

飞机制造技术丛书

计算机图形显示技术

杨彭基 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了交互式计算机图形显示技术的几个比较新颖的内容：光栅显示技术、平板式显示器、图形数据结构及图形数据库、浓淡模型及彩色显示、动态显示等。本书不仅可供航空部门的工程技术人员、大专院校师生参考，也可供船舶、汽车、机械、动画艺术等部门的有关人员参考。

飞机制造技术丛书
计算机图形显示技术
杨彭基 等编著

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张4¹/₄ 108千字

1990年1月第一版 1990年1月第一次印刷 印数：0,001—2,000册

ISBN 7-118-00428-6/V35 定价：3.05元

目 录

第一章 计算机图形显示技术的发展	1
一、开始时期	1
二、60 年代	1
三、70 年代	3
四、当前情况和今后发展	3
五、交互式图形显示技术	6
第二章 光栅显示	9
一、概述	9
二、光栅显示器的基本结构	11
三、扫描转换算法	17
四、区域填充	23
五、光栅显示软件包	31
第三章 各种平板式显示器	38
一、平板式显示器	38
二、等离子平板显示器	39
三、场致发光显示器	41
四、液晶平板显示器	42
五、平板式 CRT 显示器	46
第四章 图形核心系统 GKS	49
一、概述	49
二、输出图元及其属性	52
三、图段及其属性	59
四、坐标系	62
五、工作站	64
六、输入	66
七、GKS 的扩充	69
八、GKS 的实现	71

第五章 图形数据结构及图形数据库	73
一、数据结构及其在图形显示中的应用	73
二、图形数据结构的设计	80
三、图形数据库及其应用	89
四、图形数据库的发展趋势	96
第六章 浓淡模型	99
一、显示真实感问题	99
二、物体表面对光的反射	100
三、光源的种类	103
四、多边形网格的浓淡	104
五、阴影	106
六、透光面	107
第七章 深浅程度与彩色	108
一、黑白颜色：深浅程度	108
二、彩色问题	112
三、光栅显示的彩色模型	119
第八章 动态显示	122
一、平面物体的旋转	122
二、平面物体间的相互变化	124
三、空间运动	126
四、生长	127
五、可变剪裁/开口	128

第一章 计算机图形显示技术的发展

分析计算机图形显示技术发展过程可以把 50 年代中期到 60 年代初期作为开始时期, 60 年代初期到晚期是在航空工业和汽车工业中应用的时期, 70 年代是图形显示设备普遍应用时期。

一、开始时期

第一个计算机图形显示系统是和第一台数字计算机同时出现的。美国麻省理工学院的旋风型计算机的操作间里就有一台早期的阴极射线管 (CRT) 图形显示设备。

另一个较早使用计算机图形显示技术于人-机联系的是 50 年代中叶的 SAGE 防空指挥与控制系统。SAGE 系统把雷达信息转换成计算机生成的图形。在 SAGE 系统中也引入了光笔, 当操作者用光笔指点阴极射线管屏面上某个目标时, 就可检取它的信息。

60 年代初, 麻省理工学院的 TXI 计算机也带有交互式图形显示设备。美国数字设备公司早期的交互式计算机图形显示设备之一——Type 30——是按照 TXI 系统仿制的。1968 年出现的另一台 DEC 338 型可能是第一台商品化的智能图形显示终端。

二、60 年代

伊凡·萨瑟兰德博士 1963 年的博士论文介绍了 Shetchpad 系统, 其中的数据结构部分奠定了计算机图形显示学的软件理论基础。

1963 年, 史蒂夫·孔斯发展曲面片技术, 对图形显示的曲面造型很适用。通用汽车公司又发展了另一个图形显示程序 DAC/1。DAC/1 逐渐成为一个重要的计算机辅助设计工具, 在通用汽车公司的汽车和卡车设计中起了关键作用。DAC/1 的阿

