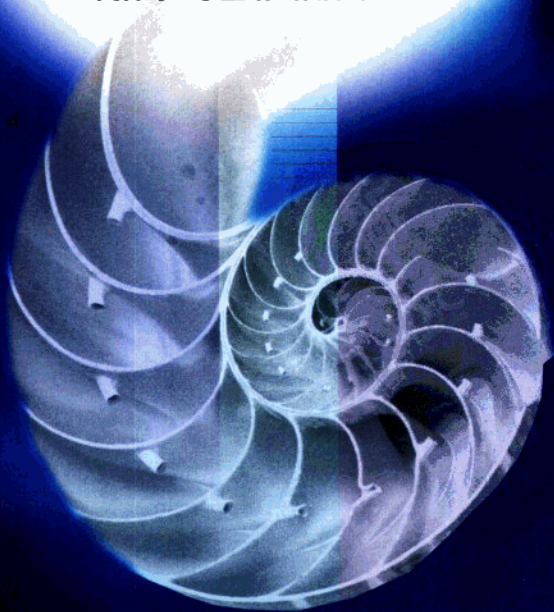


计算机绘图技术

JISUANJIHUITUJISHU

阎保平 李丕明 张润玲 编著



山西科学技术出版社

前 言

计算机绘图（简称 CG）是计算机应用学科的一个分支。世界各国的计算机图学专家正在这一领域辛勤耕耘，使这门学科向着研究的深度和应用的广度不断发展。计算机绘图和计算机辅助设计（CAD）已渗透到很多学科领域。由于这门学科涉及到知识面广，所以教与学都存在一定的难度。对于侧重于计算机应用的读者来说，在起步阶段并不需要十分通晓计算机知识，而只需了解计算机绘图的一般知识和应用即可。

编写本书的目的就是试图为非计算机应用专业读者找出一条途径，暂时先绕过那些并非十分急需的基础知识而直接步入 CG 应用领域的大门。

对于理工专业及工程技术人员来说，计算机绘图是工程制图的继续与加深。他们对计算机绘图中所遇到的工程制图基本知识已具备一定的基础，因此在本书编写中为节省篇幅，在这方面没有多费笔墨，而着重介绍了计算机绘图的基础知识与应用。

本书在编写过程中得到了领导和同事的大力支持，在这里表示诚挚的感谢。

由于编写水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编 者

2000 年 11 月

目 录

第一篇 计算机图形学基础

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 计算机图形学的发展历史	1
1.1.2 计算机图形学的研究内容	2
1.1.3 计算机图形学的应用	3
1.1.4 计算机图形软件标准化	3
1.2 计算机绘图的硬件系统	4
1.2.1 显示处理器	4
1.2.2 显示器	5
1.2.3 绘图机	6
1.2.4 打印机	7
1.3 基本图形元素的生成算法	8
1.3.1 生成直线的DDA法	8
1.3.2 生成直线的Bresenham算法	9
1.3.3 绘圆弧的正负法	10
第2章 二维图形的生成	13
2.1 字符屏幕与图形屏幕	13
2.1.1 字符屏幕	13
2.1.2 图形屏幕	14
2.2 C语言图形函数	18
2.2.1 颜色控制	18
2.2.2 线型	21
2.2.3 绘图函数	23
2.2.4 屏幕、视区管理	25
2.2.5 图形管理	26
2.3 二维图形裁剪	27
2.3.1 窗口与视区	28
2.3.2 二维图形裁剪	30
2.4 区域填充	37
2.4.1 多边形填充	37
2.4.2 种子填充	39

2.4.3 填充函数	40
2.5 图形模式下的文本	42
2.5.1 图形模式下的字体	42
2.5.2 字体的装入	43
2.5.3 文本设置	44
2.5.4 文本的调准	45
2.5.5 在屏幕上输出文本	45
2.5.6 汉字文本的输出方法	46
第3章 二维图形变换	48
3.1 矩阵和齐次坐标	48
3.1.1 矩阵	48
3.1.2 齐次坐标	48
3.2 图形变换	49
3.2.1 平移变换	49
3.2.2 旋转变换	50
3.2.3 比例变换	50
3.2.4 对称变换	51
3.2.5 错切变换	53
3.2.6 复合变换	54
3.2.7 二维图形变换程序的实现	54
第4章 图形交互技术	57
4.1 常用函数	57
4.1.1 坐标与字符串输出	57
4.1.2 DOS和BIOS中断调用接口	58
4.2 窗口技术	58
4.2.1 栈与弹出式窗口	59
4.2.2 窗口框架	59
4.2.3 创建窗口框架函数	60
4.2.4 消除窗口函数gunpop (void)	61
4.3 光标定位技术	61
4.3.1 光标的设置	61
4.3.2 光标移动 (橡皮筋技术)	62
4.3.3 读取光标	62
4.3.4 光标移动步距	62
4.4 菜单技术	62
4.4.1 菜单选项的方法	63
4.4.2 菜单的编制	64
4.5 鼠标使用	66

