

交互式计算机图形学

李靖谊 陈炳发 编著
王静秋 朱亚军

航空工业出版社

交互式计算机图形学

李靖谊 陈炳发
王静秋 朱亚军 编著

内 容 摘 要

本书介绍交互式计算机图形学的基本概念、原理和算法及其系统。它的主要内容包括交互式计算机图形学的图形设备、计算机图形标准、光栅图形生成算法基础、几何变换、观察控制、模型描述和生成及其真实感表示、人机交互技术和图形用户接口、图形程序设计基本技术、图像处理基础知识等。

本书既可作为工科大专院校非计算机专业本科生、硕士研究生、博士研究生学习“交互式计算机图形学”或“计算机图形学”的教材,也可作为交互式计算机图形学应用领域工程技术人员知识更新和应用软件开发的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

交互式计算机图形学/李靖谊等编著. - 北京:航空工业出版社,2000

ISBN 7-80134-694-7

I.交... II.李... III.计算机图形学

IV.TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第64308号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

南京航空航天大学飞达印刷厂印刷

全国各地新华书店经营

2000年7月第1版

2000年7月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.75

字数:378千字

印数:1500册

定价:22.00元

ISBN 7-80134-694-7

TP·155 定价:22.00元

前 言

交互式计算机图形学发展极其迅速。它以计算机软、硬件为工具而生成图形,其理论、方法、技术已成为数据可视化、用户接口、电视广告等许多应用领域的重要基础。它的主要内容包括模型描述和生成、模型真实感处理和表示、人机交互技术。

图像处理是景物或图像的分析技术。其主要研究内容之一是如何提取 2 维或 3 维对象模型。随着多媒体、计算机动画、虚拟现实、纹理映射等技术的迅速发展,以及光栅图形显示器和点阵式图形输出设备的广泛应用,促使交互式计算机图形学与图像处理日益紧密结合,研究内容互相渗透。计算机图形学的当前研究热点“基于图像的建模与绘制”就是这两个研究领域相结合的典型内容。

本书的主要目的是为工科大专院校非计算机专业学生而编写,也可作为交互式计算机图形学应用领域的工程技术人员知识更新和应用软件开发的参考书。在内容安排上,基础知识与应用实践并重、算法分析与程序编制结合,全书共有 8 章和绪论,每章附有练习题。该书的主要内容:交互式计算机图形学的应用发展,计算机图形设备,计算机图形标准,光栅图形生成算法基础,几何变换和投影变换,观察控制,开窗和裁剪,模型的描述和生成,模型的真实感表示,人机交互技术和用户接口,图形程序设计基本技术、图像处理基础知识等。本书是在作者从事近 20 年交互式计算机图形学教学和科研的基础上写成。全书既以交互式计算机图形学的基本概念、原理、技术为重点,又力求反映它在工程应用领域的运用,同时还注意反映其最新成就和发展;书中所列程序是采用 C 语言编制,以供读者加深理解本书基本概念之用。学习和深入研究交互式计算机图形学及其应用所需要的相关基础知识:程序设计语言、程序设计基础、数据结构、矢量与张量、投影几何、解析几何、微分几何、计算几何、数值分析、图像处理、计算机视觉、多媒体技术等。在学习本书所叙述的交互式计算机图形学同时,读者可根据需要和兴趣学习它的相关基础知识,以有利于读者对交互式计算机图形学知识的深化和应用。总之,本书给读者的是一个有关交互式计算机图形学知识的总体概念,为读者在今后的图形处理应用中打下坚实的基础。

本书绪论和第 1、5、8 章由李靖谊编著;第 3、4、6、7 章由陈炳发编著;第 2 章由王静秋编著;朱亚军参与本书大纲编制和部分章节第一稿的编写。黄念一、王志全、徐峰、袁鸿、卢勤元为本书调试程序和绘制图稿;金卫红、徐欧、张春宁录排本书部分文稿。钱志峰、周桂兴、陈旭是本书 1986 年、1992 年两次校编讲义的编著者;他们为本书提供了部分有益的原始资料。全书由李靖谊任主编,陈炳发任副主编;丁秋林教授审阅了全书。

