

高等学校通用教材

计算机图形学 及实用编程技术

李春雨等 编著



北京航空航天大学出版社

TP391.41
2122

TP391.41
2122

高等学校通用教材

计算机图形学及实用 编程技术

李春雨等 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

在多年教学、科研和科技开发的基础上,从计算机图形学的理论高度和计算机绘图的实用角度来研究、编写这本教材。全书分上、下篇,共 13 章。上篇介绍计算机图形学的原理、算法及实现,即从基本图形的生成,由简单到复杂,由二维到多维,循序渐进。下篇介绍基于 MFC 和 OpenGL 的实用图形编程技术,学以致用,并起到举一反三的作用。内容为:计算机图形学的概念、发展、应用和软硬件系统;直线、圆、椭圆基本图形的生成、曲线及区域的填充;几何图形的投影与变换;图形裁剪、消隐处理;光照模型和图案映射等真实感生成技术,图像处理的基本知识,并用 VC++ 进行交互式图形设计实例。

本书可作为计算机、以及航空航天领域、机械、电子、建筑等专业的本科生教材,也可作为相关工程人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学及实用编程技术/李春雨等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.3

ISBN 978-7-81124-558-5

I. 计… II. 李… III. ①计算机图形学②图形软件,MFC OpenGL—程序设计 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000174 号

计算机图形学及实用编程技术

李春雨等 编 著

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:18.75 字数:480 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-558-5 定价:28.00 元

前 言

随着知识经济时代的到来,计算机图形生成技术的应用日益广泛。这就必然促使计算机专业人员、广大非计算机专业的应用人员,从计算机图形学的理论高度和计算机绘图的实用角度来研究和开发计算机图形生成技术及软件。在多年的教学、科研和技术的开发工作中,深刻地体会到:没有计算机图形的理论基础,计算机图形生成技术就无从谈起;没有高级语言描述算法的详细思路,图形学复杂的理论和方法就不能真正得到理解和应用。基于这些体会,作者认为很有必要编写出版这样的一本书,即把计算机图形学理论与计算机绘图的实践结合起来,并掌握用 VC++ 开发工具进行图形软件的设计。

有一个形象地有关汽车的比喻可以类推到计算机图形学的教学方法上,讲授图形学有三种方法:方法一——算法法,就是要求学生掌握与汽车工作原理有关的各种知识,如发动机、传动装置等;方法二——观察法,就是让学生坐在后排作为一个旁观者欣赏风景;方法三——编程法,就是指导学生如何驾驶,如何把汽车开到想去的地方。本书把方法一与方法三相结合,使学习者在掌握理论和实用知识两方面均感到应用自如。

本书第一篇较详细地介绍了计算机图形学的有关原理、算法及实现,从计算机图形的基本图形生成讲起,采取循序渐进的内容安排,由简单到复杂、由二维至三维,理论与实践相结合,对书中的主要算法都给出了 C 程序。在第二篇给出了完整的 VC 编程范例,考虑到 OpenGL 强大的功能和良好的结构,以及 MFC 的方便实用性,实例是以它们为基础的;另外,为给学习者留有余地,范例中的许多算法与理论篇中的不尽相同,学习者须按照书中的讲解,将这些 C 程序移植到范例中去,举一反三,就可容易地在计算机上得到验证与提高,从而为深入理解图形学原理提供重要的保证,并为今后的计算机图形学应用打下坚实的实践基础和编程经验积累。

本书要求学习者有线性代数和 C、C++ 语言的基础。若有 Visual C++ 6.0 基础更好,因为考虑到实用性和适用性,本书使用的开发工具是微软公司的 Visual Studio 6.0 版。学习者可根据自身情况,在 C 语言或 Visual C++ 的基础上上机练习,掌握和应用图形学的各种算法,并开发一些具有实用性的小型绘图软件。

