

• 信息与计算科学专业系列教材 •

朱方生 李订芳 编著

计算机图形学



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

• 信息与计算科学专业系列教材 •

朱方生 李订芳
编著

计算机图形学



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/朱方生,李订芳编著. —武汉:武汉大学出版社,
2005. 7

信息与计算科学专业系列教材

ISBN 7-307-04479-X

I. 计… II. ①朱… ②李… 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(2005)第 011776 号

责任编辑:顾素萍

责任校对:刘欣

版式设计:支笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北省荆州市今印印务有限公司

开本:787×980 1/16 印张:16.625 字数:289千字

版次:2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

ISBN 7-307-04479-X/TP·162 定价:21.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本书是根据高等学校信息与计算科学专业课程“计算机图形学”的要求，结合该专业学生培养方案，在较全面介绍计算机图形学基本内容的同时，突出算法设计、科学计算以及非线性科学在计算机图形学中的应用等前沿领域和热门问题，既有较强的针对性，又较全面反映了计算机图形学的基本内容。主要有计算机图形学概述、基本图形的生成算法、图形变换、图形数据结构、图形输入输出与数据接口技术、曲面与三维造型技术、图形消隐处理、真实感图形技术等计算机图形学的基本内容。作为教材，书中叙述较为详细，便于学生自学复习。其中一部分为可供选择的内容，以满足不同学生的需要。

本书可作为信息与计算科学专业及计算机类专业相关课程的教材和参考书。

出版说明

1998年，教育部颁布了经调整后的高等学校新的专业目录，从1999年秋季开始，各院校开始按新的专业设置进行招生。信息与计算科学专业是在这次调整中设置的，是以信息处理和科学与工程计算为背景的，由信息科学、计算科学、运筹与控制科学等交叉渗透而形成的一个新的理科专业。目前，社会对这方面的人才需求越来越多，开办这个专业的院校也越来越多。因此，系统地出版一套高质量的相关教材是当务之急。

由于信息与计算科学专业是一个新设的专业，有关该专业的人才培养模式、培养目标、教学计划、课程体系、教材建设等一系列专业建设问题，各院校目前正在积极地研究和探索之中。为了配合全国各类高校信息与计算科学专业的教学改革和课程建设，推进高校信息与计算科学专业教材的出版工作，在有关专家的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织成立了信息与计算科学专业系列教材编委会，并制定了教材出版规划。

编委会一致认为，规划教材应该能够反映当前教学改革的需要，要有特色和一定的前瞻性。规划教材由个人申报或由有关专家推荐，经编委会认真评审，最后由出版社审定出版。对这批教材的编写力求做到教学改革力度大、有创新精神、有特色风格、深入浅出、可读性好、实用性强，以满足全国各类高校21世纪信息与计算科学专业及相关专业的教学需要。

限于我们的水平和经验，这批教材在编审、出版工作中还可能存在一定的缺点和不足，希望使用本系列教材的教师、同学和其他广大读者提出批评和建议。

信息与计算科学专业系列教材编委会

2002年5月

前 言

计算机图形学是研究通过计算机将数据转换成图形，并在专用显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。计算机图形处理技术已日趋成熟，它在多媒体技术、科学计算可视化、生物医学、宇宙空间、数字电视等领域已发挥了很大的作用。

本书是作者在武汉大学信息与计算机专业本科生及计算机科学与技术专业研究生多年教学实践的基础上编写而成的。主要介绍了计算机图形系统基本知识，图形生成与显示的算法，图形的表示与图形数据结构，图形的几何变换与投影变换，图形的裁剪技术，图形消隐处理，真实感图形的生成等内容。

本教材共分十章，第一章至第六章由朱方生编写，第七章至第十章及附录由李订芳编写。在本书的编写过程中，得到了武汉大学信息与计算科学系领导和许多老师的大力支持与帮助，借此机会深表感谢！

对本书存在的问题和不妥之处，衷心希望读者提出宝贵意见。

编 者

2005 年 1 月

于武汉大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学与图像处理	1
1.2 计算机图形学的产生和发展	3
1.3 计算机图形学的应用	6
习题 1	7
第 2 章 计算机图形系统	8
2.1 计算机硬件设备简介	8
2.2 光栅扫描图形显示技术	14
2.3 图形软件系统	20
2.4 图形系统的功能和 workstation	23
2.5 C 语言图形系统的设置	26
习题 2	29
第 3 章 二维图形的生成技术	30
3.1 直线的生成算法	30
3.2 圆弧的生成算法	40
3.3 自由曲线及分段抛物线的生成算法	46
3.4 参数三次 Hermite 样条曲线	50
3.5 Bezier 样条曲线	56
3.6 B 样条曲线	62
习题 3	71
第 4 章 自由曲面的生成技术	73
4.1 参数曲面的定义	73
4.2 双三次 Coons 曲面	76
4.3 Bezier 曲面	80
4.4 B 样条曲面	83

