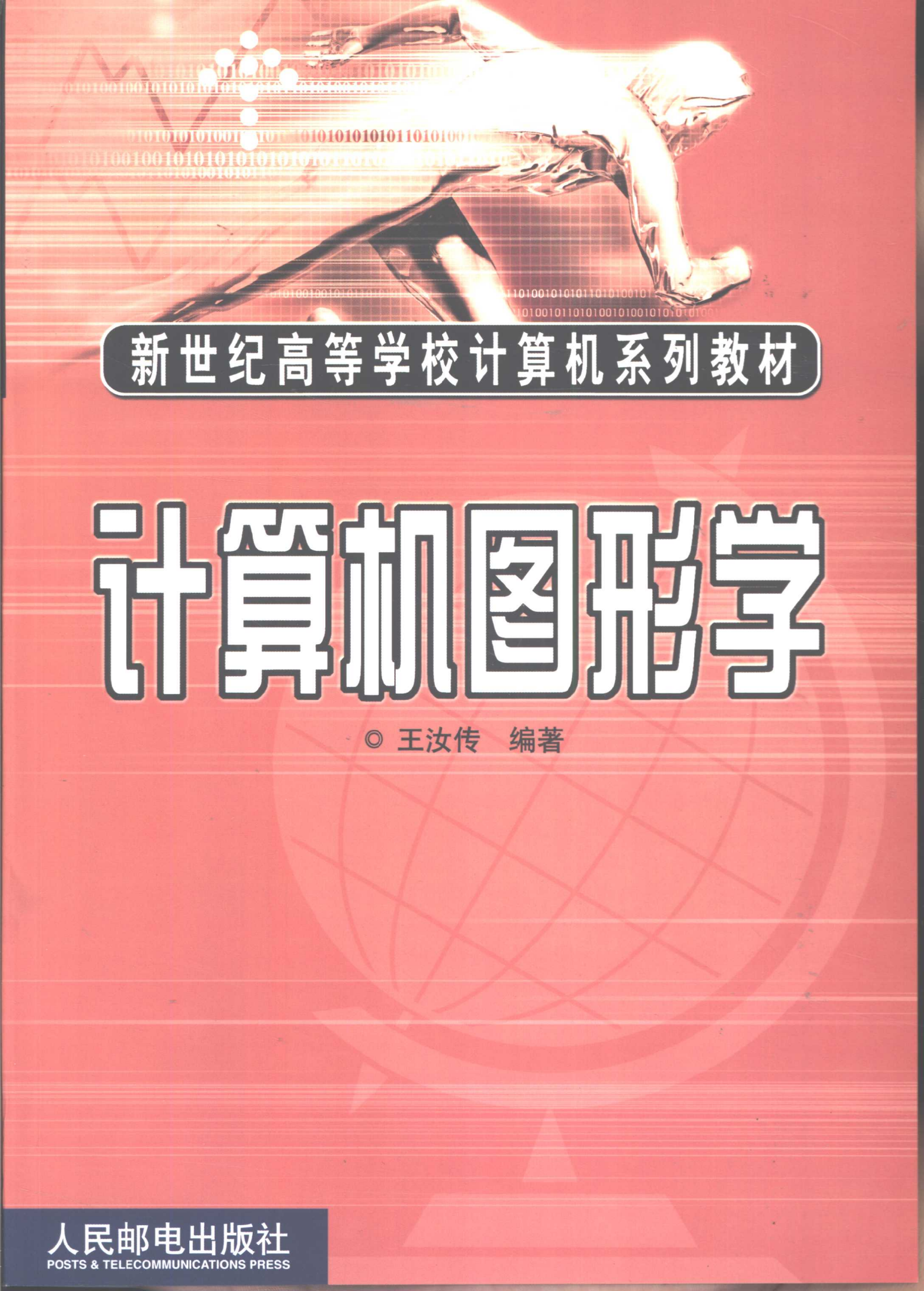




新世纪高等学校计算机系列教材

计算机图形学

◎ 王汝传 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

新世纪高等学校计算机系列教材

计 算 机 图 形 学

王汝传 编著

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学 / 王汝传编著. —北京: 人民邮电出版社, 2002.7

新世纪高等学校计算机系列教材

ISBN 7-115-10327-5

I. 计... II. 王... 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 (2002) 第 045826 号

新世纪高等学校计算机系列教材

计 算 机 图 形 学

- ◆ 编 著 王汝传
责任编辑 邹文波
执行编辑 苗 颖
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20
字数: 476 千字 2002 年 7 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-10327-5/TP · 2892

