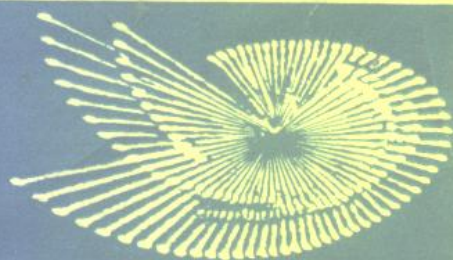
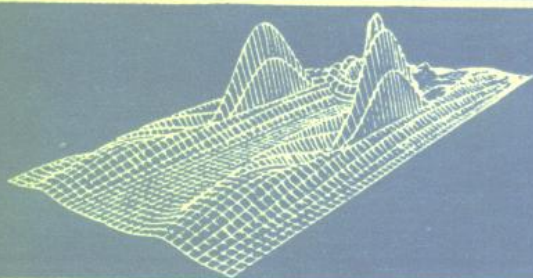


交互式计算机图形学基础

〔美〕 James D. Foley, Andries Van Dam 著
唐泽圣 周嘉玉 等 译



清华大学出版社

7-12711/11
FL

交互式计算机图形学基础

(1983年修订本)

[美] James D. Foley, Andries Van Dam 著

J. D. Foley
唐泽圣 周嘉玉等 译

6667
清华大学出版社

内 容 提 要

本书是美国《系统程序设计》丛书中的一本。全书分成四个部分共十七章。

第一部分是基础，共有六章。第一章是交互式计算机图形学的一般介绍；第二章讨论了图形学应用程序的设计；第三章和第四章讨论了简单的图形处理程序包的某些硬件和软件的概念，同时介绍了开窗、裁剪、分段和逻辑交互处理等内容；第五章讨论了使用输入设备的有关技术；第六章讨论用户-计算机之间接口的设计原理。

第二部分是数学知识、数据结构和显示结构，共有四章。其中第七、第八章深入讨论了二维、三维的几何和视图变换的算法；第九章较详细地讨论了构成物体模型的几何变换和数据结构，并介绍了可用层次结构表示的一些问题；第十章对于显示处理器结构是如何发展的，尤其是关于功能分布的问题作了讨论。

第三部分是先进的光栅技术，共有二章。第十一章扩展了第二章讨论的基本光栅技术，同时介绍了目前应用的与设备无关的一些算法以及光栅图形处理的软件；第十二章对当前流行的光栅硬件技术作了概述。

第四部分有五章，讨论了产生真实图形的问题。这是最新的一部分内容。其中第十三章论述了表示三维表面的基本技术；第十四章介绍了产生三维物体真实图形的一般方法；第十五章介绍了消除隐藏面的问题；第十六章讨论了生成明暗效应和纹理的算法以及各种光照模型；最后第十七章则讨论了表示和确定色彩的各种模型。

这本书既可作为大学生和研究生学习计算机图形学的教科书，也可作为计算机图形学工作者以及对计算机图形学感兴趣的读者们的参考资料。

JK00035

交互式计算机图形学基础

[美] James D. Foley, Andries Van Dam 著

唐泽圣 周嘉玉等 译

清华大学出版社出版

北京·清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

☆

开本：787×1092 1/16 印张：32 16K 插页 6 张 字数：795 (千字)

1986 年 11 月第 1 版 1986 年 11 月第 1 次印刷

印数：00001~6000

统一书号：15235·235

定价：6.70 元

译 者 的 话

近二十年来,交互式计算机图形学有了飞速的发展。这一技术不仅是各领域实现计算机辅助设计的重要基础,而且还广泛地应用于事务管理、科学计算、过程控制及办公室自动化等方面。应用交互式计算机图形学还可以生成逼真图形,从而实现景物模拟或制作各种艺术品及动画片。实现交互式计算机图形处理功能需要有一定的计算机硬件软件资源的支持,这一点曾经是推广这一技术的主要障碍。但是近年来,由于计算机硬件的性能不断提高,而价格却连续下降,因而可以在微型机系统上实现交互式计算机图形处理技术,这就为交互式计算机图形学的推广应用创造了很好的条件。可以说,在计算机上用交互手段实现图形的生成和处理,正在成为人-机通讯的主要手段之一而日益得到广泛的应用。

近年来,交互式图形学在国内已经引起了人们的注意。不少高等学校已经开设了这门课程,研究生已选择了这一领域的论文题目,已经召开了多次学术会议交流研究成果,并且已经开始在计算机辅助设计技术中得到应用。但是,总的说来,还是刚刚开始,在这种情况下,我们把 James D.Foley 及 Andries Van Dam 的著作《交互式计算机图形学基础》介绍到国内来,对于借鉴国外的最新技术以促进计算机图形学在我国的发展显然是有益的。

