

# 计算机图形学绪论

冯结青

浙江大学 CAD&CG国家重点实验室

# 任课教师及联系方式

- 任课教师： **冯结青**      **王锐**
- 研究方向(**冯结青**)
  - 计算机图形学、计算机视觉
  - 太阳能热发电仿真
- 联系方式
  - Tel:     0571-88206681 ext 506, 13588104842
  - Email: jqfeng@cad.zju.edu.cn
  - Url:     <http://www.cad.zju.edu.cn/home/jqfeng/>
  - 紫金港校区图书信息中心B楼CAD&CG国家重点实验室 510室

# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- 计算机图形学的应用
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- 计算机图形学的应用
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 计算机图形学定义

- IEEE: Computer graphics is the art or science of producing graphical images with the aid of computer
- 国际标准化组织ISO:
  - 计算机图形学是一门研究通过计算机将数据转换成图形，并在专门显示设备上显示的原理方法和技术的学科
  - 它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科

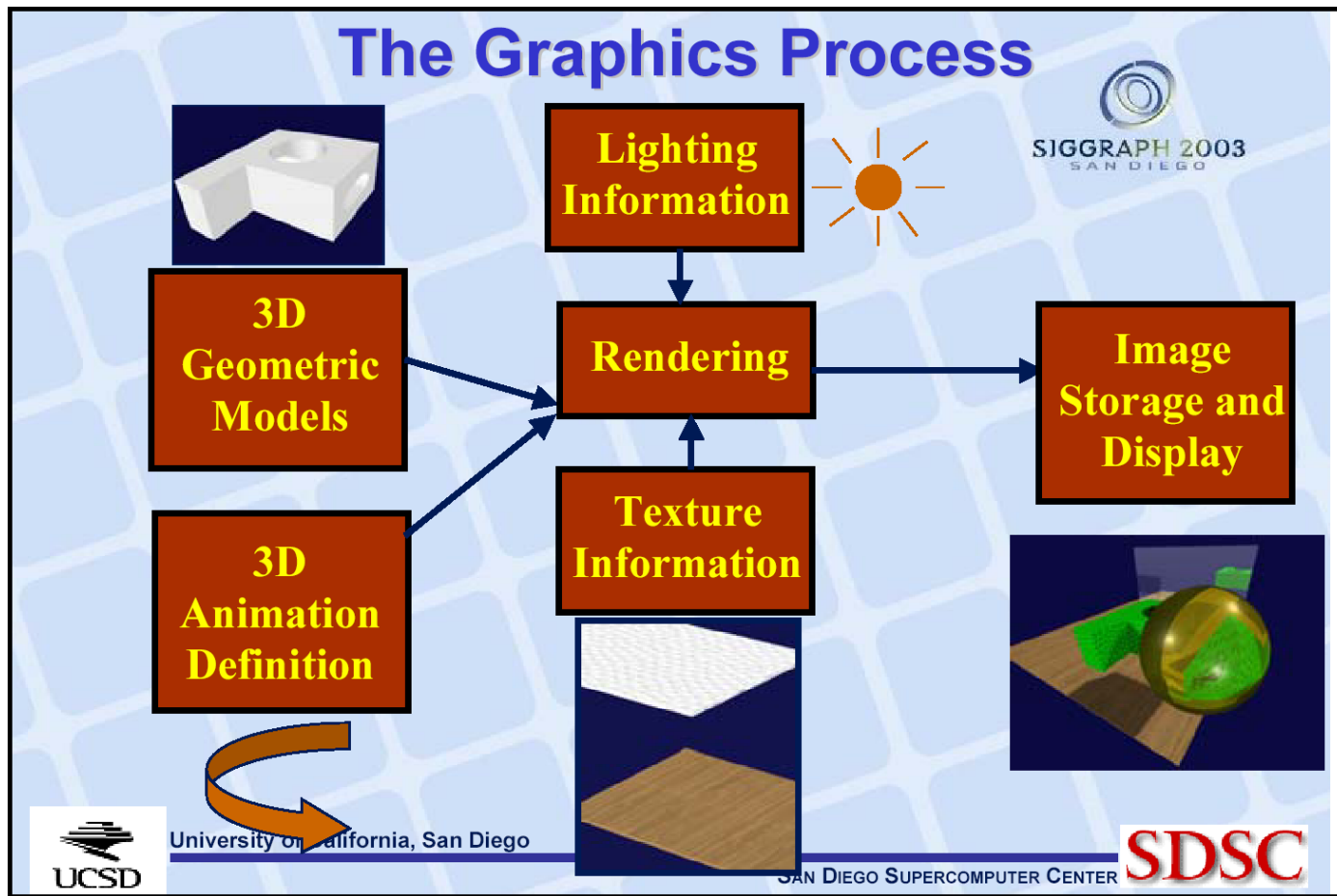
# 基于处理技术的分类

- **线框图形**：基于线条信息表示，如工程图、等高线地图、曲面的线框图等
- **真实感图形**：利用计算机生成像照片一样真实的图形
  - 场景表示：曲线曲面造型、实体造型
  - 光照模型：光源、纹理、材质...
- **非真实感图形**：艺术、风格化的图形

# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- 计算机图形学的应用
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 一个典型的图形生成过程

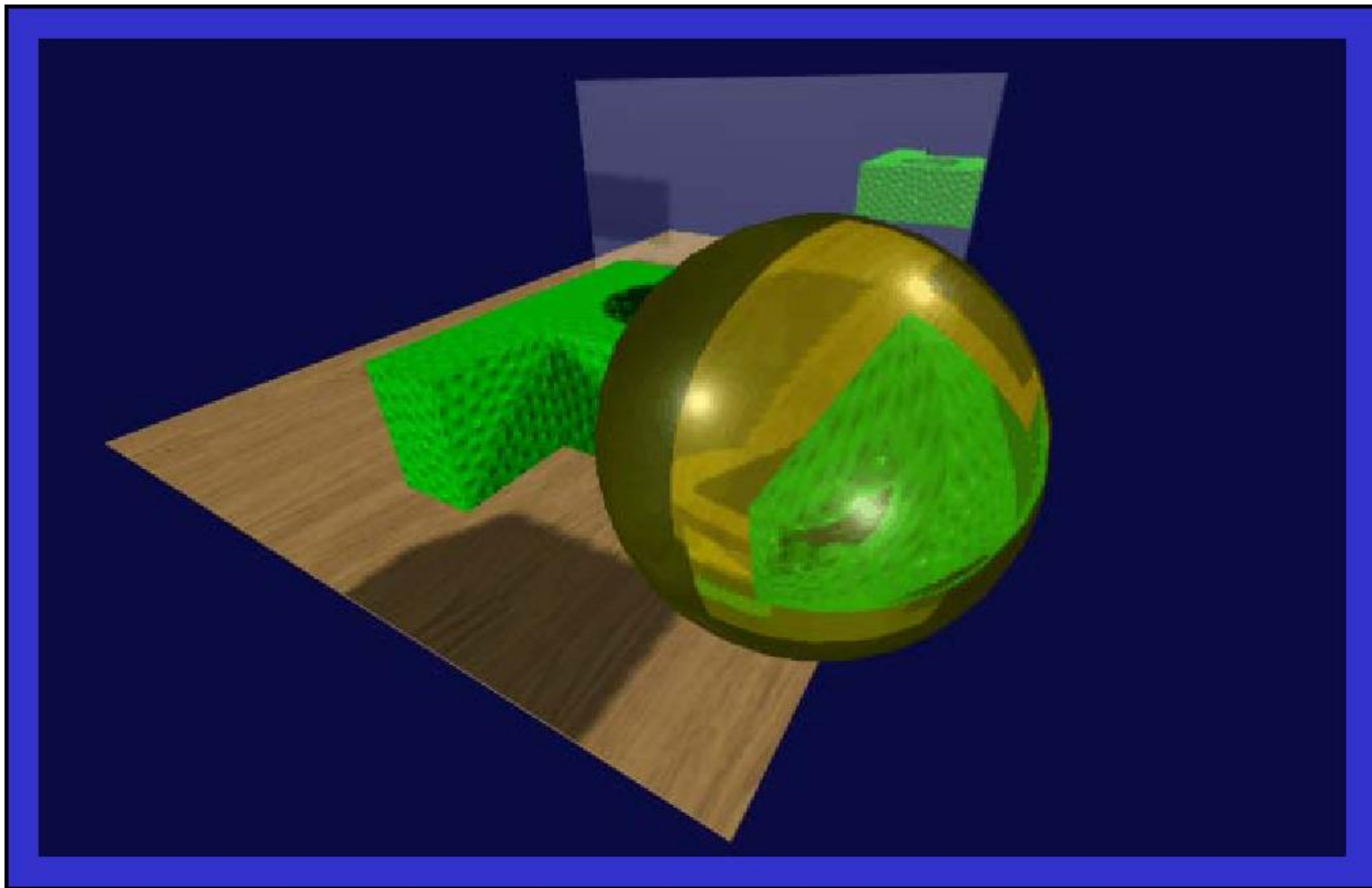




# 图形生成过程

- 三维几何建模(3D Geometric Modeling)
- 三维动画设置(3D Animation Definition)
- 绘制(Rendering)
  - 光照信息(Lighting Information)
  - 纹理信息(Texture Information)
- 生成图像的存储与显示(Image Storage and Display)

