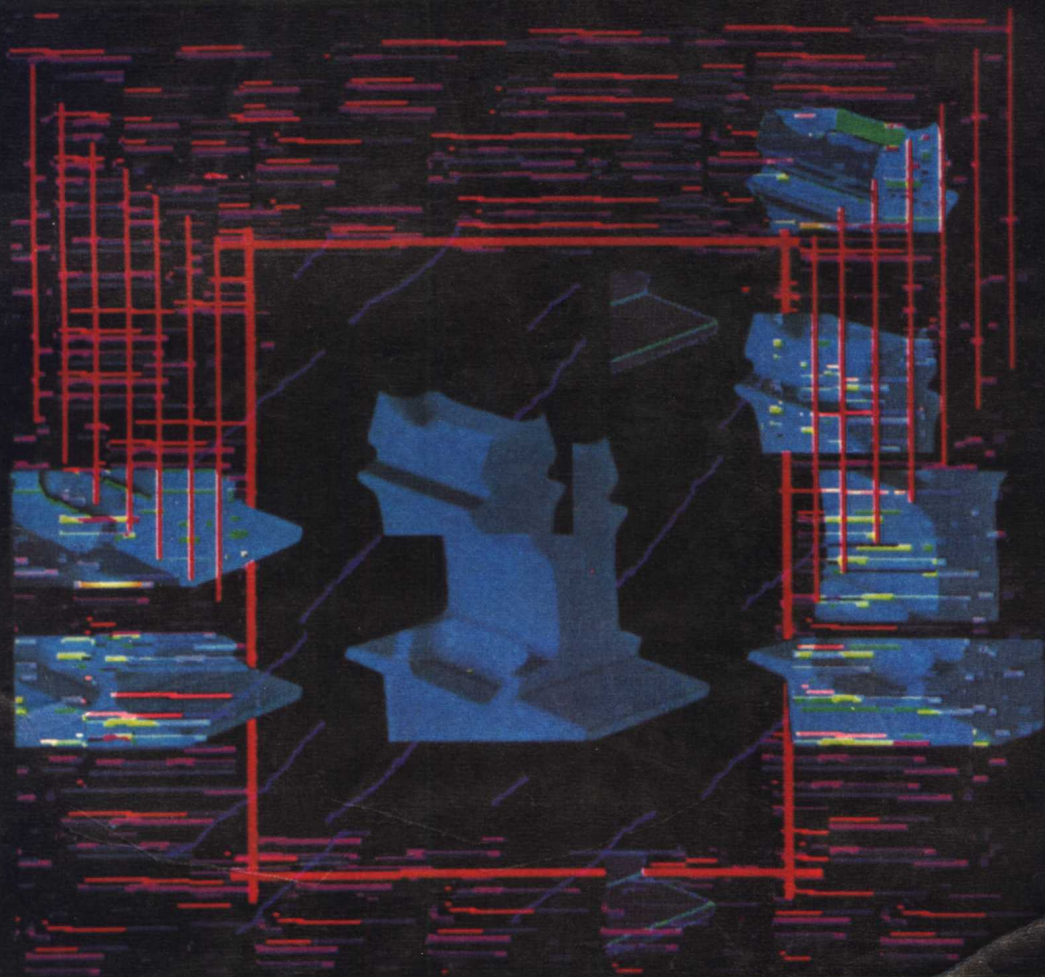


计算机图形学



(美) S. Harrington 著 高福文 李薇薇 李启虎 编译

—— 北京师范大学出版社 ——

计 算 机 图 形 学

[美] S. Harrington 著

高福文 李薇薇 李启虎 编译

北京师范大学出版社

计算机图形学

[美] S. Harrington 著

高福文 李薇薇 李启虎 编译

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 790 千

1985 年 12 月第 1 版 1985 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—17,000

统一书号: 13243·84 定价: 4.80 元

内 容 简 介

本书较全面地介绍了计算机图形学的基本原理和方法。全书共分十三章,分别介绍了图形显示的基本概念,二维图元和二维图形变换,交互式图形技术,三维图元和三维图形变换,平行投影及透视投影、三维开窗口和剪取,隐蔽面和隐蔽线的删除,物体表面形成浓淡及曲线的产生。

全书以图形系统软件的设计为中心,使用接近实际的语言给出算法,并且遵从 CORE 系统的标准,因此对培养开发图形软件的能力极有帮助。各章附有练习和编程问题,书末还有多种微型计算机的接口程序,便于读者实现本书介绍的图形系统。实现本书的算法无需特殊的显示设备,因此只要具备一般的标准终端就能提供计算机图形学的课程。

本书可做为高等学校计算机图形学的教材,也可供从事有关工作的科技人员参考。

编译者序

计算机图形学由于它在人与计算机之间建立起形象直观和高效率的对话手段,所以随着计算机的发展和應用而渗透到各个方面,成为计算机领域中发展极为迅速、影响日益深远的课题。我们可以说计算机图形学的时代已经到来了。在它发展的初期因为受到硬件设备的限制,尽管人们认识到它的重要性却没有合适的显示器件,或者由于硬件的价钱昂贵因而无法广泛应用。大规模集成电路技术以及新型廉价硬件的产生使得计算机图形学得到飞速的发展。特别是带有标准显示终端的计算机使图形学深入到文化、教育以及娱乐等方面。高级的、独立于设备的图形软件包的出现更使图形学的成果得以迅速推广使用。因此到今天交互式计算机图形学成为人机通讯的主要媒质。