由 James D.Foley 及 Andries Van Dam 所著的《交互式计算机图形学基础》原先是 1982 年出版的,1983 年再版时作了修正。它既总结了计算机图形学二十年来的主要发展,也反映了七十年代末、八十年代的最新成就。这本书内容丰富,阐述清晰,理论与实际密切结合,由浅入深,层次分明,并附有大量插图。因而,既可作为大学本科生、研究生的教材,又是计算机图形学工作者很好的参考书。

本书是由清华大学计算机系的同志们翻译的。第一、二章由唐泽圣同志翻译,第三、四章由边计年同志翻译,第五、六章由李鸣同志翻译,第七、八章由孙家广同志翻译,第九章由朱鸣学、辜凯宁同志翻译,第十、十一章由周嘉玉同志翻译,第十二、十三、十四章由陈玉健同志翻译,第十五、十六、十七章由王泽毅同志翻译。全书由唐泽圣、周嘉玉同志校阅、修改、定稿,边计年同志参加了部分校阅工作。

目前,计算机图形学中的许多技术名词尚未有统一的译名。我们根据自己的理解,参照有关资料,确定了译名,但是并不一定合适。由于我们业务水平不高,又缺乏翻译的经验,虽然注意了译文要忠实于原著,并尽可能通顺易读,但仍难免有错误及不妥之处。敬请读者提出批评意见,予以指正。

译 者

前 言

系统程序设计这一领域最初是由许多程序设计人员和管理人员的努力而发展起来的，他们的创造性活动产生了快速发展的计算机工业所需要的实用的系统程序。程序设计的实践就如同是一门艺术，在那里，每一个程序员提出他自己的解决问题的方法，而所采用的引导规则则比他当时的联想所能提供的多不了多少。1968年，已故的 Ascher Opler，在 IBM 认识到有必要把程序设计知识以一种能被所有的系统程序设计者所使用的形式放在一起。在全面地研究了当时的情况以后，他认为已经有了足够多的有用的资料来从事一项意义重大的编辑工作。由于他的建议，IBM 决定发起出版系统程序设计丛书(The Systems Programming Series)，作为一个长期的任务来收集、组织和出版那些在工业中具有长远价值的原理和技术。

这一丛书是由一系列的教科书，参考书组成，而这个系列是可以逐步扩充的。每一本书的内容反映了作者对于该领域的观点，而不必反映 IBM 公司的观点，每一本书是按照课程的需要而组织的，但是作为参考书也是足够详细的。这一丛书是按照三个层次来组织的：在基础卷中是广泛的介绍性材料，在软件卷中是比转专门的材料，而在计算机科学卷中则是很专门的理论。因此，这一丛书能够满足初学者，有经验的程序员及计算机科学家的需要。

总起来说，这一丛书是系统程序设计的当前状态的一个记载，它构成了系统程序设计这一学科的技术基础。

编辑委员会

序 言

交互式计算机图形学这个领域的时代已经来到了。由于它需要昂贵的显示设备、相当多的计算机资源和独特的软件，因而不久以前，它还是一个深奥的专业领域。但是，近年来，由于硬件的价格性能比在持续地有时甚至是惊人的降低（例如，带有标准图形终端的家庭和办公室用个人计算机），由于一些高级的与设备无关的图形程序包的开发，使图形的程序设计更为简捷、合理，所有这些都促进了这个领域的发展。交互式图形学现在终于实现了它的希望，向我们提供了图形通讯手段，并成为人/机通讯的一个主要工具。对人们说来，图形通讯是操作计算机的有效而自然的方式，其精度是足够的。比起传统的、颇受限制的字符通讯技术，多数人更乐于采用交互式图形技术。交互式图形学可用来理解复杂的现象，设计技术产品，并能让人感到饶有趣味。总之，它是一项非常通用的，令人感到愉快的，具有启发性的技术。

本书是为对近代交互式图形学的许多方面感兴趣的读者而写的，这些方面包括硬件，软件，数据结构，图形对象的数学处理，用户接口和一些基本的算法。本书既可以作为大学的教科书，也可以作为参考资料。学习本书需要有程序设计和数据结构的基础，并且对计算机结构要有一定的了解，但并不需要图形学的预备知识。本书的顺序作了仔细地安排，从简单的一般的应用原理开始，最后是一些比较复杂的、专门的课题，从而使读者能循序渐进地学习。