4.5*	基于三维散列数据构造曲面	85
习题 4		88
第 5 章	图形的几何变换及裁剪	89
5.1	二维图形的几何变换	89
5.2	三维图形的几何变换	95
5.3	窗口视区变换	99
5.4	二维图形的裁剪	102
5.5	多边形的裁剪	109
习题 5		113
第 6 章	三维图形的投影变换及裁剪	115
6.1	投影变换的分类及正投影	115
6.2	三维轴测投影变换	119
6.3	透视投影变换	127
6.4	三维图形变换的程序设计	132
6.5*	三维图形的裁剪	135
习题 6		146
第 7 章	图形的表示	147
7.1	实体与图形	147
7.2	实体表示的三种模型	153
7.3	边界表示法	156
7.4	扫描表示法	162
7.5	构造的实体几何法	164
7.6	八叉树表示法	167
习题 7		169
第 8 章	图形数据结构	170
8.1	常用图形数据结构	170
8.2	图段	172
8.3	结构	175
8.4	图形数据的层次结构	177
8.5	图形数据存储结构	178
习题 8		182

第 9 章 图形消隐处理	183
9.1 消隐算法概述	183
9.2 消隐算法相关几何计算	185
9.3 线消隐	190
9.4 面消隐	196
习题 9	200
第 10 章 真实感图形的生成	201
10.1 图形真实感显示发展概述	201
10.2 光照模型与光照跟踪算法	202
10.3 光线跟踪	219
10.4 阴影生成技术	224
10.5 纹理生成技术	230
习题 10	234
附录 Visual C 图形程序设计基础	235
参考文献	251

第1章

绪论

本章介绍计算机图形学与图像处理的基本概念、基本内容以及计算机图形学的产生、发展和它的应用。

1.1 计算机图形学与图像处理

1.1.1 计算机图形学的定义

国际标准化组织(ISO)在其数据处理词典中对计算机图形学给出了如下的定义。

定义 1.1 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。

由定义 1.1, 我们可以看出, 计算机图形学研究的首要问题是如何用计算机来产生图形。所谓图形, 它可以是客观实体的视图, 如机械零件的主视图、侧视图等; 也可以是客观实体的逼真表示, 如照片、三维逼真图形等; 还可以是抽象概念的形象化表示, 如统计曲线、流程图等。无论是客观实体, 还是抽象概念, 我们统称之为对象。因此, 图形就是对象的形象化表示。

用计算机产生图形, 必须输入相应的数据。我们知道, 这些数据本身并不是直观的图形, 而只是图形的一种描述, 称之为图形的模型。例如, 一个球, 用球心坐标和球的半径就可以描述。球心坐标和球的半径就是图形的模型。

由此可知, 用计算机产生图形的过程就是将数据(图形的模型表示)转化为图形, 并在专用显示设备上显示的过程。因此, 也有人称计算机图形学为计算机图形显示原理。

在计算机图形学产生和发展的过程中, 美国的 James D. Foley 教授和

德国的 Wolfgang K. Giloi 教授也分别对计算机图形学进行了定义,下面我们分别给出。

定义 1.2 计算机图形学是通过计算机产生、存储、处理对象的模型以及它们的图形的科学。

定义 1.2 中的处理可理解为图形的变换(平移、旋转、缩放等)、修改、识别以及图形与图形之间的运算。因此,也有人称计算机图形学为**计算机图形处理原理**。

定义 1.3 计算机图形学等于“图形数据结构”+“图形算法”+“计算机语言”。

由计算机图形学的定义 1.1,1.2,1.3,我们可以看到,尽管它们的描述不尽相同,但其核心内容都是研究如何利用计算机来处理图形。实际上,计算机图形学是计算机语言、数值计算方法与先进的计算机技术相结合的一门崭新的边缘学科。

1.1.2 计算机图形学与 CAD,CAM 技术

CAD (Computer Aided Design) 技术系指计算机辅助设计。CAD 技术出现于 20 世纪 50 年代后期,经过几十年的发展,已成为计算机技术的一个非常重要的应用领域。CAD 技术利用计算机系统帮助工程技术人员完成设计中的各个阶段的工作,它包括资料整理分析、工程计算、结构模型分析、设计优化、经费预决算、绘制图形等工作。归纳起来,一个 CAD 系统应包括三大部分:计算系统、图形系统和数据库。

