

计算机图形学习题集

—— 基本原理、习题及解答

龚世生 刘建宾 主编

吴相辉 审校



中山大学出版社

计算机图形学习题集

——基本原理、习题及解答

龚世生 刘建宾 主编
吴相辉 审校

中山大学出版社
·广州·

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学习题集——基本原理、习题及解答/龚世生,刘建宾 主编;吴相辉
校.—广州:中山大学出版社,1998.2

ISBN 7-306-01195-2

- I 计…
- II 龚…,刘…,吴…
- III 计算机-图形学-基本原理-习题及解答
- IV TP3

中山大学出版社出版发行
番禺市市桥印刷厂印
广东省新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 19.75印张 456千字
1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷
印数:0001—5000册 定价25.00元

前 言

80年代以来,计算机图形学得到了迅速的发展,计算机辅助设计,计算机动画,飞行模拟,科学可视化,多媒体计算机技术,……,都对图形学的发展起了巨大的推动作用,90年代的计算机离不开图形。因此计算机专业的学生都把图形学作为一门重要的课程来学习,各学校也把计算机图形学作为学生的主要选修课。但是图形学的学习离不开大量的练习和实践,并且需要在计算机上实际操作画图,对此,我们想编写一本计算机图形学的习题集。

计算机专业的学生必须通过做练习和上机画图才能真正理解计算机图形学的内容。我们参考了国内外计算机图形学书籍和有关的作业练习题,编写了这本计算机图形学习题集,供高校计算机有关专业师生和自学者参考。

本书共十四章,覆盖了计算机图形学的基本内容,为了方便复习、练习和查阅解答,我们又将每章组织成基本原理、习题和习题解答三个部分。第一至二章介绍计算机图形系统的技术原理,第三章为光栅操作和点阵显示的原理,第四章是二维图形学的数学基础,第五章是三维图形学的几何原理,第六至十章的内容是显示和处理二维与三维几何形体和图形的变换和算法,其中第九章讲平行和透视投影,第十一章是建立复杂的二维和三维模型和曲面的一个较广泛的讨论,第十二章通过消除隐藏面的办法实现真实感图形成像,第十三章讨论图形学的应用,最后第十四章介绍了 GKS 的基本知识。这本书的成书希望能对读者学习计算机图形学有所帮助,这是编者的最大愿望。

本书由汕头大学龚世生和刘建宾主编,沈孝龙编写第一至二章和第十二章的基本原理部分,梁健编写第三章,龚世生编写第四至五章,刘建宾编写第六至十章,蔡和熙编写第十一章和第十二章的部分习题,吉杰编写第十三至十四章和第十二章的部分习题,然后由刘建宾检查并统一全书各章节内容,吴相辉、龚世生最后审定。本书的初排工作由刘建宾完成。本书要感谢其他研究生的合作。

本书编写仓促,作者水平有限,错误在所难免,敬请读者批评指正,不胜感谢。

编 者

1996年4月于汕头大学

内 容 提 要

本书是为了配合计算机图形学课程的学习而编写的一本习题集,共有约 500 个习题。全书 14 章,每章由图形学基本原理、习题和习题解答三个部分组成。基本原理部分给出计算机图形学基础知识的概括和总结,习题部分基本上覆盖了教学内容的各个方面,习题解答部分给出全部习题的详细解答过程和答案。全书内容包括图形学的数学基础、显示器和光栅原理、各种图形变换和算法、隐藏面线的消除、投影、透视,光照以及应用等,是一本计算机图形学的辅助教材。

本书内容丰富,使用方便,不仅可以作为计算机有关专业本专科学生的配套教材,还可以作为各类工程技术人员学习和掌握计算机图形学知识的自学参考书。

目 录

第一章 图形的输入,存储和通信	(1)
1.1 图形输入设备	(1)
1.2 图形存储设备	(10)
1.3 通信设备	(13)
1.4 处理设备	(15)
习题 1	(18)
习题 1 解答	(22)
第二章 显示设备	(30)
2.1 引言	(30)
2.2 普通的显示设备	(30)
2.3 光栅扫描 CRT	(30)
2.4 其他输出设备	(40)
习题 2	(44)
习题 2 解答	(47)
第三章 扫描转换	(55)
3.1 引言	(55)
3.2 点的扫描转换	(56)
3.3 直线的扫描转换	(56)
3.4 圆的扫描转换	(57)
3.5 椭圆的扫描转换	(60)
3.6 弧和扇形的扫描转换	(62)
3.7 矩形的扫描转换	(63)
3.8 区域填充	(64)
3.9 位块传输(BITBLT) 与光栅图形	(67)
3.10 扫描转换的副作用	(68)
习题 3	(70)
习题 3 解答	(72)
第四章 二维几何的数学基础	(82)
4.1 引言	(82)
4.2 二维笛卡尔坐标系	(82)
4.3 极坐标系统	(83)
4.4 向量	(85)
4.5 矩阵	(85)
4.6 合成函数	(87)

