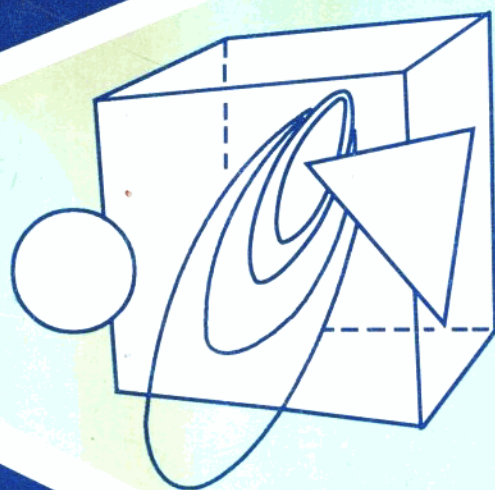


计算机图形学基础

黎自强 著



C 语言绘图系统



新疆科技卫生出版社(W)

计算机图形学基础与C语言绘图系统

黎自强 罗益宁 杨奇伟 编著



新疆科技卫生出版社

计算机图形学基础与 C 语言绘图系统

编著 黎自强

新疆科技卫生出版社(W)出版发行

(乌鲁木齐市龙泉街 66 号 邮编:830001)

新疆呼图壁八一印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 330 千字

1999 年 3 月第一版 1999 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5372-2014-X/Z·16 定价:19.80 元

前言

计算机图形学是研究用计算机处理图形、图像的原理、方法和技术的科学。已经有三十多年的发展历史，在机械、航空、汽车、建筑、地质、气象、电子、轻工及管理等部门得到了广泛的应用。可以说：如果没有计算机图形学，科技人员和工程技术人员就不能真正从手工设计绘图的繁琐、低效和复杂的工作中解脱出来。

众所周知：C语言是一种介于高级语言和汇编语言之间的语言，其具有简洁性、实用性、可移植性等许多优点，现在它被广泛运用于程序设计之中。要编出高质量的程序，就必须灵活地运用C语言。因此，当今的时代，使用这种集高级语言和汇编语言于一身的C语言已为软件编程者必备的技术手段。

原来的“计算机绘声绘图”所涉及的计算机都是很低级的APPLE-II型机，绘图所用的语言大多数都使用BASIC、FORTRAN语言。这对在当今时代要快速、高质量设计出各种图形软件，画出色彩丰富的立体图形是显然不相适应的，为此，作者用C语言编写了此书，通过学习这本书后，既可以掌握计算机图形学的知识，而且会对C语言的水平有很大的提高，甚至可以说能熟练掌握C语言的所有基础知识。

本书共分为八章，第一章：引论；第二章：TURBO C绘图系统；第三章：图形的矩阵变换方法；第四章：图形的数据结构；第五章：平面曲线的程序设计；第六章：裁剪；第七章：多边形填充；第八章：消隐。为使读者对本书的内容有很好的掌握，故在本书中对大部分算法都配有程序，并且有些程序可以用来直接开发软件。本书所有程序均在TURBO C 2.0版本通过。

本书既可以作为从事计算机绘声绘图的工作人员的参考书，也可以作为高等学校计算机系相关专业的教材。

全书由黎自强主编，第一章由杨奇为编著，第二章、第八章由罗益宁编著，第三章至第七章由黎自强编著，另外，对此书的定稿提出了许多宝贵意见的同志在此我们一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，加之时间仓促，书中谬误之处难免，恳请专家和读者批评指正。

作者

1999年10月

目 录

第一章 引论

§1 计算机图形学概述.....	1
§2 交互性计算机图形处理系统.....	3
§3 计算机图形学研究对象.....	14
思考与实践	14

第二章 TURBO C绘图系统

§1 图形方式的建立.....	15
§2 调色板及有关函数.....	17
§3 屏幕图形硬拷贝.....	26
§4 Turbo c与汇编语言的接口	28
思考与实践	33

第三章 图形变换的矩阵方法

§1 概论.....	35
§2 平面图形变换.....	35
§3 立体图形变换.....	49
思考与实践	81

第四章 图形数据结构

§1 图形数据结构概述	83
§2 线性表.....	84
§3 单向链表.....	90

§ 4 双向链表·····	99
§ 5 树形结构·····	108
§ 6 数据结构在计算机绘图中的应用举例·····	118
思考与实践 ·····	120

第五章 平面曲线的程序设计

§ 1 平面曲线的绘制·····	121
§ 2 平面多边形的绘制·····	130
§ 3 参数三次样条曲线·····	139
思考与实践 ·····	146

第六章 裁剪

§ 1 线段求交·····	147
§ 2 线段裁剪·····	148
§ 3 多边形裁剪·····	156
思考与实践 ·····	177

第七章 多边形填充

§ 1 逐边填充算法·····	178
§ 2 x连贯性算法 ·····	179
§ 3 改进的x连贯性算法 ·····	180
§ 4 斜填充线下任意区域的快速填充算法·····	181
思考与实践 ·····	193

第八章 消隐

§ 1 消隐概述·····	194
§ 2 消隐中的几何计算·····	195
§ 3 常用的数据结构形式·····	200
§ 4 凸多面体的消隐方法·····	202
§ 5 任意平面体的消隐方法·····	209
思考与实践 ·····	212

