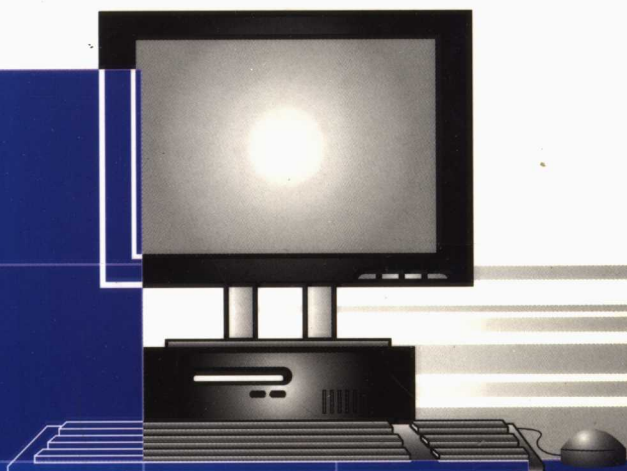




21st CENTURY
十一五规划教材

21世纪全国应用型本科

计算机系列 实用规划教材



计算机图形技术

主 编 龚声蓉 许承东
副主编 沈翠华 伏玉琛 白宝钢

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材

计算机图形技术

主 编	龚声蓉	许承东	
副主编	沈翠华	伏玉琛	白宝钢
参 编	李继芳	刘纯平	刘 全

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍计算机图形技术的原理及应用,对计算机图形学的基本概念、二维和三维图形的生成及变换、图形的裁剪、真实感图形的生成技术等有关知识作了详细而系统的论述,并结合具体实例详细介绍了基于 OpenGL 环境以及基于虚拟现实建模语言 VRML 的图形系统开发。本书从基本概念入手,理论与实践相结合,内容系统、完整,讲解深入浅出,每章配有习题便于读者复习和实践。

本书可作为高等院校计算机专业和相关专业的计算机图形学教材,也可供相关领域的大学教师、科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形技术/龚声蓉,许承东主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.9

(21世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4428-0

I. 计… II. ①龚… ②许… 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(2006)第 090042 号

书 名: 计算机图形技术

著作责任者: 龚声蓉 许承东 主编

策划编辑: 李彦红

责任编辑: 周 欢 曹 岚 张 敏

标准书号: ISBN 7-5038-4428-0

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 总编室 66180373 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752013 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 435 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》

专家编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主 任 刘瑞挺

副主任 胡昌振 段禅伦

崔广才 谢红薇

委 员 叶俊民 杨 璐 陈天煌 陈仲民

范冰冰 胡 明 秦 锋 龚声蓉

《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》

分系列专家编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

计算机应用技术——

主 任	胡昌振				
副主任	杨 璐	龚声蓉			
委 员	马秀峰	云 敏	李 明	杨长生	肖淑芬
	周松林	赵忠孝	钟 声	高 巍	

软件开发与软件工程——

主 任	谢红薇				
副主任	叶俊民	陈天煌			
委 员	王建国	吕海莲	孙 辉	何朝阳	张世明
	李福亮	陈佛敏	贺 华	赵绪辉	徐 辉
	徐庆生				

硬件与网络技术——

主 任	崔广才				
副主任	范冰冰	胡 明			
委 员	冯嘉礼	龙冬云	曲朝阳	汤 惟	张有谊
	程小辉	董春游			

专业基础课——

主 任	段禅伦				
副主任	陈仲民	秦 锋			
委 员	仇 汶	王 虹	王昆仑	田敬军	刘克成
	朴春慧	吴晓光	苏守宝	陈付贵	咎风彪
	谭水木	魏仕民			

信息技术的应用化教育

(代序)

刘瑞挺*

北京大学出版社与中国林业出版社共同组织编辑出版的这套《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》，是一套既注重理论体系，更关注能力培养的，以“应用型、就业型”人才培养为目标的系列教材，教学内容安排合理，重视实例分析，针对性很强。

