

面向 21 世纪

计算机 图形学

主 编/常 明 朱 林

工程制图与机械基础系列教材

华中理工大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustop@wuhan.cngh.com

工程制图与机械基础系列教材

计算机图形学

常明 朱林 主编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程制图与机械基础系列教材

计算机图形学/常明 朱林 主编

武汉:华中理工大学出版社, 1999年9月

ISBN 7-5609-1983-9

I. 计…

Ⅰ. ①常… ②朱…

Ⅲ. 计算机应用-图形学

Ⅳ. TP391.41

工程制图与机械基础系列教材

计算机图形学

常明 朱林 主编

责任编辑:钟小珉

责任校对:蔡晓璐

封面设计:俞纁丽 潘群

监 印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学惠友科技文印中心

印刷:武汉市新华印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:15.75

字数:346 000

版次:1999年9月第1版

印次:1999年9月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-1983-9/TP·334

定价:17.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书介绍了计算机图形学的基础理论和算法以及实现这些算法的二、三维图形系统。主要内容包
括：图形系统硬件、交互技术基础、图形变换、图形生成算法、几何造型基础、消隐处理、真实感图
形与可视化技术初步。为了便于自学，每部分内容都精心设计了用 C++语言编写的程序实例，使读者在
学习理论和算法的同时，也能掌握在计算机上实现这些算法的方法。这是本书的特色所在。

本书可作为高等院校各专业的本科生、研究生学习计算机图形学的教材，也可作为广大工程技术
人员从事 CG/CAD 工作的参考书。

序 言

21 世纪的核心是科技,关键是人才,基础是教育。世界经济发展中最激烈的竞争,将不仅表现在生产和科技领域,同时也集中在培养人才的教育领域。教育部于 1996 年制定并实施的《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》,是迎接新世纪挑战的重要战略部署,是一项富有远见的教育改革计划,对我国高等教育具有深远的重大的意义。《工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践》是这一改革计划中的一个项目,与它紧密相关的还有一个项目为《机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》。可以预计,这两个项目的实施,将会对机械学科的培养目标、培养模式、课程体系、教学内容与教学方法产生重大的改革,为我国机械工业的人才培养和产业发展作出贡献。

“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”是邓小平同志对我国社会主义教育事业提出的总体要求,也是我们开展机械学科两个教改项目的指导方针。华中理工大学作为这两个项目的牵头单位,和全国 20 余所高校的师生一起,遵循“解放思想”、“实事求是”的原则,努力争取教改项目的突破性进展。

在机械类人才培养中,工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系的改革占有极为重要的地位,是机械学科教学改革的重点和难点。结合我校教学、科研和产业的特点,我们提出“以创新设计为根本、以数控加工为龙头、以 CAD/CAM 为主线、加强基础、注重实践”的机械基础教学改革思路。正如江泽民同志所指出的:“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力”。创新永远是教育改革的重要课题,培养高层次创造性人才是教育的根本任务。现代科学技术,特别是信息技术融于教学,是使教育改革充满活力的重要途径。数控和 CAD/CAM 技术是信息革命的产物,既是改造传统机械产业的重要手段,也是机械学科教育改革不可缺少的重要组成部分。为了适应现代社会对机械设计与制造的高要求,加强数学、物理、力学、电工电子学及外语等基础知识显得更为重要;同时还要重视实践,包括实验、实习等操作性实践和作业、课程设计等思考练习性实践。体现在机械基础系列课程体系的设置上,我们打破原 4 门课程(制图、金工、机械原理和机械设计)封闭的学科界限,对机械设计相关课程进行整体优化,改善课程体系结构。作为课程体系核心的系列课程教材,由《画法几何及机械制图》、《计算机图形学》、《工程材料及应用》、《材料成型工艺基础》、《机械制造技术基础》、《机械原理》、《机械设计》、《机构与机械零部件 CAD》、《机械系统创新设计》等组成。通过构建课程体系、改革教学内容,以达到从整体上优化学生的知识、能力、素质,特别是设计思想、设计方法与创新思维能力培养的目的。

呈献给大家的这套系列教材,是华中理工大学教改课题组师生们多年工作的初步成果,还需要在教改实践中去反复锤炼。我们殷切希望得到广大读者以及兄弟院校同行们的关心、支持和帮助,以推进教改工作的进行。

高等学校工科机械基础课程教学指导委员会主任委员
《工程制图与机械基础系列课程教学
内容和课程体系改革的研究与实践》 课题负责人

周济 教授

1999 年 1 月于华中理工大学

前 言

计算机图形学(Computer Graphics)是人类 20 世纪下半叶在科学技术领域中取得的重大科技成果之一,也是近 30 年来计算机领域发展迅速、应用广泛的一门新兴学科。它主要是研究用计算机和相关的硬件设备来产生、处理、存储和输入、输出图形的理论和方法。