4.5.1 鼠标概述	67
4.5.2 鼠标库函数	67
4.5.3 用鼠标选取菜单项	73
第5章 图形数据结构与三维形体构成	75
5.1 平面图形数据结构	75
5.1.1 数据的逻辑结构	75
5.1.2 数据的物理结构	77
5.2 三维形体的数据结构	79
5.2.1 图形的几何信息与拓扑信息	79
5.2.2 三维形体的数据结构	83
5.3 三维形体构成	85
5.3.1 三维形体构成模式	85
5.3.3 三维形体构成方法	87
第6章 三维形体的变换	96
6.1 三维形体的空间变换	96
6.1.1 平移变换	96
6.1.2 比例变换	96
6.1.3 错切变换	97
6.1.4 旋转变换	98
6.2 三维形体的投影变换	102
6.2.1 三面基本视图的变换矩阵	103
6.2.2 轴测投影图的变换矩阵	101
6.2.3 透视变换	103
第7章 平面立体消隐	112
7.1 凸多面体隐藏线的消去	112
7.1.1 凸多面体表面可见性的判断	112
7.1.2 平面外法线及其方向余弦的计算	113
7.1.3 消隐程序设计举例	115
7.2 凹多面体消隐算法简介	118
7.2.1 基本求交运算	118
7.2.2 凹多面体消隐算法	120
第8章 曲线、曲面的生成	124
8.1 曲线	125
8.1.1 平面规则曲线	125
8.1.2 自由曲线	133
8.2 曲面	143
8.2.1 Coons曲面	144
8.2.2 Bezier曲面	146

8.2.3 B样条曲面	147
-------------------	-----

第二篇 AutoCAD绘图软件的应用

第9章 AutoCAD绘图的基本知识	149
--------------------------	-----

9.1 AutoCAD R14简介	149
9.2 AutoCAD R14的基本操作	149
9.2.1 AutoCAD的启动	149
9.2.2 AutoCAD R14界面介绍	152
9.2.3 命令的输入方式	154
9.2.4 AutoCAD R14退出	155

第10章 几何作图	156
-----------------	-----

10.1 绘制新图前的准备工作	156
10.1.1 创建自己的坐标系(UCS)	156
10.1.2 绘图单位设置	157
10.1.3 绘图范围设置	158
10.1.4 网格和捕捉	159
10.1.5 设置图层	160
10.1.6 设置线型比例	163
10.2 绘制由直线段构成的平面图形	163
10.2.1 直线命令	163
10.2.2 用命令画矩形	165
10.2.3 用命令画正多边形	166
10.3 绘制圆、圆弧	167
10.3.1 圆命令画圆	167
10.3.2 用菜单命令画圆弧	168
10.4 平面几何图形	169

第11章 物体视图的画法	174
--------------------	-----

11.1 画轴的主视图和剖视图	174
11.1.1 轴的主视图外轮廓	174
11.1.2 画键槽	178
11.1.3 槽的剖面图	179
11.2 画圆盘的两视图	182
11.2.1 画左视图	182
11.2.2 画主视图	183
11.3 画轴承座的三视图	184
11.3.1 目标选择方式小结	184
11.3.2 如何复制实体	185
11.3.3 如何把切点对应到其他视图上	187

11.3.4 移动实体	188
第12章 轴测图	189
12.1 正等测图的基本知识	189
12.1.1 设置正等测图模式	189
12.1.2 设置轴测投影	189
12.1.3 轴测坐标轴	190
12.2 平面体的正等测图	190
12.3 圆和圆弧的正等测图	191
12.3.1 圆的画法	191
12.3.2 圆弧的画法	192
第13章 标注尺寸与文字	193
13.1 尺寸标注的设置	193
13.1.1 设置构成	194
13.1.2 设置格式	195
13.1.3 设置注释	197
13.1.4 标注尺寸	200
13.2 标注文字	201
13.2.1 文本字型和字体	201
13.2.2 单行文本标注	202
13.2.3 多行动态文本标注	203
13.2.4 段落式文本标注	203
13.3 创建符号库和图形库	203
13.3.1 建立图块	203
13.3.2 建立有属性的图块	204
13.3.3 插入图块	206
14.3.4 块存盘	208
14.3.5 块打散命令	209
14.3.6 创建符号库和图形库	209
13.4 形位公差标注	210

