



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

# 计算机图形学

## Computer Graphics

陈仁杰

[renjiec@ustc.edu.cn](mailto:renjiec@ustc.edu.cn)

<http://staff.ustc.edu.cn/~renjiec>



欢迎来到**计算机图形学**的  
神奇而美妙的世界！

# 自我介绍： 陈仁杰

- 个人经历

- 2001.9-2005.6, 浙江大学, 应用数学, 本科
- 2005.9-2010.6, 浙江大学, 应用数学, 博士
- 2011.3-2013.9, 以色列理工, 博士后
- 2013.9-2015.6, 美国北卡教堂山分校, 博士后
- 2015.7-2019.6, 德国马普计算机研究所, 高级研究员
- 2019.7-至今, 中国科技大学, “青年千人”, 教授

- 个人主页: <http://staff.ustc.edu.cn/~renjiec>

- 电子邮件: [renjiec@ustc.edu.cn](mailto:renjiec@ustc.edu.cn)

# 课程助教

- 吴中昊 [wzh2001@mail.ustc.edu.cn](mailto:wzh2001@mail.ustc.edu.cn)
  - 2019.9-2023.6, 数学学院, 本科
  - 2023.9-, 数学学院, 研究生
- 吴川 [skc@mail.ustc.edu.cn](mailto:skc@mail.ustc.edu.cn)
  - 2019.9-2023.6, 少年班学院, 本科
  - 2023.9-, 数学学院, 研究生

# 什么是计算机图形学？

## Computer Graphics (CG)

# 精彩纷呈的3D电影



“逼真的”画面是如何生成的？



人们生成画面的方式有哪些？

# 1. 拍照/摄影：记录**真实**世界的静态/动态影像



## 2. 绘画：创造想象中的**虚拟**场景的影像



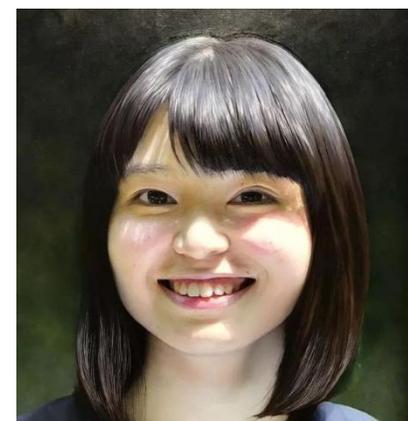
抽象型



表意型



写实型



# 思考：能否通过**计算**生成照片级画面？

- **模拟（仿真）** 拍照的过程？

- 输入：虚拟场景

- 3D场景/物体
- 物体属性
- 光源
- ...

- 计算原理

- 成像
- 着色
- ...

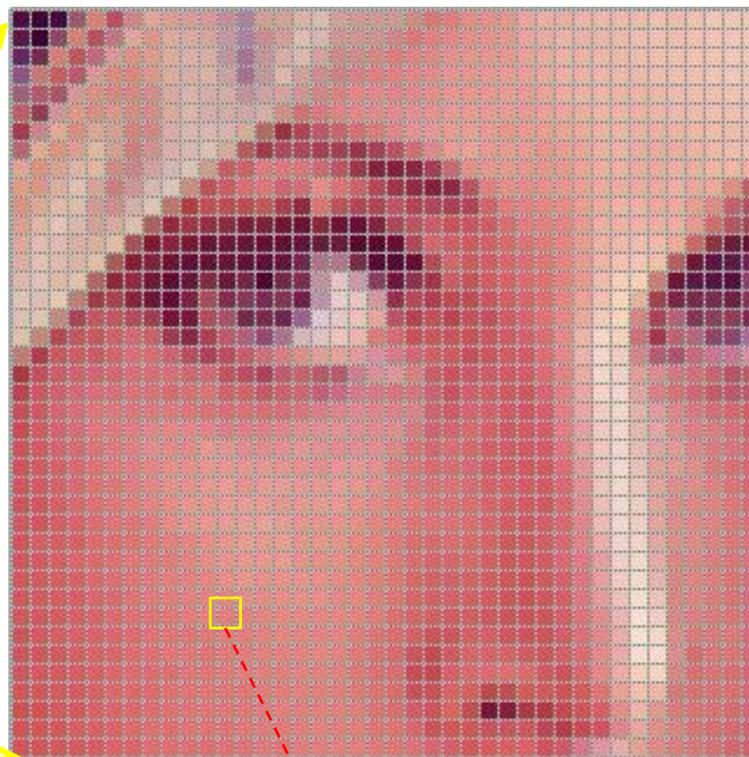
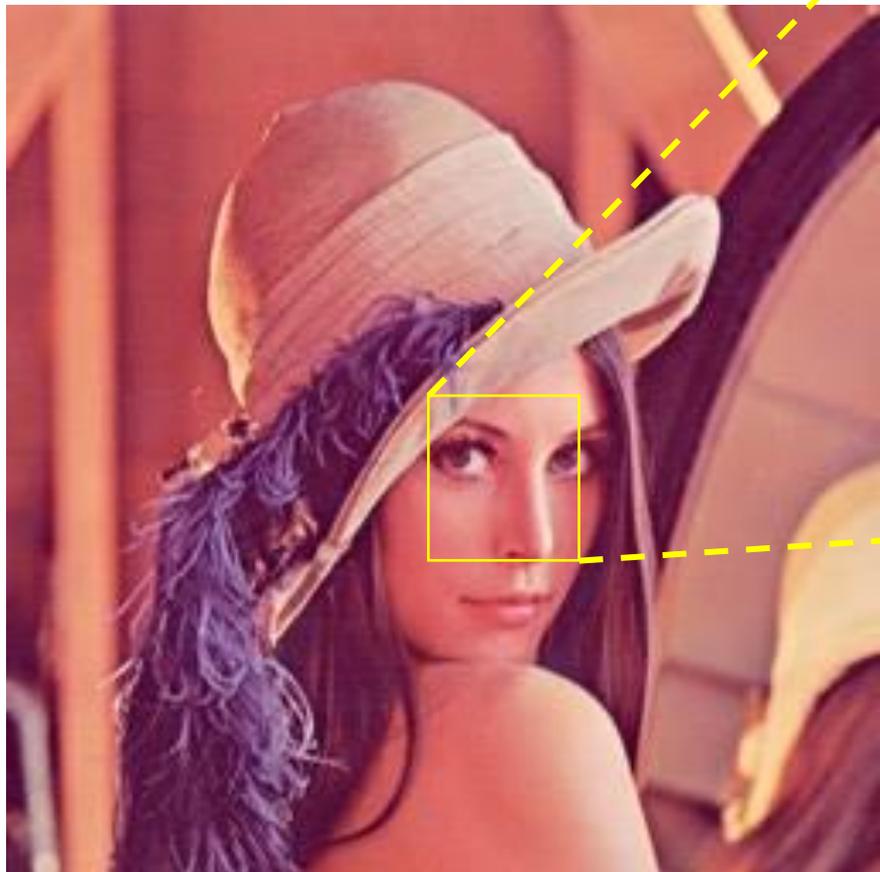


# 计算机图形学的初级目标

- 通过**计算**的方法生成照片级的**图像**



# 如何表达2D图像?



$$0.6 R + 0.3 G + 0.1 B$$



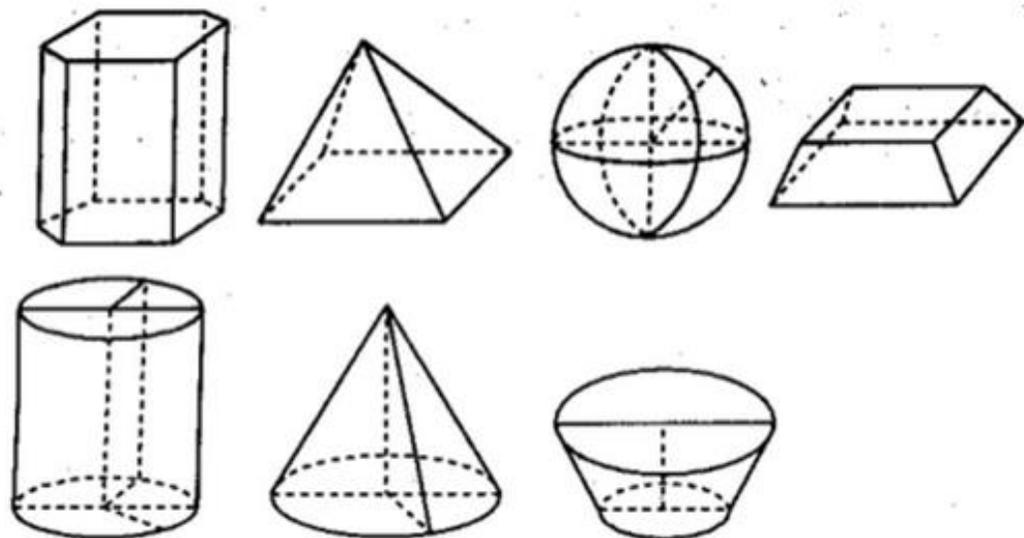
# 如何表达3D物体的表面形状？

- 3D空间的曲面



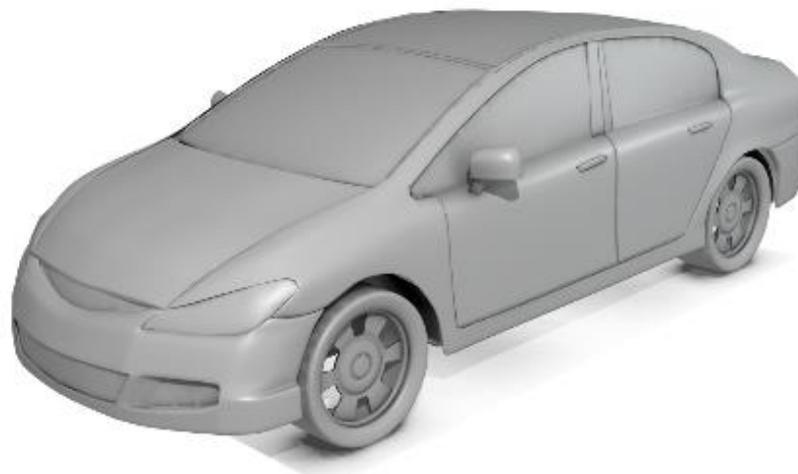
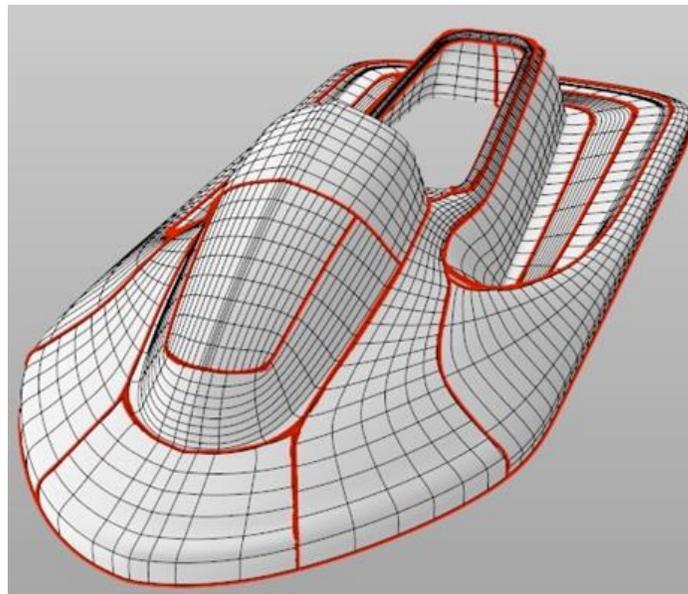
3D实物

