



北京大学

Graphics & Interactive Lab

计算机图形学之 图形学概述

汪国平

北京大学信息科学技术学院

课程要求

- 了解本学科的应用背景及其关键内容；
- 掌握有关图形学的基本问题、基本概念、方法与算法；
- 熟悉图形系统的框架及其涉及的软件、硬件技术；
- 对课程相关的应用及当前的研究热点有一个初步认识；
- 有在相关领域继续深入学习的能力，本课程应提供相关线索；
- 具有一定的图形编程实践能力。



课程目标

- 培养与图形和动画相关的专业技术人员
- 培养游戏和动画方面的爱好者，具备一定知识基础



先修课程

- 1. 程序设计语言
- 2. 数据结构
- 3. 线性代数



考试方式

- 期中笔试 + 大作业
- 大作业，即复杂图形算法或者小系统（指定或者自选）
- 考试和作业各占比例50%



课程内容要点背景

- 突出共性
- 强调个性
- 学时数的限制，掌握基础知识，熟悉知识要点，建立知识索引，了解学科发展史，熟悉前沿研究热点，培养专业兴趣
- 就业领域的选择：两个“凡是”：凡是与应用需求联系密切的学科发展能够持久，凡是与人们的消费和娱乐联系密切的行业发展能够持久。



第一讲 计算机图形学概述

- Collection of Images and Videos
- 什么是计算机图形学？
- 计算机图形学是研究如何利用计算机生成、处理和显示图形的一门学科。



definition

- Computer graphics is about simulation, abstraction, and representation of light and matter
 - Interaction of light with matter
 - To simulate the glossy sheen of car paint
 - Or the waxy translucence of leaves and human skin
 - Or the self-shadowing effects of hair
 - Interaction of matter with matter
 - Physics of objects colliding and deforming
 - Fluid mechanics of water, or fire, or smoke
 - Structural physics of cloth



图形学主要的应用领域

工业领域（CAD）与商业娱乐领域（电影游戏动画）
军事领域（虚拟现实与仿真）

- CAD 侧重在精确表示，能不能做出来？
- 游戏动画 侧重在真实感效果的表现，是否逼真？
- 交互工具 简单易用，提高表现力和真实感



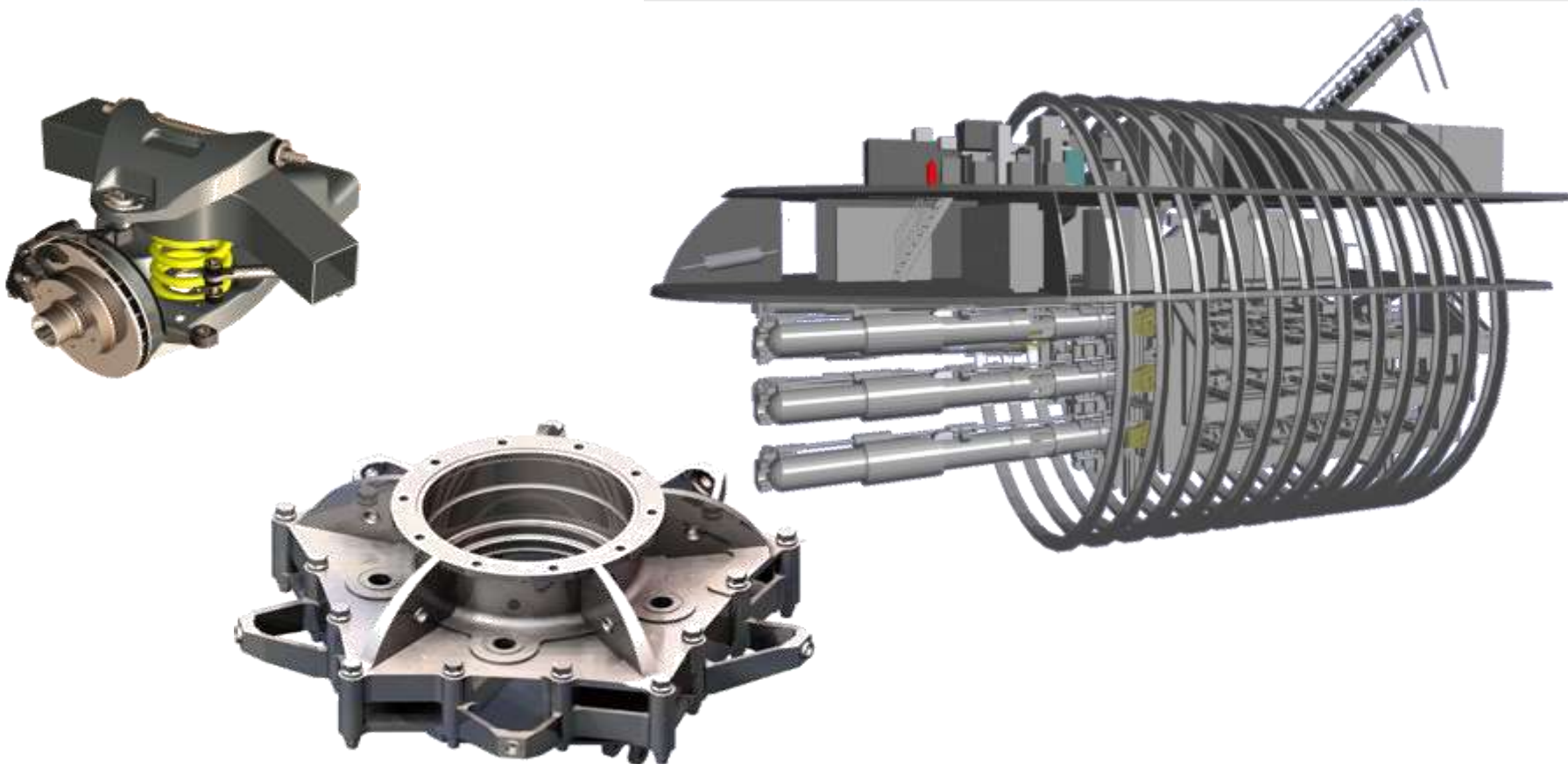
CAD

- 机械零件形状复杂、精度要求高
- 造型的准确性，刻划的宽广性，手段的多样性，性能的健壮性



CAD复杂模型

- 如何构造？如何表示？如何计算？



三维CAD系统举例

- 草图设计 2D到3D，参数化设计，
- 特征设计（曲面，实体）特征参数，工艺与几何的结合
- 装配设计 大量零部件的复杂装配关系，顺序，关联，支持零部件的修改
- 钣金设计 复杂外形设计与制造流程
- 公差分析 加工公差参数，可制造性
- 3Dscan 模型数据处理



CAD应用典范

- 从1990年10月开始启动波音777设计
- 首次实现了“无纸设计”。整个设计、生产、试飞周期共4年半，耗资50亿美元，整个波音 777客机有24万多个零部件，几何模型多达5亿个面片。
- 波音777第一架飞机装配时，机身蒙皮与隔框贴合良好，铆接时不再需要用垫片来消除缝隙。机身对接中，从机头到机尾的63米长度内，机身轴线的准直误差只有0.6毫米，即小于阳光照射机身时所产生的热胀变形，真正做到了技术上一次成功，生产规模一步到位



