



高等学校计算机专业“十一五”规划教材

计算机图形学基础

王卫东 滕 玮 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书对计算机图形学的基本概念、原理与方法进行了详细介绍, 主要内容包括计算机图形学的发展及应用, 图形设备, 图形变换, 多边形的扫描转换与区域填充, 隐藏线与隐藏面的消隐, 曲线、曲面的表示, 几何造型技术, 真实感图形学, 动画技术, OpenGL 程序设计基础等。

本书针对图形学的特点, 为读者提供了学习和掌握图形软件的一般实践方法, 为读者深入学习图形学的专门知识打下坚实的基础。

本书的内容注重基础性与实用性, 可作为计算机专业的本科教材, 同时, 也可供研究生或从事计算机图形学研究的专业人士参考。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础/王卫东, 滕玮主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009. 9
高等学校计算机专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2340-5

I. 计… II. ①王… ②滕… III. 计算机图形学—高等学校—教材

IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 149093 号

策 划 臧延新

责任编辑 阎 彬 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15.5

字 数 357 千字

印 数 1~4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978-7-5606-2340-5/TP·1184

XDUP 2632001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

编审专家委员会

主 任: 马建峰 (西安电子科技大学计算机学院院长, 教授)

副主任: 赵祥模 (长安大学信息工程学院院长, 教授)

余日泰 (杭州电子科技大学计算机学院副院长, 副教授)

委 员: (按姓氏笔画排列)

王忠民 (西安邮电学院计算机系副主任, 教授)

王培东 (哈尔滨理工大学计算机与控制学院院长, 教授)

石美红 (西安工程大学计算机科学与技术系主任, 教授)

纪 震 (深圳大学软件学院院长, 教授)

刘卫光 (中原工学院计算机学院副院长, 教授)

陈 以 (桂林电子科技大学计算机与控制学院副院长, 副教授)

张尤赛 (江苏科技大学电子信息学院副院长, 教授)

邵定宏 (南京工业大学信息科学与工程学院副院长, 教授)

张秀虹 (青岛理工大学计算机工程学院副院长, 教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长, 副教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院副院长, 教授)

李敬兆 (安徽理工大学计算机科学与技术学院院长, 教授)

范 勇 (西南科技大学计算机学院副院长, 副教授)

陈庆奎 (上海理工大学计算机学院副院长, 教授)

周维真 (北京信息科技大学计算机学院副院长, 教授)

徐 苏 (南昌大学计算机系主任, 教授)

姚全珠 (西安理工大学计算机学院副院长, 教授)

徐国伟 (天津工业大学计算机技术与自动化学院副院长, 副教授)

容晓峰 (西安工业大学计算机学院副院长, 副教授)

龚尚福 (西安科技大学计算机系主任, 教授)

策 划: 臧延新 云立实

杨 璠 陈 婷

前 言

计算机图形学是计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)技术的基础学科之一,主要研究用计算机及其图形设备来输入、表示、变换、运算和输出图形的原理、算法及系统。随着微机的日益普及,计算机图形学发展迅速,并应用于各个领域。

本书介绍了计算机图形学的基础知识和基本概念,内容安排有较广的适应面,能满足各专业的基本教学需要,同时注重实践环节,注意用典型的算法和习题启迪读者的思维,培养其独立研究、独立工作的能力。本书还注意反映该学科领域的发展动向,以利于开阔读者眼界,适应高新技术的快速发展。

本书介绍的内容主要有:计算机图形学的发展和应用;计算机图形设备和系统;基本图形生成算法;图形变换和裁剪;窗口系统;多边形的扫描转换与区域填充;隐藏线与隐藏面的消除;几何造型的理论和算法;颜色、光照模型及真实图形显示技术;OpenGL 图形处理系统等。

本书是作者在参考国内外同类书籍,吸收国内外近十年来在计算机图形学方面的新成果,并广泛征求国内同行的意见和建议的基础上编写而成的。本书的特点是既注重讨论计算机图形学中最基本和广泛应用的理论和算法,也力求反映 20 世纪 90 年代以来国内外的新成果。

本书每章都附有习题。在上机练习时,较基础的内容可以在 Windows 环境下用 C 语言编程,更深入的习题可以使用 OpenGL 图形库。

本书可作为计算机专业的本科教材,也可供研究生或从事计算机图形学研究的专业人士参考。

本书的第 1~4 章由王卫东编写,第 5、10 章由苗帅编写,第 6 章由张静编写,第 7、8 章由滕玮编写,第 9 章由叶华编写。江苏科技大学计算机科学与工程学院的多位老师在本书编写的过程中提出了许多建议,在此我们深表感谢。