	4.7 数制系统(二进制)	(88)
	习题 4	(89)
	习题 4 解答	(93)
第五章	三维图形学基础	(103)
	5.1 三维笛卡尔坐标	(103)
	5.2 三维曲线和曲面的表示	(103)
	5.3 三维向量	(105)
	5.4 齐次坐标	(107)
	5.5 三维几何造型	(109)
	习题 5	(113)
	习题 5 解答	(116)
第六章	二维图形变换	(124)
	6.1 引言	(124)
	6.2 几何变换	(124)
	6.3 坐标变换	(126)
	6.4 复合变换	(128)
	6.5 实例变换	(130)
	习题 6	(132)
	习题 6 解答	(135)
第七章	二维视图变换和裁剪	(145)
	7.1 引言	(145)
	7.2 视图变换	(145)
	7.3 裁剪和遮挡	(146)
	习题 7	(152)
	习题 7 解答	(155)
第八章	三维图形变换	(165)
	8.1 引言	(165)
	8.2 几何变换	(165)
	8.3 坐标变换	(167)
	8.4 复合变换和矩阵连接	(168)
	8.5 实例变换	(169)
	习题 8	(170)
	习题 8 解答	(172)
第九章	投影数学	(180)
	9.1 引言	(180)
	9.2 投影的分类	(180)
	9.3 透视投影	(181)
	9.4 平行投影	(183)
	习题 9	(186)

习题 9 解答	(189)
第十章 三维视图变换和裁剪	(205)
10.1 引言	(205)
10.2 三维视图	(205)
10.3 裁剪	(209)
10.4 视图变换	(212)
习题 10	(214)
习题 10 解答	(215)
第十一章 几何造型与模型	(228)
11.1 引言	(228)
11.2 简单几何造型	(228)
11.3 线框模型	(228)
11.4 曲面	(230)
11.5 曲线设计	(230)
11.6 基函数多项式	(231)
11.7 插值问题	(232)
11.8 逼近问题	(234)
11.9 曲面设计	(236)
11.10 曲线和曲面变换	(238)
11.11 二次曲面	(239)
习题 11	(242)
习题 11 解答	(243)
第十二章 隐藏面	(248)
12.1 引言	(248)
12.2 深度比较	(248)
12.3Z 缓冲区算法(深度缓冲区算法)	(250)
12.4 扫描线算法	(250)
12.5 画家算法 <i>排序</i>	(254)
12.6 区域采样算法	(257)
12.7 隐藏线的消除	(259)
12.8 光线跟踪	(259)
12.9 数学曲面的绘制	(260)
习题 12	(263)
习题 12 解答	(265)
第十三章 计算机图形学的应用	(277)
13.1 引言	(277)
13.2 人机工程学	(277)
13.3 信息的结构	(279)
13.4 应用的领域	(282)

习题 13	(288)
习题 13 解答	(289)
第十四章 计算机图形核心系统介绍	(295)
14.1 引言	(295)
14.2 图形元语	(295)
14.3 GKS 图元的属性	(296)
14.4 GKS 窗口和视区	(297)
14.5 GKS 裁剪	(299)
14.6 GKS 图形基元的构造	(299)
14.7 GKS 图段	(300)
14.8 GKS 图段的变换	(300)
14.9 GKS 输入	(301)
14.10 多用户	(301)
14.11 GKS 的实现	(301)
习题 14	(302)
习题 14 解答	(304)

第一章 图形的输入,存储和通信

1.1 图形输入设备

任何允许信息从计算机外部与计算机通信的设备都被认为是输入设备。因为数字式计算机的中央处理器只能接受离散的二进制数据,所以所有的输入设备和电路最终都以这种方式与计算机通信。许多设备都可以完成这种工作。一些常用的计算机图形输入设备是:

