

21世纪

高等学校电子信息类系列教材

计算机图形学

□ 主编 丁爱玲 副主编 周琳 李鹏



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

★ 21 世纪高等学校电子信息类系列教材

计算机图形学

主 编 丁爱玲

副主编 周 琳 李 鹏

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书讲述了计算机图形学的基本概念、原理和算法。全书共分九章,包括计算机图形学基本知识,交互式绘图技术,基本光栅图形生成算法,二维、三维图形的基本变换,曲线与曲面,真实感图形生成技术,造型技术及与计算机图形学相关的研究领域的简单介绍。

本书内容丰富、条理清晰,在阐述基本原理的基础上,注重理论与实践的结合。本书可作为高等院校计算机专业本科生、研究生学习计算机图形学的教材,同时也可作为相关领域技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/丁爱玲编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2005.7

(21世纪高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 7-5606-1554-6

I. 计… II. 丁… 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 077186 号

策 划 云立实

责任编辑 张 友 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com

E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13

字 数 303千字

印 数 1~4000册

定 价 14.00元

ISBN 7-5606-1554-6/TP·0835

XDUP 1845001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

自从 20 世纪 60 年代 I. E. Sutherland 提出“计算机图形学”这一术语以来,随着计算机软硬件的不断发展,尤其在 20 世纪 80 年代以后,计算机图形学得到了迅速的发展,已经成为计算机学科中最为活跃的一个领域。

计算机图形学是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。随着计算机图形学技术的长足进步及其应用的日益广泛,在我们周围,从二维图形到三维动画,从产品设计到影视娱乐,到处都可以感受到计算机图形学带给我们的惊喜。在应用过程中,计算机图形学与其它学科相结合,产生了许多新兴学科、交叉学科。计算机图形学已经成为计算机学科与其它学科之间的一座桥梁,许多学科都需要借助计算机图形学的方法和手段来将试验或生产所得到的数据用图形化的形式显示出来,用一种更加直观的方法来替代传统的表示方法。所以,计算机图形学不仅是计算机专业本科生必修的专业课,也成为了其它许多专业的必修课程。

本书依据作者多年教学经验编写而成,注重理论与实践相结合,读者通过本书的学习,可以较快地掌握计算机图形学的基本知识和基本原理。此外,书中还给出了大量的程序实例,读者可以根据这些实例来更好地理解理论知识,从而为今后的学习、工作打下良好的基础。本书可作为高等院校计算机专业本科生、研究生学习计算机图形学的教材,同时也可作为相关领域技术人员的参考书。

本书包括九章。第 1 章全面介绍了计算机图形学的研究内容、应用、发展简史、当前研究课题和图形的输入/输出设备等基础知识;第 2 章主要讨论了交互式计算机图形系统所涉及的交互设备、交互技术及交互式图形系统的设计,还介绍了开放式图形程序库 OpenGL 的基本使用方法;第 3 章讲述了一些基本图形的生成算法,包括直线、圆、椭圆的生成方法,多边形的填充方法,字符的生成方法,图形的裁剪等;第 4 章介绍了常用曲线和曲面的生成算法和实现过程;第 5 章主要介绍了二维和三维图形的几何变换、三维图形的透视和投影变换以及裁剪等内容;第 6 章介绍了通过点、线、面、体等几何元素作几何变换和集合运算生成物体模型的方法;第 7 章简要介绍了与真实感图形有关的消隐算法、光照模型以及明暗处理方法;第 8 章介绍了计算机图形学中颜色的生成和表示方法,以及各种颜色模型之间相互转换的方法;第 9 章以开放式图形程序

库 OpenGL 为基础，介绍了基本图元、基本几何变换以及三维动画制作的一些基本方法。

本书由丁爱玲担任主编，并编写了第 1、3、4 章，李鹏编写了第 2、6、8、9 章，周琳编写了第 5、7 章。参加素材整理及录入工作的人员有郭兰英、樊海玮、谢晓军、武雅丽、高金生、许维霞等，在此一并表示感谢。