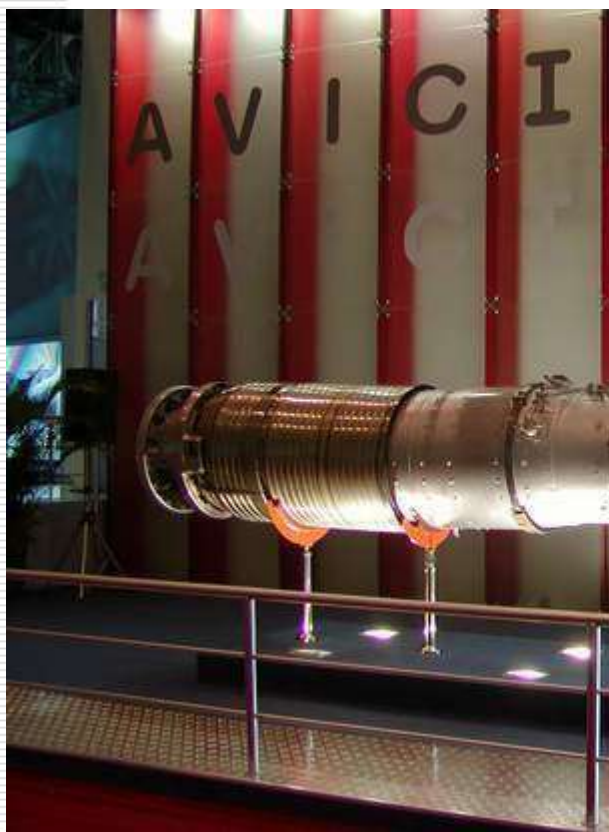
boeing777



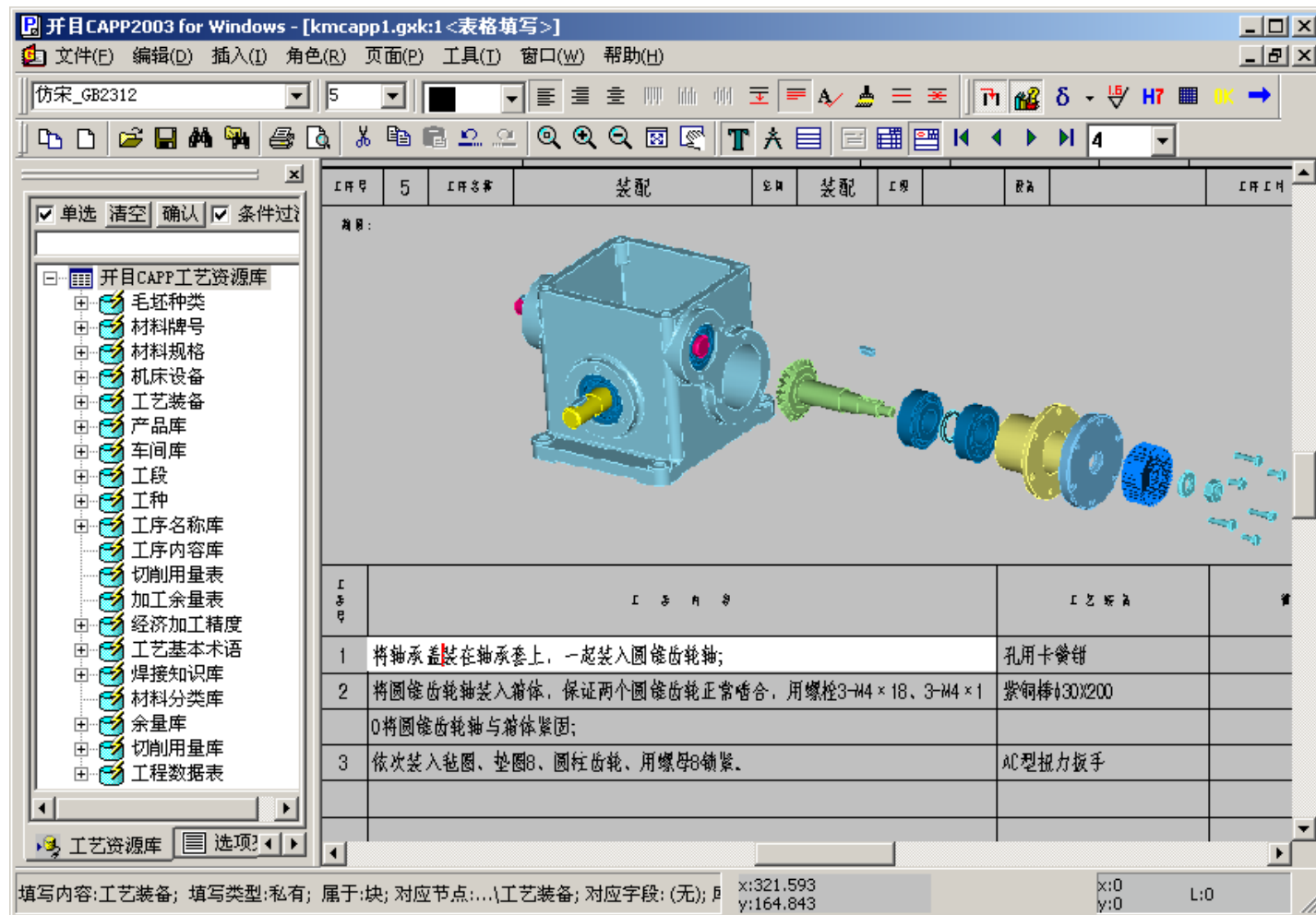
昆仑发动机

An-70

- 中国第一台走完自行设计、试制、试验、试飞全过程的航空发动机



基于三维模型的装配工艺设计

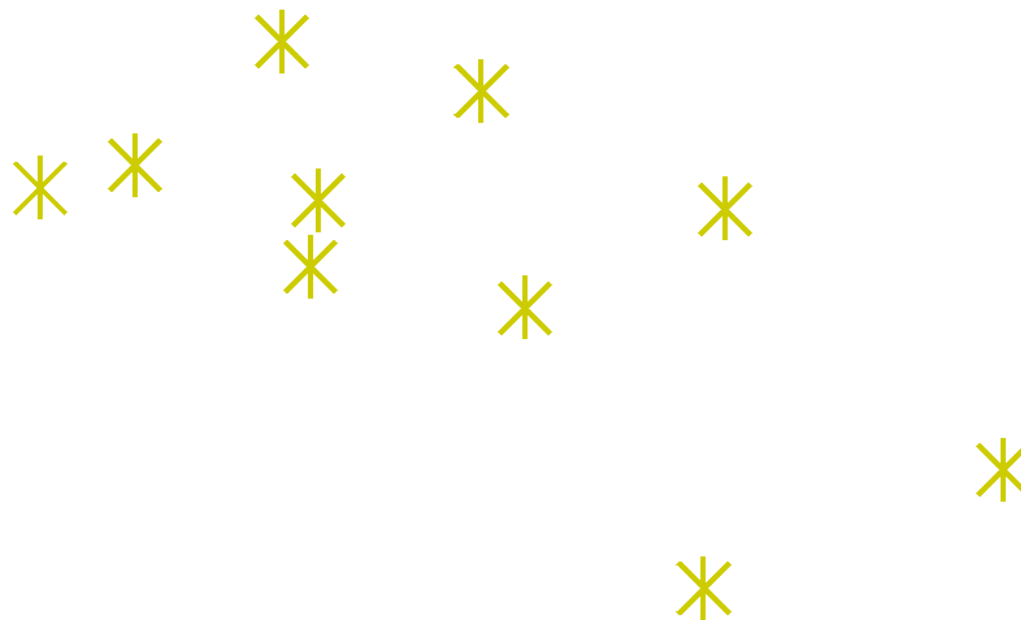


全参数化CAD设计

- 最新的工业问题的解决方案
- CAD与CAE及CAM的集成一体化基础



点 → 线 → 横断面 → 梁 → 接头 → 曲面 → 网格



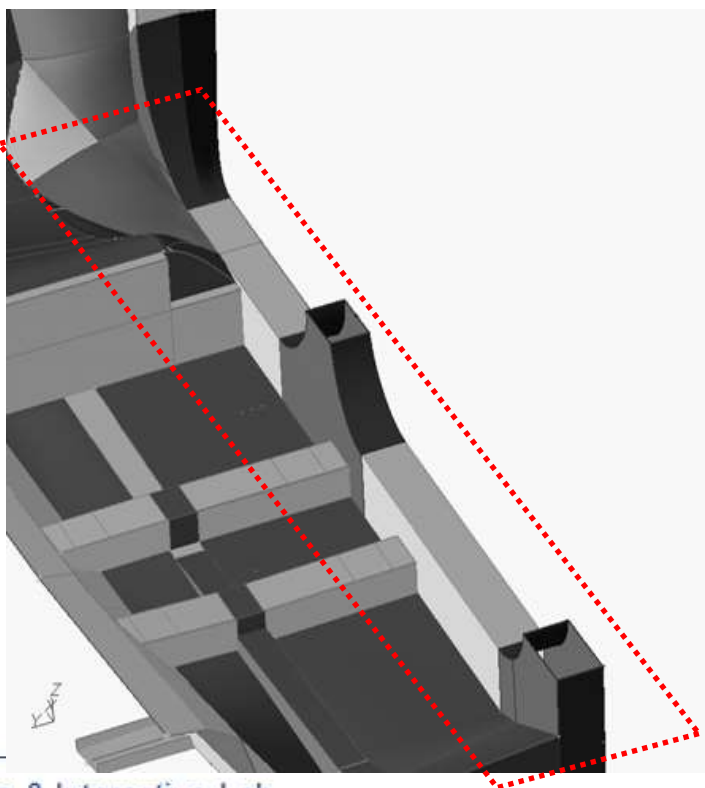
- 全参数化模型：草图开始, 外部导入的 FE 或 CAD 数据
- 快速方便的进行拓扑和几何的修改
- 模型零件可从数据库中调用并进行装配 (自动的自适应形状改变)
- 实时声称包含焊接方式和扣件等的FE网格
- 整个过程能自动实现优化循环处理