为了编辑出版好这套系列教材，2004 年 10 月，编辑们制订了详细的编写目的、系列教材的特色、内容要求和风格规范，分别深入各地高校，了解教学第一线的情况，物色合适的作者。2005 年 4 月 16 日，在北京大学召开了《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》研讨会。来自全国 73 所院校的 102 位教师汇聚一堂，共同商讨应用型本科计算机系列教材建设的思路，并对规划选题进行了分工。2005 年 7 月 21 日，在青岛又召开了《21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材》审纲会。编审委员会成员和 46 个选题的主编、参编，共 100 多位教师参加了会议。审纲会分专业基础课、软件开发与软件工程、硬件与网络技术、计算机应用技术 4 个小组对大纲及部分稿件进行了审定，力争使这套规划教材成为切合当前教学需要的高质量精品教材。

要编辑出版好这套教材，就要转变一些重要的观念：

首先，需要转变的观念就是大学及其培养人才的定位。大学并不都是“研究型”的，每个大学生不一定都当科学家。事实上，大多数学校应该是“应用型”的，大学生毕业后将直接进入社会基层、生产一线、服务前沿，成为各行各业的实践者和带头人。

其次，应该转变的观念就是教材建设的思路。许多人偏爱于“研究型”的教材，即使写“应用型”教材，也多半是对前者进行删繁就简、避虚就实，这样还不能产生真正“应用型”的教材。因此，以“学科”为中心、追求雄厚“理论基础”的传统应该被以“应用”为导向、追求熟练“实践技能”的思路所取代。

第三，必须转变对计算机技术的认识。20 年前，有人把计算机技术理解为 BASIC 编程；10 年前，有人把 Windows 95 和 Word 称为计算机文化；今天，中小学陆续开出《信息技术》课，有人对此怀疑观望，其实它意义深远。以计算机为核心的信息技术，今后 20 年的发展主题将是在各个领域的应用普及。大学计算机应用型本科的教材建设应该面向信息技术的深入应用，而不是相反，因为信息时代已经不是遥远的未来。

以计算机为核心的信息技术，从一开始就与应用紧密结合。例如，ENIAC 用于弹道计算，ARPANET 用于资源共享以及核战争时的可靠通信。即使是非常抽象的图灵机模型，也与第二次世界大战时图灵博士破译纳粹密码的工作相关。

今天的信息技术有三个重要的特点：

第一，信息技术是计算机与通信技术融合的辉煌成果。长期以来，计算机技术和通信

* 刘瑞挺教授 曾任中国计算机学会教育培训委员会副主任、教育部理科计算机科学教学指导委员会委员、全国计算机等级考试委员会委员。目前担任的社会职务有：全国高等院校计算机基础教育研究会副会长、全国计算机应用技术证书考试委员会副主任、北京市计算机教育培训中心副理事长。

技术并行不悖地独立发展。20 世纪后半叶,两者相互渗透,产生了程控电话、数据通信、网络技术、高清晰电视,世界各国构建了全球的、宽带的、网站密布的信息高速公路,出现了无处不在的手机通信和移动办公系统、随身听、数码摄录像机、家庭影院、智能控制系统,还有越来越多的嵌入式系统。人们的工作方式和生活方式都发生了质的飞跃。

第二,信息技术与各行各业紧密结合。我国的职业门类有:农林牧渔、交通运输、生化与制药、地矿与测绘、材料与能源、土建、水利、制造、电气信息、环保与安全、轻纺与食品、财经、医药卫生、旅游、公共事业、文化教育、艺术设计传媒、公安、法律,这些门类都需要信息技术。

第三,在发展初期,以计算机为核心的信息技术是一项专门技术,只有专家才需要它、才能掌握它,在专家与平民之间有很深的“信息鸿沟”。今天,信息技术已经不再是只有专家才需要、才能掌握的专门技能,而是普通人都需要、也都能掌握的基本信息技能。但是,“信息鸿沟”也迁移到普通人中间。具有信息优势的学生能良性循环,强者更强。

有了这样广阔的应用信息背景,再造计算机应用型本科的课程体系就有了基础。

关于应用型计算机人才的能力结构,我们不用“宫殿”模型,而用“雄鹰”模型。前者是建筑学模型,适合描述学科;后者是生物学模型,适合描述人才。“雄鹰”模型包括主体、两翼、头部、尾部等,它有可成长性。

