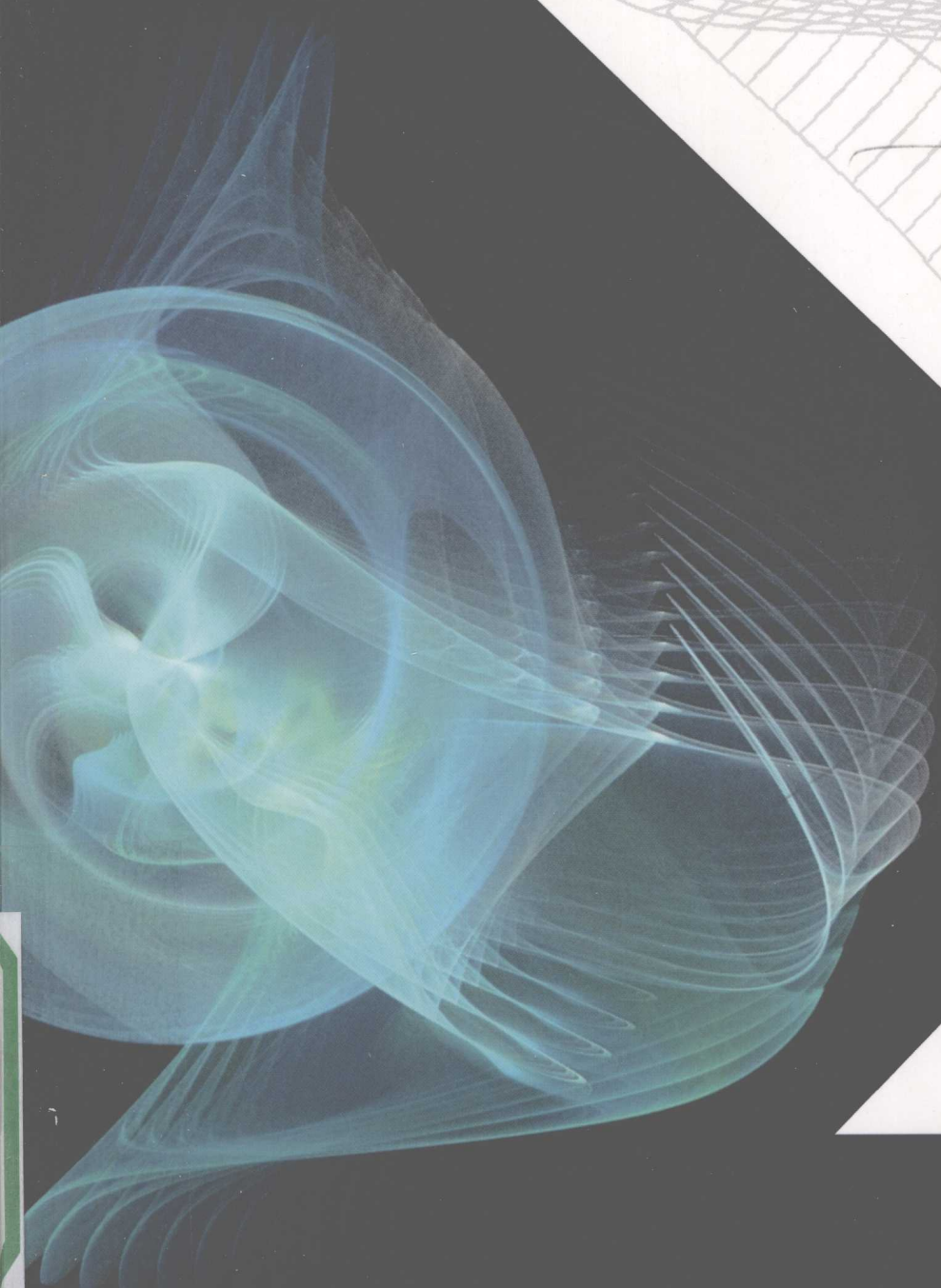


计算机图形学

范幸义 编著

第三版

JISUANJI TUXINGXUE



重庆大学 出版社

<http://www.cqup.com.cn>

内容简介

本书既是一本计算机图形处理技术的教材,也是一本 C 语言图形程序设计的专业书。

本书详细讲述了计算机图形学的基本概念、基本方法,以及图形程序编制原理和编程技巧。主要内容有:计算机处理图形的硬件、软件,图形生成算法,图形生成技术,字符生成技术,计算机图形表示方法,图形基本算法,图形变换,图形消隐处理技术。

