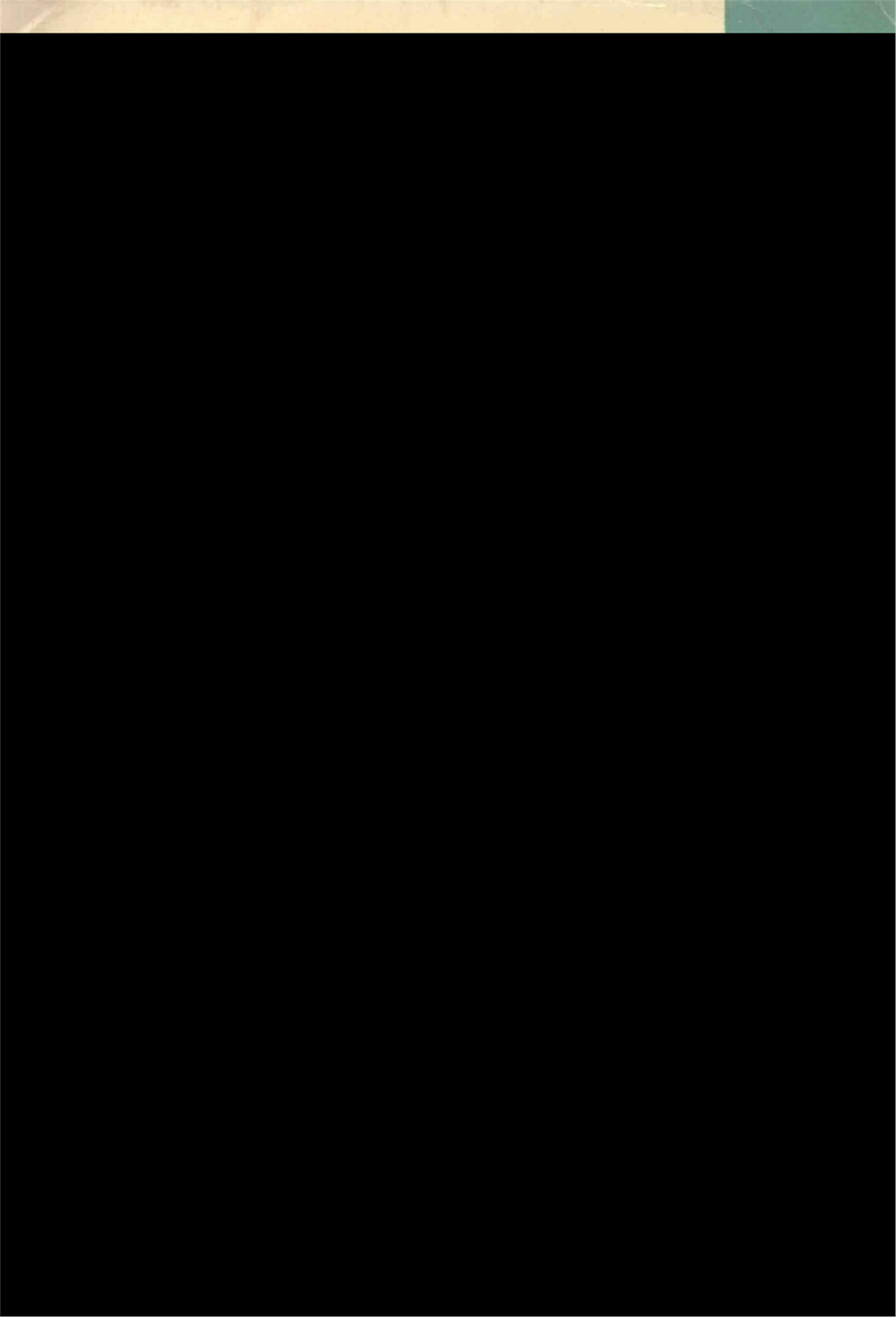


计算机图形学



计算机图形学

——原理与实践

俞 勇 盛焕焯 编著

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书介绍计算机图形学的原理与应用,内容包括计算机图形学的基本概念;二维图形的几何变换、剪取算法、基本图形的生成算法;三维图形的几何变换、投影变换、视变换及图形的剪取与消隐;结构化形体几何表示模型、边界表示模型和单元分解表示模型等基本几何造型模式;光照模型、明暗处理、透明、阴影、纹理;图形的边界跟踪、多边形逼近;常见分维图形的构造及性质;曲线与曲面的拟合;动画基本技术;人机交互技术、图形输入技术、多窗口环境等图形化人机系统。全书各章后均附有实例题供实验,并给出了实现的方法。书的附录给出了7个基本实验,帮助读者熟悉图形基本语句和程序设计方法。

本书可作高等院校相关专业的教科书,亦可作计算机爱好者在计算机图形学方面的自学读本。

责任编辑 东鲁红

封面设计 刘 纬

计算机图形学——原理与实践

上海交通大学出版社·出版

(上海市华山路1954号 邮政编码200030)