全参数化模型

CAD中的参数化模型

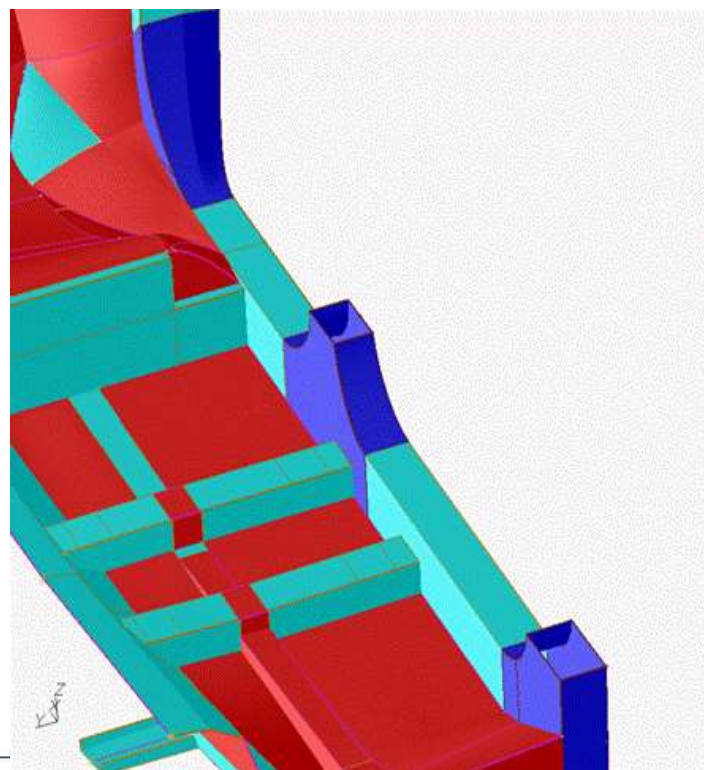
- 其参数描述方法基本不可能定义和保持几何和拓扑的兼容性



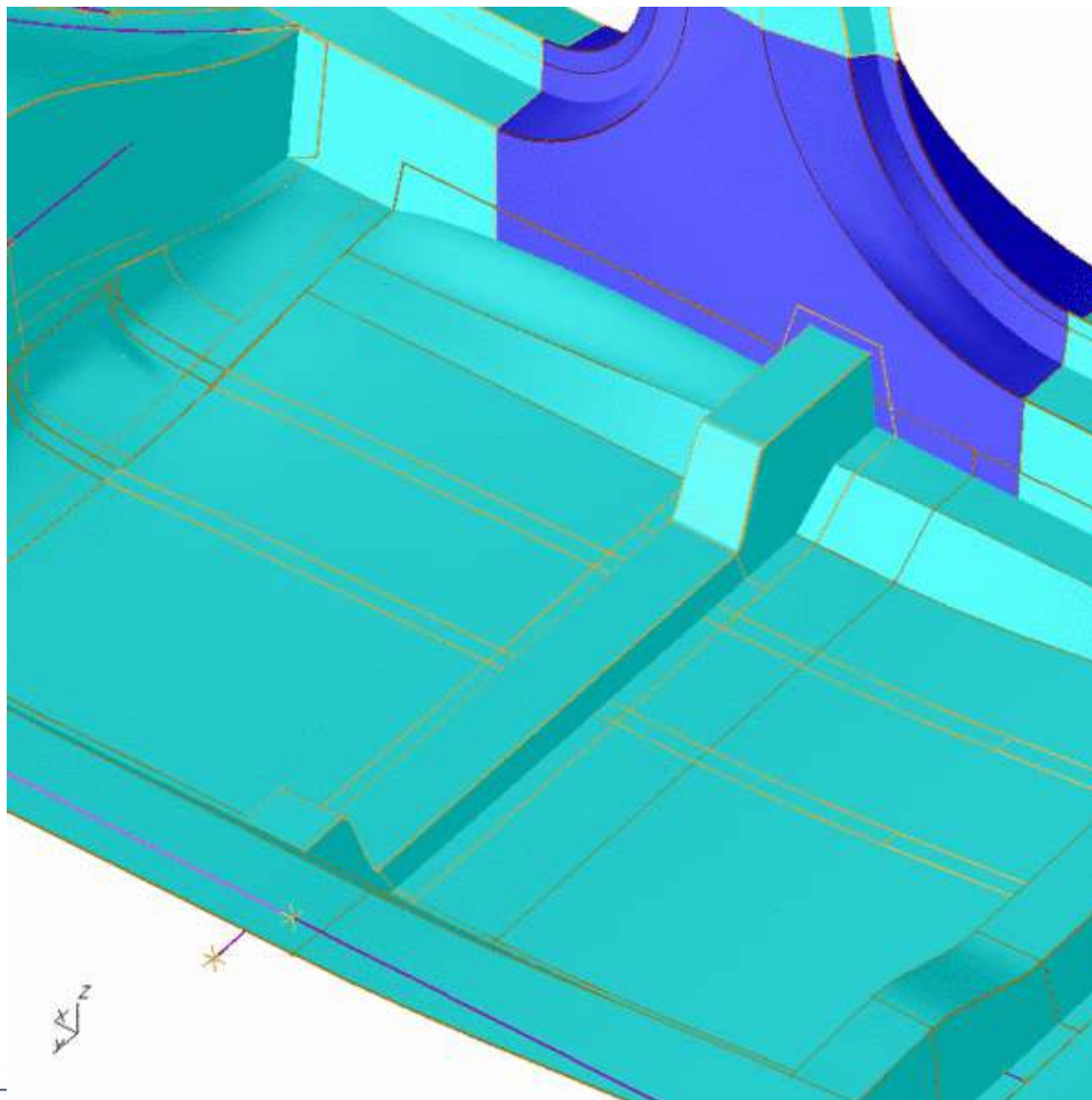
隐式全参数化模型

SFE CONCEPT 模型

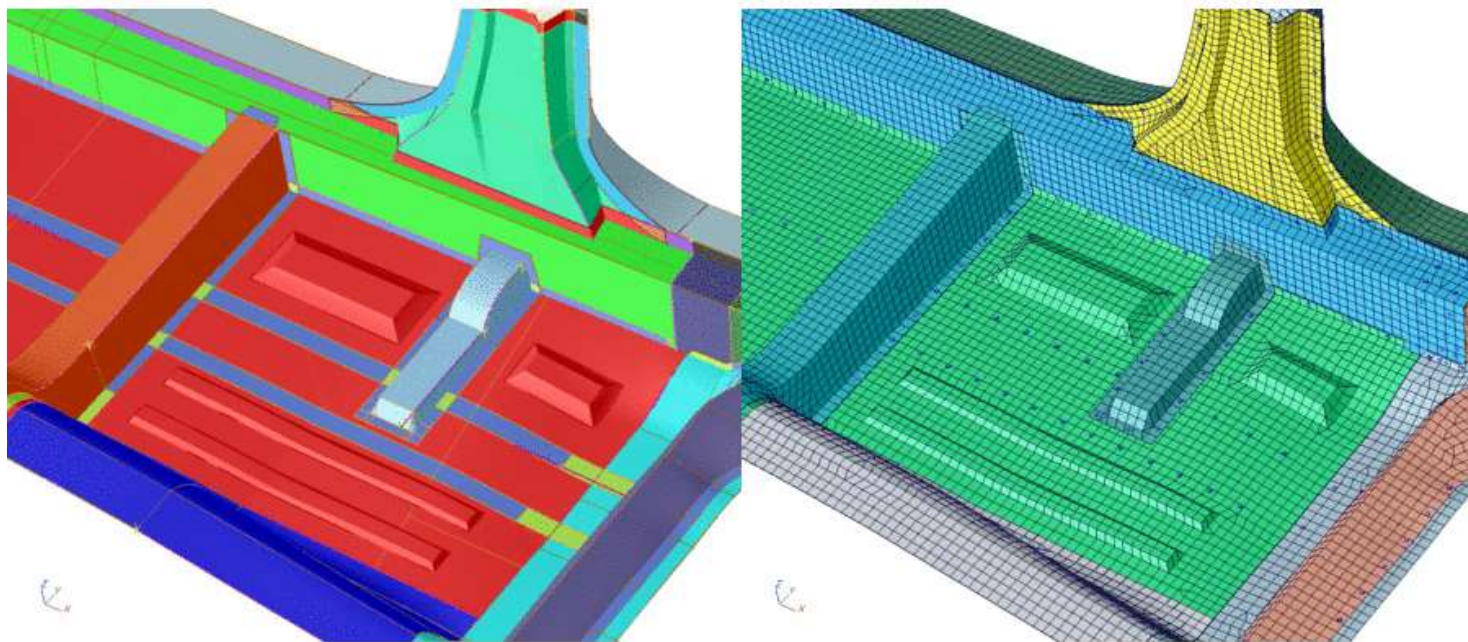
- 定义和保持几何和拓扑的兼容性变得非常容易



全参数化模型



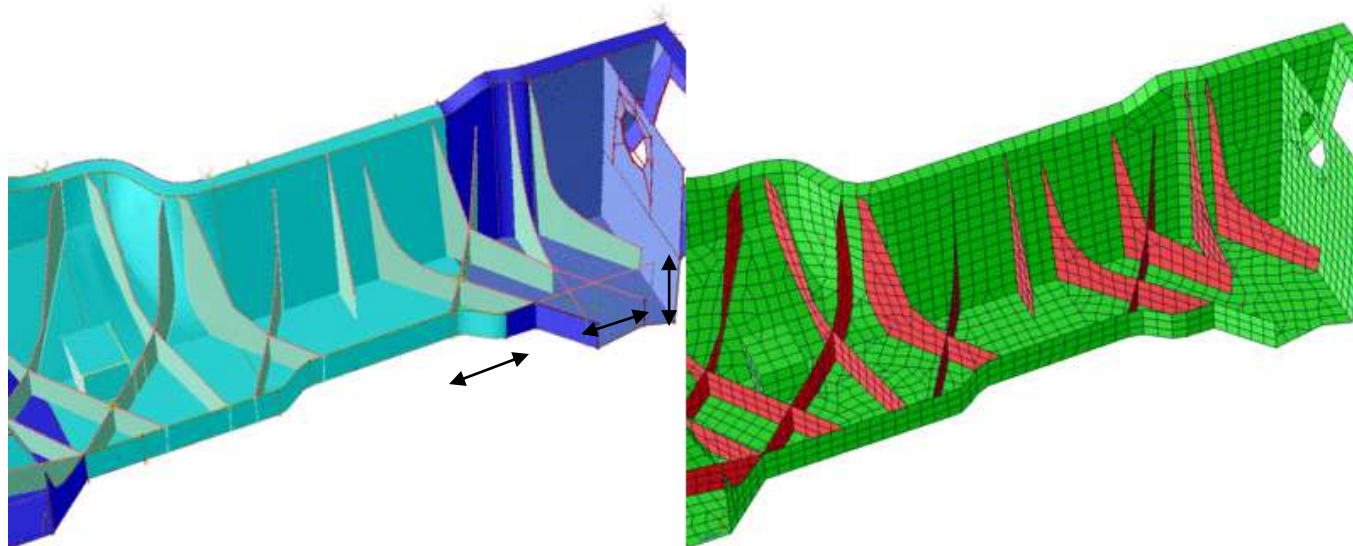
全参数化细节设计



- 全参数化细节设计定位
- 细节设计 深度, 长度, 宽度
- 细节设计可以是任意形状
- 随着几何的改变自动网格更新



全参数化肋板设计



