

面向 **21** 世纪

高等学校计算机类专业系列教材

计算机图形学

——图形的计算与显示原理

柳朝阳 周小平 编 著
许社教 主 审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校系列教材

计算机图形学

——图形的计算与显示原理

柳朝阳 周晓平 编著

许社教 主审

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书从计算机与人对图形理解的差异入手,介绍了计算机处理图形的基本概念和方法,讨论了点阵图形的基本算法、图形的几何变换及矩阵表示、图形的裁剪算法,并介绍了现在广泛应用的图形交互技术与以此为基础的用户界面设计方法,还从几何直观入手导入了计算机图形学中的曲线、曲面设计理论和几何造型方法,探讨了三维图形的消隐及真实感图形的生成技术以及计算机动画技术。

本书是在作者教学讲义的基础上参考国内外的相关教材编写的,每章后面都附有适量的练习题,可帮助读者在学习中巩固各章节的内容。

对本书相关章节作适当取舍后可用作高等院校本科生、研究生教材,也适合对计算机图形技术感兴趣者自学。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学:图形的计算与显示原理/柳朝阳,周晓平编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2005.1

(面向21世纪高等学校系列教材)

ISBN 7-5606-1466-3

I. 计… II. ①柳… ②周… 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(2004)第 109881 号

策 划 马乐惠

责任编辑 阎 彬 马乐惠

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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20.25

字 数 481千字

印 数 1~4000册

定 价 22.00元

ISBN 7-5606-1466-3/TP·0780(课)

XDUP 1737001-1

* * * 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。

前 言

计算机图形学是随着计算机技术在图形处理领域中的应用而发展起来的新兴学科，主要研究用计算机及其图形设备对图形进行数学模型化生成、表示和变换及其输入/输出的原理和算法。

计算机图形技术已渗透到各行各业，在经济建设的各个领域发挥着越来越大的作用。计算机图形技术也受到越来越多的工程技术人员和科技工作者的关注。因此，我国众多高等院校各类专业均开设了“计算机图形学”课程。作者长期从事计算机辅助几何设计、计算机图形学的研究和教学工作，并编写了讲义。本书就是在原讲义的基础上，根据计算机图形学的发展，总结教学实践和研究经验，并参考国内外最新版本的资料编写而成的。本书每章后面都附有适量的练习题，以帮助读者在学习过程中巩固所学内容。

与很多同类书籍比较，本书具有如下特点：

(1) 突出原理，减少不必要的内容。目前的计算机图形学书籍大多附有直接与图形输入/输出有关的设备原理的简单介绍，如对显示器、绘图仪以及现在日渐普及的扫描仪、数字照相机等的介绍。随着计算机技术的迅速发展和快速普及，计算机图形输入/输出设备的种类越来越多，功能越来越复杂，但也越来越完善，因此其使用也越来越简单、方便。作为一本讲述计算机图形学原理的书，没有必要，也不可能对其一一介绍。基于这一考虑，本书略去了同类书籍中介绍计算机图形输入/输出设备的内容，代之以对计算机图形中点阵图形和向量图形构成方式的介绍，以便让读者了解计算机是如何理解图形的，以及与人对图形的理解的差异，帮助读者更好地了解计算机图形学的理论和方法。对于想了解图形设备原理及使用方法的读者，可参阅相关的专业书籍和设备使用手册。

(2) 根据计算机图形学的特点进行描述。人对物体图形的观察直接依赖于对物体的实物或相应模型给出的几何外形的观察，而计算机则不然。计算机本质上处理的是数据符号，它处理图形、图像信息也是如此，只不过是利用计算机强大的数据处理能力及图形输入/输出设备，把抽象的数据符号信息转换成人们更容易接受的图形、图像信息而已。总之，计算机处理图形、图像时离不开图形、图像信息的数据化。图形、图像信息的数据化依赖于物体建立在坐标系基础上的数学模型(如物体几何形态的数学描述，也就是表现物体几何形态的曲线、曲面)，依赖于相关的数学理论。为了方便理解这些内容，本书从直观描述曲线、曲面入手，推导其数学公式，而不是一上来就给出其数学公式，然

后推导其几何特性，证明其适合于描述物体的几何外形。

(3) 涉及动态图形、图像的生成技术。动态图形、图像的生成技术有着越来越广泛和重要的应用，比如在娱乐方面的动画和电子游戏，在科学研究和工作实践中的动态仿真和虚拟现实技术。这些技术和方法当然是基于静态图形、图像而生成的，但也有着不同于静态图形、图像的方法和思路。考虑到动态图形、图像的生成技术的重要性，我们单独列出一章，介绍计算机动态图形、图像生成的一些思路和基本方法。

(4) 提供可下载的、能实现各种算法的代码程序。计算机图形学涉及到计算机处理图形、图像的算法，自己动手编程对正确理解、熟悉和掌握计算机图形学的内容大有益处。书中有部分算法的解释描述性伪代码程序。具体的程序实现依赖于读者自己对计算机编程知识的掌握程度。较复杂的图形处理程序当然最好是用 C、C++ 语言，甚至用 OpenGL 的许多现成的功能实现。简单的基本程序用 Basic 语言也可以实现。可视化编程语言操作直观，但操作说明叙述起来篇幅较长。考虑到目前介绍各种语言的书籍比较多，我们对任何编程语言都不加说明，但在网站上放置了 Visual C++ 代码程序供读者下载(下载地址：<http://www2.zzu.edu.cn/math/LcyComputerGraphicsCode.htm>)。为方便读者，我们今后还将推出 Visual Basic 代码程序供读者下载。

