高等学校教材

计算机图形学

徐宏柄　主编

四川科学技术出版社

计算机图形学

徐宏炳　主编

四川科学技术出版社

1989年·成都

责任编辑：田　霞
技术设计：宜　民
责任校对：王初阳　吴澄涉

计算机图形学　　徐宏炳　主编

四川科学技术出版社出版
（成都盐道街三号）
四川省新华书店发行
四川新华印刷厂印刷
ISBN7—5364—1286—X/TP·23

1989年9月第1版　开本 787×1092毫米 1/32
1989年9月第1次印刷　　字数 330 千
印数1—1200册　　印张15.5
定　价：2.90元

前　言

本教材系根据机械电子部的工科电子类专业教材1986～1990年编审出版规划，由《计算机》教材编审委员会征稿，推荐出版，责任编委谢希仁教授。

本教材由东南大学徐宏炳担任主编，华东工学院屈大壮教授、吴慧中副教授担任主审。

本课程的参考学时数为40学时，其主要内容为：计算机图形学的发展和应用，显示器和图形系统，图形函数与图形软件包，二维图形的变换、开窗与裁剪，图形系统中的人机交互技术，图与图形文件的结构，光栅显示技术．三维形体的几何模型与三维图形的变换、裁剪和生成，自由曲线和自由曲面的生成算法，隐藏线和隐藏面的消除算法，阴影和色调的处理技术等。书中图形语言和图形算法采用美国ACM制定的CORE标准图形系统的语言，Pascal或者非形式化语言。使用本教材时，请读者注意加强有关图形设计和算法的程序实习。

本教材编写过程中，陈钢老师做了大量工作，并为本书提出了许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

——编者——

1988年8月

目　录

第一章　引　论

§1.1　计算机图形学及其应用……1
§1.2　图形系统与显示器……10
练习……25

第二章　图形软件包

§2.1　图形软件包的设计准则……26
§2.2　基本图形函数……29
§2.3　二维图形变换……39
§2.4　射影空间与对偶原理……54
§2.5　裁剪算法……59
§2.6　显示处理器指令产生器……60
练习……98

第三章　图与图形文件的结构

§3.1　图形文件的结构……100
§3.2　图的结构……115
练习……130

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第四章　人机交互设备与技术

§4.1　输入设备 ……133
§4.2　逻辑设备的模拟技术 ……142
§4.3　图形的交互操作技术 ……152
§4.4　输入数据的采集 ……164
练习 ……170

第五章　光栅显示技术

§5.1　扫描转换算法 ……172
§5.2　面的扫描转换 ……183
§5.3　面的覆盖 ……194
§5.4　光栅显示系统的交互技术 ……198
§5.5　彩色查找表与动画技术 ……205
练习 ……209

第六章　光栅显示系统的系统设计

§6.1　光栅显示系统的硬件组织 ……211
§6.2　光栅显示系统的软件设计 ……220
§6.3　与设备无关的图形软件包 ……227
§6.4　GKS ……233
练习 ……263

第七章　三 维 图 形

§7.1　三维图形 ……266
§7.2　三维形体的边界面模型 ……279

§7.3 结构化形体几何模型与其它表示方法 ……300
§7.4 三维几何变换 ……315
§7.5 平行投影 ……335
§7.6 透视投影 ……347
§7.7 三维图形的裁剪 ……352
练习 ……368

第八章 自由曲线与曲面

§8.1 合成方法的函数特点 ……362
§8.2 赫密特曲线 ……365
§8.3 贝塞尔曲线 ……368
§8.4 B样条曲线 ……383
§8.5 直纹曲面与孔斯曲面 ……404
§8.6 贝塞尔曲面与曲面的拼接 ……419
§8.7 向前差分算法的应用 ……425
练习 ……428

第九章 隐藏线和隐藏面的消除算法

§9.1 屏幕坐标系与景深 ……431
§9.2 基本消隐算法 ……440
§9.3 相关性在消隐算法中的应用 ……444
练习 ……456

第十章 色调与阴影

§10.1 色调的显示 ……458
§10.2 阴影算法 ……469

§10.3 透视与其它逼真显示技术 ……471
练习 ……475
附录：CORE图形标准系统……477
主要参考资料 ……489

第一章 引 论

§1.1 计算机图形学及其应用

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，图形的变换、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）和电视机上显示文字、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彩色显示管显示图形，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。这些均属于计算机图形学研究的范畴。