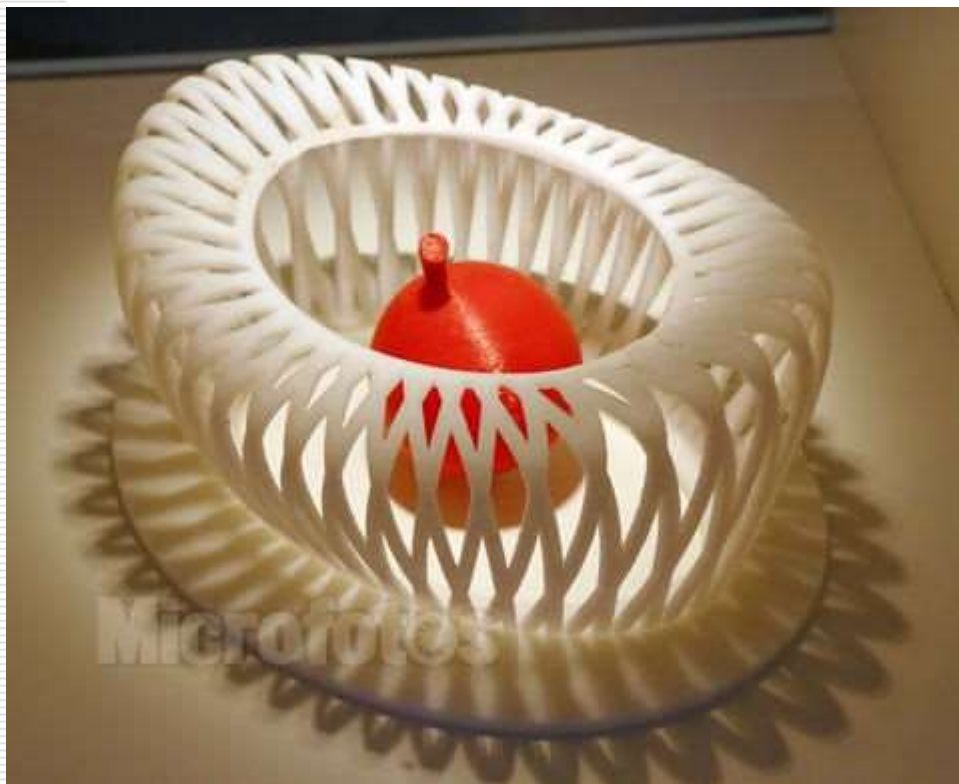
- 全参数化肋板定位
- 肋板长度,高度
- 肋板可以是任意形状
- 随着几何的改变自动网格更新



汽车外形设计

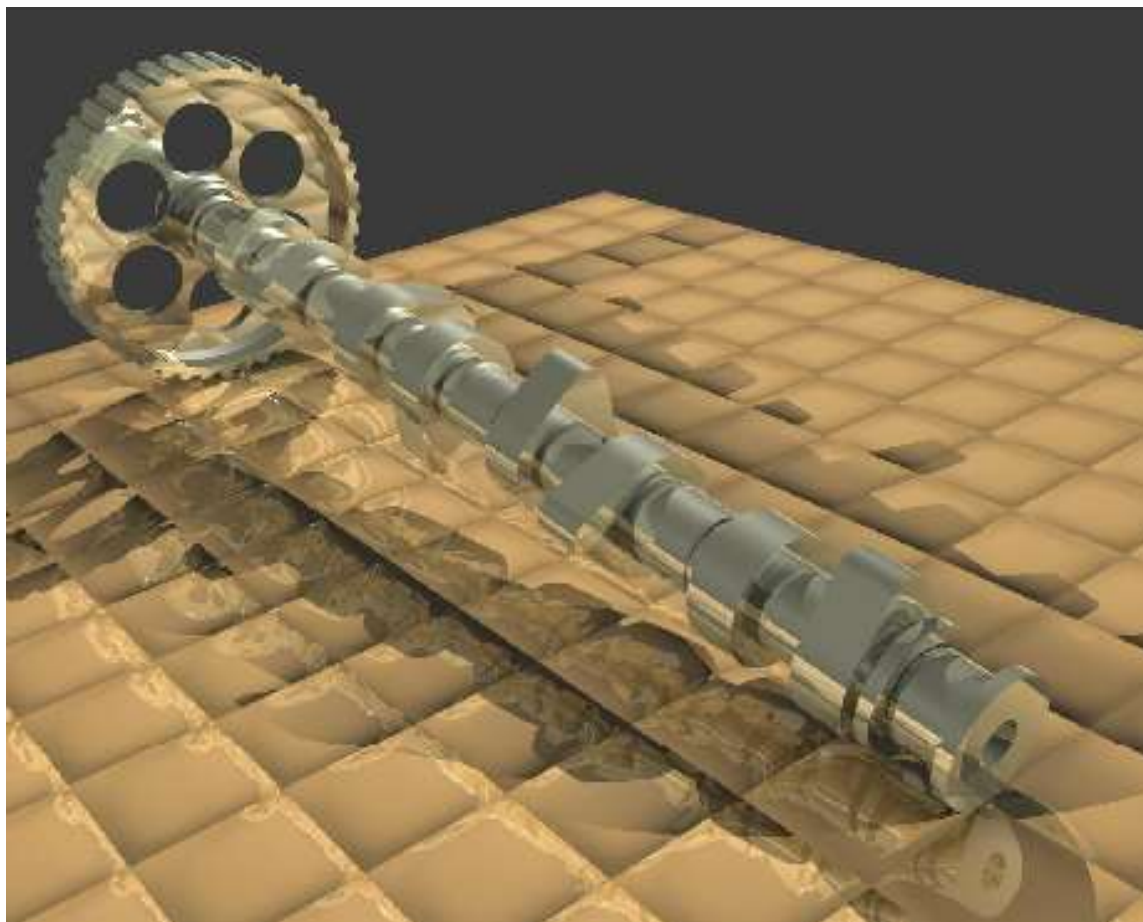


3D打印产品外形设计



造型和绘制

■ Modeling & rendering



有趣的造型

- Geri' game , 几何造型用于动画
- 几何造型并不仅仅是冰冷的外形，还是产生酷炫效果的根基



➤ 动画播放



绘制理论方法与技术

- 光照明模型
- 真实感绘制技术（多种多样）
- 加速绘制手段



真实感光照明和绘制方法



➤ 动画播放



纹理映射



■ 电影应用

➤ 视频播放



AVATAR



Pixar: Monster's Inc.