我国自70年代末期以来在计算机图形学的研究与应用方面都取得了可喜的成果,许多硬件输入输出设备已成批生产。为了提高从事计算机图形学的工作者的水平并且为了培养这方面的人材,我们编译了这本引论性的教科书。本书主要取材于美国纽约州立大学计算机科学系所使用的教材《Computer Graphics: A Programming Approach》(作者 S. Harrington 1983 年)同时还编入《Fundamentals of Interactive Computer Graphics》(作者 J. D. Foley 和 A. Van Dam 1982 年),《Encyclopedia of Computer Science And Engineering》(编者 A. Ralston 1983 年)和 SIGGRAPH 教程的部分内容。本书全面介绍了计算机图形学的基本概念和方法。内容包括图形学硬件、软件、数据结构、图形对象的数学描述、图形对象的计算机生成和操作处理以及借助图形信息进行的人机交互作用。因此它既可做为高等学校有关专业的教材,也可供从事计算机图形学工作的科技人员参考。

本书的内容具有以下特点

1. 书中提出在实践中学习的方法,从头至尾全书以建立计算机图形系统为中心。每一章既提供开发图形软件的指南又给出有关应用程序的建议。学生一边学习一边建立自己的系统,当学习结束时,他们会得到对图形系统的实际感受。这一点对于我们的读者来说尤其重要,我们要发展自己的图形系统,开发图形软件包,从本书中,可以得到所需的方法和技能。
2. 本书遵从由浅入深循序渐进的原则,关于图形物体的数学描述从基本部分开始讲述,回顾必需的解析几何、三角学及光学的基本内容。因此对于非理科学学生来说学习本书也具备必须的预备知识。书中所有的算法都是用一种与各种高级程序语言无关且接近生活英语的语言写成的,并且服从 CORE 系统的标准。因此读者既能容易地理解算法的实质又能为学习更高一级的图形技术打下坚实的基础。CORE 系统是美国图形标准规划委员会为建立图形标准提出的规范,它独立于具体的图形显示设备,便于移植。学生在学习过程中所逐步完成的图形系统也将具备 CORE 系统的性能。
3. 当使用本书做为教材时,对计算机硬件没有特殊的要求。如果有专门的图形显示硬件,自然可以获得高质量的图形。但是这并不是必需的条件,只要有低分辨率的行式打印机或阴极射线管终端,都能使学生实现本书提出的算法。书末的附录给出在正规终端及三种微型计算机上实现图形系统的接口算法,因而即使在没有专用的图形硬件的情况也可以提供计算机图形学课程。

整个图形系统若用 FORTRAN 语言实现大约有 4000 行源码。在 PRIME 400 型计算机上编译成大约 16 K 字节的指令,另外还需 16 K 数组存储器。其他高级语言例如 PL/I, PASCAL, ALGOL 和 APL 都能用。若用 BASIC 和 COBOL 语言要困难一些,一般在 APPLE II 和 COMPUCOLOR II 上用 BASIC 实现二程序没有问题,但是若想推广到三维时就会出现存储器容量不足的问题。

关于学习本书时读者所应具有预备知识,正如前面所指出的,高中数学,如代数,三角,解析几何。另外读者应具有基本的编程能力,掌握至少一种高级程序语言,了解基本的数据结构和计算机结构。本书经过精心设计安排使得读者由简单的基础性的问题出发最后到比较复杂、比较专门

包括如下十三章。除第一章引论之外,每一章引进了计算机图形学的一个新专题,而且新的一章建立在原有章节的基础上,所以章节安排的次序是固定的。有的节是对数学基础内容的回顾,已经掌握这些内容的读者可以跳过这些章节。第一章是引言,介绍了计算机图形学的发展、应用。第二章一开始是关于解析几何的简要回顾和对向量概念的讨论。本章介绍了产生直线的算法,它可以在普通终端上显示图形。第三章讨论了直线和字符绘图命令,并且给出已经使用的显示设备与本书系统的其余部分之间的接口。这一章还介绍了一个重要的概念:显示文件。第四章介绍了多边形。虽然 CORE 系统是面向画线显示的系统,本书也包含了多边形和隐蔽面等光栅扫描图形学的扩展。第五章讨论基本的图形变换,其中包括定比例,平移和旋转变换。第六章叙述显示文件段和可见性属性。前面这六章考虑显示文件的管理和解释问题,当使用智能终端保存它自己的显示文件时,这些内容构成一个自然的段落。第七章以开窗口和剪取结束了对二维图形学的讨论。第八章讨论交互技术,在这里子程序也起着绘图设备与系统之间的接口的作用。如果有必要可以对所有的输入设备做键盘模拟。第九章将系统推广到三维的情况,三维几何学,视见变换,平行投影和透视投影都在此章中进行分析。第十章将剪取算法推广到三维空间。第十一章讨论了隐蔽面和隐蔽线的删除问题。建立了画家算法,并且将隐蔽面删除法推广到删除隐蔽线,还将排序推广到处理凹多边形。第十二章讨论物体表面的浓淡,它假定第十一章第一节已经实现了,但不需要其余三节的内容。第十三章讨论曲线的绘制,包括弧线的产生和内插,在探讨一个简单的内插方案之后给出了利用 B 样条函数实现内插的方法。书中的后十二章中给出大量练习题和编程问题,它们可以帮助读者加深对本书各章节内容的理解。编程问题中较困难者都以星号标出,特别困难者标以两个星号。

