

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机图形学 实用教程 (第2版)

Computer Graphics (2nd Edition)

苏小红 李东 唐好选 等 编著
马培东 主审

- 内容侧重计算机图形学基本算法
- 兼顾最新计算机图形学实用技术
- 简明叙述辅以丰富图例进行说明



精品系列

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

清华大学出版社“十二五”重点图书出版项目

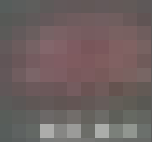
清华大学出版社“十二五”重点教材出版项目

计算机图形学 实用教程 (第2版)

清华大学出版社“十二五”重点教材出版项目

清华大学出版社“十二五”重点教材出版项目

- 1. 全面覆盖图形学基础知识
- 2. 注重理论与实践相结合
- 3. 突出工程应用特色



清华大学出版社
Tsinghua University Press

21世纪高等学校计算机规划教材

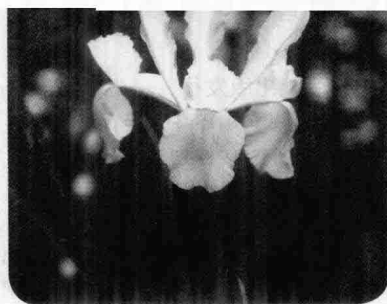
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机图形学 实用教程 (第2版)

Computer Graphics (2nd Edition)

苏小红 李东 唐好选 等 编著

马培东 主审



精品系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机图形学实用教程 / 苏小红等编著. -- 2版
— 北京 : 人民邮电出版社, 2010.9
21世纪高等学校计算机规划教材. 精品系列
ISBN 978-7-115-22732-4

I. ①计… II. ①苏… III. ①计算机图形学—高等学
校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第116398号

内 容 提 要

本书是《计算机图形学实用教程》的第2版,是黑龙江省省级精品课程配套教材。

全书由11章组成,内容主要包括绪论,交互式计算机图形处理系统,基本图形生成算法,自由曲线和曲面,图形变换与裁剪,实体几何造型基础,自然景物模拟与分形艺术,真实感图形显示,颜色科学基础及其应用,计算机动画、基于图像的三维重建等。

本书内容丰富,可作为本科生或研究生计算机图形学课程的教学用书或学生自学的参考书。本书还将为任课教师免费提供电子课件和书中部分算法的源程序(可按前言提供的方式索取)。

21世纪高等学校计算机规划教材

计算机图形学实用教程(第2版)

-
- ◆ 编 著 苏小红 李 东 唐好选 等
主 审 马培东
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22 2010年9月第2版
字数: 580千字 2010年9月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-22732-4

定价: 38.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前言

本书是《计算机图形学实用教程》的第 2 版,是黑龙江省省级精品课程配套教材。本书内容丰富,可作为本科生或研究生计算机图形学课程的教学用书或学生自学的参考书。

在内容编排上,本书侧重于图形学基本算法的介绍,同时还介绍了实体几何造型、真实感图形显示、分形几何、色彩管理、计算机动画、基于图像的三维重建等最新的计算机图形学实用技术。在第 2 章中还介绍了目前最新的图形输入/输出设备。

作者曾长期与日本 Canon 公司进行有关色彩匹配方面的合作研究,并在《计算机学报》等刊物上发表研究论文。本书中汇集了作者近年来在色彩管理与色彩匹配、彩色半色调打印、分形几何与分形艺术、计算机辅助几何设计、基于图像的三维重建等方面的研究成果,内容兼顾计算机图形学基础算法和最新的计算机图形学研究内容,力求给读者以耳目一新之感。

本书在语言叙述上,力求简明扼要、通俗易懂,并辅以丰富的图例进行解释说明。为节省篇幅,书中没有给出算法的源代码,部分算法的源程序将随多媒体教学课件一起免费为使用本教材的教学单位提供。有需要者可与作者本人直接联系。

学时建议:

对本科生 30 学时的课程,建议:第 1 章 2 学时;第 2 章 2 学时;第 3 章 4 学时;第 4 章 6 学时;第 5 章 4 学时;第 6 章 4 学时;第 7 章 4 学时;第 10 章 4 学时。

对研究生 30 学时的课程,建议:第 1 章 2 学时;第 2 章 2 学时;第 4 章 4 学时;第 5 章 4 学时;第 6 章 4 学时;第 7 章 4 学时;第 8 章 6 学时;第 10 章 4 学时。