尔平面图形显示器演变为 IBM 2250 图形显示终端。1964 年, 这终端和 IBM 360 系列计算机同时推销。

与此同时, S. H. 蔡森在洛克希德-乔治亚公司研究计算机图形显示技术在编制数控加工程序方面的应用。这是洛克希德公司在计算机图形显示技术方面的第一个成就。

Itek 的 Digigraphic 程序是和 Sketchpad 及 DAC/1 同时研制的。Digigraphic 程序后来成为控制数据公司交互式计算机图形显示系统的基础, 随后发展成为几个不同的系统。

计算机图形显示技术的应用在 60 年代前期发展很快。主要宇航公司如洛克希德公司、麦克唐纳-道格拉斯公司和波音公司都开始研究计算机图形显示技术在飞机和导弹设计中的应用。国际商业机器公司和洛克希德、麦克唐纳-道格拉斯、北美洛克韦尔、罗尔斯-罗伊斯、TRW 等公司合作, 组织了一个称为 Demand 的程序系统, 以发展计算机辅助设计与制造。Demand 系统对麦克唐纳的 CADD 和洛克希德的 CADAM 计算机辅助设计与制造系统的研制是有影响的。

在此期间, 成立了显示和计算机图形学的专门学会。信息显示学会在 1963 年建立。美国计算机协会 (ACM) 的计算机图形显示专门委员会建立于 1966 年, 后来在 1969 年成为 SIGGRAPH 专业组织。

存储管式图形显示器把图形显示技术的应用扩大到成万的用户。在引进存储管图形显示器之前, 计算机显示器系统的使用费用为 50~250 美元/小时, 引进后减少到 10~30 美元/小时。随着存储管图形显示器价格的下降, 再生产、扫描转换、等离子显示、数字电视等显示设备的价格也陆续下降。

硬拷贝设备是计算机图形显示系统的一个主要组成部分。早期的产品有 1958 年的 Calcomp 565 型滚筒式绘图机。快速而便宜的 Tektronix 4610 型干银拷贝机对图形显示技术是一个重要的贡献。此外, 也出现了低价格的电-机械绘图机及静电绘图机。

三、70 年 代

在输入设备方面,已从早期的键盘和光笔发展到图形输入板、数字化板以及接触——敏感设备。

在软件方面,各种软件包的迅速出现推动了图形显示技术的发展。早期显示系统的特点是:在得到显示硬件后用户的任务是使硬件与计算机协调工作。后来情况改变了,有了各种专用软件包,简化了图形的生成和交互操作。70 年代初,出现了完整的转键系统,从而可使用户和软件完全脱离。这种系统作为一种能为用户即时使用、解决问题的工具提供给用户。

在应用方面,据估计,1964 年约有 100 台图形终端,而到 1977 年达到 50,000 台。从 60 年代开始,图形显示技术已用于飞机和纺织工业、管理信息系统、仿真、过程控制、计算机辅助教育、图形识别、辅助绘画、计算机生成影片等方面。在 70 年代后期,计算机辅助设计支配了集成电路设计领域,几乎 75% 的集成电路设计是在计算机图形显示系统上进行的。管理信息系统处于爆炸性发展的阶段。由于 IBM 公司引入了一套管理信息系统,加上可以得到价廉的光栅彩色图形显示器,图形显示技术在这方面发展的条件已具备。过程控制,包括监控及数据采集系统成了很多公用事业单位的重要技术。在计算机辅助教育方面,图形显示器的应用发展比较慢,当系统的使用费下降到 1\$/h 以下时,可能要大发展。图形识别与图形处理才开始研究。

四、当前情况和今后发展

光栅扫描和彩色显示

彩色显示的应用日益增长,其中包括计算机辅助设计(CAD)、过程控制与图形成像。由于逻辑线路与存储器价格下降,光栅显示器在 80 年代将代替存储管式显示器。到 80 年代末期,低分辨率(500 线)彩色显示系统的价格将相当于今日的标准电视机。高分辨率系统正在发展;在 80 年代中叶,2000 线将很普遍,而