由于编译者水平所限,书中难免存在错误和不当之处,恳切希望读者批评指正。

目 录

第一章 引言	1
§ 1.1 计算机图形学的应用	1
§ 1.2 计算机图形学发展的历史	4
1.2.1 输出技术	4
1.2.2 输入技术	6
1.2.3 软件及其可移植性	6
§ 1.3 交互式图形学中的程序员模型	7
§ 1.4 交互式图形学的未来	8
第二章 几何学与直线的产生	10
§ 2.1 几何学初步	10
2.1.1 点和线	10
2.1.2 平面与坐标	11
2.1.3 线段	11
2.1.4 互相垂直的直线	13
2.1.5 向量	14
§ 2.2 直线的产生	15
2.2.1 象素和帧缓冲存储器	15
2.2.2 向量产生	16
§ 2.3 字符的产生	18
§ 2.4 显示帧缓冲器	19
参考文献	21
练习	21
编程问题	22
第三章 图元	25
§ 3.1 显示设备	25
3.1.1 光栅显示	25
3.1.2 绘图机	26
3.1.3 直视存贮管	26
3.1.4 等离子体显示板	28
3.1.5 向量刷新显示法	28
§ 3.2 图元	29
§ 3.3 显示文件与解释程序	31
3.3.1 归一化的设备坐标	32
3.3.2 显示文件的结构	
3.3.3 显示文件算法	
3.3.4 显示的控制	
§ 3.4 文本及线型图元	
3.4.1 文本	
3.4.2 线型图元	
§ 3.5 应用举例	

DJS32/02

参考文献.....	48
练习.....	48
编程问题.....	50
第四章 多边形	54
§ 4.1 多边形.....	54
4.1.1 凸多边形与凹多边形.....	54
4.1.2 多边形的描述.....	54
4.1.3 输入多边形.....	55
§ 4.2 多边形的填充.....	56
4.2.1 点是否在内部的检验.....	56
4.2.2 多边形接口算法.....	57
4.2.3 填充多边形.....	59
§ 4.3 应用.....	69
参考文献.....	70
练习.....	70
编程问题.....	72
第五章 二维图形变换	76
§ 5.1 定比例变换.....	76
5.1.1 矩阵.....	76
5.1.2 定比例变换.....	77
§ 5.2 旋转变换.....	79
5.2.1 正弦与余弦.....	79
5.2.2 和角公式.....	80
5.2.3 旋转.....	81
§ 5.3 齐次座标系和平移变换.....	82
§ 5.4 绕任一点旋转.....	84
§ 5.5 其他变换.....	85
§ 5.6 变换程序与显示过程.....	87
5.6.1 变换程序.....	87
5.6.2 显示过程.....	94
§ 5.7 应用.....	96
参考文献.....	97
练习.....	97
编程问题.....	98
第六章 程序段	100
§ 6.1 程序段与操作.....	100
6.1.1 段表.....	100
6.1.2 段的建立.....	101
6.1.3 关闭程序段.....	102
6.1.4 段的删除.....	103
6.1.5 段的重新命名.....	106
.....	107
形变换.....	108
.....	108
.....	109

§ 6.4 段的存贮和显示	111
§ 6.5 显示文件的其他结构	113
§ 6.6 某些光栅技术	114
§ 6.7 应用	115
参考文献	116
练习	116
编程问题	118
第七章 开窗口与剪取	120
§ 7.1 视见变换	120
7.1.1 视见变换矩阵	120
7.1.2 视见变换的实现	124
§ 7.2 对图形的剪取	127
7.2.1 直线的剪取	127
7.2.2 多边形的剪取	130
7.2.3 在系统中加剪取功能	133
7.2.4 除法的避免	134
§ 7.3 剪取的一般形式	134
§ 7.4 多重开窗口效应	136
§ 7.5 应用	136
参考文献	137
练习	137
编程问题	138
第八章 交互式计算机图形学	140
§ 8.1 输入设备	140
8.1.1 输入设备处理算法	143
8.1.2 事件的处理	146
8.1.3 取样设备	153
§ 8.2 可检取性属性	154
§ 8.3 输入功能的模拟	157
8.3.1 以选图器模拟定位器	157
8.3.2 以定位器模拟选图器	158
§ 8.4 回波及交互技术	161
参考文献	165
练习	165
编程问题	166
第九章 三维图形	167
§ 9.1 三维图元	167
9.1.1 立体几何学	167
9.1.2 三维图元	169
§ 9.2 三维图形变换	172
9.2.1 三维变换矩阵	172
9.2.2 绕任意轴的旋转	176
§ 9.3 平行投影与透视投影	
9.3.1 平行投影	
9.3.2 透视投影	

