

计算机图形学教程

沈伟烈 主编

航空工业出版社

1995

内 容 提 要

本书介绍计算机图形学的基本原理和图形程序设计的方法。全书共分九章,分别介绍计算机图形系统的硬件与软件,光栅扫描显示算法基础,二维及三维图形的几何变换与投影变换数学原理,开窗与裁切,图形程序设计技术,自由曲线与曲面,图形的数据结构,隐线处理。书末附录中还给出一个供读者扩充的人机交互绘图系统,作为读者阅读本书后进行实践环节的补充。

本书可作为工科大专院校非计算机专业的学生开设“计算机图形学”课程的教材,也可作为各专业领域的工程技术人员学习计算机图形学的入门参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学教程/沈伟烈主编. —北京:航空工业出版社, 1995.8

ISBN 7-80046-905-0

I. 计… II. 沈… III. 计算机图形学-高等学校-教材
VI. TP391.4

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第03872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)

煤炭工业出版社印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1995年8月第1版

1995年8月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.375 字数: 383千字

印数: 1—1500

定价: 14.50元

前 言

由于人机交互的计算机图形学在人与计算机之间建立起直观的可视形象与高效的对话方式,才使计算机技术的发展与应用渗透到科技领域的各个方面,甚至深入到人们的日常生活之中。计算机图形学把随着人类文明发展而不断创新的、古老的图形表达方式与日益更新的计算机技术紧密结合起来,给所有需要图形的领域提供了崭新的满足视觉要求的图形表达方式,从而使计算机图形学的研究与发展日新月异。工程技术领域中的设计方法走向现代化,离不开计算机辅助设计技术(CAD),而其核心包括计算机图形学这门学科。

目前,为了普及与推广计算机辅助设计技术,我国已有越来越多的大专院校开设了“计算机图形学”课程。本书的编写是在我们长期的教学实践及科研工作的基础上,参考国内外有关计算机图形学的文献资料,特别是兄弟院校相关课程的教材后,修改重写原来的课程讲义而成。

本书的编写是为工科大专院校非计算机专业的学生学习计算机图形学的基础知识开辟一条入门的途径。通过学习,使读者了解利用计算机这一先进工具对图形进行显示、处理、绘制的原理、方法及程序设计技术,使读者达到开扩视野、提高计算机的应用能力、能独立研制简单的交互图形系统的目的,为读者今后深入开展计算机图形学及计算机辅助设计技术的研究,或与专业相结合的研究提供基本概念和基础。在内容取舍上,重视从实用角度出发,基础知识与应用实践并重,程序编制与算法分析结合,以期使读者既懂原理,又知如何实践。

全书共分十章,简要介绍了计算机图形学的硬件与软件,图形软件标准化问题,图形的光栅扫描显示算法基础,二维与三维图形的几何变换与投影变换的数学原理,开窗与裁剪,图形程序设计基本技术,常用自由曲线与曲面的描述,图形的数据结构,隐线处理简介。书中提供了大量的作为图形编程的入门例子,它们全部在微机上调试通过。由于是入门,因而使用的程序语言是 Turbo C 中最简单的语句,只是供读者理解本书内容而用。有些程序也具有很大的实用价值,读者可以在它的基础上修改扩展,成为自己构造绘图系统的一部分。书末附录中提供的一个人机交互绘图系统,是一个可供读者边学习本书内容边扩充该系统功能的框架式绘图系统,它具有一些简单的基本绘图功能,等待读者进一步开发成一个功能更强的绘图系统。

本书第一、二、三、五、八、九、十章由沈阳航空工业学院沈伟烈编写,第四、六章及附录由沈阳航空工业学院詹宁编写,第七章由南京航空航天大学刘苏编写。全书由沈伟烈主编,东北大学魏朋三教授审阅了全书。

由于编写水平有限,书中存在的问题一定不少,欢迎读者批评指正。

编著者

1994年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 计算机图形学的产生与发展概述.....	(1)
第二节 计算机图形学的研究对象和主要内容.....	(3)
第三节 计算机图形学的应用.....	(3)
第二章 微机图形系统的硬件与软件	(6)
第一节 微机图形系统的基本功能.....	(6)
第二节 微机图形系统的硬件.....	(7)
一、主机.....	(7)
二、显示器.....	(8)
三、绘图机.....	(11)
四、鼠标器.....	(12)
五、数字化仪.....	(13)
第三节 计算机图形系统的软件.....	(14)
第四节 图形软件的标准化问题.....	(15)
一、标准化的必要性.....	(15)
二、Core系统概述.....	(16)
三、GKS系统概述.....	(17)
四、PHIGS系统概述.....	(17)
第三章 光栅扫描显示算法基础	(18)
第一节 引言.....	(18)
第二节 基本的直线生成算法.....	(19)
第三节 基本的直线增量算法 (DDA数字微分分析法)	(20)
第四节 直线的逐点比较算法.....	(20)
第五节 直线的Bresenham算法	(24)
第六节 圆的Bresenham算法	(26)
第四章 几何变换与投影变换	(31)
第一节 二维几何变换的解析法和矩阵方法.....	(31)
一、解析表示法.....	(31)
二、矩阵表示法.....	(34)
第二节 二维平移与齐次坐标.....	(35)
第三节 三维几何变换的矩阵方法.....	(40)
第四节 三视图的投影变换.....	(47)
第五节 轴测图的投影变换.....	(48)
第六节 透视图的投影变换.....	(53)
第五章 开窗与裁剪	(60)