我们提供的源代码程序是由初学者而不是由经验丰富的程序员设计的。这些程序可能不是最好的，但功能完整。

对本书相关章节作适当取舍后可用作高等院校本科生、研究生教材。本书也适合对计算机图形技术感兴趣者自学。

西安电子科技大学的许社教老师主审了本书，并提出了许多宝贵意见，作者在此表示感谢。

计算机图形学正处于不断发展变化之中，而且作者个人的学识也有限，因此，书中难免有错漏之处。我们真诚欢迎读者批评指正。

作 者

2004 年 11 月

目 录

第 1 章 计算机图形学介绍	1	习题	24
1.1 计算机图形学的发展	1		
1.2 计算机图形学的应用	2	第 3 章 点阵图形的基本算法	25
1.2.1 计算机辅助设计与制造	2	3.1 基本图形的点阵转换	25
1.2.2 科学计算可视化	3	3.2 直线点阵转换算法	26
1.2.3 真实感图形绘制	3	3.2.1 描绘线条图形的要求	26
1.2.4 计算机动画	3	3.2.2 增量 DDA 算法	28
1.2.5 计算机辅助教学	4	3.2.3 Bresenham 直线算法	30
1.2.6 计算机艺术	4	3.3 圆的点阵图形扫描转换算法	33
1.2.7 办公自动化和电子出版技术	5	3.3.1 一般方法	33
1.2.8 医疗诊断	5	3.3.2 Bresenham 圆弧算法	35
1.2.9 人机接口	5	3.4 椭圆点阵图形扫描转换算法	38
1.2.10 虚拟现实	6	3.4.1 椭圆弧正负算法	38
		3.4.2 椭圆弧中点算法	39
第 2 章 计算机图形的构成		3.5 多项式曲线的算法	42
及其表示	7	3.5.1 多项式函数的算法	42
2.1 点阵图形及其表示	7	3.5.2 三次多项式函数的差分算法	42
2.1.1 点阵图形的大小	7	习题	44
2.1.2 像素点的形状	7		
2.1.3 像素点的颜色表示	8	第 4 章 区域填充	46
2.1.4 像素点的位置	9	4.1 区域的连通方式和分类	46
2.2 点阵图形及相应文件的构成	9	4.1.1 区域的连通方式	46
2.2.1 点阵图形的坐标系统	10	4.1.2 区域的分类	47
2.2.2 点阵图形的精度及相关问题	11	4.2 区域逐点递归填充算法	47
2.2.3 BMP 图形文件的结构	11	4.2.1 注入填充区域算法	47
2.3 向量图形及其表示	17	4.2.2 边界填充算法	48
2.3.1 向量图形的表示	17	4.3 区域扫描线递归填充算法	49
2.3.2 向量图形的颜色	17	4.3.1 种子点扫描线填充算法	49
2.3.3 向量图形 DXF 格式文件的		4.3.2 压入区段端点的	
构成	18	扫描线填充算法	50
2.4 点阵图形和向量图形的特点	19	4.4 多边形区域填充算法	52
2.4.1 图形的整体放大	19	4.4.1 扫描线上像素点的连贯性	52
2.4.2 图形的缩小	20	4.4.2 不同扫描线与边的交点在边上的	
2.4.3 图形的局部放大	21	连贯性	54
2.4.4 点阵图形与向量图形		4.4.3 扫描线算法的处理步骤	56
及其相互间的转换	22	4.5 图案填充	56
		4.5.1 像素图案填充	57