本书还给出了 C 语言与 AutoCAD 接口图形库,故也是一本“计算机图形学”与“CAD”接口的专业书。

本书适于非计算机专业的本科生、研究生作“计算机图形学”课程教材,也可作计算机图形学专业人员和 CAD 专业人员的必修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/范幸义编著. —3 版. —重庆:重庆大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-5624-1460-5

I. 计… II. 范… III. 计算机图形学 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017884 号

计算机图形学

(第三版)

范幸义 编著

责任编辑:李长惠 孔 霁 陈红梅 版式设计:李长惠

责任校对:邹 冠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:24 字数:599 千

1997 年 1 月第 1 版 2008 年 2 月第 3 版 2008 年 2 月第 3 次印刷

印数:8 001—11 000

ISBN 978-7-5624-1460-5 定价:36.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

第三版前言

计算机图形学是近年发展起来的计算机新兴学科,它所研究的领域非常深入而广泛,且涉及一些新的研究方法 with 理论。其特点是利用计算机来生成图形与处理图形。关于“图形”一词的概念,传统观念认为图形泛指利用数学描述方法建立的几何形体,也就是几何图形。但是,计算机图形学早已超越了这个概念。计算机处理的“图形”包括 Image(图像)、Picture(图画)和 Scene(景物),以及一切几何形体。计算机图形学研究图形生成算法、处理算法、显示算法及输出算法。特别是新的计算机与新的图形输入输出设备的出现,诸如 586 微机、多媒体微机的出现,给图形处理在速度上带来了飞跃;彩色喷墨绘图机、热生化打印机、热生化彩色绘图机的出现,更促使计算机图形学有了新的发展。

计算机图形学是一门新兴边缘学科,目前有关的专著与教材很少,适用于建筑结构工程和工民建专业及其相关专业的计算机图形学教材更是缺乏。图形程序设计是计算机图形学的一个重要内容。作为计算机图形程序设计的图形支撑,本教材选用 Turbo C 语言及其图形函数作为计算机图形学中图形程序设计的基础。因此,学习本书应在 Turbo C 语言及程序设计的训练基础上进行。为了满足教学需要,让学生得到计算机图形处理技术方面的良好训练,本书特在使用了 5 年的《计算机图形学》讲义的基础上改编而成。本书适于工民建专业及相关专业本科生、研究生使用,也可供相关专业技术人员参考。

本书第一版自 1997 年 1 月出版,深受广大读者欢迎。1999 年 1 月第二版增加了第 II 部分内容。本次修订,增加了在 Windows 视窗下的操作。没有接触过 C 语言的学生,可先学本书第 II 部分——C 语言与图形程序设计。

书中给出了 100 多个 Turbo C 绘图程序,其内容与计算机图形学中的相关内容配套。为了更好地处理图形,本书还给出了 C 语言与 AutoCAD DXF 文件接口图形库,图形库中编制了 75 个 C 语言绘图子程序函数,使学生能利用这些现有的图形来设计编制实用的绘图程序。书中的程序全部都在 486,586 微机上调试通过,并配有专门的程序演示软件,供读者参考学习。

本书中的所有插图均由计算机绘制。

本书建议讲授第 I 部分内容 40 学时,上机不少于 30 学时,第 II 部分内容不少于 15 学时。为巩固知识内容,本书各章配有习题。

由于计算机图形学是一门新兴学科,也是一个新的计算机领域,有的研究方法还没有定论,新的图形算法还在不断涌现,故本书难免有疏漏和错误,请读者批评指正。

本书程序设计的部分程序上机调试工作,由王爱英完成。王爱英还对 C 语言 DXF 接口图形库中的函数子程序作了 FORTRAN 语言的反移置工作(由 FORTRAN 程序移置成 C 语言程序),在此表示衷心的感谢。