首先,数据是信息技术的主体,数据技术是基本功。通常,数据包括文字、公式、表格、图形、图像、动画、声音、视频等。因此,你不仅要会录入文章、绘制图表,还应该会采集音乐、编辑视频。大家面对的是多媒体数据,应该能收集它、整理它,数据经过整理就成为有用的信息。

其次,信息技术的两翼是数据库技术和网络技术。为了管理好、使用好数据,就必然用到数据库技术,数据库技术是一切信息管理的基石。为了分享数据和信息,就需要网络技术。有了上述数据主体技术和两个“翅膀”,你应该可以起飞了。

但是能飞多高,能飞多远,还应该有编程技术、智能技术、安全技术的支持。这相当于头尾各部分的作用。编程将使大家的信息技能游刃有余,人工智能使你飞得更远,安全技术能让你飞得更稳。

有人可能会责难我们,难道大学本科生还需要学习办公软件的技能吗?他们认为这是让人“笑掉大牙”的事。其实,办公软件是最重要的提高生产效率的应用软件,很容易使用,但各人使用效率的高低则十分悬殊。我们设想,今后大学生在入学前先学会计算机的基本操作,我们再開一门高级办公技术的课,通过严格的行业及个人行为规范,对学生进行应用化训练,养成正确的职业习惯,将来工作时应能提高效率、改善质量、降低成本。这绝不是贻笑大方的事。

应用型本科教材的规划是一个长期的战略任务,不是短期的战术行为。因此,目前的规划教材不可能一步到位,还会保留一些传统的基础课。例如,数字电路与逻辑设计、微机原理及接口技术、单片机原理及应用等。即使是纯硬件专业的学生,如何学这些传统硬件课都值得商榷,更何况公共基础课。

我们将分门别类逐步建设好应用型本科的重点课程和教材:

(1) 基础类教材:信息技术导论,计算机应用基础,高级办公技术,数据与操作,密码与安全,实用数据结构,实用离散数学……

- (2) 数据库类教材: 数据库原理与应用, 信息系统集成, 数据采掘与知识发现……
- (3) 网络类教材: 计算机网络, 因特网技术, 网络管理与安全, 网站与网页设计……
- (4) 编程类教材: 面向对象程序设计, C++程序设计, Java 程序设计……
- (5) 提高类教材: 软件工程原理及应用, 人工智能原理及应用……

新教材要体现教育观念的转变, 系统地研究普通高校教学改革的需求, 优先开发其中教学急需、改革方案明确、适用范围较广的教材。注重规划教材的科学性、实用性、易学性, 尽量满足同类专业院校的需求。教材内容应处理好传统与现代的关系, 补充新知识、新技术、新工艺、新成果。

我相信北京大学出版社和中国林业出版社在全国各地高校教师的积极支持下, 精心设计, 严格把关, 一定能够出版一批符合应用型人才培养目标的、适应计算机应用型人才培养模式的系列精品教材, 而且能出版一体化设计、多种媒体有机结合的立体化教材, 为各门课程配套电子教案、学习指导、习题解答、课程设计等辅导资料。让我们共同努力吧!

本系列教材出版说明

我国高等教育正迎来一个前所未有的发展机遇期。高等教育的发展已进入到一个新的阶段。高等本科院校也逐渐演变成“研究型、学术型”和“应用型、就业型”两类。

作为知识传承载体的教材，在高等院校的发展过程中起着至关重要的作用，但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐，许多院校一直沿用偏重于研究型的教材，应用型教材比较缺乏，这势必影响应用型人才的培养。

为顺应高等教育普及化迅速发展的趋势，配合高等院校的教学改革和教材建设，坚持“因材施教”的教学原则，注重理论联系实际，全面促进高等院校教材建设，进一步提高我国高校教材的质量，北京大学出版社和中国林业出版社大力推出高校“应用型本科”有关专业教材。本系列教材不仅讲解基础理论技术，更突出工程实际应用，注重技术与应用的结合。