在编写本书过程中,作者得到多方关心和支持,在此表示衷心感谢。书中不足之处,殷切希望得到批评指正。

编著者
1999 年 12 月

目 录

绪论	(1)
0.1 交互式计算机图形学研究内容	(1)
0.2 交互式计算机图形学的应用发展	(2)
0.2.1 虚拟制造	(2)
0.2.2 可视化	(3)
0.2.3 计算机辅助外科学	(3)
0.2.4 计算机美术	(3)
0.2.5 图像处理	(4)
0.2.6 其他应用	(4)
0.3 交互式计算机图形学的学习	(5)
第1章 交互式计算机图形系统	(6)
1.1 交互式计算机图形系统配置及其性能要求	(6)
1.2 计算机	(6)
1.3 输入设备	(7)
1.3.1 键盘	(8)
1.3.2 鼠标器	(8)
1.3.3 操纵杆和轨迹球	(8)
1.3.4 数据手套	(8)
1.3.5 数字化仪	(8)
1.3.6 声音输入	(9)
1.3.7 扫描仪和触摸屏	(9)
1.4 图形显示设备	(9)
1.4.1 显示技术	(9)
1.4.2 显示器	(11)
1.5 硬拷贝设备	(14)
1.5.1 绘图机	(14)
1.5.2 打印机	(15)
1.6 交互式计算机图形系统的软件平台	(15)
1.6.1 操作系统平台	(15)
1.6.2 数据库系统	(16)
1.6.3 图形软件	(17)
1.6.4 计算机图形标准	(18)
练习题	(22)
第2章 图形程序算法及图形原语	(23)
2.1 图形程序算法	(23)

2.1.1	几何元素及其方向性定义	(23)
2.1.2	几何交切计算常用数学方法	(25)
2.1.3	几何元素程序算法应用举例	(25)
2.2	Turbo C 图形原语	(30)
2.2.1	图形系统管理函数	(30)
2.2.2	屏幕管理函数	(32)
2.2.3	图形属性函数	(32)
2.2.4	绘图函数	(34)
2.2.5	文本处理函数	(34)
2.2.6	位图处理函数	(35)
2.2.7	错误处理函数	(35)
2.3	OpenGL 图形库函数	(36)
2.3.1	OpenGL 程序的基本结构	(36)
2.3.2	OpenGL 辅助库	(37)
2.3.3	OpenGL 命令格式及状态机制	(38)
2.3.4	OpenGL 图元绘制函数	(40)
2.3.5	OpenGL 变换操作函数	(42)
2.3.6	OpenGL 颜色设置函数	(44)
2.3.7	OpenGL 光照模型函数	(44)
2.4	图形程序算法应用举例	(49)
练习题		(50)
第3章 光栅图形生成算法		(51)
3.1	直线生成算法	(51)
3.1.1	数值微分法	(51)
3.1.2	中点画线法	(52)
3.1.3	Bresenham 画线算法	(54)
3.2	圆生成算法	(56)
3.2.1	中点画圆算法	(56)
3.2.2	Bresenham 画圆算法	(58)
3.3	椭圆生成算法	(59)
3.4	区域填充	(60)
3.4.1	扫描线多边形填充算法	(61)
3.4.2	种子填充算法	(64)
3.4.3	区域填充属性	(65)
3.5	字符的生成	(66)
3.5.1	矢量字符	(66)
3.5.2	点阵字符	(66)
3.5.3	字符的显示	(67)
3.6	反走样技术	(67)

3.6.1 过取样法	(67)
3.6.2 区域取样法	(68)
练习题	(69)
第4章 2维几何变换及裁剪	(70)
4.1 2维基本几何变换	(70)
4.1.1 2维基本几何变换的一般表示	(70)
4.1.2 2维基本几何变换的齐次坐标表示	(73)
4.2 2维观察	(76)
4.2.1 坐标系	(76)
4.2.2 2维观察控制流程	(77)
4.2.3 世界坐标系(WC)到观察坐标系(VC)的变换	(78)
4.2.4 窗口视区变换	(79)
4.2.5 规范化坐标系到设备坐标系的变换	(80)
4.3 2维图形裁剪	(81)
4.3.1 点的裁剪	(81)
4.3.2 直线段裁剪	(81)
4.3.3 凹多边形窗口裁剪算法	(86)
4.3.4 多边形裁剪	(90)
4.3.5 字符裁剪	(92)
练习题	(93)
第5章 几何模型构造	(95)
5.1 几何模型元素	(95)
5.2 自由曲线的数学描述	(98)
5.2.1 三次样条曲线	(98)
5.2.2 Bezier(贝齐尔)曲线	(104)
5.2.3 B样条曲线	(108)
5.2.4 NURBS 曲线	(114)
5.2.5 自由曲线数学描述的等价转换	(116)
5.3 自由曲面的数学描述	(117)
5.3.1 双三次 Coons 曲面	(117)
5.3.2 双三次 Bezier 曲面	(119)
5.3.3 双三次 B 样条曲面	(121)
5.3.4 NURBS 曲面	(122)
5.4 基本体描述	(123)
5.4.1 多边形表面描述	(123)
5.4.2 布尔运算基础	(123)
5.4.3 半空间	(124)
5.4.4 扫描法	(125)
5.4.5 体素	(125)