对研究生 40 学时的课程,建议:第 1 章 2 学时;第 2 章 2 学时;第 4 章 6 学时;第 5 章 4 学时;第 6 章 4 学时;第 7 章 6 学时;第 8 章 6 学时;第 9 章 2 学时;第 10 章 4 学时;第 11 章 4 学时。

全书的统稿工作由苏小红教授完成,第 2、4、7、8、9、10 章由苏小红教授编写,第 1、3、5、6 章由李东教授编写,第 11 章以及 7.5 节由唐好选老师编写,蔡则苏等老师进行了书稿校对工作。

在本书写作过程中,马培军教授在百忙之中审阅了全部初稿,提出了许多宝贵的意见和建议。在此向他表示衷心的感谢。

因编者水平有限,书中错误在所难免,恳请批评指正。编者的 E-mail 地址为: sxh@hit.edu.cn。欢迎读者来信提出宝贵意见。

编者

2010 年 7 月

于哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院

目 录

第 1 章 绪论	1	习题 2	39
1.1 计算机图形学的研究内容及其与 相关学科的关系	1	第 3 章 基本图形生成算法	40
1.1.1 什么是计算机图形学	1	3.1 直线的扫描转换	40
1.1.2 计算机图形学的研究内容	2	3.1.1 光栅图形中点的表示	40
1.1.3 计算机图形学与其他相关学科的 关系	2	3.1.2 绘制直线的要求	40
1.2 计算机图形学的发展与应用	3	3.1.3 数值微分画线法	41
1.2.1 计算机图形学的发展简史和 发展方向	3	3.1.4 中点画线法	43
1.2.2 计算机图形学的应用领域	5	3.1.5 Bresenham 画线算法	44
1.3 本章小结	8	3.2 圆和圆弧的扫描转换	46
习题 1	8	3.2.1 圆的特性	46
第 2 章 交互式计算机图形处理系统	9	3.2.2 数值微分画圆法	46
2.1 交互式计算机图形系统的组成	9	3.2.3 中点画圆法	48
2.2 图形输入设备	10	3.2.4 Bresenham 画圆算法	49
2.2.1 一般输入设备	10	3.2.5 多边形逼近画圆法	52
2.2.2 图形输入设备	13	3.3 线宽与线型的处理	53
2.3 视频显示设备	16	3.3.1 线宽的处理	54
2.3.1 光栅扫描显示器	16	3.3.2 线型的处理	55
2.3.2 平板显示器	28	3.4 实区域填充算法	56
2.3.3 未来的显示器	31	3.4.1 实区域填充算法的基本思路	56
2.4 图形绘制设备	32	3.4.2 一般多边形的填充过程及其存在的 问题	56
2.4.1 绘图仪	32	3.4.3 有序边表算法	59
2.4.2 打印机	33	3.4.4 边填充算法	62
2.5 虚拟现实应用中的动态交互感知设备	34	3.4.5 简单的种子填充算法	64
2.6 OpenGL 图形标准	36	3.4.6 扫描线种子填充算法	66
2.6.1 OpenGL 简介	36	3.5 图形反走样技术	68
2.6.2 OpenGL 的主要特点和功能	36	3.5.1 光栅图形的走样现象及其原因	68
2.6.3 OpenGL 的工作流程	37	3.5.2 常用反走样技术	69
2.6.4 OpenGL 开发库的基本组成	37	3.5.3 Bresenham 区域反走样算法	71
2.6.5 如何在 Visual C++环境中使用 OpenGL 库函数	38	3.6 本章小结	73
2.7 本章小结	38	习题 3	73
		第 4 章 自由曲线和曲面	74
		4.1 计算机辅助几何设计概述	74
		4.1.1 CAGD 的研究内容	74