4.5.2	位图图案填充	58	第 6 章	图形裁剪	113
4.5.3	扫描转换后填充图案	59	6.1	二维裁剪概念	113
4.6	有宽度和线型的线条	59	6.1.1	点的裁剪	113
4.6.1	线条的宽度处理	59	6.1.2	直线段的裁剪	114
4.6.2	线型的处理方法	63	6.2	直线段的裁剪算法	115
习题		64	6.2.1	Cohen - Sutherland	115
第 5 章	图形变换	66	6.2.2	中点分割算法	117
5.1	二维图形的基本变换	66	6.2.3	梁友栋 - Barsky 算法	118
5.1.1	平移变换	66	6.2.4	Nicholl - Lee - Nicholl 算法	120
5.1.2	比例变换	68	6.3	凸多边形内直线段的裁剪算法	122
5.1.3	旋转变换	69	6.3.1	Cyrus - Beck 算法思路	123
5.2	齐次坐标与基本变换的矩阵表示	70	6.3.2	Cyrus - Beck 算法的交点求解	123
5.2.1	齐次坐标的概念	70	6.4	多边形逐边裁剪法	125
5.2.2	基本变换通过齐次坐标的 矩阵表示	71	6.5	多边形窗口的双边裁剪法	128
5.3	其它常用的基本变换及其矩阵表示	73	6.6	文本裁剪	130
5.3.1	对称变换	73	6.6.1	文本的字符串裁剪法	131
5.3.2	错切变换	75	6.6.2	文本的字符裁剪法	131
5.3.3	复合变换	76	6.6.3	文本的笔划裁剪法	132
5.3.4	基本变换的一些性质	78	6.7	三维裁剪	132
5.3.5	坐标系变换	78	6.7.1	平行投影三维线段的编码裁剪	132
5.4	窗口间的视见变换	81	6.7.2	透视投影三维线段的编码裁剪	133
5.4.1	图形表示中的坐标系	81	习题		134
5.4.2	视见变换及其表示	83	第 7 章	图形交互技术和 用户界面设计	136
5.5	三维图形的变换	84	7.1	逻辑输入设备	136
5.5.1	三维图形的基本变换	84	7.1.1	定位设备	137
5.5.2	三维复合变换	87	7.1.2	笔划设备	137
5.5.3	坐标系变换	90	7.1.3	字符串设备	138
5.6	三维投影变换	94	7.1.4	定值设备	138
5.6.1	三维投影变换的概念	94	7.1.5	选择设备	138
5.6.2	平行投影	95	7.1.6	拾取设备	139
5.6.3	透视投影	100	7.2	逻辑设备输入模式	139
5.6.4	观察坐标系与观察变换	103	7.2.1	请求模式	139
5.7	三维变换矩阵性质	105	7.2.2	取样模式	140
5.7.1	三维变换矩阵的参数含义	105	7.2.3	事件模式	140
5.7.2	三维基本变换的一些性质	105	7.2.4	各种模式的并行使用及初始化	141
5.8	三维观察窗口及可视变换	106	7.3	交互式图形设计方法	141
5.8.1	三维观察空间概念	106	7.3.1	基本图形拾取方法	141
5.8.2	规范化的观察体及其坐标系	107	7.3.2	基本的定位、取值方法	144
5.8.3	观察体的规范化变换	108	7.3.3	选择任务技术	147
5.8.4	三维观察流程	110	7.3.4	交互式构图技术	150
习题		111			

7.4 交互设计技术图形用户界面	152	8.7.4 整圆及椭圆的 NURBS 表示	203
7.4.1 交互式图形用户界面的 设计方法	153	习题	205
7.4.2 交互式图形用户界面的 整体构成	156		
习题	157		
第 8 章 计算机图形中曲线的		第 9 章 计算机图形中曲面的	
设计理论	158	设计理论	207
8.1 与曲线、曲面有关的基本概念	158	9.1 插值边界线的孔斯曲面	207
8.1.1 曲线、曲面的表示方法	158	9.1.1 双线性孔斯曲面	207
8.1.2 插值与逼近	161	9.1.2 双三次孔斯曲面	209
8.1.3 曲线、曲面描述方法的发展	162	9.2 双线性与双三次参数曲面	214
8.2 折线段曲线	163	9.2.1 双线性参数曲面定义及其表示	214
8.3 参数三次曲线	165	9.2.2 双三次参数曲面定义及其表示	214
8.3.1 参数三次曲线的表示	165	9.2.3 双三次参数曲面的其它形式	216
8.3.2 参数三次曲线的其它 表示形式	167	9.2.4 常用曲面的参数形式	218
8.3.3 参数三次曲线参数值域的变换	169	9.3 Bézier 曲面	221
8.3.4 二阶连续的参数三次 样条插值曲线	169	9.3.1 Bézier 曲面片的定义	221
8.4 参数曲线的几何性质	173	9.3.2 Bézier 曲面片的性质	222
8.4.1 参数三次曲线的几何形状	173	9.3.3 双三次 Bézier 曲面	222
8.4.2 参数连续性与几何连续性	174	9.4 B-样条曲面	223
8.5 Bézier 曲线	176	9.4.1 B-样条曲面片的定义	223
8.5.1 Bézier 曲线的 de Casteljau 定义	176	9.4.2 双三次均匀 B-样条 曲面片公式	224
8.5.2 Bézier 曲线的性质	178	9.4.3 B-样条曲面片的优点	225
8.5.3 三次 Bézier 曲线	181	9.5 非均匀有理 B-样条曲面	225
8.6 B-样条曲线	184	9.5.1 NURBS 曲面的定义	225
8.6.1 B-样条曲线的定义	184	9.5.2 NURBS 曲面表示的旋转面	227
8.6.2 B-样条曲线的性质	187	9.6 三角域上的 Bézier 曲面	228
8.6.3 常用的 B-样条曲线的类型	190	9.6.1 三角域内的重心坐标	228
8.6.4 均匀 B-样条曲线	192	9.6.2 三角域上的 Beinstein 函数	230
8.6.5 三次均匀 B-样条曲线	193	9.6.3 三角域上的 Bézier 曲面	231
8.6.6 准均匀 B-样条曲线	195	9.6.4 三角域上的 Bézier 曲面的 方向导向量	232
8.6.7 一般的 B-样条曲线	197	9.6.5 三角域上的 Bézier 曲面的性质	233
8.6.8 插值三次 B-样条曲线	198	习题	235
8.7 非均匀有理 B-样条曲线	200		
8.7.1 非均匀有理 B-样条曲线	201	第 10 章 计算机图形学的	
8.7.2 有理 Bézier 曲线	202	几何造型技术	237
8.7.3 二次有理 Bézier 曲线与 二次曲线	202	10.1 三维欧氏几何实体造型方法	237
		10.1.1 基本三维欧氏几何实体描述	237
		10.1.2 由三维欧氏几何实体表示的 数据结构	238
		10.1.3 三维欧氏几何实体的 体表示法	239

