

目 录

译者的话	i	3-4 三维旋转	37
序	ii	3-5 三维反射	40
前言	iii	3-6 三维平移	41
第一章 计算机绘图技术引言	1	3-7 绕任意轴的三维旋转	42
1-1 计算机图学概述	2	3-8 一般旋转矩阵的各元素	42
1-2 待显示图形的表示	2	3-9 仿射和透视几何	45
1-3 准备要显示的图形	2	3-10 轴测投影	46
1-4 显示已准备好的图形	3	3-11 透视变换	52
1-5 与图形交互作用	5	3-12 产生透视图的方法	57
1-6 一些典型绘图设备的描述	7	3-13 无穷远点	61
1-7 绘图设备的分类	11	3-14 三维信息的重建	62
参考文献	16	3-15 体视投影	67
参考文献	16	参考文献	70
第二章 点和直线	17	第四章 平面曲线	71
2-1 引言	17	4-1 引言	71
2-2 点的表示法	17	4-2 非参数曲线	71
2-3 变换和矩阵	17	4-3 参数曲线	73
2-4 点的变换	17	4-4 圆锥截线的非参数表示	74
2-5 直线的变换	19	4-5 非参数圆弧	77
2-6 中点的变换	20	4-6 圆锥截线的参数表示	81
2-7 平行线	21	4-7 圆的参数表示	81
2-8 相交直线	22	4-8 椭圆的参数表示	82
2-9 旋转	22	4-9 抛物线的参数表示	84
2-10 反射	23	4-10 双曲线的参数表示	86
2-11 变比	24	4-11 圆锥截线的一个应用过程	88
2-12 组合运算	24	4-12 圆弧插值	89
2-13 一个单位正方形的变换	25	参考文献	90
2-14 任意的 2×2 旋转矩阵	26	第五章 空间曲线	92
2-15 二维平移和齐次坐标	27	5-1 引言	92
2-16 无穷远点	30	5-2 空间曲线的表示	92
2-17 绕一任意轴的二维旋转	32	5-3 三次样条	94
参考文献	34	5-4 标准化的参数	98
第三章 三维变换与投影	35	5-5 边界条件	99
3-1 引言	35	5-6 抛物线调配	106
3-2 三维变比	36	5-7 贝塞尔(Bezier)曲线	110
3-3 三维错移	37		

5-3 B 样条曲线	115
参考文献	124
第六章 曲面的描述及其形成	125
6-1 引言	125
6-2 球面	125
6-3 平面	129
6-4 曲面的表示	131
6-5 双线性曲面	132
6-6 放样曲面或直纹曲面	133
6-7 线性孔斯(Coons) 曲面	134
6-8 双三次曲面块	136
6-9 F 曲面块	141
6-10 贝塞尔(Bezier) 曲面	141
6-11 B 样条曲面	145
6-12 一般孔斯曲面	145
6-13 结论	150
参考文献	150
附录 A 计算机绘图软件	152
A-1 计算机绘图的基本数据单元	152
A-2 计算机绘图元素	154
A-3 规范空间	156
附录 B 矩阵运算	157
B-1 术语	157
B-2 加法和减法	157
B-3 乘法	158
B-4 方阵的行列式	158
B-5 方阵的逆阵	159
附录 C 计算机算法	159
C-1 二维平移算法	159

C-2 二维变比算法	160
C-3 二维反射算法	161
C-4 一般二维旋转算法	161
C-5 三维变比算法	162
C-6 绕 x 轴的三维旋转算法	163
C-7 绕 y 轴的三维旋转算法	164
C-8 绕 z 轴的三维旋转算法	165
C-9 三维反射算法	166
C-10 三维平移算法	167
C-11 绕空间任意轴的三维旋转算法	168
C-12 轴测投影算法	169
C-13 二测投影算法	170
C-14 等测投影算法	170
C-15 透视变换算法	171
C-16 重建三维数组算法	172
C-17 体视算法	175
C-18 非参数圆算法	177
C-19 参数圆算法	178
C-20 参数椭圆算法	179
C-21 参数抛物线算法	180
C-22 参数双曲线算法	180
C-23 三点定圆算法	181
C-24 三次样条算法	184
C-25 抛物线调配算法	189
C-26 贝塞尔曲线算法	191
C-27 B 样条曲线算法	192
C-28 双线性曲面块算法	194
C-29 线性孔斯曲面算法	195
C-30 双三次曲面块算法	196
C-31 贝塞尔曲面算法	198