# 简单3D物体形状的数学表达



# 复杂3D物体形状的数学表达

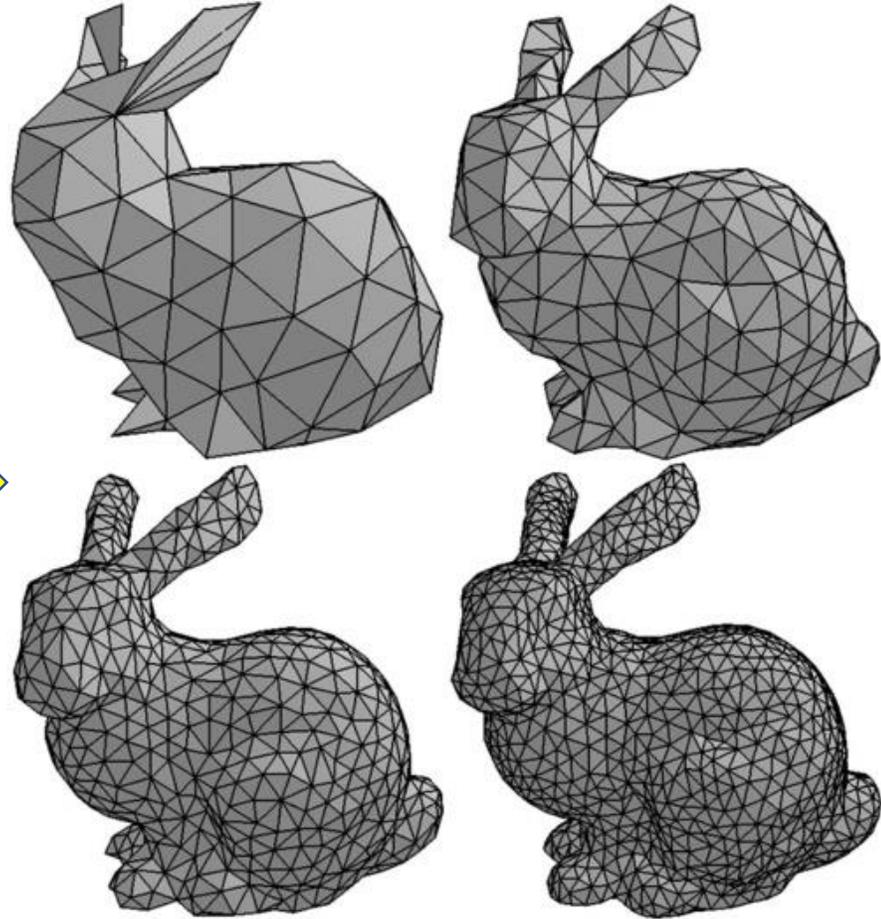
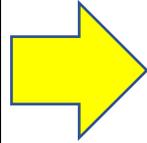
- 样条曲线曲面
  - 工业造型标准
  - STEP, IGES



# 复杂3D模型：坐标点(x,y,z)的表达方式

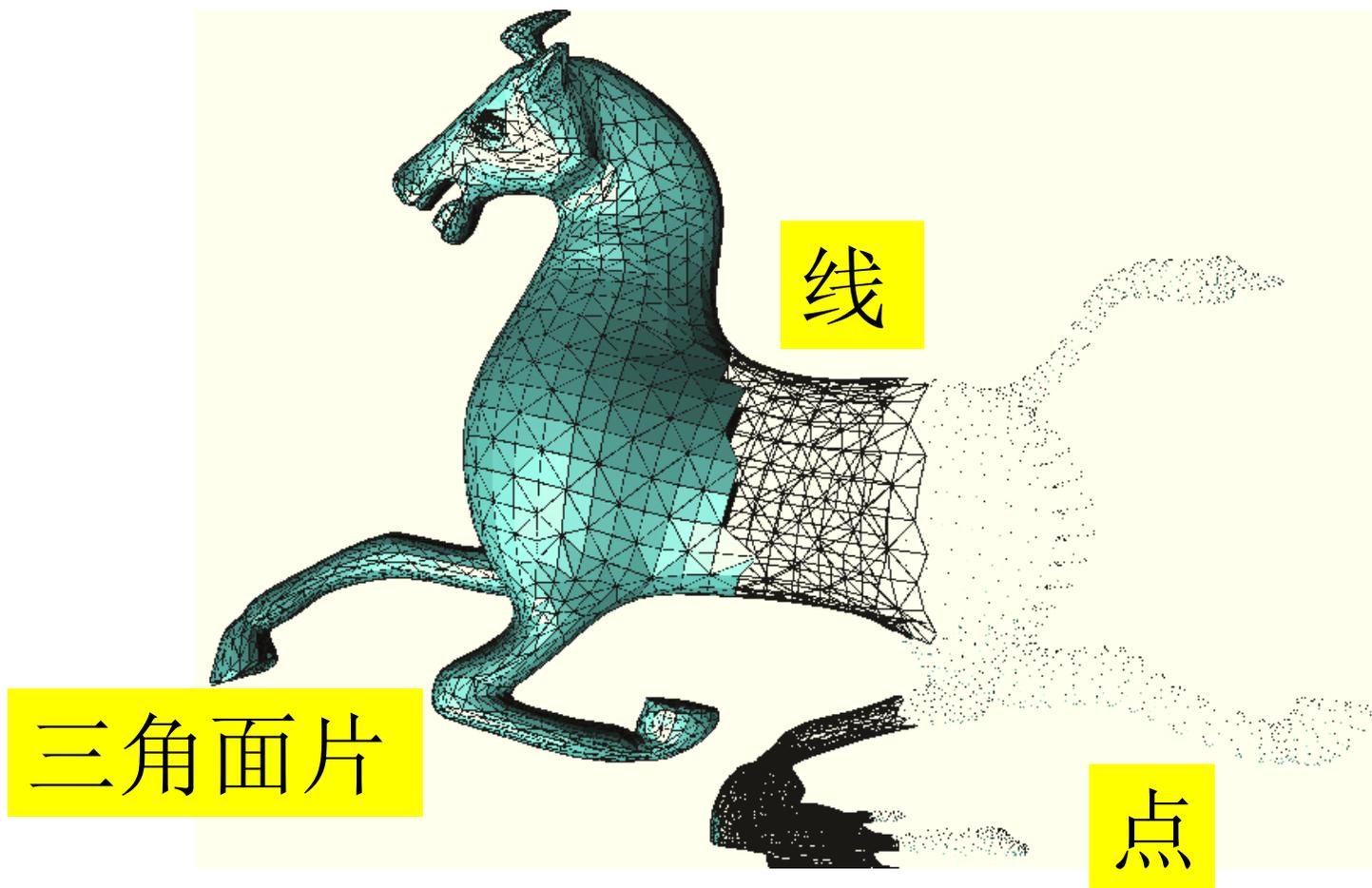


陶瓷兔子实物



采用不同密度的3D坐标点  
采样来表达的兔子模型

# 3D物体的离散化数字表达：点和三角面（采样）



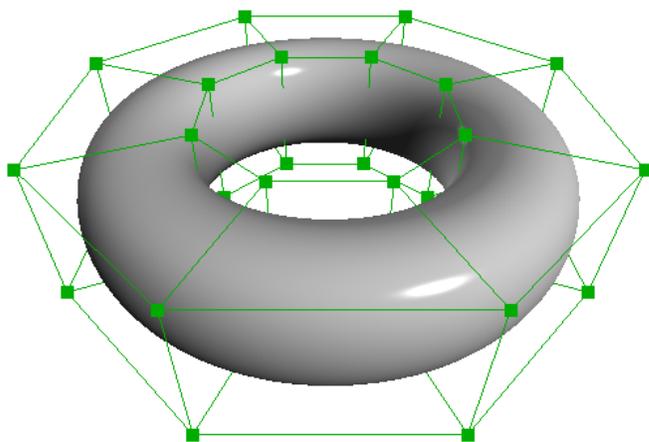
三维坐标(x,y,z)

# 真实世界还有什么？ 物理！ -- 运动、光...

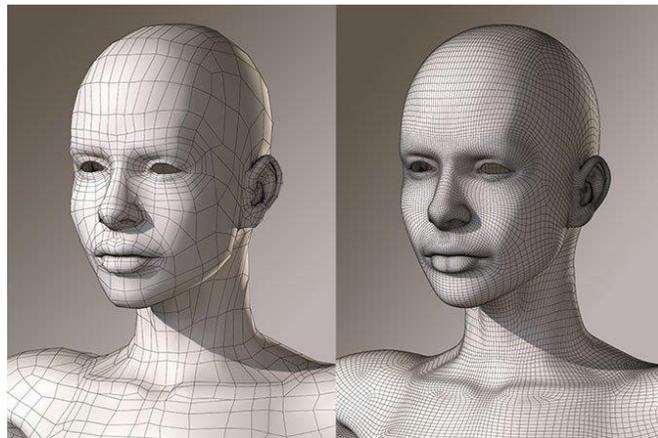


# 计算机图形学的主要内容

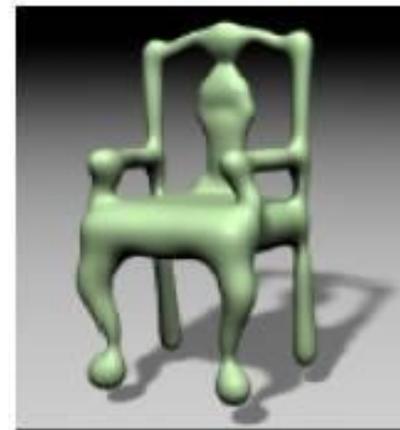
# 计算机图形学-1: 建模 (设计)



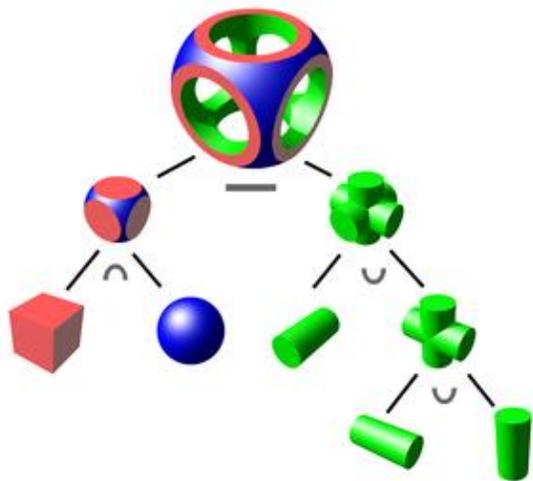
样条曲面(NURBS)



