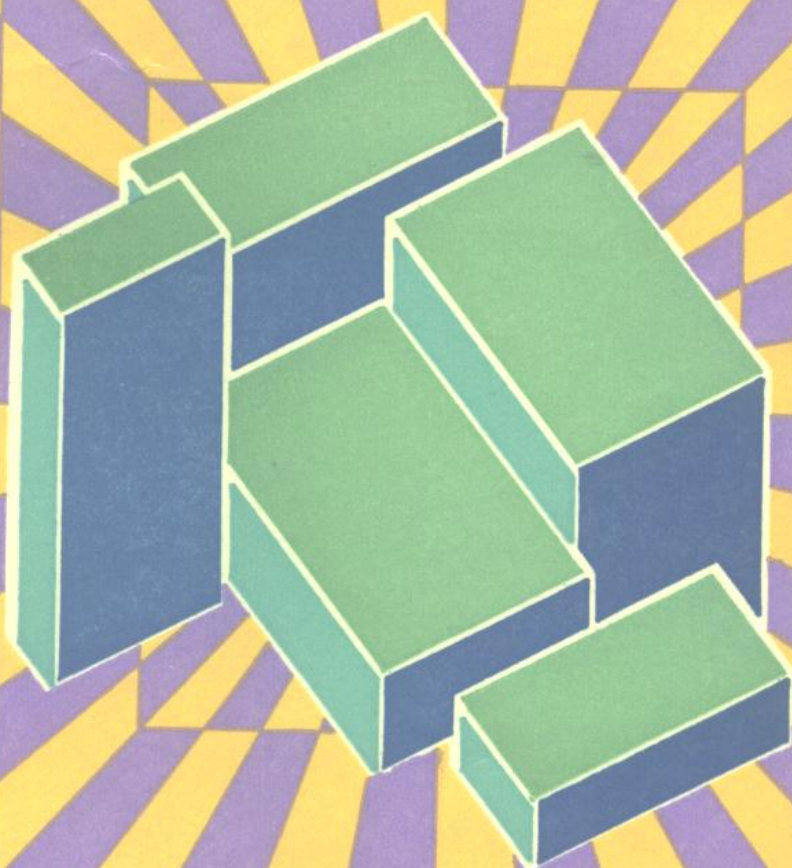


计算机图示学 原理和方法

罗振东 廖光裕 编著



4/
7
1

复旦大学出版社

计算机图示学原理和方法

罗振东 廖光裕 编著

复旦大学出版社

(沪)新登字 202 号

内 容 提 要

本书介绍与计算机图示系统的设计及应用有关的基本原理和方法。内容包括,图形显示设备、图形基元的产生、几何变换、图形和实体的表示及有关数据结构、剪取算法、隐线和隐面消除技术、图形逼真技术、交互技术和动画技术。许多算法用伪码或框图的方式给出,便于读者牢固地掌握有关内容并尽快地在自己的图示系统上实现。

计算机图示学有广泛的应用并且正在飞速发展。本书力求做到使读者在牢固掌握有关基础知识的同时,也能了解这一领域中的主要进展和发展趋势。本书可作为大学本科生的教材,也可作有关科研人员的参考书或自学教材。

责任编辑 丁荣源 陆盛强

封面设计 郑 群

计算机图示学原理和方法

罗振东 廖光裕 编著

复旦大学出版社出版

(上海国权路 579 号)

新华书店上海发行所发行 江苏句容排印厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 25.625 字数 636,000

1993 年 5 月第 1 版 1993 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—6000

ISBN7-309-00931-2/T·63

定价: 19.00 元

前 言

计算机图示学(Computer Graphics)是计算机科学中正在飞速发展的学科之一。它在许多领域中已取得了卓有成效的应用。1987年夏,在美国加利福尼亚召开的计算机图示学的年会上,丰富多采的学术报告,实用图示系统的展览以及由计算机制成影片的放映等活动,使参加者达三万多人次,这与23年前首届会议的境况形成了鲜明的对照。在国内,对这门学科的研究热情与应用需求与日俱增,近十年来也取得了相当大的进展。

本书介绍与计算机图示系统的设计及应用有关的基本原理和方法。读者对计算机图示学不必有先验的基础知识,但是对程序设计,数据结构等应有较多的实践和了解。本书对图示系统的有关硬件作了一定的介绍,但重点是放在图形显示软件的设计方法上。我们将讨论在光栅式显示设备上产生图形显示的各种算法及数据结构,讨论实现这些算法的有关技巧,并介绍一些可能的应用。为了使读者能牢固地掌握有关内容并尽快地在自己可用的图示系统上实现,许多方法是以伪码或框图的方式给出的,并尽可能将实现时的要点与难点说清楚。

全书共分为十章。前三章是计算机图示学的基础部分,介绍图形显示设备、图形基元的产生以及图示系统必不可少的各种几何变换与投影变换。接着用两章的篇幅全面介绍图形和实体的各种表示方法及有关的数据结构。第六章介绍各种剪取方法,第七章则讨论了各种隐线和隐面的消除方法。这两章的内容主要参考了D.F.Rogers所著的《Procedure Elements for Computer Graphics》,但本书中的叙述力求更为简明、确切。第八章详细介绍了产生有现实感图形的各种方法,如在一定的光照模型下物体光面的亮度或彩色的计算、纹理、阴影等的生成方法,对射线追踪法的应用以及提高这种方法的效率等都作了较深入的介绍。第九章介绍交互技术,这是与CAD/CAM等许多应用领域密切相关的。最后一章对计算机动画技术的现状和今后的发展作了一定的分析和介绍。