第一章 计算机绘图技术引言

计算机绘图是一门较新的技术。因此,有必要弄清现行的术语。在这个领域里,许多术语和定义使用得很不严密。特别是计算机辅助设计(CAD),交互性绘图(IG),计算机绘图(CG),计算机辅助制造(CAM)等经常混用,或者在某种意义上,对精确的意义存在着惊人的混乱。这些术语中,计算机辅助设计是最常用的。计算机辅助设计(CAD)可定义为:使用计算机来辅助进行任何一种单个零件、分系统或全系统的设计。这种使用并不包括绘图。设计过程可以是总体设计阶段或零件设计阶段。这也可以包括设计与机助制造(CAM)的接口。

计算机辅助制造是除设计过程之外,使用计算机辅助制造或生产一个零件。它包括机助设计结果的应用和零件所需程序编制之间的直接接口[编制程序用APT(自动数控程序)和UNIAPT(联合自动数控程序)等作语言],也包括对工具机的操纵,这种操纵是使用硬线或软线(小型计算机)控制器,从穿孔纸带上读取数据并发出必要的指令去控制工具机,或包括使用小型计算机直接控制工具机。

计算机绘图是用计算机来定义、存储、操纵、询问和提供图形输出。这实质上是被动的操作。计算机把存储的信息以图形的方式准备好并显示给观察者。观察者不能直接控制所显示的图形。其应用可以是简单的,例如用高速宽行打印机或分时电传打字机终端来表示简单函数的图形;也可以是复杂的,如模拟一个航天器的自动返回与着陆。

交互性绘图也同样用计算机来准备和显示图形资料。然而,在交互性绘图中,观察者能影响已显示的图形。就是说,观察者同图形的对话是实时的。为了理解实时限制的重要性,设想以适当的旋转速度(例如 $15^\circ/\text{秒}$)旋转一个由 1000 根线所组成的复杂的三维图形的问题。正如我们随后将要看到的那样,图形的 1000 根线最便于用一个 1000×4 的线端点齐次坐标矩阵来表示,而旋转则最便于用一个 4×4 的变换矩阵乘以该 1000×4 的矩阵来完成。为完成所要求的矩阵乘法,需要乘 16000 次,加 12000 次,除 1000 次。如果这个矩阵乘法用软件来完成,时间是重要的。为了明白这一点,让我们看一台使用硬件浮点处理机的典型的小型计算机,它进行两数相乘需用 6 微秒,两数相加用 4 微秒,两数相除用 8 微秒。这样一来,上述的矩阵乘法需用 0.15 秒。

由于允许有动态运动的计算机显示器要求图形在每秒钟内至少重画(更新)30 次,才能避免闪烁,因而,很显然,上述速度不能使图形平稳的变化。即使我们假定图形在每秒钟内只重算(修正)15 次,即每度重算一次,也仍然不可能用软件完成平稳的旋转。因此,这已不再是交互性绘图了。为了重新得到交互性表示图形的能力,可做几件事情。巧妙地编制程序,可以减少完成所需矩阵乘法的时间。不过,有一个限度,图形的复杂性可以减少。这样一来,最后显示出的图形可能不合要求。最后,矩阵乘法可用专门的数字式硬件矩阵乘法器来完成。这是最有希望的途

径,它可以容易地处理上面提到过的问题。

掌握了这些术语之后,这一章的其余部分将介绍计算机绘图的概念,并对现有的图形显示类型进行讨论和分类。在计算机绘图的基本画法、设备控制和数据处理方面,发展软件系统所必须考虑的问题见附录B。

1-1 计算机图学概述

如上所述,计算机图学是一门十分复杂而多样化的学科。它涉及多种研究领域,诸如在计算机绘图系统中所用到的元件的电子设计和机械设计;为使用计算机绘图系统的观察者准备和显示图形所使用的显示表格和树形结构的概念。有关交互性计算机绘图方面的讨论刊载于 Newman 和 Sproul 的书(参考资料 1-1)。这里仅试图介绍那些对使用者有意义的课题。从这个观点出发,计算机绘图可划分为以下范围:

待显示图形的表示;

准备要显示的图形;

显示已准备好的图形;

与图形相互作用。

这里使用的“图形”一词是广义的。即指被显示在绘图设备上的线、点、正文的任何集合。一个图形可以象单线条或曲线那样简单,也可以是按比例绘制和带注释的图形,或者象对飞机、船舶和汽车等复杂图形的描绘。

1-2 待显示图形的表示

计算机绘图中所表示的图形基本上可看作是线、点和正文资料等的集合。线可以用其端点的坐标 (x_1, y_1, z_1) 和 (x_2, y_2, z_2) 来表示;点用一组三坐标 (x_1, y_1, z_1) 表示;而正文资料则由线、点的集合来表示。

到目前为止,正文资料的表示是极其复杂的,它往往包括曲线或点阵。然而,由于几乎所有的绘图设备内,都装有软件字符发生器的“硬件”,所以,如果使用者不涉及模式识别、绘图硬件的设计或特殊字符组,则他们可不必关心这些细节。通常用短的直线段近似地表示曲线。但有时也用硬件曲线发生器来完成。

