

计算机图形学 基础

王 飞 / 编著

JISUANJI TUXINGXUE JICHU

北京邮电大学出版社

计算机图形学基础

王 飞 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 提 要

作为计算机图形学的基础,本教材重点介绍了计算机图形学的基本原理、理论、数学方法、算法及计算机图形系统。全书共分为八章,主要内容有:计算机图形系统、计算机图形学的基本算法、裁剪与变换、自由型曲线曲面、图形的数据结构、隐藏线和面的消除、真实感图形的显示等。本教材是作者根据《计算机图形学基础》课程大纲和自己多年讲授《计算机图形学基础》课程的经验 and 科研成果,在整理讲授本课程讲稿的基础上,参考国内外同类教材编写而成的。

本教材可作为电子(通信、计算机、信息等专业)类和机械类本科生的教材,也可作为研究生的教材或参考书以及供从事计算机图形学学习和研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础/王飞编著. —北京:北京邮电大学出版社,2000.9

ISBN 7-5635-0434-6

I. 计... II. 王... III. 计算机图形学-教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 32199 号

JS421/2419

书 名: 计算机图形学基础

JISUANJI TUXINGXUE JICHU

责任编辑: 郑捷周明

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号)

邮编: 100876 电话: 62282185 62283578

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市忠信诚印刷厂

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 12.25 字数: 288 千字

版 次: 2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1—3 000 册

书 号: ISBN 7-5635-0434-6/TP·32

定 价: 22.00 元

前言

计算机图形学是近三十几年发展起来的应用广泛的新兴学科。它主要是研究用计算机及其图形设备输入、输出、生成、表示和变换图形的原理、算法和系统。它涉及数学、物理学、工程图学、计算机科学等多门学科。作为计算机图形学的基础,本教材主要介绍生成、表示和变换图形的原理、数学方法和算法。全书共分为八章:第一章 绪论;第二章 计算机图形系统;第三章 计算机图形学的基本算法;第四章 裁剪与变换;第五章 曲线曲面;第六章 图形的数据结构;第七章 隐藏面、线的消除;第八章 真实感图形的显示。本教材有如下特点:1. 不求面面俱到,只选择计算机图形学的基础内容,而对这些内容作了较深入的讨论,给出了详细的数学推导过程和算法叙述;2. 理论与实际、实例相结合,注意前后内容的衔接,系统性较强;3. 力求作到文字表达清楚,深入浅出,便于学生自学;4. 结合自己的研究成果,在教材中适当增加了其他教材中未涉及到的内容,力求反映学科的发展;5. 教材中的所有算法都经过验证,对一些内容给出了经过上机验证的 C 程序,便于学生学习掌握和使用;6. 每章后都附有习题,便于教师选择,同时也给学生留有发挥自己能力的机会。

本教材是作者根据《计算机图形学基础》课程大纲和自己多年讲授《计算机图形学基础》课程的经验和科研成果,在整理讲授本课程讲稿的基础上,参考国内外同类教材编写而成的。本教材为电子(通信、计算机、信息等专业)类和机械类本科生二年级的教材,学时为 30~40。也可作为研究生的教材或参考书以及供从事计算机图形学学习和研究的人员参考。

本教材承蒙北京理工大学刁宝成教授和北京邮电大学邓中亮教授审阅,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示诚挚的谢意!赵尔源教授、李杰副教授、冯思刚高工和罗军老师及本教研室的老师对本书的出版都给予了热情的支持和帮助,王卉小姐帮助录入了部分文稿,在此一并表示衷心的感谢。同时还要感谢北京邮电大学教材建设委员会提供的经费支持。

由于作者水平有限,书中的不足、疏漏和错误在所难免,殷切希望读者和使用本教材的同学们批评指正。

王 飞

于 2000 年 7 月

目 录

第一章 绪论

1.1 计算机图形学	1
1.2 计算机图形学的应用领域	1
1.2.1 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)	2
1.2.2 动画	2
1.2.3 艺术	2
1.2.4 科学计算可视化	2
1.2.5 图形显示和绘制	2
1.2.6 计算机辅助教学(CAI)	2
习题	3

