



高等学校工程创新型「十二五」规划计算机教材

工
程
創
新

Engineering Innovation

计算机图形学

任爱华 谢 淼 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校工程创新型“十二五”规划计算机教材

计算机图形学

任爱华 谢森 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是北京航空航天大学教学研究成果。从计算机应用的角度出发,对计算机图形学的基本概念、原理和方法进行了全面的介绍。全书共分 15 章,内容包括:绪论;常用图形软件简介;基于光栅扫描的二维图元生成算法;图形硬件与图形软件的标准;几何变换;三维视图;三维图形的绘制实践;图形用户界面与交互技术;真实感图形的显示;曲线与曲面;实体建模;计算机动画技术简介;简单图形系统的实现;虚拟现实与可视化技术,以及立体显示技术。书后附录主要介绍图形学中用到的空间矩阵的数学基础以及二维动画系统的程序开发实例。在本书所附光盘中,提供了书中涉及的所有实验用例的演示及讲解、编程实现的全部源代码、设计文档,以及教师讲课用幻灯片 PPT 讲稿。

本书在系统地介绍了图形学的基本原理和方法的基础上,针对图形学的应用特点,在应用层面上为读者提供了广泛的视野;提供学习和掌握对各种图形软件的一般实践方法;为读者今后在图形学专业领域的深入学习打下必要基础。

本书可用作计算机专业的本科生的教材,其内容注重基础性、实用性及先进性,也可供研究生或者应用计算机图形学的科技工作者学习参考。

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 / 任爱华, 谢森编著. — 北京: 电子工业出版社, 2011. 1

高等学校工程创新型“十二五”规划计算机教材

ISBN 978-7-121-12183-8

I. ①计… II. ①任… ②谢… III. ①计算机图形学—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 213668 号

策划编辑: 杨丽娟

责任编辑: 杨丽娟 特约编辑: 黄志余

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 33.5 字数: 858 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 56.00 元(含光盘 1 张)

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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书是计算机图形学精品教材,在重点介绍图形学原理的同时,还利用图形软件包训练学生的编程能力,熟悉和使用交互式图形系统。

图形学的发展迅速,出乎人们的预料,可以说所有的领域都从计算机图形学的发展和应用中获得了巨大的好处。尤其是在电影产业中,已经在商业与艺术效果上成功地使用了计算机三维图形模拟角色的特技,人们很难区分影片中出现的角色是真实的生物还是计算机造型;美国的立体电影“阿凡达”,正是采用立体显示技术的典型示例。拥有立体显示技术的立体电视也许是未来电视产业发展的趋势。在互联网上,图形学的影响也持续激增,图形显示为理解复杂枯燥的信息提供了直观手段,使互联网世界更加丰富多彩。

由于计算机图形在人与计算机之间能建立起直观的形象及高效率的对话手段,所以图形学随着计算机的发展和应用而渗透到各个领域。

通常人们会利用办公软件绘制图表;编辑由数码相机获取的图像;利用数字视频的图像整理家庭照片等。在国际互联网上还可找到免费的相当于计算机图形专业人员所用的三维图形软件,计算机图形系统出现了初级免费软件与昂贵的高端软件两极分化的局面。图形学及其硬件设备的发展不仅使图形学的实际能力得到了提高,而且也降低了图形工作站的成本。

随着图形学的不断发展,图形软件标准不断地更新和完善。从第一个图形国际标准 GKS (Graphical Kernel System) 出现之后,又有 GKS-3D 和 PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) 图形标准相继公布为国际标准 (ISO standard)。特别是 PHIGS 的扩充版 PHIGS+,它不仅包含 PHIGS 全部功能,还增加了曲线、曲面、光源与光线、真实图形显示等功能。PHIGS 与 PHIGS+ 在科学与工程应用中,特别是实时几何图形中被广泛应用。国际图形标准与那些更有效的事实上的标准 (De Facto Standards) 相互补充,这些有效的图形软件有:APPLE 公司的 QuickDraw;工作站上基于 X Window 系统的 Xlib 二维整数型光栅图形包;Silicon Graphics 公司的 OpenGL;另外还有 Pixar 公司的 RenderMan 界面工具,它用于光原理仿真绘制,以及 Adobe System 公司的 PostScript 页描述语言 (PDL),使用向量来产生图形及字形,它用于印刷纸上的页面描述及屏幕映像描述,PostScript 在此领域被其后续版本 Portable Document Format (PDF) 所取代,而对于字体领域也相继被后续实现版本 TrueType 和 OpenType 所取代;在 CAD 领域,Autodesk 公司的 AutoCAD 软件所提供的 .dwg 文件格式是二维绘图设计领域中的事实标准格式。丰富多彩的图形软件,使得用户界面的感观更加真实,三维效果的加入使得在信息的管理、表现、检索上更加方便和形象。