目前,基于计算机图形学理论和方法的图形系统已广泛用于工业、农业、交通运输、文化教育、医疗卫生等部门。可以预见,人类跨入 21 世纪后,计算机图形学必将在国民经济建设的各个领域乃至人们的日常生活中发挥越来越大的作用,成为当今信息社会最显著的特征。现在在校学习的大学生,是 21 世纪祖国“四化”建设的栋梁之材,学习并掌握计算机图形学的基础理论知识是极其必要的。编写本书的目的,就是为大学本科生和研究生提供一本简明实用的计算机图形学教材。

考察国内外许多著名大学的计算机图形学教学计划,可以发现,各校在教学内容的安排上有十分相似之处,即把计算机图形学中二维图形系统相关的内容安排在大学本科阶段学习,就是本书前八章所介绍的内容,而把与三维图形系统相关的一些较为深入的内容安排在研究生阶段学习,如本书后四章所介绍的内容。本书主要内容有:计算机图形系统的硬件及软件环境;窗口、菜单及图形交互技术基础;图形变换的矩阵方法;基本图形的生成算法;窗口、视区及二维图形剪取;三维几何造型;消隐处理;真实感图形与可视化技术初步;华中理工大学图形软件中心研制的二维和三维图形系统简介。

本书适合大学本科生 40~60 学时的教学内容要求。第十一章深入浅出地介绍了真实感图形和可视化技术的一些初步知识,适合读者自学,其目的在于向读者介绍本学科最新的研究成果和前沿研究课题,激发读者深入学习计算机图形学的兴趣。

本书要求读者先修的课程为 C 语言程序设计方法、线性代数和工程制图。因此,在大学二年级学习本书是比较适宜的。

书中介绍的工程设计用的图形软件系统——凯图(CADTool)和三维造型软件(GStar)是华中理工大学图形软件中心研制的具有自主知识产权的图形软件系统,也是作者及课题组成员多年来从事计算机图形学教学和科研所取得的成果之一。有需要该软件的读者,可直接与作者联系。

本书由常明、朱林主编。参加编写的还有张彩缤、胥北澜两位老师。常明编写了第四、九、十、十一章。朱林编写了第二、三、六、十二章,张彩缤编写了第五、七、八章,胥北澜编写了第一章。青年教师纪俊文、李丹、赵贻竹、何云峰、王磊、张绍润为本书的文字和图形处理及程序调试作了大量细致的工作,在此对这些同志为本书所付出的辛勤劳动表示诚挚的谢意。本书在编写过程中,参考了国内一些同类著作,在此向有关作者表示感谢。

由于作者水平所限,加之在大学本科中设置计算机图形学必修课也是近几年的事,在有限的学时条件下,内容如何安排,深浅怎样为宜,都是探索中的问题。因此,书中的错误和不足之处在所难免,恳请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

1999 年 3 月于华工园

目 录

第一章 计算机图形学概述	(1)
§1-1 概述	(1)
§1-2 计算机图形系统的硬件环境	(4)
习题	(9)
第二章 C 语言图形程序设计	(10)
§2-1 文本模式下使用的库函数	(10)
§2-2 图形模式状态下使用的库函数	(14)
§2-3 西文状态下的汉字显示	(26)
§2-4 图形程序设计	(32)
习题	(36)
第三章 图形显示算法基础	(37)
§3-1 直线的生成算法	(37)
§3-2 圆弧的生成算法	(40)
§3-3 规则曲线的生成算法	(47)
§3-4 自由曲线的生成算法	(51)
§3-5 工程曲面的构造方法	(57)
习题	(67)
第四章 图形变换的矩阵方式	(68)
§4-1 二维图形变换	(68)
§4-2 三维图形变换	(75)
习题	(89)
第五章 图形处理算法	(90)
§5-1 视见变换	(90)
§5-2 二维图形剪取	(95)
§5-3 光栅图形的扫描转换与区域填充	(105)
习题	(111)
第六章 图形交互技术初步	(112)
§6-1 图形交互技术基础	(112)
§6-2 人机交互界面设计	(113)
§6-3 鼠标的使用	(114)