第二章 计算机图形系统

2.1 系统的构成	4
2.2 常用图形输入设备	4
2.2.1 鼠标器	5
2.2.2 数字化仪	5
2.2.3 图形扫描仪	5
2.3 常用图形输出设备	6
2.3.1 图形显示器	6
2.3.2 绘图仪	9
2.3.3 激光打印机	10
2.3.4 喷墨打印机	11
习题	12

第三章 计算机图形学的基本算法

3.1 直线的扫描转换	13
3.2 圆的生成	16
3.2.1 正多边形逼近算法	16
3.2.2 Bresenham 算法	18
3.3 多边形填充	20
3.3.1 多边形的扫描转换	20

3.3.2 边标志填充算法	25
3.3.3 种子填充算法	26
习题	28
第四章 裁剪与变换	
4.1 二维坐标系统	30
4.1.1 世界坐标系	30
4.1.2 设备坐标系	30
4.1.3 规格化设备坐标系	30
4.2 窗口—视区的变换	31
4.3 二维图形的裁剪	33
4.3.1 点的裁剪	33
4.3.2 直线的裁剪	33
4.3.3 多边形的裁剪	37
4.4 二维图形的几何变换	40
4.4.1 图形的变换方法	40
4.4.2 二维图形的的基本变换	40
4.4.3 组合变换	46
4.5 三维形体的几何变换	48
4.5.1 比例变换	49
4.5.2 平移变换	49
4.5.3 对称变换	50
4.5.4 错切变换	50
4.5.5 旋转变换	52
4.5.6 组合变换	54
4.6 投影变换	57
4.6.1 投影的概念	57
4.6.2 三视图的变换矩阵	58
4.6.3 轴测投影的变换矩阵	59
4.6.4 透视投影的变换矩阵	62
4.7 三维形体的观察流水线	69
4.7.1 PHIGS 坐标系统和坐标变换	69
4.7.2 观察方向变换	69
4.7.3 观察映射变换	72
习题	78
第五章 曲线曲面	
5.1 曲线、曲面参数表示的基础知识	80

5.1.1	矢 量	80
5.1.2	曲线与曲面的参数表示	80
5.1.3	插值、逼近、拟合与光滑	82
5.1.4	曲线的参数连续性和几何连续性	82
5.2	参数三次样条曲线	83
5.2.1	参数三次样条曲线的力学背景	83
5.2.2	三次曲线方程	84
5.2.3	三切矢方程	85
5.2.4	边界条件	87
5.2.5	计算插值	89
5.3	贝齐尔曲线	90
5.3.1	贝齐尔曲线的表示式	90
5.3.2	贝齐尔曲线的性质	93
5.3.3	贝齐尔曲线的线性运算	94
5.3.4	贝齐尔曲线的分割	95
5.3.5	贝齐尔曲线的拼接	97
5.4	B样条曲线	99
5.4.1	基本概念	100
5.4.2	各种类型的 B 样条曲线	104
5.4.3	计算 B 样条曲线上点的德布尔算法	113
5.4.4	B 样条曲线转换为分段贝齐尔曲线的算法	115
5.4.5	B 样条曲线的反算	117
5.5	贝齐尔曲面	120
5.5.1	定义贝齐尔曲面的张量积方法	120
5.5.2	贝齐尔曲面的性质	121
5.5.3	贝齐尔曲面的拼接	122
5.5.4	贝齐尔曲面的片分割与三角化	123
5.6	B样条曲面	128
5.6.1	B 样条曲面及其性质	128
5.6.2	B 样条曲面的正算	129
5.6.3	B 样条曲面的反算	129
	习题	132

