



21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国应用型本科计算机案例型规划教材



计算机图形技术

(第2版)



主 编 许承东
副主编 曹啸博 沈翠华



Graphics

- 采用案例型的教学方法深入浅出地讲解复杂的理论知识
- 书中所涉及到的算法均给出经过调试的C++源代码程序
- 全面介绍计算动画、虚拟现实、OpenGL环境等核心技术



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科计算机案例型规划教材

计算机图形技术

(第 2 版)

主 编 许承东
副主编 曹啸博 沈翠华
参 编 陈 童 刘海军



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是编者在第1版的基础上,为了适应新的发展情况,总结近五年来的教学和科研经验,对原书内容调整和补充修改而成的。其中,主要调整内容是与教学相关的程序和习题,增加了计算机动画的内容,提供了教学课件。

本书较全面系统地介绍了计算机图形技术的基本原理及应用,对计算机图形的生成及变换、图形裁剪、真实感图形生成和计算机动画等有关知识做了详细而系统的阐述;并结合具体实例,详细介绍了基于 OpenGL 环境和虚拟现实建模语言 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,每章配有习题及答案、教学课件、程序源代码,便于读者学习和编程实践。

本书可作为高等院校计算机、机械设计等相关专业的“计算机图形学”课程的教材或教学参考书,也可供相关领域有一定实际经验的科研人员、软件开发工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形技术/许承东主编. —2版. —北京:北京大学出版社, 2011.9

(21世纪全国应用型本科计算机案例型规划教材)

ISBN 978-7-301-19386-0

I. ①计… II. ①许… 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(2011)第 166006 号

书 名: 计算机图形技术(第2版)

著作责任者: 许承东 主编

策 划 编 辑: 郑 双

责 任 编 辑: 郑 双

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19386-0/TP · 1183

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市富华印装厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 23.25印张 534千字

2006年9月第1版 2011年9月第2版 2011年9月第1次印刷

定 价: 44.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国应用型本科计算机案例型规划教材

专家编审委员会

(按姓名拼音顺序)

主 任 刘瑞挺

副主任 陈 钟 蒋宗礼

委 员 陈代武 胡巧多 黄贤英

江 红 李 建 娄国焕

马秀峰 祁亨年 王联国

汪新民 谢安俊 解 凯

徐 苏 徐亚平 宣兆成

姚喜妍 于永彦 张荣梅

信息技术的案例型教材建设

(代丛书序)

刘瑞挺

北京大学出版社第六事业部在 2005 年组织编写了《21 世纪全国应用型本科计算机系实用规划教材》，至今已出版了 50 多种。这些教材出版后，在全国高校引起热烈反响，可谓初战告捷。这使北京大学出版社的计算机教材市场规模迅速扩大，编辑队伍茁壮成长，经济效益明显增强，与各类高校师生的关系更加密切。

2008 年 1 月北京大学出版社第六事业部在北京召开了“21 世纪全国应用型本科计算机案例型教材建设和教学研讨会”。这次会议为编写案例型教材做了深入的探讨和具体的部署，制定了详细的编写目的、丛书特色、内容要求和风格规范。在内容上强调面向应用、能力驱动、精选案例、严把质量；在风格上力求文字精练、脉络清晰、图表明快、版式新颖。这次会议吹响了提高教材质量第二战役的进军号。