§6-4 窗口技术	(118)
§6-5 菜单的设计与应用	(126)
§6-6 橡皮筋线	(128)
习题	(142)
第七章 图形数据结构	(143)
§7-1 数据结构概述	(143)
§7-2 线性表结构	(144)
§7-3 数组	(147)
§7-4 栈	(149)
§7-5 队列	(151)
§7-6 链表	(154)
§7-7 树形结构与二叉树的应用	(163)
§7-8 图形数据文件	(164)
习题	(166)
第八章 二维图形软件系统	(167)
§8-1 计算机绘图软件	(167)
§8-2 使用凯图软件的预备知识	(171)
§8-3 各种图素的绘制	(172)
习题	(181)
第九章 三维几何造型初步	(182)
§9-1 三维图形系统的坐标系	(182)
§9-2 三维图形中的几何元素	(183)
§9-3 三维立体的构造模型	(185)
§9-4 正则实体	(187)
§9-5 三维物体的表示方法	(189)
习题	(195)
第十章 消隐处理	(196)
§10-1 分段可见性判断算法	(196)
§10-2 隐藏量算法	(197)
§10-3 可见面判别算法	(199)
§10-4 深度缓冲器算法(Depth-Buffer Method)	(200)
§10-5 扫描线算法	(201)
§10-6 画家算法	(203)
习题	(215)

第十一章 真实感图形与可视化技术基础	(216)
§11-1 引言	(216)
§11-2 颜色	(217)
§11-3 光照模型	(218)
§11-4 绘制方法	(222)
§11-5 可视化技术基础	(228)
习题	(230)
第十二章 三维图形系统	(231)
§12-1 三维几何造型系统 GStar 概述	(231)
§12-2 GStar 系统操作	(233)
§12-3 构型实例	(236)
习题	(240)
参考文献	(241)

第一章 计算机图形学概述

§ 1-1 概 述

计算机图形学是近 20 年来科学技术领域中取得的重要成就之一。它与计算机辅助设计和计算机辅助制造成为当今世界引人注目的高新技术之一，同时也是国家现代化水平的重要标志。

在一些工业化国家里，计算机图形学已被广泛应用于机械、电子、建筑、造船、航空航天，还有军事、文化教育、气象，乃至娱乐等各个领域。大家知道，传统的手工设计绘图不仅工作效率低、劳动强度大，而且设计、绘图的精度难以保证。特别是在科技高度发达的今天，图样越来越复杂，对设计绘图的精度要求也越来越高。例如，超大规模集成电路掩膜图，印刷电路布线图，复杂的船舰和飞行器的曲面外壳设计图，都是手工设计绘图难以胜任的。同时，随着社会的进步，商品竞争日趋激烈，要求产品更新换代的周期越短越好，而计算机图形学的成果对提高工业产品的设计质量，加快产品的更新换代发挥了极大作用。例如，美国哥伦比亚号航天飞机表面防热系统由 24000 多块形状奇特而又复杂的 SiO_2 瓦片粘接而成，由于采用了计算机图形模拟和计算机辅助设计，确保了粘接的精度与质量。又如，美国波音公司生产波音 747 型飞机时，需要先生产 12 架试验飞机才能达到装配的精度要求，而采用了计算机图形模拟和计算机辅助设计后，生产的第一架波音 767 型飞机就达到了装配的精度要求。

可以预见，在本世纪末和未来的 21 世纪，计算机图形学以及以它为核心的内容——计算机辅助设计和辅助制造技术必将对世界经济的发展产生深远的影响。

一、什么是计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics)是一门新兴学科，国际标准化组织(ISO)是这样定义的：“计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形，并在专门的显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。”它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。

二、计算机图形学的研究内容

计算机图形学的研究内容涉及到用计算机对图形数据进行处理的硬件和软件两方面的技术，以及与图形生成、显示密切相关的基础算法。按照二维和三维图形可归纳为以下几个主要研究内容。

1. 二维图形中基本图素的生成算法

图素是组成图形的基本要素，例如：点、直线段、规则曲线、自由曲线、文本等。

2. 二维图形的基本操作和图形处理算法

即对图形的平移、放大和缩小、旋转、镜像等操作,此外还包括二维图形的剪取,多边形的填充以及二维图形的布尔运算。

3. 二维图形的输入输出

工程界输入图形的方法分为交互式输入和自动扫描输入两大类。交互式输入主要是指通过交互设备(如键盘、鼠标、数字化仪等),一个图元一个图元地输入;自动扫描输入主要是指采用光电扫描仪逐行扫描输入。这两种方法都是借助计算机实现图与数之间的转换。

4. 三维几何造型技术

它包括:对基本体素的定义及输入,规则曲面与自由曲面的造型技术,以及它们之间的布尔运算方法的研究。

5. 真实感图形的生成算法

其内容是:三维图形的消隐算法,光照模型的建立,阴影层次及彩色浓淡图的生成算法。

6. 科学计算可视化技术

这是 20 世纪 90 年代计算机图形学领域的前沿课题。其主要的研究内容是,将科学计算中大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来,从而加深人们对科学过程的理解。例如,有限元分析的结果,应力场、磁场的分布,各种复杂的运动学和动力学问题的图形仿真等。