在本书的编写过程中，得到了长安大学信息工程学院的帮助，也受到各位同行的关心和大力支持，作者在此表示深深的谢意。对于各位参考文献的作者，我们也表示衷心的感谢。

由于作者个人的学识及写作时间有限，书中难免有不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

二〇〇五年五月

目 录

第 1 章 计算机图形学基本知识	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	2
1.3 计算机图形学的应用	4
1.4 计算机图形系统硬件简介	6
1.4.1 常用的图形输入设备	6
1.4.2 常用的图形输出设备	10
习题	17
第 2 章 交互式图形系统与 OpenGL	18
2.1 交互设备	18
2.2 交互技术	23
2.3 交互式图形系统的设计	27
2.4 开放式图形程序库 OpenGL	32
2.4.1 OpenGL 概述	32
2.4.2 OpenGL 图形开发库	33
2.4.3 OpenGL 应用程序基本框架	35
习题	43
第 3 章 基本图形的生成与计算	44
3.1 直线的生成算法	44
3.1.1 生成直线的数值微分法	45
3.1.2 Bresenham 直线生成算法	48
3.2 圆的生成算法	52
3.2.1 逐点比较法生成圆弧	52
3.2.2 Bresenham 算法生成圆弧	55
3.3 椭圆生成算法	57
3.4 区域填充算法	62
3.4.1 扫描线填充算法	63
3.4.2 种子填充算法	66
3.4.3 扫描线种子填充算法	67
3.5 字符的生成	69
3.5.1 点阵字符	69
3.5.2 矢量字符	70
3.6 图形的裁剪	70

3.6.1 线段的裁剪	71
3.6.2 多边形的裁剪	75
3.6.3 字符的裁剪	79
3.7 反走样	79
3.7.1 直线段的过取样	80
3.7.2 像素加权掩膜	80
3.7.3 反走样区域边界	81
习题	82

第4章 曲线与曲面	83
4.1 曲线和曲面的理论基础	83
4.1.1 曲线和曲面的参数表示	83
4.1.2 曲线和曲面的插值、逼近及光顺	84
4.1.3 参数曲线中的常用术语	85
4.1.4 参数曲线的连续性	86
4.2 Hermit 曲线	87
4.2.1 Hermit 曲线的定义	87
4.2.2 三次参数样条曲线	90
4.3 Bézier 曲线	92
4.3.1 Bézier 曲线的定义	93
4.3.2 二次、三次 Bézier 曲线	93
4.3.3 Bézier 曲线的性质	95
4.3.4 三次 Bézier 样条曲线	97
4.4 B 样条曲线	99
4.4.1 样条曲线的定义	99
4.4.2 B 样条曲线的性质	100
4.4.3 B 样条曲线类型的划分	103
4.4.4 三次 B 样条曲线的边界条件和反算拟合	104
4.5 非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线	107
4.5.1 NURBS 定义及性质	108
4.5.2 权因子的几何意义	108
4.5.3 圆锥曲线的 NURBS 表示	109
4.6 曲面的参数表示	110
4.7 Bézier 曲面	112
4.7.1 Bézier 曲面的定义及性质	112
4.7.2 双二次、双三次 Bézier 曲面	113
4.7.3 Bézier 曲面片的拼接	114
4.8 B 样条曲面	116
4.8.1 B 样条曲面的定义及性质	116
4.8.2 双三次 B 样条曲面	116
4.8.3 反求 B 样条曲面的控制点	117
4.9 孔斯(Coons)曲面	117
4.9.1 双线性 Coons 曲面	118

4.9.2 双三次 Coons 曲面	119
习题	121
第 5 章 图形变换	123
5.1 图形变换的数学基础	123
5.2 二维基本变换	124
5.3 二维组合变换	129
5.4 三维基本变换	131
5.5 三维组合变换	136
5.6 平行投影变换	139
5.7 透视投影变换	145
5.8 三维图形裁剪	147
习题	148
第 6 章 几何造型技术	149
6.1 几何造型系统的表示	149
6.2 实体模型的表示	152
6.2.1 概述	152
6.2.2 边界表示	154
6.2.3 扫描表示法	157
6.2.4 构造实体几何(CSG)法	157
6.2.5 分解表示(D-rep)法	158
习题	160
第 7 章 真实感图形基础	161
7.1 消隐技术	161
7.1.1 凸多面体的消隐	161
7.1.2 隐藏面的消除算法	162
7.2 明暗处理	166
7.2.1 光源特性	166
7.2.2 光照模型	167
习题	171
第 8 章 颜色模型	172
8.1 基本概念	172
8.2 CIE 色度图	173
8.3 颜色模型	177
8.3.1 RGB 颜色模型	177
8.3.2 CMY 颜色模型	178
8.3.3 HSV 颜色模型	179
8.3.4 HLS 颜色模型	180
8.3.5 YUV 和 YIQ 颜色模型	181