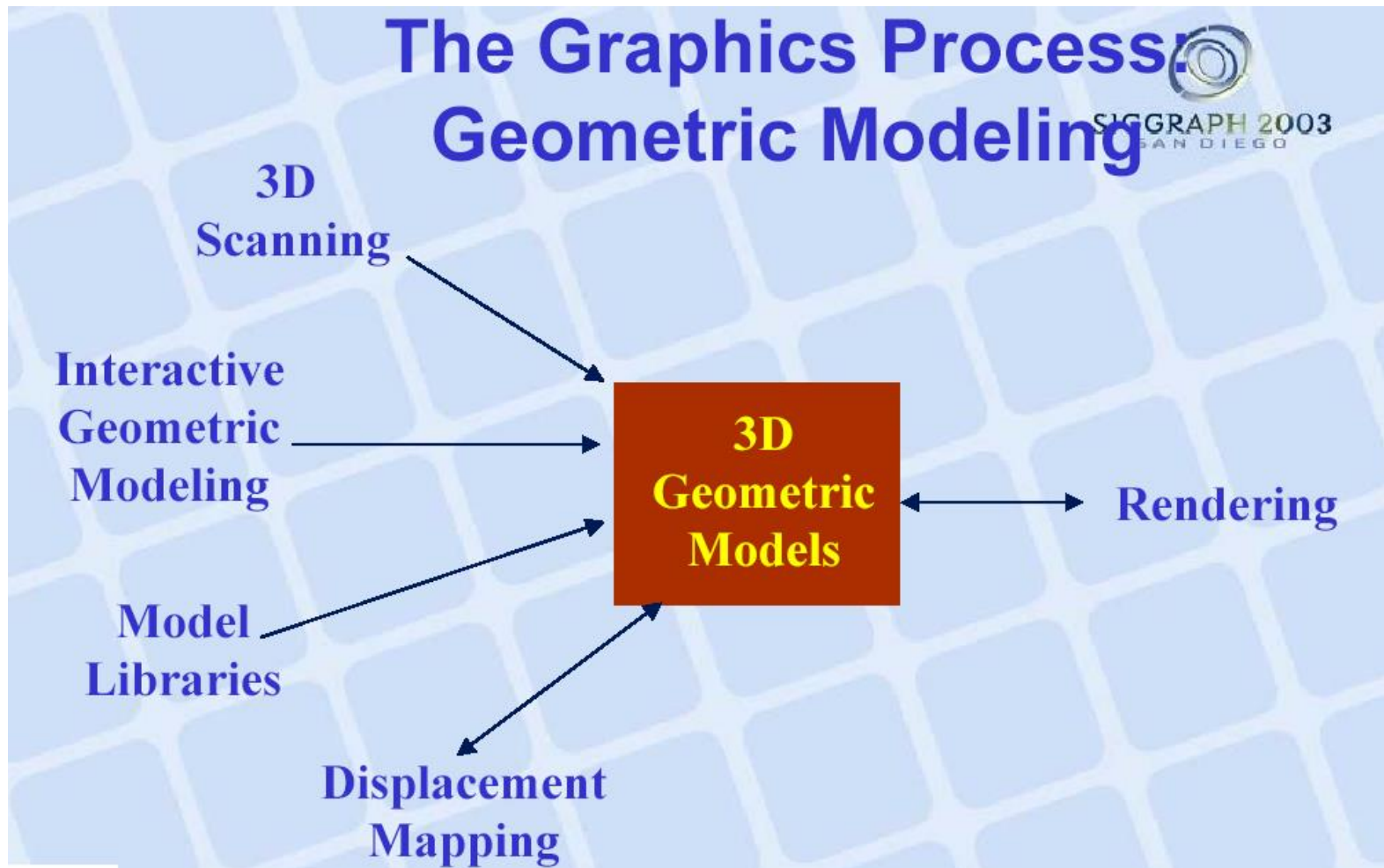
# 图形生成过程：绘制结果



# 图形生成过程：几何建模

- 三维几何建模的方式
  - 三维扫描(3D Scanning)
  - 交互式几何建模(Interactive Geometric Modeling)
  - 模型库(Model Libraries)
  - 位移映射(Displacement Mapping)
  - .....

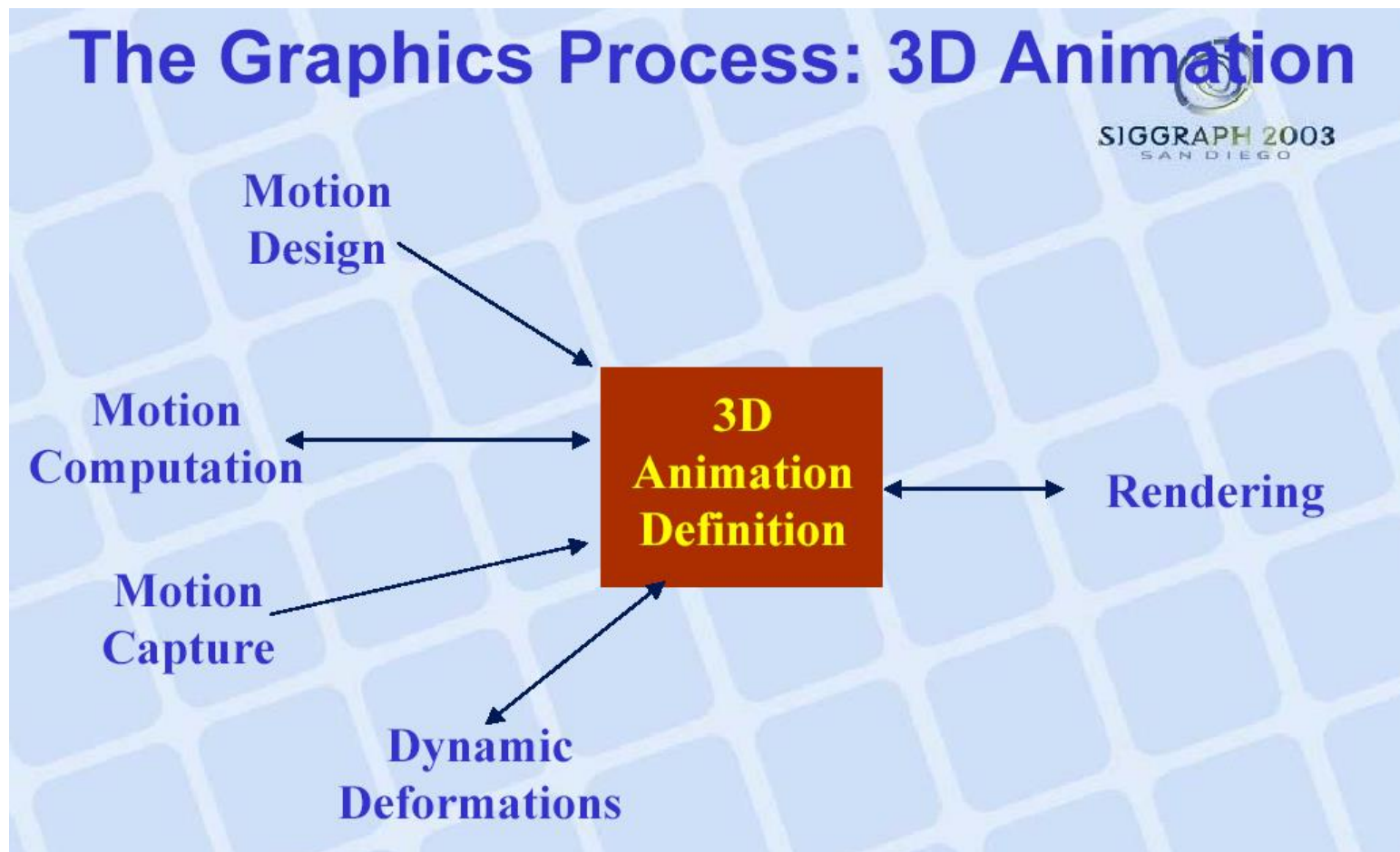
# 图形生成过程：几何建模



# 图形生成过程：三维计算机动画

- 三维计算机动画
  - 运动设计(Motion Design)
  - 运动计算(Motion Computation)
  - 运动捕捉(Motion Capture)
  - 动力学变形(Dynamic Deformation)
  - .....

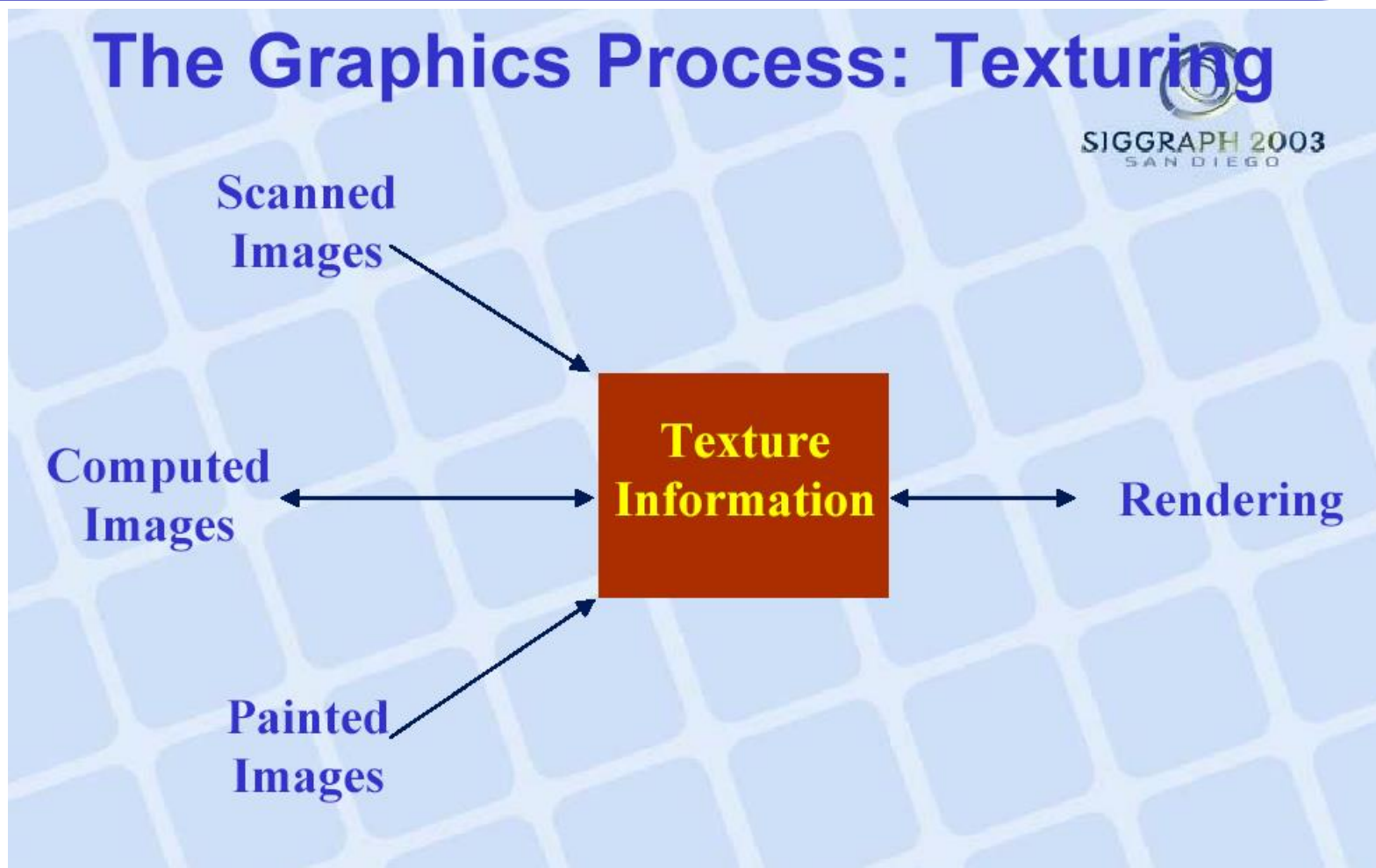
# 图形生成过程：3D计算机动画



# 图形生成过程：纹理信息

- 纹理信息(Texture Information)
  - 扫描图像(Scanned Image)
  - 计算得到的图像(Computed Image)
  - 手绘得到的图像(Painted Image)