10.1.4	三维欧氏几何实体的 面表示法	241	12.5.1	整体光照模型	289
10.1.5	三维欧氏几何实体的 线表示法	243	12.5.2	光线追踪算法原理	290
10.1.6	三维欧氏几何实体的 点表示法	245	12.5.3	提高光线追踪算法的效率	291
10.2	分形几何方法	246	12.5.4	光线跟踪的反走样	292
10.2.1	分形生成过程及其特点	247	12.6	阴影处理	294
10.2.2	离散及随机分形图的生成	249	12.7	纹理映射	295
10.2.3	复数变换函数生成的 Mandbrot 集 和 Julia 集分形图	250	12.7.1	图案型纹理映射	296
10.2.4	分形图形方法的应用	251	12.7.2	凹凸不平型纹理映射	297
习题		255	习题		298
第 11 章 计算机图形中的消隐处理			第 13 章 计算机图形动画设计		
11.1	单个凸多面体的消隐	256	13.1	动画原理及制作技术	299
11.2	凹多面体的消隐	258	13.1.1	动画原理	299
11.3	线框算法	260	13.1.2	动画的制作	300
11.4	曲面的消隐	262	13.2	计算机动画技术及应用	302
11.4.1	函数曲面的消隐方法	262	13.2.1	计算机动画的概念	302
11.4.2	参数曲面的消隐方法	264	13.2.2	计算机动画技术的分类	303
11.5	α 缓冲器算法	265	13.2.3	人工动画与计算机动画的 比较	304
11.6	画家算法	266	13.3	计算机动画的实现方式	304
11.7	区域细分算法	268	13.3.1	帧动画	304
习题		271	13.3.2	位图传输动画	305
第 12 章 计算机图形中真实感 图形设计			13.3.3	实时动画	305
12.1	光与颜色的基本知识	272	13.3.4	三种实现方式的比较	306
12.1.1	光的明亮程度	273	13.4	画面的动态设计与生成	307
12.1.2	光的颜色及三基色模型	273	13.4.1	运动路径控制法	307
12.1.3	常见的其它颜色模型	276	13.4.2	关节动画法	308
12.2	光的传播规律	280	13.4.3	变形动画法	309
12.2.1	光的来源	280	13.4.4	物体物理机制动画法	310
12.2.2	光传播的计算模型	282	13.5	提高动画质量的几种常用方法	310
12.2.3	各类光传播的计算	283	13.5.1	图形点阵的逻辑运算	310
12.3	一个简单的光照模型	285	13.5.2	减少生成图形的计算量	311
12.4	明暗处理	286	13.5.3	图形页面操作	311
12.4.1	Gouraud 的光强度插值法	287	13.5.4	减少图形闪烁	311
12.4.2	Phong 的法向插值法	288	13.6	计算机辅助卡通动画片的制作	312
12.5	光线追踪法	289	13.6.1	画面输入	312
			13.6.2	动画质量的快速检查	313
			13.6.3	生产管理	313
			13.6.4	中间画面的生成	313
			习题		314
			参考文献		
					316

第 1 章

计算机图形学介绍

1.1 计算机图形学的发展

计算机图形学是随着计算机技术的发展而兴起,且应用日益广泛的新兴学科。计算机图形学主要研究在计算机中如何表示图形以及如何利用计算机对图形进行分析、计算、处理和显示的相关原理与算法。

图形是传递信息的最主要方式之一,具有其它方式无可比拟的直观生动性。当然,其制作也更复杂和昂贵。20 世纪 50 年代,人们就开始了计算机图形学的研究,但当时只是为了在绘图仪和阴极射线管(CRT)屏幕上输出图形。直到 20 世纪 70 年代,计算机图形学方面的技术才开始进入实用化的阶段。但到 20 世纪 80 年代初,计算机图形设备仍然价格高昂、功能简单,因此计算机图形学仍没有获得广泛的应用,也缺乏基于图形的应用软件。进入 20 世纪 90 年代,随着计算机图形设备的发展,计算机图形学的应用范围日益广泛和普及,其功能也有了很大的提高,相应的软件技术及系统越来越成熟。

人们要利用计算机进行工作,首先必须实现与计算机间的信息传递。计算机与人之间的交流界面随着计算机软、硬件的发展而越来越简单、友好,这也反映了计算机图形学的发展变化。人机界面从早期的读卡机及控制板上的开关、指示灯发展到键盘和字符终端,再发展到目前基于键盘、鼠标、光笔等输入设备和显示器上的图形用户界面。这个发展过程正好对应着计算机技术从初级到高级的发展过程。计算机图形学所要研究的问题来源于日常生活和科学,来源于工程技术、艺术、音乐、舞蹈、电影制作等,反过来,它又大大促进了这些领域的发展。

