

国外计算机科学教材系列

计算机图形学

Computer Graphics

Donald Hearn

M.Pauline Baker

著

蔡士杰 吴春镒 孙正兴

黄豫清 周 群 汪灏泓

译

蔡士杰 等校



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



PRENTICE HALL 出版公司

国外计算机科学教材系列

计算机图形学

Computer Graphics

Donald Hearn
M. Pauline Baker 著

蔡士杰 吴春镕 孙正兴 译
黄豫清 周 群 汪灏泓

蔡士杰 等审校



PRENTICE HALL 出版公司



电子工业出版社

内 容 提 要

本书共 16 章。第 1 章为计算机图形学综述;第 2~8 章讲授二维图形对象表示、算法和应用;第 9~13 章讲授三维图形技术、建模和变换等;第 14~16 章讲授光照模型、颜色模型和动画技术。

本书第二版是对第一版作了全面扩充和增加了许多新内容重写成的。内容覆盖了近年来计算机图形学的最新发展和成就。全书内容丰富、层次分明,且附有大量的程序及插图,堪称杰出之作。

本书适用于本科生和研究生作为教材或参考书,也可作为计算机图形学工作者的参考书。

本书中文简体版由电子工业出版社和美国 Prentice Hall 出版公司共同出版。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。版权所有,侵权必究。

丛 书 名:国外计算机科学教材系列

原 书 名:Computer Graphics

书 名:计算机图形学

著 者:Donald Hearn & M. Pauline Baker

译 者:蔡士杰 吴春镕 孙正兴 黄豫清 周 群 汪灏泓

审 校 者:蔡士杰等

责任编辑:邓又强

印 刷 者:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社出版、发行 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 68214070

经 销:各地新华书店经销

开 本:787×1092 1/16 印张:33 字数:800 千字

版 次:1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第一次印刷

定 价:45.00 元

印 数:10000 册

书 号:ISBN 7-5053-4597-4/TP·2178

著作权合同登记号 图字:01-97-1874

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻印必究

出版说明

计算机科学的迅速发展是 20 世纪科学发展史上最伟大的事件之一。从 1946 年第一台笨重而体积庞大的计算机的发明至今,仅仅半个多世纪,计算机已经变得小巧无比却又能力非凡。它的应用已经渗透到了社会的各个方面,成为当今所谓的信息社会的最显著的特征。

处于世纪之交科技进步的大潮中,我国正在加强计算机科学的高等教育,着眼于为下一世纪培养高素质的计算机人才,以适应信息社会加速度发展的需要。当前,全国各类高等院校已经或计划在各专业基础课程规划中增加计算机科学的课程内容,而作为与计算机科学密切相关的计算机、通信、信息等专业,更是在酝酿着教学的全面革新,以期规划出一整套面向 21 世纪的、具有中国高校计算机教育特色的课程计划和教材体系。值此,我们不妨借鉴并引进国外具有先进性、实用性和权威性的大学计算机教材,洋为中用,以更好地服务于国内的高校教育。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商,自 1913 年公司成立以来,即致力于教育图书的出版。它所出版的计算机教材在美国为众多大学所采用,其中有不少是专业领域中的经典名著。许多蜚声世界的教授学者成为该公司的资深作者,如:道格拉斯·科默(Douglas Comer),安德鲁·坦尼伯姆(Andrew Tanenbaum),威廉·斯大林(William Stallings)……几十年来,他们的著作教育了一批批不同肤色的莘莘学子,使这些教材同时也成为全人类的共同财富。

为了保证本系列教材翻译出版的质量,电子工业出版社和 Prentice Hall 出版公司共同约请北京地区的清华大学、北京大学、北京航空航天大学,上海地区的上海交通大学、复旦大学,南京地区的南京大学、解放军通信工程学院等全国著名的高等院校的教学第一线的几十位教师参加翻译工作。这中间有正在讲授同类教材的年轻教师和博士,有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师,还有我国著名的计算机科学家。他们的辛勤劳动保证了本系列丛书得以高质量地出版面世。

如此大规模地引进计算机科学系列教材,在我们还是第一次。除缺乏经验之外,还由于我们对计算机科学的发展,对中国高校计算机教育特点认识的不足,致使在选题确定、翻译、出版等工作中,肯定存在许多遗憾和不足之处,恳请广大师生和其他读者提出批评、建议。

