



参考书目

- [1] 孙家广等编著. 计算机图形学（第3版）, 清华大学出版社, 1998年。
- [2] Donald Hearn, M.Pauline Baker. 蔡士杰等译. 计算机图形学, 电子工业出版社, 2008。
- [3] 何援军编著. 计算机图形学（第三版）, 机械工业出版社, 2016年。
- [4] 魏海涛编著. 计算机图形学（第2版）, 电子工业出版社, 2007。





第1章 计算机图形学概述

1.1 计算机图形学及其研究内容

1.2 计算机图形学的相关领域和学科

1.3 计算机图形学的发展

1.4 计算机图形学的主要应用领域

1.5 计算机图形学当前的研究动态

习题





1.1 计算机图形学及其研究内容

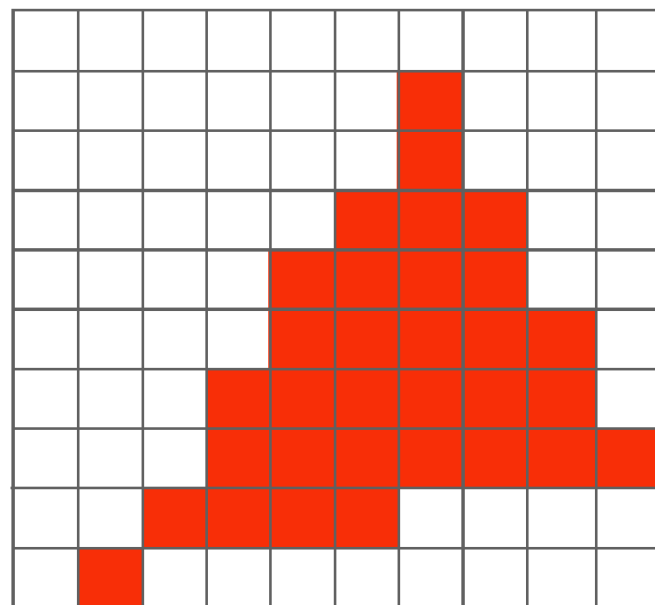
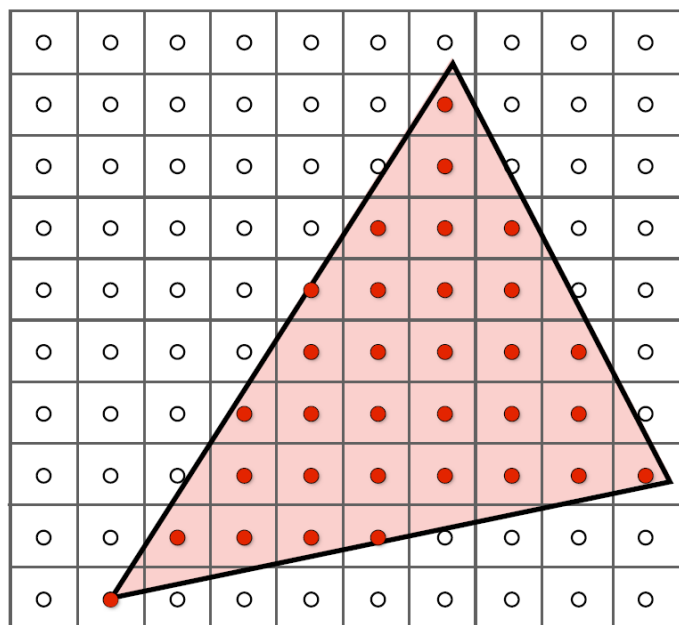
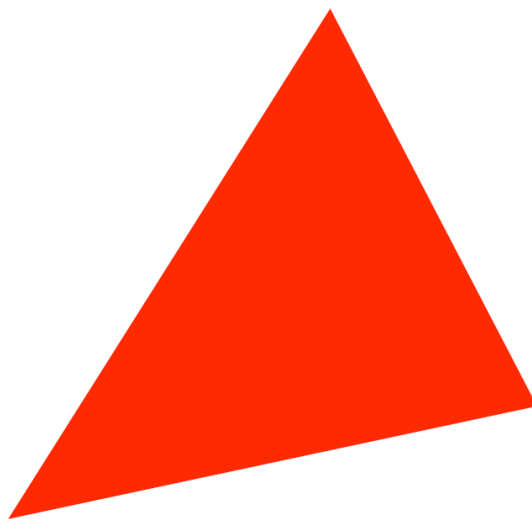
1.1.1 计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics)是20世纪60年代以来发展迅速、应用广泛的综合性学科。计算机图形学(Computer Graphics, 简称CG)是一种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。





第 1 章 计算机图形学概述



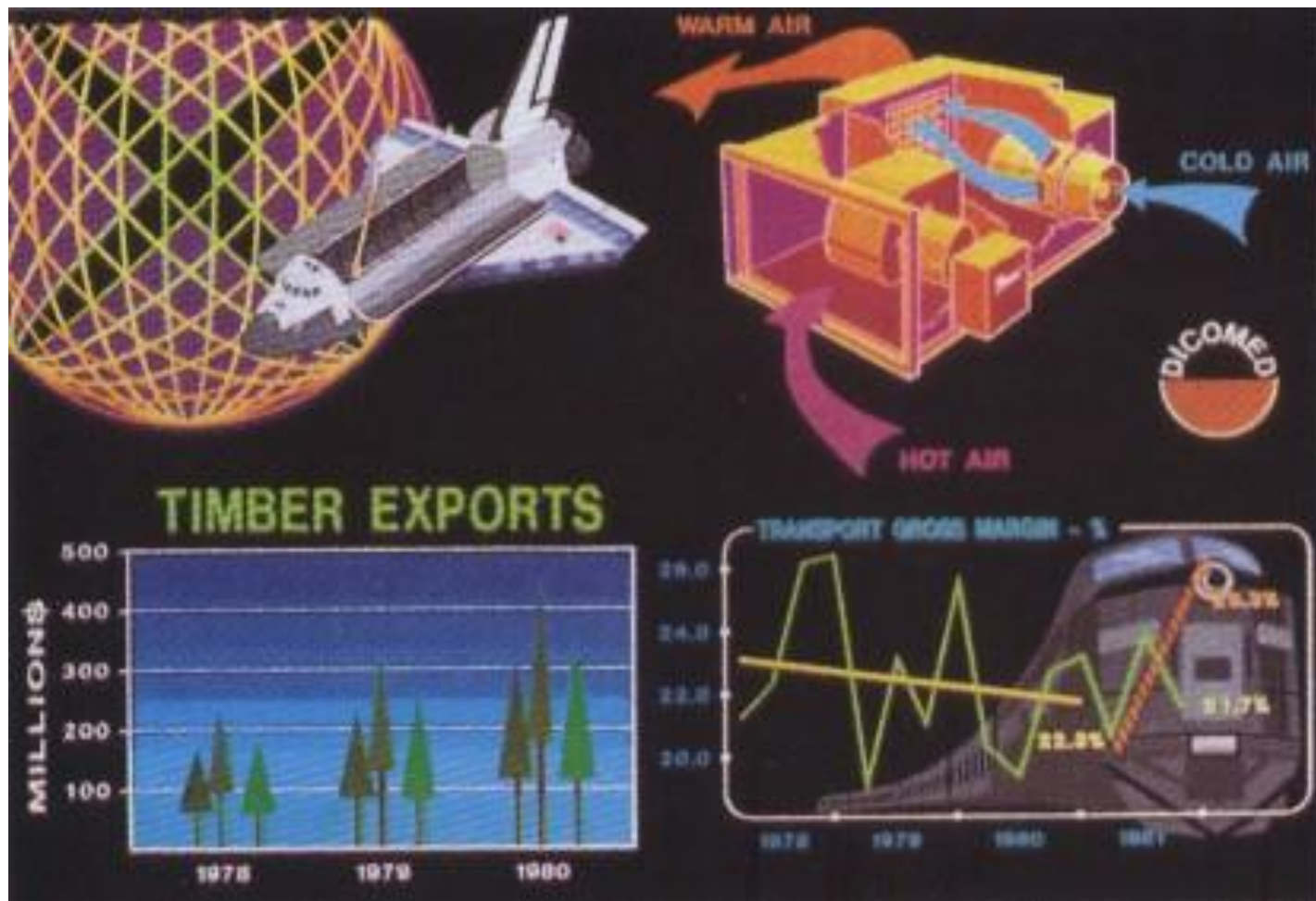


图 1.1 计算机图形学应用示例(DICOMED公司提供)





1. 图形

计算机图形学的研究对象是图形。广义的说,能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象都可称为图形。它既包括了各种几何图形以及由函数式、代数方程和表达式所描述的图形,也包括了来自各种输入媒体的图景、图片、图案、图像以及形体实体等。





2. 图形信息的特点

图形信息是一种重要的信息类型，它直接明了，含义丰富，具有以下特点：

1) 图形信息表达直观，易于理解

在科学技术高度发达的今天，图形信息显示出任何语言无法比拟的优越性，它能直接反映出客观世界变幻无穷的图像，供全人类所共享，不受语言限制。





2) 图形信息表示准确、精练

图形给人一瞬间把握整体的特点，它比文字更加简明精练，而文字要逐字逐句逐段联系起来才能理解，真是“一幅图胜过千言万语”。

3) 图形信息能“实时”地反应过程的变化规律

连续变化的图形信息能更“实时”地反映生产和科学研究与实验过程，并从中发现起决定作用的因素和关系。





4) 图形信息的信息量较大

“一幅图胜过千言万语”，这从另外一个角度也说明图形中包含的信息量较大，因此，图形如何在计算机中表示，也是计算机图形学研究的内容之一。





3. 图形在计算机中的表示

计算机中表示带有颜色及形状信息的图形常用以下两种方法:

1) 点阵法

点阵法通过枚举出图形中所有的点来表示图形，它强调图形由哪些点构成，这些点具有什么样的颜色，即点阵法是用具有灰度或色彩的点阵来表示图形的一种方法。在计算机中表示图形**最常用**的是点阵法。





2) 参数法

参数法用图形的形状参数和属性参数来表示图形。形状参数指的是描述图形的方程或分析(或函数)表达式的系数、线段和多边形的端点坐标等。属性参数则包括颜色、线型等。





4. 计算机图形系统的概念

1) 计算机图形系统的组成

计算机图形系统是为了支持图形应用程序便于实现图形的输入、处理、输出而设计的计算机硬件和软件的组合体。没有绘图系统的支撑,就会使图形应用程序的编写极为困难,计算机图形学潜在的用途也难以开发。





计算机图形系统由硬件和软件两部分组成。计算机图形系统的基本物理设备统称为硬件，它包括主机及大容量外存储器、显示处理器、图形输出和图形输入设备。其中图形显示器、打印机、绘图机、键盘、数字化仪和光笔等供系统配置时由用户选用。