第1章 绪 论

§ 1.1 引 言

计算机图形学是人类近30年来在科学技术领域中取得的一项重大成就。是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。在发达国家中,计算机图形学已经广泛地应用于工程技术与社会生活的各个领域之中,如机械、电子、建筑、船舶制造、航空航天、交通运输、文化教育等等。对提高产品设计质量,加快产品更新换代发挥了极大的作用。可以说,以CG(Computer Graphics)为核心的CAD/CAM技术在工业上的应用普及程度,已成了一个国家现代化水平的重要标准之一,而且必将对科学技术的进步产生深远的影响。

1.1.1 计算机图形学的发展历史

计算机图形学的发展始于20世纪50年代初期。美国麻省理工学院在50年代研制的1950旋风计算机驱动一个阴极射线管作为它的输出设备。50年代中期美国的战术防空系统SAGE(Semi Automatic Ground Environment)使操作人员可以用光笔在显示器上指定一个目标。Gerber公司研制了平板绘图机,为计算机图形学的发展作了必要的准备。第一台光笔交互式图形显示器于1962年在麻省理工学院林肯实验室研制成功。这是Ivan Sutherland博士以论文的形式完成的研究课题。在他的论文中,Sutherland首次提出了“Computer Graphics”,“Interactive”等专用名词,从而被世人公认为计算机图形学的创造人之一。1964年,孔斯(Sieve Coons)提出了用小块曲面片组合表示自由型曲面时,使曲面片边界上达到任意高次连续阶的理论方法。这一方法得到了工业界和学术界的极大推崇,称之为孔斯曲面。孔斯和法国雷诺汽车公司的贝齐尔(Pierre Bezier)被并称为现代计算机辅助几何设计技术的奠基人。

同时,在美国工业界,研制交互式图形显示器的工作也在开展。IBM公司于1964年秋推出了它的设计方案,以后经过改进,成为IBM2250显示器。这是IBM公司正式提供工业界使用的第一代刷新式随机扫描图形终端。IBM2250在1978年前后改型为IBM3350,但在原理上并无明显变化。1984年又改型为IBMS080,采用光栅扫描技术,带彩色,有局部处理能力,并可用旋钮直接放大、平移、旋转画面。洛克希德飞机公司利用IBM2250开发的CADAM绘图加工系统,从1974年起向外界转让,成为IBM主机上目前应用最广的CAD/CAM软件。

在80年代中,各种实用的计算机图形系统和CAD工作站的销售量与日俱增。例如在美国,1981年实际安装用于计算机辅助设计绘图的计算机约5000台,而到1988年,猛增到63000台。计算机图形技术的应用越来越广泛,已经渗透到了工业生产与社会生活的各个

领域之中。

在我国,计算机图形学的研究工作始于70年代,在80年代中有较快的发展。经过10多年艰苦的努力,已大大缩小了我国与发达国家在计算机图形学领域的差距。90年代初,我国对国有大中型企业提出了计算机出图率要达到70%~80%的要求。广大图学工作者也研制出了一批计算机图形系统。可以预见,在不远的将来,我国的计算机图形学的研究与应用水平将会进一步提高,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工业生产与社会生活的各个领域之中。

1.1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学的研究内容涉及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与显示密切相关的基本算法的研究。大体上可归纳为以下几个方面:

(1) 二维图形中基本图元的生成算法,包括点、直线段及各种曲线等。

(2) 二维图形的基本操作和图形处理的算法,如对图形的平移、放大、缩小、旋转、错切、镜射等操作,以及二维图形的裁剪、封闭区域填充、二维图形的布尔运算(并、交、差)等。

(3) 二维图形的输入与输出。图形输入的方法有交互方式和扫描输入两大类,交互方式是指通过键盘、鼠标、数字化仪等交互设备逐个图元输入的方法;扫描输入是采用光电扫描仪逐行扫描输入。这两种方式都是借助于计算机来实现图与数之间的转换。

(4) 三维几何造型技术的研究。这包括基本体素的建立与生成,规则曲面与自由曲面的构造,以及三维形体之间的布尔运算等。

(5) 真实感图形的生成算法。主要包括三维形体的消隐,光照模型的建立,阴影及彩色渲染图的生成等。

此外,计算机图形学当前研究的前沿课题大体有以下几个方面:

(1) 图形软件与开发环境的标准化。这部分内容将在本章的图形标准化一节中加以介绍。

(2) 提高算法的可靠性和效率。这是所有软件的共同要求,只是交互图形显示中的某些图形算法特别耗费机时,如隐藏线消除、高质量的明暗图生成及体素拼合等。这方面的研究主要集中在消隐算法、真实感彩色图像的快速生成及体素拼合中的曲面求交和拓扑处理等问题上。

(3) 用并行处理技术提高真实感图像的生成速度。三维线框图的实时旋转和缩放,已经在很多显示器中用硬件实现,并在工程中得到了较普遍的应用。在光栅显示中,利用专用硬件也已实现了三维彩色模型的实时旋转和缩放。为了得到更高的实时动态模拟能力,可以采用多处理器技术,将一幅光栅图像的 512×512 或更多个像素用几十个以至几百个处理器并行计算,从而收到明显的效果。

(4) 探讨自然景象的模拟方法。几何模型只能够构造景物的外形,而真实感图像则可进一步反映景物表面的色彩和纹理细节,体现山峦的粗糙岩面,重现云、火、水等飘忽不定的景色。这里采用纹理映射、分维技术、粒子系统等方法取得了很大的成功。

(5) 科学计算可视化。其主要研究内容是将科学计算中大量的难于理解的数据通过

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,压力场、磁场的分布,各种复杂的运动学、动力学和流体力学问题的图形仿真等。

1.1.3 计算机图形学的应用

相对于数据,图形的优越之处在于其直观性。如前所述,计算机图形学已被广泛地应用于工业、商业、教育、娱乐等许多不同的领域。下面简要说明某些典型的应用实例。

(1) 计算机辅助设计、制造(CAD/CAM)。这是计算机图形学在工业应用的最重要领域。在发达国家中,交互图形工作站在机械、电子、建筑等行业中已完全取代了绘图板加丁字尺的传统设计方法,担负起了繁重的日常出图任务以及总体方案的优化和细节设计工作。在我国,CAD的应用水平与发达国家相比还有较大的差距。

(2) 地形地貌和自然资源图。计算机图形学在这一方面有着广泛的应用。可以根据有关的数据来绘制地理图、地形图、矿藏及钻井勘探图、海洋地理图、气象图等值线图及人口密度图等等。

(3) 作战指挥和军事训练。计算机图形学在现代化战争中占有重要的地位。过去单纯依靠电话和地图指挥作战的方式已经发展成为利用计算机网络和图形显示设备直接传输战场形势的变化和下达作战部署。此外,计算机图形系统在各军种的战役和战术对抗训练中也正在发挥巨大的作用。

(4) 计算机动画与模拟。由计算机产生的动画片已日益普及,它可以表现真实对象或被模拟对象随时间变化的行为和动作。计算机动画技术已被广泛地应用于制作电视节目、商业广告等领域。此外,它也被用于飞行员和汽车驾驶员的训练方面,通过计算机产生的动画模拟了周围环境的变化,来训练驾驶员对各种情况的应变能力。

(5) 人体造型。用计算机构造人体模型,有着非常广阔的应用前景。人机工程中需要考察人和机器以及周围环境的关系。工业设计中要使生活用具的造型适应人的生理、心理特征。服装设计中要将人体作为效果分析的对象。舞蹈工作者希望能有方便的编写舞谱和形象地表达舞蹈动作细节的工具等等。

(6) 过程控制。这类应用使用户可以真正控制他所处的环境。例如,可将一些传感器安装在炼油厂、发电厂或系统的一定部位,利用它们获得有关客观状态的信息。计算机可以把这些信息以图形的方式显示出来,用户根据图形提供的信息可以做出判断并采取适当的行动。

1.1.4 计算机图形软件标准化

随着计算机图形学应用领域的不断扩大,各种图形软件日益增多,图形设备也是形形色色。如果没有一个统一的标准,对应用软件的开发和移植均将造成困难。从70年代起,国际上开发了很多通用的图形软件,它们的共同特点是将软件的核心部分与计算机的操作系统及显示终端分开。这样做可以使图形软件包在不同的计算机和图形设备之间进行移植。如果能将图形软件包的使用方法标准化,则应用软件的移植会更加方便。

为此,国际信息处理协会IFIP在1974年8月召开5.2组工作会议,讨论图形软件包的国际标准问题。很多国家都希望能将自己的软件变成国际标准,例如英国建议用GINO-F,