第一章 引 论

§ 1 计算机图形学概述

一、计算机图形学

计算机图形学是应用计算机处理图形信息的一门学科。它包括：图形信息的输入、输出、显示，图形变换、增强、和识别，图形与图形之间的运算以及人机交互式绘图等。

例如：在计算机显示终端（CRT）和电视机显示文字、图表和游戏图案，使用打印机或绘图机绘制图形，利用存贮式显示管或穿透式显示管显示图形，这些技术既可以在电子线路、集成电路、建筑、机械等行业中的计算机辅助设计中使用，也可以在企事业的计算机辅助管理中使用。计算机还可以在胶片上产生逼真度较高的幻灯片和动画片，在造型设计等艺术领域进行艺术创作，等等。这些都属于计算机研究的范畴。

二、计算机图形学的典型应用

1、办公自动化——在事务管理中，人们不仅仅对计算机管理系统加工出来的“数据”感兴趣，往往对这些“数据”的变化趋势、对“数据”相互之间的比较感兴趣，图形学将这些“数据”转换成彩色棒状图（bar chart）、饼状图（piechart）或其他的二维、三维形势图，使人们一眼就能获得变化或比较的信息。

2、科学研究中的应用——在物理学、化学、生物学等领域的研究中，有许多动态变化的过程，如材料在受力下的形变，原子反应与化学反应等。在描述这些变化时，往往需要大量的数据，在有的课题研究中，数据多到研究人员无法阅读分析，更谈不上将数据描绘成曲线等图形了。借助图形设备，计算机将产生的大量数据直接转换成曲线等人们易于获取概念图形，大大地加快了研究速度。在这些学科的教学工作中，在用数学描述变化过程的基础上，辅以图形表示变化的过程，如波导管中的电磁场变化，反应堆中的链式反应等，教学将获得更好的效果。

3、地图绘制——在地图描绘中，不同的比例的地图，对地理要素（如海湾的曲线变化，河流和街道的等级和宽度，大小不同的地名等）的取舍各不相同，不同用途的地图也有不同的专业要求。人工绘制这些地图，工作量极为繁重，且不易修改编辑。交互式图形学为这类问题的解决提供了设备和技术。这样的绘图系统也可以用来绘制地下资源分布图、地质构造图、海底图、气候气象图、人口分布图等专题图。

4、计算机辅助设计——在建筑、造船、飞机、与汽车制造、机械设计、集中电路制造等工业部门的计算机辅助设计者提供各种设计方案：如不同式样的房屋、不同形状的汽车外形等。供设计者和用户选择，大大地提高了设计质量和效益。例如：日本三菱横滨船厂采用显示器数学放样，把后来的比例放样工时减少了四分之三以上；罗马尼亚在房屋设计上广泛采用光笔图形显示器后，全国设计标准化、规范化，一般大型工厂从设计到投产交付使用，能在八个月内完成。人们使用CAD在显示器上设计电子机械装置或零部件，然后由计算机控制的FMS（Flexible Manufacture System）等加工生产，这对批量小、精度高、形状奇特的零件生产，能取得较高的经济效益。

5、工业交通上的监控使用——在化工生产过程中对化工管道系统的作业情况，在电站与电力网中对发电机的控制，在交通管理中交通拥挤程度的监视与车辆调度等，均可采用图形系统。

6、计算机辅助训练——在飞行员的培训过程中图形学可以提供地面的模拟训练仓，屏幕上显示图形犹如飞行员飞在天空上看到的一样，在军事训练（如指挥作战、打靶等）中，也可以用图形系统模拟训练，这样可以节约大量的训练费用。

7、医疗上的应用——在诊断心脏疾病过程中，心电图起着辅助诊断作用。

8、工艺美术上的应用——利用图形设备可以综合生成科幻片的特技镜头，可以用来设计电视台台标、平面上的图案、盆景造型设计、服装设计、发型设计...总之，图形学在工业技术和艺术创作的许多领域都能找到它的作用。

三、计算机绘图的发展史

计算机绘图系统由硬件和软件两大部分组成，所谓硬件是指计算机及图形输入输出等外围设备；而软件是指专门用于图形显示、自动绘图转换等处理程序。自从1963年麻省理工大学的 I. E. Sutherland 发表了第一篇有关计算机绘图论文《SKETCH -PAD ——一种人机对话型系统》以来，计算机绘图得到了蓬勃的发展。在这30年中，计算机绘图经历了以下几个阶段：

1、计算机绘图硬件系统的发展 计算机绘图硬件系统的发展大体上分为五个阶段。

(1) NC数控绘图系统 这是由数控装置及绘图机两大部分组成最早出现的计算机绘图系统，其优点是NC装置简单，缺点是绘图功能有限，只能插补直线和圆弧，绘图精度和速度都比较低。绘图程序采用手工编程的方法，效率低。

(2) CNC数控绘图系统 CNC数控绘图系统又称计算机数控绘图系统。它是在NC数控绘图系统的基础上增加了一台通用计算机用于自动编程，从而避免了繁琐的手工编程工作，提高了系统的效率。由于采用了通用计算机使存储空间增大，以存储较多的绘图程序，扩大了绘图功能。计算机与数控绘图装置之间是通过穿孔纸带作为传递信息的中间介质，因此是一种脱机系统，其缺点是穿孔纸带的校验比较麻烦，操作不方便。