第六章 图形的数据结构

6.1	概 述	134
6.2	构成图形的几何信息和拓扑信息	135
6.2.1	几何元素的定义	135
6.2.2	平面立体的拓扑关系	135

6.3 形体的三种模型	136
6.3.1 线框模型	136
6.3.2 表面模型	137
6.3.3 实体模型	137
6.4 线性表	138
6.4.1 线性表的逻辑结构及插入和删除	138
6.4.2 线性表的顺序存储结构	139
6.4.3 数组	141
6.5 矩阵压缩存储	142
6.5.1 特殊矩阵的存储	142
6.5.2 稀疏矩阵的存储及其乘法	143
6.6 线性表的链式存储结构	149
6.6.1 线性链表	149
6.6.2 循环链表	154
6.6.3 双向链表	155
6.7 排序	155
6.7.1 概述	156
6.7.2 起泡排序	156
6.7.3 选择排序法	157
6.7.4 插入排序法	158
习题	161

第七章 隐藏面、线的消除

7.1 概述	162
7.2 消隐算法常用的几种几何计算方法	164
7.2.1 两直线段的交点	164
7.2.2 平面多边形的外法矢量	165
7.2.3 包含性检验	165
7.2.4 包围盒检验	166
7.2.5 交矩形检验	166
7.2.6 深度检验	167
7.2.7 平面和棱边的分类	168
7.3 凸多面体的消隐	169
7.4 任意平面立体的隐藏线消除	170
7.4.1 算法的基本思路	170
7.4.2 剔除朝后面和建立潜在可见面表	170
7.4.3 建立潜在可见棱边表	171
7.4.4 求每条潜在可见棱边与各个朝前面的隐藏关系	172

7.5 深度(z)缓冲器算法	173
7.6 扫描线深度缓冲器算法	175
习题	176
第八章 真实感图形的显示	
8.1 基本光照模型	177
8.2 颜色	181
8.3 法线矢量的计算	181
8.4 镜面反射光线矢量的计算	182
8.5 多边形的明暗处理	182
8.5.1 兰伯特明暗处理法	183
8.5.2 古兰德明暗处理法	183
8.5.3 冯氏明暗处理法	184
习题	185
参考文献	186

第一章 绪 论

1.1 计算机图形学

在生产活动中,工程图样是表达设计思想、指导生产和进行技术交流的重要工具,是工程界的“共同语言”。从战国时代开始,我国就把图样用于建筑和生产,迄今已有 2 400 年左右的历史。为了绘制图样和提高绘图效率,人们在实践中创造出各种绘图工具,从简单的三角板、圆规、丁字尺、图板到各种模板、机械式绘图机等等。但这些绘图工具都未能使人们摆脱手工方式。手工绘图不仅速度慢、精度低,而且繁琐、劳动量大。所以人们一直希望用自动绘图代替手工绘图,计算机绘图的出现使这个愿望变成了现实。另一方面,由于科学技术的不断进步,生产的不断发展,对工程图样提出了更高的要求,而手工绘图已经愈来愈难以满足这种高要求,因此,计算机绘图代替手工绘图也是历史发展的必然。

随着计算机绘图软硬件技术的不断发展,人们对有关理论和算法的深入研究,逐渐形成了一门新兴的学科——计算机图形学(CG: Computer Graphics)。它是一门涉及物理学、数学、工程图学、数据结构、计算机技术等多门学科的交叉性学科。计算机图形学研究怎样用计算机生成、处理和输出图形。即研究如何用计算机生成图形对象(图形的数据结构和存储结构),对图形对象的操作和处理,图形的表示和输出。图形对象是指点、线、面、体等组成的模型(物体)以及它们的图形。由于光栅扫描图形显示器和点阵式图形设备的广泛应用,计算机图形学和图像处理相互渗透和结合越来越紧密。