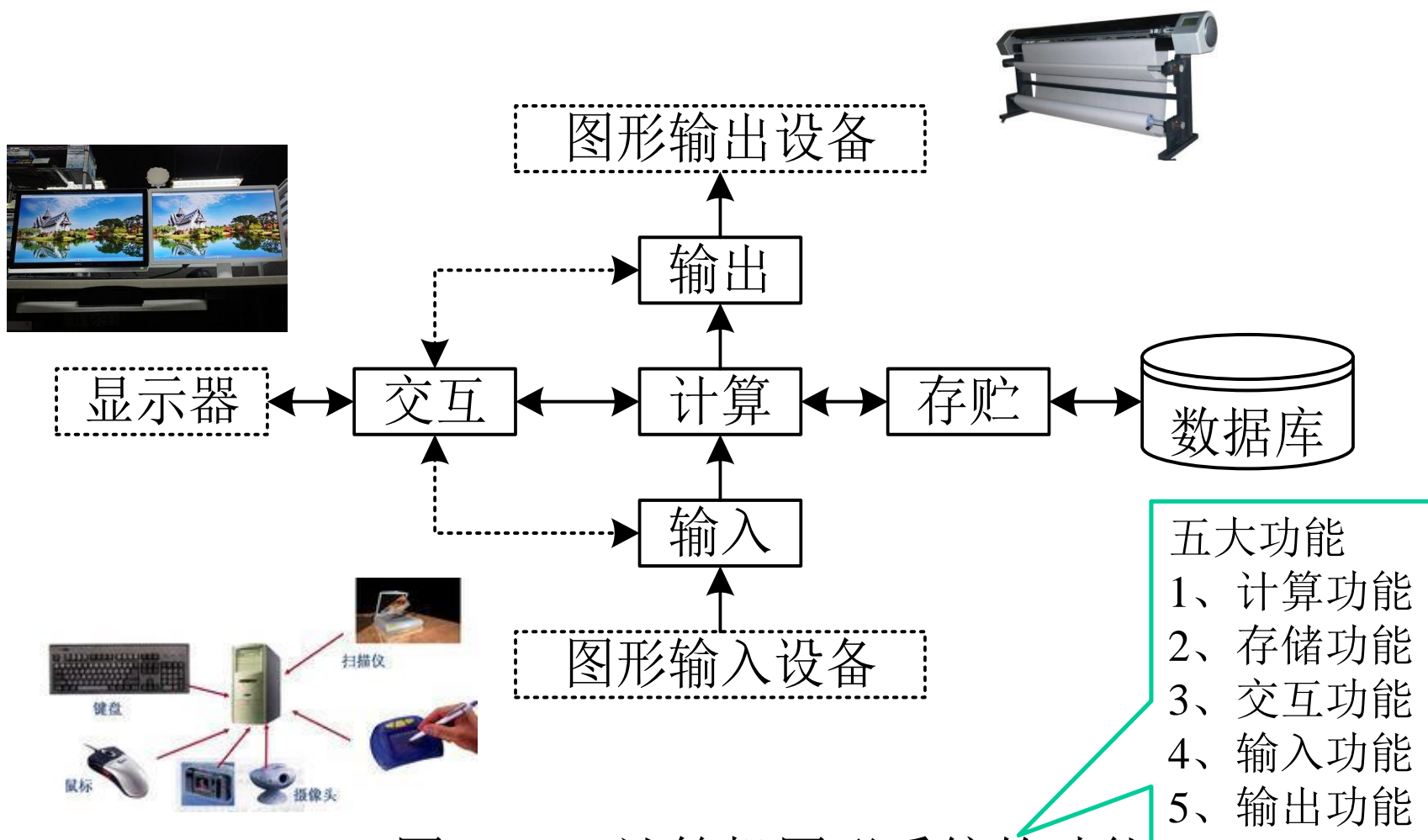


图 1.2(a) 计算机图形系统的功能



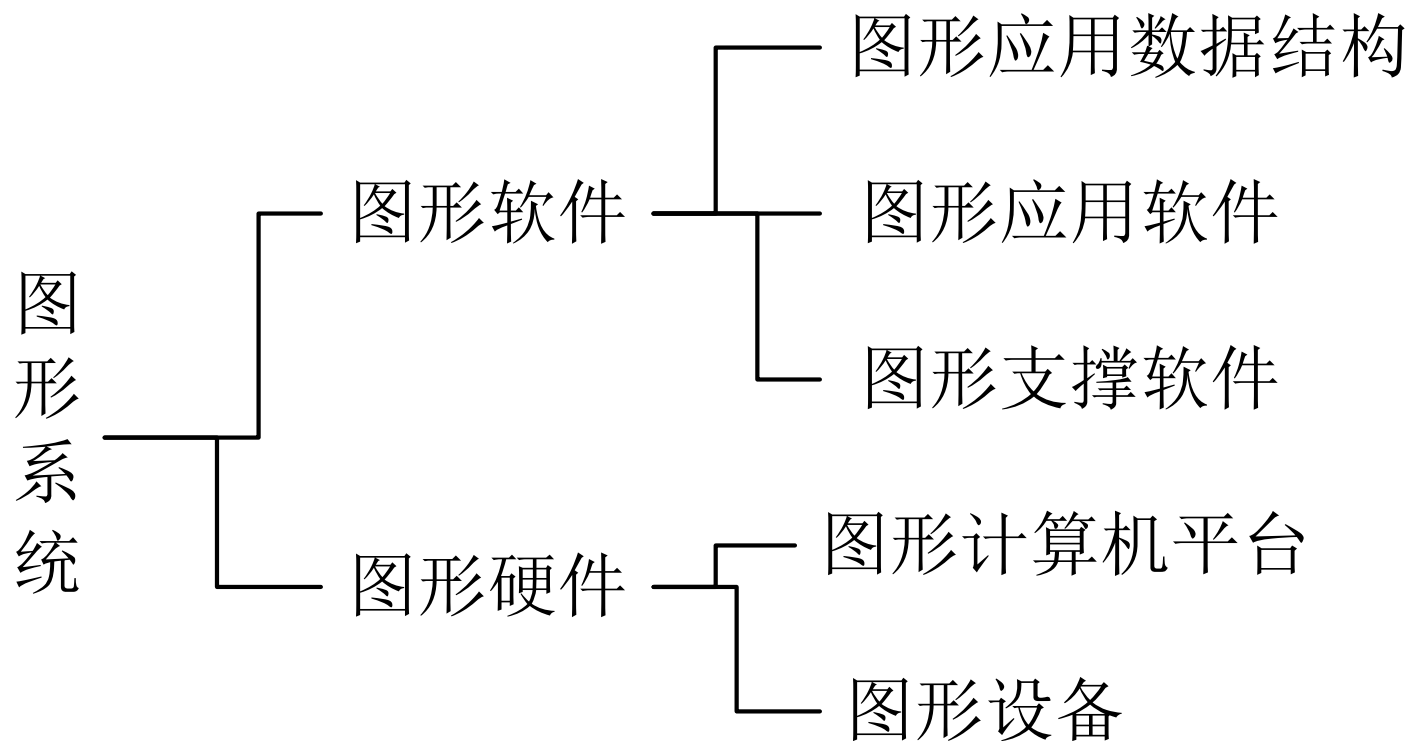


图 1.2(b) 计算机图形系统的结构



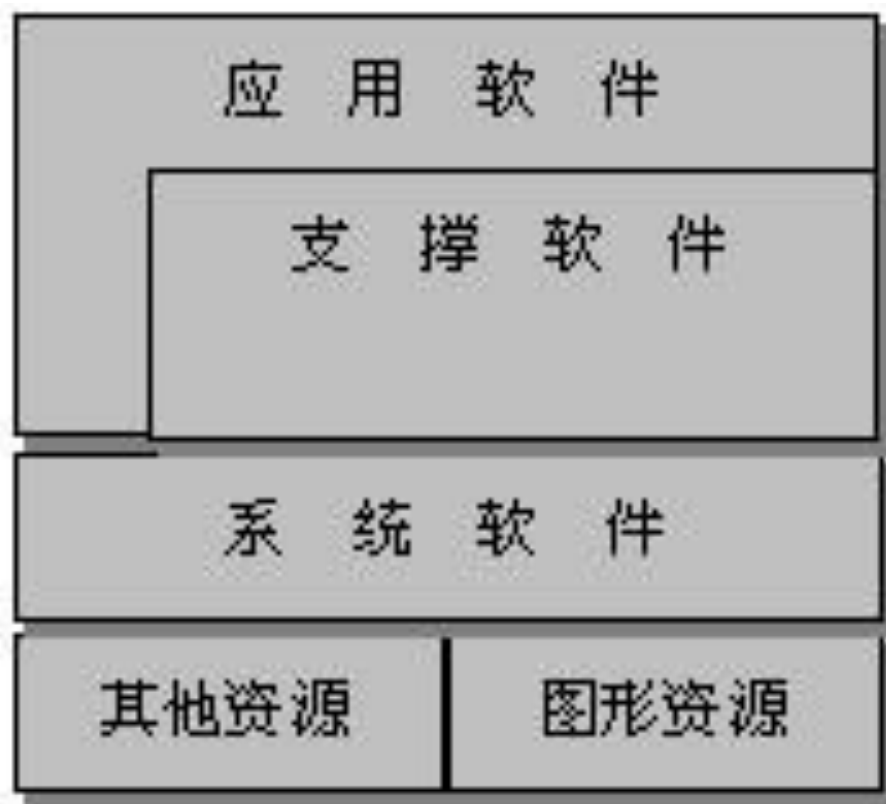


图 1.3 单主机模式计算机图形系统的软件组成





2) 计算机图形系统的工作方式

计算机图形系统的工作方式有被动式和交互式两种。

被动式主要以绘图机、打印机作为输出设备，通过编制一个图形程序，让计算机执行程序时控制绘图机或打印机绘制图形，在生成图形过程中，无法进行操纵和控制，若要修改所生成的图形必须修改图形程序或数据。

交互式图形系统则由设计人员(或用户)利用键盘、光笔、数字化仪、图形显示器等交互设备的有关功能，控制和操纵模型的建立和图形的生成过程。

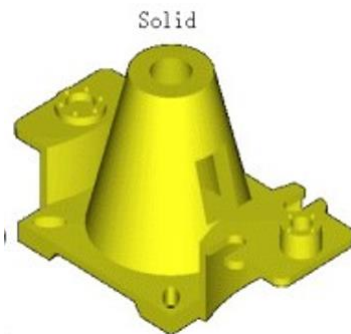




3) 图形系统中三维物体输出的流水线

在计算机内描述、构造、修改二维或三维形体时，常用的几何形体表示方法有：线框模型、表面模型、实体模型等三种方法。下面以线框模型为例说明计算机图形系统中三维物体透视线框图输出的过程。

图形显示涉及到两个重要概念——窗口(window)和视区(viewport)。



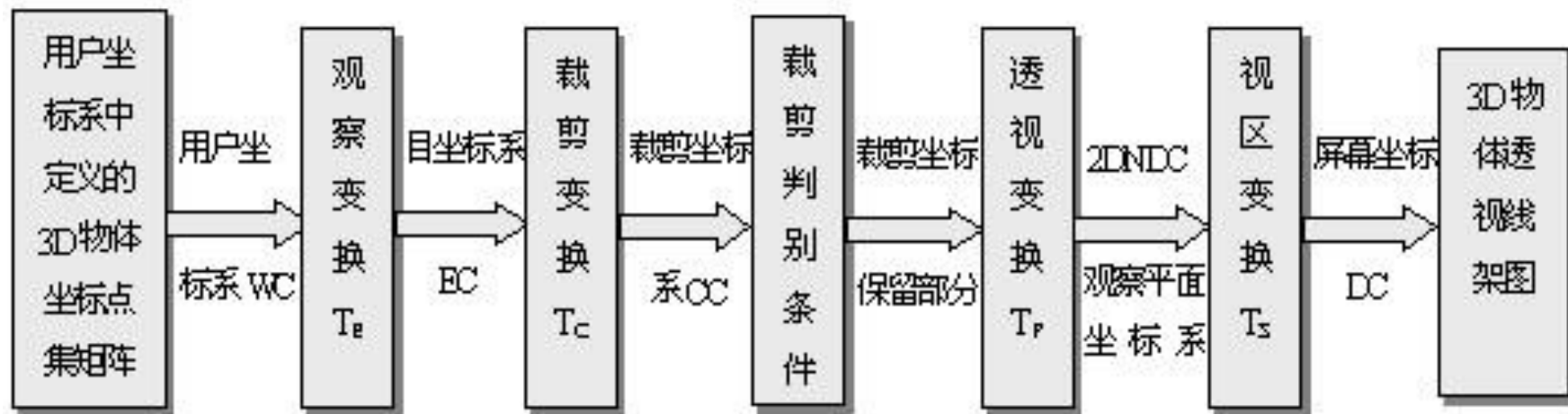


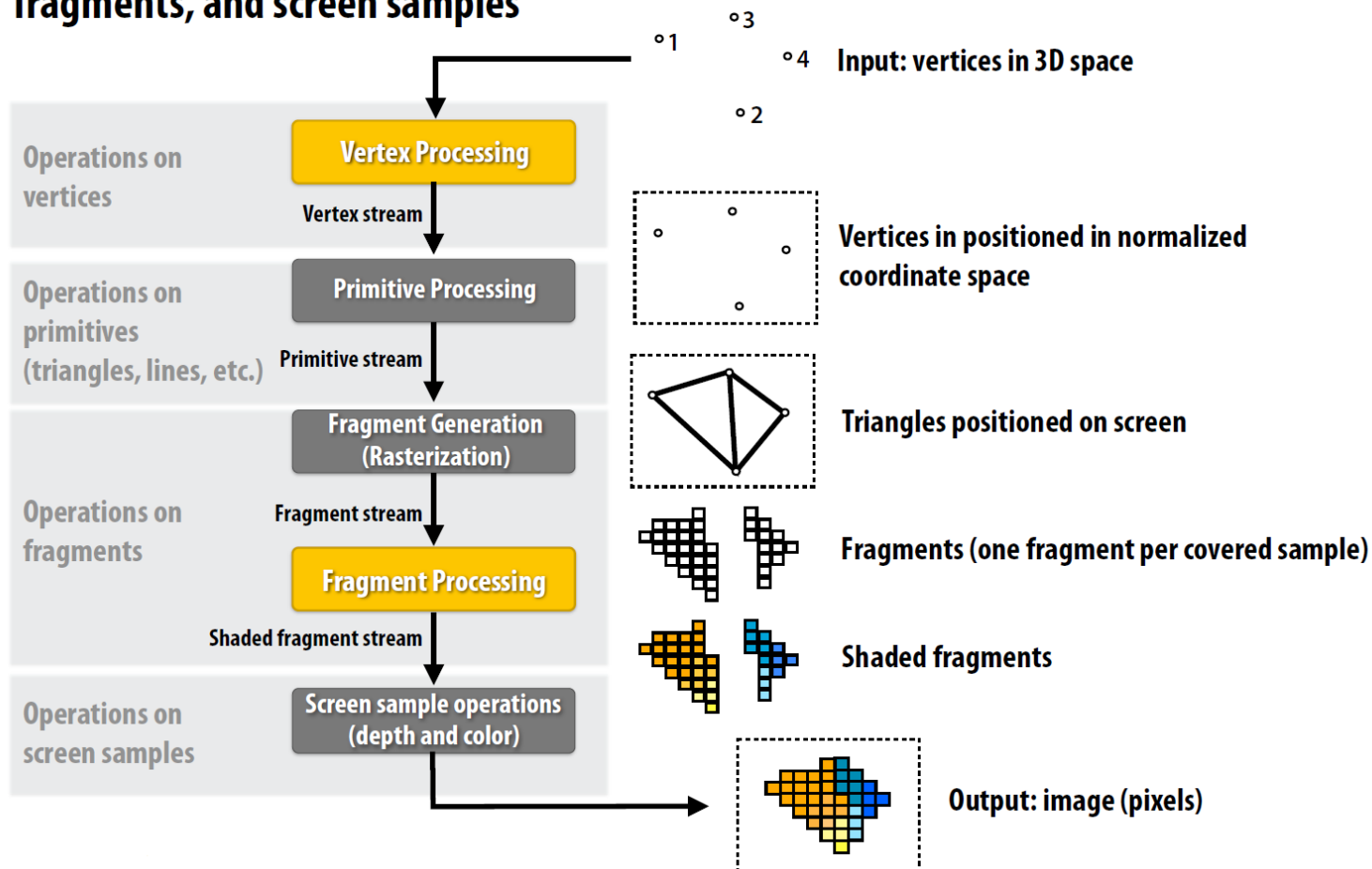
图 1.4 三维物体输出流水线图





OpenGL/Direct3D graphics pipeline *

Structures rendering computation as a series of operations on vertices, primitives, fragments, and screen samples





1.1.2 计算机图形学的主要研究内容

图形的输入、图形描述、图形的计算处理、图形的输出的理论、原理、算法。

除了理论和方法已经非常成熟的**基本图形元素生成算法**(也叫光栅图形学)和**图形变换**的内容之外,计算机图形学的主要内容还有**造型技术**、**真实感图形生成**及**人机交互技术**等三部分。





要在计算机屏幕上生成三维物体的一幅图像，首先必须在计算机中建立该物体的模型。构造这一模型的技术称为造型技术，包括**形体的表示**、**构造及运算**。最常用的是几何造型，即由一批几何数据及数据之间的关系来表示所要显示的形体，一般是规则形体。几何造型的可靠性及覆盖面是研究工作的重点。





在计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)中,为了使形体的表示方法与工程师描述形体的习惯相衔接,并便于实现CAD/CAM 的集成,近年来出现了特征造型技术,即用形状特征、材料特征、公差特征等描述一个产品。随着动画技术的发展,出现了基于物理的造型技术。在计算机艺术中,为了表示不规则的形体,又出现了分数维造型等。几何造型的例子如图1.5所示,其中图(a)是工程图,图(b)是线框图,图(c)是实体模型描述的例子。