定价: 26.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书主要介绍了计算机图形技术的原理及其应用，对计算机图形学基本概念、计算机图形系统、C 语言绘图程序设计、二维和三维图形生成和变换技术、图形的裁剪和消隐技术、交互式绘图和真实感图形生成技术等有关知识作了详细而系统的论述。此外，本书还给出了大量图形学方面的应用程序实例。

本书可作为大学计算机专业和其他相关专业的计算机图形学教材，也可供从事计算机图形处理技术人员及其他有关的工程技术人员阅读使用。

Uys 72/03

新世纪高等学校计算机系列教材

编 委 会

主 任：袁开榜

执行副主任：张凤祥

副主任： 杨学良 唐朔飞 朱庆生 王志英 张大方 刘乃琪

吕晓春 李伟华 李茂青 张为群 邓亚平

编 委： 程佩青 陈大正 陈道员 陈 旭 陈文伟 陈志国

傅献祯 韩启明 蒋 伟 汲伟民 林 勇 石建斌

王爱军 王 虹 王汝传 王晓丹 相万让 俞思伟

余勇泉 邹桂章

序

新世纪伊始，以知识经济为主体的信息时代向人们揭示：成为时代宠儿的信息技术人才异常匮乏，正被世界各国相互争夺。据资料介绍，目前全球还缺少软件技术人才 40 余万人，美国每年需要增加 9.5 万名新的电脑专家。在我国，信息技术人才更是奇缺，每年约需补充 20 万名软件技术人才。国家在 35 所重点高校设置示范性软件学院，正好体现了我国奋起直追的战略决策。

为了推动我国计算机教育事业的发展，在美国 ACM/IEEE-CS 于 2001 年 12 月 15 日发布“CC2001 教程”之后，我国全国高等学校计算机教育研究会和中国计算机学会即将公布中国的“CCC2002 计划”之际，全国高等学校计算机教育研究会和全国计算机继续教育研究会，与人民邮电出版社友好协商，本着相互尊重，平等合作，各自发挥自身优势，共同发展的原则，组织出版了这套《新世纪高等学校计算机系列教材》。

这套教材是根据我国高等学校计算机专业(或非计算机专业)当前的课程设置、教学大纲的要求、学时安排及计算机技术的发展趋势而编写的。遴选的作者都是长期在教学第一线执教的教师，他们既有丰富的教学经验，又有出色的科研成果，能够把握教材的深度和实用性，还有较好的前瞻性。

这套教材虽然立足于当前教学的实际情况，但编委会要求作者尽可能参考美国“CC2001 教程”和我国“CCC2002 计划”提出的新思想，融入科技成果上反映的新技术，充分体现出教材的先进性、科学性和实用性，反映出自己的特色，使之成为内容新颖的精品，能和国际教材接轨。

为了保证这套教材的出版质量，全国高等学校计算机教育研究会、全国计算机继续教育研究会以及参加编审的同志们付出了辛勤的劳动，人民邮电出版社的有关领导及编辑们对这套教材的出版给予了有力的支持和鼓励，特对他们致以衷心的感谢。

希望这套教材的问世能为推动我国计算机教育事业的飞速发展，为培养我国面向 21 世纪的科技精英发挥应有的作用。

全国高等学校计算机教育研究会理事长 袁开榜

全国计算机继续教育研究会理事长 张凤祥

二〇〇二年六月五日

前 言

计算机图形技术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技术,是伴随着电子计算机及其外围设备的发展而产生和发展起来的,它是计算机应用学科的一个重要分支。目前,计算机图形技术已渗透到各行各业,在经济建设各个领域起着越来越大的作用。为了适应当前工程设计和工业生产技术的需要,工程技术人员不仅要掌握传统的设计绘图方法,而且还应当学习计算机绘图技术,并熟练掌握计算机辅助设计绘图的方法。计算机图形技术已越来越受到广大科技工作者的关注。本书就是为适应这一形势的需要,在总结作者多年从事计算机图形学的研究、应用和教学实践经验的基础上,参考国内外有关资料编写而成的。本书的目的是为从事或将要从事计算机图形处理和应用工作的工程技术人员、相关专业的教师和学生,提供一本系统地学习和掌握计算机图形技术的实用教材。

全书共 9 章。

第 1 章概述,简要介绍计算机图形学的研究内容、发展、应用和研究方向;

第 2 章计算机图形系统,主要介绍计算机图形系统的构成和功能,计算机图形输入设备和显示器的工作原理,同时还简要介绍了图形核心系统 GKS;