作 者
2008 年 2 月

目 录

MU LU

I

计算机图形学

第一章 计算机图形学的形成与发展	3
第一节 计算机显示技术与计算机图形	3
第二节 计算机图形学的应用领域	4
第三节 计算机图形学的研究内容	5
习题一	6
第二章 图形输入输出设备	7
第一节 图形输入设备	7
第二节 图形输出设备	8
习题二	11
第三章 计算机绘图软件	12
第一节 用机器语言设计绘图软件	12
第二节 用高级语言控制绘图设备绘图的软件	12
第三节 利用高级语言本身的作图语句绘图	14
第四节 高级绘图软件——交互式绘图系统	25
习题三	26
第四章 图形的生成技术	28
第一节 直线段的点生成算法	28
第二节 圆弧的点生成算法	32
第三节 椭圆弧的生成算法	34
第四节 字符生成	36
习题四	39
第五章 图形的表示与数据结构	40
第一节 图形的数学表示	40
第二节 图形数据结构	53
习题五	59

第六章 拟合问题	62
第一节 曲线拟合	62
第二节 曲面拟合	79
习题六	87
第七章 图形变换	90
第一节 二维图形变换	90
第二节 齐次坐标	102
第三节 三维线性变换	105
第四节 投影变换	108
第五节 透视变换	120
习题七	127
第八章 图形算法基础	128
第一节 交点计算	128
第二节 交线计算	132
第三节 消隐处理	137
习题八	149
第九章 实用绘图程序设计	150
第一节 高级绘图软件接口技术	150
第二节 Turbo C 接口程序 DXF 文件图形库	151
第三节 C 语言实用接口绘图程序设计	154
习题九	160
II	
C 语言及图形程序设计	
第一章 Turbo C 2.0 工作平台	165
第一节 Turbo C 2.0 软件的安装和启动	165
第二节 Turbo C 2.0 的工作区介绍	165
第三节 Turbo C 工作平台的主菜单操作	167
第四节 编译与编辑功能键	170
习题一	172
第二章 常数、变量、类型、运算符、数学函数与表达式	173
第一节 变量	173
第二节 类型与常数	174

第三节 运算符、数学函数与表达式	176
习题二	179
第三章 Turbo C 程序设计初步	180
第一节 赋值语句	180
第二节 输出语句	181
第三节 输入语句	182
第四节 Turbo C 程序的构成	185
习题三	220
第四章 字符串	224
第一节 字符数组与字符串	224
第二节 字符串比较	227
第三节 字符串函数	232
习题四	236
第五章 结构、指针及文件	238
第一节 结构	238
第二节 指针	245
第三节 文件	258
习题五	287
第六章 图形程序设计	289
第一节 文本窗口	289
第二节 图形程序设计	297
第三节 图形汉字处理技术	320
习题六	327
第七章 高级图形程序设计	330
第一节 绘图子函数的设计	330
第二节 建立子图函数库	341
第三节 三维图形设计	346
习题七	365
附录 常用的 Turbo C 库函数	366
参考文献	372

I

计算机图形学

计算机图形学的形成与发展

第一节 计算机显示技术与计算机图形

随着计算机的发展,特别是显示技术的发展,高分辨显示技术的出现,计算机图形处理技术也随之发展起来。

计算机图形是指计算机处理几何数据、数学方程,以及显示、绘制出相应的图形,但不少学者近段时期认为:计算机图形学应该指计算机处理图像(Image)、图画(Picture)和景物(Scene)的学科。

计算机图形处理技术,主要依靠显示设备,其先进的显示技术是阴极射线管显示管(CRT)发明之后迅速发展起来的。CRT好似一枝神奇的画笔,能够在屏幕上画出人们看不见的各种电信号波形,比如示波器上的正弦、余弦波形。随着电子技术的进步,用计算机控制、处理、显示图形也随之发展起来。

1950年出现了第一台图形显示器作为美国麻省理工学院旋风1号(Whirl wind)计算机的显示设备。

1958年美国CALCOMP公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,这给计算机图形输出带来了可靠的保证。

1962年美国麻省理工学院林肯实验室的Ivan E. Sutherland发表了一篇题为《Sketchpad:一个人机通讯的图形系统》的博士论文,首次使用了“Computer Graphics”这个词,证明了交互式计算机图形学是一个可行、有用的研究领域,从而形成了计算机图形学这个新的学科分支和技术领域。