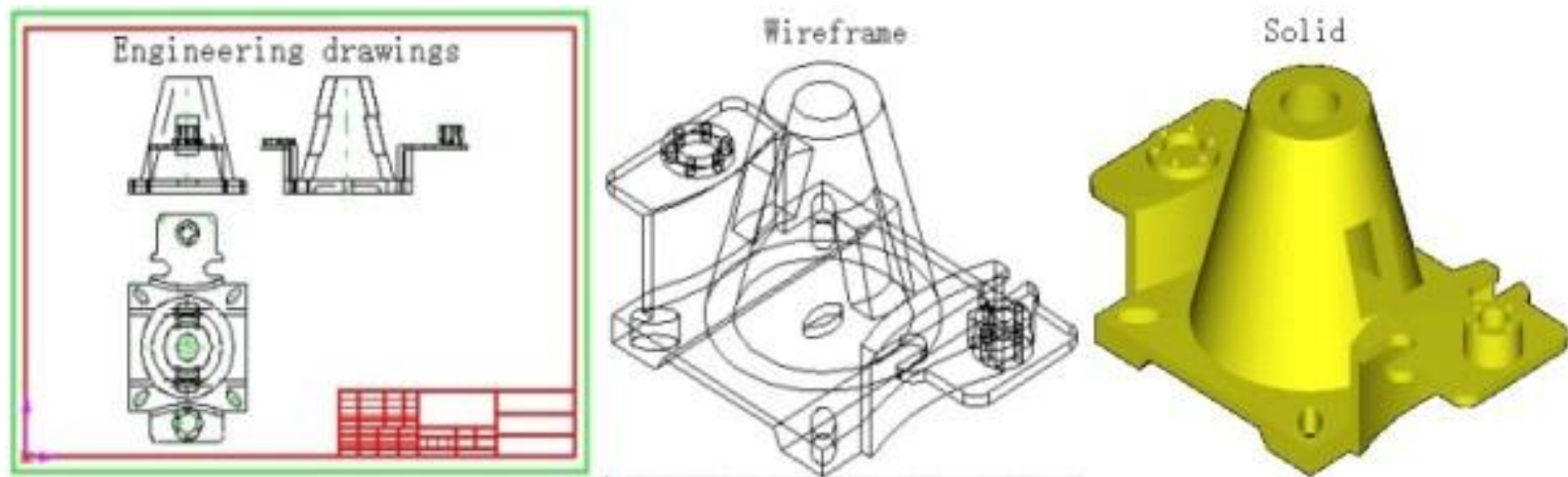


图 1.5 造型技术示例

(a) 工程图; (b) 线框图; (c) 实体模型图





除了不断提高计算机硬件的运算速度及图形软件的效率以外，并行计算是一个重要手段。图1.6是真实感图形生成示例。纹理映射技术的示例如图1.7所示。



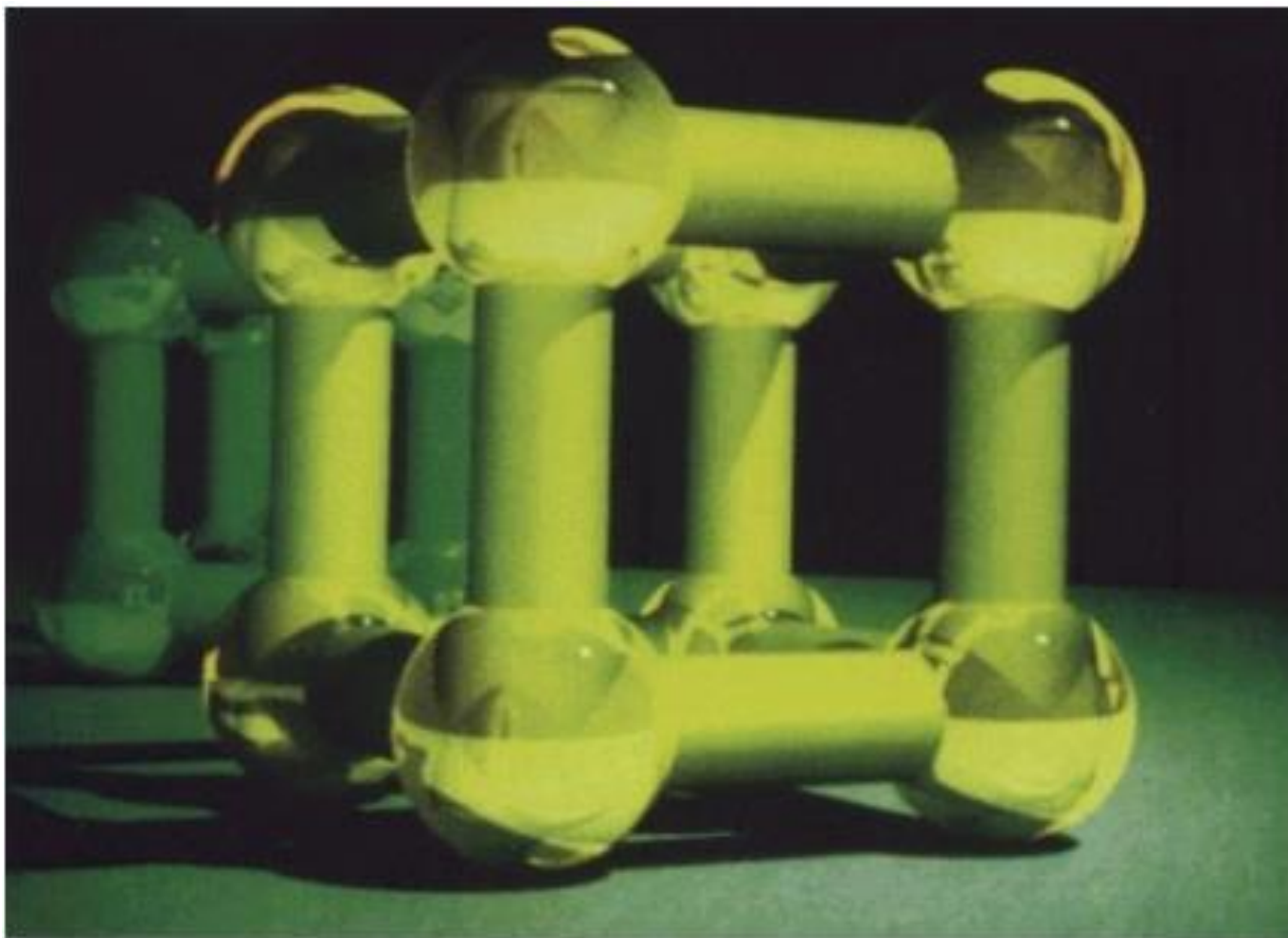
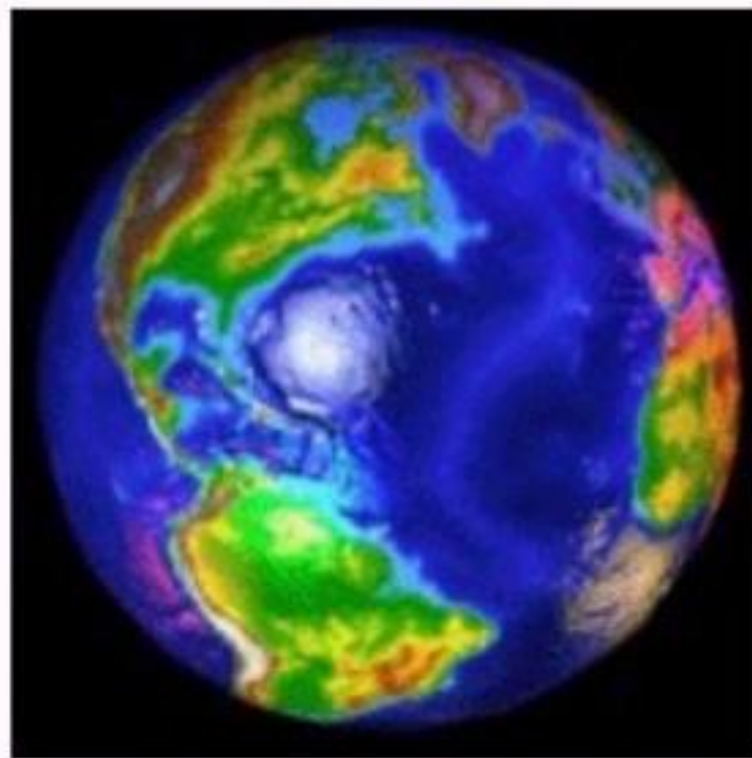


图 1.6 采用Whitted光线跟踪及光照明模型绘制的带反射和折射的球与柱体





(a)



(b)

图 1.7 纹理技术示例

(a) 带光照的纹理映射； (b) 用凹凸纹理技术绘制的地球





Texture mapping adds detail

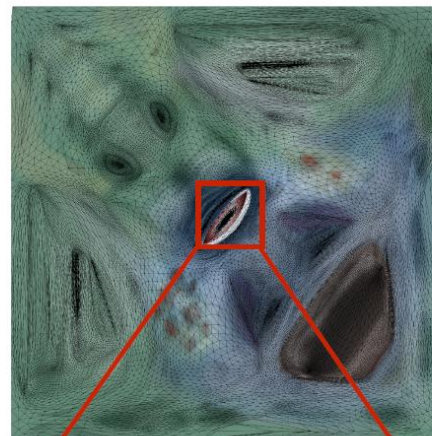
rendering without texture



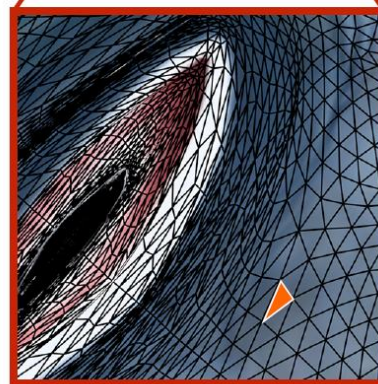
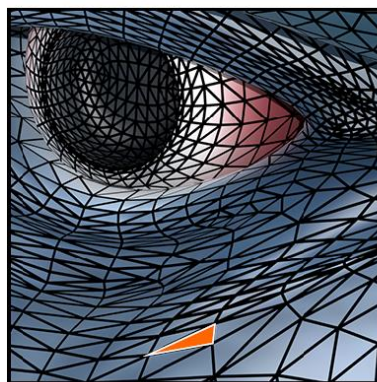
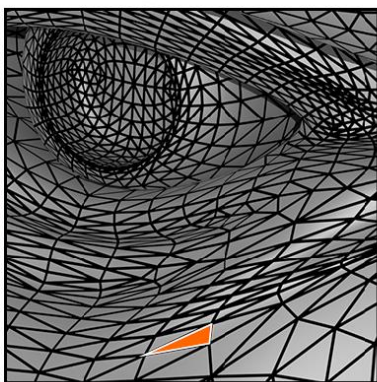
rendering with texture



texture image



zoom



Each triangle “copies” a piece of the image back to the surface.





三维物体的造型过程和真实感图形生成过程都需要在一个操作方便、易学易用的用户界面下完成,其中包括:图元及造型方法的交互选择,形体、模型的交互操作,观察点、观察方向的交互设置,光照模型参数的交互选取,色彩的交互设定等。





1.2 计算机图形学的相关领域和学科

用计算机处理图形信息采用不同的方式和过程,使得图形图像处理技术的应用领域发展为五个联系密切的分支学科,即计算机图形学(CG: Computer Graphics)、数字图像处理(Image Processing)、模式识别(Pattern Recognition)、计算机视觉(Computer Vision)和计算机辅助几何设计(CAGD: Computer Aided Geometric Design)。它们之间既有一定联系,又有不同的研究目标、方法与技术,图1.8表示了它们之间的关系。



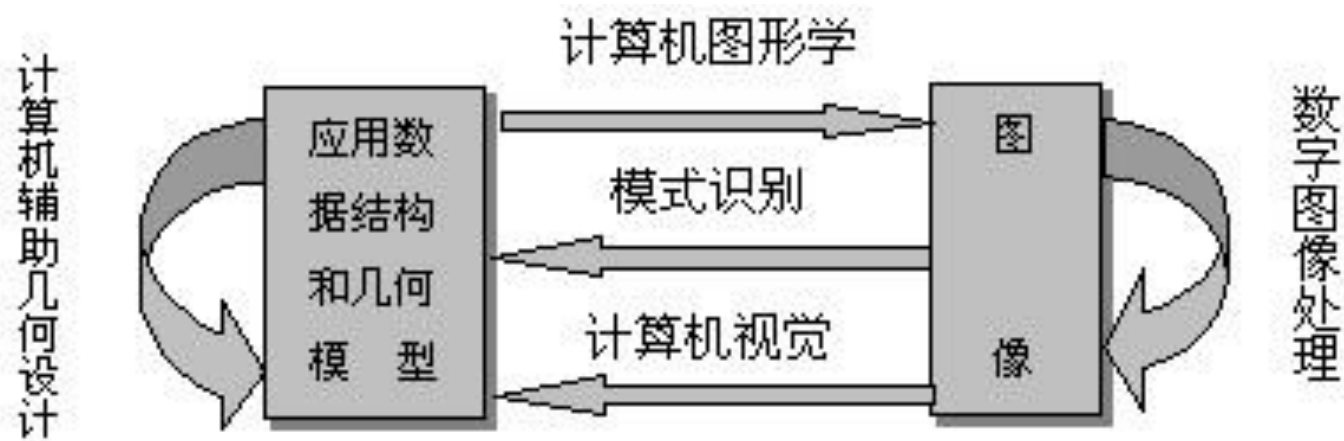


图 1.8 图形图像处理相关学科间的关系





数字图像处理将客观世界中原来存在的物体映像处理成新的数字化图像。如对照片图像扫描采样、量化、模 / 数转换后送入计算机，由计算机按应用的需要，对数字图像信息进行加工处理，从而改善图像的视觉效果。其主要处理内容有图像去噪、增强、复原、分割、提取特征、重建、识别以及存储、压缩编码和传输等。





模式识别(Pattern Recognition)研究的是计算机图形学的逆过程, 它主要讨论如何分析和识别输入的数字图像和图形, 并从中提取二维或三维的数据模型(特征)。

模式识别, 就是通过计算机用数学技术方法来研究模式的自动处理和判读。我们把环境与客体统称为“模式”。随着计算机技术的发展, 人类有可能研究复杂的信息处理过程。信息处理过程的一个重要形式是生命体对环境及客体的识别。对人类来说, 特别重要的是对光学信息和声学信息的识别。这是模式识别的两个重要方面。 [维基百科](#)





计算机视觉(Computer Vision)是研究用计算机来模拟生物外显或宏观视觉功能的科学和技术,它模拟人对客观事物模式的识别过程,是从图像到特征数据、对象的描述表达的处理过程。其主要内容包括图像特征提取、相机定标、立体视觉、运动视觉、3D重建、物体建模与识别、距离图像分析等。