本书由郑州大学李春雨、郑志蕴、谭同德,中原工学院张太超,河南农业大学李福超,郑州轻工业学院魏云冰,河南工业大学丁伟等同志对本课程 10 多年的教学积累和科学研究,反复研讨并集体编写而成。具体分工如下:第 1,2,3 章由李春雨编写,第 4,6 章由郑志蕴编写,第 5 章由谭同德编写,第 7,8 章由魏云冰编写,第 9,10 章由李福超编写,第 11,12 章由张太超编写,第 13 章由丁伟编写。全书由李春雨汇总和整理。书中内容虽为作者多年教学和科研工作的总结与体会,但由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足,殷切希望广大读者批评指正。请将批评和指正发送到:iecyli@zzu.edu.cn,不胜感激!

该教材已有课件,若需要者可与出版社联系。

编 者

2008 年 10 月

目 录

上 篇

第 1 章 计算机图形学基本知识

1.1 概 述	2
1.1.1 计算机图形学的概念	2
1.1.2 计算机图形学的研究内容	2
1.1.3 计算机图形学与图像处理的关系	3
1.2 计算机图形学的发展	3
1.2.1 计算机图形学的发展简史	3
1.2.2 计算机图形学的发展动向	5
1.3 计算机图形学的应用	7
1.4 计算机图形系统	9
1.4.1 计算机图形系统硬件	9
1.4.2 计算机图形系统软件	10
习 题	10

第 2 章 基本图形的生成与计算

2.1 直线的生成算法	11
2.1.1 直线的 DDA 算法	11
2.1.2 直线的 Bresenham 算法	12
2.2 二次曲线	15
2.2.1 圆弧和椭圆弧的拟合法	15
2.2.2 二次曲线的参数拟合法	23
2.3 自由曲线	28
2.3.1 抛物线参数样条曲线	29
2.3.2 Hermite 曲线	30
2.3.3 三次参数样条曲线	34
2.3.4 Bezier 曲线	37
2.3.5 B 样条曲线	41
2.4 字符的生成	44
2.4.1 基础知识	44
2.4.2 扫描线填色算法	45
2.4.3 种子填色算法	51
2.5 区域填充	52
2.5.1 点阵式字符	53
2.5.2 矢量式字符	53

2.5.3	方向编码式字符	53
2.5.4	轮廓字型技术	54
2.6	图形的剪裁	55
2.6.1	直线的剪裁	55
2.6.2	多边形的剪裁	59
2.6.3	字符串的剪裁	63
	习 题	64

第3章 图形变换

3.1	二维图形的几何变换	66
3.1.1	二维图形的几何基本变换	66
3.1.2	二维图形几何变换的表示	69
3.1.3	错切变换	71
3.1.4	组合变换	71
3.2	窗口视图变换	73
3.2.1	用户域和窗口区	73
3.2.2	显示器域和视图区	74
3.2.3	窗口区和视图区的坐标变换	74
3.2.4	从规格化坐标(NDC)到设备坐标(DC)的变换	75
3.3	三维图形的几何变换	77
3.3.1	变换矩阵	77
3.3.2	平移变换	77
3.3.3	比例变换	78
3.3.4	绕坐标轴的旋转变换	78
3.3.5	绕任意轴的旋转变换	79
3.4	形体的投影变换	81
3.4.1	投影变换分类	81
3.4.2	正平行投影(三视图)	81
3.4.3	斜平行投影	82
3.4.4	透视投影	83
3.4.5	投影空间	88
3.4.6	用户坐标系到观察坐标系的转换	89
3.4.7	规格化裁剪空间和图像空间	90
3.5	三维线段裁剪	94
	习 题	95