电子工业出版社

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

Prentice Hall 出版公司

URL: <http://www.prenhall.com>

译者的话

近 30 多年来,交互式计算机图形学有了引人瞩目的发展。它已广泛应用于计算机辅助设计、电视广告、动画和仿真、科学计算、事务管理等许多领域并发挥重要作用。可以说:“已经没有哪个领域未从计算机图形学的发展和应用中获得巨大好处。”

为了适应计算机图形学的发展并促进其应用,几乎所有高等学校均已开设了“计算机图形学”课程。人们都希望有更新、更好的计算机图形学教材。在这种情况下,我们把本书介绍给国内读者,希望能对计算机图形学的教学、研究与应用起到一定作用。

由 Donald Hearn 和 M. Pauline Baker 所著的《计算机图形学》初版于 1986 年,1994 年作了修改。针对计算机图形学领域发生的巨大变化,又在 1997 年进行了重写,使其内容覆盖近年来的最新发展和成就。本书内容丰富,层次分明,附有大量程序例及插图,可作为本科生、研究生的教材,也可作为计算机图形学工作者的参考书。

本书第 1、8、15、16 章由蔡士杰翻译,第 2 章及附录由吴春镛翻译,第 3、4、5 章由孙正兴翻译、第 6、7 章由黄豫清翻译、第 9、10、11、12 章由周群翻译、第 13、14 章由汪灏泓翻译。全书由蔡士杰校阅、修改、定稿。

计算机图形学发展太快,我们根据自己的理解翻译了本书,由于业务水平和翻译经验的局限,难免有错误和不妥之处。敬请读者提出批评意见。

译者

南京大学计算机科学与技术系

1997.7

前 言

计算机图形学是一个最令人振奋的且发展最快的计算机领域。自从本书第一版发行以来,计算机图形学现已成为用户接口、数据可视化、电视广告、动画和许许多多其他应用中的公共成分。已开发了许多硬设备和算法来改善生成图片的效率、真实感和速度。当前,计算机图形学的趋势是将更多的物理原理结合进三维图形算法中,更好地模拟物体和照明环境之间的复杂交互。

软件标准

自从第一个图形软件包,图形核心系统(GKS)被国际标准化组织(ISO)和美国标准化所(ANSI)接受以来,图形软件标准得到了有效的发展。程序员的层次结构交互图形系统(PHIGS)现在也已经既是 ANSI 又是 ISO 的标准。PHIGS 以及扩充的 PHIGS+ 软件包都得到了推广。此外,还出现了一些流行于工业界的软件包,包括 SGI 的 GL(图形库)、OpenGL、用于页面描述的 Pixar RenderMan 接口、PostScript 接口以及各种绘、画和设计系统。

新内容

由于计算机图形学领域内出现的巨大变化,我们决定完全改写本书、发行第二版。我们只保留第一版的一般结构,而对其所有内容都扩充了对当前技术的讨论,并增加了许多新内容。扩充较多的内容有反走样、分数维和其它对象表示方法、光线追踪、样条曲线和曲面、光照模型、表面绘制方法和计算机动画。增加的内容有虚拟现实、图形算法的并行实现、超二次曲面、BSP 树、图型语法、微粒系统、物理建模、科学可视化、商用可视化、图形算法的四元法、分布式光线跟踪、快速 phong 明暗方法、辐射度、凹凸映射、变形和用于图形应用中的多种数学方法。

第二版可作为没有计算机图形学背景的学生的教科书和图形学专业人员的参考书。我们的侧重点是对设计、使用和理解计算机图形系统所需的基本理论。既讨论了图形系统的硬件、软件部分又讨论了计算机图形学的应用。还包括了演示图形算法的实现和应用 C 语言程序的例子。我们还探讨了 PHIGS、PHIGS+、GKS 和其它图形库的特点,同时使用 PHIGS 和 PHIGS+ 函数的 C 程序来给出算法实现和图形应用。

所需背景

我们不要求读者先熟悉计算机图形学,但要求读者具有程序设计和基本的数据结构方面的一些知识。计算机图形学算法中用到了许多数学方法,这些方法在附录中较深入地讨论了。附录中的数学问题有关于分析几何、线性代数、向量和张量分析、复数、四元数和数值分析方面的技术。

如何将本书做教材用

第二版中的素材源自我们多年来几门课的讲稿,包括计算机图形学引论、高级计算机图形学、科学计算可视化和计算机图形学项目课。对一学期的课,可选择二维方法、或二维和三维混合的方法,并按课程的特定要求而定。对二学期的课;则在第一学期选择基本图形概念和方法,而在第二学期则选择覆盖高级三维方法和算法。对自学的读者,前面一些章节用来理解图形概念,再根据读者兴趣选择后面的某些章节。