案例型教材真能提高教学的质量吗？

是的。著名法国哲学家、数学家勒内·笛卡儿(Rene Descartes, 1596—1650)说得好：“由一个例子的考察，我们可以抽出一条规律。(From the consideration of an example we can form a rule.)”事实上，他发明的直角坐标系，正是通过生活实例而得到的灵感。据说是在 1619 年夏天，笛卡儿因病住进医院。中午他躺在病床上，苦苦思索一个数学问题时，忽然看到天花板上有一只苍蝇飞来飞去。当时天花板是用木条做成正方形的格子。笛卡儿发现，要说出这只苍蝇在天花板上的位置，只需说出苍蝇在天花板上的第几行和第几列。当苍蝇落在第四行、第五列的那个正方形时，可以用(4, 5)来表示这个位置……由此他联想到可用类似的办法来描述一个点在平面上的位置。他高兴地跳下床，喊着“我找到了，找到了”，然而不小心把国际象棋撒了一地。当他的目光落到棋盘上时，又兴奋地一拍大腿：“对，对，就是这个图”。笛卡儿锲而不舍的毅力，苦思冥想的钻研，使他开创了解析几何的新纪元。千百年来，代数与几何，井水不犯河水。17 世纪后，数学突飞猛进的发展，在很大程度上归功于笛卡儿坐标系和解析几何学的创立。

这个故事，听起来与阿基米德在浴池洗澡而发现浮力原理，牛顿在苹果树下遇到苹果落到头上而发现万有引力定律，确有异曲同工之妙。这就证明，一个好的例子往往能激发灵感，由特殊到一般，联想出普遍的规律，即所谓的“一叶知秋”、“见微知著”的意思。

回顾计算机发明的历史，每一台机器、每一颗芯片、每一种操作系统、每一类编程语言、每一个算法、每一套软件、每一款外部设备，无不像闪光的珍珠串在一起。每个案例都闪烁着智慧的火花，是创新思想不竭的源泉。在计算机科学技术领域，这样的案例就像大海岸边的贝壳，俯拾皆是。

事实上，案例研究(Case Study)是现代科学广泛使用的一种方法。Case 包含的意义很广：包括 Example 例子，Instance 事例、示例，Actual State 实际状况，Circumstance 情况、事件、境遇，甚至 Project 项目、工程等。

我们知道在计算机的科学术语中，很多是直接来自日常生活的。例如 Computer 一词早

在 1646 年就出现于古代英文字典中,但当时它的意义不是“计算机”而是“计算工人”,即专门从事简单计算的工人。同理,Printer 当时也是“印刷工人”而不是“打印机”。正是由于这些“计算工人”和“印刷工人”常出现计算错误和印刷错误,才激发查尔斯·巴贝奇(Charles Babbage, 1791—1871)设计了差分机和分析机,这是最早的专用计算机和通用计算机。这位英国剑桥大学数学教授、机械设计专家、经济学家和哲学家是国际公认的“计算机之父”。

20 世纪 40 年代,人们还用 Calculator 表示计算机。到电子计算机出现后,才用 Computer 表示计算机。此外,硬件(Hardware)和软件(Software)来自销售人员。总线(Bus)就是公共汽车或大巴,故障和排除故障源自格瑞斯·霍普(Grace Hopper, 1906—1992)发现的“飞蛾子”(Bug)和“抓蛾子”或“抓虫子”(Debug)。其他如鼠标、菜单……不胜枚举。至于哲学家进餐问题,理发师睡觉问题更是操作系统文化中脍炙人口的经典。

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 用于弹道曲线的计算,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,也受到二战时图灵博士破译纳粹密码工作的影响。

在信息技术中,既有许多成功的案例,也有不少失败的案例;既有先成功而后失败的案例,也有先失败而后成功的案例。好好研究它们的成功经验和失败教训,对于编写案例型教材有重要的意义。

我国正在实现中华民族的伟大复兴,教育是民族振兴的基石。改革开放 30 年来,我国高等教育在数量上、规模上已有相当的发展。当前的重要任务是提高培养人才的质量,必须从学科知识的灌输转变为素质与能力的培养。应当指出,大学课堂在高新技术的武装下,利用 PPT 进行的“高速灌输”、“翻页宣科”有愈演愈烈的趋势,我们不能容忍用“技术”绑架教学,而是让教学工作乘信息技术的东风自由地飞翔。

