

第一章 绪 论

一、计算机图形学与图象处理

计算机图形学的发展已经有 30 年的历史了。它的基本含义是使用计算机通过算法和程序在显示设备上构造出图形来。也就是说,图形是人们通过计算机设计和构造出来的,不是通过摄象机或扫描仪等设备输入的图象。所设计和构造的图形可以是现实世界中已经存在的物体的图形,也可以显示完全虚构的物体。因此,计算机图形学是真实物体或虚构物体的图形综合技术。

与此相反,图象处理是景物或图象的分析技术,它所研究的是计算机图形学的逆过程。包括图象增强、模式识别、景物分析、计算机视觉等,并研究如何从图象中提取二维或三维物体的模型。图 1-1 简要的表示出计算机图形学和图象处理的区别和联系。

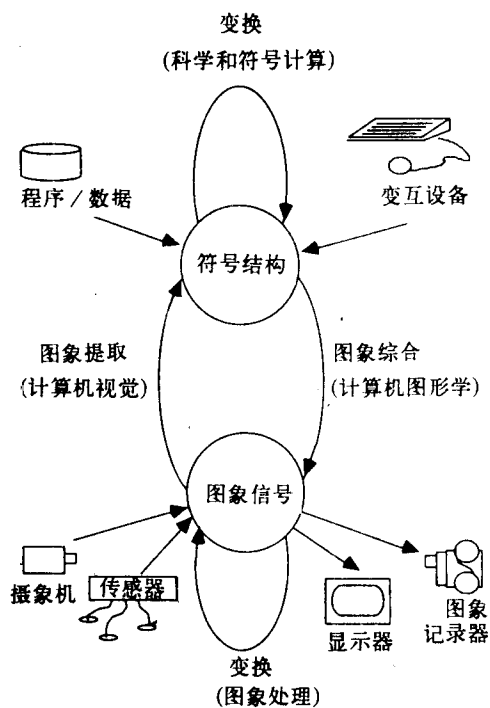


图 1-1

尽管计算机图形学和图象处理所涉及的都是用计算机来处理图形和图象,但是长期以来却属于不同的两个技术领域。近年来,由于多媒体技术、计算机动画、三维空间数据场显示及纹理映射等的迅速发展,计算机图形学和图象处理的结合日益紧密,并相互渗透。

例如,将计算机生成的图形与扫描输入的图象结合在一起,构造计算机动画;用菜单或其它图形交互技术来实现交互式图象处理;通过交互手段,由一幅透视图象中提取出对称物体的三维模型并进行修改;也可由一幅图象直接变换为另一幅图象从而代替了图形的综合等等。计算机图形学与图象处理相结合,加速了这两个相关领域的发展。

二、计算机图形学的发展简史

计算机图形学的发展历史应追溯到 50 年代末至 60 年代初期。当时的计算机主要应用于科学计算,使用尚不普及,但已开始配置了图形显示器。例如,美国麻省理工学院旋风(Whirlwind)计算机就配置了由计算机驱动的阴极射线管式的图形显示器,但不具备人机交互功能。50 年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制的 SAGE 空中防御系统,就已具有指挥和控制功能。这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形来获得所需要的信息,这一功能的出现预示着交互式图形生成技术的诞生。

1963 年,美国麻省理工学院的 I. E. 萨瑟兰德(I. E. Sutherland)在他的博士论文中提出了 SKETCHPAD 系统。这一系统用的是 TX-2 型计算机及阴极射线管式图形显示器,它可用光笔在图形显示器上实现选择、定位等交互功能。计算机还可以跟踪光笔,从原来所在的点到所指定的点画出直线,或在给定圆心和半径后画出圆等。这一系统还引入了分层存储符号和图素的数据结构,因而一幅完整的图可以通过分层调用若干子图来产生。这些基本概念和技术直至今日还是有用的。因此,I. E. 萨瑟兰德的 SKETCHPAD 系统被公认为对交互图形生成技术的发展奠定了基础。

30 年来,交互式计算机图形学有了飞速的发展。在本章中,主要介绍支持计算机图形生成技术的硬、软件环境的发展和变化。

在 60 年代,计算机主要以大型机的形式出现,大多用于科学计算及事务管理。因而,以大型计算机连接图形终端成为计算机图形生成技术的运行环境。例如,美国通用汽车公司用于计算机辅助汽车设计的 DAC 系统,美国 CDC 公司开发的 Digigraph 计算机辅助设计系统等。进入 70 年代以后,由于集成电路技术的发展,计算机硬件性能不断提高,体积缩小。价格降低,特别是廉价的图形输入、输出设备及大容量磁盘等的出现,以小型计算机及超级小型机为基础的图形生成系统开始进入市场并形成主流。由于这种系统比起大型计算机来,价格相对便宜,维护使用也比较简单,因而,70 年代以来,计算机图形生成技术在计算机辅助设计、事务管理、过程控制等领域得到了比较广泛的应用。

进入 80 年代以后,工程工作站的出现,极大地促进了计算机图形学的发展。比起小型计算机来,工程工作站在用于图形生成上具有显著的优点。首先,工程工作站是一个用户使用一台计算机,交互作用时,响应时间短;其次,工作站连网后可以共享资源,如大容量磁盘,高精度绘图仪等;而且它便于逐步投资、逐步发展、使用寿命较长。因而,工作站已经取代小型计算机成为图形生成的主要环境。目前,工程工作站正朝着提高速度,扩大容量,提高分辨率,具有标准化的友好的用户界面以及采用多媒体技术等方向发展。将整数运算速度提高到每秒 10 亿次以上,内存容量扩大到 1000 兆字节以上的日子,已经为期不远了。

80年代后期以来,微型计算机的性能迅速提高,以486微机为例,整数运算速度已达两千万次以上,内存容量达64兆字节,磁盘容量可达1000兆字节,而且可以配高分辨显示器及窗口管理系统,并在网络环境下运行,因此,已经成为计算机图形生成技术的重要环境。由于微机系统的价格仍较工作站便宜,因而受到广大用户的欢迎,更易于普及和推广。随着微机性能的进一步提高,可以预计,它将在计算机图形技术的应用中扮演更为重要的角色。