在大学本科阶段,应着重了解前面三个内容,而后面三个涉及三维图形的内容可留待研究生学习阶段去研究,本书将对后三个内容作简要介绍。

三、与计算机图形学相关的学科

计算机处理图形信息的方式分为图形学(Graphics)、图像处理(Image Processing)和图像的模式识别(Pattern Recognition)。

计算机图形学研究的是由数据或几何模型到图像的处理过程。例如,通过数字化仪输入型值点的数据而在屏幕上显示出相应的图像。

图像处理技术研究的是从图像到新的图像的处理过程,其研究的目的是尽可能改善原有图像的质量。图像处理的典型问题是如何滤掉噪声、干涉,如何使得图像的图线平滑,如何对图像的数据进行压缩,以及用增强对比度技术处理模糊图像。例如,人工探伤,人体 CT 扫描,由已知的二维信息重建二维或三维图像等。可以这样说,图像处理就是图形分析。

图像的模式识别所研究的问题与计算机图形学所研究的问题是互逆的。模式识别是由图像来获得对其图像本身的描述。它是以图像为依据,将图像变换成数据、符号或者是抽象的图。例如,自动分检信封上的邮政编码,还有对工程图样的识别,都是先由扫描得到图像,而后再经识别还原成为图形或字符。

计算机图形学、图像处理和模式识别三者研究的问题也有相同之处。那就是它们都必须研究图像信息处理中的图像的数据结构、数据存储与检索,以及图像数据的压缩。将这三个领域结合在一起的一个典型课题是基于三维物体模型的景物分析。目前由于科技的飞速发展,特别是高分辨率光栅显示器的普及,正在加速着这三个领域的结合与相互渗透。三者之间的关系如图 1-1 所示。

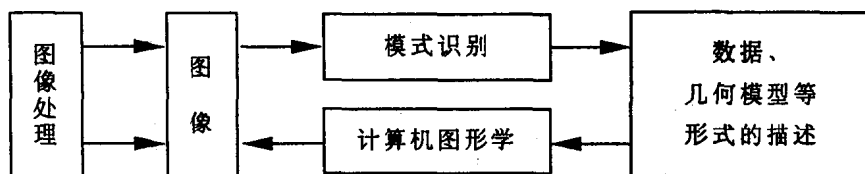


图 1-1 相互学科的关系

四、计算机图形学的昨天、今天和明天

计算机图形学的发展始于 50 年代，先后经历了准备阶段(50 年代)、发展阶段(60 年代)、推广应用阶段(70 年代)和系统实用化阶段(80 年代)等四个发展阶段。50 年代，美国 MIT 研制了“旋风 1 号”图形显示装置，Gerber 公司研制了平板绘图仪，为计算机图形学的发展作了必要的准备。1962 年，I.E.Sutherland 发表了“一个人机交互的图形系统”的博士论文，首次提出了“Computer Graphics”、“Interactive”等专用名词。70 年代，光栅图形显示器和数字化仪等图形设备相继研制成功，为计算机图形学的推广应用准备了必要的硬件条件。80 年代初期，各种实用的计算机辅助设计绘图计算机约有 5000 台，而到 1988 年，猛增到 63000 台。计算机图形技术的应用已从大、中型企业向小型企业发展，从用于产品设计发展到用于工程设计，从发达国家向发展中国家推广。

在我国，计算机图形学的研究工作始于 70 年代初，80 年代是发展较快的 10 年，经过 10 多年的艰苦努力，大大缩小了我国与发达国家计算机图形学领域的差距。90 年代初，我国对全国大、中型企业提出了具体要求，到 2000 年计算机出图率要达到 70%~80%。计算机图形学领域的科研人员也成功地研制出一批适合我国国情的计算机图形系统。如我校工程图学与计算机图学教研室研制出的二维设计绘图软件凯图(CADtool)就是一个例子。可以预见，在不远的将来，我国计算机图形学的研究和应用水平将得到进一步提高，计算机图形学领域的研究成果也将越来越广泛地应用于我国国民经济建设的各个领域。

五、计算机图形学的硬件及软件环境

要建立一个实用的计算机图形系统，必须在硬件和软件两方面做好配置。下面用一个框图表示图形系统的硬件配置，其中标有*号的设备是必不可少的的基本配置，其它配置可根据实际需要合理选择(图 1-2)。