8.3.6 颜色模型之间的相互转换	181
习题	185
第9章 图形学应用实例	186
9.1 基本图元的绘制	186
9.2 基本几何变换	192
9.3 OpenGL 动画制作	195
参考文献	198

第1章 计算机图形学基本知识

计算机图形学是近30年来发展迅速、应用广泛的一门新兴学科,是计算机应用领域中的一个重要研究方向,它主要研究如何在计算机中表示图形以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。本章将从计算机图形学的研究内容、发展、应用领域和图形的输入/输出设备等方面概括地介绍计算机图形学的相关内容,以便读者能够较为全面地了解计算机图形学。

1.1 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(Computer Graphics)是计算机应用领域中的一个重要研究方向。1982年,国际标准化组织 ISO 将计算机图形学定义为: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。如何在计算机中表示图形,以及如何利用计算机进行图形的生成、处理和显示的相关原理与算法,构成了计算机图形学的主要研究内容。图形是人们通过计算机设计和构造出来的,它可以是现实世界中已经存在的物体的图形,也可以显示完全虚构的物体。图形通常由两大部分组成:点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性。从处理技术上来看,图形主要分为两类,一类是由线条组成的图形,如机械设计中的零件结构图,土木设计中的房屋结构图和电路设计中的电路原理图等;另一类是具有面模型、色彩、浓淡和明暗层次的真实感图形。

如何利用计算机产生真实感图形是计算机图形学的一个重要研究内容。为此,首先建立图形所描述的场景的几何表示,再利用光照模型,生成在某些光源、纹理、材质属性下的光照明效果,所以计算机图形学与另一门学科——计算机辅助设计(CAD)有着密切的关系。计算机图形学只处理与图形相关的部分,它是计算机辅助设计技术的核心部分。真实感图形计算的结果是以数字图像的方式提供的,因此计算机图形学也和图像处理有着密切的关系。图像处理是利用计算机对原来存在的图像进行分析、处理并再现。图形与图像两个概念比较接近,它们之间的区别在于:图像纯指计算机内以位图形式存在的灰度信息,而图形含几何属性,或者说更强调场景的几何表示,是由场景的几何模型和景物的物理属性共同组成的。

计算机图形学的研究内容非常广泛,如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法,以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等。所有这些研究内容,可以归纳为计算机图形学设计和研究的主要问题,即利用计算机进行图形信息的输入、表达、存储、显示、检索、变换和图形编辑等,它包括以下内容:

(1) 图形生成技术:直线、圆、椭圆等基本图形元素的生成算法,以及光照模型、消隐

面等各种图形表示技术。

(2) 几何造型技术: 各种不同几何模型的构造方法, 表示几何场景的曲线、曲面造型技术和实体造型技术也是其重要的研究内容。

(3) 图形操作的预处理技术: 确定显示范围, 根据规定的窗口范围, 将所有的输出图元与其进行比较, 利用图形裁剪算法, 裁剪出落在窗口有效边界以内的部分; 将单个物体组装, 进行平移、旋转和比例变换等操作, 形成整体模拟环境; 确定观测点位置, 进行显示对象的透视变换。

(4) 人机交互与用户接口技术: 各种交互技术的研究, 如选择技术、构造技术、命令技术、响应技术以及用户模型等。

(5) 计算机动画: 高速动画的各种实现方法的研究。

(6) 显示出真实感图形。

1.2 计算机图形学的发展

计算机图形学的发展历史最早可以追溯到 20 世纪 50 年代。1950 年, 美国麻省理工学院的旋风 1 号计算机通过控制 CRT, 生成和显示了一些简单的图形, 这就是计算机生成图形的最早萌芽。1958 年, 美国 Calcomp 公司根据打印机原理研制出了第一台滚筒式绘图仪, 同年, GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。由于 50 年代的计算机是电子管计算机, 主要用于科学计算, 因此为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能, 不能进行人机交互, 计算机图形学处于准备和酝酿时期, 并称之为“被动式”图形学。50 年代末期, 美国麻省理工学院在旋风 1 号计算机上开发了 SAGE 空中防御系统, 这个实时信息控制系统能够通过阴极射线管显示各个军分区的地理边界等信息, 操作者只需借用光笔指向屏幕上的目标图形, 就可以获得所需要的信息。与此同时, 类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到了应用, 这预示着交互式图形生成技术的诞生。