键盘	叶片控制器
跟踪球	光笔
游戏杆	磁式记事簿
鼠标	数字化照相机

模拟装置与数字设备

输入设备有两种类型,模拟和数字。本节提供一个简要的概论并说明一些常用的模拟设备和数字设备是如何工作的。

人感知的世界是连续的,而数字设备感知的世界则是由离散的片断组成的一个离散的世界。例如,我们能观察到由数字式温度计显示的温度在由 73°C 变到 74°C 是在瞬间的事情,但我们知道实际的温度不可能突然从 73°C 变成 74°C 。进一步来看,如果空气持续变暖,某个时刻温度在 73°C 和 74°C 之间且更接近 74°C ,如果我们使用的是一个精度只能测出每 10 度变化的数字式温度计且温度计工作正常,则实际的温度不会被感知。相反,它会给出一比较接近的近似值。

图 1-1(a)和 1-1(b)举例说明了用连续[图 1-1(a)]和离散[图 1-1(b)]的设备所显示的温度之间的不同。注意,温度实际上是持续变化时,离散设备只能记录 1 度或者 1 度以上的增加的变化量。能记录连续变化的设备是模拟设备,只能感知离散变化的设备是离散设备。

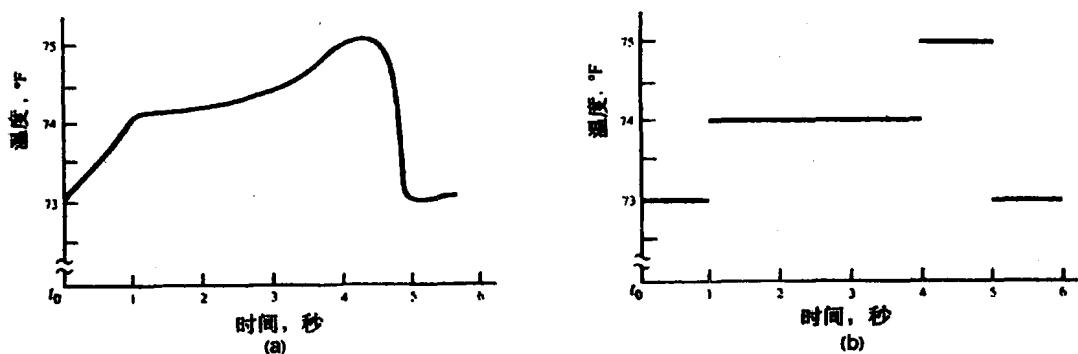


图 1-1

时间也被认为是连续的。(可是,物理实验已经开始向这个概念挑战了。)所以,要想得到高精度,一个数字设备对环境的“快照”必须足够快。当一台计算机通过一输入设备得到对环境的“快照”,那就是说选通了设备。例如,表 1-1 显示了从后第 3.5s 时的温度的读数(用图 1-1(a)中所示的温度,该温度计的精度为 1 度),选通设备的频率范围从每 0.5s 一次到每 5s 一次(从开始计时)。

表 1-1 选通频率对精度的影响

选通频率	从 t_0 开始的 3.5s 后观察到的温度
0.5	75
1.0	75
2.0	74
3.0	74
4.0	73
5.0	73

模拟到数字的转换

因为计算机是一种离散数字式设备,而计算机外的大部分数据是连续的,所以数据必须转换成计算机能使用的形式。连续模拟数据到离散数字数据的转换叫模拟-数字转换,或简写成 A/D 转换。

计算机图形程序员必须掌握一些 A/D 转换的知识,因为许多图形输入设备是模拟设备,A/D 转换在表现高度精确的时候能影响收集的数据的精度。典型地,A/D 转换或者由组成计算机输入电路的硬件设备完成,或者由与计算机输入电路有直接接口的固件完成。许多不同的电路能完成 A/D 转换。但不管怎样,所有的 A/D 转换必须经过图 1-2(a)到 1-2(e)所显示的步骤:检测,转换,放大,滤波(condition),量化。图 1-2(a)显示由模拟温度计记录下来的温度。图 1-2(b)中,这些数据已经被转换成电信号,温度的变化反映在电压或电流的变化中。这时的信号太弱,A/D 转换器不能处理它,所以信号要被放大[图 1-2(c)],然后,放大的信号要通过滤波以除掉电子干扰,干扰的来源很多,例如日光灯[图 1-2(d)]。最后,放大的模拟信号经过量化后被传入计算机[图 1-2(e)]。

