

高 | 等 | 学 | 校 | 教 | 材

计算机图形学简明教程

张彩明 等编著



高等教育出版社

高等学校教材

计算机图形学简明教程

张彩明 等编著

高等教育出版社

内容提要

本书介绍了计算机图形学的基本原理和算法。主要内容有：计算机图形系统及硬件基础、基本光栅图形算法、变换和裁剪、三维空间的观察、人机交互绘图技术、现面的判定、颜色和简单光照明模型、曲线曲面的表示和三维几何造型。

本书在系统地介绍计算机图形学基本原理和算法的过程中，尽量避免涉及难以理解的语言和系统，使读者对基础理论和相关技术的阐述更易于理解和掌握。本书可作为高等院校本科生、研究生学习计算机图形学的教材，也可作为从事计算机辅助设计、计算机图形学和相关专业科技人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学简明教程/张彩明等编著. —北京：高等教育出版社, 2006. 7

ISBN 7-04-019648-4

I. 计... II. 张... 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(2006)第 060461 号

策划编辑	倪文慧	责任编辑	李瑞芳	封面设计	刘晓翔	责任绘图	朱 静
版式设计	陆瑞红	责任校对	刘 莉	责任印制	韩 刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 13.5
字 数 300 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 7 月第 1 版
印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷
定 价 17.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19648-00

前 言

计算机图形学是计算机科学与技术中最主要的分支之一。特别是近三十年来,计算机图形学技术的发展十分迅速,其应用无处不在,从产品和工程设计到广告设计,从科学计算可视化到计算机辅助医疗诊断,从电影电视制作到数字娱乐,在各个领域中起着越来越大的作用。国内外各大学和职业学院基本上都为本科生和研究生开设了计算机图形学课程,并把它放在十分重要的位置。在实际应用中,计算机图形技术也受到广大科技工作者和工程设计人员的极大关注。

目前关于计算机图形学的书很多,其中所涉及的语言基本上是C语言和OpenGL语言,涉及Java语言的此类书几乎没有。而Java语言已成为目前最为流行的语言之一,得到了广泛的应用。本书将以Java语言中的为一个像素设置颜色的函数为基础描述和实现有关算法,对于没有学过Java语言的学生,可用所学语言中相应的一个函数为基础。全书内容主要集中在对基本原理和算法的介绍上。书中有关Java3D图形功能的内容,可根据学生对Java语言的了解程度作为选讲内容,选讲内容为目录中标记“*”的部分。

本教材以一般大中专院校本科生为使用对象,系统地讲述该学科所需的基础知识和基本概念,在内容安排上满足了计算机专业和相关专业的基本教学需要。本教材在编写过程中力求做到基础知识和基本原理全面、概念清晰、由浅入深、实例丰富,使教材中内容具有较强的实用性和易读性,方便读者自学。本教材的特点如下:

(1) 在内容的选择上遵循的原则是:①对讲解图形学基本原理是必不可少的;②对研究图形学问题具有典型的启发意义;③近年来的一些最新发展和成果。

(2) 本教材系统地设计了各章的习题,与教材中的内容及Java语言基本绘图功能紧密结合,形成一个有机的整体。

(3) 为了便于在职申请学位者和相关专业科技人员自学,教材内容尽量做到通俗易懂,使读者不参考其他书籍也能很好地理解和掌握基本内容。

(4) 本教材配备电子教案,其中部分实例的程序,可从高等教育出版社高等理工教学资源网下载获得。网址为 <http://www.hep-st.com.cn>

本教材是作者在多年计算机图形学教学实践的基础上编写的。高珊珊、迟静和石志昕参与了第2、3和10章的编写;韩慧键、刘振和毕重科参与了第4~7章的编写;崔宁、韩帅和李晓丽参与了剩余章节的编写。

由于时间仓促且作者水平有限,书中难免有不当甚至错误之处,衷心地希望读者将对本书的意见及建议发至 zhangcm@sdie.edu.cn,与我们一起对书中内容进行完善。