20世纪70年代中期,廉价的固体电路缓冲存储器出现,可以提供大空间缓冲存储器,从而为计算机图形的形成、存储及输出提供了良好的硬件设备。随着高分辨彩色显示技术的发展,近段时期出现了高分辨彩色显示器,为计算机图形显示提供了高清晰、高速度的显示设备,这给计算机图形学的发展带来了更快更先进的技术条件。

在显示技术不断发展的同时,不同的图形输出/输入设备也相应发展起来,诸如电磁笔、光笔、数字化仪、鼠标器、图形输入系统,以及平面坐标绘图仪、滚筒式绘图仪、喷墨式绘图仪的出现,计算机图形学也迅速发展起来了。随着计算机的不断发展,各种计算机绘图软件也相应出

现,标志着计算机图形学这门学科已经较成熟了。

第二节 计算机图形学的应用领域

计算机图形学是一门新兴边缘学科,它的研究对象、研究目标与研究方法都较深入广泛,而这些目标与方法有的至今未下定论。但作为一种新兴计算机图形处理技术,其应用领域是相当广泛的。

1) 过程监控

各种实时过程、物理过程、函数过程都可以用计算机图形学的知识加以模拟,使之图形化并可随时用图形来实现过程。例如,火箭发射过程可以用曲线来模拟其飞行轨迹,同时不断修正参数,使火箭飞行过程逼真地用曲线反映出来。

2) 情报资料的检索、处理

各种情报资料数据,可以建立计算机数据库;同时也可以计算机图形来反映数据关系,对资料进行检索、处理;还可以对实验数据加以处理,使之图形化。例如,应用计算机图形学可以对心电图、脑电图进行图形放大、旋转等处理,即时发现病变部位,即时治疗。

3) 计算机绘图

计算机绘图可以使用各种高级绘图软件及键盘、鼠标器等有效设备,随心所欲地绘制各种图形,包括人像、艺术作品、花边图案、机械、建筑工程图等;各种施工图纸也可以直接用计算机绘出。

4) 计算机辅助设计(CAD)

计算机辅助设计广泛应用于飞机、汽车、船舶、电子线路等设计中;相应地在近段时期,飞机、汽车外形等 CAD,机械、建筑、桥梁结构等 CAD,计算机辅助线路、管道、电路、逻辑设计等管线 CAD 在工程中相继应用。

5) 计算机辅助教学(CAI)

计算机图形学应用于辅助教学越来越受到重视。在几何、物理、化学、数学的教学中,利用计算机图像可以清楚生动地表现数学曲线、几何曲面的形成;动力学中各种动力分析能用计算机图形来模拟;物理学中的光学、力学和电子学中的实验过程也能用计算机图形来表现。因此,随着计算机辅助教学的发展越来越快,在各科辅助教学中,计算机图形学正在发挥巨大的作用。

6) 计算机模拟与仿真

计算机模拟各种声音、景物、过程是非常生动逼真的。例如,飞行员在地面计算机模拟舱内,可以清楚地看到由显示屏显示的各种飞行景象,并且随着操纵杆的动作能够改变飞行外

景,使飞行员有空中飞行的真实感觉。在制造火箭、导弹的过程中,对一种新型的火箭、导弹必须进行实验,而没有把握的实弹飞行会浪费大量的资金,用计算机图形来模拟飞行不但可以真实地反映导弹飞行轨迹,而且可以精确地计算飞行的各种参数。当模拟飞行曲线与飞行理论轨迹的误差小于允许值时,再进行实弹飞行,达到发射一次成功。

7) 计算机艺术创作

利用计算机图形学可以进行艺术创作,包括美术、书法、图案、花边、工艺美术等艺术图形。目前,计算机艺术创作作品构思新颖、流派各异。例如,传统的木刻、书法、国画、油画、工艺绘画等作品都可以由计算机创作出来。

8) 计算机动画艺术创作

计算机图形学的出现,给动画艺术也带来了生机,各种动画片现在都可以由计算机来制作。计算机的速度快、存储量大,一部动画片实际上可以由计算机制作出来。而因为显示速度很快且能控制,所以其效果完全可以和电影、电视媲美。

20 世纪 80 年代后期,计算机图形技术在电影、电视特写、特技设计中得到了充分的发挥,各种画面的编辑、合成都由计算机来完成,使过去无法摄制的过程都得到了充分的解决,从而使计算机动画技术也得到了相应的发展。