本系列教材的编写,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,突出应用型、技能型教学的实用性和可操作性,强化案例教学。本套教材将会有机融入大量最新的示例、实例以及操作性较强的案例,力求提高教材的趣味性和实用性,打破传统教材自身知识框架的封闭性,强化实际操作训练,使本系列教材做到“教师易教,学生乐学,技能实用”。有了广阔的应用背景,再造计算机案例型教材就有了基础。

我相信北京大学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,一定能够建设出一批符合计算机应用型人才培养模式的、以案例型为创新点和兴奋点的精品教材,并且通过一体化设计、实现多种媒体有机结合的立体化教材,为各门计算机课程配齐电子教案、学习指导、习题解答、课程设计等辅导资料。让我们用锲而不舍的毅力,勤奋好学的钻研,向着共同的目标努力吧!

刘瑞挺教授 本系列教材编写指导委员会主任、全国高等院校计算机基础教育研究会副会长、中国计算机学会普及工作委员会顾问、教育部考试中心全国计算机应用技术证书考试委员会副主任、全国计算机等级考试顾问。曾任教育部理科计算机科学教学指导委员会委员、中国计算机学会教育培训委员会副主任。PC Magazine《个人电脑》总编辑、CHIP《新电脑》总顾问、清华大学《计算机教育》总策划。

第 2 版前言

本书第 1 版自 2006 年 9 月出版以来,受到读者的欢迎,不少高校把它作为“计算机图形学”课程的教材。然而第 1 版的内容主要取材于 2005 年以前出版的书籍、文献及其作者的理论与实践总结,近年来,计算机图形学科又有了不少新的进展。为了适应学科最新发展,更好地为广大读者服务,编者对第 1 版进行了认真的修订。

这次修订的指导思想是保持第 1 版系统性较强、内容比较全面、有丰富的实例,以及适应应用型本科教学的特点,增加了反映学科最新发展方向的新内容。同时,又适当压缩全书的篇幅,并配备教学课件和习题解答,以方便教师和学生使用。为此,在修订时对内容的取舍做了十分慎重的斟酌,删掉了前后重复的内容,去掉不必要的图表和文字,增加了近年来比较流行的计算机动画内容,强调计算机图形基础理论与计算机动画相互结合、相互促进的发展趋势。

为了便于教学,此次修订还增加了教学课件,并对第 1 版每章后的习题做了适当的调整和更新,去掉了部分不必要的习题。

本书由北京理工大学许承东、曹啸博和中国农业大学沈翠华共同编写完成。其中,第 1 章至第 10 章的相关程序和习题的修改、编译,以及新增习题的编写、全部答案的提供工作由北京理工大学陈童、刘海军完成,新增的第 11 章由北京理工大学曹啸博编写,许承东负责对全书的统稿,曹啸博和沈翠华对全书进行了编辑和校核。

本书在修订过程中,得到了清华大学软件学院雍俊海教授的大力支持,北京理工大学胡春生、张弛、李光耀和马小强等对本书的编写提供了宝贵的建议和帮助,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处。敬请读者和大家批评指正,万分感谢!