计算机处理的图形可分为两种。一种是线条(直线或曲线)组成的图形,如工程图、地图和曲线图表等。线条图只用线条将物体表示出来,其目的仅仅在于表示物体的形状和结构。另一种是具有明暗效果的面图,与照片很接近,它可以具有很强的真实感,但处理一幅图形画面需要较长的时间。线条图与明暗图相比,具有作图简单、方便、速度快、成本低等优点,能满足某些场合的需要,但它显然不是写实性的,不具有真实感。

从以上的叙述可以看出,计算机绘图在学科上应属于计算机图形学范畴,但它们的异同还未讨论过。一般认为计算机绘图侧重工程技术方面的应用,计算机图形学作为一门学科更偏重原理、理论和算法。

1.2 计算机图形学的应用领域

计算机图形学只有 40 多年的历史,但它的发展却非常迅速,特别是近 10 年,随着计算机软硬件水平的日益提高,价格的不断下降,计算机图形技术已经广泛应用于各个领域,下面仅介绍主要的应用领域。

1.2.1 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

这是计算机图形学最广泛、最重要的应用领域。计算机辅助设计使工程设计的方法发生了巨大变化,利用交互式计算机图形生成技术进行机械、建筑、电子等许多领域中产品结构的设计正在迅速取代传统手工绘图的设计方法。事实上,目前许多复杂的图形手工已难以完成或根本无法完成。如大规模集成电路和超大规模集成电路版图等复杂图形已无法用手工设计和绘制,而计算机不仅可以在短时间内完成设计和绘图,而且不必画出图纸即可将其结果送至后续工艺进行处理(如做成印制电路板)。

1.2.2 动画

传统的动画片都是手工绘制的。目前,利用图形工作站和高档微机制作动画已经相当普遍了。由于动画放映一秒钟需要 24 幅画面,仅 10 分钟的动画就需要 $10 \times 60 \times 24 = 14\,400$ 幅画面,可见手工绘制的工作量是相当大的。而计算机制作动画只需画出关键帧画面,中间画面可自动插入,从而大大节省了时间,提高了动画制作的效率。利用计算机制作的动画不仅广泛用于电影、电视等领域,而且可以模拟各种试验,如核反应、化学反应、汽车碰撞、地震破坏等,使这些试验既安全可靠,又节省开支。

1.2.3 艺术

以往的美术作品(书法、绘画)都是手工创作的,现在也可以利用计算机来进行艺术创作,并且已经形成了一个计算机图形学的分支——计算机绘画。

将计算机图形学与人工智能技术结合还可以创造出多种多样丰富多采的艺术图案,应用于纺织和印染等行业。

1.2.4 科学计算可视化

在信息时代,大量的数据需要处理。科学计算可视化是利用计算机图形学方法将科学计算的中间或最后结果以及通过测量得到的数据以图形形式直观地表示出来。科学计算可视化广泛应用于气象、地震、天体物理、分子生物学、医学等诸多领域。

1.2.5 图形显示和绘制

图形信息具有直观、准确、精练、易于理解等特点,因此“图”是科学技术领域里一种应用非常广泛的表示方式。凡是需要“图”的领域都有计算机图形学的用武之地。计算机绘图具有速度快、精度高、易修改等许多优点,不仅能完全代替手工绘图,而且能绘制各种手工难以完成的图形,如地形地貌图、矿藏图、海洋图、气象图、飞机和船舶的图形等。

1.2.6 计算机辅助教学(CAI)

在这个领域中,图形是一个重要的表达手段,它可以使教学过程形象、直观、生动,极大地提高了教学效果和激发了学生的学习兴趣。

微型计算机的不断普及,使计算机辅助教学系统已深入到家庭。

计算机图形学的应用远不只这些方面,还有许多其他的应用领域,如各种工程、农业、军事、医学、通信等。随着微型计算机和工作站的飞速发展,各种图形硬软件的不不断升级和推出,计算机图形学的应用前景将会更加广阔。

