

微型计算机应用丛书

交互式计算机

JIAO HU SHI JI SUAN JI

图形系统及其应用

TU XING XI TONG JI QI YING YONG

安徽科学技术出版社



〔微型计算机应用丛书〕

交互式计算机图形系统及其应用

王硕强 编著

安徽科学技术出版社

责任编辑：田 斌

〔微型计算机应用丛书〕
交互式计算机图形系统及其应用

王硕强 编著

安徽科学技术出版社出版

（合肥市跃进路1号）

新华书店经销 安庆新华印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：9.25 字数：229,000

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数：00,001—2,000

统一书号：15200·81 定价：2.30元

ISBN7-5337-0069-4/TP·1

微型计算机应用丛书编审委员会

顾问 杨纪珂
主委 辛厚文
副主委 石仲慈
委员 (以姓氏笔画为序)
方爱群 朱逸芬
杨宗威 楼诗凤
颜锦纯

序 言

近代，电子计算机的出现，特别是微型机的出现，使人类面临一次影响面极为广泛的技术革命。

自从1946年世界上第一台电子计算机在美国问世，至今还不到40年的时间，就经历了四代，目前已有有人正在研究第五代计算机了。它的发展速度很快，在一些工业发达国家里，微型计算机已经进入了办公室、学校和家庭；它的销售量每年都数倍于前一年，其势锐不可当。

我国自从党的十一届三中全会以来，农村和城市相继进行了体制改革，一场新的产业革命正在蓬勃向前发展。以新而成熟的科学技术面向经济建设，是高速实现现代化的最大保证。因此，引进和推广微型计算机，就成为当前必须抓紧的大事。赵紫阳总理在关于《应当注意研究“世界新的工业革命”和我们的对策》的讲话中指出：“从我国的国情出发，对微型计算机的应用，一定要摆在重要的位置，予以足够的重视。在国外，现在微型机的使用范围非常广泛。就生产领域来说，它可以用于管理，用于生产过程的控制，用于技术改造等，而且效果非常显著。”并强调说：“无论从我国工业的现状和今后的发展方向来看，都需要突出抓一下微型机的应用问题。”

微型计算机的应用范围如此广泛，就需要大批熟练的技术力量来从事这方面的开发应用。但是，这支技术队伍在我国还刚刚

形成，规模和素质都不能适应经济发展的需要。有鉴于此，安徽科学技术出版社确定编辑出版一套《微型计算机应用丛书》。这套丛书题材广泛，针对性强，特别适合非计算机专业的读者阅读。这对普及、推广微型计算机应用，促进我国四个现代化建设，无疑是有益的。

安徽省副省长
中国科学技术大学教授

杨纪珂

1985.4.

前 言

图形是一种直观、易为人类接受的信息表达方式。计算机图形乃是信息表达、处理、分析和应用的强有力工具，它在世界范围内已经形成了一个工业领域，尤其是交互式计算机图形，它几乎渗透了每一个计算机应用领域，无论是 CAD/CAM，或是控制、管理、商业、办公室自动化、教学、艺术等。与文字相比，图形在信息通讯中具有更大的优越性，被人们誉为“一图抵千字”。这种优越性使计算机（特别是微型机）从传统的单一文字处理系统走向先进的文字图形处理系统。

交互式计算机图形不仅利用了图形信息表达的优势，而且强调了信息处理过程中的人机交互作用，它是一种通过人机对话方式进行图形生成及其处理的先进技术。为了帮助广大计算机科技工作者、工程师以及教育工作者了解和掌握交互计算机图形这一先进技术，作者参考了国内外有关著作和自己的工作实践经验，编写了《交互式计算机图形系统及其应用》一书。书中介绍的交互式图形原理、算法、技术和实例将有助于读者系统地了解 and 掌握计算机图形技术，在各种微型机上建立交互图形系统、开发微型机图形应用程序。

全书共分八章。第一章介绍了交互式计算机图形的基本概念以及它的形成、发展和应用；第二章介绍了交互式图形系统的硬件结构 and 设计技术；第三章介绍了交互式计算机图形系统的核心软件，即图形核心系统；第四章着重讨论图形应用软件中的模型表示、交互技术和人机界面设计；第五章讨论了图形生成算法和

几何变换，这章内容是计算机图形学中的数学基础部分；第六章结合设备特点，讨论一类目前应用最广泛的计算机图形系统，即光栅图形系统；第七章介绍三维图形技术；第八章是关于交互式图形典型应用——计算机辅助设计系统的一般讨论和实例介绍。

本书采用 PASCAL 语言来描述各种程序实例。在图形系统概念上借鉴了国际标准组织(ISO)制定的图形标准 GKS (Graphical Kernel System)。