除了计算机系统本身的性能以外,推动计算机图形学不断前进的另一重要因素是图形显示设备的发展。自60年代中期出现并得到推广应用的显示设备称为矢量显示器,在这里,矢量是划线的同义词。一个典型的矢量显示器包括一个显示处理器,它作为输入/输出外围设备连接在中央处理器上,一个缓冲存储器和一个阴极射线示波器(CRT)。缓冲存储器中存放着计算机产生的显示程序,它包括带有端点坐标的画线命令以及绘制字符的命令等。矢量显示器的实质是电子束按照显示命令给定的顺序作偏转运动,因此,也称为随机扫描显示器。

为了避免屏幕图象的闪烁,显示处理器必须以每秒30次以上的速度周期性的扫描显示程序,刷新萤光屏。在60年代,具有这种刷新能力的矢量显示器是很昂贵的,因而影响了它的广泛使用。

60年代后期出现了存储管理式显示器,它不需要缓冲存储器和刷新过程,消除了闪烁问题,而价格却比矢量显示器便宜一个数量级。这就使得交互式图形生成技术的广泛应用成为现实。将这种显示器连接在小型计算机上,成为70年代计算机图形系统的典型模式。但存储管理显示器也存在一个缺点,即不具备局部修改的能力。因而难以进行动态显示。

70年代初期,基于电视技术的光栅扫描显示器的出现极大地推动了计算机图形学的发展。光栅扫描显示器将被显示的图象以点阵形式存储在刷新缓存中,由视频控制器将其读出并在屏幕上产生图象。光栅扫描显示器较之随机扫描显示器有许多优点。一是规则而重复的扫描比随机扫描容易实现,因而价格便宜;二是可以显示用颜色或各种模式填充的图形,这对于生成三维物体的真实感图形是非常重要的。三是刷新过程与图形的复杂程度无关,只要基本的刷新频率足够高,就不会因为图形复杂而出现闪烁现象。由于光栅扫描显示器具有许多优点,因而直至今日仍然成为图形显示的主要方式,工程工作站及微型计算机都采用这种光栅扫描显示器。

随着计算机图形显示器从专用的图形输出设备发展为标准化的人-机通信接口,就给图形显示软件提出了一个要求,要求它由低层次的与设备有关的软件包转变为高层次的与设备无关的软件包。与设备有关的图形软件包原本是制造厂为他们的专用显示设备提供的,而现在却要求它能驱动多种不同的显示设备。图形软件标准化的这一问题是在70年代中期提出的,并由美国计算机学会计算机图形学专门组(ACM SIGGRAPH)在1979年提出了3D CORE图形软件标准。后来经国际标准化组织批准的第一个图形软件标准是GKS,这是一个二维图形标准。它的三维扩充GKS 3D在1988年被批准为三维图形软件标准。与此同时,美国国家标准化委员会也提出了一个程序员的层次式交互图形系统PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System),正如其名字表示的那

样,它支持三维图象的层次嵌套结构,而 CKS 只支持逻辑上相关图象的组合,称为图段,但并非嵌套结构。目前图形软件标准正在朝着高性能、开放式和高效率的方向发展。

三、计算机图形学的应用

正如前述 30 年来,计算机图形系统的硬、软件性能日益提高,而价格却逐步降低,这必然促使计算机图形生成技术的应用日益广泛。目前,已经应用于工业、科技、教育、管理、商业、艺术、娱乐等多个领域。近十年来,我国在计算机图形学的应用上也取得长足进展,在本节中所介绍的图形,均由国内自主开发的软件制作而成。

计算机图形学的代表性应用有:

1) 计算机辅助绘图及设计

在计算机辅助设计(CAD)中,交互式图形生成技术用来设计机械、电子设备等产品的元部件和系统以及工程建筑。例如:汽车本身、飞机和船体的外壳、模具、大规模集成电路、光学系统、民用建筑、服装、玩具等。有时候,用户仅仅需要绘制出设计对象的精确图形,更常见的是,在计算机中构造出设计对象的模型,然后对它的机械性能、电性能或热性能进行分析计算并用图形显示其结果。图 1-2 及图 1-3 是计算机辅助设计软件设计出的机械零件及茶壶、茶杯图象,(见彩图)。

2) 事务管理中的交互式绘图

应用图形学最多的领域之一是绘制事务管理中的各种图形,如统计数据的二维及三维图形,直方图、线条图,表示百分比的扇形图。又如工作进程图,库存和生产进程图以及大量的其它图形。所有这些都以简明的形式呈现出数据的模型和趋势以增加对复杂现象的理解并促进决策的制定。

3) 科学计算可视化

随着科学技术的进步,人类面临着越来越多的数据需要进行处理。这些数据来自高速计算机,人造地球卫星,地震勘探,计算机层析成像和核磁共振等途径。科学计算可视化就是应用计算机图形生成技术将科学及工程计算的中间结果或最后结果以及测量数据等在计算机屏幕上以图象形式显示出来,使人们能观察到用常规手段难以观察到的自然现象和规律,实现科学计算环境和工具的进一步现代化。科学计算可视化可广泛应用于计算流体力学、有限元分析、气象科学、天体物理、分子生物学、医学图象处理等领域。图 1-4 及图 1-5 是由三维空间数据场显示软件产生的三维气象图象及人的头骨图象(见彩图)。

4) 过程控制

在过程控制中,常常将计算机与现实世界中的其它设备连成一个系统。计算机图形显示设备常用来显示系统中关键部位的状态。如炼油厂、发电厂和电力系统的状态显示器可显示出由传感器送来的压力、温度、电压、电流等数据,从而使操作人员可对异常情况作出反应。机场的飞行控制人员从雷达显示器上观察到计算机产生的标志及状态信息,因而可以更快、更准确的管理空中交通。

5) 计算机动画及广告

由于计算机图形系统的硬件速度提高,软件功能增强,因而利用它来制作计算机动画已经是相当普遍的了。为了避免画面闪烁,放映一秒钟的动画,就需制作 24 幅画面,因而

制作较长时间的动画,工作量是相当大的。但是,利用计算机制作动画恰恰可以在两幅关键画面之间自动插入中间画面,从而大大节约了时间,提高了动画制作的效率。目前,利用计算机图形生成技术制作的动画作为电视节目的片头或广告,在国内已经屡见不鲜了。