编 者

2006年1月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118



目 录

第 1 章 概述	1	3.1.1 用 Java 小程序绘图	30
1.1 计算机图形学的概念与研究内容	1	3.1.2 用 Java 应用程序绘图	32
1.1.1 图形的概念	1	3.2 直线的扫描转换	34
1.1.2 计算机图形学的研究内容	2	3.2.1 基本增量算法	34
1.2 计算机图形学的应用	2	3.2.2 Bresenham 算法	36
第 2 章 计算机图形系统及硬件基础	5	3.3 圆的扫描转换	38
2.1 概述	5	3.3.1 正负法	38
2.1.1 计算机系统图形设备	5	3.3.2 Bresenham 算法	40
2.1.2 图形系统的基本功能	5	3.3.3 圆的多边形逼近法	42
2.2 图形显示设备	7	3.4 多边形的扫描转换	43
2.2.1 CRT 显示器	7	3.4.1 多边形的扫描转换	43
2.2.2 液晶显示器	16	3.4.2 扫描线算法	43
2.2.3 等离子显示器	19	3.4.3 边缘填充算法	47
2.2.4 三种显示技术的比较	20	3.4.4 边界标志算法	48
2.3 图形绘制设备	20	3.5 区域填充	51
2.3.1 喷墨打印机	21	3.5.1 区域的表示和类型	51
2.3.2 笔式绘图机	21	3.5.2 递归算法	53
2.3.3 激光打印机	23	3.5.3 扫描线种子填充算法	53
2.4 图形输入设备	24	3.6 字符的生成	56
2.4.1 键盘	24	3.6.1 点阵式字符	56
2.4.2 鼠标	24	3.6.2 轮廓式字符	57
2.4.3 光笔	25	3.7 光栅图形的反走样算法	57
2.4.4 数字化仪	25	3.7.1 光栅图形的走样现象	57
2.4.5 手写输入板	26	3.7.2 提高分辨率的反走样算法	58
2.4.6 图形扫描仪	27	3.7.3 区域采样的反走样算法	58
2.4.7 触摸屏	28	3.7.4 加权区域采样的反走样算法	60
2.4.8 新的输入设备	28	习题	60
习题	29	第 4 章 变换和裁剪	61
第 3 章 基本光栅图形算法	30	4.1 变换的数学基础	61
3.1 用 Java 语言绘图	30	4.1.1 点和距离	61

4.1.2 矢量	61	6.2.3 在三视图上进行三维输入	108
4.1.3 矩阵	63	6.3 人机交互输入模式	108
4.2 图形显示中的基本概念	65	6.3.1 请求模式	109
4.3 几何变换	66	6.3.2 样本模式	109
4.3.1 基本变换	67	6.3.3 事件模式	109
4.3.2 齐次坐标与变换的矩阵表示	70	6.3.4 输入方式的混合使用	110
4.3.3 变换的模式	71	6.4 人机交互新技术	110
4.4 裁剪	73	6.4.1 新的界面技术——多通道 用户界面	111
4.4.1 Sutherland-Cohen 算法	73	6.4.2 新的交互技术	111
4.4.2 Cyrus-Beck 算法和 梁友栋-Barsky 算法	76	6.5 人机交互的发展趋势	115
4.4.3 多边形裁剪	80	* 6.6 交互技术应用举例	116
4.4.4 字符裁剪	82	习题	120
习题	82	第 7 章 可见面的判定	121
第 5 章 三维空间的观察	84	7.1 可见面判断的有效技术	121
5.1 投影	84	7.1.1 边界盒	122
5.1.1 透视投影	85	7.1.2 后向面消除	123
5.1.2 平行投影	86	7.1.3 投影规范化	124
5.1.3 任意坐标系到观察坐标 系中的变换	87	7.2 区域细分算法	125
5.2 视见体到规范视见体的变换	90	7.2.1 基于窗口的细分算法	126
5.2.1 平行投影视见体的规范化	91	7.2.2 基于多边形的细分算法	127
5.2.2 透视投影视见体的规范化	93	7.3 八叉树算法	128
5.3 用三维规范体裁剪	94	7.4 z 缓冲器算法和扫描线算法	129
5.4 窗口到视口的变换	95	7.5 深度排序算法	132
5.5 连续变换的处理	96	7.6 光线投射算法	134
* 5.6 Java3D 图形变换	97	习题	135
5.6.1 Java3D 中的图形变换	97	第 8 章 颜色和简单光照模型	136
5.6.2 Java3D 中的图形变换应用实例	98	8.1 颜色	137
习题	102	8.1.1 颜色的特性	137
第 6 章 人机交互绘图技术	103	8.1.2 颜色模型	138
6.1 基本交互任务	103	8.2 简单光照模型	143
6.2 常见辅助交互技术	106	8.2.1 光源与材质	143
6.2.1 几何约束	106	8.2.2 简单光照模型	144
6.2.2 拖拽	107	8.3 光滑明暗处理技术	148
		8.3.1 Gouraud 明暗处理技术	149