在吴立德和何永保两位教授的倡导和组织下,计算机图示学作为计算机科学系信息专业的基础课,已有九年了。在施伯乐教授的大力支持下,目前这门课程已作为全系本科生的公共基础课。编写本书的一个主要目的,就是为了使这门课程有一较合适的教材。为此,我们在以前使用过的一些自编讲义的基础上,参考了近年来国内外出版的有关书籍及大量文献,本着理论与实践相结合的宗旨,编写了本书。我们觉得,教学要面向四个现代化、面向世界、面向未来,关键是教材要更新。因此,本书力求做到基础知识的讲解与最新方法的介绍兼顾,使读者在牢固掌握有关基础知识的同时,能尽快了解这一领域中已取得的一些重要进展以及今后的发展趋势。

除了个别的章节外,本书可以作为计算机系或其他有关专业计算机图示学课程的教材,并在60~80学时内讲完。本书也可作为有关专业人员的参考书籍或自学教材。

在编写本书过程中,得到了李宗葛副教授的大力支持,他不仅在国外为我们寄来了许多资料,回国后仔细地审阅了原稿并提出许多宝贵意见,还以一个多次执教本课程的内行,不

辞辛劳地为本书的出版作了大量的工作。复旦大学电子工程系的吴祖增副教授和陈仁溪老师,仔细审阅了原稿并提出了许多十分中肯的意见和建议,使我们得到不少启发。对以上几位同志的帮助,我们表示由衷的感谢。我们还要特别感谢李大学老师非常仔细地为本书绘制了插图,我们也要感谢许多听课同学对本书所提的意见,他们的指正使我们有机会对原稿中的错误进行修正。在本书编写过程中还得到许多同事的大力支持和帮助,在此谨表示由衷的感谢。

由于我们的水平有限,书中错误在所难免,请广大读者不吝赐教。

编 著 者

1988年12月于复旦大学

目 录

前 言	1
绪 论	1
参考文献	9
第一章 图形的显示和输出技术	10
§1.1 CRT 显示器	10
§1.2 刷新矢量式和直视存贮管显示	12
§1.2.1 刷新矢量式显示	12
§1.2.2 直视存贮管显示	13
§1.3 光栅式扫描显示	14
§1.3.1 光栅式扫描显示过程	14
§1.3.2 帧存和帧存中的操作	16
§1.4 灰度查找表和应用	18
§1.5 其他显示技术和图形输出	20
§1.5.1 平面显示和三维显示	20
§1.5.2 输出设备	21
§1.6 灰度模拟技术	23
§1.6.1 半色调技术	23
§1.6.2 有序脉动技术	25
习 题	26
参考文献	27
第二章 图形基元的显示	28
§2.1 线段的显示	28
§2.1.1 产生线段的增量 DDA 算法	29
§2.1.2 产生线段的整数 Bresenham 算法	32
§2.1.3 链码和线段链码的行程段算法	36
§2.2 多边形和圆的显示	38
§2.2.1 产生多边形和圆的增量算法	38
§2.2.2 产生圆的 Bresenham 算法	42
§2.3 实心图的显示	44
§2.3.1 离散点的近邻和连通定义	44
§2.3.2 多边形填充的扫描转换算法	45
§2.3.3 边界标志算法	50
§2.3.4 种子点填充算法	51
§2.3.5 扫描线种子点填充算法	52
§2.4 混叠现象及其处理方法	54
§2.5 字符、标志和图形符号的显示	56

§ 2.6 图形属性	56
§ 2.6.1 图形基元的静态属性	57
§ 2.6.2 程序段的属性	58
习 题	60
参考文献	62
第三章 图形的各种变换	64
§ 3.1 二维几何变换	65
§ 3.1.1 平移、比例和旋转变换	65
§ 3.1.2 齐次坐标系和变换的组合	66
§ 3.2 二维视见变换	70
§ 3.3 从模型到图形显示的坐标变换	72
§ 3.3.1 图例变换	72
§ 3.3.2 复合变换矩阵的构成	73
§ 3.4 三维几何变换	75
§ 3.5 投影变换	80
§ 3.5.1 平行投影变换	81
§ 3.5.2 透视投影变换	85
§ 3.6 三维视见变换	86
§ 3.6.1 三维视见参数	87
§ 3.6.2 三维成像过程中的坐标变换	88
§ 3.6.3 三维视见变换的例子	92
§ 3.7 图像变换	95
习 题	98
参考文献	101
第四章 曲线和曲面的参数表示	102
§ 4.1 一些基本定义	102
§ 4.2 埃尔米特多项式与孔斯曲面	103
§ 4.2.1 一般的埃尔米特插值问题	103
§ 4.2.2 三次埃尔米特插值样条的计算	107
§ 4.2.3 孔斯曲面	109
§ 4.3 贝齐尔曲线和曲面	114
§ 4.3.1 贝齐尔多项式的定义、性质和算法	114
§ 4.3.2 三次贝齐尔多项式与贝齐尔样条曲线	120
§ 4.3.3 贝齐尔曲面	121
§ 4.3.4 一个表示实例	124
§ 4.4 B 样条曲线和 B 样条曲面	128
§ 4.4.1 三次等距 B 样条及其性质	128
§ 4.4.2 双三次 B 样条曲面	134
§ 4.5 β 样条曲线和曲面	134
§ 4.6 用前推差分方法计算三次多项式	137
习 题	140