6) 计算机艺术

将计算机图形学与人工智能技术结合起来,可构造出丰富多彩的艺术图象,这是近年来计算机图形学的又一个重要应用领域。利用专家系统中设定的规则,可以构造出形状各异的多图案并实现合理的颜色配置。图 1-6 是由智能 CAD 系统创作的美术图案(见彩图)。此外还可以利用计算机图形学技术生成盆景和书法等。

7) 地形地貌和自然资源的图形显示

应用计算机图形生成技术产生高精度的地理图形或其它自然资源的图形是另一个重要的应用领域。包括地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象图、植被分布图等。目前,地理信息管理系统已经在先进国家中得到广泛的应用。它就是建立在地理图形基础之上的信息管理系统。图 1-7 是表示我国地形的三维立体图形(见彩图)。

8) 办公自动化及电子出版系统

随着微型计算机及桌上印刷设备的发展,计算机图形学及人机交互技术在办公自动化及电子出版系统中得到广泛的应用。昔日需要提交给专门的印刷机构出版的资料,现在可以在办公室内印刷了,办公自动化及电子出版系统可以产生传统的硬拷贝文本,也可以产生电子文本,包括正文、表格、图形及图象等内容。

国外资料表明,在整个 90 年代,计算机图形生成技术的应用仍将不断发展,计算机图形系统的市场将以每年 15% 至 20% 的递增速度不断扩大。1990 年为 160 亿美元,1995 年将达到 360 亿美元,至 2000 年将达到 800 亿美元。但是,在应用领域的分布方面将会有些变化。整个 80 年代,计算机辅助设计/制造成为计算机图形技术的最主要应用领域,大约占整个计算机图形技术应用的二分之一左右。显然,这一领域的应用仍将继续发展。但是,由于多媒体技术,科学计算可视化,计算机动画等领域的迅猛发展,至 1995 年,计算机辅助设计/制造在计算机图形技术的应用中所占的份额将降低至三分之一左右,与此相反,以图形或图象来表示和说明客观世界的各种各样的应用将上升至二分之一左右。

四、计算机图形学的发展动向

前面已经提到,计算机图形学是通过算法和程序在显示设备上构造出图形的一种技术。这和用照像机摄制一幅照片的过程比较类似。当用照相机摄制一个物体、比如说一幢建筑物的照片时,首先在现实世界中必须有那么一幢建筑物存在,才能通过照相的原理拍摄一张照片。与此类似,要在计算机屏幕上构造出三维物体的一幅图象,首先必须在计算机中构造出该物体的模型。这一模型是由一批几何数据及数据之间的拓扑关系来表示的。这就是造型技术。有了三维物体的模型,在给定了观察点和观察方向以后,就可以通过一系列的几何变换和投影变换在屏幕上显示出该三维体的二维图象。为了使二维图象具有立体感,或者尽可能逼真地显示出该物体在现实世界中所观察到的形象,就需要采用适当的光照模型,尽可能准确地模拟物体在现实世界中受到各种光源照射时的效果,这些就是计算机图形学中的画面绘制技术。三维物体的造型过程、绘制过程等都需要在一个操作方

便、易学易用的用户界面下工作,这就是人机交互技术。多年来、造型技术、绘制技术及人机交互技术构成了计算机图形学的主要研究内容。当前,仍然在这三个方面不断地向前发展。

1) 造型技术的发展

计算机辅助造型技术以所构造的对象来划分,可以分为规则形体造型和不规则形体造型。规则形体指的是可以用欧氏几何进行描述的形体,例如:平面多面体、二次曲面体、自由曲面体等,统称为几何模型。构造几何模型的理论、方法和技术称为几何造型技术,它是计算机辅助设计的核心技术之一,因而早在70年代国际上就进行了广泛而深入的研究,目前,已有商品化的几何造型系统提供给用户使用。近年来,由于非均匀有理B样条(Nonuniform Rational B Spline)具有可精确表示圆锥曲线的功能,以及对控制点进行旋转、比例、平移及透视变换后曲线形状不变的特点,因而为越来越多的曲面造型系统所采用。同时,将线框造型、曲面造型及实体造型结合在一起,并不断提高造型软件的可靠性也是造型技术的重要研究方向。

虽然几何造型技术已得到广泛应用。但是,它只是反映了对象的几何模型,而不能全面反映产品的信息,如产品的形状、公差、材料等,从而使得计算机辅助设计/制造的一体化难于实现。在这样的背景下,就出现了特征造型技术,它将特征作为产品描述的基本单元,并将产品描述成特征的集合。例如,它将一个机械产品用形状特征、公差特征、技术特征三部分来表示,而形状特征的实现又往往是建立在几何造型的基础之上的。目前,特征造型技术在国内外均处于起步阶段。

近几年来,主要是由于发展动画技术的需要,提出了基于物理的造型技术。在几何造型中,模型是由物体的几何数据和拓扑结构来表示的。但是,在复杂的动画技术中,模型及模型间的关系相当复杂,不仅是静态的、而且是动态的。这时,靠人来定义物体的几何数据和拓扑关系是非常繁杂的,有时甚至是不可能的。在这种情况下,模型就可以由物体的运动规律自动的产生,这就是基于物理的造型技术的基本概念。显然,它是比几何造型层次更高的造型技术。目前,这种基于物理的造型技术不仅可在刚体运动中实现,而且已经用于柔性物体。

与规则形体相反,不规则形体是不能用欧氏几何加以定义的,例如,山、水、树、草、云、烟、火以及自然界中丰富多彩的其它物体。如何在计算机内构造出表示它们的模型,是近年来研究工作的另一个特点。与规则形体的造型技术不同,不规则形体的造型大多采用过程式模拟,即用一个简单的模型及少量的易于调节的参数来表示一大类物体,不断改变参数,递归调用这一模型就能一步一步地产生数据量很大的物体,因而这一技术也称为数据放大技术。近年来,国际上提出的基于分形理论的随机插值模型、基于文法的模型以及粒子系统模型等都是应用这一技术的不规则形体造型方法,并已取得了良好的效果。

2) 真实图形生成技术的发展

真实图形生成技术是根据计算机中构造好的模型生成与现实世界一样的逼真图象。在现实世界中,往往有多个不同的光源,在光源照射下,根据物体表现的不同性质产生反射和折射、阴影和高光,并相互影响、构造出丰富多采的世界。早期的真实图形生成技术用简单的局部光照模型模拟漫反射和镜面反射,而将许多没有考虑到的因素用一个环境光