由于作者的水平有限,本书难免存在不足之处,希望同行专家和读者提出宝贵意见。

编 者

2009 年 6 月

目 录

第1章 计算机图形学的发展及应用	1
1.1 概述	1
1.2 计算机图形学的发展	2
1.2.1 计算机图形学的发展简史	2
1.2.2 硬件设备的发展	4
1.3 计算机图形学的应用	4
1.3.1 图形用户界面	4
1.3.2 计算机辅助设计与制造	5
1.3.3 计算机动画	6
1.3.4 科学计算可视化	6
1.3.5 计算机艺术	8
1.3.6 虚拟现实	9
1.3.7 真实感图形绘制	10
1.4 计算机图形学的研究热点	11
1.4.1 真实感人脸建模研究	11
1.4.2 基于图像的建模与绘制技术	12
1.4.3 体绘制技术	13
习题1	13
第2章 图形设备	14
2.1 图形输入设备	14
2.1.1 常用的输入设备	14
2.1.2 新型输入设备	16
2.2 图形绘制设备	17
2.2.1 绘图仪	17
2.2.2 打印机	18
2.3 图形显示系统	18
2.3.1 CRT显示器	18
2.3.2 显示卡	24
2.3.3 液晶显示器	25
2.4 图形软件	26
2.4.1 图形软件的类型与功能	26
2.4.2 图形软件标准	26
2.4.3 三维实时图形软件包	28
习题2	29
第3章 图形变换	30
3.1 坐标系统	30

3.2 几何变换	32
3.2.1 平移变换	32
3.2.2 缩放变换	33
3.2.3 旋转变换	34
3.2.4 错切变换	35
3.2.5 反射变换	36
3.2.6 齐次坐标表示	37
3.2.7 变换矩阵表示	39
3.2.8 复合变换	40
3.2.9 相对于任意参考点的几何变换	41
3.3 投影变换	45
3.3.1 透视投影变换	46
3.3.2 平行投影变换	48
3.4 图形裁剪	50
3.4.1 点的裁剪	51
3.4.2 直线的裁剪	51
3.4.3 多边形的裁剪	55
3.5 窗口概念及窗口到视区的变换	59
3.5.1 基本概念	59
3.5.2 窗口到视区的变换	60
习题 3	61
第 4 章 多边形的扫描转换与区域填充	62
4.1 多边形的扫描转换	62
4.1.1 多边形的扫描转换的定义	62
4.1.2 逐点判断算法(x 扫描线算法)	63
4.1.3 扫描线算法	65
4.1.4 边界标志算法	69
4.2 区域填充技术	70
4.2.1 区域的表示	71
4.2.2 递归算法	72
4.2.3 栈结构的种子填充算法	72
4.2.4 扫描线填充算法	73
4.2.5 区域填充图案	74
4.2.6 多边形的扫描转换与区域填充方法比较	75
4.3 反走样	76
4.3.1 提高分辨率	76
4.3.2 直线的区域采样	77
习题 4	79
第 5 章 隐藏线与隐藏面的消除	80
5.1 多面体的隐藏线消除	80
5.1.1 减少直线求交	80
5.1.2 凸多面体的隐藏线消除	82
5.1.3 凹多面体的隐藏线消除	82

5.2 曲面的隐藏线消除	83
5.3 隐藏面的消除	85
5.3.1 区域子分算法	85
5.3.2 画家算法	86
5.3.3 Z缓存算法	88
5.3.4 扫描线算法	90
5.3.5 区间扫描线算法	91
习题 5	92
第 6 章 曲线、曲面的表示	93
6.1 基础知识	93
6.1.1 显式、隐式和参数表示	93
6.1.2 插值	95
6.1.3 逼近	95
6.1.4 曲线的连续性	96
6.1.5 曲线拟合	96
6.1.6 三次 Hermite 样条	97
6.2 Bezier 曲线、曲面的表示	98
6.2.1 Bezier 曲线的定义	99
6.2.2 Bezier 曲线的性质	100
6.2.3 Bezier 曲线的拼接	102
6.2.4 Bezier 曲线的离散生成	103
6.2.5 Bezier 曲面的定义	104
6.2.6 Bezier 曲面的性质	106
6.2.7 Bezier 曲面的拼接	106
6.3 B 样条曲线、曲面的表示	107
6.3.1 B 样条曲线的定义	107
6.3.2 B 样条曲线的分类	108
6.3.3 B 样条曲线的性质	112
6.3.4 非均匀有理 B 样条曲线	113
6.3.5 B 样条曲面的定义	115
6.3.6 非均匀有理 B 样条曲面	115
习题 6	116
第 7 章 几何造型技术	117
7.1 线框模型	117
7.2 表面模型	118
7.2.1 三维物体的边界表示	118
7.2.2 三维物体的扫描表示	121
7.3 构造实体	123
7.3.1 正则形体及正则运算	123
7.3.2 构造实体的几何表示	124
7.3.3 光线投射算法	125
7.4 空间划分表示法	126
7.4.1 空间位置枚举表示	126