第 3 章 C 语言图形程序设计基础,主要介绍如何用 C 语言进行绘图;

第 4 章二维图形生成和变换技术,主要介绍平面直线、曲线的生成方法,二维图形变换的原理和方法,以及二维图形的裁剪;

第 5 章三维图形生成与变换技术,主要介绍空间自由曲面的生成,三维图形各种变换和裁剪、消隐技术;

第 6 章交互式绘图技术,主要介绍交互式绘图技术的原理及交互式绘图系统的构造方法;

第 7 章真实感图形生成技术,主要介绍如何生成一个真实感图形;

第 8 章几何造型简介,重点介绍实体模型的构造方法;

第 9 章计算机动画技术,主要介绍计算机动画生成的原理和方法。

本书在编写过程中力求做到概念清楚、由浅入深、通俗易懂、论述详尽、实例丰富以及方便自学。全书除介绍计算机图形学的

的基本原理外，还介绍了 C 语言在绘图中的使用方法，使本书内容具有较强的实用性。

中国科学技术大学博士生导师赵保华教授、南京航空航天大学博士生导师秦小麟教授在百忙中，认真细致地审阅了全部书稿，提出了许多有益的修改意见。本书在编写过程中还得到了南京邮电学院计算机科学与技术系主任王绍棣教授及软件教研室全体老师的指导和帮助。研究生辛晨昀、屠翊、刘宜金、孙开翠、卞正皑、严燕、周元福、柯行斌、李映、胡涛、黄良俊等同学为书稿的输入、校对、绘图和程序验证付出了辛勤的劳动。此外，书中还引用了其他同行的工作成果，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，加上作者水平有限，书中错误及不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 1 月于南京

CONTENTS

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机图形学的概念与研究内容	1
1.1.1 什么是计算机图形学	1
1.1.2 图像处理、模式识别与计算机图形学	3
1.1.3 计算机绘图与 CAD/CAM 技术的关系	4
1.1.4 计算机图形学研究的内容	5
1.2 计算机图形学发展概况	6
1.2.1 计算机图形学的发展	6
1.2.2 计算机图形软件的几种类型	7
1.3 计算机图形学特点和应用	8
1.3.1 计算机图形学的特点	8
1.3.2 计算机图形学的应用领域	8
1.4 计算机图形学当前研究的课题	10
习题	11
第 2 章 计算机图形系统	12
2.1 计算机图形系统的组成	12
2.1.1 图形系统的结构	12
2.1.2 图形系统的基本功能及其硬件性能要求	13
2.1.3 图形系统分类及硬件工作平台	14
2.2 计算机图形显示器	16
2.2.1 CRT 显示器工作原理	17
2.2.2 图形显示器的类型	18
2.2.3 显示配置	23
2.2.4 其他显示器	26
2.3 计算机图形输入设备	28
2.3.1 键盘	29

CONTENTS

2.3.2	鼠标	29
2.3.3	光笔	30
2.3.4	数字化仪和图形输入板	30
2.3.5	操纵杆、跟踪球	32
2.3.6	触摸屏	33
2.3.7	图形扫描仪	33
2.4	计算机图形输出设备	33
2.4.1	绘图仪	34
2.4.2	打印机	37
2.5	图形核心系统 (GKS) 简介	38
2.5.1	GKS 的功能	39
2.5.2	GKS 的基本概念	40
2.5.3	GKS 图形输出原语	41
2.5.4	图段	43
2.5.5	GKS 图形输入设备	44
2.6	通用图形软件简介	46
2.6.1	通用图形软件的分类	46
2.6.2	通用图形软件简介	47
	习题	48
第 3 章	C 语言图形程序设计基础	49
3.1	屏幕设置	49
3.1.1	屏幕显示模式与坐标系	49
3.1.2	图形驱动程序与图形模式	50
3.1.3	图形系统初始化和模式控制	52
3.1.4	图形坐标的设置	55
3.1.5	屏幕窗口操作	57
3.2	图形颜色设置	59
3.2.1	颜色的设置	60
3.2.2	调色板	61
3.2.3	获取颜色信息	63
3.3	线的特性设定和填充	65
3.3.1	线的特性设定	65
3.3.2	填充	67
3.4	图形模式下文本处理	68
3.4.1	文本输出函数	68
3.4.2	输出文本的设置	70
3.5	图形存取处理	73
3.5.1	检测所需内存	73

