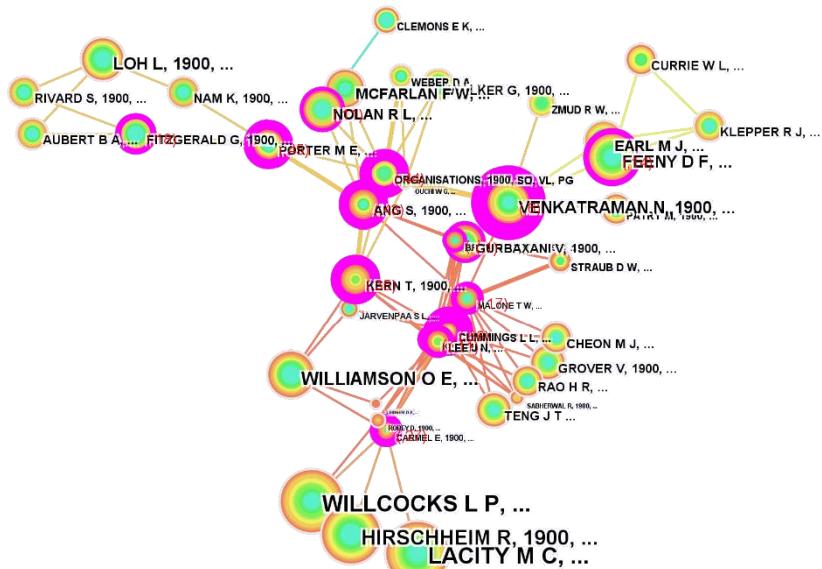
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 医学成像



# 信息可视化



# 计算机辅助设计



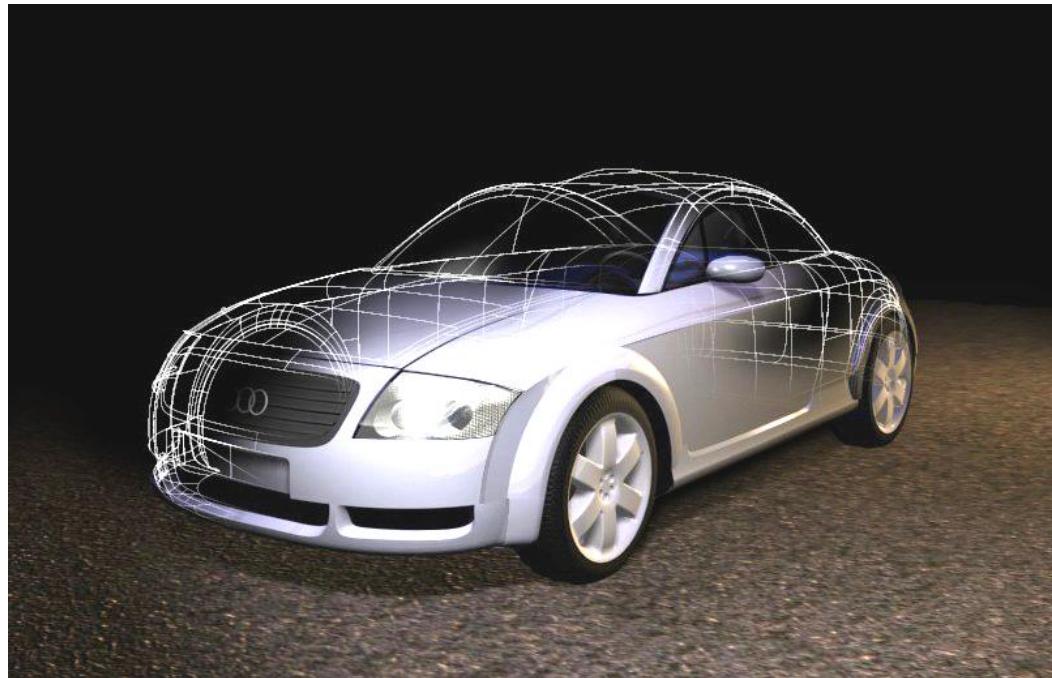
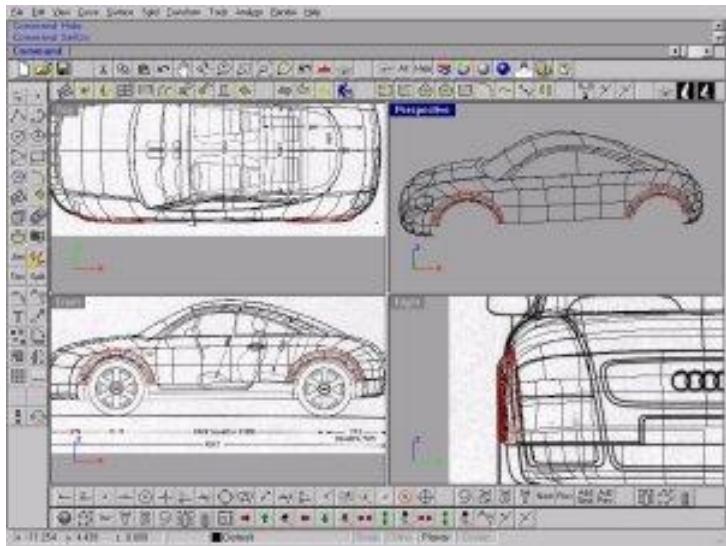
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)是计算机图形学在工业界最重要的应用领域
- 可以很快看到对设计交互式调整后的结果
- 应用领域
  - 飞机、汽车和船舶的外形设计
  - 机械产品设计
  - 超大规模集成电路设计
  - 建筑设计：平面布局图、布线等
  - 服装、印染、玩具设计
- AutoCAD

