

高等学校教材

计算机 图形学

刁宝成 焦永和 郭朝勇 郭启全 编

刁宝成 焦永和 主编



COMPUTER

高等教育出版社

TP391.4

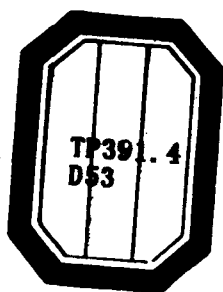
D53

440303

高等学校教材

计算机图形学

刁宝成 焦永和 郭朝勇 郭启全 编
刁宝成 焦永和 主编



高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是作者在多年教学和研究的基础上,参考国内外多种版本的教材、专著和论文编写而成。内容除基本原理、常用算法、程序设计方法外,还提供了许多程序和练习,可操作性强。本书还反映了当前计算机图形学方面的最新成果,时代性强。本书可作为高等学校研究生“计算机图形学”的教材,也是广大科技工作者、高等学校师生的有益参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/刁宝成,焦永和主编;郭朝勇等编.
北京:高等教育出版社,1999.7
高等学校教材
ISBN 7-04-007293-9

I. 计… II. ①刁… ②焦… ③郭… III. 计算机图形学
-高等学校-教材 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 33841 号

计算机图形学
刁宝成 焦永和

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1999年6月第1版

印 张 21

印 次 1999年6月第1次印刷

字 数 510 000

定 价 16.90 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前言

计算机图形作为计算机应用的一个分支,已经渗入到生产、生活的各个方面。计算机技术的飞速发展与普及应用,对图形的要求也越来越高,从而又推动了计算机图形的发展。本书是作者在多年从事“计算机图形学”的教学和研究的基础上,参考了国内外众多的有关教材、专著和论文的基础上编写而成。主要内容有:计算机图形的发展、应用和硬件系统,计算机图形学的理论基础,算法基础、图形软件设计、图形的数据结构、三维几何造型,真实感图形技术等。本书作为一本研究生的教材,力求做到:

1. 内容丰富、全面,由浅入深,循序渐进。考虑到学时的不同,有些章节可以省略不讲或作为自学之用。对过于专门化的问题,可参考书后的有关文献作专题研究。

2. 本书着重从理论和实践的结合上阐述问题,力求理论清楚,方法具体,可操作性强,每章后有思考与练习题,附录中还有许多应用程序,采用C语言编写(在Turbo C2.0版本,386以上的微机上通过),便于读者作进一步的探讨。

3. 反映当前计算机图形领域的最新成果,以及作者多年研究的部分成果及经验,突出了时代特色。随着科学技术的发展,还会有更先进的成果出现,这是必然的,也是值得庆幸的。

本书第一、二、四章由刁宝成执笔,第三章由郭启全执笔,第五、六章由焦永和执笔,第七、八章由郭朝勇执笔。全书由刁宝成统编定稿。清华大学童秉枢老师和陆润民老师对全书进行了认真的审阅,提出了许多宝贵意见和建议,受益匪浅。在编写过程中曾得到北京理工大学有关领导和老师们的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

限于时间和水平,错误不当之处在所难免,诚望读者批评指正。

编者 1998.4

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 计算机图形学的发展	1
§ 1.2 计算机图形学研究的内容, 图形 生成的方法和特点	3
§ 1.3 交互式计算机图形系统	4
§ 1.4 计算机图形学的应用	4
思考与练习题	6
第二章 计算机图形的硬件系统	7
§ 2.1 硬件系统的组成	7
§ 2.2 计算机	7
§ 2.3 光栅扫描显示器	8
§ 2.4 其它设备	11
思考与练习题	16
第三章 计算机图形学的理论基础	17
§ 3.1 基本图形的生成	17
§ 3.2 曲线	22
§ 3.3 曲面	36
§ 3.4 二维图形变换及其程序设计	43
§ 3.5 二维图形的内插变换	48
§ 3.6 三维图形变换及其程序设计	50
§ 3.7 坐标系及视见变换	57
§ 3.8 投影变换	61
思考与练习题	69
第四章 计算机图形学的算法基础	70
§ 4.1 概述	70
§ 4.2 常用算法	70
§ 4.3 填充算法	77
§ 4.4 裁剪算法	83
§ 4.5 消隐算法	94
思考与练习题	115
第五章 图形软件与交互技术	116
§ 5.1 图形软件	116
§ 5.2 窗口技术	119
§ 5.3 光标定位技术	124
§ 5.4 菜单技术	127

§ 5.5 图标技术	130
§ 5.6 鼠标使用技术	133
§ 5.7 其它交互技术	140
§ 5.8 动画技术	142
思考与练习题	148
第六章 图形数据结构	149
§ 6.1 概述	149
§ 6.2 线性表结构	150
§ 6.3 链表	153
§ 6.4 树与二叉树	157
§ 6.5 查找	162
§ 6.6 应用举例	167
思考与练习题	168
第七章 三维几何造型	169
§ 7.1 概述	169
§ 7.2 三维几何造型的基本知识	170
§ 7.3 线框模型	172
§ 7.4 表面模型	175
§ 7.5 实体模型	177
§ 7.6 实体模型的表示方法	182
§ 7.7 几何造型中常用的数据结构	189
§ 7.8 几何造型常用方法	193
§ 7.9 特征造型	212
§ 7.10 典型几何造型系统简介	217
思考与练习题	227
第八章 真实感图形技术	228
§ 8.1 光照模型	229
§ 8.2 曲面多边形网格的明暗处理方法	234
§ 8.3 真实感图形绘制的方法	238
§ 8.4 表面纹理	248
§ 8.5 自然景物造型与真实感模拟	252
§ 8.6 计算机体视技术	258
思考与练习题	266
附录	267
参考文献	329