第一节 计算机图形学中的坐标系	(60)
第二节 二维观察变换	(61)
第三节 三维观察变换(取景变换)	(67)
第六章 图形程序设计技术	(72)
第一节 文本窗口	(72)
第二节 图形函数	(78)
一、图形模式的初始化	(78)
二、基本图形函数	(80)
三、其他函数	(85)
第三节 平面立体三视图及正等测图的程序设计	(99)
第四节 几何元素相交子程序的设计	(103)
第五节 剖面线处理子程序设计	(107)
第六节 一个简单的人机交互绘图系统实例	(110)
第七章 自由曲线与曲面设计的基本数学方法	(113)
第一节 Bézier方法	(113)
一、Bézier曲线	(113)
二、双三次Bézier曲面	(118)
第二节 B样条方法	(120)
一、B样条曲线	(121)
二、B样条曲面	(126)
第八章 图形的数据结构	(128)
第一节 概述	(128)
第二节 三维形体的几何信息和拓扑信息	(129)
第三节 三维形体机内表示的数学模型	(130)
第四节 三维形体常用的数据结构	(132)
第五节 数据结构在计算机内的存储与基本操作	(136)
第六节 汉字生成系统的数据结构	(150)
第九章 隐线处理	(152)
第一节 概述	(152)
第二节 消隐算法中常用的几种几何计算	(153)
第三节 隐线处理的实例	(160)
第十章 菜单技术与接口技术	(164)
第一节 菜单设计技术	(164)
一、西文下拉式菜单设计技术	(165)
二、中文菜单设计技术	(168)
第二节 鼠标器接口技术	(195)
附录 简单的绘图系统源程序	(211)
参考文献	(240)

8100129

第一章 绪 论

第一节 计算机图形学的产生与发展概述

计算机图形学 CG (Computer Graphics) 是把计算机应用于图形的显示及绘制方面而逐渐形成的一门新兴学科。计算机图形技术近几十年的蓬勃发展使它迅速成为一门日趋成熟的技术,并在各种与图形有关的行业中得到广泛的应用。

计算机图形技术的核心是计算机图形显示技术,它是伴随图形显示设备的诞生与发展而得到应用与推广的。在各个部门的应用与推广过程中,又不断提出新的要求与问题,从而又推动了计算机图形学与各种计算机图形设备的不断发展,充实和完善计算机图形学的内容与应用范围。

计算机图形技术始于50年代。1950年美国麻省理工学院(MIT)制成了由称为旋风1号(Whirlwind I)计算机带动的第一台图形显示设备。它是用一个类似于电视机用的阴极射线管CRT来显示一些简单的图形。1953年投入使用的北美防空指挥与控制系统SAGE (Semi-Automatic Ground Environment System)是最早的实时控制计算机显示系统,该系统使用了人机交互的计算机图形显示技术,操作者可以用光笔在屏幕上指出被确定的目标。1958年,美国的Calcomp公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪, Gerber 公司把数控机床发展成平板式绘图仪。

1963年,美国麻省理工学院林肯实验室的Ivan.E.Sutherland发表了一篇卓越的博士论文,题目是《Sketchpad:一种人-机图形通信系统》,在该论文中,首次使用了‘Computer Graphics’这一术语,向读者介绍了由计算机产生图形的人机对话系统的全面情况,证实了人机对话式(交互式)图形显示技术是一个有生命力的、有前途的和振奋人心的研究领域。论文极大地促使人机对话图形显示成为一门重要的新兴学科,确立了计算机图形学作为一条崭新的科学分支的独立地位。论文中所提出的一些基本概念和技术直至今日还在应用,其中的数据结构部分奠定了计算机图形显示的软件理论基础。在60年代中期,美国的麻省理工学院、通用汽车公司和英国的剑桥大学等,都对计算机图形学开展了大规模的研究。

例如,1963年美国通用汽车公司发展了一个图形显示程序DAC/1,它逐渐成为一个重要的计算机辅助设计工具,在通用汽车公司的汽车和卡车设计中起了关键作用。美国洛克希德公司、麦克唐纳·道格拉斯公司和波音公司都开始研究计算机图形显示技术在飞机和导弹设计中的应用。

在此期间,成立了显示和计算机图形学的专门学会。信息显示学会在1963年建立,美国计算机协会ACM (Association for Computing Machinery)的计算机图形显示专门委员会建立于1966年,1969年变成SIGGRAPH (Special Interest Group on Graphics)专业组织。

60年代对计算机图形显示的大规模研究,在70年代开始结出丰硕的果实。显示器由60年

代后期的存储管显示器,进展到70年代中期廉价的固体电路随机存储显示器,进一步又出现了光栅扫描图形显示器,使计算机生成的图形更形象逼真,因而更易推广和应用。图形输入设备也从初期的键盘和光笔发展到图形输入板及数字化仪。在软件方面,各种专用图形软件包在许多国家得到了推广应用,计算机图形学不仅在军事上和工业上得到广泛的应用,而且还进入教育、科研、艺术和事务管理等领域。