# 汽车外形设计



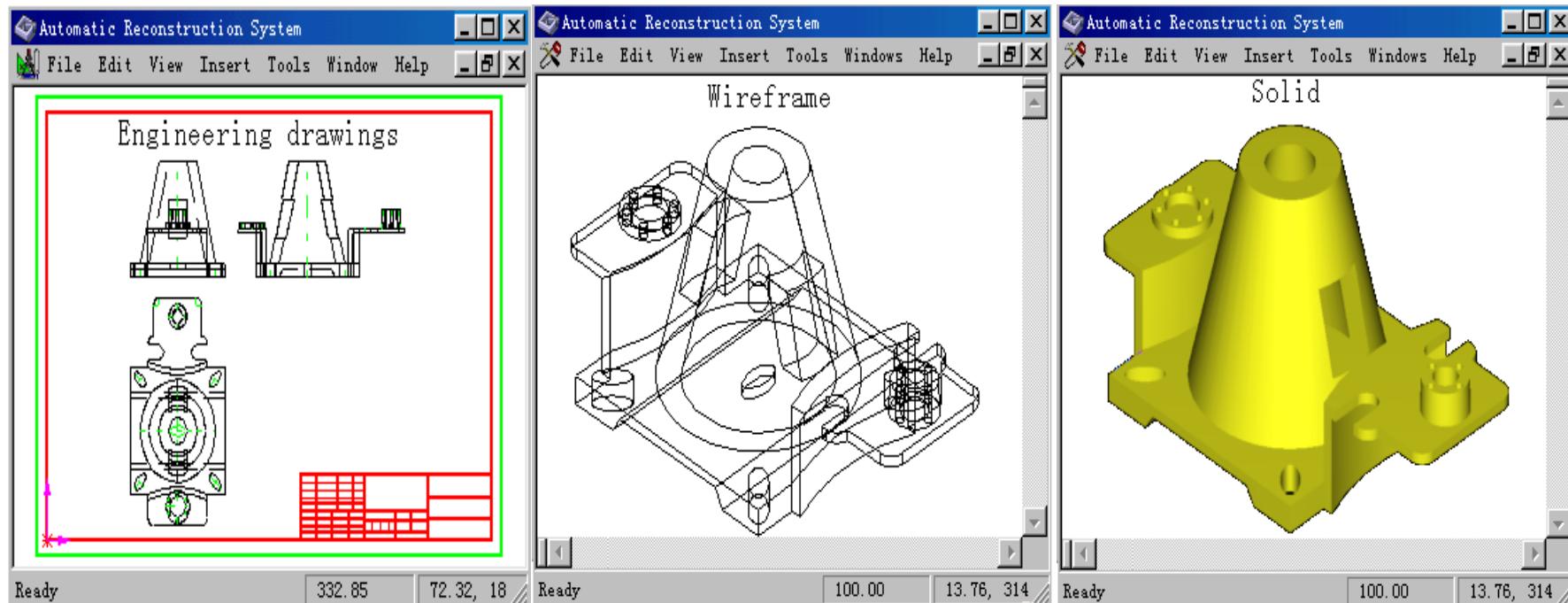
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 工程图纸设计