新华书店上海发行所·发行

上海交通大学印刷厂·印刷

开本:787×1092(毫米)1/16 印张:13.5 字数:332000

版次:1996年5月 第1版 印次:1996年5月 第1次

印数:1—1000

ISBN7-313-01681-6/TP·309

定价:10.70元

前 言

随着计算机技术的发展,计算机图形学已成为一门成熟的学科,而且对它的研究还在不断深入,对它的应用还在不断扩大。为了适应计算机图形学的发展,我们特编写此教材。在编写过程中,根据该学科的特点,我们在介绍其原理的同时,增加了实验环节,从而最大程度地增强了教材的实用性。

本书适用于高等院校本科生高年级学生或研究生,授课时数为 36 至 54 学时,实验时数为 36 至 54 学时,也可根据实际情况,选择其中部分内容和实验。使用本教材要求已修程序设计基础、数据结构、微型计算机系统等课程。

本教材共有 10 章和两个附录。第 1 章介绍计算机图形学的定义、发展和应用,计算机图形系统的基本组成;第 2 章介绍图形学的基本概念(如坐标体系、窗口与视区),二维图形的几何变换、剪取算法、基本图形的生成算法;第 3 章介绍三维图形的几何变换、投影变换、视变换、三维图形的剪取与消隐;第 4 章介绍基本几何造型中常用的几种表示模式,如结构化形体几何表示模型、边界表示模型和单元分解表示模型;第 5 章介绍光照模型、明暗处理、透明、阴影、纹理等;第 6 章介绍图像的边界跟踪、多边形逼近等;第 7 章介绍几种常见的分维图形的构造及其性质;第 8 章介绍曲线和曲面的拟合;第 9 章介绍动画描述,动画基本技术等;第 10 章介绍人机交互技术、图形输入技术、多窗口环境等图形化人机系统。在每一章的后面均有一些实例题作为实验所用,并介绍其实现的方法。最后还有两个附录,附录 1 有四个基础实验,主要帮助读者熟悉图形基本语句和图形程序设计;附录 2 有三个游戏,均为综合性的实验。

本教材由俞勇、盛焕烨编著,盛焕烨审稿,王沁刚、马晓鸣、何焯飞、吴敏、郇海滨、秦洁、周静斐、马骏、杨亚斌、陈翌佳、宋劼实现了书中的实验,何焯飞、马晓鸣、吴敏参加了部分材料的整理工作,陈琪、管敏仁、茅维华、贺炯等绘制了书中的插图和框图,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免会存在一些不足和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

1995 年 7 月于上海

目 录

第1章 计算机图形学概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 计算机图形学的定义	(1)
1.1.2 计算机图形学的发展	(1)
1.1.3 计算机图形学的应用	(3)
1.2 计算机图形系统	(4)
1.2.1 计算机图形系统的一般工作过程	(4)
1.2.2 计算机图形系统的基本组成	(4)
1.3 图形输入输出设备	(6)
1.3.1 显示器	(6)
1.3.2 输入设备	(9)
1.3.3 输出设备	(11)
第2章 二维图形	(13)
2.1 引言	(13)
2.2 坐标体系	(13)
2.3 窗口与视区	(14)
2.4 剪取	(15)
2.4.1 点的剪取	(15)
2.4.2 直线的剪取	(15)
2.4.3 多边形的剪取	(22)
2.4.4 文本的剪取	(28)
2.5 几何变换	(29)
2.5.1 平移变换	(29)
2.5.2 缩放变换	(30)
2.5.3 旋转变换	(30)
2.5.4 变形变换	(31)
2.5.5 组合变换	(32)
2.6 直线的生成	(33)
2.6.1 DDA 直线生成算法	(34)
2.6.2 对称 DDA 直线生成算法	(35)
2.6.3 Bresenham 直线生成算法	(36)
2.7 圆的生成	(37)
2.8 多边形填充	(40)
2.8.1 多边形扫描填充	(40)
2.8.2 简单的种子填充	(43)
2.8.3 扫描线种子填充	(43)
2.8.4 模式填充	(45)

2.9	实例题 1	(46)
2.10	实例题 2	(48)
第3章	三维图形	(51)
3.1	引言	(51)
3.2	坐标系	(51)
3.3	三维变换	(51)
3.3.1	平移变换	(52)
3.3.2	缩放变换	(52)
3.3.3	旋转变换	(52)
3.3.4	变形变换	(55)
3.4	坐标系变换	(55)
3.5	投影变换	(56)
3.5.1	平行投影	(56)
3.5.2	透视投影	(57)
3.6	视变换	(58)
3.6.1	数学预备知识	(58)
3.6.2	视变换参数	(59)
3.6.3	视变换矩阵	(60)
3.6.4	剪取	(63)
3.6.5	透视投影	(64)
3.7	三维剪取	(64)
3.7.1	三维剪取体	(64)
3.7.2	三维 Cohen - Sutherland 直线剪取算法	(64)
3.7.3	三维 Cyrus - Beck 算法	(66)
3.8	消隐	(67)
3.8.1	消隐的考虑	(67)
3.8.2	Roberts 算法	(68)
3.8.3	Warnock 算法	(74)
3.8.4	表优先级算法	(78)
3.8.5	Z 缓冲器算法	(80)
3.8.6	扫描线算法	(81)
3.8.7	光线跟踪算法	(85)
3.9	实例题 3	(87)
3.10	实例题 4	(89)
第4章	基本三维几何造型	(92)
4.1	引言	(92)
4.2	基本概念	(92)
4.2.1	形体	(92)
4.2.2	形体表示方式	(94)
4.2.3	集合运算	(96)
4.2.4	欧拉运算	(98)
4.3	常用形体表示模型	(100)