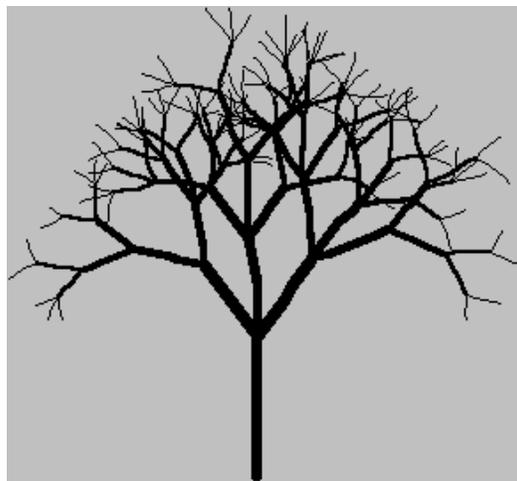
细分曲面



隐式曲面



CSG建模



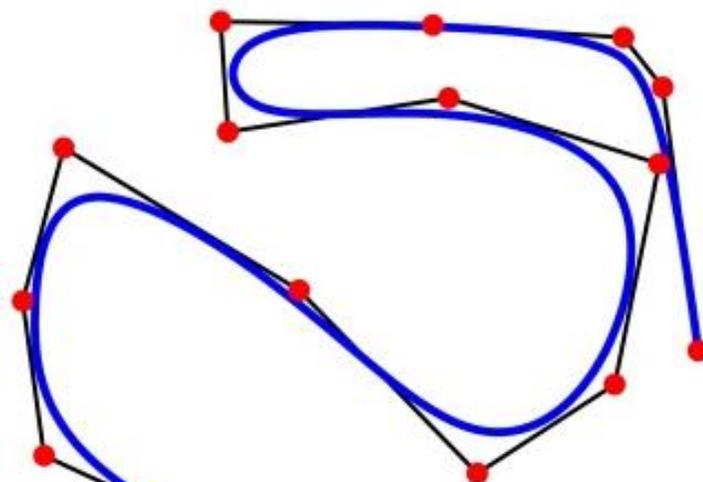
过程建模



体模型 (医学)

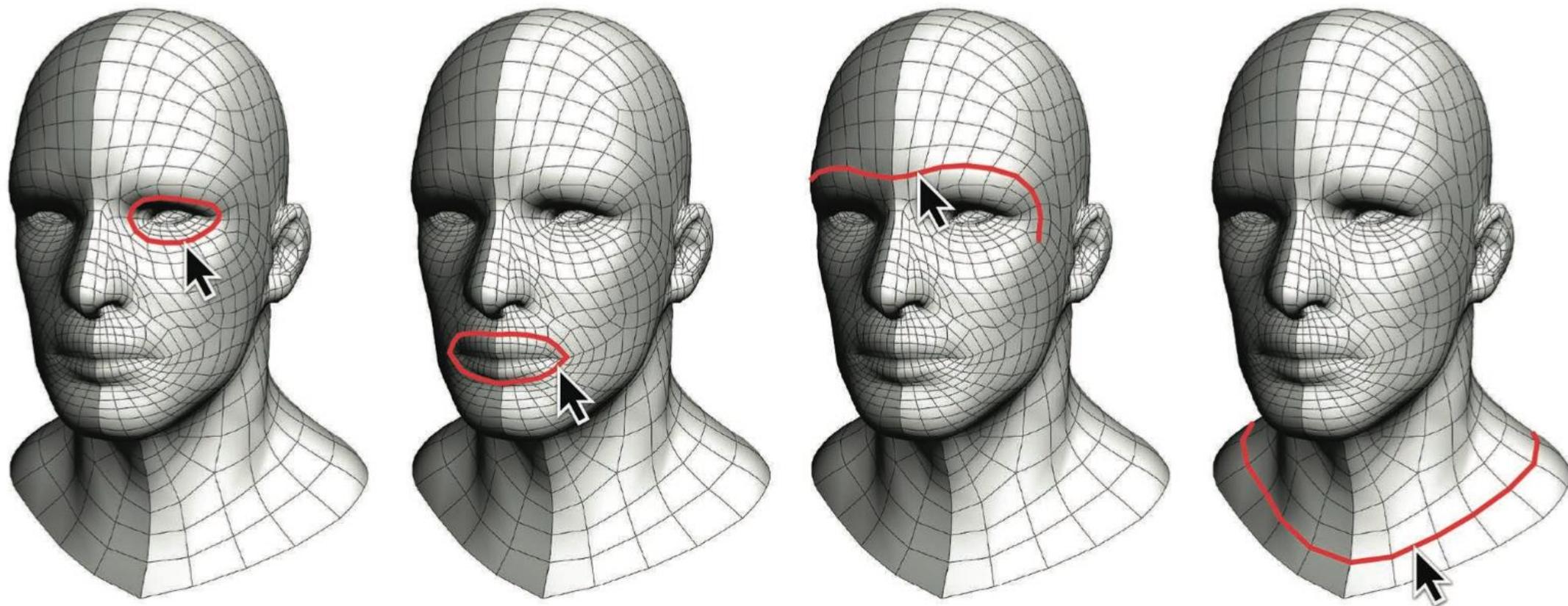
# 计算机图形学-1: 建模 (设计)

- 数学工具: **几何逼近论**
  - 函数逼近论
  - 非均匀有理B样条
  - 参数曲线曲面
  - 隐函数曲线曲面
  - 空间几何、微分几何
- 课程
  - 计算机辅助几何设计 (CAGD)
  - 实体造型 (Solid Modeling)
  - 分形几何 (Fractal Geometry)
  - 多视点几何 (Multiview Geometry)



$$P(t) = \sum_{i=1}^N P_i N_{i,k}(t)$$

# 计算机图形学-1: 建模 (设计)





# 计算机图形学-2: 动画 (仿真)

- 数学工具: **微分方程**

- 微分方程
- 有限元分析
- 最优化

- 课程

- 力学
  - 理论、材料、结构, 流体...
- 运动学
- 计算机动画
- 微分方程数值解

- **动力学方程**

$$M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx = 0$$

- **Navier-Stokes方程**

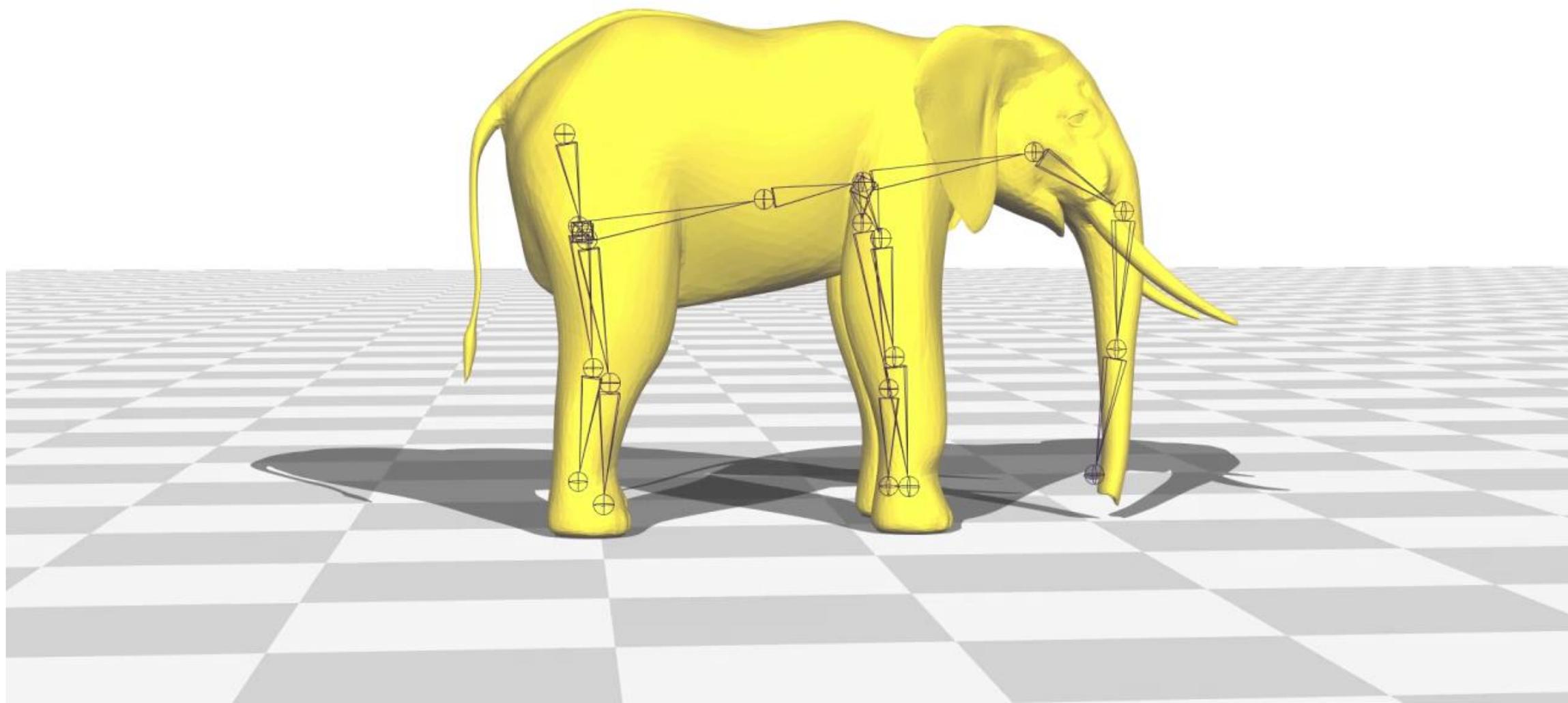
$$\rho \frac{dv}{dt} = -\nabla p + \rho F + \mu \delta v$$