CAD 技术的发展历程已经证明,使用 CAD 技术可以提高产品的设计质量;可以充分发挥设计人员的创造性;可以缩短产品的设计周期,使产品不断地更新换代,提高产品的竞争能力。

CAM (Computer Aided Manufacture) 技术系指计算机辅助制造。CAM 技术通过计算机直接控制加工设备,使它能够自动地加工产品。由 CAM 技术获得的产品数量和质量都远远优于人工。例如,数控机床、数控切割机

等。

CAM 技术的一般过程是:先由 CAD 技术和计算机图形软件产生一个完整的并符合加工要求的数控语言(程序),然后通过数控语言去控制加工设备。

下面我们给出计算机图形学、CAD 技术、CAM 技术三者之间的关系。在 CAD 技术中,虽然计算机图形学只涉及与图形相关的部分,但凡是 CAD 技术应用到的方面都离不开图形处理。因此,利用计算机产生图形的技术是 CAD 中的核心技术。再由 CAM 技术的一般过程,我们知道 CAM

技术是先由 CAD 技术和计算机图形软件产生符合加工要求的数控语言去控制加工设备。

综上所述,我们可以得出这样的结论:计算机图形学是 CAD 技术的基础,而 CAM 技术又是在计算机图形学与 CAD 技术基础上产生的直接用于生产产品的技术。

1.1.3 计算机图像处理

凡是记录在纸上的、显示在屏幕上的所有具有视觉效果的画面都可以称为**图像**。图像分为两大类:模拟图像和数字图像。**模拟图像**是通过某种物理量(如光、电)的强弱变化来记录图像上各点的灰度信息,如电视等。**数字图像**则完全是用数字来记录图像上各点的灰度信息。所谓灰度信息是指图像上各点处的颜色深浅程度的信息。

定义 1.4 图像处理是指对输入的图形或图像进行某些改造、改进或技术性分析。它包括图像增强、图像复原、图像定位、图像分割、图像识别等。

由前面的介绍我们已经知道,计算机图形学和计算机图像处理是两个不同的技术领域,它们的共同点是用计算机来处理一些有关图形和图像的信息。近年来,由于多媒体技术、计算机动画、三维空间数据场显示以及纹理映射等的迅速发展,两者的结合已日益紧密。例如,计算机动画就是由计算机生成的图形与扫描输入的图像相结合所构成的。计算机图形学与图像处理这两个技术领域的相互结合、互相渗透,加速了这两个相关领域的快速发展。

1.2 计算机图形学的产生和发展

计算机图形学是随着计算机及其外围设备的发展而产生和发展起来的,它是近代计算机科学与图像处理技术以及雷达、电视的发展汇合而产生的硕果。

1.2.1 计算机图形学的产生

计算机图形学的产生可追溯到 20 世纪 50 年代初期,当时计算机主要应用于科学计算,使用还不普及,但已开始配置了图形显示器。计算机图形学的产生大致可分为三个阶段。

第一台图形显示器出现于 1950 年,它安装在美国麻省理工学院(MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机上,用以显示一些简单的图形。

20 世纪 50 年代末期,麻省理工学院的林肯实验室在“旋风”计算机上开发的 SAGE 空中防御系统,已经具备了指挥和控制功能。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。

1963 年,美国麻省理工学院一位名叫伊凡·萨瑟兰德(Ivan Sutherland)的博士生发表了一篇题为“Sketchpad: 一个人-机通信的图形系统”的博士论文。在这篇论文中,他首次使用了计算机图形学(Computer graphics)这一术语,并论证了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确立了计算机图形学作为一门新学科的独立地位。因此,萨瑟兰德被公认为是“计算机图形学”的创始人之一。

1.2.2 计算机图形学的发展

在 20 世纪 60 年代中期,计算机主要以大型机的形式出现,大多用于科学计算和事务管理。因此,在当时,以大型计算机连接图形终端成为计算机图形生成技术的运行环境。美国的许多大学和公司以及法国的许多公司开展了大规模的研究工作,飞机、汽车等产品的外形设计纷纷采用计算机图形处理技术。例如,1964 年 Coons 提出了用由小块曲面片组合表示的自由曲面对飞机进行外形设计。法国雷诺汽车公司的 Bezier 在汽车外形设计中使用了 Bezier 曲面。在这个阶段,计算机图形学进入了迅速发展并逐步应用的阶段。

1973 年,在美国召开了首次计算机图形学(CG)的会议,以后每年举行一次。20 世纪 70 年代后期,由于图形处理的外部设备的改进、发展与商品化,再加上有关理论和算法的研究成果,使计算机图形学成为计算机科学中一个极为活跃的分支。