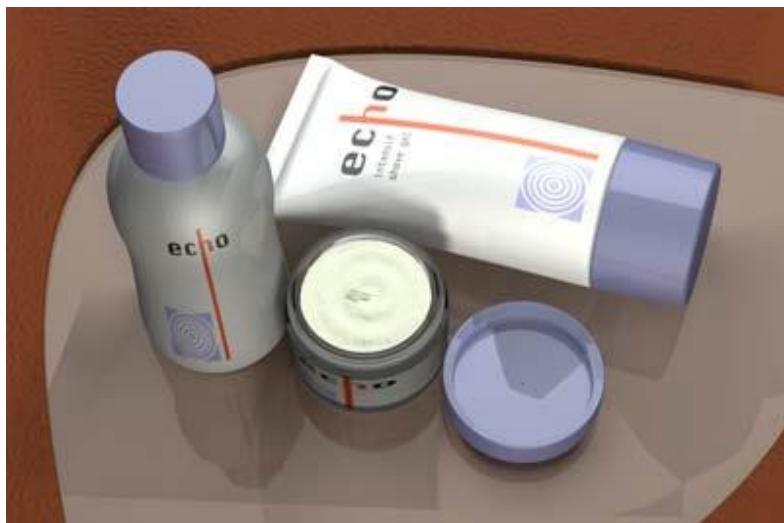
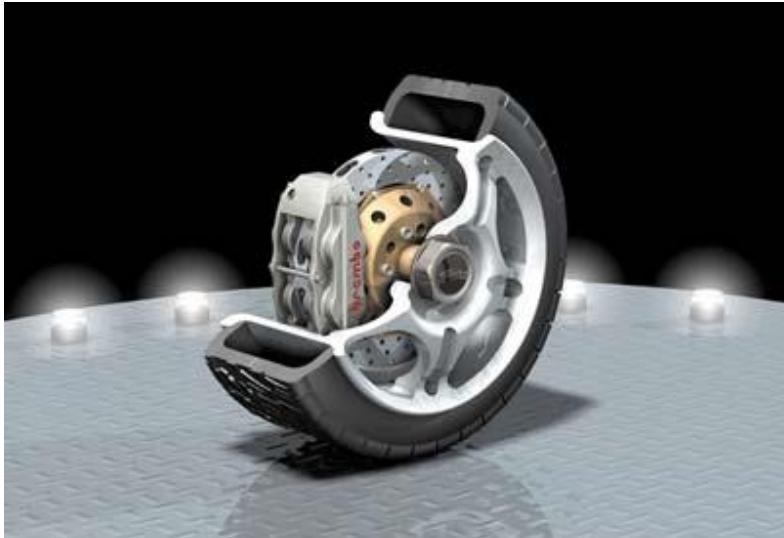
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# CAD/CAM



