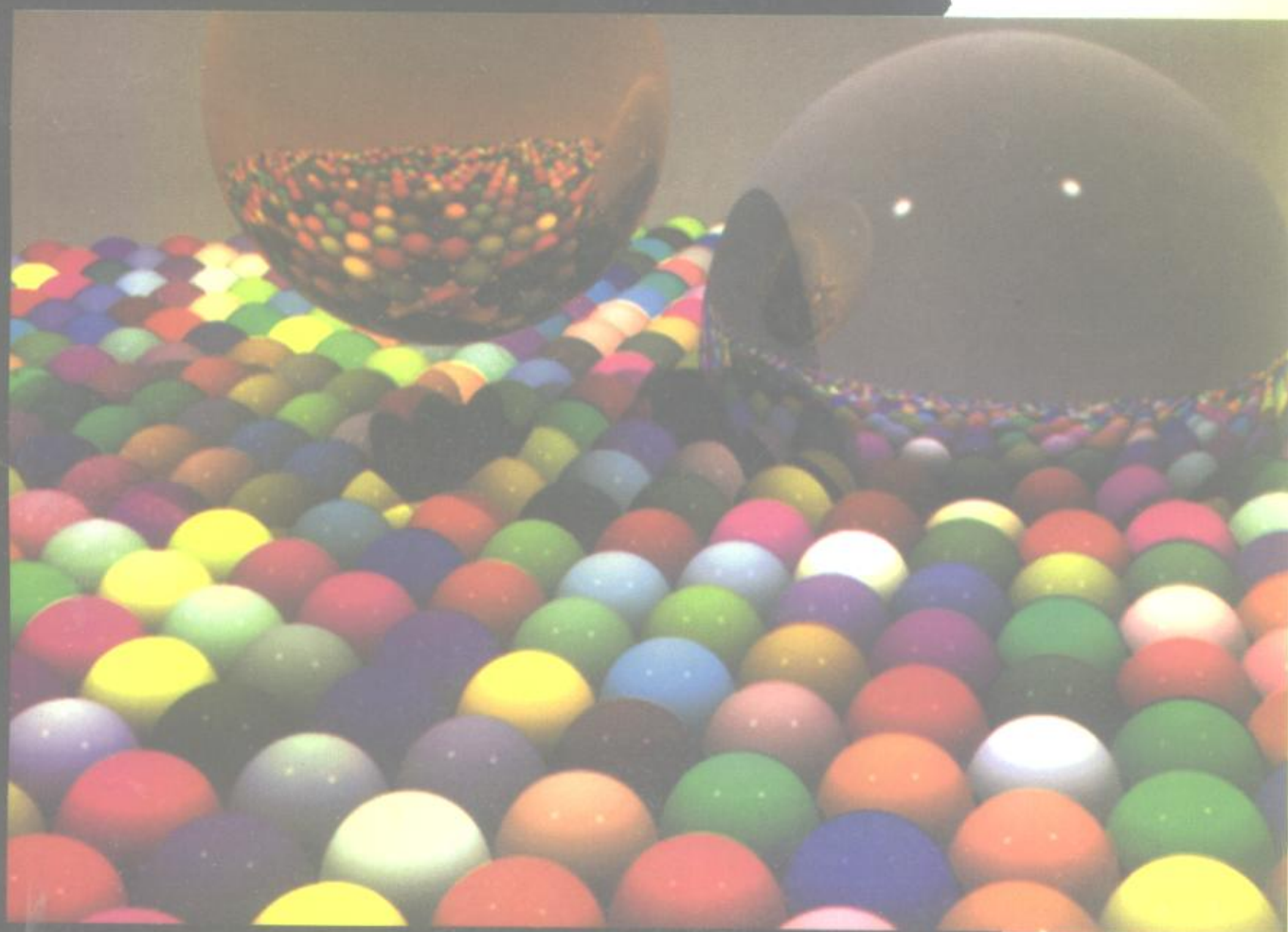


C 语言成像 与 光线追踪程序设计



Christopher D. Watkins,
Stephen B. Coy,
and Mark Finlay



希望

科 学 出 版 社
龍 門 書 局

TP391.4
v. 71

384723

C 语言成像与光线追踪程序设计

[美]C. D. 沃特金森

S. B. 科伊 著

M. 芬利

刘颖 译



科学出版社

龙门书局

1995

JS149 / 14

内 容 简 介

计算机图形在越来越多的领域得到了广泛的应用,而大多数个人计算机用户却因缺乏基本的编程工具而不能在便宜的 PC 机上生成精美的计算机图形,本书旨在帮助这些用户挖掘 PC 机潜在的图形设计能力,制做逼真的高质量计算机图形。

本书介绍了计算机图形学要求的向量和矩阵算术工具,讨论了光线追踪程序的生成和使用,并给出了实际的 C 代码。此外,本书还对三维建模工具、提高图像质量的方法及图形显示设备等做了介绍。随附的磁盘提供了大量程序实例,稍加改动即可用于实际的图形制作。

需要本书的用户,请直接与北京海淀 8721 信箱书刊部联系,电话:2562329,邮编:100080。

版 权 声 明

本书英文版名为 *Photorealism and Ray Tracing in C*,由 M&T Books 公司出版,版权归 M&T Books 公司所有。本书中文版由 Far East Books 公司授权出版。未经出版者书面许可,本书的任何部分不得以任何形式或任何手段复制或传播。

C 语言成像与光线追踪程序设计

美 J.C.D. 沃特金森

S.B. 伊 著

M. 芬 利

刘 颖 译

责任编辑 汪亚文

科学出版社 出版
龙 门 书 局

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