编 者

2011 年 5 月于北京

第 1 版前言

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，陆梯亮、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	2.6.1 字符形状表示	52
1.1 计算机图形学的研究内容	2	2.6.2 字符属性	52
1.2 计算机图形学的发展简史	3	本章小结	53
1.3 计算机图形技术的应用	5	习题	54
1.4 计算机图形系统	8	第3章 二维实面积图形的生成	56
1.4.1 计算机图形系统的组成	8	3.1 矩形填充	57
1.4.2 常用图形输入设备	11	3.2 区域填充	58
1.4.3 常用图形输出设备	13	3.2.1 多边形的扫描转换算法	58
1.4.4 计算机图形系统软件	24	3.2.2 边填充算法	70
1.5 计算机图形学的发展动向	25	3.2.3 种子填充算法	77
1.5.1 造型技术的发展	25	3.3 图案填充	84
1.5.2 真实图形生成技术的发展	26	3.3.1 使用扫描转换的图案填充	84
1.5.3 人-机交互技术的发展	26	3.3.2 不用扫描转换的图案填充	86
本章小结	26	本章小结	87
习题	28	习题	88
第2章 二维图形生成技术	29	第4章 二维图形变换	89
2.1 直线的生成	30	4.1 数学基础	91
2.1.1 直接生成法	30	4.1.1 向量及其性质	91
2.1.2 数值微分法	32	4.1.2 向量点积	92
2.1.3 中点画线法	34	4.1.3 矩阵	92
2.1.4 Bresenham 画线算法	36	4.1.4 矩阵乘法	93
2.1.5 双步画线算法	39	4.1.5 矩阵的转置	93
2.2 圆的生成	40	4.1.6 矩阵的逆	93
2.2.1 圆的八点对称	40	4.1.7 齐次坐标	94
2.2.2 Bresenham 画圆算法	41	4.2 基本变换	94
2.2.3 中点画圆算法	43	4.2.1 平移变换	94
2.2.4 正负法画圆	47	4.2.2 比例变换	95
2.3 椭圆的生成	48	4.2.3 旋转变换	96
2.4 自由曲线的生成	48	4.2.4 其他变换	97
2.5 输出图元的属性	49	4.3 组合变换	99
2.5.1 线宽控制	49	4.3.1 单一基本变换的组合变换	99
2.5.2 线型控制	50	4.3.2 多个基本变换的组合变换	100
2.6 字符的生成	51	4.3.3 组合变换举例	102

本章小结	103	6.4 坐标系统	160
习题	104	6.5 三维图形的输出流程	162
第5章 二维图形的裁剪	106	本章小结	162
5.1 图形的开窗	107	习题	163
5.1.1 图形学中常用的坐标系	107	第7章 三维物体的表示	165
5.1.2 窗口与视区的坐标变换	108	7.1 平面物体的表示	166
5.2 线段裁剪算法	110	7.1.1 多边形表	167
5.2.1 裁剪端点	111	7.1.2 平面方程	168
5.2.2 利用求解联立方程组的 线段裁剪	111	7.1.3 多边形网格	170
5.2.3 Cohen-Sutherland 线段裁剪	113	7.2 二次曲面	170
5.2.4 参数化的线段裁剪	117	7.2.1 球面	170
5.3 多边形裁剪算法	118	7.2.2 椭球面	171
5.3.1 Sutherland-Hodgman 算法	118	7.2.3 环面	172
5.3.2 Weiler-Atherton 算法	122	7.3 孔斯(Coons)曲面	172
5.4 圆的裁剪	138	7.3.1 第一类 Coons 曲面	172
5.5 文本裁剪算法	138	7.3.2 第二类 Coons 曲面	173
5.5.1 字符串裁剪	138	7.4 贝塞尔(Bezier)曲线和曲面	175
5.5.2 字符裁剪	138	7.4.1 Bezier 曲线的定义	175
5.5.3 笔画裁剪	139	7.4.2 Bezier 曲线的性质	177
5.6 二维图形的输出流程	139	7.4.3 Bezier 曲面的定义	178
本章小结	139	7.4.4 Bezier 曲面的性质	180
习题	140	7.5 B 样条曲面	181
第6章 三维图形学基础	142	7.5.1 B 样条曲线的定义	181
6.1 三维图形的几何变换	143	7.5.2 B 样条曲线的性质	182
6.1.1 三维坐标系的建立	143	7.5.3 B 样条曲面	183
6.1.2 三维图形几何变换	144	本章小结	184
6.1.3 三维坐标系变换	149	习题	185
6.2 三维图形的投影	150	第8章 真实感图形显示技术	187
6.2.1 投影与投影变换的定义	151	8.1 颜色模型	188
6.2.2 平面几何投影的分类	151	8.1.1 RGB 颜色模型	189
6.2.3 透视投影	152	8.1.2 CMY 颜色模型	190
6.2.4 平行投影	153	8.1.3 HSV 颜色模型	190
6.3 三维裁剪	158	8.2 光照模型	191
6.3.1 用三维规范视见体 进行裁剪	158	8.2.1 环境光	193
6.3.2 在齐次坐标中裁剪	160	8.2.2 漫反射	193
		8.2.3 镜面反射	194
		8.2.4 点光源与柱光源(锥光源)	195
		8.3 阴影的生成	195