来表示。80年代以后,陆续出现了以光线跟踪方法和辐射度方法为代表的全局光照模型,使得图象的逼真程度大为提高,但是却又带来了另一个问题,这就是计算时间很长。目前,在许多高档次的工作站上,已经配备了由硬件实现光线跟踪及辐射度方法的功能,从而大大提高了逼真图形的生成速度。

3) 人-机交互技术的发展

直至80年代初期,在设计计算机图形生成软件时,一直将如何节约硬件资源——计算时间和存储空间——作为重点,以提高程序本身的效率作为首要目标。随着计算机硬件价格的降低和软件功能的增强,提高用户的使用效率逐渐被认为是首要目标。为此,如何设计一个高质量的用户接口成为计算机图形软件的关键问题。

一个高质量的用户接口的设计目标应该是:易于学习、易于使用、出错率低、易于回忆起如何重新使用这一系统并对用户有较强的吸引力。80年代中期以来,国际上出现了不少符合这一目标的人-机交互技术。例如:屏幕上不仅可以开一个窗口而且可以开多个窗口;从以键盘实现交互发展到以鼠标器实现交互;将菜单放在屏幕上而不是放在台板上;不仅有静态菜单而且有动态菜单;不仅用字符串作为菜单而且用图标作为菜单;图标可以表示一个对象,也可以表示一个动作,从而使菜单的含义一目了然。

如何在三维空间实现人-机交互一直是计算机图形技术的一个研究热点。近年来,虚拟环境技术的出现使三维人-机交互技术有了重要进展。所谓虚拟环境是指完全由计算机产生的环境,可是却具有与真实物体同样的外表、行为和交互方式。目前,典型的方法是用用户头戴立体显示眼镜,头盔上装有一个敏感元件,反映头部的位置及方向,并相应改变所观察到的图象。手带数据手套实现三维交互,并有一个麦克风用来发出声音命令。

以上是关于计算机图形生成技术发展动向的简单介绍。由于本书是交互式计算机图形学的大学本科教材,上述发展动向中的大部分在本书中难于作详细介绍。不过,我们相信,在绪论中就这一问题作简单介绍对读者是有益的。

思 考 题

1. 试比较计算机图形学与图象处理技术的相同点和不同点。
2. 试描述您所熟悉的计算机图形系统的硬软件环境。
3. 试列举计算机图形学的三个应用实例。

第二章 图形系统

第一节 系统的组成

计算机图形系统应由硬件设备及相应的程序系统(即软件)两部分组成。

硬件包括主计算机,图形显示器以及鼠标器和键盘等基本交互工具,还有图形输入板、绘图机、图形打印机等图形输入输出装置,以及磁盘、磁带等存储设备。软件包括操作系统、高级语言、图形软件和应用软件。

硬件设备是计算机图形学存在与发展的物质基础,其本身又是计算机科学技术高水平发展和应用的结果。

第一台图形设备是1950年美国麻省理工学院(MIT)的“whilwind 1”(“旋风1号”)计算机的一个配件——图形显示器。它只能显示简单的图形,类似一台示波器。计算机科学技术经过30多年的长足进步,才有了如今日臻完善的计算机图形系统。

现代计算机图形系统与一般计算机系统最主要的差别是具有图形的输入、输出设备以及必要的交互工具。作为系统核心的主计算机,在运算速度和存储容量上均有较高的要求。一般运算速度至少为每秒数百万次,内存容量至少为数百千字节或数兆字节。这就不难理解,为什么直到80年代,计算机图形系统才得以更普遍的推广,因为这时个人计算机已达到这样的技术水平,可作为普及型图形工作站的主机。

严格说来,使用系统的人也是这个系统的组成部分。在整个系统运行时,人始终处于主导地位。可以说,一个非交互式计算机图形系统只是通常的计算机系统外加图形设备;而一个交互式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,如图2-1所示。

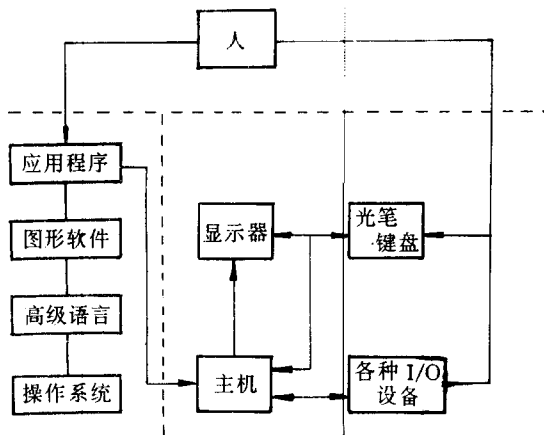


图 2-1 图形系统一般结构示意图

一、图形系统的基本功能

作为一个图形系统,至少应具有计算、存储、输入、输出、对话等五个方面的基本功能(见图 2-2)。

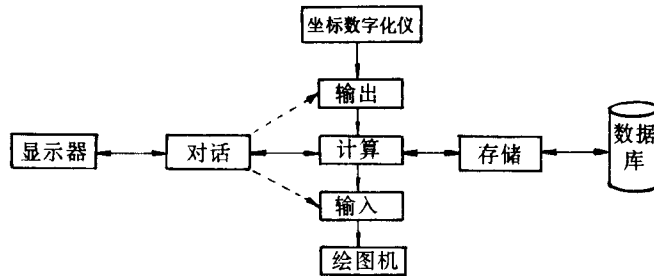


图 2-2 图形系统基本功能框图

1. 计算功能

图形系统应能实现设计过程中所需要的计算、变换、分析等功能。如直线、曲线、曲面等几何因素的生成,坐标的几何变换,线段、形体间的求交、裁剪计算以及点的包含性检查等。

2. 存储功能

在图形系统的存储器中,应能存放所设计的各种形体的几何数据及形体之间的相互关系,并可实现对有关数据的实时检索以及保存对图形的删除、增加、修改等信息。

3. 输入功能

图形系统应能将所设计形体的几何参数(例如大小、位置等)以及各种命令输入到系统中去。

4. 输出功能

图形系统应能在显示屏幕上显示出设计过程当前的状态,经过删、增、改后的结果。在得出满意的设计结果或有其它输出要求时,应能通过绘图仪、打印机等设备实现硬拷贝输出,以便长期保存。