4.3.1	模型的考虑	(100)
4.3.2	结构化的形体几何表示模型	(101)
4.3.3	边界表示模型	(103)
4.3.4	扫描变换表示模型	(106)
4.3.5	单元分解表示模型	(107)
4.3.6	几何造型系统中表示模型的组合应用	(109)
4.4	实例题 5	(111)
第5章	光照效应	(113)
5.1	引言	(113)
5.2	简单光照模型	(113)
5.3	Gouraud 明暗处理	(115)
5.4	Phong 明暗处理	(116)
5.5	透明	(117)
5.6	阴影	(119)
5.7	纹理	(121)
5.8	运用光照模型的光线跟踪算法	(123)
5.9	实例题 6	(125)
5.10	实例题 7	(126)
5.11	实例题 8	(129)
5.12	实例题 9	(130)
第6章	边界自动勾划	(133)
6.1	引言	(133)
6.2	轮廓跟踪	(133)
6.2.1	单轮廓跟踪	(134)
6.2.2	所有轮廓遍历	(135)
6.3	多边形逼近	(137)
6.3.1	直线拟合	(137)
6.3.2	多边形拟合	(138)
6.4	边缘探测简介	(140)
6.5	实例题 10	(140)
第7章	分维图形	(144)
7.1	引言	(144)
7.2	几种常见的分形集	(144)
7.2.1	三分康托集	(144)
7.2.2	Von Koch 曲线	(145)
7.2.3	Sierpinski 垫及其类似分形结构	(145)
7.2.4	分形山	(146)
7.2.5	Julia 集	(147)
7.3	Julia 集与 Mandelbrot 集	(147)
7.4	实例题 11	(150)
第8章	曲线与曲面	(152)
8.1	引言	(152)

8.2	曲线	(152)
8.2.1	样条曲线	(152)
8.2.2	贝塞尔曲线	(155)
8.2.3	B样条曲线	(157)
8.3	曲面	(160)
8.3.1	贝塞尔曲面	(161)
8.3.2	B样条曲面	(161)
8.4	实例题 12	(162)
第9章	动画基本技巧	(172)
9.1	引言	(172)
9.2	动画描述	(172)
9.3	动画基本技巧	(174)
9.3.1	换页法	(174)
9.3.2	位图运算法	(174)
9.3.3	路径存储法	(175)
9.3.4	冲突检测法	(176)
9.3.5	彩色映射表	(177)
9.4	实例题 13	(177)
9.5	实例题 14	(179)
第10章	图形化人机交互系统	(180)
10.1	引言	(180)
10.2	用户接口设计	(180)
10.3	交互技术	(181)
10.3.1	定位技术	(181)
10.3.2	编辑技术	(184)
10.3.3	命令技术	(185)
10.4	图形输入	(186)
10.4.1	图形输入方式	(186)
10.4.2	图形文件格式	(186)
10.4.3	数据压缩技术	(189)
10.5	多窗口交互环境	(191)
10.6	实例题 15	(192)
附录 1	基础实验	(196)
	实验一	(196)
	实验二	(197)
	实验三(统计图生成一)	(199)
	实验四(统计图生成二)	(200)
附录 2	游戏	(203)
	游戏一	(203)
	游戏二	(204)
	游戏三	(205)
参考书目		(208)

第 1 章 计算机图形学概述

1.1 引言

1.1.1 计算机图形学的定义

计算机图形学(computer graphics)是随着计算机科学的发展而产生和发展的。它一方面受到计算机硬件、软件等各因素的影响,另一方面也不断地对它们提出新的要求,促进硬件技术的进步。如今,计算机图形学已经在航空、航天、造船、汽车、机械、建筑、电子、天文、地质、艺术等许多领域得到了充分的运用,足迹遍布各行各业。如此广泛的应用,不仅推动了本学科的不断发 展,也推动了其他相关学科的发展,而且由此形成了一些新的研究领域,如多媒体、图形数据库等,这对进一步丰富和完善这门学科,乃至发展计算机科学都有着非常重要的意义。

计算机图形学是研究图形生成、图形存储和图形处理的一门学科。目前,计算机图形学一般指的是交互式计算机图形学,它是利用交互装置对图形的内容、形式、位置、尺寸或颜色等属性进行动态控制的一门学科。