(3) 机控绘图系统 机控绘图系统，即由一台大型或中型计算机控制图形输入、输出设备进行图形处理工作，无需穿孔纸带或磁带等传递信息的中间介质，从而提高了效率。由于大中型计算机所具有的巨大功能，故联机绘图系统能进行复杂高级图形处理及绘图工作，其缺点是大、中型计算机设备的操作维护复杂，价格昂贵，严重地影响它的推广和应用。

(4) 微机绘图系统 随着VLSI超大规模集成电路的开发成功，16位继而32位字长的微型计算机相继问世，从而配备有绘图机、图形终端、图形输入板、数字化仪、打印机及图形硬拷贝机等图形输入及输出设备的微机绘图系统应运而生。其性能价格比较合理。微机绘图系统迅速获得推广和应用，使计算机绘图及图形处理这一先进技术有可能在科研、生产、教育及生活等各个方面得以普遍的应用。

(5) 自动设计绘图系统 自动设计绘图系统又称计算机辅助设计是在自动绘图系统的基础上添加一台人们称之为CAD图形工作站的专用设备，与图形显示终端不同，一般

CAD图形工作站本身带有1MB到4MB内存容量的CPU, 多功能键盘及菜单图形输入板, 以用于图形元素及图形处理程序的存贮和操作调用, 使系统不仅能进行自动绘图, 而且可实现高级复杂的计算机辅助设计工作, 从而有效地缩短产品设计周期, 提高产品质量。进入80年代后, 更在计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)一体化的基本上, 进一步发展计算机辅助测试与模拟, 计算机辅助质量控制(CAQ), 逐步形成一个完善的计算机辅助工程系统CAE/CAD/CAM/CAQ。

2、计算机绘图软件系统的发展

(1) 二维图形 二维绘图软件是早期的绘图软件, 也是计算机绘图的基础。其功能是绘制各种平面图形, 如直线、圆弧、二次曲线、样条曲线、几何变换及裁剪等。

(2) 三维线框图 三维线框图是描述三维物体的基本方法, 它主要采用顶点、边界及面的概念来表达三维物体, 再加上隐藏线隐藏面的消除算法生成和绘制三维物体, 其优点是数据存储量少, 算法简单, 缺点是不具备描述三维物体所需拓扑信息, 因此不能处理复杂三维物体的构型问题。

(3) 三维立体构型及曲面构型 三维物体的立体构型和曲面构型是计算机绘图软件中难度最大, 最复杂的课题之一。它从体的概念出发, 以充分的几何信息和拓扑信息描述物体, 它采用CSG或B-REP数据结构来描述三维物体或者同时采用CSG及B-REP两种数据结构, 以便灵活地进行最合理描述。对于自由曲面, 曲面的三维物体可采用Cons, Bezier及B-Spline等进行描述和生成自由曲面, 实现曲面构型。三维立体构型和曲面构型能生成实体数学模型, 并提供体与体的并、交、叉、布尔运算算子, 因此可生成复杂的三维物体。再利用光线跟踪(Ray Tracing)技术就能生成具有灰度和阴影的真实感的物体图像。三维立体构型及曲面构型所需数据存储空间大, 算法复杂。这类软件通常称为构型系统。

(4) 自动绘图及CAD系统 研究和发计算机绘图软件的目的在于应用该先进技术去解决科研、生产、教学和生活方面的问题, 其中CAD的应用最为普遍, 而绘图软件则是CAD支撑软件的最重要的组成部分, 不仅如此, 为了满足CAD的需要, 还必须解决图形输入输出和产品的结构及工艺分析、强度计算、有限元分析与优化等许多CAD应用软件, 它们均与绘图软件密切相关。

§ 2 交互性计算机图形处理系统

一、交互性计算机图形处理系统的结构

计算机处理图形、图像, 必须具备计算机、显示器、绘图机等硬件设备, 以及相应的程序系统。因此, 一个交互性计算机图形处理系统应由硬件和软件两部分组成。

硬件包括主计算机、图形显示器、光笔和键盘等基本交互用工具, 数字化图形输入输出装置, 以及磁盘、磁带等存贮设备。软件包括操作系统、高级语言、图形软件和应用程序。

严格说来,使用系统的人是这个系统的组成部分。在一个系统运行时,人始终处于主导地位。可以说,一个非交互性计算机图形系统外加图形设备,而一个交互性计算机图形系统则是人与计算机及图形设备协调运行的系统,它们的关系可用图1-1中框图表示。