Square: Final Fantasy



娱乐应用

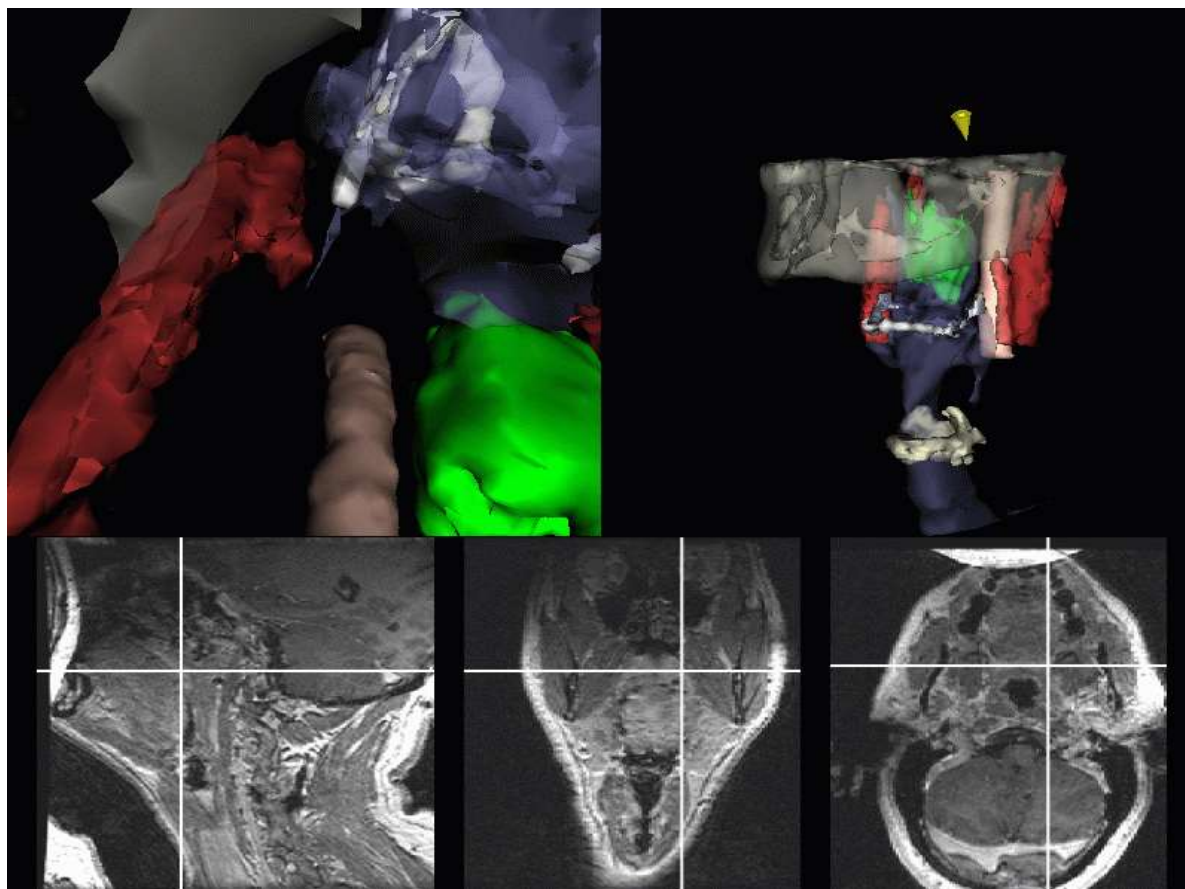
■ 3D游戏

提供核心的实时真实感

图形绘制引擎



医学应用



动画

- 人体动画
- 人脸动画

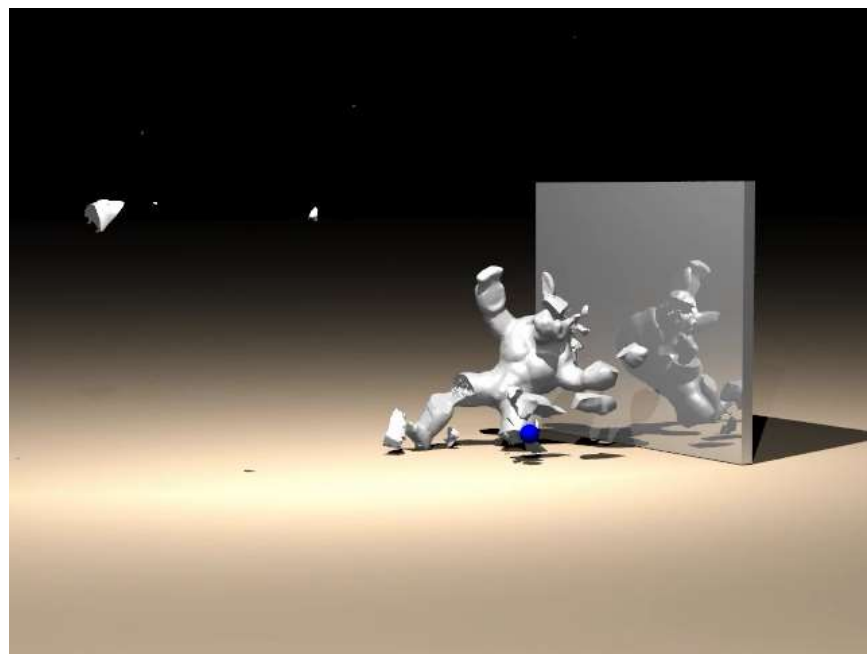
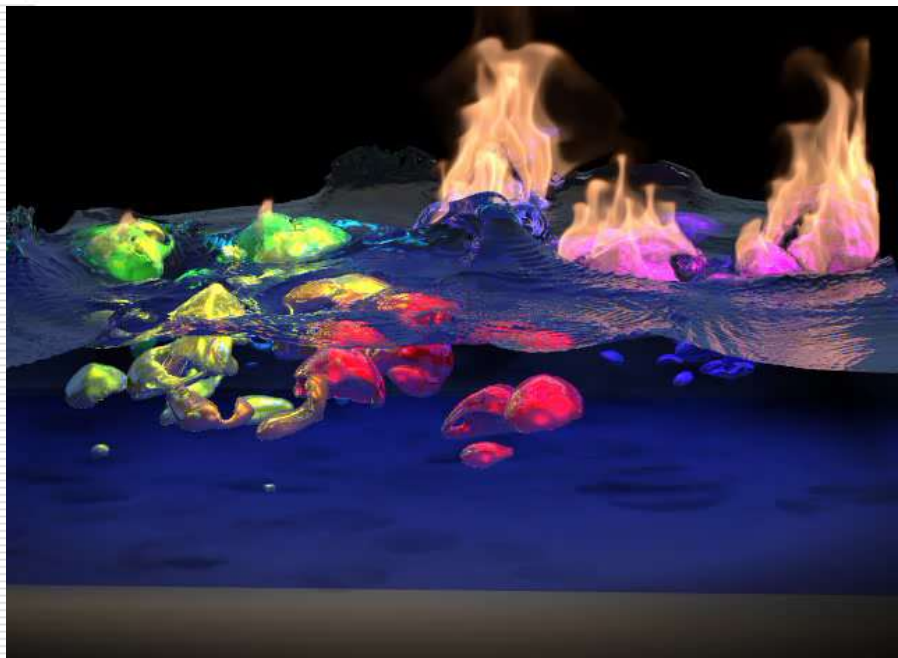


➤ 动画播放



动画

■ 基于物理的动画



➤ 动画播放



光照模型

■ 经典的宏观辐射度场景



细微的皮肤的真实感绘制

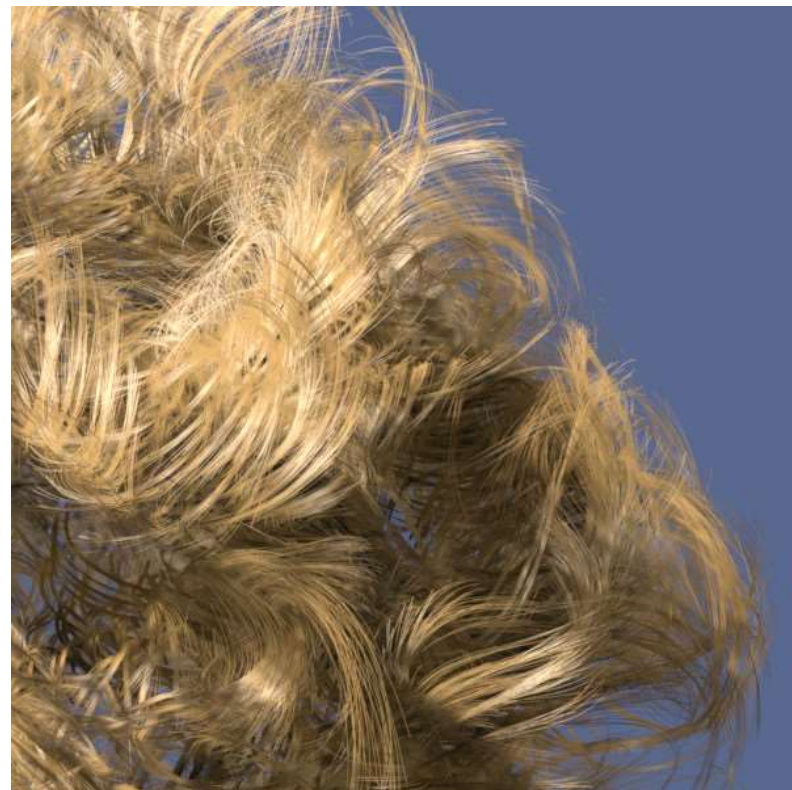
■ 从宏观到微观细节



细微的皮肤的真实感绘制



头发的精细建模、绘制与仿真



➤ 动画播放



过程建模方法

- 过程方法生成的挪威云杉
- 建模与绘制的不可分离



宏观大场景绘制的真实感云

■ 复杂的散射等光照计算



NPR(non-photorealistic rendering)

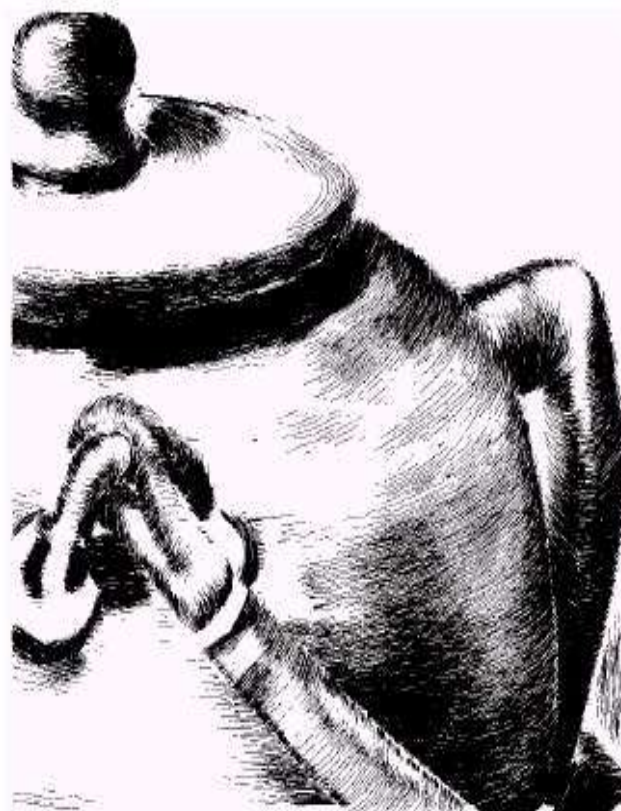
- 照片级真实感的追求，没有止境
- 非真实感的绘制方式，艺术及创新，从照片级真实感到艺术风格的NPR



Salisbury等人绘制的熊



Salisbury的经典茶壶



艺术风格绘制

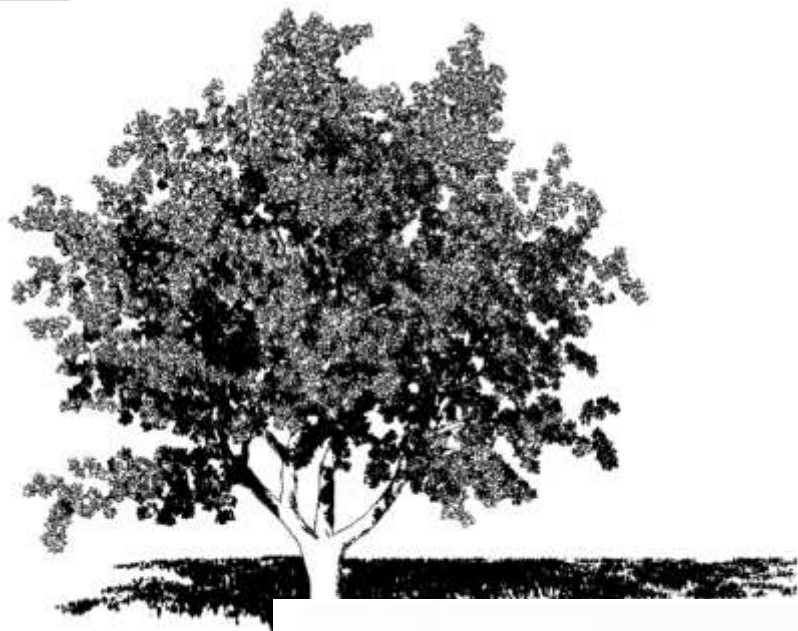


Figure 1: Illustrations of the Cupid mesh.