本套计算机系列教材编写的主要指导思想：

(1) 要符合学校、学科的计算机课程设置要求。以高等教育的培养目标为依据，注重教材的科学性、实用性、通用性，尽量满足同类专业院校的需求。

(2) 要定位明确。准确定位教材在人才培养过程中的地位和作用，正确处理系列教材与系列课程、读者层次的关系，面向就业，突出应用。

(3) 合理选材和编排。教材内容应处理好传统内容与现代内容的关系，大力补充新知识、新技术、新工艺、新成果。根据教学内容、学时、教学大纲的要求，制定模块化编写体例，突出重点、难点。

(4) 体现建设“立体化”精品教材体系的宗旨。提倡为主干课程配套电子教案、学习指导、习题解答、课程设计、毕业设计等教学配套用书。

与此同时，我们为教学提供以下服务：

(1) 提供教学资源下载。本系列大部分教材中涉及到的实例(习题)的原始图片和其他素材或者是源代码、原始数据等文件，都可以在相关网站上下载。每本教材都配有 PPT 电子教案，老师可随时在网络上下载并可修改为适合自己教学的 PPT(<http://www.pup6.com>)。

(2) 提供多媒体课件和教师培训。针对某些重点课程，我们配套有相应的多媒体课件，对大批量使用本套教材的学校，我们会免费提供多媒体课件。另外，我们还将免费提供教师培训名额，不定期组织老师进行培训。

(3) 欢迎互动。欢迎使用本系列教材的老师和同学提出意见和建议，有建设性的，我们将给予奖励；同时愿意为有意向出版教材或专著的老师提供服务。

北京大学出版社第六事业部

中国林业出版社教材建设与出版管理中心

前 言

计算机图形学是一门发展迅速的新兴学科,是计算机应用学科的一个重要分支。随着计算机系统软件、硬件及其外部设备的发展,特别是光栅图形显示器的问世,计算机图形学的应用已渗透到各个工程技术领域,成为用户界面、数据可视化、电视广告、动画和其他应用中的公共成分。

本书系统、全面地介绍了计算机图形学的基本概念、二维和三维图形的生成及变换技术、图形的裁剪、真实感图形的显示技术以及有关知识,并结合具体实例,详细介绍了基于 OpenGL 和 VRML 环境的图形系统开发。

本书包括三部分,共 10 章内容。

第一部分主要为基本概念及二维图形学介绍。该部分在内容安排上与其他图形学教材类似,但在内容组织与编写上主要体现应用型院校特色,给出了大部分算法的程序代码,并增加了较多的应用实例。第 1 章为绪论,主要介绍计算机图形学的研究内容、计算机图形学的发展简史、计算机图形学的应用、计算机图形系统的软、硬件组成与相关概念以及计算机图形学的发展方向等。第 2 章为二维图形生成技术,主要介绍直线、圆、椭圆、自由曲线以及字符的生成等。第 3 章为二维实面积图形的生成,主要介绍矩形、区域、图案填充以及宽图元生成等。第 4 章为二维图形变换,主要介绍二维图形变换的数学基础、几种基本的二维变换以及组合变换,并给出了组合变换的实例。第 5 章为二维图形裁剪,主要介绍图形的开窗、线段、多边形、圆和文本裁剪算法等。

第二部分为三维图形学相关知识介绍。包括第 6~8 章。第 6 章为三维图形学基础,主要介绍三维图形的几何变换、三维图形的投影、三维裁剪、三维图形的输出流程等。第 7 章为三维物体的表示,主要介绍平面物体、二次曲面、孔斯曲面、贝塞尔(Bezier)曲面以及 B 样条曲面的表示等。第 8 章为真实感图形显示技术,主要介绍光色和光照模型、阴影的生成、纹理映射、透明性、隐藏线以及隐藏面的消除等。这部分重点要求学生在熟悉基本概念的基础上理解相关算法,从而为图形系统开发打下基础。因此,对较难理解的算法实现可以跳过。