对本科生,从第2章到第8章的基本内容组成二维图形引论课程加上第9章对三维概念和方法的介绍。再从后面几章中选择以下内容,如颜色模型、动画、样条曲线、或二维分数维表示,作为补充材料。对研究生或高年级本科生课程,前半段覆盖二维概念和方法,后半段覆盖三维建模、观察和绘制等内容。高级课程则覆盖对象表示、表面绘制和计算机动画。

第1章给出了计算机图形学综述,阐述了应用领域间的差异。在第2章介绍图形系统的硬件和软件的组成以后,第3、4章给出了二维图形对象的表示和显示的基本算法。这两章考察了生成基本图形成分的方法和调整大小、颜色和其它属性的技术。这为学生介绍了实现图形子程序所必需的程序设计技术。第5、6章讨论了二维几何变换和观察算法。第7章给出了二维图片的建模和组织成为独立结构的方法。在第8章中,我们给出了用户接口和各种应用,包括虚拟现实系统中的图形方法。

三维技术在第9章中介绍。然后我们在第10章中讨论三维物体按其特性而采用的不同的图形表示方法。第11章给出了三维建模和几何变换方法。获得三维场景的视图的方法在第12章中详细讨论。识别场景中可见面的各种算法在第13章中讨论。第14章介绍了光照模型和表面绘制方法。颜色模型和方法在第15章中讨论,而动画技术则在第16章中介绍。

致谢

多年来许多人对本书以各种方式作出了贡献。对提供照片和其它材料的组织和个人,我们再次表示感谢。我们也感谢学生在计算机图形学和可视化课程和讲座中提出的许多有帮助的意见。我们感谢所有审阅本书或对本书提出改进意见的人,同时我们对可能未顾得上致意的人表示歉意。谢谢 Ed Angel, Norman Badler, phillip Barry, Brian Barsky, Hedley Bond, Bart Braden, Lara Burton, Robert Burton, Grag Chwelos, John Cross, Steve Cunningham, John DeCatrel, Victor Duvaneko, Gary Eerkes, Parris Egbert, Tony Faustini, Thomas Foley, Thomas Frank, Don Gillies, Jack Goldfeather, Georges Grinstein, Eric Haines, Robert Herbst, Larry Hodges, Eng-Kiat Koh, Mike Krogh, Michael Laszlo, Suzanne Lea, Michael May, Nelson Max, David McAllister, Jeffrey McConnell, Gary McDonald, C. L. Morgan, Gred Nielson, James Oliver, Lee-Hian Quek, Laurence Rainville, Paul Ross, David Salomon, Günther Schrack, Steven Shafer, Cliff Shaffer, Pete Shirley, Carol Smith, Stephanie Smullen, Jeff Spears, William Taffe, Wai Wan Tsang, Spencer Thomas, Sam Uselton, David Wen, Bill Wicker, Andrew Woo, Angelo Yfantis, Marek Zaremba, and Michael Zyda。我们还感谢 Robert Burton 1995 年秋在 Brigham Young 大学的计算机图形学课程运行并测试了本书的 C 程序。感谢本书的编辑 Alan Apt, Sondra Chavez 和科罗拉多的职工在准备这第二

版过程中的帮助、建议和鼓励。我们向执行编辑 Bayani DeLeon 和 Joe Scordato, 和 Prentice Hall 的职工们致意, 感谢又一杰出作品的问世。最后特别感谢 Carol Hubbard 在开发 C 程序中的帮助。

Urbana-Champaign

Donald Hearn

伊利诺大学计算机科学系和超级计算机应用国家中心

M. Pauline Baker

伊利诺大学超级计算机应用国家中心

目 录

第 1 章 计算机图形学综述	(1)
1.1 计算机辅助设计	(1)
1.2 图示图形学	(3)
1.3 计算机艺术	(3)
1.4 娱乐	(5)
1.5 教学与培训	(6)
1.6 可视化	(7)
1.7 图象处理	(7)
1.8 图形用户接口	(8)
第 2 章 图形系统综述	(10)
2.1 视频显示设备	(10)
2.1.1 刷新式 CRT	(10)
2.1.2 光栅扫描显示器	(13)
2.1.3 随机扫描显示器	(14)
2.1.4 彩色 CRT 监视器	(15)
2.1.5 直视存储管	(17)
2.1.6 平板显示器	(17)
2.1.7 三维观察设备	(19)
2.1.8 立体感和虚拟现实系统	(21)
2.2 光栅扫描系统	(21)
2.2.1 视频控制器	(21)
2.2.1 光栅扫描显示处理器	(23)
2.3 随机扫描系统	(24)
2.4 图形监视器与工作站	(25)
2.5 输入设备	(27)
2.5.1 键盘	(27)
2.5.2 鼠标	(27)
2.5.3 跟踪球和空间球	(28)
2.5.4 操纵杆	(28)
2.5.5 数据手套	(29)
2.5.6 数字化仪	(30)
2.5.7 图象扫描仪	(31)
2.5.8 触摸板	(32)
2.5.9 光笔	(33)