7.4.2 八叉树表示	127
7.4.3 八叉树节点的编码方式	129
习题7	130
第8章 真实感图形学	131
8.1 颜色模型	131
8.1.1 CIE 色度图	131
8.1.2 常用的颜色模型	132
8.2 简单光照明模型	133
8.2.1 Lambert 模型	133
8.2.2 Phong 光照明模型	136
8.3 增量式光照明模型	137
8.3.1 双线性光强插值(Gouraud 明暗处理)	138
8.3.2 双线性法向插值(Phong 明暗处理)	139
8.4 阴影的产生	140
8.4.1 阴影多边形算法	141
8.4.2 阴影缓存器方法	142
8.5 整体光照模型	142
8.5.1 透明效果的简单模拟	142
8.5.2 Whitted 光透射模型	143
8.5.3 Hall 光透射模型	144
8.6 光线跟踪算法	145
8.6.1 算法原理	145
8.6.2 光线与物体求交	147
8.6.3 光线跟踪算法的加速	149
习题8	151
第9章 动画技术	152
9.1 动画简介	152
9.1.1 国外影视动画发展概况	152
9.1.2 国内影视动画发展现状	153
9.2 动画开发工具	153
9.2.1 超强 3D 动画制作工具 Avid Softimage XSI	153
9.2.2 三维非线性动画创作系统 Sumatra	154
9.2.3 Alias/Wavefront MAYA	155
9.2.4 3DS max	156
9.2.5 Lightwave 3D	157
9.3 计算机动画技术	157
9.3.1 关键帧动画技术	157
9.3.2 基于物理的动画技术	159
9.3.3 过程动画	161
9.3.4 群体行为动画	164
9.3.5 运动捕捉技术	165
9.4 三维动画设计	168
9.4.1 三维动画的制作过程	168

9.4.2 动画实例	170
9.5 视频动画的合成	187
9.5.1 动画场景的空间表现	187
9.5.2 素材的合成	188
9.5.3 影片输出	188
习题 9	188
第 10 章 OpenGL 程序设计基础	190
10.1 OpenGL 概述	190
10.1.1 OpenGL 编程的两个基本特点	190
10.1.2 OpenGL 的主要功能	191
10.1.3 OpenGL 绘图程序开发方法	192
10.2 基于 OpenGL 的基本图形绘制	199
10.2.1 点	200
10.2.2 线	200
10.2.3 多边形	204
10.3 基于 VC++ 的 OpenGL 坐标变换	205
10.3.1 OpenGL 中三维物体的显示	205
10.3.2 OpenGL 中的几种变换	207
10.4 用 OpenGL 生成曲线和曲面	213
10.4.1 样条曲线的绘制	213
10.4.2 样条曲面的绘制	217
10.5 OpenGL 的光照处理	220
10.5.1 光源的定义	220
10.5.2 材质的定义	222
10.5.3 OpenGL 的光照实例	223
10.6 OpenGL 对交互绘图的支持	224
10.6.1 使用 OpenGL 的选择机制实现拾取功能	224
10.6.2 使用 OpenGL 的反馈机制实现反馈功能	226
10.6.3 使用 OpenGL 的双缓存机制实现橡皮筋功能	227
习题 10	232
参考文献	233

第1章 计算机图形学的发展及应用

经历了近40年的发展历程后,计算机图形学在图形基础算法研究、图形软件与图形硬件这三方面取得了长足的进步,成为当代几乎所有科学和工程技术领域用来加强信息理解和传递的技术和工具。近年来,计算机图形学得到了迅猛发展,人们已经可以通过计算机高速、有效、真实地生成图形。计算机图形学作为利用计算机生成图形的技术,已经越来越广泛地在各个领域得到应用。计算机图形学的硬件和软件本身已发展成为一个巨大的产业,目前从事计算机图形学研究、应用和产业的队伍十分庞大。

本章将介绍计算机图形学的基本概念、研究内容、发展历史、应用和图形学的前沿发展方向,使读者对计算机图形学的有关内容有个概括性的了解。

1.1 概 述

1963年,I. E. Sutherland发表了一篇题为《Sketchpad: 一个人机交互通信的图形系统》的博士论文,正式提出了计算机图形学的概念。计算机图形学(Computer Graphics, 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的栅格形式的科学。