# 图形生成过程：纹理信息

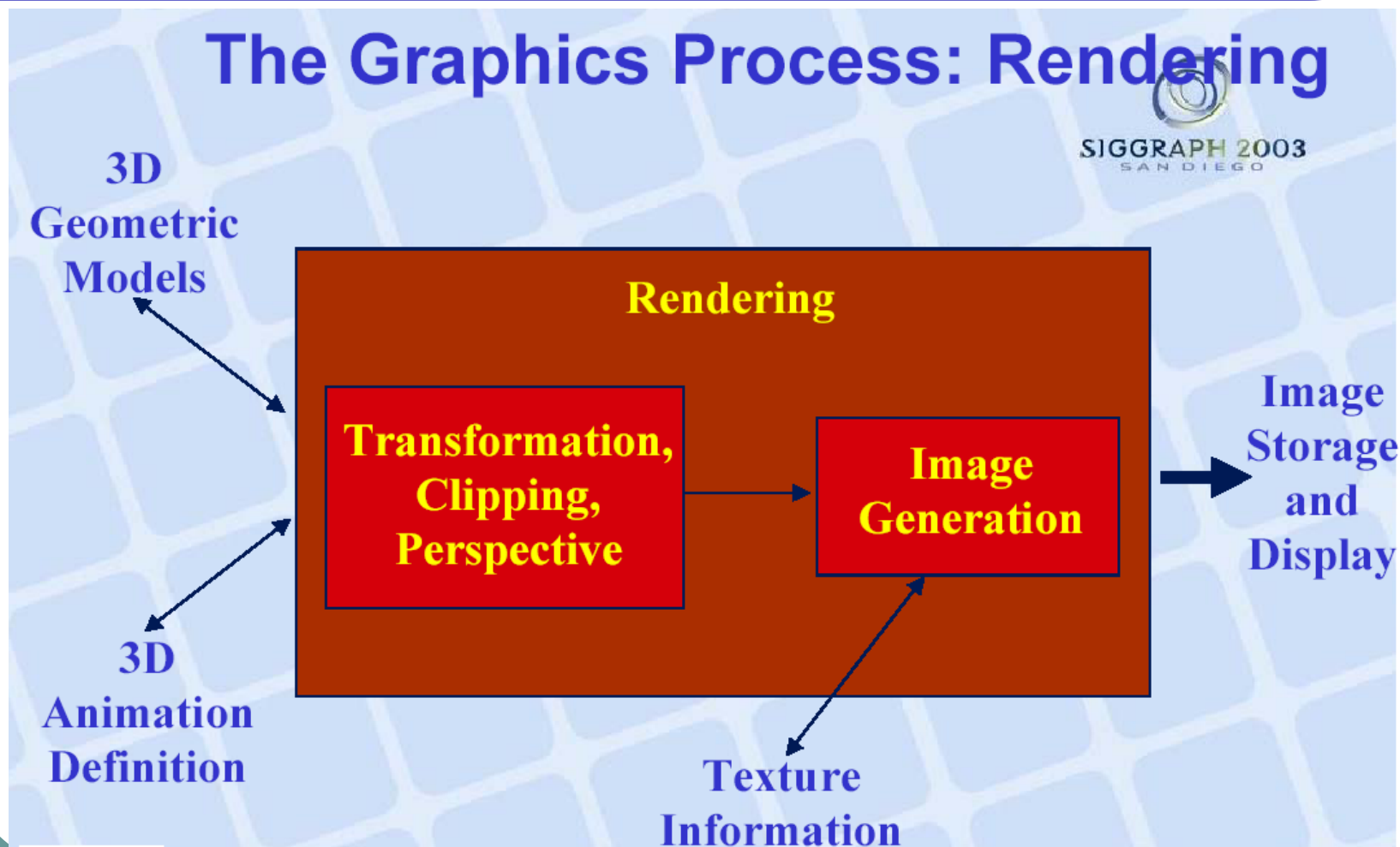




# 图形生成过程：绘制

- 绘制(Rendering)
  - 变换(Transformation)
  - 裁剪(Clipping)
  - 透视投影(Perspective)
  - 图像生成(Image Synthesis)
    - 光照明模型(Illumination Model)
    - 物体材质属性(Object Material)
    - 纹理信息(Texture Information)

# 图形生成过程：绘制



# 图形生成过程：显示与存储

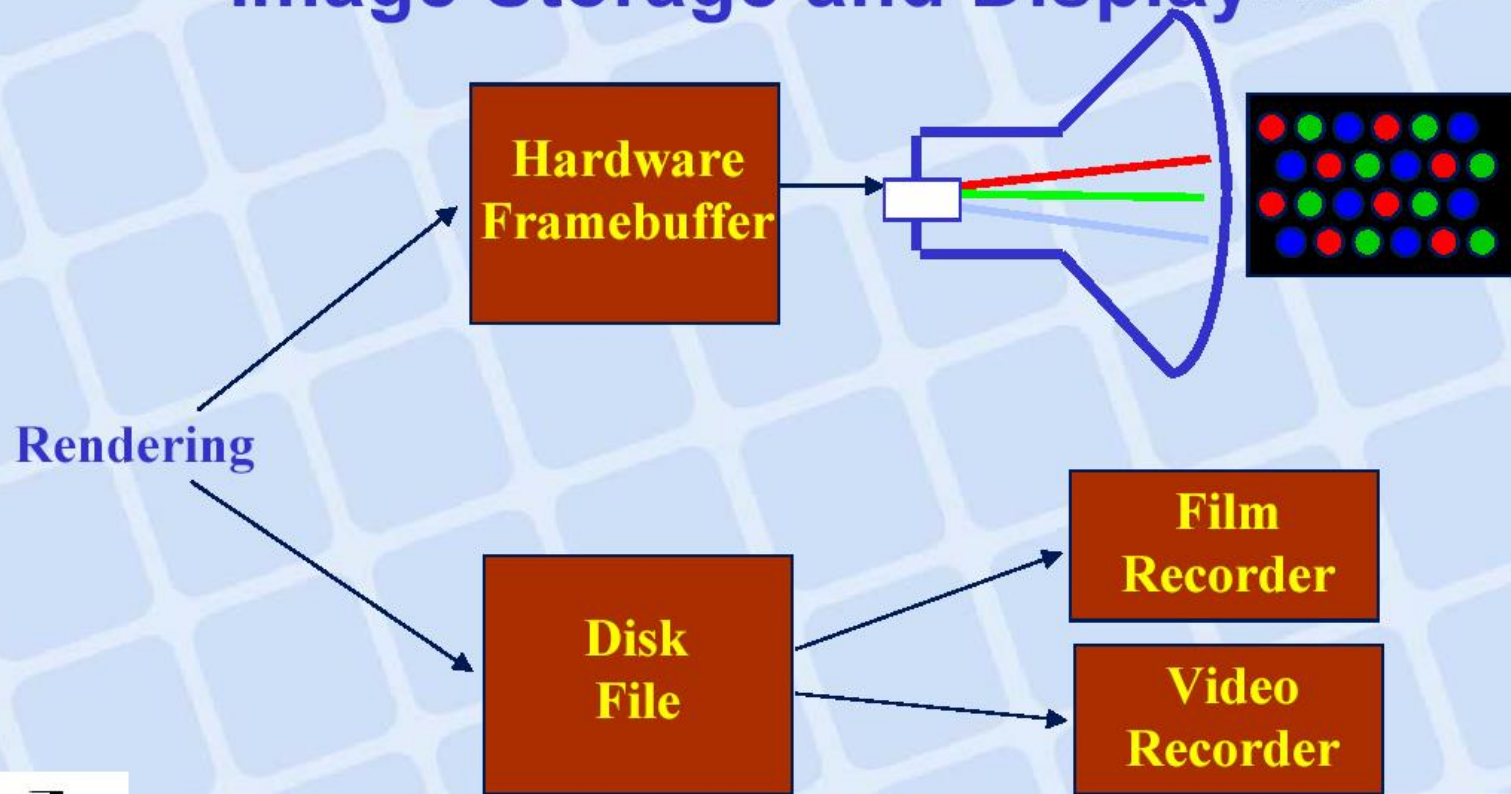
- 图像存储与显示(Image Storage and Display)
  - 硬件帧存(Hardware Framebuffer)：控制三色电子枪发射的电子束强度
  - 存储为磁盘文件(Disk File)
    - 电影胶片记录(Film Recorder)
    - 视频记录(Video Recorder)
    - 打印(Print)

# 图形生成过程：显示与存储

## The Graphics Process: Image Storage and Display



SIGGRAPH 2003  
SAN DIEGO



# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- **计算机图形学与图像处理**
- 计算机图形学的应用
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 计算机图形学与图像处理

## 计算机图形学 CG

- 用计算机表示真实或虚拟物体的模型，并用算法生成可以显示、打印的图像
- 数字模型 → 数字图像
- 生成、合成(Synthesis)
- 图像“干净”：无噪音

## 图像处理 IP/CV

- 将客观世界中真实景物通过数字化方法转化为图像，用计算机对其进行处理、分析和理解
- 数字图像 → 数字图像/特征
- 分析、理解(Analysis, Understanding)
- 图像“尘埃”：有噪音

计算机图形学和图像处理：逐渐融合，界限模糊

# 计算机图形学与图像处理

## OUTPUT

		scene descriptions	images
INPUT	scene descriptions	Computer Graphics	
	images	Computer Vision Pattern Recognition	Image Processing

# 计算机图形学与图像处理

← CG: 图形生成



图像(照片) →







# 计算机图形学概述

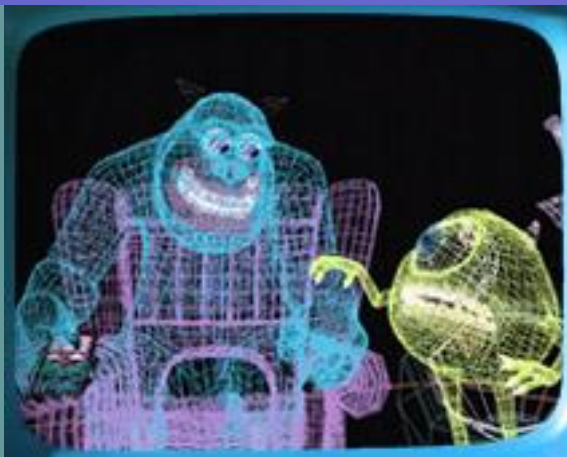
- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- **计算机图形学的应用**
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 计算机图形学的应用

