

高等学校计算机专业规划教材

计算机图形学

(第2版)

■ 魏海涛 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TP391.41/1622

2007

高等学校计算机专业规划教材

计算机图形学

(第2版)

魏海涛 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先在导论中阐述计算机图形学的发展史、与其他学科之间的关系,以及本学科的基本概念、研究对象、实现方法、发展方向等基本问题;然后以导论为总纲,采用系统分析的方法,以物理原理与数学方法创建三维真实感图形显示的理论模型为主线,分别从图形的描述与建模,模型数据的输入、存储、运算处理、输出显示等方面,系统介绍了二维、三维复杂图形数据模型生成与显示的基本理论与算法,以及图形输入、输出设备的工作原理与图形系统的数据处理流程,同时全面讲解 OpenGL 的基本用法,便于计算机图形系统与可视化应用软件的综合与实现。

全书教学目的是计算机图形学基础理论研究与可视化应用程序开发并举,内容简明充实,结构严谨,并配套电子课件、算法与实例源程序代码、试题库等教学资源。

本书读者对象是高等院校计算机和信息处理专业的本科生和研究生,对从事图形图像软件开发和计算机辅助设计的科技人员也有参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/魏海涛编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2007. 10

高等学校计算机专业规划教材

ISBN 978-7-121-05094-7

I. 计… II. 魏… 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(2007)第 147541 号

策划编辑:童占梅

责任编辑:童占梅 秦淑灵

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.25 字数:588 千字

印 次:2007 年 10 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

再版前言

众所周知,信息数据的可视化是计算机科学发展的方向之一,计算机图形学是实现这一目的的有效方法。如果仅仅围绕图形的生成算法或图形标准来讲授计算机图形学课程,虽能让读者快速掌握编写三维图形显示等应用程序的技术,但一般来说,因图形标准中缺少物体建模这一计算机图形学的核心内容,初学者很难想象该如何系统运用这些相关知识来构建计算机图形系统,以达到显示各种图形的目的。即这种授课方式不能让读者完整系统地了解计算机图形学的研究对象在计算机中是如何先建立模型、再实现图形的显示过程,尤其是不能全面概括计算机图形学发展的基本规律,这易导致计算机图形学课程难教、难学。

针对教学过程中遇到的上述问题,作者在教学中引入了“计算机图形学是研究‘在计算机中如何构造图形的数据模型,并把图形的各种描述数据通过指定算法转换成图形显示’的一门学科”的新理念,围绕这一理念实施教学改革并受到学生的好评。教学实践表明,要获得好的教学效果,除了借鉴国内外其他院校计算机图形学课程的成功教学经验外,还要注意跟踪国际上商用 CAD 软件、动画软件与图形标准的发展,并将这些内容与时俱进地融入到教材和课程中,才能有所突破与创新。

本教材用图形系统的设计实例完整地向读者展示了计算机应用软件开发的基本规律——图形的描述与建模(包括摄像机模型、灯光模型、颜色模型、照明模型、物体的几何模型、物体表面的材质与纹理模型),模型数据的输入、存储与管理,运算处理(包括物体的几何变换、全剖切运算、集合运算、三维重建),输出显示(包括图形的生成算法、着色算法、消隐算法、纹理映射算法、阴影算法、光线跟踪算法与辐射度算法)的全过程,这既体现了计算机应用程序设计的典型方法,也为计算机图形学成为读者初学计算机程序设计方法的首选课程之一奠定了基础。

读者经过本课程的系统学习,将建立起计算机图形系统平台的概念,克服计算机图形学课程内容支离破碎的不成熟、不系统的印象,除学会调用图形标准绘制三维图形外,关键是学会用物理数学方法建模的思想来解决计算机所面临的多种实际问题,并从中体验到以计算机图形学为代表的应用软件的开发与构建于离散数学、数理逻辑上的计算机系统软件和工具的开发是计算机软件专业两个同等重要的研究领域。

本书第2版基本保持第1版的教学体系,修订了书中存在的错误;增加了直线与多边形的反走样处理、BSP 算法、A 缓冲器算法、阴影算法、图形标准的绘图流水线作业过程与 OpenGL 图形标准等多项重要内容;重写了计算机图形学导论、多边形集合运算、间隔扫描线算法、物体表面的纹理显示、光线跟踪算法与辐射度算法,各章小结等内容。本书向任课老师免费提供教学资源,其中包括电子教案(PPT 形式)、试题库(二维)、CAI 算法演示实例和部分例题源代码,以便加强实践环节的教学。本教材教学资源可在华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 或 <http://www.huaxin.edu.cn> 注册下载。

本课程要求读者具有 C++ 编程语言与数据结构方面的预备知识,建议用 48 学时授课,8 学时上机实习。本教材准备了两套计算机图形学课件。

一套为二维图形学课件,主要为初学计算机的读者打好程序设计的基础,并建立计算机图形系统平台的概念,计划用 32 学时授课;课件内容分别是:

导论(2 学时);	OpenGL 介绍(2 学时);
直线、圆、椭圆的生成(2 学时);	整数椭圆的生成(2 学时);
三次样条曲线与三次参数样条曲线(2 学时);	贝齐埃曲线、B 样条曲线、字符的生成(4 学时);
多边形的构造与显示(2 学时);	几何变换(2 学时);
集合运算(2 学时);	开窗、裁直线(2 学时);
裁多边形(2 学时);	数据输入的基本方法(2 学时);
光栅显示器的显示原理、人机交互设计的基本原理(2 学时);	
图形的数据结构与数据处理流程(4 学时)。	

另一套为三维图形学课件,主要为有计算机程序设计基础的读者讲授三维图形学中显示图形所需各种模型的建立方法,并适当补充二维图形学的相关内容,计划用 48 学时授课;课件内容分别是:

导论(2 学时);	OpenGL 简介、3ds max 演示与说明(2 学时);
图形系统数据处理流程(2 学时);	三维几何变换、平行投影、透视投影(2 学时);
斜透视投影观察空间的规格化变换与裁剪(2 学时);	
多面体的翼边数据结构与多面体的全剖切运算(简本)(3 学时);	
多面体的集合运算(3 学时);	多面体的线框与表面模型显示(4 学时);
曲面物体的描述方法(2 学时);	曲面物体的描述函数与建模(6 学时);
灯光模型、颜色模型、光照模型、着色算法(4 学时);	
物体表面的纹理显示(4 学时);	物体的阴影显示(2 学时);
光线跟踪算法(2 学时);	辐射度算法(2 学时);
OpenGL 编程(4 学时);	课程总结与复习(2 学时)。

上机实习主要练习编写程序并阅读 OpenGL 程序清单,要求全部程序在 Windows 平台上用 **Visual C++ 6.0 或 C++ Builder 6.0** 实现。

感谢关心并给作者提供帮助、指导、指出本书第 1 版错误的所有同仁,感谢参考文献中的作者,感谢电子工业出版社与本书编辑童占梅、秦淑灵对作者工作的支持,感谢杨瑞娟、马晓岩、蓝江桥、熊家军、周焰、肖兵、徐毓、田康生、黄子俊、张荣华、童世明等老师,感谢厦门大学的赵致琢教授,没有大家的协助,完成本书的编写与修订工作是难以想象的。对于本书的错误与不足,恳请广大读者批评指正。

作者 E-mail: weihaitaogood@126.com。

编著者

目 录

第0章 计算机图形学导论	1
0.1 计算机图形学的发展简史	1
0.2 处理计算机图形信息的三门学科	1
0.3 计算机图形学的主要研究内容	3

上篇 二维图形学基础

第1章 线段图形的生成	14
1.1 直线的生成	15
1.1.1 直线的简单微分(Digital Differential Analyzer, 记为 DDA)算法	15
1.1.2 直线的整数算法	16
1.2 圆的生成	18
1.2.1 圆的角度微分法	18
1.2.2 圆的整数算法	20
1.3 椭圆的生成	22
1.3.1 椭圆的角度微分法	22
1.3.2 椭圆的整数算法	23
1.4 自由曲线的生成	26
1.4.1 三次样条曲线	26
1.4.2 三次参数样条曲线	31
1.4.3 贝齐埃曲线	34
1.4.4 B样条曲线	37
1.4.4.1 均匀 B 样条曲线	38
1.4.4.2 准均匀 B 样条曲线	41
1.4.4.3 非均匀有理 B 样条曲线(Nonuniform Rational B-Splines, 记为 NURBS)	43
1.5 矢量字符的生成	45
本章小结:直线与曲线的描述、建模与生成	46
习题1	47
第2章 实面积图形的生成	50
2.1 多边形的填充	50
2.1.1 多边形的定义与性质	50
2.1.2 多边形的填充原理	51
2.1.3 多边形的(YX)填充算法	52
2.1.4 多边形的 Y-X 填充算法	53
2.1.5 多边形的优先级填充算法	58