第一章 绪 论

§1.1 计算机图形学的发展

近年来,计算机的计算速度与精度不断提高,日益满足于科学计算与工程技术的要求。1958年绘图机的出现,突破了手工绘图模式,人们第一次看到了机器绘图,尽管绘图速度不高,图形也简单,但毕竟是用机器代替了手工,使绘图向自动化方向迈出了关键的一步。当时,绘图前的编程是相当繁琐的,图中有了错误需要停机后才能检查与修改,然后再试画,反复修改到无错为止。这种绘图方式其实只解决了简单图形的复制与保存,对于复杂的图形难以实现。为此,人们在寻找一种方法,把画完再修改变为边画边修改。于是在1962年出现了交互式绘图,这种绘图方式是先在屏幕上绘图,有了错误即改即现,无错时再输出(如用打印机、绘图机等),这样速度提高了,实用性也更大,但仍没有摆脱编程的烦恼。客观的要求促使硬件和软件不断发展,在硬件中出现了鼠标、光笔、图形输入板等输入工具,软件中为绘制图形而开发的图形软件相继问世,使得绘图可以再不要编程,直接使用输入工具画在屏幕上,这无疑是前进了一大步,但也还只是初级阶段,它只解决了图形的生成问题,而反映计算机图形特点的根本问题并没有解决。20世纪80年代以后,随着硬件、软件进一步发展完善,才逐步得到解决并继续深化,主要表现为以下几方面:

1. 由二维到三维

许多行业的设计需要画三维图形,如汽车、航空、造船、机械、建筑等需要对设计结果有个总体印象,以便从制造、实用、美观等诸方面给予评价,决定取舍,于是人们研制出了能够绘制三维图形的绘图软件,包括消隐和图形之间的布尔运算,也可以由二维图形直接生成三维图形。

2. 由静态到动画

三维图形比二维图形是前进了一步,但更希望它能显示动态变化过程。这对主机的速度和容量都有更高的要求。人们也研制出了各种三维动画软件。动画软件的开发成功可以更形象的表现事物的变化过程,揭示其内在规律,使得原来必须要作实验才能解决的问题改用动画来达到,从而节省了材料、经费和时间,提高了效率。

3. 由线图到真实感图

用线条绘制的三维形体是一种骨架图,真实感差,它不像照片那样自然、直观。人们迫切希望计算机绘出的图可以像亲眼看到的那样真实。光栅扫描显示器的出现,为显示真实感图提供了可能,加上各种算法相继完成(如填充、裁剪、消隐、光照等),才改变了图形“露骨”的状况。现在对三维物体除显示不同颜色外,还可以显示不同的材质、纹理、光照、视点等;使三维物体更接近真实。

4. 由客观模仿到主观创意

计算机图形不但可以模拟已经存在的客观世界并再现其内部规律,而且还可以主观创意,构筑一个虚幻的世界,按人们指定的规律运动和变化。它丰富了计算机图形的表达方式,拓宽了计算机图形学的应用领域。

5. 与其它高科技结合

与人工智能结合代替人的部分思维,提高效率,减少差错。例如在图形中有错误时计算机能够自动判断,设计过程中的某个局部修改,与其相关部分会自动修改(包括算式,数据和图形)。而运动的部分会自动判断是否发生干涉或碰撞。

与多媒体技术结合,增加了音频和视频,更是创造了丰富多彩、声像合一的环境,非常适合于教育、培训、咨询、娱乐等领域。

计算机图形学当前研究的课题有以下几个方面。

计算机图形学作为计算机应用的一个重要领域,其研究方面很多,大致可归结为基础研究与应用研究两方面。而基础研究又可分为建模技术与绘制技术两个主要方向。建模技术主要研究计算机辅助几何设计和自然景物建模,前者追求高精度和高可靠性,后者以高清晰度、高逼真度为目标,但二者都需要高速度。所以“真实感”与“高速度”的完美结合是人们孜孜不倦追求的目标。在硬件方面,高档图形硬件以及 PC 机上各种 3D 图形加速卡已经出现,为提高速度奠定了基础,它的设计充分利用 3D 图形处理过程的时间连续性和空间连续性,而抛弃了传统的图形处理流水线概念。同时采用图像处理技术来代替图像综合方法以达到降低存储器带宽和容量的目的。建模方面一种基于几何与图像混合建模方式的提出,使得建模和绘制方法更方便、更精确,更接近真实照片。绘制技术也是目前研究的热点。基于图像绘制的全视函数绘制技术引人注目。全视函数 P 是针对某一对象和场景的,从空间任一视点 (V_x, V_y, V_z) ,任一视角 (θ, φ) ,任一时刻 (t) ,对某一波长范围 (λ) 的可见光线的描述,对于静止对象,固定照明条件下,可以忽略参数 t 和 λ (照片就是一个样本),那么全视函数 P 就是一个 5 维函数。若给定一个视点和视角代入 P ,就可得到一个视图。这样,全视函数可以这样来定义:已知某全视函数的一组离散样本,求该函数的连续表示,即根据某全视函数的一组样本重构该全视函数。这是一个比较全面的对图像绘制的数学描述。