1950 年,作为美国麻省理工学院(MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机显示附件的第一台图形设备诞生了。该显示器用一个类似于示波器的阴极射线管(CRT)来显示一些简单的图形。1958 年,美国 Calcomp 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。在 20 世纪 50 年代,只有电子管计算机,它用机器语言编程,主要应用于科学计算,为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。

1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan 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,首次使用了计算机图形学“Computer Graphics”这个术语,确定了计算机图形学作为一个新的学科分支的独立地位。他在论文中所提出的一些基本概念和技术至今还被广为应用。

20 世纪 70 年代是计算机图形学发展过程中一个重要的历史时期,具有实际应用价值的 CAD 图形系统出现了。1974 年,美国国家标准化局(ANSI)在 ACM SIGGRAPH 的一个“与机器无关的图形技术”的工作会议上,提出了制定有关标准的基本规则。此后,ACM

专门成立了一个图形标准化委员会。该委员会于 1977、1979 年先后制定和修改了“核心图形系统(Core Graphics System)”。ISO 随后又发布了计算机图形接口 CGI(Computer Graphics Interface)、计算机图形元文件标准 CGM(Computer Graphics Metafile)、计算机图形核心系统 GKS(Graphics Kernel System)、面向程序员的层次交互图形标准 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard)等一系列标准。这些标准的制定,使得广泛使用与设备无关的计算机图形软件成为可能,为计算机图形学的推广、应用及资源信息共享起到了重要作用。

20 世纪 80 年代中期以来,超大规模集成电路的发展,使图形学的飞速发展有了实现的物质基础。计算机的运算能力的提高,图形处理速度的加快,使得图形学的各个研究方向得到充分发展,图形学在动画、科学计算可视化、CAD/CAM、影视娱乐等各个领域获得了广泛应用。

1.2 计算机图形学的应用

1.2.1 计算机辅助设计与制造

计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用领域。计算机图形学的主要应用是在设计方面,尤其是在工程和建筑系统,现在几乎所有的产品设计都借助于计算机来完成。将计算机图形处理技术运用于大楼、汽车、飞机、轮船、宇宙飞船、计算机、纺织品以及机械结构和部件、电子线路及器件的设计和制造过程中,可以产生工程和产品相应结构的精确图。更重要的是,对所设计的系统、产品和工程的相关图形可进行人一机交互设计和修改,经过反复的迭代设计后,便可利用结果数据输出零件表、材料单、加工流程和工艺卡,甚至加工数据代码,并制定产品的质量保证计划等,直接由自动加工机器进行加工生产。

在传统的生产方式下,产品的制造依据为图纸和技术规范。二维工程图只是三维几何形状的投影、剖视图等,不方便,不直观,因而使得对产品设计的更改及生产过程管理更加困难。

1964 年,MIT 的 Steven A. Coons 教授提出了被后人称为超限插值的新思想,即通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。同一时期,法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 发展了一套现在被称为 Bézier 曲线、曲面的理论,成功地用于几何外形设计,并开发了用于汽车外形设计的 UNISURF 系统。Coons 方法和 Bézier 方法是计算机辅助几何方面最早的开创性工作,是利用计算机图形学进行 CAD/CAM 应用的数学基础。在美国波音公司 1990 年启动的新型客机设计中,全部设计工作都在计算机图形终端和图形工作站上进行,首次实现了无纸设计。其成功主要归因于以计算机图形学为核心的产品三维建模及绘制技术,由此引发了全球制造业采用产品的数字化设计、制造、加工、管理一体化运行的新机制。

在电子工业中,计算机图形学应用于集成电路、印刷电路板、电子线路和网络分析等方面的优势是十分明显的。大规模和超大规模集成电路版图用手工设计和绘制显得太复杂了,而且实际上是不可能实现的,用计算机图形系统就可以在较短的时间内完成设计和画

图, 并直接进行后续的工艺加工处理。

计算机网络技术的迅速发展和普及, 使得 CAD 技术的潜能得到了最大限度的发挥。现代产品设计是需要综合分散在世界各地的各个相关领域、相关过程、相关技术资源的系统化工程。它要求分散在不同地域的设计团队在合理的组织结构下, 采用群体工作方式协调和综合各自的特长, 并且从设计一开始就考虑产品生命周期的全部因素, 从而达到快速响应市场需求的目的, 设计结果的快速传递才能使异地设计、异地制造、异地装配成为可能。这一切都依赖于在网络环境下进行异地异构系统的协同设计, 从而为企业在市场竞争中赢得宝贵的时间。协同设计的出现使企业生产的时空观发生了根本的变化。

1.2.2 科学计算可视化

科学技术的迅猛发展, 数据量的与日俱增, 使得人们对数据的分析和处理变得越来越困难。人们被淹没在数据的海洋中, 难以筛选出真正有用的数据, 找到数据最本质的特征。但是, 如果能将这些数据以图形方式表示出来, 数据最本质的特征常常就会直观显现出来, 会使问题简化, 并获得解决。