计算机视觉是一门研究如何使机器“看”的科学,更进一步的说,就是指用摄影机和计算机代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等机器视觉,并进一步做图像处理,用计算机处理成为更适合人眼观察或传送给仪器检测的图像。作为一门科学学科,计算机视觉研究相关的理论和技术,试图创建能够从图像或者多维数据中获取“信息”的人工智能系统。 [维基百科](#)





计算机辅助几何设计(CAGD-Computer Aided Geometric Design)着重讨论几何形体在计算机内的表示、分析和综合, 研究怎样方便灵活地建立几何形体的数学模型, 提高算法的效率, 在计算机内如何更好地存储和管理这些模型等。





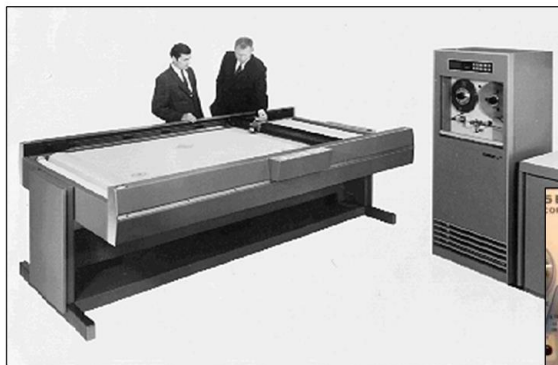
1.3 计算机图形学的发展

1.3.1 计算机图形学的发展简史

自 20 世纪 50 年代以来, 计算机图形学的发展历程经历了 60 多年。 每 10 年都会有一些全新的技术出现。

1950s

- Pen Plotters
- Computer-controlled oscilloscopes





1960s

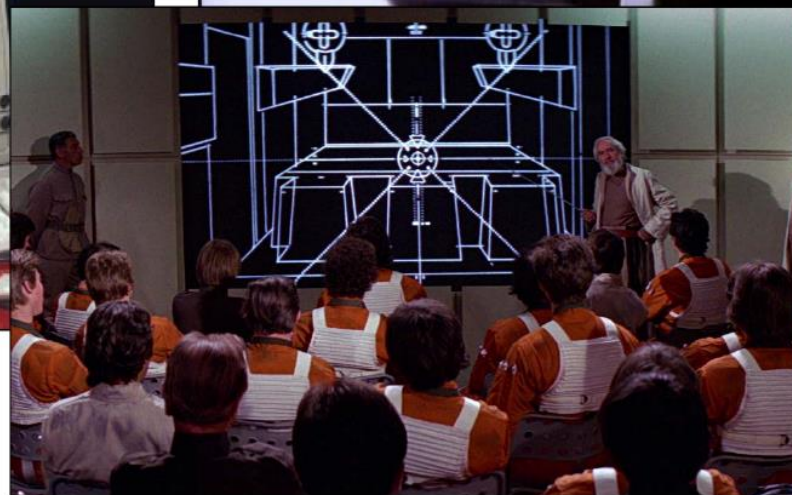
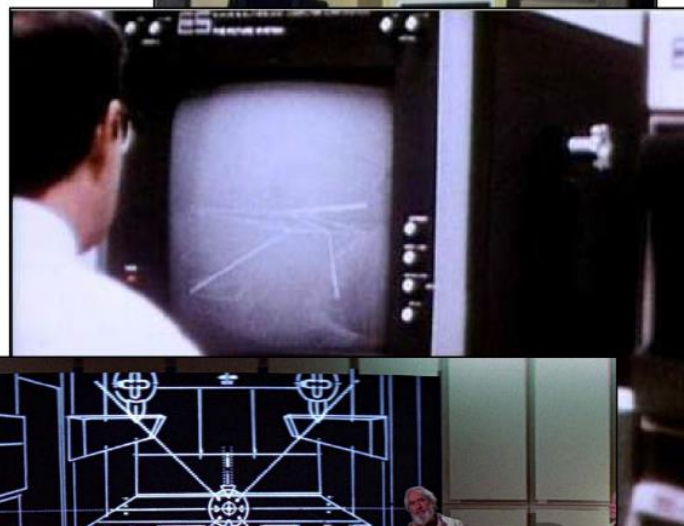
- Vector displays
- Interaction
- Ivan Sutherland's SketchPad project





1970s

- Direct View Storage Tubes (Oregon's own **Tektronix!**)
- Color raster displays (CRTs)
- Hardware-accelerated vector displays
- Commercial production companies emerge
- SIGGRAPH conferences (started in 1974)
- Star Wars Episode IV

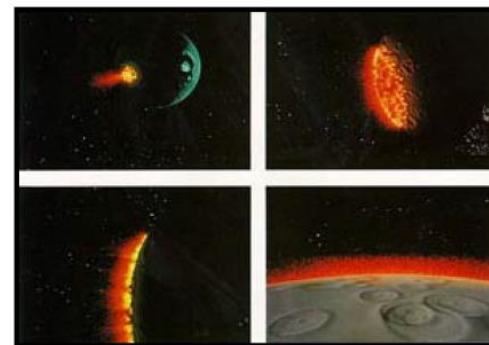




第 1 章 计算机图形学概述

1980s

- Dynamic color raster displays
- Flight simulators
- Silicon Graphics, Inc. (SGI)
- Pixar
- Scientific visualization
- Luxo Jr., Tin Toy
- The Last Starfighter, TRON, Star Trek II: The Wrath of Khan, Young Sherlock Holmes, The Abyss
- **Jen-Hsun Huang graduates from Oregon State with a BSEE degree, 1984**



Computer Graphics



mjb – August 21, 2019

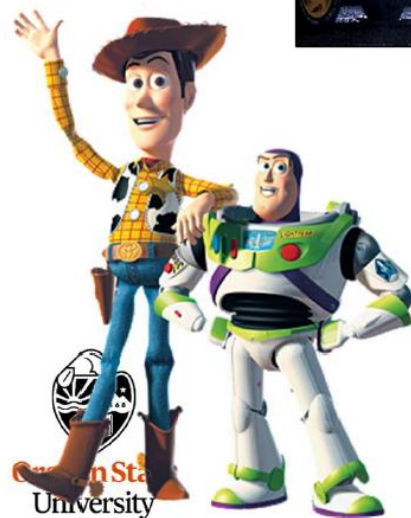




1990s

b

- Texture-mapping in hardware
- OpenGL
- PC graphics cards
- Terminator 2, Jurassic Park, Toy Story, Star Wars Episode 1



University
Computer Graphics





2000s

- Shaders
- OpenGL-ES (Embedded Systems, i.e., intended for underpowered hardware)



Oregon State
University
Computer Graphics



mjb – August 21, 2019





现在的进展

- OpenGL-ES与OpenGL桌面的合并
- 图形移动平台
- 3D 电影
- 虚拟和增强现实(VR和AR)
- • • • •





1.3.2 硬件设备的发展

在计算机图形系统的硬件中，**图形显示器**是最关键的设备之一，它的发展也具有一定的代表性。20世纪60年代中期在计算机图形系统中使用的是**随机扫描的显示器**，它具有较高的分辨率和对比度，具有良好的动态性能。





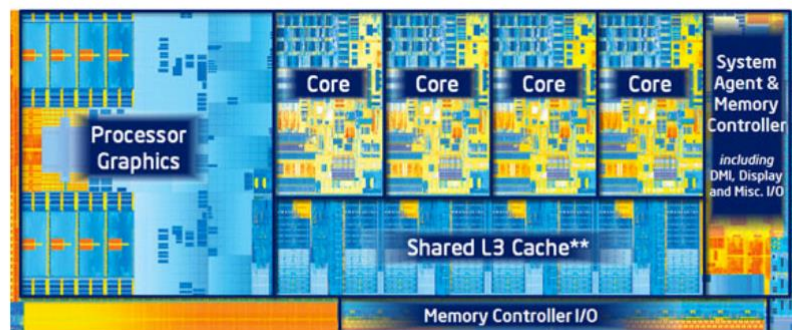
Graphics pipeline implementation: GPUs

Specialized processors for executing graphics pipeline computations



net

**Discrete GPU card
(NVIDIA GeForce Titan X)**



Integrated GPU: part of modern Intel CPU chip





1.3.3 图形软件的发展及软件标准的形成

随着计算机系统和图形硬件的发展, 计算机图形软件的开发、应用, 及其生成和处理图形的算法也都在迅速发展, 并在图形系统中占据越来越重要的地位。按其本身的特点和功能, 计算机图形软件系统可以分为三类:

1) 用现有的某种计算机语言写成的子程序库 (一般是有些软件人员[用户]开发的)

用户使用时按相应计算机语言的规定调用所需要的子程序生成各种图形。





2) 图形支撑软件（一般是开发环境本身提供的）

图形支撑软件由一组公用的图形函数(或子程序)所组成， 它扩充了原有高级语言和操作系统的图形处理功能。 给用户提供了描述、 控制、 分析和计算图形的语句， 适用于用户设计有关图形方面的应用程序。 如 Turbo C 中的 Graphics.h 等。





3) 专用的图形系统

对于某一种类型的设备，可以配置专用的图形生成语言。如果要求简单，可以采用在多功能子程序包的基础上加命令语言的方式。如果需要配置一个具有综合功能的较为复杂的图形生成语言，又要求有较快的执行速度，则应开发或配置一个完整的编译系统。比起简单的命令语言，它具有更强的功能；相比子程序包，它的执行速度较快，效率更高。但它的系统开发工作量大，且移植性较差。





计算机图形学所涉及的算法是非常丰富的，围绕着生成和表示物体的图形图像的准确性、真实性与实时性, 其算法大致可分为以下几类:

(1) 基于图形设备的基本图形元素的生成算法，如用光栅扫描图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的填充、填图案和反走样等（光栅图形算法）。

(2) 基本图形元素的几何变换、投影变换、窗口裁剪等（图形变换）。





(3) 自由曲线和曲面的插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体或局部修改等（曲线、曲面生成）。

(4) 图形元素(点、线、环、面、体)的求交与分类以及集合运算（图形元素的布尔运算、几何计算）。

(5) 隐藏线、面消除以及具有光照颜色效果的真实图形显示（真实感图形生成）。

(6) 不同字体的点阵表示，矢量中、西文字符的生成及变换。





- (7) 山、水、花、草、烟、云等模糊景物的生成（**分数维图形生成**）。
- (8) 三维或高维数据场的可视化。
- (9) 三维形体的实时显示和图形的并行处理。
- (10) 虚拟现实环境的生成及其控制算法等。（**VR**）





1.4 计算机图形学的主要应用领域

1. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

计算机辅助设计是计算机图形学最早、最重要、最活跃的一个应用领域，目前计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)也是计算机图形学应用最为广泛的领域，计算机图形学理论、技术的产生和发展也与CAD/CAM密切相关。





可以说CAD/CAM已使传统的工程设计与产品制造发生了巨大变化,特别是人机交互式图形系统,可以将人的直观感觉和判断能力与图形系统十分有效地结合起来,再加上使用高效的方法库(包括优化设计等)、数据库技术等,更好地发挥人的才能、智慧和计算机的特长,显著地提高了设计质量,减少差错,缩短设计周期,降低成本,从而有效地提高了设计与制造的效率。





图1.9、图1.10、图1.11给出了传统的机械加工过程与计算机集成制造系统(CIMS)、快速自动成型制造(RPM-Rapid Prototyping Manufacturing)系统的比较。图1.12是建筑CAD中高层建筑的效果图。计算机图形学主要用于设计过程,尤其是工程和建筑系统,现在几乎所有的产品都是由计算机设计的。CAD/CAM方法现在已频繁地应用于建筑、汽车、飞机、轮船、宇宙飞船、计算机、纺织品和许许多多其它产品的设计与制造中。CAD/CAM在我国的机械、电子、铁道、建筑、服装设计等各种工程设计领域都有着广泛的应用,并取得明显的经济效益。