在 80 年代末将开始发展 4000 线系统。高分辨率及快速反应的高性能系统现在还很贵。但不久的将来，具有相当分辨率并能显示阴影图像的硬设备，价格将下降到 5000\$。

三维显示问题

三维显示问题是一个不断提出的问题。杰尼斯科宣布过一个空间图像显示方法，这种方法是以振动镜膜片概念为基础的。也曾考虑全息照相作为计算机三维显示的方案，但是这种技术的实现比想象的差得多。虽然全息照相能提供真实的像，但现在应用还不普遍。在计算机辅助设计方面，对三维显示的兴趣也愈来愈大。在这方面，常常采用传统的光栅阴影技术。

平板式显示器

微处理技术使 X-Y 选择板的寻址电路运行迅速，价格便宜。场致发光（显像）板逻辑膜底板的制造技术也有进展。由于在底板上的元件密度高，在图像上可以实现平行像素处理。由于场致发光板在每厘米上能访问 50 多个点，因而分辨率高。在 90 年代末，这种以平板式显示器为基础的图形显示站的价格将相当于现在的低价高分辨率显示器。

视频盘

光学写读的转动盘具有 10^{10} 位的存储能力。目前的读写盘是“一次写”然后“只读”的。即使有这种限制，也能建立智能交互和图形处理的软件库。80 年代后期的图形显示工作站将配有视频盘，盘上录有工作站所需要的专门软件。

输入装置和声

只要讲话内容及用词有一定范围，并且设备受过用户语言模式的“训练”，声输入可以达到自由连续讲话的水平。80 年代后期，两种输入方式——接触输入和声输入——能同时使用。在 90 年代，一种视频摄像机“眼”将成为交互式终端的一个组成部分。这时，作为输入方式，不需要接触，只要看人的动作姿态就行。这样就能扩大图形交换输入的范围，加强输入的表达力。当前数字化转换器还很贵，并且不具备图像识别能力。人工智能技术

的发展将给图像识别提供必要的条件。

彩色硬拷贝

彩色图形显示的成本正在下降，可是相对来讲，彩色硬拷贝的成本还相当贵。即使如此，在某些情况下，还是要求图形显示系统给出彩色图片。

软件标准化

系统的通用功能可能有两种趋势：

(1) 有专门的公司提供标准化的、建立在固件上的图像显示功能，

(2) 标准化将使几家专业化软件公司的产品组成转键系统或其他计算机图形显示软件系统。

计算机图形显示的标准化工作已经在美国、西德、挪威、英国、荷兰等国的国家机构中进行。国际标准化组织也在进行标准化工作。

标准化工作正在集中研究图形程序包的规范、图形规范元素、产品定义的格式和规定以及图形显示设备技术参数之定义。标准化工作也须在下列各方面开展：计算机图形显示系统中各层次显示功能间的接口规定，程序编制语言中的图形显示附加句问题，关于图形及其元素的显示属性的提出及描写问题。

网络存取

使用交互式图形显示器的另一个趋势是增加对数据、程序的网络存取。一家公司可以通过拨号取得远距离外在图形终端上设计的图表。另一家公司的网络可以使得各图形工作站都能取得所需要用的设计和分析程序。计算机图形显示和网络相结合是一种很经济有效的办法。

分布式系统

网络的一个动向是联到主机，但是另一方面由于存储器和处理机价格的低廉使得图形显示系统可以网络在一起，在某一工作站上完成特定的功能，对全面性的任务，各工作站相互协作，通过网络按顺序处理信息。信息用宽带通信通路传递。当前，图形

显示系统开始将功能分布在一组微处理机上。由于功能的不断扩大,可将微处理机组成几个分系统。图形处理、图形变换以及其它图形显示功能都可以专门化。通过分布式系统将各图形显示功能联合起来,用户有了很大的机动性。也可以把不同公司的硬、软件产品组成复杂的完整系统。