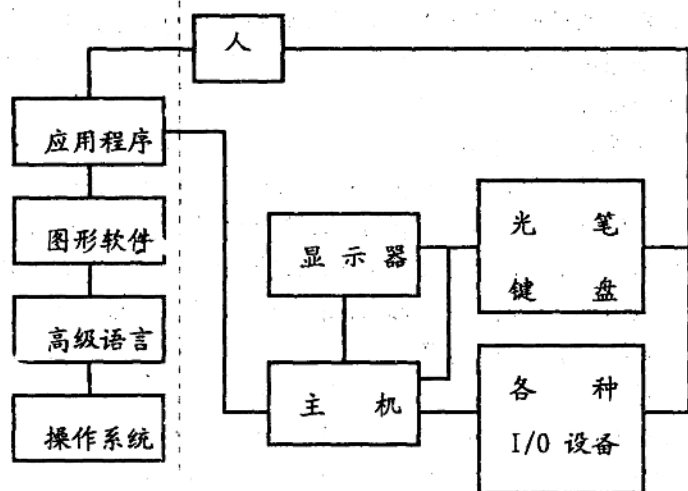


图1-1交互性图形处理系统

二、图形处理硬件

交互性图形处理系统的硬件除主计算机外,主要是图形显示器。因此,这里着重介绍图形显示器的结构和主部件CRT的结构,然后再介绍其它的图形处理硬件。

(一)、CRT图形显示器

虽然已有各种的图形显示装置,但是目前占统治地位的仍是CRT(阴极射线)显示器,它的核心部件是CRT。

1 单色CRT

单色CRT的构造见图1-2,它主要由三部分组成。

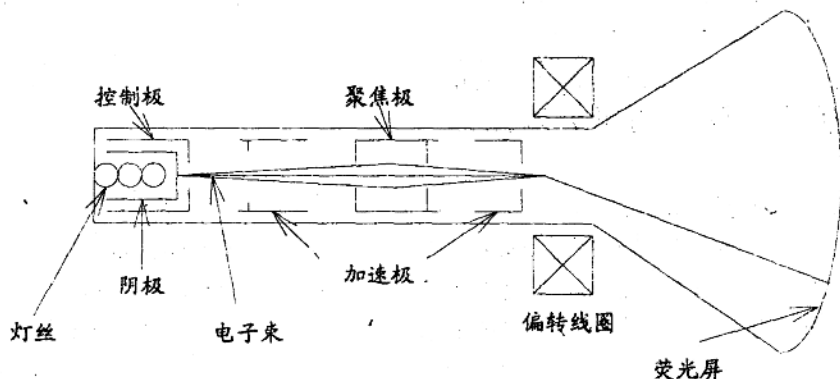


图1-2单色CRT结构

(1) 电子枪

电流通过灯丝,产生热量,即对阴极加热,从而阴极发射出电子来。在聚焦极加上一定的正电压,使电子束聚焦,形成很细的电子束。再由加速极(通常二个)加上正电压对电子束加速,使它具有足够能量射向荧光屏。靠近阴极有一控制极加上电压后能控制电子束的强弱;甚至使电子束截止。就是说,控制极能够控制电子束打在荧光屏上所产生的光的强弱。

(2) 偏转系统

静电场或电磁场可以用来控制电子束的偏转方向。通常利用两组偏转圈来产生静电场或电磁场,使电子束作左右、上下偏转,从而控制荧光屏上光的左右、上下运动。

(3) 荧光屏

荧光屏上有荧光粉:电子束打在荧光屏上,荧光粉会发光而形成光点,其颜色和余辉时间(电子束离开后继续发光的残留时间)的长短决定于荧光粉的种类。

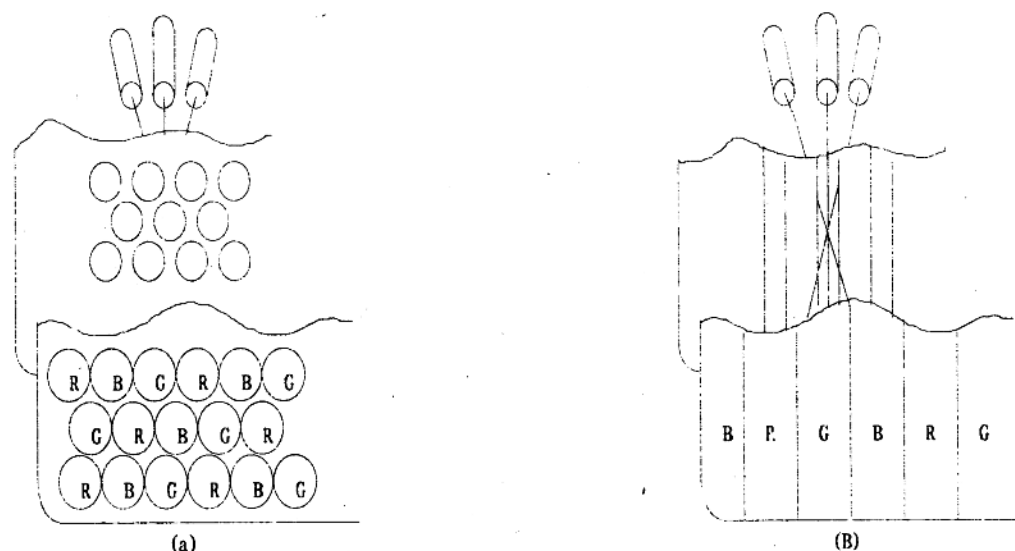


图1-3多电子束彩色CRT

2 彩色CRT

彩色图形显示器要采用彩色CRT。彩色CRT通常有两种类型:

(1) 渗透型彩色CRT

荧光屏上有多层荧光粉,例如:红、橙、黄、绿等。不同速度的电子射线能穿透不同的荧光粉层而发出不同颜色的光。这种彩色CRT常用于随机扫描显示器。

(2) 多枪型彩色CRT

多枪型彩色采用多支电子枪发出多束电子束。在电子枪和荧光屏间设有掩膜,以便使电子束射在荧光屏的不同部位。荧光屏有不同的荧光粉,能发出不同颜色的光。图1-3表示电子束彩色CRT的工作原理。这种彩色CRT常用于光栅扫描显示器。