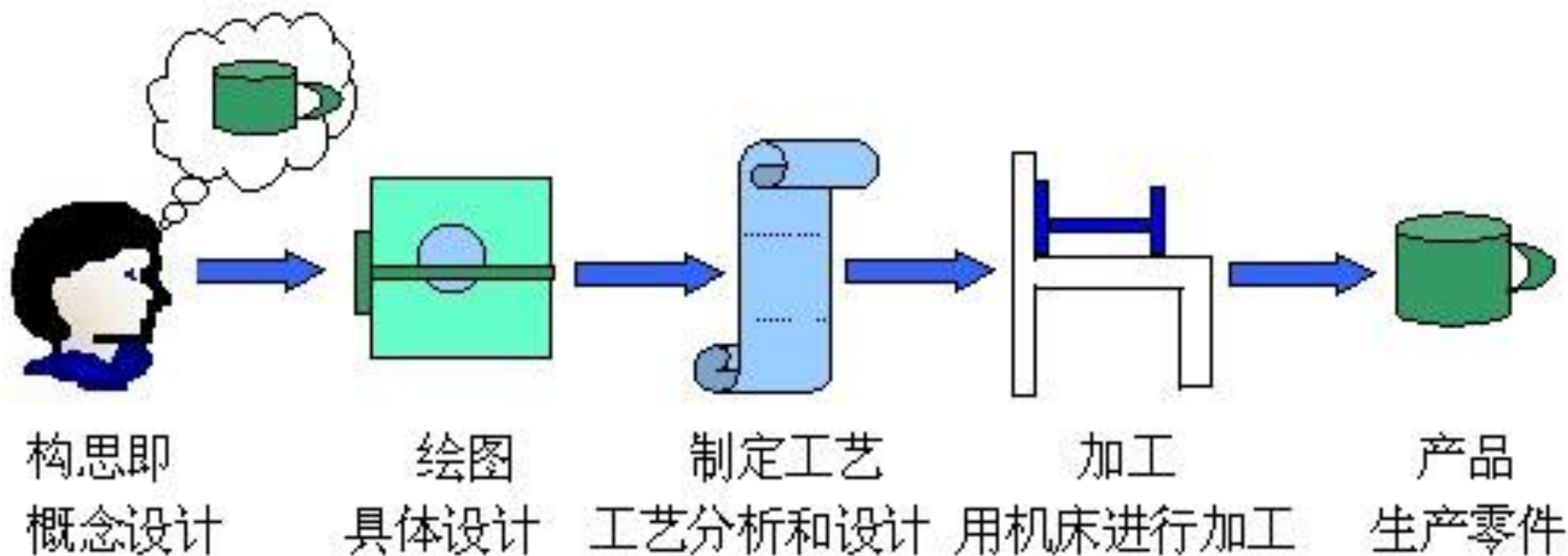


图 1.9 传统的机械加工过程





computer aided process planning

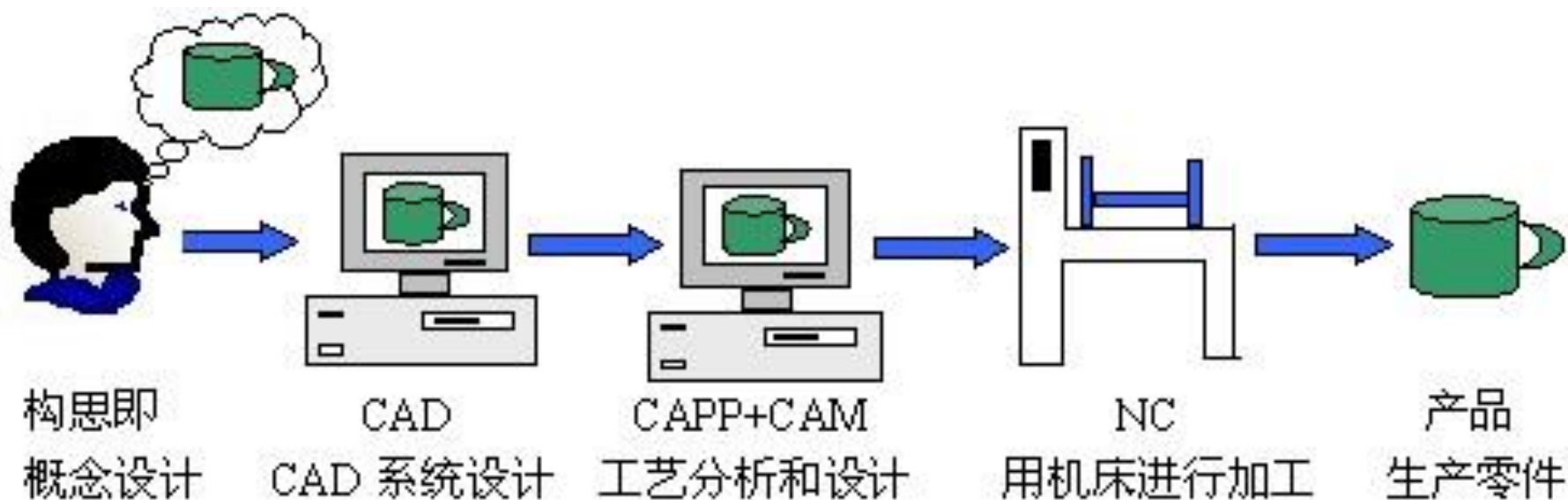


图 1.10 计算机集成制造系统(CIMS)



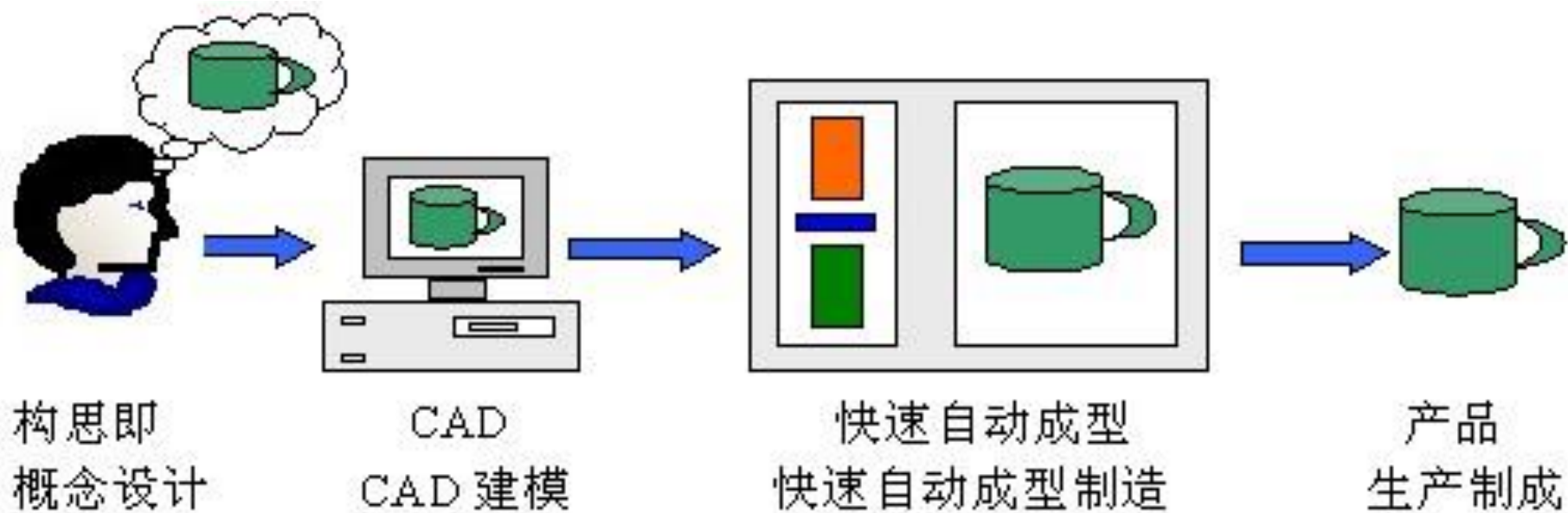


图 1.11 快速自动成型制造(RPM-Rapid Prototyping Manufacturing)系统





图 1.12 高层建筑效果图





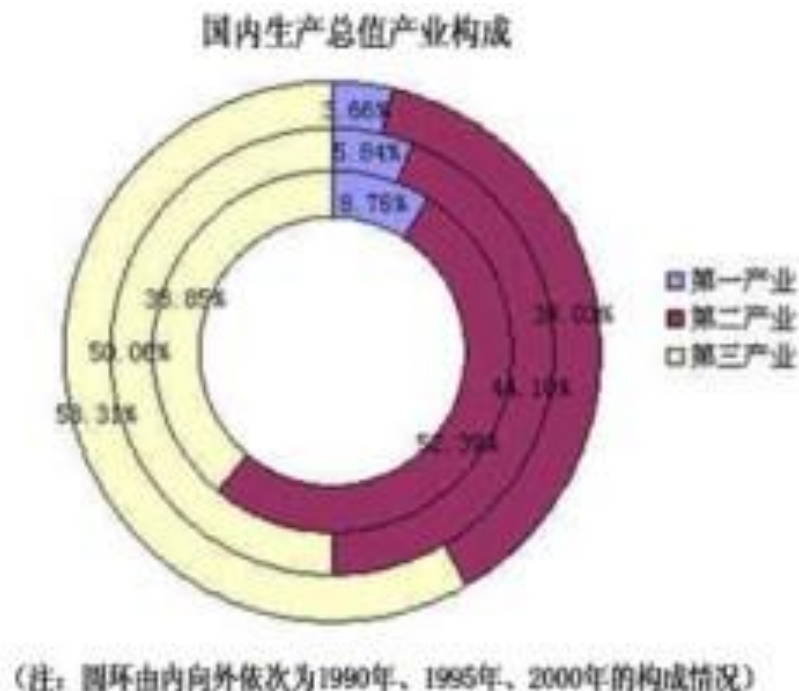
2. 计算机绘图(CD-Computer Drawing)

图形、图表和模型图等绘制是计算机图形学应用中的另一个重要方面。许多已经商品化的图形软件专门用于图形或者图表的生成。多数图形程序都具有二维或三维数据的处理能力,二维图形包括直方图、线条图、表面图或扇形图等;三维图形多用于显示多种形体间或者多种参数间的关系,如统计关系百分比图、分布关系图等。有的图形采用三维图形显示还可以表达数据的动态性质,如增长速度、变化趋势等。直方图、构成图、扇形图和表面图的例子如图1.13和图1.14所示。





(a) 3D直方图



(b) 构成图

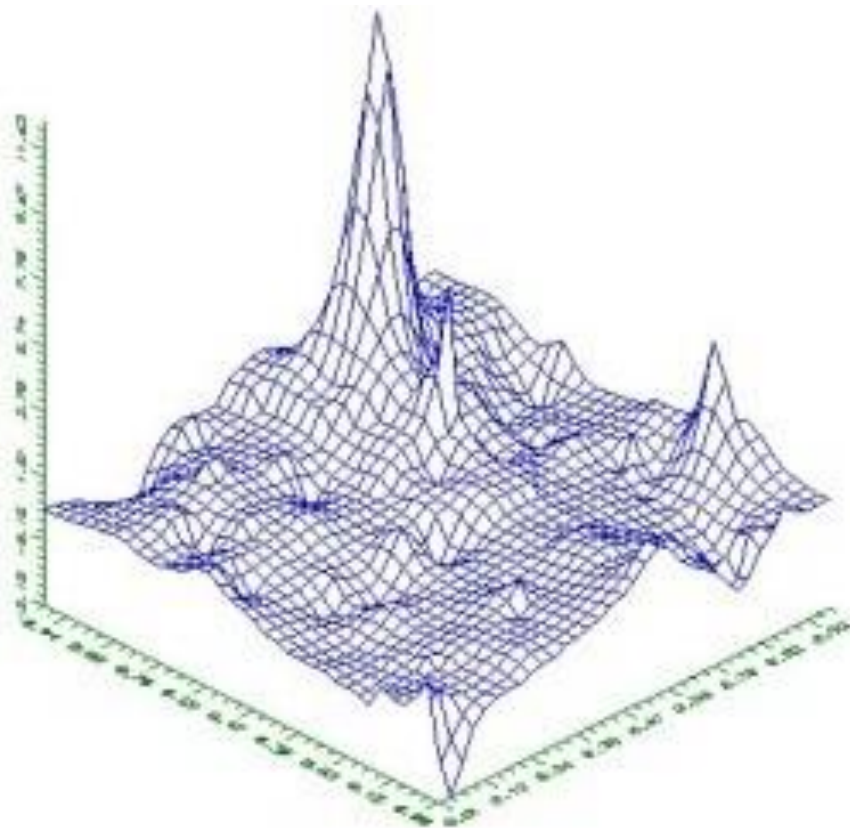
图 1.13 3D直方图与构成图

(a) 直方图; (b) 构成图





(a) 饼图



(b) 曲面的表面图

图 1.14 扇形图与表面图示例

(a) 扇形图; (b) 曲面的表面图





3. 科学计算可视化(ViSC-Visualization in Scientific Computing)

计算机图形学应用的一个典型例子是科学计算的可视化,当然, 科学计算可视化是计算机图形学的一个分支,也是当前计算机图形学的[研究热点之一](#)。传统的科学计算的结果是数据流,这种数据流不易理解也不易于检查其中的对错。





科学计算的可视化可以对[空间数据场](#)构造中间几何图素或用体绘制技术在屏幕上产生可见图像。近年来这种技术已用于有限元分析的后处理、分子模型构造、地震数据处理、大气科学及生物化学等领域。在测量数据的图形处理中,利用计算机制图精度高、速度快,用来绘制地形图、矿藏图、海洋图、天气预报图、人口密度分布图等。地理信息的绘制也是利用数据绘图的实例,它们用于显示不同的地理区域或者全球的数据统计信息。





例如,把来自各个气象观测站的数据经过专门的气象图处理程序集中起来,形成一种天气形势图、降雨图或者气压图。图1.15 是科学计算可视化的四个例子,图1.15(a)是二次方程 $5x^2+10y^2+2z^2+10yz+2y=c$ 的可视化图形,图1.15(b)是由自平方四元函数 $f(q)=\lambda q(1-q)(\lambda=1.475+0.906i)$ 生成的四维分形的三维投影,图1.15(c)是Fermat大定理 $n=5$ 的可视化图(Indiana大学计算机系Andrew Hanson绘制),图1.15(d)是以多种颜色混合绘制的数学函数曲线(Los Alamos国家实验室M.L.Prueitt)构成的图形。图1.16是地形地貌与海洋图。