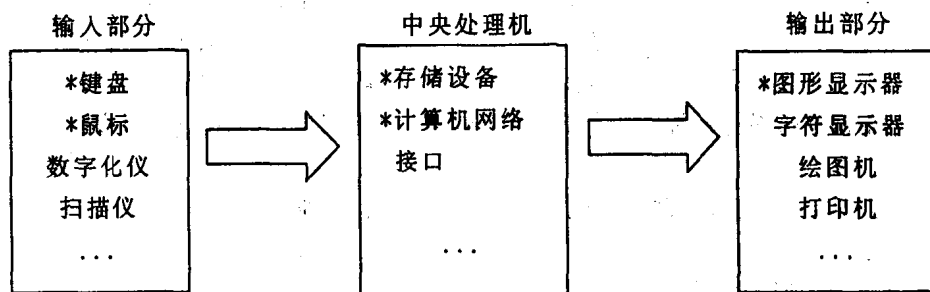


图 1-2 计算机图形系统的硬件配置

除了上述必要的硬件配置外,软件环境同样是计算机图形系统正常工作的必备条件,并且在某种意义上说,软件的选择显得更为重要。一般来说,为使计算机图形系统能正常工作,如下两类软件是必不可少的。第一类是系统软件,它主要指操作系统和语言系统。关于操作系统,目前在微机上主要是 Windows 及 DOS 操作系统,而在图形工作站上大多使用 UNIX 操作系统。语言系统常用的有 C 语言和 PASCAL 语言等,目前工程技术界广泛使用 C 语言。第二类是应用软件,对一个图形系统来说,主要的应用软件是二维图形系统和实用化的三维图形系统。对微型计算机而言,应着重解决二维图形问题。对三维图形问题,由于计算工作量大,要求使用内存容量更大、处理速度更快的图形工作站。目前国外在微机上开发的二维图形系统以美国的 AutoCAD 系统比较成功,影响较大。近几年来,国内的科研人员针对国外的图形软件在我国企事业单位应用中存在的问题和不足之处,研制了具有自主知识产权的、更符合我国工程界需求的二维设计绘图系统。凯图(CADtool)软件系统就是其中具有代表性的优秀软件之一。

本书将在第八章中介绍国内外著名的图形软件,让读者了解这些软件系统的基本结构,并在较短的时间内掌握这些软件的使用方法。本章则着重介绍图形系统的硬件环境。

§ 1-2 计算机图形系统的硬件环境

计算机图形系统的硬件环境应满足显示图形、输出图样、存储图样的功能。计算机主要是处理图形数据,用它来编辑由高级算法语言编写的源程序,将数据、几何模型转换成图形,并能存储这些图形文件。图形显示器是人机交互的可视硬件,它显示数据处理后的结果即图形,或者是新的数据字符。绘图机将计算机提供的各种信息转换成图形输出,以供使用者研究或按图施工。打印机输出的是程序清单及数据处理后的结果,有的也用来打印图形。另外,根据需要,输入设备还可配置光笔、鼠标器。为了提高输入精度,可配置输入板或数字化仪;如需快速输出图形,则可增加图形硬拷贝机;如要处理复杂图形、增大存储量,则可配置硬磁盘机、磁带机、光盘机。下面,对图形显示器、绘图机、打印机的结构及工作原理作简要的介绍。

一、光栅扫描图形显示器

绝大多数计算机图形系统使用的是阴极射线管 CRT(Cathode Ray Tube)显示器。CRT 显示器按工作方式分为三种:存储量式显示器、笔画式刷新显示器、光栅扫描式显示器。

存储量式显示器与笔画式刷新显示器(又称随机扫描刷新显示器)都是线画设备,即可直接从任一可寻址点到另一可寻址点之间画直线。但前者的图像不能存储;后者虽能作动态显示,也可作有选择性地擦除,但是受缓冲器的大小和显示控制器的速度影响,限制了复杂图形的显示。

光栅扫描式显示器(即光栅扫描图形显示器)与以上两种显示器不同,它是一种点画设备。

1. 光栅扫描图形显示器的结构

在光栅扫描图形显示器上,显示屏被分割成许多大小相等的可编地址点,这些可编地

址点称为“像元”或“像素”(Pixels)。每个像素点都是可暗可亮的。它是怎样被控制发亮的呢?得看看光栅扫描图形显示器系统是怎样的结构。它是由硬件(帧缓冲存储器、显示控制器、数/模转换器、阴极射线管)组成的。

(1) 帧缓冲存储器: 用于存储在屏上显示的图形像素阵列, 它在计算机主机和显示器之间起缓冲数据传送的作用。它用像素亮度阵列的形式存储图形数据。在微机的光栅扫描图形显示器中, 它常占用主机的存储地址空间, 有的直接利用了主机的内存。