习 题

1. 计算机图形学的研究对象是什么?
2. 计算机图形学处理的图形为哪两种?
3. 回忆一下你所见到过的计算机图形学的应用实例。

第二章 计算机图形系统

2.1 系统的构成

计算机图形系统由计算机硬件系统和软件系统两部分组成。

硬件系统包括:计算机主机、图形显示器、鼠标器、键盘、数字化仪(图形输入板)、扫描仪、绘图仪、打印机等。软件系统包括:操作系统、高级语言、图形软件和应用软件,如图 2.1 所示。操作这个系统的人也是系统的组成部分。整个系统运行的过程中,人始终处于主导地位。

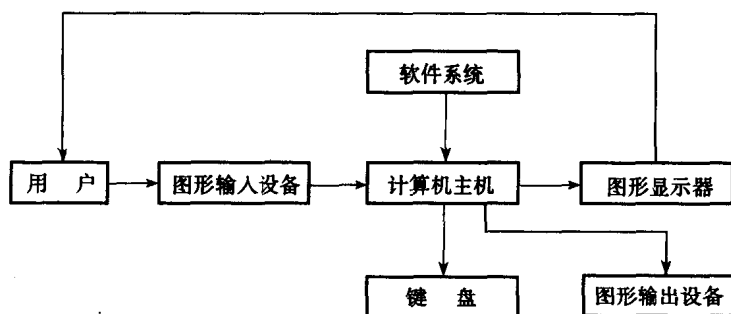


图 2.1 计算机图形系统

计算机图形系统可分为四类:以大型机为基础的图形系统,以中型或小型机为基础的图形系统,以工作站为基础的图形系统和以微机为基础的图形系统。其中后两类系统是最常用的,特别是以微型机为基础的图形系统具有投资小,见效快,操作简单,应用面广,发展迅速,硬件设备更新快,新的软件产品层出不穷,能迅速满足各种用户的需要等特点,因而受到各种用户的普遍欢迎。尽管以微机为基础的图形系统在图形处理速度和存储空间方面都具有一定的局限性,但随着微机技术的飞速发展,使微机功能大大提高,在相当部分的功能上可取代 CAD 工作站,价格却呈下降趋势。另一方面,还可以利用网络技术实现软硬件资源共享,从而部分弥补它的不足。根据 20 世纪 80 年代国内外工程设计部门应用 CAD 技术的经验教训,我国工程设计部门采用客户/服务器体系,以微型机为主的网络 CAD 与管理信息系统(MIS: Management Information System)网络有机融合的集成化系统是一条适合我国国情的可行道路。

2.2 常用图形输入设备

图形输入设备有键盘、鼠标器、光笔、数字化仪(图形输入板)、图形扫描仪等。

2.2.1 鼠标器

鼠标器是一个控制显示屏幕上光标移动的小型手控设备。从它 30 多年前第一次问世到现在已经由最初一个粗劣的带一个按钮的木制品发展成为一个复杂而精巧的输入设备,它的作用已和键盘同样重要。鼠标器有机械式和光电式两种。机械式鼠标器用底面附带的小球在桌面上滚动来移动光标。光电式鼠标器则使用光点在特制的反射板上移动而使光标移动。鼠标器的按钮一般为两个(或三个),最左边的为“拾取”按钮,其余的按钮可由用户定义。

2.2.2 数字化仪

数字化仪是专门用来读取图形信息的计算机输入设备,有二维和三维的两种。小型的也称图形输入板。

数字化仪一般由两部分组成,如图 2.2 所示。第一部分是感应板部分,第二部分是点设备,又叫传送器或游标。感应板是数字化仪最重要的部分,当点设备在上面移动时,就得到相应的电信号。点设备有 4 键定标器、16 键定标器和接触开关笔(图 2.2)等。这些点设备的使用方法很简单,当你把图纸放在感应板的有效面积上,要将图形输入到计算机时,只要将定标器的十字线对准要输入的点,然后按一下键,就将坐标输入到计算机中。连续地移动游标,就可将图形上一系列点的坐标输入。这种功能称为定位功能。除此以外数字化仪还具有拾取、选择、笔划等功能。