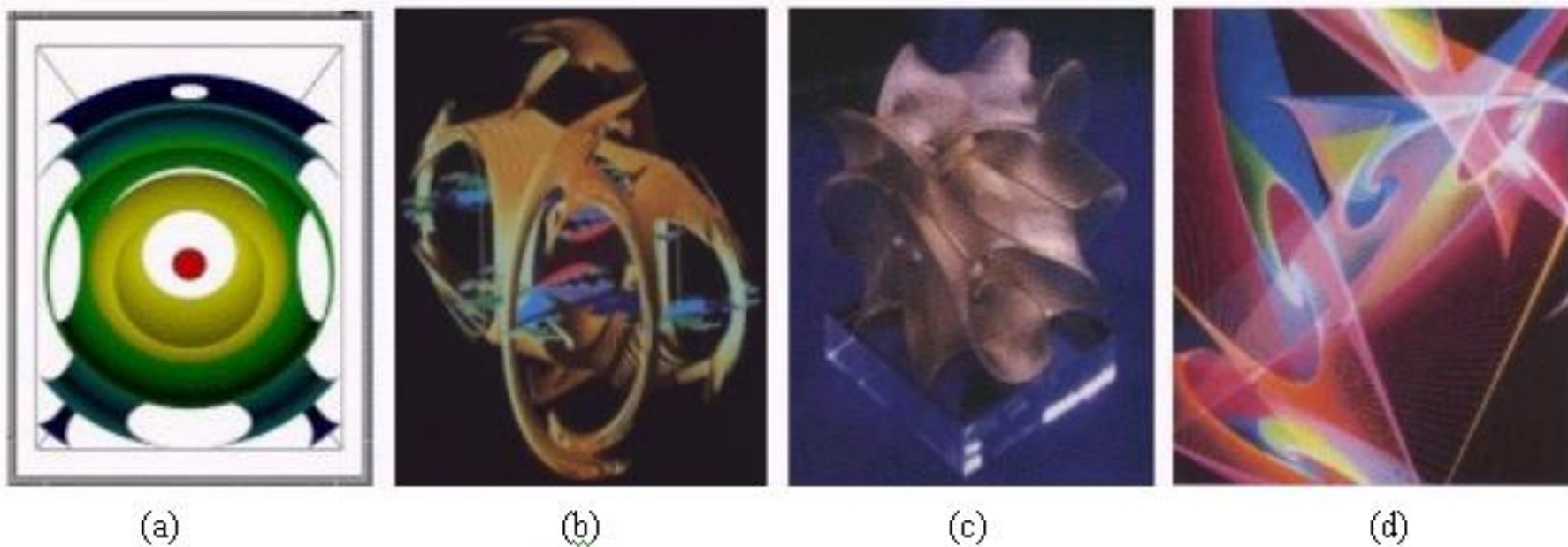


图 1.15 科学计算可视化的简单例子

(a) 二次方程可视化； (b) 4D分形的3D投影；

(c) $x^2 + y^2 = z^2$ 的可视化； (d) 数学函数曲线



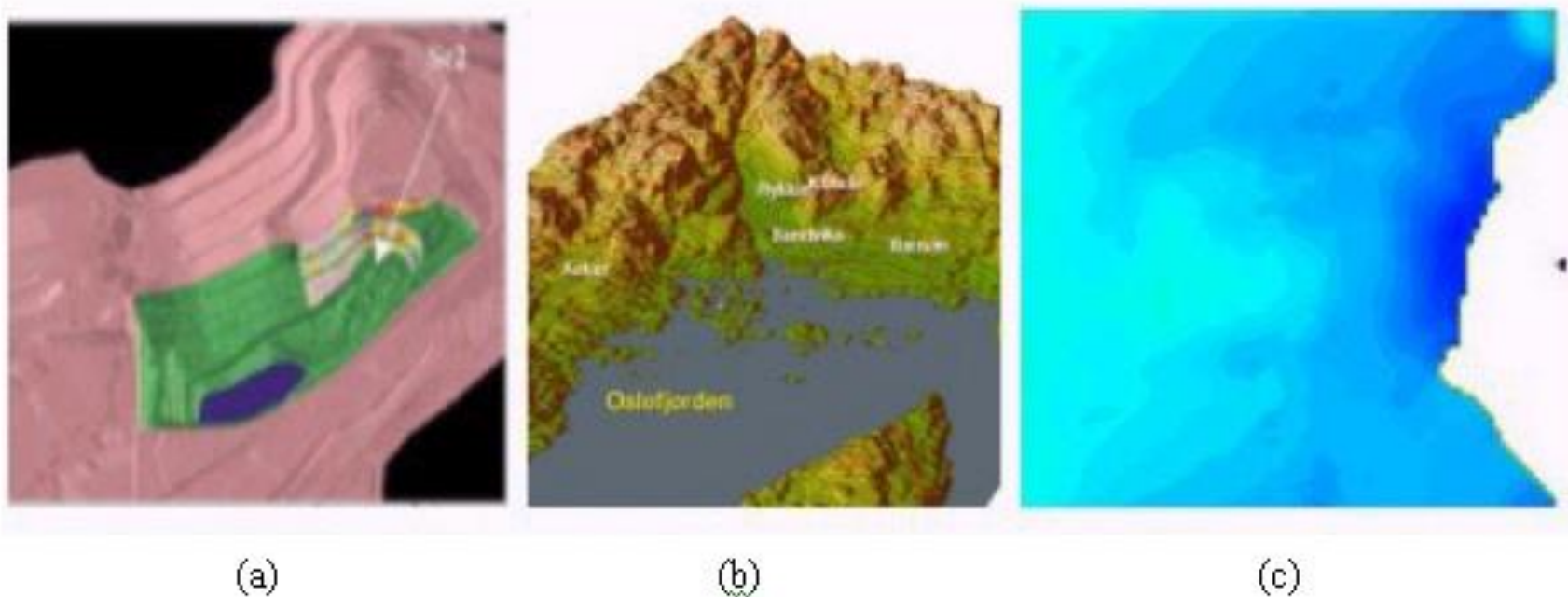


图 1.16 地形地貌与海洋图

(a) 一个凹坑的地貌图； (b) Oslo部分地形地貌图； (c) 海洋温度的可视化





4. 计算机模拟与仿真(CS-Computer Simulation)

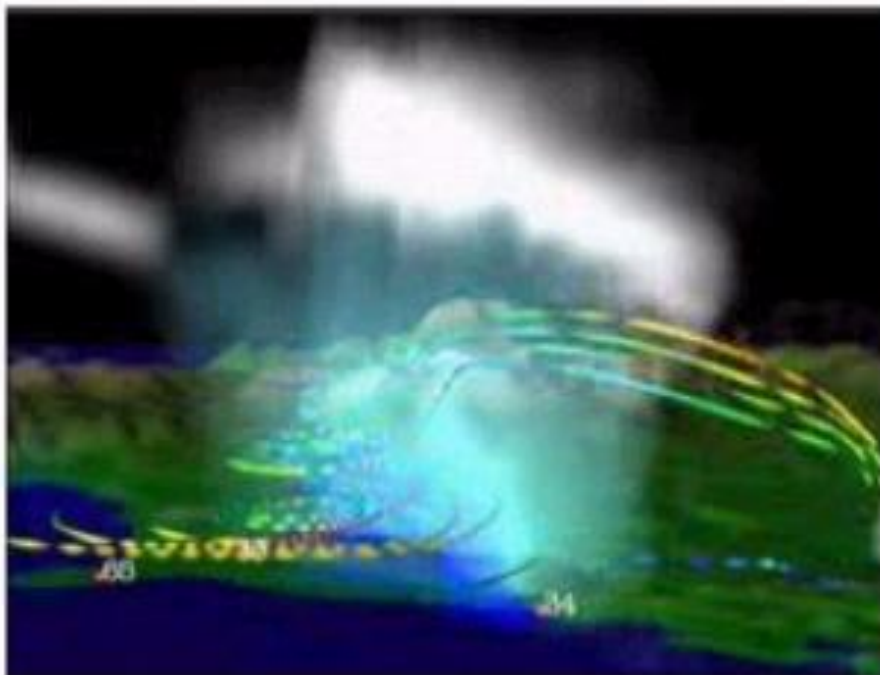
“模拟”是人类了解世界的手段，也是人类创造世界的方式，模拟技术化繁为简，将梦想变为现实，因而成为今日科学的基础，明日科学的趋势。计算机模拟与仿真是利用计算机模拟某个系统、某种效应和过程。把某个物理现象经数值模拟而数字模型化，再将该模型以图像的形式显示出来，通过模型再来研究物理现象或系统，这是进行系统分析和仿真的有效手段。图形显示在计算机模拟中有着重要作用。（如：战场模拟、飞行仿真）





计算机仿真可以用于研制产品或设计系统的全过程中, 包括方案论证、技术指标确定、设计分析、生产制造、试验测试、维护训练、故障处理等各个阶段。当前计算机仿真的六大挑战性课题, 包括核聚变反应、宇宙起源、生物基因工程、结构材料、社会经济和作战模拟等。未来十年的计算机仿真研究将集中于大规模复杂系统的仿真。战争指挥就是一类复杂系统仿真。未来的计算机仿真的主要特点是超大规模、模糊化、智能化。图1.17给出了气象过程和F16飞行仿真的示例。





(a)

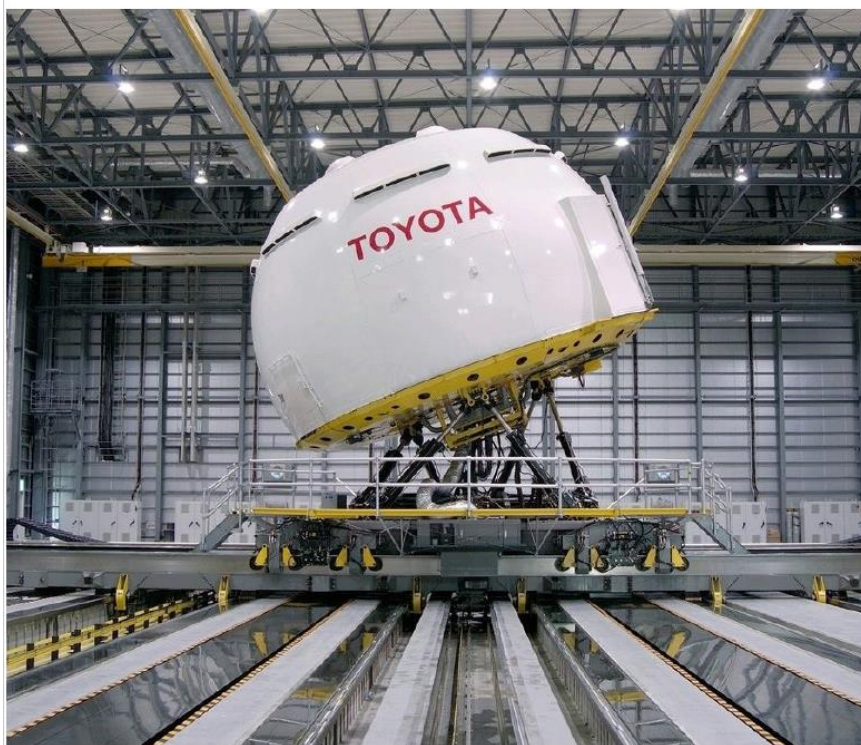


(b)

图 1.17 计算机模拟与仿真示例

(a) 气象过程的模拟； (b) F16飞行仿真





Driving simulator
Toyota Higashifuji Technical Center



da Vinci surgical robot
Intuitive Surgical

Flight simulator, driving simulator, surgical simulator, ...





5. 过程控制(PC-Process Control)

计算机过程控制是使用计算机系统实现生产过程的在线监视、操作指导、控制和管理的技术。计算机通过把与它连通的实时测试体、传感器等采集到的非图形信号,加工处理成图像,显示在屏幕上。图形显示清晰明了,操作人员观察审视操作过程中的各个环节状态情况,控制对象(如发电厂、化工厂等生产过程)操作既安全又方便,且可提高工作效率。在过程控制中,用户利用计算机图形学实现与其控制或管理对象间的相互作用。过程控制的应用领域十分广泛。例如产品和工程的设计、数控加工、石油化工、金属冶炼、矿井监测监控系统(如图1.18所示)、交通运输监控系统等。



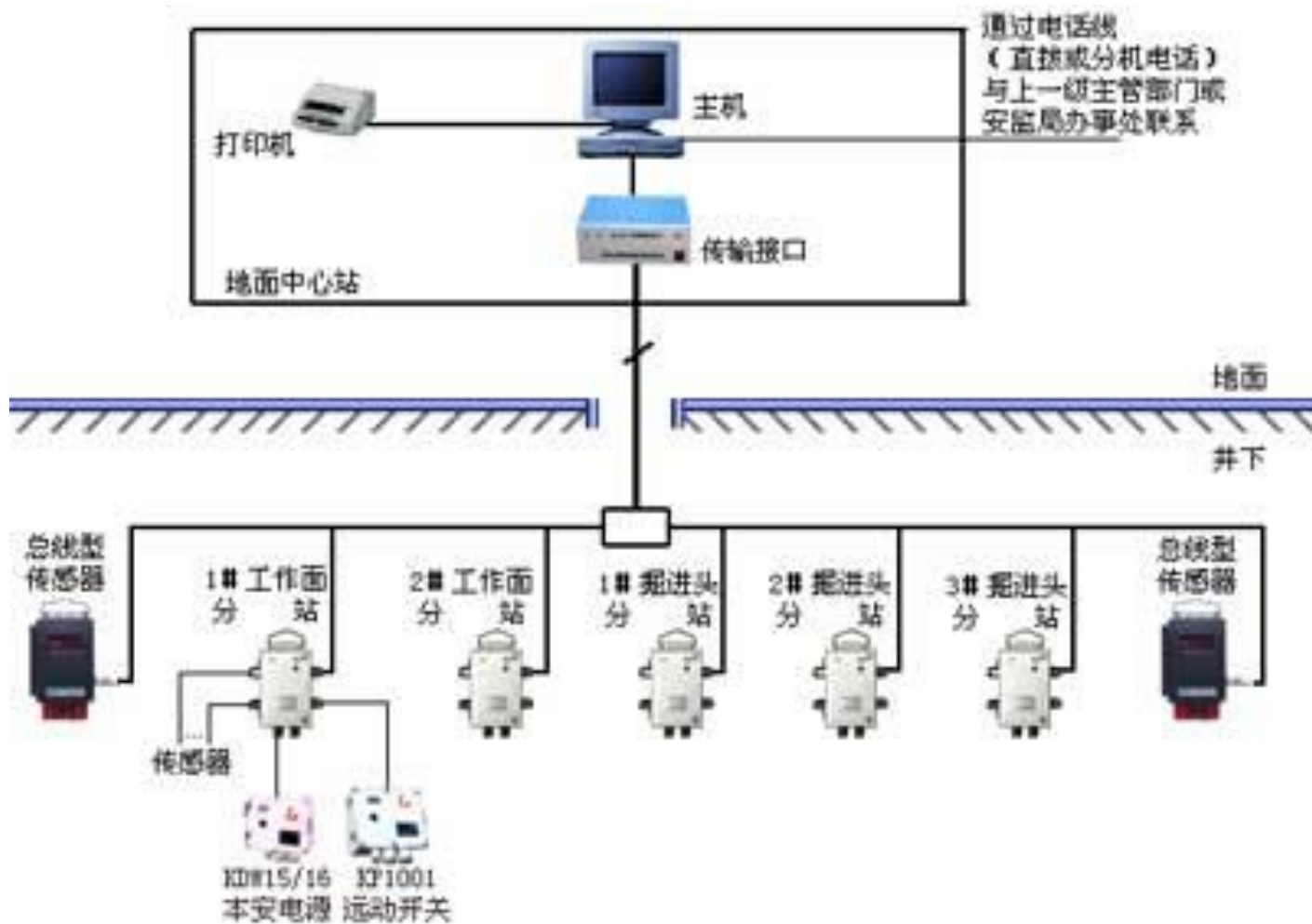


图 1.18 一个简单的矿井监测系统





6. 办公室自动化(OA)与电子出版技术(Electronic Publication)

办公自动化(OA)是一种解决特定行政办公类需求的信息系统。随着科学技术的迅速发展,在办公室繁琐的日常工作中,大量杂乱无章的文件数据分类、汇总、加工成不同要求的文字和图形报告,以及“电子邮件”通信等,都可以由价廉物美、易于操作,具有高质量的显示设备的微型计算机系统来完成。图形显示技术在办公自动化和事务处理中的应用,有助于数据及其相互关系的有效表达,有助于决策信息表达与传输,因而有利于人们进行正确的决策。





7. 计算机辅助教学(CAI)

计算机辅助教学系统利用图形显示设备或电视终端, 可以有声有色地生动地演示各个不同层次的教学内容, 让学生(用户)使用人机交互手段, 进行学习和研究, 绘图或仿真操作, 使整个教学过程直观形象, 有利于加深理解所学的知识, 并可自我考核打分。