第一部分：基础。

在计算机图形学领域中，象在计算机科学的其它大多数领域一样，最好的学习是实践。因此，经过第一章的一般介绍之后，第二章我们就立即开始了图形学应用程序的设计，这样，使学生能尽可能早地去写他们自己的程序，从而加深他们对所提供的材料和内容的理解。由于交互处理是交互式图形学中一个重要的部分，因而对于用户使用方便的交互式对话的设计，我们强调要有好的程序结构，并通过一系列逐步加深的例子来说明如何把画图与输入的处理自然地结合起来，以实现这样的设计。在我们的程序设计中，采用的是 Pascal 语言和由 ACM SIGGRAPH[GSPC79]作为标准提出来的“Core”图形子程序包的一个子集。第三章第四章讨论了硬件和软件的基本概念，用以说明如何使第二章中介绍的简单图形程序包易于实现。同时，介绍了开窗，裁剪，分段和逻辑交互处理等内容。第五章讨论了使用输入设备的有关技术，而第六章则讨论用户-计算机之间接口的设计原理。

第二部分：数学知识，数据结构和显示结构。

在第七章第八章中，我们从二维、三维几何变换和观察变换的基本数学知识开始，加深对基本原理的探讨。在第九章，更详细地讨论了对于被显示的模型物体，特别是可用层次结构表示的模型物体很有用处的几何变换和数据结构。第十章讨论了显示处理器结构是如何发展的，还特别对功能分布的问题作了讨论。

第三部分：现代的光栅技术。

第十一章将第二章中讨论的基本的光栅技术加以扩展，并包括目前应用的与设备无关的一些算法，同时还介绍了光栅图形处理的软件。第十二章对当前流行的光栅硬件技术作了概述。

第四部分：产生真实的合成的照片。

这是最先进的一部分内容，它包括了计算机图形学中最新颖的、对许多人来说是最感兴趣的一部分内容。第十三章论述了表示三维表面的基本技术。第十四章介绍了产生三维物体真实图形的一般方法。第十五章介绍了当物体表面被另外一些表面所遮挡时，如何消除隐藏面这一经典问题。第十六章讨论生成明暗效应和纹理的算法以及各种光照模型。第十七章论述了表示和确定色彩的各种模型。

我们希望这本书的层次结构能适用于各种不同的安排。作为本科大学生一个学期的介绍性课程，可用前三部分的大部分内容，并加上一点第四部分的介绍性材料。对于研究生课程，前三部分可较快的讲授，而将重点更多地放在第四部分提高的内容上。对于已学过初步的图形学课程的应用程序员和学生来说，他们对经典的向量图形技术比较熟悉，可用前几部分来复习基本的概念和技术，然后学习光栅图形技术和产生具有真实感的有阴影的彩色图形技术等比较新的内容。

我们虽然花费了多年的时间，但发现，即使我们将全部时间用于写作，也往往赶不上这个技术领域的迅速发展。我们要对许多朋友表示感谢，由于他们的帮助，使得本书的出版成为可能。当我们为了一个共同的目标——制订出一套适用的“Core”标准的初稿——而努力时，原来在 ACM SIGGRAPH 图形标准规划委员会的同事们 Peter Bono, Dan Bergeron, Ingrid Carlbom, Jim Michener 及 Elaine Sonderegger, 帮助我们许多设想变成了明确的观点。我们还要特别感谢 Jim Michener 给予我们极大的帮助，他用红笔认真仔细地写出了非常好的意见，对本书的内容、风格和编排都产生了很大影响。我们也要感谢 Dan Bergeron, Jack Bresenham, Dick Bulterman, Ingrid Carlbom, John Dill, Steve Feiner, Alan Frieden, Bob Heilman, Graeme Hirst, Janet Incerpi, Abid Kamran, Jeff Lane, Lee Mefrick, Norm Meyrowitz, Aragam Nagesh, Joe Pato, Jean Schweitzer, John Sibert, Alvy Ray Smith, Jagan Sud, Jim Templeman, Barry Trent, Victor Wallace, Gerry Weil, Turner Whitted 及 Patricia Wenner 等所有对本书的一章或几章提过意见的人们。Barry Trent 实现了 SGP。他和 Gerry Weil 核对了书中的 Pascal 程序；Adam Seidman 实现了第二章中的 LAYOUT，并对它进行了校核。Katrina Avery 对本书的手稿作了精细的编辑工作，她和 Mary Agren, Karen Doell, Sandy Ballentine, Marilyn Henry 及 Virginia Edwards 等对本书进行了熟练地打字和编辑工作。Jacqueline Bowman, Betty Kirschbaum, Hilda Wagstaff 及 Patricia Cisneros 画了书中前边部分的草图。我们还要感谢 Addison-Wesley 出版公司的职员，特别是 Dick Morton 及 Rima Zolina，感谢他们耐心的、在出版工作上的帮助；在此，我们向许多为本书提供照片和插图的个人和单位表示感谢，尤其是 Lee Metrick, Dave Shuey 及 Rick Thorne 特地为本书准备了许多插图。与通常一样，在这多方面的努力中，图形学课程的学生们采用了书中许多章初稿的内容，我们对他们的评论和坚持不懈的学习表示感谢。最后，我们要感谢我们以前的学生和同事们对我们的鼓励，还要特别感谢我们的家庭对我们的信任，感谢他们忍受了多次长时间的离别及所给予的谅解（甚至还要感谢 Thai Orchid Room 在我们漫长的写作过程中，为我们准备的香脆可口的美餐）。

