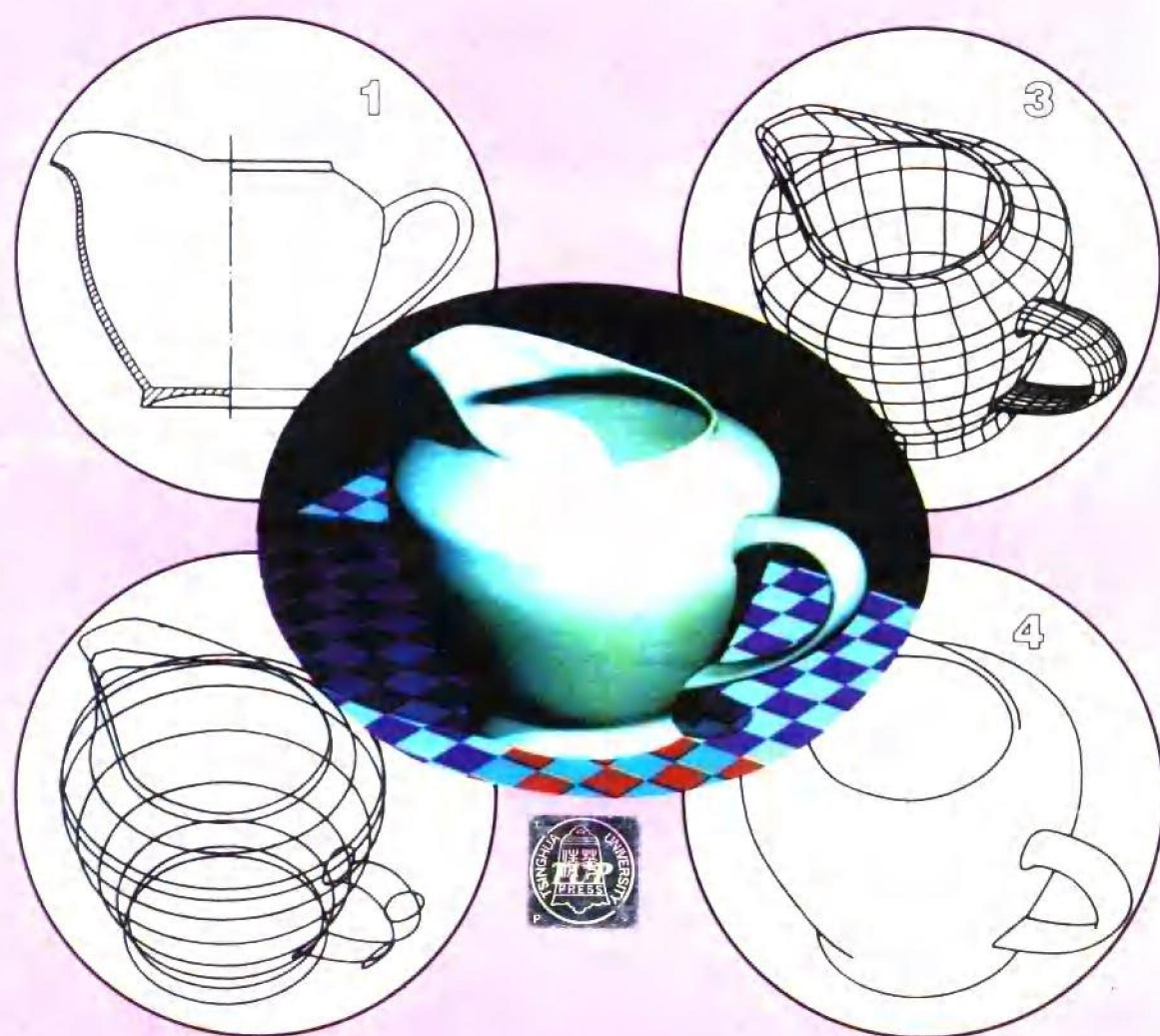


计算机图形学 (第三版)

孙家广 等编著

清华大学出版社



计算机图形学

(第三版)

孙家广等 编著

3586/04

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书介绍计算机图形学的有关原理、算法及系统,主要内容有:计算机图形硬件、图形国际标准、交互技术与用户接口、实用的图形程序库、自由曲线和曲面、几何造型、真实图形显示、图象处理等。这些内容反映了 90 年代以来国内外,尤其是我们在计算机图形学领域的最新成果。

本书作为高等院校本科生、研究生学习“计算机图形学”或“计算机图形学基础”的教材,也可供技术人员从事有关专业工作参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/孙家广等编著. —3 版. —北京:清华大学出版社,1998.9

ISBN 7-302-03082-0

I. 计… II. 孙… III. 计算机图形学 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23010 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 贾仲良

印 刷 者: 中国科学院印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 38 字数: 943 千字 彩色插页: 1

版 次: 1998 年 9 月第 3 版 1999 年 12 月第 3 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03082-0/TP·1639

印 数: 151001~159000

定 价: 39.00 元

前 言

计算机图形学是近 30 年来发展迅速、应用广泛的新兴学科。它主要是研究用计算机及其图形设备来输入、表示、变换、运算和输出图形的原理、算法及系统。图形通常是由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成。在计算机中表示图形最常用的是点阵法,即用具有灰度或色彩的点阵来表示图形的一种方法。例如,一幅二维灰度图形可用矩阵 (x_i, y_i, g_k) ($i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, L$) 表示。其中 (x_i, y_i) 表示图形所占点阵的位置, g_k 表示 (x_i, y_i) 该点像素的灰度等级,一般 $L \leq 256$ 。具有灰度和色彩的点阵图形实际上就是图象。由于光栅图形显示器和点阵式图形输出设备的广泛应用,图形和图象的处理技术相互渗透而且结合得越来越紧密。对于用形状参数和属性参数表示的图形,如描述图形的方程系数,线段的起点和终点坐标,图形的灰度、色彩、线型和线宽等均可采用某种转换算法,把图形的参数表示转换成点阵表示。