5.5 几何模型的计算机内部表示	(126)
5.5.1 数据结构基本概念	(126)
5.5.2 几何模型数据结构	(128)
5.5.3 线框模型	(131)
5.5.4 面模型	(131)
5.5.5 实体模型	(132)
5.6 几何模型构造	(137)
5.6.1 几何算法	(137)
5.6.2 集合运算	(138)
5.6.3 欧拉操作	(143)
5.6.4 实体模型构造模块简介	(144)
5.7 分数维几何模型	(145)
5.8 小结	(148)
5.8.1 基于工程特征的模型	(148)
5.8.2 基于物理的模型	(150)
练习题	(151)
第 6 章 3 维几何变换及观察控制	(152)
6.1 3 维基本几何变换	(152)
6.2 模型变换和坐标系变换	(157)
6.2.1 连续旋转变换	(157)
6.2.2 坐标系变换	(158)
6.3 3 维观察控制流程定义	(158)
6.4 观察坐标系及其变换	(159)
6.4.1 观察坐标系定义	(159)
6.4.2 WC 到 VC 的变换	(160)
6.5 投影变换	(162)
6.5.1 投影分类	(163)
6.5.2 平行投影	(163)
6.5.3 透视投影	(168)
6.5.4 体视投影	(171)
6.6 观察体	(173)
6.6.1 观察空间与观察体	(173)
6.6.2 规范化观察体	(174)
6.6.3 观察体的规范化	(175)
6.7 3 维裁剪	(178)
练习题	(179)
第 7 章 图形的真实感处理	(181)
7.1 消隐算法	(181)
7.1.1 消隐算法分类	(181)

7.1.2 消隐基本算法	(182)
7.1.3 消隐线算法	(188)
7.1.4 消隐面算法	(200)
7.2 局部光照模型	(203)
7.2.1 光亮度计算	(204)
7.2.2 Phone 光照模型	(205)
7.2.3 多边形的明暗处理	(208)
7.3 整体光照模型	(210)
7.3.1 光线跟踪算法	(210)
7.3.2 Whitted 模型	(212)
7.4 纹理模型	(212)
7.4.1 颜色纹理模型	(213)
7.4.2 几何纹理模型	(214)
7.4.3 过程纹理模型	(215)
7.5 阴影效应	(216)
练习题	(216)
第 8 章 交互式用户界面	(218)
8.1 图形用户界面	(219)
8.1.1 X-Window	(220)
8.1.2 Motif	(221)
8.1.3 用户界面设计	(222)
8.2 用户窗口	(224)
8.2.1 菜单	(224)
8.2.2 对话框	(228)
8.3 交互任务及信息反馈	(229)
8.4 交互技术	(231)
8.4.1 交互设备	(231)
8.4.2 实时输入处理	(231)
8.4.3 图形交互处理	(234)
8.5 网络用户界面	(235)
8.5.1 多媒体	(237)
8.5.2 Web 浏览器	(238)
8.6 虚拟现实环境	(239)
8.7 结束语	(240)
练习题	(240)
参考文献	(241)

绪 论

除了语言和文字是人类信息交流的主要媒体外,图(图形和图像)是人类信息交流的另一不可缺少的媒体。面向 21 世纪的信息化发展,计算机在实际应用中所要处理的信息已不只是单一形式的数值信息媒体,而是多媒体或超媒体形式的信息——文字、符号、声音、图形、图像等多种形式信息媒体的组合处理。交互式计算机图形学也就成为计算机科学技术的一个重要分支,是研究计算机信息处理和管理的基础理论之一。它的基本含义:通过算法和程序,将计算机的输入/输出信息以图形方式显现给用户。交互式计算机图形学已从早期的学术研究和仅应用于军事科学范畴发展成为今天在研究、教育、产业等领域都很活跃的学科,并正逐步渗透到现代生活中的每一个角落。它的具有代表性的应用领域:办公自动化和智能化、电子出版、艺术制作,计算可视化、3 维实时仿真、过程控制,计算机辅助设计/制造(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing,简称 CAD/CAM)、虚拟制造、虚拟外科手术,动画设计、计算机游戏、电影高科技特技效果、电视广告,以及用户界面、人工智能、Web 网络等。随着交互式计算机图形学在各行各业中的深入应用,将会有更多的物理原理、工程概念结合到 3 维信息的图形(像)处理中,以便更好地、交互式地模拟场景和场景中对象。

0.1 交互式计算机图形学研究内容

交互式计算机图形学是使用计算机软、硬件生成图形的理论、方法、技术;运用它可生成现实世界存在或虚构的对象图形。它的研究内容有造型、真实感图形、人机交互等技术。

20 世纪 50 年代,美国麻省理工学院(MIT)学者们开始致力于交互式计算机图形学研究。60 年代是交互式计算机图形学取得突破性进展阶段——交互式计算机绘图技术走出实验室、进入实用阶段,“计算机辅助设计”术语出现;这意味着具有设计功能的交互式计算机绘图已充实了新的含义。70 年代是交互式计算机绘图的黄金时代,不仅交互式计算机图形学的硬件设备和基础理论研究工作获得创新成果,而且还显示出交互式计算机绘图技术在提高生产效率方面的极大潜力。80 年代以后,实体造型理论完善和图形软件功能标准化的实现,使 CAD 技术趋向商品化和普及化。当前,交互式计算机图形学的研究趋向:优化各种算法——造型技术(modeling)和绘制技术(rendering),向更多的应用领域扩展。造型技术包含计算机辅助几何设计和自然景物造型;除了速度是它们的共同追求目标外,前者研究造型精度和可靠性,后者则侧重于造型的逼真度。绘制技术是指基于光栅图形显示技术的“真实感图形”绘制,包括光照模型、阴影处理(shading)和纹理生成等;该技术的研究重点是真实感和实时性。为了满足图形(图像)媒体在信息处理和信息传输过程中与其他媒体(声音、视频、信号)的同步性,“真实感”和“实时性”矛盾的解决是当前交互式计算机图形学基础研究的重要内容之一。近年来迅速发展的虚拟现实技术与造型技术、真实感图形生成技术、人机交互技术密切相关;快捷方便的造型技术、实时动态的图形生成、易学易用的交互技术是虚拟现实环境的基本和必要条件;而虚拟现实技术则是综合运用的必然结果。