第三节 计算机图形学的研究内容

计算机图形学有它独立的研究方法以及研究对象,虽然有些方法及研究对象的定义没有下定论,但其内容是相当实用的。

1) 研究对象:图形的描述

计算机图形学,从感性上看是研究计算机图形的,从图形的实际形成来看,下面这些形体均称为图形:

- ①人类眼睛所看到的景物;
- ②用摄像机、摄影机等设备所得到的照片、图片;
- ③用绘图机或者绘图工具绘制的工程图、设计图、方框图、工艺流程图;
- ④各种人工美术绘图、雕塑品、工艺制品;
- ⑤由数学方法所描述形成的几何图形、曲线、曲面。

简单地看,人们只把由数学方法得到的图形才称为图形,而把其他的叫做物,但计算机处理图形早已超过了图与形的概念。总体来看,图形实际上是数学点、线、面、体的描述。因此,计算机图形学中的图形可以这样定义,图形学中的图形是从客观世界的物体抽象出来的带有灰度或色彩,以及形状的图或者形。

计算机处理图形一般采用两种方法:

(1)点阵法 点阵法是用有灰度或色彩的点阵来组成图形的一种方法,它强调由哪些点来构成图形,以及该点的色彩或灰度。例如,通常用二维点阵 $P_{ij}(x_i, y_i)$ 来表示图形,其中

(x_i, y_i) 表示图形上的点, P_i 表示该点的灰度或色彩。

(2) 参数法 参数法是以计算机中所记录图形的形态参数与属性参数来表示图形的一种方法, 形态参数可以是描述其形状的方程的系数, 线段的始点、终点坐标值等; 属性参数则包括灰度、色彩、线型、字型等非几何属性。

因此, 我们常常把参数法描述的图形叫做参数图(称为图形), 而把点阵法描述的图形叫做像素图(称为图像)。

2) 计算机图形学的研究内容

在明确了解计算机图形学研究对象“图形”的概念之后, 则可以简单地说, 计算机图形学的研究任务是如何利用计算机来处理图形, 即用计算机处理图形是研究计算机图形处理系统的基础。计算机图形学研究下列内容:

(1) 图形的输入 研究如何把需要处理的图形输入计算机, 以便让计算机进行各种处理。

(2) 图形的生成、显示、输出 研究如何用计算机处理图形、描述图形的方法来生成图形数据, 以及怎样在计算机的 CRT 上显示图形, 在打印机、绘图机上输出图形。

(3) 图形的变换 研究如何对计算机图形进行几何变换、投影变换、开窗变换及色彩灰度变换, 也就是对几何与非几何性质作图形变换。

(4) 图形编辑 研究如何用计算机对图形进行组合、分解、插入、裁剪等的技术, 以及从集合观点、几何拓扑观点来研究图形的和、差、交等运算。

可以简单地说, 计算机图形学主要研究如何使用适当的硬件来实现图形处理功能, 如何设计好的图形软件、图形处理所需要的数学模型及数学方法与算法, 如何解决实际应用中的图形处理问题。

习题一

1. 请查阅资料, 计算机图形学还能在哪些领域内应用?
2. 计算机图形学研究对象是什么?
3. 计算机图形学研究的内容是什么?

图形输入输出设备

本章主要讨论图形输入输出设备的功能、原理以及使用方法。

第一节 图形输入设备

1) 数字图形输入板(数字化仪)

数字化图形输入板是图形输入的重要设备,其主要作用是把图形上的点,以坐标数字形式输入计算机。

数字化图形输入板由两部分组成:一部分是坐标接口板,一部分是鼠标器。数字化仪如图 I.2.1 所示。

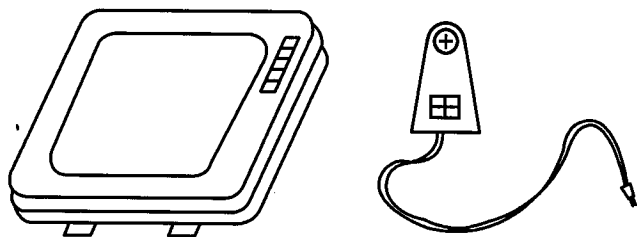


图 I.2.1 数字化仪

数字化图形输入板上一般有 4 个按键控制数字化仪的工作状态。第一个键为总清键 RE-SET;第二个键为点模式输入键 POINT,此键按下,表示数字化仪每次输入一点的坐标,此时如果把鼠标器接好后放在数字化仪上并按下鼠标器上的数据采集键,则板上点的相应坐标 (x,y) 被输入计算机;第三个键为 SWITCH,第四个键为 STREAM,这两个键的主要功能是连续采集数据,若按 SWITCH 键,表示鼠标器上的采集键可连续采集(指连续按下鼠标器采集键),则停止采集数据;当按下 STREAM 键表示连续自动采集数据,此时只要鼠标器在数字化仪板上,不管是否按下采集键,都将连续采集点的坐标值。