计算机图形学中所指的图形通常由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成。从处理技术上来看,图形主要分为两类:一类是基于线条信息表示的,如工程图、等高线地图、曲面的线框图等;另一类是明暗图,也就是通常所说的真实感图形。计算机图形学的主要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计算、处理和显示的相关原理与算法。

计算机图形学一个主要的目的就是要利用计算机产生令人赏心悦目的真实感图形。为此,必须建立图形所描述的场景的几何表示,再用某种光照模型,计算在假想的光源、纹理、材质属性下的光照效果,所以计算机图形学与另一门学科——计算机辅助几何设计有着密切的关系。事实上,图形学也把可以表示几何场景的曲线、曲面造型技术和实体造型技术作为其主要的研究内容。同时,真实感图形计算的结果是以数字图像的方式提供的,计算机图形学也就和图像处理有着密切的关系。

计算机图形学的研究对象是能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象。图形对象的表示方法可以分为两类:点阵法和参数法。点阵法是用具有颜色信息的点阵来表示图

形的一种方法，它强调图形由哪些点组成，并具有什么灰度或色彩。参数法是以计算机中所记录图形的形状参数与属性参数来表示图形的一种方法。通常把参数法描述的图形叫做图形(Graphics)，把点阵法描述的图形叫做图像(Image)。参数图形的参数可以分为两大类：形状参数和属性参数。形状参数可以是线段的起点和终点等对图形几何属性的描述；属性参数则是描述灰度、色彩、线型等非几何属性的。

严格来说，图形与图像是两个概念，虽然它们之间的区别越来越模糊，但还是有区别的：图像指计算机内以位图形式存在的灰度信息，而图形含有几何属性，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。近年来，计算机图形学和图像处理的关系日益紧密，并相互渗透。例如，将计算机生成的图形与扫描输入的图像结合在一起，构造计算机动画。三维动画在场景设计、环境处理及三维模型表面处理过程中，要用到大量的贴图，这些贴图就是计算机图像。模式识别是指用计算机对输入图形进行识别的技术，图形信息输入计算机后，先进行特征抽取等预处理，然后用统计判定方法或语法分析方法对图形作出识别，最后按照使用的要求给出图形的分类或描述。各种中西文字符及工程图样的自动阅读装置，就是模式识别技术的应用实例。

此外，计算几何学与计算机图形学也有着密切的关系。计算几何学研究几何模型和数据处理，通过几何模型可以建立描述物体形状的数据集合与数据结构。而在计算机中描述复杂形体和相应的数据结构是非常困难的，例如二维、三维物体及曲线、曲面的描述等，因此这些几何问题的算法设计与分析，都成为计算几何学研究的内容。

计算机图形学、图像处理和模式识别的关系见图 1-1。

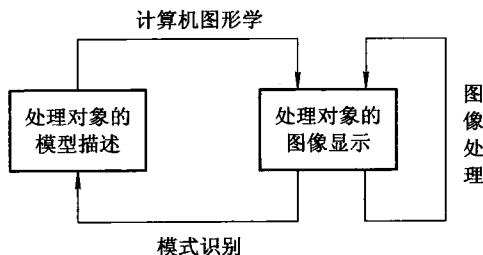


图 1-1 计算机图形学、图像处理和模式识别相互关系的示意图

计算机图形学的研究内容非常广泛，如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法、非真实感绘制，以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等。

1.2 计算机图形学的发展

1.2.1 计算机图形学的发展简史

最早的图形系统出现在 20 世纪 50 年代，麻省理工学院(MIT)的 Whirlwind 计算机的显示器产生了简单的图形，这台显示器使用了类似电视机使用的阴极射线管(CRT)，可以

说是世界上最早的计算机图形显示设备。20 世纪 50 年代末期, MIT 的林肯实验室在 Whirlwind 计算机上开发 SAGE 空中防御体系, 第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器, 操作者可以在屏幕上指出被确定的目标。

随着计算机图形学学科的建立, 20 世纪 60 年代人们开始利用图形学的思想解决实际的问题。为了解决产品的外型设计中的曲线、曲面问题, 1964 年 MIT 的教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为超限插值的新思想, 通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bezier 研究了被后人称为 Bezier 曲线、曲面的理论, 并将其成功地应用于几何外形设计中, 开发出了用于汽车外形设计的 UNISURF 系统。Coons 的方法和 Bezier 的方法是计算机辅助设计与制图最早的开创性工作。20 世纪 60 年代随着这些基础研究工作的进展, 很多系统中开始广泛地应用了交互式图形显示技术。