1962 年, 美国麻省理工学院林肯实验室的 I. E. 萨瑟兰德在他的博士论文中提出了一个名为“Sketchpad”的人机交互通信的图形系统, 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。他使用的是 TX-2 型计算机及阴极射线管式图形显示器, 可用光笔在图形显示器上实现选择、定位等交互功能, 同时, 此系统引入了分层存储符号和图素的数据结构等许多基本思想和技术, 这些思想和技术至今仍在计算机图形学中广泛引用。因此, Sketchpad 系统被公认为对计算机图形学的发展奠定了基础。

20 世纪 60 年代, 计算机主要以大型机的形式出现, 大多用于科学计算及事务管理, 因此, 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。在算法方面, 1964 年, MIT 教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为超限插值的新思想, 通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。在 60 年代早期, 法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 发展了一套被后人称为 Bézier 曲线、曲面的理论, 成功地用于几何外形设计, 并开发了用于汽车外形设计的 UNISURF 系统。Coons 方法和 Bézier 方法是 CAGD 最早的开创性工作。与此同时, 美国、英国、法国等各大公司开展了计算机图形学和计算机辅助设计的大规模

研究,在交互技术和输出技术上都有所突破,使计算机图形学得到了很大的发展。

进入 20 世纪 70 年代,计算机图形学进入了实用化的阶段,许多更加完备的图形系统不断被研制出来。由于集成电路技术的发展,计算机硬件性能不断提高,出现了廉价的图形输入、输出设备及大容量磁盘等,因此,计算机图形学在计算机辅助设计等许多领域得到了广泛的应用。基于电视技术的光栅显示器的出现,使得光栅图形学算法迅速发展起来,区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生,图形学进入了第一个兴盛的时期,并开始出现实用的 CAD 图形系统。因为众多商品化图形软件的出现,图形软件功能的标准化问题被提上日程。1974 年,美国计算机学会成立了一个图形标准化委员会,开始制定和审批有关标准。该委员会于 1977、1979 年先后制定和修改了“核心图形系统 CGS(Core Graphics System)”。在 70 年代,计算机图形学另外两个重要进展是真实感图形学和实体造型技术的产生。1970 年, Bouknight 提出了第一个光反射模型;1971 年, Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理;1975 年, Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型,这些可以算是真实感图形学最早的开创性工作。

进入 80 年代以后,工程工作站的出现,极大地促进了计算机图形学的发展。比起小型机来,工程工作站在用于图形生成上具有以下优点:资源共享,存储量大,交互时间短。从 80 年代中期以来,超大规模集成电路的发展,为计算机图形学的飞速发展奠定了物质基础。其较高的运算能力和较快的图形处理速度,保证了计算机图形学在各个研究方向能够充分发展。国际标准化组织提出了“计算机图形接口 CGI(Computer Graphics Interface)”、“计算机图形元文件标准 CGM(Computer Graphics Metafile)”、“计算机图形核心系统 GKS(Graphics Kernel System)”、“面向程序员的层次交互图形标准 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard)”等,其中 PHIGS 中的图形数据按层次结构组织,该标准向程序员提供了控制图形设备的图形系统接口,还提供了动态修改和绘制显示图形的方法。CGI 标准是有关图形软件与图形输入/输出设备之间的接口,该接口的标准化实现了图形软件与图形设备之间的无关性。这些标准的制定,极大地推动了计算机图形学的发展。与此同时,真实感图形的生成技术又有了新的进展,1980 年, Whitted 提出并实现了一个光透视模型——Whitted 模型;1984 年,热辐射工程中的辐射度方法被一些学者引入到计算机图形学中,该方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果;另外,还出现了光线跟踪算法和辐射度算法,这些都使得真实感图形的显示日渐成熟。此时,三维图形显示也达到了很高水平,能够动态地显示物体表面的光照程度、阴影变化等。

进入 21 世纪,微型计算机的性能迅速提高,可配置高分辨率显示器及窗口管理系统,能在网络环境下运行,而且价格便宜,易于普及和推广,已经成为计算机图形生成技术的重要环境。随着微机性能的进一步提高,它在计算机图形技术中的应用将越来越重要。

除了计算机系统本身的性能及图形学算法以外,推动计算机图形学不断发展的另一个重要因素是图形显示设备的发展。20 世纪 60 年代中期出现并广泛应用的显示设备是矢量显示器(也称为随机扫描显示器),它具有较高的分辨率和对比度,易于修改,具有良好的动态性能,扫描速度快,图形质量高。但是为了避免图形闪烁,随机扫描显示器需要以 30 次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形,因此图形的复杂程度受到显示器扫描速度的限制。IBM2250 显示器就属于矢量显示器,它使用光笔作为交互输入手段,配有 32 个功能