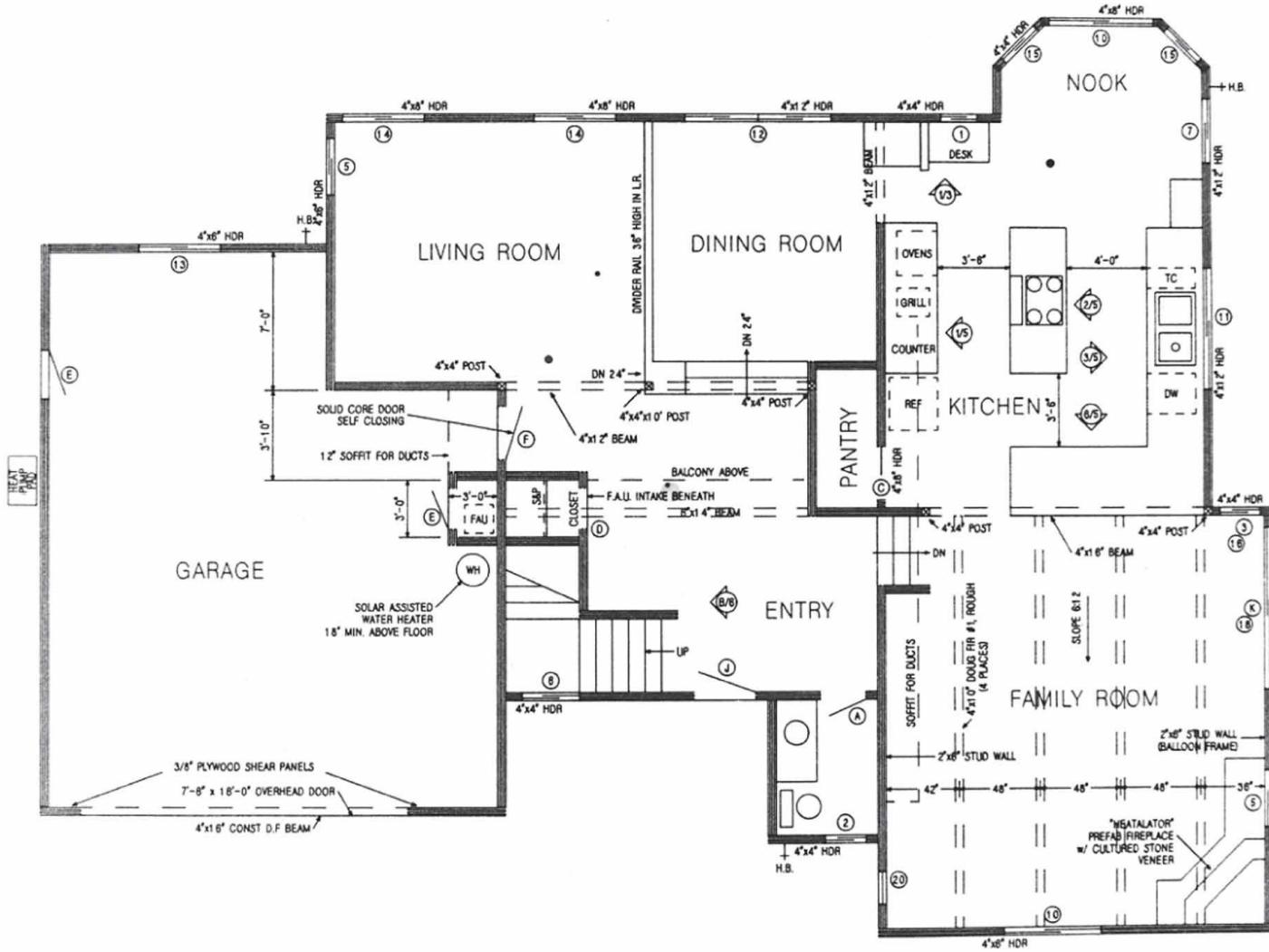
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 平面布局图



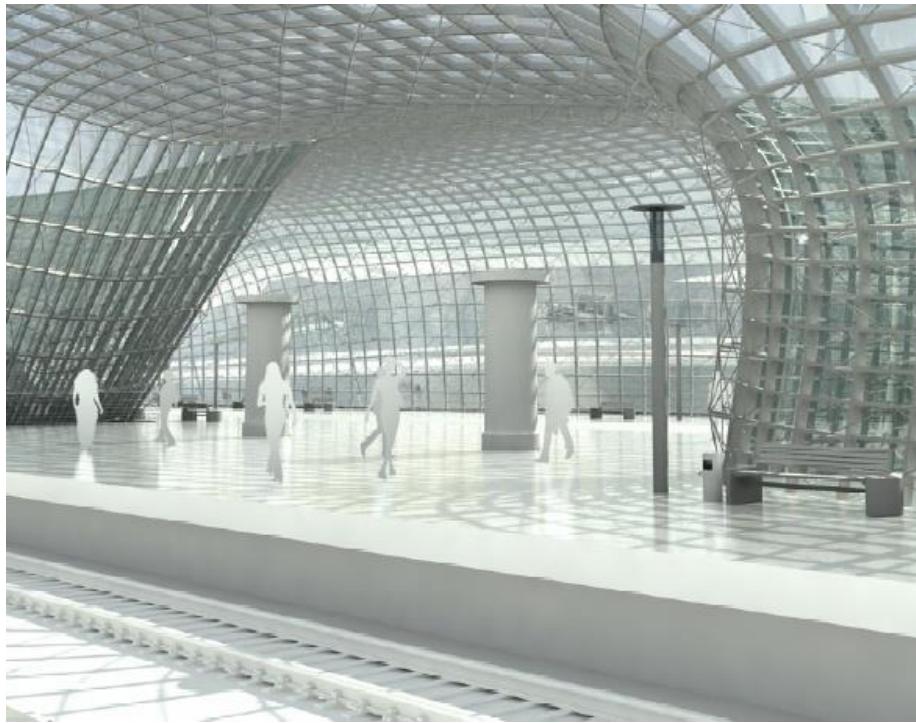
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 建筑设计