挪威提出用GPGS, 美国则用很大精力开发了Core系统。经过反复讨论、修改, 德国的 GKS (Graphics Kernel System) 于1982年被采纳为国际标准草案。一开始, GKS只有二维功能, 现在又增加了三维功能。稍后, 美国又提出了带有三维层次结构的PHIGS系统, 也被采纳为国际标准。

此外, 应用软件开发环境的通用化和标准化也是当前的研究热点之一。图形显示是人与计算机对话的最有效的手段, 而计算机技术又在生产领域中不断深入地扩大应用范围, 从单纯的绘图和个别环节的分析计算正在发展成为计算机集成生产系统, 简称CIMS。这是将产品设计、制造及生产管理有机地联成一体规模巨大的系统工程, 它体现了信息时代利用计算机技术改造整个工业的宏伟设想。在这样的背景下来考虑交互图形显示技术, 就不仅仅是GKS一项软件包, 而要涉及更广泛的应用软件开发环境的通用化和标准化问题。目前正在开展的工作有用户界面管理系统 UIMS (User Interface Management System)、窗口管理系统、网络文件格式等。

§ 1.2 计算机绘图的硬件系统

计算机绘图硬件系统的基本配置如图1-1所示。它包括五个主要部分: 计算机、显示处理器、显示器、输入设备(键盘、图形输入板、鼠标、数字化仪等)和硬拷贝设备(绘图机、打印机等)。

输入设备用于图形或图形数据的输入; 计算机对图形的数据进行处理。下面将对显示处理器、显示器、绘图机及打印机作简要的介绍。

1.2.1 显示处理器

显示处理器(DPU)是专用于显示图形的处理器, 是一种具有专门用途的 CPU, 当它

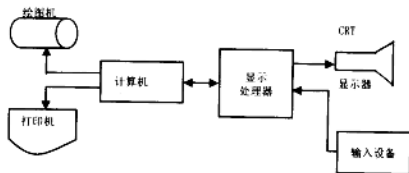


图1-1 计算机绘图的硬件配制

执行一系列显示命令时, 在CRT显示器上就出现了该显示命令序列所描述的图形。显示命令序列又称为显示文件或显示程序, 由用户针对工作需要调用图形程序包产生, 它是由DPU执行的一系列显示指令组成的。不同的图形显示器都拥有自己的DPU, 而不同的DPU所拥有

的显示指令组的功能、规模、编码格式都不尽相同，因此，由显示指令组成的显示文件是与设备有关的程序。

1.2.2 显示器

显示器是最终产生图形显示效果的部件，绝大多数计算机图形系统使用的是某种类型的阴极射线管CRT（Cathode Ray Tube）显示器。

CRT显示器可分为刷新式和存贮式两大类。

在执行显示文件的指令时，由DPU控制CRT的电子束在荧光屏上扫描产生图形。而电子束在扫描时，轰击荧光屏内侧的磷粉涂层使磷粉发光，但光亮只能维持很短暂的时间。根据人眼的生理特征，每秒钟重复显示30次至60次，就感觉不到画面的闪烁。因此，要想观察到一幅稳定的画面，只有反复用电子束扫描产生图形，即显示文件每秒钟要被DPU重复执行30次或更多的次数，这就叫做刷新。

因此刷新要反复使用显示文件，为减轻CPU的负担，一般在显示处理器中都设置有缓冲存储器存放显示命令及数据，这种存储器又称为刷新存储器，它的刷新功能也是由显示处理器完成的。采用刷新式显示器可迅速改变画面中的内容。通过计算机改变显示文件中的某些显示指令，在下一个刷新周期执行后就得到修改的画面。因此刷新式CRT是实现交互计算机图形显示及动画显示的重要设备。

存贮式CRT本身具有内在的存贮部件。一般是用一个很密集的金属网装在荧光屏内距磷粉涂层很近的地方，它可以较长时间地存贮电子束第一次扫描时留下的电子图像（称为靶象），依靠靶象来维持荧光屏显示的画面。因此，存贮式显示器的DPU比较简单，既不需要刷新控制，又不需要刷新存储器。