参考文献	140
第五章 形体的表示及其数据结构	141
§ 5.1 图形的分段表示	141
§ 5.1.1 显示文件、分段显示文件和段表	142
§ 5.1.2 对显示文件中段的各种操作	143
§ 5.2 二维图形的边界表示	147
§ 5.2.1 折线方法	148
§ 5.2.2 带树方法	151
§ 5.3 四叉树	154
§ 5.3.1 四叉树的逻辑结构	154
§ 5.3.2 四叉树的存贮结构	155
§ 5.3.3 对四叉树的运算	160
§ 5.4 多面体的边界表示及它对三维形体的逼近	165
§ 5.4.1 平面多面体的表示方法	166
§ 5.4.2 两个正多面体的表示实例	167
§ 5.4.3 三维形体的多面体逼近	171
§ 5.5 八叉树	179
§ 5.5.1 八叉树的逻辑结构	179
§ 5.5.2 对八叉树的几何变换	180
§ 5.5.3 线性八叉树	183
§ 5.6 扫掠法和 CSG 方法	186
§ 5.6.1 扫掠法	186
§ 5.6.2 CSG 方法	188
§ 5.7 分形几何表示与粒子系统	190
§ 5.7.1 分形几何表示方法	190
§ 5.7.2 粒子系统	194
习 题	197
参考文献	197
第六章 图形的剪取方法	200
§ 6.1 二维矩形窗对线段的剪取方法	200
§ 6.1.1 Sutherland-Cohen 线段剪取算法	201
§ 6.1.2 中点对分算法	205
§ 6.2 凸多边形窗对线段剪取的 Cyrus-Beck 算法	206
§ 6.3 凸多边形窗对多边形剪取的 Sutherland-Hodgman 算法	210
§ 6.4 任意多边形窗对多边形剪取的 Weiler-Atherton 算法	216
§ 6.5 三维规范剪取体对线段的剪取方法	220
§ 6.6 凸多面剪取体对线段的剪取方法	221
§ 6.7 对字符的剪取方法	223
§ 6.8 剪取操作位置的讨论	224
习 题	225
参考文献	227

第七章 隐线和隐面的消除方法	228
§ 7.1 浮动水平算法	229
§ 7.1.1 算法的基本思想	229
§ 7.1.2 算法的伪码表示	232
§ 7.2 罗伯茨算法	237
§ 7.2.1 算法的数学基础及有关概念	237
§ 7.2.2 算法的三个主要步骤	242
§ 7.2.3 算法的应用实例	244
§ 7.3 深度缓冲区算法	255
§ 7.4 画家算法	357
§ 7.5 扫描线算法	260
§ 7.5.1 深度缓冲扫描线算法	261
§ 7.5.2 分段扫描线算法	265
§ 7.5.3 曲面的扫描线算法	271
§ 7.6 区域分割算法	272
§ 7.6.1 观察窗口与多边形的关系及判别方法	273
§ 7.6.2 Warnock 算法的实现	276
§ 7.6.3 对 Warnock 算法的一些改进办法	280
§ 7.6.4 Weiler-Atherton 算法	281
§ 7.6.5 Catmull 的曲面分割算法	285
§ 7.7 八叉树方法	285
§ 7.8 射线追踪法	287
习 题	291
参考文献	292
第八章 产生有现实感图形的方法	294
§ 8.1 人的视觉系统初步知识	295
§ 8.2 明暗模型及其计算方法	299
§ 8.2.1 一个简单的明暗模型	299
§ 8.2.2 多面体的明暗处理方法	302
§ 8.2.3 快速 Phong 算法	304
§ 8.3 采样、滤波和反混叠	305
§ 8.3.1 反混叠的数学基础	306
§ 8.3.2 图形显示中的一些失真现象	210
§ 8.3.3 消除图形失真(反混叠)的一些方法	312
§ 8.4 纹理映照方法	316
§ 8.4.1 Catmull 的曲面分割方法	317
§ 8.4.2 像素逆映照方法及其快速算法	320
§ 8.4.3 Crow 的求和表方法	322
§ 8.4.4 法向扰动和分形法	324
§ 8.5 阴影的产生方法	329
§ 8.6 射线追踪法	336

§ 8.6.1 整体光照模型	336
§ 8.6.2 提高射线追踪效率的一些方法	341
习 题	353
参考文献	353
第九章 交互技术	356
§ 9.1 输入装置	356
§ 9.1.1 逻辑输入装置	356
§ 9.1.2 物理输入设备简介	357
§ 9.1.3 逻辑输入设备的构成和模拟	359
§ 9.2 交互式图示系统的程序设计方法	362
§ 9.2.1 输入数据的获得和处理	362
§ 9.2.2 反馈信息	366
§ 9.2.3 帮助和对错误的处理	368
§ 9.2.4 状态转移图	368
§ 9.2.5 交互作用的一个例子	369
§ 9.3 变化、构图和拾取技术	374
§ 9.3.1 图形变化技术	375
§ 9.3.2 构图技术	376
§ 9.3.3 拾取技术	377
习 题	379
参考文献	380
第十章 计算机动画技术	381
§ 10.1 计算机动画的应用	382
§ 10.2 实时计算机动画生成的几种方法	383
§ 10.3 计算机辅助卡通动画片制作	385
§ 10.3.1 人工制作卡通动画片的基本过程	385
§ 10.3.2 计算机在卡通动画片制作中的应用	389
§ 10.4 三维计算机动画中的运动控制	392
§ 10.4.1 自由度问题	392
§ 10.4.2 不同类型的运动对象	393
§ 10.4.3 基本的运动控制方法	395
§ 10.4.4 运动控制的自动化问题	396
习 题	399
参考文献	399