1-3 准备要显示的图形

图形归根到底是由点所组成的。这些点的坐标,通常在用来显示图形之前,贮存于外存储器(阵列)中。这个外存储器(阵列)称为数据库。很复杂的图形要求有很复杂的数据库,而这个数据库的存取又要求一个复杂的程序。这些复杂的数据库可以包括环形结构,树形结构等等,而数

据库本身可以包含点、子结构和其他非绘图数据。设计这些数据库和存取程序是一个正在进行研究的题目，这显然超出本书的范围。其实，很多应用计算机绘制的图包含有颇为简单的图形，对于这些图形，使用者可以不用费力就能想出便于存取的简单数据库结构。

点是绘图数据库的基本结构单元。把点作为绘图的几何实体来处理，有三种基本的方法或指令：把射线束、笔、滑标、绘图头(以后统称滑标)移到该点；画一条线到该点；或在该点的位置上标一个点。确定一个点的位置，基本上有两种方法：采用绝对或相对(增量)坐标。在相对或增量坐标中，一个点的位置由给出该点对于前一个点的位移来确定。

不论用一个点的绝对坐标或相对坐标去表示该点的位置，都需要一个数。如果使用有限字长的计算机时，这就会带来困难。通常用计算机的全字长来表示坐标的位置。计算机的全字长所能表示的最大整数是 $2^{n-1}-1$ ，其中 n 是字的比特(bit)数。由于计算机图形显示器常采用 16 比特的小型计算机，它能表示的最大整数是 32767，在很多应用中这个数都是适用的。然而，当需要表示的整数大于计算机所能表示的数时，就会碰到困难。为了克服这个困难，起先，我们可以设想使用相对坐标来表示一个数，比如 60000，亦即用绝对坐标表示法把滑标置于(30000, 30000)的位置，然后用相对坐标(30000, 30000)把射线束置于最后要求的那个点(60000, 60000)的位置上。然而，这是行不通的。因为，试图把相对位置积累起来以便超出所能表示的最大值，结果将产生一个符号相反或数值错误的数。对于阴极射线管(CRT)显示器，通常将会产生“卷边”现象。

摆脱这两种困境的方法是使用齐次坐标。使用齐次坐标会增加一些新的复杂性，有时速度差一些，有时分辨力差一些。但是，它能够使用有限字长的计算机来表示大的整数。由于这个理由以及后面还要提到的其他理由，在本书中将广泛使用齐次坐标表示法。

在齐次坐标中，一个 n 维空间用 $n+1$ 维来表示。即表示一个点的位置的三维数据 (x, y, z) 用四个坐标 (hx, hy, hz, h) 来表示，其中 h 是一个任意数。

如果 16 位计算机所表示的每一个坐标位置都小于 32767，则可使 h 等于 1，这就直接地表示坐标的位置。而当某一个欧几里德或普通坐标比 32767 大时，例如 $x=60000$ ，则齐次坐标的作用就很明显了。在这种情况下，可令 $h=\frac{1}{2}$ ，于是点的坐标定为 $(30000, \frac{1}{2}y, \frac{1}{2}z, \frac{1}{2})$ ，全是 16 位计算机能接受的数。但是，由于 $x=60000$ 和 $x=59999$ 两者都用同一个齐次坐标表示，因而分辨力有损失。事实上即使只有一个坐标超过了一个特定计算机所能表示的最大数，则所有坐标的分辨力都有损失。

1-4 显示已准备好的图形

掌握了有关数据库的这些解说以后，还必须注意，准备要显示的图形所用的数据库和表示图形所用的显示文件几乎是全然不相同的。数据库表示整个图形，而显示文件只表示图形的某些部分、景象或场面。显示文件由数据库经过变换而产生。在数据库中的图形，可以在显示之前改变大小、旋转、平移或去掉一部分图形，或者从一个特定的点去观察以获得所需的透视。诸如旋

139

转、平移、变比和透视等许多操作，都可用包括矩阵乘法在内的简单线性变换来完成。以后我们将看到，齐次坐标对完成这些变换是十分方便的。

在第二、第三章中将要详述，对于用齐次坐标矩阵表示的一些点，都能够用 4×4 矩阵完成上述任何一种单独的变换。当需要进行一系列变换时，可以把每一个单独的变换依次加给这些点，以获得预期的结果。但是，如果点的数目很大，这样做是效率低和费时的。另一种更好的方法是，把表示每一种所需变换的单独矩阵相乘在一起，然后用乘得的 4×4 变换矩阵去乘点的矩阵。这种矩阵运算称为组合。当在数据点集上进行复合矩阵运算时，它能收到节省大量时间的效果。