20 世纪 70 年代, 由于光栅显示器的产生, 在 60 年代就已萌芽的光栅图形学算法迅速发展起来, 区域填充、裁剪、消隐等基本概念及其相应算法纷纷诞生, 图形学进入了第一个兴盛的时期, 并开始出现实用的 CAD 图形系统。70 年代, 计算机图形学的另外两个重要进展是真实感图形学和实体造型技术的产生。1970 年 Bouknight 提出了第一个光反射模型, 1971 年 Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想, 被称为 Gourand 明暗处理, 1975 年 Phong 提出了著名的简单光照模型, 这些都是真实感图形学最早的开创性工作。另外, 从 1973 年开始, 相继出现了英国剑桥大学 CAD 小组的 Build 系统、美国罗彻斯特大学的 PADL-1 系统等实体造型系统。

1980 年 Whitted 提出了一个光透视模型, 又叫 Whitted 模型, 并第一次给出光线跟踪算法的范例, 实现了 Whitted 模型; 1984 年美国 Cornell 大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度方法引入到计算机图形学中, 用辐射度方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果。光线跟踪算法和辐射度算法的提出, 标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。20 世纪 80 年代中期以来, 超大规模集成电路的发展, 加上带有光栅扫描显示器的个人计算机和工作站的出现, 使得计算机图形学的应用深度和广度得到了前所未有的发展, 大量简单易用、价格低廉的基于图形的硬件系统的出现, 为图形学应用的大发展铺平了道路, 为图形学的飞速发展奠定了物质基础, 使得图形学的各个研究方向得到充分发展, 图形学已广泛应用于动画、科学计算可视化、CAD/CAM、影视娱乐等各个领域。

20 世纪 90 年代, 随着计算机及其外围设备的发展, 计算机图形学的功能有了很大的发展和提高, 计算机图形学的软件功能不断加强, 图形学自身也朝着标准化、集成化和智能化方向不断进步。国际标准化组织推出了许多关于图形学方面的标准, 并得到了广泛的认同和应用。这对于实现图形软件与设备的独立性, 提高图形软件的可重用性带来很大的益处。图形学国际化标准的推出, 降低了图形系统的价格, 推动了图形系统的应用。

进入 21 世纪, 计算机图形系统更以其高性价比和优良完善的功能进入到社会的各个领域。随着多媒体技术、人工智能与专家系统技术和计算机图形学技术的有机结合, 科学计算的可视化和虚拟现实的应用又向计算机图形学提出了更新的课题, 三维乃至高维计算机图形学在真实感和实时性研究方面开始迅速发展, 同时也推动了分形图形学的研究与应用的发展。同时, 计算机图形学也在朝着智能化、网络化的方向继续发展。

1.2.2 硬件设备的发展

图形输出包括图形显示和图形绘制。图形显示指的是在屏幕上输出图形。图形绘制通常指把图形画在纸上,也称硬拷贝。打印机和绘图仪是两种最常用的硬拷贝设备。

专用的图形显示器起源于20世纪60年代中期的画线显示器(亦称矢量显示器),其特点是需要刷新,图形可以随时更新,缺点是设备昂贵,限制了该设备的普及。60年代后期出现了存储管式显示器,该显示器不需刷新,价格较低,缺点是不具有动态修改图形功能,不适合交互式绘图。70年代初,刷新式光栅扫描显示器的出现,大大地推动了交互式图形技术的发展。尤其是彩色光栅扫描显示器的出现,更将人们带到了一个多彩的世界。光栅扫描显示器以点阵形式表示图形,使用专用的缓冲区存放点阵,由视频控制器负责刷新扫描。

到了21世纪,LCD(Liquid Crystal Display,液晶显示器)成为主流显示设备。LCD的特点是外观小巧精致,厚度只有6.5~8 cm左右,远小于CRT显示器。由于液晶像素总是发光,只有加上不发光的电压时该点才变黑,因此不会产生像CRT那样的因为刷新频率低而出现的闪烁现象。而且它的工作电压低,功耗小,节约能源,没有电磁辐射,对人体健康影响较小。

另外,LCD不只应用在显示器方面,电子表、手持游戏机以及PDA等产品中都能见到LCD的影子。在LCD不断发展的同时,其他平面显示器也在进步中,如等离子显示器、场致发射显示器、发光聚合体显示器等。