■ 交互工具，交互范式

图形与虚拟现实系统中必不可少的元素



数据手套

- 具备力反馈的交互数据采集和交互控制设备



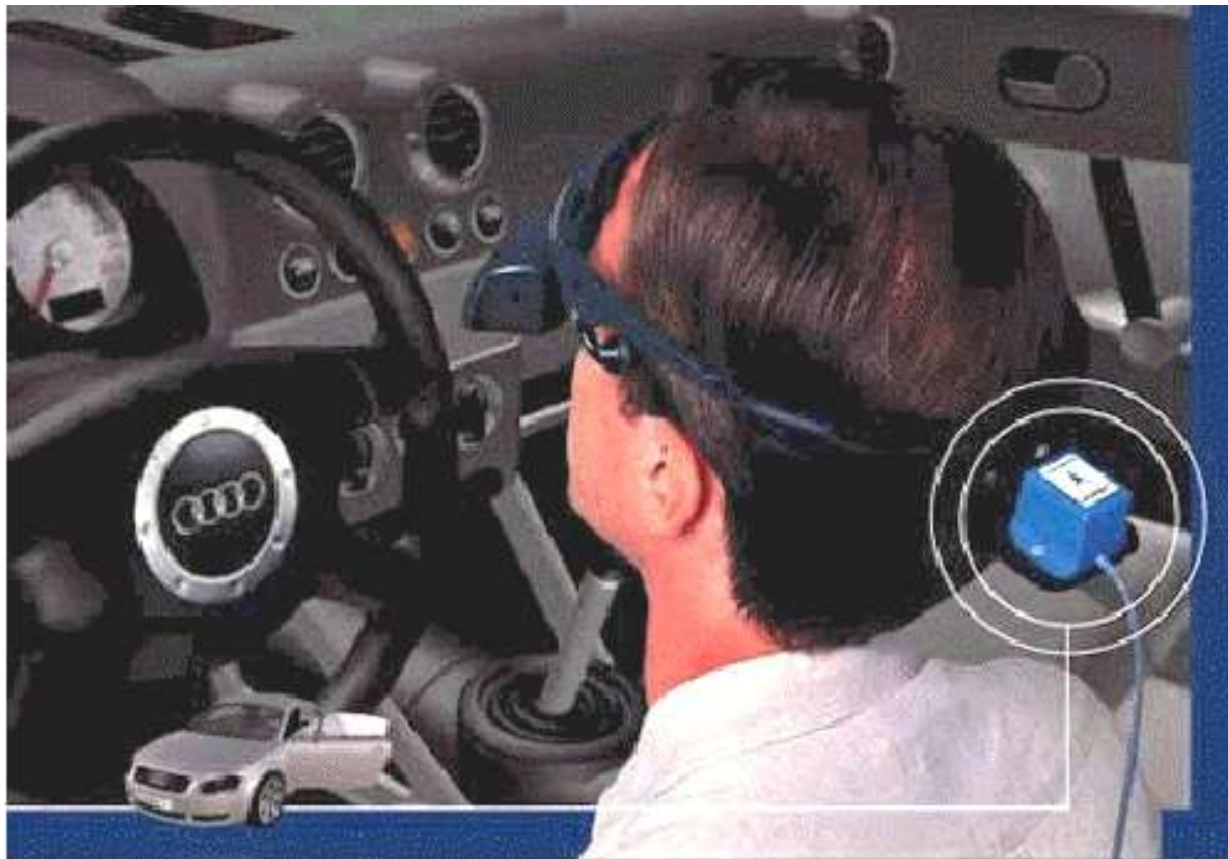
各种虚拟现实(VR)交互设备

- 昂贵的交互设备和环境配置为虚拟现实系统 (Virtual Reality VR)带来身临其境的体验

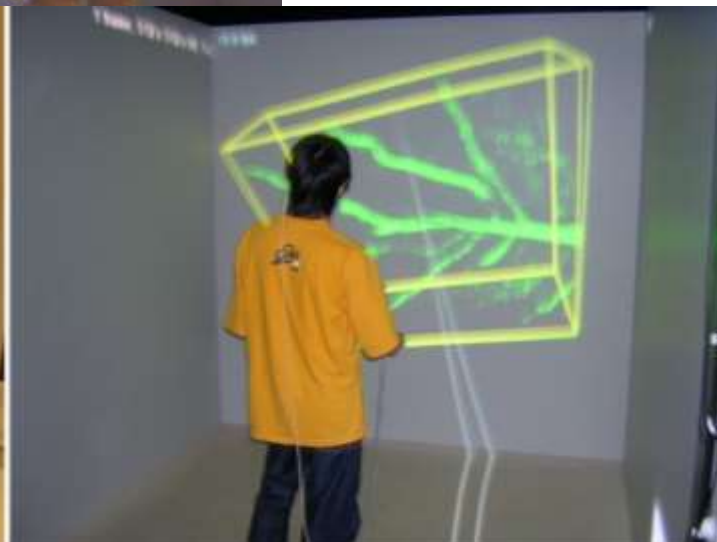


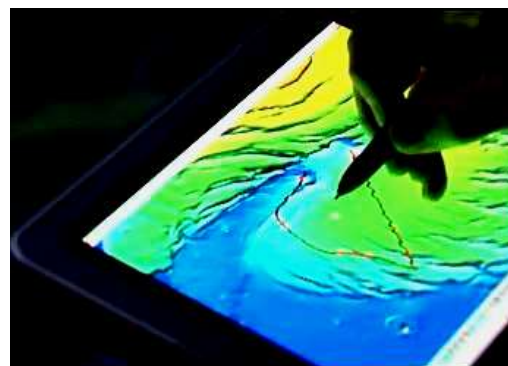
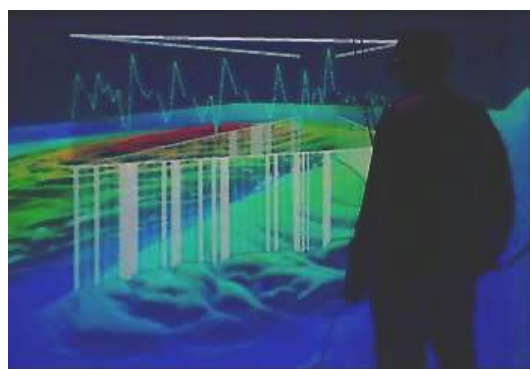
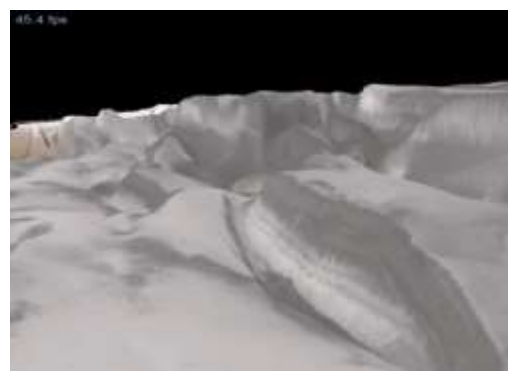
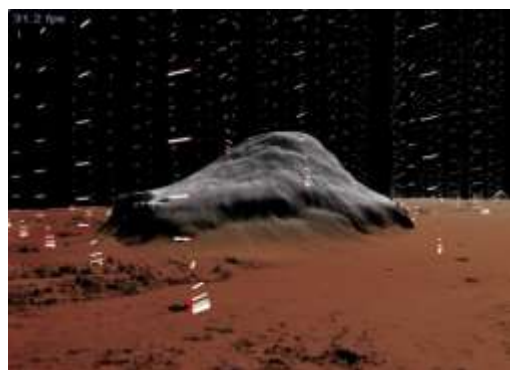
沉浸式虚拟现实 (Immersive VR)