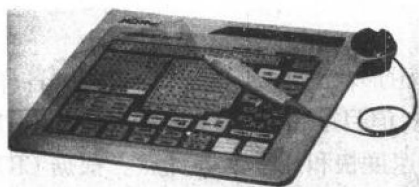


图 2.2 数字化仪

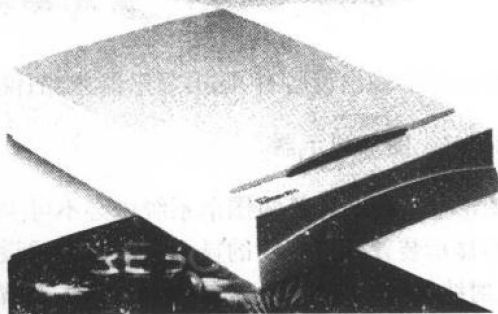


图 2.3 台式扫描仪

2.2.3 图形扫描仪

图形扫描仪是直接吧图形如工程图纸和图像(如照片)扫描输入到计算机中,以像素信息进行存储表示的设备。在文字识别、排板、图纸自动录入领域广泛应用。按所支持的颜色分类,可分为单色扫描仪和彩色扫描仪。按扫描宽度和操作方式可分为大型扫描仪、台式扫描仪和手动式扫描仪。扫描仪最重要的参数是光学精度,即扫描精度(分辨率)。其次是反映单色和彩色深度值的 bit(位)数。

手动式扫描仪,价格低廉,但定位精度较差。台式扫描仪应用最广泛,其扫描范围一般为 A4 或 A3 幅面,扫描分辨率在 300 ~ 1 200 DPI(Dots Per Inch, 每英寸点数)之间,可以

生成二值图像、4位或8位灰度图像,彩色扫描仪可生成24位(1677万种)或36位(687亿种)RGB真彩色图像,如图2.3。现台式扫描仪多为彩色的,而且价格也越来越便宜了。大型扫描仪(如图2.4)输入的最大幅面可达A0的工程图纸,并且具有和台式扫描仪几乎同样的扫描精度,但价格昂贵。扫描仪的驱动软件可生成DMP(Windows位图文件)、PCX(PC图片文件)、TGA(Targa影像文件)、TIF(TIF影像文件)等十几种标准格式的图像文件。

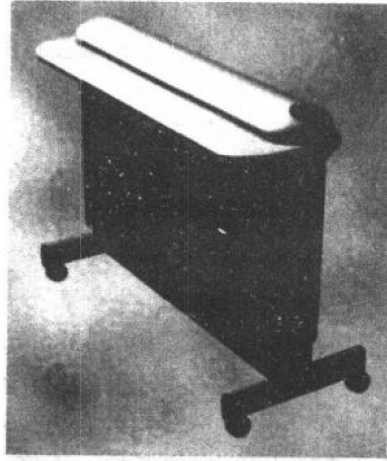


图 2.4 大型扫描仪

2.3 常用图形输出设备

常用图形输出设备有:图形显示器、绘图仪、打印机等。

2.3.1 图形显示器

图形显示器是计算机图形系统中必不可少的一种图形输出设备。虽然已有各种各样的图形显示装置和许多新的显示技术及显示设备出现,但目前占统治地位的仍然是CRT(阴极射线管)。CRT显示器具有分辨率好,可靠性高,速度快和成本低等优点。根据CRT显示器的工作方式,可将其分为三类:随机扫描存储管方式、随机扫描刷新方式和光栅扫描方式。前两类虽具有分辨率高、画线速度快且好等优点,但由于其难以生成具有多级灰度或颜色、色调连续变化的具有真实感的图形,而且价格昂贵,所以一直未能普及。而光栅扫描图形显示器却以能生成具有高度真感的图形和低廉的价格后来居上,成为显示器市场的主流。目前,光栅扫描图形显示器已成为个人计算机、工程工作站等各种类型计算机所普遍使用的一种最重要的信息显示设备。随着技术的进步,它的结构不断改进,性能逐步提高,成本迅速下降。为此,我们只介绍光栅扫描图形显示器。