五、交互式图形显示技术

航天工业部五院计算站在1973年引进了一台1830/1通用视觉显示设备,随后有的学校、研究所、工厂相继研制图形显示器,但是大多数是用于过程监控的。

1975年,西安交通大学试制了751型光笔图形显示器,1978年又给751型显示器配置了用于计算机辅助设计的图形显示基本软件。同年,西北工业大学在上海交通部船舶运输研究所的751型光笔图形显示系统上研制了《型架设计图形显示程序》,可用于飞机框、肋类平面型架(夹具)的初步设计。这是航空工业部内第一个图形显示应用程序。随后,上海703厂和贵州011基地也使用这种光笔图形显示系统进行了曲线和曲面造型、外形构造以及走刀轨迹显示的研究。另外,上海交通大学在组合机床设计中也应用了光笔图形显示技术。

1979年,航空工业部飞机情报网一体化课题组组织了由011基地、130厂、南京航空学院、西北工业大学、中国科学院计算所、625研究所组成的调查研究小组,对国内图形显示器研制生产状况进行了调研。在1980年2月提出的调研报告中指出:1980年可以作为商品提供的显示器是:

1. 上海无线电13厂生产的HTX-2型单色图形显示器;
2. 南京734厂、清华大学、浙江大学研制的单色HTX-1型图形显示器及其图形显示软件包;
3. 国防科技大学和上海自动化仪表工厂研制的X-2型彩色图形显示器;
4. 西安交通大学研制的751型单色图形显示器及其基本图

形显示软件。

此外，武汉外围设备研究所、电子工业部华东计算所、电子工业部 10 院 15 所、中国科学院计算技术研究所等也在研制图形显示器。

1982 年，西北工业大学建成了航空工业部内第一个以国产设备为主的交互式图形显示 CAD/CAM 实验基地。配备的设备是 HTX-1 型图形显示器及其图形显示软件包、DJS 131 计算机、ISOT-1370 磁盘系统、LS-12 型绘图机和一台宽行打印机。西北工业大学在 1982 年以前，就对光笔图像仪的应用进行了大量开拓性、基础性工作，包括数据编程、曲面显示、液压系统设计、操纵系统设计、网络分析等方面的显示器的应用。

1983 年开始，国内陆续进口了各种型号的图形显示器。浙江大学进口了 CBX-800 系统和 Terrak 光栅图形显示器。北京航空学院、西北工业大学先后引进了 Tekfronix 4014、4115B、4114A 图形显示器，南京航空学院在 IBM4341 计算机上配置了 IBM 图形终端。1987 年起，航空工业部 625 研究所、沈阳飞机制造公司、西北工业大学都要配备较高档的 IBM 5080 图形显示器。随着图形显示器的引进，也引进了几种用于计算机辅助设计与制造的图形显示基本软件。其中有 GINO-F、美国 Tecfronix 公司的 PLOT-10IGL 和西德西门子公司 CADIS-2D。CADIS-2D 是二维系统，1986 年由西北工业大学扩充为三维系统。1985 年以后，我国又引进了几个功能广泛的图形显示软件：美国洛克希德公司的 CADAM 软件、法国达索公司的 CATIA 软件、英国剑桥交互式系统公司的 MEDUSA 软件、日本日立公司的 BGSP 软件以及 GDS 软件等。

在引进国外图形显示器的同时，国产图形显示器的研制工作仍在进行。在这方面，国防科技大学作了较多的工作。国防科技大学在 1975 年就和湖南计算机厂研制 151-1 型黑白光笔图形显示器，在 1980 年初，研制成功彩色智能终端 X-2，1982 年研制成功 LTX-1 雷达综合显示器。这是雷达视频和计算机图象文字

综合显示的设备。1983年,国防科技大学研制成功X4光栅扫描图形显示器;这是一种TV扫描体制的彩色图象汉字字符显示设备,可用于卫星发射过程的监控。1984年又生产了X-500显示系统,这种系统是80年代国际水平的图形显示系统,比X4型的性能更好,具有系统的可编程特性和模块化结构。