华盛顿特区

J.D.F

普罗维登斯, R.I A.V.D

1981 年 8 月

目 录

前言

序言

第一章 什么是交互式图形学	1
1.1 引言.....	1
1.2 图象处理即图形分析.....	3
1.3 交互式图形学的优点.....	3
1.4 计算机图形学的一些代表性应用.....	5
1.5 应用的分类.....	8
1.6 未来的交互式图形学——交互通讯的通用方式.....	10
1.7 计算机图形学简史.....	13
1.8 交互式图形学中程序员模型的概貌.....	17
练习.....	19
第二章 基本的交互式图形程序设计	21
2.1 模型、图形的描述及交互作用.....	21
2.2 简单的图形程序包介绍.....	25
2.3 图形绘制.....	26
2.4 开窗及裁剪.....	28
2.5 分段.....	31
2.6 一幅简单的图.....	32
2.7 视图区.....	33
2.8 字符串.....	35
2.9 SGP 的作图功能小结.....	37
2.10 交互式图形程序——符号的布置图.....	37
2.11 从数据结构中生成一个图形.....	38
2.12 交互式程序设计.....	41
2.13 使用按钮做功能调用的主程序.....	45
2.14 使用菜单做功能调用.....	46
2.15 定义一个名称.....	51
2.16 在数据结构中增加符号.....	53
2.17 删除符号.....	61
2.18 用扫视和缩放来改变视图.....	61
2.19 给光栅显示增加实心面积.....	70
2.20 另一种实现方案.....	70
2.21 小结.....	71

练习	72
第三章 图形系统的硬件	75
3.1 只用于输出的技术	76
3.2 置示技术	81
3.3 随机扫描显示处理单元	88
3.4 交互操作的输入设备	99
3.5 光栅扫描显示处理单元	101
练习	105
第四章 一个简单图形程序包 (SGP) 的实现	107
4.1 SGP 的概况	107
4.2 观察运算	111
4.3 DPU 程序代码的产生	120
4.4 CPU-DPU 的同步操作	128
4.5 交互处理	130
4.6 用于其它设备的分段式 DPU 程序	131
4.7 错误处理	132
4.8 与设备无关的图形学	133
4.9 小结	135
练习	136
第五章 交互作用的设备和技术	139
5.1 设备和技术的逻辑分类	139
5.2 用于交互作用的物理设备	140
5.3 模拟逻辑设备的技术	148
5.4 交互技术	156
练习	160
第六章 用户与计算机作图形交互对话的设计	161
6.1 语言模拟	162
6.2 语言模式	163
6.3 设计原则	165
6.4 设计过程	177
练习	179
第七章 几何变换	181
7.1 二维变换	181
7.2 二维变换的齐次坐标及矩阵表示	183
7.3 二维变换的组合	185
7.4 有关效率的一些考虑	187
7.5 三维变换的矩阵表示	188
7.6 三维变换的组合	190
7.7 改变坐标系实现变换	139

练习	196
第八章 三维空间的观察过程	198
8.1 投影	198
8.2 平面几何投影的数学基础	203
8.3 确定一个任意的三维视图	206
8.4 平面几何投影的计算	208
8.5 以一个规范化观察空间为边界进行裁剪	217
8.6 图象变换	218
8.7 简单图形程序包中 (SGP) 的三维观察过程	222
8.8 小结	232
练习	232
第九章 模型及物体层次	235
9.1 什么是模型?	235
9.2 几何模型和物体层次	238
9.3 物体布置及图例变换	240
9.4 用当前的变换矩阵对物体作变换	242
9.5 推广到二级层次及 n 级层次	247
9.6 如何进行层次的编码	258
9.7 多级的相互关系	271
9.8 属性的传递	273
9.9 左乘及右乘	274
9.10 将模型的遍历与观察运算组合起来	275
9.11 本体坐标系中的裁剪	277
9.12 外接边界 (extents)	281
9.13 物体窗口及图例矩形	287
9.14 小结	290
练习	291
第十章 新型显示结构	294
10.1 引言	294
10.2 背景	294
10.3 简单的刷新式显式器	296
10.4 在图象空间中的向量变换和裁剪	300
10.5 具有模型变换和观察运算的高性能显示器	303
10.6 用于高性能结构的功能模型	305
10.7 EVANS & SUTHERLAND PS 300——又一轮循环	314
10.8 光栅图形系统的扩展——Megatek 7200	316
10.9 多处理器和主机-卫星机图形系统	318
10.10 小结	321
练习	321