本书介绍的内容主要有:计算机图形学的发展和应用;计算机图形设备和系统;国际标准化组织(ISO)发布的图形标准和一个基于窗口系统的实用化图形程序库,基本图形生成算法;自由曲线和自由曲面;图形变换和裁剪;窗口系统;计算机图形学中常用的软件形式及人-机交互技术;几何造型的理论、算法及系统;颜色、光照模型及真实图形显示技术;图象处理技术等。本书是作者在从事十几年计算机图形学教学和科研、参考国内外十余本同类书籍、吸收国内外近十年来在计算机图形学方面的新成果、尤其是在广泛征求国内同行使用作者 1986 年编著的《计算机图形学》全国统编教材的意见和建议的基础上写成的。本书既注意讨论清楚计算机图形学中最基本、最广泛应用的理论和算法,也力求反映 20 世纪 90 年代国内外的一些重要新成果,如:精简指令(RISC)工作站;图形的并行处理;产品模型数据交换规范(STEP);多媒体对象表示环境标准(PREMO);曲线曲面的非均匀有理 B 样条(NURBS)算法;窗口系统;线框、表面、实体统一的非流形造型技术;生成真实图形的辐射度算法;科学计算的可视化技术;图形和图象的转换及应用技术等。这些内容在作者 1986 年出版的《计算机图形学》中是不会有。本书第 1 章、第 2 章和第 5 章适合读者自学,第 3 章、第 4 章、第 6 章及第 7 章适宜大学本科生 48 学时的教学内容,第 8 章、第 9 章与

第10章适合研究生36至48学时的教学内容。本书要求先修的课程为“线性代数”、“程序设计基础”等。书中第5章介绍的“交互式图形程序库——GIL”有相应的软件,有需要的读者可和作者联系。

本书由孙家广主笔。刘强、陆薇参加第5章的改写。本书在编写过程中陈玉健、王学福、王建民、熊志刚、李学军、范刚、屈敏、刘强、左征等同志帮助调试程序、绘制图例,朱钢帮助录入文稿,在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的感谢。此外对那些给1986年版《计算机图形学》教材提过意见和建议的同志表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中难免还存在缺点和不足,殷切希望广大读者批评指正。

作 者

1998年5月

需要本书第5章软件 GIL 的读者,可来信与我系刘强联系(请不扰他人)

北京清华大学计算机科学与技术系

邮编:100084

第一章

图形设备、系统和应用

本章,介绍计算机图形学的发展和应用、图形输入、显示及绘制设备以及图形系统,侧重讨论当前在计算机领域中发展较快、应用广泛的集成化图形设备——工作站的发展、原理、评测和选择。此外,还要介绍当前国际上仍在研究的虚拟现实环境的进展情况。通过本章,不仅使读者对本书所要介绍的计算机图形学的有关内容有个概括性的了解,更重要的是使读者对计算机图形学所涉及的有关硬件有较为全面的认识,从而能正确地选择合适的设备开展计算机图形学的研究及其应用工作。

1.1 计算机图形学的发展及应用

计算机图形学是随着计算机及其外围设备而产生和发展起来的。它是近代计算机科学与雷达、电视及图象处理技术的发展汇合而产生的硕果。在造船、航空航天、汽车、电子、机械、土建工程、影视广告、地理信息、轻纺化工等领域中的广泛应用,推动了这门学科不断发展,而不断解决应用中提出的各类新课题,又进一步充实和丰富了这门学科的内容。计算机出现不久,为了在绘图仪和阴极射线管(CRT)屏幕上输出图形,计算机图形学随之诞生了。现在它已发展为对物体的模型和图象进行生成、存取和管理的新学科。

1.1.1 计算机图形学硬件的发展

1950年,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院(MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的附件诞生了。该显示器用一个类似于示波器的 CRT 来显示一些简单的图形。1958年美国 Calcomp 公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。在整个 20 世纪 50 年代,只有电子管计算机,用机器语言编程,主要应用于科学计算,为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时期,并称之为“被动”式图形学。到 20 世纪 50 年代末期,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发的 SAGE 空中防御系统,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到了应用,它预示着交互式计算机图形学的诞生。

1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了一篇题为“Sketchpad:一个人-

机通信的图形系统”的博士论文,他在论文中首次使用了计算机图形学“Computer Graphics”这个术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的一些基本概念和技术,如交互技术、分层存储符号的数据结构等至今还在广为应用。20世纪60年代中期,美国MIT、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德公司开展了计算机图形学的大规模研究,同时,英国剑桥大学等也开始了这方面的工作,从而使计算机图形学进入了迅速发展并逐步得到广泛应用的新时期。

如果说20世纪60年代是计算机图形学确立并得到蓬勃发展的时期,那么20世纪70年代则是这方面技术进入实用化的阶段。在这十年中,交互式的图形系统在许多国家得到应用,许多新的更加完备的图形系统又不断研制出来。除了传统的军事上和工业上的应用之外,计算机图形学还进入教育、科研和事务管理等领域。20世纪70年代末,美国安装图形系统达12000多台(套),使用人数超过数万人。直到20世纪80年代初,和别的学科相比,计算机图形学还是一个很小的学科领域。主要原因是由于图形设备昂贵、功能简单、基于图形的应用软件缺乏。后来出现了带有光栅图形显示器的个人计算机和 workstation,如美国苹果公司的Macintosh,IBM公司的PC及其兼容机,Apollo,Sun workstation等,从而才使得在人-机交互中位图图形的使用日益广泛。位图(bitmap)是显示屏幕上点(像素:pixel)的矩形阵列的0,1表示。位图图形学付诸应用不久,就出现了大量简单易用、价格便宜的基于图形的应用程序,如用户界面、绘图、字处理、游戏等。由此推动了计算机图形学的发展和应用。在20世纪80年代,计算机图形系统(含具有光栅图形显示器的个人计算机和 workstation)已超过数百万台(套),不仅在工业、管理、艺术领域发挥巨大作用,而且已进入家庭。进入20世纪90年代,计算机图形学的功能除了随着计算机图形设备的发展而提高外,其自身朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。在此期间,国际标准化组织(ISO)公布的有关计算机图形学方面的标准越来越多,且更加成熟。多媒体技术、人工智能及专家系统技术和计算机图形学相结合使其应用效果越来越好。科学计算的可视化、虚拟现实环境的应用又向计算机图形学提出了许多更新更高的要求,使得三维乃至高维计算机图形学在真实性和实时性方面将有飞速发展。