第三部分主要结合当前流行的图形开发软件和环境,采用具体实例,介绍图形系统的开发与设计过程,并重点介绍基于 OpenGL 和 VRML 的图形系统设计。第 9 章为 OpenGL 环境下图形系统的设计,主要介绍 OpenGL 应用程序的工作过程、OpenGL 的功能、基本语法规则、基本图元绘制、图形的几何变换、交互操作、观察流程和函数、OpenGL 中自由曲线和曲面的绘制、多边形的消除与消隐及真实感图形绘制等,并给出了一个 OpenGL 图形演示系统的设计实例。第 10 章为 VRML 环境下图形系统的设计,在简要介绍虚拟现实及 VRML 的基础上,对 VRML 基本语法进行了介绍,并通过详细例子介绍利用 VRML 如何在场景中添加几何体以及如何实现几何体的变换和真实感场景创建等,还给出了一个完整的 VRML 虚拟漫游系统的设计实例。

本书从基本概念入手,理论与实践相结合,内容系统、完整,讲解深入浅出,可操作性强。对重点和难点算法给出了源程序,每章配有习题便于读者复习和实践。

本书由苏州大学龚声蓉教授和伏玉琛副教授、北京理工大学许承东教授、中国农业大学的沈翠华副教授和温州大学白宝钢副教授共同编写。苏州大学刘纯平副教授、刘全副教授以及浙江万里学院李继芳副教授也参与了部分编写或审稿工作。其中第1章、第9章由龚声蓉编写；第2章、第4章由伏玉琛编写；第7章、第8章由许承东编写；第3章、第10章由温州大学白宝钢编写；第5章以及第6章的6.3节和6.4节由沈翠华编写；第6章的6.1节和6.2节由刘纯平编写；第6章的6.5节由刘全编写；全书由龚声蓉统稿，陆悌亮、倪峰、曹杰等参与了源程序调试以及文字录入、校对工作。在本书的编写过程中，得到了苏州大学、北京理工大学、中国农业大学和浙江万里学院的计算机相关院系的大力支持，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，时间仓促，恳请读者在阅读本书时对书中存在的不足和错误给出批评指正。万分感谢！

编 者
2006年3月

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 计算机图形学的研究内容.....	1
1.2 计算机图形学的发展简史.....	2
1.3 计算机图形技术的应用.....	4
1.4 计算机图形系统.....	7
1.4.1 计算机图形系统的组成.....	7
1.4.2 常用图形输入设备.....	10
1.4.3 常用图形输出设备.....	12
1.4.4 计算机图形系统软件.....	23
1.5 计算机图形学的发展动向.....	24
1.5.1 造型技术的发展.....	24
1.5.2 真实图形生成技术的发展.....	25
1.5.3 人一机交互技术的发展.....	25
习题.....	26
第 2 章 二维图形生成技术.....	27
2.1 直线的生成.....	27
2.1.1 直接生成法.....	27
2.1.2 数值微分法.....	28
2.1.3 中点画线法.....	30
2.1.4 Bresenham 画线算法.....	32
2.1.5 双步画线算法.....	33
2.2 圆的生成.....	35
2.2.1 圆的八点对称.....	35
2.2.2 Bresenham 画圆算法.....	36
2.2.3 中点画圆算法.....	38
2.2.4 正负法画圆.....	40
2.3 椭圆的生成.....	42
2.4 自由曲线的生成.....	42
2.5 输出图元的属性.....	43
2.5.1 线宽控制.....	43
2.5.2 线型控制.....	44
2.6 字符的生成.....	45
2.6.1 字符形状表示.....	46