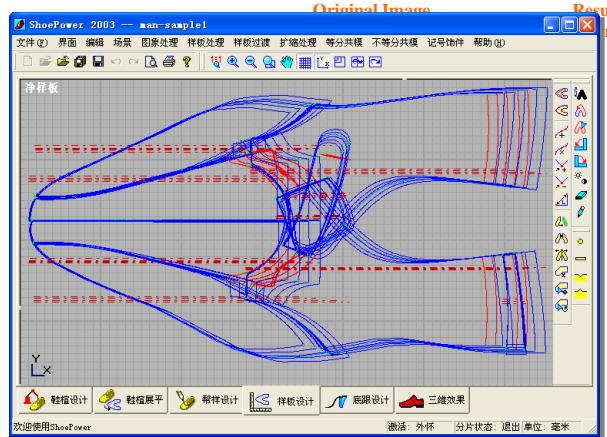
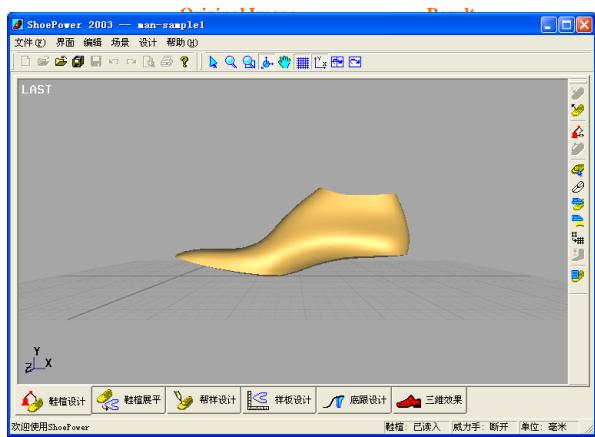
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 虚拟设计与制造



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 计算机艺术



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 艺术家使用各种计算机方法，包括专用硬件、商业软件、符号数学程序、CAD软件包、桌面出版软件和动画软件来设计物体的外形及描述物体的运动
- 广泛用于美术，商标、页面布局以及电视广告等商务艺术领域