本书适合具有一定计算机知识的工程师、科技工作者阅读，也可以作为大学生、研究生学习计算机图形学的参考书。

柳洪同志参加了该书第三、四两章初稿的撰写，朱逸芬副教授审阅了全稿，在此谨向他们表示感谢。

作 者

1985年4月

目 录

第一章 交互式计算机图形系统的基本概念	1
第一节 什么是计算机图形	1
第二节 计算机图形的产生、发展和趋势	6
第三节 交互式图形系统的功能模型	8
第四节 计算机图形的应用	13
第二章 交互式图形系统的硬件	18
第一节 图形硬拷贝装置和只输出技术	20
第二节 显示技术	29
第三节 显示处理单元	36
第四节 图形输入设备	46
第五节 交互式图形硬件系统设计	53
第三章 图形核心系统	66
第一节 输出原语和属性	66
第二节 坐标系统、变换和裁剪	75
第三节 图形工作站	84
第四节 输入	87
第五节 图段	95
第六节 GKS 元文件	101
第四章 应用模型、交互技术和人机界面	106
第一节 应用模型	106
第二节 交互技术	118
第三节 人机界面的设计	128
第五章 图形的生成和变换	138
第一节 二维曲线的生成算法	138
第二节 二维几何变换	155

第三节 三维几何变换.....	163
第六章 计算机光栅图形系统.....	171
第一节 光栅图形系统的一般概念.....	171
第二节 光栅图形的软件与算法.....	184
第三节 光栅图形交互性能的技术改进.....	203
第四节 用于光栅图形的色彩模型.....	208
第七章 三维图形技术	214
第一节 三维图形系统.....	214
第二节 三维物体的模型表达.....	222
第三节 隐藏面的消除.....	233
第四节 浓淡模型及应用.....	243
第八章 交互式图形的应用——CAD系统	251
第一节 CAD 系统概述	251
第二节 工程数据库.....	258
第三节 CAD 系统的应用及其实例介绍	265
附录.....	277
参考文献	286

第一章 交互式计算机图形 系统的基本概念

交互式计算机图形系统(简称交互式图形系统)越来越广泛地被应用到各行各业,为越来越多的人所熟悉。我们有必要系统地了解计算机图形的基本概念、研究对象、历史发展、工作原理和应用范围,本章内容将向读者提供这样一个总体概念。

第一节 什么是计算机图形

一、计算机图形的定义

只要使用过计算机,或多或少会对计算机图形有一些感性认识。例如,用 BASIC 语言编程,我们可以在打印机上打印三角函数曲线(如图1.1所示),这就是一种最简单的计算机图形。如果计算机还配备有绘图机,那么我们可以绘制更复杂且光滑的曲线或各种工程制图,这种计算机驱动绘图机制图称作被动式(passive)计算机图形(见图1.2)。如果计算机的显示器还具有图形功能,我们不但可以显示各种曲线和图件,而且还可以通过键盘或其他输入设备动态地修改图形。这时,我们则称它是一种交互式(interactive)计算机图形(见图1.3)。

严格地说,计算机图形(computer graphics)是利用计算机处理图形信息以及借助图形信息进行人机通讯处理的一门学科。它包括利用计算机生成图形对象、图形对象(二维或三维)在计算机中的表示、图形对象的操作和处理、图形输入问题以及借助图