8.3.1 扫描线阴影生成算法	195	9.7.2 反馈	241
8.3.2 阴影体	197	9.8 OpenGL 观察流程和函数	242
8.4 纹理映射	197	9.8.1 常用的变换函数	243
8.4.1 颜色纹理	198	9.8.2 模视变换	243
8.4.2 几何纹理	200	9.8.3 投影变换	245
8.5 透明性	201	9.8.4 视区变换	247
8.5.1 无折射的透明	201	9.8.5 附加裁剪面	248
8.5.2 折射透明性	202	9.9 OpenGL 中自由曲线和曲面的 绘制	248
8.6 隐藏线的消除	204	9.9.1 Bezier 曲线的绘制	248
8.7 隐藏面的消除	213	9.9.2 Bezier 曲面的绘制	250
8.7.1 基本检测	213	9.9.3 NURBS 曲线的绘制	251
8.7.2 画家算法	215	9.9.4 NURBS 曲面的绘制	252
8.7.3 深度缓冲器算法 (Z 缓冲区算法)	217	9.10 OpenGL 中的多边形的 消除与消隐	253
8.7.4 扫描线算法	218	9.11 OpenGL 的真实感图形绘制	255
8.7.5 区域细分算法	219	9.11.1 OpenGL 颜色	255
本章小结	220	9.11.2 OpenGL 光照	256
习题	222	9.11.3 OpenGL 明暗处理	257
第 9 章 OpenGL 环境下图形系统的 设计	224	9.11.4 OpenGL 纹理映射	258
9.1 概述	225	9.12 一个 OpenGL 图形演示系统的 设计	261
9.2 OpenGL 应用程序的工作过程	227	9.12.1 位图数据的处理	261
9.3 OpenGL 的功能	228	9.12.2 模型的绘制	265
9.4 OpenGL 的基本语法规则	229	9.12.3 编程步骤	270
9.4.1 OpenGL 的数据类型	229	本章小结	272
9.4.2 OpenGL 的函数约定	230	习题	274
9.5 OpenGL 基本图元绘制	231	第 10 章 VRML 环境下图形系统的 设计	275
9.5.1 概述	231	10.1 虚拟现实简介	277
9.5.2 点	233	10.2 VRML 概述	277
9.5.3 线	233	10.3 VRML 基本语法	280
9.5.4 多边形	235	10.3.1 VRML 的通用语法结构	280
9.5.5 字符	236	10.3.2 VRML 的基本概念	280
9.6 OpenGL 图形的几何变换	236	10.3.3 VRML 空间计量单位	281
9.6.1 矩阵操作函数	237	10.3.4 VRML 的节点简介	282
9.6.2 几何变换	238	10.3.5 域	283
9.6.3 OpenGL 视区变换	239	10.4 在场景中添加几何体	285
9.7 OpenGL 的交互操作	239		
9.7.1 物体的选择	240		