8.3.2 Phong 明暗处理技术	150	9.4.2 三次 B 样条曲线的定义和性质	181
8.4 Java3D 环境下的光照明模型	152	9.4.3 三次均匀 B 样条曲线	183
8.4.1 Java3D 中的颜色设置 及明暗模型	152	9.4.4 三次 B 样条曲线的计算	185
8.4.2 Java3D 中的光源与材质	153	9.4.5 实例	186
8.4.3 Java3D 应用举例	155	9.4.6 双三次 B 样条曲面的 定义和性质	188
习题	161	9.5 Coons 曲面	188
第 9 章 曲线曲面的表示	162	9.5.1 双线性 Coons 曲面	188
9.1 曲线曲面的基础知识	162	9.5.2 双三次 Coons 曲面	189
9.1.1 曲线的表示	162	9.5.3 实例	191
9.1.2 参数曲线的多项式表示	164	习题	192
9.1.3 参数曲线的位置矢量、切矢量、 弧长、曲率和法矢量	166	第 10 章 三维几何造型	193
9.1.4 参数曲面及其切平面和法矢量	168	10.1 体素构造表示(CSG 树表示)	193
9.1.5 参数连续性和几何连续性	168	10.1.1 正则集合	193
9.2 Bézier 曲线	170	10.1.2 物体间的正则集合运算	194
9.2.1 Bézier 曲线的定义	170	10.1.3 物体的 CSG 树表示	194
9.2.2 Bézier 曲线的性质	171	10.2 边界表示法	196
9.2.3 Bézier 曲线的几何作图	174	10.2.1 物体的边界表示	196
9.2.4 Bézier 曲线的拼接	175	10.2.2 Sweep 运算	198
9.3 双三次 Bézier 曲面	176	10.2.3 局部运算	200
9.3.1 双三次 Bézier 曲面的定义	176	10.2.4 集合运算	201
9.3.2 双三次 Bézier 曲面的性质	176	10.3 空间分割表示	204
9.3.3 双三次 Bézier 曲面的拼接	177	10.3.1 单元分解表示 (Cell Decomposition)	204
9.3.4 实例	178	10.3.2 八叉树表示	205
9.4 B 样条曲线曲面	179	习题	206
9.4.1 B 样条基函数的定义和性质	179	参考文献	207

第 1 章 概 述

1946 年第一台电子计算机的问世及其发展,有力地推动了其他学科的发展和新学科的建立。计算机图形学技术就是随着计算机科学与技术的发展而发展起来的。在 20 世纪 50 年代中期,计算机主要用于处理科学计算中的问题。一个很自然的想法是,如果计算的结果能用图形显示出来,将大大方便和提高人们对复杂数据的理解,并减少大量需后续处理的工作。因此,计算机图形学技术得到了越来越广泛的重视和应用。经过五十多年的发展,计算机图形学技术已成为计算机技术中最活跃的分支之一,在应用上获得了巨大的成功。

本章主要介绍计算机图形学的概念与研究内容,并简单介绍计算机图形学应用中的几个重要领域。事实上,计算机图形学在几乎所有领域都获得了巨大成功。

1.1 计算机图形学的概念与研究内容

1.1.1 图形的概念

人们生活在一个有形的世界里,形在人们认识事物和相互交流中起了巨大的作用。正是因为形的存在,所以人们在进行交流时,往往会将谈及的话题与其相对应的形状联系,以此清晰表达双方的意思,最终达到交流的目的。同时,图形有文字和数字所不具备的独特功能,它能够表达文字和数字难以表达或不能表达的信息,有时候,一大段文字所描述的信息远不及一幅简单的图形所描述的信息清楚,而且图形信息能使人们对所描述的事物理解得更透彻、更形象、更深刻。

图形信息是人类从外界获得信息的主要来源。人们认识自然,首先是靠眼睛观察事物的外表形象来获得的。据统计,在所有获得的信息中,约有 80%~90% 的信息量来自视觉。如今,图形已成为科学技术领域里一种通用语言,在工程上用来构思、设计、指导生产、交换意见、介绍经验;在科学研究中用来处理实验数据、图示和图解各种平面及空间几何元之间的关系问题、选择最佳方案等。可以说,工、农业生产和国防等各行各业都离不开图形。

那么什么是图形呢?从广义上来说,能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象都称为图形。因此,下面所列的都可以称为图形:

- ① 人眼所看到的自然界的景物。
- ② 用摄像机、照相机等装置获得的照片和图片。
- ③ 用绘图机或绘图工具绘制的工程图、设计图和方框图。
- ④ 各种人工美术绘画、雕塑品。
- ⑤ 用数学方法描述的图形(包括几何图形、代数方程、分析表达式或列表所确定的图形)。