绪 论

1. 什么是计算机图示学

视觉是人类获得信息的最重要途径。人们常说“百闻不如一见”和“一幅图顶得上千个字”，这些都是指由视觉看到的场景和照片中包含了极其丰富和复杂的信息。人类的眼睛识别机构具有极强的信息处理能力，可以快速和方便地从视像信息中抽取所需要的信息和把握事物的本质。计算机是帮助人们进行信息处理的工具，若图形能直接输入计算机和计算机处理结果能以图形方式输出，则必将为人-机之间的通讯提供极方便的手段，从而扩大了计算机的信息处理能力。由此产生了研究计算机图形的三门学科：计算机图示学，计算机图像处理 and 计算机图像分析。

按照信息表示形式的转换方向和处理内容，这三门学科的关系如图 0-0-1 所示。计算机图示学研究从目标的描述产生目标的图形显示。这里的目标可以是真实物体，也可以是抽象物体，例如数学函数。图像处理是对输入图像处理产生更适合使用目的的新图像。图像分析则是从输入图像中抽取目标和对它们之间的关系进行描述。图示学自六十年代初形成以来，在专用算法和硬件设备等方面发展迅速，并且得到广泛应用。随着高分辨率光栅扫描显示器的普遍使用和图像输入设备的发展，以图像形式直接输入，经过处理和分析获得所需信息后再以图像形式输出，将使这三门学科有机地结合起来。

计算机图示学研究利用计算机产生图形和显示图形，它包括对要产生图形物体的描述(建模或几何造型)、对图形数据的管理和操作(数据结构和图形变换)和图形的生成、显示和输出。在交互式的图形系统中，它还包括研究图形的输入和进行图形操作的人-机接口。

在本书中我们介绍计算机图示学的基本算法。它包括图形基元的产生、图形变换、曲线和曲面的表示、形体的表示及其数据结构、图形的剪取、隐线和隐面消除、以及产生具有真实感图形的方法等。我们还讨论交互式图形系统中特有的问题。

2. 计算机图示学简史

计算机图示学的产生和发展与计算机及其外围设备的发展密切相关。它是计算机科学与电视技术、半导体工艺等结合产生的硕果。因为几乎所有的领域都可以从图形化信息表示中得益，所以新型的计算机系统都具有图示功能，当然功能强弱差别很大。

早在计算机使用的初期，人们便利用打印机等输出设备绘制简单的图形，例如直方图和图表等，当然其输出速度极慢，图形质量也不高。五十年代初，美国麻省理工学院在旋风

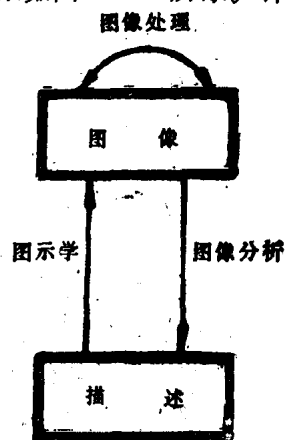


图 0-0-1 图形处理的三门学科

(whirl wind)计算机上进行飞行器稳定性和控制的研究,使用了阴极射线管显示图形,极大地提高了图形输出的速度和灵活性。五十年代中期美国 SAGE 防空系统将雷达接收的脉冲信号用计算机转换成在雷达屏上显示的图形,并且操作员可用光笔在屏上指示目标,构成了人-机交互作用的系统。五十年代末到六十年代初麻省理工学院研究设计具有图形显示功能的计算机系统。1962 年 I. E. Sutherland 在该系统上所作的博士论文:“Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System”是现代交互式图示学的开端。他首次使用了“Computer Graphics”这个术语,描绘了用户可坐在显示屏前用光笔和符号菜单与显示图形进行动态交互作用的环境,证明了计算机图示学是一个可行的和有用的研究领域。他在论文中提出的一些基本概念和算法至今仍被广泛使用。早期实现的机械制图部分自动化引起了一些大的工业公司,特别是汽车和飞机制造公司的兴趣,它促进了很多研究项目的开展及商品的开发。但是,当时可选用的显示技术和硬件十分有限,这成了迅速推广此项技术的主要障碍。

在六十年代初,唯一可用的显示装置是刷新式阴极射线管。为达到每秒至少 30 次重复显示图形要配置高速电子器件,因而结构复杂和价格昂贵,并且只能产生不太复杂的线型图。1968 年美国 Tektronix 公司开始使用直视存贮管(DVST)来显示图形。它免除了刷新过程和能稳定地显示复杂图形,而且设备价格较低。但是它更新图形慢,不能构成动态交互系统。这种技术约占了五年优势。七十年代初图形显示开始转向利用电视技术。随着存贮器和其他硬件价格的大幅度下降,光栅式扫描显示器成了最普遍的图形显示设备。这种设备能产生具有真实感的图形。到八十年代,硬件进一步发展,计算机也不再局限于多用户分时系统,微机系统和工作站的大量使用更加速了图示学的普及和发展。现在,利用各种专用的图形处理加速器和并行处理技术,高级图形系统已能够实时地产生逼真的动态图形。