最常用的图形输入设备就是基本的计算机输入设备——键盘和鼠标。人们一般利用一些图形软件,通过键盘和鼠标直接在屏幕上定位和输入图形。如人们常用的CAD系统就是通过鼠标和键盘命令生成各种工程图的。此外还有跟踪球、空间球、数据手套、光笔、触摸屏等输入设备。跟踪球和空间球都是根据球在不同方向受到的推或拉的压力来实现定位和选择的。数据手套则是通过传感器及天线来获得和发送手指的位置与方向信息的。这几种种输入设备在虚拟现实场景的构造和漫游中特别有用。

1.3 计算机图形学的应用

由于个人计算机图形功能的增强和高性能图形工作站的出现,以及图形硬件设备价格的不断下降和图形软件技术的不断发展,计算机图形学已经广泛应用于多种领域,主要包括工业、医药、科学研究、艺术、广告、教育、娱乐等。

1.3.1 图形用户界面

图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)又称图形用户接口,是指采用图形方式显示的计算机操作环境用户界面。与早期计算机使用的命令行界面相比,图形界面对于用户来说更为简便易用。图形用户界面介于人与计算机之间,是人与机器进行通信的渠道。一个优秀的用户界面就是一个直观的、对用户透明的界面。用户在首次接触了这个软件后就觉得一目了然,不需要多少培训就可以方便地上手使用。

人机界面的发展由指示灯和机械开关组成的操纵界面发展成由终端和键盘组成的字符界面(20世纪80年代),现在已经进一步发展成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。

1.3.2 计算机辅助设计与制造

CAD(Computer Aided Design)、CAM(Computer Aided Manufacturing)分别是计算机辅助设计和计算机辅助制造的缩写。CAD/CAM技术在近半个世纪的应用实践中做出的重大贡献已被国际科技界和工业界所公认,被美国工程科学院评为自1964年以来当代最杰出的10项工程技术成就之一。CAD/CAM是应用计算机图形学最为活跃、最为广泛的领域。

CAD是设计人员借助计算机进行设计的方法,其特点是将人的创造能力和计算机的高速运算能力、巨大存储能力和逻辑判断能力很好地结合起来,在交互方式下组成一个高效的工作组。CAD包括的内容很多,如概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、计算机辅助绘图、计算机辅助设计过程管理等。当然,CAD系统还不能进行自动设计,从而完全替代人的作用。目前一些系统将人的经验知识嵌入软件,使得计算机有一定的“智能”。CAD技术最初只是用于计算和绘图,现在逐步发展到用于产品三维造型,但从制造意义上讲,这还需要数控机床的加工控制,以保证设计与产品精确地吻合。

计算机辅助制造(CAM)原则上与CAD相同,但存在两种理解:广义CAM和狭义CAM。广义CAM包含了整个生产自动化过程、计算机辅助设计制造编程、物料处理与控制、作业计划和生产监控等。而狭义CAM仅指应用CAM技术进行数控程序的生成,数控代码经通信接口传输到数控机床,进行数控加工。CAD与CAM系统集成的重要意义在于:产品模型的唯一性得到保证;CAM直接取CAD信息进行加工;实现了直观的图形化交互应用;系统紧凑,在表示方法上冗余小。

现在CAD技术已广泛应用于机械、电子、土木建筑、造船、汽车与飞机制造等方面。在机械制造业中,可用交互式设计的方法绘制机械零件装配图(如图1-2所示),并按设计要求直接进行加工制造(如图1-3所示);在电工及电子学领域,可用计算机进行辅助电路设计,也可对印刷电路板进行设计;在汽车、飞机、轮船制造业中,可用CAD技术设计外形轮廓,在物体被制造出来之前,就可以看到真实感很强的外形。