2.5.10 声音系统	(33)
2.6 硬拷贝设备	(34)
2.7 图形软件	(35)
2.7.1 坐标表示	(36)
2.7.2 图形功能	(37)
2.7.3 软件标准	(38)
2.7.4 PHIGS 工作站	(38)
小结	(39)
参考文献	(40)
练习题	(40)

第3章 输出图元	(42)
3.1 点和线	(42)
3.2 画线算法	(43)
3.2.1 DDA 算法	(44)
3.2.2 Bresenham 画线算法	(45)
3.2.3 并行画线算法	(50)
3.3 帧缓冲器的装载	(51)
3.4 画线函数	(52)
3.5 圆生成算法	(53)
3.5.1 圆的特征	(53)
3.5.2 中点圆算法	(54)
3.6 椭圆生成算法	(58)
3.6.1 椭圆的特征	(58)
3.6.2 中点椭圆算法	(59)
3.7 其它曲线	(66)
3.7.1 圆锥曲线	(67)
3.7.2 多项式和样条曲线	(68)
3.8 并行曲线算法	(69)
3.9 曲线函数	(69)
3.10 象素编址和物体的几何表示	(69)
3.10.1 屏幕网格坐标	(70)
3.10.2 保留显示物体的几何特性	(70)
3.11 填充区域图元	(71)
3.11.1 扫描线多边形填充算法	(72)
3.11.2 内-外测试	(80)
3.11.3 曲线边界区域的扫描线填充	(81)
3.11.4 边界填充算法	(81)
3.11.5 泛滥填充算法	(83)
3.12 区域填充函数	(85)
3.13 单元阵列	(85)

3.14 字符生成	(86)
小结	(87)
参考文献	(94)
练习题	(94)
第4章 输出图元的属性	(96)
4.1 线属性	(96)
4.1.1 线型	(96)
4.1.2 线宽	(98)
4.1.3 笔和刷选择	(100)
4.1.4 线颜色	(101)
4.2 曲线属性	(102)
4.3 颜色和亮度等级	(103)
4.3.1 彩色表	(105)
4.3.2 灰度等级	(106)
4.4 区域填充属性	(106)
4.4.1 填充模式	(106)
4.4.2 图案填充	(107)
4.4.3 软填充	(110)
4.5 字符属性	(112)
4.5.1 文本属性	(112)
4.5.2 标记属性	(115)
4.6 束属性	(116)
4.6.1 线的束属性	(116)
4.6.2 区域填充束属性	(117)
4.6.3 文本的束属性	(117)
4.6.4 标记的束属性	(117)
4.7 查询函数	(117)
4.8 反走样	(118)
4.8.1 直线段的过取样	(119)
4.8.2 像素加权掩模	(120)
4.8.3 直线段的区域取样	(120)
4.8.4 过滤技术	(121)
4.8.5 像素移相	(121)
4.8.6 线亮度差的校正	(121)
4.8.7 反走样区域边界	(122)
小结	(124)
参考文献	(125)
练习题	(126)
第5章 二维几何变换	(128)

5.1 基本变换	(128)
5.1.1 平移	(128)
5.1.2 旋转	(129)
5.1.3 缩放	(131)
5.2 矩阵表示和齐次坐标	(132)
5.3 复合变换	(134)
5.3.1 平移	(134)
5.3.2 旋转	(134)
5.3.3 缩放	(135)
5.3.4 通用基准点旋转	(135)
5.3.5 通用固定点缩放	(136)
5.3.6 通用定向缩放	(136)
5.3.7 合并特性	(137)
5.3.8 通用复合变换和计算效率	(138)
5.4 其它变换	(143)
5.4.1 反射	(143)
5.4.2 错切	(145)
5.5 坐标系间的变换	(147)
5.6 仿射变换	(149)
5.7 变换函数	(149)
5.8 变换的光栅方法	(151)
小结	(152)
参考文献	(154)
练习题	(154)