虽然在许多绘图应用中，全部数据库都要显示出来，但有时却只需要显示数据库的某些部分。这种只显示全部图形数据库的一个部分的过程称为开“窗口”。“开窗”并不是容易的，特别是当图形数据库作了上述变换时更为困难。用软件执行开“窗口”操作，一般是很浪费时间的，因而不可能进行动态实时交互性绘图。再者，在高级的绘图设备中，是用硬件来完成这种功能的。开“窗口”一般有两种类型，即修边和剪裁。修边包括确定图形中的哪些线条或线条的哪些部分是位于“窗口”之外的。于是这些线条或线条的一部分便被抛弃，不用显示出来，也就是它们不通往显示设备。在剪裁技术中，显示设备有一个大于所需的实际画图空间。即使在“窗口”外面的那些线条或线段都被画出，但是只有那些在指定“窗口”之内的线条或线段才是可见的。用硬件完成修边，通常比剪裁有更多的优点，例如，修边可得到一个比剪裁大得多的有效画图面积。在剪裁中，那些在“窗口”里看不见的线条或线段也被画出。这当然需要时间，因为线条发生器必须花时间画出数据库的全部（无论可见或不可见），而不是象修边那样，只画出数据库的一部分。

在二维空间中，一个“窗口”是由一个长方形的上、下、左、右边界的数值确定。如果长方形的边平行于坐标轴，那么修边是最容易的。但如果不是这样，“窗口”的旋转可将数据库作反方向旋转来补偿。二维的修边示于图 1-1。线条的保留、删除或部分删除，取决于它们是全部在“窗口”内还是在“窗口”外，或者是部分在“窗口”内还是在“窗口”外。在三维空间中，一个“窗口”由想象的截头锥构成，如图 1-2 所示。在图 1-2 中，近处边界面是 N，远处边界面是 F，而侧面是 SL、SR、ST 和 SB。

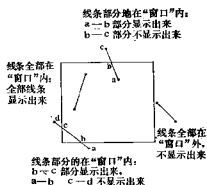


图 1-1 二维的“窗口”（修边）

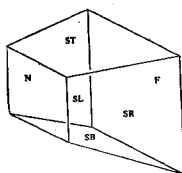


图 1-2 想象的三维截头锥“窗口”

作为图形显示过程的最后一步,必需把图形数据库中所用的坐标(称为使用者坐标)变换成显示设备中所用的坐标(称为显示坐标)。特别需要把通过开“窗口”处理的坐标数据变换成显示坐标,使图形出现在显示器上所指定的区域,即观察孔之内。如果是二维的,观察孔由已给定的上、下、左、右边确定,如果是三维的,还要加上近处和远处边界面才能确定。在最一般的情况下,变换为指定的三维观察孔内的显示坐标,需要一个从想象的镜头(“窗口”)到六面观察孔之间的线性映射变换。

对大多数图形的一个附加要求,就是字母数字或字符数据的表示。产生字符的方法通常有两种——软件和硬件。如果字符在软件中用线条产生出来,那么处理它们的方法和其它任何图形元素一样。事实上,如果要对它们进行修边,然后随着其它图形元素一起变换,则处理方法必须如此。然而,许多绘图设备都有某种硬件字符发生器。一旦使用了硬件字符发生器,实际的字符恰好在绘出之前产生出来。至此,它们都只作为字符码处理。硬件字符发生器灵活性小,因为它不允许进行修边或无限的变换,例如,一般只能是有限度的旋转和作有限的大小变化,但它却提供有意义的效率。

当使用硬件字符发生器时,操纵绘图设备的程序必须首先确定大小、方位以及字符或正文行列开始的位置。然后把表示这些特征的字符码加到显示文件上去。在进行的过程中,字符发生器解释正文行列,在硬件上找出写字符时所必须的线条,并在显示设备上画出字符。

1-5 与图形交互作用

与图形交互作用需要某种类型的交互性设备去和正在运行的程序联系。实际上就是使程序中断,以便能够提供新的或其他信息。已有许多设备被用来完成这项任务。最简单的当然是象电传打字机上所使用的字母数字键盘。复杂一些的设备则包括光笔、操纵杆、跟踪球、鼠标器、功能开关、控制盘和模拟输入板。我们将简单地逐一介绍这些设备。

简单的字母数字键盘如图 1-3 所示,它是很用的交互作用设备,能方便地把正确的字母、数字或控制信息提供给程序。但它不能进行高速率的交互作用,特别是当使用者不是一个熟练的打字员时,更为明显。