图形软件功能标准化的问题也提到日程上来。70年代中期就“与机器无关的图形技术”问题提出了制订有关标准的基本规则,当时标准化的范围局限在图形输出功能和具有交互功能的二、三维直线图形、字符及视图变换上。1977年,ACM成立的一个图形标准化规划委员会GSPC(Graphics Standards Planning Committee)在多年图形软件工作经验的基础上,提出了“Core系统”的核心图形系统(Core Graphics System)的规范,1979年公布了修改后的第二版。而联邦德国标准局DIN(Deutsche Industrie Normen)提出了作为国际图形包标准的GKS(Graphical Kernel System)规范。制定图形标准化规范的出发点主要是实现与机器无关的图形技术,即图形包程序的可移植性。显然,标准化的图形系统为生成具有良好可移植性的通用基本软件或称之为支撑软件打下良好的基础。

与计算机图形显示技术紧密相关的各种算法也不断出现。众多论文涉及内容之广泛,讨论之热烈,探索之深入,成果之显著是十分令人惊喜的。这些论文主要有各种坐标变换及几何变换,二、三维图形的生成与裁剪,曲线与曲面的拟合、逼近和光顺,隐藏线、隐藏面的消除,体素拼合与几何造型技术,色彩、阴影、填充、光照、透明、纹理等逼真显示技术,图形输入与交互处理技术,各种数据的结构与组织,几何信息及拓扑信息的描述与运算等等。这些算法研究要解决的核心问题主要是为了节省计算机处理的速度(时间)及内存的容量(空间)。

进入80年代后,彩色显示器的应用日益增长,光栅扫描显示器由低分辨率向高分辨率发展,显示速度的不断加快,使图形系统向更高级的方向发展,而产品价格的迅速下降,使中小企业甚至家庭都有能力购买。性能卓越、价格低廉的微机图形系统逐步取代中小型计算机图形系统。由图形输入/输出设备构成的CAD系统,日渐为流行的微机工作站所代替。这种工作站因为图形处理独占了CPU而提高了速度,使用也更方便。各种功能强大、通用性强的商品化图形系统不仅实用性强,而且应用范围更为广泛。许多图形功能已开始用硬件来实现,以提高速度。有些公司甚至还研制开发了图形处理用CPU芯片,用硬件来实现图形处理的有关算法和软件技术。图形的表现形式也由线架图(矢量图形)而进入浓淡图,因而日益使计算机图形处理与图像处理相结合,使计算机图形技术更具有诱人的美好前景。

我国从60年代末开始研制数控绘图机和显示设备。1968年我国第一台数控绘图机研制成功。1977年第一台用小型电子计算机直接控制、平面电机驱动的绘图机通过技术鉴定。1981年中科院又研制成功PDH-120自动绘图系统。在显示设备方面,1970年研制成功黑白光笔图形显示器,1976年又研制成彩色光笔图形显示器。

与硬件发展的同时,在理论和应用方面也开展了广泛的探讨与研究,浙江大学正负法绘图原理,双圆弧逼近绘图法,曲线、曲面、图形裁剪和消隐算法在国内外都具有较高的水平,用各种语言编写的具有较强功能的绘图软件,在许多生产领域也获得较好的经济效益和社会效益。

但是,无论从硬件设备的研制、生产、更新换代方面,还是在理论与应用研究方面,我

国在计算机图形学领域的发展上,与国外相比,还有很大的一段差距,仍需我们急起直追。

第二节 计算机图形学的研究对象和主要内容

计算机图形学是研究用计算机及其外部设备来处理图形的原理、方法和技术的一门学科,即通过输入设备(如键盘、鼠标器、数字化仪等)向计算机输入描述图形的种种信息,经过存储在计算机内的图形处理程序的处理之后,最终由输出设备(如图形显示器、绘图仪等)输出图形。

什么是图形?狭义而言,一般认为是用与几何有关的数据、数学方程来描述的几何图形,由点、线构成的线架图即为其形式。用计算机处理图形,就是指用计算机作为手段来显示或画出几何图形。而广义的图形,应该包含图像(Image)、图画(Picture)和景物(Scene),即对客观存在的物体的一种相似性的生动模仿或描述。照片、电视画面都是图像的最直观例子。但是图像还应包括视觉感官所无法观察到的其他物理图像,如温度、压力的平面或空间分布图像。对这种广泛的图形而言,图形处理应包括图像处理、模式识别与计算机视觉。这样,当对图像施加某种运算处理后,就能达到某种预定的目的,如使退色模糊的照片重新变得清晰,从医学显微图片中提取有意义的细胞特征等。

因此,图形处理实际上是分为计算机图形学CG(Computer Graphics)与图像处理IP(Image Processing)两个领域,它们不论在概念上还是应用方面都是各自独立发展起来但又难于分清的技术领域,它们最大的区别表现在计算机软件的数据结构上。在CG中,多种多样的数据结构体现了所产生图形的精度和复杂程度。而在IP中,数据量大,因而要重视运算方式和速度,数据结构采用简单的一个像素对应一个数组元素的二维数组。这样,在计算机里产生图形或图像,并在显示器屏幕显示或在绘图机上绘制出来,这就是CG。把用二维数据给定的图像进行加工处理和输出,成为另外的图像或识别结构,就是IP。这就是CG和IP难于分清的原因,造成各自独立又互相渗透的局面。

本课程主要研究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硬件构成和基本图形软件的程序设计方法开始,介绍图形变换的数学基础,光栅扫描显示算法,绘制图形的程序设计技术,图形剪裁与窗口技术,图形的数据结构,图形隐线消除处理,自由曲线与曲面描述,图形系统的交互技术等。