双青印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1995 年 8 月第一次印刷 印张:23 1/8

印数:1—5 000 字数:544 000

ISBN 7-03-004847-4/TP·470

定价:46.00 元

译者序

《C语言成像与光线追踪程序设计》一书旨在帮助广大个人计算机用户在便宜的PC机上制作精美的计算机图形。本书介绍了各种向量和矩阵算术工具、光线追踪的基本原理和程序、三维建模工具、改进图像质量的方法及一些图形显示设备,相信本书对计算机图形设计人员会有所帮助。

由于印刷等方面的原因,文中提到的彩图没有全部给出。不过读者可以使用本书所附磁盘中的程序自己生成这些图形。

本书第一至五章由刘颖翻译,六至八章由邓黎翻译,九至十一章由孙雪翻译,十二至十四章由习永斌翻译,十五至十七章由樊耀明翻译。此外,杨枫小姐在本书的制作过程中做了大量的工作。

由于时间和水平所限,文中可能有疏漏之处,敬请读者朋友批评指正。

目 录

前言	1
绪论	3
0.1 本书的组织	3
0.2 第一部分	4
0.2.1 数学模块	4
0.2.2 图形界面模块	4
0.2.3 使用这些模块	4
0.3 第二部分	5
0.3.1 光线追踪理论	5
0.3.2 光线追踪程序	5
0.3.3 光线—物体相交测试	5
0.3.4 阴影、纹理和光照	5
0.3.5 复习光线追踪程序代码	5
0.3.6 怎样使用光线追踪程序	5
0.4 第三部分	6
0.5 第四部分	6
0.6 第五部分	6
0.7 第六部分	6
0.8 第七部分	6
0.9 软件和硬件要求	7
0.10 总结	7

第一部分 标准和通用模块

第一章 标准和C语言	11
1.1 为什么选用C语言	11
1.2 编程语言的概念	11
1.3 变量和数据类型	12
1.4 运算符	13
1.5 程序控制	15
1.6 函数	16
1.7 宏	17
1.8 指针和数组	17
1.9 内存	18
1.10 结构	18