键,以便调用程序中的相应模块。洛克希德飞机公司利用其开发了 CADAM 绘图加工系统,成为 IBM 主机上应用最广的 CAD 软件。

由于矢量显示器价格昂贵,不能广泛使用,针对这种情况,20 世纪 60 年代后期出现了存储管式显示器,它消除了闪烁问题,不需要缓存及刷新功能,分辨率高,而且价格比较低廉,这些优点使得交互式图形生成技术能够广泛应用。但是存储管式显示器有一个明显的缺点,它不能局部地、动态地进行删除和修改显示画面。后来,某些存储管式显示器提供了“写入通过”模式,将电子束直接写在屏幕上,具有一定的动态性能,例如美国 Tektronix 公司的 4014 显示器,曾经是 20 世纪 70 年代 CAD 和工程分析中应用最广泛的图形终端。其画面清晰,分辨率可达到 4096×3072 像素,每次输入显示命令后可以保留画面 1 小时,它的出现可以使一些简单的图形实现交互处理。显然,存储管式显示器的推出促进了计算机图形学的发展,但其功能仍有待改进。

20 世纪 70 年代,出现了光栅扫描显示器,它最初主要用于图像处理,其屏幕像素的分辨率并不高,大多是 512×512 像素。在光栅扫描显示器中,被显示的线段、字符及多边形等图形以点阵形式存储在刷新缓冲存储器中,由视频控制器将其读出并在屏幕上产生图像。光栅扫描显示器的出现使得计算机图形技术与电视技术相结合,图形处理和图像处理相渗透。光栅扫描显示器与随机扫描显示器相比,其优点是采用易于实现的规则重复地扫描,所以价格便宜,易于推广;生成三维物体等真实感图形时采用各种颜色和模式的填充方法来实现,使得生成的图形更加形象、逼真;刷新过程与图形的复杂程度无关,只要具有较高的刷新频率,复杂图形也不会出现闪烁现象。由于这些优点,光栅扫描显示器成为了图形显示的主要设备。如 IBM5080 就是采用光栅扫描技术,利用光笔进行输入,能实现局部修改。近几年,由于大规模集成电路技术的发展和专用图形处理芯片的出现,光栅扫描显示器的性能越来越好,价格越来越低,已成为图形显示的常规设备,应用十分广泛。

我国对计算机图形设备和计算机辅助几何设计方面的研究始于 20 世纪 60 年代后期,应用起步于 20 世纪 70 年代,经过 30 多年,计算机图形学无论在理论研究还是在实用方面都得到了快速发展,现已在我国的各个行业得到了广泛应用,并取得了明显的经济效益。在计算机图形设备方面,我国陆续研制出了多种系列和型号的绘图机、图形显示器和坐标数字化仪,国内许多公司能够生产高分辨率光栅扫描显示器及具有全色的图形图像处理卡。此外,与计算机图形学相关的软件开发和应用在我国也得到了迅速发展,如二维交互绘图系统已投入使用,三维几何造型系统也有几个商业化的版本。许多计算机图形软件研究与开发的课题已列入国家“八五”、“九五”、“十五”科技攻关项目和国家自然科学基金项目。我国学者在矢量线段及其多边形裁剪、计算机辅助几何设计、用光线跟踪算法产生真实感图形、科学计算可视化等方面都取得了可喜的成果。

1.3 计算机图形学的应用

随着计算机图形学的发展,它的应用范围也日趋广泛。目前,计算机图形学主要应用于以下几个领域。

1. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

计算机辅助设计与制造是计算机图形学在工业界最重要的应用领域。设计和制造都离

不开图形,而传统的手工绘图速度慢、质量差,它与计算机的高速计算能力之间形成巨大反差,严重地阻碍了新产品的开发进度。计算机绘图代替手工绘图成为必然的趋势,其应用也非常广泛,如使用计算机绘制飞机机身、船体的外形,对于用手工无法绘制的大规模和超大规模集成电路图,也可以通过计算机来完成。因此,CAD/CAM是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用领域。交互图形工作站在机械、电子、建筑等行业中迅速取代绘图板,担负起繁重的日常绘图、总体方案的细节设计等工作。在电子工业中,计算机图形学在集成电路、印刷电路板、电子线路和网络分析等方面也具有明显优势。无法用手工设计和绘制的大规模或超大规模集成电路版图,用计算机图形系统不仅能对它进行设计和画图,而且可以在较短的时间内完成,并对结果直接进行后续工艺加工处理。