- Computational biology
- Computational photography
- Computational physics
- Computer-aided design
- Computer simulation
- Design
- Digital art
- Education
- Graphic design
- Infographics
- Information visualization
- Rational drug design
- Scientific visualization
- Special Effects for cinema
- User Interface
- Video Games
- Virtual reality
- Web design



# 动画电影制作流程



造型



布局



动画



光照与着色



绘制



合成

# 图形学应用：影视特技



《海底总动员》剧照



《加勒比海盗》特效



《魔鬼终结者II》剧照



《阿凡达》剧照



《泰坦尼克号》剧照

<https://www.jetss.com/photos/2017/11/21-influential-special-effects-movies-history-cinema/>

# 图形学应用：影视特技

- 影视特技的里程碑：《魔鬼终结者II》
- 影视特技的核心技术就是计算机图形学中的动画技术
  - 图形学部分替代了娱乐业中的演员特技、场景特效等：超现实、跨时空
  - 图形特技已经成为影视特技的重要组成部分
  - 影视业极大地推动了图形学研究的发展



# 图形学应用： 计算机游戏



网络游戏《传奇3》



射击游戏



中国古代武将

# 图形学应用： 计算机游戏

- 计算机游戏： 具有娱乐功能的计算机软件
- 计算机游戏： 涉及硬件、软件和互联网
- 计算机游戏的核心技术之一是图形学
  - 计算机游戏是计算机图形学发展的另一个重要推动力
  - 计算机图形学技术的发展为产生高质量的计算机游戏提供了技术支持
- 计算机游戏： 成瘾、伤害



# 图形学应用：计算机辅助设计和制造



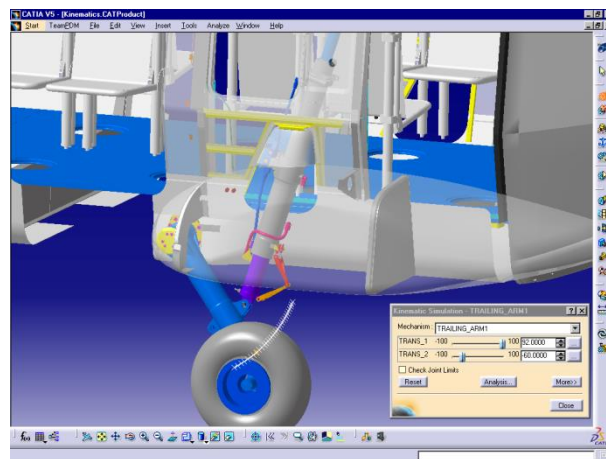
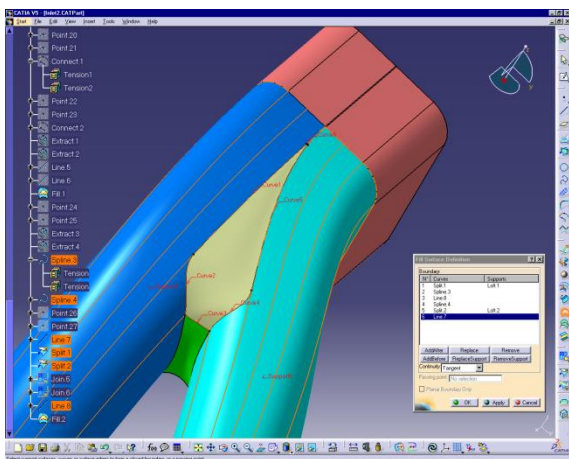
汽车设计



游艇设计



计算机辅助皮鞋设计

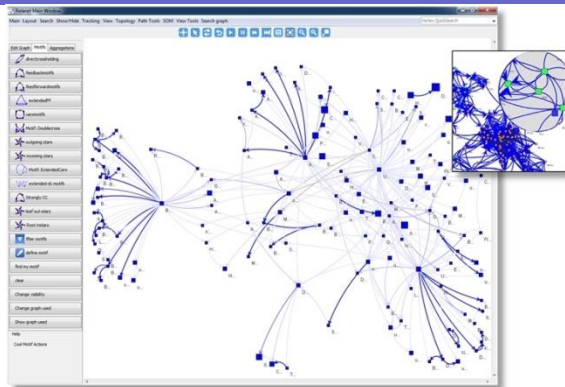


计算机辅助飞行器设计

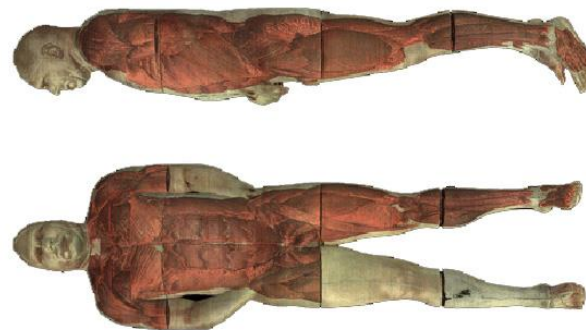
# 图形学应用：计算机辅助设计和制造

- 计算机辅助设计和制造CAD/CAM：建筑、电路、汽车、飞机、船舶、纺织品、太空船、家用电器等设计等
  - 计算机图形学是CAD/CAM系统的基础技术之一
  - 20世纪50~60年代，CAD/CAM技术的发展催生了计算机图形学
- 数字化设计与制造：Boeing-777
  - 1990.10~1994.4 第一架B-777出厂 50亿\$ 4年
  - 1995量产

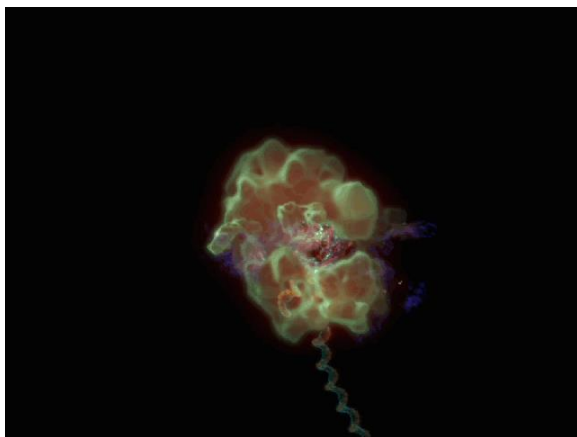
# 图形学应用：可视化与可视分析



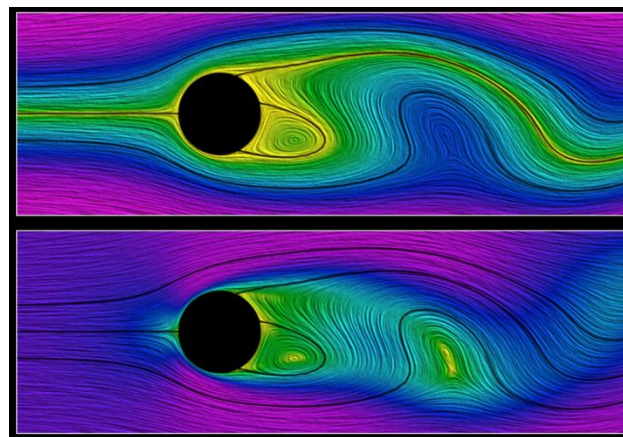
网络拓扑结构



可视人(Visible Human)



蛋白质的合成与折叠过程

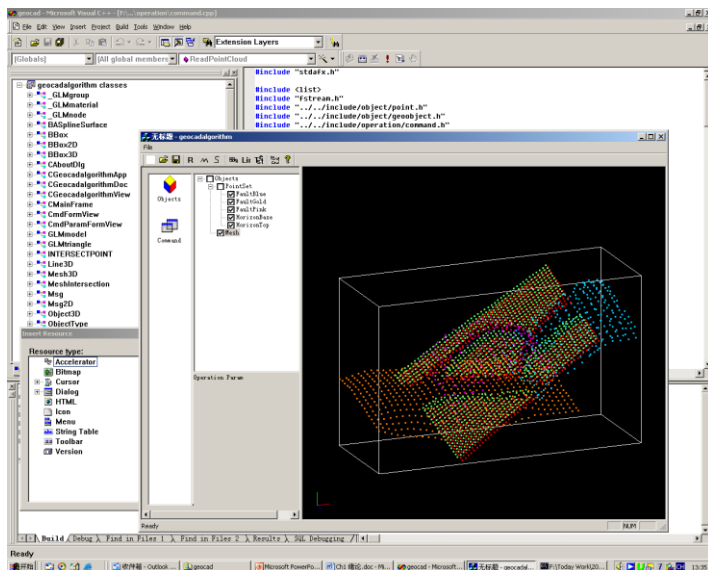


流场的可视化

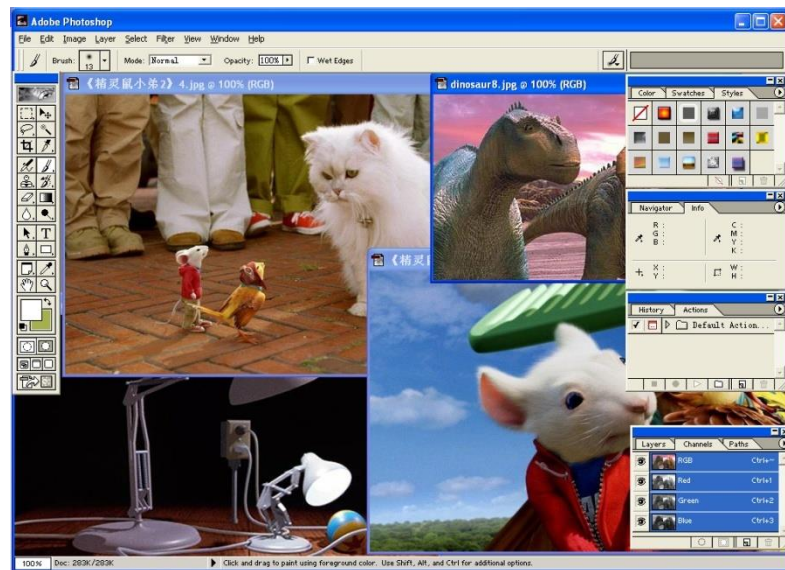
# 图形学应用：可视化与可视分析

- 计算机图形学使得理解大规模的科学计算数据成为可能
  - 数值仿真、气象卫星、石油勘探、遥感卫星、医学影像、蛋白质分子结构、社交网络等都会产生大量的数据
  - 计算机图形学可将上述数据转换为图像或动画的形式在屏幕上显示出来，并进行交互处理，从一大堆枯燥乏味的数字中找出其内在规律和变化趋势
  - See the Unseen：透过现象看本质