A/D 转换器每次选通的频率和持续时间在很大程度上影响着最终记录的准确性。因此,图形程序员必须确保数据处理和 A/D 转换器相协调。

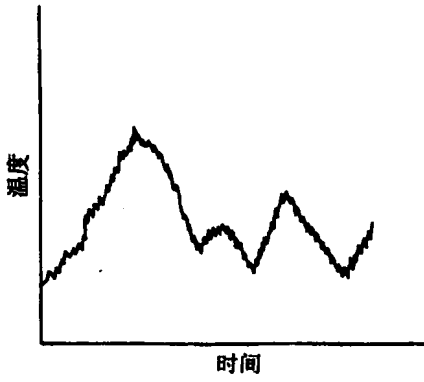
量 化

量化是把一个模拟的输入信号分解成一串离散输出的过程,每个输出的振幅恒定不变。图形程序员通常关心量化的如下三个方面:

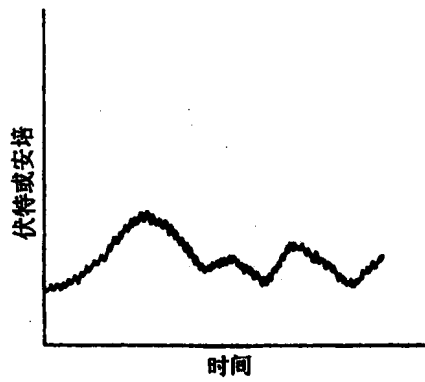
1. 采样率——每秒采样的次数;2. 缝隙时间——采样率的倒数,即每次采样花的时间;3. 编码误差(也叫振幅不确定性)——滤波信号 $y = f(t)$ 和量化信号之间的差异(看图 1-3)。这种差异可以用如下公式测量:

$$\int_0^T F(t) dt - \sum_{i=0}^{N-1} F(i \cdot a) a \quad (1.1)$$

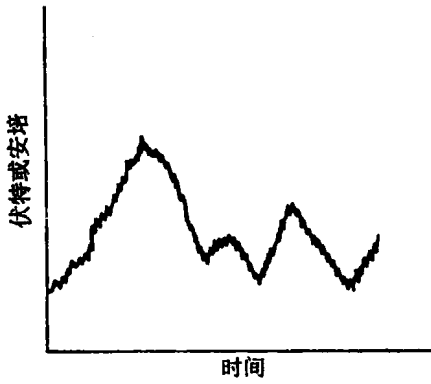
其中 T = 测量的时间, a = 缝隙时间 = $1/s$, $N = T/a$