- **波动方程**

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \Delta u = 0$$

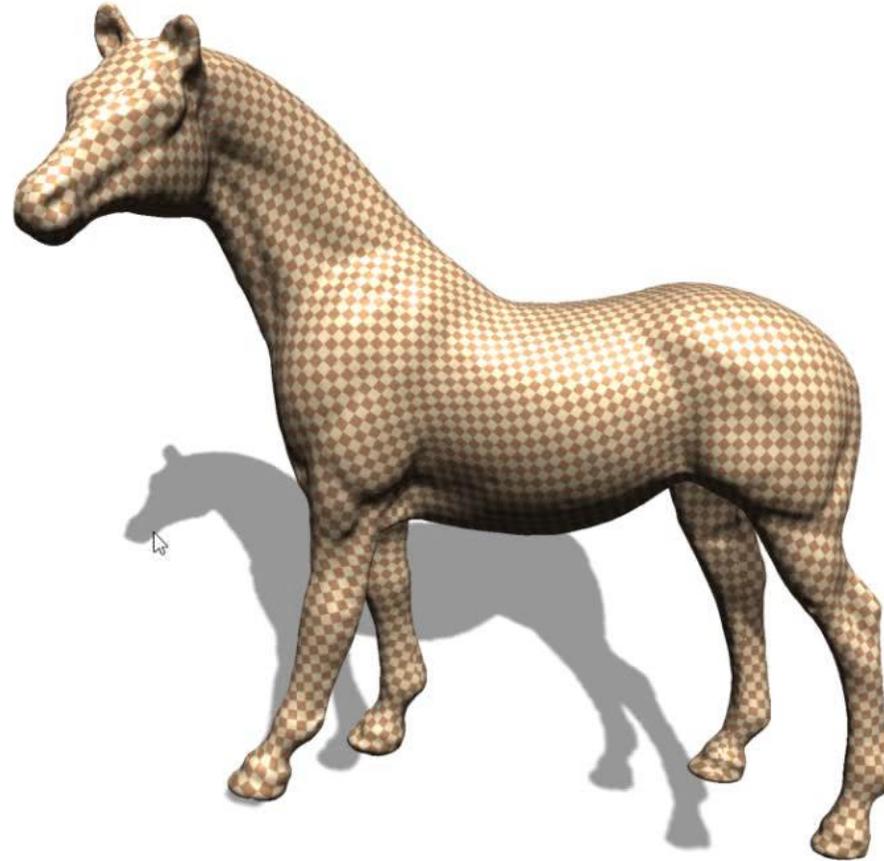


# 计算机图形学-2：动画（仿真）

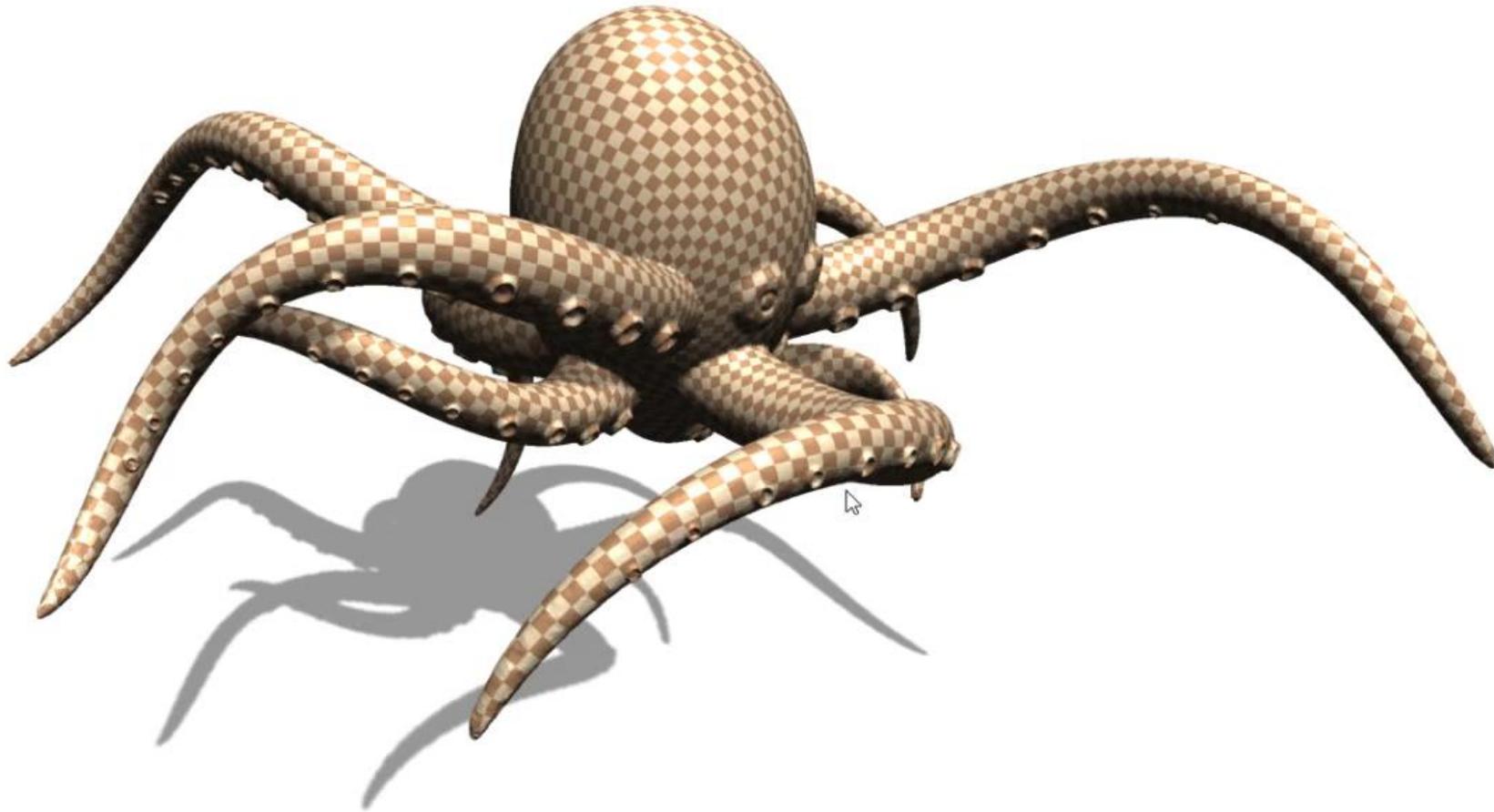


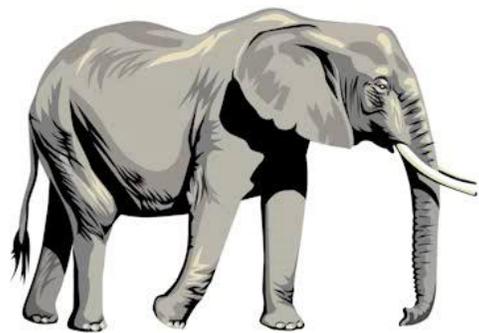
FPS: 58

Interactive  
deformation

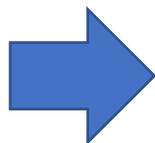
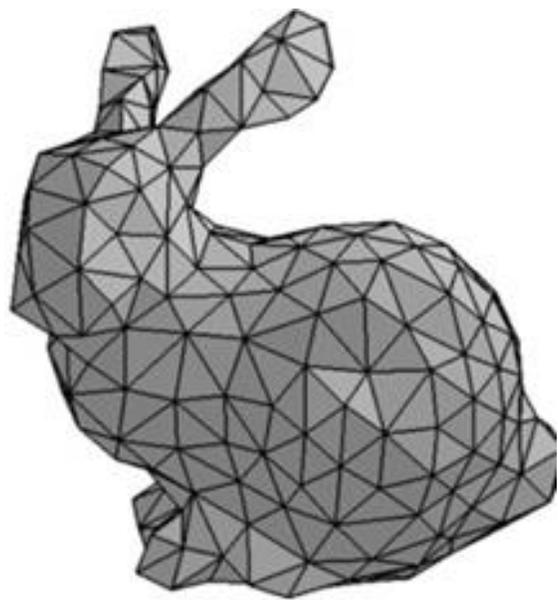


SIGGRAPH 2021





# 计算机图形学-3: 绘制



材质  
纹理  
光照  
环境  
...



将3D模型数据“画”得真实（像照片）

# 计算机图形学-3：绘制



# 计算机图形学-3： 绘制

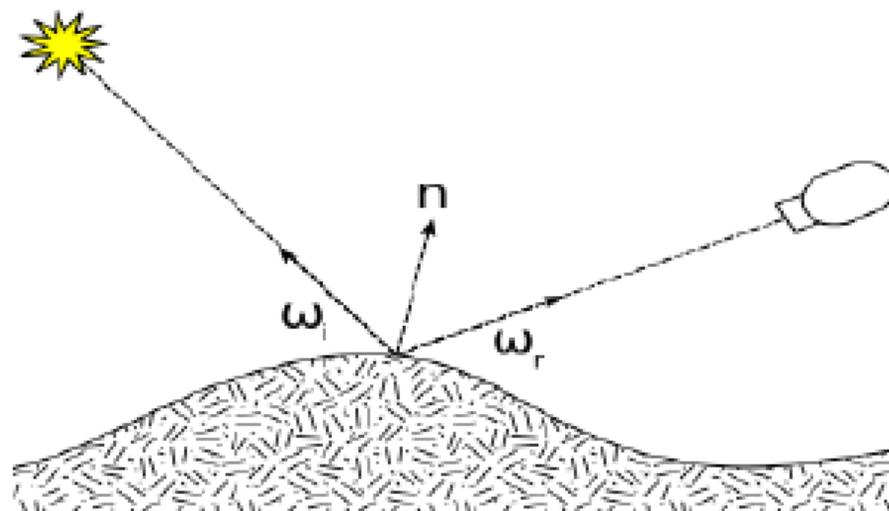
- 数学工具： **积分方程**

$$L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega_x} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') \cos \theta' d\omega'$$

- 光照模型
- 采样方法
- 光子波动方程

- 课程

- 光学、成像学
- 真实感绘制
- 积分方程数值解
- 并行计算 (GPU)



# 计算机图形学-4： 人机交互

- 键盘
- 鼠标
- 语音
- 身体
- 手势
- ...



# 计算机图形学-5：虚拟现实





ACCEPT YOUR REALITY...