第十一章	光栅系统的算法和软件	323
11.1	引言	323
11.2	直线的扫描变换	323
11.3	字符的扫描变换	329
11.4	圆的扫描变换	330
11.5	区域填充	334
11.6	多边形裁剪	337
11.7	多边形的扫描变换	341
11.8	具有暂时优先数的非分段图形系统子程序包	347
11.9	具有优先数的分段的图形处理子程序包	352
	练习	356
第十二章	光栅显示器结构	359
12.1	引言	359
12.2	一个简单的光栅显示器系统	359
12.3	光栅显示器的程序设计	364
12.4	图象显示系统	366
12.5	其它的光栅显示结构	371
12.6	个人计算机的光栅显示结构	376
	练习	377
第十三章	三维形体的表示	379
13.1	引言	379
13.2	多边形网格	380
13.3	多边形网格表示法的一致性	382
13.4	平面方程	384
13.5	三次参数曲线	386
13.6	三次参数曲面	393
13.7	曲线和曲面片的变换	398
13.8	双三次曲面上点的计算	398
	练习	401
第十四章	对图象真实感的探讨	403
14.1	引言	403
14.2	显示深度关系的技术	404
14.3	立体摄象	407
14.4	视觉真实感的探讨	410
第十五章	消除隐藏边和隐藏面的算法	412
15.1	引言	412
15.2	简化深度比较: 透视变换	412
15.3	避免作深度比较: 外接边界	414
15.4	深度排序算法	415

15.5	Z 缓存算法	417
15.6	扫描线算法	418
15.7	面积细分算法	421
15.8	算法的效率	424
15.9	曲面的算法	425
	练习	426
第十六章	明暗模型	428
16.1	引言	428
16.2	漫反射和环境光线	428
16.3	镜面反射	429
16.4	多边形网格的明暗处理	432
16.5	阴影	434
16.6	透明表面	435
16.7	表面细节	437
	练习	439
第十七章	亮度和彩色	440
17.1	引言	440
17.2	消色差的颜色: 亮度	440
17.3	有彩色的颜色	446
17.4	光栅图形用的各种颜色模型	451
17.5	复制彩色的硬拷贝	459
17.6	颜色协调	459
17.7	在交互式图形技术中应用颜色	460
	练习	460
参考文献		462

第一章 什么是交互式图形学

1.1 引言

我们用几个例子来介绍计算机图形学这个学科，这些例子对大多数读者来说都是熟悉的。

• 用高速、击打式打印机产生卡通人物或人象（图 1.1），通常是用重复打印（over printing）产生的；



图 1.1 行打印机图象，用重复打印模拟灰度（经 S.P.Harison 及 Mad Magazine 同意）

• 用滚筒或平板式绘图仪产生线型图形，例如二维及三维图形（图 1.2），表示百分比的扇形图、直方图、流程图、结构图及电路布置图；

• 用电影胶片或录象磁带产生真实物体或假想物体的彩色图形，它是高质量的，而且是有真实感的，可用于幻灯、电影或电视。例如，表示事务信息的图形（彩色图片 1），电视网的广告标志（彩色图片 2）以及科学幻想中的景物（彩色图片 13）；

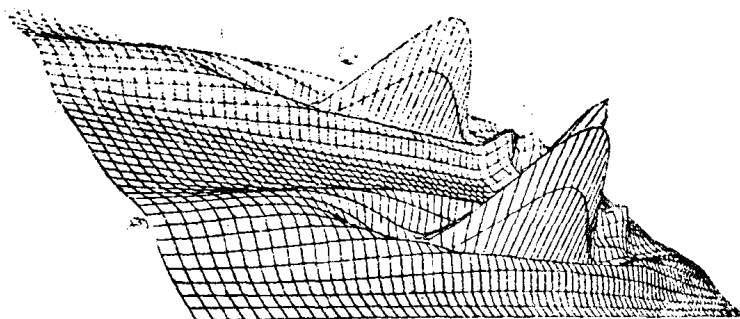


图 1.2 一个三维的“有规则”表面 (经 Calcomp 公司同意)