4.1.2 对形状数学描述的要求	75	5.2.2 齐次坐标技术	121
4.1.3 自由型曲线和曲面的一般设计 过程和数学表示	77	5.2.3 二维组合变换	122
4.1.4 自由曲线曲面的发展历程	79	5.3 三维图形几何变换	126
4.2 参数样条曲线	80	5.3.1 三维空间坐标系	126
4.2.1 线性插值与抛物线插值	80	5.3.2 三维图形几何变换	127
4.2.2 参数样条曲线与样条插值	81	5.3.3 三维图形的组合变换	132
4.3 Bézier 曲线	87	5.4 投影变换	133
4.3.1 Bézier 曲线的数学表示	87	5.4.1 投影变换的分类	133
4.3.2 Bézier 曲线的性质	88	5.4.2 平行投影	134
4.3.3 常用的 Bézier 曲线	90	5.4.3 透视投影	139
4.3.4 Bézier 曲线的拼接	92	5.5 二维线段裁剪	141
4.3.5 de Casteljau 递推算法	93	5.5.1 矩形窗口裁剪算法	142
4.3.6 反求 Bézier 曲线控制点	94	5.5.2 圆形窗口裁剪算法	147
4.3.7 有理 Bézier 曲线	95	5.5.3 多边形窗口裁剪算法	149
4.4 B 样条曲线	95	5.6 多边形的裁剪	152
4.4.1 问题的提出	95	5.6.1 Sutherland-Hodgman 算法	152
4.4.2 B 样条曲线的数学表示	96	5.6.2 Weiler-Atherton 算法	154
4.4.3 二次 B 样条曲线	97	5.7 三维线段裁剪	156
4.4.4 三次 B 样条曲线	98	5.7.1 平行投影中的三维裁剪	156
4.4.5 B 样条曲线的几种特殊情况	99	5.7.2 透视投影中的三维裁剪	157
4.4.6 反求 B 样条曲线控制顶点	101	5.8 本章小结	159
4.4.7 均匀 B 样条、准均匀 B 样条与非 均匀 B 样条	106	习题 5	159
4.4.8 B 样条曲线的离散生成——deBoor 分割算法	109	第 6 章 实体几何造型基础	160
4.4.9 非均匀有理 B 样条 (NURBS) 曲线	110	6.1 多面体模型和曲面模型	160
4.5 自由曲面	111	6.1.1 多面体模型	160
4.5.1 参数多项式曲面	112	6.1.2 曲面模型	162
4.5.2 Coons 曲面	113	6.2 线框模型、表面模型和实体模型	164
4.5.3 Bézier 曲面	114	6.3 实体几何造型系统的发展	166
4.5.4 B 样条曲面	116	6.4 实体的定义与运算	166
4.6 本章小结	117	6.4.1 实体的定义	166
习题 4	118	6.4.2 欧拉公式与欧拉运算	169
第 5 章 图形变换与裁剪	119	6.4.3 实体的正则集合运算	171
5.1 窗口视图变换	119	6.5 实体的表示方法	173
5.2 二维图形几何变换	120	6.5.1 实体的边界表示	173
5.2.1 二维图形几何变换原理	120	6.5.2 实体的分解表示	175
		6.5.3 实体的构造实体几何表示	177
		6.5.4 实体的扫描表示	178
		6.5.5 实体的元球表示	180
		6.6 本章小结	180