2.2 直线与多边形的反走样显示处理技术	59
2.2.1 反走样直线的面积采样生成算法	60
2.2.2 反走样直线的加权面积采样生成算法	61
2.2.3 实面积多边形的反走样处理	62
本章小结:多边形的描述、建模、生成与直线的反走样技术	64
习题2	65
第3章 图形的基本运算	67
3.1 图形的几何变换	67
3.1.1 几何变换常用的齐次坐标变换矩阵	68
3.1.2 二维图形的几何变换	69
3.2 图形的集合运算	73
3.2.1 正则集合运算公式	73
3.2.2 A, B 多边形之间的相互关系对生成新多边形的影响	75
3.2.3 二维图形(多边形)的集合运算的实现原理	76
3.2.4 集合运算所需的数据结构与实例	83
本章小结:图形建模方法的提升	84
习题3	85
第4章 图形的观察运算	86
4.1 图形的开窗	86
4.1.1 图形学中常用的坐标系	86
4.1.2 窗口、视区及窗视坐标变换	87
4.2 图形的裁剪	90
4.2.1 点与字符的裁剪	90
4.2.2 直线的裁剪	90
4.2.3 曲线的裁剪	92
4.2.4 实面积多边形的裁剪	93
本章小结:图形数据输出处理的第一步	96
习题4	96
第5章 图形的数据输入	97
5.1 图形数据输入常用的编程处理方法	98
5.1.1 利用高级图形专用语言编程输入图形数据	98
5.1.2 利用图形输入设备交互输入图形数据	100
5.1.3 图形标准为图形数据输入提供的交互处理方法	104
5.2 光栅扫描图形显示器常用的交互输入处理技术	106
5.2.1 光栅扫描图形显示器的工作原理与软件功能	106
5.2.2 图形的定位、拾取、命令选择等交互输入处理技术	110
5.3 图形系统交互设计的基本方法	113
5.3.1 图形系统交互设计的重要性与发展	113
5.3.2 图形系统的交互模型与交互设计的基本原则	115

5.3.3 图形系统交互设计的基本方法	116
本章小结:提高向计算机输入数据的效率是人们追求的目标	120
习题5	121
第6章 图形的数据结构	122
6.1 复合图形元素	122
6.1.1 图形组	123
6.1.2 重复图	125
6.2 图形的基本编辑功能	126
6.3 图形系统的数据结构与数据处理流程	129
本章小结:图形系统的构建原理	136
习题6	137
 下篇 三维图形学基础 	
第7章 摄像机模型的建立——三维图形的显示基础	140
7.1 三维图形的几何变换	140
7.2 三维图形的投影	148
7.2.1 三维图形常用的坐标系	148
7.2.2 平行投影的基本原理	149
7.2.3 正透视投影	151
7.3 三维图形的正透视裁剪	156
7.3.1 二维齐次屏幕坐标系与观察空间裁剪范围	157
7.3.2 三维齐次屏幕坐标系与观察空间裁剪算法原理	158
7.3.3 裁剪坐标系中的直线裁剪算法	161
7.4 三维图形的规格化投影变换与裁剪	167
7.4.1 平行投影观察空间的规格化变换与规格化裁剪	169
7.4.2 透视投影观察空间的规格化变换与规格化裁剪	175
本章小结:摄像机显示三维图形的原理	180
习题7	181
第8章 平面物体的几何构造与显示	182
8.1 平面物体的描述与数据结构	182
8.1.1 平面物体常用的表示模型	182
8.1.2 平面物体常用的数据结构	184
8.2 平面物体的全剖切运算	187
8.2.1 全剖面的定义与平面物体的顶点分类	187
8.2.2 被剖物体有效剖面的形成	188
8.2.3 剖平面物体截面的形成	190
8.2.4 形成新的剖面体	191
8.3 平面物体的集合运算	192
8.3.1 求交	192

8.3.2 分类	194
8.3.3 合并	195
8.4 平面物体的三维重建输入介绍	197
8.5 真实感平面物体的线框模型输出显示——隐藏线的消除	199
8.6 真实感平面物体的表面模型输出显示——隐藏面的消除	205
8.6.1 Z 向深度缓存算法(Z 缓冲器算法)	205
8.6.2 扫描线深度缓存算法	207
8.6.3 间隔扫描线算法	209
8.6.4 快速显示多边形的 BSP 算法	211
8.6.5 A 缓冲器算法	214
本章小结:平面物体建模与显示方法的成熟	218
习题 8	219
第 9 章 曲面物体的构造基础与线框模型输出显示	220
9.1 三维物体常用的描述方法	220
9.1.1 八叉树表示法	220
9.1.2 扫描表示法	221
9.1.3 边界表示法	222
9.1.4 元球表示法	226
9.1.5 蒙皮表示法	226
9.1.6 物体表示方法的选择	227
9.2 常用曲面的数学描述函数	228
9.2.1 扫描曲面	229
9.2.2 孔斯(Coons)曲面	231
9.2.3 贝齐埃曲面	233
9.2.4 B 样条曲面	234
9.3 几何造型中的相交计算问题	236
9.3.1 二维贝齐埃曲线之间的相互求交	237
9.3.2 常用二次曲面之间的求交计算	239
9.4 真实感曲面物体的线框模型输出显示	241
9.4.1 代数法描述曲面物体的输出显示	241
9.4.1.1 用轮廓线、边界线、交线显示曲面物体	241
9.4.1.2 用等值线方法来显示曲面物体	247
9.4.2 双参曲面物体的输出显示	248
本章小结:曲面物体构造与显示方法任重而道远	250
习题 9	251
第 10 章 灯光模型,物体表面反光、透光、着色模型的建立——光照物体的显示	253
10.1 光色模型	253
10.1.1 光源(灯光模型)	253
10.1.2 颜色	254