1.11	typedef	19
1.12	输入输出 (I/O)	19
1.13	文件 I/O	20
1.14	编程风格	21
1.15	参考读物	21
1.16	光线跟踪	21
第二章	数学模块	23
2.1	头文件	23
2.1.1	BkDefs.H 头文件	23
2.1.2	BkMath.H 头文件	24
2.2	编译这些模块	26
2.3	BkMath.C 程序	26
2.4	基本数学函数	38
2.4.1	Radians 和 Degrees 函数	38
2.4.2	CosD 和 SinD 函数	39
2.4.3	Power 函数	39
2.4.5	Log 函数	40
2.4.6	Exp10 函数	40
2.4.7	Sign 和 Intsign 函数	41
2.4.8	IntSqrt 函数	41
2.4.9	IntPower 函数	41
2.4.10	MIN 和 MAX 函数	42
2.5	向量和矩阵函数	42
2.5.1	Vec 和 VecInt 函数	43
2.5.2	UnVec 和 UnVecInt 函数	43
2.5.3	VecDot 函数	43
2.5.4	VecCross 函数	44
2.5.5	VecLen 函数	45
2.5.6	VecNormalize 函数	46
2.5.7	VecMatxMult 函数	46
2.5.8	VecSub 和 VecSubInt 函数	46
2.5.9	VecAdd 函数	47
2.5.10	VecAdd3 函数	47
2.5.11	VecCopy 和 VecCopyInt 函数	47
2.5.12	VecLinComb 函数	48
2.5.13	VecScalMult、VecScalMultI 和 VecScalMultInt 函数	48
2.5.14	VecAddScalMult 函数	48
2.5.15	VecNull 和 VecNullInt 函数	49
2.5.16	VecElemMult 函数	49
2.5.17	VecMin 和 VecMax 函数	49
2.5.18	VecNegate 函数	49
2.6	仿射变换例程	49

2.6.1	ZeroMatrix 函数	49
2.6.2	Translate3D 函数	50
2.6.3	Scale3D 函数	50
2.6.4	Rotate3D 函数	51
2.6.5	Multiply3DMatrices 函数	51
2.6.6	MatCopy 函数	52
2.6.7	PrepareMatrix 函数	52
2.6.8	PrepareInvMatrix 函数	52
2.6.9	Tansform 函数	52
2.7	伪随机数的生成	53
2.7.1	InitRand 函数	53
2.7.2	Rand 函数	53
2.7.3	RandInt 函数	53
第三章	图形界面模块	55
3.1	BkGlobs. H 头文件	55
3.2	BkGraph. H 头文件	56
3.3	BkGraph. C 程序	57
3.3.1	Plot 函数	68
3.3.2	Clear_Palette 函数	68
3.3.3	Set_Palette 函数	68
3.3.4	Init_Palette 函数	68
3.3.5	Init_Palette_2 函数	68
3.3.6	CyCle_Palette 函数	69
3.3.7	Swap 函数	69
3.3.8	Circle 函数	69
3.3.9	Line 函数	69
3.3.10	MinI 和 MaxI 函数	69
3.3.11	Trivial_Reject 函数	70
3.3.12	Clip_To_Screen 函数	70
3.3.13	Init_Graphics 函数	70
3.3.14	Set_Graphics_Mode 函数	70
3.3.15	Wait_For_Key 函数	70
3.3.16	Exit_Graphics 函数	70
3.3.17	Title 函数	71
3.4	三维画图函数	71
3.4.1	Init_Plotting 函数	71
3.4.2	Init_Perspective 函数	71
3.4.3	Map_Coordinates 函数	71
3.4.5	Cartesian_Plot_3D 函数	72
3.4.6	Cylindrical_Plot_3D 函数	72
3.4.7	Spherical_Plot_3D 函数	73
3.4.8	Draw_Line_3D 函数	73