# 计算机艺术



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 计算机艺术



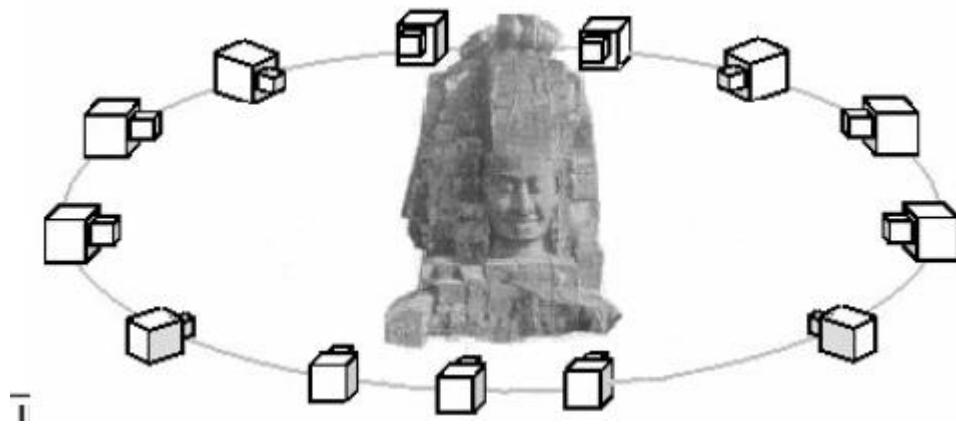
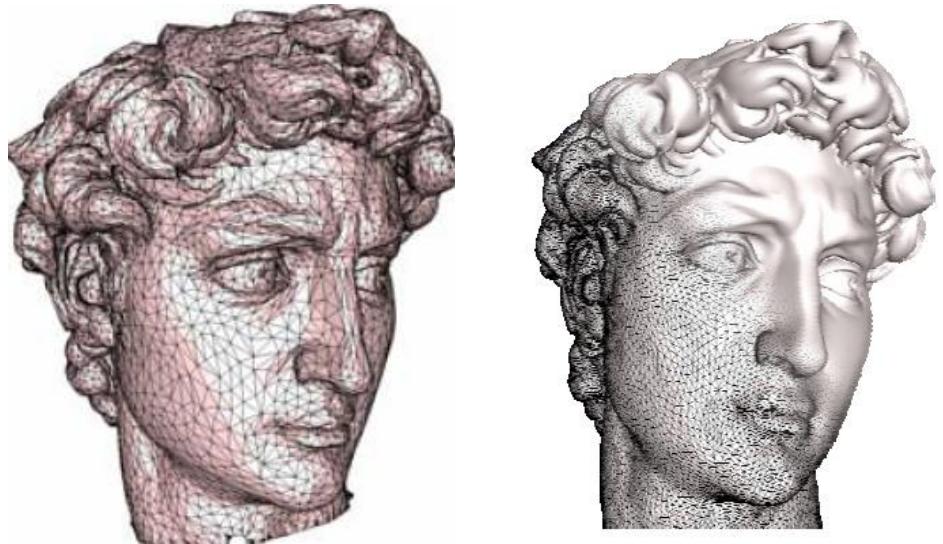
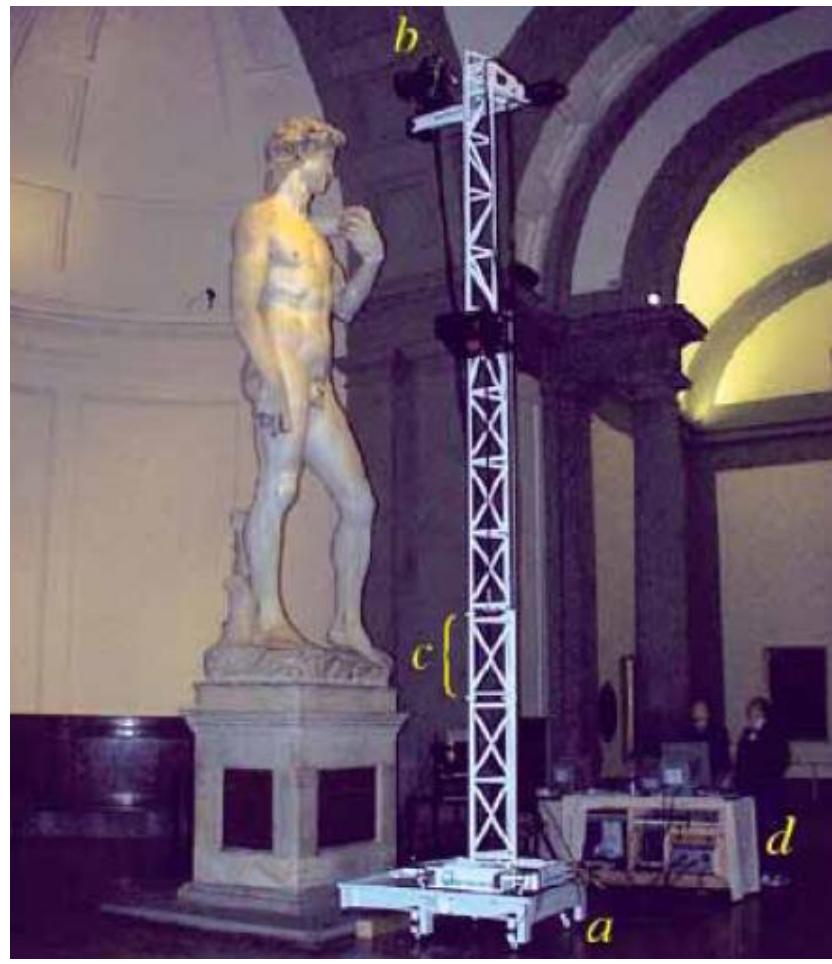
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 文物保存



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 虚拟现实环境



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 计算机生成一个虚拟的三维场景，用户可与场景中的对象进行交互
  - 虚拟环境可以是小到分子、原子的微观世界，或是大到天体的宏观世界，也可以是类似于真实社会的生活空间
  - 有专门的硬件设备提供三维观察，并允许用户在场景中拾取对象
- 应用实例
  - 场景漫游
  - 飞行员、宇航员、医生等的培训