目录

- 第一章 绪论
- 第二章 计算机绘图系统的硬件配置
- 第三章 图形函数和基本图形元素生成算法
 - § 3-1 图形函数
 - § 3-2 基本图形元素的生成算法
- 第四章 窗口变换与图形裁剪
- 第五章 图形变换与立体真实感显示
 - § 5-1 二维图形的变换
- 第六章 交互技术
- 第七章 计算机绘图技术应用举例
- 第八章 微型机通用绘图软件 Auto-CAD 简介
- 第九章 Windows 图形程序设计
- 第十章 C 语言程序运行环境

退出

$x_0=0, y_1=0, \quad x_8=8, y_8=4;$

$\epsilon = 1/\max(|x_8-x_0|, |y_8-y_1|) = 1/8$

$\therefore \epsilon \Delta x = (x_8-x_0)/8 = 1;$

$\epsilon \Delta y = (y_8-y_1)/8 = 0.5;$

$x = x_1 + 0.5 = 0.5, y = y_1 + 0.5 = 0.5$

$\therefore x_{i+1} = x_i + \epsilon \Delta x, y_{i+1} = y_i + \epsilon \Delta y$

迭代过程为: 演示

生成的直线

上一頁

下一頁

图 1.19 一个《计算机图形学》课件示意图





8. 计算机动画(Computer Animation)

随着计算机图形学技术的迅速发展,计算机在动画中的应用也不断扩大,计算机动画的内涵也在不断扩大。计算机动画发展到今天,主要分为两个阶段(或分为两大类),这就是计算机辅助动画和计算机生成动画。计算机辅助动画(computer-assisted animation),也叫“二维动画”,计算机生成动画(computer-generated animation),也叫“三维动画”。图1.20是“变形”(Morpher)的图形处理方法示例。





图 1.20 “变形” (Morpher)的图形处理方法示例





9. 计算机艺术(Computer Art)

计算机艺术是科学与艺术相结合的一门新兴的交叉学科。在设计领域,对改变、更新传统的设计思想和方法,提高产品设计质量,缩短设计周期,提高设计的艺术性和科学性,加速产品更新换代都有重要意义。图 1.21 是德国Magdeburg大学的Oliver Deussen绘制的素描树(Siggraph'2000)。



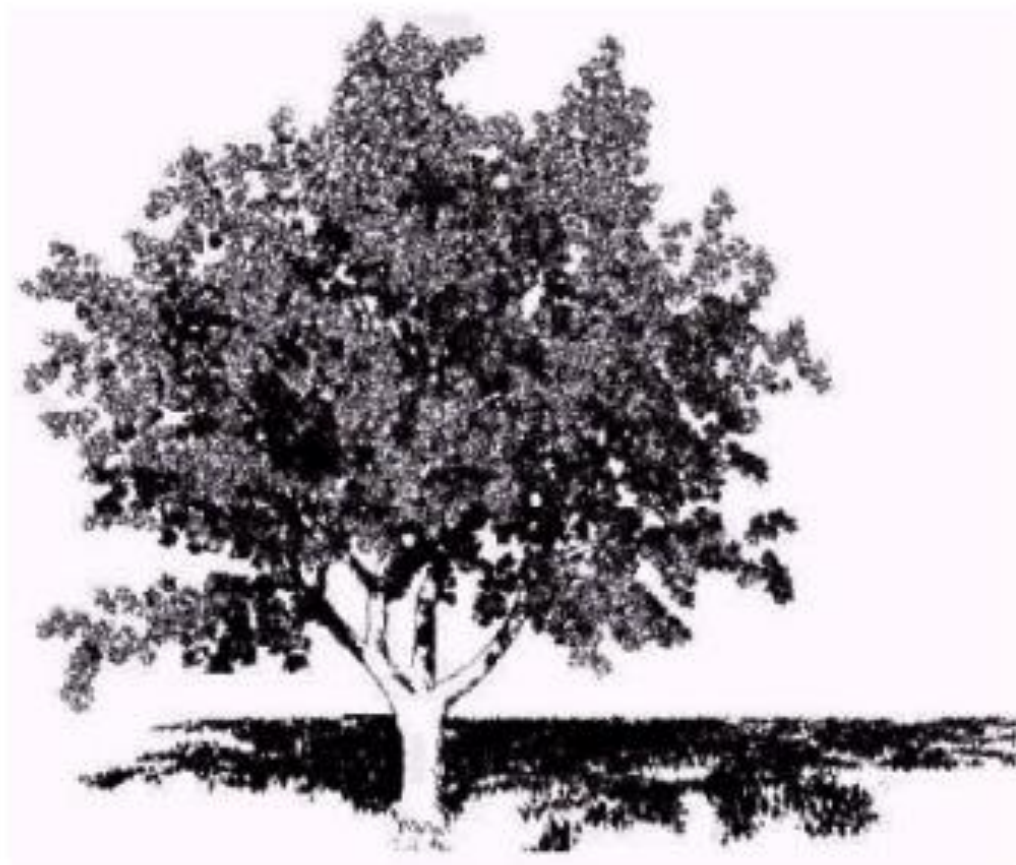


图 1.21 Oliver Deussen绘制的素描树(Siggraph'2000)





10. 人体造型与动画(Human Body Modeling and Animation)

用计算机构造人体模型，有着非常广阔的应用前景。
人机工程中需要考察人和机器以及周围环境的关系，工业设计中要使生活用具的造型适应人的生理和心理特征。服装设计中要将人体作为效果分析的对象等。





图1.22(a)是智能虚拟环境中人沿路径行走的动画, 图1.22(b)是服装设计中模特的服装效果分析图。目前国内外不少单位正在研制人体模拟系统, 这使得在不久的将来把历史上早已去世的著名人物重新搬上屏幕成为可能。





(a)

(b)

图 1.22 人体造型与动画示例

(a) 智能虚拟环境中沿路径行走动画； (b) 服装效果





11. 用户界面(User Interface)

介于用户与计算机之间, 完成人与计算机通信工作的部件称人机界面(HCI-Human Computer Interface), 它由软件部分和硬件部分组成。随着计算机技术以及图形学技术的发展, 人机界面从最原始的由指示灯和机械开关组成的操纵板界面, 过渡到由终端和键盘组成的字符界面, 并发展到现在基于多种输入设备和光栅图形显示设备的图形用户界面 (GUI-Graphical User Interface)。典型的图形用户界面包含一个窗口管理程序、菜单显示和图符等。

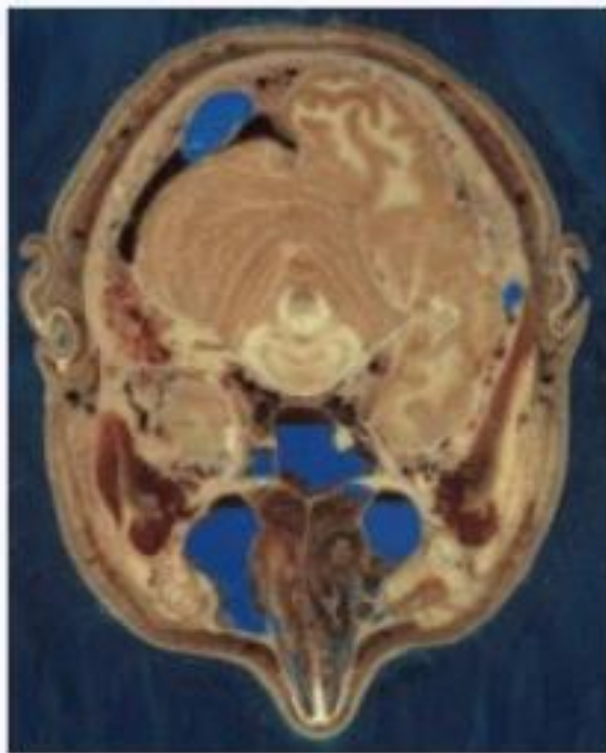




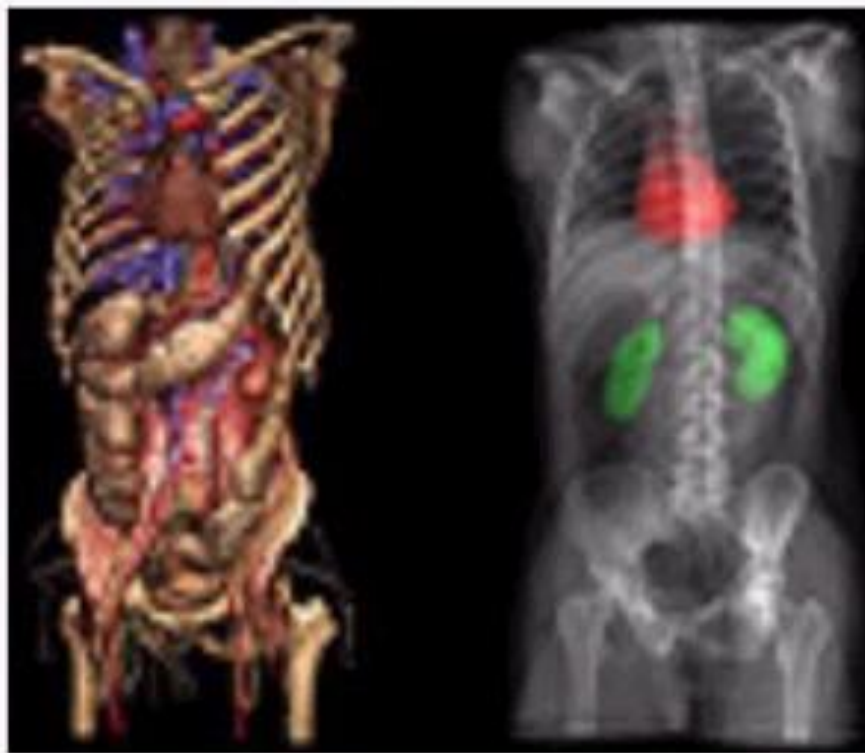
12. 医疗卫生方面的应用

计算机图形学在医疗卫生方面的应用包括：用来做病历的检索和统计以及医疗方案的研究；用显示设备显示病历，显示各种药物的剂量、性能；对某种病的治愈率作统计分析；对病人的医疗方案(如放射线照射)进行研究，以提高治疗效率；计算机辅助手术(Computer Aided Surgery)；远程医疗/手术系统等。医学上还往往结合[图像处理](#)和[计算机图形学](#)来建模和研究物理功能。例如设计人造肢体、计划和练习手术等。其应用示例如图1.23所示。





(a)



(b)

图 1.23 计算机图形学在医学中的应用

(a) 数字虚拟人头部横截面； (b) 由数字虚拟人重建的人体内部模型





1.5 计算机图形学当前的研究动态

1.5.1 真实感图形显示

从20世纪80年代初开始, 真实感图形生成与显示技术一直是计算机图形学研究的前沿领域, 而且发展很快。真实感图形是一种光栅图形。

真实感图形生成(Realistic Graphics Generation)是在计算机图形系统中生成具有光照、色彩、纹理、阴影、层次等真实感的三维空间物体图形的技术。 它还可以称作真实感图形合成。





其目的是对于空间的各种物体和自然景物, 利用计算机图形生成技术产生就像拍出的照片一样的真实感效果图。为了产生图形的真实感, 一般**需要解决**以下几方面的图形综合**技术问题**:

(1) 利用消隐技术在图形中消除在特定观察点看不见的物体或部分物体, 从而产生空间物体的**层次感**;

(2) 利用纹理映射技术在物体表面生成各种各样的纹理, 以增强物体的**质感**;





(3) 利用光照模型、光线跟踪、辐射度技术尽可能精确地模拟光源照射的物理效果，使空间物体具有像拍照片一样的光照效果和明暗层次；

(4) 模拟透明物体的效果；

(5) 利用图形保真技术（也成为反走样）在显示设备有限的离散精度范围内尽量保持图形具有自然的光影过渡和连续性。



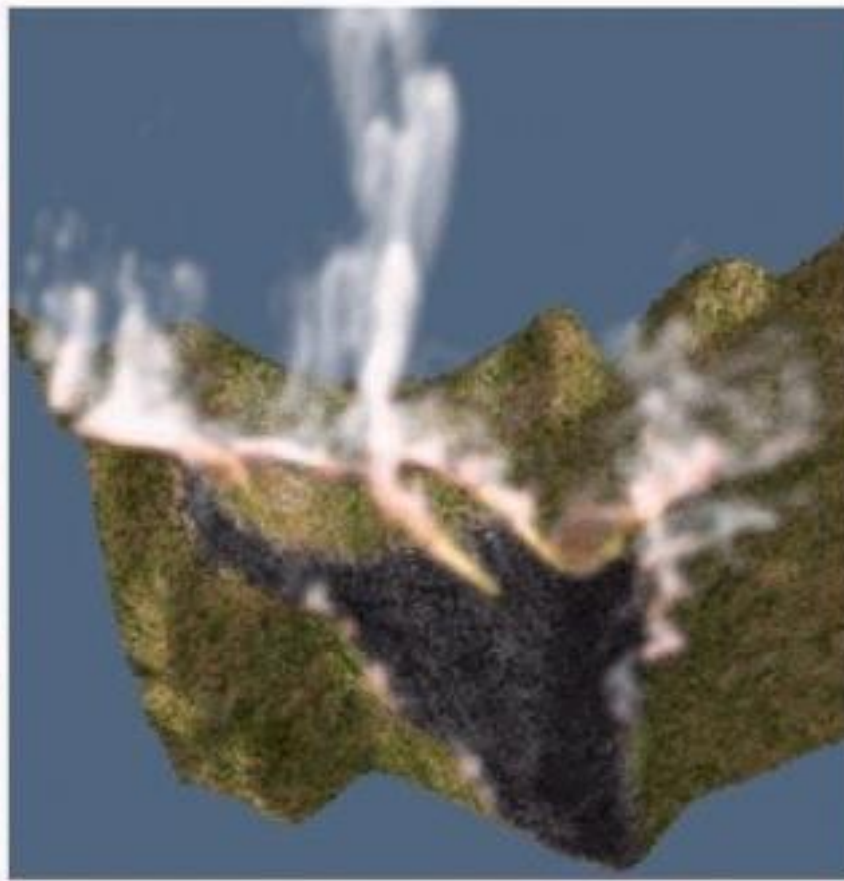


真实感图形的生成一般需经历场景造型、取景变换、视域裁剪、消除隐藏面、纹理映射、可见面光亮度计算等步骤。图1.24(a)是用辐射度方法生成的Chartres教堂的侧廊(3Deye公司, J.Walace等), 图1.24(b)是森林大火的计算机模拟。





(a)



(b)

图 1.24 计算机真实感图形显示实例

(a) Chartres教堂(3Deye公司J.Walace等);