在计算机科学各分支领域中,有两门学科与计算机图形学有着密切的联系,但又不尽相同。它们是:计算机图像处理(image processing)与模式识别(pattern recognition)。图像处理是对未经加工的图像进行一定的处理使之成为所需要的图像,中间需经过去除噪声,增强清晰度等步骤,以便更适于计算机存储、显示,或达到所需的效果。模式识别则是对输入的图像或图形进行分析判断,以便分类和识别,产生抽象的描述或归入某一特定的类的方法。而计算机图形学是根据描述要求来生成图形,并进行图形操作和处理以显示图形。图 1.1 表示了这三者之间的相互关系。

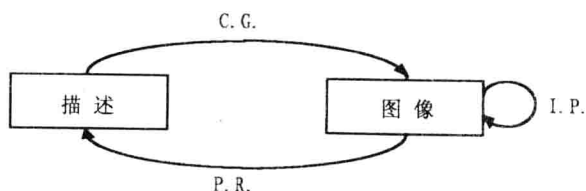


图 1.1 计算机图形学、图像处理和模式识别之间的联系

1.1.2 计算机图形学的发展

几乎在现代计算机诞生的同时,计算机图形学的发展就开始了。从 50 年代初开始到现在,计算机图形学的发展过程大致可分为以下几个阶段:

1. 开创阶段(本世纪 50 年代初~60 年代初)

在 50 年代,随着一系列与图形有关的计算机附件的研制成功,以及一些基本的计算机图形学理论的建立,计算机图形学作为一门新的学科应运而生。

1950 年,美国的麻省理工学院采用原理类似于示波器的阴极射线管(CRT)作为他们自己设计的旋风一号(Whirlwind-1)计算机的图形显示器。这也是世界上第一台供计算机使用的

显示器。

1958年,美国 CALCOMP 公司和 GERBER 公司分别设计成功了滚筒式绘图仪和平板式绘图仪。50年代末,美国麻省理工学院在旋风一号计算机上开发出 SAGE 空中防御指挥系统,采用光笔作为输入设备,可以用它在显示屏幕上输入位置坐标。这一成果意味着交互式图形技术的诞生。

2. 迅速发展阶段(60年代初~60年代末)

从60年代初开始,美国的许多高等院校和一批汽车、飞机制造公司纷纷开展了对计算机图形学的大规模的科学研究,其中包括通用汽车公司、麦道公司、洛克希德飞机公司以及贝尔实验室等。在这一时期,各种系统软件和应用软件纷纷涌现,为计算机图形学走向实际应用铺平了道路,美国麻省理工学院的 Ivan. E. Sutherland 所提出的一些计算机图形学的基本概念和技术被广为应用,另一位 Steve Coons 也在基本概念和算法上作出了重要贡献。

3. 降低成本阶段(60年代末~70年代初)

60年代中期出现了随机扫描显示器,它具有较高的分辨率,而且适于显示动态的图像,但是为了避免图形的闪烁,需要一个刷新存储器来配合每秒30次左右的屏幕刷新工作,而且对处理器的运算速度也有较高的要求。此外,图形系统的开发需要耗费大量的人力、物力、财力,可移植性又不够理想。这几个因素造成计算机图形学的发展在60年代末一度陷入了停滞不前的状态。直到存储管显示器(store tube display)的出现,由于它不需要刷新屏幕,因而省去了昂贵的刷新存储器,降低了对处理器的要求,使图形硬件系统成本大幅度降低,促进了计算机的图形系统进一步发展。70年代初,一些通用的、可移植的软件系统的问世,为计算机图形学的推广打下了基础。

4. 发展成熟阶段(70年代初~80年代初)

随着大规模集成电路技术的发展,出现了廉价的大容量刷新缓冲存储器,这使得采用成熟的电视技术的光栅扫描显示器得到了推广,与存储管显示器相比,光栅扫描显示器使图形更加形象、逼真,而且具有较好的动态图形显示能力。与此同时,也出现了很多新型的图形输入设备,如各类图形输入板、坐标数字化仪、操纵杆、跟踪球、鼠标器、姆指轮等,丰富了计算机图形输入方式,具有键盘等传统输入设备所不能达到的方便、直观、迅速等许多优点,使图形学能在不同的环境下更好地发挥作用。经过一段时间的摸索,计算机图形学已经能够向用户提供大量的通用软件包。在这期间,图形数据库、交互技术都有了进一步的完善。

随着通用的、高级的、与设备无关的图形软件的发展,产生了图形语言标准化的问题。美国计算机协会提出的 Core Graphics System 与西德的 GKS 规范,受到了有关人士的重视。经过10年左右的反复修改,试运行,在80年代中期,国际标准化组织(ISO)相继正式宣布了 GKS 和 PHIGS 国际标准。计算机图形系统所涉及的几何变换、二维三维图形生成、剪裁、曲线和曲面的拟合,光照模型、几何造型等的算法和数据结构的组织,信息的运算等,经过多年的研究、讨论,也已日趋成熟和完善。

5. 推广应用阶段(80年代中~)

至今,随着微处理机的普及,光栅扫描图形彩色显示终端已经推广使用,为计算机图形学的普及提供了必要的硬件环境。图形显示成为有效的人机通信方式,被各方用户充分认识,成了计算机图形学普及的推动力。针对这种情况,各类应用系统纷纷推出,把数据处理、数据通信、图形处理融为一体的工作站也出现了,如 Apollo, Sun, Hp 等。这一切把计算机图形系统推