图形显示器是计算机图形学中的关键设备。20世纪60年代中期使用的是随机扫描的显示器,它具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。但为了避免图形闪烁,通常需要以30次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此需要一个刷新缓冲存储器来存放计算机产生的显示图形的数据和指令,还要有一个高速的处理器(这些在20世纪60年代中期是相当昂贵的),因而成为影响交互式图形生成技术进一步普及的主要原因。

针对这一情况,20世纪60年代后期采用了存储管式显示器。它不需要缓存及刷新功能,价格比较低廉,分辨率高,显示大量信息也不闪烁。但是它却不具有显示动态图形的能力,也不能有选择性地删除、修改图形。虽然,存储管式显示器的推出对普及计算机图形学起到了促进作用,但对于交互式计算机图形学的需求,其功能还有待进一步的改进和完善。

到了20世纪70年代中期,廉价的固体电路随机存储器的出现,可以提供比十年前大得多的刷新缓冲存储器,因而就可以采用基于电视技术的光栅图形显示器。在这种显示器中,被显示的线段、字符、图形及其背景色都按像素一一存储在刷新缓冲存储器中,按光栅扫描方式以每秒30次的频率对存储器进行读写以实现图形刷新而避免闪烁。光栅图形显示器的出现使得计算机图形生成技术和电视技术相衔接,图形处理和图象处理相渗透,使得生成的

图形更加形象、逼真,因而更易于推广和应用。

在图形输出设备不断发展的同时,出现了许多不同类型的图形输入设备。早期的定位、拾取装置——光笔,由于易损坏、使用笨拙,而被各种类型的鼠标器及图形输入板所代替。与此同时还发展了操纵杆、跟踪球、指拇轮等定位、拾取装置。此外,键盘是交互式图形生成系统的必不可少的设备,与一般键盘不同的是它附有一些命令控制键和特殊的功能键。坐标数字化仪和图形输入板类似,用它可以把图形坐标和有关命令送入计算机中去。近年来,由于图形和图象的紧密结合和互相渗透,图形(纸)扫描输入仪和触摸屏等设备也得到普遍使用,从而提高了图形输入的速度和直观性。

1.1.2 计算机图形学软件及算法的发展

随着计算机系统、图形输入、图形输出设备的发展,计算机图形软件及其生成、控制图形的算法也有了很大的发展。近十余年来,发展了多种计算机图形软件系统,概括起来主要有以下三种:

(1) 用现有的某种计算机语言写成的子程序包。 用户使用时按相应计算机语言的规定调用所需要的子程序生成各种图形。这类子程序包很多,使用较为广泛的有图形标准化程序包,如 GKS,PHIGS,GL 等,用其中的子程序可实现各种基本绘图及显示功能,各种图形设备及交互过程中各种事件的控制和处理。这种类型的图形软件基本上是一些用计算机语言写成的子程序集。对于窗口系统中的 X 程序库和 MS-Windows 下的 SDK 开发程序库使用起来的难度较大,从熟悉到真正掌握,灵活、正确使用的周期较长。在这类程序包的基础上开发的图形程序有便于移植和推广的优点,但执行速度相对较慢,效率较低。

(2) 扩充某一种计算机语言,使其具有图形生成和处理功能。 目前具有图形生成和处理功能的计算机语言很多,如 Turbo Pascal,Turbo C,AutoLisp 等,即在相应的计算机语言中扩充了图形生成及控制的语句或函数。对解释型的语言,这类功能的扩充还方便些;对编译型的语言,扩充图形功能的工作量较大,且不具备可移植性。用这类语言编写的图形软件比较简练、紧凑、执行速度较快。

(3) 专用的图形系统。 对于某一种类型的设备,可以配置专用的图形生成语言。如果要求简单,可以采用在多功能子程序包的基础上加上命令语言的方式。如果需要配置一个具有综合功能的较为复杂的图形生成语言,又要求有较快的执行速度,则应开发或配置一个完整的编译系统。比起简单的命令语言,它具有更强的功能;比起子程序包,它的执行速度较快,效率更高。但系统开发工作量大,且移植性较差。

随着通用的、与设备无关的图形软件的发展,提出了一个图形软件功能标准化的问题。早在 1974 年,在美国国家标准化局(ANSI)举行的 ACM SIGGRAPH,一个“与机器无关的图形技术”的工作会议上,就提出了制定有关标准的基本规则。在此会之后,美国计算机协会(ACM)成立了一个图形标准化委员会,开始了有关标准的制定和审批工作。在以往多年图形软件工作经验的基础上,该委员会于 1977 年提出了称为“核心图形系统”CGS(Core Graphics System)的规范,1979 年又公布了修改后的第二版,增加了包括光栅图形显示技术在内的许多其他功能,但仍作为进一步讨论的基础。随后由 ISO 发布了计算机图形接口 CGI(Computer Graphics Interface)、计算机图形元文件标准 CGM (Computer Graphics Metafile)、计算机图形核心系统 GKS(Graphics Kernel System),程序员层次交互式图形系

统 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)等。这些标准有的是面向图形设备的驱动程序包,有些是面向用户的图形生成及管理程序包,其主要出发点是实现程序和程序员的可移植性。要使图形软件和图形设备以及系统软件绝对无关是十分困难的,但是只对源程序作少量修改即可在不同的图形系统上运行是可以做到的。

计算机图形学所涉及的算法是非常丰富的,围绕着生成、表示物体的图形图象的准确性、真实性和实时性,其算法大致可分为以下几类。

(1) 基于图形设备的基本图形元素的生成算法,如用光栅图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的填色、填图案、反走样等。