通过本课程的学习,为同学们今后深入开展计算机图形学的研究,或与相关领域相结合的研究提供基本概念和基础知识。在课程安排上,从实用角度出发,基础知识与应用实践并重,程序编制与算法分析结合,以期使同学们既懂原理,又知如何实现。

第三节 计算机图形学的应用

图形比文字说明、数据表格更为直观,它把需要说明的事物表达得一目了然,这是形象表达工具——图形的优点。计算机图形学的发展扩展了计算机应用的许多新领域。

1. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

计算机辅助设计CAD(Computer Aided Design)和计算机辅助制造CAM(Computer Aided Manufacturing)是计算机图形学在工程技术界最广泛的应用领域之一。在国内外,

利用图形工作站的CAD技术在机械、电子、建筑等行业中正在取代传统的手工设计方法。设计人员利用工作站的交互功能,进行总体方案的设计与优化,从全系统、分系统直至零部件的设计,最后是完成繁重的出图任务。再进一步,把CAD的结果应用到生产制造的过程,即把有关的数据用来控制数控机床,以加工成零件产品,这就是CAM技术。如果把CAD/CAM结合起来就成为设计制造一体化的技术,有人把它称之为计算机辅助工程CAE (Computer Aided Engineering)。

2. 办公自动化与管理信息系统 (OA/MIS)

办公自动化OA (Office Automation) 与管理信息系统MIS (Management Information System) 是70年代首先在工业发达国家兴起的一门技术学科,它是适应信息化社会的需要,基于软科学理论和计算机技术,通信技术的普遍应用而发展起来的。OA技术和MIS技术中不仅需要文字,而且也需要大量的符号(其本质是特殊专用的图形)、表格、图形以增强直观性与形象性。

3. 系统模拟与仿真

通过给研究对象建立数学模型,就可以利用计算机来产生图形,模拟水流、闪电、化学反应、物体变形等现象。例如,进行飞行模拟,不仅可以产生飞行器运动时的现实情景,使飞行员的训练如身临其境,产生极为真实的效果。与此同时,还可获得可靠的数据,为试验所消耗的费用又极为低廉。

4. 动画、游戏与艺术

儿童喜爱的动画片的制作是十分艰巨和细致的劳动,两个动作的画面之间需要插入若干幅连续过渡的分动作画面,以使动作的过渡平滑自然,因而一部动画片的完成,需要投入大量的动画创作人员的劳动。计算机动画技术在国外已成为计算机图形学的一个分支并已进入实用阶段。

用计算机做游戏,完全要依靠各种形式、五彩缤纷的图形。游戏不仅提供消遣娱乐还可通过游戏来学习数学、外语以增进智力,有些游戏还有助于培养动作的协调,反应的灵敏,如果配上计算机生成的音乐,使之声情并茂,更增添欢快的情趣。

将计算机图形学和人工智能技术的结合引入绘画和书法领域,产生了计算机书法系统和绘画系统。计算机书法可模拟名家书法,并体现出名家的风格。计算机绘画使画面生动活泼,可避免给人呆板的感觉,创作的画面具有一定的艺术水平。

此外,计算机生成的图案、花纹、商品广告等也已在商业领域发挥着越来越大的作用,受到人们的喜爱,吸引了广大的顾客。

5. 信息分析与过程控制

这种分析与控制并不是单纯的数据分析,而是利用图形生成技术,提供形象直观的手段。例如,对农作物的生成情况,用计算机图形生成技术来保存和再现不同种类和不同生长期的植株形态,模拟生长过程,对生长情况进行综合分析,从而选择合理的播种与田间管理等配套措施。再如在石油化工生产过程中,控制人员可以根据设备关键部位的传感器送来的图像和数据,对设备运行过程进行有效的监视和控制。

6. 计算机辅助教学 (CAI)

计算机辅助教学CAI (Computer Aided Instruction) 可以使教学过程形象、直观、生动,给各级各类学校(从小学到大学)的各类课程增添了卓有成效的教学设备,它替代挂图

及教学影片，辅导学习与复习，以提高学生学习质量与兴趣。它还参与教学的管理工作，提高了科学管理的水平。

综上所述，凡是需要用到图形的地方，就一定有计算机图形学的立足与用武之地。随着计算机技术和显示技术的普及与发展，它的应用范围必将更为扩大，直至进入人们的日常生活。计算机图形的发展前景是不可估量的。

第二章 微机图形系统的硬件与软件

微机图形系统是一个具有图形功能的、以微机为核心的系统。因此,系统除了具有一般微机配置的硬件、软件外,还需配置必要的图形输入/输出硬件设备。在软件方面则需配置具有图形信息处理能力的软件包。

本章将向读者介绍一个微机图形系统的基本功能,微机图形系统常用的硬件设备及其工作原理、性能指标,微机图形软件的设计准则、等级及标准化问题。

第一节 微机图形系统的基本功能

随着微处理器技术的发展,具有各种图形功能的微型计算机系统纷纷应运而生。这些微型计算机可作为图形显示设备配置在办公室、研究室、学校、家庭中。它们价格低廉,结构紧凑,通用性强,因而在计算机图形学的应用领域内十分受人欢迎。

一个微机图形系统是一系列硬件与软件的集合。根据不同的应用对象,硬件与软件的组成也不同。组成的好坏对构成系统所需的资金,系统的工作质量和 使用效率,有着重大的影响。