第4章 数据接口与交换标准

4.1	GKS元文件标准 GKSM	97
4.1.1	GKSM功能	97

4.1.2	GKSM 生成	97
4.1.3	GKSM 输入	99
4.2	计算机图形元文件标准 CGM	100
4.2.1	CGM 功能	100
4.2.2	CGM 描述	100
4.3	计算机图形接口标准 CGI	102
4.3.1	CGI 功能	102
4.3.2	光栅功能集	104
4.4	基本图形交换规范标准 IGES	104
4.4.1	IGES 功能	104
4.4.2	IGES 元素	105
4.4.3	IGES 文件结构	109
4.5	DXF 数据接口	111
4.5.1	DXF 文件结构	111
4.5.2	阅读图形交换文件	112
4.5.3	利用图形交换文件提取实体数据	114
4.6	产品数据表达与交换标准 STEP	116
4.6.1	STEP 的组成	117
4.6.2	产品模型信息结构	118
4.6.3	几何与拓扑表示	120
习 题	121

第 5 章 三维形体的表示

5.1	曲面的表示	122
5.1.1	孔斯(Coons)曲面	123
5.1.2	贝塞尔(Bezier)曲面	127
5.1.3	B 样条曲面	130
5.1.4	曲面片的连接	131
5.2	实体的表示	131
5.2.1	几何元素的定义	132
5.2.2	实体的线框表示	133
5.2.3	实体的定义和正则形体	134
5.2.4	正则集合运算及集合成员分类	136
5.2.5	实体的边界表示	138
5.2.6	扫描表示法	143
5.2.7	构造的实体几何法	144
5.2.8	八叉树表示法	146
5.3	其他三维造型法	147
5.3.1	特征表示	147

5.3.2	分形几何表示	148
5.3.3	体绘制技术	151
5.3.4	从二维图像信息构造三维形体	152
	习 题	152

第 6 章 真实感图形显示

6.1	线消隐	154
6.1.1	消隐的基础知识	154
6.1.2	凸多面体的隐藏线消除	155
6.1.3	凹多面体的隐藏线消除	155
6.2	面消隐	157
6.2.1	区域排序算法	157
6.2.2	深度缓存(Z-buffer)算法	157
6.2.3	扫描线算法	158
6.3	光照模型	159
6.3.1	光源特性和物体表面特性	159
6.3.2	光照模型及其实现	160
6.3.3	明暗的光滑处理	163
6.4	表面图案与纹理	164
6.4.1	表面图案的描绘	164
6.4.2	表面纹理的描绘	166
6.5	颜色空间	167
6.5.1	颜色的基本概念	167
6.5.2	CIE 色度图	168
6.5.3	几种常用的颜色模型	169
	习 题	171

第 7 章 图像处理

7.1	图像基础	172
7.1.1	图像的表达	173
7.1.2	采样和量化	174
7.1.3	图像文件的数据结构	175
7.2	图像变换	177
7.2.1	离散傅里叶变换	177
7.2.2	快速傅里叶变换	178
7.3	图像增强	180
7.3.1	空域增强	180
7.3.2	频域增强	181
7.4	图像恢复与压缩编码	182

7.4.1 图像恢复	183
7.4.2 图像编码	184
7.5 图像分割	186
7.5.1 四类图像分割技术	186
7.5.2 阈值分割法	188
7.6 应用实例——储粮害虫图像识别	189
习 题	193

下 篇

第 8 章 基于 MFC 的图形编程基础

8.1 图形软件的 MFC 实现方法	195
8.1.1 建立工程 myvc	195
8.1.2 OnDraw 成员函数	197
8.2 CDC 类	198
8.2.1 CDC 类中常用的成员函数	199
8.2.2 CDC 类的派生类	200
8.2.3 CDC 类的调用函数	201
8.3 基本图元的绘制方法	202
8.3.1 绘制点、直线、矩形	202
8.3.2 绘制简单曲线	204
8.3.3 文本的绘制	205
8.4 图形设备接口 GDI	206
8.4.1 GDI 对象	206
8.4.2 库存 GDI 对象	207
8.4.3 CPen 类的使用	208
8.4.4 CBrush 类的使用	210
8.4.5 CFont 类的使用	212
8.5 Windows 映射模式与窗口视区变换	214
8.5.1 Windows 中定义的映射模式	214
8.5.2 Windows 映射模式设置	215
8.5.3 窗口和视口	219
习 题	220