图形学的发展越来越重视在物体的建模和绘制两方面的仿真、动画以及物理过程,从而尽可能真实地表达所建立的物体外观及其行为。由于绘制图形工作不再是瓶颈问题,所以研究人员正在利用人工智能技术来辅助物体模型设计、辅助运动布局设计以及辅助二维、三维图形显示的设计。

今天,图形学的发展如此迅速,作为图形学的教科书也需要周期性地更新与扩充。本书重点介绍了图形学的基础知识和实践,并对当前图形学发展的最新技术也提供了实例介绍。作

为该书的读者,需具备一些高级语言程序设计知识、基本数据结构与算法基础以及具备简单线性代数基础,一些必要的数学基础可参见附录 A。读者可以通过书中组织的单元顺序,从简单的应用基础开始,循序渐进,逐步掌握图形学中一些较高深的内容。

本书第 1 章,介绍了图形学的发展史以及相关硬、软件的应用情况;第 2 章,对当前在 PC 上流行的一些常用图形软件和图像处理软件进行了简单介绍;第 3 章,描述了二维图形光栅扫描算法的实现,目的是加强二维图形系统的实践环节。第 4 章,介绍图形学硬件以及软件,主要涉及图形系统的输入/出设备及其相关硬件以及计算机图形软件标准;第 5 章、第 6 章,介绍在平面及三维空间中的变换概念、矩阵表示、统一线性变换与仿射变换的齐次坐标的使用,以及三维视图的描述;第 7 章,介绍三维图形系统的应用实例,目的是加强三维图形系统的实践环节,同时也希望读者通过本章的学习,能够掌握 OpenGL 的基础编程方法;第 8 章,主要介绍交互技术;第 9 章,描述真实感图形的显示;第 10 章,介绍曲线与曲面生成算法;第 11 章,介绍实体造型算法;第 12 章,是动画技术简介;第 13 章,介绍两个实际的交互式图形系统,二维的画板系统与三维交互式环境的编程实现;第 14 章,配合实例介绍虚拟现实与可视化的基本实现技术;第 15 章,介绍了立体显示的相关技术。附录 A 中给出了空间与矩阵的基础知识,附录 B 中提供了二维动画程序开发的实例。本书用简单的实例程序阐述复杂晦涩的图形学概念与理论,方便读者对其算法与原理的理解。在上述章节中,第 3 章二维图形扫描算法和第 10 章曲线与曲面的光栅扫描生成算法,主要是描述基本图形的绘制算法,针对每个算法,配有在 TC3.0 环境下的实现程序及其流程图。其余章节也都基于各章节所述知识点给出实例程序,结合知识点帮助读者深入了解原理的实现技术。本书授课建议学时数为 36 学时,每章学时数具体安排见表 1。

本书附带有光盘,其结构如图 a 所示。

表 1 图形学课时分配

章 节	学 时 数
第 1 章	2
第 2 章	1
第 3 章	4
第 4 章	1
第 5 章	6
第 6 章	6
第 7 章	2
第 8 章	2
第 9 章	2
第 10 章	2
第 11 章	2
第 12 章	2
第 13 章	2
第 14 章	1
第 15 章	1