在图示设备发展的同时,图形技术也迅速发展。几何造型从以多边形和线框图构成三维物体发展为实体造型,曲面造型和自由形态造型;图形显示从线型图和实心图发展到真实感图,为此产生了各种算法,例如,根据整体光照模型的光线跟踪算法和辐射度算法、使图形有质感的纹理产生算法、模拟自然景物图形的分形算法和粒子系统,以及各种反混叠算法和动画技术等。目前还在研究将人工智能技术与计算机图形学结合以形成智能计算机图示学。产生高质量的图形要求计算机系统具有很强的计算能力。作为粗略的估计,若假设显示二维静态图形所需的计算量为 $1x$,则显示二维动态图为 $10x$,三维动态线框为 $40x$,三维动态实心图为 $20,000x$ 和高度真实感图为 $200,000x$ 。

交互式图示所需的图形输入装置也在发展,除了改进早期使用的光笔外,开发了适应各种需要的新设备,例如操纵杆、跟踪球、姆指轮、鼠型器和数字化图形输入板等。目前已有输入三维物体坐标的设备。

随着硬件速度的提高和图示设备的普及,人们由注重程序执行的效率到更注重软件开发的效率,并且更重视研究图示软件的可移植性。有三种途径可使图示软件具有可移植性。一种方法是开发适合图形处理的高级语言,它具有高效率,但研制编译器的工作量非常大。第二种方法是在现有的高级语言中增加图示语句。最早是在 Basic 中,现在几乎在所有语言的新版本中都已增加了画点和画线等语句,但它们的功能十分有限,大量的基本图示编程工作留给用户去做。第三种方法是图示软件标准化。参见图 0-0-2,图示过程的始端即与应用密切相关的物体的描述,过程的终端即在各种具体设备上的图形输出,这两部分无法也

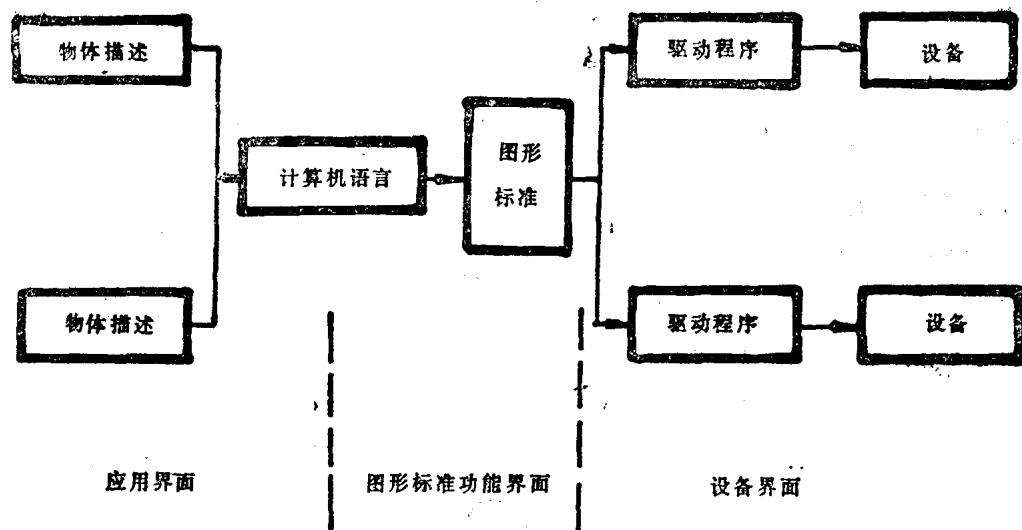


图 0-0-2 图形软件标准的作用

不需要标准化。对过程的中间部分,如果能够规定在计算机系统内部的物体描述和处理必须在指定的子图形集和处理方法集中实现,而图示程序产生的是在 $(0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1)$ 的虚拟规范化坐标系中的图形描述,则图示应用软件便可以不受设备的制约,而且系统设计人员和应用人员能有比较统一的语言,又能指导专用图形处理器件 VLSI 的设计。这一部分可通过统一的程序库形式来实现,也就是开发具有相同外部接口的子程序或过程集,并且能供用户使用任何程序设计语言调用它们。随着各种语言之间相互调用能力的增强,建立库程序的工作量将大为减少。它与具体显示设备的连接可以使用专门的驱动程序来解决。自七十年代中期以来图示学家们便开始着手制定这个图示程序库的功能标准。

目前还没有制订出一个被所有图示学家都承认的唯一标准,而且随着图示学的迅速发展已提出的一些标准也在不断扩充和变更,国际上当前常用的七种有关图示的标准可分为三类。第一类与图形应用程序接口有关,它们是美国计算机学会图形专业组(ACM SIGGRAPH)提出的 CORE 系统,德国标准化组织(DIN)建议的 GKS(Graphics Kernel System)和美国标准协会(ANSI)提出的 PHIGS 标准(Programmer's Hierarchical Interactive Graphic Standard)。第二类与存贮图像数据的格式有关,它们是美国国家标准局(NBS)为 CAD/CAM 制定的交换规范 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)和能与 CORE 及 GKS 最大兼容的 VDM(Virtual Device Metafile)。第三类是作用于图像输出接口的 VDI(Virtual Device Interface)和 NAPLPS(North American Presentation-Level Protocol Syntax)。读者可以参阅各种标准的文本或在[4]中找到较详细的概述。国际标准化组织(ISO)下属的图形工作组曾努力使 GKS 和 CORE 相互靠拢,由于 GKS 接受 ISO 的意见较多,因此于 1982 年它被 ISO 通过作为国际标准草案。CORE 系统制定时,线型图及其应用是图示学的主流,它从三维图形标准着手,将二维图形看作是三维图形的特例或低级阶段。但 CORE 系统目前也为许多带帧存的光栅型图示系统所采用。GKS 比 CORE 稍晚制定,它反映了具有较高分辨率的光栅型显示装置和更强图形能力的智能化外围设备(工作站)在图示学中的应用。开始时只有二维图形标准,现已有三维扩展版。每一个标准又按规定功能的范围和输入输出的能力分成不同等级。例如,