第 9 章 基于 MFC 的交互绘图

9.1 鼠标绘图	221
9.1.1 如何响应鼠标消息	221
9.1.2 绘图模式的设置	223
9.2 用鼠标绘制圆	225

9.3	通过对话框绘图	228
	习 题	232
第 10 章 OpenGL 基础知识和实验框架的建立		
10.1	OpenGL 基础知识和功能介绍	233
10.1.1	OpenGL 的简单介绍	233
10.1.2	OpenGL 工作流程	234
10.1.3	OpenGL 图形操作步骤	235
10.1.4	Windows 下的 OpenGL 函数	235
10.1.5	OpenGL 基本功能	236
10.1.6	Windows 下 OpenGL 的结构	237
10.2	OpenGL 的程序框架	237
10.2.1	建立非控制台的 Windows 程序框架	238
10.2.2	建立 OpenGL 框架	239
10.2.3	建立 OpenGL 框架的类文件	239
10.2.4	完善 Windows 框架	243
10.2.5	程序间的相互关系	246
	习 题	247
第 11 章 OpenGL 的基本图形		
11.1	OpenGL 库函数命名方式	248
11.2	基本图形	249
11.3	几何变换	254
11.4	辅助库物体	255
11.5	在 OpenGL 中显示图形	255
11.6	建立物体类文件	258
11.7	本章程序结构	260
	习 题	262
第 12 章 OpenGL 的组合图形及光照和贴图		
12.1	飞机模型	263
12.1.1	构造飞机	264
12.1.2	程序注释	265
12.1.3	增加动感	265
12.2	贴 图	266
12.2.1	调入图形文件	266
12.2.2	给模型贴图	267
12.2.3	自定义长方体 BOX	269
12.3	又一个组合图形	270

12.4 使用灯光	271
12.4.1 OpenGL 光组成	271
12.4.2 创建光源	272
12.4.3 启动光照	273
12.4.4 在程序中使用光源	273
12.5 本程序结构	274
习 题	275

第 13 章 摄像漫游与 OpenGL 的坐标变换

13.1 摄像机+漫游	276
13.1.1 原 理	276
13.1.2 漫游程序	277
13.1.3 漫游程序注释	278
13.1.4 漫游相关定义	278
13.2 地 面	279
13.2.1 网格地面	279
13.2.2 边界设定	280
13.2.3 使用摄像机	281
13.3 OpenGL 中的坐标变换	282
13.3.1 从三维空间到二维平面——相机模拟	282
13.3.2 视点变换	282
13.3.3 模型变换	284
13.3.4 投影变换	284
13.3.5 视口变换	285
13.3.6 其他必要的矩阵操作	285
习 题	286

参考文献

上篇

第 1 章 计算机图形学基本知识

第 2 章 基本图形的生成与计算

第 3 章 图形变换

第 4 章 数据接口与交换标准

第 5 章 三维形体的表示

第 6 章 真实感图形显示

第 7 章 图像处理

第 1 章 计算机图形学基本知识

计算机图形学是近 40 年来迅速发展起来的具有广泛应用前景的一门新兴学科,是科学技术领域中取得的又一重要成就。计算机出现后,为了在绘图仪和阴极射线管上输出图形,计算机图形学也随之产生了。它是随着计算机及其外围设备等技术的发展而不断完善的。计算机图形学在航空、航天、汽车、电子、机械、土建工程、影视广告、地理信息、轻纺化工等领域中得到了广泛应用,并推动了这门学科迅速成熟。计算机一方面解决了一些具体应用中提出的各类新课题,另一方面又进一步充实和丰富了这门学科的内容。

1.1 概 述

1.1.1 计算机图形学的概念

计算机图形学(computer graphics)是一门新兴学科。国际标准化组织(ISO)定义它为:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。