在应用研究方面,计算机动画与虚拟现实仍是人们不断研究的课题,这是由于科幻片、动画片、艺术创作以及广告业等要求新颖、创意,不断推陈出新所致。计算机图形学的应用网络化,实现资源共享,远程合作又是研究的新内容。如美、德两国的宇航员分别在美国休斯顿航天中心和德国达姆斯塔计算机图形研究所,通过网络,在虚拟环境(空间飞船和哈勃望远镜)下共同工作了 30 min,完成了哈勃望远镜太阳能电池电子线路板的更换工作,这种远程合作开辟了新的应用领域。另外在图形支撑软件的标准化研究方面,也需要统一,它对提高软件的通用性,保持先进性,加快图形软件的发展起到推动作用。

总之,计算机图形学是从实践中产生的,以需要为动力,软件、硬件相互促进,不断发展。反过来,生产实践对计算机图形学又提出新的要求(功能、质量、算法、速度等)。今天计算机图形学与其它相关科学和技术互相渗透,互相补充,互相促进,构成了高科技群体的飞速发展的格局,达到一个崭新的阶段。

§1.2 计算机图形学研究的内容, 图形生成的方法和特点

计算机图形学, 按照国际标准化组织 (ISO) 在数据处理词典中对它下的定义是: “计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形, 并在专用设备上显示的原理, 方法和技术的学科”。具体来说就是把描述图形所必须的信息——数据, 通过计算机处理, 呈现在显示设备上, 实现数据的可视化。

计算机图形学研究的内容是: 几何元素和图形的生成方法, 几何变换, 图形 (填充、裁剪、消隐等) 算法, 图形数据结构, 几何造型以及图形软件的设计方法等。它适用于下列领域:

自然景物;
各种图片、照片;
各种工程图;
视觉艺术作品;
用数学方法描述的图形。

计算机图形学生成的方法和显示设备有密切关系。目前的光栅扫描显示器是显示设备的主流产品。这种显示器是把屏幕横竖分成若干网格, 每个网格称为像素, 这是我们可以控制的最小显示单位。所谓显示一幅图形, 就是位于图形上的像素被激活 (点亮), 其余像素就是背景。

显示器的这个特点与计算机本身的特点 (高速度, 大容量, 多功能, 交互性) 就构成了计算机图形本身的特点:

1. 图形生成速度快, 质量高, 交互操作, 修改方便。
2. 可以生成真实感图, 呈现出对象的纹理、材质、光照等自然属性。
3. 三维动态模拟。
4. 与多媒体技术结合可呈现声、像、图、文合一的环境。

和计算机图形学同时发展起来的还有图像处理和模式识别。它们也是研究图形, 但研究的重点不同。图像处理是研究图形的缩放、旋转、变换、压缩、存储等处理过程, 而模式识别主要是研究如何从图像中识别出所代表的对象。它们和计算机图形学的关系如图 1-1 所示。这三者之间的关系越来越密切, 共同构成了计算机图形技术。

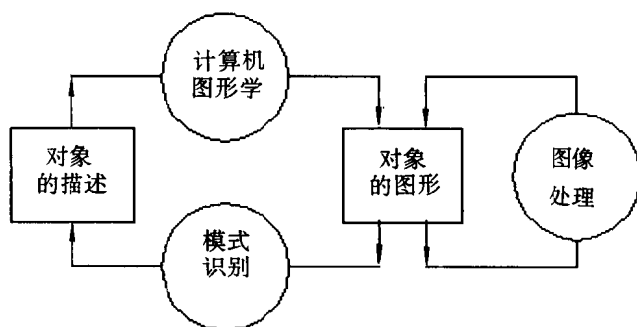


图 1-1

§1.3 交互式计算机图形系统

交互式图形系统主要包括硬件和软件两部分。硬件有主机、交互设备和各种输出设备。软件主要有图形软件、各种语言、数据结构和应用程序等。人通过交互设备利用语言和图形软件在屏幕上生成各种图形,并可进行各种修改、增删等编辑处理,满意后通过输出设备(打印机、绘图机等)输出,自始至终进行人一机对话,见图 1-2。这种方式,综合了计算机的高速度和人的及时判断力两方面的优点,使得出图过程快而准确。现在的图形软件都采用交互式,界面直观、友好。图形软件应当具备以下几种功能:

1. 计算功能: 各种几何计算和数据处理。
2. 存储功能: 存放中间结果和最后结果的图形数据文件。
3. 对话功能: 实时进行人一机通讯。
4. 输入、输出功能: 输入各种数据和命令, 输出计算结果和图形。