§ 9.4 三维视见变换	143
9.4.1 视见参数	183
9.4.2 向投影面坐标系的转换	189
9.4.3 三维视见变换	192
§ 9.5 特殊投影	195
§ 9.6 应用	198
参考文献	200
练习	200
编程问题	201
第十章 三维剪取	203
§ 10.1 剪取参数	204
10.1.1 什么时候剪取	204
10.1.2 剪取约束体	205
10.1.3 剪取面	207
10.1.4 建立剪取参量	209
§ 10.2 剪取的实现	210
10.2.1 相对于平面的剪取	210
10.2.2 三维剪取算法	213
§ 10.3 应用	221
参考文献	221
练习	221
编程问题	222
第十一章 隐藏面和隐藏线	223
§ 11.1 背面移去	223
11.1.1 背面及其检验	223
11.1.2 背面算法	226
§ 11.2 画家算法	229
11.2.1 收集多边形	230
11.2.2 记住填充类型和线型	233
11.2.3 隐藏面检验	234
11.2.4 分割为三角形	236
11.2.5 比较两个三角形	240
11.2.6 极大极小检验	240
11.2.7 重叠的边缘	242
11.2.8 被包含的点	245
11.2.9 求三角形平面上的一个点	247
11.2.10 被包含的整个三角形	249
11.2.11 建立深度次序	250
11.2.12 几何排序和链表	252
11.2.13 三角形的排序	254
§ 11.3 隐藏线移去	258
11.3.1 三角形如何挡住直线	259
11.3.2 分割线段	264
11.3.3 检验	268
所有边的隐藏线	
多边形	271

参考文献	276
练习	277
编程问题	277
第十二章 形成浓淡	279
§ 12.1 浓淡模型	279
12.1.1 漫射照明	279
12.1.2 点光源照明	280
12.1.3 镜面反射	281
§ 12.2 浓淡算法	282
§ 12.3 透明度及阴影	290
参考文献	290
练习	291
编程问题	291
第十三章 曲线	292
§ 13.1 曲线的产生	292
§ 13.2 曲线的内插	294
13.2.1 混合函数	294
13.2.2 内插算法	296
13.2.3 内插多边形	300
§ 13.3 B样条	301
§ 13.4 B样条与拐角	306
§ 13.5 应用举例	307
参考文献	308
练习	308
编程问题	309
附录A PDCIN ALGOL 语言	310
附录B CORE 作图系统	313
附录C 在一正规终端上作图	319
附录D 与 PLOT 10 的联接	323
附录E 与 CALCOMP 程序的联接	326
附录F 在 COMPUCOLOR II 上作图	329
附录G 在 APPLE II 上作图	334
附录H 在 COMMODORE PET 上作图	338
译名对照表	344

第一章 引言

科学技术的新发明往往使我们对于自然界的认识不断扩展、不断深化。正象显微镜帮助了人类去观察微小物体的结构,望远镜把人类的眼力延伸到宇宙深处一样,计算机图形显示使我们能够在电子计算机上模拟假想的数学世界,并进一步研究它的规律。它象一个窗口,计算机程序设计者透过它描绘各种物体的形象。这些物体可能是客观存在的真实物体,服从已知的自然规律,但另一些完全可能是虚构的,仅仅服从程序员在程序中为它们规定的规律。飞机驾驶员在训练时,从计算机的显示屏上可以看到飞行的仿真情况。物理学家也可以利用计算机模拟核反应,在荧光屏上观察核粒子之间的碰撞,或者观察火箭以接近光的速度飞行。具体的显示内容千差万别,但却有一个共同点:那就是由一个或几个物体所组成的图形都是由计算机产生和操作的。于是我们可以说,计算机图形学是在计算机的辅助之下产生图形的科学。人们建立起物体的模型,然后在计算机中存储这个模型,产生出该物体的图象,并且对它们进行操作,修改和完善。交互式图形学是这门科学的重要组成部分,使用者可以利用人与计算机交互作用的设备,例如:键盘、控制杆等,动态地控制在显示屏上出现的图形,改变图形的内容,图形组成的格式,大小以及颜色。

早期的计算机仅仅输出大量的数据作为计算的结果。很快地,许多计算机开始以阴极射线管作为它们的标准输出设备,数据以更快的速度、更容易地显示出来,从此开始了计算机运算结果以图形形象来揭示其包含的信息的时代。今天计算机图形学已成为迅速发展的领域,而且应用范围极为广泛。它是下述两类工作者所必需的内容:第一类工作者在日常工作中需要各种类型的图形。例如,有人希望计算机所控制的某种工具能够帮助他们画出机械零件的加工图或透视图,而他们自己则仅仅向计算机输入他们的要求,由计算机完成各种计算,产生出图纸,并且对设计结果进行检验。另一些计算机用户希望计算机能够画出制作半导体集成电路用的光刻掩膜图,从而可以用来精确地制做出错综复杂的集成电路。在其它方面,如高速公路的设计规划,汽车与飞机的设计,地图、建筑图以及出版物的制版,甚至服装式样的设计等等,都在大量地应用计算机图形学研究的成果。另一类人对于应用计算机显示复杂的自然和数学现象有着与日俱增的浓厚兴趣。他们以计算机模拟不同类型的实际情况,然后将结果显示在荧光屏上。例如,有机化学家可能想合成一种物质,他首先创建一个分子的模型并显示出来,然后利用一定的程序,在空白的荧光屏上把简单的分子模型组合起来,逐步合成所要得到的物质。为了研究电路的特性,计算机也可以把电路中各点对于不同频率的输入信号所做出的响应显示出来。医学工作者可以从荧光屏上观察血液在动脉中流动的情况,用计算机模拟动态的变化,从而研究血管中产生漩涡的位置,找出动脉粥样硬化的起因。物理学家可以编出程序,用计算机演示基本粒子与其自身所产生的电场之间的相互作用,学生们就能形象地了解微观粒子的量子化行为。数学家也能够用计算机显示抽象的数学函数,把它们描绘在二维、三维或多维空间中。这类使用者在用计算机显示信息,或从计算机图形中获得信息时,都把图形显示看作是交换信息的有力工具。