第6章 二维观察	(156)
6.1 观察流程	(156)
6.2 观察参考坐标系	(158)
6.3 窗口到视区的坐标变换	(158)
6.4 二维观察函数	(160)
6.5 裁剪操作	(162)
6.6 点的裁剪	(162)
6.7 线段的裁剪	(163)
6.7.1 Cohen-Sutherland 线段裁剪算法	(164)
6.7.2 梁友栋-Barsky 直线裁剪算法	(167)
6.7.3 Nicholl-Lee-Nicholl 直线裁剪算法	(170)
6.7.4 非矩形裁剪窗口的线段裁剪	(172)
6.7.5 划分凹多边形	(172)
6.8 多边形的裁剪	(173)
6.8.1 Sutherland-Hodgeman 多边形裁剪	(173)
6.8.2 Weiler-Atherton 算法	(178)

6.8.3 其它多边形的裁剪算法	(179)
6.9 曲线的裁剪	(179)
6.10 文字的裁剪	(180)
6.11 外部裁剪	(181)
小结	(181)
参考文献	(184)
练习题	(184)
第7章 结构和层次模型	(186)
7.1 结构的概念	(186)
7.1.1 基本结构函数	(186)
7.1.2 设置结构属性	(187)
7.2 编辑结构	(188)
7.2.1 结构表和元素指针	(189)
7.2.2 设置编辑模式	(190)
7.2.3 插入结构元素	(190)
7.2.4 替代结构元素	(190)
7.2.5 删除结构元素	(191)
7.2.6 标识结构元素	(192)
7.2.7 从一个结构中将元素拷贝到另一个结构	(194)
7.3 基本建模概念	(194)
7.3.1 模型表示	(194)
7.3.2 符号层次	(195)
7.3.3 建模软件包	(196)
7.4 用结构来建立层次式模型	(197)
7.4.1 局部坐标和建模变换	(197)
7.4.2 模型变换	(197)
7.4.3 结构层次	(198)
小结	(199)
参考文献	(200)
练习题	(200)
第8章 图形用户接口和交互输入方法	(201)
8.1 用户对话	(201)
8.1.1 窗口和图符	(201)
8.1.2 适应多种熟练程度的用户	(202)
8.1.3 一致性	(202)
8.1.4 减少记忆量	(202)
8.1.5 回退和出错处理	(203)
8.1.6 反馈	(203)
8.2 图形数据的输入	(204)

8.2.1 输入设备的逻辑分类	(204)
8.2.2 定位设备	(204)
8.2.3 笔画设备	(205)
8.2.4 字符串设备	(205)
8.2.5 定值设备	(205)
8.2.6 选择设备	(206)
8.2.7 拾取设备	(206)
8.3 输入功能	(208)
8.3.1 输入模式	(208)
8.3.2 请求模式	(209)
8.3.3 取样模式	(211)
8.3.4 事件模式	(211)
8.3.5 输入模式的并行使用	(213)
8.4 输入设备参数的初值	(213)
8.5 交互式构图技术	(214)
8.5.1 基本的定位方法	(214)
8.5.2 约束	(214)
8.5.3 网格	(215)
8.5.4 引力场	(216)
8.5.5 橡皮条方法	(216)
8.5.6 拖曳	(216)
8.5.7 着色和绘图	(216)
8.6 虚拟现实环境	(217)
小结	(218)
参考文献	(219)
练习题	(219)

第9章 三维概念..... (221)

9.1 三维显示方法	(221)
9.1.1 平行投影	(221)
9.1.2 透视投影	(222)
9.1.3 深度提示	(222)
9.1.4 可见线面的标识	(222)
9.1.5 面绘制	(223)
9.1.6 分解图和剖面图	(223)
9.1.7 三维和立体视图	(223)
9.2 三维图体软件包	(223)

第10章 三维物体的表示

10.1 多边形表面	(225)
10.1.1 多边形表	(225)