GKS 就是按输入和输出各有三个级别的组合构成九个等级,高等级的标准包括了所有低等级标准的功能。在标准中规定的功能都可以按选用的程序设计语言写成子程序(或过程)构成图形库供应用程序调用。在本书中,我们注重的是图示学的基本概念和算法,在举例中使用的图示语句并不拘于某种图形标准。

3. 图示系统的任务

我们讨论通用的计算机生成图形的过程。如图 0-0-3 所示,不包括虚线部分的流程组

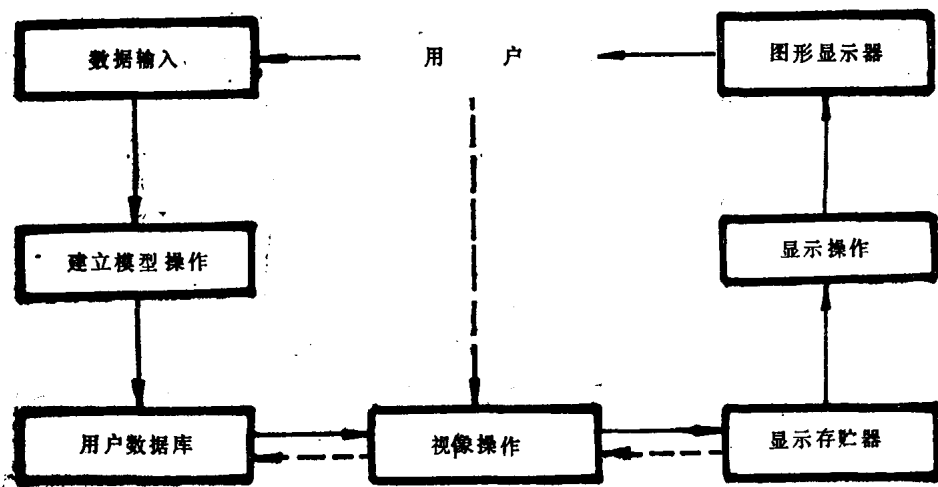


图 0-0-3 图示系统的任务

成被动式或静态图示,它按照用户输入的数据和显示要求产生图形;包括虚线部分的流程构成闭环的显示处理,它是交互式或动态图示,在图形产生后,用户还可以不断输入新的数据和显示要求使系统随之迅速产生新的图形显示。这里,按用户要求系统迅速响应产生新图是很重要的,否则不能称为交互式系统。计算机的高速处理能力为实现交互式图示提供了基础,也是计算机图示学得以迅速发展的动力。

我们按模型建立,视像操作和图形显示三部分作较为详细地介绍图示系统的任务,使读者在学习本书以后各章之前对整个图示学内容有一个全局的了解。

(1) 模型建立

计算机的功能是对数据进行计算和分析,因此凡是使用计算机研究的对象都需先进行抽象表示,也就是要建立模型。模型是表示物体的数据的集合,并且能表示数据间的相互关系。通过模型,计算机能模拟,测试和预测被它模仿实体的特性。例如对电子线路进行计算机模拟,我们可以不必用具体元件装配成电路就能获得该线路的输入输出关系曲线;建立天气预报的模型后,输入有关参数便能预报天气。建模的关键是设计和实现的模型能用准确的形式充分地反映物体的性质,还要考虑模型的简化和便于处理。哪些数据应显式表示,哪些数据可用过程表示才能获得计算时间和空间的最好折衷,这些都是和具体应用密切有关的。建模当然并不一定要图形显示,但图形显示能提供非常方便和有效的方式来观察模型的行为。为了能使物体的图形和它的其他性质的计算机处理更好地结合,模型中包括各种有关的数据。图形显示要从中抽出与显示有关的部分,并把它们转化成能用位置和灰度描

述的图示模型。我们这里关心的就是指为产生图形所需的数据描述。

描述物体一般都需要大量的数据,要能对形状复杂的物体进行有效描述也不是一件易事,专门研究几何模型和数据处理的学科是计算几何。我们将在第四章和第五章中详细地介绍对曲线、曲面、二维和三维基本物体的一般描述方法和在计算机内部的数据结构。

计算机图示软件着重处理对已有的物体描述产生图形显示的过程。许多常用的应用程序往往以图形程序包的存在为基础。为便于构造图形和提供交互功能,图示系统为建模提供了最基本的工具,即输出图形基元和各种坐标变换。输出图形基元(包括它们的几何形状和显示属性)是图形系统能产生显示的最基本图形,例如线段和多边形的位置、大小、显示线的宽度和亮度等。要产生图形显示的物体在系统内最终都是用输出图形基元的组合来描述,系统调用产生这些图形基元的子程序便能产生图形显示。用户可以用这些图形基元进行图形描述即建模。图示系统在具体的显示器上产生图形,因此输出图形最终是在显示屏(或称设备)坐标系中描述的。如果要求用户必须采用这个坐标系来建模,则对用户来说是很不方便的,且用户程序将失去可移植性。用户希望能在他自己选定的坐标系中(用户坐标系)描述物体的几何关系。另外,对一些常用的子物体图形,在它们各自特定的坐标系(本体坐标系)中描述是方便的。用户希望能在自己选定的用户坐标系中组合这些子物体图形以形成复杂图形,图形软件应能提供对在各坐标系中的图形描述进行变换的功能。