1.1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学的研究内容涉及用计算机对图形数据进行处理软硬件技术,其所涉及的算法十分丰富。围绕物体的图形图像的生成及其准确性、真实性和实时性,大致可分为以下几类:

- (1) 基于图形设备的基本图形元素的生成算法,如用光栅图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的图案填充等。
- (2) 图形元素的几何变换,即对图形的平移、放大、缩小、旋转、镜像等操作。
- (3) 自由曲线和曲面的插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体和局部修改等。
- (4) 三维几何造型技术,包括对基本体素的定义及输入、规则曲面与自由曲面的造型技术,以及它们之间的布尔运算方法的研究。
- (5) 三维形体的实时显示,包括投影变换、窗口剪裁等。
- (6) 真实感图形的生成算法,包括三维图形的消隐算法、光照模型的建立、阴影层次及彩色浓淡图的生成算法。
- (7) 山、水、花、草、烟云等模糊景物的模拟生成和虚拟现实环境的生成及其控制算法等。
- (8) 科学计算可视化和三维或高维数据场的可视化,包括将科学计算中大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来,从而加深人们对科学过程的理解,例如,有限元分析的结果等;应力场、磁场的分布等;各种复杂的运动学和动力学问题的图形仿真等。

1.1.3 计算机图形学与图像处理的关系

计算机图形学的基本含义是,使用计算机通过算法和程序在显示设备上构造出图形来。也就是说,图形是人们通过计算机设计和构造出来的,不是通过摄像机或扫描仪等设备输入的图像。所设计和构造的图形可以是现实世界中已经存在的物体图形,也可以显示出完全虚构的物体。因此,计算机图形学是真实物体或虚构物体的图形综合技术。

与此相反,图像处理是景物或图像的分析技术。它所研究的是计算机图形学的逆过程,包括图像增强、模式识别、景物分析、计算机视觉等,并研究如何从图像中提取二维或三维物体的模型。

尽管计算机图形学和图像处理所涉及的都是用计算机来处理图形和图像,但是长期以来却属于不同的两个技术领域。近年来,由于多媒体技术、计算机动画,三维空间动数据场显示及纹理映射等的迅速发展,计算机图形学和图像处理的结合日益紧密,并相互渗透。例如,将计算机生成的图形与扫描输入的图像结合起来,来构造计算机动画;用菜单或其他图形交互技术来实现交互式图像处理;通过交互手段,由一幅透视图像中提取出对称物体的三维模型并进行修改,也可由一幅图像,直接变换为另一幅图像从而代替了图形的综合等。计算机图形学与图像处理相结合,加速了这两个相关领域的发展。

1.2 计算机图形学的发展

1.2.1 计算机图形学的发展简史

计算机图形学的发展始于20世纪50年代,先后经历了准备阶段(20世纪50年代)、发展阶段(20世纪60年代)、推广应用阶段(20世纪70年代)、系统实用化阶段(20世纪80年代)和标准化智能化阶段(20世纪90年代)。

1. 准备阶段(20世纪50年代)

计算机图形学的发展历史应追溯到20世纪50年代末期。当时的计算机主要用于科学计算,使用尚不普及,但已开始出现图形显示器、绘图仪和光笔等图形外部设备。同时各种设计、计算和显示图形的软件开始开发,为计算机图形学的发展做好了硬件和软件的准备。1950年,美国麻省理工学院旋风I号(whirlwind I)计算机就配置了由计算机驱动的阴极射线管式的图形显示器,但不具备人-机交互功能。20世纪50年代末期,该理工学院林肯实验室研制的SAGE空中防御系统就已具有指挥和控制功能。这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形来获得所需要的信息。这一功能的出现预示着交互式图形生成技术的诞生。

2. 发展阶段(20世纪60年代)

1962年,美国麻省理工学院的I. E. 萨瑟兰德(I. E. Sutherland)在他的博士论文中提出了一个名为“sketchpad”的人-机交互式图形系统,能在屏幕上进行图形设计和修改。他在论文中首次使用了“计算机图形学(computer graphics)”这个术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的分层存储符号和图素的数据结构等概念和技术直至今日还在广泛应用。