5. 对话功能

图形系统应能通过图形显示器及其它人-机交互设备直接进行人-机通信。利用定位、拾取等手段,输入或获取各种参数,同时应能领会人的意图,接收各种命令,实现删、增、改等操作,并能观察设计结果。

如果需要这样一个具备基本功能的系统,首先就要对硬件设备和软件结构作出合理的选择。此外,还应考虑如下一些要求:

- (1) 系统怎样与其它方面(如生产、设计以及人们的经验等)最佳地相互配合;
- (2) 经济因素;
- (3) 系统安装、运行、维护、管理的条件;
- (4) 用户接口。

二、图形系统的分类

计算机图形系统根据其功能的强弱,也即所配置的硬件规模、软件丰富程度,以及价格的高低,大体可分为四类:

1. 以大型机为基础的图形系统

这种系统在发达国家多用于飞机制造、汽车制造等大型企业(也是应用计算机辅助设计技术最早的企业)。它以大型计算机为基础,具有容量庞大的存储器和极强的计算功能,并且具有大量的显示终端及高精度、大幅面的硬拷贝设备。这种图形系统还往往拥有自行开发的、功能齐全的、且不外传的应用软件系统。

例如,美国第三大汽车公司(CHRYSLER 汽车公司)就拥有庞大的计算机系统来实现计算机辅助设计、实体造型、结构分析、运动模拟、工程和科学计算、项目管理、生产过程控制等。早在十年前,该公司就拥有 CDC 公司的 CYBER 系列大型计算机 27 台,还有一些 IBM 公司及 DEC 公司的计算机,共有 151 个磁盘驱动器,磁盘总容量高达 195 千兆字节,拥有各种终端 1176 个,其中 550 个用于 CAD/CAM。该公司还自行开发了一整套图形应用软件,这一庞大的软件系统是该公司用来实现产品更新、满足市场需求和在竞争中求得生存的重要保证。

2. 以中型机或超级小型机为基础的图形系统

70 年代后期,随着具有分时操作系统的 32 位超级小型机的出现,很快推出了以它为基础的图形系统。与第一类系统不同,这一类系统是以商品形式出现的,它们在 70 年代末至 80 年代初,成为计算机辅助设计市场上的主流产品。

这种系统以 32 位超级小型机作为处理机,并配有较大容量的内存和外存,配有高精度、大幅面的图形输入输出设备。这类系统还常配备具有较强功能的图形支撑软件和应用软件随机出售。但这类系统价格较贵,一般每套需要几十万美元。如美国的 Intregraph, Applicon 及 computer Vision 等产品均属此类系统,然而,此类系统目前大多已被淘汰。

3. 以工程工作站为基础的图形系统

80 年代初期以来,出现了工程工作站和以它为基础的图形系统。工作站是具有高速的科学计算、丰富的图形处理、灵活的窗口及网络管理功能的交互式计算机系统。它与具有分时系统的超级小型机不同:一个用户使用一台计算机,并具有联网功能。由于联网后可以共享资源,便于逐步投资、逐步发展等优点,因而受到了广泛欢迎。这类系统发展十分迅速,已经取代了第二类图形系统。美国的 Sun, SGI, HP, DEC, IBM 等公司的产品均属此类。

工程工作站大多采用 32 位或 64 位字长的中央处理器(CPU);广泛采用精减指令(RISC),超标量、超流水线等技术;内存至少 8MB,可扩充到 100MB 以上,高速缓存大多在 32KB 以上;自带外存,磁盘容量在 600MB 以上;运算速度在 20MIPS 和 5MFLOPS 以上。具有 UNIX 操作系统和 X 窗口管理系统,还配有用户界面开发工具,如 Motif 或 Openlook);不仅有字符处理功能,更要有图形处理功能,图形显示器的分辨率在 1024×900 以上,一般具有 8 个位面(可显示 256 种颜色),有的具有 100 个位面以上;可以在网

络的任何地方(近程或远程)存取信息,具有无盘节点和有盘节点的形式;此类系统不仅可用于办公室自动化、文字处理、文本编辑等,更主要的是用于工程和产品的设计与绘图,运动模拟、动画和科学计算可视化等领域。

在以工作站为基础的图形系统中,制造商一般只提供硬件及系统软件,应用软件多由专门从事系统集成的公司或其它公司开发,由用户选购。

这类工作站的价格视档次高低不同而异,低档的每台不到 1 万美元,高档的十几万美元。

4. 以微型机为基础的图形系统

近年来,由于微型机的性能日益提高,价格日益降低,因而使得以微机(例如 386,486 微机)为基础的图形系统在技术上成为可能,日益得到广泛应用。

这类系统以常见的高档微机为基础,配上浮点运算部件,并配以中、低分辨率的图形显示器以及交互设备,廉价的绘图仪及打印机等,单价低于几千美元。

目前,以微型机为基础的图形系统多用作二维图形的计算机辅助绘图,应用软件也多是二维的。但是,随着微型机性能的进一步提高,用微型机实现三维形体的设计及显示也是完全可能的。

第二节 图形硬件设备

与一般计算机系统一样,计算机图形系统也具有中央处理机、外存储器、打印机、键盘等设备。此外,还必须有图形的输入设备和输出设备,以保证图形系统基本功能的实现。根据不同的应用领域要求,可以有各种不同的设备配置。比如,若仅用字符产生的图形即可满足应用要求,那么就可以在与通用计算机相联的打印机或显示屏幕上,用“PRINT”或“WRITE”语句输出字符来构成图形(见图 2-3)。如果配有绘图仪,就可以产生如图 2-4 所示的图形。在图形显示器上,我们可以利用画线命令交互地建立和处理图形。如果还有更进一步的应用要求,那就必须配置其它相应的硬件设备。

一、显示设备

显示设备是最终产生图形显示效果的部件。虽然已有各种各样的图形显示装置和许多新的显示技术和显示设备出现,但是目前占统治地位的仍是阴极射线管(CRT)显示器,它的核心部件是 CRT,估计这种状况还要持续多年。

1. CRT

(1) 单色 CRT

单色 CRT 的构造见图 2-5,它利用电场产生高速的聚焦电子束,偏转到屏幕表面的不同部位,以产生可见图形。CRT 主要由 3 部分组成:电子枪、偏转系统和荧光屏。