(2) 基本图形元素的几何变换、投影变换、窗口裁剪等。

(3) 自由曲线和曲面的插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体修改、局部修改等。

(4) 图形元素(点、线、环、面、体)的求交与分类以及集合运算。

(5) 隐藏线、面消除以及具有光照颜色效果的真实图形显示。

(6) 不同字体的点阵表示,矢量中、西文字符的生成及变换。

(7) 山、水、花、草、烟云等模糊景物的生成。

(8) 三维或高维数据场的可视化。

(9) 三维形体的实时显示和图形的并行处理。

(10) 虚拟现实环境的生成及其控制算法等。

多年来,围绕这些算法发表了许多论文和报告,进行了十分热烈的讨论和探索,其中某些算法已日趋完善和成熟,并实现了固化。但很多算法还没有真正解决,还有待我们的努力和奋斗。

计算机图形学研究如何从计算机模型出发,把真实的或想象的物体画面描绘出来。而图象处理(也称之为画面处理)进行的却是与此相反的过程:是基于画面进行二维或三维物体模型的重建,这在很多场合都是十分重要的。如高空监测摄影、以宇航探测器收集到的月球或行星的慢速扫描电视图象、以工业机器人“眼”中测到的电视图象、染色体扫描、X 射线图象、断层扫描、指纹分析等,都需要图象处理技术。图象处理包括图象增强、模式探测和识别、景物分析和计算机视觉模拟等领域。虽然计算机图形学和图象处理目前仍然是两个相对独立的学科分支,但它们的重叠之处越来越多。例如,它们都是用计算机进行点、面处理,都使用光栅显示器等。在图象处理中,需要用计算机图形学中的交互技术和手段输入图形、图象和控制相应的过程。在计算机图形学中,也经常采用图象处理操作来帮助合成模型的图象。图形和图象处理算法的结合是促进计算机图形学和图象处理技术发展的重要趋势之一。

1.1.3 计算机图形学在我国的发展

我国开展计算机图形设备和计算机辅助几何设计方面的研究开始于 20 世纪 60 年代中后期。进入 20 世纪 80 年代以来,随着我国四个现代化建设事业的发展,计算机图形学无论在理论研究,还是在实际应用的深度和广度方面,都取得了令人可喜的成果。

在图形设备方面,我国陆续研制出多种系列和型号的绘图机、坐标数字化仪和图形显示器,并已批量生产投放市场;国内许多公司均可批量生产具有高分辨率光栅图形显示器的个人计算机,如 PC 486、Pentium 等以及具有全色(24 个位面)的图形图象处理卡;国际上应用最广泛的 Sun SPARC 系列工作站、HP 9000/700、800 系列工作站、SGI IRIS 系列工作站在

我国也有定点工厂生产;此外,鼠标器、光笔显示器等交互设备也已在国内生产。这些硬件在国内的制造,为计算机图形学在我国普及应用奠定了坚实的物质基础。

与计算机图形学有关的软件开发和应用都在迅速发展,大力普及应用。在国家攻关项目、863 高技术和国家自然科学基金项目中有不少关于计算机图形软件研究开发的课题,其中二维交互绘图系统已进入商品化阶段,并可以在国内市场上和美国 Autodesk 公司的 AutoCAD 二维交互绘图软件试比高。三维几何造型系统在国内也已有几个比较实用的版本,无论是基于平面多面体表示、非均匀有理 B 样条(NURBS)表示,还是混合表示模式,这几个几何造型系统均可以支持有限元分析、数控加工等对产品和工程建模的要求。在图形生成和显示算法方面,我国学者在矢量线段及其多边形的裁剪、计算机辅助几何设计、用光线跟踪和辐射度算法产生真实图形、在科学计算的可视化等方面都已取得了为国内外同行高度重视的成果。

与计算机图形学有关的学术活动在我国也很活跃。在计算机学会、工程图学学会、自动化学会、电子学会等国家一级学会下面都设有与计算机图形学有关的二级分会,并定期(一般是二年一次)举办全国的学术会议,其中计算机学会和工程图学学会每两年分别举办一次与计算机图形学有关的国际会议。在我国也有好几种与计算机图形学有关的学术刊物,如《计算机辅助设计与图形学学报》、《工程图学学报》、《计算机辅助工程》等。我国参加国际上计算机图形学会议的人数也不断增加,如 SIGGRAPH, Eurographics, Computer Graphics International, Pacific Graphics 等国际会议,我国每年都派代表参加。我国学者在国际上与计算机图形学有关刊物上发表的论文也越来越多。愈来愈多的国内论文被国际会议或国际刊物录用也说明了我国计算机图形学的水平正在不断提高。

计算机图形学在我国的应用从 20 世纪 70 年代起步,经过近 20 年的发展,至今已开始在电子、机械、航空航天、建筑、造船、轻纺、影视等部门的产品设计、工程设计和广告影视制作中得到了初步应用,取得了明显的经济和社会效益。据有关部门统计,目前我国安装的工作站和个人计算机已愈 60 多万台,其中与计算机图形学有关的工作站和个人计算机占 25% 左右,工作站有 2 万台左右。在电子领域用于集成电路的版图设计和印制板设计已取得了显著成效。在建筑工程领域二维交互绘图的普及率已达 20%,三维方案设计的计算机化已在甲级设计院中基本实现。用计算机图形系统做广告和影视片,尤其是动画片也已取得了很大的成功。但国内的应用与国际上的发达国家相比还相差甚远,除了图形设备和系统价格比较昂贵的原因外,更主要或更直接的原因是我国这方面的人材缺乏,懂计算机图形学的工程技术人员不多,或知之不深,因而影响了计算机图形学这门新型学科在我国的推广应用。采取多种途径、多种渠道、多种方式培训计算机图形学的技术人才,建立一支群众性的计算机图形学的应用技术队伍是摆在我们面前的一项非常紧迫而又非常有意义的任务。随着计算机图形学专门人才的成长,计算机图形学在国民经济各个领域中将发挥越来越大的作用,取得越来越大的经济效益和社会效益。

1.1.4 计算机图形学的应用

由于计算机图形设备的不断更新和图形软件功能的不断扩充,也由于计算机硬件功能的不断增强和系统软件的不断完善,计算机图形学在近 20 年内得到了广泛的应用。目前,主要的应用领域有:

(1) 用户接口。用户接口是人们使用计算机的第一观感。过去传统的软件中约有 60% 以上的程序是用来处理与用户接口有关的问题和功能,因为用户接口的好坏直接影响着软件的质量和效率。如今在用户接口中广泛使用了图形和图标,大大提高了用户接口的直观性和友好性,也提高了相应软件的执行速度。

(2) 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)。这是一个最广泛、最活跃的应用领域。计算机图形学被用来进行土建工程、机械结构和产品的设计,包括设计飞机、汽车、船舶的外形和发电厂、化工厂等的布局以及电子线路、电子器件等。有时,着眼于产生工程和产品相应结构的精确图形,然而更常用的是对所设计的系统、产品和工程的相关图形进行人-机交互设计和修改,经过反复的迭代设计,便可利用结果数据输出零件表、材料单、加工流程和工艺卡,或者数控加工代码的指令。在电子工业中,计算机图形学应用到集成电路、印刷电路板、电子线路和网络分析等方面的优势是十分明显的。一个复杂的大规模或超大规模集成电路版图根本不可能用手工设计和绘制,用计算机图形系统不仅能进行设计和画图,而且可以在较短的时间内完成,将其结果直接送至后续工艺进行加工处理。在飞机工业中,美国波音飞机公司已用有关的 CAD 系统实现波音 777 飞机的整体设计和模拟,其中包括飞机外型、内部零部件的安装和检验。

(3) 科学、技术及事务管理中的交互绘图。可用来绘制数学的、物理的、或表示经济信息的各类二、三维图表。如统计用的直方图、扇形图、工作进程图、仓库和生产的各种统计管理图表等,所有这些图表都用简明的方式提供形象化的数据和变化趋势,以增加对复杂对象的了解并协助作出决策。

(4) 绘制勘探、测量图形。计算机图形学被广泛地用来绘制地理的、地质的以及其他自然现象的高精度勘探、测量图形,例如地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象气流图、人口分布图、电场及电荷分布图以及其他各类等值线、等位面图。

(5) 过程控制及系统环境模拟。用户利用计算机图形学实现与其控制或管理对象间的相互作用。例如石油化工、金属冶炼、电网控制的有关人员可以根据设备关键部位的传感器送来的图象和数据,对设备运行过程进行有效的监视和控制;机场的飞行控制人员和铁路的调度人员可通过计算机产生运行状态信息来有效、迅速、准确地调度,调整空中交通和铁路运输。

(6) 电子印刷及办公室自动化。图文并茂的电子排版制版系统代替了传统的铅字排版,这是印刷史上的一次革命。随着图、声、文结合的多媒体技术的发展,可视电话、电视会议以及文字、图表等的编辑和硬拷贝正在家庭、办公室普及。伴随计算机和高清晰度电视结合的产品推出,这种普及率将会越来越高,进而会改变传统的办公、家庭生活方式。

(7) 艺术模拟。计算机图形学在艺术领域中的应用成效越来越显著,除了广泛用于艺术品的制作,如各种图案、花纹、工艺外形设计及传统的油画、中国国画和书法等,还成功地用来制作广告、动画片,甚至电视电影,其中有的影片还获得了奥斯卡奖,这是电影界的最高殊荣。目前国内外不少单位正在研制人体模拟系统,这使得在不久的将来把历史上早已去世的著名影视明星重新搬上新的影视片成为可能。

(8) 科学计算的可视化。传统的科学计算的结果是数据流,这种数据流不易理解也不易于检查其中的对错。科学计算的可视化通过对空间数据场构造中间几何图素或用体绘制技术在屏幕上产生二维图象。近年来这种技术已用于有限元分析的后处理、分子模型构造、

地震数据处理、大气科学及生物化学等领域。

(9) 工业模拟。这是一个十分大的应用领域,包含对各种机构的运动模拟和静、动态装配模拟,在产品和工程的设计、数控加工等领域迫切需要。它要求的技术主要是计算机图形学中的产品造型、干涉检测和三维形体的动态显示。

(10) 计算机辅助教学。计算机图形学已广泛应用于计算机辅助教学系统中,它可以使教学过程形象、直观、生动,极大地提高了学生的学习兴趣 and 教学效果。由于个人计算机的普及,计算机辅助教学系统将深入到家庭和幼儿教育。

还有许多其他的应用领域。例如农业上利用计算机对作物的生长情况进行综合分析、比较时,就可以借助计算机图形生成技术来保存和再现不同种类和不同生长时期的植物形态,模拟植物的生长过程,从而合理地进行选种、播种、田间管理以及收获等。在轻纺行业,除了用计算机图形学来设计花色外,服装行业用它进行配料、排料、剪裁,甚至是三维人体的服装设计。在医学方面,利用可视化技术为准确的诊断和治疗提供了更为形象和直观的手段。在刑事侦破方面,计算机图形学被用来根据所提供的线索和特征,如指纹、再现当事人的图象及犯罪场景。总之,交互式计算机图形学的应用极大地提高了人们理解数据、分析趋势、观察现实或想象形体的能力。随着个人计算机和工作站的发展,随着各种图形软件的不 断推出,计算机图形学的应用前景将是更加引人入胜的。

1.2 图形输入设备

图形输入设备从逻辑上分有 6 种,如表 1.2.1 所示。但实际的图形输入设备往往是某些逻辑输入功能的组合,下面介绍几种常用的图形输入设备。

表 1.2.1 图形输入设备的逻辑分类

名 称	相应的典型设备	基本功能
定位(Locator)	叉丝、指拇轮	输入一个点的坐标
笔划(Stroke)	图形输入板	输入一系列点的坐标
数值(Valuator)	数字键盘	输入一个整数或实数
选择(Choice)	功能键、叉丝、光笔选择菜单项	由一个整数得到某种选择
拾取(Pick)	光笔或叉丝接触屏幕上已显示图形	通过一种拾取状态来判别一个显示着的图形
字符串(String)	字符键盘	输入一串字符