由此可见,图形既包括了自然图形,即影像、图像、图案、图片以及形体实体,也包括了描述图形。用数学方法描述图形是计算机图形学重点解决的问题之一,它包括各种几何图形,由函数式、代数方程和表达式所描述的图形,这也就是人们通常称之为图形的概念。然而,目前计算机图形处理的范围已经远远超过了用数学方法描述的图形,它已经从纯粹的“图”的概念进入到了广义的“形”的深度。图形不仅包括具有形状的几何信息,还包括颜色、材质等非几何信息。

从图形的历史发展来看,图形本身又是一个不断发展和变化的概念。随着计算机的普遍应用,现在工程上所使用的大量图形都用计算机来绘制,这时出现在计算机屏幕上的图形就有别于绘制在图纸上的图形,这时的图形是由点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度(亮度)、色彩等非几何要素构成,是从客观世界中抽象出来的带有灰度或色彩及形状的图或形,这就是计算机图形学中图形的概念。

1.1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(Computer Graphics,CG)是研究如何在计算机环境下生成、处理和显示图形的一门学科。它所研究的主要内容是在计算机环境下景物的几何建模方法(Modeling)、模型的处理方法、模型的绘制技术(Rendering)、图形输入和控制的人机交互界面(User Interface)。例如,要研究如何在计算机上表示飞机和汽车的外形,方便地对飞机和汽车的外形进行修改,快速地绘制它们的真实感图形等,都是计算机图形学所研究的内容。一般情况下,计算机图形学按如下过程产生真实感图形:建立一个对物体完整的几何描述,对物体做一系列变换,以反映三维空间中观察者与物体之间的位置关系,通过绘制过程生成物体的真实感图形。

图形也称图像,但图像处理(Image Processing)则是另一门技术。它是用摄像机或扫描仪等手段将客观世界中原来存在的图形摄制成数字化图像,对图像进行处理、分析和理解,从图像中提取所关注图形的二维或者三维几何信息。例如,要研究如何从一幅图像中提取具有某些特征的图像信息(从一幅多人相片中提出某个人的图像)、由二维图像生成三维实体等。图像处理所研究的内容有图像增强、边缘提取与图像分割、图像压缩、纹理分析、形状特征提取、模式识别和三维形体重建等。

从学科划分来看,计算机图形学和图像处理可看成是一个互逆的过程。计算机图形学着重讨论怎样将数据和几何模型变成图像,而图像处理则是讨论怎样从图像中提取数据和模型。

1.2 计算机图形学的应用

目前,计算机图形学的应用已渗透到各行各业,在科学研究、经济建设和社会发展的各个领域中起着越来越大的作用。下面简要说明其应用领域。

(1) 计算机辅助设计与制造

计算机辅助设计与制造是计算机图形学在工业界应用最重要、最成功的领域。目前,计算机辅助设计已被广泛应用于飞机、汽车、船舶的外形设计、超大规模集成电路(VLSI)设计以及建



筑、服装、印染和玩具设计等各个领域,几乎所有的产品都由计算机来设计。应用 CAD 系统进行设计,不仅可以获得产品的精确表示和显示结果,还可以在计算机中建立对象的数据模型,对它进行各种性能分析计算(受力形变分析、受热膨胀计算等),设计人员根据计算结果对产品做修改设计,直至得到满意的结果。同时,它可以将制造过程与设计结果联系起来,设计结果直接传送至后续工艺进行加工处理。这样就大大缩短了设计周期,降低了设计成本,提高了产品的竞争力。

(2) 科学计算可视化

随着科学技术的迅猛发展和三维空间测量技术的广泛应用,计算数据和测量数据获取的能力、精度和速度有了空前的提高,由此产生的需要处理的数据量与日俱增。目前,海量空间数据点的处理已涉及各个领域,如计算机辅助几何设计、航空航天探测、生物学、数字人和医学图像处理等。面对如此庞大的空间数据,如何从表面看似杂乱无章的数据中,找出数据点之间的关系,从而得到其隐藏的规律,抽取对人们有用的信息,为工业设计、科学发现、医疗诊断、生命科学研究和业务决策等提供依据,已成为一个重大的挑战性问题。近年来,海量空间数据处理已经引起了国内外学术界的极大重视,在很多方面已经取得了重要的进展。

科学计算可视化就是利用计算机图形生成技术,将科学及工程计算中的计算数据和测量数据等以图形的形式显示出来,使人们能观察到用常规手段难以观察到的自然规律和自然现象。1987年2月,美国国家科学基金会首次召开了科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)学术研讨会,从此使得这一技术得到迅速发展,成为一种从海量的计算数据和测量数据中发掘其中蕴涵的自然、物理现象和规律的新的通用手段。图形处理技术与计算机图形学技术相结合可实现多种数据的可视化。目前,可视化技术已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,生成宇宙飞船表面的气流、雷暴雨的数值模型、金属内部断裂的传递研究、空气薄层的流体密度的图形、数据集的交叉切片、蛋白质建模、分子结构的立体视图、一个海平面模型、空气污染研究等。