因此, I. E. 萨瑟兰德的“sketchpad”系统被公认为对交互图形生成技术的发展奠定了基础。随后, 美国通用汽车公司、贝尔电话公司和洛克希德飞机制造公司等开展了计算机图形学和计算机辅助设计的大规模研究, 分别推出了 DAC-I 系统、Graphic-1 系统和 CADAM 系统, 使计算机图形学进入了迅速发展的新时期。这一时期使用的图形显示器是随机扫描的显示器, 它具有较高的分辨率和对比度, 良好的动态性能, 这就避免了图形闪烁。它通常需要以 30 次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此需要一个刷新缓冲存储器来存放计算机产生的显示图形的数据和指令, 还要有一个高速的处理器。由于这一时期使用的计算机图形硬件(大型计算机和图形显示器)是相当昂贵的, 因而成为影响交互式图形生成技术进一步普及的主要原因。因此, 只有上述这些大公司才能投入大量资金研制开发出只供本公司产品设计使用的实验性系统。

3. 推广应用阶段(20 世纪 70 年代)

进入 20 世纪 70 年代以后, 由于集成电路技术的发展, 计算机硬件性能不断提高, 体积缩小, 价格降低, 特别是廉价的图形输入、输出设备及大容量磁盘等的出现, 以小型计算机及超级小型机为基础的图形生成系统开始进入市场, 并形成主流。由于这种系统比起大型计算机来价格相对便宜, 维护使用也比较简单, 因而 70 年代以来, 计算机图形生成技术在计算机辅助设计、事务管理、过程控制等领域得到了比较广泛的应用, 取得了较好的经济效益, 出现了许多专门开发图形软件的公司及相应的商品化图形软件, 如 Computer Vision、Intergraph、Colma Applicon 等公司推出了许多成套实用的商品化 CAD 系统, IBM 和波音公司应用 CAD/CAM 相结合技术取得了丰硕的成果。CAD 成为工业设计部门不可缺少的工具和热门技术。

其中, 基于电视技术的光栅扫描显示器的出现极大地推动了计算机图形学的发展。光栅扫描显示器将被显示的图像以点阵形式存储在刷新缓存中, 由视频控制器将其读出并在屏幕上产生图像。光栅扫描显示器较之随机扫描显示器有许多优点: 一是规则而重复地扫描比随机扫描容易实现, 因而价格便宜; 二是可以显示用颜色或各种模式填充的图形, 这对于生成三维物体的真实感图形是非常重要的; 三是刷新过程与图形的复杂程度无关, 只要基本的刷新频率足够高, 就不会因为图形复杂而出现闪烁现象。由于光栅扫描显示器具有许多优点, 因而直至今日仍然是图形显示的主要设备。工作站及微型计算机都采用这种光栅扫描显示器。

由于众多商品化软件的出现, 这一时期图形标准化问题也被提上议程。图形标准化要求图形软件由低层次的与设备有关的软件包转变为高层次的与设备无关的软件包。1974 年, 美国计算机学会成立了一个图形标准化委员会(ACM SIGGRAPH), 开始有关标准的制定和审批工作。1977 年该委员会提出了一个称为“核心图形系统 CGS”的规范。1979 年又公布了修改后的第二版, 增加了包括光栅图形显示技术在内的许多其他功能。

4. 系统使用化阶段(20 世纪 80 年代)

进入 20 世纪 80 年代以后, 工作站的出现极大地促进了计算机图形学的发展。比起小型计算机来, 工作站在用于图形生成上具有显著优点。首先, 工作站是一个用户使用一台计算机交互作用时, 响应时间短; 其次, 工作站联网后可以共享资源, 如大容量磁盘、高精度绘图仪等; 而且它便于逐步投资、逐步发展、使用寿命较长。因而, 工作站已经取代小型计算机成为图形生成的主要环境。20 世纪 80 年代后期, 微型计算机的性能迅速提高, 配以高分辨率显示器及窗口管理系统, 并在网络环境下运行, 使它成为计算机图形生成技术的重要环境。由于微机系统价格便宜, 因而得到普及和推广, 尤其是微型计算机上的图形软件和支持图形应用的操作系