向了一个更高的水平。

计算机图形学已与图像处理、模式识别、人工智能、计算机网络、计算机语音处理、数据库等众多领域结合,形成了一些新的研究方向,如工程数据库、多媒体等。所以,计算机图形学已成为一门由多种科学技术结合的、内容广泛的、发展迅速的新兴学科。

1.1.3 计算机图形学的应用

20多年来,随着计算机性能的不不断提高,系统软件的不断完善,以及图形设备的更新和图形软件功能的日益强大,计算机图形学得到了越来越广泛的应用。应用的领域可谓包罗万象,从科学研究直至艺术创作,都有它的立足之地。下面列出几个主要的应用领域。

1. 计算机辅助设计(computer aided design)

这是计算机图形学应用最广泛的领域。一般用于机械、电子、建筑工程等系统中的结构和部件的设计。在机械工程中,可以进行计算机辅助船舶、飞机、汽车和其他机械设备的设计和制造。世界上第一套CAD设备就是通用汽车公司专门进行汽车设计的。在电子工程中,大规模和超大规模集成电路的设计、分析与绘制,离开了计算机就无法进行,而计算机图形学又是不可缺少的。在建筑设计中,可以用计算机进行交互式的造型设计、效果显示以及平面布置和结构设计等。

2. 商业及事务管理

在商业及事务管理中,计算机图形学主要用于绘制数学的、物理的以及表示经济信息的二维、三维的函数图形,如直方图、折线图、扇形图、生产进度图、产品库存和产量变化趋势图。这一类图形显示的特点是简洁、明确,一般都是通过直观的图表来显示数据的变化发展趋势及数字间相互的比值关系。

3. 测量数据

测量数据的图形处理用于绘制出高质量、高精度的地理图形及其他自然景物的测绘图形,一些物理量的分布图,如地形图、矿藏分布及勘探图、海洋图、气象云图、人口密度分布图等。

4. 仿真与动画

利用计算机实现对科学现象的模拟,如液体流动、核反应、化学反应等,通过图形的连续变换来获得动态的内容,从而协助对这些数学模型的研究。用计算机产生逼真的动画效果,不但可以为艺术创作服务,而且可以模拟真实的环境,用于实际事件的预演,或进行飞行、驾驶等的训练,不但成本较低,而且十分安全、方便,有关数据资料的收集、存储也较容易。

5. 过程控制

利用交互式图形生成技术形成的人机交互系统,可实现人与控制或管理对象之间的相互作用。计算机通过与它相连的实时测试部件采集数据,并在显示屏幕上显示出其过程的变化,由操纵人员进行观察控制,对突发情况进行及时的处理,从而实现最佳的控制。例如工厂中的设备、工序控制,机场与铁路的调度等。

6. 办公自动化

在办公室中通过计算机不但能够实现编辑和传送文件的自动化,还能以图形方式显示并交换文件、报表、图例及其他信息,并在输出设备上输出、保存起来。

7. 计算机辅助教学(computer aided instruction)

利用计算机图形学的技术,可以使计算机辅助教学更加生动、形象、直观,提高学生的学习

兴趣,从而达到良好的教学效果。

8. 艺术和广告

艺术和广告的共同目的是用优美的图画表达信息以吸引公众的注意力。采用计算机图形学提供的光照、明暗和色彩的逼近等技术,不但能大大减少工作量,而且能创造出意想不到的新效果,达到出奇制胜的目的。

1.2 计算机图形系统

1.2.1 计算机图形系统的一般工作过程

计算机图形系统是一个由软、硬件相互结合的有机整体。系统在工作时,由主机执行应用程序,通过图形输入设备、数据库或交互装置读取数据,按一定数据结构组织起来,不断调用事先存储好的图形显示子程序,将处理后得到的数据送往显示处理器,从图形显示器或其他输出设备输出图形。计算机图形系统的一般工作过程如图 1.2 所示。

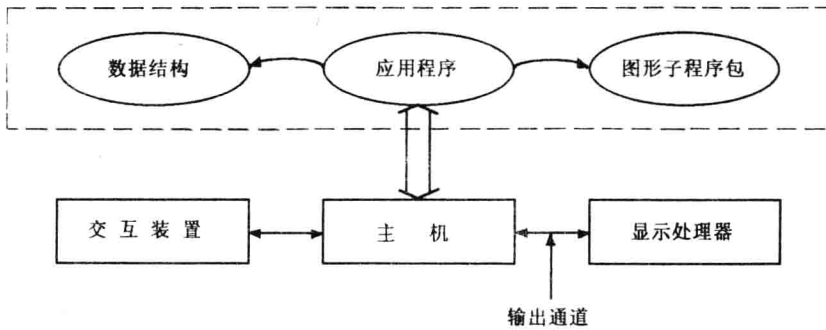


图 1.2 计算机图形系统的一般工作过程

1.2.2 计算机图形系统的基本组成

计算机图形系统由系统硬件和系统软件两部分所组成。

1. 系统硬件

计算机图形系统的基本硬件设备主要由以下几部分组成:显示器件、显示处理器、刷新存储器、交互装置、硬拷贝装置、本地计算机和主机。图 1.3 表明了图形系统的硬件组成。