① 电子枪

电流通过灯丝产生热量,即对阴极加热而发射出电子束。在聚焦极上加上一一定的正电压,使电子束聚焦,形成很细的电子束。再由加速极(通常不止一个)加上正电压对电子束加速,使它具有足够的能量射向荧光屏。靠近阴极有一控制极,加上负电压后能控制电子

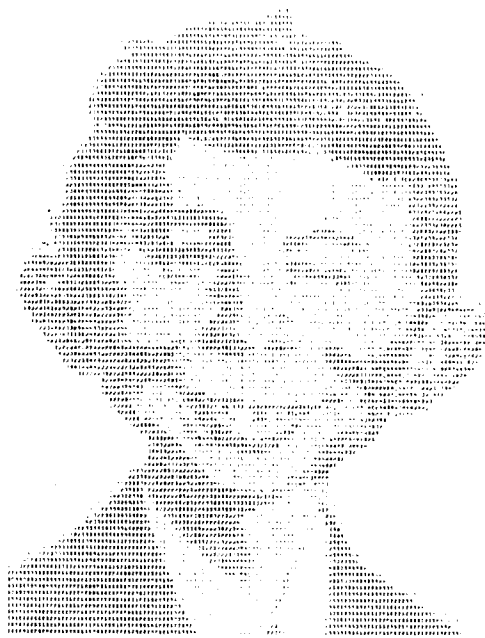


图 2-3 采用不同的字符组合,在打印机上产生的图形

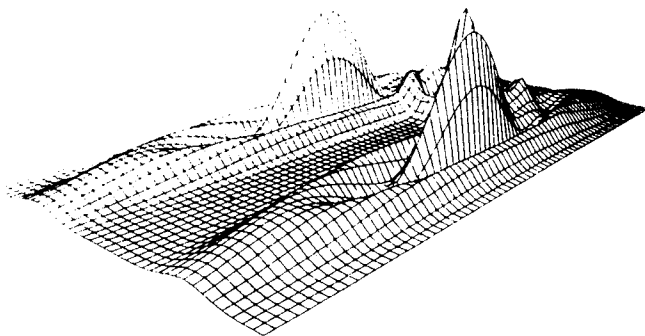


图 2-4 笔式绘图仪输出的图形

束的强弱,甚至使电子束截止。也就是说,控制板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

偏转系统是 CRT 中最关键的部分,有了它才能在屏幕上描绘出图形。我们可以用静电场,也可以用磁场来控制电子束的偏转。用静电场产生偏转时,垂直和水平两套平板放在阴极射线管的管颈内部(见图 2-5)。磁偏转系统则是外部偏转系统,它有两个线圈绕在管颈上(见图 2-6),当电子束通过线圈时,一个线圈的磁场使电子束产生水平偏转,另一

个使之产生垂直偏转。

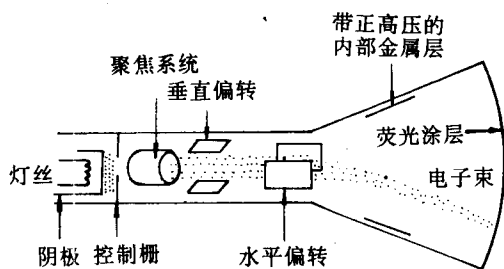


图 2-5 CRT 剖面示意图

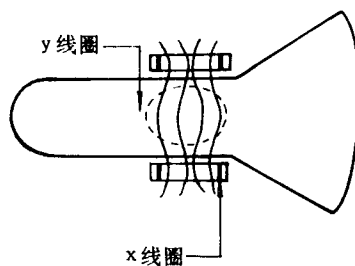


图 2-6 磁偏转系统 CRT 剖面图

偏转系统最重要的特性是灵敏度，它反映了偏转信号所能产生的偏转角度的大小。如果一个 CRT 的灵敏度低，为获得较大的偏转角度，只能加长管子的长度，其结果，显示器就非常笨重。静电偏转技术的灵敏度由式(2-1)给出：

$$\tan\alpha = LV_d / (2DV_a) \quad (2-1)$$

式中 α 为偏转角度(见图 2-7)；

V_a 为加速电压；

V_d 为偏转电压；

L 为偏转板的长度；

D 为板间距离。

显然，当偏转角 α 给定以后， V_d 愈大(即电子束速度愈高)，所要求的偏转电压也愈高。磁偏转的灵敏度由式(2-2)决定：

$$\tan\alpha = BL / \sqrt{2KV_a} \quad (2-2)$$

式中 B 为磁场强度；

L 为偏转场的有效长度；

K 为常数。

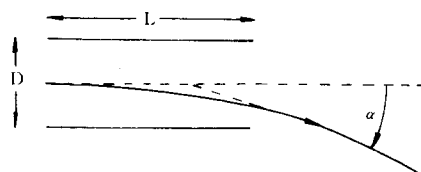


图 2-7 偏转灵敏度示意图

同样，高速电子要求较强的磁场，也即要求较大的电流。但是，灵敏度与 $\sqrt{V_a}$ 成反比，而不是与 V_a 成反比。所以，一般说来，磁偏转方法允许用较高速的电子束，因而能产生亮度较高的图象。另外，磁偏转系统可以使电子束会聚成更小的光点，且具有结构简单及所需电功率较小等优点，所以大多数 CRT 都用磁偏转系统。

③ 荧光屏

荧光屏上涂有荧光粉，电子束打在荧光屏上，荧光粉就会发光而形成光点。除了颜色不同外，各类荧光物质之间的主要区别在于荧光物质的余辉时间。通常，由电子束轰击荧光层某点所产生的荧光，当电子束离开该点后，其亮度值随时间按指数规律衰减(见图 2-8)。余辉时间就是指光亮度值衰减到初始值的 1/10 所需的时间。各种荧光物质的余辉时间差别很大，可以从几微秒到几秒，而用于图形设备的大多数荧光物质的余辉时间一般

为几十到几百毫秒。因此,为了得到一幅稳定的、不闪烁的画面,一种方法就是使电子束不断重复地描绘出原来的图形。如果重复频率足够快,某点的亮度值对观察者来说就好像是一个常数,如图 2-9 所示。余辉时间是决定产生不闪烁图形所需刷新速率的主要因素。余辉越长,所需的刷新速率就越低。一般短余辉的荧光物质适用于动画显示;而长余辉的荧光物质则适用于显示复杂的、静态的画面。