3.5.2	把图形存入内存	74
3.5.3	从内存复制图形到屏幕	74
3.6	常用画图函数简介	75
3.6.1	直线类函数	75
3.6.2	多边形类函数	76
3.6.3	圆弧类函数	76
3.6.4	填充类函数	76
3.7	绘图程序实例	77
	习题	85
第4章	二维图形生成和变换技术	86
4.1	基本绘图元素	87
4.1.1	点	87
4.1.2	直线	88
4.1.3	曲线	88
4.1.4	区域填充	89
4.2	线段的生成	89
4.2.1	逐点比较法	90
4.2.2	数值微分法 (DDA 法)	92
4.2.3	Bresenham 法	93
4.3	曲线的生成	95
4.3.1	圆弧的生成	95
4.3.2	规则曲线的生成	101
4.3.3	自由曲线的生成	105
4.4	区域填充	121
4.4.1	多边形区域填充	121
4.4.2	边填充	124
4.4.3	种子填充	124
4.5	二维图形变换	126
4.5.1	二维图形几何变换的基本原理	127
4.5.2	几何变换的矩阵表示形式	131
4.5.3	二维图形齐次坐标矩阵变换	135
4.5.4	组合变换	139
4.5.5	二维图形变换程序设计	143
4.6	二维图像裁剪	149
4.6.1	窗口区和视图区	150
4.6.2	直线段裁剪	151
4.6.3	多边形裁剪	156
4.6.4	其他类型图形裁剪	159

4.6.5 二维图形裁剪程序设计	159
习题	162
第5章 三维图形生成和变换技术	164
5.1 三维图形的概念	164
5.2 自由曲面的生成	165
5.2.1 空间曲面的参数表示	165
5.2.2 Bezier (贝塞尔) 曲面	166
5.2.3 B 样条曲面	171
5.2.4 Coons (孔斯) 曲面	175
5.3 三维图形变换	179
5.3.1 三维图形几何变换	180
5.3.2 三维图形平行投影变换	189
5.3.3 三维图形透视投影变换	202
5.4 三维图形裁剪和消隐技术	208
5.4.1 三维图形的裁剪	208
5.4.2 三维图形消隐	210
习题	216
第6章 交互式绘图技术	218
6.1 概述	218
6.2 交互式绘图系统	219
6.2.1 交互式绘图系统的组成	219
6.2.2 交互式绘图系统的交互任务	220
6.2.3 交互式绘图系统的设计原则	221
6.3 交互式绘图的交互技术	223
6.3.1 构图技术	223
6.3.2 拾取技术	225
6.3.3 菜单技术	225
6.4 输入控制方式	226
6.4.1 请示输入方式	226
6.4.2 采样输入方式	226
6.4.3 事件输入方式	227
6.5 交互式绘图系统的构造方法	227
6.5.1 界面布置	227
6.5.2 交互式工作方式	228
6.5.3 交互式用户接口的实现	228
习题	234

CONTENTS

第7章 真实感图形生成技术	236
7.1 概述	236
7.2 简单光照模型	237
7.2.1 环境反射光	238
7.2.2 漫反射光	238
7.2.3 镜面反射光	239
7.2.4 Phong 光照模型	240
7.3 明暗处理方法	240
7.3.1 哥罗德 (Gouraud) 强度插值法	241
7.3.2 Phong (冯) 法向插值方法	242
7.4 阴影生成方法	242
7.4.1 自身阴影生成方法	243
7.4.2 投射阴影生成方法	243
7.5 整体光照模型与光线跟踪算法	244
7.5.1 透明性的简单模型	245
7.5.2 整体光照模型	245
7.5.3 光线跟踪算法	246
7.6 纹理处理方法	247
7.6.1 纹理映射	247
7.6.2 扰动映射	249
7.7 图形颜色和颜色模型	250
7.7.1 颜色的性质	250
7.7.2 CIE 色度图	252
7.7.3 颜色模型	255
习题	257
第8章 几何造型简介	259
8.1 概述	259
8.2 几何造型系统的三种模型	260
8.2.1 线框模型	260
8.2.2 表面模型	261
8.2.3 实体模型	263
8.3 实体模型的构造	263
8.3.1 概述	263
8.3.2 边界表示 (B-rep) 法	265
8.3.3 构造实体几何 (CSG) 法	267
8.3.4 扫描 (Sweeping) 法	270
8.3.5 分解表示 (D-rep) 法	271