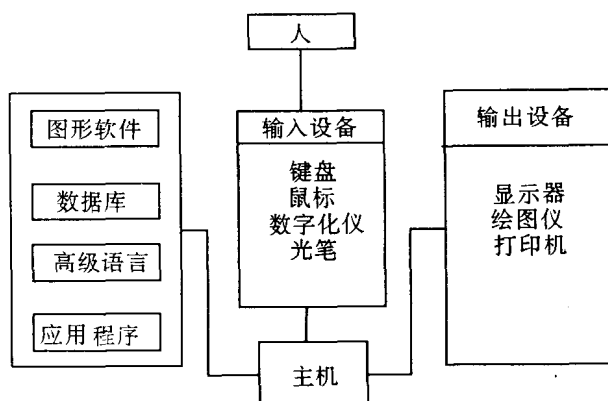


图 1-2

§1.4 计算机图形学的应用

计算机绘图已经用到生产和生活的各个领域,大到天体、宇宙,小到原子、离子,从静态到动画,各种性质迥异的图形和图像会在小小的荧屏上逼真的再现。下面根据计算机图形的特点来介绍它的应用。

1. 计算机辅助设计 (CAD), 计算机辅助制造 (CAM)

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,劳动强度大,它与计算机的高速计算之间形成巨大反差,严重阻碍了新产品的研制周期,让计算机绘图代替手工绘图也就成为必然的趋势。所以在 CAD 和 CAM 方面应用计算机绘图最早,发展最快,相应的软件也比较成熟。像飞机机身、船体的外形光滑,曲线、曲面的拟合改用计算机出图后,不但速度快,而且质量高。而像复杂的大规模和超大规模集成电路图,用手工绘图是无法完成的,而用计算机绘图则十分顺利。所以它在提高质量,缩短周期,减轻劳动强度,提高生产率等方面都带来

极大效益。纵观 CAD 图形支撑软件的发展,大体可以分四个阶段,即计算机绘图系统;交互式二维绘图系统;几何造型系统(三维造型系统,包括线图造型,曲面造型和三维造型等);以数据库为核心的 CAD/CAM 一体化系统(它在形体表示、特征造型、参数化设计、集成化等方面有新的突破)。今后,随着应用的广泛和计算机性能的提高, CAD 将会沿着下列方向发展。

面向产品的特征造型 其产品不仅具有几何信息,而且对于产品的精度、材料特征以及工艺信息等也都能满足需要。

变量设计技术 它是参数化设计发展的必然趋势。几何图形或形体通过尺寸约束定义,使二维和三维变量设计达到双向沟通。

智能化 CAD 技术 从产品概念设计到结构设计,人的经验十分重要,所以智能化的具有数据库的 CAD 技术将会是重要的发展方向。

并行工程 大型产品设计由许多工程师同时进行工作。分布式 CAD 环境体现了并行设计的思想。

2. 数据处理

对于测量和观测到的大批数据,如大地、地质、地震、海洋资源、气象等数据,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)。特别是对于时间性要求极强的天气预报,如果没有计算机处理和绘图,那只能是气象的记录,而天气预报对于预防灾害,减少损失有巨大意义。

3. 过程控制

对于大型的、复杂的动态过程,可用计算机图形学的方法对其实施控制。如石油、化工、电网、导弹飞行、航空,地面和水上交通运行情况都可通过传感器把传送来的数据,转换为图形,对过程实行监视,随时下达指令,作到快速、准确、可靠。

4. 仿真动画

对于一些环境、过程,尤其是不能实现、不能见到、危险、复杂的情况,进行模拟仿真非常必要,它便于观察事物现象,研究事物规律,特别是能够发现单靠数值计算不易发现的情况。如模拟核反应、粒子碰撞、化学反应,相对论原理,模拟训练,动画制作,科幻影片等,形象逼真,效果好。

5. 科学管理

一个单位,一个部门乃至一个国家都有大量的信息资料需要科学管理,图书馆、档案馆、银行、气象站、办公室、资料室等都有大量的资料,这些资料不再像过去那样只是单纯的分类,存储和检索,而是和计算机图形相结合,设计出数学模型,提供形象化的数据和发展变化趋势,为决策部门提供必要、充分和可靠的依据,及时制订有关政策和下达指令。

6. 艺术与商品

计算机图形发展到一定阶段,出现了新的行业——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。它在明暗、光照、色彩的使用上可以达到以假乱真的地步。美术家可以设计出漂亮的图案、纹理,场景,这对美化生活,提高审美情趣,进行美学教育开辟了新领域。这个优点也被商业广告所利用,使产品充满了时代气息,带来新的生机。

7. 计算机辅助教学(CAI)

把计算机图形引入教育领域，使得抽象、难懂的内容形象化、具体化，大大提高了学生学习的兴趣和学习积极性。计算机的交互性使得学生成了学习的主体，学到的知识也更深刻，更牢固。特别是和多媒体技术结合，达到图、文、声、像并茂，色彩、动画兼有，使学习环境发生了根本变化。学习不再是一种负担，而是一种乐趣。随着智能化、网络化的实现和软件的丰富，学习将是随时的，个别的和终生的。