图 1-3 字母数字键盘

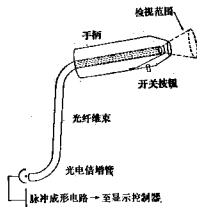


图 1-4 光笔示意图

人们最熟悉的交互作用设备大概要算光笔。光笔包括一个光敏电池和相应的电路。当把光笔放置在阴极射线管的线段或其他光亮部分之上并开动它的时候,光笔的位置即被感知,并向计算机发出一次中断。典型光笔的略图见图1-4。图1-5表示一枝光笔正在用于挑选清单。



图1-5 光笔用于挑选清单

操纵杆、鼠形器和跟踪球的动作原理均相同。移动控制件,可把二维的位置信息传送到计算机。所有这些设备实质上都是模拟的。具体地说,控制件的移动改变一个灵敏电位器的调节位置。所得到的信号是用一个模拟数字(A/D)变换器,把它从模拟(电压)转换成数字信号。然后,这些数字信号再被计算机解释成位置信息。操纵杆如图1-6所示。操纵杆、鼠形器、跟踪球和其他类似的设备均有特定的用途,然而它们都不宜用来提供非常精确的位置信息。

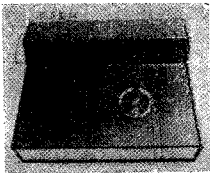


图1-6 操纵杆

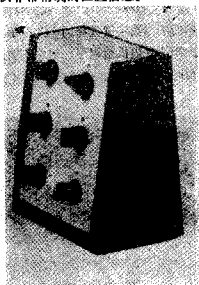


图1-7 控制盘

控制盘如图 1-7 所示,它实质上是灵敏的旋转电位器及其相应的电路,因而,其转盘的位置可以用模拟-数字转换技术读出。它们对频繁的旋转、平移或硬件、软件系统的可调性能是特别有用的。

功能开关如图 1-8 所示,它们可以是触发开关或按钮开关,这些开关的位置可由绘图程序决定。一般还装有指示灯,以指示某个开关或某些开关正在工作。

模拟输入板是把位置信息传递给计算机的最方便和最准确的装置。如运用得当,模拟输入板能执行光笔、操纵杆、跟踪球、鼠形器、功能开关和控制盘所具有的全部功能。同输入板相连接的一支笔,它可以在板上移动,笔的位置以及笔是否贴近板的表面均可被感知。位置信息的精确度采用 ± 0.01 英寸,这对于很多模拟输入板是典型的。而精确度采用 ± 0.001 英寸的输入板是实用的。典型的模拟输入板如图 1-9 所示。笔的位置和它在图形显示区域内的对应位置,用滑标(一个小的可见符号)的方式相联系。滑标在图形显示区上的运动和笔在模拟输入板上的运动是一致的。模拟输入板和光笔相比有两个明显的优点。那就是当用模拟输入板执行标点功能时,指示值发生在数据库内,而不是在显示文件中。于是,程序被简化了。此外,用模拟输入板进行画图、速描或标点时,板是处于水平位置上的,这比起用光笔在垂直取向上去执行同样的操作要自然得多。

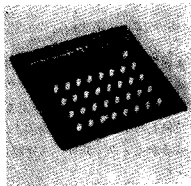


图 1-8 功能开关

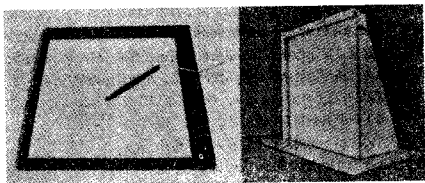


图 1-9 模拟输入板

模拟输入板可采用各种电磁原理在硬件中来实现。其中一些电磁原理在参考资料 1-1 中所详述。除特殊情况外,使用者不必涉及到严密的操作原理。

1-6 一些典型绘图设备的描述

实用的绘图设备种类很多,在此远不能一一介绍。因此,仅考虑介绍一些有代表性的实用设备。特别是将着重介绍三种不同类型的阴极射线管图示设备(存储管、更新和光栅扫描);墨水笔绘图机;点模绘图机。其它设备及其详述见参考资料 1-1。

三种类型的阴极射线管(CRT)设备是:直视存储管显示器,更新显示器和光栅扫描显示器。直视存储管显示器又称双稳态存储管显示器,可认为它类似于长余辉磷光示波器。存储管显示器如图1-9所示。它上面的线条或字符,在未用一个专门的电信号将其消去之前,将一直保持可见(达一小时)。消去的过程约需 $\frac{1}{2}$ 秒。存储管显示器有几个优点和缺点。一部分优点是:显示

时无闪烁;显示器分辨率好(在约 8×8 平方英寸中有 1024×1024 个可寻址光栅点),并且价格低廉。再则,可以比较容易和比较快地取得图样的合用硬副本。从概念上说,它们与更新或光栅扫描显示器相比,在编制程序上要稍容易些,也更适合于分时的应用。其主要的缺点是:不能对荧光屏上的图象作有选择的消去,就是说,想改变图中任何元素时,都必须重画全图。因此,不可能显示动态运动。此外,上述特性还会造成使用者与显示器之间的交互作用比用更新显示器稍慢一些。