(1) 显示器件

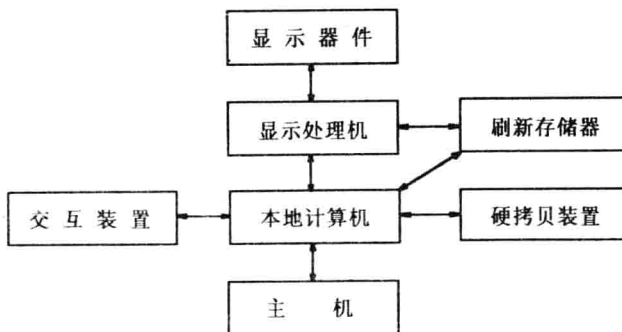


图 1.3 计算机图形系统的硬件组成

根据显示处理器输入的信号在显示屏幕上出现相应的图形基元。显示器件可以采用多种不同的工作原理,常见的有随机扫描显示器、存储管显示器、光栅扫描显示器、液晶显示器和发光二极管显示器等。

(2)显示处理器

重复解释执行显示文件。它不断地从刷新存储器中取出显示文件,按照其中的指令发出信号,驱动显示器显示各类图形。由于对于很多类型的显示器来说,一次信号显示的图像不能持久,必须以很高的频率反复发出信号,才能产生稳定的图像,因此要求显示处理器的速度快,所以一般采用全硬件的专门设计。也有用通用的处理器加上适当线路和软件来构成显示处理器的,性能稍低,但价格较便宜。

(3)刷新存储器

用来存放显示文件。在刷新存储器中存放的显示文件,是供显示处理器进行处理的指令序列。显示处理器在不断地执行这一指令序列。如果改变刷新存储器中的显示文件,那么显示器就能及时显示更新的图像,造成动态的效果。

(4)交互装置(亦称输入设备)

它是图形系统中的人机交互工具,其基本功能是:数值输入、字符输入、命令输入、定位、检出、轨迹输入。光笔、键盘、鼠标器、操纵杆、跟踪球、数字化仪等都属于物理交互装置的范畴。

(5)硬拷贝装置

实现图形永久性输出的装置。这一装置有两种不同的输出数据的方式,即点阵式和矢量式。点阵式硬拷贝装置把图像转换成由许多像素点构成的位图。如不考虑灰度效果,像素点阵的每一点可用0或1来表示该点的亮度值。如果考虑灰度和色彩,那么表示每个像素点状态所需的值就更多了。点阵式硬拷贝装置很多,有打印绘图仪、喷墨绘图仪、静电绘图仪、激光绘图仪、热敏绘图仪等。矢量式硬拷贝装置只要从本地计算机接受一条直线的起点和终点,就可将该线绘出。这类装置特别适于画线,常用于绘制机械零件图、电子线路图等。这类装置有笔型绘图仪和照相绘图仪等。

(6)本地计算机

本地计算机是联系主机和显示处理器的硬件,负责生成显示文件和进行图形变换。

(7)主机

执行语言的解释、编译、数据库的管理等任务。对于独立的计算机的图形系统,主机与本地计算机的功能可以结合在一台计算机上执行。

2. 系统软件

计算机图形系统中的系统软件包括应用程序、应用数据结构/模型和图形系统三大部分。应用程序是为完成图形系统功能需执行的指令序列;数据结构/模型用以全面描述对象的特点;图形系统实际上是一些图形子程序,用以完成实际的图形显示、处理等功能,是与硬件系统的接口。这三者之间的联系如图1.4所示。

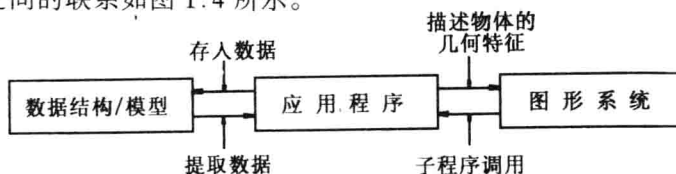


图1.4 计算机图形系统的软件构成

1.3 图形输入输出设备

1.3.1 显示器

显示器是一种图形输出设备,但是由于它所具有的图像显示的实时、快速和暂时性等特点,因此将它与在纸和其他介质上输出图形以长期保存的图形设备区分开来。本节主要介绍几种常见显示器及其工作原理。

1. 阴极射线管

阴极射线管(CRT)由阴极、控制栅、电子聚焦系统、加速系统、偏转系统和荧光粉涂层组成。阴极射线管在工作时,加热阴极的灯丝发射出大量电子,由控制栅来控制电子发射的方向和发射率,这时发射出的电子还是一团分散的、运动速度的大小和方向都不同的电子云。当电子云经过电子聚焦系统后,就成了一束很细的电子束,同时由加速系统提高电子束的速度,使其具有足够的能量打在荧光屏上。偏转系统产生 x 方向和 y 方向的电场使电子束向某一方向偏转,以便轰击荧光屏上指定的位置从而发出光亮。阴极射线管的结构如图 1.5 所示。