(b) 森林大火的模拟





1.5.2 人机交互技术

人机交互技术(Human-Computer Interaction Techniques)是指通过计算机输入、输出设备, 以有效的方式实现人与计算机对话的技术。它包括机器通过输出或显示设备给人提供大量有关信息及提示请示等, 人通过输入设备给机器输入有关信息, 回答问题及提示请示等。人机交互技术是计算机用户界面设计中的重要内容之一。它与认知学、人机工程学、心理学等学科领域有密切的联系。





常用交互技术(计算机图形学研究的内容)可以分成如下几类:

- (1) 定位技术。
- (2) 橡皮筋技术。
- (3) 拖拉技术。
- (4) 选择技术。





1.5.3 计算机动画

计算机动画(Computer Animation)是利用计算机生成一系列可供实时演播的画面的技术。它可辅助传统卡通动画片的制作,也可通过对三维空间中虚拟摄像机、光源及物体运动和变化(形状、色彩等)的描述,逼真地模拟客观世界中真实的或虚构的三维场景随时间而演变的过程。





计算机动画中运动控制和描述的技术可归纳为三个方面:

- 动画控制方法。
- 动画控制设施。
- 动画控制的层次结构。





1.5.4 与计算机网络技术的结合

计算机网络与多媒体技术的迅速发展,使地理上相隔千万里的人们能够通过互联网(Internet)交换信息,实现信息共享,由此出现了各种应用网络化的趋势。信息的载体称为媒体,它包括文字、声音等,图形、图像是其中最重要的两种。 (如: Web GIS)





1.5.5 科学计算可视化

科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)是将科学计算过程中及计算结果的数据转换为图形及图像显示在屏幕上的方法与技术。它综合运用计算机图形学、数字图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计及人机交互技术等几个领域中的相关技术。





科学计算可视化按其实现的功能,可以分为三个层次:

(1) 结果数据的后处理, 即对计算数据或测量数据进行脱机处理, 然后用图像显示出来, 这一层次的功能对计算能力的需求相对较低。

(2) 中间数据或结果数据的实时跟踪处理及显示。

(3) 中间数据或结果数据的实时跟踪处理、显示及交互控制。这一层次的功能不但能对数据进行实时跟踪显示, 而且还可以交互式地修改原始数据、边界条件或其它参数, 以使计算结果更为满意。





为了实现这三个层次的功能，科学计算可视化的主要内容有以下几个方面：

- (1) 标量、 矢量、 张量场的显示；
- (2) 数值模拟和计算过程的交互控制和引导；
- (3) 面向图形的程序设计环境；
- (4) 高带宽网络及其协议；
- (5) 用于图形和图像处理的向量、 并行算法及特殊硬件结构。





科学计算可视化的过程有以下四个步骤：

- (1) 数据预处理(数据操纵);
- (2) 可视化映射;
- (3) 绘制;
- (4) 显示。

它的模型如图1.25所示。



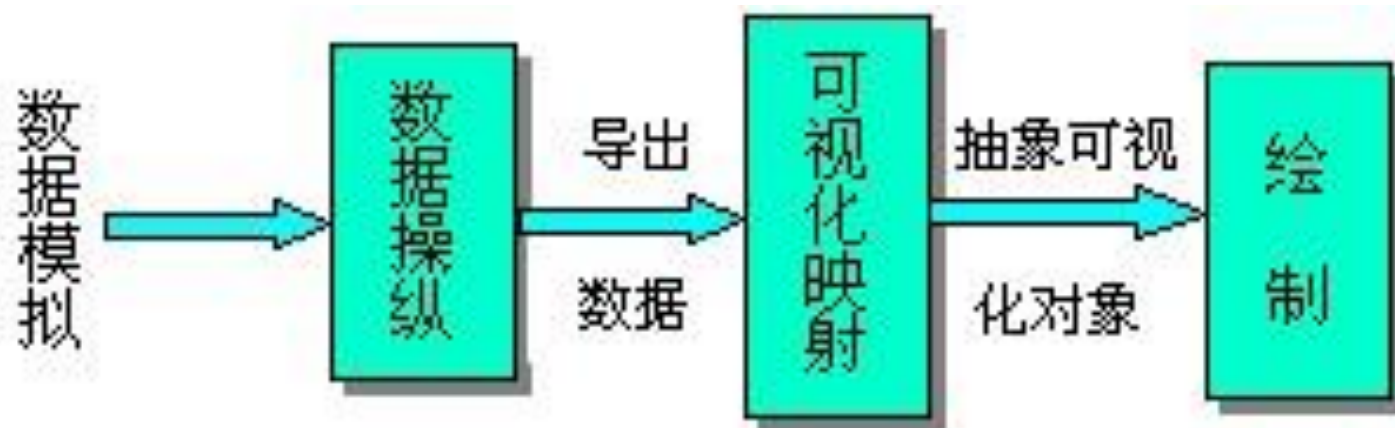


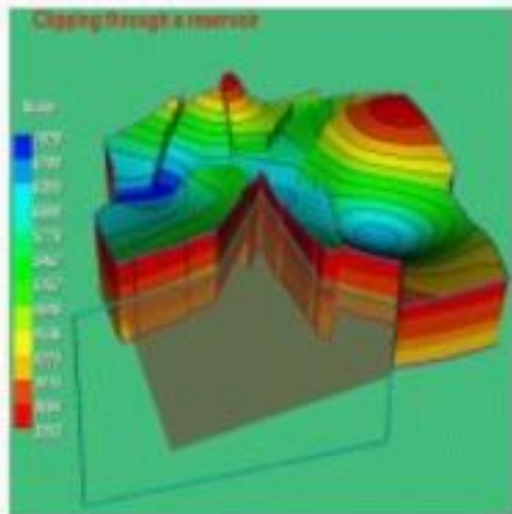
图 1.25 可视化过程模型



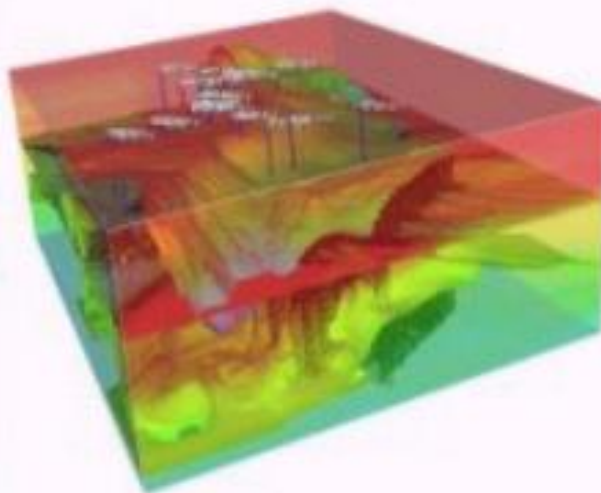


科学计算可视化的应用领域主要有：计算流体力学；有限元分析；分子模型；医学图像；空间探测；天体物理；地球科学；数学；软件开发以及其它。科学计算可视化应用的实例如图1.26所示。

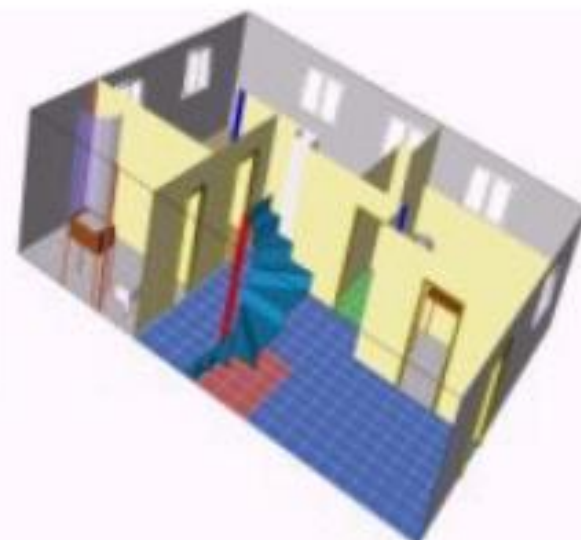




(a)



(b)



(c)

图 1.26 可视化应用示例

(a) 水库模型的裁剪； (b) 地形地貌3D图； (c) 房屋结构的可视化



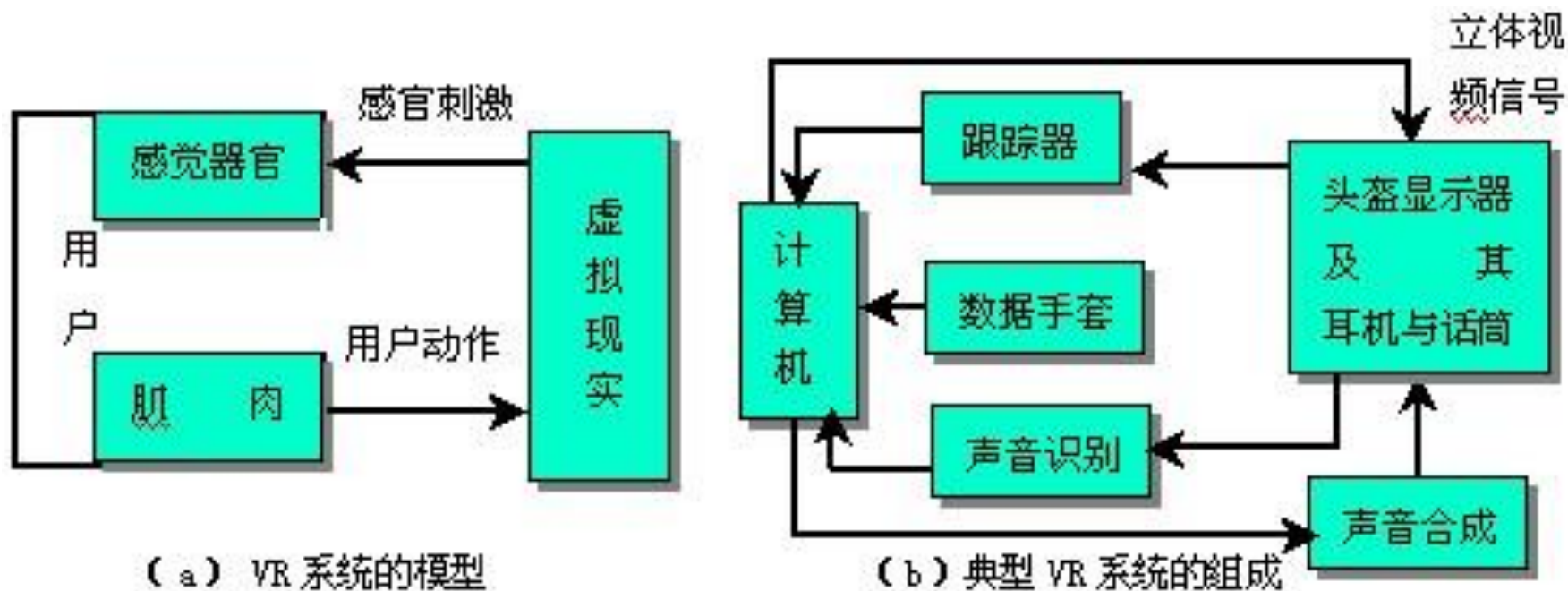


1.5.6 虚拟现实

虚拟现实的特征(VR)有四个主要特征,用以区别相邻技术,如计算机图形学、多媒体技术、仿真技术、科学计算可视化技术等。这四个主要特征分别是:

- (1) 多感知性(Multi-Sensation)。
- (2) 沉浸感(Immersion)。
- (3) 交互性(Interaction)。
- (4) 自主性(Autonomy)。





(a) VR 系统的模型

(b) 典型 VR 系统的组成

图 1.27 VR系统的模型与组成

(a) VR系统的模型； (b) 典型VR系统的组成





VR系统中的关键技术主要有：实时动态真实感图形绘制技术；宽视场、立体显示及立体声效果等临场感技术；快速高精度的三维跟踪技术；手势、姿态、言语、声音等的辨识技术；各种传感技术等。它们所涉及的研究内容有如下四个领域：感知领域；人-机接口；软件(如视觉建模、听觉建模、触觉建模、各种软件工具等)；硬件。





1.5.7 地理信息系统

地理信息系统(GIS-Geographic Information System)是用来获取、储存、管理、分析和显示空间数据及空间实体的属性数据的信息系统。除计算机科学与技术以及图形学外,它还涉及地理、测绘、制图等学科。





1.5.8 并行图形处理

图形并行处理的发展首先表现在计算机体系结构上。并行计算机体系结构大致分为六种：单指令多数数据流 (SIMD); 并行向量处理机 (PVP); 对称多处理机 (SMP); 大规模并行处理机 (MPP); 工作站集群 (COW) 以及分布共享存储器 (DSM)多处理机。 SIMD计算机大都为专用, 其余各种模型全为MIMD计算机。近年来, 包含工作站网络(NOW-Network of Workstation)或工作站集群 (Workstation Cluster)的计算机机群成为并行体系结构中最为引人注目的研究主流之一。





1.5.9 图形图像技术的融合

计算机图形学研究如何从计算机模型出发，把真实的或想像的物体图形描绘出来。而图像处理中的图像重建进行的却是与此相反的过程，它是基于画面进行二维或二维物体模型的重建，这在很多场合都是十分重要的。如高空监测摄影、宇航探测器收集到的月球或行星的慢速扫描电视图像、工业机器人“眼”中测到的电视图像、染色体扫描、X射线图像、断层扫描、指纹分析等，都需要图像处理技术。





习 题

1. 名词解释: 图形、图像、点阵法、参数法。
2. 图形包括哪两方面的要素?在计算机中如何表示它们?
3. 什么是计算机图形学?简述计算机图形学、 数字图像处理 and 计算机视觉学科间的关系。
4. 简述图形信息的特点。
5. 简述计算机图形系统的组成。





6. 计算机图形系统的工作方式有几种？ 分别是什么？
7. 简述计算机图形学的主要研究内容。
8. 有关计算机图形学的软件标准有哪些？
9. 试从科学发展历史的角度分析计算机图形学以及硬件设备的发展过程。
10. 试发挥你的想象力，举例说明计算机图形学有哪些应用？解决的问题是什么？





11. 一个交互式计算机图形系统应该具有哪几种功能?其结构如何?
12. 试说明你认为计算机图形学将来的发展方向, 并进行设计和分析。
13. 简述计算机图形学当前的研究动态, 并简要说明其含义。
14. 简述简单的虚拟现实系统的构成。
15. 什么是科学计算可视化? 简述科学计算可视化的研究内容。
16. 什么是计算机动画? 它对运动描述与控制的技术有哪些?