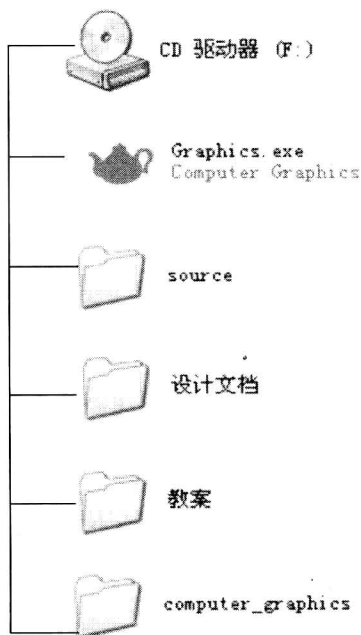


图 a 光盘目录结构

Graphics. exe, 为光盘实例演示程序, 插入光驱中自动运行。

Source 文件夹中包含如下两个子目录:

- 算法解析
- 实例教程

其中, “算法解析”文件夹中包含第 3 章和第 10 章介绍的画线算法的 C 语言源代码; 而“实例程序”文件夹中包含除了第 3 和 10 章之外, 其他各章实例程序的源文件, 文件中的源代码已加入了详细注释。

“设计文档”文件夹中包含了书中关键实例的设计方案, 读者可以配合 Source 目录下的相应源程序进行阅读。

教案文件夹中包含了计算机图形学本科课程所用课件, 供教师参考, 同时也方便读者根据课件内容自学本课程。

computer_graphics 文件夹中包含了计算机图形学教学网站的设计与实现内容, 其中附有具体的安装方法, 可以直接传到服务器上用于辅助教学。

当运行 Graphics. exe 文件时, 将进入实例制作步骤演示程序, 该程序的结构具体说明如下:

在实例教程中包含了本书所有章节的实例制作步骤演示与讲解, 如图 b、图 c 所示, 在算法解析中结合第 3 章讲述的光栅扫描算法给出了具体实现步骤, 读者可参考该步骤并结合本书中阐述的原理完成实验, 体会书中所讲述的技术是如何实现的。

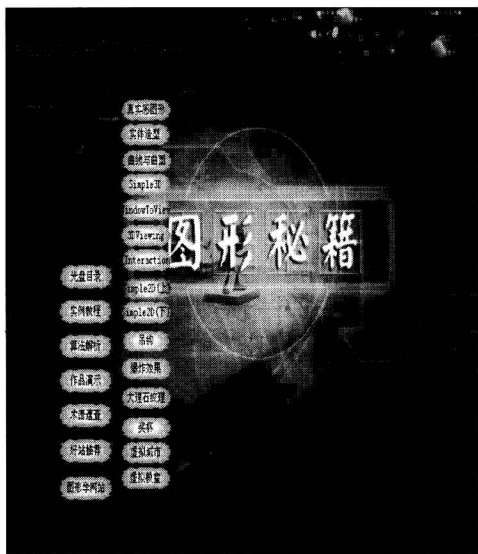


图 b 实例教程

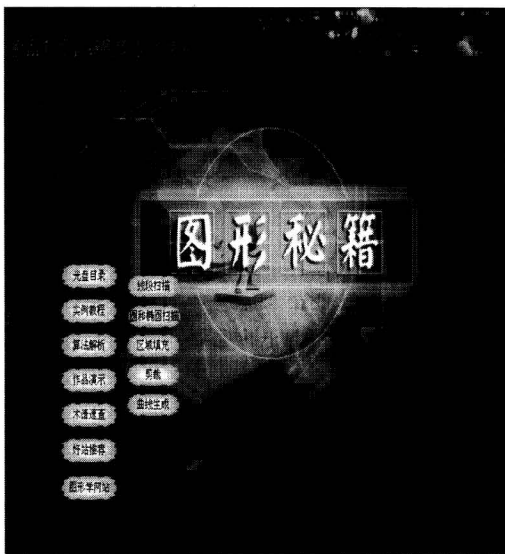


图 c 算法解析

光盘中附带图形学网站的安装方法与介绍, 如图 d 左下角所示。其他光盘内容不再赘述。

参加本书撰写工作的有任爱华、谢森、赵亮、肖占中、龙斌、王菲和张迪, 书中涉及的实验编程例子由谢森、肖占中、赵亮、李堃博和龙斌和周承铭提供, 交互式图形的绘制例子由张鑫泉提供, 由张迪负责完成了光盘的初始制作, 李堃博负责对光盘内容做进一步的完善和补充, 由谢森、龙斌和周承铭对光盘的内容进行了重新整理和更新; 谢森协助稿件的收集和整理工作。书