10.4.1 Shape 节点对几何体的封装	285	本章小结	314
10.4.2 添加长方体	285	习题	314
10.4.3 添加球体	286	第 11 章 计算机动画	316
10.4.4 添加圆柱体	287	11.1 OpenGL 动画基本程序	317
10.4.5 添加圆锥体	288	11.1.1 基于 MFC 的基本 OpenGL 应用程序生成	317
10.4.6 添加文本	289	11.1.2 基于 OpenGL 的动画编程	328
10.5 几何体的几何变换	290	11.2 关键帧动画和变体技术	340
10.5.1 理解 VRML 空间	290	11.2.1 关键帧插值	341
10.5.2 Transform 节点的语法	291	11.2.2 基于网格的图像变体技术	343
10.5.3 平移几何体	292	11.2.3 Minkowski 和	343
10.5.4 旋转几何体	293	11.3 自由变形	345
10.5.5 缩放几何体	295	11.3.1 二维自由变形	345
10.6 真实感场景创建	297	11.3.2 三维自由变形	347
10.6.1 光照	297	11.3.3 自由变形的前景	349
10.6.2 纹理	302	本章小结	351
10.6.3 雾化	305	习题	352
10.7 一个 VRML 虚拟漫游系统的设计	307	参考文献	353
10.7.1 物体模型的设计	307		
10.7.2 漫游场景的最终生成	312		

第1章 绪论

学习目标

- 掌握计算机图形学的基本概念;
- 掌握计算机图形技术的主要应用领域;
- 掌握计算机图形系统组成。

知识结构

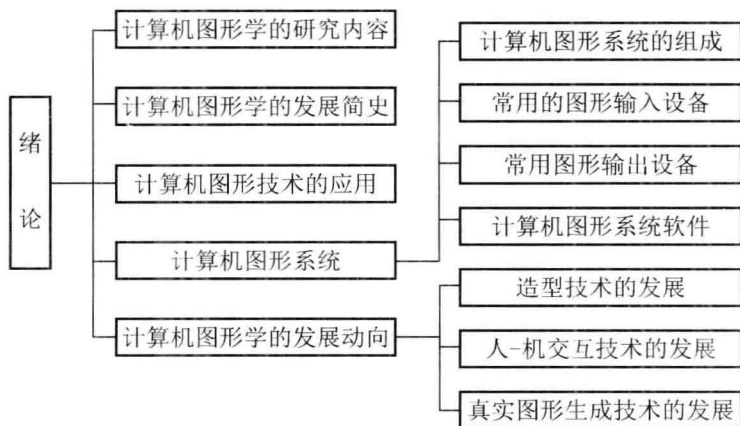


图 1.1 序论结构图



导入案例

同学们，欢迎进入计算机图形学的世界，我们通过计算机图形学的应用来了解计算机图形学的重要性。

计算机已经成为快速、经济的生成图片的强大工具。计算机图形学已经广泛应用于各个领域，如科学、工程、医药、工业、政府部门、艺术娱乐业、广告业、教学等。从高科技应用的卫星图像三维可视化，到工作中应用的计算机图形学建模软件如 AutoCAD、Pro/E、SolidWorks 等，到手机等数字产品中的三维场景游戏，计算机图形学我们的工作、学习和生活息息相关。下面来具体介绍一下计算机图形学的应用。

计算机图形学主要用于设计过程，尤其是工业工程和建筑系统。现在几乎所有的产品都是计算机设计的。CAD 和 Pro/E 等计算机辅助设计方法目前已广泛应用于建筑、汽车、飞机、轮船、飞行器、航空航天等许多领域的产品设计中。对产品的设计通常以线框轮廓或实体模型等形式显示出来，从而进行进一步的外形及对象的特征设计。产品的外形参数及特征参数等通过图形显示的形式直观地表示出来，便于设计者对设计的结果进行反馈和调整，如图 1.2 所示为飞行器的实体模型图。

可视化技术广泛应用于流体力学、有限元分析、医学、天气预报、海洋和空间探测等领域，已成为一

种从海量的计算数据和测量数据中发掘其蕴含的自然、物理现象和规律的新的通用手段。可视化技术在航空航天等尖端领域的仿真设计中有着重要的应用。在进行大量数据的分析和处理时,传统的分析方法效率太低。可视化方法可以将海量数据进行实时的直观的图形显示。如图 1.3 所示为卫星轨道的可视化示意图。