在 20 世纪 80 年代以后,计算机图形学得到了进一步的发展,这主要体现在下面三个方面:

第一,几个著名的大型计算机图形系统软件的问世。

(1) GKS 核心系统。这个系统最初由德国研制,后由 ISO 讨论、修改,定义为二维图形 ISO 标准系统,这是计算机图形学的第一个国际标准。

(2) ANS-GKS 系统。1983 年,美国国家标准局(ANS)将 GKS 核心系统进行扩充,提出了 ANS-GKS 图形系统。

(3) CORE 系统。这是由美国开发的二维和三维图形软件系统,并在 1979 年由美国计算机学会计算机图形学专门组提出了 3D CORE 图形软件标准。这个系统在美国、日本影响很大,其软件已商品化,并拥有众多用户。

第二,随着硬件技术的发展,高分辨率彩色图形显示器的研制成功,三

维图形显示达到更高的水平,具有很强的真实感。

第三,由于微机性能不断提高,外部设备不断完善,图形软件功能不断增强,使得微机系统在许多领域中可取代中、小型计算机系统,产生了交互式微型计算机图形学和工作站。特别是最近几年 AutoCAD 交互式图形软件在 PC 系列机上的广泛应用,已深入到各个基层。

现在,计算机图形学正向着更高阶段发展,它的许多技术已成为当今最热门的多媒体技术、网络技术的重要组成部分。

我国开展计算机图形设备的研究始于 20 世纪 60 年代中期,1976 年以来,我国研究设计的图形显示器已有十几种,开发成功了用于不同领域的多种图形软件,在图形算法方面也取得了不少成果。与计算机图形学有关的学术活动在我国也很活跃,在计算机学会、工程图学学会、自动化学会、电子学会等国家一级学会下面都设有与计算机图形学有关的二级分会,并定期举办全国性的学术会议和与计算机图形学有关的国际会议。我国还有好几种与计算机图形学有关的学术刊物,例如,《计算机辅助设计与图形学学报》、《工程图学学报》、《计算机辅助工程》等。我国学者在与计算机图形学有关的国际刊物上发表的论文也越来越多,愈来愈多的国内论文被国际会议和国际刊物录用。

计算机图形学在我国的应用从 20 世纪 70 年代起步,经过几十年的发展,已经在电子、机械、航空航天、建筑、造船、轻纺、影视等部门的产品设计、工程设计和广告影视制作中得到了较好的应用,取得了明显的经济效益和社会效益。但国内的应用与国际上发达国家相比还相差很远,除了图形设备和系统价格比较昂贵的原因外,更主要和直接的原因是我国在这方面的人才缺乏,懂得计算机图形学的工程技术人员不多或知之不深,因而影响了计算机图形学这门新型学科在我国的推广应用。

1.2.3 计算机图形学研究的基本内容

计算机图形学的内容涉及计算机对图形数据进行处理硬件技术、软件技术和与图形生成、显示等密切相关的算法研究。

计算机图形学的硬件技术包括图形显示器件,对显示过程进行控制的集成电路,显示器与计算机相连接的接口电路,图形输出、输入设备等。

计算机图形学的软件技术包括图形数据模型的表述方法,图形数据结构,图形数据库的建立及图形文件管理,图形处理和交互作用的各种功能。

计算机图形学中的算法研究包括图形数学模型的计算,例如,形体的组合、曲线、曲面的逼近等,变换算法,裁剪算法,消隐算法。本教材将主要介绍计算机图形学中的算法。

1.3 计算机图形学的应用

1.3.1 计算机图形学的应用领域

由于计算机硬件功能的不断增强,特别是计算机图形设备的不断更新和计算机系统软件的不断完善,图形软件的不断扩充,计算机图形处理技术已经得到了广泛的应用。

(1) 用户接口。用户接口是人们使用计算机的第一观感,用户接口的好坏直接影响着软件的质量和效率。在当前的用户接口中已广泛地使用了图形和图标,因而提高了用户接口的直观性和友好性,也大大提高了相应软件的执行速度。

(2) 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)。这是一个最广泛、最活跃的应用领域。在建筑行业中已广泛使用CAD技术,并且已有成熟的建筑CAD软件。在电子工业中,计算机图形学应用到集成电路、印刷电路板、电子线路、网络分析等方面。在飞机制造工业中,美国波音公司已用有关的CAD技术实现了波音777飞机的整体设计和模拟,其中包括飞机外形的曲线、曲面拟合和建立外形数学模型等过程。