1.2.1 鼠标器

鼠标器是一种移动光标和做选择操作的计算机输入设备,除了键盘外,它已成为我们使用计算机的主要输入工具。随着“所见即所得”环境越来越普及,使用鼠标器的机会也就越来越多。鼠标器的基本工作原理是:当移动鼠标器时,它把移动距离及方向的信息变成脉冲送给计算机,计算机再把脉冲转换成鼠标器光标的坐标数据,从而达到指示位置的目的。鼠标器根据其中测量位移的部件,可分为光电式、光机式和机械式三种。

光电式鼠标器 是上述三种鼠标器中可靠性最好的一种,它是利用 LED(发光二极管)与光敏晶体管的组合来测量位移的。这种鼠标器工作时要放在一块专用的鼠标板上,LED与光敏晶体管之间的夹角使前者发出的光照到鼠标板后,正好反射给后者。由于鼠标板上印有间隔相同的网格,因此当鼠标器在鼠标板上移动时反射的光就有强有弱,而鼠标器中的电路就将检测到的光的强弱变化转换成表示位移的脉冲。光电式鼠标器有两组这种发光-测光元件,分别用来测量 X 轴和 Y 轴两个方向的位移。

光机式鼠标器 只要一块光滑的桌面即可工作,它也用光敏半导体元件测量位移,其中装有三个滚轴:一个是空轴,另二个分别是 X 方向滚轴和 Y 方向滚轴。这三个滚轴都与一个可以滚动的小球接触,小球的一部分露出鼠标器底部。当拖动鼠标器时,摩擦力使小球滚动,小球带动三个滚轴转动, X 方向和 Y 方向滚轴又各带动一个小轮(叫做译码轮)转动。由于放在两组传感器中的译码轮上刻有一圈小孔,因此当译码轮被带动时,LED 发出光而照到光敏晶体管上,时而被阻断,从而产生表示位移的脉冲。传感器 A 与传感器 B 的位置被安放成使脉冲 A 与脉冲 B 有一个 90 度的相位差,利用这种方法,就能测出鼠标器的方向。也就是说,脉冲 A 的相位比脉冲 B 的相位提前 90 度时,表示一个移动方向;反之,表示另一个移动方向。

机械式鼠标器 实际上是机电式鼠标器,其中测量位移的译码轮上没有小孔,而是有一圈金属片,译码轮插在两组电刷对之间。当它旋转时,电刷接触到金属片就接通开关;反之,则断开开关,从而产生脉冲。译码轮上金属片的布局以及两组电刷对的位置,使两组电刷产生的脉冲有一个相位差,根据相位差可以判断鼠标器的移动方向。

便携式计算机上采用的鼠标器是跟踪球,其工作原理与上述光机式鼠标器类似。只是此时的鼠标器是固定在便携式的计算机上,鼠标器本身不动,而是直接用手操纵小球运动。

目前常用的鼠标器有二键、三键、四键式,在不同的使用中相应软件定义鼠标器按键的操作方式及其功能含意是各不相同的。鼠标器按键一般有下列 5 种操作方式:(1) 点击(click): 按下一键,立即释放;(2) 揪住(press): 按下一键,不释放;(3) 拖动(drag): 按下一键,不释放,并且移动鼠标器;(4) 同时按住(chord): 同时按下 2 个或 3 个键,并且立即释放;(5) 改变(change): 不移动鼠标器,连续点击同一个键 2 次或 3 次。

鼠标器的安装比较简单,在计算机断电状态,将鼠标器数据电缆的 25 针 D 型阴性插座与计算机的一个串行通讯口,COM1 或 COM2,即 RS232C 插座相连接。鼠标器的软件驱动有两种方法,一种是立即驱动,即有相应鼠标器的驱动程序,按其格式运行驱动程序即启动了鼠标器。另一种是在 DOS 操作系统中的 CONFIG. SYS 文件中定义了相应鼠标器的设备。这样,在每次启动系统时,即自动驱动了鼠标器。

1.2.2 光笔

光笔是一种检测装置,确切地说是能检测出光的笔。光笔的形状和大小像一支圆珠笔,笔尖处开有一个圆孔,让荧光屏上的光通过这个孔进入光笔。光笔的头部有一组透镜,把所收集的光聚集至光导纤维的一个端面上,光导纤维再把光引至光笔另一端的光电倍增管,从而将光信号转换成电信号,经过整形后输出一个有合适信噪比的逻辑电平,并作为中断信号送给计算机和显示器的显示控制器。光笔的这种结构和工作过程如图 1.2.1 所示。

还有一种光笔的结构是将光电转换器件和放大整形电路都装在笔体内,这样可省去光

导纤维,光笔直接输出电脉冲信号。光笔具有定位、拾取、笔划跟踪等多种功能,在便携式计算机中作为人-机对话的工具亦已得到广泛应用。

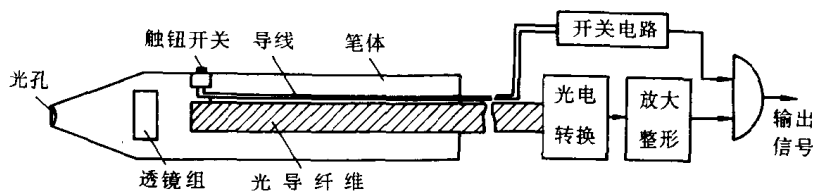


图 1.2.1 光笔结构示意图

1.2.3 触摸屏

触摸屏是一种定位设备,它是一种对于物体触摸能产生反应的屏幕。当人的手指或其他物体触到屏幕不同位置时,计算机能接收到触摸信号并按照软件要求进行相应的处理。根据采用的技术不同分为电阻式、电容式、红外线式和声表面波式几种触摸屏。

1. 电阻式触摸屏

电阻式触摸屏使用一个两层导电和高透明度的物质做的薄膜涂层涂在玻璃或塑料表面上,再安装到屏幕上,或直接涂到屏幕上。这两个透明涂层之间约有 0.0025mm 的距离,当一个手指触到屏幕时,在接触点产生一个电接触,使该处的电阻发生变化。在屏幕的 X 、 Y 方向上分别测得电阻的改变量就能确定触摸的位置。