在石油勘探中, 就是通过各种方法探测不同地质结构的坐标数据, 建立数学模型, 并用图形方式重构大范围内的地下地质构造图, 再结合测井的实地采样, 描述油、气藏的位置和数量分布, 确定开采方案的。在天气预报中, 计算机图形也能一目了然地揭示云层外形上的升力分布变化, 显示大气流场中的涡流、湍流等信息。飞机、船舶、汽车等的外形设计, 是依靠给出模型, 进行大量的风洞和水槽试验来验证其物理性能的。所有这些方面, 都是根据流体动力学原理进行计算的, 而计算产生的数据量极其庞大, 分析其中蕴含的物理本质及其变化规律是一件十分困难的工作, 但现在可以在计算机上通过模拟图形进行模拟试验了。

将图形与图像技术应用于科学计算是一个新的领域, 提供了理解和掌握海量的计算和测量数据中所蕴含的自然、物理现象及其规律的新手段。

1.2.3 真实感图形绘制

在计算机中模拟、重现真实世界场景的过程叫做真实感图形绘制。真实感图形绘制的主要任务是模拟真实物体的某些物理属性, 如物体的几何形状、光学性质、表面的纹理和粗糙程度, 以及物体间的相对位置、前后遮挡关系等。

真实感图形绘制的复杂程度不仅取决于模拟对象的几何形状的复杂性, 也取决于模拟对象其它物理特性如光照效果和表面属性的复杂性。基于光学理论的物体的光照模型比较复杂, 因此根据对要模拟光照效果要求的不同, 计算机图形学中提出了许多不同类型的光照模型。真实感图形绘制已经从最初绘制简单的室内场景发展到现在模拟野外自然景物, 比如绘制山、水、云、树、火等。人们提出了多种方法来绘制这些自然景物, 比如绘制特殊山水和植物的分形方法, 绘制火和草的粒子系统方法, 基于生理模型的绘制植物的方法, 绘制云的细胞自动机方法等。

1.2.4 计算机动画

计算机动画源于传统的卡通片: 连续播放多幅静止的画面。由于画面的复杂性, 对需

要快速产生大量图形的动画而言,早期的计算机运算速度太低了。随着计算机硬件的不断发展,计算机动画也变得越来越容易实现了。

早期的计算机动画的生成方法也类似于卡通片的生成。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”,每一帧都是对前一帧做一小部分修改后获得的。连续播放时两个关键帧就被有机地结合起来,整个场景就动起来了。在制作动画片时,相邻图片之间往往区别较小,用人工来完成就不得不做大量重复性的工作。而用计算机来完成时,这些重复性的资料可存储在计算机内,需要时直接调出来,再在其基础上进行改动或利用图形学中窗口、旋转等功能,对图像的比例和角度进行调整。这样就可以既准确又轻松地解决人工绘图时的重复性问题,从而大大提高工作效率。用计算机图形学的方法产生的动画形象逼真、生动。尤其在使用高分辨率显示器的情况下,画面具有很好的欣赏效果。并且更为重要的是,用这种方法制作动画片的成本较低。

现在,计算机动画的内容丰富多彩,也有不同于手工生成卡通动画的生成方法。如基于物理模型的计算机动画生成就是一种新的方法。该方法大量运用动画中对象的真实物理模型的运动变化规律进行科学计算,力求使动画过程体现出最适合真实世界的运动规律。然而要达到绝对真实的运动是很难的,比如人的行走或跑步是全身的各个关节协调的结果,要实现很自然的人走路动画,计算方程非常复杂,计算量极大。

计算机动画中绝对的真实也不是必不可少的,很多情况下只需要艺术的真实即可。20世纪90年代,Disney公司每年都推出一部制作精美的卡通动画片;好莱坞的大片屡屡大量运用计算机生成各种各样精彩绝伦的动画特技效果;广告设计、电脑游戏也频频运用计算机动画。这些都是计算机动画辉煌的应用。计算机动画也因这些商业应用的大力推动而有了极大的发展。

1.2.5 计算机辅助教学

计算机图形学已广泛应用于计算机辅助教学系统中,它可以使教学过程形象直观、生动,极大地提高学生的学习兴趣和教学效果。如计算机生成的物理模型常用作教学的辅助工具,帮助学生理解实际对象,特别是用肉眼无法观察的微观世界的变化规律可以很容易地被展现出来。计算机辅助教学系统利用图形显示设备或电视终端可以生动地演示出数学、物理、化学、生物、外语等教学内容,并让学生通过人一机交互手段参与其中,有助于直观理解和掌握所学知识,提高学生的学习兴趣和兴趣。

1.2.6 计算机艺术

计算机图形学也被广泛应用于图画艺术品的制作,如各种图案、花纹、工艺外形设计及传统的油画、中国国画和书法等,当然也包括广告、动画片和电视电影等的艺术制作。因此,计算机图形学在艺术领域中的应用成效也越来越显著。除此之外,计算机图形学还开创了在创作艺术和商品艺术方面全新的生成方法。例如,通过用不同的颜色按照一系列数学函数可以产生变化无穷、令人眼花缭乱的各种抽象图形。采用具有各种不同笔型的绘图仪可以绘制出另类艺术设计图,如人物头像等各种造型,图形画法细腻逼真。借助于计算机图形技术,艺术家可以利用一种称为“画笔(Paintbrush)”的作图程序在屏幕上创作图形画面,也可以利用图形输入板作图绘画。计算机不仅可以绘制动画片中的景象,还可以