3.5	像素函数	74
3.5.1	Put_Pixel 函数	74
3.5.2	Get_Pixel 函数	75
3.6	设置坐标轴和调色板的函数	75
3.6.1	Put_Axis_And_Palette 函数	75
3.6.2	Display_Axis 函数	75
3.6.3	Display_Palette 函数	76
3.6.4	Axis_And_Palette 函数	76
3.7	使用模块	76
第四章	使用模块	77
4.1	Crystal.C 文件	77
4.2	Plants.C 文件	77
4.3	Stars-3D.C 程序	83
4.4	三维圆周运动模拟示例程序	86
4.5	真实物体	94

第二部分 光线追踪

第五章	光线追踪程序数学模块	97
第六章	光线追踪理论	121
6.1	即时光线追踪	123
6.2	光线的反射	126
6.3	折射	128
6.4	问题,问题,问题!	131
6.5	答案,答案,答案!	132
6.6	细节	133
第七章	光线追踪程序	135
7.1	投影图形	135
7.2	图像质量和变形	137
7.3	防变形方法	137
7.4	均匀采样	138
7.5	统计密集采样	139
7.6	结果	139
7.7	简单的照像机模型	139
7.8	trace 函数	140
7.9	背景	141
第八章	光线-物体相交测试	165
8.1	物体的定义	165
8.1.1	光线的参数表示	165

8.1.2	与球面相交	166
8.1.3	与二次曲面相交	167
8.2	曲面法线计算	167
8.3	与平面物体相交	168
8.4	三角形小块	174
8.5	构造复杂物体	181
8.6	构造实体几何	185
8.6.1	包围体	186
8.6.2	包围面	187
8.7	层次树	188
8.8	搜索物体	192
8.9	其它算法	199
第九章	看见光亮	201
9.1	阴影模型	201
9.1.1	背景色(K_b)	202
9.1.2	漫反射颜色(K_d)	202
9.1.3	镜面反射迭加(K_s)	203
9.1.4	反射率(K_r)及折射率(K_t)	204
9.2	纹理,纹理,纹理	204
9.3	映射图象	205
9.4	实体纹理构造	206
9.5	噪声及扰动	215
9.6	实体纹理样式	220
9.7	球面纹理	221
9.8	制造波纹	222
9.9	凹凸纹理	223
9.10	大气	224
9.11	阴影	226
9.12	关于代码	226
第十章	光线追踪程序代码	227
10.1	分离和解释程序	228
10.1.1	预处理	229
10.1.2	记号分析程序	229
10.2	基本体文件	230
10.3	扫描屏幕	231
10.4	追踪	231
10.5	相交	232
10.6	包围平面	232
10.7	阴影处理	233
10.8	通向 BOB 的途径	234

10.9	内存问题.....	234
10.10	构成画面	234
第十一章	如何使用光线追踪程序.....	235
11.1	运行 Bob	235
11.2	Bob 命令	237
11.3	统计数字.....	237
11.4	输入文件(.B)格式	239
11.5	输入文件布局.....	240
11.6	预处理程序.....	240
11.6.1	宏	241
11.6.2	包含指令	242
11.7	EDL 分析程序	242
11.7.1	studio 结构	242
11.7.2	studio 参数	243
11.8	光源.....	246
11.9	表面.....	248
11.9.1	凹凸纹理	250
11.9.2	加纹理的表面	252
11.10	基本体	253
11.10.1	球	253
11.10.2	环	254
11.10.3	多边形	255
11.10.4	三角形小块	255
11.10.5	圆锥	255
11.11	变换	256
11.12	图像纹理	257
11.13	剪切	257
11.14	有关说明	259

第三部分 生成光线追踪程序所需的物体数据库

第十二章	过程物体数据库.....	263
12.1	生长的树.....	264
12.2	环形与环面.....	267
12.3	一个令人困惑的物体.....	270
12.4	光照和雪花球.....	273
12.5	一块吸收性极好的海绵.....	275
12.6	一个六角形.....	277
12.7	更为复杂的数据库.....	278
第十三章	Z 缓冲区数据	279