总之,交互式计算机图形学是研究计算机及其外部设备处理图形的原理、方法、技术的

学科。其处理图形的内容包括图形生成、图形描述、图形存储、图形变换、图形绘制、图形输入/输出;故解决计算机处理数学模型、几何图形、几何数据是交互式计算机图形学的最基本任务。

0.2 交互式计算机图形学的应用发展

交互式计算机图形学已发展成计算机学科领域中一项通用、令人愉快、具有启发性功能的分支,是当代几乎所有学科和技术领域(从航天技术到家庭生活)用以加强信息处理和传输的技术和工具,向用户提供了一种崭新的、满足视觉要求的通信手段。目前,世界上从事交互式计算机图形学研究、应用和产业的队伍相当庞大,例如,仅每年参加美国 ICGRAPH (计算机图学协会)年会的人数可达 4 万人以上,研究内容五彩缤纷:硬件加速、基于图像的建模与绘制、动画与仿真、多分辨率曲面、人脸造型与动画、3 维交互等,不断涌现的新技术和硬件功能促使人们去设计全新的算法。以下是它的几种主要应用领域举例。

0.2.1 虚拟制造

CAD/CAM 是伴随着计算机科学技术和交互式计算机图形学的发展而迅速发展起来的。它是近 30 年来 10 项最杰出的工程技术成就之一,是应用交互式计算机图形学最早、最广的领域,尤其在工程和建筑领域方面的产品设计——汽车、飞机、轮船、宇宙飞船、计算机、纺织品、房屋、桥梁,以及许许多多其他产品设计。例如,工程制造领域 CAD 软件的发展历程是计算机图形系统(美国 PLOT-10 和英国 GINO-F, 标准化图形软件包 GKS、PHIGS、GL/OpenGL);工程绘图系统(美国 CADAM、AutoCAD);几何造型系统(美国 UGII、I-DEAS、ACIS、Pro/Engineer, 法国 CATIA、UCLID);产品模型系统(Product Modelling Systems)。

CAD/CAM 的集成是虚拟制造(Virtual Manufacturing)技术的基础。虚拟制造引导制造业从凭经验推进到科学预示,实现制造驱动设计。其优点:成本节省和产品上市时间缩短(若产品上市时间缩短一年,开发成本、投资成本、产品直接成本将分别降低 25%、20%、5%);以人机交互方式进行产品和制造过程的设计及测试,可实现信息的及时反馈和对其进行实时的修改和复制;模拟从单元模型到物料流系统建立、车间加工活动的测试和修改,实现无图纸加工和过程的全程跟踪。在虚拟制造技术中,CAD/CAM 集成是基于模型和基于仿真的混合应用;应用虚拟现实技术在计算机上考核产品在各种场合中的应用性能和系统之间的相互依赖性。例如,基于仿真的金属属性成形是在计算机上研究最佳成形条件和成形过程。基于模型设计是指从已验证过的相关产品和加工过程的参数化模型中抽取知识模型,并将它们用到基础设计中;然后,利用造型和仿真技术及迭代法达到均衡设计。设计层的虚拟连接工具:实体造型和基于工程特征的造型,基于数学分析的各种软件工具,过程模拟和过程数学模型。在制造层,以动画形式描述虚拟工厂,这是全面地表示物流系统动态特性的仿真工具。例如,虚拟制造技术在美国波音 777 飞机上的应用已获成功。波音 777 的全部设计任务由 CAD 完成。并行工程法将系统开发、测试设施、飞机测试集成在一起,对部件进行实时、远距离、全集成测试;将飞行仿真器和虚拟现实技术运用在各种各样的模拟条件下,对飞机进行人机交互式飞行测试,实时地获取数据和修改,并实时地解决设计中的问题。波音 777 在进行虚拟试飞后,一次上天即获成功。虚拟制造技术将为工程师们提供一个从产品的概念形成、设计、制造到实现的全过程 3 维可视及交互环境。

0.2.2 可视化

可视化是图形学中的一种特殊算法。为科学计算、工程、医药的数据集或过程生成图形(像)的表示称为科学计算可视化,而用在贸易、工业、其他非科学计算领域的可视化称为商用可视化。数据集或过程的类型是多种多样的,有效的可视化方法的实现依赖于它们的特征。数据集或过程可以是2维的,也可以是3维的;一组数据或一个过程可以包含标量、矢量、高次张量、多种数据类型的组合。数据集或过程可视化方法有彩色编码、等直线/图表/曲面绘制、体内部可视化等。