(3) 随机扫描与光栅扫描

我们已经知道,荧光屏上显示的图形是由偏转系统使电子束在荧光屏上运动,从而使

光点运动而产生的，也应就是说，是电子束或光点“扫描”出来的，而光点的亮度则由控制极控制。扫描的方式有随机扫描与光栅扫描这两个很不相同的类型。

a) 随机扫描方式

在随机扫描方式中，如果要产生一条由点A (X_A, Y_A) 到点B (X_B, Y_B) 的直线可以把电子束从当前所在点p (X_p, Y_p) 用暗矢量 $\Delta x = X_A - Y_p$, $\Delta Y = Y_A - Y_p$ 移到A点，然后再用亮矢量 $\Delta X = X_B - Y_A$, $\Delta Y = Y_B - Y_A$ 把电子束从A点移到B点。 ΔX 、 ΔY 经数模转化为电压或电流量，经偏转部件使电子束偏移。而暗与亮的信息则转化为控制极的电位去控制电子束所产生光点的暗与亮，它与示波器工作方式相类似。

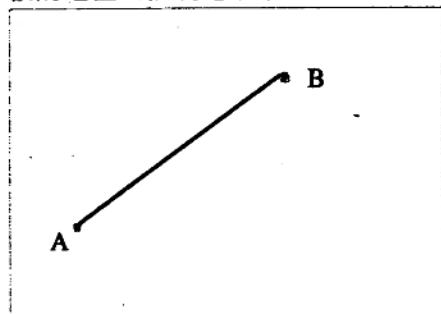


图1-4随机扫描显示线段

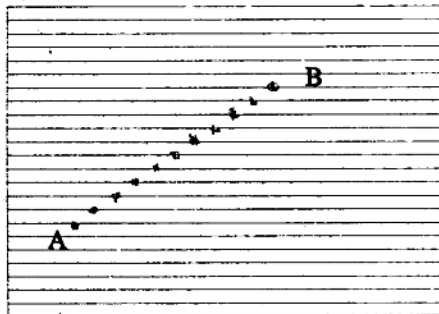


图1-5光栅扫描显示线段

b) 光栅扫描方式

在光栅扫描方式中，电子束受偏转部件的控制，不断从左到右，从上到下扫描整个屏幕。在这个过程中，只要控制电子束的强度就能显示某一个图形。

整个屏幕由扫描线分为m行，每行又可分为n个小点。这样，整个屏幕就被分成 $m \times n$ 个小点，我们称为像素 (pixel)。图形是电子束扫描到各个像素时产生不同亮度的光点形成的，这与通常电视机产生图像的方式类似。

上述两种产生图形的方式有自己的特点。一般来说，随机扫描速度快，线条质量高，容易修改。也就是说，交互性好。光栅扫描则灰度和色彩丰富，能产生真实感很强的复杂图像，也可以与电视兼容，价格远低于随机扫描显示器。从实际应用来看，早期发展的随机扫描显示器。有丰富的软件支持，并早已用于军事和许多领域，但价格昂贵，始终未能普及。70年代后，光栅扫描显示器已超过随机显示器，而成为显示器市场的主流。

(4) 随机扫描显示器的基本结构

随机扫描显示器的基本结构见图1-6。要显示的图形由计算机加工成为显示器的显示指令，即所谓的显示档案或显示文件。显示指令经接口电路送到显示器的缓冲存贮器，而固定存贮器中则存放各种常用字符，数字等的显示指令。图形控制器取出缓冲存贮器或固定存贮器的显示指令，依次执行。显示指令中的亮度、位移量等数字信息经数模产生器化为控制电子束和明暗的物理量，即电压或电流。再经管头控制电路使电子束以所需的亮度偏转到所需位置，为得到稳定的图形，还需要不断地重复扫描显示档案，即所谓的刷新。速度通常为每秒重复扫描25~50次，即每秒25~50帧左右。

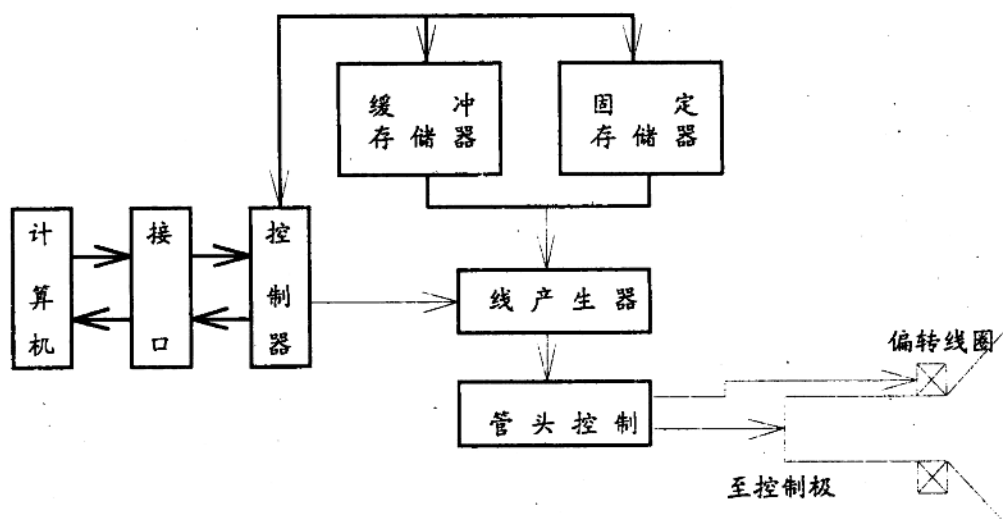


图1-6 随机扫描显示器结构

(5) 光栅扫描显示器的基本结构

图 1-7表示光栅扫描显示器的基本结构。显示屏上的每一个像素都对应帧存贮器中的若干位 (bit)，其中的某一位为1时表示该像素为亮为0表示该像素为暗（反过来也可以）。这样的图像我们称为MS图像，或二值图像。如果每个像素有 i 位表示它的灰度，则其灰度共有 2^i 级。