1982年以后,国内图形显示应用软件方面的研究和应用不断发展。西北工业大学自1982年以来在使用图形显示器于数据加工程序的编制(图像编程)方面做了大量的工作,从对平面零件的加工到立体零件的加工,从 $2\frac{1}{2}$ 坐标数控铣床上的加工到3坐标、4坐标、5坐标数控铣床上的加工,不断地实用于生产。1985年和西安发动机厂合作编制叶轮类零件五坐标图像程编软件。1986年完成7760CAD/CAMM系统的壁板类和框类零件的图像编程子程序。1987年将完成国家重点任务——大型水轮机叶片的五坐标数控加工图像程编软件。

1984年,浙江大学在图形显示软件方面建立了一个计算机模拟美术图案创作系统;建立了一个交互式二维、三维图形软件程序包,能显示带有明暗处理的、彩色连续色调的图形,如酒杯茶壶等;并对CSG光栅显示算法有了进一步的研究。1986年,西北工业大学在物体色彩的浓淡计算和色调图形显示的数据结构方面取得新成就(见本书彩色照片图)。同年,为计算流体力学计算程序配置图形显示前置和后置处理工作取得了新进展。

第二章 光栅显示

一、概 述

图 2-1 是一个典型的交互式图形显示系统，由 4 个主要分系统组成：计算机、显示处理单元 (DPU)、显示设备和用户输入设备。和计算机连接的还有打印机和绘图机。计算机自然是系统的核心部份。

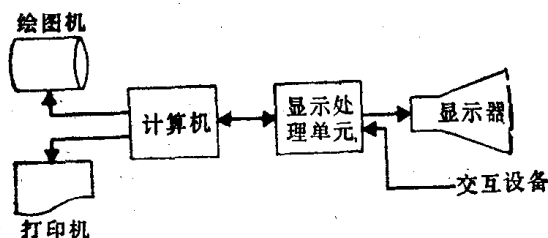


图 2-1 典型交互式图形显示系统的组成

在交互式图形显示系统中使用的显示设备一般是阴极射线管 (CRT)。在第三章中，我们将介绍一些其它类型的显示设备。

在阴极射线管中，电子束对屏面的扫描方式有两种：随机扫描和光栅扫描。在随机扫描（也称矢量扫描或笔划扫描或书写扫描）系统中，图形的线条可以按任意的次序显示。在图 2-2 中，代表房屋的 5 条线是这样画出的：先将电子束偏转到起点位置，开始发射电子，然后使电子束在各线条的端点间顺序移动，画出房屋的轮廓。在光栅扫描（电视机式）系统中，图形是分布在一些

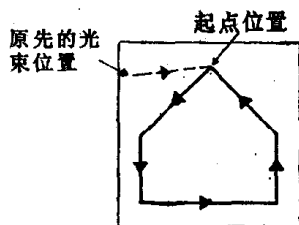


图 2-2 由随机扫描法显示的房屋

水平线上的。第一条水平线上的图形组成成分以从左到右的次序相继出现，然后出现第二条水平线上的图形组成成分，然后是第三条水平线上的等等。硬拷贝设备也是用随机扫描法或光栅扫描法制图的。宽行打印机用的是光栅扫描法，而笔架能在任意方向移动的绘图机用的是随机扫描法。

图 2-3 表示了光栅扫描轨迹。扫描从屏面的左上角开始，在从左到右扫描时，调节光束强度以便产生不同的浓淡程度。到达右边时，电子停止发射，然后又移到左边（虚线），到比前一条线低一个单位的位置，又重新开始发射电子。当所有的线都扫描过以后，电子枪又回到左上角。一般的光栅扫描图形显示器的扫描线有 256 到 1024 条；条数愈多，图形质量愈高，由光栅扫描所显示的房屋外形如图 2-4 所示，图上表示了扫描线以及光束强度高的各点。