总之，计算机图形学在人们的生产生活中起着越来越重要的作用，图形所表达的信息远比语言文字来得形象直观，乐于被人所接受，是不可取代的实用技术。

思考与练习题

1. 比较计算机图形学，图像处理和模式识别之间的异同。
2. 计算机图形学研究的内容有哪些？
3. 什么是交互式绘图？它有什么特点？
4. 图形系统应具备哪些功能？
5. 列举你所了解的计算机图形学的应用领域。

第二章 计算机图形的硬件系统

§ 2.1 硬件系统的组成

计算机硬件的发展速度很快，平均不到两年就更新一次，上一个档次，功能、速度和容量都大为提高。计算机图形需要大量的复杂计算、数据处理、频繁的数据交换，过去都由主机来完成，现在可以由专门的图形处理器来代替，这又促进了主机效率的提高。近年来，由于多媒体技术的发展，要求对声音、视频、动画信息进行处理，这对计算机的容量和速度提出更高的要求，概括来说，硬件系统（包括多媒体）的组成如图 2-1 所示。

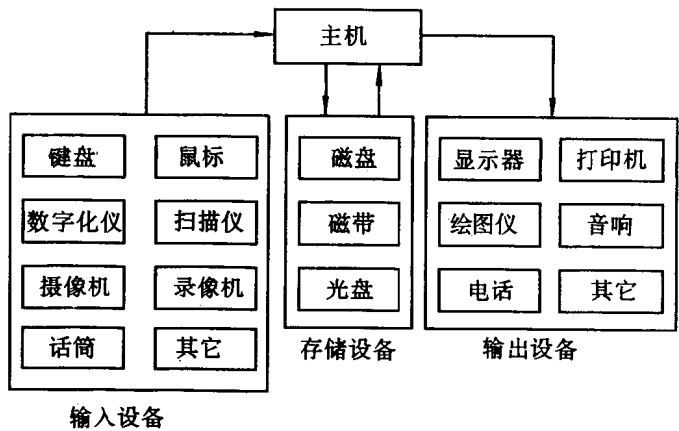


图 2-1 硬件系统的组成

§ 2.2 计 算 机

计算机是计算机图形中的最主要设备。它除了担负着大量的数值计算外，还负责对存储设备和输出设备的统一管理。它主要由五部分组成（见图 2-2）：运算器，控制器，存储器，输入设备和输出设备，其中运算器和控制器又称中央处理器 CPU (Central Processing Unit 的缩写)，由于大规模集成电路的发展，可以把运算器和控制器集成为一个芯片，称微处理器。事实上，微机就是以微处理器为核心，配以相应的存储器和输入、输出设备而构成的超小型计算机系统。当然微处理器也用在别的地方，如显示卡、打印机、绘图机中。微机的功能多少，速度快慢主要靠 CPU。评价 CPU 的指标有：时钟频率（又称主频，决定运行速度），内部数据总线，外部数据总线，数学协处理器以及超高速缓冲存储器等。以 Intel 公司生产的 80x86 系列为例，若用 80286、80386、80486 为 CPU 的微机，分别称为 286、386、486 微机（目前 286 微机已经淘汰）。它们的性能各有不同。80386 于 1985 年生产成功，芯片集成了 27.5 万个晶体管，时钟频

率有 20MHz、25MHz、33MHz，内部数据总线和外部数据总线都是 32 位，地址总线 32 位可以管理和使用 4GB (1G=1024M) 的实际内存和 64TB (1T=10000 亿) 的虚拟内存。这是一种高性能的 32 位微处理器。由于设计的成功，它被确定为 80x86 新产品体系结构的标准，以后的新产品将与 80386 完全兼容。

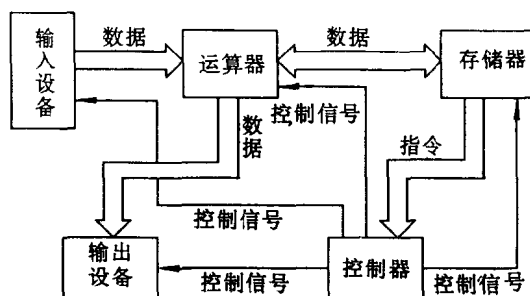


图 2-2 计算机结构原理框图

80486 于 1989 年生产成功，芯片采用了一微米制造工艺，集成了 120 万个晶体管，时钟频率有 33MHz、50MHz、66MHz 等，它把 80386 CPU 和 80387 数学协处理器以及 8kB 的超高速缓冲存储器 (Cache) 集成在一个芯片上，且支持二级 Cache，使 CPU 的速度更快，一些简单的指令，在一个时钟的周期内就能完成，其执行速度比 80386 的 CPU 相同时钟频率快一倍，而其性能指标高 2~4 倍。80386 可以模拟多个 8086 微处理器，提供多任务功能，80486 可以模拟多个 80286 微处理器，提供更多层次的多任务功能。80486 采用突发总线的方式与内存进行高速数据交换，从而大大加快了 CPU 与内存交换的速度。