通过科学计算可视化,科学家、工程师等可使原来没有空间属性的数据形象化,用户能以交互方式对它们进行观察控制。科学计算可视化为人们提供了一种观察不可见信息的方法,使这些信息变得容易理解和解决。例如,可视化技术使数字信息(气象数据、破案现场数据、汽车车祸统计)的理解以及散乱和线性绘制空间的理解变为3维空间信息的观察和理解;利用它可直接观察到3维对象及其演变过程中的各种几何、物理、化学性能的变化;教育、体育运动的可视化加深了人们对工程设计/制造、自然现象、物理规律的理解,提高教育质量和体育训练水平。科学计算可视化是交互式计算机图形学与科学计算相互渗透的结晶。

0.2.3 计算机辅助外科学

计算机辅助外科学又称虚拟外科学,它是医学信息可视化的一种标志。70年代出现的计算机断层扫描技术(Computerized Tomography,简称CT)是借助于图像处理的3维重构技术。它能让人们看到被观察对象的内部结构,极大地促进医学界对人体奥秘的探索。90年代的正电子发射计算机断层扫描术(Positron Emission Tomography,简称PET)可直接反映生命过程,用它进行生命过程的功能和代谢检测,是21世纪研究生命科学的重要工具。PET的数据是直接数字化的,其3维对象的图像有表面图像和体积图像。前者根据光学原理模拟人眼从某一视角观察人脑的实际情况(脑的皱褶和沟回),通过色彩和阴影的分布给人以逼真的视觉印象。后者是将2维数据经插值处理实现3维重构,所得结果描述具有明确解剖意义的脑组织结构,是全方位观察人脑内部结构的有效工具。目前已经实用的计算机辅助外科学领域:神经外科、外科手术规划、定制修复、机器人助理、图像导引外科、定义解剖图谱和虚拟现实。虚拟现实的应用方面:虚拟解剖学、虚拟放射学、虚拟外科学和虚拟内窥镜;运用计算机图形处理技术,可将观察点设在人体内的任何位置,产生身临其境的虚拟环境,实现极小限度的外科手术,尤其是在内窥镜不能进入的小血管内发挥作用。

0.2.4 计算机美术

计算机美术是计算机艺术的分支,是计算机图形处理技术发展的产物,其内容为绘画、雕塑、印染、编织等。随着CAD/CAM技术发展,大量的美术图案和模拟电影相继问世。例如,影片《Tin Toy》是第一部获奥斯卡奖的计算机动画片;《LEONARDO》是一份融艺术、科学、技术为一体的有关计算机艺术理论和研究杂志;计算机美术图案创作智能CAD系统已研制成功等。在印刷术和照相术问世以前,创作和重新产生一幅有意义的图形(图像)是相当困难的。计算机美术的价值就在于美术信息的生成、存储和传输方式的根本性变革。计算机美术信息的数字化特征表明艺术与数学的关系是密切的。它使美术作品造型准确、色彩丰

富、变化灵活、真实感突出,尤其动画的变幻莫测和有惊无险的制作令人惊叹不已。这样的作品既可观,又可听;人们不必担心作品在传输过程中的“安全”;通过虚拟现实技术,美术作品欣赏者和创作者不再相互分离。计算机美术体现了科学与艺术的融合。如果认为投影几何是科学与艺术的第一结合,那么,分数维几何则是科学与艺术的再次结合。维数研究必将影响美术作品的创意。有待进一步研究的问题:应从技术上保证计算机辅助创意和制作的实现,展现高维世界、开创美术作品新境界;艺术内容上,充分利用计算机软、硬件智能工具开发计算机美术的特征内涵,通过美术作品数字化形成美术标准和鉴赏准则。

0.2.5 图像处理

在计算机上实现“数”与“形”的相互转化的研究领域有图像处理、图形生成、模式识别。它们不仅是多媒体技术中不可缺少的研究内容,也是各学科应用领域的基础技术之一。图像处理是一个分析过程——利用计算机图像处理系统将受损、模糊的图像进行处理以实现由一幅图像产生另一幅更清晰的图像,包括图像增强、复原、重建、分割、配色等。图像处理所用到的主要技术包括图像获取、输入、表现、识别、处理、输出、传输、存储……。图像处理已广泛应用于卫星遥感遥测、大地测量、资源勘探、机器人视觉信息感觉等;例如,医学上的CT和PET技术均运用投影几何从数值数据重建断面图像。