数字化图形输入板与主机计算机接口中通讯方式可以串行或并行,数据传递方式串行以 ASCII 码方式,并行以 BCD 码方式。以串行 ASCII 码为例,每一个点 (x,y) 向主机发送 15 个字

节的数据。

CB	X	X	X	X	X	±	Y	Y	Y	Y	Y	±	CR
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

其中 CB——特征码；

X,Y—— x,y 坐标值；

±——正负号；

CR——点数据间隔码。

常用的数字化仪；

美国产 CALCOMP 2300 系列数字化仪

型号:23180305 × 457 mm

型号:23240457 × 610 mm

HIPAD 数字化仪

型号:610 mm × 850 mm

2) 功能键盘

功能键盘除了作为计算机的输入设备,在图形上点的坐标值可以直接由键盘输入计算机。

3) 图形输入系统

图形输入系统是一套组合式图形输入装置,它的特点是在很短的时间内可以把一定范围内的整个图形输入计算机。它是由摄像机、光电处理机采集图形数据,然后通过接口把数据送入计算机。图形输入系统如图 I.2.2 所示。

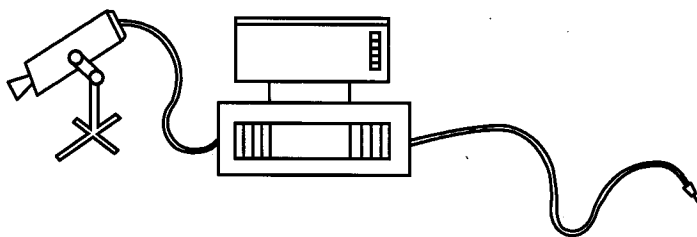


图 I.2.2 图形输入系统

第二节 图形输出设备

1) 图形显示器(CRT)

图形显示器一般指计算机的终端显示器,既可以显示符号,也能显示色点(图形)。其基本原理是 CRT 技术——阴极射线显示管。

从 CRT 技术特性来看,显示器可分为 3 类:一是随机扫描图形显示器,二是存储式图形显示器,三是光栅扫描式图形显示器。阴极射线管如图 I.2.3 所示。

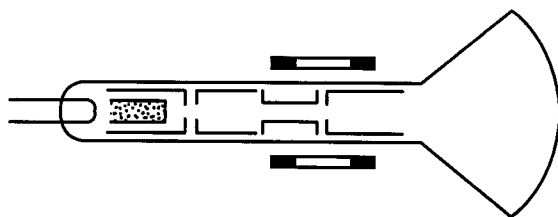


图 I.2.3 阴极射线管(CRT)结构示意图

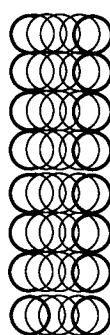
图形显示器的功能主要是由计算机控制把图形显示在屏幕上。

2) 打印机

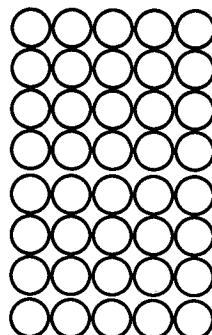
各种打印机可以用来作为图形的输出设备。打印机的打印针能单独控制,并且能控制打印力度,因此可以作灰度打印,也能作点的色素打印。9针打印机可打印如图 I.2.4 的所示。

打印机有多种形式,目前常用的打印机有点阵式打印机、激光打印机、喷墨式打印机、彩色打印机、汉字库打印机等。就点阵式打印机而言有9针及24针两种。目前,微机图形的打印一般采用24针点阵式打印机和激光打印机。