Pentium 处理器是 Intel 公司于 1993 年 3 月推出的新产品，也有的称为 80586。它采用了 0.6 微米的静态 CMOS 制造工艺，芯片内集成了 310 万个晶体管，时钟频率为 60MHz、66MHz、90MHz、100MHz、133MHz、166MHz 等，它的运算速度是 80486 的 3~8 倍。处理器内部采用超标量结构，双路执行的流水线，能在一个时钟周期内执行多个指令。内部还采用了两个独立的 8kB 代码和 8kB 数据超高速缓冲存储器，既增加了缓冲的带宽，也减少了缓冲的冲突，功能更强，速度更快。

§ 2.3 光栅扫描显示器

显示器是主要的输出设备之一，它可以使输入的命令、程序、计算结果和生成的图形可视化，从而能随时了解计算机的工作状况。它也是计算过程和输入、输出过程的监视设备。显示器有多种，但目前应用最多、最受欢迎的还是光栅扫描显示器，它的工作原理见图 2-3。荧光屏按水平和垂直方向划分成 m 行、 n 列，形成一个矩形阵列，称为光栅，而每一个离散的单位称为像素。像素是屏幕上最小的可编址单位，也是最小的可控制单位。电子束以极快的速度 (40 毫秒为一周期) 从上到下，从左到右扫描整个屏幕 (光栅扫描)，以保证我们的视觉不感到闪烁。屏幕上虽然可以显示不同的颜色，不同的灰度，但它只是显示，不能存储这些信息。实际上，屏幕上显示的内容完全是由帧缓冲存储器确定的，也称帧缓存。帧缓存是和屏幕上的像素一一对

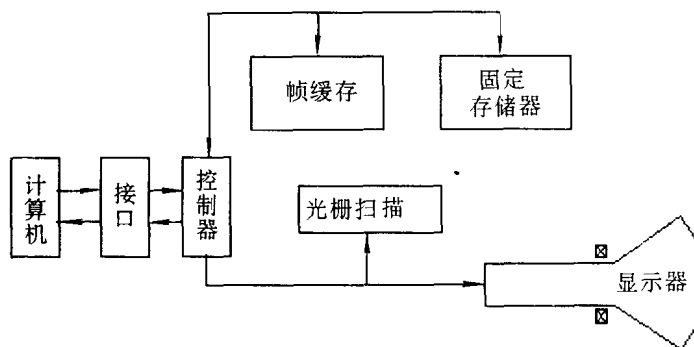


图 2-3 光栅扫描显示器结构

应的，如果帧缓存用一位来对应一个像素，则只能显示黑、白两种颜色，该位是 1 则亮，是 0 则暗，称为二值图像。如果显示彩色图像，则帧缓存的相应地址中要用多位才能表示，这多位中存放的是各个像素的明暗和色彩信息，这种信息又称位图。要使得屏幕显示图像的色彩丰富，帧缓存的容量就要足够大。另外，帧缓存是数字量，而电子束是模拟量，这中间有一个数/模转换，需要在控制器的控制下来完成。控制器控制显示过程是，首先它按顺序依次扫描帧缓存的位图，把位图中的亮度、色彩等数字信息转换为控制电子束运动的电压强度，其次由扫描电路来控制电子束的运动，从而实现屏幕显示。

对于单色和彩色光栅扫描显示器，其帧缓存器的形式是不同的。图 2-4 所示的是具有 N 深度的单色显示器的原理图。当 $N=3$ 时，可显示 2^3 的灰度等级。图中三角形表示数/模转换器，圆柱形表示产生电子束的电子枪。在彩色显示器中有红、绿、蓝三元色，若每种元色具有四位深度，此时屏幕的颜色可显示 $2^{12}=4096$ 种，如图 2-5 所示。对于分辨率为 512×512 的显示器，帧缓存需要的容量为 $512 \times 512 \times 12=3145728$ 位，这是一个相当大的数。为了节省存储量而又不降低显示图形的灰度等级和颜色数量，普遍采用调色板技术，即采用几个调色板。不同的调色板显示不同的颜色，每个调色板显示的颜色数量是有限的，但颜色的种类是可以挑选的。如只有四位深度的帧缓存，加上三个 8×16 位的调色板，则每次可从 256 (2^8) 种颜色中挑选 16 (2^4) 种使用 (图 2-6)。

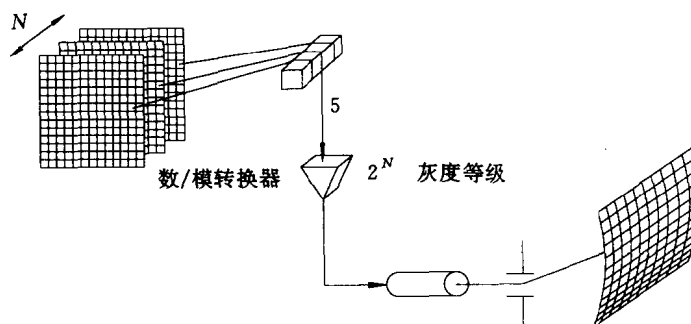


图 2-4 单色帧缓存结构图

光栅扫描显示器以色彩丰富，技术成熟，价格低廉而受到普遍欢迎，特别是能够显示真实感图形，可以消除隐藏面，可以处理明暗、阴影、透明、纹理等更为复杂的图形而受到人们的青睐。由于全屏幕由像素点组成，并严格按扫描行顺序扫描，很容易实现图像的数字化转换，图