利用键盘、光笔、操纵杆等人机交互设备，对计算机产生的图形的内容、形式、大小、颜色等进行动态控制，称为交互式计算机图形学、简称交互图形学。

与计算机图形学关系最密切的学科是图象处理，它是分

析由摄象机摄取的二维或三维的自然图片，生成人们所需要的便于识别和应用的图形或信息。图象处理主要用于卫星拍摄的图片分析处理、飞机拍摄的航测图片处理、分子生物学中的分子结构分析，机器人的“人眼”功能设计等。

二、计算机图形学的典型应用

交互图形学向人们提供了一个强有力的研究与设计工具，人们可以利用数字化仪、键盘、鼠标器等输入设备，在CRT等显示设备上设计各种二维、三维的图形，设计的三维图形可以旋转，让设计者从不同的角度去审视它；系统在已输入的图形数据基础上，生成满足设计者不同要求的图，如建筑上的三维透视图、二维施工图，或者不同比例，不同详略要求的地图、云图等，或者一系列随时间等因素变化的系列图片，如反映一个人从少年到老年的一系列“照片”等。因此交互图形学在科学技术各个领域中都得到了广泛的应用。现摘取一些典型应用，奉献给读者。

1. 办公室自动化——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”相互之间的比较更感兴趣，图形学将这些“数据”转换为彩色的棒状图（bar chart）、饼状图（pie chart）或其它的二维、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，如材料在受力情况下的形变，核子反应与化学反应等，以往在描述这些变化时，往往需用大量的数据，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。借助于图形设备，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的图形，大大地加快了研究进度。还有，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. 地图描绘——在地图描绘中，不同比例的地图，对地理要素（如海湾的曲率变化，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、集成电路制造等工业部门的计算机辅助设计中，交互图形学有着更广泛的应用。由于能以图形的形式向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，供设计者和用户来选择，大大地提高了设计质量和经济效益。例如日本三菱横滨船厂采用显示器数学放样，把原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以后，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。目前发展起来的计算机综合生产系统(CIMS—Computer Integred Manufacture System)，也与图形学有着不可分割的关系。在CIMS中，人们使用CAD，在显示器上设计好机械装置或其零部件，然后由计算机控制的 FMS

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

(Flexble 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配电的控制，在交通管理中对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—在飞行员的培养过程中，图形学可以提供一个地面上的模拟训练仓，屏幕上显示的图形犹如飞行员飞在天上所看到的一样；在军事训练（如指挥作战、打靶等）中，也可利用图形系统模拟训练，这样可以节约大量的训练费用。

7. 工艺美术上的应用—利用图形设备可以综合生成科幻片中的特技镜头，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……。

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应用。

三、图形学应用的分类

图形学应用的面很广，涉及的领域极多，但从本学科出发，分类的方法有如下四种。

第一种，根据图形系统生成的图形的类型分类，如二维线架图（two-dimensional wire-frame picture）、三维线架图、带有隐藏线消除的三维线架图、带有不同灰度级或色彩的二维图，带有阴影色调的消除了隐藏面的三维图等。同一个应用系统往往要求生成不同类型的图，例如在电子线

路设计中，既可以用电子元件的符号构成二维的线路图，又可以用三维电子元件的实体图构成接线图。

第二种，根据图形系统中人机交互的方式与程度分类。如脱机显示或脱机绘制（off line plotting），它是指系统根据其它应用程序已生成的数据，显示或打印图形，此时人工已无法干预修改图形。交互绘制(interactive plotting)是指按用户提供参数—系统绘制图形—用户改变参数—系统再绘制图形的循环方式工作，飞行模拟训练系统就是以这种方式生成图形的。人机交互最密切的方式是交互设计(interactive design)，用户可以在空白的屏幕上自由设计图形，也可随意采用系统原先设计好的子图形、组合图形。

第三种，依据图形在该应用系统中的地位来分。如在地图描绘，图案设计等应用系统中，图形本身就是该应用系统的最终目标，但在许多计算机辅助工程（CAE）中，产生图形仅仅是设计产品和加工生产中的一个环节，并非最终目标。

第四种，根据图形本身的结构特点来分类。如由基本几何形体组合而成的复杂形体图，随时间等因素发生渐变的系列图、图与由摄象机拍摄的景象合成的图……

不同的图，对交互图形系统的硬件和软件有着不同的要求，但它们的核心系统基本上是一致的。

四、计算机图形学发展简史

早在1949年，计算机数据显示器就已诞生，它是用5″的示波管作为显示器，显示微分方程的解，例如弹道规迹等。1951年美国MIT的Whirlwind计算机装上了用计算机驱动