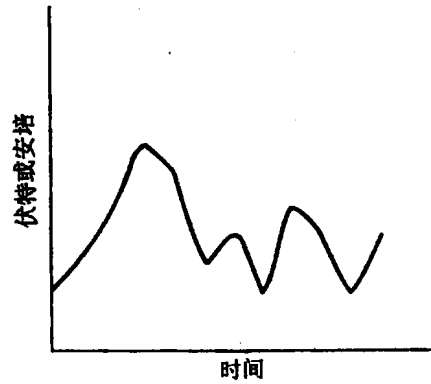
(a) 模拟信号



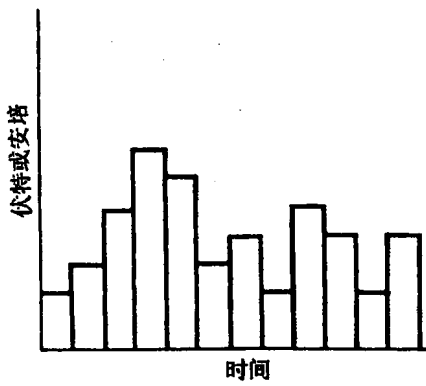
(b) 转换到电信号



(c) 放大信号



(d) 滤波信号



(e) 量化信号

图 1-2

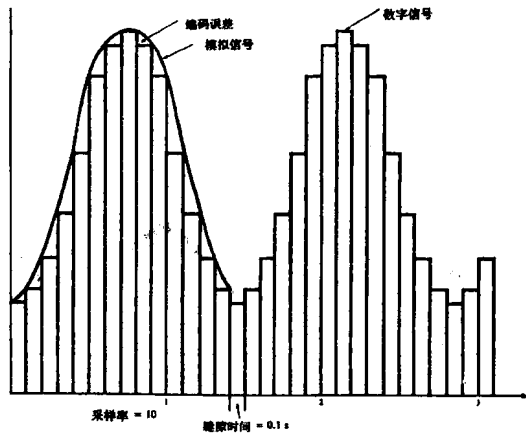


图 1-3

模拟输入设备

游戏杆,跟踪球,鼠标和叶片控制器都是把图形系统使用者的动作转换成电压变化的换能器。换能器是一种把能量从一种形式转化成另一种形式的设备。

叶片控制器[图 1-4(a)]是最简单的模拟输入设备。像所有的可变电阻一样,叶片控制器变化它自己的阻抗,由此改变与叶片控制器把柄移动相关的输入电路的电压。通常,图形系统里使用两个叶片控制器,一个控制 x 方向的移动,另一个控制 y 方向的移动。

跟踪球[图 1-4(b)]机械地把两个可变电阻结合在一个简单设备里,这样允许使用者通过一简单设备用一只手就能输入方向和方向的信息。跟踪球通常通过手掌滚动球来操作。

鼠标[图 1-4(c)]与跟踪球的设计非常相似。像跟踪球一样,鼠标也是把两个可变电阻结合在一个简单设备里。然而,鼠标通常以在桌面上滚动球来进行操作的。也存在数字式的鼠标,这种鼠标通过计算图形板或其它有亮线和暗线的表面上的亮线和暗线得到移动的数值,这样就可以不用可变电阻了。因为数字式鼠标没有移动部分,所以很少受到机械故障的影响。

游戏杆[图 1-4(d)]也是通过使用可变电阻来指定和方向的移动。使用者通过推按手柄引起移动。有两种方法设计游戏杆。第一种设计是由四个开关组成(一个用于正方向移动,一个用于负方向移动,一个用于正方向移动,一个用于负方向移动)。当使用这种设计时,游戏杆发送相关的移动信息。第二种设计是使用可变电阻,其原理与跟踪球和鼠标非常相似。

模拟转换器通常是通过变化电路中的阻抗把使用者的移动转化成电压值或电流值。阻抗的改变是通过输入设备中内置的可变电阻来完成的。

根据欧姆定律可知阻抗变化会改变电路的输出电压:

$$V = I * R \quad (1.2)$$

其中 V = 电压, I = 电流, R = 阻抗。电压的变化然后被传送给 A/D 转换器。在设计一个图形系统时确保 A/D 转换器电压值的接收范围与可变电阻相匹配是非常重要的。如果不这样做,其结果不是损坏 A/D 转换器就是导致收集到不正确的数据。