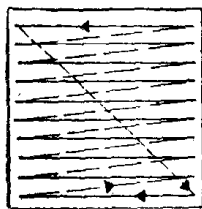


图2-3 光栅扫描轨迹

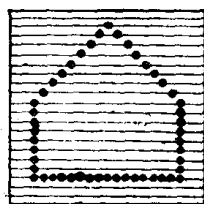


图2-4 由光栅扫描所显示的房屋

在光栅显示中，线条、数字、多边形等显示元素是以像素的形式存储在再生缓冲存储器中的。图形由光栅形成，也即是由一组水平光栅线形成（每一条光栅线由一系列像素组成），所以光栅就是覆盖全部屏面的一个点阵。整个屏面每秒钟扫描 30 次，一行一行地从上到下扫描。改变扫描线上各像素的电子束强度，就形成图像（见图 2-5）。由于整个图像的 512×512 都要存储在位图中，因此所需要的存储量是很大的。位图上的点和屏面上的点是一一对应的。

标准光栅显示器的分辨率是 1280×1024 ，比矢量显示器的 4096×4096 低；光栅显示系统的硬件速度难于提供高分辨率所

需要的运动。一个显示元素（例如一条直线或一个矩形）的所有像素都必须在缓冲存储器中变换成新的坐标，而不像在矢量显示的情况下，只需要变换

一条直线的两个端点。

为了顺利地全面更新一幅 1280×1024 的屏面，一百多万个像素必需在少于 $1/10\text{ s}$ 的时间内

变动。这样的要求有些系统是达不到的。可是

光栅显示使得面的显示（常常用彩色）成为可能，这是一种传递信息的

特别有效的方法。此外，再生过程和图像的

复杂性（图形的线条数）

无关，因为硬件的速度

足以在再生周期中将缓冲存储器中的每个像素读出，不论这像素是表示图形信息还是表示背景，因此，不会闪烁。相反，对于矢量显示，当缓冲中的显示元素太多而在 $1/30\text{ s}$ 的时间内不能读出并处理时，就会产生闪烁。

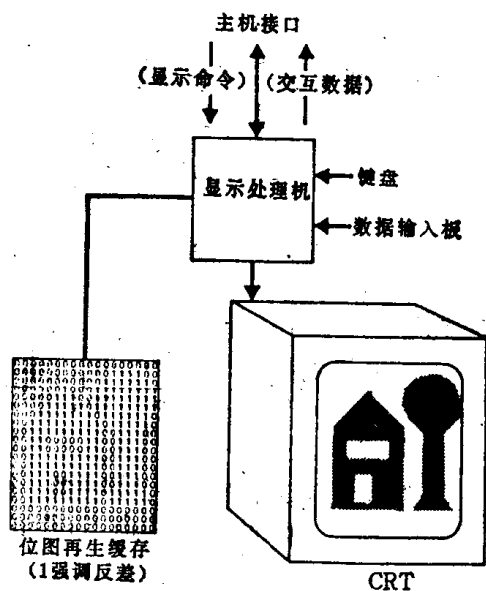


图2-5 光栅扫描显示器原理

二、光栅显示器的基本结构

1. 一般原理

随机扫描系统所显示的图形是以输出元素的显示指令编码的，指令以线条的端点作为坐标数据值。光栅扫描系统的编码比较简单：输出元素分成一些点以进行显示。

随机扫描显示（它也存储点）和光栅扫描显示的主要区别在于点的存储方式不同。在随机扫描中，图形元素的点顺序地存储在存储器中，以同样的顺序一个一个地显示，因为电子束可以任

意在屏面上移动。在光栅扫描显示器中，再生存储器排列得像二维矩阵。在特定的行和列的入口存储了对应于屏面上 (x, y) 点的亮度或色值。屏面上各点和存储器中各点的对应关系如图 2-6 所示。各点的横坐标从 0 到 $M-1$ ，纵坐标从 0 到 $N-1$ 。缓冲存储器的第一行对应于第一条扫描线，其它各行依此类推。光栅扫描就是从上到下逐行依次进行的。