一个微机图形系统必须具备计算、存储、输入、输出和人机交互五个方面的基本功能。

计算功能是对所描述的图形坐标进行变比、平移、旋转、反射等几何变换所需进行的计算,以及曲线和曲面的生成、图形交点和切点的计算等。

存储功能是在微机的内存、外存中存放描述图形的几何信息和拓扑信息,并能实现对这些信息的实时检索、增删、插入等处理。

输入功能是在设计过程中,能把有关图形的各种信息和处理命令输入到计算机中。

输出功能是把设计结果所得的各种信息输出,以便能长期保存。对输出的结果应有一定的精度要求,输出的精度、速度也应视对象的不同而有不同的要求。

人机交互功能是通过相应的设备,实现设计人员与计算机的人机通信,以便在设计过程中,不断修改所得的结果,直至设计者满意为止。人机交互功能实际上是在系统工作过程中,实时地给人以相应的提示、纠错和跟踪的能力。

这五种功能是一个计算机图形系统所需具备的最基本功能,实现每种功能所需配置的设备,视具体要求而异。计算功能常常要求速度。对微机而言,中央处理机CPU (Central Processor Unit) 就有8位、16位、32位之分,运算速度随着位的增多而加快。存储功能则要求计算机的内存——随机存取存储器RAM (Random Access Memory) 的容量由数十kB到数MB,外存硬盘的容量由数十MB到上百MB。具有输入功能则可配置键盘、鼠标器、数字化仪等。具有输出功能则需配置显示器、打印机、绘图仪等。人机交互功能则是采用适当的输入设备,依靠编制具有会话功能的程序来实现。

一个典型的微机图形系统框图,如图2-1所示。

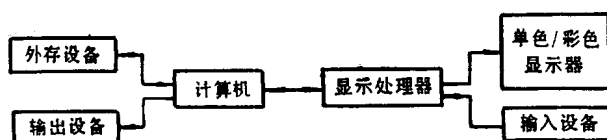


图 2-1 典型的微机图形系统框图

第二节 微机图形系统的硬件

微机图形系统的硬件主要有以下几种：

一、主机

计算机是微机图形系统中硬件的重要组成部分，因此又称为主机。主机由五大部分组成：

1. 控制器

控制器由时序电路和逻辑电路组成，用以控制整个计算机自动协调一致地工作。控制器对计算机的控制是通过输出的电压和脉冲信号来实现的。

2. 运算器

运算器由很多逻辑电路组成，它们包括寄存器、加法器、移位器和一些控制电路。运算器是对各种信息进行算术运算和逻辑运算的主要部件。

3. 存储器

存储器分为内存储器与外存储器两大类。用作内存储器RAM的是半导体存储器，用作外存储器的有软盘驱动器和硬盘机。存储器相当于计算机的仓库，由很多“房间”组成。这些房间都加以编号，称为存储器的地址，每个“房间”都叫做存储单元。存储单元就是根据存储器的地址，用来存放输入设备送来的指令或数据，以及运算器送来的运算结果。也可以从这些存储单元中取走指令、数据，送给输出设备。

4. 输入设备接口

输入设备接口是人与计算机进行通信交往的接口，最常用的输入设备为键盘。任何输入设备最终都是以二进制数的形式向计算机输入。

5. 输出设备接口

输出设备也是人与计算机进行通信的接口，它把计算机处理的信息，通过输出设备以数字、字符、图形、声音等形式表现出来。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

上面的五大部分中，习惯上人们把运算器和控制器看成一个整体，称为中央处理机CPU，这是计算机的核心部分。把输入/输出设备及外存储器称为外部设备。在微型计算机上，CPU和内存储器RAM制成一块硬件板，称为系统板。

计算机内所有的信息都以二进制的代码形式表示，这个二进制代码的位称为计算机的“位”。“位”又称“比特”(bit)，每八个“位”称为一个字节，每两个字节称为一个字。通常是以存储器一个存储单元包含的二进制信息的位数来表示计算机的字长。

评价主机性能高低的指标很多，最常用的指标如下：

1. 字长

计算机的字长愈长，它能表示的数值也就愈大，计算出的结果的值有效位数也愈多，计算的精度也就愈高。字长愈长，用来表示二进制代码的逻辑电路也愈多，使计算机的结构变得庞大，电路变得复杂，造价也就愈高。

2. 计算速度

计算速度是计算机性能高低的重要指标，是计算机性能的综合表现。评价计算速度一般常用两种方法：

(1) 主时钟脉冲频率法：它是以计算机工作时主时钟脉冲频率的高低为标志。主时钟脉冲频率高，一般来说主机硬件的性能就好，计算速度也快。

(2) 典型程序法：它用一种包含加、减、乘、除及输入/输出操作在内的一种典型程序来比较运算速度。这种方法虽更接近于实际运行情况，但目前人们仍常以每秒钟执行加法指令的条数作为评价计算机运算速度的标准。例如，低档的微机每秒钟可进行50万次加法运算。

3. 存储容量

存储器的容量愈大，能存放的信息就愈多，计算机的功能也就愈强。

目前，构成计算机图形系统常用主机的各种指标如表2-1所示。

表 2-1 各种主机的主要性能指标

机 型	Apple I	IBM PC/XT	IBM PC/AT	各种386机
CPU	6502	8088	80286	80386
时钟 (MHz)	1.023	4.77	6~12	16~33
字长 (位)	8	准16	16	32
RAM	48k	128~640k	1~3M	2~16M
档 次	低	中	中	高