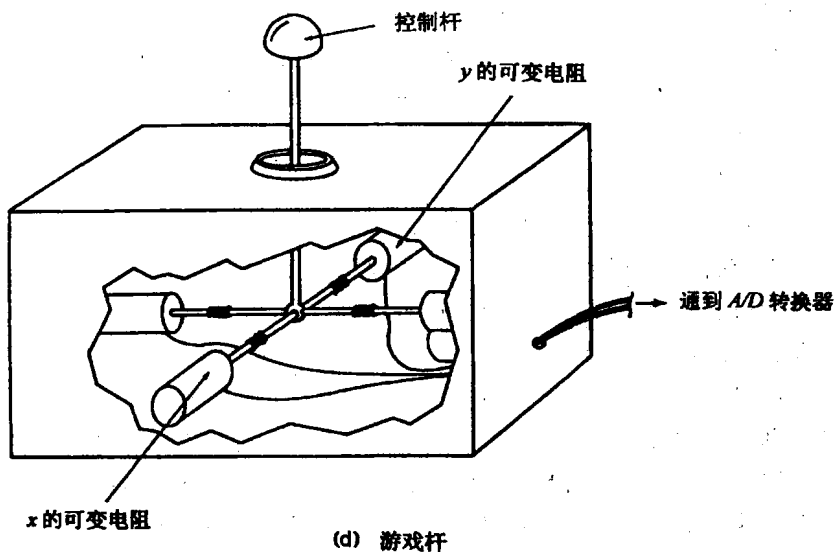
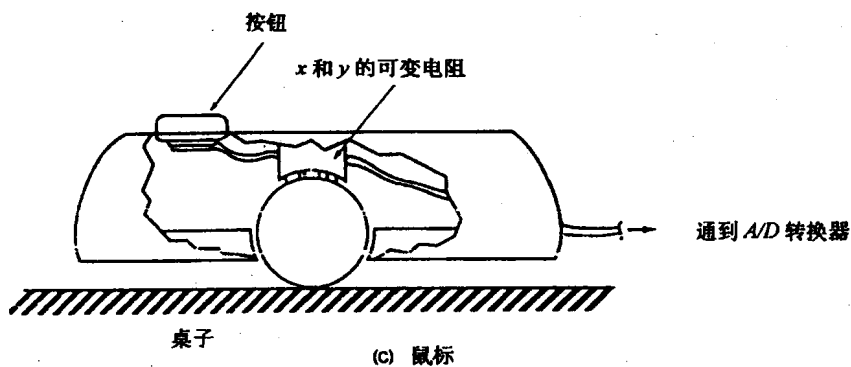
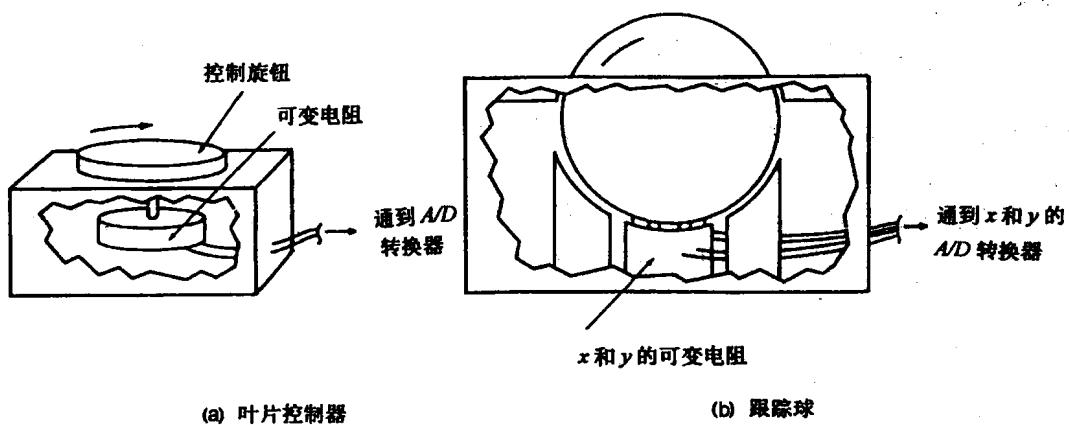


图 1-4

数字输入设备

数字输入设备实际上也是模拟设备,只是以离散的形式收集输入信息。每一种数字输入设备有它自己独特的操作方式。这里分析的数字输入设备有光笔,磁笔和磁板,触摸屏和键盘。光笔(图 1-5)被用作一种指示设备。典型地,使用者用光笔指示来完成一个操作,例如,在 CRT 上画一条直线或旋转一个物体。

虽然许多光笔系统里笔尖发出光,但使用者指向的位置不是由 CRT 里的光传感器感知的,相反,是光笔感知 CRT 发射的光。

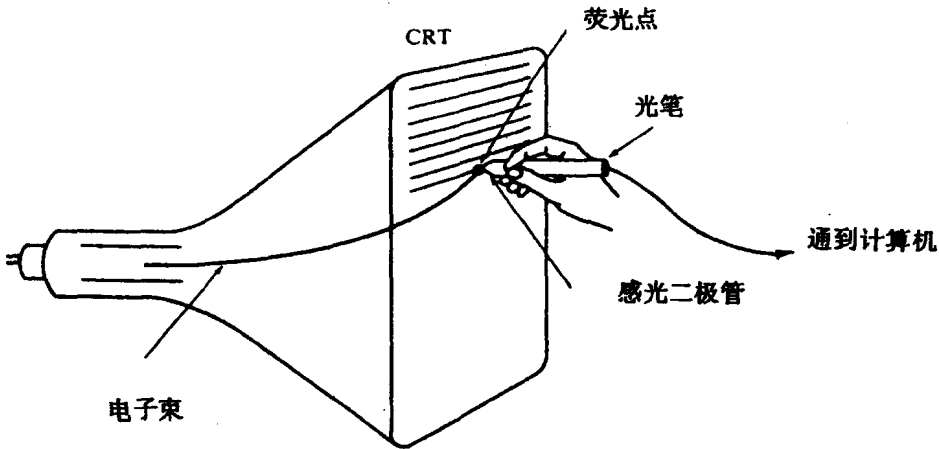


图 1-5

首先,保持跟踪每次 CRT 电子束刷新周期的开始。其次,测量出光笔收到光脉冲前的时间(即电子束刚通过的时候)。当使用的是非交替式显示器时,每次刷新周期的时间通常等于扫描线的频率[美国是 60Hz,其他地方是 50Hz]。