图 1.2 飞行器的实体模型图

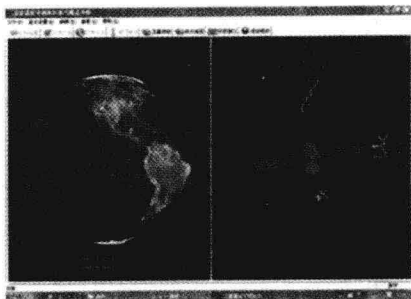


图 1.3 卫星轨道的可视化示意图

现在计算机图形方法常用于制作动画、音乐录像片、电视片和 3D 游戏等。图形场景有时单独显示,有时与实际场景等混合显示。许多电子游戏和动画片经常使用计算机图形方法,如著名的游戏“魔兽世界”和动画片“名侦探柯南”中的场景图片。

本书主要介绍计算机图形学的基础原理、算法和编程实现的知识。用心地学习这门课后,读者将会掌握精彩的计算机图形学的奥妙。

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。它是建立在传统图形学理论、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

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研发,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

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”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被广泛应用。因此,I.E.萨瑟兰德的“Sketchpad”系统被公认为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 30Hz 以上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

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 Computer Vision, Intergraph, Colma 等公司推出了许多成套实用的商品化 CAD 系统,IBM 和波音公司应用 CAD/CAM 相结合技术取得了丰硕的成果,使得 CAD 成为工业设计部门不可缺少的工具和热门技术。

其中,基于电视技术的光栅扫描显示器的出现极大地推动了计算机图形学的发展。光栅扫描显示器将被显示的图像以点阵形式存储在刷新缓存中,由视频控制器将其读出并在屏幕上产生图像。光栅扫描显示器较之随机扫描显示器有许多优点:一是规则而重复的扫描比随机扫描容易实现,因而价格便宜;二是可以显示用颜色或各种模式填充的图形,这对于生成三维物体的真实感图形是非常重要的;三是刷新过程与图形的复杂程度无关,只要基本的刷新频率足够高,就不会因为图形复杂而出现闪烁现象。由于光栅扫描显示器具有许多优点,因而直至今日仍然成为图形显示的主要方式,工作站及微型计算机都采用这种光栅扫描显示器。

由于众多商品化软件的出现,在这一时期图形标准化问题也被提上议程。图形标准化要求图形软件内低层次的与设备有关的软件包转变为高层次的与设备无关的软件包。1974 年,美国计算机学会成立了一个图形标准化委员会——ACM SIGGRAPH,开始有关标准的制定和审批工作。1977 年该委员会提出了一个称为“核心图形系统 CGS”的规范。1979 年又公布了修改后的第二版,增加了包括光栅图形显示技术在内的许多其他功能,但仍作为进一步讨论的基础。

4. 系统实用化阶段

进入 20 世纪 80 年代以后,工作站的出现极大地促进了计算机图形学的发展。相对小型计算机来说,工作站在用于图形生成上具有显著的优点。首先,工作站是一个用户使用一台计算机,交互作用时,响应时间短;其次,工作站联网后可以共享资源,如大容量磁盘、高精度绘图仪等,而且它便于逐步投资、逐步发展、使用寿命较长。因而,工作站已经取代小型计算机成为图形生成的主要环境。20 世纪 80 年代后期,微型计算机的性能迅速提高,配以高分辨率显示器及窗口管理系统,并在网络环境下运行,使它成为计算机图形生成技术的重要环境。由于微机系统价格便宜,因而得到广泛的普及和推广,尤其是微型计算机上的图形软件和支持图形应用的操作系统及其应用程序(如 Windows、Office、AutoCAD、CorelDRAW、Freehand、3ds Max 等)的全面出现,使计算机图形技术的应用深度和广度得到了前所未有的发展。