当然,对复杂物体直接用图形基元进行自下向上的描述是很不方便的。现在已有许多几何造型系统各自适合一定范围内的物体造型。如对物体的描述采用自上而下的层次结构描述,即复杂物体由简单物体按一定的相互关系构成,而简单物体又是由更简单物体或图形基元构成,则不但描述方便,而且便于管理,例如对一个简单物体描述的改动可同时改变由它组成的物体描述。图 0-0-3 中的用户数据库是用来存放建模中产生的数据,它需采用合适的结构保证数据的一致性、正确性和便于修改和检索。例如当对物体采用图 0-0-4 所示的层次描述时,则可以采用图 0-0-5 所示的链表结构。目前使用的图示标准软件往往不提供此种功能,用户可以自己建立这种数据结构,完成遍历和形成正确的图形变换,最后产生用输出图形基元表示的命令集合,再由图形系统产生图形显示。

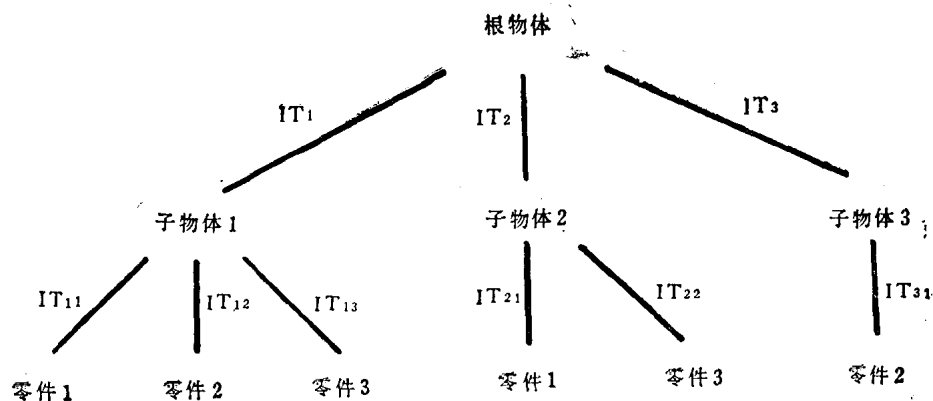


图 0-0-4 物体的层次描述 其中 IT 表示相对位置关系

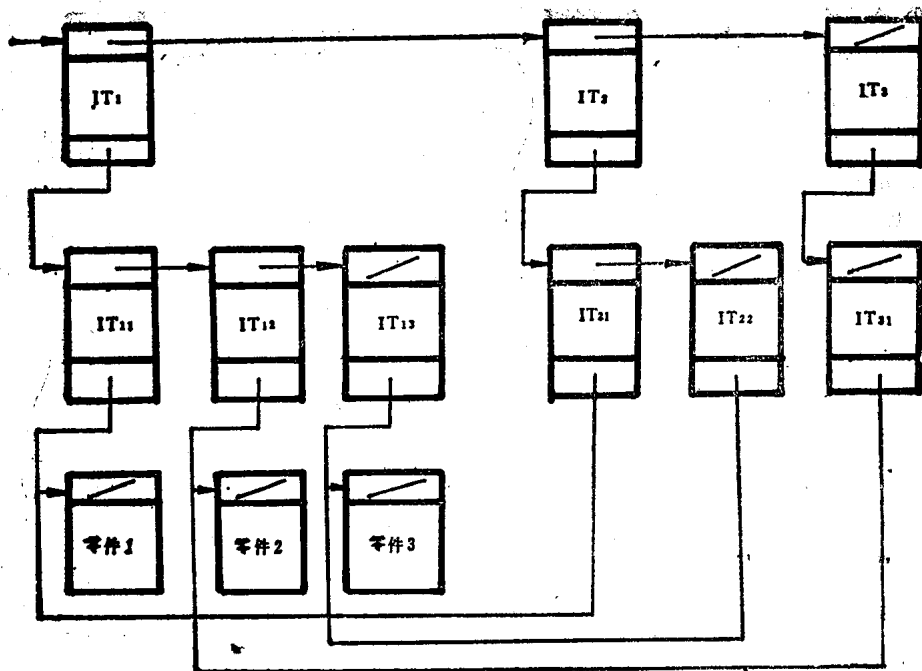


图 0-0-5 对图 0-0-4 所示的物体层次描述可用的数据结构

(2) 视像操作

视像操作是图示学中研究得最通用的显示技术，将描述变成图形显示。从三维物体描述产生二维的图形可以比拟成用假想相机拍照。尽管被拍照物体是各种各样的，但是使用的照相技术和暗室技术却是相同的。用户可以控制假想相机的参数，从选定的角度和距离对物体“拍照”，产生的照片还可放大和剪裁，并被张贴在照相本的不同位置，从而相同的物体模型可以产生不同的显示图形。也就是说，一旦有了对某物体的描述，利用图示学方法通过视像操作可以产生该物体任意取向的图形显示。在图示学中详细讨论了进行上述处理的完整算法。用户通过视见参数的设定，在用户坐标系中选定观察方向、距离、三维转换成二维的投影方式，要观察物体的空间范围和产生的图形在显示坐标系中的位置后，图形系统便利用图示学中有关的算法将用户指定范围内的物体模型转换成显示坐标系中的输出图形基元的组合描述，然后在显示屏上产生图形。为了使产生的图形具有真实感，还可以消除从观察者角度看应被其他物体遮挡的边和面的图形。更进一步，还可以由光源位置和物体表面光学性质按照适当的光照模型产生具有逼真照相效果的图形显示。