二、显示器

显示器是计算机处理图形信息后最终显示图形的外部设备。直到目前为止以及今后相当长的一段时期内，显示的部件仍将是阴极射线管CRT (Cathode Ray Tube)，尽管有许多新的显示技术和显示设备出现，但仍不能取代它的地位。

60年代后期，光栅扫描图形显示器开始出现，它可看作是由许多离散发光的单元组成的网格状矩阵，每一个单元均可点亮或变暗。我们把这种单元称为像素，它是图形系统中最小的图形元素——点。

在显示屏幕上，每行容纳的像素越多，显示的行数越多，那么显示的图像质量也就越高。我们把屏幕上每行包含的像素数目（称为列）与能显示的行数（称为行）叫做显示器的分辨率，即分辨率 = 列数 × 行数。因此，光栅扫描图形显示器是一种画点设备。

光栅扫描图形显示器由三部分组成：帧缓存器，光栅CRT，显示控制器及其接口。

1. 帧缓存器

帧缓存器是一大块连续的计算机图形信息的存储区域，最小的帧缓存器是每一像素对应于存储器的一位，这些存储单元组成一个位平面。图像是以二进制数组成的图案形式存储在帧缓存器中。在存储黑白图像的情况下，可以用“1”表示像素是白色（“点亮”），用“0”

表示像素是黑色（“变暗”）。对于一个 16×16 的黑白像素的位平面（即分辨率为 16×16 的屏幕），就可以用存储在帧缓冲器中的32个8位的字节中的二进制数值来表示某种图案，如图2-2所示。

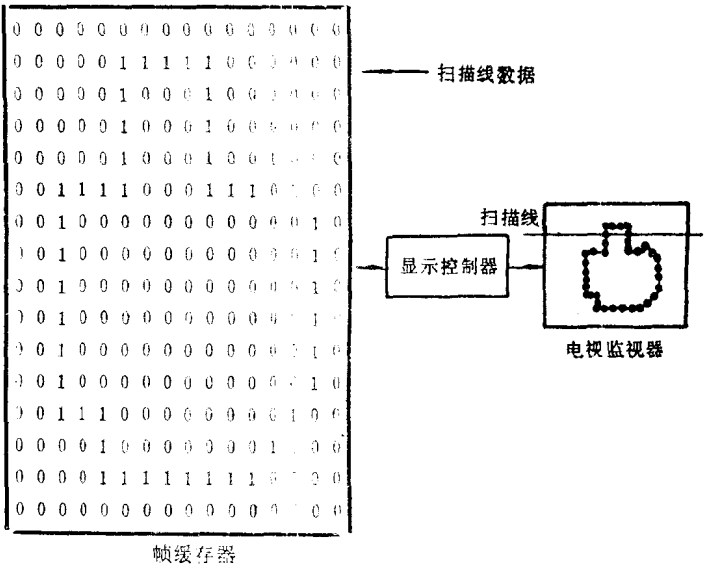


图 2-2 帧缓冲器表示的图案

通过增加每个像素的位，可以使像素具有色彩或灰度等级。例如，对于分辨率为 512×512 的显示屏，如果每个像素用三位表示，每个像素就可有 $2^3 = 8$ 种色彩或灰度等级。它有三个位平面，每个位平面有 512×512 个像素，则帧缓冲器应有 $512 \times 512 \times 3 = 786432$ 个存储位，即98304个字节或96 k字节（1k = 1024）的存储容量。

2. 光栅CRT

光栅CRT的基本结构如图2-3所示。在密封的玻璃锥管的圆柱状尾端，装有电子枪，由它发射出高速的电子束，经过加速聚焦，使电子束具有足够的能量，以极细的线束，射向荧光屏。击中屏幕的位置由偏转磁场控制。电子束打在荧光屏上，荧光粉就会发光而形成光点，光点的颜色和余辉时间（电子束离开荧光屏后而继续发光的残留时间）由荧光粉的种类而定。由于电子束扫过CRT的表面后，荧光粉的光会迅速衰减，只有迅速并反复地扫描才能保持画面的稳定，这个刷新过程每秒钟至少需要进行30次。

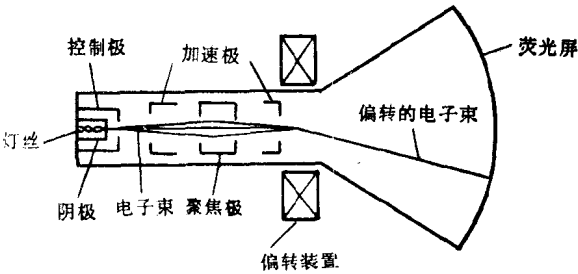


图 2-3 阴极射线管的基本结构

彩色光栅扫描CRT装有三支电子枪分别对应红（R）、绿（G）、蓝（B）三色。从CRT管的管尾看去，蓝枪在上方，红枪在右下方，绿枪在左下方，互成 120° ，组成一个等边三角形（图2-4）。三支电子枪的安置位置，与CRT荧光屏表面的红、绿、蓝荧光点的三角形