(2) 显示控制器: 用于控制整个图形的显示过程、控制显示器接受主机原来的图形数据。用帧缓冲存储器存储的内容对显示屏进行刷新, 从而得到一幅幅稳定的图形。

(3) 数/模转换器: 作为帧缓冲器是一大块连续的计算机存储区域。最小的帧缓冲器是由像素对应存储器的一位组成的。这些存储单元组成一个位平面。图形在帧缓冲器中是一位一位构成的, 而存储器的一位只有两种状态(二进制的 0 和 1), 所以单个位平面只能产生黑白两种显示。由于位平面是一个输出数字量的器件, 而光栅 CRT 是一个由电压驱动的模拟器件, 因此当信息从帧缓冲器读出并显示在 CRT 图形显示器上时, 需要进行由数字到模拟信号的转换。这一转换由数/模转换器实现。帧缓冲器中的每一像素需要先读出, 并进行转换, 然后才能显示在光栅 CRT 上。

(4) 阴极射线管(CRT): CRT 的构成与工作原理是: 当阴极被加热, 直到电子“沸腾”并逸出而形成发散的电子云。这些电子被正电压的阳极所吸引; 阳极是一层荧光粉涂层。电子云被一组电子透镜聚焦成很细很精确校准的电子束。这样, 聚焦的电子束在 CRT 的中心部位形成一个亮点。由于水平和垂直偏转放大器的作用, 电子束被偏转或定位。而光栅 CRT 表面的荧光由无数个点按固定格式组成的, 每个荧光点都可能被“点”亮。

2. 光栅扫描技术

光栅扫描图形显示器上的像素在屏上形成一个矩形阵列, 阵列的每一行都称为“扫描行”。被显示的图像都是以二进制数的形式存放在帧缓冲器的随机存储器中, 它形成了一个二进制数的阵列; 同时, 帧缓冲器中的图形阵列中的每一位都对应于屏上像素阵列中的“一个像素点”。所以, 显示屏上有多少个像素点, 帧缓冲器中就有多少个二进制位。像素点对应的二进制数可取“0”或“1”, 取 0 为暗, 取 1 为亮, 如图 1-3 所示。屏幕上的像素阵列组成了光栅。像素是屏幕最小的可编地址单元, 也是最小的可控制屏幕区。显示屏可被看成是一个由像素组成的网格, 每个像素可具有某种灰度和颜色。电子束按顺序扫描整个屏幕, 但只有经过组成图形所在位置上的相邻像素时, 才使这些像素加亮, 从而在整个屏幕上得到所需图形。为保证屏幕上图形的稳定和不消失, 要求每 40 毫秒重复一帧。光栅扫描图形显示器不可能从一个像素到另一个像素之间直接画一条精确的直线, 只能用一系列靠近直线的像素表示(图 1-4(a))。只有当直线是水平、垂直或 45°方向时, 才可能由像素精确地组成直线(图 1-4(b))。

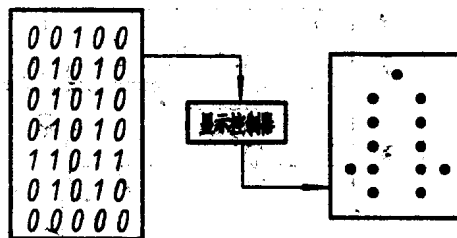


图 1-3 存储器组成的帧缓冲器

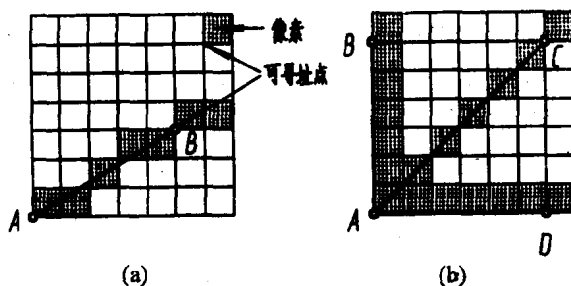


图 1-4 直线的光栅化

二、绘图机

绘图机是绘图系统中的主要输出设备，它在计算机的控制下自动完成绘图工作。

1. 绘图机的结构

绘图机的类型很多，按结构分为滚筒式和平台式两种。

滚筒式绘图机的结构及工作原理见图 1-5。滚筒被用来安装图纸。当 X 向步进电机带动滚筒转动时，滚筒带动图纸转动，从而形成 X 方向的运动。同理， Y 向步进电机带动笔架形成 Y 方向的运动。由这两个电机分别带动绘图纸和绘图笔运动，从而产生图形。