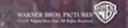
OR FIGHT FOR A BETTER ONE

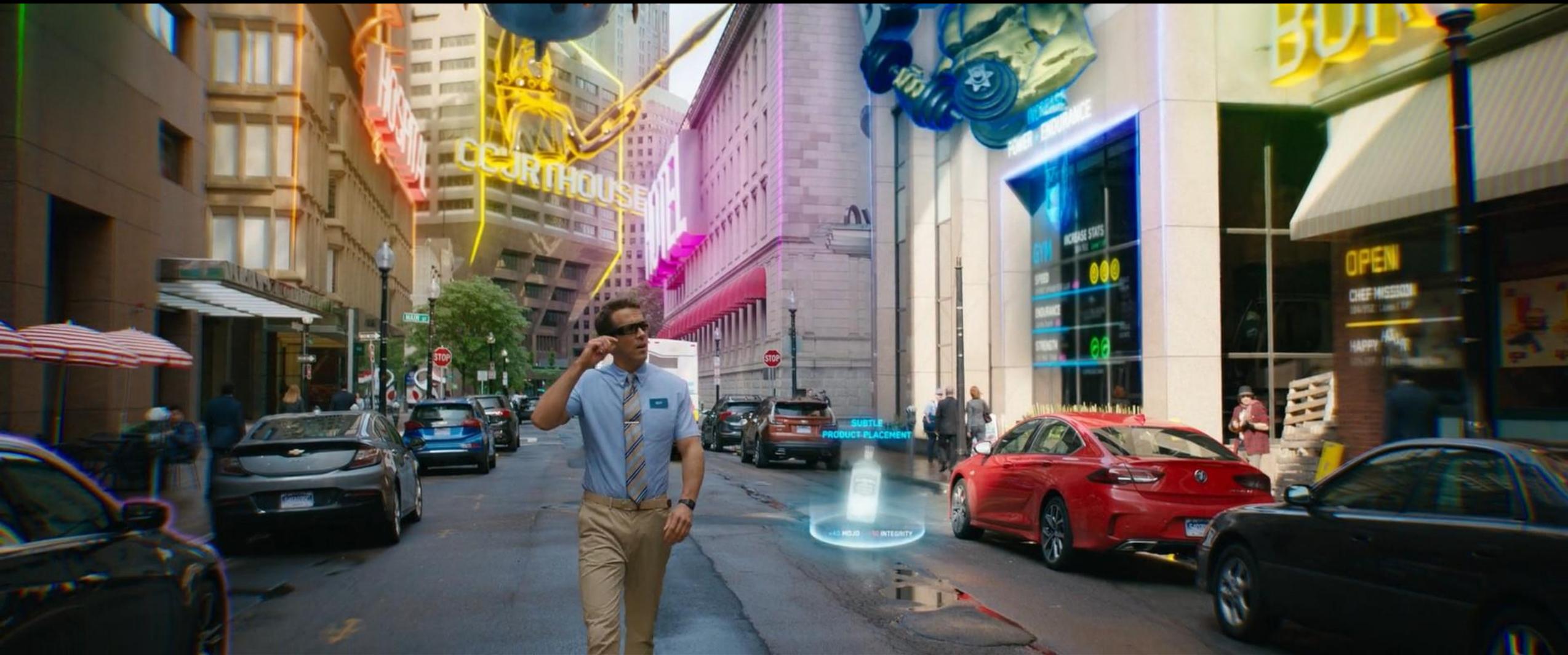
MARCH 29

EXPERIENCE IT IN IMAX 3D REAL D 3D DOLBY CINEMA

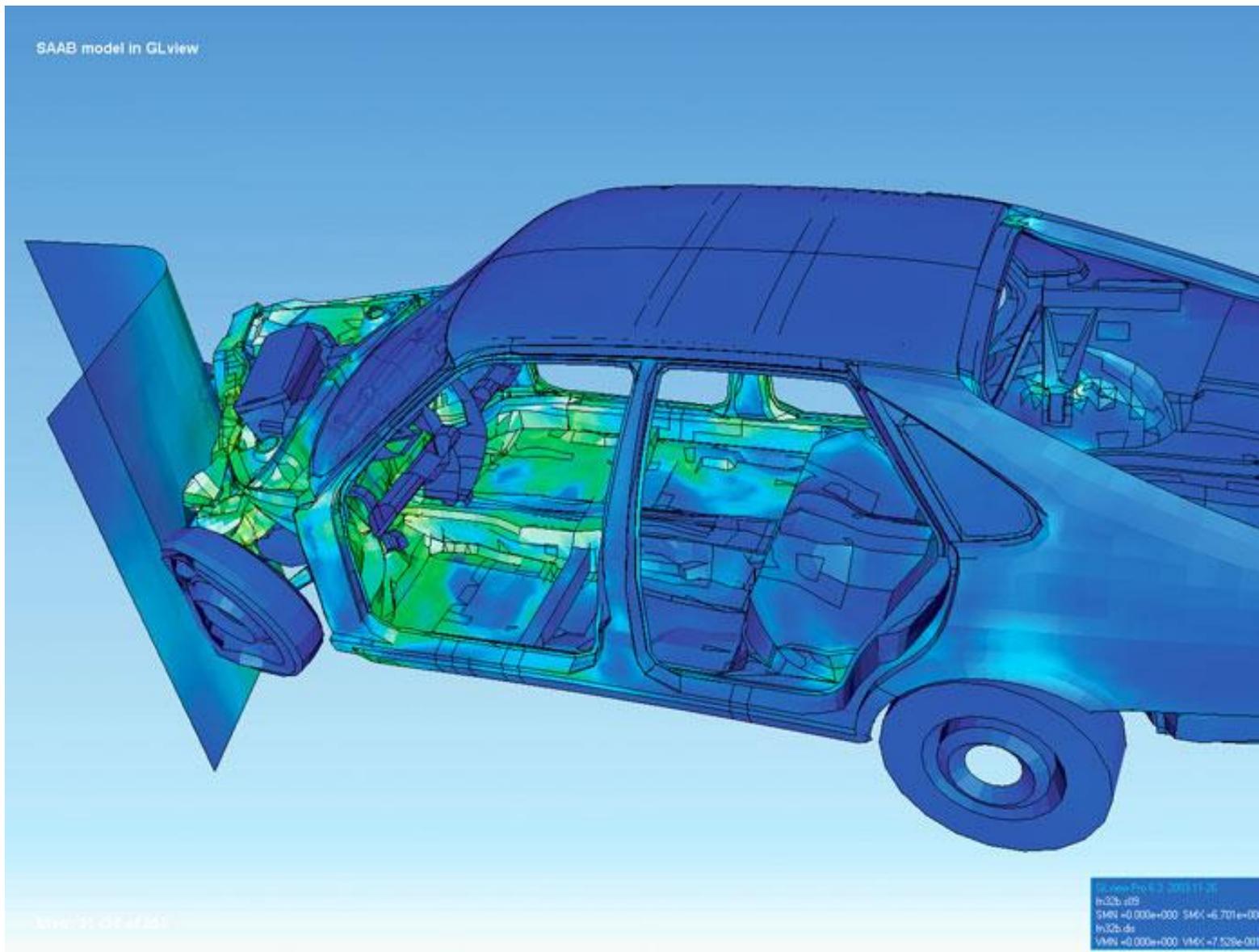


PG-13  
Parents Strongly Cautioned  
Some Material May Be Inappropriate for Children Under 13

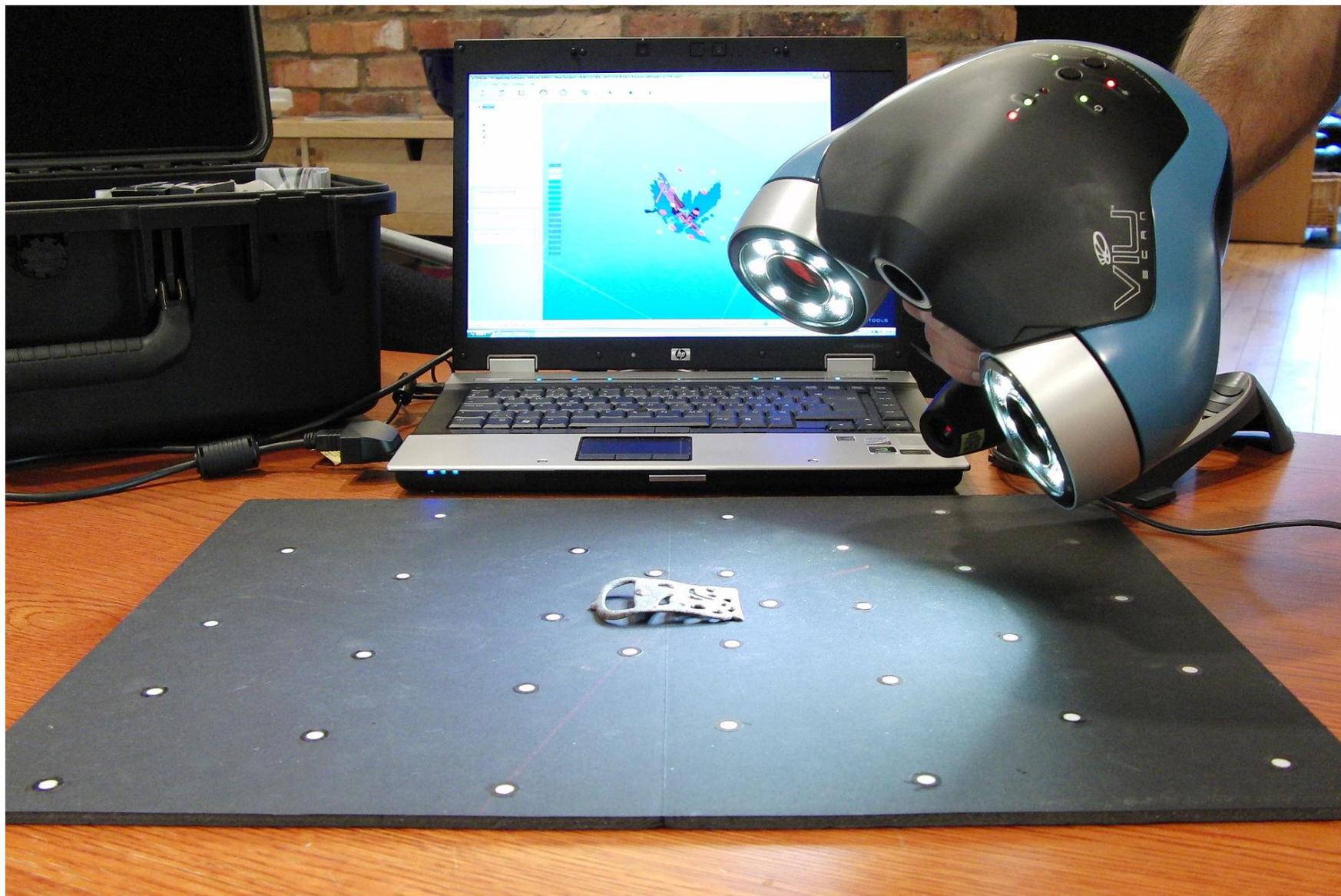




# 计算机图形学-6： 可视化



# 计算机图形学-6：几何捕捉

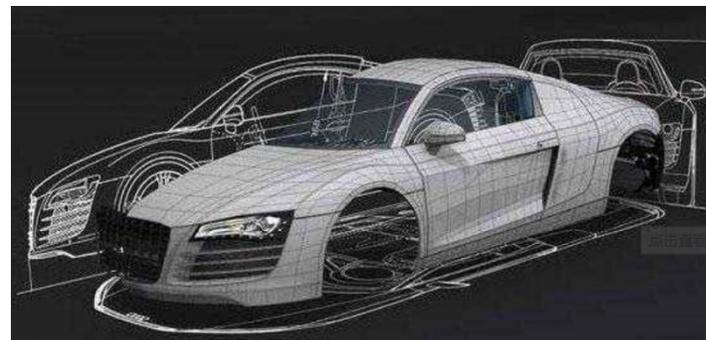
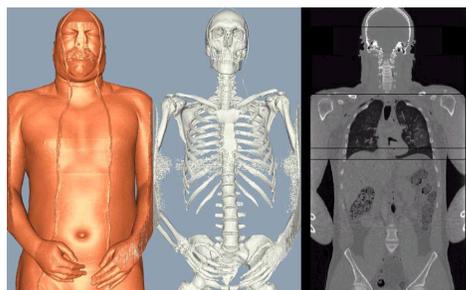