• 存贮管显示终端 (storage tube display terminals) , 带有键盘及由姆指轮控制的屏幕游标 (cursor), 可用作分时的字符终端, 也可用来交互的绘制线型图形及字符(图 1.3)。当绘制一个新的图形时, 首先, 通过一次闪烁, 实现清屏, 然后产生新的图形。通常一次产生一个字符或一条线。在通过低速的电话线相连接的终端上, 产生带有数千线条及字符的非常详细的图形, 只需要几分钟, 但是看起来却象是一个绘图员画的那么精确;

• 以黑白电视或彩色电视作为终端显示的业余爱好 (家用) 计算机, 既可用于产生字符及图表, 也可用于游戏等 (彩色图片 3)。通常, 这些图形的分辨率较低: 即很容易看清楚构成字符、线条及面积的一个个的点。然而, 尽管是“粒状”的, 图形的意思却能够很清楚地表达出来;

• 以微处理机为基础的电视游戏机。要组成简易型的游戏机, 人们可以在家用电视上连接一个黑匣子, 它可以产生较粗糙的字符和图形。同时, 用操纵杆 (lever) 或开关 (paddle) 作为交互设备。许多精彩的游戏, 例如, 行星轨道, 空间入侵者、无人驾驶飞机及导弹控制等, 可通过动画片以及形状和色彩的变化, 来检验领航技术及射击目标等技巧 (彩色图片 4)。

尽管这些形式的计算机图形在类型、图象质量以及在用户* 可以动态地控制图象的程度等方面有着很大的差别, 但是它们都有一个共同特点: 一个数字处理器产生和处理一个或一

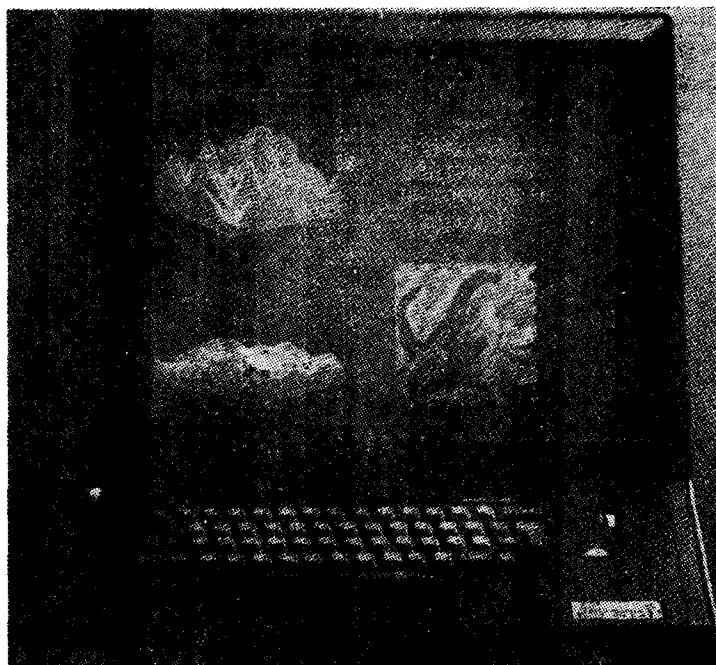


图 1.3 Tektronix4015-1计算机显示终端, 带有键盘及姆指轮叉丝控制 (最右边), (经 Tektronix 有限公司同意)

* 在本书中用户与观察者或操作者是同义词。

些对象的图形。于是，我们可以说：计算机图形学是通过计算机产生、存贮及处理对象的模型以及它们的图形。交互式计算机图形学是一种很重要的技术。在这里，用户可以借助于交互设备，例如键盘、控制柄或操纵杆（joystick）等对图形的内容、格式、大小和色彩在显示器的屏幕上实现动态控制。因此，上述例子中的前三个是“被动的”脱机的计算机图形学的实例。而后三个则是交互式计算机图形学的实例（简称交互式图形学）。我们对交互式图形学的研究自然包括被动的计算机图形学。

1.2 图象处理即图形分析

计算机图形学涉及到真实物体或假想物体的图形合成问题。与图象处理（亦称作图形处理即图形分析）有关的领域所探讨的则是其相反的过程：通过物体的图形实现景物分析或二、三维物体的重构。在对下面这些对象所做的研究工作中，图形分析是很重要的：空间观察所得照片，月球或火星的慢扫描电视图象（它是由空间探测器送回地球的），由工业机器人的“眼睛”提供的电视图象，染色体扫描及帕氏涂片，x 射线及部件验收试验扫描以及指纹等。图象处理，根据其主要目的，可分为图象增强（image enhancement），模式检测及识别（patten detection and recognition），或者景物分析（scene analysis）和计算机视觉（computer vision）等领域。它们包括消除“噪声”（指电视屏幕上“雪”状的非信息显示）以改善图象，增强对比度，检测和辨明标准模式，发现与标准模式的偏差（畸变），甚至能够从物体的几个二维图象中判明（重构）该物体的三维模型。彩色照片 5 中给出了这种重构的例子。这是一个上部胸腔的三维模型，它是从任意截面的连续可见的断层扫描中得出来的。另一个例子是由工业机器人所看到的在一个传送带上各部件的相对尺寸、形状、位置以及颜色的图象显示。