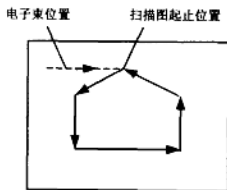


图1-2 随机扫描图形示意图

刷新式 CRT又可分为随机扫描和光栅扫描两大类。

在随机扫描的CRT中，电子束像一支快速移动的画笔，实际勾画出要显示的图形，电子束根据需要可在荧光屏面任意方向上连续扫描，没有固定扫描线和规定扫描顺序的限制，故称随机扫描。但它扫描的图形只能是单线条图形，如图1-2所示，因此随机扫描又称为矢量扫描或轨迹扫描。随机扫描显示器又称为画线显示器。

光栅扫描的CRT中，电子束依照固定的扫描线和规定的扫描顺序，自上而下，从左到

右扫描。电子束先从荧光屏左上角开始，向右扫一条水平线，然后迅速地回扫到左边偏下一点的位置，再扫第二条水平线，即完成了整个屏幕的扫描。这个扫描过程所产生的图像称为一帧，然后电子束迅速回扫到左上角，开始下一帧的扫描。电子束在做回扫时不发光，如图1-3中虚线所示。一般每秒钟要完成50帧或60帧扫描，每帧由固定数目的水平线（称为行）组成。屏幕上呈现出由固定数目的行亮线组成的光栅，如图1-3所示，图中箭头表示电子束扫描方向。

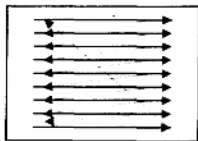


图1-3 光栅扫描示意图

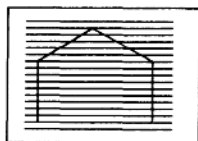


图1-4 光栅扫描显示图形示意图

对光栅扫描来说，电子束扫描到应该显示图形的位置点时，采用与背景不同的亮度，这样就可衬托出要显示的图形，如图1-4所示。

当电子束扫到屏幕上每一点时，若其能量不同，则产生的明暗程度也不同。利用这一方法，光栅扫描可以表现具有多级明暗度（灰度）的自然画面，这种自然画面常称为图像。由于这种扫描方式和电视类似，故光栅扫描又称为电视扫描。

如果组成光栅的行越多，每行能容纳的独立点（称像素）越多，图像的质量就越高。图形系统的光栅扫描显示器一般采用256到1280行，每行可容纳的像素数从300到1024不等。高分辨率显示器可达2048行，每行2048个点甚至更高。显示器的分辨率通常用屏幕上的扫描行数和每一行上的点数来衡量。

1.2.3 绘图机

绘图机是绘图系统的主要输出设备，它在计算机的控制下自动完成绘图工作。

自动绘图机的类型很多，按结构形式可分为滚筒式和平板式。

1 滚筒式绘图机

滚筒式绘图机的主要特征是用两只步进电机分别带动绘图纸和绘图笔运动。绘图纸卷在一个滚筒上，由步进电机带动，产生了X方向的正、反向运动。而绘图笔在笔架上位于滚筒的上方，由另一只步进电机带动沿垂直于图纸运动的方向（Y方向）往返运动。控制两只步进电机协调动作就能产生所需要的绘图轨迹，如图1-5所示。

笔架上可带几种颜色的笔。这种绘图机结构简单，价格便宜，但精度不高，而且所绘的图形卷在滚筒上面，绘图过程不易看清。

滚筒式绘图机可与计算机联机工作，也可以脱机方式工作。脱机方式是利用计算机将计算好的绘图信息记入磁带，再通过磁带阅读器把信息读出去控制滚筒式绘图机自动绘图。脱机绘图时可不占用计算机的时间。

2 平板式绘图机

平板式绘图机的特点是绘图台面为一块固定平板，从200mm×300mm到1680mm×2400mm不等，目前有长达10多米的大型平板绘图机。平板一般成水平位置，也有设计成倾斜方式的。机械传动的平板式绘图机在X、Y方向上分别用一只步进电机作为动力，而用钢丝绳或齿轮和齿条进行传动。可动部分具有一个横梁作X方向的往返运动，还有在横梁上的滑动笔架，可在另一只步进电机的控制下做Y方向的往返运动，如图1-6所示。