统及其应用程序的全面出现,如 Windows, Office, AutoCAD, CorelDRAW, Freehand, 3D Studio 等,使计算机图形学的应用深度和广度得到了前所未有的发展。

5. 标准化智能化阶段(20世纪90年代)

进入20世纪90年代,计算机图形学的功能除了随着计算机图形设备的发展而提高外,其自身也朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。一方面,国际标准化组织(ISO)公布的有关计算机图形学方面的标准越来越多,且更加成熟。目前,由国际标准化组织(ISO)发布的图形标准有计算机图形接口标准 CGI(Computer Graphics Interface)、计算机图形元文件标准 CGM(Computer Graphics Metafile)、图形核心系统 GKS(Graphics Kernel System)、三维图形核心系统 GKS-3D 和程序员层次交互式图形系统 PHIGS(Programmer'Hierarchical Interactive Graphics System)。另一方面,多媒体技术、人工智能及专家系统技术和计算机图形学相结合使其应用效果越来越好,使用方法越来越容易,许多应用系统具有智能化的特点,如智能 CAD 系统。科学计算的可视化、虚拟现实环境的应用。又向计算机图形学提出了许多更新、更高的要求,使得三维乃至高维计算机图形学在真实性和实时性方面将有飞速发展。

1.2.2 计算机图形学的发展动向

前面已经提到,计算机图形学是通过算法及其程序在显示设备上构造出图形的一种技术。这和用照相机摄制一幅照片的过程比较相似。当用照相机摄制一个物体,比如说一幢建筑物的照片时,首先在现实世界中必须有那么一幢建筑物存在,才能通过照相的原理拍摄一张照片。与此类似,要在计算机屏幕上构造出三维物体的一幅图像,首先必须在计算机中构造出物体的模型。这一模型是由一批几何数据及数据之间的拓扑关系来表示的。这就是造型技术。有了三维物体的模型,在给定了观察点和观察方向以后,就可以通过一系列的几何变换和投影变换在屏幕上显示出该三维体的二维图像。为了使二维图像具有立体感,或者尽可能逼真地显示出该物体在现实世界中所观察到的形象,就需要采用适当的光照模型,尽可能准确地模拟物体在现实世界中受到各种光源照射时的效果。这些就是计算机图形学中的画面绘制技术。三维物体的造型过程、绘制过程等都需要在一个操作方便、易学易用的用户界面下工作,这就是人-机交互技术。多年来,造型技术、绘制技术及人-机交互技术构成了计算机图形学的主要研究内容。当前仍然在这三个方面不断地向前发展。

1. 造型技术的发展

计算机辅助造型技术以所构造的对象来划分,可以分为规则形体造型和不规则形体造型。规则形体指的是可以用欧氏几何进行描述的形体,例如平面多面体、二次曲面体、自由曲面体等,统称为几何模型。构造几何模型的理论、方法和技术称为几何造型技术。它是计算机辅助设计的核心技术之一,早在20世纪70年代国际上就进行了广泛而深入的研究。目前已有商品化的几何造型系统提供给用户使用。近年来,由于非均匀有理 B 样条(nonuniform rational B spline)具有可精确表示圆锥曲线的功能,以及对控制点进行旋转、比例、平移及透视变换后曲线形状不变的特点,因而为越来越多的曲面造型系统所采用。同时,将线框造型、曲面造型,即实体造型结合在一起,并不断提高造型软件的可靠性,也是造型技术的重要研究方向。