# 图形学应用：图形用户界面



Microsoft Visual C++的  
图形用户界面



Adobe Photoshop的图  
形用户界面

# 图形学应用：图形用户界面

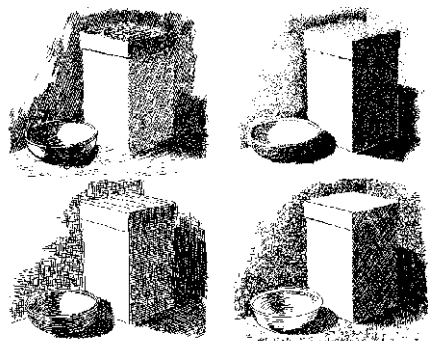
- 图形所蕴含的信息量大于文字
- 图形用户界面：Graphics User Interface, GUI
  - 窗口管理器：采用鼠标等交互式输入设备
  - 图标：表示某种选项的形象直观的图形符号



# 图形学应用：计算机艺术



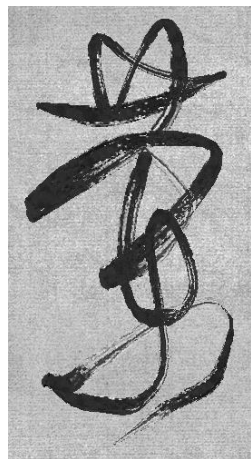
计算机生成水粉画



计算机生成素描



计算机生成国画



计算机生成书法



计算机生成中国画风格的动画

# 图形学应用：计算机艺术

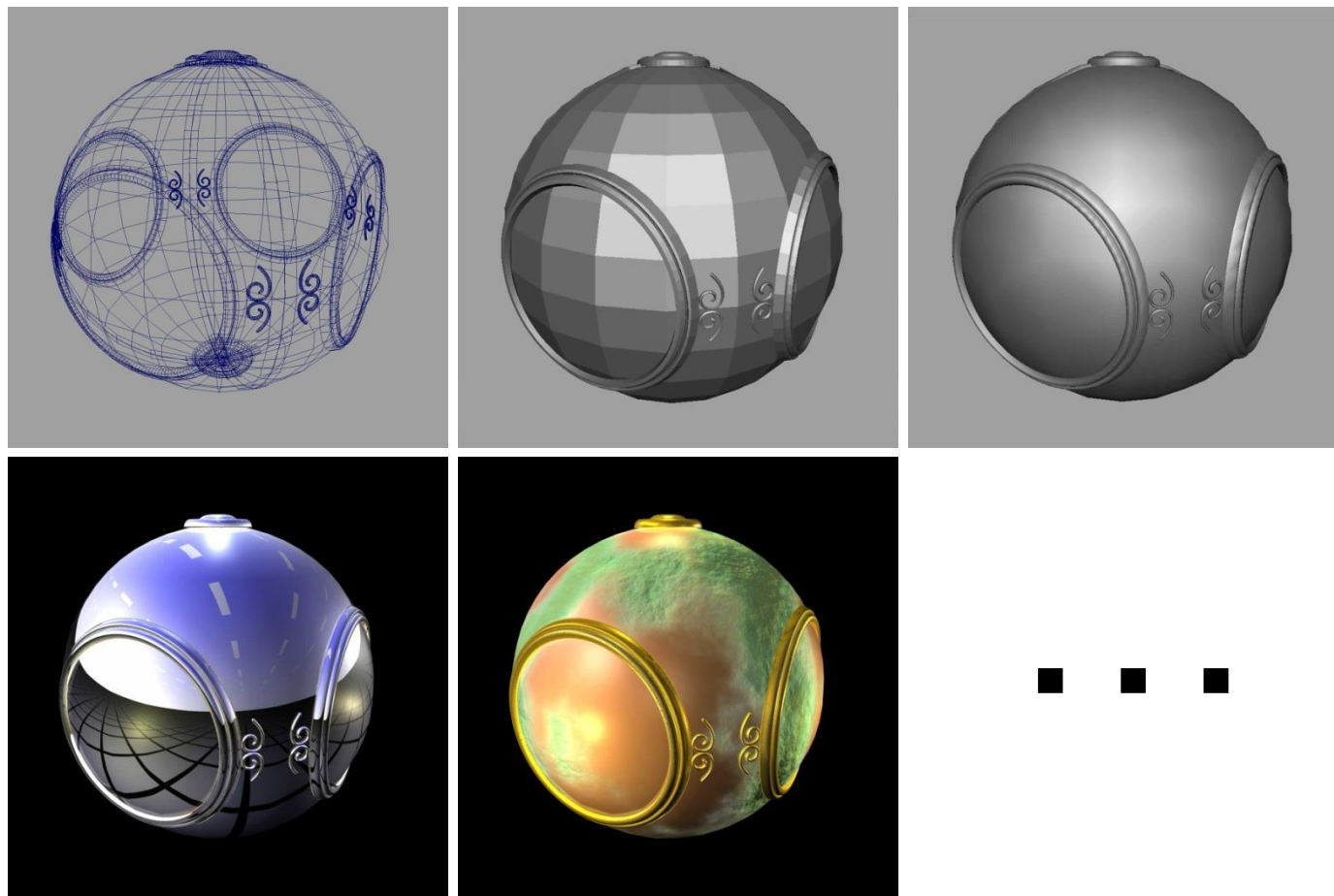
- 计算机艺术是科学和艺术相结合的一门学科
- 计算机图形学技术可以用于绘画、书法、雕刻等，实现传统艺术创作难以展现的效果。
  - 由于可以采用专用硬件和专业绘画软件进行艺术创作，即使是非专业人士也能像艺术家一样借助计算机来实现自己的创意和构思，从而使得艺术更贴近普通人。
  - 计算机艺术不需要传统艺术中的纸和笔等材料，所有的创作都在电子画布上实现。



# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- 计算机图形学的应用
- **计算机图形学的发展**
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 计算机图形学的发展



线画图、填充图、明暗着色、环境映照、凹凸纹理

# 计算机图形学的发展

- Sketchpad: MIT 林肯实验室

1962年, Ivans. E. Sutherland在其博士论文中首次使用了Computer Graphics, 确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位



SketchPad: 1<sup>st</sup> interactive Graphics (1961)  
**Ivans. E. Sutherland: 1988 Turing Award**



Edwin E. Catmull   Patrick M. Hanrahan  
**2019 Turing Award**

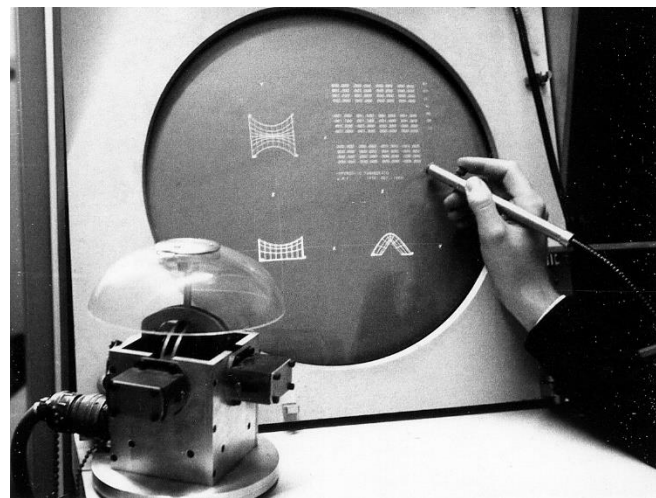
# 图形显示技术的发展

## ● 随机扫描刷新式显示器

- 阴极射线管、电子束、荧光物质
- 时间短暂，不停刷新 ( $>30\text{Hz}$ )，闪烁
- 价格昂贵：64K PDP-7, 100,000\$ (1965)



Whirlwind: early graphics using VectorScope (1951)



vector display with light pen and joystick

# 图形显示技术的发展

- 存储管式显示器：60年代中后期
  - 荧光屏前：绝缘介质、金属网
  - 电子束在金属网上形成持久正电荷、刷新时间长
  - 造价低、无闪烁、刷新时间长、交互性不好



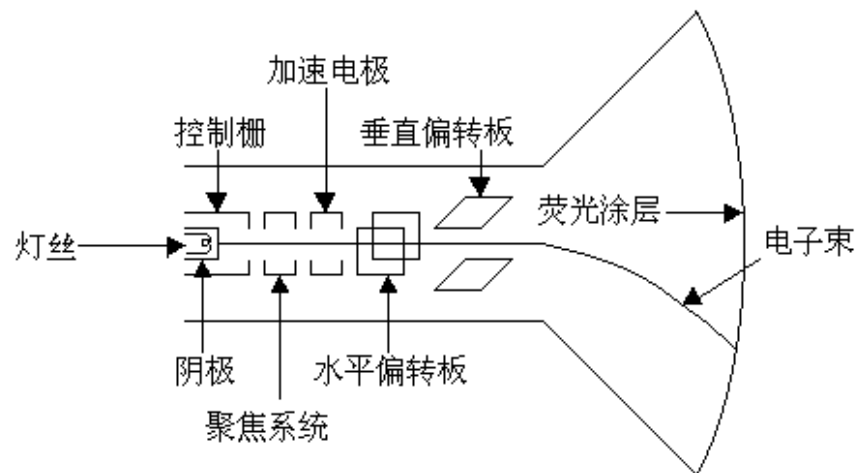
**ARDS, the first commercial storage tube terminal, circa 1969**