2.6.2 字符属性.....	47
习题.....	47
第 3 章 二维实面积图形的生成.....	50
3.1 矩形填充.....	50
3.2 区域填充.....	51
3.2.1 多边形的扫描转换算法.....	51
3.2.2 边填充算法.....	62
3.2.3 种子填充算法.....	72
3.3 图案填充.....	78
3.3.1 使用扫描转换的图案填充.....	78
3.3.2 不用扫描转换的图案填充.....	80
习题.....	81
第 4 章 二维图形变换.....	83
4.1 数学基础.....	83
4.1.1 向量及其性质.....	83
4.1.2 向量点积.....	84
4.1.3 矩阵.....	84
4.1.4 矩阵乘法.....	84
4.1.5 矩阵的转置.....	85
4.1.6 矩阵的逆.....	85
4.1.7 齐次坐标.....	85
4.2 基本变换.....	86
4.2.1 平移变换.....	86
4.2.2 比例变换.....	87
4.2.3 旋转变换.....	88
4.2.4 其他变换.....	89
4.3 组合变换.....	92
4.3.1 单一基本变换的组合变换.....	92
4.3.2 多个基本变换的组合变换.....	93
4.3.3 组合变换举例.....	95
习题.....	96

第 5 章 二维图形的裁剪 99	第 7 章 三维物体的表示 152
5.1 图形的开窗 99	7.1 平面物体的表示..... 152
5.1.1 图形学中常用的坐标系..... 99	7.1.1 多边形表 153
5.1.2 窗口与视区的坐标变换.....100	7.1.2 平面方程 154
5.2 线段裁剪算法102	7.1.3 多边形网格 156
5.2.1 裁剪端点102	7.2 二次曲面..... 157
5.2.2 利用求解联立方程组的 线段裁剪102	7.2.1 球面 157
5.2.3 Cohen-Sutherland 线段裁剪105	7.2.2 椭球面 158
5.2.4 参数化的线段裁剪108	7.2.3 环面 158
5.3 多边形裁剪算法.....109	7.3 孔斯(Coons)曲面 159
5.3.1 Sutherland-Hodgman 算法110	7.3.1 第一类 Coons 曲面 159
5.3.2 Weiler-Atherton 算法113	7.3.2 第二类 Coons 曲面 160
5.4 圆的裁剪127	7.4 贝塞尔(Bezier)曲面..... 162
5.5 文本裁剪算法128	7.4.1 Bezier 曲面的定义 162
5.5.1 字符串裁剪128	7.4.2 Bezier 曲面的性质 163
5.5.2 字符裁剪128	7.5 B 样条曲面..... 164
5.5.3 笔画裁剪128	习题 165
5.6 二维图形的输出流程.....129	第 8 章 真实感图形显示技术 168
习题129	8.1 颜色模型..... 168
第 6 章 三维图形学基础131	8.1.1 RGB 颜色模型 169
6.1 三维图形的几何变换.....131	8.1.2 CMY 颜色模型 169
6.1.1 三维坐标系的建立131	8.1.3 HSV 颜色模型 170
6.1.2 三维图形几何变换132	8.2 光照模型..... 171
6.1.3 三维坐标系变换137	8.2.1 环境光 173
6.2 三维图形的投影.....138	8.2.2 漫反射 173
6.2.1 投影与投影变换的定义.....138	8.2.3 镜面反射 174
6.2.2 平面几何投影的分类139	8.2.4 点光源与柱光源(锥光源)..... 175
6.2.3 透视投影140	8.3 阴影的生成..... 175
6.2.4 平行投影141	8.3.1 扫描线阴影生成算法..... 175
6.3 三维裁剪146	8.3.2 阴影体 177
6.3.1 用三维规范视见体进行 裁剪146	8.4 纹理映射..... 177
6.3.2 在齐次坐标中裁剪148	8.4.1 颜色纹理 178
6.4 坐标系统148	8.4.2 几何纹理 180
6.5 三维图形的输出流程.....149	8.5 透明性..... 181
习题150	8.5.1 无折射的透明..... 181
	8.5.2 折射透明性 182
	8.6 隐藏线的消除..... 185
	8.7 隐藏面的消除..... 192