更新阴极射线管图形显示器以一个类似于电视机的阴极射线管为基础。然而,产生图象的方法却完全不同。电视机用光栅扫描技术(见下文)产生所需的图形,而传统的更新阴极射线管图形显示器属于书写式或画线式。更新阴极射线管图形显示器除了阴极射线管本身之外,还需要两个组成部分,即显示缓冲器和显示控制器。为了理解更新显示器的优点和局限性,必须从概念上弄清这些设备的作用。

由于在更新显示器的阴极射线管中所使用的磷光消失很快,即余辉时间短,因此,必须在一秒钟内多次的对整个图形进行重画或重建。这称为更新速度。更新速度太低将产生闪烁现象。这与电影放映机转得太慢时所产生的效果相似。为了得到无闪烁的显示,更新速度至少为每秒30次。推荐的更新速度为每秒40次。显示缓冲器的作用是将阴极射线管上画图时所需的全部指令按顺序地存储起来。显示控制器的作用是按更新速度存取(周期地)这些指令。很明显,更新显示器的局限性是:图形的复杂性受显示缓冲器的大小和显示控制器的速度所限制。但是,图象的余辉时间短却有利于表示动态运动。特别是采用双缓冲时,图形可在每次更新时修改一次,或者说,可在每下一个更新周期修改一次。另外,由于画一幅完整图形所需的每一元素及指令都存入显示缓冲器中,故任何个别元素均可被改变、删去,或增加另一个新的元素,这就实现了有选择性地消除的特性。更新阴极射线管图示设备的另一缺点是比较难于获得图形的硬副本。尽管更新阴极射线管图形显示器一般比存储管显示器贵,但由于它具有上述特点,当需要作实时动态运动,或需要与显示器进行非常迅速的交互作用时,仍需选用更新阴极射线管图形显示器。

阴极射线管光栅扫描图形显示器用标准电视监视器作显示控制台。在光栅扫描显示器上的图形由一连串的点组成。这些点用对偶光栅扫描技术描出,即一系列水平线。用

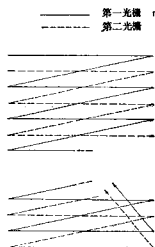


图1-10 光栅扫描技术

如图 1-10 所示的两个光栅可减弱闪烁。用于驱动显示控制台的基本电信号为模拟信号。模拟信号的调节表示改变组成图形的各点的强度。使用光栅扫描显示控制台时，必须先把线条及字符信息转换为适合光栅显示的形式。这一过程叫做扫描转换。信息一经转换之后，必须存储起来，以便能以合理的方式存取。随着数据存储技术的改进，上述要求更易于实现。光栅扫描阴极射线管图形显示器的优缺点与画线式显示器相似。此外，它们的速度通常要稍慢一些，实现选择性消

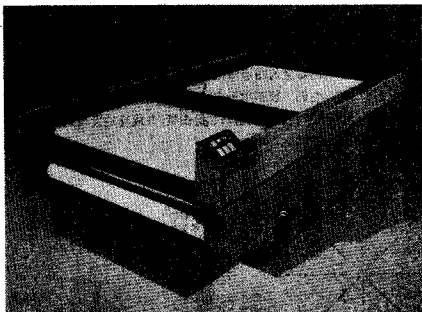


图 1-11 平台式绘图机

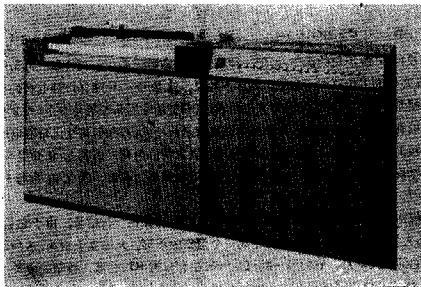


图 1-12 滚筒式绘图机

除更为困难,但可以与闭路电视系统直接接合。

数字增量墨水笔绘图机有两种常见的类型,即平台式和滚筒式。图 1-11 所示为平台式绘图机。图 1-12 所示为滚筒式绘图机。大多数平台式和滚筒式绘图机都以增量方式工作,这就是说,绘图工具(不一定是笔)以一系列小的步长在绘图表面上移动。典型的步长为 0.001 到 0.01 英寸。绘图工具可移动的方向经常限制为八个方向,如图 1-13 所示。这结果使得一条曲线看来象一系列小台阶。平台式绘图机的台面一般是固定的。书写头在台面上有两个移动方向。滚筒式绘图机则采用稍有不同的技术去得到两个方向的移动。这里,画线工具在纸面的横向上作往复移动;而纵向移动,则是通过往复转动画线工具下面的图纸而获得。