CONTENTS

习题	274
第9章 计算机动画技术	275
9.1 计算机动画技术概述	275
9.1.1 计算机动画历史与现状	275
9.1.2 传统动画和计算机动画	276
9.1.3 计算机动画的应用	278
9.1.4 计算机动画研究内容和应用前景	278
9.2 计算机动画的分类和原理	280
9.2.1 计算机动画的分类	280
9.2.2 计算机动画原理	283
9.3 计算机动画的生成方法	284
9.3.1 画一擦一画方法	285
9.3.2 异或运算法	285
9.3.3 块动画法	285
9.3.4 多页面切换动画方法	286
9.3.5 图形变换动画方法	286
9.3.6 逐帧动画法	286
9.3.7 函数式动画技术	287
习题	295
附录A 标准显示模式及扩充VGA显示模式	296
附录B Turbo C 2.0的图形函数	298

第 1 章

概 述

1.1 计算机图形学的概念与研究内容

1.1.1 什么是计算机图形学

计算机图形学 (Computer Graphics, 简称 CG) 是计算机应用领域中的一个重要研究方向, 目前尚属一门新兴的学科。计算机绘图技术在科学研究、工程设计和生产实践中得到了广泛的应用。人们在不断解决所提出的各种新问题的同时, 又进一步丰富了这门学科的内容, 推动了这门学科的发展。计算机绘图显著提高了绘图的速度和精确度, 把工程技术人员从繁琐的手工制图中解放出来, 同时由于计算机的快速图形显示可以实现对目标的实时跟踪和控制, 因此, 利用计算机绘图已成为必然的趋势。

简单地讲, 计算机图形学是研究计算机绘图的一门学科。但是这样讲往往容易使人们将计算机图形学与计算机图像处理 (Image Processing) 混淆, 因为这两者输出结果都是图形或图像。因此, 可以对计算机图形学作如下定义: “计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形, 并在专用显示设备上显示的原理、方法和技术的学科”。从这个定义中可以看出, 计算机图形学涉及到 3 个基本部分, 即数据、计算机和显示器。这里的数据可以是由用户给出的原始输入如用以描述图形的几何数据、数学方程等, 或计算机产生的结果, 也可以是来自图形工作站操作者的命令。而显示器则用于将基本对象的视觉表示形式展示在显

示屏幕上，将人们不能感觉到其形态的抽象数据按需要显示成能直接观察到的图形，通过计算机来实现信息的图形表达。我们输入给计算机的信息不是图形本身，而是描述图形的各种数据或者与图形有关的信息，经过计算机系统处理以后，输出结果就是我们所要求的图形，这一过程如图 1.1 所示。

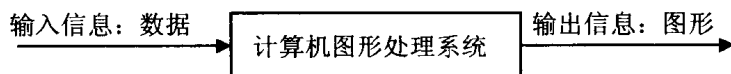


图 1.1 图形处理过程

例如，为了让计算机画一个圆，我们只要输入圆的中心坐标 (x_0, y_0) 和圆的半径 R （它们是描述图形的数据），经过计算机系统处理以后便画出一个圆（图形）。因此我们把完成图 1.1 所示过程的计算机系统称为计算机图形处理系统，简称为图形系统。

由计算机图形系统产生的图形，其表现形式和内容都是十分丰富的。图形表现形式通常有两种，一种是线条式，即线框架图，它是用线段来表现图形，这种图形容易反映客观实体的内部结构，因而适合表示各类工程技术中的结构图，如机械设计中零件结构图、土木设计中房屋结构图以及电路设计中的电路原理图等；另一种是具有面模型、色彩、浓淡和明暗层次效应的、有真实感的图形，这种图形如同我们用照相机拍摄的彩色照片一样，它适合表现客观实体的外形或外貌，如汽车、飞机、轮船等的外形设计以及各种艺术品造型设计等。另外，从图形所在空间来看，可分为二维图形（在平面坐标系中定义的图形）和三维图形（在三维坐标系中定义的图形）。二维图形又叫平面图形，简记为 2D 图形；三维图形又称立体图形，简记为 3D 图形。

同时，对计算机产生的图形还可以自动地进行各种变换，如平移、放大、缩小、旋转等。正是由于计算机产生的图形有以上这些优点，再加上计算机具有高速度的运算功能和大容量的存储能力，使得计算机绘图无论在哪一方面都超过了人工制图，从而使人们认识到计算机图形学在计算机应用领域具有广阔的前景。