2. 电容式触摸屏

电容式触摸屏是用一个接近透明的金属涂层覆盖在一个玻璃表面上,当手指接触到这个涂层时,由于电容的改变,使得连接在一角的振荡器频率发生变化,测量出频率改变的大小即可确定触摸的位置。

上述两种触摸屏由于对涂层的均匀性和测量精度要求较高,通常投资较大,在一般的情况下令人难以接受,没能得到广泛应用。

3. 红外线式触摸屏

红外线式触摸屏通常是在屏幕的一边用红外器件发射红外光,而在另一边设置接收装置检测光线的遮挡情况。这里可用两种方式:一种是利用互相垂直排列的两列红外发光器件在屏幕上方与屏幕平行的平面内组成一个网格,而在相对应的另外两边用光电器件接收红外光,检查红外光的遮挡情况。当手指触在屏幕上时,就会挡住一些光束,光电器件就会因为接收不到光线而发生电平变化。另一种是倾斜角光束扫描系统,它是利用扇形的光束从屏幕两角照射屏幕,在和屏幕平行的平面内形成一个光平面。产生触摸时,通过测量投射在屏幕其余两边的阴影覆盖范围来确定手指的位置。这种方式产生的数据量大,要求有较高的处理速度,但其分辨率要比直线式的高。

红外线式触摸屏有一个问题,当屏幕是曲面时,由于光束组成的平面与屏幕有一定的距离,特别是在屏幕边缘处距离较大,就会在人的手指还没有接触到屏幕时就已产生了一个有效的选择,给人一种突发的感觉。

4. 声表面波触摸屏

声表面波(SAW)触摸屏由传感器、反射器、触摸屏器件组成,它们可以固定在一块平的或弯曲的玻璃表面上,也可直接固定在一台显示器的玻璃表面上。传感器和反射器一起工

作,当发射的声波穿过玻璃表面时,一只手指触到 SAW 触摸屏,则在触及到的地方使声波发生衰减,这一信号的衰减被接收到并被转换成 X、Y 坐标传给计算机。SAW 触摸屏通常采用压电传感器,传感器被固定在一个小的用环氧化物做在玻璃表面上的压力楔块上,此压力楔块是为了减少表面波进入到玻璃里面而设置的,并使传感器以一个合适的角度安置在屏上,安装角度为 33 度。压电传感器在 SAW 控制器的控制下用 5.53MHz 的石英振荡器驱动,把电能转换为高频振荡,高频声能沿着玻璃表面传送。反射器沿着屏幕的顶部与右边排列,每一个反射器以一个合适的角度反射掉一小部分正在传送的声波(大约反射掉 0.2%)。当被反射的声波到达屏幕相对的另一边时,又被另一个反射器反射并送到位于屏幕右下角的接收传感器,这个传感器把声波转换成电信号,SAW 控制器把这些电信号转换成 X、Y 和 Z 坐标,并把这些坐标传送给计算机。这些传过屏幕不同位置的声波已经从 X、Y 传感器以相应的一段时间传送了一段距离,用此时间可计算出触摸的位置。为弥补声波在传播过程中的衰减,反射器做成了排在一起的间距累进式闭路器,间隔为整数倍波长,最小间隔为一个波长,而最大间隔则依赖阵列的长度,每个阵列单元的宽度为半个波长。SAW 屏中的表面波是压力波和横向波的混合波,选用这种波的一个因素是这种波能在传送介质表面的一个椭圆形区域中移动,这比其他具有上下或者往复运动特性的波要好。目前 SAW 触摸屏的分辨率比红外线触摸屏的分辨率高,且比较实用。上述几种触摸屏的特性比较如表 1.2.2 所示。

表 1.2.2 各类触摸屏特性比较情况

有关性能	电阻、电容式	红外线式	SAW 式
对触觉的反应	好	不太好	好
屏幕灰尘的影响	能引起错误	用软件校正	用软件校正
图象透明度	减小	完美	完美
使用中受损	脆弱的	不易受伤	不易受伤
元件失效	能引起错误	用软件校正	能引起错误
触摸定位飘移	能发生	不会发生	能发生
在 VDU 上安装	通常容易	比较困难	容易
价格	昂贵	很便宜	便宜
区分多个触摸	通常不能	容易区分	通常不能
触摸尺寸确定	通常不明确	容易确定	容易确定
分辨力	充分	比较充分	很充分
视差错误	微不足道	能被注意到	能被注意到
带手套的手指	有时失效	无关的	无关的

1.2.4 坐标数字化仪

坐标数字化仪是一种把图形转变成计算机能接收的数字形式专用设备,其基本工作原理是采用电磁感应技术。通常在一块布满金属栅格的绝缘平板上放置一个可移动的定位设备,当有电流通过该定位设备上的电感线圈时,便会产生相应的磁场,从而使其正下方的金属栅格上产生相应的感应电流。根据已产生电流的金属栅格的位置,就可以判断出定位设

备当前所处的几何位置。将这种位置信息,以坐标的形式传送给计算机,就实现了数字化的功能。

标准的坐标数字化仪有两个主要部分。一个是坚固的、内部布有金属栅格阵列的图板,在它上面对图形进行数字化;另一个是定位器,由它提供图形的位置信息。图板和定位器内有相应的控制电路。定位器可以是光笔,也可以是多键的鼠标器,常用的有 4 键,乃至 16 键,每个键都可以赋予特定的功能。坐标数字化仪的主要性能指标有如下几项。

最大有效幅面:指能够有效地进行数字化操作的最大面积,一般按工程图纸的规格来划分,如 A_4 , A_3 , A_1 , A_0 等。

数字化的速率:由每秒几点到每秒几百点,大多采用可变方式,可由用户选择。

最高分辨率:分辨率是指数字化仪的输出坐标显示值增加 1 的最小可能距离,一般为每毫米几十线到几百线之间。最高分辨率取决于电磁技术,亦即对电磁感应信号的处理方法。

坐标数字化仪还提供多种工作方式供用户选择,如点方式、连续方式(流方式)、相对坐标方式等。这样,用户可方便地获取不同图形的坐标数据。坐标数字化仪与计算机的连接大多采用标准的 RS232C 串行接口,数据传送的速率(波特率)采用可变方式,最低为 150 或 300,最高为 9600 或 19200,数据位、停止和奇偶校验位等也都可以设置,以便最大限度地满足各种不同的传送速率的要求。目前常用的坐标数字化仪如图 1.2.2 所示。