计算机图形学是用计算机生成图形,图形生成研究如何由对象(非图形信息)的描述构造其几何模型和属性生成相应的图形,它涉及到现实世界存在或者虚构对象的图形合成问题。模式识别研究如何从图像中识别该图像所表示的对象。最初,它们基本上是在各自领域内独立发展的;随着光栅扫描图形显示器的广泛应用以及计算机动画、3维空间数据场显示和纹理映射等技术的迅速发展,它们逐渐互相渗透,形成不可分割的整体。例如,运用于虚拟现实中的基于图像的建模与绘制是关于应用图像处理方法加速造型的研究。该研究主要体现在利用摄影测量学原理提取照片图像的基本几何模型,基于实体模型提取对象的细节,运用纹理映射方法绘制对象的多面视图,与基于图像的实时绘制系统相结合,实现对对象的实时观察控制。运用基于图像的建模与绘制技术可避开几何造型,而从真实世界中直接获取对象的几何和属性信息,形成逼真度高的图形。在图像表现、计算可视化、多媒体技术发展过程中,图像处理已成为科学研究和人机界面中的应用工具之一。

0.2.6 其他应用

除了上述所举应用,交互式计算机图形学还应用于图示图形、娱乐、教学与培训、交互式用户界面等。交互式计算机图形学的应用内容正向网络上拓宽。图示图形技术是办公自动化中不可缺少的内容。图示图形技术常用于为研究报告、管理报告、商务信息报告等概括总结各类数据。典型的图示图形有饼图、条形图、折线图、曲面图、用户自定义图;通常,图示图形所描述的信息以2维信息为主。

Internet(互联网)是社会迈向信息化的一个标志。Internet和多媒体的实现促进交互式用户界面由交互式文本/图形界面发展成超文本、超媒体的交互式Web浏览,从2维界面发展到3维虚拟现实环境。Internet已应用于电子邮件、视频会议、视频点播、远程诊断、远程教育、远程合作研究等。总之,通过互联网上的超文本、超媒体技术,人们可以交流更多、更丰富、更生动、更及时的信息。

在不久的将来,人们将拥有具备每秒千万亿次浮点运算能力的超级计算机。将这样的

超级计算机应用于核武器管理和科学工程计算,可成为能可靠地取代地下核试验的计算机。明显地,计算机技术已发展成为与实验、理论相并列的第三种科学研究方式,在不少领域,计算机仿真已取代实验,并且还在继续发展。例如,计算机仿真已成为飞机、船舶、车辆运输中冲撞分析研究的重要工具,计算机仿真试验的分析结果促使铝合金材料在小汽车上的应用已有突破性进展等。随着交互式计算机图形学向各学科领域的进一步的深化,读者将会越来越明显地感到图形生成、图像处理和模式识别相结合是计算机科学和技术发展的必然趋势之一。

0.3 交互式计算机图形学的学习

交互式计算机图形学是专业应用计算机基础课程。它不仅是大专院校完整的工程教育计划中的一个重要组成部分,而且还渗透于各门课程之中。计算机图形学在教学中的贯彻可使学生接受知识的能力和参加科研的能力上升到一个新的水平。不言而喻,本书的目的就是为从事计算机科学和技术应用研究提供一个良好的基础——重点阐述图形生成的基础算法:光栅扫描显示的线架结构图形在计算机内的表示、生成、变换、输出。从基本的计算机图形系统的软硬件平台的构成和基本图形软件的程序设计方法开始,本书介绍基本图形生成算法、绘制图形的程序设计、图形变换和剪裁、3 维观察控制、图形的数据结构、自由曲线与曲面描述、造型技术和图形的真实感处理(隐线/隐面的消除)数学基础、交互式用户界面技术等。它既是高校教科书,也可以作为那些渴望在计算机科学和技术方面进行知识更新的人们的参考书。在阐述图形生成的基础算法中,本书不仅注意论述清楚基本的和广泛应用的图形算法,而且还力求反映计算机图形学的新进展。显然,学习交互式计算机图形学的要点是:弄清解决问题的原理并建立描述对象的数学模型;编写描述对象的程序;掌握问题的实现技术。已商品化的绘图软件(例如 AutoCAD)就是根据交互式计算机图形学的原理和技术开发的。用户不懂绘图软件的内幕也可将它们应用得很好。但是,从软件开发角度,它们不能取代对交互式计算机图形学的学习。交互式计算机图形学是理论与实践密切联系的技术性应用学科,其突出特点是技术性强。经验告诉我们,只停留在对原理的粗浅了解上是远远不够的,必须亲自编写程序和大量上机实践才能真正深入到该领域中。建议读者在学习本书内容时,应将实践性环节放在最基本、最重要的位置上。

第 1 章 交互式计算机图形系统

交互式计算机图形系统(简称图形系统)是一个用户、计算机、图形设备、软件(系统软件和图形软件)协调运行的系统。随着高性能计算机系统的不断涌现,借助网络技术、大容量存储技术、多媒体技术、高分辨率图形显示技术等的支持,各种功能的由开放式硬件和软件平台组成的图形系统的问世实现了交互式计算机图形技术的实用化。开放式硬件和软件平台为交互式计算机图形学的实用化提供了标准软件开发环境和标准硬件制造环境。本章将论述图形系统的硬件组成部分和图形软件系统的基本特点。