■ 汽车驾驶仿真



虚拟现实应用系统





最流行的家用交互娱乐设备-kinect

- 动态捕捉、深度影像识别。家庭数字娱乐新体验



KINECT™
for XBOX 360

➤ 视频播放



家用虚拟现实设备Oculus VR

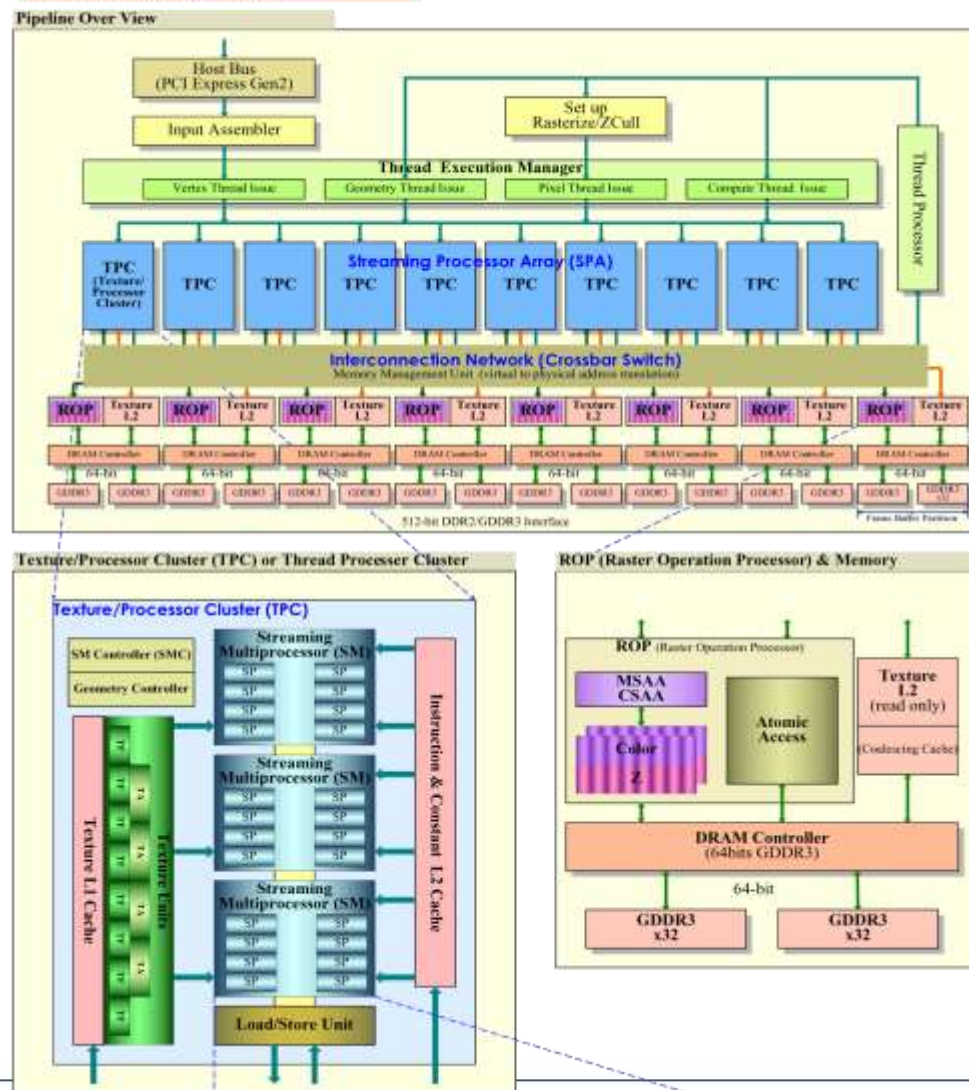


图形处理器-GPU

■ 并行计算功能与
绘制功能兼备



GT200 Over View (一部推定)



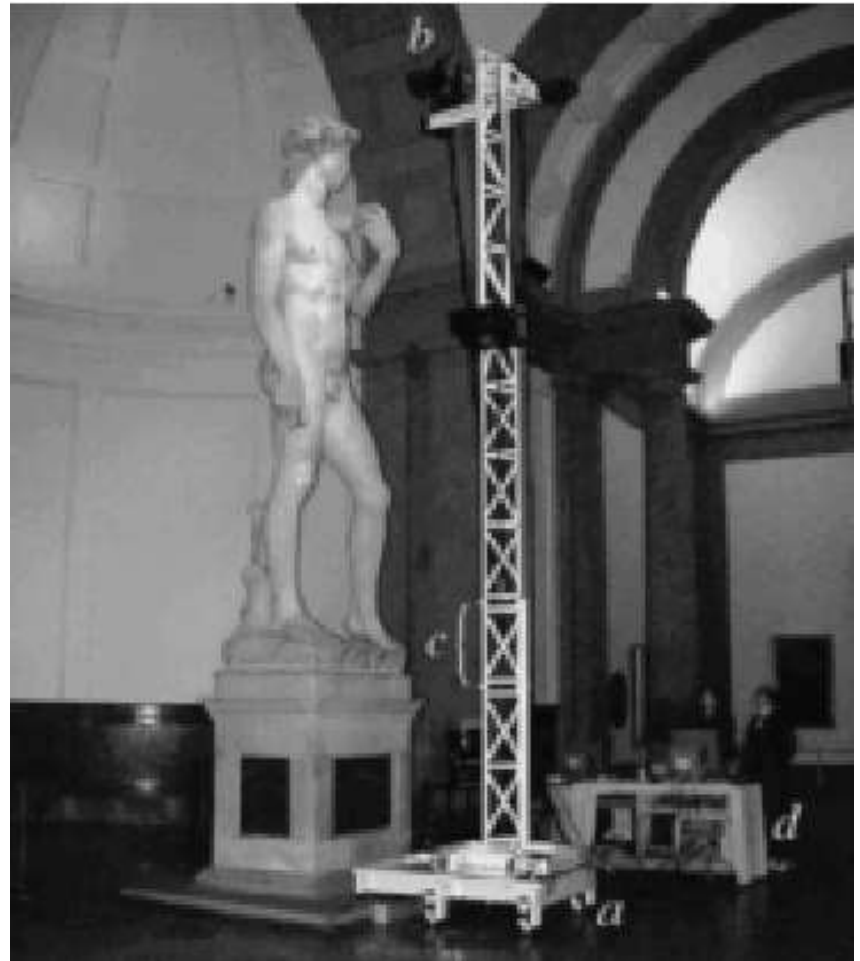
三维扫描仪

- 1998年，美国斯坦福大学计算机系Marc Levoy等人专门在意大利对文艺复兴时代的雕刻大师米开朗基罗的众多艺术品进行扫描。
- 庞大的扫描数据点云，例如，David像有20亿个多边形和7000张彩色图象，总共需要72G的磁盘容量。
- 开拓基于点的造型技术新的研究方向，每年一次的学术会议和大量的数字几何处理论文。



米开朗基罗计划

- 点云大数据处理
- 几何优化



Marc Levoy (Siggraph'2000)



图形学相关学术会议与期刊

- ACM SIGGRAPH会议 “the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques” 60年代中期，由Brown 大学的教授Andries van Dam (Andy) 和IBM公司的Sam Matsa发起。1974年，在Colorado大学召开了第一届SIGGRAPH 年会，并取得了巨大的成功，2008年开辟了Siggraph Asia这个第二战场。
- Eurographics
- Pacific Graphics
- ACM Solid and Physical Modeling
-
- 顶级期刊：
 - ACM TOG (ACM Transaction on Graphics) , IEEE TVCG (Transaction on Visualization and Computer Graphics) , CGF (Computer Graphics Forum)



电影游戏制作工具

- 专用软件：3Dsmax , maya
- RenderMan
- LightWave
- Flash
- Painter
- softImage
- Houdini
- USAnimation
- Photoshop (图像处理)
- Unity3D
- Unreal 引擎
- 引擎：OGRE 开源



CAD系统

- 美国AutoDesk公司AutoCAD
- 美国IBM和法国Dassault公司CATIA和SolidWorks
- 美国EDS公司UG、ParaSolid和SolidEdge
- 美国PTC公司Pro/Engineer
- 美国AutoDesk公司Inventor
- 美国SDRC公司 IDEAS
- 以色列的Cimatron
- GEMS,PUM
- ACIS , ParaSolid
- 标准与规范



动漫游戏系统的技术特征1

- 策划与故事版：讲故事，脚本
- 3d模型编辑器，关卡编辑器
- 角色构建，场景构建
- 骨骼动画、模型动画
- 物理系统：运动学，动力学，碰撞检测
- 自然景物模拟：水波海浪、植物等，粒子、流体等
- 纹理（贴图）
- 光影效果，渲染，特效
- 交互硬件接口（显示器、mouse等交互设备）
- 动态场景绘制
- 动作采集、皮肤表情
- AI



动漫游戏系统的技术特征2

- 分布式
- 网络同步与时延
- 游戏音效
- 游戏引擎
- 可复用，构件工具库，plug-ins
- 规范和接口
- 测试



游戏引擎简介

- 引擎只是个框架，游戏开发者只需要填内容，例如，许多3D射击游戏采用的是QuakeIII和Unreal Tournament
- 剧情、关卡、美工、音乐、操作等内容都是由游戏的引擎直接控制的，它扮演着中场发动机的角色，把游戏中的所有元素捆绑在一起，在后台指挥它们同时、有序地工作。
- 引擎就是“用于控制所有游戏功能的主程序，从计算碰撞、物理系统和物体的相对位置，到接受玩家的输入，以及按照正确的音量输出声音等等。”



- 游戏研发过程中核心：引擎 + 美工，体现真实感
- 目前国内的游戏：几乎都用国外的游戏引擎
 - 不是最新最好的的引擎技术
 - 价格昂贵
 - 使用上存在不便，技术支持不到位
- 严重影响中国游戏自主研发的进展。
- 游戏开发的关键是游戏内容：故事生动有趣，关卡设计合理，启发智力，定位正确



计算机图形学与游戏动画的关系

- 底层技术大量地采用了计算机图形学的理论和算法
- 动画游戏侧重在丰富表达，方便易用、造型灵活
- 外形设计侧重在精确表达，操作精确、造型高效
- 图形学的发展基于CAD应用驱动，动漫游戏的促进
- 与动漫游戏的关系越来越密切
- 需要适应越来越复杂的外形设计
- 需要适应越来越逼真的场景效果
- 需要适应实时的三维处理效果