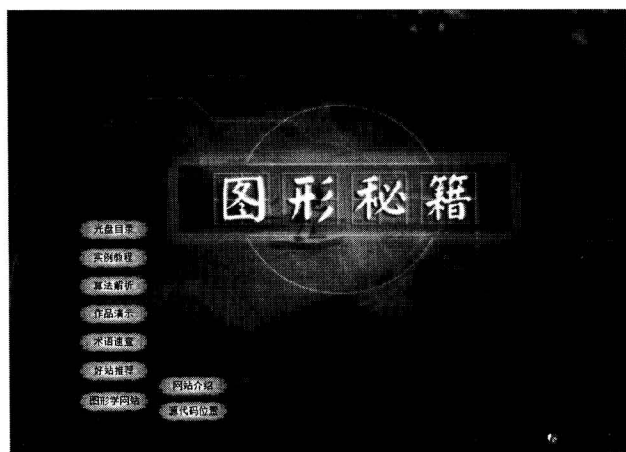


图 d 图形学网站

中实例的测试、修改和验证工作由谢森、龙斌、李堃博、耿永江、杨淑丽、李江等完成。高岫谦先生负责审阅了部分章节并绘制了书中的部分图形。全书由任爱华主编、修改、统稿和定稿。

限于编者水平,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

任爱华于北京
2010 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学基本概念	2
1.2 计算机图形学的典型应用领域及其分类	3
1.2.1 典型应用领域	3
1.2.2 应用分类	6
1.3 交互式图形学	7
1.3.1 交互式概念	7
1.3.2 交互式图形系统框架	8
1.4 计算机图形学及相关技术的发展	11
1.4.1 图形学发展历程	11
1.4.2 输出技术	13
1.4.3 输入技术	17
1.4.4 软件可移植性及图形标准	18
1.5 图形学当前的研究动态	18
1.5.1 真实感图形实时绘制	19
1.5.2 计算机动画	19
1.5.3 与计算机网络技术的紧密结合	20
1.6 本章小结	20
1.7 习题与思考	21
1.8 参考文献	21
第 2 章 常用图形软件简介	22
2.1 平面类	22
2.1.1 ANIMO	22
2.1.2 CorelDRAW	23
2.1.3 Illustrator	23
2.1.4 ImageReady	23
2.1.5 PageMaker 与 InDesign	24
2.1.6 Painter	24
2.1.7 Paint Shop Pro	24
2.1.8 PhotoImpact	24
2.1.9 PhotoLine	25
2.1.10 PhotoShop	25
2.1.11 Photoshop Elements	26
2.2 三维类	26

2.2.1	3D Studio Max	26
2.2.2	Bryce	27
2.2.3	Canoma	27
2.2.4	COOL 3D	28
2.2.5	Dimensions	28
2.2.6	Extreme 3D	28
2.2.7	Houdini	28
2.2.8	Lightscape	29
2.2.9	LightWave 3D	29
2.2.10	Maya	29
2.2.11	Mental Ray	30
2.2.12	Poser	30
2.2.13	RenderMan	30
2.2.14	Rhino 3D	31
2.2.15	SoftImage 3D/XSI	31
2.2.16	Sumatra	32
2.2.17	Swift 3D	32
2.3	多媒体类	32
2.3.1	After Effects	32
2.3.2	Authorware	32
2.3.3	Combustion	33
2.3.4	Digital Fusion	33
2.3.5	Director	33
2.3.6	Premiere	34
2.3.7	Ulead Video Studio	34
2.3.8	Toolbook	34
2.4	网络类	35
2.4.1	DreamWeaver	35
2.4.2	Drumbeat	35
2.4.3	Fireworks	35
2.4.4	Flash	35
2.4.5	FreeHand	36
2.4.6	FrontPage	36
2.4.7	GIF Animator	37
2.4.8	Swish	37
2.5	工程类	38
2.5.1	ACIS	38
2.5.2	3D Studio VIZ	38
2.5.3	AutoCAD	39