用点阵式打印机打印图像,主要依照不同的灰度等级来实现。以9针打印机为例,如果用打印机上的若干个点来表示,比如用 $3 \times 3 = 9$ 个点来表示一个元素,9个点全打印,这个元素就最黑;全不打,这个元素就最亮。用1~8个点就表现了这个元素的不同灰度。如果再采用点的加密打印技术,则像素的灰度等级可以提高。因此,8个点大致可以分出20级灰度,如图 I.2.5 所示。



加密后的点阵



加密前的点阵

图 I.2.4 9针打印机打印点阵

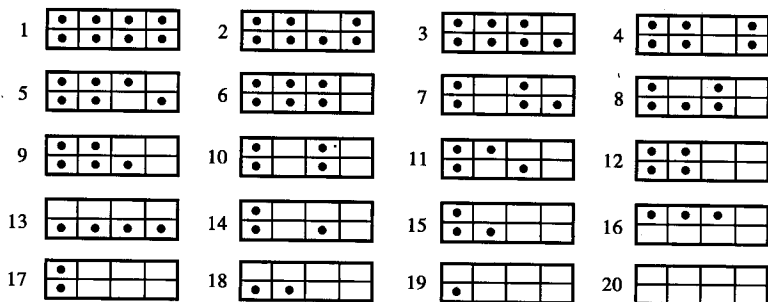


图 I.2.5 双密度点阵形式的灰度级

点阵打印机的外形如图 I.2.6 所示。

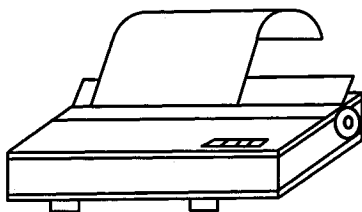


图 I.2.6 点阵式打印机

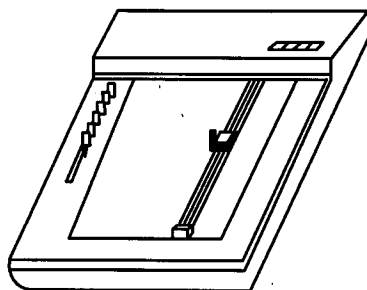


图 I.2.7 平板坐标绘图仪

3) 绘图仪

绘图仪是计算机图形输出的主要设备,主要用于输出曲线、工程图、零件图、装配图等大型图形。

绘图仪按工作方式不同可以分为两类:一类是笔式绘图仪,工作时由绘图笔在纸上绘出图形;一类是静电喷墨式绘图仪,在特殊的感应纸上,由产生静电控制的喷墨针绘出图形。

(1) 平板式坐标笔式绘图仪

该绘图仪具有人工智能,内部装有 CPU 和一定的绘图程序,可以做一些智能工作。它的笔架可以水平与垂直运动,因此笔架上的笔可以运动到坐标下的任一点,并可以根据程序自动换取各种不同颜色的绘图笔。平板式坐标绘图仪如图 I.2.7 所示。

由于绘图仪内部带有 CPU,并存储了一些绘图命令程序,只要用计算机启动这些命令就可以绘制图形。例如,SR-6602 平板绘图仪有以下常用绘图命令:

- IN——初始化命令;
- AP——绝对坐标移笔命令;
- AC——圆弧、圆命令;
- LT——设定线型命令;
- DS——设定线型尺寸命令。

只要用计算机程序控制这些命令就可以绘图。

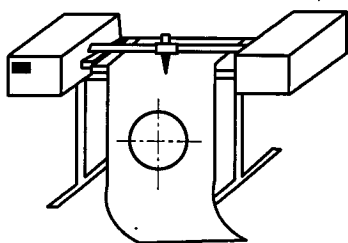


图 I.2.8 滚筒式绘图仪

(2) 滚筒式绘图仪

其工作原理是纸做垂直运动,笔架做水平运动。因此,笔架上的笔可以到达坐标下的任一点位置。

滚筒式绘图仪内部也带有 CPU,它也是一种人工智能绘图仪,也有一系列的绘图命令,只要用计算机控制这些绘图命令,就可以自动绘出图形来。滚筒式绘图仪如图 I.2.8 所示。

(3) 静电绘图仪

该绘图仪采用静电喷墨方式工作,由图形信息控制静电的产生,从而控制针管喷墨,但用该绘图仪必须使用特殊的绘图纸。