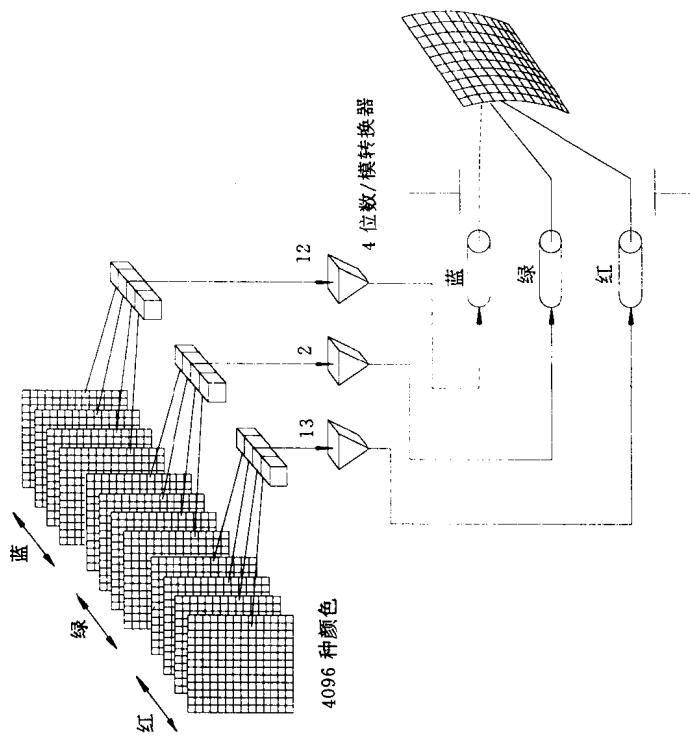


图 2-5 彩色帧缓存结构图

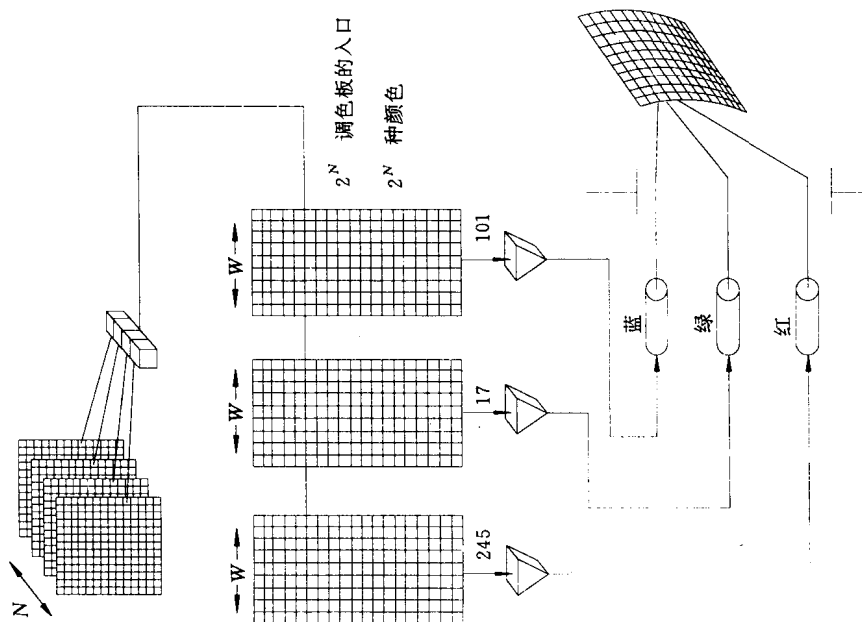


图 2-6 采用调色板的帧缓存结构图

形数据文件格式比较固定，又因为和普通电视机原理相似，可用普通电视机显像管作为图形显示器。

光栅扫描显示器也有一些缺点，首先是分辨率低，画出的线条不够光滑，特别是画斜线和曲线时更明显，要提高分辨率又受到诸多因素的影响，如扫描速度，帧缓存的容量的限制，容量增加又影响图形更新的速度。其次，在编辑一个图形时可能会造成对已有图形的破坏，因为两个图形的交点当然也是“亮”的，交点是两个图形共有，当一个图形擦除以后，交点也被擦除，这对被保留的图形是一个破坏，交点越多，破坏也越厉害，当然这可以通过软件来克服。

现在，对图形的要求越来越高，图形本身也越来越复杂，要满足对图形日益提高的要求，就得采取新技术。为提高显示画面质量就得缩小像素的点距（目前是 0.28mm），增加行频的同步跟踪范围，适应不同显示模式的要求，加快场频和帧频的刷新频率。为了提高速度，减少主机的负担，在显示器上配上微处理器，把许多由软件完成的功能由硬件来完成，如直线、圆弧的生成，一般的几何变换等都可以固化，目前已有“圆形加速器”推向市场，除能快速生成二维图形外，还能提供快速三维实体模型化能力。采用 96 位平面帧缓存器，24 位双缓冲器，可使图形质量提高。此外还有正在开发的图形处理机。这些都大大加强了显示器的独立性和处理速度。以上都是在现有设备基础上的改进、扩充和提高。另一个途径是在寻求新的显示设备，如等离子显示板、激光扫描显示器、液晶显示器等，在研制大屏幕，更轻便，图像质量更好方面已经有了突破，不久会有更好的显示设备出现。