# 机场控制塔台模拟器



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



Copyright ©2011 Pearson Education, publishing as Prentice Hall

# 虚拟现实



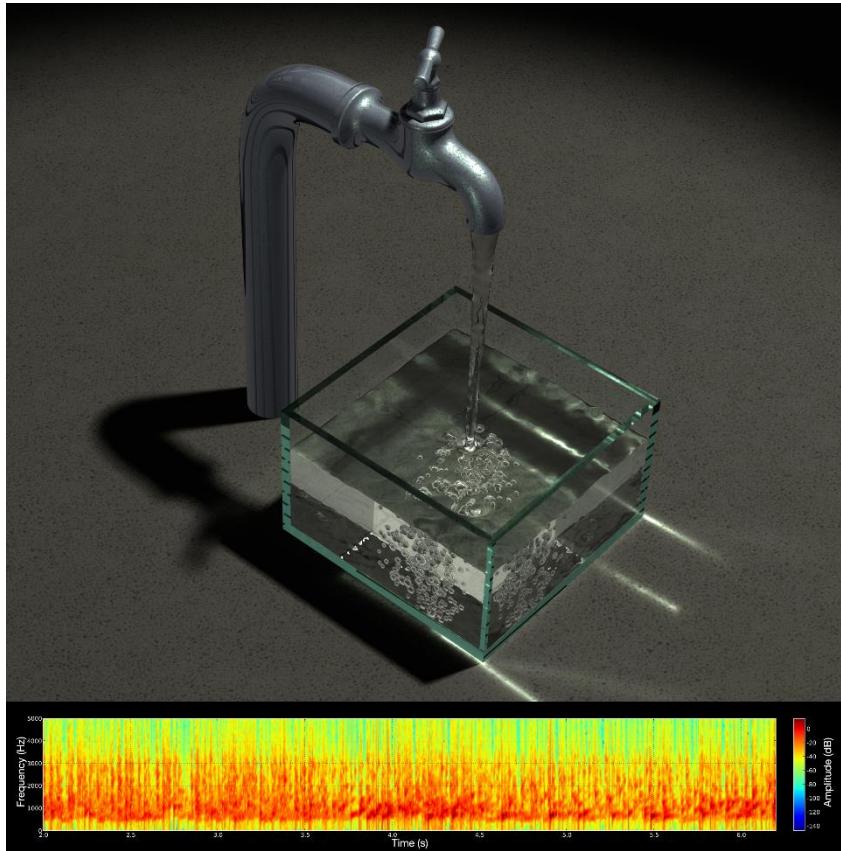
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