13.1	Z 缓冲区数据的线框轮廓	279
13.2	光线追踪的 Z 缓冲区数据库	280
13.3	生成 Z 缓冲区数据库的程序	285
13.4	生成 Z 缓冲区数据库的分形程序	291
13.5	三维 Mandelbrot 集	294
13.6	三维 Julia 集	294
13.7	使用四元数的分形	298
13.8	四元数数学	299
13.9	生成四元数分形数据库	309
13.10	地形 Z 缓冲区	309
13.11	Smooth.EXE	313
13.12	移动山脉	314

第四部分 物体数据库的 CAD 产品

第十四章	三维数据库建模器	317
14.1	数据库建模程序的功能	317
14.1.1	基本体支持和操作	317
14.1.2	物体支持和操作	317
14.1.3	适当时间内生成数据库视图	318
14.1.4	在数据库内部自由移动	318
14.1.5	隐藏数据库细节	318
14.2	层次结构的重要性	318
14.2.1	重复利用性	319
14.2.2	灵活性	319
14.2.3	区域性和可扩展性	319
14.2.4	高效性	319
14.3	Bob 的数据库层次:基本体、物体、画面	319
14.4	Ed:Bob 的简单数据库建模程序	320
14.4.1	启动 Ed	320
14.4.2	Ed 屏幕	320
14.4.3	告诉 Ed 做什么	320
14.4.4	系统参数	321
14.5	系统模式	321
14.5.1	读写画面文件	321
14.5.2	移动观察点	321
14.5.3	选择物体	322
14.5.4	实例化及删除物体	322
14.5.5	编辑物体位置和比例	322
14.5.6	修改 studio 定义	322

14.5.7 编辑 studio 参数	322
14.5.8 退出 studio 模式	322
14.5.9 编辑物体	322
14.5.10 编辑物体结构	322
14.5.11 多边形的一个特例	323
14.5.12 编辑物体特征	323
14.5.13 退出物体模式	323
14.5.14 退出 Ed	323
14.6 Ed 源代码总览	324
14.6.1 Ed 源代码使用的规则	324
14.6.2 Ed 基本数据结构	324
14.6.3 Ed 全局变量	325
14.6.4 Ed 主要的程序元素	325
14.6 Ed 输出文件的局限	326

第五部分 计算机图形学的图像处理技术

第十五章 图像处理	329
15.1 IMG2GIF.C	329
15.1.1 直接指定调色板	329
15.1.2 多数法	329
15.1.3 中分法	330
15.1.4 固定调色板	330
15.2 有趣有益的抖动法	331
15.3 建立.GIF 文件	332
15.4 IMG2GIF.C 的技术说明	333
15.5 文件格式	334
15.5.1 Bob 的 IMG 文件格式	334
15.5.2 Palette.MAP 文件格式	334
15.6 改善图像质量	335
15.7 图像显示	344

第六部分 图形硬件

第十六章 图形硬件驱动程序	347
16.1 24 位颜色	348
16.2 Bob 结束语	360

第七部分 本书之外的内容

第十七章 超越 Bob	363
17.1 制作图形.....	363
17.2 动画.....	364
17.2.1 车轮	364
17.2.2 运动模糊	364
17.2.3 纹理的问题	364
17.3 实时光线追踪.....	365
17.4 高级光照模型.....	365
17.5 辐射.....	365
17.5.1 更多的近似	366
17.5.2 为何使用辐射模型	366
17.6 真实三维图像.....	366
17.7 何去何从.....	366

前 言

今天的电影大量使用计算机图形,以便制造特殊效果,并降低制片费用。例如,电影《终结者 I》和《美女与野兽》中就使用了许多复杂的计算机图形。如果不使用计算机,单是《美女与野兽》中那些带纹理的大理石柱子和枝形吊灯就要让制片公司头痛不已了。不使用计算机图形技术,整部影片将耗费多得多的人力、财力和物力。