# 图形显示技术的发展

- 光栅显示器：70年代初
  - 三色电子枪、帧缓存器、离散显示(pixel)
  - 便宜：RAM发展促进了光栅显示器的大众化



光栅显示器：CRT与液晶



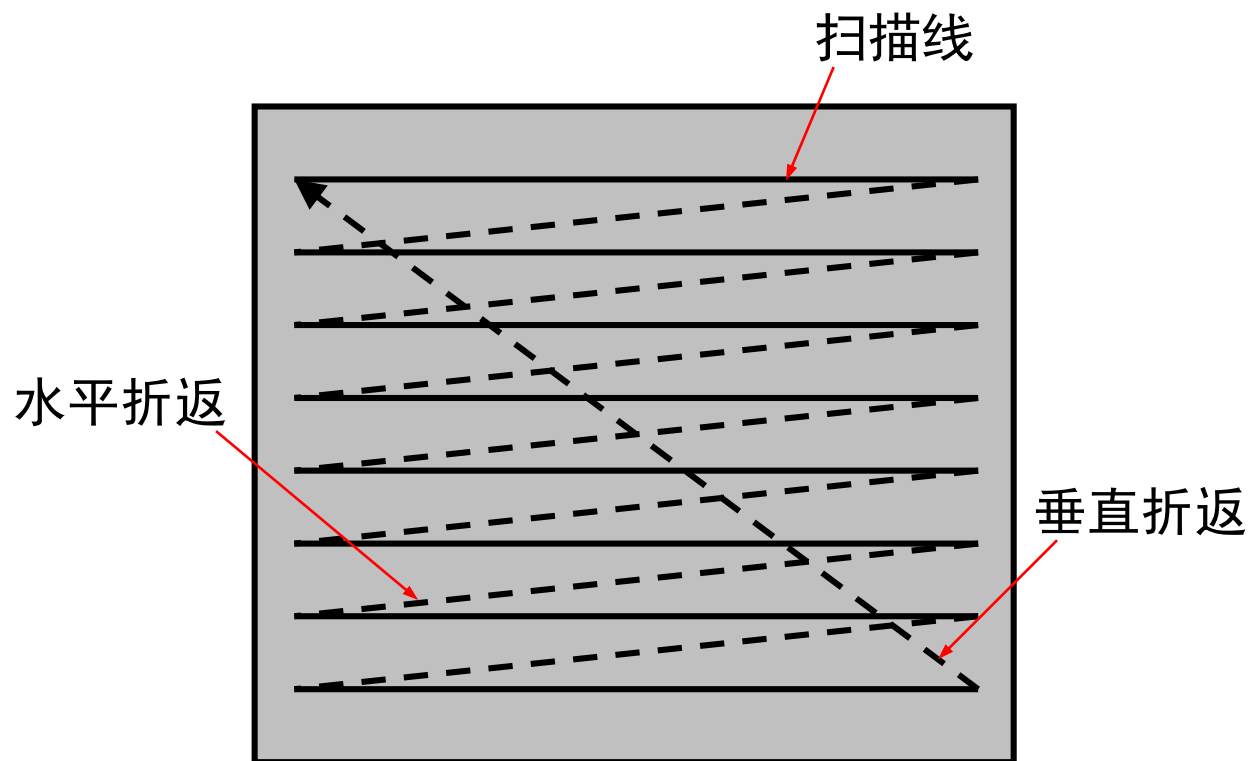
光栅显示器的工作原理

# 图形显示技术的发展

- 光栅显示器
  - 像素(Pixel)
  - 水平扫描线
  - 每个像素值的红、绿、蓝三个颜色分量值
  - 刷新缓冲器：硬件、软件实现
    - $1280 \times 1024 \times 24\text{bit} = 3.75\text{MB RAM}$

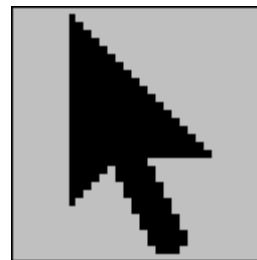
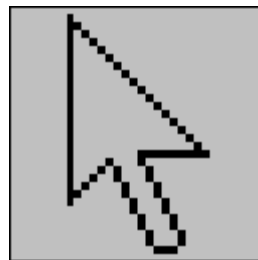
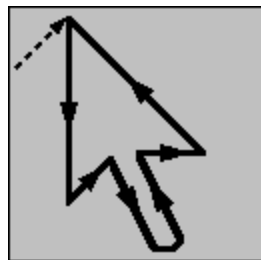
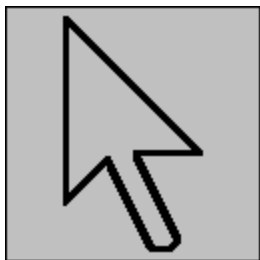
# 图形显示技术的发展

- 光栅显示器：扫描线从上到下、从左到右





# 光栅显示与矢量显示技术的区别



- 矢量显示

- 光滑
- 线框

- 光栅显示

- 锯齿：走样
- 线框、填充

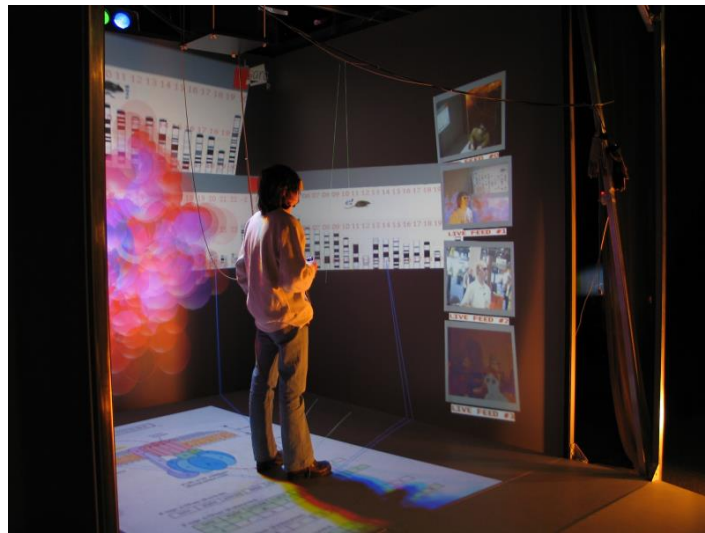
确定最佳逼近图形的像素集合，并用指定的颜色和灰度设置像素的过程叫做图形的扫描转换，或者称作光栅化(rasterization)