# 模拟与仿真



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China





- 游戏
- 卡通（动漫）
- 影视
  - 计算机生成的特效、动画、虚拟角色和场景
  - 图形场景与演员、实际场景混合
- Maya

# 游戏



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

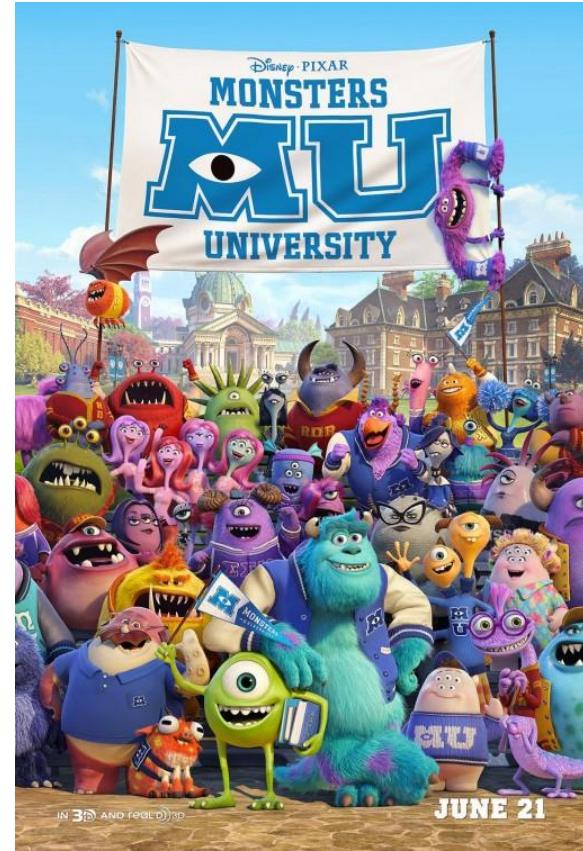


GAMESPO

# 卡通（动漫）



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



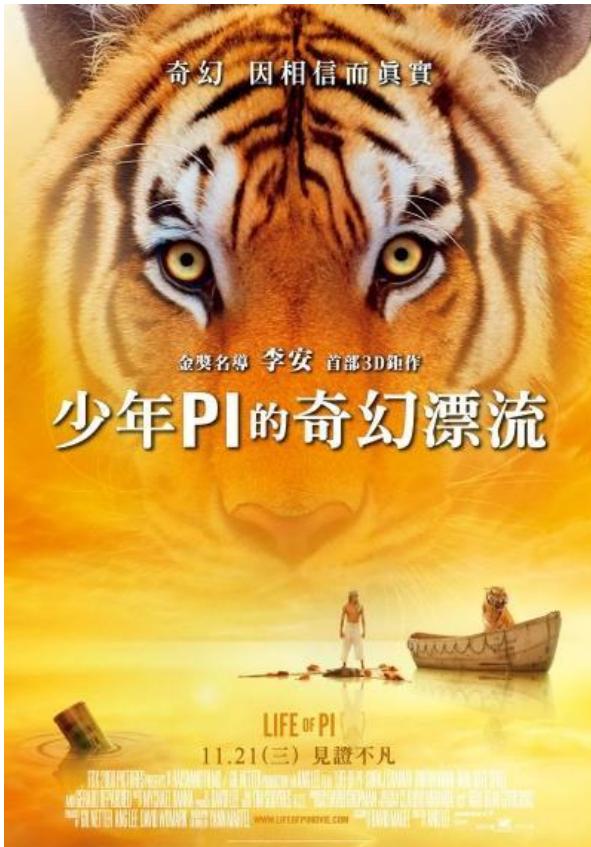
1998年奥斯卡最佳动画短片



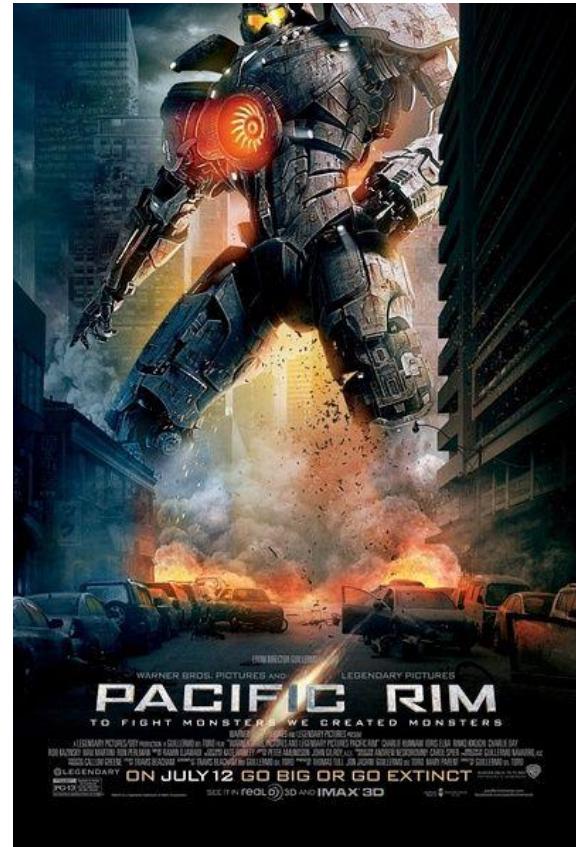
# 电影



2010年金球奖最佳影片



2013年奥斯卡最佳导演





# 图形用户界面

- **用户界面**: 介于人与计算机之间，人与机器的通信，人机界面（HCl）：软件 + 硬件
- 发展
  - 由指示灯和机械开关组成的操纵板界面
  - 由终端和键盘组成的字符界面
  - 由多种输入设备和光栅图形显示设备构成的图形用户界面(GUI)，WIMP(Windows, Icons, Menu, Pointing devices)界面，所见即所得
  - VR技术（发展方向）

# 图形交互式界面



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