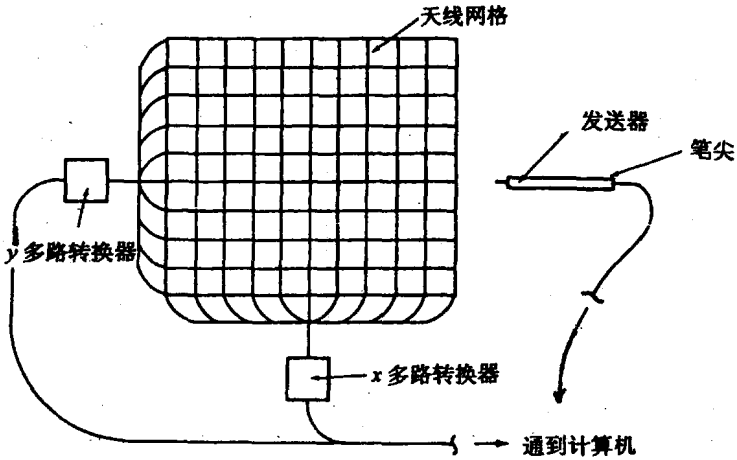
和第二章说的一样,计算机把输出到 CRT 上的像素“理解”成一条直线。因此,光笔收到光脉冲前刷新周期完成的百分率等于屏幕上被写上像素的百分率;这又等于显示内存被重写的百分率。然而因为过扫描的问题,确定使用者指向的定位变得相当复杂。当使用的是一台交替式 CRT,这个问题则更加难以解决。

计算机实际上不需要计算每次刷新周期的开始到一个脉冲被光笔接收之间的时间,因为计算机任何时候都在跟踪正被改写的那部分显示内存。所以,计算机通过保存当光笔收到一脉冲时被显示字节的地址就能轻松的确定使用者指向的位置(题 1.12)。

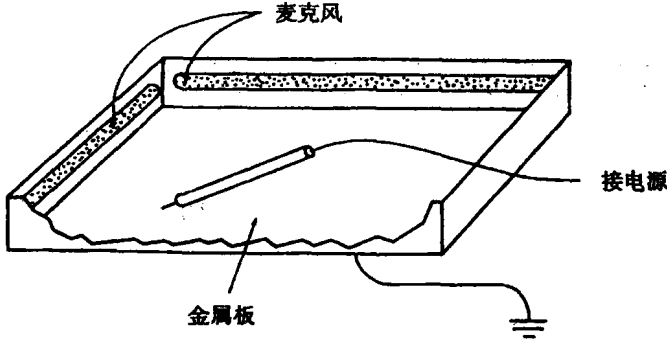
磁笔和磁图形输入板[图 1-6(a)]由一个二维的金属线网格和一个发射无线电波的笔尖组成。金属线网格是一个矩阵天线(antenna),通过计算网格里的每条金属线收到电波信号强度来确定笔尖的位置。比较网格里的每条金属线收到的电波信号的强度的电路并不复杂,通过这电路,你能计算出笔尖的位置,甚至笔尖的位置在两条金属线之间也如此。

声感图形输入板[图 1-6(b)]是在图形输入板的边缘周围放置一些裸露的麦克风组成的。当笔尖放置在接近图形输入板的地方时,笔尖会产生出一连串的小火花。声感图形输入板现已不流行了。它太吵了而且对周围的噪音太敏感,不管怎么说,这是不流行的原因。而电容式的图形输入板则非常流行。电容式图形输入板的操作方式与下面介绍的

触摸屏非常相似。



(a) 磁图形输入板



(b) 声感图形输入板

图 1-6

触摸屏有三种基本类型。第一种设计是在屏幕的表面上放置一个由金属线对组成的细网格。当使用者按压屏幕时,金属线对之间的电容被改变了,这指示了使用者的手指的位置[图 1-7(a)]。