8.7.1 基本检测	193	9.9.3 NURBS 曲线的绘制	228
8.7.2 画家算法	195	9.9.4 NURBS 曲面的绘制	230
8.7.3 深度缓冲器算法 (Z 缓冲区 算法).....	197	9.10 OpenGL 中的多边形的消除与 消隐	230
8.7.4 扫描线算法	198	9.11 OpenGL 的真实感图形绘制	232
8.7.5 区域细分算法	199	9.11.1 OpenGL 颜色	232
习题	200	9.11.2 OpenGL 光照	234
第 9 章 OpenGL 环境下图形系统 的设计	203	9.11.3 OpenGL 明暗处理	235
9.1 概述	203	9.11.4 OpenGL 纹理映射	235
9.2 OpenGL 应用程序的工作过程	204	9.12 一个 OpenGL 图形演示系统的 设计	238
9.3 OpenGL 的功能	206	9.12.1 位图数据的处理	239
9.4 OpenGL 的基本语法规则	207	9.12.2 模型的绘制	243
9.4.1 OpenGL 的数据类型	207	9.12.3 编程步骤	247
9.4.2 OpenGL 的函数约定	208	习题	249
9.5 OpenGL 基本图元绘制	209	第 10 章 VRML 环境下图形系统 的设计	251
9.5.1 概述	209	10.1 虚拟现实简介	251
9.5.2 点	210	10.2 VRML 概述	252
9.5.3 线	211	10.3 VRML 基本语法	254
9.5.4 多边形	213	10.3.1 VRML 的通用语法结构	254
9.5.5 字符	214	10.3.2 VRML 的基本概念	255
9.6 OpenGL 图形的几何变换	214	10.3.3 VRML 空间计量单位	256
9.6.1 矩阵操作函数	214	10.3.4 VRML 的节点简介	256
9.6.2 几何变换	215	10.3.5 域	257
9.6.3 OpenGL 视区变换	216	10.4 在场景中添加几何体	259
9.7 OpenGL 的交互操作	217	10.4.1 Shape 节点对几何体 的封装	259
9.7.1 物体的选择	217	10.4.2 添加长方体	260
9.7.2 反馈	218	10.4.3 添加球体	260
9.8 OpenGL 观察流程和函数	220	10.4.4 添加圆柱体	261
9.8.1 常用的变换函数	220	10.4.5 添加圆锥体	262
9.8.2 模视变换	221	10.4.6 添加文本	263
9.8.3 投影变换	223	10.5 几何体的几何变换	265
9.8.4 视区变换	224	10.5.1 理解 VRML 空间	265
9.8.5 附加裁剪面	225	10.5.2 Transform 节点的语法	266
9.9 OpenGL 中自由曲线和曲面的 绘制	226	10.5.3 平移几何体	266
9.9.1 Bezier 曲线的绘制	226		
9.9.2 Bezier 曲面的绘制	227		

10.5.4 旋转几何体	267	10.7 一个 VRML 虚拟漫游系统的	
10.5.5 缩放几何体	270	设计	281
10.6 真实感场景创建	271	10.7.1 物体模型的设计	281
10.6.1 光照	271	10.7.2 漫游场景的最终生成	285
10.6.2 纹理	276	习题	287
10.6.3 雾化	279	参考文献	289

第1章 绪 论

教学提示：计算机图形学是研究用计算机将数据转换为图形，并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。本章将主要介绍计算机图形学的基本概念、计算机图形学的发展、计算机图形技术的应用、计算机图形系统等。

教学要求：通过本章的学习，要求学生对计算机图形学有初步了解，并着重掌握计算机图形学的基本概念、计算机图形技术的主要应用领域以及计算机图形系统组成等。

1.1 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(Computer Graphics)是一门新兴学科。国际标准化组织(ISO)将其定义为：研究用计算机进行数据和图形之间相互转换的方法和技术。具体地讲，计算机图形学是研究怎样用计算机将数据转换为图形，并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。它是建立在传统图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。

计算机图形学的研究内容涉及用计算机对图形数据进行处理硬件和软件两个方面的技术，主要是围绕着计算机图形信息的输入、表达、存储、显示、变换以及表示物体的图形的准确性、真实性和实时性的基础算法进行研究，大致可分为以下几类：