(3) 计算机辅助教学(CAI)。用个人计算机的图形显示设备,让学生应用交互式绘图或仿真的方法进行学习和研究,可使整个教学过程直观、形象、生动,从而可极大地提高学生的学习兴趣和教学效果。

(4) 过程控制及系统环境模拟。用户利用计算机图形处理技术实现与其控制或管理对象间的相互作用。例如,机场的飞机控制人员可通过计算机产生运行状态信息图来有效、迅速、准确地进行调度。

(5) 科学计算的可视化。传统的科学计算结果是数据流,这种数据流不易理解,也不易于检查其结果的对错。科学计算的可视化通过对空间数据场构造中间几何图素或绘制出二维或三维图形,使其计算结果一目了然。

(6) 艺术模拟。计算机图形处理技术在艺术领域中的应用成效越来越显著。除了广泛用于艺术品的制作外,还成功地用来制作广告、动画片和电影。例如,获得奥斯卡奖的美国影片《真实的谎言》,其中的很多镜头都采用了计算机图像处理技术。目前,国内外不少单位正在研制人体模拟系统。

(7) 仿真技术。利用计算机图形处理技术来产生物体随时间而变化的图形,已经越来越普遍。采用这一技术,可以研究许多对象的数学模型,如化学反应、核反应以及在实验室进行仿真核实验。现在已利用这一技术对飞行员进行飞机模拟训练和警察抓匪徒的演习训练。

计算机图形处理技术还有许多其他的应用领域。例如,在农业上利用这一技术对农作物的生长情况进行综合分析、比较,可模拟植物的生长过程。在轻纺行列,除了进行花色设计,配料、剪裁外,现正用来进行三维人体的服装设计。在医学方面,可利用这一技术为准确的诊断和治疗提供更为形象和直观的信息。在刑事侦破方面,这一技术被用来根据所提供的线索和特征,再现当事人的图像及犯罪场景。随着个人计算机和工作站的发展,随着各种图形软件的不 断推出,计算机图形学的应用前景将更加广阔。

1.3.2 编制图形软件的工具

计算机图形处理技术是一项非常适用的技术,人们掌握了这门技术,就可以在一定的硬件环境的支持下,通过编制相应的软件来解决各种与图形有关的应用问题。编制图形软件的工具可分为三类。

(1) 汇编语言。利用汇编语言,可编制出高效、灵活的软件。为了提高软件系统的效率,其核心模块和外部设备的驱动程序常用汇编语言来写。

(2) 使用某种高级语言(例如 C 语言、Visual Basic、Visual C 等)再加上图形函数库的方法是理想的图形编程工具。通过外部设备的驱动程序或接口程序可调用图形标准系统 GKS 的函数。

(3) 利用专用的图形系统,快速地建立自己的应用系统。例如,利用 AutoCAD 系统,可进行机械或建筑的计算机辅助设计。也可利用 AutoCAD 系统提供的 Lisp 语言进行二次开发,形成自己的应用系统。

习 题 1

1. 什么是 CAD,CAM 技术? 计算机图形学与它们有什么关系?
2. 列举出三个你所接触过的计算机图形学的应用实例。
3. 简述计算机图形学与图像处理的区别与联系。
4. 你是否想用计算机图形处理技术的有关知识去解决一两个实际问题? 你要想解决的问题是什么? 打算如何解决?

第 2 章

计算机图形系统

计算机图形系统由计算机硬件设备及相应的程序系统(软件)两部分组成。本章将介绍计算机图形系统所需要的硬件设备、光栅扫描显示器显示图形的过程、图形软件系统以及图形系统的功能。

2.1 计算机硬件设备简介

硬件设备是计算机图形学存在与发展的物质基础,其本身又是计算机科学技术高水平发展与应用的结果。

2.1.1 微型计算机的硬件结构

众所周知,微型计算机诞生于 20 世纪 70 年代初期,它是大规模集成电路技术高速发展的产物。人们利用大规模集成电路技术把计算机中的中央处理器(CPU)集成在一块芯片上,成为微处理器(Microprocessor),并研制出了容量相当大的随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM);同时又把各种通用或专用的可编程接口电路(与外部设备的接口)集成在一块输入/输出端口片上(I/O 接口),再配以必要的外部设备,就构成了一个微机系统。

微型计算机通常包括 CPU、RAM、ROM、I/O 接口和计算机外部设备。

2.1.2 显示处理器(DPU)

作为图形处理的计算机,还必须具备一种专用于显示图形的显示处理器(Display Processing Unit)。DPU 可以看成是一种专用的 CPU,它具有自己的一套命令、数据格式和指令计数器。

实际上,DPU 是一块集成电路板,它在 PC 机上作为计算机的一种插