# 计算机图形学的应用

—随处可见的**3D**图形学技术

# 随处可见的CG技术与应用

- 计算机动画、游戏、电影…
- 工业产品设计
- 虚拟现实与混合现实
- 医学
- 建筑与艺术
- 数字地球与数字城市
- 元宇宙
- …



# 计算机图形学 - 应用

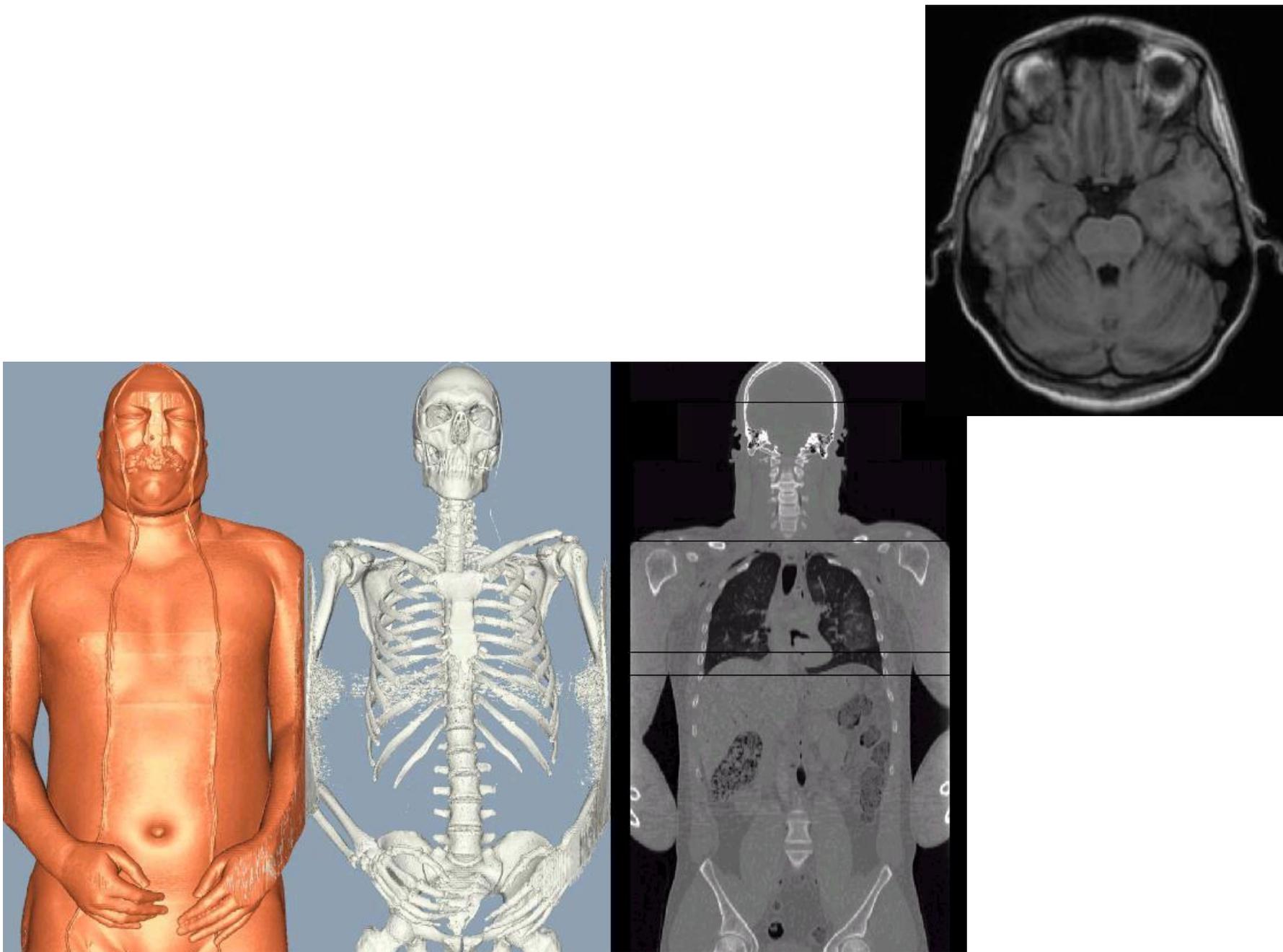


视频游戏

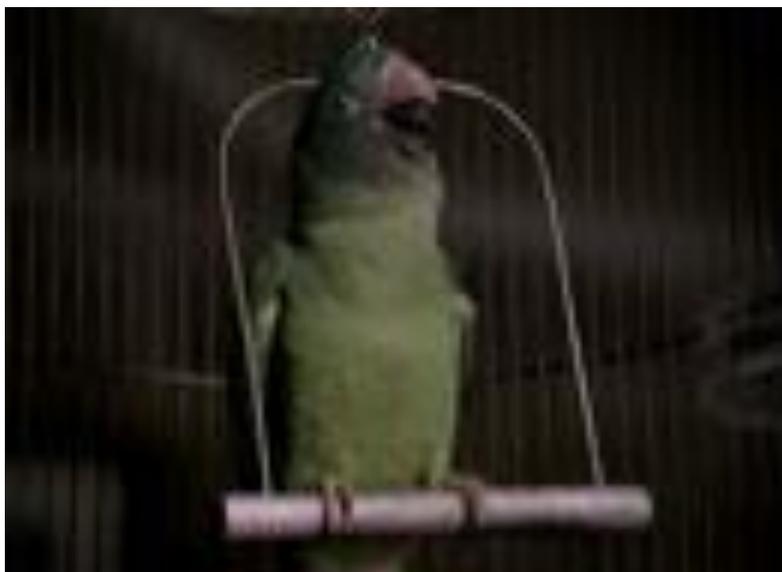


卡通/特效电影

# 医学



# 广告



# 虚拟设计与制造



Original Image



Result

Texture Track (1)

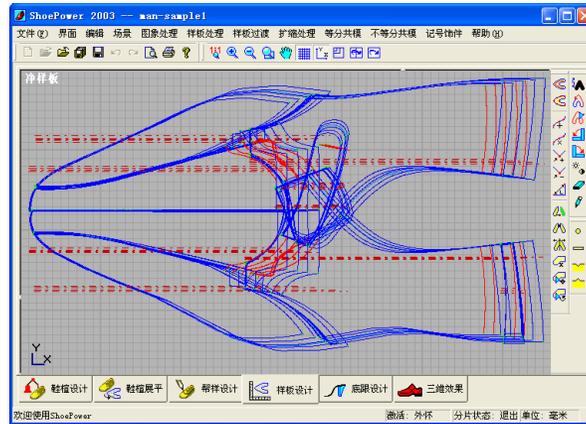
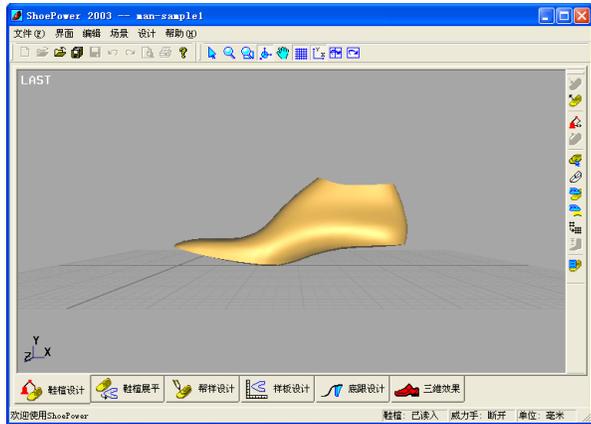


Original Image

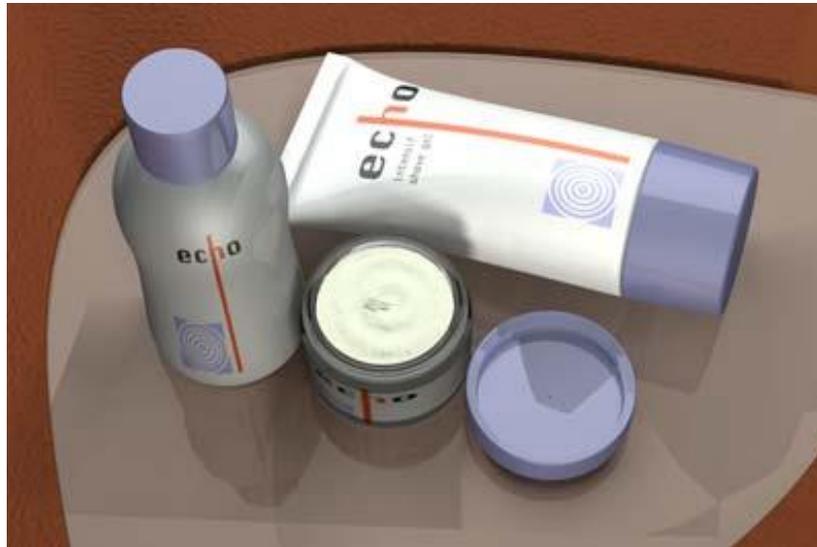
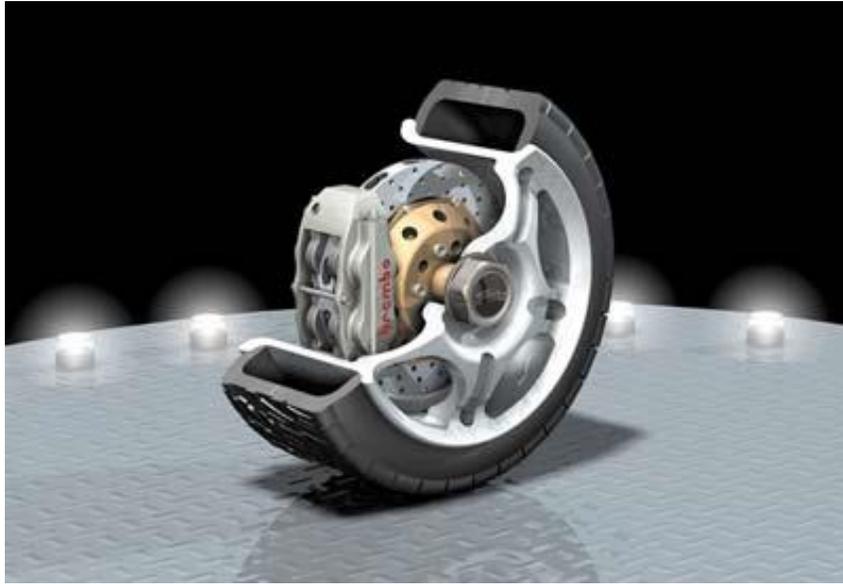


Result

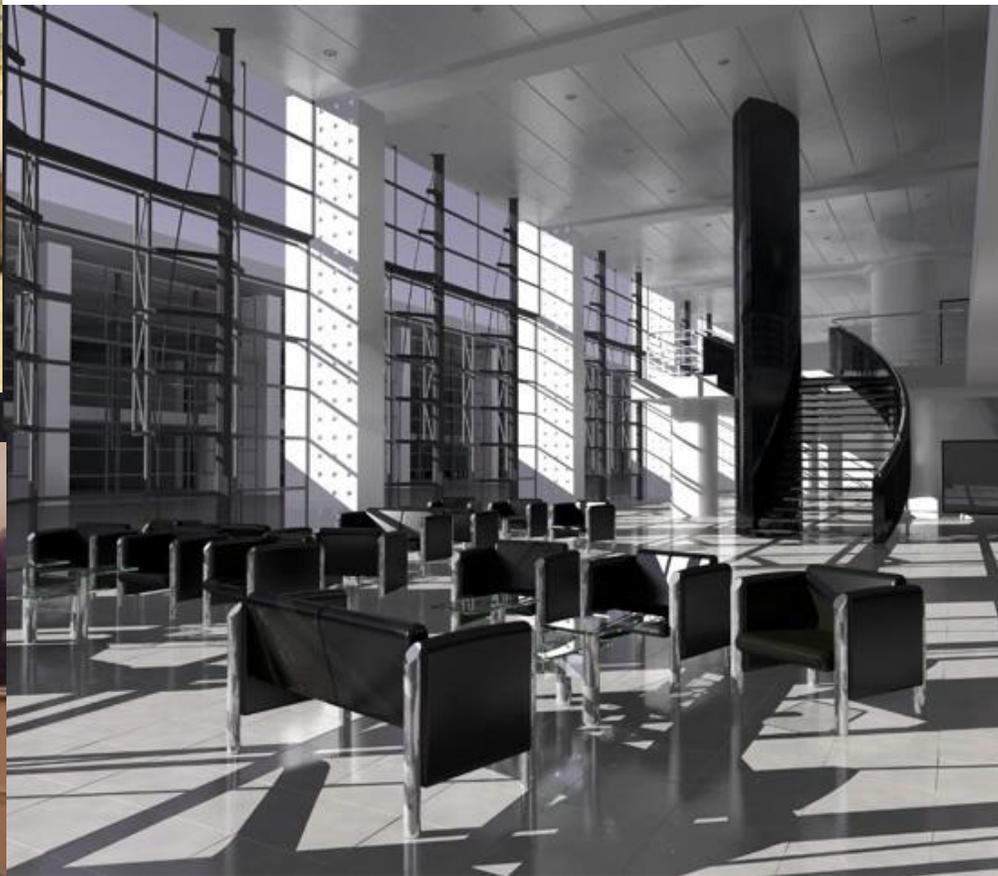
Texture Track (2)