- (1) 二维图形的数据结构及基本图形元素的生成，如用光栅图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的图案填充等。
- (2) 图形元素的几何变换，即对图形的平移、放大和缩小、旋转、镜像等操作。
- (3) 自由曲线和曲面的插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体和局部修改等。
- (4) 三维几何造型技术，包括对基本体素的定义及输入，规则曲面与自由曲面的造型技术，以及它们之间的布尔运算方法的研究。
- (5) 三维形体的实时显示，包括投影变换、窗口裁剪等。
- (6) 真实感图形的生成算法，包括三维图形的消隐算法，光照模型的建立，阴影层次及彩色浓淡图的生成算法。
- (7) 山、水、花、草、烟云等模糊景物的模拟生成和虚拟现实环境的生成及其控制算法等。
- (8) 科学计算可视化和三维或高维数据场的可视化，包括将科学计算中大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来，从而使人们加深对其科学过程的理解。例如，有限元分析的结果，应力场、磁场的分布，各种复杂的运动学和动力学问题的图形仿真等。
- (9) 设计开发与实际应用相结合的计算机辅助设计应用系统。

计算机图形学具有广阔的发展前景，是一个多学科交叉的新兴学科，它不仅涉及与计算机相关的各个学科，而且涉及计算几何、工程制图、机械设计、光学、线性代数、工业造型等多门学科。

1.2 计算机图形学的发展简史

计算机图形学的发展始于 20 世纪 50 年代,先后经历了准备阶段(50 年代)、发展阶段(60 年代)、推广应用阶段(70 年代)、系统实用化阶段(80 年代)和标准化智能化阶段(90 年代)。

1. 准备阶段(20 世纪 50 年代)

计算机图形学的发展历史应追溯到 20 世纪 50 年代末期。当时的计算机主要用于科学计算,使用尚不普及,但已开始出现图形显示器、绘图仪和光笔等图形外部设备。同时,各种设计、计算和显示图形的软件开始开发,为计算机图形学的发展做好了硬件和软件的准备。1950 年,美国麻省理工学院旋风 I 号(Whirlwind I)计算机就配置了由计算机驱动的阴极射线管式的图形显示器,但不具备人机交互功能。50 年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制的 SAGE 空中防御系统就已具有指挥和控制功能。这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形来获得所需要的信息,这一功能的出现预示着交互式图形生成技术的诞生。

2. 发展阶段(20 世纪 60 年代)

1962 年,美国麻省理工学院的 I.E.萨瑟兰德(I.E.Sutherland)在他的博士论文中提出了一个名为“Sketchpad”的人—机交互式图形系统,能在屏幕上进行图形设计和修改。他在论文中首次使用了“计算机图形学(Computer Graphics)”这个术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的分层存储符号和图素的数据结构等概念和技术直至今日还在广泛应用。因此,I.E.萨瑟兰德的“Sketchpad”系统被公认为对交互图形生成技术的发展奠定了基础。随后,美国通用汽车公司、贝尔电话公司和洛克希德飞机制造公司等开展了计算机图形学和计算机辅助设计的大规模研究,分别推出了 DAC—1 系统、Graphic—1 系统和 CADAM 系统,使计算机图形学进入了迅速发展的新时期。这一时期使用的图形显示器是随机扫描的显示器,它具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。为了避免图形闪烁,它通常需要以 30 次/s 左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此需要一个刷新缓冲存储器来存放计算机产生的显示图形的数据和指令,还要有一个高速的处理器。由于这一时期使用的计算机图形硬件(大型计算机和图形显示器)是相当昂贵的,因而成为影响交互式图形生成技术进一步普及的主要原因。因此,只有上述这些大公司才能投入大量资金研制开发出只供本公司产品设计使用的实验性系统。

3. 推广应用阶段(20 世纪 70 年代)

进入 20 世纪 70 年代以后,由于集成电路技术的发展,计算机硬件性能不断提高,体积缩小,价格降低,特别是廉价的图形输入、输出设备及大容量磁盘等的出现,以小型计算机及超级小型机为基础的图形生成系统开始进入市场并形成主流。由于这种系统比起大型计算机来价格相对便宜,维护使用也比较简单,因而,20 世纪 70 年代以来,计算机图形生成技术在计算机辅助设计、事务管理、过程控制等领域得到了比较广泛的应用,取得了较好的经济效益,出现了许多专门开发图形软件的公司及相应的商品化图形软件,如