10.1.3 颜色模型	259
10.2 物体的照明模型	261
10.2.1 物体的简单光照模型(Phong 模型)	262
10.2.2 透明体的透明模型	265
10.3 真实感曲面物体的表面模型输出显示	267
10.3.1 曲面物体、透明物体表面的着色处理	267
10.3.2 物体表面的纹理显示	269
10.3.2.1 光滑纹理的显示	269
10.3.2.2 凸凹纹理的显示	277
10.3.3 物体的阴影显示	279
10.3.3.1 阴影的 Z 缓冲器算法	280
10.3.3.2 阴影的阴影体算法(影域多边形算法)	281
10.4 高度真实感图形显示技术	284
10.4.1 整体光照模型与光线跟踪算法	284
10.4.1.1 Whitted 整体光照模型	285
10.4.1.2 光线跟踪算法原理	285
10.4.1.3 光线跟踪算法中需要的各种计算	288
10.4.2 辐射度算法	293
10.4.2.1 理想漫射环境中的辐射度方程	293
10.4.2.2 形状因子的计算公式与性质	294
10.4.2.3 用半立方体方法累计计算形状因子	295
10.4.2.4 求解辐射度时应注意的几个问题	297
10.5 图形标准的绘图流水线作业过程	301
本章小结:用计算机生成照片一样的真实感图形	303
习题 10	304
第 11 章 OpenGL 图形标准与应用	306
11.1 OpenGL 的基本原理与编程特点	306
11.1.1 在 Windows 环境中 OpenGL 编程的两个基本特点	306
11.1.2 OpenGL 的工作原理	307
11.1.3 OpenGL 的基本功能	308
11.2 OpenGL 编程的环境设置与语法	309
11.3 OpenGL 中读写一个像素点的实现方法	310
11.4 OpenGL 的正平行投影矩阵的设置与常用二维图形、字符的显示	313
11.5 OpenGL 的正透视投影矩阵的设置与三维动画图形的显示	315
11.6 OpenGL 的堆栈与图形的级联几何变换	317
11.7 OpenGL 的显示列表与子图形	319
11.8 OpenGL 的交互输入与拾取	320
11.9 OpenGL 的材质、灯光与光照物体的显示	326
11.10 OpenGL 的纹理与物体的光滑纹理显示	331

11.11 OpenGL 的求值器与曲面物体的显示处理·····	335
11.12 OpenGL 的图像融和及反走样直线的处理方法·····	340
11.13 OpenGL 的模板及累加缓存的使用方法·····	343
本章小结:调用图形标准,轻松实现三维图形的实时显示·····	347
附录 A 本书算法实例索引 ·····	348
参考文献 ·····	351

第 0 章

计算机图形学导论

0.1 计算机图形学的发展简史

计算机图形学是计算机科学领域中的一个重要而又年轻的学科,它随着计算机硬件特别是图形显示设备的发展而逐渐产生、发展起来。由于计算机图形学在人与计算机之间建立了一种形象直观和高效率的信息交互手段,这使得人们从早期计算机产生的大量繁杂的数字和符号中解脱出来,人们通过视觉非常容易掌握并理解大量的信息,从中发现其变化趋势和规律,人们甚至能直接使用计算机得到各种设计图纸,观察、检验设计效果等,因而深受各行各业用户的欢迎。在短短几十年中,计算机图形学获得了极大的发展,并在工业、商业、军事、教育和娱乐等各个领域得到了广泛应用,成为计算机科学中发展最快、影响最大的学科之一,并在应用中日益显示出其重要性和不可替代性(课件中有图形学的多种应用实例图片)。

计算机图形学的发展历史可以追溯到 20 世纪 50 年代。1950 年世界上生产出第一台 CRT(阴极射线管式)显示器,这使得当时的计算机摆脱了纯数字计算工具这种单一用途,使之同时还能显示各种简单图形。1963 年,美国麻省理工学院的 Ivan E. Sutherland 发表了“画板(Sketchpad):一个人机图形通信系统”的博士论文,标志着计算机图形学作为一个全新研究领域的起步。到了 60 年代中期,美国麻省理工学院、通用汽车公司、洛克希德飞机制造公司和贝尔电话实验室等都大规模地开展了计算机图形显示的研究工作;与此同时,各种绘图仪和图形显示器也相继问世,这为计算机图形学的发展提供了必要的硬件基础。进入 70 年代以后,人们相继提出了各种图形标准(如 GKS 二维图形标准与 PHIGS,OpenGL 三维图形标准等),这使得各种图形应用软件的开发更加方便,同时使其应用软件具备了良好的可移植性。应该说图形显示软件的标准化的计算机图形学发展趋于成熟的一个重要标志,是对计算机图形学成果的总结与概括。