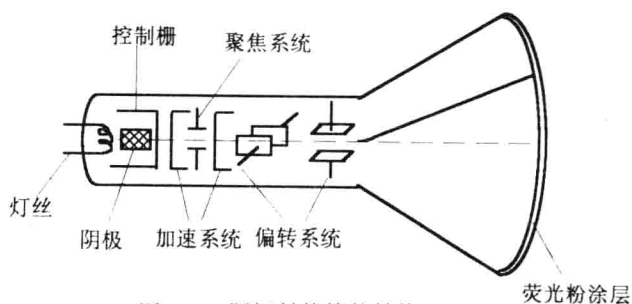


图 1.5 阴极射线管的结构

阴极射线管是最常见的图形显示装置,下面将要介绍的随机扫描显示器、存储管显示器和光栅扫描显示器都是基于阴极射线管的原理的。虽然目前已出现了很多种类的显示器,如液晶显示器、等离子屏幕显示器等,都有各自的优点,但在许多性能上却不及阴极射线管。

2. 随机扫描显示器

随机扫描显示器的显像管部分,其实就是一个基本的 CRT。通过改变显像管中加在偏转系统上的 x 、 y 电压,可使电子束偏转任意角度,轰击在荧光屏上某一点,产生光亮。如果电压连续变化,屏幕上就会出现一条图形的轨迹。但是由于荧光粉一旦没有电子轰击马上就会停止发光,所以画线的过程需要以每秒 30 次以上的频率重复进行,不然的话,图像就会出现闪烁。当扫描速度一定时,显示图形的复杂性就受到了限制。图形过于复杂,单位时间内重复扫描的次数不能达到要求,就要出现闪烁现象。此外,图形的分辨率和精确度也是随机扫描显示器的重要性能指标。随机扫描显示器中除了 CRT 以外,还有专门的存储器、控制运算器、矢量发生器、字符发生器、偏转系统,构造比较复杂,因此价格昂贵。但是它的动态性能很好,有较高的分辨率,易于局部修改,画线的质量高于光栅扫描显示器,所以,仍然有其特点。

3. 存储管显示器

随机扫描显示器只有不断地外加偏转电压,才能产生一定的图形,因此需要刷新存储器记录图形信息来不断刷新屏幕,维持图像。这一原理上的限制使随机扫描显示器成本较高,图形

复杂程度也受到了限制。如果对 CRT 进行改进,使它自身具有存储功能,就不必重复地进行刷新工作,从而有效地避免上述两个缺点。存储管显示器正是这样,它采用了存储管技术,使显示器本身具有存储图形的功能。存储管显示器的结构如图 1.6 所示。

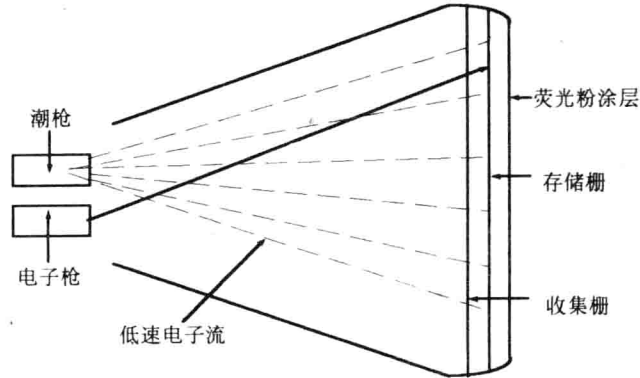


图 1.6 存储管显示器的结构

存储管显示器与普通 CRT 一样,也有电子枪、聚焦系统、偏转系统和荧光粉涂层。不过在存储管显示器的荧光粉涂层后面,有一个绝缘的细网栅格,上面分布有负电荷,称为存储栅,紧靠存储栅之后还有一个细的金属网,称为收集栅,上面带有正电;有两支电子枪,其中一支类似于一般 CRT 中的电子枪,具有聚焦、偏转系统,称为扫描枪,另一支电子枪没有聚焦系统,也没有偏转系统,发射出的是连续的低能量的电子流,像潮水一样以缓慢的速度涌向荧光屏,称为潮枪。存储管显示器在开始工作时,存储栅表面均匀分布着负电荷,从扫描枪射出的高速电子束打在存储栅上时,存储栅上对应点的电子被激发,离开了存储栅,并被邻近的收集栅收集,因此当扫描电子束进行偏转时,就会在存储栅上产生相应的正电荷图像。此时,潮枪中发射出的低速电子流也被收集栅所吸引,均匀地以近于垂直的方向接近屏幕。这些电子穿过收集栅,在来到存储栅时,只有那些正好来到存储栅带正电荷的部分的电子得以通过,轰击荧光粉涂层而发光。其余的电子被存储栅上的负电荷所排斥,未能通过。于是存储栅上的正电荷图像显示在屏幕上了。由于电子流移动速度相当慢,所以在通过存储栅时几乎不影响上面分布的正电荷的形状,因此,存储栅上的图像保持不变,潮枪不断地发射电子,从而屏幕上也持续地显示着图像,不需要扫描枪进行反复刷新。