习题 6	180	8.3.8 Warnock 算法	239
第 7 章 自然景物模拟与分形艺术	181	8.3.9 光线投射算法	240
7.1 分形几何的基础知识	181	8.4 阴影生成	241
7.1.1 分形几何学的产生	181	8.5 基本光照模型	242
7.1.2 分形维数与分形几何	183	8.5.1 环境光模型	243
7.1.3 什么是分形	185	8.5.2 Lambert 漫反射模型	244
7.2 分形图形的生成方法	186	8.5.3 镜面反射和 Phong 模型	245
7.2.1 随机插值模型	186	8.5.4 简单的透明模型	247
7.2.2 迭代函数系统	187	8.6 整体光照模型	248
7.2.3 L 系统	192	8.7 多边形表示的明暗处理	249
7.2.4 粒子系统	196	8.7.1 Gouraud 明暗处理	249
7.3 Julia 集与 Mandelbrot 集	197	8.7.2 Phong 明暗处理	251
7.3.1 概述	197	8.8 半色调技术	252
7.3.2 Julia 集与 Mandelbrot 集	197	8.8.1 模式单元法	252
7.3.3 广义 Julia 集与 Mandelbrot 集	201	8.8.2 抖动技术	253
7.4 复平面域的 Newton-Raphson 方法	201	8.9 光线跟踪技术	256
7.4.1 概述	201	8.9.1 光线跟踪的基本原理	256
7.4.2 改进的 Newton-Raphson 方法生 成分形艺术图形	203	8.9.2 光线跟踪的求交计算	257
7.5 自然景物模拟实例	205	8.10 纹理细节模拟	258
7.5.1 分形山模拟实例	206	8.10.1 纹理分类	258
7.5.2 植物形态模拟实例	212	8.10.2 颜色纹理	258
7.5.3 雨雪现象的模拟实例	215	8.10.3 几何纹理	261
7.5.4 液态流体模拟实例	218	8.10.4 过程纹理	262
7.5.5 气态流体模拟实例	222	8.11 本章小结	262
7.6 本章小结	225	习题 8	262
习题 7	225	第 9 章 颜色科学基础及其应用	263
第 8 章 真实感图形显示	226	9.1 颜色的基本知识	263
8.1 三维图形显示的基本流程	226	9.1.1 颜色的基本概念	263
8.2 取景变换	226	9.1.2 视觉现象	264
8.3 隐藏面的消除	229	9.1.3 颜色视觉的机理	266
8.3.1 背面剔除算法	230	9.2 常用的颜色空间	268
8.3.2 画家算法	231	9.2.1 与图形处理相关的颜色空间	268
8.3.3 Weiler-Atherton 算法	232	9.2.2 与设备无关的颜色空间	272
8.3.4 BSP 树算法	233	9.2.3 电视系统颜色空间	276
8.3.5 深度缓冲器算法	234	9.3 色彩设计	279
8.3.6 扫描线 Z 缓冲器算法	236	9.3.1 色彩的情感	279
8.3.7 区间扫描线算法	238	9.3.2 面向色彩设计的 HSV 颜色模型	280
		9.3.3 HSV 与 RGB 的相互转换及其 应用	281

9.3.4 数字图像颜色类型	284	10.4.4 运动捕获技术	316
9.4 颜色再现与色彩管理	285	10.4.5 其他动画技术	316
9.4.1 颜色再现的目标	285	10.5 动画文件格式	317
9.4.2 颜色再现的科学性与艺术性	286	10.5.1 GIF 格式	317
9.4.3 颜色再现质量的评价	286	10.5.2 FLI/FLC 格式	317
9.4.4 为什么要进行色彩管理	286	10.5.3 SWF 格式	317
9.4.5 基于 ICC 标准的色彩管理	287	10.5.4 AVI 格式	318
9.4.6 色彩管理系统分类	290	10.5.5 MOV 格式	318
9.5 基于 ICC Profile 的色彩管理	291	10.6 计算机上的二维动画软件简介	318
9.5.1 ICC Profile 的类型及文件结构	291	10.7 常用的三维动画软件简介	319
9.5.2 基于 ICC Profile 的颜色空间变换	295	10.7.1 3D Studio 与 3DS MAX	319
9.5.3 ICC Profile 的局限性	298	10.7.2 Softimage 3D	320
9.6 色彩匹配	298	10.7.3 Maya 3D	320
9.6.1 彩色喷墨打印机工作原理	298	10.7.4 LIGHTWAVE 3D	321
9.6.2 影响色彩匹配质量的因素分析	299	10.8 本章小结	321
9.6.3 色彩匹配的难点	300	习题 10	321
9.6.4 常用的色彩匹配方法	301	第 11 章 基于图像的三维重建	322
9.7 黑色生成与灰度平衡	302	11.1 基于图像的三维重建技术简介	322
9.8 本章小结	304	11.1.1 明暗恢复形状法	324
习题 9	305	11.1.2 纹理恢复形状法	324
第 10 章 计算机动画	306	11.1.3 光度立体学方法	324
10.1 动画技术的起源、发展与应用	306	11.1.4 运动图像序列法	325
10.1.1 动画技术的起源与发展	306	11.1.5 立体视觉法	325
10.1.2 计算机动画的应用	307	11.1.6 各种三维重建方法的比较	325
10.1.3 计算机动画的未来	307	11.2 基于图像三维重建的基本步骤	326
10.2 传统动画	308	11.3 图像采集及摄像机定标	327
10.2.1 什么是动画	308	11.3.1 图像采集	327
10.2.2 传统动画片的制作过程	308	11.3.2 图像预处理	328
10.2.3 动作特效与画面切换方式	309	11.3.3 摄像机定标	329
10.3 计算机动画	310	11.4 特征提取与匹配	332
10.3.1 计算机在动画中所起的作用	310	11.4.1 特征提取	332
10.3.2 计算机动画系统的分类	311	11.4.2 特征匹配	333
10.3.3 计算机辅助二维动画	311	11.5 重建三维轮廓	336
10.3.4 计算机辅助三维动画	312	11.6 恢复模型的视觉外观	340
10.3.5 实时动画和逐帧动画	312	11.7 本章小结	342
10.4 计算机动画中的常用技术	313	习题 11	342
10.4.1 关键帧技术	313	参考文献	343
10.4.2 样条驱动技术	315		
10.4.3 Morphing 和 FFD 变形技术	315		