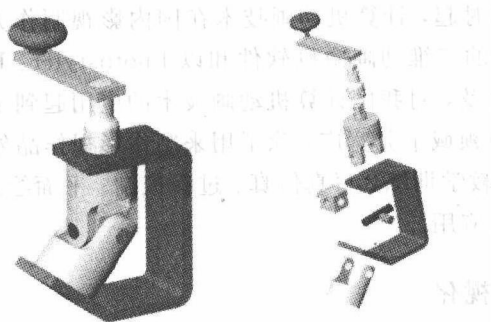


图1-2 零件装配及爆炸图

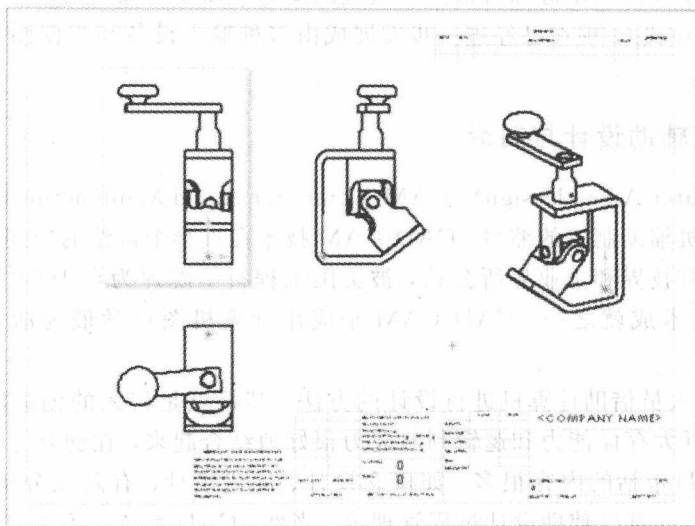


图 1-3 由三维装配体自动生成装配图

1.3.3 计算机动画

计算机动画是这样产生的：首先生成一幅幅静态的图像，每一幅图像都对前一幅图像作一小部分修改，然后当这些画面连续播放时，整个场景就动起来了。早期的计算机动画的灵感来源于传统的卡通片，在生成几幅被称做“关键帧”的画面后，由计算机对两幅关键帧进行插值，生成若干“中间帧”，连续播放时两个关键帧就被有机地结合起来了。计算机动画内容丰富多彩，生成动画的方法也多种多样，比如基于特征的图像变形、二维形状混合、轴变形方法、三维自由形体变形(Free-Form Deformation, FFD)等。

计算机动画的一个重要应用就是制作电影特技，可以说电影特技的发展和计算机动画的发展是相互促进的。1987年由著名的计算机动画专家塔尔曼夫妇领导的 MIRA 实验室制作了一部七分钟的计算机动画片《相会在蒙特利尔》，再现了国际影星玛丽莲·梦露的风采。我国在 1990 年的第 11 届亚洲运动会上，首次采用了计算机三维动画技术来制作有关的电视节目片头。从那时起，计算机动画技术在国内影视制作方面得到了迅速的发展，继而以 3D Studio 为代表的三维动画微机软件和以 Photostyler、Photoshop 等为代表的微机二维平面设计软件的普及，对我国计算机动画技术的应用起到了推波助澜的作用。

计算机动画的应用领域十分宽广，除了用来制作影视作品外，在科学研究、视觉模拟、电子游戏、工业设计、教学训练、写真仿真、过程控制、平面绘画、建筑设计、军事战术模拟等许多方面都有重要应用。

1.3.4 科学计算可视化

科学计算可视化是发达国家 20 世纪 80 年代后期提出并发展起来的一门新兴技术，它将科学计算过程中及计算结果的数据转换为几何图形及图像信息在屏幕上显示出来并进行

交互处理,成为发现和理解科学计算过程中各种现象的有力工具。

1987年2月美国国家科学基金会在华盛顿召开了有关科学计算可视化的首次会议。会议一致认为“将图形和图像技术应用于科学计算是一个全新的领域”,科学家们不仅需要分析由计算机得出的计算数据,而且需要了解在计算过程中数据的变化。会议将这一技术定名为“科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)”。科学计算可视化将图形生成技术和图像理解技术结合在一起,它既可理解送入计算机的图像数据,也可从复杂的多维数据中产生图形。它涉及到下列相互独立的几个领域:计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计及交互技术等。科学计算可视化按其实现的功能分为三个档次:① 结果数据的后处理;② 结果数据的实时跟踪处理及显示;③ 结果数据的实时显示及交互处理。

科学计算可视化已经成功地运用于多个领域,如分布式虚拟风洞、PHTHFINDER(在交互分布环境下研究气流体的软件)、狗心脏CT数据的动态显示(如图1-4所示)、燃烧过程动态模型的可视化、胚胎的可视化。

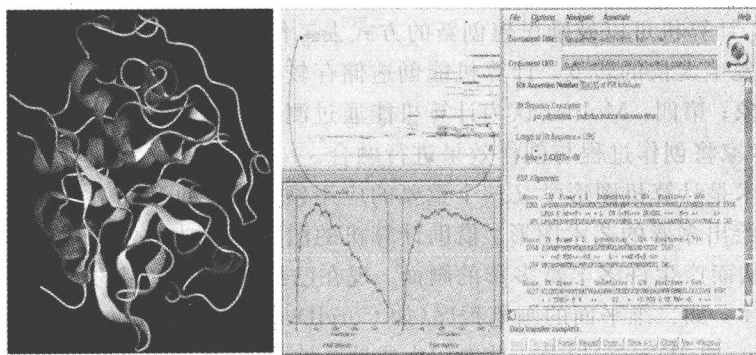


图1-4 科学计算可视化在生命科学中的应用

目前,科学计算可视化技术在美国的著名国家实验室及大学中已经从研究走向应用,应用范围涉及天体物理、生物学、气象学、空气动力学、数学、医学图像等领域。科学计算可视化的技术水平正在从后处理向实时跟踪和交互控制发展。在医学领域,可视化有着广阔的发展前途。可视化是机械手术和远程手术的基础,它将医用CT扫描的数据转化为三维图像,由CT数据产生在人体内漫游的图像,以帮助医生判别病人体内的患处。图1-5是对人体的可视化重建。