§ 1.1 计算机图形学的应用

当前,计算机图形学已应用在工业、商业、政府部门、教育、娱乐以及家庭中。由于显示设备的价钱日益变得能为一般人所接受,所以计算机图形学应用的领域在不断的大量增加,而且增长的速度也是惊人的。下边列举几个有代表性的例子。

1. 交互式绘图用于商业和科学技术

到今天为止,计算机图形学仍大量地,经常地用于绘制数学的、物理的以及经济函数的二维和三维图形。诸

如各种直方图、条形或扇形统计图、任务进程图、产品库存和产量变化图及其他丰富多彩的图形。彩色显示终端的应用,可以不同的颜色表示出不同的内容,使得重点更突出。以上所列举的图形中都力图既简洁又含义明确地表达出数据的发展趋势和变化的模式,以便于观察者更快地理解复杂的现象,促使他们更快地做出决定。

2. 计算机图形学在制图学方面的应用

计算机图形学用于在纸上或胶片上产生高质量的或高精度的地理以及其他自然现象的图形。例如:地图、救生图、矿藏图、石油钻探图、海洋图、天气图、等高线图以及人口密度分布图等。见图1.2及1.3。

3. 计算机辅助绘图与辅助设计

在计算机辅助设计领域内,人们利用交互式图形显示来设计电气、机械、电机和电子设备的零件和系统。系统的类型多种多样,它包括象建筑物、化学和电力工厂、汽车外形和机体、飞机和轮船的外壳以及它们的内部结构等建筑结构型的系统、象复杂的镜头组组成的光学系统以及电话或计算机网络系统等。有时,在某些场合,如联机绘图或建筑绘图的情况,仅仅要得到部件的精确的图纸,但是更多的是要求设计者能够与计算机交互作用,对所设计的部件或系统的模型进行操作,从而可以优化设计,检验部件的机械、电气和热力学的性能。物体或系

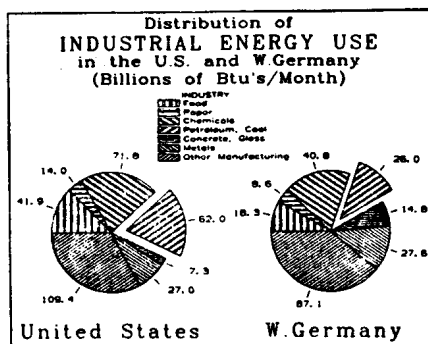
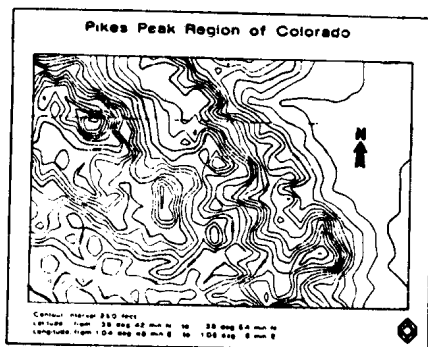


图 1.1 典型的统计图形



统的模型常常被仿真器翻译出来,将其变化规律显示并反馈给计算机控制台的操作者,为进一步设计和检验做好准备。当一个部件或一个系统设计完毕,实用的程序可以对设计好的数据库进行后处理。处理的内容包括列出零件清单,做出材料需用表,甚至制备控制生产此零件的机床的磁带等等。设计者使用输出控制器在大型数字化仪或图形板上选择图形元素并绘制一定的图形,或由键盘输入各种参数和命令,设计图即自动出现在高清晰度显示屏上,当设计过程完成时,从绘图机上可得到直接用于加工过程的施工图,也可由行式打印机印出各种清单。图 1.4 与 1.5 是计算机辅助设计的两个例子。

4. 仿真与动画

以计算机制作动画电影来表现真实物体或模拟物体随时间而变化的规律变得越来越普遍。我们不但可以通过图形显示研究数学函数(见图 1.6),而且也能把科学现象数学模型化,再把此数学模型以图形形象地表示出来,例如水流、相对论、核反应和化学反应、生理学系统、动物的器官、以及在重负荷之下,物体结构的变化,这一切都可通过对图形的变换观察到。由此产生的一个应用高度技术的新领域就是交互式计算机动画。这种动画不但具有很高的质量,而且由于利用计算机图形技术减少了绘制动画过程中的步骤,因而大大节约了制作费用。除了产生简单图画之外,目前已应用产生逼真图形的技术,创造出具有立体感的具有彩色照片质量的动画人物形象,并且也已用在科学幻想故事中。