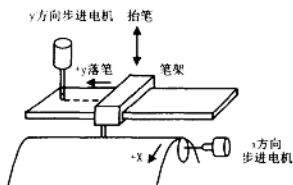


图1-5 滚筒式绘图机样图

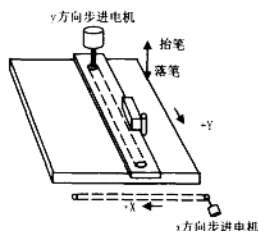


图1-6 步进电机平板式绘图机

先进的平板式绘图机采用平面电动机作为驱动装置，这种绘图机被称为高速平板式绘图机。该装置绘图台有两块平板，上面的平板称为滑动导轨，即电机定子部分，下面的平板称为绘图台板。在滑动导轨和绘图台板之间装有平面电机的动子部分，画笔就装在电机动子部分的下部，画笔之下即是绘图台板。电机的动子以磁力吸附在滑动导轨下面，利用压缩空气在距滑动导轨10 μ m的空中悬浮着（这种结构称为空气轴承）。当动子的电机上通以不同方向的断续的交流电，并轮流使动子部分移相器的两个电磁铁工作时，动子即带动画笔在定子平面下作任意方向的移动。由于平面电机本身可以作任意方向的平动，因此不必像其他绘图机那样要把电机的旋转运动变为直线运动。而且运动时动子和定子之间是不接触的，动子的质量又很轻，所以可产生较高的加速度。有的高速平板式绘图机的最大速度可达120m/min，加速度为4g，采用这种绘图机可使绘图速度大大提高。由于绘图笔架直接装在动子上，省去了机械传动机构，因此可以减少由于机械传动造成的误差和长期工作造成的磨损，从而延长了使用寿命。这种绘图机一般以真空吸附或静电吸附的方式将绘图纸固定在绘图台板上，因此对绘图纸没有特殊要求。

1.2.4 打印机

作为计算机的输出设备，打印机担负着打印文字、数据、图形和图像的任务。打印机的种类很多，按其工作方式可分为击打式和非击打式两大类。

1 针式打印机

针式打印机是击打式打印机，也称点阵式打印机。它是由打印头、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打印钢针和相同数目的驱动电磁铁，每个电磁铁都可以驱动对应的钢针向前撞击。按钢针的数目来分，有9针式、16针式、24针式打印机。打印时，微处理器把要打印的字符代码（ASCII码）传给打印机，并驱动打印头中相应的电磁铁，使其带动钢针撞击色带而在纸上留下迹印，从而完成字符和图形的打印。显然钢针越多，打印质量越高。

针式打印机的优点是结构简单、体积小、重量轻、价格低廉。此外，它操作维护方便，对纸张的适应性好，消耗低，适合于大量拷贝。其突出的缺点是噪音太大，这对要求环境安静的工作场所是很不利的。

2 激光打印机

激光打印机是利用电子扫描技术，把数据转换为电信号，再用激光束在感光鼓上扫描，通过控制激光束的开与关，来控制感光鼓的吸附碳粉或不吸附碳粉。感光鼓在纸上滚动，从而在纸上印出字符和图形。激光打印机的输出质量高、速度快、噪音低。特别是由于采用了分辨率增强技术，可对打印出的文本和图像轮廓进行平滑处理，再加上微细碳粉技术，可以使打印出的文字和图像异常精美，可直接作为印刷制版的原稿。激光打印机的分辨率可达300~600dpi（每英寸内的点数）。

3 喷墨打印机

这种打印机是把墨水通过浸在喷头上的喷嘴以极高的频率喷射到介质上，形成文字和图形。喷墨打印机的速度高、质量好、噪音低，分辨率可达300dpi，已接近激光打印机的水平。

§ 1.3 基本图形元素的生成算法

基本图形元素是指构成图形的基本元素，如点、直线、圆弧等。尽管一般计算机语言中均有相应的函数来生成这些基本图形元素，了解这些元素的生成算法仍是必要的。

点在几何学上是无限小的，只有位置而没有大小。而在计算机图形学中，点是有大小的，它的大小是一个像素。像素是最小的屏幕显示单位，其大小取决于显示器的尺寸和分辨率。所谓在某个位置置点，意思是用某种灰度或颜色把该点的像素“点亮”。屏幕上点的位置是用坐标（ x, y ）来表示的。

由于屏幕上的像素点是纵横方向排列的小矩形，因此在屏幕上由这些像素点所构成的直线或圆弧都是由许许多多水平或垂直的小线段所构成的。这也就是在分辨率不太高的显示器上，圆弧或倾斜直线看上去呈锯齿状的原因。

生成直线或圆弧的算法有多种，以下简要介绍其中常见的三种。

1.3.1 生成直线的DDA法

DDA (Digital Differential Analyzer) 法是根据直线的微分方程来画直线的。设直

线的起点坐标为 (x_s, y_s) ，终点坐标为 (x_e, y_e) ，令 $\Delta x = x_e - x_s$ ， $\Delta y = y_e - y_s$ ，则要绘的直线的微分方程是：

$$\frac{dx}{dt} = \Delta x, \quad \frac{dy}{dt} = \Delta y \quad (1-1)$$

$$\text{令: } \Delta t = (|\Delta x|, |\Delta y|) \quad (1-2)$$

取时间步长为 $1/\Delta t$ ，则可得到上述微分方程数值解的递推公式为

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x / \Delta t, \quad y_{i+1} = y_i + \Delta y / \Delta t \quad (1-3)$$