0.2 处理计算机图形信息的三门学科

人们往往这样认为:平面上指定范围内可见点阵的集合统称为**图像**,如人们常见报纸上印刷的照片就是一种典型的例子。那些能被人们分类并给出描述参数的一类图像,则称为**图形**。见图 0-1,这个人像完全能用一幅 $N \times N$ 点阵的图像来表示,但经过美术家的艺术描画处理之

后,它却能简单地用多条曲线(几何参数)与黑颜色(属性参数)等形式表现出来。由此可见,**图形**是图像的一种特例,它仅仅是一种能用各种几何参数(如各种形式的线段)与属性参数进行有效描述的图像,这是二维图形的基本特征。而在**计算机中构造图形**就是如何产生并有效组织、保存、管理图形的这类描述数据——即建立这一图形的数据模型,它能明确无误地确定相应图形的表现形式——即图像的显示内容,简称图形显示。由此可知,图形与图像之间的相互关系:图像是图形的表现形式,而图形是图像的一种数学抽象与模型记录数据。不难把这种用几何参数与属性参数描述图像的方法推广到三维空间中以描述三维物体,从而形成三维图形的描述数据。因此,所谓**三维图形**是指人们从二维图像显示的立体效果中可以确认该图形的描述数据(数学模型)是 X, Y, Z 三维的。随着现代计算机技术的发展,特别是光栅扫描图形显示器的应用,人们见得更多的是这样一种图像,它是根据物体的三维描述参数、投影条件以及光照效果生成的,即所谓的**三维光照图形**(又称**三维图像**,它不光知道平面上每一点的色彩或亮度,而且还能查出每一点的深度数据——即每一点的 Z 信息)。对于这种类型的图像,人们不能像二维图形那样,根据其显示效果就较容易地确定出它所对应物体模型的几何描述参数等条件,这一任务通常由另一学科——模式识别来完成,由此形成了用计算机处理图形(图像)的三门学科——图像处理、模式识别和计算机图形学。

所谓**图像处理**,即可见的景物射线或不可见的辐射信息(如电磁波、热辐射等),经过电子扫描量化后送入计算机,由计算机按应用的需要把量化后的数据依次转化成平面上明亮不同或色彩各异的点阵图像,并对该图像进行增强、去噪、复原、分割、重建、编码、存储、压缩、恢复、传输等不同的处理,必要时把加工处理后的图像重新输出,这个过程称为“图像处理”。计算机X射线断层扫描造影技术(简称CT)就是不可见辐射信息成像即图像处理的一个典型例子。

所谓**模式识别**,即当图像信息输入计算机之后,先对它进行特征抽取等预处理,然后,用统计判定或语法分析等方法对图像识别,最后,由计算机按照人们的使用要求给出该图像的分类与描述。如印刷体中、西文字符和工程图纸的自动阅读识别系统,就是图像处理与模式识别技术的具体应用。模式识别是人工智能领域中的一个重要分支,目前该项技术正处于不断发展之中。

计算机图形学属于计算机应用软件的研究范畴,它主要通过物理原理与数学知识,建立描述自然景观的数据模型与显示图形的物理数学模型,以达到用程序的方法在计算机显示器中生成显示自然景观图像的目的,本质上,用计算机生成三维真实感图形就是用数学模型的方法仿真光线在物体之间相互传播而产生的显示效果(在第10章的小结中将介绍这个定义的来源)。此时,这个被描述处理的自然景观图形对象既可以是各种实实在在的物体(如长方体、圆球体等),也可以是抽象、假设的事物数据(如天气形势、人口分布、经济形势预测等)。具体地说,计算机图形学的任务首先是建立被处理图形对象的数学模型并把该模型参数输入、存储在计算机中,形成图形的数据模型;然后,再根据人们提出的各种要求,对这一模型进行种种有效的加工处理;最后,在显示设备上生成这些图形对象被加工处理后的结果及相关的各种性质的图形。

图像处理、模式识别和计算机图形学是三门与图形(图像)处理有关的学科,它们之间的相互关系可用图0-2来表示。虽然,这些学科都已有几十年的历史,但长期以来它们基本上是以相互独立的形式各自发展的。到了20世纪80年代,由于光栅扫描图形显示器的广泛使用,以及大量复杂应用课题的研究需要,使得这三门学科之间的相互关系越来越密切。例如,现在计算机生成的光照物体图形(即高度真实感彩色图形)与实际拍摄的实物彩色照片(图像)已没有多大的区别。与此同时,可以用图像处理技术使计算机生成的图形更优美,更逼近真实的