1.1 交互式计算机图形系统配置及其性能要求

图形系统的基本功能是输入/输出、计算、存储、人机交互。图形系统配置包括图形的应用数据结构、应用软件、支撑软件、设备。图形的应用数据结构包括图形数据文件、基本元素、字模字体库、几何描述对象。图形应用软件的内容有图形生成软件、用户接口软件、辅助控制软件、工具软件。图形支撑软件包括操作系统的有关图形处理功能扩展(图形 BIOS 程序、图形原语、标准图形软件包)。图形设备系指大容量存储器、网络硬件、图形输入/输出设备等;是交互式计算机图形学存在与发展的物质基础。图形系统硬件平台由计算机和图形设备组成,软件平台包括系统软件环境、图形软件、开发工具。平台是指用户所处的计算机环境,是应用的基础。硬件平台是软件平台的物理支撑。用户建立的各种图形应用系统是基于某种硬件平台和软件平台上的。高性能硬件平台是完成图形生成、修改、分析、处理、输入/输出的保证。硬件平台与软件平台性能的最优协调对图形系统功能发挥有较大影响。

通常,用户对图形系统性能的要求是数据处理速度、处理精度、存储容量,以及系统界面交互功能。图形系统数据处理速度既与其硬件平台配置有关,也与用户所选择的软件平台相关。例如,硬件平台影响数据处理速度的因素:中央处理器(CPU)、数字处理器(MPU)、显示处理器/图形处理机(DPU)的性能,主存储器(内存)、高速缓冲存储器、外部存储器的数据存取速度,逻辑阵列芯片、控制芯片与各控制部件的一致性,输入/输出端口、总线性能。图形处理存储容量是指系统内存、外部存储器、显示设备缓冲区的存储容量;内存容量是直接影响图形系统所建图形环境质量关键;显示设备缓冲区是高速缓冲存储器与显示控制部件的组合,其容量决定显示颜色、显示模式、帧缓冲区的分辨率。数据处理精度是指图形数据采集、信息输入/输出质量;例如,显示分辨率、色彩显示等;其中有很大部分与所用图形软件有关。系统界面交互功能与输入设备和用户界面系统有关。图形系统在网络环境中的应用,其性能要求是考虑网络服务器性能、图形数据通信/传输/共享、图形资源利用等问题。

1.2 计算机

根据计算机关键性能指标——速度和容量,计算机分个人计算机、工作站、小型机、超级计算机及由它们组成的分布式计算机系统。20 世纪 60 年代,大型计算机连接图形终端是

计算机图形生成环境;70年代,以小型机和超小型机为基础的图形生成系统形成主流;80年代后,个人计算机和工作站是当前图形系统的主要机型。个人计算机和工作站既可与输入/输出设备组成单机交互式图形或多媒体系统,也可成为分布式计算机系统上的图形或多媒体处理节点。超级计算机主要应用于大规模科学和工程计算领域。分布式计算机系统特点:系统资源(物理的和逻辑的)通过网络形成单一系统,系统整体控制的资源既相对独立、又相互联系;系统在软件平台控制下,实现资源重复(按任务)或时间重复(按功能)等不同形式分布,分散的系统元件可合作解决公共问题;系统资源操作和相互作用高度自治,不仅不存在主从控制,而且还能利用处理局部化原则以减少各节点间的数据通信量。分布式计算机系统是任何一个计算机应用系统(例如虚拟制造)的硬件体系结构形成开放平台的基础。另外,多媒体硬件、网络硬件、存储器等的性能也是很重要的。

多媒体计算机需增设若干硬件。输入/输出设备:摄像机、电视机、麦克风、录像机、录音机、扫描仪、音响、高分辨显示器。存储设备增加的硬件是声像磁带等。操纵控制设备是触摸屏。功能卡:视频卡、声音卡、压缩卡和家电控制卡。视频卡主要用于视频信号(电视图像的动态彩色图像信号)的输入/输出。它逐帧捕捉图像并将其数字化;压缩和还原数据化的图像数据;将捕捉的图像或还原的图像与计算机生成的文字或图形叠加,并将叠加结果送至显示器显现;将输出的图像转换成标准的(NTSC 或 PAL 制式)模拟视频信号供电视机播放或记录在录像带上。声音卡用于处理音频信息。它把话筒、唱机或 MIDI(Musical Instrument Digital Interface)类型的电子乐器等输入的声音信息进行模/数转换和压缩,或将计算机已处理的数字化声音信号通过还原(解压缩)、数/模转换后用扬声器播放或用录音机记录下来。

网络硬件主要指网卡、传输介质、互联设备等。传输介质是通信网络的物理通道,主要有双绞线、同轴电缆、光纤电缆等。网卡起计算机用户与网络的接口作用,其结构包括一个内部收发器和固化于低层的通信协调。网间互联设备有中继器、网桥、路由器、网关、调制调解器等。调制调解器是网络远程连接设备。网关是最复杂的、适用于特殊用途的网间连接器。路由器功能是网关功能的子集。中继器是最简单的网间连接设备,其功能起连接逻辑上同一的网络。网桥功能是路由器功能的子集,其作用是确保数据的精确传输。