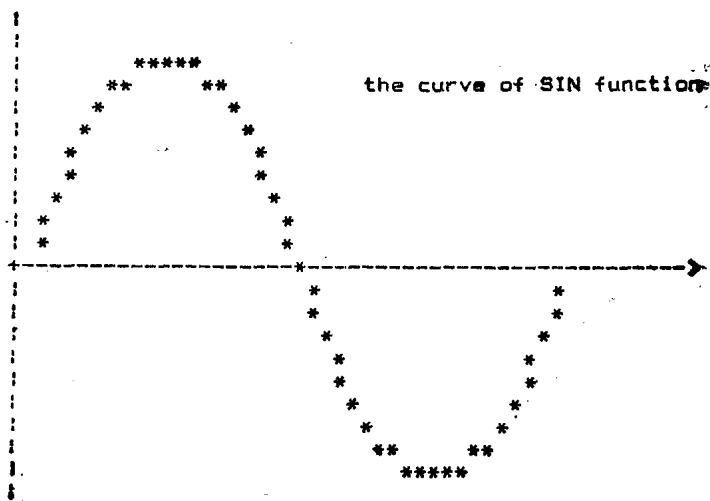


图1.1 打印机输出的三角函数

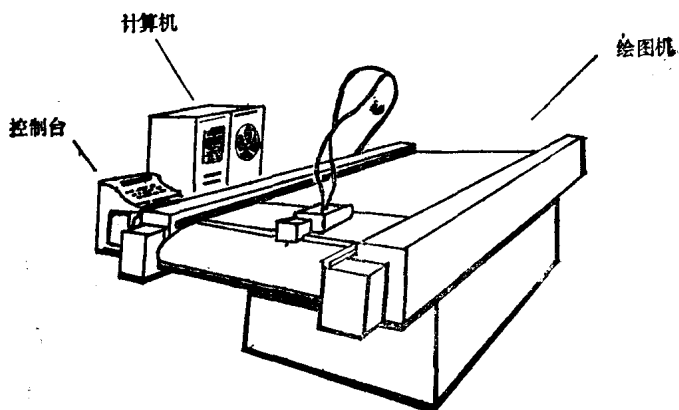


图1.2 计算机驱动的绘图机

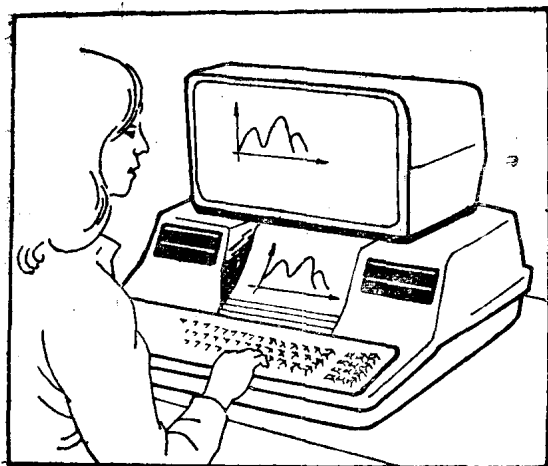


图1.3 交互式计算机图形系统

形信息进行人机交互作用的技术等方面的内容。图形对象可以是照片图象，也可以是使用计算机产生的，由字符、专用符号或浓淡曲面所构成的图形。图形或图象可以是单色或多色的。

从计算机软件角度来看，我们也可以认为计算机图形是数据结构、图形算法和语言三者的构成，即：

计算机图形 = 数据结构 + 图形算法 + 语言

二、计算机图形的研究对象

计算机图形的研究对象主要包括有三个方面的内容，即产生的计算机图形(generative computer graphics)、图片分析(picture analysis)和图片处理(picture processing)。

在产生的计算机图形中，图片由两种方式获得，一是从用户输入的数据或计算机程序给出的图片描述中得到；二是从操作者在图形工作站发出的命令或绘图动作得到。基本的图形对象（诸

如直线、字符串、多边形等)由计算机产生出来,并使它们的视觉外观显示在输出装置的屏幕上。图片可以分成若干部分,我们称之为图段(segment)。图片和图段均可以进行变换。为了能与操作者交互,产生的计算机图形也包括处理输入和图段的指定方法。

图片分析是在非结构形式的图片中抽象出基本物体和它们的关系。通常,待分析的图片(一幅照片或电视画面)经过数字化或扫描送往图形系统。手写文字的识别、机器人的景物分析系统对传送带上机器部件的类型和状态的分析,这些都是图片分析的例子。

图片处理用来改变一幅图片的视觉表达,以此改进图片数据内容的人类知觉效果。常用的方法有滤波、对比增强和噪声抑制。一个典型的例子是用伪彩色来取代X射线照片的灰度值。采用了这种技术,使得图片内的结构更易为人类知觉所接受。

表1.1总结了产生的计算机图形、图片分析和图片处理的输入输出形式、操作对象和操作目的,它们三者之间的关系可由图1.4来说明。通过扫描输入的图片往往称为图象(image),因此图片处理习惯上称作图象处理(image processing)。

表1.1 三种典型的计算机图形

	产生的计算机图形	图 片 分 析	图 片 处 理
输 入	形式描述	视觉表达	视觉表达
输 出	视觉表达	形式描述	视觉表达
对 象	直线、象素、域、文字或其集合	产生的或扫描的图片	扫描的图片(图象)
目 的	图形产生、表达、分段、变换	模式分析、结构分析、景物分析	图片增强

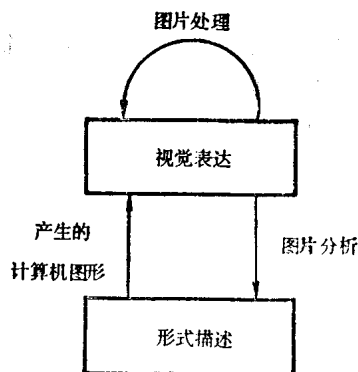


图1.4 产生的计算机图形、图片分析和图片处理三者之间的关系

计算机图形是一个研究很广泛的学科。本书讨论的只是产生的计算机图形，它也就是通常人们所说的计算机图形。至于其他两方面的内容，则由“模式识别”和“图象处理”等专题来讨论。