数字增量绘图机能提供高质量的图形输出的硬副本。这种设备与阴极射线管图示设备相比,它们的速度相当慢。因此,它们一般不用于实时交互性绘图。但在经常需要画大图的特殊应用中,平台式绘图机可作为一个联合数字输出器和绘图机,并成功地发展为交互性的计算机绘图系统(见参考资料 1-2)。

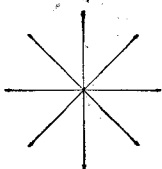


图 1-13 增量绘图机的方向

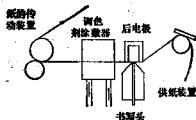


图 1-14 静电点模印字-绘图机的概念说明

静电点模印字-绘图机的操作,是把一种调色剂的微粒附着在一种特制纸的带静电的小面积上。图 1-14 是它的工作原理示意图。更详细地说,就是让一种能保持静电荷的有特殊涂层的纸在具有一排细小笔尖或针尖的书头上面通过(典型的书写头每英寸有 70 到 200 个针头),针头就会把静电荷附着到特种纸上。由于静电荷本身是看不见的,我们再把已带静电的纸在含有黑色调色剂微粒的液体上通过。调色剂的微粒就被吸到带静电的面积上,使静电荷成为可见。然后,纸张经干燥后提供给使用者。这种方法可以达到很高的速度,常见的为每分钟 500 行到 1000 行。

静电点模印字-绘图机是一种光栅扫描设备,即每次提供一行信息。由于它是光栅扫描设备,所以需要大量的计算机存储器才能完成一个完整的图形。从事实上看来,这种设备只能用于被动绘图是它的主要缺点。它的另一缺点是准确度和分辨率均较低,典型的分辨率为 ± 0.01 英寸。它的主要优点是绘图速度很高,并能得到极其可靠的记录。图 1-15 所示为一台静电点模印字-绘图机及其典型输出。

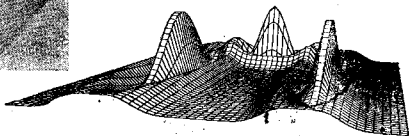
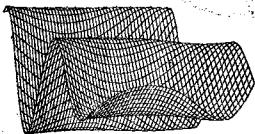
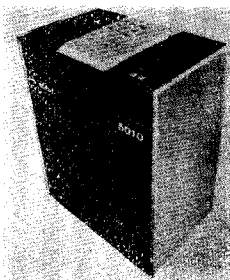


图 1-15 静电点模印字-绘图机及其典型输出

1-7 绘图设备的分类

计算机绘图设备有多种分类方法。每种方法对于有可能排列混淆的设备，均提出一些见解。我们将讨论几种不同的方法。

首先，我们来研究被动绘图设备和主动绘图设备之间的区别。被动绘图设备仅仅在计算机控制下画图，就是说，它允许计算机以图示方式与使用者联系。例如电传打字机、高速宽行打印机、静电点模打印机、墨水笔绘图机、存储式阴极射线管和更新式阴极射线管图形显示器。其中一些设备的实例以及它们所提供的典型图形见图 1-11①，1-12 和 1-15 至 1-20。把电传打字机和高速宽行打印机看作绘图设备，可能会使读者奇怪。其实，利用这些设备来画简单的图形或曲线已有多多年了。

主动绘图设备允许使用者以图示方式与计算机联系。通常是指使用者以某种间接方式提供坐标数据信息，而不用打字机打出相应数字。因图形、曲线或曲面可看作坐标数据的一个矩阵，因而使用者所提供的是真正的图示信息。通常，主动绘图设备具有给滑标重新定位并读出它的新位置的功能。典型的主动绘图设备包括简单的滑标按钮或指轮(见图 1-16)、数字读出器或模拟输入板(见图 1-9)、光笔(见图 1-4)、操作杆(见图 1-6)、跟踪球或鼠标器。虽然有时可单独使用数字读出器，但这些设备常需某种辅助被动绘图设备来辅助。这种辅助性的图示设备常以阴极射线管为基础。

译者注：①原书误为图 1-10。

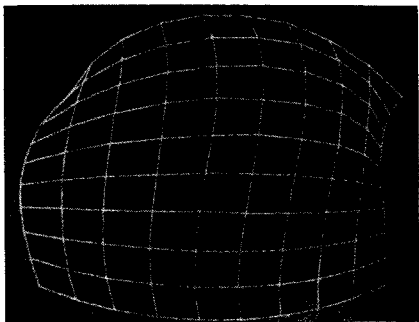
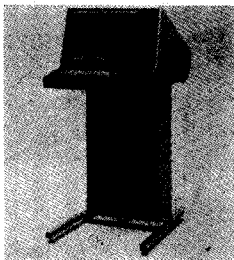