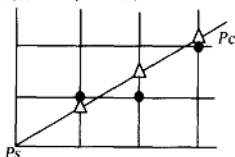


图1-7 DDA法生成直线

用这一递推公式可求得图1-7中直线 $P_s P_e$ 上三角形表示的点，但显示时要用象素（图1-7中的网络结点）来表示，这就需要用舍入的方法来找到最靠近三角形表示点的象素，用这些象素（图1-7中的圆表示的点）来表示直线。

1.3.2 生成直线的Bresenham算法

在生成直线的算法中，Bresenham算法是最有效的算法之一。令 $m = \Delta y / \Delta x$ ，以 $0 \leq m \leq 1$ 的情况为例来说明Bresenham算法。

要生成的直线上的点满足微分方程

$$\frac{dy}{dx} = m \quad (1-4)$$

此方程可用欧拉折线法求出精确解。取 x_i 为象素所在点的横坐标，由公式

$$y_{i+1} = y_i + m(x_{i+1} - x_i) \quad (1-5)$$

和直线的起点坐标 (x_s, y_s) ，便可求得直线上的点 (x_i, y_i) 。因屏幕上相邻两列象素的 x 坐标相差1，则有

$$x_{i+1} - x_i = 1 \quad (1-6)$$

将其代入前式中，则可得到

$$y_{i+1} = y_i + m \quad (1-7)$$

由于 m 不一定是整数，由此式求出的 y_{i+1} 也不一定是整数，因此要用最靠近 y_i 的整数 y_{ir} 来代替 y_i ，也就是说要用象素 (x_i, y_{ir}) 来表示直线上的点 (x_i, y_i) 。为了提高效率，Bresenham算法避免采用函数调用的方法来找到整数 y_{ir} 。

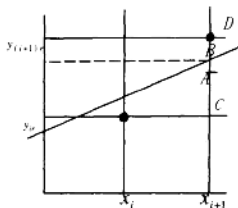


图1-8 $\varepsilon(x)$ 的几何意义

设图1-8中 x_i 列上已用 (x_i, y_{ir}) 表示直线上的点,又设直线上一点B的坐标为 (x_{i+1}, y_{i+1}) ,显然下一个表示直线的象素点 $(x_{i+1}, y_{(i+1)r})$ 只能是图中的C或D点中的一个。设A为CD边的中点,若B点在A点上面则应取D点作为 $(x_{i+1}, y_{(i+1)r})$,否则应取C点。为了确定B点在A点的上面或下面,令

$$\varepsilon(x_{i+1}) = y_{i+1} - y_{ir} - 0.5 \quad (1-8)$$

若 $\varepsilon(x_{i+1}) < 0$,则B在A的下面;若 $\varepsilon(x_{i+1}) > 0$,则B在A的上面。因此有

$$\begin{aligned} y_{(i+1)r} &= y_{ir} + 1 & \varepsilon(x_{i+1}) &\geq 0 \\ y_{(i+1)r} &= y_{ir} & \varepsilon(x_{i+1}) &< 0 \end{aligned} \quad (1-9)$$

这是一个求 $y_{(i+1)r}$ 的递推公式。综合以上两式,可以得到求 $\varepsilon(x_{i+2})$ 的递推公式为

$$\begin{aligned} \varepsilon(x_{i+2}) &= y_{i+2} - y_{(i+1)r} - 0.5 \\ &= y_{i+1} + m - y_{(i+1)r} - 0.5 \\ &= \begin{cases} y_{i+1} - y_{ir} - 0.5 + m - 1 & \varepsilon(x_{i+1}) \geq 0 \\ y_{i+1} - y_{ir} - 0.5 + m & \varepsilon(x_{i+1}) < 0 \end{cases} \\ &= \begin{cases} \varepsilon(x_{i+1}) + m - 1 & \varepsilon(x_{i+1}) \geq 0 \\ \varepsilon(x_{i+1}) + m & \varepsilon(x_{i+1}) < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1-10)$$

1.3.3 绘圆弧的正负法

设要显示的圆的圆心在 (x_c, y_c) ,半径为R。令