2.5.4	AutoDesk VIZ	39
2.5.5	CAXA	39
2.5.6	MicroStation	40
2.5.7	Pro/Engineer	40
2.5.8	Unigraphics	40
2.6	工具类	40
2.6.1	ACDSee	41
2.6.2	SWF Browse	41
2.6.3	EXE2SWF	41
2.6.4	FiLMBOX	41
2.6.5	FlashForge	41
2.6.6	Konvertor	42
2.6.7	SnagIt	42
2.7	编程类	42
2.7.1	Cg 图形编程语言	42
2.7.2	C# 中图形编程	42
2.7.3	Delphi 中图形编程	43
2.7.4	OpenGL	43
2.7.5	RomPager Java 图形包	43
2.7.6	VC++ 中图形编程功能	43
2.7.7	VRML 虚拟现实建模语言	43
2.8	本章小结	44
2.9	习题与思考	44
第3章	基于光栅扫描的二维图元生成算法	45
3.1	直线的扫描变换	45
3.1.1	基本增量算法	46
3.1.2	中点画线算法	48
3.1.3	Bresenham 画线算法	52
3.2	圆与椭圆的扫描变换	55
3.2.1	圆的扫描变换	55
3.2.2	椭圆的扫描变换	67
3.3	区域填充	71
3.3.1	多边形域的填充	71
3.3.2	圆域的填充	85
3.3.3	图案填充	85
3.4	线宽与线型的处理	86
3.4.1	直线线宽的处理	86
3.4.2	圆弧线宽的处理	88
3.4.3	线型的处理	89

3.5 字符	90
3.5.1 矢量字符	90
3.5.2 点阵字符	91
3.5.3 字型技术	92
3.5.4 字符输出	93
3.6 裁剪	95
3.6.1 窗口视口变换	96
3.6.2 线段裁剪	96
3.6.3 多边形裁剪	108
3.6.4 字符裁剪	117
3.7 反走样基础	118
3.7.1 提高分辨率	119
3.7.2 简单的区域反走样算法	119
3.7.3 卷积积分与反走样算法	120
3.7.4 半色调技术	121
3.8 本章小结	122
3.9 习题与思考	123
3.10 参考文献	123
第4章 图形硬件与图形软件标准化	124
4.1 图形输入设备	124
4.1.1 键盘	125
4.1.2 鼠标器	127
4.1.3 键盘与鼠标的接口及其标准	129
4.1.4 触摸屏	129
4.1.5 坐标数字化仪	131
4.1.6 图形扫描仪	132
4.1.7 数码相机	133
4.1.8 手写笔	135
4.2 图形输出设备	135
4.2.1 图形显示设备	135
4.2.2 图形绘制设备	146
4.3 图形处理设备	149
4.3.1 图形处理器	149
4.3.2 视频控制器	150
4.3.3 显示处理器	150
4.4 图形标准化概述	151
4.5 图形程序接口标准	152
4.5.1 GKS 标准	152
4.5.2 GKS-3D 标准	154

4.5.3	PHIGS 标准	155
4.5.4	非官方图形标准	158
4.6	图形元文件	158
4.6.1	GKSM 和 VDM 文件	158
4.6.2	CGM 文件	159
4.7	设备接口标准	160
4.7.1	VDI 虚拟设备接口	160
4.7.2	CGI 计算机图形设备接口	160
4.8	应用程序接口标准	161
4.8.1	概述	161
4.8.2	原始图形交换规范(IGES)	161
4.8.3	产品模型数据转换标准(STEP)	163
4.9	本章小结	166
4.10	习题与思考	167
第 5 章	几何变换	168
5.1	二维变换	168
5.1.1	平移变换	168
5.1.2	比例变换	169
5.1.3	旋转变换	169
5.2	齐次坐标系和二维变换的矩阵表示	171
5.2.1	平移变换	171
5.2.2	比例变换	172
5.2.3	旋转变换	173
5.2.4	刚体变换和仿射变换	173
5.2.5	对称变换	175
5.3	二维变换的组合	175
5.3.1	关于任意点 P_1 旋转变换物体	175
5.3.2	关于任意点 P_1 比例变换物体	176
5.3.3	综合变换	176
5.4	窗口到视口的变换	177
5.4.1	基本概念	177
5.4.2	视窗变换实例 WindowToViewport 的设计	178
5.5	仿射变换的效率问题	182
5.6	三维变换的矩阵表示	183
5.7	三维变换的组合	186
5.7.1	实例一	186
5.7.2	实例二	189
5.8	坐标系的变换	190
5.9	三维变换中的对称变换矩阵	193