存储器是计算机的记忆部件,用于存储原始数据、中间结果、最后结果、指挥计算机工作的程序。它的每个存储单元存放 8 位(1 个字节/byte)二进制信息;其容量以字节为基本单位(1KB = 1024 byte, 1MB = 1024KB, 1GB = 1024MB, 1TB = 1024GB)。每个字节依次用从 0 开始的整数编号(地址)。CPU 按地址存取存储器中的数据。内存(主存)由半导体存储器组成,分随机存储器(RAM)和只读存储器(ROM)。RAM 允许用户对其存储单元进行信息读写操作。RAM 信息是通过电信号写入的,断电后其信息立即消失。ROM 信息是常驻的,如操作系统等重要的又经常用的软件,只能读出而不能写入。图形系统信息均存储在大容量的外存储器中。常用的外存储器有磁盘、磁带和光盘。用户可携带外存储器,便于在不同的计算机之间进行信息交流。光盘是多媒体系统的基本配置,主要有三类:只读光盘(CD - ROM 和 DVD - ROM)、一次性写入光盘、可抹性光盘。

1.3 输入设备

输入设备是用户向计算机输送信息的装置。它是指将图像的浓度/颜色变换成数字形式,或将描述图形的数据和命令等转换成电信号,能将它们传送给计算机的设备。通常,图

形系统有一个键盘和一种或多种专门为交互输入而设计的设备;例如,数字化仪、鼠标器、操纵杆、轨迹球等;特殊用途的输入设备:图像扫描仪、声音系统、数据手套、触摸屏等。随着计算机技术向各领域的渗透,图形系统输入设备的功能在不断充实和完善。

1.3.1 键盘

键盘输入操作特点:对于一个被按下的键,唯一地构成一个代码与该键相对应;所产生的代码头存储在字符寄存器中,中断 CPU;CPU 解释代码;键盘可将连续的代码依次存放在缓冲区,供 CPU 处理。光标控制键和功能键是通用键盘的共同特色,图形系统的字母数字键盘最初是用作录入字符串的设备。在图形系统中,键盘用于进行屏幕坐标的输入、菜单选择等;功能键允许用户以单一击键方式输入常用的操作;光标控制键可用于选择被显示的对象或通过定位屏幕光标确定坐标位置。键盘是一个通用高效率输入设备。

1.3.2 鼠标器

鼠标器是用于屏幕光标定位的小型手持盒(机械式和光电式两种);其按钮用于输入信息。鼠标器在屏幕上的移动反映屏幕光标位置的相对变化,用户可随意地将鼠标器从一个位置上提起并在另一个位置上放下而不改变屏幕光标的移动。鼠标器底部装有用于检测两个正交方向相对运动的转轮或滚轮,该装置记录鼠标器移动的总量和方向;光学感应器用于检测鼠标器运动。例如,Z 鼠标器装置包含 3 个按钮、顶部轨迹球、侧边拇指转轮、底部标准鼠标器球;它为选择对象的运动提供了 6 个自由度;它的应用包括虚拟现实、CAD、动画。在使用 Z 鼠标器时,用户拾取对象、使之旋转或移动,或在 3 维信息的场景中确定观察位置和方向。鼠标器与键盘一样,是通用图形系统的主要输入设备。

1.3.3 操纵杆和轨迹球

操纵杆是一个手柄。用户用它可实现对屏幕光标的环绕操纵,以操纵杆的实际移动选择光标屏幕位置或对手柄压力作出响应。环绕操纵带动两个互相垂直的脉冲编码器;该编码器控制两组可逆计数器,经数模转换器输出偏转电压或手柄实际移动。

轨迹球分为跟踪球和空间球,其原理与操纵杆一样,结构相似,以球代柄。跟踪球是 2 维定位设备,空间球能够提供 6 个自由度。当用户以不同方向推拉空间球时,通过张力标尺测量施加于空间球的压力向用户提供空间定位或方向的输入。在虚拟现实、CAD、动画等应用中,空间球是作为 3 维定位和选择操作的设备而被使用。

1.3.4 数据手套

数据手套由一系列检测手或手指运动的的传感器构成。它的发送天线和接收天线各自用一组 3 个互相垂直的、形成 3 维笛卡儿坐标系的线圈构成,发送天线和接收天线之间的电磁耦合用于提供有关手的位置和方向的信息。在虚拟现实环境中,用户使用手套抓取对象,来自手套的输入信息可用视频监视器或头盔进行观察。

1.3.5 数字化仪

数字化仪是一种将多媒体信息(图形、声音)转换成数字信息的装置。数字化仪分为图形数据板、声音数据板、3 维数字化仪(电子式、超声波式、电磁感应式等)。其基本构成是一块台板和一支触笔或游标器。在使用时,用户把笔移动到指定位置,按下开关;台板接收信