但是正是由于存储栅上正电荷分布的稳定性,导致难以局部消除上面的电荷来改变局部图形,为实现动态图像带来了很大困难。要想改变图形,必须先要在存储栅上加上正电压,消除上面剩余的负电荷,擦除全部图形,然后再加上负电压,再次形成均匀的负电荷分布,然后就可重新工作了。另外,由于轰击荧光屏的是低速电子流,因此屏幕上的图像亮度较低。低速电子流不断积累在存储栅的正电荷图像上,造成图形越来越淡,经过一段时间后就几乎看不见了。存储管显示器不适于显示动态图像,大大限制了它的运用,但是它能显示复杂的图形,不需要刷新控制机构,成本低廉;新型的存储管也有了一定的刷新图像的能力,因此仍然有一定的市场。

4. 光栅扫描显示器

光栅扫描显示器采用了电视的工作原理,与存储管显示器和随机扫描显示器不同,后两者只需用扫描电子枪直接给出要显示的图形就可,而光栅扫描显示器的扫描电子束在屏幕上沿“之”字形路线扫过屏幕上每一位置,由另一信号控制电子束,使扫过的点发出不同亮度、颜色

的光。光栅扫描显示器的荧光屏上的荧光粉不是连续的,而是由大量的点按固定的方式排列起来的,每一个点通常称为一个像素。光栅扫描显示器的工作原理如下:在 x, y 偏转系统上加上恒定的扫描频率的信号,分别称为行扫描和帧扫描;当 x 偏转电压线性增加, y 偏转电压保持不变时,电子束在显示屏幕上的轨迹为一条水平直线;然后在 x 电压迅速回零, y 电压减小一个常量之后, x 电压继续线性增加,就产生了一条位于刚才一条直线之下的水平直线;如此往复,直到整修屏幕被扫描一遍后, y 扫描电压又回到最初的大小,开始对整个屏幕的下一遍扫描。在扫描过程中, z 轴信号的变化,可引起电子束性质的变化,在屏幕上各点产生不同的深浅和颜色效果。光栅扫描显示器 x, y, z 轴的控制信号如图 1.7 所示。

对于每一个像素点,如果只用一个二进制位来表示它的状态就只有亮和暗两种状态了。存储位越多,灰度等级就越多。如果用 8 位来表示,每一个像素点应有 256 (即 2^8) 种灰度等级可供显示。这指的是黑白光栅扫描显示器。彩色光栅扫描显示器有 3 支电子枪,分别产生红、蓝、绿 3 种色彩。通常在荧光屏后有一块掩模板,上面布满小孔,3 束电子束经过聚焦和偏转系统后同时通过某一个小孔,然后又发散开来,击中屏幕上 3 个不同点。在掩模模式显示器中,这 3 点上恰好涂有对应颜色的荧光粉,于是产生 3 个不同色彩的光点,由于距离很近,看上去就像一个像素点在发光。通过三原色的不同组合,就可显示不同颜色。如果三种颜色分别有亮度控制,就能变换出更多的色彩。红、蓝、绿三色的组合效果见表 1.1。

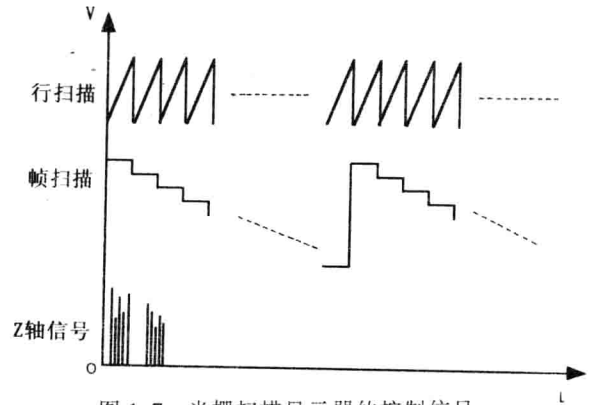


图 1.7 光栅扫描显示器的控制信号

表 1.1 红、蓝、绿组合效果表

红	蓝	绿	
0	0	0	黑
0	0	1	绿
0	1	0	蓝
0	1	1	天蓝
1	0	0	红
1	0	1	黄
1	1	0	洋红
1	1	1	白

由于光栅扫描显示器本身没有存储功能,因此需要一个刷新存储器来记录屏幕上各像素点的信息。那么各点的状态如何在存储器内表示呢?最常用的方法是位平面表示法。每一个位平面的行列数目恰好是显示屏幕上像素点的行列数目,不同位平面上的同一位置的各位组合起来,就能表示一个像素点的状态。最简单的表示法是只有一个位平面;每一像素由 0,1 两种状态表示暗或亮。也可采用 3 个位平面,每一个位平面对应一种颜色,同一点的 3 个位按前