计算机图形产生的方法有两种：矢量法和描点法。

1. 矢量法（短折线法）

任何形状的曲线都可以用许多首尾相连的短直线（矢量）逼近。可以在显示屏上先给定一系列坐标点，然后控制电子束在屏幕上按一定顺序扫描，逐个“点亮”邻近两点间的短矢量，从而得到一条近似的曲线。尽管显示器产生的只是一些短直线的线段，但当直线段很短时，连成的曲线看起来还是光滑的。这种图形产生的方法称为随机扫描法或矢量法，如图 1.2 所示。

2. 描点法（相邻像素串接法）

这种方法是把显示屏幕分为有限个可发亮的离散点，每个离散点叫做一个像素，屏幕上由像素点组成的阵列称为光栅。这时，曲线的绘制过程就是将该曲线在光栅上经过的那些像素点串接起来，使它们发亮，所显示的每一曲线都是由一定大小的像素点组成的。当像素点具有多种颜色或多种灰度等级时，便可以显示彩色图形或具有不同灰度的图形。

上述方法采用的是电视光栅扫描法，或称顺序扫描法。电子束按顺序扫遍整个屏幕，但只有在经过与组成图形所在位置最相近的像素时才加以辉亮，从而显示描绘的图形，如图 1.3 所示。



图 1.2 矢量法画图

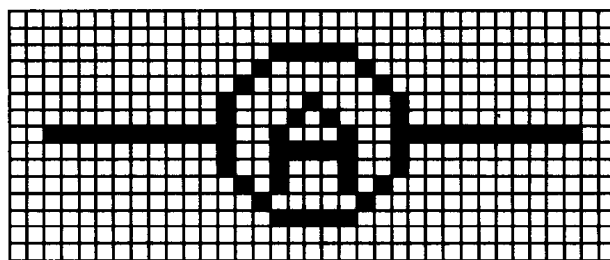


图 1.3 描点法画图

1.1.2 图像处理、模式识别与计算机图形学

图像处理 (Image Processing)、模式识别 (Pattern Recognition) 和计算机图形学 (Computer Graphics) 是计算机应用领域发展的 3 个分支学科, 它们之间有一定的关系和区别。由于这三者有共同的地方, 因而易混淆。它们的共同之处就是计算机所处理的信息都是与图有关的信息, 但实际上它们本质是不同的。这三者之间关系如图 1.4 所示。

图像处理是利用计算机对原来存在物体的映像进行分析处理, 然后再现图像。图像信息经过量化 (数字化) 后输入到计算机中, 按照不同的应用要求, 计算机对图像进行各种各样的分析处理, 如对照片图像扫描抽样、量化、模/数转换后送入计算机, 由计算机进行加工——复原 (使模糊图像清晰)、增强 (突出某些特征) 和图像赋值 (定义图像某部分尺寸形状和位置) 等。其中人们所关心的是如何去除噪声、压缩图像数据以便于进行存储、传输等不同处理。需要时可把加工处理后的图像重新输出, 如工业中射线探伤、人体的 CT 扫描、卫星遥感以及资源勘测等都是图像处理的实例。早期图像处理基本上是二维处理, 而且早已遍及各个领域, 并朝着三维图像生成、立体成像、多种存储传输媒体等方向发展。

模式识别是指计算机对图形信息进行识别和分析描述, 是从图形 (图像) 到描述的表达过程。图形信息输入到计算机后, 先对其特征进行抽取等预处理, 然后利用各种识别技术, 如统计识别技术、句法 (语法) 识别技术以及基于模糊数学的模糊识别技术对图形作出识别, 按照不同应用要求, 由计算机给图形作出分类和描述, 从图像中提取数据模型。如邮件分检设备扫描信件上手写的邮政编码, 并将编码用图像复原成数字。

计算机图形学是研究根据给定的描述 (如数学公式或数据等), 用计算机生成相应的图形、图像, 所生成的图形、图像可以显示在屏幕上、硬拷贝输出或作为数据集存在计算机中的学科。计算机图形学研究的是从数据描述到图形生成的过程。

在计算机图形学中, 图形生成方式有两种, 交互式绘图和被动式绘图。前者允许操作者

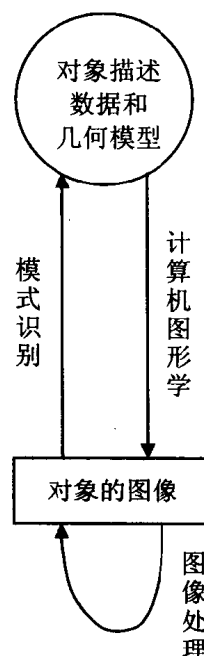


图 1.4 图像处理、模式识别和计算机图形学之间的关系