对于彩色显示器，每个像素也要用若干位来表示它的色彩。总之，在光栅扫描情况下，帧存贮器中存放的不是显示指令，而是对应各个像素的明暗或灰度色彩的信息，这种信息常称为位图。

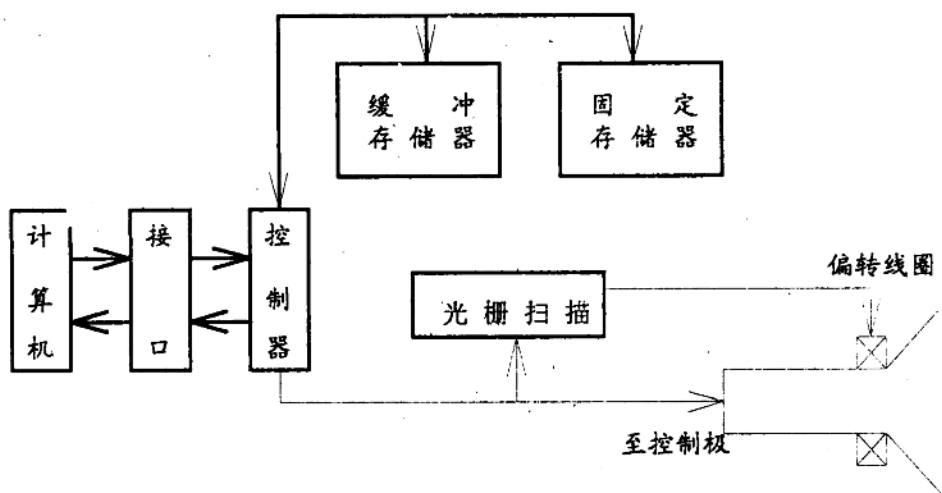


图1-7光栅扫描显示器结构

计算机将要显示的图形、图像转化为位图，经过接口电路送入帧存贮器。而图形控制

器则依次扫描帧存贮器中的位图，把转换成亮度或色彩信号来控制电子束的强度。同时，光栅扫描电路则控制电子束的自左向右、自上向下的光栅扫描。两者配合，就可在屏上显示出所需的图形、图像。

像随机扫描显示器一样，为了得到稳定的图像，光栅扫描显示器也要对帧存贮器重复扫描，进行刷新操作。

从上面可以看出：光栅扫描显示器的扫描方式与电视机是一样的。因此，它完全可以独立出来成为一个监视器（Monitor），或者用电视的扫描部分代替。

下图表示了两种光栅扫描显示器的简化结构，一般做为插件板形式，作为某些计算机的扩充部分。

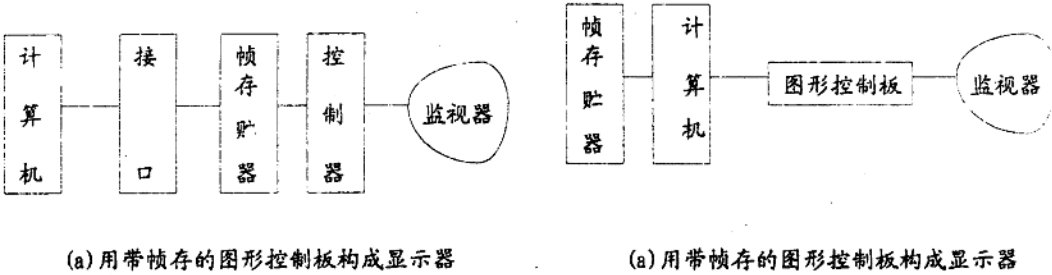


图1-8 两种简化的光栅扫描显示器结构

(二) 图形输入装置

在交互性图形处理系统中，输入装置十分重要。除了用键盘输入图形数据或命令外，这方面的装置主要有：

(1) 光笔

光笔是外形似笔的输入装置，它的前端装有透镜，以收集显示屏上发出的光。光通过光电转换成电信号，再反馈到图形控制器或计算机。光电转换可以在光笔内完成，也可以经过光导纤维传输后再进行（如图1-9所示）

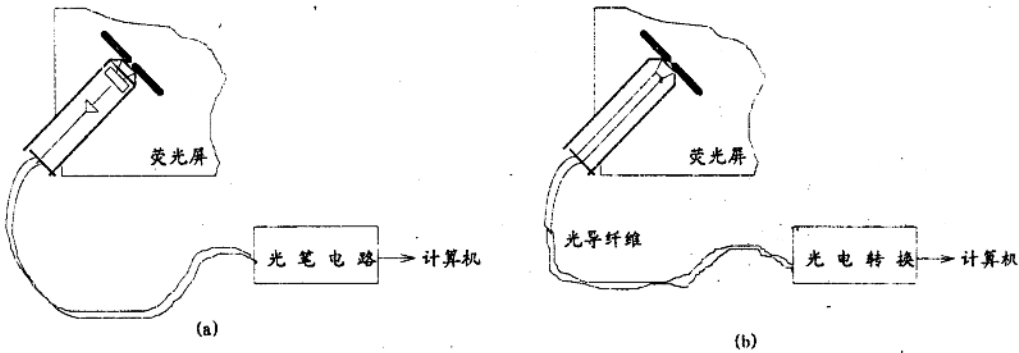


图1-9 两种光笔结构

对于随机扫描显示器，光笔接收到的光一定是在执行某一条显示指令时发出的。假设这条显示指令的缓冲器地址为 k ，由这个光信号转换后的电信号反馈到图形控制器或者主

机, 主机就知道这个信号在执行第K条显示指令时产生的反馈信号。因而, 主机就能够进行适当的处理。例如: 把第K条指令删去或进行修改等等。由此可见, 在随机扫描显示器中, 用光笔很容易在屏幕上“指点”图形对象。