5.10 本章小结	194
5.11 习题与思考	195
第 6 章 三维视图	196
6.1 投影	196
6.1.1 透视投影	198
6.1.2 平行投影	198
6.2 三维视图的定义	202
6.3 平面几何投影的计算	205
6.4 平面几何投影的实现	209
6.4.1 平行投影	210
6.4.2 透视投影	212
6.4.3 三维规格化裁剪盒的裁剪	214
6.4.4 在齐次坐标系中裁剪	215
6.4.5 映射到视区	217
6.4.6 视图变换实现方法小结	218
6.5 坐标系名称	218
6.6 本章小结	219
6.7 习题与思考	220
第 7 章 三维图形的绘制实践	221
7.1 交互式图形系统应用实例介绍	221
7.1.1 Photoshop 制作爆炸效果	221
7.1.2 用 Photoshop 制作立体台灯	225
7.2 奖杯的制作	229
7.3 利用 VC 设计三维投影程序	236
7.3.1 用户界面的设计	237
7.3.2 视图过程的简化处理	237
7.3.3 程序结构的设计	242
7.3.4 物体模型的描述	243
7.3.5 视图类的设计	245
7.3.6 3DViewing 的具体实现	245
7.4 利用 OpenGL 图形包编制应用程序	254
7.4.1 OpenGL 的构成及工作流程	254
7.4.2 OpenGL 的运行环境要求	255
7.4.3 OpenGL 的应用程序开发	255
7.5 本章小结	272
7.6 习题与思考	273
7.7 参考文献	273
第 8 章 图形用户界面与交互技术	274

8.1 交互任务	275
8.2 交互技术	276
8.2.1 定位操作	277
8.2.2 选图	278
8.2.3 实数输入设备	280
8.2.4 字符输入	280
8.2.5 功能选择	281
8.2.6 几何约束	281
8.2.7 拖动	283
8.2.8 橡皮筋技术	283
8.2.9 图形变比	284
8.2.10 引力场效果	285
8.2.11 标尺和导向线	286
8.2.12 坐标显示	286
8.2.13 菜单	287
8.2.14 在三视图上作三维输入	287
8.2.15 扫描表示	288
8.3 图形输入模式	288
8.4 图形输出属性及其处理方法	290
8.4.1 直线的属性	290
8.4.2 多边形填色的属性	290
8.4.3 字符的属性	291
8.4.4 符号的属性	291
8.4.5 属性的组合控制	291
8.4.6 属性的查询	292
8.5 设计人机图形交互的一般原则	292
8.5.1 简单易学	292
8.5.2 提供反馈	292
8.5.3 出错处理	293
8.5.4 设计的一致性	293
8.5.5 可扩充性	293
8.6 交互技术应用实例	293
8.6.1 界面设计	293
8.6.2 结构设计	294
8.6.3 程序实现	295
8.6.4 程序小结	295
8.7 本章小结	295
8.8 练习与思考	296
8.9 参考文献	296

第 9 章 真实感图形的显示	297
9.1 消隐处理	298
9.1.1 消隐的基础知识	298
9.1.2 常用的消隐方法	298
9.2 光照模型及浓淡处理	305
9.2.1 漫射光照明	305
9.2.2 点光源照明和镜面反射	306
9.2.3 浓淡形成算法	308
9.2.4 整体光照明模型	308
9.3 计算机色彩的构成	310
9.4 透明	312
9.5 阴影	312
9.6 纹理	313
9.7 三维真实感图形显示	314
9.7.1 多面体的仿真显示	314
9.7.2 曲面的仿真显示	315
9.7.3 视线投射算法	315
9.8 真实感图形显示技术应用实例	316
9.8.1 光照模型实例	316
9.8.2 阴影模型实例	320
9.8.3 纹理模型实例	323
9.9 本章小结	327
9.10 习题与思考	327
9.11 参考文献	327
第 10 章 曲线与曲面	328
10.1 曲线的产生	328
10.1.1 DDA 曲线生成算法	328
10.1.2 内插法	331
10.2 自由曲线	338
10.2.1 三次参数样条曲线段	338
10.2.2 三次 Bézier 曲线段	342
10.2.3 三次 B 样条曲线段	345
10.2.4 NURBS 曲线	350
10.3 曲面	350
10.3.1 Coons 曲面	350
10.3.2 Bézier 曲面	352
10.3.3 B 样条曲面	353
10.3.4 特殊曲面的生成	354
10.4 曲线与曲面实例	355