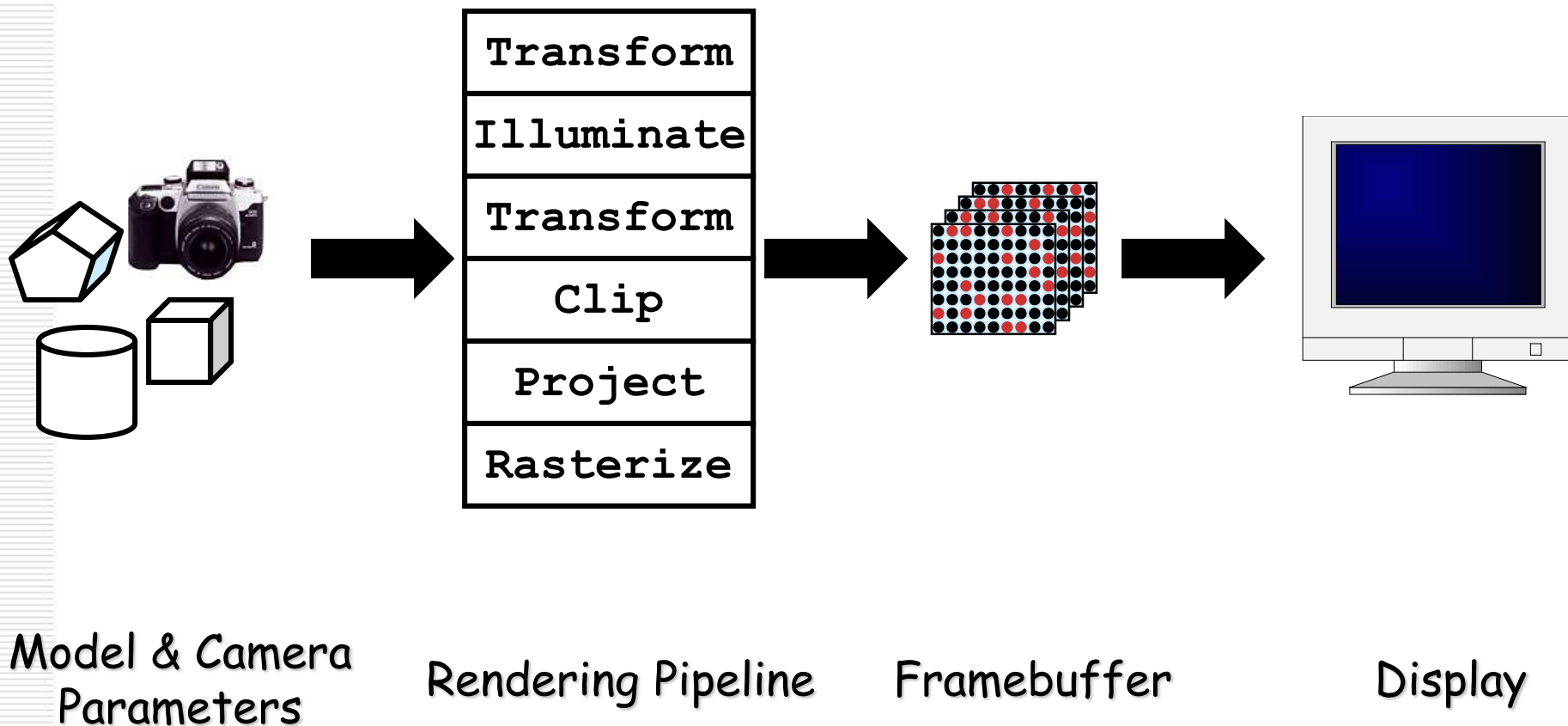


图形学研究内容和方法

- modeling + Rendering via I/O
 - modeling : 构造实体 (2D, 3D) ;
 - rendering: 使3D物体看起来更象 ;
 - 各种输入输出 (图形) 设备
- 客观和主观实体的计算机表示
 - 真实的 , 虚拟的
- 主要目标 : 更逼真的表达、更快捷的方法、更方便的交互
- 也是外形设计与游戏动画的研究内容和目标



三维图形显示流程示意图



图形(Graphics)与图象(Image)

- 两个概念间的区别越来越模糊
- 区别：
 - 图象纯指计算机内以位图(Bitmap)形式存在的灰度或者彩色信息
 - 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景物的物理属性共同组成的
 - 更详细的介绍见数字图像部分。。。



Graphics与Image的对比

graphics

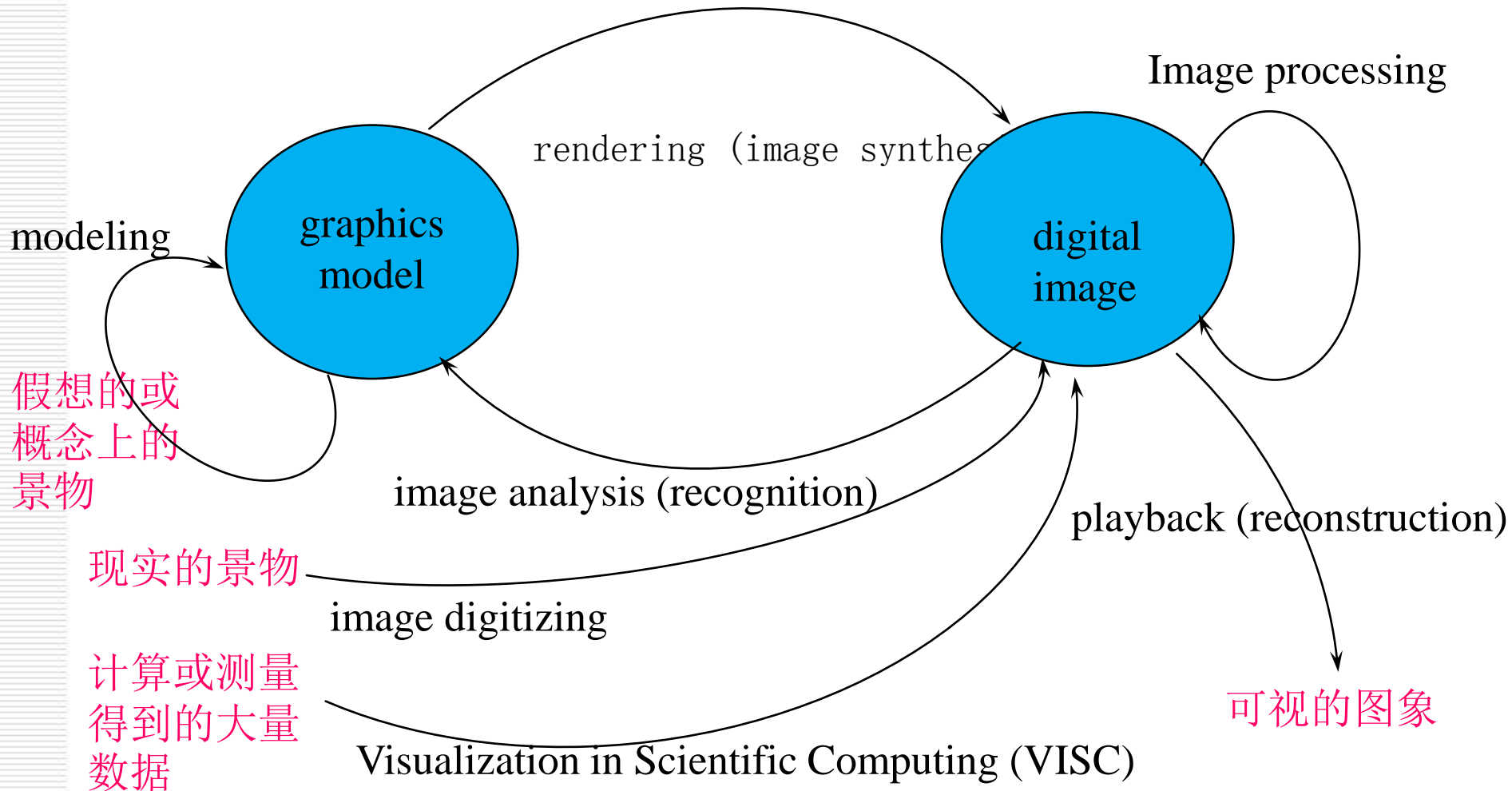
1. 数据量很少
2. 有结构，便于编辑修改
3. 能准确表示 3D 景物，易于生成所需的
不同视图
4. 生成视图需要复杂 计算
5. 自然景物的表示很困难
6. 国际 标准： GKS,PHIGS,OpenGL,
WMF,VRML; CGM,STEP,
7. 编辑软件(绘图软件):
AutoCAD,Pro/E

image

- 数据量很大
- 无结构，不便于编辑修改
- 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：
JBIG,JPEG,IPI/IIF;TIFF
- 编辑软件(图象处理软件):
Photoshop,Photostyler



Graphics 与 Image 的关系



与虚拟现实的关系

- 复杂场景对象的模拟和仿真
- 高级复杂的游戏与虚拟现实的界限越来越模糊
- 一些虚拟现实应用场景越来越使用游戏技术
- 虚拟现实技术大量地采用了游戏表现手法和技术



与图形硬件的关系

- 越来越依赖于图形硬件的发展
- 应用前景大大推动了硬件技术和系统的发展
- 图形显卡，交互设备
- 图形系统



图形软件发展

- 专用图形系统：效率高，但系统开发量大，可移植性差。
- 通用的、与设备无关的图形包，图形标准。
 - GKS (Graphics Kernel System)
 - PHIGS(Programmer' s Hierarchical Interactive Graphics system)
 - OpenGL(SGI), DirectX (MS), X-Window系统，Java3D, Adobe公司Postscript。



相关学科：

- CAGD (计算几何 ?)
- 逼近论 (计算数学)
- 代数与几何
- 图象处理
- 视频处理
- 计算机视觉和模式识别



CAGD(Computer Aided Geometric Design)

- 几何形体在计算机中的表示，分析、研究怎样灵活方便地建立几何形体的数学模型，提高算法效率，在计算机内更好地存储和管理这些模型等。研究曲线、曲面的表示、生成、拼接、数据拟合。



图象处理

- 研究如何对一幅连续图像取样、量化以产生数字图像，
- 如何对数字图像做各种变换以方便处理，
- 如何滤去图像中的无用噪声，
- 如何压缩图像数据以便存储和传输，图像边缘提取，特征增强和提取。



计算机视觉和模式识别

- 图形学的逆过程，分析和识别输入的图像并从中提取二维或三维的数据模型（特征）。手写体识别、机器视觉。



教学参考书

- 自编讲义
- 何援军，计算机图形学，机械工业出版社，2007？
- 倪明田，计算机图形学，北大出版社，1999
- James Foley等，计算机图形学原理与实践，机械工业出版社，2005？
- Samuel Buss，3D计算机图形学，清华大学出版社，2006年
-



联系方式：
汪国平:wgp@pku.edu.cn