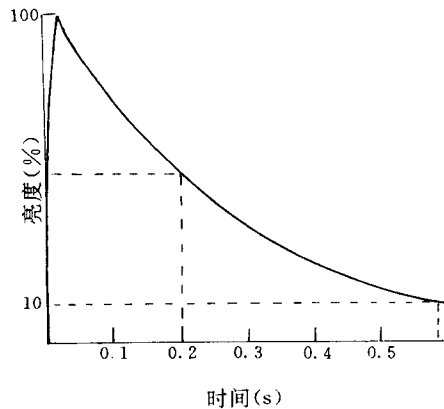


图 2-8 荧光物质亮度与时间关系图

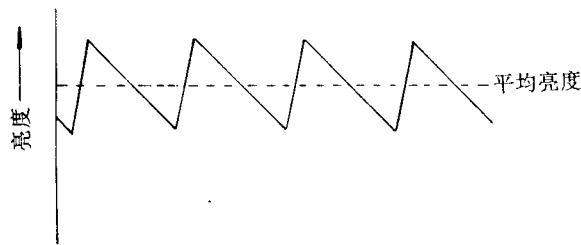


图 2-9 电子束重复扫描得到恒定的亮度

单色 CRT 显示图象的质量取决于:设备固有的单个光点直径的大小以及“可寻址能力”(addressability)。可寻址能力可以理解为单位长度内,能够利用的单个光点的数目,它与用于定位的计算机字长的位数以及数模转换器等因素有关。图 2-10 表示出不同的可寻址能力,即当点间距分别等于光点直径,或为光点直径的 $1/2, 1/3, 1/4$ 时图形的显示效果。所以,通常总是希望点的直径大于点间距,以得到较光滑的图形。

一个 CRT 在水平或垂直方向上能够识别出的最大光点数称为分辨率。这是衡量 CRT 的重要指标,它取决于所用荧光物质的类型以及聚焦和偏转系统。有时我们也把分辨率理解成所能识别的光点的最小距离。显然,点数愈多,距离愈小,分辨率愈高,显示的图形也就愈精确。分辨率与光点直径大小有关,但是不可能大于可寻址能力。分辨率也与各个点的亮度曲线形状有关。在图 2-11 中,(a)图的各点亮度曲线边缘很陡,(c)图的则较平坦。因此,(b)图的点的分辨率要比(d)图的点的分辨率高得多。

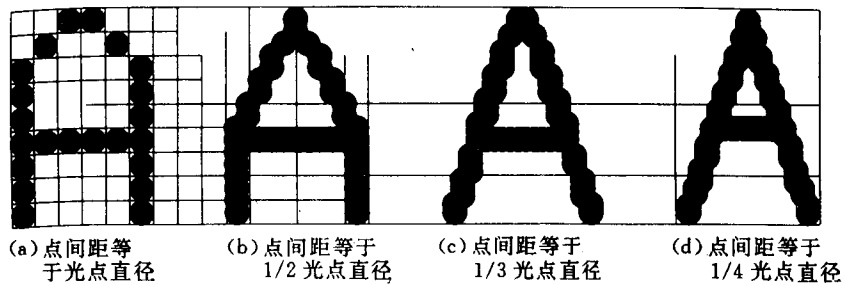


图 2-10 光点尺寸与点间距有不同比值时所产生的效果

- (a) 点间距等于光点直径； (b) 点间距等于 $1/2$ 光点直径；
 (c) 点间距等于 $1/3$ 光点直径； (d) 点间距等于 $1/4$ 光点直径。

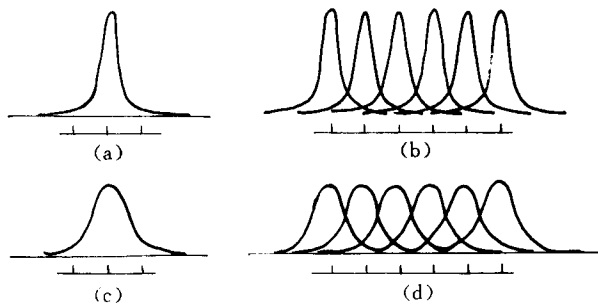


图 2-11 点的亮度曲线交叉部分的亮度对分辨率的影响

(2) 彩色 CRT

CRT 之所以能显示不同颜色的图形是由于使用了能发出不同颜色的荧光粉的结果。产生彩色显示的基本方法有两种：一是射线穿透法，二是影孔板法

射线穿透法显示彩色图形已经用于随机扫描显示器中，它是在屏幕上涂有两层荧光粉，一般是红色和绿色。所显示的颜色取决于射线穿透荧光层的深浅：速度低的电子只能激励外层的红色荧光粉，高速电子可以穿透红色层而激励内层的绿色荧光粉，中速电子则可以使所激发出的红光和绿光组合而产生两种附加的颜色，即橙色和黄色。因此，电子的速度决定了屏幕上某点的颜色，这可以由射线的加速电压来控制。射线穿透法是一种廉价的产生颜色的方法，但它只能产生四种颜色，而且图形的质量也不如其它方法好。

影孔板法广泛用于光栅扫描系统中，它能产生比射线穿透法范围宽得多的色彩。这种 CRT 屏幕的内部涂有很多组呈三角形的荧光粉，每一组有三个荧光点，当某组荧光粉被激励时，分别发出红、绿、蓝三个基色。这种类型的 CRT 有三个电子枪，分别与三基色相对应。紧挨屏幕后面放有影孔板栅网，上面有很多小孔，与屏幕上的三元组一一对应（见图 2-12）。三束电子经偏转聚焦成一组射线，穿过影孔板上的孔，激活屏幕上的一个三元组，出现一个色点。这些小孔与三元组和电子枪精确地排列成一条直线，使得三元组中每个点

仅仅受到一个电子枪所发出的电子的作用。这样，每一电子束的电子数目就控制着三元组所产生的红、绿、蓝三种光的量。于是，可以根据混合色所需的各种成分，以不同的强度激发红、绿、蓝三个荧光点。因而可以在一个三元组上产生范围很宽的色彩等级。例如，关闭红色和绿色电子枪，就能得到蓝色；以相同强度的电子束去激发全部三个荧光点，就会得到白色。在廉价的彩色显示器中，电子束只有发射和关闭两种状态，因此，只能有八种颜色；而比较复杂的系统，则可以发射中间等级强度的电子束，因而能产生多达几百万种的颜色。