(3) 计算机动画

计算机图形学技术已广泛应用到计算机动画、数字娱乐、网络游戏、电视片以及影片的制作中。计算机图形学技术可用来制作动画、音乐录像带、电视片、影片和游戏。计算机生成的场景可单独显示,也可以与演员及实际场景混合显示,以生成各种逼真的虚拟场景画面和特技效果,从而为人们提供一个充分展示个人想象力和艺术才能的空间。

20世纪90年代是计算机动画应用取得辉煌成绩的10年。Disney公司每年都要生产一部制作精美的卡通动画片,各电影制片厂大量运用计算机生成演员难以完成的各类特技动作场景,不仅节约了生产成本,而且生成了精彩绝伦的特技效果。目前,计算机动画已经渗入到人们的生活,成为计算机图形学的一个分支。在《玩具总动员》、《泰坦尼克号》等优秀的电影以及各类计算机游戏中,人们已充分领略到计算机动画所带来的惊人魅力与视觉享受。

(4) 计算机模拟和仿真

计算机模拟和仿真是利用计算机产生真实(虚拟)场景,模拟场景中对象随时间变化的行为



和规律。通过虚拟对象的行为和规律,研究液体流动、热流、核反应、结构有负载时的变形、复杂产品的加工过程以及大工程完工后的效果等。目前,计算机模拟和仿真已广泛应用到产品和工程设计、航空驾驶和实验等工作中,并产生出巨大的经济效益。如一项大型建筑工程,在处于设计阶段时就能向公众做一番详细介绍,让关心这一工程的公众能了解和接受这一方案,或对方案提出意见。

飞行模拟器的设计和应用是计算机模拟和仿真最成功的应用之一。利用计算机图形学技术设计训练飞行员的飞行模拟器前的景物,如构造虚拟天空、地面、山峰、树木等,使在地面上训练飞行员与在空中训练一样,具有同样的视觉效果和三维感受。

(5) 虚拟现实

虚拟现实(Virtual Reality, VR)是指由计算机实时生成一个虚拟的三维空间。这个空间可以是小到分子、原子的微观世界,或是大到天体的宏观世界,也可以是类似于真实社会的生活空间。用户可在其中自由地运动,随意观察周围的景物,通过一些特殊的设备与虚拟物体进行交互操作。在此环境中,用户看到的是全立体彩色景象,听到的是虚拟环境中的声响,手或脚可以感受到虚拟环境所反馈回来的作用力,从而使用户产生一种身临其境的感觉。简单的虚拟现实系统早在20世纪70年代便被应用于军事领域,例如,飞行模拟器的设计和应用。目前,虚拟现实技术已在航空航天、医学、教育、艺术、建筑等领域得到相当广泛的应用。例如,1997年7月,美国航天局的旅行者号火星车在距地球约1.9亿公里的火星上着陆。这辆在火星表面缓慢行驶的小车中并没有驾驶员,它是由地球上的工程师通过虚拟现实系统操纵的。随着计算机软硬件技术的提高,虚拟现实系统将得到更大的重视并更加迅速地向前发展。

总之,计算机图形学是计算机技术和图形学及应用数学相结合的产物,是一门新兴的尚需不断发展和完善的学科。随着人类科学技术的不断发展和进步,可以预想,计算机图形学将日趋完善并被广泛地运用到科学研究、工程设计、生产实践的各个领域之中,成为人类了解自然、探索未来的有力工具。

第2章 计算机图形系统及硬件基础

2.1 概 述

2.1.1 计算机系统内的图形设备

计算机图形系统是指用来生成、处理和显示图形的一整套硬件和软件。硬件一般包括用于输入/输出的图形输入/输出设备和用来计算的主机部分,即中央处理机,软件包括用于驱动各种设备的驱动软件和用于生成、处理和显示图形的图形软件。

硬件设备中的中央处理机完成对图形的描述、建立和修改等各种计算,并对图形实现有效的存储。图形系统中计算的工作量非常大,尤其是虚拟场景和实时动画等的显示。为了减轻中央处理机繁重的计算工作,许多外部设备增加了固化的图形处理功能(如显卡、绘图机等),它们可以接受更高级的绘图命令,不但能实现图形的缓冲,而且能完成大部分图形函数的功能,这样就大大减轻了中央处理机的负担,提高了输出速度。