# 图形显示技术的发展

## ● 虚拟环境中的显示设备



头盔式显示器



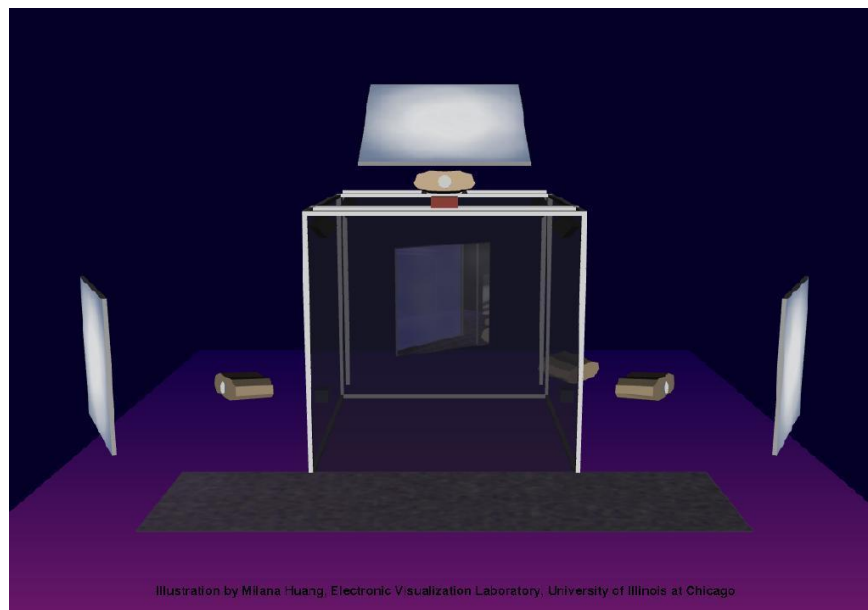
四屏幕虚拟环境CAVE

# 图形显示技术的发展

- 虚拟环境中的显示设备

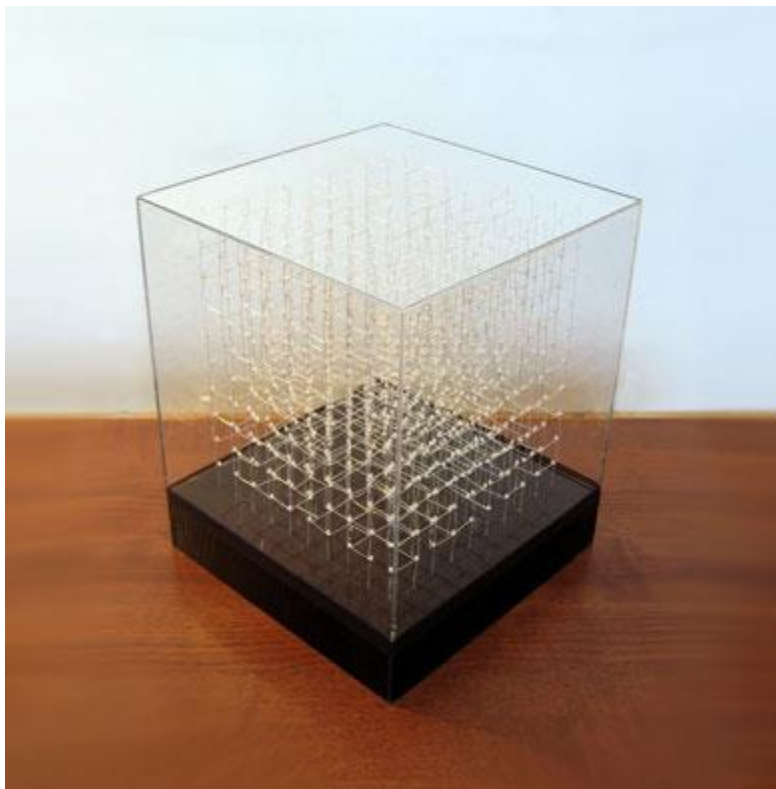


四屏幕虚拟环境CAVE

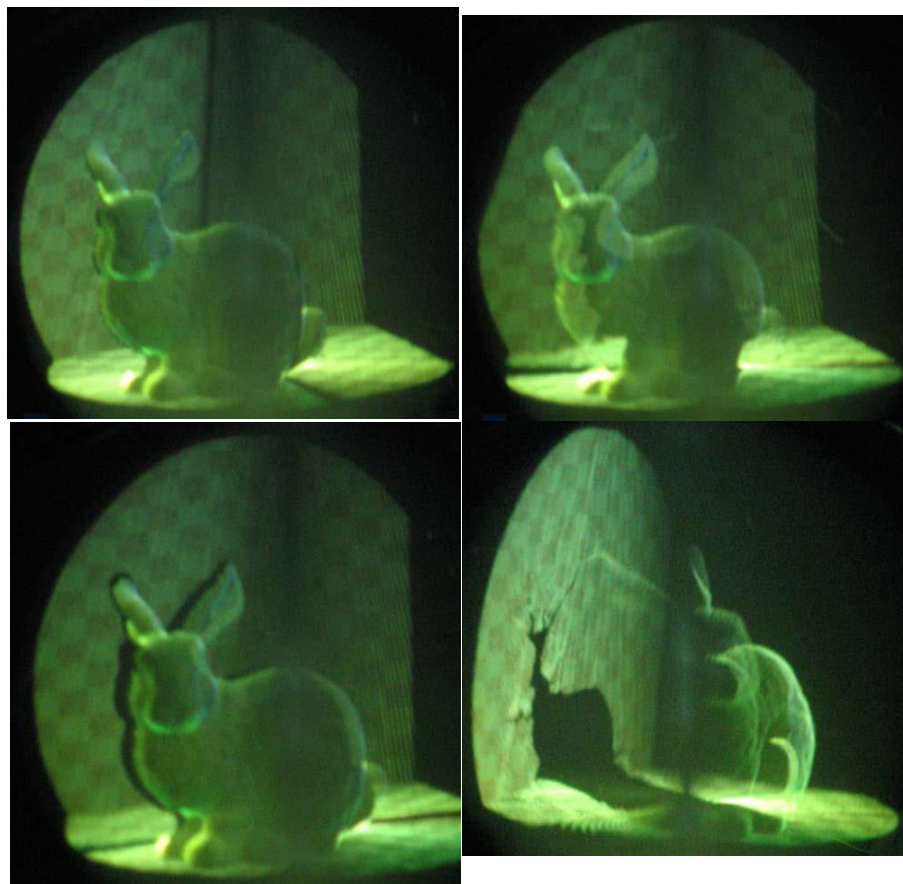


虚拟环境CAVE的显示原理

# 三维显示

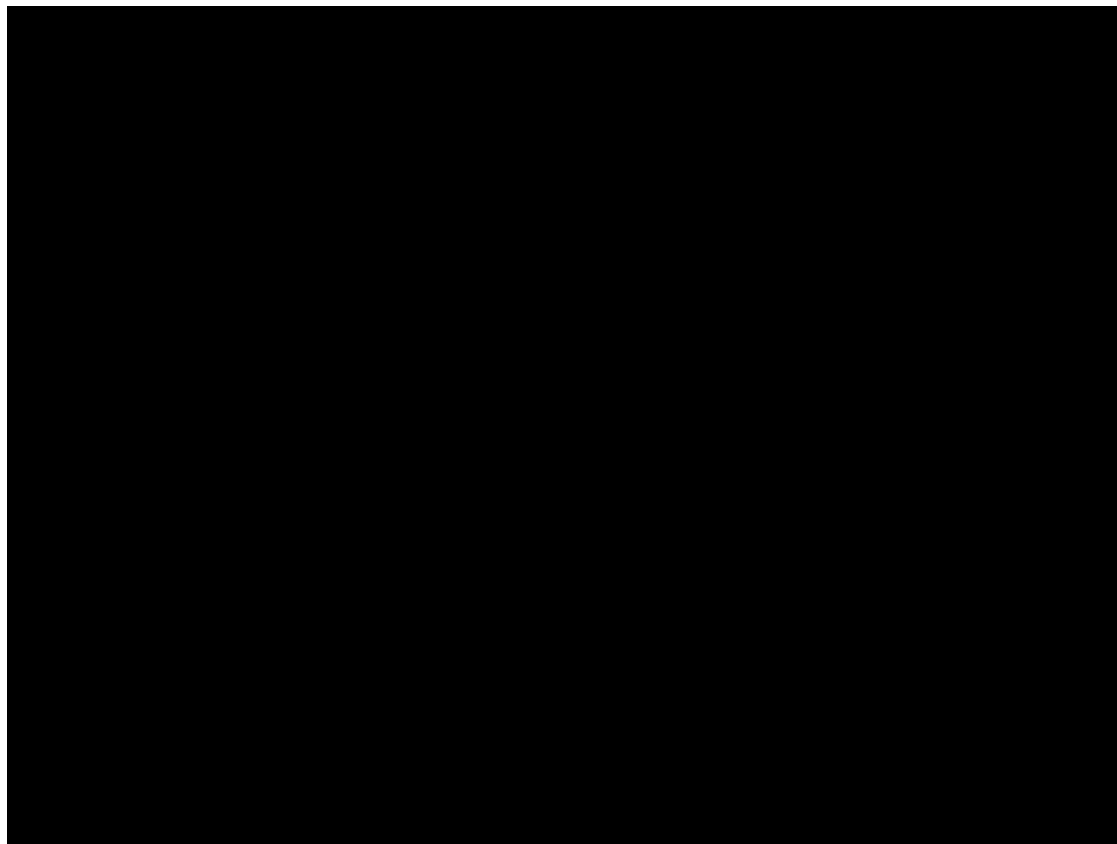


三维显示立方体



[www.cs.purdue.edu/cgvlab/projects/occ.htm](http://www.cs.purdue.edu/cgvlab/projects/occ.htm)

# Magic Leap



*<https://www.magicleap.com>*

# 计算机图形学的发展

- 真实感(Realism)
  - 照片真实感
  - 随人类认识自然能力发展而发展
- 实时性(Real-Time)
  - 软件实现：算法加速、模型的优化、简化
  - 硬件实现：专用图形卡、可编程图形硬件

真实感与实时性是一对矛盾



# 计算机图形学的发展[MSRA]

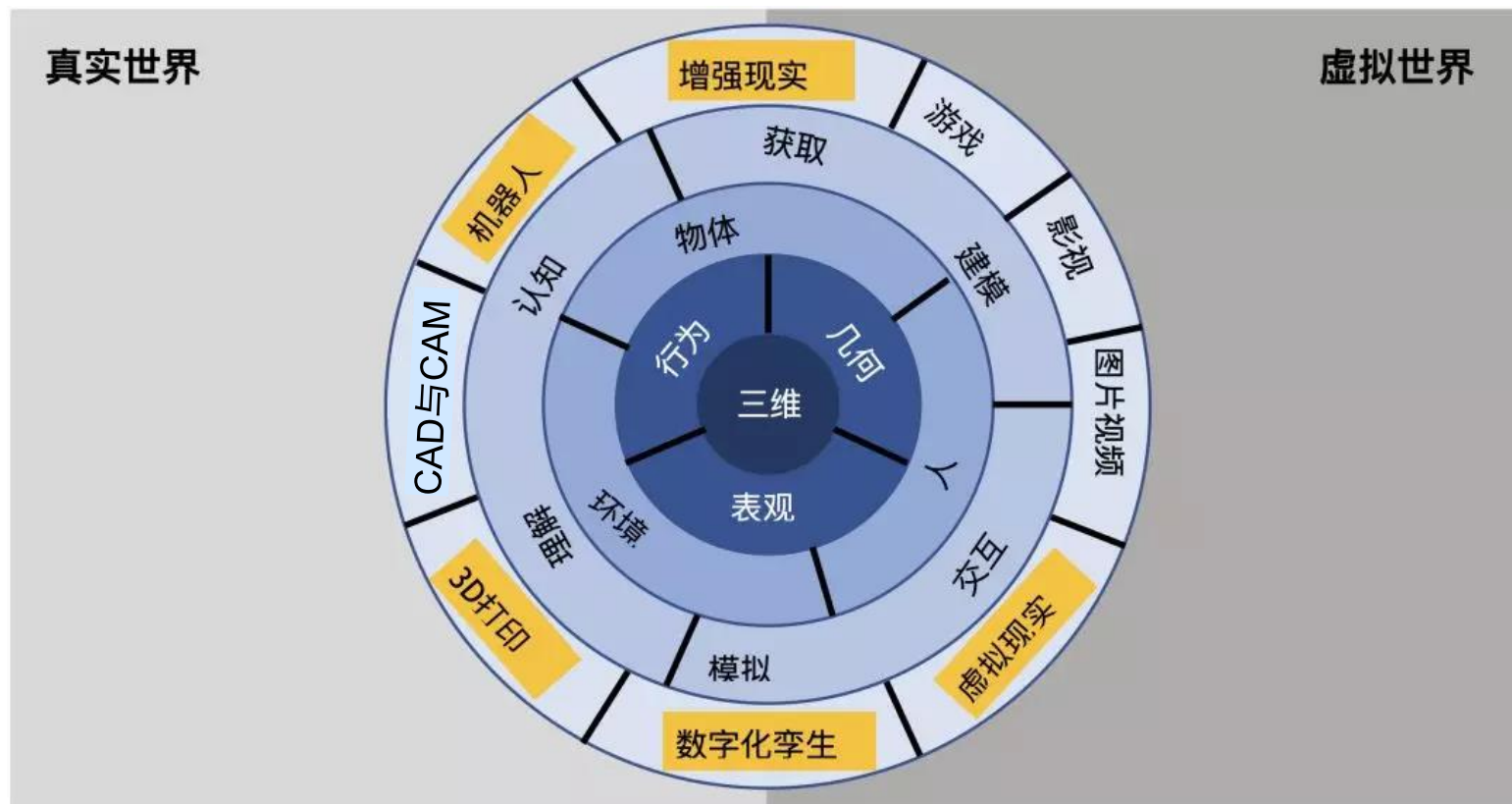


图1：图形学中三维信息的属性，研究对象，与技术分类。最外环为图形学的应用场景。浅蓝底色的为现有的应用。黄色高亮的为新的应用。



# 计算机图形学的未来：硬件和设备

- **三维显示：**提供高分辨率、高动态范围的全三维显示。
- **深度相机：**提供和现有彩色相机相匹配的高分辨率、高帧率、低功耗、低噪声的深度相机。
- **多自由度机械手和类人软体机器人装置：**提供低成本、高精度、编程可控的多自由度机械手以及具有类人外形的软体机器人。

# 计算机图形学的未来：硬件和设备

- **三维打印机：**提供同时支持多种打印材料、高精度、低价格、快速的三维打印。
- **IOT与传感器：**提供小型、省电、低成本的能测量真实世界各种物理参数的传感器与实时的数据收集。
- **力学捕捉与反馈设备：**提供精确具有高空间分辨率和力分辨率的触觉输入输出。

# 计算机图形学概述

- 计算机图形学的基本概念
- 一个典型的计算机图形生成过程
- 计算机图形学与图像处理
- 计算机图形学的应用
- 计算机图形学的发展
- 本课程内容、参考书、国际会议与期刊、相关软件和考试方式

# 本课程的内容

1. 计算机图形学概述
2. 光栅图形、光栅化线和圆
3. 多边形物体与图形学中常用的数据结构
4. 数字几何处理初步
5. 参数曲线和曲面
6. 细分曲面、隐式曲面、CSG和自然景物造型
7. 二维和三维图形变换
8. 二维线裁剪和多边形裁剪
9. 多边形的扫描转换
10. 边填充和边标志扫描转换算法、区域填充算法
11. 图形反走样的理论与方法
12. 消隐与扫描线z-buffer算法
13. 区间扫描线算法、层次z-buffer算法与Warnock算法、Weiler-Artherton算法
14. 表优先级算法与BSP算法
15. 真实感图形(王锐副教授)