的CRT显示字符、公式和简单的图，这些图可以用照相机拍摄，生成硬拷贝。该系统已开始应用于军事指挥系统，如PPI——Plan Position Indicator，用于雷达监视系统。1953年用于空中交通管理的SAGE（Semi—Automatic Ground Envionment）系统诞生，它将雷达获取的信息转换成计算机产生的图，用来监视和指示飞机的位置。1962年MIT的Ivan E. Sutherland研制的Sketchpad绘图系统诞生，他发表了题为“人—机图形通讯系统（A Man—Machine Graphical Communication System）”的论文，向人类证明了人机交互图形系统的可能性、有效性，开拓了一个有意义的研究领域。在这个系统中，他用键盘和光笔完成人机对话、作图，并引进了存贮图的数据结构等。从此MIT、General Motors、Bell电话实验室、Lock heed飞机公司等，围绕CAD等领域，对计算机图形系统的硬件和软件做了大量的研究工作，图形学开始了它的黄金时代。

在60年代中期，交互图形系统主要发展的是光笔(light pen）和矢量显示器（Vector display device），它们与显示处理器（display processor）、显示缓存（display buffer memory）构成显示系统（图1.1）。为了在显示器上获得稳定的图象，存在显示缓存中的显示文件，必需以每秒30次以上的速度由显示处理器控制向显示器传送，使CRT上的图象以每秒30帧以上的帧频刷新。通常显示缓存需8～32k字节。在当时，由于存贮器和高速器件的价格较高，这种刷新式矢量显示器是比较昂贵的。60年代末期，价格较为低廉的不用显示缓存的存贮式显示管（DVST—Direct-View Storage Tube）诞生，构成的系统如图1.2所

示，它的缺点是交互修改图形不太方便。

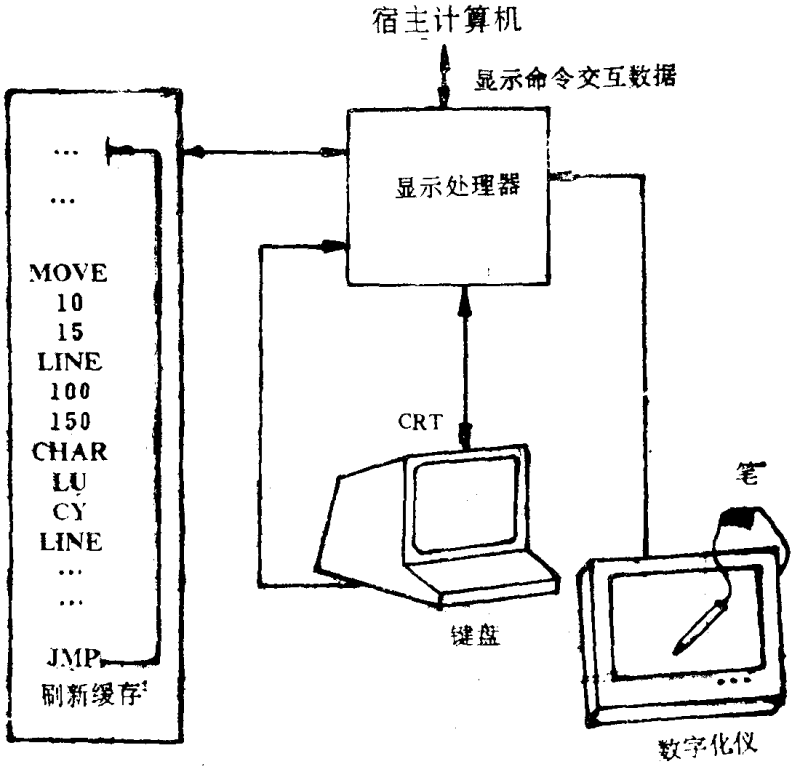

图1.1 矢量显示系统

到了70年代中期，由于微电子学的发展，半导体存贮器和微处理机等大规模集成电路的性能价格比有了很大的提高，人们借助于电视技术，大大发展了光栅显示器(Raster display)，构成的系统见图1.3。在这种光栅显示器中，荧光屏上每一个光点的亮度、色度均与显示缓存中的一个单元对应，显示器中的处理器通常直接采用微处理器。