如果希望在便宜的 PC 机上生成类似的图形,又缺乏基本的编程工具,本书可以提供一些帮助。如果使用的是 VGA 卡或更高级的 24 位彩色图形卡,就可以用本书中的程序和库生成高质量的逼真的计算机图形。软件是模块化的,可以进行修改,以适应不同的环境。

- 第一部分介绍计算机图形学要求的向量和矩阵算术工具,并通过示例程序讲解这些工具的用途。
- 第二部分讨论光线追踪程序的生成和使用,并给出了实际的 C 代码。这一部分还讲解了关于光线追踪和阴影物体的照射模型的基本理论。
- 第三部分介绍了过程定义的物体,包括分形大陆的形成、四个一组的小片、三维 Julia 和 Mandelbrot 集,以及旋转的实体。
- 第四部分讨论怎样生成用于建造物体数据库的三维建模工具。使用三维光标键,可以使组成物体的各基本体的线框轮廓上下、左右、远近移动。
- 第五部分介绍了生成图像之后怎样提高图像质量。使用普通 VGA 时,可以使用这里介绍的颜色缩减方法,将 24 位颜色数据缩减为 8 位颜色数据。
- 第六部分介绍了一些图形显示设备,以及怎样使用这些设备显示生成的图形。
- 第七部分讨论了本书范围之外的一些内容,如动画、复杂的光线跟踪及立体图形等。

书后所附的两张 5 寸 1.2M 软盘中包含了本书涉及的所有图形软件,包括建模和绘图软件,以及颜色缩减软件。盘中还包含一些图形文件和生成中间插页图形所需的全部图形文件。

绪 论

大家都从电影、电视和杂志上看到过美妙的三维计算机图形。如果想在价格低廉的 PC 机上生成类似的图形,又缺乏基本的编程工具,那就应该读一下这本书。利用本书中的程序和库,可以在普通 VGA 或更高级的 24 位彩色图形设备上生成高质量的逼真的计算机图形。本书还特别提供了 STB Powergraph ERGO VGA 和 Cardinal 7000 24 位彩色图形卡的图形驱动程序。软件是模块化的,略加修改就可以适用于其它环境。

生成复杂的三维图形与制作电影很相似。制图者相当于电影导演,必须与各方面协调。演员(环境中的物体)、脚本(物体的动作和摄影机怎样移动)、艺术指导(指定图形亮度和各组成部分的外观)、摄影(控制摄影机的移动、焦点、景深等)和其他相关人员都对最后生成的图形有影响。本书中的软件可以创建十分逼真的图形,也可以创建现实中根本不可能出现的画面。

0.1 本书的组织

本书逻辑上分为八个部分,每部分介绍计算机图形技术的一个方面。每一章都是综合性的,需要使用前面各章讲述的内容,以便生成更复杂的画面。本书讨论了基本的三维图形和数学模块,它们是大多数程序的基本构成模块,还讨论了称为光线追踪的屏幕描绘技术。本书介绍了使用例程或手工创建光线追踪程序所需物体的方法,并探讨了在 VGA 显示设备上生成最佳效果的技术。

第一部分阐述了标识程序和伪代码中变量、过程和其它项目的规则,这样能使代码易于读懂。第一部分还介绍了计算机图形技术需要的向量和矩阵数学工具。这些工具是按易用易找的原则组织起来的。图形命令是用 Borland C++ 按通用的原则编写的,以便根据情况选择自己的编译器。其中主要的编译器是 Watcom C 9.0 和 Borland C++ 3.1。