# 本课程的所用的参考书

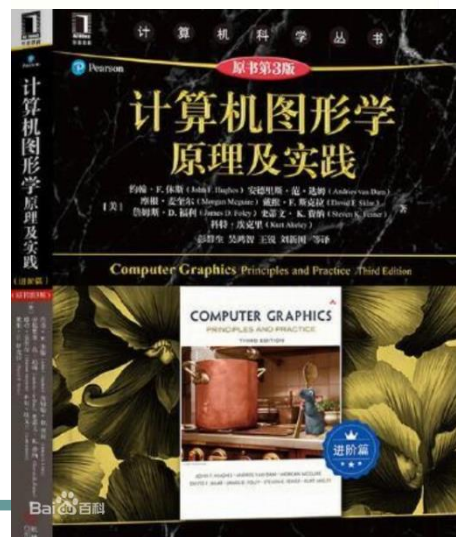
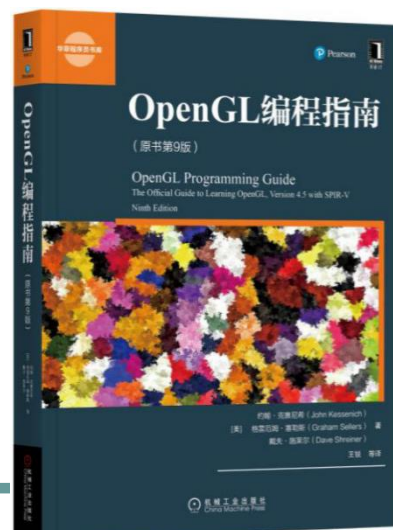
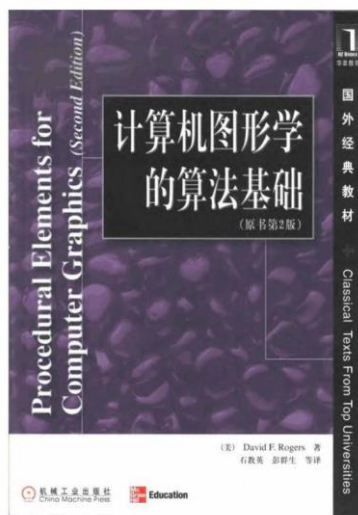
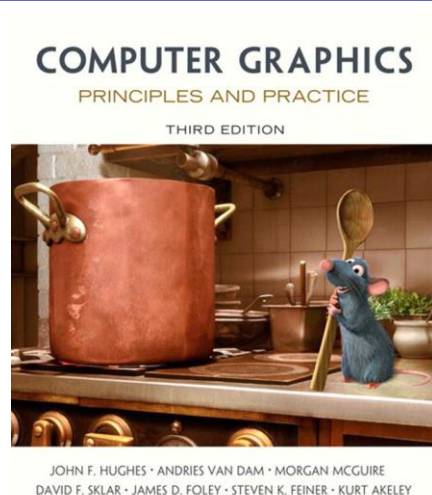
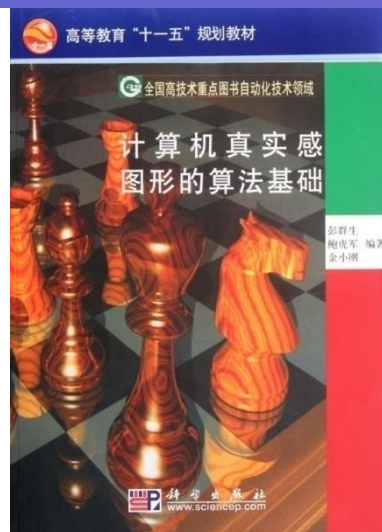
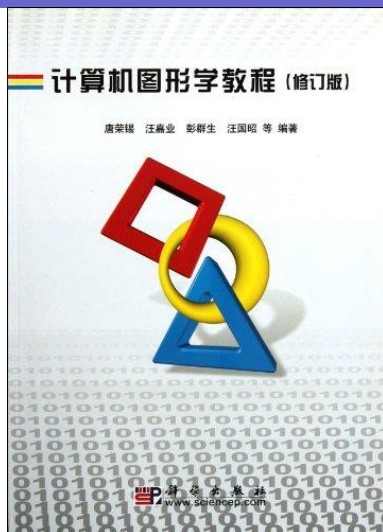
- 唐荣锡、汪嘉业、彭群生、汪国昭等编著，**计算机图形学教程** (修订版)，科学出版社，2000。
- 彭群生、鲍虎军、金小刚，**计算机真实感图形的算法基础**，科学出版社，1999。
- John F. Hughes, Andries van Dam, Morgan McGuire, David F. Sklar, James D. Foley, Steven K. Feiner, Kurt Akeley. **Computer Graphics: Principles and Practice**, 3rd Edition, Addison-Wesley, 2013.10.

# 本课程的所用的参考书

- 彭群生，刘新国，苗兰芳，吴鸿智译，**计算机图形学原理及实践 基础篇/进阶篇**，机械工业出版社，2018.11
- 石教英、彭群生等译，**计算机图形学的算法基础**，机械工业出版社，2002.1
- 王锐 等译，**OpenGL编程指南(原书第9版)**，机械工业出版社，2018.7



# 本课程的所用的参考书



# 国际学术会议

- ACM Siggraph
- ACM Siggraph Asia
- Eurographics
- Pacific Graphics
- Graphics Interface
- Computer Graphics International
- ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games
- ACM Solid and Physical Modeling Symposium
- International Conference on Computer Animation and Social Agents

# 国际学术期刊

- ACM Transactions on Graphics
- IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics
- IEEE Computer Graphics and Applications
- Graphical Models
- Computer Aided Design
- Computer Aided Geometric Design
- Computer Animation and Virtual Worlds
- The Visual Computer
- Computer Graphics Forum
- Computers & Graphics
- Computer Graphics World
- ACM Computers in Entertainment
- Journal of Graphics Tools

# 三维动画软件和API

- Autodesk Softimage、Autodesk MAYA、Houdini、Autodesk 3DS Max .....

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_3D\\_animation\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_3D_animation_software)

- POV-Ray <http://povray.org/>
- OpenGL Mesa3D Direct3D

<http://www.opengl.org>

<http://nehe.gamedev.net/>

- Vulkan

<https://www.khronos.org/vulkan/>

# 本课程的考查方式

- 上机作业
- 读书报告
- 课件下载(注意区分大小写)
  - 本次课件(PDF)
  - 文献： Jules Bloomenthal. 1998. Graphics Remembrances. IEEE Ann. Hist. Comput. 20, 2 (April 1998), 35-51.  
DOI=10.1109/85.667296  
( <http://dx.doi.org/10.1109/85.667296> )

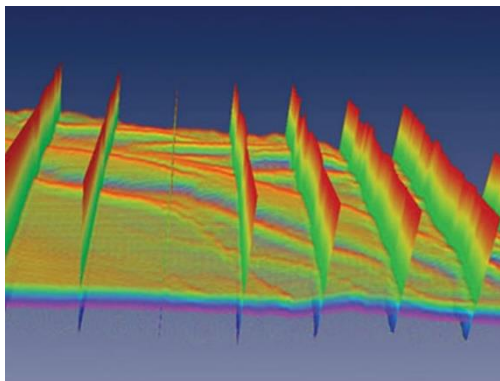
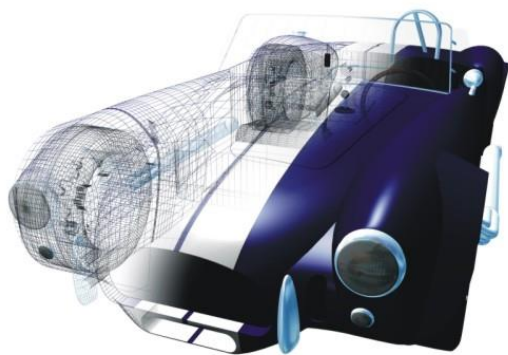
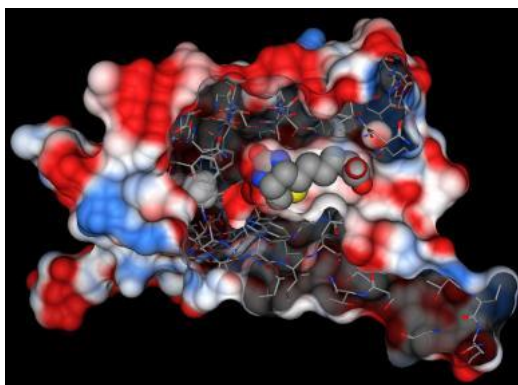
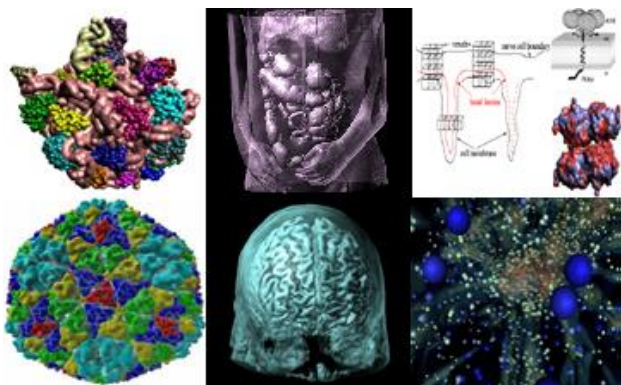
# 相关课程 《应用几何造型基础》

- 课程编号： **2124091**
- 课程性质： **专业选修课**
- 课程类别： **硕博通用**
- 任课教师： **冯结青 教授**
- 课程时间： 2019-2020学年**秋学期** 32学时
  - **周一下午6-7节： 玉泉教七 - 408**
  - **周三上午3-4节： 玉泉教十二 - 505**



# 几何造型

研究几何形状的表达、建模、分析和处理



# 课程内容

1. Vector and Affine Spaces
2. Representation of Curves and Surfaces & Differential Geometry of Curves
3. Differential Geometry - Surface 01
4. Differential Geometry - Surface 02
5. Bézier Curves and Surfaces 01
6. Bézier Curves and Surfaces 02
7. B-Spline Curves 01
8. B-Spline Curves 02
9. Rational B-Spline and Catmull-Rom Spline
10. B-Spline Interpolation and Approximation
11. Subdivision Curves
12. Subdivision Surfaces
13. Introduction of Implicit Surface Modeling
14. Metaball and Its Extensions
15. Quadric Surfaces and Visualize Implicit Surfaces
16. Introduction of Solid Modeling