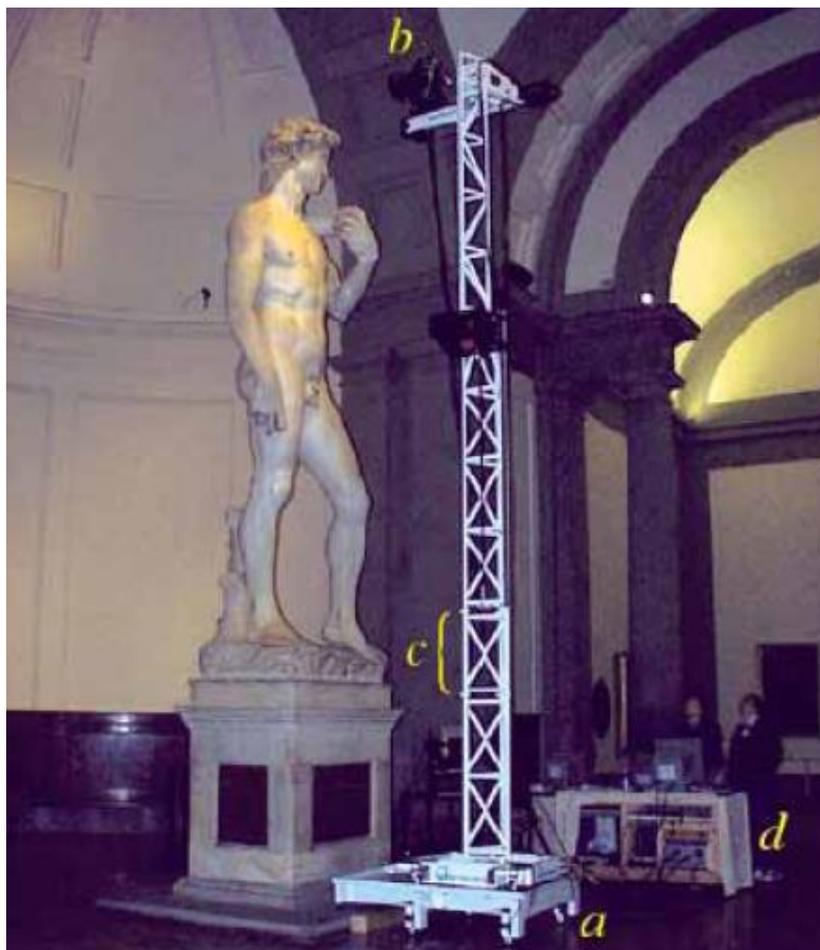
# 工业 (CAD/CAM)



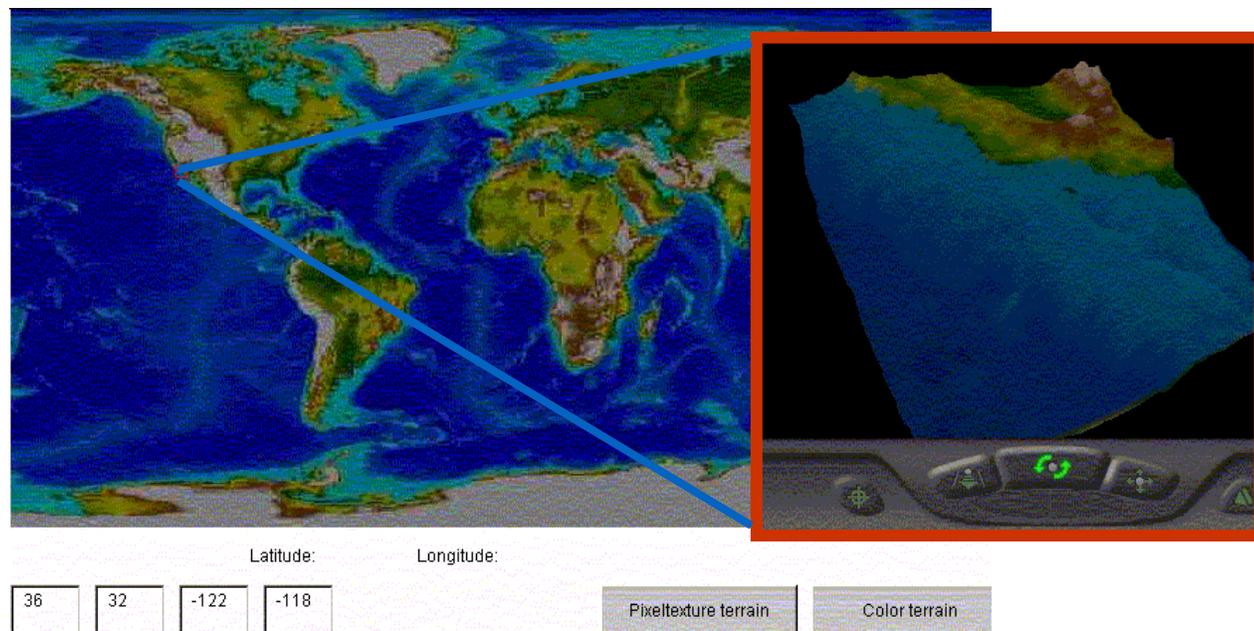
# 建筑设计



# 文物保存



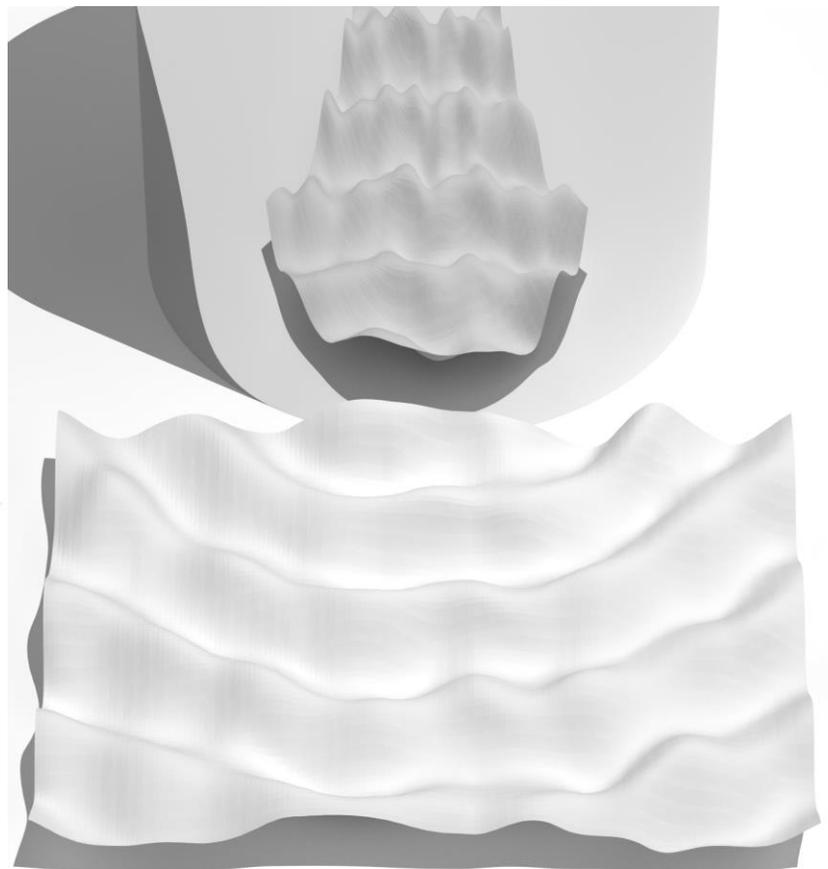
# 数字地球与数字城市



Google earth

MS virtual earth

# 艺术设计

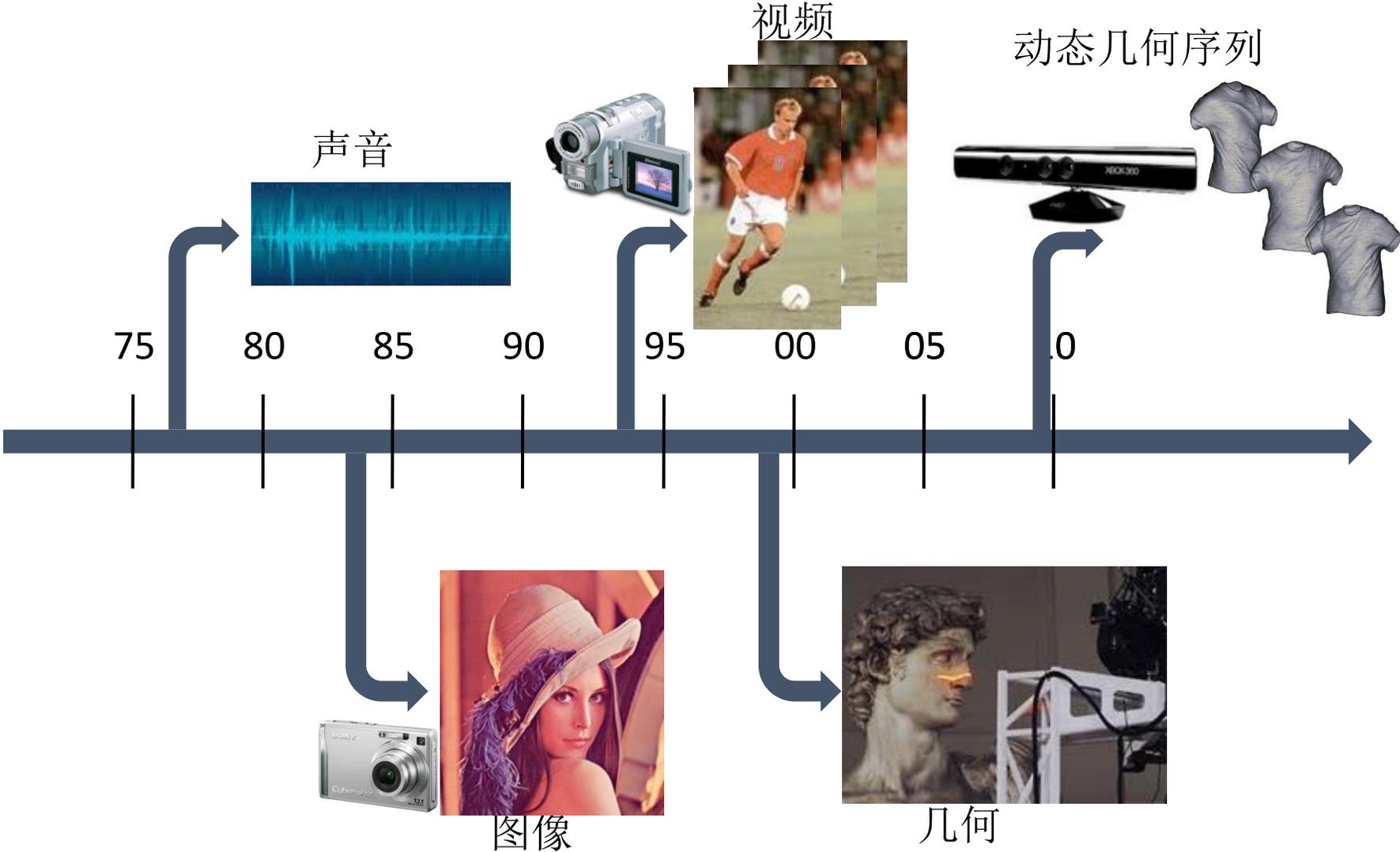


# Mirror cup and saucer art



<https://www.youtube.com/watch?v=frQqVIDEpTk>

# 计算机图形学：第四代数字媒体

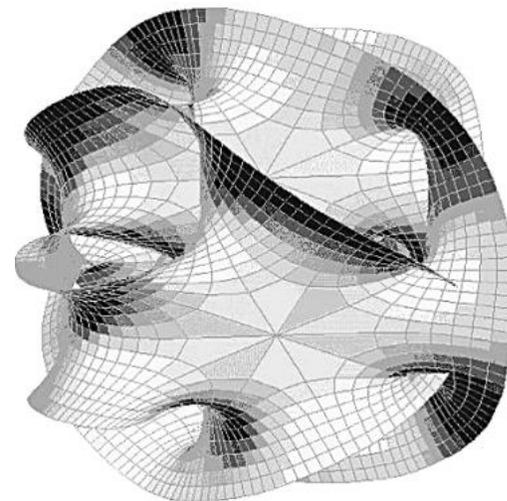
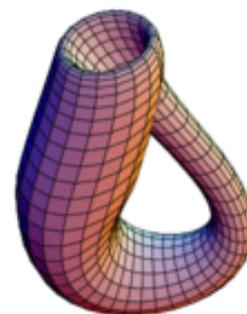
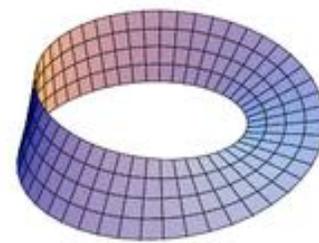