光栅扫描器的情形有所不同。光笔接收到的光是某个像素发出的, 也就是说只能指点一个像素。要确定这个像素是属于哪个图形对象可不是一件容易的事, 而要由此修改某个图形对象则更不容易。因此, 光栅扫描显示器的交互性不如随机扫描显示器。

还要注意, 在显示屏上不发光或光很暗的地方, 光笔是不起作用的。但是, 我们硬件或软件的办法在屏幕上产生一个专供光笔使用的光标, 光笔可以指点并拖动这个光标到所需的位置, 而计算机是知道每个时刻光标中心位置的, 这样, 光笔就能在没有光的地方起到输入点位置(即定位)的作用了。

下面, 我们用十字形光标来说明光笔拖动光标的原理:

在某时刻, 光笔的视野能接收到光的范围如图1-11所示。在水平方向, 它能接收到由某一时刻, 光笔的视野能接收到光的范围如图所示。在水平方向, 它能接收到由 x_1 到 x_2 范围的光, 在垂直方向, 它能接收到 y_1 到 y_2 范围内的光。由此, 可计算出视野中心位置为

$$\begin{cases} x_c = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ y_c = \frac{y_1 + y_2}{2} \end{cases}$$

于是, 计算机可以把光标移到新的位置, 当光标继续移动时, 同样进

行处理, 不断修正光标中心位置, 光标就随着光笔的移动而移动了。

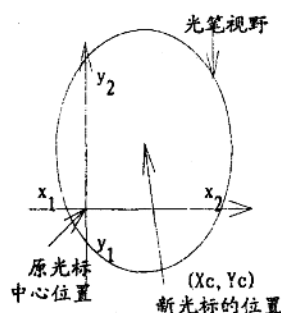


图1-10 光笔拖动光标原理

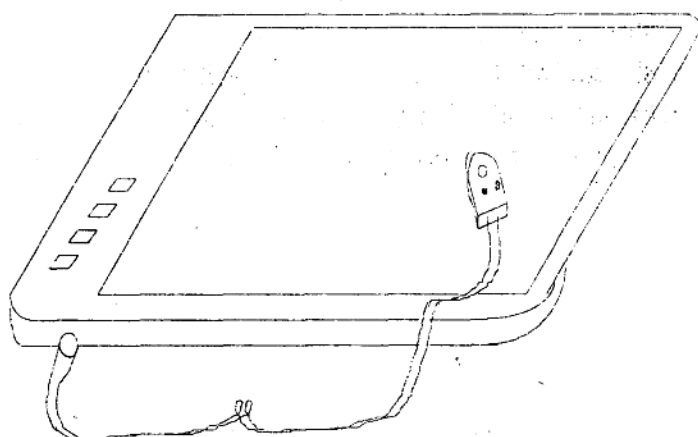


图1-11 数字化输入板

(2) 数字化图形输入板

数字化图形输入板是平板状的输入装置。当专门的触笔或游标在平板上移动时, 它能向计算机发送笔尖或游标中心坐标数据。

数字化图形输入板有以下几种类型:

早期的兰德 (rand) 板

在平板上装有1024条平行于x轴的信号线和

1024条平行y轴的信号线。每条线有唯一的数字编码信号, 这个信号能被装在笔尖上

的触针所拾取。拾取的信号以经放大后送到译码器，从而把所得的坐标数据存入板的缓冲器。

电压梯度输入板 输入板的平板中装有电阻薄片，外加电位，先是水平地、接着是垂直地跨接到薄片两端。触针接触到导电薄片就能读出该点的电位，根据是在垂直周期中测得的电位就可确定是 x 坐标还是 y 坐标。

经过改进的电压梯度式输入板采用高频交流信号，触针检测到的信号相应与触的位置有关，因此根据相位不同就能决定 x 、 y 的数值。由于采用高频电流，触针即使与板有一定的距离仍能工作。

声学输入板 在平板的相邻边安装有条式或音频接收器。在笔的端点处装有用陶瓷等材料隔开的电极，每隔一定的时间在两个电极之间产生电火花放电，产生的超声脉冲就被两个条形接收器所接收。产生火花与接收到超声脉冲的时间间隔自然决定于笔尖与两边的距离，由此而得 x 、 y 的坐标数据。

磁致压缩输入板 平板的表面有一层薄的磁致伸缩材料，其作用就如一排延迟线。电脉冲信号先是水平方向，接着是垂直方向周期性地通过此薄片。触针可检测到此脉冲。从发送电脉冲到检测以电脉冲的时间延迟就可确定触针所在的位置。