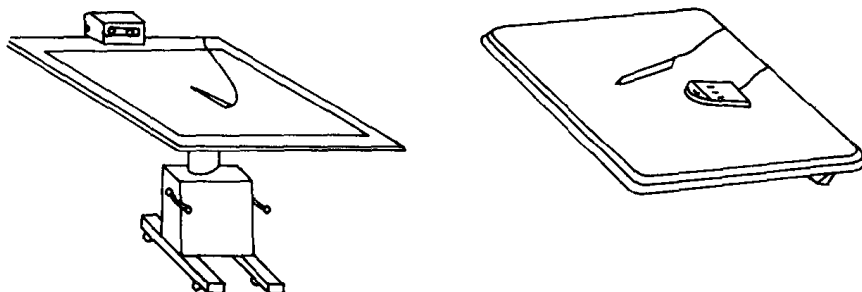


图 1.2.2 坐标数字化仪示意图

1.2.5 图形扫描仪

图形扫描仪是直接吧图形(如工程图纸)和图象(如照片、广告画)扫描输入到计算机中,以像素信息进行存储表示的设备。按其所支持的颜色分类,可分为单色扫描仪和彩色扫描仪;按所采用的固态器件又分为电荷耦合器件(CCD)扫描仪、MOS 电路扫描仪、紧贴型扫描仪等;按扫描宽度和操作方式可分为大型扫描仪、台式扫描仪和手动式扫描仪。常用图形扫描仪的模块框图如图 1.2.3 所示。

CCD 扫描仪的工作原理是:用光源照射原稿,投射光线经过一组光学镜头射到 CCD 器件上,再经过模/数转换器,图象数据暂存器等,最终输入到计算机,或者图形/文字输出设备。为了使投射在原稿上的光线均匀分布,扫描仪中使用的是长条形光源。对于黑白扫描仪,用户可以选择黑白颜色所对应电压的中间值作为阈值,凡低于阈值的电压就为 0(黑色),反之为 1(白色)。在黑白扫描仪中每个象素用 1 位来表示。而在灰度扫描仪中,每个象素有多个灰度层次,需要用多个二进制位表示。如 4 位精度的模/数转换器可以输出 16 种灰度

值,从 0000(黑)到 1111(白)。CCD 感光元件阵列是逐行读取原稿的。彩色扫描仪的工作原理与灰度扫描仪的工作原理相似,不同之处在于彩色扫描仪要提取原稿中的彩色信息。扫描仪的幅面有 A₀, A₁, A₄ 等。扫描仪的分辨率是指在原稿的单位长度(英寸)上取样的点数,单位是 dpi,常用的分辨率有 300dpi 到 1000dpi 之间。扫描图象的分辨率越高,所需的存储空间就越大。现在多数扫描仪都提供了可选择分辨率的功能。对于复杂图象,可选用较高的分

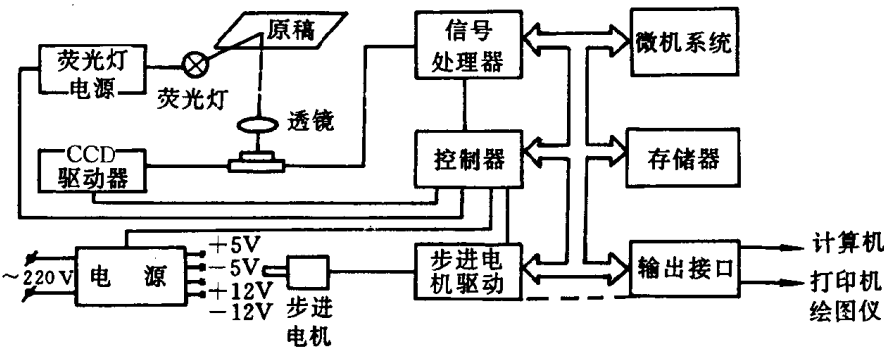


图 1.2.3 扫描仪的模块框图

辨率;对于较简单的图象,就选择较低的分辨率。扫描仪的另一个重要指标是支持的颜色、灰度等级。目前有 4 位、8 位和 24 位面颜色、灰度等级的扫描仪,扫描仪支持的颜色、灰度层次越多,图象的数字化表示就越准确,但同时意味着表示一个象素的位数增加了,因而也增加了存储空间。

1.3 图形显示设备

图形显示设备是计算机图形学中必不可少的装置。多数图形设备中的监视器(亦称之为显示器)采用标准的阴极射线管(CRT),也有采用其他技术的显示器,如液晶显示器、激光显示器等,但这些设备达到商品化还有一定的距离。

1.3.1 阴极射线管

阴极射线管一般是利用电磁场产生高速的、经过聚焦的电子束,偏转到屏幕的不同位置轰击屏幕表面的荧光材料而产生可见图形。其主要组成部分有:

- (1)阴极——当它被加热时,发射电子;
- (2)控制栅——控制电子束偏转的方向和运动速度;
- (3)加速结构——用以产生高速的电子束;
- (4)聚焦系统——保证电子束在轰击屏幕时,汇聚成很细的点;
- (5)偏转系统——控制电子束在屏幕上的运动轨迹;
- (6)荧光屏——当它被电子轰击时发出亮光。

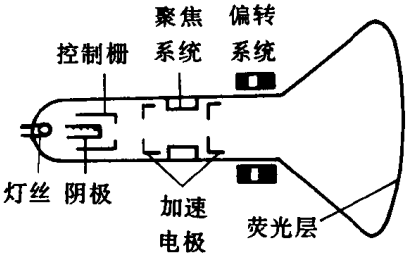


图 1.3.1 阴极射线管示意图