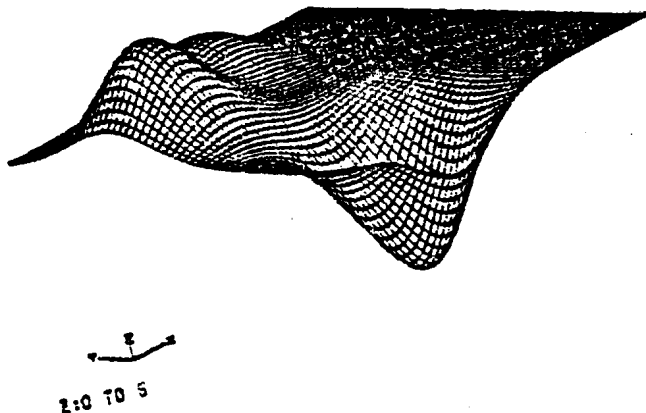


图 1.6 数学函数的三维图形

计算机动态显示图形的另一个非常成功的应用是飞行训练仿真设备。大型的显示屏代替驾驶员的瞭望窗。在这个屏上有飞行器所在的环境的图象,同时还显示出云雾、烟尘、夜晚的灯光,以及其他飞行器的行状和大小。所有这一切随着时间的变化,随着驾驶员操纵飞行器的动作各自按照一定的规律变换形状。于是宇航员可以在仿真设备上学习驾驶登月舱和飞船,练习如何手动操纵飞船着陆。同样地,航天飞机的驾驶员们在真正飞行之前,也要在仿真设备上反复实践数年。

很有意思的是,这样一种高级技术也应用到娱乐和儿童教育中。在电子游戏机中,利用计算机建立一个简化了的二维或三维世界,例如人造的宇宙空间,假想的战场等,参加游戏者操纵驾驶杆指挥飞行器在宇宙空间飞行,或者躲避流星的撞击,或者开炮与假想的太空人作战。计算机将响应操纵者的动作,实时地显示相应的动画。

5. 过程的控制

飞行仿真器和电子游戏机让使用者与假想的世界相互作用,或即使与真实的世界相互作用,整个过程处于模拟状态。另一类应用却是让用户真正控制他所处的环境,一些敏感元件被安装在炼油厂、发电厂或系统的一定部位,利用它们获得有关客观状态的信息。计算机把它们连同工厂或系统的图形一起显示在大型荧光屏上。生产者根据图形提供的信息,可以做出判断并采取恰当的行动,再进一步通过计算机控制生产正常进行。应用于作战指挥的命令与控制系统,可以把各种显示器安装在指挥部内,指挥员通过显示器检查战场上的情况(运输工具的数量和位置,武器弹药的配备,军队的调动和伤员情况等)。他们也可以根据军事发展的可能性,最快地显示他们的战略战术效果。如果在传统的雷达显示屏上增加由计算机产生的模拟符号和图象,就能更清楚地显示他们的战略战术效果。如果在传统的雷达显示屏上增加由计算机产生的模拟符号和图象,就能更清楚地显示他们的战略战术效果。

息,那么根据飞机光点的位置和速度,机场的空中交通管理人员就能更准确更迅速地控制空中的交通情况,其效率远比仅有雷达数据高得多。

6. 计算机图形学在艺术和商业方面的应用

计算机艺术和计算机广告有着共同的目的,那就是要用优美的图画表达信息和吸引公众的注意力。计算机图形学向创作者提供了极完备的技术,他们可以建立物体的模型,他们也能很好地表述光照的效果和在物体上形成的颜色的浓淡。由此创造的图象有逼真的形象。它不但广泛应用于商业,科学研究和教育,而且使得计算机辅助设计发生了重大的变化。用计算机辅助设计的汽车外形,当汽车外壳的参数确定之后,计算机模拟一定灯光光源,采用浓淡技术计算汽车上各点对灯光的反射强度,逐点的生成完全逼真的汽车外形照片。当然,此时这种汽车还并不存在,它还处在设计阶段。设计者还可利用图形变换技术从不同角度观察他的“成品”,如不满意,稍加修改,一张新的图片将又显示在屏上。不难理解,这一新技术成十倍甚至几十倍的缩短了设计周期,为工业生产带来革命性的变化。

§ 1.2 计算机图形学发展的历史

计算机图形显示已经成为人机对话的一种标准手段,它的发展前途非常光明。了解它今天的发展以及它怎样达到这种状况,对于我们是非常有用的。硬件的发展对这个领域有重要的影响,较之软件,硬件直接决定了图形学发展的道路,所以更容易以硬件的开发来划分图形学发展的阶段。下面就从硬件谈起。

在计算机发展的初期,人们能够利用电传打字机或行式打印机打印出粗略的图形。麻省理工学院的 1950 Whirlwind 计算机驱动一个阴极射线管做为其的输出设备。它既可显示信息供操作者阅读,也可用于摄制照片。到 50 年代中期 SAGE 空中防御系统第一个使用了命令与控制阴极射线管显示器操作台,操作员使用光笔可在显示屏上标识目标。现代的交互式图形学则是由伊凡·萨泽兰(Ivan Sutherland)在他的博士论文中奠定的,这篇论文发表在 1963 年,总结了他在 Sketchpad 绘图系统的工作。他介绍了存贮符号树的数据结构,为建立此结构只需简单地复制标准部件(这种技术类似于使用透明塑料图板绘制流程图、或电路符号图)。他还开发了使用键盘和光笔进行人机交互作用的技术,借助于这些技术,操作者可以对所显示的图形做出选择,指定图形的某一部分,输入要画的图形,或者形成所希望的图形。除此之外,他还引进和开发了直至今天仍在使用的其他基本思想和技术。与此同时,在计算机辅助设计和计算机辅助管理方面,计算机图形学对于自动画图及其他对绘图有特别要求的工作所表现的巨大潜力越来越明显了,计算机制造者,汽车飞机工业的厂家都认识到这一点。因此,在 60 年代中期开始出现了一批研究项目和商业产品。其中突出的要算通用汽车公司为设计多种汽车而提出的研制多重时分图形操纵台的计划。首先由伊台克开发,后来被数据控制公司买去并推出市场的 Digigraphic 系统也是一个大胆的行动,这个系统被用于设计复杂的光学镜头组。IBM 公司的 2250 显示系统以通用汽车公司为样板也是一个突出的例子。