用来生成各种艺术模型和景物,如山水风景、花草树木和动物图案等。此外,图形程序已使美术人员,尤其是商业艺术人员都可以使用计算机从事艺术创作。可用于美术创作的软件很多,如二维平面的画笔程序(如 CorelDraw, Photoshop 和 PaintShop)、专门的图表绘制软件(如 Visio)、三维建模和渲染软件包(如 3D MAX 和 Maya)以及一些专门生成动画的软件(如 Alias 和 Softimage)等。这些软件不仅提供多种风格的画笔画刷,而且提供丰富多彩的纹理贴图,甚至能对图像进行雾化、变形等操作。很多功能是一个传统的艺术家难以实现,也难以想像的,但却可以由计算机轻轻松松实现。

当然,传统艺术的一些效果也是目前的计算机绘图方法所不能达到的,如毛笔书法的效果以及在传统绘画中许多画家个人风格化的效果。排除画家心理因素之外,个人风格还表现为握笔的方式,手指、手臂用力的方式等,这些因素影响到笔端的受力情况,再影响到笔端与画布的接触,颜料的流畅等最终的效果,所以研究起来有很大难度。

1.2.7 办公自动化和电子出版技术

计算机图形显示技术使得图文并茂的电子排版制版系统成为可能,并代替了传统的铅字排版。这可以称得上是印刷史上的一次革命,彻底改变了印刷排版给人的沉重、缓慢的感觉。这项技术在办公自动化和事物处理中的应用,加速了信息数据的交换速度,有助于有效表达数据之间的相互关系,因此有利于人们及时作出正确的决策。随着图、文、声相结合的多媒体技术的发展,可视电话、电视会议以及文字、图表等的编辑和传播手段正在家庭、办公室普及,进而改变传统的办公、家庭生活方式。

1.2.8 医疗诊断

计算机图形显示技术的发展,使得计算机医学图像在临床诊断和治疗中起着越来越广泛、越来越重要的作用。静态的医学图像主要包括 X 射线图像、计算机断层扫描(CT)图像、超声波图像、放射性同位素(RT)图像、体表图像、显微图像等,它们描述了人体的内部组织结构。动态的医学图像有单光子辐射断层摄像(SPECT)以及正电子放射层析成像(PET)等,它们描述了人体的生理变化过程(如器官新陈代谢、脑神经活动等)。

计算机图形学和图像处理技术也使得我们可以进行人体组织器官的三维建模,并研究其物理功能,模拟实际手术过程,试验手术位置,实现计算机辅助手术。以计算机图形学的可视化技术为基础的三维重建依据平面的 CT 及核磁共振(MRI)数据,构建数学模型,生成机械人在人体内漫游的图像,使得医生能够看到并准确地判别病人体内的患处,然后通过碰撞检测的技术实现手术效果的反馈,帮助医生成功地完成手术。这项技术和计算机网络技术相结合,就使得远程手术成为可能。但目前这项技术还远未成熟,离实用还有一定的距离,主要原因是生成人体内漫游图像的三维体绘制技术远未达到自动实时的要求。

1.2.9 人机接口

未来计算机系统的特点主要以人为主体的,机器围着人转,实现人机的高效合作。新一代的人机界面希望能够实现三维、非精确和隐含的人机交互,实现多通道界面,允许用户通过不同的肢体语言如语音、手势、身体语言等与计算机通信。三维输入工具则包括数据手套、操纵杆、三维鼠标等。例如数据手套就是利用光导纤维受弯折后光导特性发生变化

的原理，通过手指的伸缩来更加直观地传达操作命令的。

人机接口是人机信息交互的窗口。如今在任何一台普通计算机上都可以看到计算机图形学在用户接口方面的应用。在 DOS 操作系统下，编写一个友好的用户界面要花费大量的劳动，软件中有大部分的程序是用来处理与用户接口有关的问题的，计算机的易用性也很差。进入 20 世纪 80 年代后，苹果公司图形化操作系统 XWindow 系统面世了，微软公司 Windows 操作系统也开始普及，这标志着图形学已经全面融入了计算机的方方面面。操作系统和应用软件中的图形、动画比比皆是，这使得大量的应用软件几乎可以不用看任何说明书，而仅仅根据它的图形或动画界面的指示就可以进行操作，极大地提高了软件的直观性和易用性。

1.2.10 虚拟现实

虚拟现实(Virtual Reality, 简称为 VR)技术利用计算机产生一种模拟的实时三维空间环境，并通过多种传感设备使用户进入到该环境中，产生一种身临其境的感觉，从而达到用户与虚拟环境进行交互的目的。一般的图形游戏和动画使参与者仅仅能够被动地看到或听到图形游戏和动画要表达的效果，而虚拟现实技术则可以使参与者能感觉到实际应达到的效果，并主动参与其中。比如飞行员或航天员一开始就驾驶真正的飞行器进行训练，不仅危险、成本高，有时也是无法实现的，这时就有必要先在模拟的驾驶舱中进行训练。随着显示器技术、图形加速技术以及多媒体技术的发展，虚拟现实技术已在航空航天、建筑、医疗、娱乐、教育等领域得到了广泛的应用。