图形输入设备将用户的图形数据、各种命令等转换成电信号输送给计算机,最常见的是键盘和鼠标,此外还有跟踪球、空间球、光笔、数字化仪、触摸板、图形扫描仪、手写输入板、语音输入和数据手套等。

图形输出设备包括图形显示设备和图形绘制设备。它可以将计算机处理好的结果转换成可见的图形。图形显示是指在屏幕上输出图形。常用的图形显示设备是基于阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT)的显示器、液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)和等离子显示器(Palsma Display Panel, PDP)。图形绘制通常指把图形画在纸上,也称硬拷贝,打印机和绘图仪是两种最常用的硬拷贝设备。

在本章中,我们将主要介绍这些图形设备的构造和工作原理。

2.1.2 图形系统的基本功能

一个计算机图形系统至少应具有计算、存储、输入、输出和交互等基本功能,各功能之间的关系如图2.1所示,它们相互协作,完成对图形数据的处理过程。

1. 计算功能

计算功能包括:

- ① 图形的描述、分析和设计。

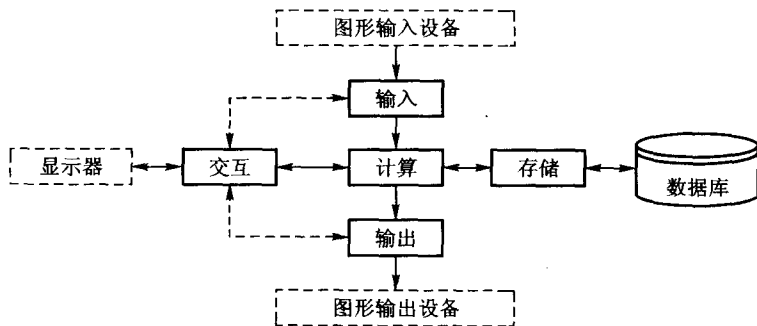


图 2.1 图形系统基本功能框图

② 点、线(包括直线和曲线)、面(包括平面和曲面)的表示及其求交、分类(用于图形的集合运算)。

③ 图形的平移、旋转、投影和透视等几何变换。

④ 曲线、曲面的生成。

⑤ 图形的交点、交线和交面的计算。

⑥ 光、色模型的建立和计算。

⑦ 图形之间相互关系的检测等。

2. 存储功能

在计算机的内存、外存中能存放各种图形数据,尤其是各种图形的几何数据及图形之间的相互关系以及各种属性信息,并可根据设计人员的要求快速、方便地实现对有关信息的实时检索和对图形的删除、增加和修改等操作。

3. 输入功能

通过图形输入设备可将基本的图形数据(如点、线等),图形的形状、尺寸,必要的参数和各种绘图命令输入到计算机中,从而构造更复杂的几何图形,其中,约束条件和属性参数都是必不可少的。

4. 输出功能

图形系统应具有文字、图形、图像信息的输出功能,以方便长期保存分析计算的结果或交互需要的图形和非图形信息。根据对输出结果的精度、形式和时间等的不同要求,相应地有多种不同的输出设备。如图形数据经过计算后,可在显示器上显示当前的状态以及经过图形编辑后的结果,以供暂时使用,同时还能通过绘图仪、打印机等设备实现硬拷贝输出,以便长期保存。

5. 交互功能

设计人员可通过显示器或其他人机交互设备直接进行人机通信,通过观察屏幕上显示的计算结果和图形,利用选择、定位等手段对不满意的部分进行修改。除了与图形文字的交互功能外,还可以由系统追溯到以前的工作步骤,跟踪检索出出错的地方,同时对设计者或操作员输入的错误给予必要的提示和帮助。



2.2 图形显示设备

图形显示设备是计算机图形学中必不可少的装置,其种类繁多,性能和指标也各不相同。常见的图形显示设备有阴极射线管显示器、液晶显示器和等离子显示器。本节主要介绍这3种图形显示器的构造和显示原理。

2.2.1 CRT 显示器

CRT 显示器(阴极射线管显示器)经历了多个发展阶段,出现过各种不同的类型,如随机扫描显示器(又称矢量显示器)和存储管式显示器,但是这些显示器的缺点很明显,图形表现能力也很弱,直到20世纪70年代出现了刷新式光栅扫描显示器,才标志着图形显示技术走向成熟。