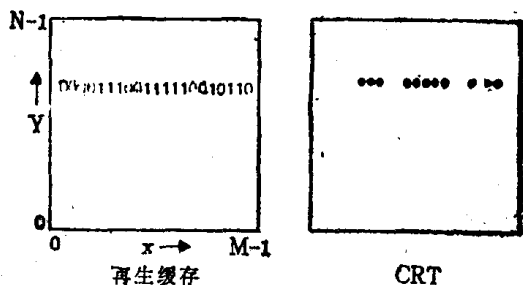


图2-6 在再生缓冲存储器中的一行对应于CRT上的一条扫描线，缓冲存储器中的“1”在屏面上产生一个亮点

因为一个存储单元确定了图形的一个“点”的元素，所以屏面上的一个单元（和存储器的单元对应的）就称为像素。在计算机图形显示学中，我们称光栅显示的点为像素，而对高一级的元素（例如线条、字符等）则称为图形元素或输出元素。简单的再生缓存对每个像素用一位表示，因此只能定义二色（通常是黑与白）的图像。现代化再生缓存，或称帧缓存或位图，是由固态随机存取半导体存储器制成的。

图形再生系统（图 2-7）使再生缓存一行一行地运行，然后再从头开始，一般是每秒钟 30 或 60 循环。存储器访问地址和光栅扫描同步产生，存储内容即用于控制 CRT 电子束的强度。图形再生系统的框图如图 2-8 所示。光栅扫描发生器产生偏转信号以进行光栅扫描，同时控制 X 和 Y 地址寄存器。寄存器确定像素的存储单元，从而取得控制 CRT 电子束强度的信息。

在再生循环开始时，X 地址寄存器置零而 Y 寄存器置 $N-1$ （最上的扫描线）。在这条扫描线上，X 寄存器逐渐增值到 $M-1$ 。每

个像素值都用来控制 CRT 的电子束强度。第一条线扫描完后, X 寄存器又置零, 而 Y 地址减少 1, 这种过程一直继续到产生最后

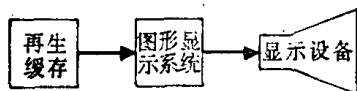


图2-7 图形再生系统使再生缓存和 CRT 的显示内容不断循环

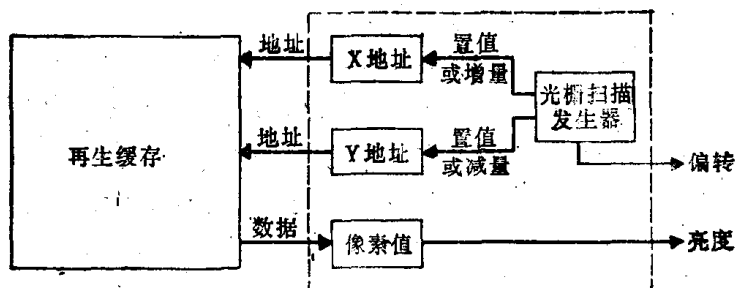


图2-8 图形再生系统框图

一条扫描线 ($y = 0$)。

在光栅扫描结束时, 图形再生系统有时也可以中断计算机。于是计算可以在 1.3ms 的回扫时间内更换图形的存储内容, 1.3 ms 是 CRT 电子束从屏面右下角移动到左上角的那段时间。如果更换的时间超过回扫时间, 也可以停止图形的再生。也可以在图形再生过程中更换, 但是最好不要使观察者为了局部更换而分心。

图形再生系统常常像电视一样是隔行扫描的。再分周期分成两段, 每段 $(1/60) s$, 全部再生一次为 $1/30 s$ 。在第一阶段中, 显示所有奇数的扫描线, 而在第二阶段中, 显示所有偶数的扫描线。隔行扫描的目的是要在 $1/60 s$ 的时间内将新信息显示在整个屏面上, 从而避免光栅扫描在 $1/30 s$ 的再生周期内产生闪烁。其效果是产生 60Hz 实际再生周期的图形, 条件是相邻扫描线所显示的内容必需是类似的信息。

某些光栅显示器使用逐行扫描法, 整个图形每秒钟显示 60