计算机图形学的发展受到许多因素的限制,例如

- (1) 计算机图形硬件的价钱太贵。
- (2) 为支持大的数据库,交互式图形操作和大的后处理程序需要有效的计算资源。
- (3) 图形学和交互作用对于原来只掌握面向批处理语言的程序员来说也会产生新问题,编写大型的为分时计算机使用的图形程序会有极大的困难。
- (4) 软件的不可移植性。事实上每一种软件都被锁在一种特定的制造厂生产的显示设备上,在这种软件中未能使用现代软件工程的优点,它不能建立模块式的结构型系统。当软件不可移植时,为了能从一种显示系统转到另一系统上工作,需要花费大量的财力物力和时间重新编写工作程序。

1.2.1 输出技术

六十年代开发、到现在仍在应用的显示设备叫向量显示器,又叫笔画、或随机扫描显示器。它是由一个显示处理器,一个显示缓冲存储器,以及带有附属电子电路的阴极射线管组成的。缓冲存储器中存有由计算机产生的显示清单或显示程序,其中包括画点和画线命令(连同端点的坐标值),以及书写字符的命令。见图 1.7。显

示处理器将这些画点、画线及书写字符的命令进行翻译：把数字量转换为模拟电压值，它们将使电子束发生偏转，从而在阴极射线管的荧光粉上画出图形。由于荧光粉所发出的光在数十至数百微秒的时间内逐渐衰弱，为了不使图形闪烁，显示处理器必须以每秒钟 30 次的频率循环通过显示程序清单，反复执行同一组命令来刷新荧光屏，正因为缓冲器中所存贮的是显示清单，所以它又叫刷新缓冲器。注意，在图 1.7 中有一个转移指令，它把程序由最后一条指令转到开始，形成了为实现刷新过程所需要的循环。

在六十年代，典型的画线程序所需要的缓冲存贮器（其容量应达到 8 至 12 K 字节），以及能以 30 赫的速率刷新的显示处理器都是很贵的，因此到六十年代末期，既不需要缓冲器又不需要刷新处理器的直视存贮管 DVST 问世以后，计算机图形学向前迈进了一大步。DVST 管以慢速电子流将图形一次写到管内的存贮网上，

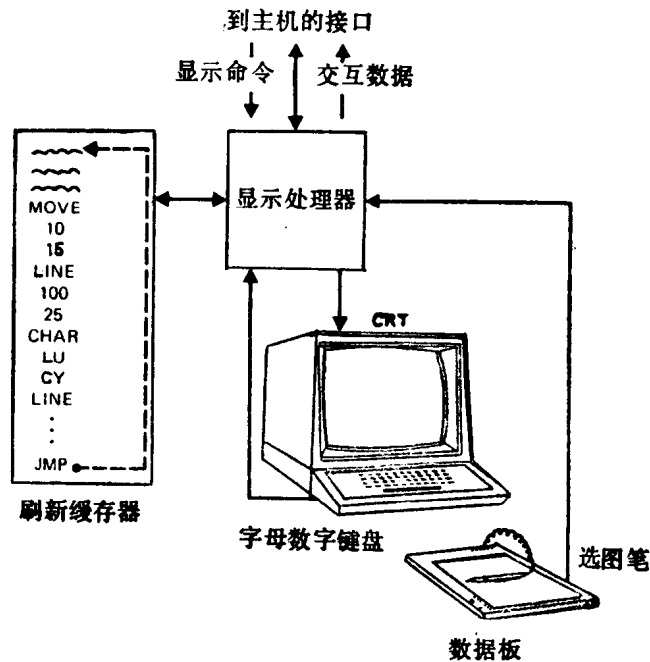


图 1.7 典型的刷新型显示设备在存贮器中的显示清单以画线命令和相应的 x, y 坐标值象征性的表示出来。

网的前面镶嵌了荧光膜，另一个泛电子流可以稳定地将图形显示在屏上。与刷新式显示设备相比，由于它不使用快速的刷新设备，所以使显示系统的造价成十倍地降低，因此原来对复杂的计算机辅助设计不感兴趣的用户也乐于采用交互图形学技术。直至今日，存贮管仍然广泛地被用在绘制大量而精确的线条及字符的场合，通常在这些应用中，并不需要对图形进行动态操作。用直视存贮管构成的显示系统见图 1.8。