10.1.2	平面方程	(227)
10.1.3	多边形网格	(229)
10.2	曲线和曲面	(229)
10.3	二次曲面	(230)
10.3.1	球面	(230)
10.3.2	椭球面	(230)
10.3.3	环面	(230)
10.4	超二次曲面	(231)
10.4.1	超椭圆	(231)
10.4.2	超椭球面	(232)
10.5	柔性物体	(233)
10.6	样条表示	(234)
10.6.1	插值和逼近样条	(235)
10.6.2	参数连续性条件	(237)
10.6.3	几何连续性条件	(237)
10.6.4	样条描述	(237)
10.7	三次样条插值方法	(239)
10.7.1	自然三次样条	(239)
10.7.2	Hermite 插值	(240)
10.7.3	Cardinal 样条	(242)
10.7.4	Kochanek-Bartels 样条	(244)
10.8	Bézier 曲线和曲面	(245)
10.8.1	Bézier 曲线	(245)
10.8.2	Bézier 曲线的特性	(248)
10.8.3	使用 Bézier 曲线的设计技术	(248)
10.8.4	三次 Bézier 曲线	(250)
10.8.5	Bézier 曲面	(251)
10.9	B-样条曲线和曲面	(252)
10.9.1	B-样条曲线	(253)
10.9.2	均匀周期性 B-样条曲线	(254)
10.9.3	三次周期性 B-样条曲线	(256)
10.9.4	开放均匀 B-样条曲线	(258)
10.9.5	非均匀 B-样条曲线	(259)
10.9.6	B-样条曲面	(261)
10.10	Beta-样条曲线	(261)
10.10.1	Beta-样条连续性条件	(262)
10.10.2	三次周期性 Beta-样条曲线矩阵表示	(263)
10.11	有理样条	(263)
10.12	两种样条表达式间的转换	(265)
10.13	样条曲线和曲面的显示	(266)
10.13.1	Horner 规则	(266)
10.13.2	向前差分计算	(267)

10.13.3 细分方法	(268)
10.14 扫描表示	(270)
10.15 结构实体几何法	(271)
10.16 八叉树	(273)
10.17 BSP 树	(276)
10.18 分形几何方法	(276)
10.18.1 分形生成过程	(277)
10.18.2 分形分类	(277)
10.18.3 分形的维数	(277)
10.18.4 确定性自相似分形几何构造	(279)
10.18.5 统计自相似分形几何构造	(282)
10.18.6 仿射分形构造方法	(282)
10.18.7 随机中点位移方法	(283)
10.18.8 地面图控制	(285)
10.18.9 自平方分形	(286)
10.18.10 自逆分形	(292)
10.19 形状语法和其它过程性方法	(293)
10.20 微粒系统	(293)
10.21 基于物理的建模	(294)
10.22 数据集的可视化	(295)
10.22.1 标量场的可视表示	(296)
10.22.2 向量场的可视表示	(297)
10.22.3 张量场的可视表示	(298)
10.22.4 多变量数据场的可视表示	(299)
小结	(299)
参考文献	(299)
练习题	(300)

第 11 章 三维几何和建模变换	(302)
11.1 平移	(302)
11.2 旋转	(302)
11.2.1 坐标轴旋转	(303)
11.2.2 一般三维旋转	(305)
11.2.3 四元数旋转	(311)
11.3 缩放	(313)
11.4 其它变换	(314)
11.4.1 反射	(314)
11.4.2 错切	(315)
11.5 复合变换	(315)
11.6 三维变换函数	(318)
11.7 建模变换和坐标变换	(319)

小结.....	(320)
参考文献.....	(321)
练习题.....	(321)
第 12 章 三维观察	(323)
12.1 观察流水线.....	(323)
12.2 观察坐标.....	(323)
12.2.1 指定观察平面	(324)
12.2.2 从世界坐标到观察坐标的变换	(326)
12.3 投影.....	(328)
12.3.1 平行投影	(328)
12.3.2 透视投影	(332)
12.4 观察体和一般投影变换.....	(335)
12.4.1 一般平行投影变换	(339)
12.4.2 一般透视投影变换	(341)
12.5 裁剪.....	(343)
12.5.1 规范化观察体	(345)
12.5.2 视口裁剪	(346)
12.5.3 齐次坐标裁剪	(348)
12.6 硬件实现.....	(349)
12.7 三维观察函数.....	(349)
小结.....	(351)
参考文献.....	(352)
练习题.....	(352)
第 13 章 可见面判别算法	(354)
13.1 可见面判别算法的分类.....	(354)
13.2 后向面判别.....	(354)
13.3 深度缓冲器算法.....	(355)
13.4 A 缓冲器算法.....	(357)
13.5 扫描线算法.....	(359)
13.6 深度排序算法.....	(361)
13.7 BSP 树算法.....	(363)
13.8 区域细分算法.....	(364)
13.9 八叉树算法.....	(366)
13.10 光线投射算法	(369)
13.11 曲面	(370)
13.11.1 曲面表示	(370)
13.11.2 曲面的层位线显示	(370)
13.12 线框算法	(371)