§2.4 其它设备

2.4.1 存储器

存储器是存放数据、程序和文件的设备，分内存储器和外存储器。内存储器按容量分有 1MB, 2MB, 4MB, 8MB, 16MB 等，容量越大，功能越强，好的操作系统如 Windows 3.1, Windows 95, OS/2 等还有大的应用程序必须有大量容量的内存才能运行，所以内存也是衡量计算机的一项指标。

外存储器有硬盘和软盘，硬盘安装在机器内，不便携带，它比内存容量要大得多，有 40MB ~ 4GB 多种类型，它像一个巨大的仓库，可以存放很多内容。软盘有 3.5 英寸（双面高密度，可存放 1.44MB 信息）和 5.25 英寸（双面高密度，可存放 1.2MB 信息），软盘由于轻便，可以携带，适于备份、交流。

光盘是利用激光束来读写信息的，容量极大，从 640MB ~ 1.5GB。它集有容量大又便于携带的双重优点，是很有发展前途的存储设备，当然还要有相应的光盘驱动器。计算机配上光盘驱动器也是发展的趋势。

2.4.2 鼠标器 (Mouse)

鼠标器是一种输入设备，用来指定光标当前所在的位置，它使用快捷、方便，特别是交互操作，像 Windows 环境，用鼠标操作图标和按钮灵活自如，很受欢迎。其外形如图 2-7 所示，

有两键和三键的。当鼠标上下或左右移动时,其光标(有多种形式)在屏幕上也作相应的移动。当按下按钮时,光标位置即被确定。鼠标器有机械式的,也有光电式的。从硬件接口上分有串行通讯口鼠标器、总线鼠标器和 PS/2 鼠标器三种。串行通讯口鼠标器直接插在微机的串行通讯口上,当鼠标事件(指按下、松开按键、移动鼠标等)发生时,它就向串行口发送有关数据。总线鼠标器需要专用的接口卡配合使用。接口卡插在微机总线的扩展槽中,用九针接插件把鼠标器连接起来,由接口上的电路检查鼠标事件是否发生,如发生,则向 CPU 发出中断信号,以激活内存中的驱动程序来读取卡上寄存器的数据。PS/2 鼠标器通过接口直接连到键盘控制器上,当鼠标事件发生时,内部的微处理器向键盘控制器发送串行信号,PS/2 内的 ROM、BIOS 中有专门程序对此进行处理,驱动程序与 BIOS 密切配合来掌握鼠标器的状态。

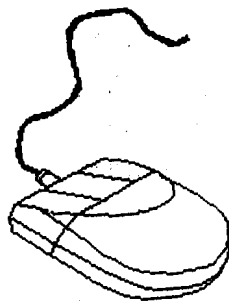


图 2-7 鼠标器

由于鼠标器应用广泛,要用鼠标器完成开发任务,必须有二个条件,一是有设备驱动程序,二是有相应的库函数,如预置、状态、显示光标、移去光标,按键状态,设置光标位置等作为低层支持。然后才有可能开发。

2.4.3 扫描仪

扫描仪是机电一体化的高科技产品,是计算机的一项重要输入设备,特别适用于图形、图像的输入。复杂的图形,图像通过扫描仪就可以将数据输入到计算机中。它主要包括四部分:扫描头,主板,机械结构和附件。最关键的是扫描头,它由线状 CCD 光电耦合器件组成,其精度直接影响到扫描图像的还原逼真程度。主板包括中央处理器、模/数转换器、接口等部分。它的主要任务是把图形、图像数字化,通过接口输入到计算机。它控制着整个工作过程,一幅图像被扫描仪输入到计算机大体经过下列几步:

- (1) 扫描仪的光源(自然光)均匀地照射到图像表面,其漫反射光线被线状 CCD 光电耦合器接收。
- (2) 通过模/数转换,把当前扫描线的图像数据转换成电平信号。
- (3) 步进电机驱动扫描头移动,读取下一次图像数据。
- (4) 经过扫描仪的 CPU 处理后,图像数据存放在缓冲器中。
- (5) 按顺序把图像数据传输到计算机,并存储起来。
- (6) 使用软件重新处理图像数据,使之呈现在屏幕上。

扫描仪的应用日益广泛,如出版、印刷、广告,办公自动化、多媒体技术、图文数据库、图文通讯、工程图纸等都离不开扫描仪。所以扫描仪的种类很多,按原理可分为鼓式、台式、手持式和专用光电阅读器等;按扫描图稿的介质可分为反射式(纸材料)和透射式(胶片)以及反射透射结合的等;按用途可分为通用的和专用的(如条码读入器,卡片阅读机)等。衡量扫描仪的指标有:表示精度的分辨率,表示灰度范围的灰度等级,表示颜色范围的彩色位数,扫描速度和幅面等。分辨率差别很大,从 300DPI~2400DPI (DPI——每英寸点数)。灰度大都为 256 级。