平台式绘图机的结构见图 1-6。画笔运动有两种：一种是横梁由 X 向步进电机驱动，沿导轨作 X 方向的运动，横梁上的笔架由 Y 向步进电机驱动，沿横梁作 Y 方向的运动，运动靠机械传动实现；另一种是用平面电机驱动，电机的转子就是笔架，无需机械运动，因此，绘图的速度和精度都比较高。

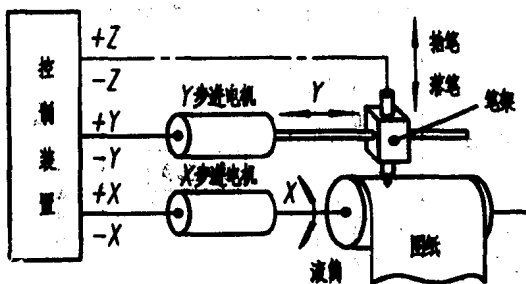


图 1-5 滚筒式绘图机的结构及工作原理

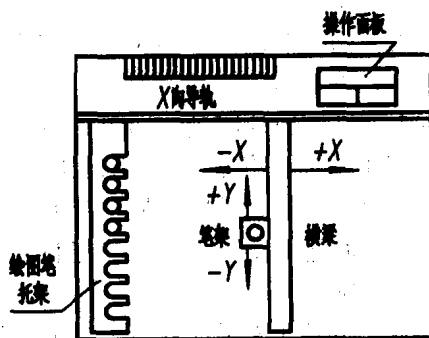


图 1-6 平台式绘图机的结构

这两类绘图机的笔架上可装 1~8 支不同颜色、不同粗细的画笔。在绘图过程中，画笔有换笔、抬笔、落笔、返回机器原点、返回图形原点等相应的动作指令。

2. 绘图机的工作原理

现以滚筒式绘图机来说明绘图机的一般工作原理。当计算机向绘图机的 X 向步进电机发出一个 X 向的走步脉冲信息时， X 向步进电机就带动滚筒或横梁转动或移动一个步距 Δx (毫米/脉冲)；当 Y 向步进电机接收到 Y 向走步脉冲信息时，就带动笔架移动一个步距 Δy 。一般绘图机都具有 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 四个基本运动方向。若绘图机同时接收到 X 、 Y 两个运动方向的合成信息，则画笔可沿 45° 方向运动。于是，绘图机就有八个基本运动方向

(图 1-7)。

若要画其他方向的斜线或曲线，则采用“以折代直”、“以折代曲”的插补方法。用插补法以多段折线来逼近斜线的方向不是绘图机基本的运动方向，画笔不能从 A 点直接画到 B 点，而只能顺基本方向，由若干个可分八个运动方向的折线逼近 AB 直线(如图 1-8 中虚线所示)。至于每一步走哪一个方向，则通过逐点比较法、正负法、线性内插法、数字积分法、微分法等运算方法对中间点进行求解。由于绘图机的步长甚小，绘出的锯齿形折线在肉眼看来，俨然为较光滑的直线，可以满足工程上的要求。

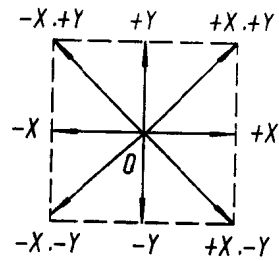


图 1-7 绘图机画笔的八个运动方向

3. 绘图机的工作方式

绘图机的工作方式分为

联机 and 脱机两种。联机，即通过接口直接与计算机相接，由计算机直接驱动绘图机工作。脱机，即将计算机处理好的信息记录在纸带或磁带上，然后通过输入设备读带送给绘图机，从而驱动绘图机工作。由于脱机可以避免计算机等待，所以在使用大型计算机时采用脱机的工作方式较为经济。

上面介绍的滚筒式和平台式绘图机都是笔式绘图机，与笔式绘图机不同的有静电式绘图机、喷墨式绘图机。这里所说的“不同”，指的是“绘笔”的差异。静电式绘图机与喷墨式绘图机都是光栅类型的图形输出设备。下面简要介绍这两种绘图机。

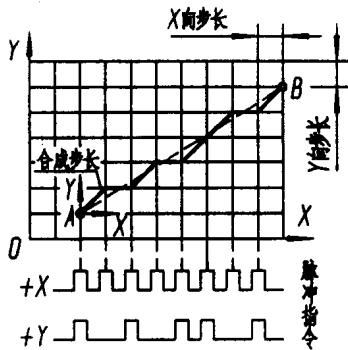


图 1-8 用折线近似逼近直线

静电式绘图机与喷墨式绘图机都是光栅类型的图形输出设备。下面简要介绍这两种绘图机。

1) 静电式绘图机

静电式绘图机(见图 1-9): 装上绘图纸后，纸在供纸机构的控制下匀速走纸。写头由程序控制，在白纸上要上墨的地方加上负电荷，于是在纸上产生了带负电荷的电触点。在纸的上方加上带正电荷的墨。当纸进入墨盒区时，纸上带负电荷的电触点在带正电荷的墨下着色，即墨的微粒附在图纸上产生图形；相反，不带负电荷的电触点则不能被着色。