第二种设计使用围绕一放置在屏幕上的玻璃或塑料板周围的一组应变仪,当使用者按压板的时候,板就变形了,由此可以计算使用者的手指的位置[图 1-7(b)]。

第三种是最流行的方法,它利用在显示器周围放置的一系列红外线发光二极管和传感器,当使用者按压屏幕时,光束被中断,由此可知道使用者手指的位置[图 1-7(c)]。

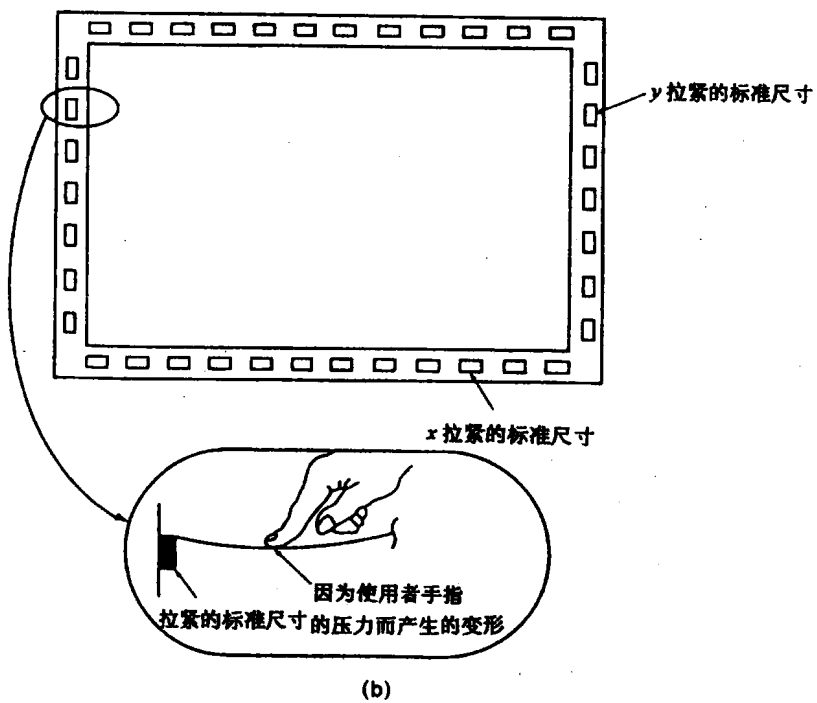
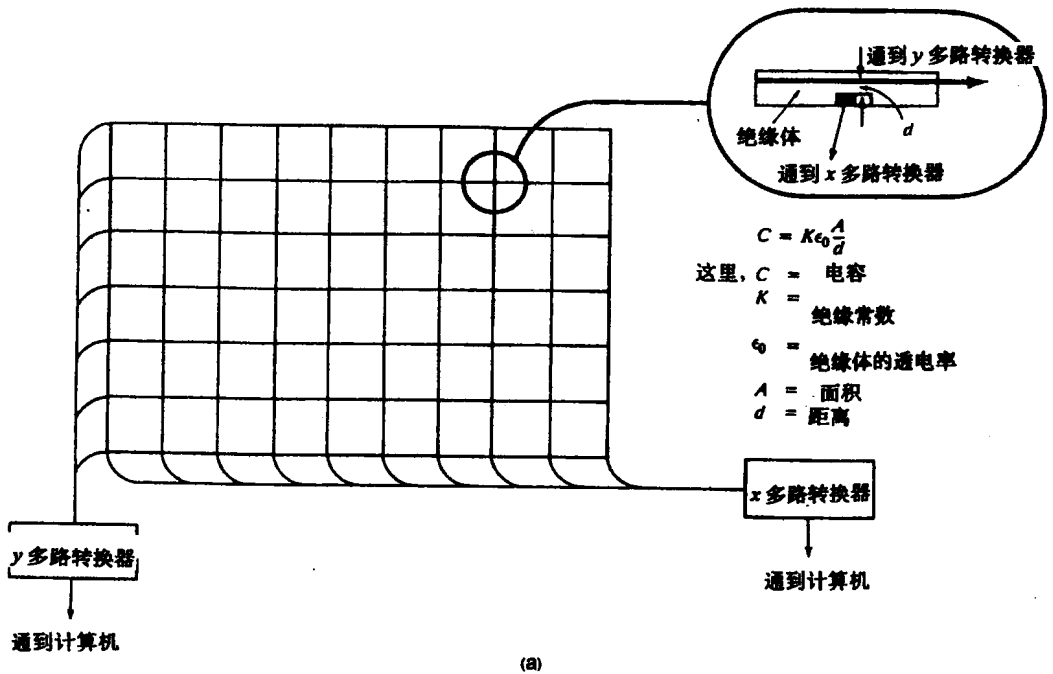


图 1-7