1. 基本原理

图2.5是光栅扫描显示器的框图。从图中可以看出,它主要由五部分组成:图像生成器、显示存储器、CRT控制器、彩色表和监视器。其中显示存储器(简称显存)或称帧缓冲器(Frame Buffer)是整个缓冲器的核心,它存放着要在屏幕上显示出来的图形的映象

(Image),更确切地说,显示存储器存放了与屏幕上的每一个点(像素 Pixel)一一对应的一个矩阵,矩阵中的每个像素就是像素的值。这个矩阵称之为“位图”(Bitmap)。为使 CRT 屏幕上的图形连续的进行显示,显示存储器的内容需要不断反复读出并不断刷新 CRT,使画面能以一定的频率进行刷新。

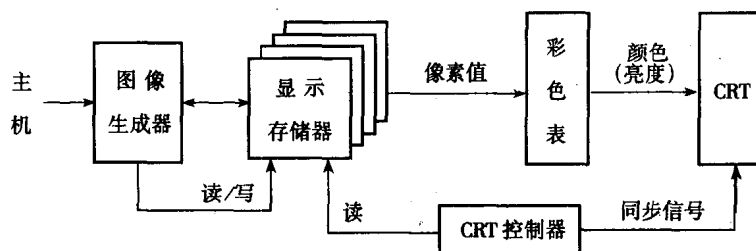


图 2.5 光栅扫描显示器的组成结构

彩色表用来定义像素的颜色。它根据像素的值(称为彩色号)从表中查出颜色的定义,然后对 CRT 红、绿、蓝三原色的亮度进行控制,从而产生各种不同的颜色。彩色表可以由程序装入和修改,因此它有多种功能和用途。

光栅扫描图形显示器的工作过程大体如下:

(1) 图像生成器根据主机发送来的绘图命令,把图画在显存中,即在显存中生成所显示画面的位图。

(2) CRT 控制器一方面产生水平和垂直同步信号送到监视器,使 CRT 电子束不断自上而下,自左而右进行扫描,形成光栅,另一方面又根据电子束在屏幕上的行和列位置自动计算并生成显存的相应地址,不断的读出显存中的位图数据。

(3) 显存中读出的位图数据(即像素值),经查彩色表后,转换成红、绿、蓝三原色的亮度值。

(4) 颜色亮度信号也叫图像信号或视频信号,它控制着 CRT 电子束的通、断、强、弱,从而在 CRT 屏幕上形成一帧与显存中所存映象相对应的图形画面。

为了使屏幕上显示的画面不闪烁,上述过程(2)~(4)是反复进行的。一般 CRT 显示器的帧频为 50~60 帧/秒。

2. 图形显示器的主要性能参数

(1) 分辨率

一般指屏幕上水平方向可显示多少像素(水平分辨率),垂直方向可显示多少条扫描线(垂直分辨率)。通常用列数×行数表示。如 VGA 显示器的最高分辨率可达 640×480, SVGA 显示器可达 1 024×768。

(2) 颜色或亮度等级

亮度等级或灰度等级(Gray Scale)数目指的是单色显示器像素可以有多少种不同的变化。彩色显示器的颜色数目分成两个指标:显示器可以显示所有不同颜色的总数 M 和同一帧画面允许显示的不同颜色的数目 N 。显然, $N \leq M$ 。例如 VGA 显示器的 $N = 256$,