1. CRT 显示原理

CRT 主要由阴极、电平控制器(即控制极)、聚焦系统、加速系统、偏转系统和阳极荧光粉涂层组成,这6部分都在真空管内。图2.2为CRT的原理图。阴极被灯丝加热后,会发出电子(带负电荷)并形成发散的电子云(由于电子带同种电荷相互排斥而形成)。在CRT表面的内侧是阳极荧光粉的涂层,如果不加控制,当电子受到带正电荷的阳极(实际上是与加速极连通的CRT屏幕内侧的石墨粉涂层)的吸引轰击荧光粉涂层时,将漫射整个荧光屏,形成明亮的白光。但是在聚焦系统的作用下,电子云会聚焦成很细的电子束,在荧光屏的中心形成一个单一的亮点。亮点持续发光的时间一般在毫秒或微秒数量级之间,所以要想保持显示一幅稳定的画面,必须不断地发射电子束。

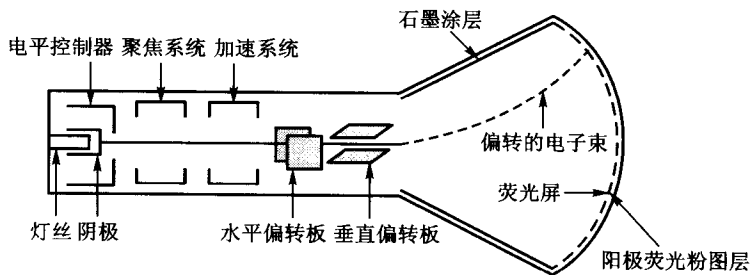


图 2.2 CRT 的原理图

电平控制器用来控制电子束的强弱,当加上正电压时,电子束就会大量通过,在屏幕上形成较亮的点,当控制电平加上负电压时,依据所加电压的大小,电子束被部分或全部阻截,通过的电子很少,屏幕上的点也就比较暗。所以,改变阴极和控制电平之间的电位差,就可调节电子束的电流密度,改变所形成亮点的明暗程度。

聚焦后的电子束通过加速系统达到轰击荧光屏应有的速度后,利用偏转系统(包括水平方向和垂直方向的偏转板)可将电子束精确定位在屏幕的任意位置上。很明显,如果电子束到达屏幕的边缘时,偏转角度就会增大。到达屏幕最边缘的偏转角度被称为最大偏转角。屏幕越大,要求



的最大偏转角度就越大。但是磁偏转系统的最大偏转角度是有限的,为了达到大屏幕的要求,只能将显像管加长。所以我们平时看到的 CRT 显示器屏幕越大,整个显像管就越长。

如上所述,要保持屏幕上有稳定的图像就必须不断地发射电子束。每刷新一次,电子束从上到下将荧光屏扫描一次。而将图形的几何信息转换成存储在帧缓存中的光栅(点阵)图像,并以一定格式的视频图像显示的过程就叫扫描转换。扫描格式和刷新频率是由视觉特性和电子学原理决定的。人的视觉系统要用一定的时间才能识别图像元素,如果在一定的刷新频率下,每帧图像的停留时间长于人眼观察所需的时间,那么在下一帧图像的显示过程中,第一幅图像仍然会残留在人的视觉印象中。这种视觉残留可以消除画面的闪烁现象,将连续的画面呈现在人们眼前。经验表明,人眼可接受的画面刷新率不能小于画面更新的最小频率(每秒 25 帧)的两倍(即每秒 50 帧)。只有刷新频率高到一定值后,图像才能稳定显示。大约达到每秒 60 帧,即 60 Hz 时,人眼才能感觉不到屏幕闪烁。要使人眼觉得舒服,一般必须有 85 Hz 以上的刷新频率。

有些扫描速度较慢的显示器,为了能得到更好的显示效果,采用隔行扫描的技术,其扫描过程如图 2.3 所示。每一帧分为两个场显示,每个场只包含一半画面。两个场是交错的,一个场包含所有的奇数扫描行(1,3,5,...),另一个场包含所有的偶数扫描行(2,4,6,...),两个场以 $1/60$ s 的时间间隔交替显示。扫描从奇数场的左上角开始,每一行的扫描方向都是自左向右。电子束在横向扫描的同时也以较低的速率向下移动,因此水平扫描线实际上有些倾斜,当电子束到达屏幕的右端时,就将其隐去并迅速返回屏幕左端,这个过程称为水平回扫,接着下一奇数行重复这一过程。当整场扫描完毕时,电子束正好停在底部的中央。接着电子束迅速回到屏幕顶部中央,这就是奇数场垂直回扫。接着进行偶数场扫描,偶数场扫描结束于屏幕右下角,垂直回扫后电子束返回屏幕左上角,如此不断重复。因此一帧分为两个场显示,每秒显示 60 个场。由于眼睛观察到的是场的刷新,所以这种技术可以明显消除闪烁现象。