静电式绘图机工作时噪声小、分辨率高，绘图速度一般比笔式绘图机快 10 倍。它也可以采用脱机方式工作。但是，它对纸的要求高，需要对静电有敏感反应的图纸。

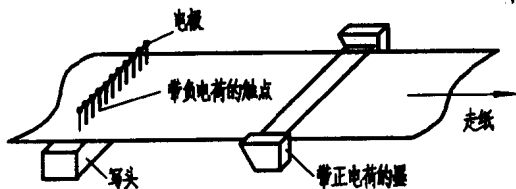


图 1-9 静电式绘图机的结构

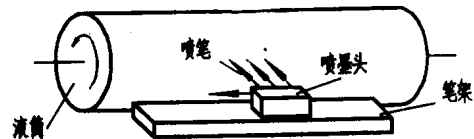


图 1-10 喷墨式绘图机的工作原理

2) 喷墨式绘图机

喷墨式绘图机(图 1-10)可将三种颜色的墨水分别注入三支喷笔中。绘图纸被紧绷在一个快速旋转的滚筒上。在高压下，喷笔将墨水喷射到纸上。喷墨笔内有过滤片，过滤片在控制器的控制下充电。充电时，墨滴带电偏转，被回收而不上色；不充电时，墨滴不带电，

直接喷射到纸上。同时，喷墨头沿导轨从滚筒的一端缓慢移动到另一端。这一过程，实际上是完成了一条光栅扫描线的绘制。如此反复继续下去，最后完成图形的绘制工作。

采用喷墨式绘图机绘图，实现了扔掉笔和图板也能进行高精度、高效率的设计绘图工作。

三、图形打印机

计算机用的打印机分为字符打印机和图形打印机两种。字符打印机不能打印图形，而图形打印机利用点阵方法能打印字符和图形。

计算机用的打印机有针式打印机和喷墨打印机。目前应用较多的是针式打印机。

1. 针式打印机

针式打印机是由打印头、打印头驱动定位机构、走纸机构、打印控制线路以及接口逻辑线路等组成。

打印头内部装有一列含一定数量的打印钢针和同数量的驱动电磁铁，每个电磁铁都可以驱动对应的钢针向前撞击。根据钢针的数目可分为 9 针、16 针和 24 针打印机。

打印头驱动定位机构工作时，在其导轨上由伺服电机牵引的钢丝拖动作水平打印。走纸机构是由步进电机带动，通过带有棘齿的履带式机构，使打印机以适当字阵宽度的距离移动，配合打印机在五行上打印。色带是一条涂有油墨的环形尼龙带，打印钢针通过撞击色带而在纸上留下迹印。

字符打印是由主机将字符代码(ASCII 码)传给打印机，再由打印机的字符点阵发生器转换成一组字符点阵字节(字模)。这些字符点阵字节以纵向排列方式组成字型(见图 1-11)。点阵字节中每一位对应打印头的一根钢针。打印时，值为 1 的位所对应的钢针在驱动线路作用下撞击色带，这样在纸上打印出一列点。打印一字符点阵字节后，换到下一个字符位置上。当一行字符全部打印完后，走纸机构带动打印纸向前走一格。同时，打印头返回到纸的最左端，继续下行打印。

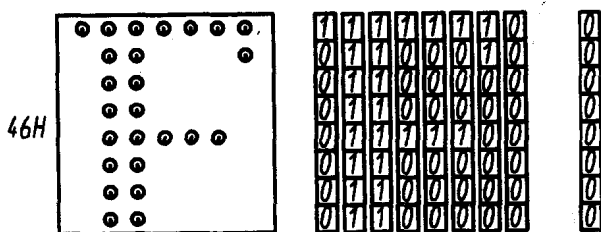


图 1-11 字符与字符点阵字节

图形打印机的特有工作方式是位映射图形。传给打印机的不是字符代码，而是位映射字节。由打印出的若干个位映射字节所形成的点阵就是要打印输出的图形。而打印字符时是由主机将字符点阵分解成若干个点阵字节，将字符的字模按图形打印出来。

2. 喷墨打印机

喷墨打印机是利用连续流电荷来引导油墨或采用电振法进行打印。通过软件控制，能以较高的分辨率制作图像。