虽然几何造型技术已得到广泛应用,但是它只是反映了对象的几何模型,而不能全部反映产品的信息,如产品的形状、公差、材料等,从而使得计算机辅助设计/制造的一体化难于实现。在这样的背景下,就出现了特征造型技术。它将特征作为产品描述的基本单元,并将产品描述

成特征的集合。例如,它将一个机械产品用形状特征、公差特征、技术特征三部分来表示,而形状特征的实现又往往是建立在几何造型的基础上的。目前,特征造型技术在国内外均处于起步阶段。

近几年来,主要是由于发展动画技术的需要,提出了基于物理的造型技术。在几何造型中,模型是由物体的几何数据和拓扑结构来表示的。但是,在复杂的动画技术中,模型及模型间的关系相当复杂,不仅有静态的,而且还有动态的。这时靠人来定义物体的几何数据和拓扑关系是非常繁杂的,有时甚至是不可能的。在这种情况下模型就可以由物体的运动规律自动产生,这就是基于物理的造型技术的基本概念。显然它是比几何造型层次更高的造型技术。目前,这种基于物理的造型技术不仅可在刚体运动中实现,而且已经用于柔性物体。

与规则形体相反,不规则形体是不能用欧氏几何加以定义的,例如,山、水、树、草、云、烟、火以及自然界中丰富多彩的物体。如何在计算机内构造出表示它们的模型,是近年来研究工作的另一个特点。与规则形体的造型技术不同,不规则形体的造型大多采用过程式模拟,即用一个简单的模型及少量的易于调用的参数来表示一大类物体,不断改变参数,递归调用这一模型,就能一步一步地产生数据量很大的物体,因而这一技术也称为数据放大技术。近年来,国际上提出的基于分形理论的随机插值模型、基于文法的模型以及粒子系统模型等都是应用这一技术的不规则形体造型方法,并已取得了良好的效果。

2. 真实图形生成技术的发展

真实图形生成技术是根据计算机中构造好的模型生成与现实世界一样的逼真图像。在现实世界中往往有多个不同的光源,在光源照射下,根据物体表现的不同性质产生反射和折射、阴影和高光,它们的相互影响构造出了丰富多彩的世界。早期的真实图形生成技术用简单的局部光照模型模拟漫反射和镜面反射,而将许多没有考虑到的因素用一个环境光来表示。20世纪90年代以后,陆续出现了以光线跟踪方法和辐射度方法为代表的全局光照模型,使得图像的逼真程度大为提高,但是却又带来了另一个问题——计算机处理时间很长。目前,在许多高档次的工作站上已经配备了由硬件实现光线跟踪及辐射度方法的功能,从而大大提高了逼真图形的生成速度。

3. 人-机交互技术的发展

直至20世纪90年代初期,在设计计算机图形生成软件时,一直将如何节约硬件资源——计算时间和存储空间作为重点,以提高程序本身的效率作为首要目标。随着计算机硬件价格的降低和软件功能的增强,提高用户的使用效率逐渐被认为是首要目标。为此,如何设计一个高质量的用户接口成为计算机图形软件的关键问题。

一个高质量的用户接口的设计目标应该是:易于学习,易于使用,出错率低,易于回忆起如何重新使用这一系统,并对用户有较强的吸引力。20世纪80年代中期以来,国际上出现了不少符合这一目标的人-机交互技术。例如,屏幕上不仅可以开一个窗口,而且可以开多个窗口;从以键盘实现交互发展到以鼠标器实现交互;将菜单放在屏幕上而不是放在台板上;不仅有静态菜单,而且有动态菜单;不仅用字符串作为菜单,而且用图标作为菜单;图标可以表示一个对象,也可以表示一个动作,从而使菜单的含义一目了然。

如何在三维空间实现人-机交互一直是计算机图形技术的一个研究热点。近年来,虚拟环境技术的出现,使三维人-机交互技术有了重要进展。所谓虚拟环境是指完全由计算机产生的环境,可是却具有与真实物体同样的外表、行为和交互方式。目前,典型的方法是用头戴立