$M = 2^{18} = 262\ 144$ 。

(3) 显存容量

上述两个性能参数都与显存容量有关。分辨率越高,颜色总数越多所需要的显存容量就越大。如 $640 \times 480 \times 256$ 色至少需要 512 kB 显存容量,而 $1\ 024 \times 768 \times 256$ 色至少需要 1 MB 显存容量。

(4) 画图速度

画图速度是指图像生成器把基本绘图命令变成显示器位图的转换速度。一般用每秒可以画多少个 2D 向量或 2D 多边形来衡量。

(5) 其他参数

如屏幕尺寸(对角线之间的距离,有 14, 15, 17, 19 英寸等)、刷新频率、余辉长短、点距和点大小等等。

3. 个人计算机显示卡

个人计算机显示图形除了需要显示器外,还必须有一块图形显示适配器卡(以下简称显示卡,以区别专用的图形卡和图像卡)。它的发展大致经历了四代。

(1) 第一代显示标准 CGA(Color Graphics Adapter)是 1981 年 IBM 公司推出的,是具有 $320 \times 200 \times 4$ 色和 $640 \times 200 \times 2$ 色的彩色显示卡。显存容量 16 kB。

(2) 第二代显示标准 EGA(Enhanced Graphics Adapter)是 IBM 公司于 1984 年随 IBM PC/AT 机推出的。它既兼容了 CGA 的全部功能,又增强了彩色图形显示能力。彩色图形显示最高分辨率为 640×350 ,可同时显示 16 种颜色,颜色总数为 64 种。显存容量 64 kB。

(3) 第三代显示标准包括 MCGA, VGA 和 8514/A。MCGA(Multi-Color Graphics Adapter)是 IBM 公司 1987 年推出的 PS/2 的 25 和 30 两种机型配套的图形显示卡,它主要体现对 CGA 的高度兼容,但与 EGA 不兼容。扩展了 $640 \times 480 \times 2$ 色和 $320 \times 200 \times 256$ 色,颜色总数达 2^{18} 种。VGA(Video Graphics Array)也是 IBM 公司与 PS/2 一起推出的性能更好的图形显示卡,它与 CGA, EGA 等均保持兼容,同时还增加了若干新的显示模式: $640 \times 480 \times 16$ 色和 $320 \times 200 \times 256$ 色。颜色总数达 2^{18} 。8514/A 是 IBM-PS/2 高档机型的显示系统,专为 CAD 等用户的需求而设计的,最高达 $1\ 024 \times 768 \times 256$ 色,不同颜色总数为 2^{18} 。

值得一提的是,许多兼容厂家随后又推出了形形色色的 VGA 卡,可以统称为 VGA + 或 Super VGA(简称 SVGA),如 TVGA, PVGA 等。可达 $1\ 024 \times 768 \times 256$ 色。

(4) 第四代显示标准为 XGA。XGA 是 IBM 公司 1990 年推出的,作为 PS/2 机型上的换代产品,最高分辨率可达 $1\ 280 \times 1\ 024$,可同时显示 65 536(16 位彩色)种颜色。但因其价格昂贵和在 PS/2 上使用,并未得到普及。

不同的 SVGA 之间存在着许多差别,由于缺乏统一的标准,用户在使用每一种 SVGA 卡时,都要详尽地研究具体的资料,为其编写驱动程序。这对 SVGA 的推广造成了极大障碍,同时也增加了图形软件编写的难度。为了解决这些问题,一个新的工业标准化组织——视频电子标准协会(Video Electronics Standards Association)提出了一个针对 SVGA 的标准,即 VESA 标准。VESA 成员包括了主要的 SVGA 厂商,现在几乎所有的 VGA 卡上都配备了支持 VESA 标准的 BIOS,即 VESA BIOS。VESA 提供了一组附加在标准 VGA BIOS 上的功能调用,用户可以直接通过标准接口使用 SVGA 的功能,而不必研究每个具体的