第 1 章

绪论

1.1 计算机图形学的研究内容及其与 相关学科的关系

计算机图形学 (Computer Graphics, CG) 是随着计算机及其外围设备的发展而产生和发展起来的, 它是建立在传统的图学理论、应用数学和计算机科学基础上的、由近代计算机科学与电视和图像处理技术发展融合而产生的一门边缘学科。计算机图形学现已成为计算机科学技术领域的一个重要分支, 并被广泛地应用于科学计算、航空航天、造船、汽车、电子、机械、土建工程、医药、轻纺化工、教育与培训、商业、娱乐、艺术、影视广告等应用领域, 与此同时, 在这些领域中的广泛应用也推动了计算机图形学软、硬件技术的不断发展, 充实和丰富了这门学科的研究内容。

1.1.1 什么是计算机图形学

国际标准化组织 (ISO) 给出的计算机图形学的定义为: 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。简单地说, 计算机图形学就是研究怎样用计算机生成、处理和显示图形的一门学科。

从用户与计算机的关系上来看, 计算机图形学可以分为两大类, 一类为非交互式计算机图形学 (Noninteractive Computer Graphics), 另一类为交互式计算机图形学 (Interactive Computer Graphics)。

交互式计算机图形学也称为主动式计算机图形学或者对话式计算机图形学, 它允许人与机器之间进行对话。计算机通过接收输入设备送来的信号 (数据或操作命令) 来修改所显示的图形, 而用户可将自己对图形的修改意见等通过输入设备“通知”计算机, 并能立刻得到机器的反应。交互式计算机图形学的出现给计算机图形学的发展与应用开辟了广阔的空间, 带来了巨大的经济效益和良好的社会效益。例如, 飞行训练模拟器就是一个交互式图形学的成功范例。它的应用为飞行员的训练带来的好处不仅仅是节省了设备 (飞机) 和燃料, 而且还提高了放单飞的成功率, 降低了飞行事故率。它还可以模拟那些无法抵达机场的实景, 进行起降训练, 具有重要的应用价值。

非交互式计算机图形学也称为被动式计算机图形学, 用户不能直接控制与修改所显示的图形。如果要修改图形, 只能去修改相关的图形文件, 然后再运行它, 以观察修改的结果。

非交互式计算机图形学在功能和应用上有限, 而且它的技术也都包含在交互式计算机图形学

之中。因此,本书所研究的计算机图形学指的就是交互式计算机图形学。

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计算机图形处理的硬件和软件两方面的技术,本书以计算机图形学的算法为主,除在第2章中介绍图形输入/输出硬件设备以外,在其后的各个章节中的内容都以算法为主,介绍各类常用的图形生成和处理技术。

围绕着生成、表示物体的图形的准确性、真实性和实时性,计算机图形学的相关算法主要包括以下几个方面:

- (1) 基于图形设备的基本图形元素的生成算法;
- (2) 图形的变换与裁剪;
- (3) 自由曲线和曲面的设计;
- (4) 三维实体造型技术;
- (5) 真实感图形的生成与显示技术;
- (6) 自然景物的模拟;
- (7) 色彩科学的基本理论;
- (8) 计算机动画显示技术;
- (9) 三维或高维数据场的可视化;
- (10) 图形的并行处理算法;
- (11) 交互式三维实时真实感图形显示——虚拟现实技术。

1.1.3 计算机图形学与其他相关学科的关系

计算机图形学是计算机科学与技术的一个重要分支,与计算机领域中的其他相关学科有着密切的联系,特别是与数字图像处理、模式识别和计算几何的关系最为密切。图1-1所示简单描述了上述元素之间的关系。