图像。又如对于像光栅扫描图形显示器中有关斜线产生的阶梯效应(又称走样、失真),可以采用像素点调色的方法进行平滑处理,使其消失。另外,还可以利用图像处理、模式识别技术解决如机械制图、印刷体文字字符等“规范”图形的自动输入,以达到减轻操作人员劳动强度,提高计算机输入图形数据的效率。再如,人们现在可以利用航测、遥测地形地貌作为飞行模拟训练系统的地貌环境,这些海量地形数据的自动输入,只有采用图像处理、模式识别等自动技术处理后才能有具体的结果。这些都说明图像处理、模式识别与计算机图形学等学科之间是相互促进的。



图 0-1 人像

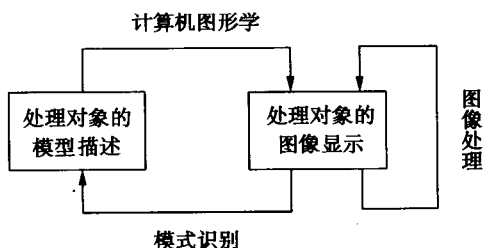


图 0-2 图像处理、模式识别与计算机图形学之间的关系

0.3 计算机图形学的主要研究内容

计算机图形学的主要研究对象可以概括成:点、线、面、体、场的数学描述方法与模型构造以及这些模型随时间的运动与变形等,(如墨水在清水杯中的扩散或物体的爆炸运动等过程),并用指定模型算法显示这些用数学方法定义模型数据所对应的各种图形。注意这里的体与场既可以是刚体,也可以是流体、气体、弹性物体(如人体肌肤与表情)等,既可以是具体的物体,也可以是抽象的事务数据等。这些研究对象又可称为零维、一维、二维、三维与四维几何图形。就计算机图形系统的组成而言,由于实际的图形应用系统一般可分成二维图形系统与三维图形系统,因此不妨把图形学分成二维图形学与三维图形学。

二维图形学的研究对象是平面上的点、线、面(即有界平面)及它们随时间的运动与变化情况。这就是说,二维图形系统的用途只能完成用户要求绘制的任意复杂的平面图形(对这种应用要求最为典型的有计算机辅助制图系统、计算机辅助电路设计系统等),这些复杂平面图形既可以是静态图形(即图形显示或绘制后不用擦除,如绘图仪、打印机生成的图形)、动态图形(即显示在显示器上的图形,可根据需要擦除或重新显示等),也可以是实时图形(即在给定的短时间内,完成相应图形的动态显示,如工业过程的实时监控系统与军事防空系统等应用领域所要求的图形)。如果要求显示这些复杂平面图形随时间的变化情况,即制作动画(卡通)片,它主要依靠人们事先画出一个个中间复杂图形(即图形随时间的变化情况),再连续播放这组图形,从而在人们的视觉中形成动画效果。

三维图形学的研究对象(仅涉及图形的几何模型)是点、线、面、体、场。与二维图形不同的是,这里的线可以是空间中的任意曲线,面可以是空间中的任意曲面(即有界曲面或有界表面)。

如果在三维图形中仅研究点、线、面,以及由这些点、线、面所构成的任意复杂图形,则这种

图形又称为**二维半图形**(在数控加工中,如果铣刀走平面曲线,即 X - Y 坐标联动,一般铣刀可沿 Z 向单独做升降运动,不能与 X - Y 坐标联动,铣刀的这种运动称为 $2\frac{1}{2}$ 坐标加工。而把平面图形经过平移扫描定义的三维图形——即扫描体称为二维半图形,最初只是商业软件公司出于商业竞争的目的,对竞争对手的一种戏称,意指三维图形系统的功能较弱。这里为了表示点、线、面与体的差异,也暂时借用这一术语,故应用时应注意这三种含义的不同)。之所以如此是因为此处点、线、面仅是数学上的概念,虽然它们可以用图形的形式进行形象显示,但它们在客观现实世界中是不能孤立存在的。二维半图形系统的主要用途在于显示具有高度真实感的三维图形,如三维空间中的点、线、面,在灯光照明条件下,可以构成有各种立体感效果的画面,让这些点、线、面在空间中连续变化即可构成三维动画片,这种动画片与人工在平面上绘制的动画片相比较,有较强的立体感。另外,这种三维动画效果也被用于飞行模拟训练器中训练飞行人员等。

体是三维空间中有限的封闭空间并有明确的几何形状。一般来说,它的边界是面,面的边界是边线,边线的边界是点。若三维图形的研究对象是体(所谓**真三维图形**),则它应满足用户提出的其物体形状任意复杂这样的要求。体的概念不仅用于机械零件等计算机辅助设计与制造领域。而且可用于需要设计物体形状并对其进行必要分析的应用领域。例如在分析空中复杂目标高频等效雷达截面这一问题时,就需要逼真的飞机形状模型,以便分析飞机对雷达发射电磁场的反射效应等。