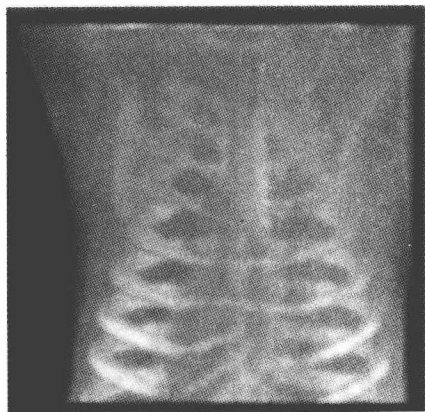


图1-5 人体的可视化重建图形

科学计算可视化的研究前沿与难点是：可视化硬件的研究；实时的三维体绘制；体内组织的识别与分割。

1.3.5 计算机艺术

计算机艺术的起源可以追溯至 1952 年，那时美国的 Ben F. Laposky 使用一种类似于计算机的装置和电子阴极管示波器创作了他的《Electronic Abstractions》。在美学层面，计算机一般至少介入五个不同领域：造型、电影或 Video 图像的制作；虚拟雕塑；环境艺术作品；Video 光盘；电子交互事件。

计算机艺术创作可以分为两类：一类是艺术家仅仅把计算机当做一种工具，即把它作为一块帆布或者是“作画”的非常精巧的调色板，因而计算机只起辅助作用；另一类是将计算机视为一个自主创作的艺术家。一个计算机艺术的开拓者——Vera Molnar 坚持认为计算机可能服务于四个目的：第一，它打开了计算机不确定的形式、色彩尤其是视觉空间排列的可能领域；第二，计算机可能满足艺术家的创新欲望并因此减轻传统文化形式的重负，它可能制造偶发的或随机的颠覆而创造一种美学的震撼，并且与那种系统和均衡的事物断裂；第三，计算机可以鼓励思想创新的方式去工作，Molnar 认为艺术家经常从观念到对作品的认识发生太快的转变，计算机能创造储存较长时间的图像，不仅用数据库而且还用艺术家的想象；第四，Molnar 认为计算机能通过测量观众的生理反应（例如他们眼睛的运动）帮助艺术家将创作过程与创作效果进行融合。

计算机艺术是计算机图形学又一个重要的应用领域。借助多种工具和绘图软件，可在计算机屏幕上绘出多彩的艺术图形。借助计算机的图形处理功能，可以对图形进行一系列的技术处理，从而产生许多丰富多彩的画面。现在已经有一些常用的计算机软件可以用来创作计算机艺术，如二维平面的画笔程序（如 CorelDraw、Photoshop、PaintShop）、三维建模和渲染软件包（如 3D max）以及一些专门生成动画的软件（如 Alias、Softimage）。

计算机艺术的优点是可以提供多种风格的画笔、画刷及纹理贴图，甚至能对图像进行雾化、变形等操作，可以任意修改，取消败笔。计算机艺术的不足之处是无法达到传统绘画中风格化的艺术效果，很难得到有素描效果、油画效果的艺术品（如图 1-6 所示）。

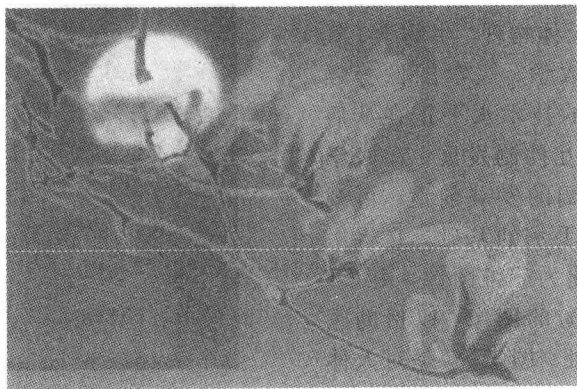


图 1-6 计算机绘制的国画

图 1-7 是采用配有无绳压电的触笔创作的艺术图形。