10.4.1 曲线 DDA 算法实例	355
10.4.2 Bézier 曲面算法实例	355
10.5 本章小结	358
10.6 习题与思考	358
第 11 章 实体建模	359
11.1 实体的表示	360
11.1.1 参考坐标系	360
11.1.2 元素的定义	361
11.1.3 常用的形体表示方式	363
11.2 二维图形数据结构	369
11.2.1 数据的逻辑结构	369
11.2.2 数据的物理结构	370
11.3 三维形体数据结构	370
11.4 实体建模实例	373
11.4.1 实例程序功能与设计	373
11.4.2 详细设计与实现效果	373
11.5 本章小结	378
11.6 习题与思考	378
第 12 章 计算机动画技术简介	379
12.1 动画技术的发展与分类	379
12.1.1 动画技术的发展历程	379
12.1.2 动画的种类划分	380
12.2 计算机动画制作的关键技术和技巧	381
12.2.1 制作动画的基本步骤	381
12.2.2 关键帧动画	382
12.2.3 渐变和变形物体动画	383
12.2.4 形状过渡	385
12.2.5 过程动画	385
12.2.6 人体动画与关节动画	386
12.2.7 运动捕获技术	386
12.2.8 设定运动路径	387
12.2.9 换页法	387
12.2.10 位图运算法	387
12.3 计算机动画的实现技术	388
12.3.1 动画播放	388
12.3.2 利用 C 语言中 getimage() 和 putimage() 函数实现动画	389
12.3.3 多重屏幕页	389
12.4 程序举例	390

12.4.1 利用 C 语言编程实现动画·····	390
12.4.2 利用网页动画制作软件 Flash 直接生成网页动画 ·····	391
12.5 计算机动画发展的未来 ·····	391
12.6 本章小结 ·····	392
12.7 习题与思考 ·····	393
第 13 章 简单图形系统的实现 ·····	394
13.1 画板系统的需求分析 ·····	395
13.2 设计考虑 ·····	395
13.2.1 设计思路·····	395
13.2.2 设计层次·····	396
13.3 界面设计 ·····	397
13.4 类的设计 ·····	399
13.4.1 图形类·····	400
13.4.2 CShapeManager 类 ·····	423
13.4.3 CHistory 类 ·····	432
13.4.4 对一些自动生成类的介绍 ·····	434
13.5 三维图形系统实例 ·····	440
13.5.1 物体及场景的绘制 ·····	441
13.5.2 鼠标交互技术 ·····	443
13.6 图形系统设计的一般原则 ·····	445
13.7 习题与思考 ·····	446
第 14 章 虚拟现实与可视化技术 ·····	447
14.1 虚拟现实 ·····	447
14.1.1 虚拟现实采用的关键技术 ·····	447
14.1.2 虚拟现实系统的应用分类·····	448
14.1.3 虚拟现实的应用前景 ·····	449
14.2 科学计算可视化 ·····	451
14.2.1 可视化的主要特点及应用·····	451
14.2.2 三维可视化技术 ·····	453
14.2.3 矢量场可视化的研究 ·····	453
14.3 虚拟现实编程实例——虚拟生活小区 ·····	455
14.3.1 虚拟现实造型语言 ·····	455
14.3.2 实例介绍 ·····	458
14.4 本章小结 ·····	466
14.5 习题与思考 ·····	467
14.6 参考文献 ·····	467
第 15 章 立体显示技术 ·····	468
15.1 立体显示研究背景及基本概念 ·····	468