图 1-16 存储管阴极射线管绘图设备及其典型输出

绘图设备的另一种分类方法是按标点或画线(矢量)来区分。其根本区别在于是否可用硬件矢量发生器。硬件矢量发生器可用最少的数据画出线条。当然,这并不是说,标点绘图设备就不能用软件画出矢量。当然,矢量可以看成是由一连串的点所组成。这些点如果被挤得非常接近,反映在人们眼中便成为实线。所有的存储式阴极射线管图示设备,大部分更新式阴极射线管图示设备,以及所有的笔绘图机都是画线设备。另一些更新式阴极射线管图示设备,特别是光栅扫描设备(类似电视机)可看作标点绘图设备。电传打字机、高速宽行打印机和静电点模打印机也可归入标点设备。一个设备的效用常常要根据其分辨率来考虑。例如,电传打字机的水平分辨

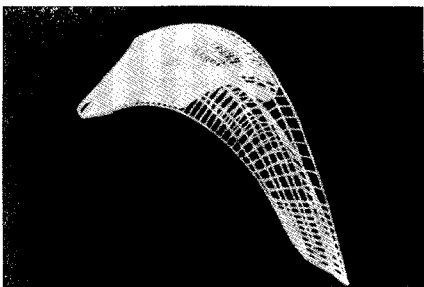
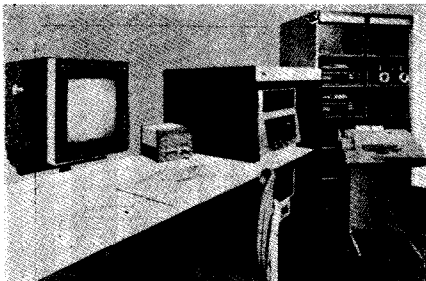


图 1-17 更新阴极射线管绘图设备及其典型输出

率为 $\pm \frac{1}{20}$ 英寸，垂直分辨率为 $\pm \frac{1}{12}$ 英寸，而静电点模设备可能具有 ± 0.01 英寸的分辨率。

绘图设备分类还有另一种方法，即要判别一个设备是否能接受确实的三维数据，抑或必先采用某种射影变换将三维数据转换为二维数据，并表现为二维数据的形式方能接受。这种方法实质上是要判定绘图设备到底有两个或者三个容纳坐标数据的寄存器。在三维设备的情况下，它的第三(或 z)坐标常用来控制阴极射线管的光束强度。这一特性称为强度调节或灰度标定，用来给图形提供深度幻觉。

每种分类往往会把某一特定的绘图设备列入不同的类别。然而，每种方法也的确对各种绘

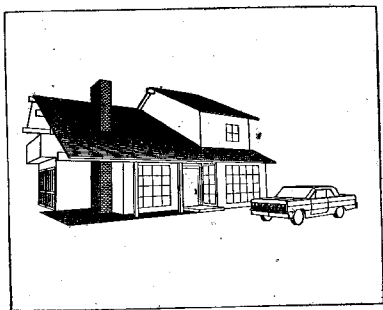


图 1-18 数字增量绘图机的典型输出

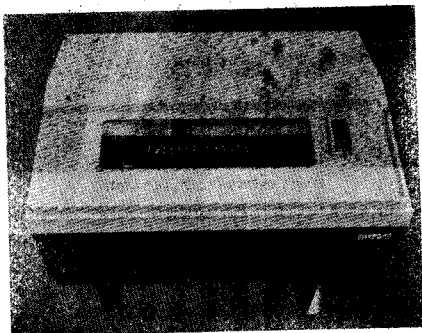


图 1-19 a

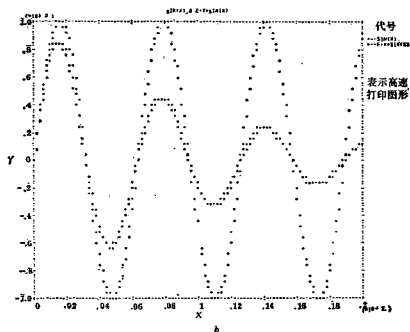


图 1-19 高速打印机及其典型图形输出

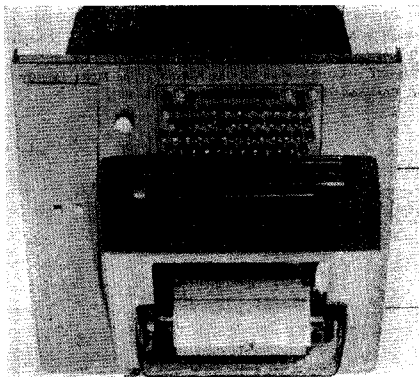


图 1-20 a