尽管计算机图形学及图象处理所从事的都是图形的计算机处理，但是直到最近，它们仍然是完全独立的专业领域。由于高分辨率的光栅（电视）扫描显示器变得越来越普遍，正在使这两个领域日益相互交叉。这一点，在交互式图象处理中特别明显。在这里，当连续色调图象的变换实时地显示在电视屏幕上时，人们的输入可对不同的子过程加以引导和控制。

1.3 交互式图形学的优点

在本书中，借助于交互式图形学，我们集中讨论图形的综合，因为这是与计算机进行通讯的最自然的方式之一。如果数据用图形表示，那么我们的眼——脑模式识别机构（它是非常完善的，适于作二维和三维的观察）允许我们很快地，很有效地理解和处理多种形式的数字。事实上，在许多设计、实现和构造过程中，图形对于观察和交换信息，实质上是必不可少的。

然而，创作和重新产生一幅有意义的图形却提出了许多问题，它们妨碍着图形的广泛使用。仅仅在引入了方便而廉价的产生和再生图形的技术手段（印刷术和随后的照像术）以后，一句古老的中国谚语“一幅图顶得上一千个字”在我们的社会中才是不足为奇的。我们可以快速而容易地从说明图和照片中抓住一个概念或情况的实质——而不再需要从事艰苦地绘图、雕刻或者一幅一幅地画出某一景物的拷贝。

自从照像和电视发明以来，交互式计算机图形学是产生和再生图形的最重要的机械化手段。它也还有其它的优点，即借助计算机，我们可以构造抽象的人造物体的图形。交互式图形学是人-机交互的一种形式，它把通过联机键盘终端实现的文字（字母 数字）交互通讯与绘制二维图形的图形通讯二者的优点结合起来。借助交互式图形技术，我们在很大程度上可以从单调乏味和挫折失败中解脱出来，而这是由于在行打产生的多页文字或字符终端中查找模型和发展趋势所带来的。

尽管静态图形常常是交换信息的良好手段，但是动态变化的图形通常就更好一些。当人们需要观察真实的和抽象的、随时间变化的现象时，这一点尤其如此。真实现象可以是在超声速飞机飞行时，飞机两翼的挠曲；或者从儿童到老年人的脸庞的演变。抽象现象有如美国核能利用的增长趋势或者人口移动（由城市到乡村再到城市）与时间的函数等。与一系列幻灯片比较，电影常常更便于表现随时间的变化。与此类似，显示台上画面的动态序列，较之缓慢变化的单个画面序列，能够更好地表示平滑的运动或变化着的形态。当用户能够用调节速度、调节整个景物的一部分、调节所显示细节的数量以及其他因素，以实现动画片控制时，尤其是如此。因此，许多交互式图形学技术涉及到由用户控制的运动动态（motion dynamics）和变化动态（update dynamics）所用的硬件和软件技术问题。

所谓运动动态，指的是相对于静态的观察者，物体可以运动和翻滚。同样，物体可以是静态的，而观察者可围绕它运动，以选择被观察的部分，并且为了观察得仔细一点或粗略一点，可以移向物体或移离物体，就好象是通过一个快速移动的照像机的取景器进行观察一样。飞机模拟器（彩色图片 B 和 C）用来训练飞机或船舶的领航员，让他们在三维的模拟景色中（包括其他的飞行物）操纵他们的模拟飞行器。这三维的模拟景色描绘在驾驶舱的一个或多个窗户（实际上是大的电视屏幕）上。与此相似，运动动态可让用户环视和透视诸如建筑物，分子结构，二维、三维或四维的功能部件，或者在二维、三维空间中由数据点形成的“云雾”（散射图）。在另一种形式的运动动态中，“照像机”是固定的，但景物中的物体，相对于照像机是移动的。例如，象齿轮系统这样复杂的机械传动机构，可以在屏幕上对每一个齿轮作适当的旋转来模拟它。

变化动态，涉及到被观察物体的形状、色彩或其他性质的实际变化。例如，人们可以显示出，在用户所加负载下，金属结构的变形（彩色图片 6），或者在计算机方块图中，显示出计算机对数据和控制命令的响应所引起的状态变化（图 1.4）。变化越是平滑，结果越是真实和有意义。动态交互式图形学为我们提供了大量的、用户可控制的模式，利用它可对信息进行编码和交换：即一个图形中物体的二维或三维形状，它们的灰度（在黑白之间的灰度等级）或色彩以及这些性质随时间的变化。用户可控制的方式是很多的，而且由于声音的数字化编码，它还在日益扩大，使得对象以及程序或操作系统的反馈不仅可以看见，而且可以听见。