第2章

计算机图形的构成及其表示

计算机中的相关信息都以文件格式存放,由计算机生成的图形信息也不例外。计算机中的各种类型的图形可以来自于千差万别的图形输入,或者称图形生成设备,如绘图仪、扫描仪、数字照相机、数字摄像机等。每种设备都有自己的工作原理和操作方法,但最终都形成一个计算机图形文件,再由计算机程序在需要时通过输出设备如显示器和打印机,展现在我们面前。本章我们首先分析图形的结构特点,了解计算机表示的图形的文件格式,并由此了解不同格式的计算机图形文件的特点,正确理解计算机处理的图形与我们通常处理的图形的不同点。

2.1 点阵图形及其表示

最直接地,我们可以从显示器上看到计算机产生的图形。显示器的屏幕由可以发光的像素点组成,并且从几何位置看,所用这些像素点构成一个矩形的阵列。利用计算机控制各像素点按指定的要求发光,就构成了我们需要的图形。用这种方式构成的图形称为点阵图形。要让各像素点按指定的要求发光,需要使用各种各样的计算机图形生成软件或通过计算机语言编程来实现。像素点的实际发光则是通过电子学与光电学的技术实现的,不属于本书的范围。我们首先需明白的是像素点的形状、位置及其发出的光,然后才能正确地控制它们,构成我们需要的计算机图形。

2.1.1 点阵图形的大小

显示器最常用的参数之一是其分辨率,其值通常为 800×600 , 1024×800 或 640×480 。这实际上指的是全屏幕显示的点阵图形的大小。它们的具体含义是指显示器一行上有 800、1024 或 640 个像素点,一列上有 600、800 或 480 个像素点,全屏幕显示的点阵图形由 800×600 、 1024×800 或 640×480 个像素点构成。而实际的点阵图形可以比全屏幕显示的点阵图形小,也可以比全屏幕显示的点阵图形大。显示器上像素点的排列方式如图 2.1 所示,只是像素点比较小以至肉眼难以分辨。

一般情况下都会明确指出点阵图形每一行有 M 个像素点,每一列有 N 个像素点,并用 $M \times N$ 表示相应的点阵图形的大小。这时共有 N 行 M 列像素点。

2.1.2 像素点的形状

在数学理论中,一个点是只有位置,没有大小的。但无论什么情况下,要表示出一个点,这个点一定是有大小和形状的。只不过在不同的情况下、不同的场合中,这个点的大小和形状有所不同。如果所有的像素点按要求发光或者不发光,点阵图形的几何形状就是

相当于描绘在如图 2.1 所示的一张方格绘图纸上。只不过在显示器上这些方格非常小，用我们的肉眼很难区分。

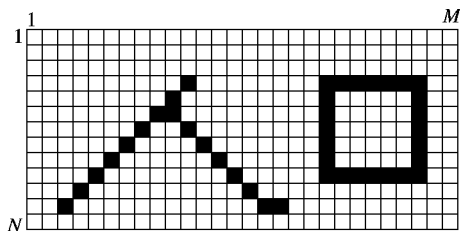


图 2.1 点阵图形像素点及其排列方式

需要指出的是，这些方格可以是矩形，如图 2.2 所示，因此其长宽比不一定是 1。例如，当我们调节计算机显示器的显示区时，可从显示区的长宽比变化中观察到这一变化。这个长宽比在不同的计算机软件系统中也可能不同。同一个点阵图形，当像素点的长宽比改变时，点阵图形的长宽也改变了。

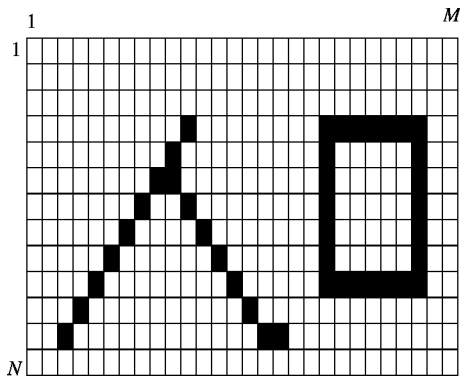


图 2.2 像素点长宽比不同的点阵图形

2.1.3 像素点的颜色表示

从图形的色彩看，黑白图是最简单的图形了。显示器上显示出一幅黑白图图形，就说明了一些像素点黑，另一些像素点白。具体到一个像素点，仅可以是黑或白二者之一。这正好与计算机所用存储器里的最小的存储单元的“位(bit)”类似。存储器里每个位的取值可用关或开来表示。所以黑白图的每个像素点的颜色只占用存储器的一个存储单元就可以了。我们用关或开来表示黑或白。若 1 为开，0 为关，则黑或白就用 0 或 1 来表示。

如果图形由黑、白、灰三种颜色的像素点构成，则用存储单元的一位就无法表示了。这时我们至少需两位来表示。两位可以有 00、01、10、11 四种组合状态，我们可以用 00、11、01 分别表示黑、白、灰三种颜色，这时还剩下一个组合 10 可用来表示一种新的颜色，同时又没有占用更多的存储单元。如果我们这时限定只能显示三种颜色，而不是四种颜色，就没有充分发挥显示器应有的显示潜力，是一种资源的浪费。因此，我们见到的最简单的彩色显示器是四色的，而不是三色的。

如果像素点的颜色用三或四位来表示，则可表示出的颜色数目就是 $2^3=8$ 或 $2^4=16$ ，