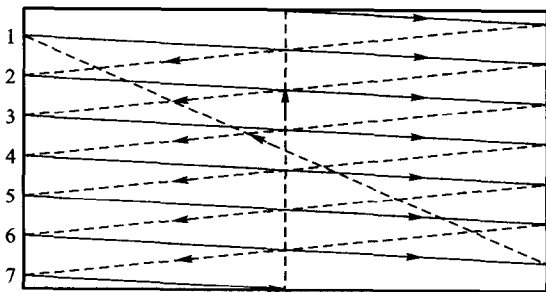


图 2.3 有七条扫描线的隔行扫描奇数场从第一行开始,水平回扫用虚线表示

但是,由于定位精度及线性精度等原因,两场画面的交替显示反而会引起炫目感,长时间观察甚至会引起头晕,因此视频显示并不一定非用隔行显示技术。实际上,大部分高质量的光栅扫描显示器都采用逐行扫描技术。为了消除闪烁现象,逐行扫描显示器的画面刷新频率至少要达到每秒 60 帧。这就要求像素的读取和显示要以比隔行扫描快一倍的速度进行。分辨率越高(即行数和每行的像素数目越多),要求像素读取和显示的时间越少。例如 $1\,024 \times 1\,024$ 分辨率的显



示器,它的像素读取和显示时间只能是分辨率为 512×512 显示器的 $1/4$,因此要达到高分辨率,就应采用高速的帧缓存、帧缓存控制器、DAC(数字模拟转换器)和高带宽(行分辨率 $\times$ 列分辨率 $\times$ 刷新频率)的显示器。

2. 彩色 CRT 的显示原理

将不同颜色的荧光物质进行组合,CRT 可以显示不同颜色。彩色 CRT 显示器的荧光屏上涂有三种荧光物质,分别能发出红、绿、蓝三种颜色的光,而三个电子枪(每个电子枪都由一个加热器、一个金属阴极和一个电平控制器组成)也发出三束电子束来激发这三种物质。电子枪通常成三角形排列,与 CRT 屏幕上的三角形红、绿、蓝荧光点相对应,如图 2.4 所示。

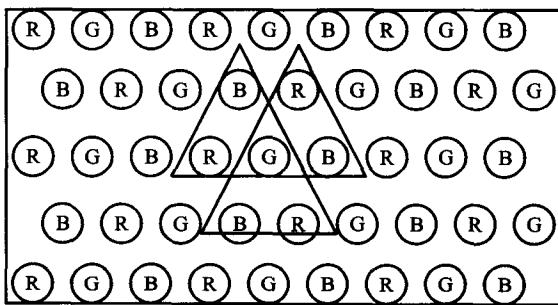


图 2.4 荫罩式 CRT 荧光点的排布方案

电子枪和对应的荧光点必须在一条直线上。为保证每个电子枪都能击中对应颜色的荧光点,还要在电子枪和荧光屏之间放置一个有孔的金属控制网格。根据屏幕上荧光点的排列不同,控制网格也就不一样,即控制网格要与荧光点排列成相同的三角形或直线形。普通的显示器都用三角形的排列方式,这种显像管就称为荫罩式显像管,如图 2.5 所示。通过调整彩色电子枪的排布方式,可以让 3 个电子束都汇聚于荫罩上。这样,代表一种颜色的电子束通过荫罩后,就可以避免与另外两种颜色的荧光点相交,而只能与自己对应颜色的荧光点相交。改变原色电子束的强度,就可以获得不同的明暗度,各种明暗度的原色组合在一起,就可以在像素上生成极其丰富的颜色。高分辨率显示器的一个像素通常对应两至三个彩色荧光小三角点。如果将红、绿两个电子枪关闭,屏幕上就只显示蓝色。如果以相同强度的电子束去激发全部三个荧光点,就会得到白色。如果每一个电子枪都有 256 级(8 位)的强度控制,那么这个显像管所能产生的颜色就是我们平时所说的 24 位真彩色(约 1 677 万种彩色)。

荫罩式显示器有一些固有的缺点,如荧光屏是球面的,几何失真大;三角形的荧光点排列造成即使点很密很细也不会特别清晰。因此,荫栅式显示器在最近几年逐渐流行起来。

荫栅式显像管的红、绿、蓝三色荧光点在屏幕上呈垂直条形排列,并将荫罩网改为条状荫栅,这种条状荫栅由固定在一个拉力极大的铁框中的互相平行的垂直铁线阵列组成,且整个栅栏从屏幕顶端一直通到屏幕底部。电子枪发出的 3 个电子束穿过栅条打在荧光条上使其发光,其工作原理如图 2.6 所示。