总之，将字符及静态和动态图形恰当的组合起来，交互式计算机图形学使我们得以实现更为宽广的人-机通讯。单独用字符时这是不可能的。这使我们在了解数据、理解趋势以及想象真实和假想物体的能力上，有了显著的变化。通过不断的努力，使人-机通讯更为有效，交互式图形学有可能使生产率更高，得到更为精确的结果和质量更好的产品，同时，分析和设计的代价却更低。

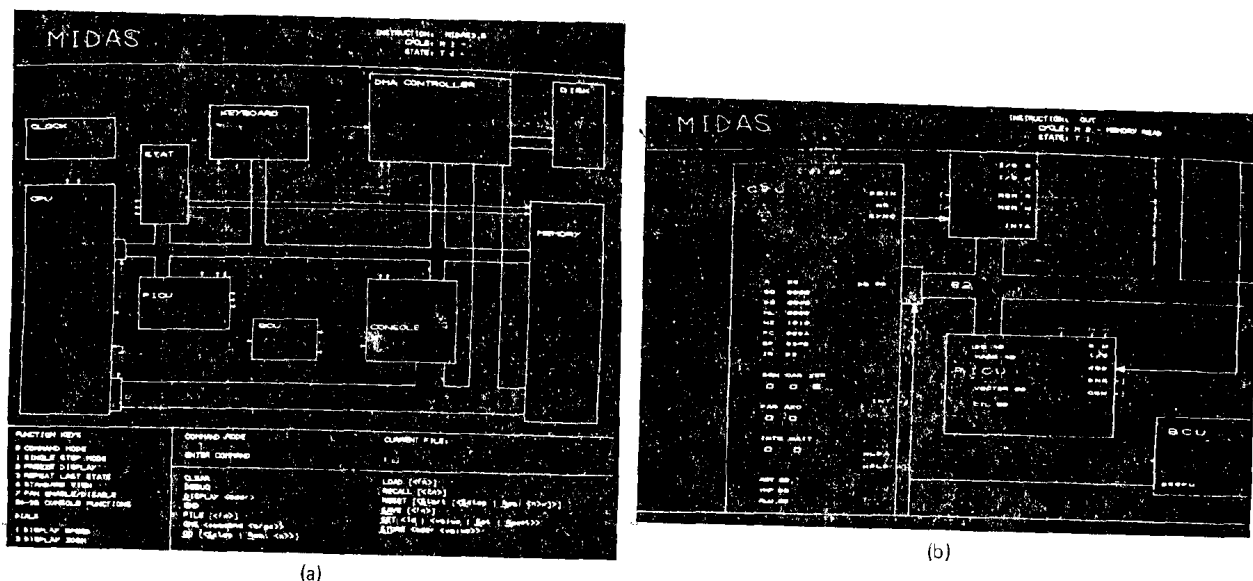


图 1.4 微处理机系统的模拟和由用户控制的动画片

- (a) 整个系统的概貌;
- (b) CPU、控制器、优先级中断控制器详图。在这一段的详图中,表示出了内部的寄存器。正在工作的控制线是发光的(即同步线) [GURW81]。

1.4 计算机图形学的一些代表性应用

目前,计算机图形学应用于工业、商业、政府、教育、娱乐的许多不同的领域,最近还用于家庭。因为简单的显示设备一般人通常都买得起,所以应用的领域是庞大的,而且增长得很快。下面,我们列出这些领域的代表性例子。在本书的后面的章节中,我们还将回过头来讨论其中的某些部分。

商业、科学和技术中的交互式绘图

目前,应用图形学最多的领域,仍然可能是绘制数学、物理以及经济函数的二维及三维图形,直方图、线条图,表示百分比的扇形图,工作进程图,库存和生产图以及大量的其它图形。所有这些都以有意义的和简明的形式来表示数据的模型和趋势,以增加对复杂现象的理解并促进决策的制订。

绘制图表

计算机图形学用来在纸上或胶片上产生高精度的地理或其它自然现象的图形。这样的例子[HARV80]包括:地理图,地形图,矿藏及钻井的勘探图,海洋地理图,气象图,等值线图,油田勘探图及人口密度图(图 1.5)。

计算机辅助绘图及设计

在计算机辅助设计(CAD)中,交互式图形技术用来设计机械、电气、电-机械及电子装置的元部件和系统[PRIN71]。这些系统包括结构(例如建筑物,化工厂及发电厂,汽车