图案相对应，如图2-5所示。每个荧光点的直径约为 0.1mm。整个荧光屏上密密麻麻交错布满着这些三色荧光点。

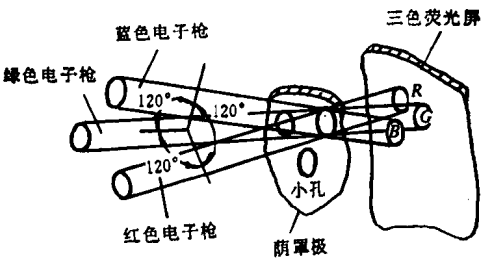


图 2-4 电子束经荫罩极小孔击中荧光点

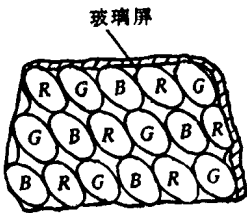


图 2-5 荫罩式彩色CRT荧光点的排列

为了保证三支电子束在连续的扫描过程中，正好击中各自的对应荧光小点，在离荧光屏 1cm处安装了一块叫做荫罩极的、由薄钢板制成的网板，它像一个罩子将屏幕罩起来，该板约有 40~50 万个小孔，每个小孔准确地和一组三色荧光小点对应。只要调整三支电子枪的位置，使三支电子束正好会聚在荫罩极的小孔上，然后再各自打在相应的荧光小点上。如图 2-4 所示。

需要说明的是，光栅CRT表面的荧光粉涂层不是连续的，而是由无数个点按固定格式组成，光栅扫描显示器中的电子束则是按一组严格控制的模式进行偏转的。

电子束的扫描是按一定的规则进行的。扫描有两种方式。一种是逐行扫描方式，如图 2-6 所示。电子束从画面的左端到右端的扫描称为水平扫描，由水平扫描形成的横线称为扫描线。扫描线从下到上的扫描称为垂直扫描，从一条扫描线移到下一条扫描线之间的迹线称为回扫线（图2-6中的虚线），回扫线应控制为不显示的状态（消除状态）。

另一种为隔行扫描方式，如图2-7所示。即先对奇数行进行扫描，然后再对偶数行进行扫描，从而形成一幅完整的画面。由奇数及偶数扫描线组成的扫描画面称为一场。由两个场形成的画面称为一帧。为了避免闪烁，逐行扫描方式的画面数每秒应大于60幅以上，而隔行扫描方式则只要每秒60场以上就可以了。因此隔行扫描方式中，每秒图像数只要30幅就可以了。

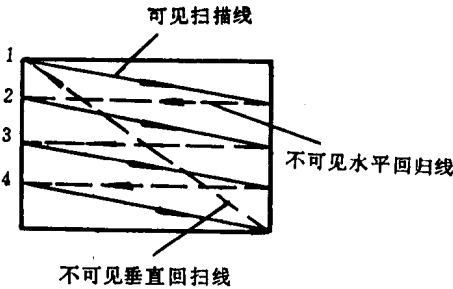


图 2-6 逐行扫描方式

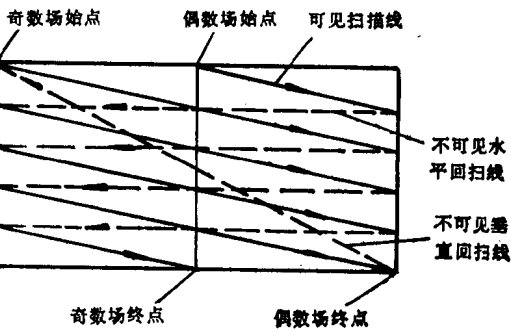


图 2-7 隔行扫描方式

3. 显示控制器

显示控制器从帧缓存器读出连续的各个字节中的二进制数据，把其中的“1”和“0”转

换成相应的视频信号，然后送到CRT，从而在显示屏上显示图案。

在微型计算机中，把帧缓存器与显示控制器做成一块图形卡（又称图形适配器）。IBM公司为其PC系列微型机设计了一系列图形卡。

CGA (Color Graphics Adapter) 彩色图形适配器是最早开发的图形卡，它采用6845芯片作为CRT控制器，在图形工作方式下，分辨率可以为 320×200 ，四色或两色，也可为 640×200 ，两色。

EGA (Enhanced Graphics Adapter) 增强型图形适配器是一种功能更强的图形卡，能仿真CGA卡的所有功能，但它没有采用6845芯片作为CRT控制器，而是采用门阵列作控制逻辑。EGA卡能支持CGA卡的所有工作方式，且增加 320×200 ， 640×200 ， 640×350 三种分辨率的图形工作方式，且都是16种颜色。

VGA (Video Graphics Array) 视频图形阵列是为中、高档微型机设计的一种高性能图形卡，它与EGA高度兼容，能支持EGA提供的所有工作方式，且增加分辨率为 640×480 ，两色或16色， 320×200 ，256色三种图形方式。

TVGA是近年来美国Trident公司制造的与VGA完全兼容的图形卡，目前普遍用于286、386微机，它的最大优点是提供256种色彩支持 640×400 、 640×480 、 800×600 和 1024×768 等多种图形工作方式。需要注意的是，256种色彩支持的各种分辨率，对视频DRAM的需求从256k~2M不等。

三、绘图机

显示器是图形信息经计算机处理后进行显示之用，但屏幕上的图形却不可能长久地保存下来，需要用绘图机把显示器上的图形绘制下来。因此，绘图机的发展非常迅速，种类也日趋增多，成为图形系统必不可少的外部设备之一。绘图机主要分为两大类，滚筒式绘图机和平板式绘图机。