在70年代中期以前，图形软件包都与具体的显示设备有

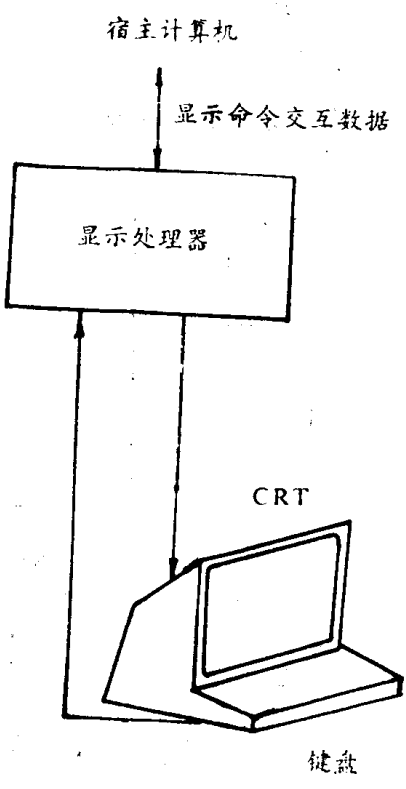

图1.2　存贮管式显示器

着密切的依赖关系，因此往往应用图形软件不易移植。70年代中期以后，与具体图形输入输出设备无关的通用图形软件包获得了较大的发展。1977年美国计算机学会图形学组(ACM SIGGRAPH)发表了Core Graphics System（简称Core），1977年联邦德国标准化组织DIN的NI/UA—5.9委员会提出了Graphical Kernel System（简称GKS),GKS）经多次修改于1982年被美国国家标准局（ANSI）接受为国家标准，1985年国际标准化组织ISO通过GKS为国际标准。这类图形包具备不限于某一类计算机，或某些图形设备，或某些程序语言，或某一类应用领域能使用的特点，图形包中函数描述的图形程序，具有广泛的可移植性，构成的图形系统如图1.4所示，其中各个具体的图形输入输出设备均通过与该设备相联的驱动程序与图形包相连。

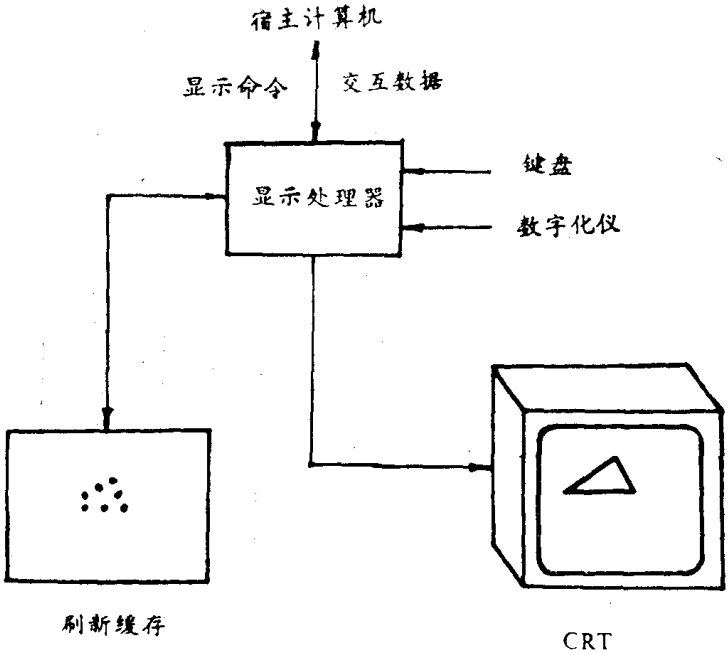

图1.3　光栅扫描显示系统

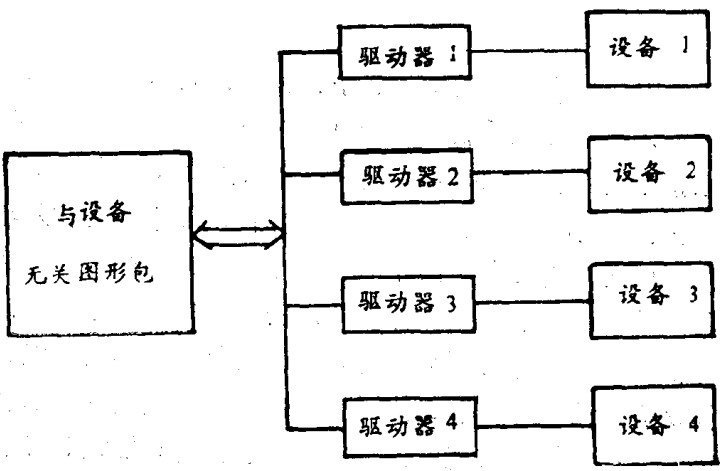

图1.4　与设备无关的图形包

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com