数字化输入板是很好的指点与定位的装置。为了获得更多的输入信息，许多数字化输入板用带按钮的游标代替带触针的笔作为检测装置，这比只带一个开关的触针要好得多。这就是说，计算机获得的不仅是坐标数据，而且还有按不同的按钮而形成不同信息。当然只有一个按钮的游标其功能完全与带开关的触针等价。

操纵杆、跟踪球和鼠形器（鼠标器）

操纵杆是一端可以运动（向各个方向摇动）的杆，摇动操纵杆可以使显示屏上的光标相应移动。跟踪球的作用与操纵杆相仿只是形状不同而已。

鼠形器的作用亦与操纵杆跟踪球相似，只是它可以在桌面上随意移动（底部有机械或光电装置，能感受到这种移动），使用起来更方便。

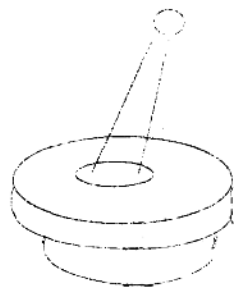


图1-12 操纵杆

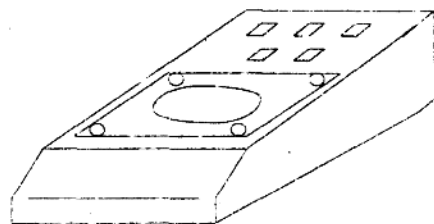


图1-13 跟踪球

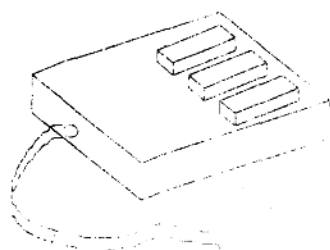


图1-14 鼠形器

（4）图像输入装置

最常用的输入装置是数字摄像机，飞点扫描器和传真发生器。大多数数字摄像仪的核心部件是光导摄像管的构造见图3-15所示。

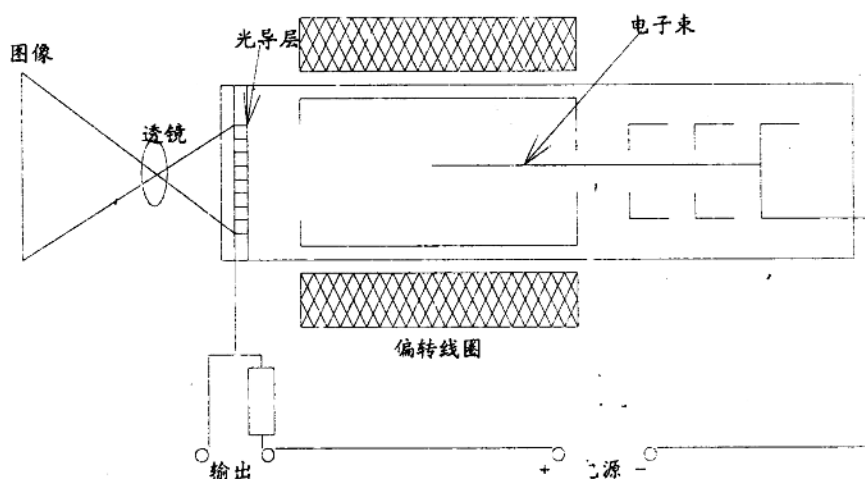


图1-15 光电摄像管结构

图象经透镜聚焦在光导层上，光导层是海绵结构的三硫化铟光导体，其电阻随光照强度而变，亦即随图象的灰度而异。电子束扫描光导层上的图像时，电流大小就受光导层的图像灰度调制，从而使输出电压反映出图像灰度的变化。此输出电压经取样后就得到数字化的图像信号。

飞点扫描器装置用CRT所产生的光栅照亮图像文件，从文件上反射的光由光电倍增管测量，其图像正比于各点的灰度，其优点是可以用电子学的方法把扫描光栅移到所需的部位上，也可以采用非光栅的不规则扫描方式。其缺点是文件必须在暗箱中进行扫描。

传真发生器的基本结构见图1-16：要读入的图像文件卷在一个圆筒上，圆筒由电动机带动旋转，电动机同时通过传动装置使测试箱沿轴方向移动。圆筒每旋一周，测试箱移动 Δx ，测试箱中的光源照亮圆筒上的图像，从图像上反射的光穿过一个针孔被光电管接。光电管只能接收从图像的一个小区域（像素）上反射的光。圆筒转动和测试箱移动，就可以实现对整幅图像的扫描。

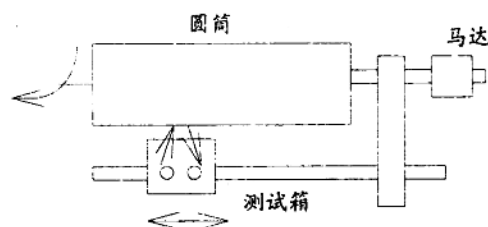


图1-16 传真发生器结构
(三)、图像输出设备

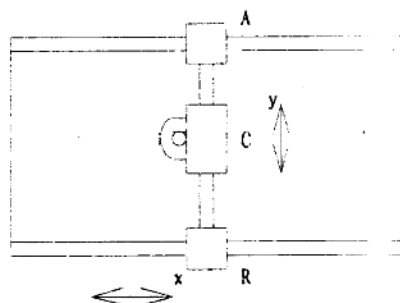


图1-17平台式绘图机