由于三维几何造型系统具有许多优点,基本上代表了CAD技术的发展方向,因此CAD技术另一个非常重要的研究领域就是基于工程图纸的三维形体重建。三维形体重建就是从二维信息中提取三维信息,通过对这些信息进行分类、综合等一系列处理,在三维空间中重新构造出二维信息所对应的三维形体,恢复形体的点、线、面及其拓扑关系。由于二维图纸设计在工程界中仍占有主导地位,工程上有大量旧的透视图和投影图片可以利用、借鉴,许多新的设计凭借原有的设计基础进行修改即可完成,所以,三维形体重建在工程中有重要的意义。

纵观CAD图形支撑软件的发展,可以分为四个阶段:计算机绘图系统;交互式二维绘图系统;几何造型系统;以数据库为核心的CAD/CAM一体化系统。今后,随着计算机性能的提高,CAD的应用将会越来越广泛。

2. 科学技术及事务管理中的交互绘图

计算机图形学被广泛应用于绘制各类二、三维图表。人们通过测量和观测得到大批数据,如大地、地址、地震、海洋资源、气象等数据,随着数据量的与日俱增,人们对数据的分析和处理变得越来越困难,人们难以从数据海洋中提取数据最本质的特征。对于这些海量数据,利用计算机图形学技术,都可快速处理,生成相应的图形(等值线图、资源分布图、地图等)。利用这些存储的信息还可以生成三维的地形地貌图,为今后的预测和决策提供科学依据。

绘制事务管理中的各种图形是计算机图形学应用较多的领域之一。计算机图形学经常用于绘制表示经济信息技术数据统计的二维及三维图形,如直方图、线条图及扇形图等。所有这些图形都能够提供形象化的数据和趋势,增强对复杂现象的理解,辅助制定决策。随着计算机硬件的不断更新以及各种图形软件的不断出现,计算机图形学的应用将会更加广阔。

3. 科学计算可视化与过程控制

传统的科学计算结果是数据流,它们不易被理解,也不易检查其中的错误。随着科学技术的发展,越来越多的数据需要进行处理。科学计算可视化就是应用计算机图形生成技术,将科学及工程计算的中间结果或最终结果等在计算机屏幕上以图形的形式显示出来,实现科学计算环境和工具的进一步现代化。科学计算可视化可以广泛应用于计算流体力学、有限元分析、天体力学、分子生物学、医学图像处理等领域。尤其在医学领域,可视化有着广阔的发展前途。机械人和医学专家配合做远程手术是目前医学上很热门的课题,而

实现这些技术的基础就是可视化技术,它将医用 CT 扫描的数据转化为三维图像,并通过一定的技术生成在人体内漫游的图像,使得医生能够看到并准确地判别病人体内的患处,然后通过碰撞检测技术来反馈手术效果,帮助医生成功地完成手术。

在过程控制中,计算机图形可以帮助人们控制或管理对象,如石油、化工、电网、导弹飞行、航空、地面和水上交通等都可以通过传感器把传送来的数据转换成图形,对过程实行有效的监视和控制。

4. 计算机动画及艺术模拟

随着计算机图形学和计算机硬件的不断发展,人们已经不满足于仅仅生成高质量的静态场景,于是计算机动画就应运而生了。用计算机图形生成的动画片,其形象逼真、生动,制作成本低。事实上计算机动画也只是生成一幅幅静态的图像,每一幅与前一幅只有微小的区别,用人工来完成就不得不做大量重复性的工作,利用计算机来完成时,这些重复性的资料可存储在计算机内,需要时直接调出来,稍加修改就成了下一幅图,既准确又迅速,大大提高了工作效率。

近年来,人们普遍将注意力转向基于物理模型的计算机动画生成方法。这是一种崭新的方法,该方法大量运用弹性力学和流体力学的方程进行计算,力求使动画过程体现出最适合真实世界的运动规律。然而要真正达到真实运动是很难的,其计算方程往往很复杂,计算量非常大,这些缺陷需要进一步研究解决。

20 世纪 90 年代是计算机动画应用辉煌的十年。Disney 公司每年都要出一部制作精美的卡通动画片,它们是计算机动画的重要应用领域。好莱坞的大片大量运用计算机生成各种各样精彩的动画特技效果,广告设计、电脑游戏也频频运用计算机动画。这些商业应用极大地推动了计算机动画的发展。