# 为什么学习计算机图形学（3D科技）？

- 广泛的应用
- 巨大的市场
  - 娱乐：游戏、电影
  - 教育
  - 虚拟现实
  - 人机交互
- 对技术、科技的热爱
- 有趣！好玩！！实用！！！！

# 计算机图形学是有趣的！

- 交叉学科
  - 数学、物理、计算机、艺术、感知…
- 理解真实世界的规律（光照，运动…）
- 有趣而有用的算法
- 你可以“看到”你的想象
- 学以致用：实际工业应用



# 如何学好计算机图形学？

- 好奇心
  - （像孩童般的）对未知世界的强烈好奇心
  - 对**技术**的渴望与追求
- 创新
  - 不断思考和尝试
- **实践、实践、实践**
  - 实践过程中掌握多种技能
    - 编程、软件开发、技术文档…

# 最好的心态

一定要好玩！

以玩的心态来学习、工作、生活

**Work Hard, Play Harder!**

**Just for fun!**

# 课程信息与要求

# 课程主页

[http://staff.ustc.edu.cn/~renjiec/CG\\_2022S2/default.htm](http://staff.ustc.edu.cn/~renjiec/CG_2022S2/default.htm)



## Renjie Chen (陈仁杰)

[Graphics & Geometric Computing Laboratory \(GCL\)](#)  
[School of Mathematical Sciences](#)  
[University of Science and Technology of China \(USTC\)](#)

**Email:** renjiec at ustc.edu.cn

## Teaching

[Computer Graphics \(Spring-Summer 2022-2023\)](#)

[GAMES 301: Surface Parameterization](#)

[Computer Aided Geometric Design \(Autumn-Winter 2022-2023\)](#)

[Summer School for Advances in Computer Graphics 2022 \(计算机图形学前沿进展\)](#)

[Summer School for Advances in Computer Graphics 2021 \(计算机图形学前沿进展\)](#)

# 在该课上，你们将能学到…

- 计算机图形学的基本内容与进展
- C++ 编程
  - 图像图形编程、使用程序库
- Matlab 编程
- 抽象思维
  - 实现算法
  - 阅读英文文献
  - 科研的初步方法：从数学建模到算法实现
- 学以致用！！

# 预备知识： 数学

- 线性代数
- 几何： 空间几何、微分几何
- 微积分
- 微分方程
- 数值方法与计算
- 最优化
- ...

还没有学没有关系： 数学在使用的过程中学得更快，能更深刻地深刻理解和掌握

数学不是没有用，而是不够用！

# 预备知识：编程

- C++
  - C语言
  - C++编程基础
  - <http://www.cppreference.com>
  - Why C++?
- Matlab
- 各种专业应用软件
  - Photoshop, 3D Max, Maya, Adobe Products...

工欲善其事必先利其器

你们希望学好编程吗？

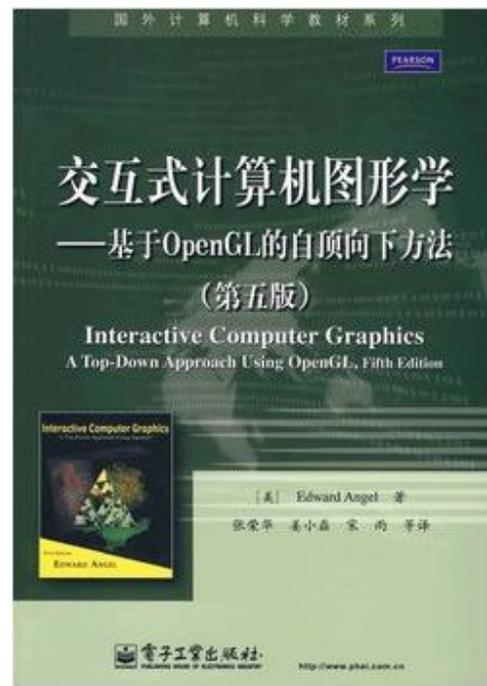
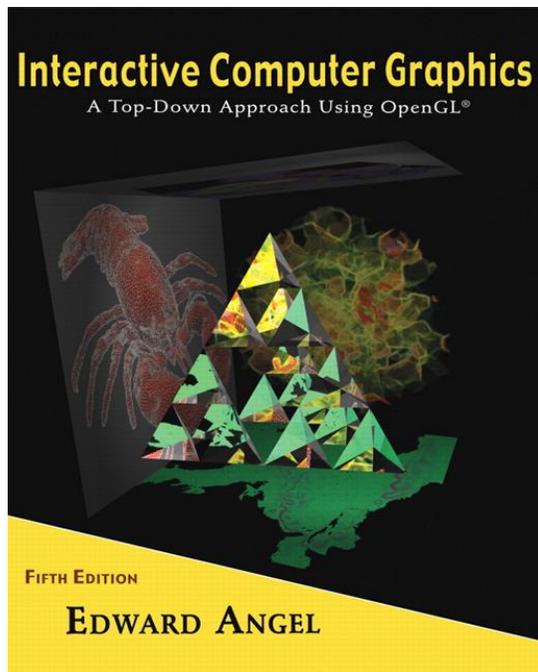
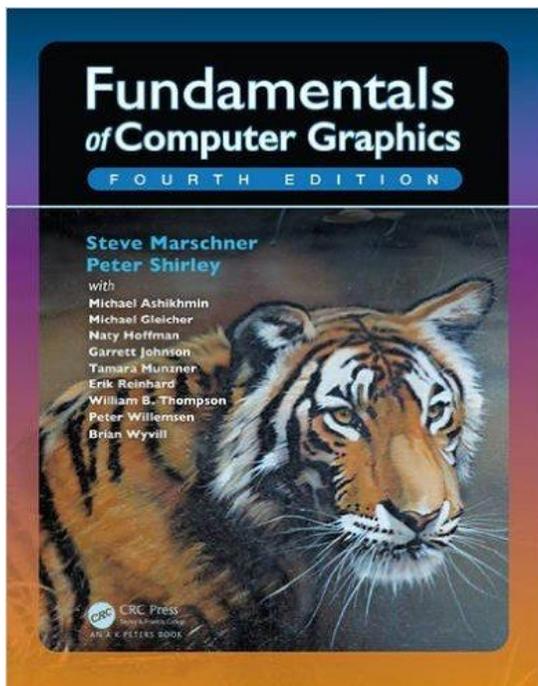
# 相关学科

- 图像处理
- 几何造型
- 计算机辅助几何设计
- 计算几何
- 计算机视觉
- 人工智能
- 计算机硬件
- ...

数学与其他学科的交叉

# 教材：没有教材！ 参考为主

- S. Marschner, P. Shirley — Fundamentals of Computer Graphics, 4th ed.
- E. Angel, Interactive Computer Graphics — A top-down approach using OpenGL™, 6th ed., 2011
- 中文版：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，2012



<https://www.wikipedia.org>

# 教材：没有教材！参考为主



# 学生ID号

- 本课程的唯一标识号（2位数字），课程网站上可查

序号	学号
01	PB15010419
02	PB16001754
03	PB16001773
04	PB16001785
05	PB16011030
06	PB16010882
07	PB16011165

# 课程QQ群： 677058679

- 昵称命名规则：“ID姓名”
  - 姓名用实名
  - ID号与姓名之间不用空格
    - 比如：“01张三”、“02李四”...
- 其他ID：
  - 如已选课但暂未分配ID号的同学，ID号均暂时设为“00”，等以后分配了ID号后再重新设置
  - 如不选课只旁听的同学，ID号均设为“99”

# 课程作业和考试

- 平时程序作业： 50%
  - 每周一个，独立完成!
- 期末大程序作业： 20%
  - 3人以内合作完成
- 期末考试： 30%

# 开发环境及工具

- Visual Studio 2022
  - Clion, qtcreator, eclipse
- Matlab 2022b
- **git (Bitbucket, Github) / Sourcetree**
  - <https://git.lug.ustc.edu.cn/>
- ...

# 使用git (bitbucket/github) 维护作业代码

- 构建自己的git仓库
  - 管理和维护自己的代码
  - 设为private, 不要public: 避免其他同学能访问到你的作业代码
- 作业提交: 将git的工程目录 (去除不必要的文件) 压缩提交

# 程序作业递交

- 电子邮件
  - 吴中昊      wzh2001@mail.ustc.edu.cn
  - 吴川        skc@mail.ustc.edu.cn
- 递交内容：
  - 源代码+作业报告
- 所有文件压缩打包成一个文件(zip或rar)， 文件命名规则：
  - 压缩包文件的命名方式：ID号\_姓名\_Homework1.zip/rar
  - 比如：“01\_张三\_Homework1.zip”

# 作业要求 (1)

- 代码编写
  - 高质量代码
    - 符合一定的规范
    - 代码清晰
    - 适当的注释
    - 越“短”越好
  - 部分代码可以来源于网上
    - 站在巨人的肩膀上
  - 必须编译通过，且能够正常运行
    - Visual Studio 2022

# 作业要求 (2)

- 作业报告
  - 程序使用的简单说明，可截图说明
  - 明确的输入和输出
  - 测试结果和分析、小结等
  - 若是合作项目，需说明具体分工
  - 报告需规范
  - 在报告中说明所参考的来源
    - 网站、书籍
    - 致谢他人

# 作业要求 (3)

- 电子邮件
  - 严格按照规则命名 ID号\_姓名\_Homework1.zip
- 必须在规定的最后期限之前递交
- 独立完成，相互帮助，团队合作
- 绝不允许抄袭!

# 作业评判维度

- 代码规范性
- 功能完整性
- 程序鲁棒性
- 报告完整性

5+	代码、程序界面、报告都很专业 (bonus)
5	代码规范，程序界面友好，报告清晰
4	代码、程序界面、报告总体不错
3	代码、程序界面、报告合格
2	代码不够规范，报告不够清晰
1	程序不能运行，或者没有报告
0	抄袭，或者不递交作业。 态度有问题，很遗憾 ☹️

对于出色的作业，我们将给予其展示的机会！

# 作业布置及讲解时间

- 周二布置当周作业
- 周日晚前递交
- 周一周二：批改上周作业
- 周五讲解上周作业

# 期望

- 让同学们真正能
  - 掌握C++和Matlab编程语言
  - 实现各种有趣的算法
  - 体会数学的美妙与应用
  - 学习图像处理、计算机图形学基本知识
- 方法
  - 实践 Practice makes perfect!

# 保证

- 快速提高编程能力
- 了解计算机图形学的基本内容与前沿发展
- 写出让别人惊讶的程序
- 成功的成就感
  
- 大家一起玩!!!

# 计算机图形学的挑战

- 计算机图形学在美国已经形成一个完整的产业链：科研，游戏，电影，娱乐，教育，艺术，工业界…
- 在中国，正在逐渐形成
  - 中国急需计算机图形学的人才！！！！

*广阔天地, 大有可为!*

**Have fun!**

# 编程作业1: Matrix / Vector

- C++ 编程基础
  - Object orient
  - Operator overloading
  - memory management
  - Template
- <http://www.cppreference.com>

*Thank you!*

*Questions?*