场是现实世界中一个比体更复杂的概念。人们接触的大气层(标量场),地球周围的电磁场(矢量场),流动的气体与液体(张量场),雷达的探测范围等都是场的具体表现。一般来说,与体相比,场的物质密度在一给定的空间范围内是有规律地逐渐变化且不易直观掌握的,即它不像体那样具有界线分明的边界。另外,还有一种比一般的数据场更复杂的物体,在该物体的内部,不但每一点的物质密度可能不同,而且每一点的物质组成与功能也可能不同,但它也具有界线分明的边界,人们一般希望通过它的多层次的剖面图构造出它的内部结构图,以便了解或掌握这种物体。例如供医用的人体内部器官结构图,它主要通过核磁共振剖面图构造而成。正因为数据场的这种复杂性,人们才希望借助图形显示的方法,直观地了解并掌握动态数据场的物质密度在空间中的变化规律,挖掘出动态数据场中所蕴涵的物理现象等。这些是科学计算可视化研究正在积极探讨并解决的问题之一。

要实现图形学研究的目标(以三维物体为例),一般需要解决下述6方面的问题。

(1) 要解决描述复杂物体图形的方法与数学工具(属计算几何要解决的问题)并建立物体的数学模型。有了强有力的描述复杂物体图形几何形状的数学工具,就为建立复杂物体的数学模型提供了保证。传统上使用的方法有样条曲线、 B 样条曲线、非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线及相应曲面等描述方法。此外对于二维、三维图形还有分形描述、粒子描述等方法,这些方法可以方便地表现火焰、云彩、山脉、树林、沙漠、海岸线等模糊、不甚明确或具有某种相似性与随机性边界的物体或物质,它特别适合计算机艺术造型等应用领域。它们往往根据需要,以及数学方法或文法规则建立模型,这些研究内容属计算机图形学中新的研究分支^[158, 261, 260, 76]。

(2) 物体图形模型描述数据的输入。当成功建立了所要求物体的数学模型之后,这些描述数据要存入计算机,这通常包括图形数据的编程输入方法、人机交互输入技术及自动输入技术。特别是人机交互输入技术是目前的一个热点,它包括各种新型图形输入设备和三维图形

输入方法和技术的研究,各种交互技术如构造技术、命令技术、选择与拾取技术、响应技术、反馈方式,以及图形描述、分析语言与多通道用户界面问题的研究等。

(3) 输入数据的存储。对输入的图形数据,如何在计算机图形系统内部对它进行有效地组织、存储与管理,以便用户对图形进行各种编辑与检索操作,这是具体实现一个计算机图形系统要解决的重要问题。与存储技术相关的还有图形数据库的管理、检索、压缩、图形数据通信与图形数据交换标准等问题。这些问题的解决,可使不同用户在不同的计算机系统之间相互交流信息,实现图形资源的共享等要求。

(4) 物体图形数据的运算处理。就构造复杂物体而言,常用的运算方法主要有:不断追加新的简单物体,对已有物体进行几何变换(平移、旋转、放大、缩小等),对物体实施全剖切、集合运算(两物体交、并、差后形成新物体),以及其他一些辅助构造方法,如框架式三维重建与蒙皮法等。在计算机动画中,还常对物体的几何形状进行变形编辑处理,如调整物体的顶点与面片坐标、对物体进行拉伸、挤压、弯曲、螺旋、自由变形等,这些变化手段对物体的艺术造型及调整物体的动画变形过程非常重要。

(5) 物体图形数据的输出显示。这通常包括二维图形中的直线段、圆弧、椭圆弧、自由曲线、矢量字符的生成与实面积图形的填充,以及三维图形中物体的各种投影、开窗裁剪技术,平面、曲面的显示,隐藏线、隐藏面的消除,灯光模型,物体的光照模型、材质特性、着色处理、纹理、阴影、光线跟踪算法、辐射度算法、灰度与色彩等各种真实感图形的显示方法与技术。

事实上,以上5步是计算机辅助设计(即CAD)所面临的经典任务。当然,计算机辅助设计一般还应解决物体的表面积、体积、重心、旋转惯性、有限元分析、结构分析、运动机构分析等诸多物体性能分析问题,以满足实际应用过程中对所设计物体的性能提出的各种复杂要求。

(6) 物体的制造。物体制造就是把上述用户所设计出的物体用数控机床加工出来(即物体图形的实体模型输出制造),这是计算机辅助制造(即CAM)要完成的主要任务。

以上三维物体的设计、显示与制造是指物体外形几何形状数据模型在计算机中如何构造并具体实现;但在计算机动画与游戏等可视化领域,人们往往追求用计算机生成像照片一样的三维真实感图形效果。为了实现这一目标,需要研究用照相机拍摄物体照片的过程,研究物体表面发光或反光的物理原理,研究灯光照明与色彩在物体照明中的作用,研究光线传播对计算机生成三维真实感图形效果的诸多影响等,并建模仿真上述各物理过程,才能达到用计算机生成像照片一样真实感图形的目的,这些仿真模型分别是:

① 照相机模型,它用透视投影或平行投影方式把三维图形变换成二维图形,显示在屏幕的指定范围内,并把超出照相机观察范围的三维图形裁剪掉;

② 物体的几何模型、物体表面的反光与透光特性与能力(即材质模型)、物体表面的纹理模型(即物体表面的图案细节显示效果等),这三种模型效果合并在一起,才能很好地模拟实际生活中人们看见的各种真实感物体图形效果;

③ 场地照明所需的灯光模型(没有灯光,世界将一片黑暗)与灯光照射物体时产生的照明与阴影模型。请注意:广义地说,发光体与照相机也是一种具有不同功能的物体,它们也能进行平移与旋转等几何变换,但在计算机图形学中不作特别说明,一般不显示它们的外貌特征;

④ 颜色模型,它约定了光线颜色的描述方法与颜色的变化规律(即色度学);

⑤ 照明模型,它描述了光线照射在物体表面上产生各种反射光、透射光、散射光等光照亮度效果的计算方法;

⑥ 模拟光线传播规律的光线跟踪算法与辐射度算法,这是生成高度真实感三维图形的主要手段之一,但其速度相对较慢;

⑦ 着色算法与消隐算法等。着色算法包括直线生成、凸多边形填充,或凸多边形各顶点亮度不同时,多边形内部各填充点亮度的光滑过渡;消隐算法即显示三维图形时消除隐藏线与隐藏面等效果。这两种算法对三维图形的实时显示非常重要。

显然,这些描述真实感图形效果的所有模型都存在一个建模及模型描述数据向计算机输入、存储、运算处理与输出等使用问题。这种三维图形简称**三维场景图**,其数据文件简称**场景文件**。这些模型应用时,最复杂的是物体的几何模型的构建。因为计算机图形学中这些模型与算法都是运用物理与数学知识建立起来的,故学好物理与数学知识是研究计算机图形学的基础;可见,计算机图形学属于计算机应用学科(用建模仿真的思想与方法来解决实际应用问题是一般应用软件开发的基本原则),这与构建于离散数学与数理逻辑上的计算机科学所讨论的计算理论和计算机系统软件设计理论等略有不同。

多年来,计算机图形学之所以能得到迅猛发展,得益于 CAD、三维动画、三维实时游戏、三维实时图形软件包(即图形标准或图形显示卡功能)在商业上的成功应用,以及各行各业应用软件的数据可视化的需求等。现在,计算机系统软件如 Windows Vista(借鉴物理概念)上也用三维可视化的方法来管理计算机的磁盘文件等,可见计算机图形学在计算机系统软件上也有美好的应用前景。

本书的三维图形学部分主要向读者介绍计算机图形学中的上述计算模型如何建立,而二维图形学以图形系统为例,主要向初学者介绍一个计算机图形应用系统软件构成的基本方法。请注意,要开发图形软件,只有拥有图形系统软件平台之后,才能全面地把上述各种模型用于生成三维真实感图形。本质上,计算机三维动画软件系统就是一个计算机仿真系统,因为它需要在计算机图形系统软件中,利用上述多种模型来仿真光线在多个物体之间的相互传播以确定景物表面上每点的色彩与亮度,这样才能最终在显示器中生成所需的三维图像;且模型精度越高,其渲染图片效果的真实感越好。当场景中的多个物体运动或变形之后(这也是一个运动仿真过程),该系统就能生成具有动画效果的多帧真实感三维图像,这也是很多最初学习计算机图形学的人员后转身投入各行各业/system仿真的原因。

从理论上说,只要把上述计算机图形学中的物体模型描述数据(点、线、面、体、场,材质,纹理等)替换成各种应用领域的事务数据或各行业的理论模型数据并更换其数据处理方法,计算机图形系统应用就变成了其他具体的应用程序,并能实现其数据的可视化工作(通过调用图形标准实现)。显然,像这种计算机应用软件的开发具有极大的发展空间,它与计算机系统软件的开发都是计算机软件专业重要的研究领域。所以,计算机图形学对于计算机专业的读者是非常重要并应全面掌握的基础知识。

三维实时图形软件包(如 OpenGL, Direct3D 等)是上述多种模型(无物体模型)研究的成功应用,它把整个模型程序的功能固化在图形显示卡中,用户只要向这些图形软件包定义物体的几何模型数据、物体表面的材质特性参数、物体表面的纹理参数,照相机模型参数,灯光参数等,就能获得需要的实时三维真实感图形(但图形软件包不负责上述所有模型数据的构建,这是应用程序的任务)。因此,有了三维图形软件包,显示三维图形、实现应用软件(如 CAD、三维动画、三维游戏等)的数据可视化就是一件简单的事。由此可知,图形软件包是计算机图形学研究的重要应用之一,是整个应用软件的支撑软件之一。