1. 滚筒式绘图机

滚筒式绘图机是用两只步进电机分别带动绘图纸和绘图笔运动。图2-8是滚筒式绘图机的传动示意图。由计算机通过控制电路发出脉冲信息，驱使步进电机带动滚筒旋转，绘图纸卷在滚筒上，与滚筒一起旋转，使卷纸产生 x 方向的正、反向运动。装有绘图笔的笔架位于滚筒上方，由控制电路发出的指令脉冲作上、下方向（ z 方向）的运动，以完成抬、落笔的动作。绘图笔在笔架上，由另一台步进电机驱动，沿纸宽方向作 y 方向的运动。协调地控制两台步进电机的动作，就可产生所需要的绘图笔的运动轨迹。

由于滚筒式绘图机使用卷筒纸，故能连续绘图，不受图幅长度的限制。但在绘图过程中，卷入滚筒内的图无法看到，不便于监视。此外，这种绘图机结构简单，价格便宜，但精度不高。

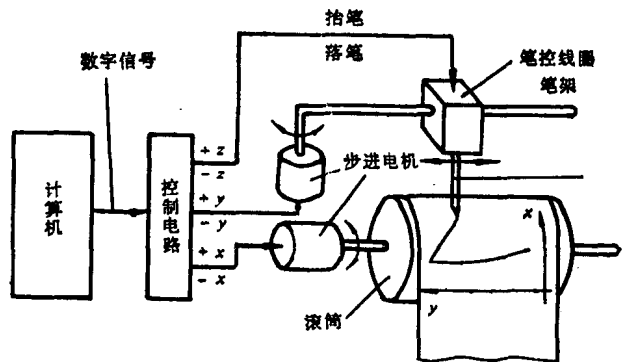


图 2-8 滚筒式绘图机的传动示意图

2. 平板式绘图机

平板式绘图机的图纸台面一般设计成水平位置,也有成倾斜位置的。图纸靠台面的磁性用压纸尺固定。图2-9是平板式绘图机的传动示意图。绘图时,笔的移动是由计算机控制的电路发出走步脉冲的信息后,驱动步进电机带动传动装置,使绘图笔移动一个步距,一个步进电机使笔架沿导轨 x 方向运动,另一个步进电机使笔架沿 y 方向运动。协调控制好两个步进电机的动作,就使画笔画出图形。控制电路发出的信息使笔架的线圈工作,产生绘图笔的抬笔与落笔动作。

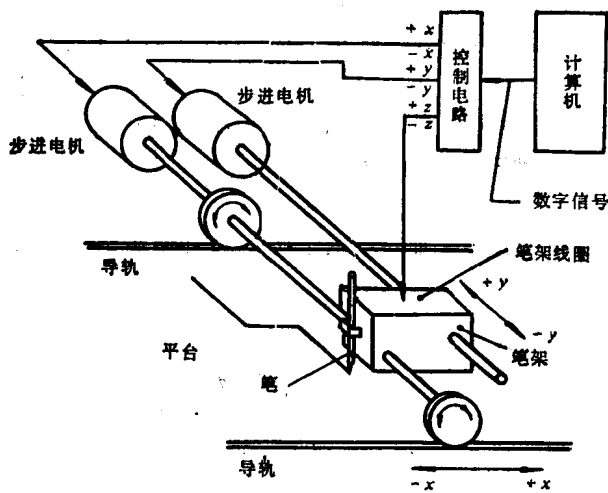


图 2-9 平板式绘图机的传动示意图

加速度以 g (9.8m/s^2) 计。

2. 绘图精度

- (1) 定位精度 指画笔移动一定距离后理论上的距离与实际距离之误差。
- (2) 重复精度 指画笔重复两次画同一图形时所产生的误差。
- (3) 零位精度 指画笔从零位移动到所允许的最大距离后返回零位时产生的误差。
- (4) 总精度 指积累误差的允许值。

3. 绘图有效面积

指绘图笔所能达到的有效绘图范围。

4. 绘图命令

指绘图机能提供的绘图功能,如图线线型、直线、圆及其弧、写字符等。

5. 其他

包括绘图笔的步距、笔数、夹持纸的方式,外形尺寸,重量等。

四、鼠标器

鼠标器可作为图形输入设备的定位器、拾取器等使用,用以操纵显示屏面上的光标运动。鼠标器(图2-10)的底部有一个可以旋转的小球,把鼠标器放在桌上或平板上移动,小球即随之滚动。球的运动被鼠标器内部的光电传感器或机械传感器测量到,就发出相应的电信号,送到和鼠标器相连的主机,经处理后传送给图形显示器,使屏幕上显示的十字光标和

平板式绘图机小的可绘制 A3 幅面的图纸,大的宽度可达 $1\sim 2\text{m}$,长度可达 $3\sim 4\text{m}$ 。先进的大型平板绘图机,采用平面电机作驱动装置,绘图速度极快,精度也高。

绘图机的主要技术指标有以下几点:

1. 绘图速度

绘图速度是指画笔移动的最高速度。画笔在移动过程中由静止到最高速度有一段加速度过程,从最高速度到停止有一段减速过程。因此,绘图速度包括最高速度和加速度两项指标,绘图速度的单位以 m/min 或 mm/s 计,