计算机图形学发展到一定阶段,出现了一种新的行业:计算机艺术。艺术家们利用交互式图形软件所提供的多功能“画笔”和丰富的“颜料”创造出生动的艺术形象,这个优点也被商业广告充分利用。现在的美术人员,尤其是商业艺术人员都热衷于用计算机软件从事艺术创作。可用于美术创作的软件很多,如二维平面的画笔程序(如 CorelDraw、Photoshop、PaintShop)、专门的图表绘制软件(如 Visio)、三维建模和渲染软件包(如 3DMAX、Maya)以及一些专门生成动画的软件(如 Alias、Softimage)等。这些软件不仅提供多种风格的画笔、画刷,而且提供多种多样的纹理贴图,甚至能对图像进行雾化、变形等操作,很多功能是一个传统的艺术家无法实现也不可想象的。

1.4 计算机图形系统硬件简介

计算机图形系统由硬件设备和软件两大部分构成。根据在计算机图形系统中的作用,硬件设备可分为输入和输出两大类。图形输入设备负责图形的形状及尺寸、绘图命令、菜单项及必要的参数输入,图形输出设备显示或记录绘图结果。

1.4.1 常用的图形输入设备

图形输入设备从工作原理上可以分为两大类:向量型图形输入设备和光栅扫描型图形输入设备。向量型图形输入设备通过记录坐标点的方法输入图形。主要输入的数据形式为

直线或折线，它采取跟踪轨迹来构成图形学数据。常用的向量型图形输入设备有数字化板、鼠标器、光笔等。光栅扫描型图形输入设备采取逐行扫描，按一定密度采样的方式输入图形。主要的输入数据形式为一幅由亮度值构成的像素矩阵。这类设备常采用自动扫描输入方式，因此输入迅速方便。但是，它所获得的图像数据必须被转换为图形数据，才能被 CAD 过程和各子系统所使用。这种转换，是一种图形识别的过程。最近，这方面的研究正在逐步达到实用阶段。常用的光栅扫描型图形输入设备有扫描仪和摄像机。

下面具体介绍几种图形输入设备。

1. 鼠标器

除了键盘以外，鼠标器已成为计算机的主要输入设备。鼠标器是一种手持滚动设备，当轮子滚动时，带动两个角度数字转换装置，产生出滚动距离的 x , y 移动值，从而实现定位。鼠标器的一个重要特征是，只有轮子滚动时才会产生指示位置的变化，如果没有轮子的滚动，则不会输入任何信息，因此它主要用于指挥屏幕上的光标。它具有定位（输入一个点的坐标）、拾取（选中屏幕上一条图线）及选择（选取菜单中的菜单项）的功能。由于体积小、操作方便、使用灵活、价格便宜，因此鼠标器目前已成为在图形交互上使用最广泛的图形输入设备，几乎成为了计算机的标准配置。根据测量位移的传感系统，鼠标器可分为机械式、光电式和光机式三种类型。

（1）机械式鼠标器。机械式鼠标器也是常用的鼠标器之一，它内有三个滚轴：空轴、 X 向滚轴、 Y 向滚轴，以及一个滚球。其中 X 向、 Y 向各连一个译码轮，译码轮位于两传感器之间且有一圈小孔；小球的滚动带动三个滚轴转动，两个滚轴滚动带动译码轮，二极管发向光敏晶体管的光因被译码轮阻断而产生反映位移的脉冲，两脉冲之间为 90° ；脉冲的个数代表鼠标的位移，而相位表示鼠标运动的方向。

（2）光电式鼠标器。光电式鼠标器是可靠性最好、寿命最长的一种。它利用发光二极管与光敏三极管来测量位移：发光二极管发出的光投射到鼠标板上，其反射光经过光学透镜投射到光敏三极管上。当鼠标器在鼠标板上移动时，反射的光在光敏三极管中就变成强弱不同的电流，经放大、整形就转换为表示位移的脉冲序列。

（3）光机式鼠标器。它有三个滚轴：一个空轴，另外两个分别是 X 方向和 Y 方向滚轴，这三个滚轴都与一个可以滚动的小球接触。它采用光敏半导体元件测量位移，只要一块光滑的桌面即可工作。

不论是哪种鼠标器，屏幕光标的位移量均取决于鼠标器在桌面上或衬垫上移动时的位移量，与鼠标器在其上的绝对位置无关。

2. 图形输入板与坐标数字化仪

图形输入板与坐标数字化仪两者的工作原理与功能完全相同，它们都是将图形转变成计算机能接收的数字量的专用设备。数字化仪（图形输入板）由一块数据板和一根触笔组成，数据板中布满了金属栅格，当触笔在数据板上移动时，其正下方的金属栅格上就会产生相应的感应电流。根据已产生电流的金属栅格的位置，就可以判断出触笔当前的几何位置。它们按工作原理的不同分为电磁式、超声波式、电位梯度式、机械式等多种。