三、交互式计算机图形

交互式计算机图形，或简称交互式图形，是相对被动式图形而言。典型的被动式图形应用是自动绘图。计算机把所有的绘图任务进行批量处理，送给绘图机执行。在这种工作方式中，人无法任意地、动态地修改图形对象。在 CAD/CAM 等各种应用中，这种动态修改恰恰是很重要的，因而，交互式图形就必不可少。讨论交互式图形具有更一般的意义，因为交互式图形系统的某一工作阶段也可以是被动式的，例如交互设计的最终结果在绘图机上的输出。

交互式图形是计算机图形中的主要工作方式。从系统的硬件配置上看，除了配备一般图形输出设备(如绘图机或显示设备)外，还必须配备图形输入设备。这些设备可实现选图功能、输入

图形定位信息、输入标量值信息、输入字符信息以及输入控制程序运行的选择型信息等。交互式图形系统，不仅可使用户获得图形形式的信息，而且能直接与系统交互作用，以便能产生所需要的图形对象并能对它进行修改。

第二节 计算机图形的产生、发展和趋势

一、计算机图形的产生

计算机图形是在阴极射线管(CRT)显示技术的基础上发展起来的。1950年，美国麻省理工学院在 Whirl-Wind I 计算机上连接了CRT显示器，用来产生简单的图形。1953年，美国赛其(SAGE)防空指挥系统着手研制第一个大规模的、由计算机控制的CRT显示系统，它将雷达信息转换成计算机图形。在这个系统中还首次引入了光笔。

在五十年代，交互式图形很少取得进展。因为那时的计算机都是用来进行冗长的科学计算，不适合交互应用。到了六十年代初，麻省理工学院的TX-1和TX-2计算机得以发展，这时，交互应用才成为可能，因为这类计算机都带有交互图形CRT控制器。

1962年，麻省理工学院研究生 Ivan Sutherland宣读了他的博士论文“SKETCHPAD：一个人机图形通讯系统”，这被公认为交互式图形的真正起点。Sutherland 在论文中向人们展示了一个新的计算机领域：即图形可以在CRT显示器上描绘和操纵；CRT显示器加上光笔、开关、键和按钮，可以构成一个工作站；这个工作站可以使用户能够与计算机进行人机对话。由于这篇论文向读者证实了交互式图形是一个可行的、有用的、激动人心的研究领域，因而从此计算机图形走上了它的发展道路。与此同时，绘图机在计算机图形中的应用也开始兴起，代表这项技术

的是美国 Gerber 和 Calcomp 公司，它们分别研制了平台式和滚筒式绘图机。Calcomp 公司为了支持它的绘图机，开发了 Calcomp 二维图形软件包，它成了这一时代计算机图形软件的“标准”。

二、计算机图形的发展

早期的CRT图形显示器是刷新矢量型的。这种显示器的构造复杂、价格昂贵，阻碍了计算机图形的发展，在应用上主要局限于飞机、汽车的CAD以及航空指挥中。六十年代末，由于直视存贮管CRT显示技术的兴起，打破了上述局面。大力推广直视存贮管(DVST)技术的是美国 Tektronix 公司，当时它生产的DVST图形终端的价格仅为IBM公司刷新式图形终端的十分之一。所以，DVST图形显示技术的出现，代表着计算机图形在价格上的重大突破。Tektronix 公司在图形软件上的贡献也是很大的，他们开发的二维终端控制系统(PLOT10TCS)是当时唯一能与 Calcomp 软件包匹抗的图形软件，在此基础上，Tektronix 后来又开发了PLOT10交互图形程序库(IGL)，其影响较大。

DVST图形显示的最大弱点是不能进行局部擦除，从而影响了其交互性能。到了七十年代中期，大规模集成电路的发展和存储器价格的不断下降，使光栅CRT显示获得了生命力。光栅显示价格低廉，并且与电视兼容，使得计算机图形从研究单位走向家庭、办公室，为千百万人所掌握和利用。

由于各种图形输入输出设备的出现，对软件的设备无关性要求越来越高。自七十年代末期以来，计算机图形软件标准受到广泛的重视。德国标准组织(DIN)1978年提出了计算机图形标准GKS (graphical kernel system)，现已被采纳作为国际标准草案。美国计算机协会计算机图形小组图形标准计划委员会(ACM SIGGRAPH GSPC)提出的CORE系统也曾是一个影响较大的