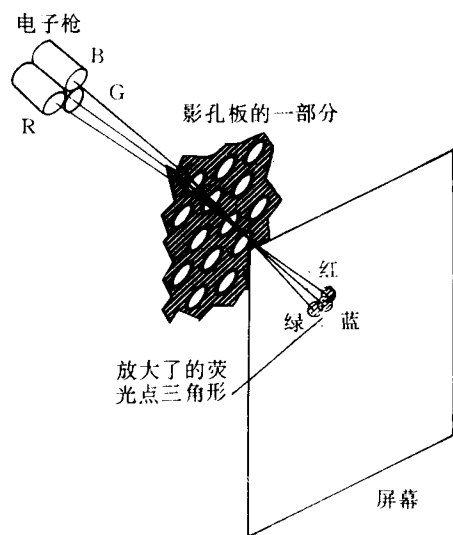


图 2-12 影孔板彩色 CRT 原理图

影孔板彩色 CRT 中的影孔板和三元组对其分辨率有较大的影响。一般高分辨显象管三元组的平均径距(pitch)约为 0.21mm,家用电视显象管约为 0.6mm。因为聚焦的电子束不能保证精确地穿过影孔板上对应孔的中心,所以,电子束的直径必须为三元组径距的 7/4 倍。例如,若影孔板的径距为 0.25mm(0.01 英寸),则电子束的直径就为 0.45mm(0.018 英寸),其分辨率约为 $1/0.018 \text{ 英寸} = 55/\text{英寸}$,对于 19 英寸的彩色 CRT,宽 15.5 英寸,高 11.6 英寸,那么可能的分辨率为 $15.5 \text{ 英寸} \times 55/\text{英寸} \approx 850$ 及 $11.6 \text{ 英寸} \times 55/\text{英寸} \approx 640$ 。这与可寻址能力为 1280×1024 或 1024×800 的典型显象管相对应。

影孔板的径距对影孔板 CRT 的分辨率是很大的限制。随着径距减小,分辨率会提高。但是径距愈小,管子生产就愈困难。小径距的影孔板很脆,难于安装,也容易因电子束加热而弯曲。

影孔板也限制了 CRT 的亮度。一般来说,只有 20%的电子束轰击荧光屏,其余则轰击影孔板。因此,与单色 CRT 相比,能产生光的电子要少得多。可以增加电子束电流来增强亮度,但这又引起聚焦的困难,且也使影孔板更热而更为弯曲。

大多数影孔板 CRT 的尺寸为 15—21 英寸,其表面有点弯曲,对观察者而言,会产生光学畸变。有些平面式 CRT 也能生产,包括 29 英寸径距为 0.31mm 的管子,当然,其价

格也较高。

CRT 的刷新频率是指每秒重画图象的次数。为了得到稳定的画面,通常刷新频率应为 30—50 帧/秒。随着刷新频率的降低,会出现闪烁。使图象不闪烁的刷新频率称为临界停闪频率 CFF(critical fusion frequency)。决定 CFF 的因素有:荧光屏的余辉时间,图象亮度及环境光的亮度,发射光的波长以及观察者本身,据分析调查,不同的观察者之间,CFF 可有 20Hz 之差。

(3) 直视型存储管 DVST(Direct-View Storage Tube)

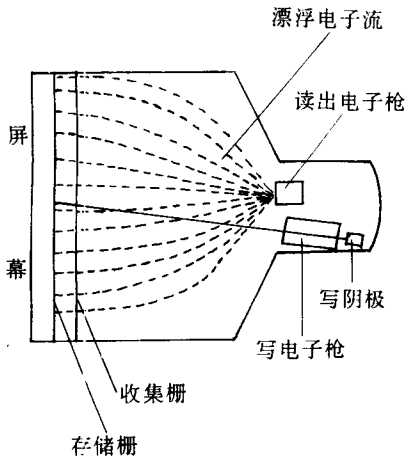


图 2-13 直视型存储管原理图

这种存储管的写电子枪和普通的 CRT 一样,经聚焦的电子束在 X,Y 两个方向上偏转,其定位和偏转有随机性,但电子束不是直接写在荧光屏上,而是写在荧光屏前面的存储栅上(见图 2-13)。存储栅是一个很细的金属栅网,上面有介质,由写电子枪射出的高能电子束将栅网上介质的电子轰击出来,轰击出来的电子比写上去的电子要多,所以栅网上遭电子束轰击的地方呈正电荷,电子束书写的轨迹在栅网上形成正电荷轨迹(也就是电子束描绘的轨迹)。在直视型的存储管内还有一个电子枪,叫第二电子枪,或称读出电子枪(泛流枪)。它射出的低能量漂浮电子流(泛流电子)大面积向收集极流去,收集极使

这些电子均匀散开,流向存储栅。存储栅上呈现正电荷的地方吸引电子,使电子通过,通过的电子轰击荧光屏而发光,而其它位置则不通过电子。所以存储栅既存储图形,又控制电子通过,并在屏幕上形成图形。

由 DVST 显示图形不需要附加存储器和有关电路,能在几小时内显示不闪烁的复杂图形。它可在较低的传输速率下工作,如 300 或 1200 波特率,并具有价格便宜的优点。但是这种显示器不能做选择性修改,所以难以进行动态显示。近年有些直视型存储管提供了某种“写入通过”模式,它降低了写电子束的能量,使写电子不是保存在存储栅上,而是直接写在屏幕上,因而具有一定的动态性能。但是,由于写电子束的速度低,故所显示的直线段数目,也即图形的复杂性受到限制。美国 Tektronix 公司的 4014、4114 等显示器均是这种类型的显示器。

2. 其它类型的显示器件

(1) 等离子板显示器(Plasma Panel)

这种显示器由三层玻璃制成的单个集成板组成(见图 2-14)。前面一层的内表面有很细的导体垂直线条,中间一层有许多小孔(氖泡),后面一层的内表面有很细的导体水平线条。为了接通某一氖泡,要相应地调节两端电压,使其电位差足够大(一般约为 120V 左右),以“点燃”氖泡,使其发光。一旦开始发光,只需较低的电压(约 90V)即可维持。为了“关闭”氖泡,就要使其两端电压暂时低于维持电压。氖泡的开关时间约为 $20\mu\text{s}$ 。