第二部分讨论光线追踪。其解释由伪代码给出,文中也附带了实际的 C 代码。第二部分还介绍了光线-物体相交检验、物体表面一般计算、阴影计算、用于提高光线追踪速度的 Kay-Kajiya 包围片、照射模型及基本光学理论。还要学习通过例程或扫描进来的图像给物体加上纹理。在这一部分我们可以看到,通过使用光线对图形取样,并对结果取平均值,可以消除物体边缘的锯齿,有效地防止变形,使物体看上去更加真实。还可以了解追踪反射物体或通过水和玻璃的光线时,光线的反射和折射情况。对于使用小平面(三角形平面之类的小平面)创建的物体,还可通过一种沿表面法线的特殊技术,使物体更加平滑,更有立体感。

第三部分阐述了怎样创建光线追踪所需的数据库。作为 Z 缓冲区所生成的分形图形(如山脉、三维 Julia 和 Mandelbrot 集)栩栩如生。这一部分将 Hamiltonian/Norton 四元数作为 Z 缓冲区的近似进行光线追踪。并介绍了创建碎片表面(如池塘和桌面)的方法,以及生成湍流中的云朵的例程。使用叠加的正弦波,还可以创建美丽而逼真的水面景象。

第四部分介绍了一种简单的三维 CAD 线框编辑器,使用它可以创建光线追踪程序需

要的物体。通过平移、旋转和缩放球体、圆锥、圆柱、立方体和金字塔等简单形体,可以交互地创建字母和其它物体。

第五部分介绍生成图形后提高其质量的方法。讨论了过滤等技术。这一部分还介绍了为 VGA 硬件(仅 256 种颜色)设计的直方图和中点切分方法,因为光线追踪程序计算 24 位颜色(16 777 216 种颜色)。这一部分还介绍了使用 Floyd-Steinberg 抖动法淡化颜色缩减时产生的错误。并讨论了有序抖动法。

第六部分介绍了某些图形设备的驱动程序。给出了关于 STB PowerGraph ERGO VGA (1024×768-256 色)和 Cardinal 7000(640×480-16 777 216 色)硬件的信息,其中包括这两种卡的一般编程信息和显示程序。

第七部分涉及本书范围之外的一些话题,包括计算机动画和制作、辐射等更高级的图形技术及光线追踪在其中的作用、其它光线追踪方法,以及立体图像技术。

0.2 第一部分

第一章介绍了本书软件采取的组织方法,函数、变量和宏的命名原则,以及 C 语言在图形方面的应用的一般性知识。

0.2.1 数学模块

第二章介绍了计算机图形学常用的数学函数。这些函数是本书大多数程序的核心。其中有直接对三维物体及其环境进行操作的例程。所有关于三维向量和矩阵的数学运算都由这些函数进行。

转换用矩阵来表示。转换的形式包括平移(在平面上移动一点)、缩放(更改向量的长度)和旋转(围绕坐标轴旋转某一点)。这些转换的妙处在于它们的任意组合都可以用一个仿射矩阵表示。这样,就可以紧凑而高效地表示物体或照相机的运动,同时也方便了光源建模,因为光线与表面的相交可以用从光源指向表面的一个三维向量表示。这个模块还包含一个伪随机数生成器,用于过程建模和纹理构造。种子值可以由自己控制,所以软件可以依靠此函数生成同样的结果。

0.2.2 图形界面模块

第三章包含一些有用的图形函数,本书的软件需要使用这些函数。基本绘图、调色板操作、画圆和画线、图形模式的选择等都在这一章介绍。这些函数调用访问特定的图形硬件和编译器的基本函数。这一章还要介绍三维理论,以及三维点对二维屏幕的正交和透视投影。此外,还介绍了线框绘图函数,用于画出模型的轮廓,而不画出实体模型。

0.2.3 使用这些模块

第四章开始涉及真正有趣的内容了。这一章将要学习怎样使用第一章到第三章介绍的工具。

第一个程序生成一个二维的分形晶体生长过程,晶体的生长就象有许多看似随机的分支的银器。这一章还介绍了二维小草、灌木和珊瑚的生长,植物一直向上生长,直到阳光被植