（1）机械式坐标数字化仪。导轨和测头沿两个方向移动，带动光栅轮移动，产生光电信号，从而得到两点相对距离的坐标值。

(2) 超声波式坐标数字化仪。利用 X 、 Y 方向的超声波传感器和拾取坐标点的笔尖上的超声波发生器, 通过记录超声波到 X 、 Y 边的最小时间换算出两点间的距离。

(3) 全电子式坐标数字化仪。在平板的板面下边, 是一块由 X 方向和 Y 方向组成的导线网线路板。平板内装有一套电子线路, 它向导线网的 X 方向线与 Y 方向线依次进行时序脉冲扫描。扫描电流对导线的瞬间激励会引起一个时序脉冲的时间, 进行比较之后, 探头所在的位置数据就可以自动得出并送入计算机。

(4) 三维数字化仪。这类设备是通过插动的方法将三维(3D)物体的表面结构(线框)数据输入到计算机, 形成计算机内的 3D 线框图模型, 直接用于真实感显示, 因此这类设备称为 3D 数字化仪。传统的 CAD 技术致力于在计算机中设计和装配几何形体, 但那些习惯于创作雕塑的艺术家却难以将他们丰富的创造逼真而快速地输入到计算机内, 因此大大限制了 CAD 造型在许多领域中的应用。然而, 3D 自动数字化仪的出现将以上两个截然不同的世界有机地集中到了一起, 它能够自动地将 3D 物体的表面形状以及色彩的信息输入到计算机中。

3D 数字化仪的工作原理是: 投射一组垂直的光线到物体上, 镜子从两个视点捡取光照射后得到的轮廓, 然后用一个高精度的传感器进行扫描, 经由特殊的电路将视频图像数字化映射到一个矩形区域的范围表, 这是一个关于距离测量的数组。数字化仪每投射一组光线便得到一个轮廓, 它沿着物体的周围扫描一遍, 直到创建一个描述整个物体的范围表为止。

数字化仪往往具有定位、拾取、选择的功能, 其主要性能指标有分辨率、精度和幅面。许多数字化仪提供了多种压感电流, 用不同的压力就会有不同的信息传向计算机。这对于电脑艺术家来说尤其有用, 他们可以通过控制笔的压力来产生不同风格的笔画。现在非常流行的汉字手写系统就是一种数字化仪。

3. 光笔

光笔结构如图 1.1 所示, 它是一种手持检测光的装置, 它直接在屏幕上操作, 拾取位置。光笔的外形像一支笔, 笔尖处开有一个圆孔, 让荧光屏的光通过这个圆孔进入光笔。笔尖由一组透镜构成, 在透镜的聚焦处是光导纤维, 连入光电二极管。光线由透镜进入, 通过光导纤维, 由光电二极管转换为电信号, 整形后成为电脉冲。光笔的工作过程和数字化板类似, 光笔将荧光屏当作图形平板, 屏幕上的像素矩阵能够发光。当光笔所对应的像素被激活, 像素发出的光就被转换为脉冲信号, 这个脉冲信号与扫描时序进行比较后, 便得出光笔所指位置的方位信号。光笔原理简单, 操作直观, 是早期 CAD 系统中最主要的图

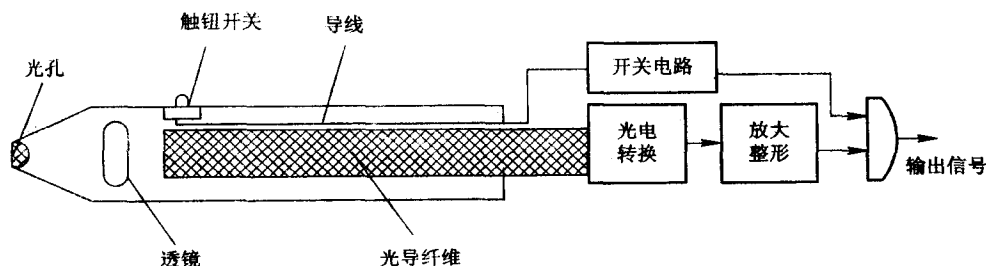


图 1.1 光笔结构示意图