下一个硬件是微型机，微型机用于控制显示，从而把中央计算机从繁重的刷新工作中解放了出来。微型机的作用如同一台独立的计算机，它不但运行应用程序，而且还为显示设备和交互作用设备服务，它常常起到主机的智能终端的作用。它承担处理交互作用的任务，但是将大量的计算留给主机去完成。此时，显示处理器的硬件本身变得复杂了。

到七十年代中期大量的成就是在发展以电视技术为基础的廉价光栅扫描图形学领域中得到的。在光栅显示设备中，诸如直线、字符和实体等图元以像素的形式存在刷新缓冲器中。整幅象由光栅组成，所谓光栅是指由单行像素组成的水平扫描线。因此，光栅实际是复盖整个荧光屏的像素矩阵。当每秒钟三十次由顶部至底部顺序扫描每条光栅时，对于每个像素改变电子束的强度，从而得到明暗的图象。显然，在这种情况下存贮器的容量应足够大。例如一幅包含 512 条线，每条线上有 512 个像素的图形应该有 512×512 点的比特映象存贮器。但是

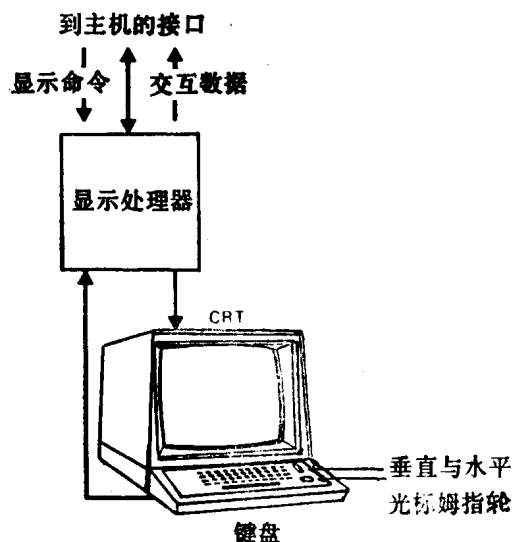


图 1.8 存储管显示系统

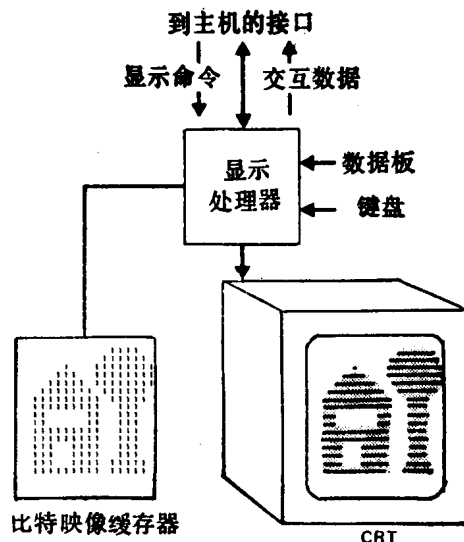


图 1.9 光栅显示系统

对于简单的图象问题，也可以运用非常便宜而且绝对标准化的电视技术解决。应用光栅技术的图形系统见图 1.9。

真正使光栅显示技术应用于实际还要归功于廉价的固态存贮器的出现。现在可以得到的刷新缓冲器的容量远远大于十年前的产品，而价钱仅为以前的十分之一。标准的光栅显示系统分辨率不如向量显示器高，它也不具备速度足够快的硬件，所以不能向高分辨率的显示器提供运动图象的动态显示。这是因为每改变一次图形的内容都必须将图形上的象素重新计算出来，若要平滑地动态更新分辨率为 1280×1280 的整个画面，在小于十分之一秒的时间内须更换百万个象素，这种对计算资源的要求在绝大多数系统中还不能达到。（注）由于光栅显示能够表现实体而且一般具有彩色，毫无疑问，这是进行信息交换的很有力的手段。更优越的是，其刷新过程与图形的复杂程度无关，只要硬件的速度可以保证在每个刷新周期读出所有的象素，就能得到稳定的图象，至于是一幅复杂的图画还是空白的背景都无关紧要。向量显示的情况则不同，随着图象内容的增加，信息处理量随之增加，当不能在刷新周期内读出所有的点并且处理完毕时，图形将闪烁。

1.2.2 输入技术

在不断发展与改善输出技术的同时，输入技术也不断改进。可以在图形板上灵活移动的选图笔以及附在荧光屏上的压敏片代替了笨拙易损的光笔。声通讯也表现了应用在图形学中的巨大潜力。这些输入设备使得用户能顺利地地与计算机进行对话，交换图形信息。他们可以键入新的绘画指令，也能指点屏上显示出的图形，从而确定操作的对象。进行这些交互作用都不需要有编程知识，他们仅仅需要在计算机的提示下回答问题，做出选择，或把已经定义的图形符号重新定位，或者涂画一定的形状。实际涂画的过程设计得便于用户操作，为画出线段和多边形，可仅仅指定端点的位置。在选定颜色之后，也能将多边形包围的面积着色。

1.2.3 软件及其可移植性

硬件技术的发展使显示设备不断改进，因而出现了形式繁多的显示器，它们逐渐被一种普通使用的字母显示终端所代替，因而这种终端成为人机对话的标准接口。但是，软件是否能保持发展的步子呢？例如如何克服

注 现代个人计算机带有比特映像光栅显示器，可以进行动态控制，例如：Megatek 7255 显示系统在 1024×1024 屏上可实时显示图象。