视像操作过程如图 0-0-6 所示，各部分将在以后章节中作详细介绍。如前所述，被显示物体的模型是由一系列在用户坐标系中定义的输出图形基元给出，例如用户可以使用 $\text{Move-Abs-2}(x1, y1)$ 和 $\text{Line-Abs-2}(x2, y2)$ 命令指出从他指定坐标中的点 $(x1, y1)$ 画一线段到点 $(x2, y2)$ 。视见变换将完成按用户指定的显示图形范围和显示位置产生图形在显示器上的坐标描述。图示系统根据命令 $\text{Window}(wxl, wxr, wyb, wyt)$ 决定凡是在用户坐标系中，位于以左下角点为 (wxl, wyb) 和右上角点为 (wxr, wyt) 矩形内的图形描述 将产生显示。根据命令 $\text{Viewport}(vxl, vxr, vxb, vyt)$ 决定，上述范围内的描述将显示在显示坐标系中以左下角点为 (vxl, vxb) 和右上角点为 (vxr, vyt) 的矩形内。

对三维物体的图形显示, 视见变换包括由用户坐标系中的三维描述变换成显示坐标中的二维描述的整个过程, 它需要用户设定观察方向, 投影方式和投影平面等视见参数。由上所述, 我们可以清楚地看到, 用户应在程序开始部分就设定各种必要的视见参数, 否则图示系统将使用这些参数的约定值, 系统才能完成视见变换。在程序中间改变视见参数, 将影响在此以后的图形显示。

描述物体的每一个图形基元都要经过视见变换后才能产生显示, 这是很费时的。因此, 常将视见变换对规范化显示坐标进行并且还产生显示文件。它有两个优点, 第一, 可使图形软件具有可移植性, 对不同的显示设备只要配以不同的驱动转换程序, 即再一次使用坐标转换关系, 便可以显示图形。有些系统还允许在由规范化坐标至设备坐标变换过程中再执行类似前面所述的视见变换。第二, 如果需要重复显示图形, 或对显示的图形进行交互作用, 可直接利用存在显示文件中已经过视见变换的图形基元。

从规范化坐标至设备坐标的变换中还可引入一些操作, 例如图形放大、旋转和移位等(即图像变化), 可产生较快的图形变化。

(3) 图形显示和操作

图形显示器是最终产生可见图形的设备, 它既要能稳定清晰地显示图形, 又要能及时更新图形。产生图形显示有两种基本方式: 一种是高速重复地执行从描述到显示的转换, 刷新显示器中的图形。它利用人眼的视觉残留特性使人们看到稳定图形, 又能迅速按变化了的描述更新图形。另一种方式是存贮图形。现在常用的是将产生的图形保留在显示存贮器中, 由专门的显示操作硬件将显示存贮器中内容快速周期地送至显示器产生图形, 而新图形的产生是在备用的暂时还没与显示器相连的存贮器上进行, 或者是利用图形未被显示的间隙修改显示存贮器内容。它将图形产生和显示分开, 允许有较慢的图形产生过程和仍保持稳定的图形显示。这便是带帧存的光栅显示技术。

在交互式图示系统中, 用户观察显示图形, 并使用输入设备, 对图形进行控制操作, 例如改变视见参数产生新的显示图形, 在显示屏上增加或减少部分图形和从显示屏上选取某一图形并进行处理等。它要改变显示存贮器中的数据, 在交互处理结束后还必须改变用户数据库中的图形描述。

图示系统提供给用户的接口可分成六类功能, 即控制、输出图形基元、图形属性、坐标变换、程序段和输入控制等。控制功能包括使系统能调用图形处理软件, 对各种算法设置必要的初始条件, 申请与具体显示设备的连接和对设备的初始化等。输出图形基元是该系统允许用户描述图形与设备产生图形的最基本子图形。图形属性用来改变图形的外貌。坐标变换是实现在各种坐标系之间图形坐标的变换关系。允许设定程序段功能将使用户能够把有

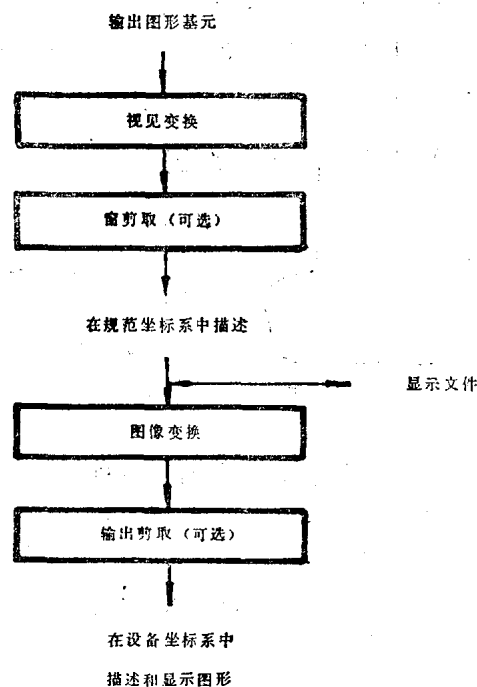


图 0-0-6 对输出图形基元的操作