严格来讲,图形与图像的概念是有区分的。就表示方式而言,图形是面向对象(直线、圆、圆弧、多边形、填充区域)的,每个对象都是一个自成一体的实体,它同时具有几何属性和视觉属性;而图像则表示为一个点阵,它是由称为像素的单个点组成的。就来源而言,图形是由代码(算法)生成的;而图像通常是扫描输入、网络下载、数码照相、计算机屏幕抓图、图像软件绘制的。像Illustrator这样的图形设计软件生成的图形中记录的是构成图形的每个对象的位置、大小、形状、颜色等信息;而像Photoshop这样的图像处理软件生成的图像中记录的则是各空间位置点的颜色信息。

计算机图形学最直观的目的是将具有属性信息的几何模型显示在显示设备上,研究的是如何使用计算机通过建立数学模型或算法把真实或想象的物体在显示设备上构造和显示出来,这里所说的图形是设计和构造出来的,不是通过摄像机或扫描仪等设备输入的图像,因此计算机图形学研究的是图形的综合技术。

数字图像处理是景物或图像的分析 and 处理技术,主要任务是按照一定的目的和要求将一种图像变换处理成另一种图像,具体包括图像增强、图像复原、图像解析与理解、图像编码与数据压

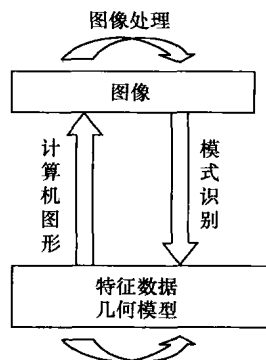


图1-1 计算机图形学与数字图像处理、模式识别和计算几何之间的关系

缩、图像匹配等技术。

模式识别研究的是计算机图形学的逆过程，其主要任务是识别出特定图像所模仿的标准模式，主要讨论从图像中提取物体的特征数据和数学模型，以实现景物或图像的分析与识别。计算机视觉是通过对三维世界所感知的二维图像来研究和提取三维景物世界的物理结构，是图像处理、模式识别和计算机图形学的综合应用。

计算几何和计算机辅助几何设计着重讨论的是几何形体的计算机表示、分析和综合，如何方便灵活地建立几何形体的数学模型，如何在计算机内更好地存储和管理这些模型数据等。

从传统意义上而言，计算机图形学和数字图像处理是两个不同的技术领域，但是近年来，随着多媒体技术、计算机动画、纹理映射以及实时真实感图形学技术的发展，计算机图形学和数字图像处理的结合日益紧密，并且相互渗透。这些学科之间的界限逐渐变得模糊起来，出现了一些交叉分支。例如，大家所熟知的计算机 X 射线断层摄影（Computer Tomography, CT）就是计算机图形学和图像处理相结合的产物。首先采用 X 射线获取人体器官的各断层影像，采用图像处理技术对器官的改变区域进行边界跟踪，再采用计算机图形学算法进行三维重建，以确定病变部位的三维形态。医学影像学中还采用超声波和核磁医学扫描仪等设备来获取数据，后续的数据处理也都采用了计算机图形学和图像处理技术。再如，利用计算机图形学中的分形几何方法实现分形图像压缩；将计算机生成的图形与扫描输入或者摄像机摄制的图像结合在一起，制作计算机动画；将扫描输入或者经过图像处理操作处理后的图像作为颜色纹理映射到三维景物的表面；应用图像处理方法来加速图形学的建模和绘制，利用已有的图像来生成不同视点下的场景真实感图形，即采用基于图像的绘制技术（Image Based Rendering）来提高生成真实感图形的速度和质量。当前基于图像的绘制技术已成为计算机图形学领域最热门的研究方向之一。

1.2 计算机图形学的发展与应用

1.2.1 计算机图形学的发展简史和发展方向

计算机图形学是伴随着计算机的出现而产生的，它主要经历了以下几个发展阶段。

1. 准备阶段（20 世纪 50 年代）

1950 年，第一台图形显示器诞生。这台类似于示波器的阴极射线管（CRT）显示器是美国麻省理工学院（MIT）的“旋风一号（Whirlwind I）”计算机的输出设备，它通过控制 CRT 生成和显示了一些简单的图形。由于当时的计算机主要用于科学计算，为这些计算机所配置的图形设备只具有输出功能，不具备人机交互功能。

到了 20 世纪 50 年代末期，MIT 的林肯实验室在其“旋风”计算机上研制开发了具有指挥和控制功能的 SAGE 空中防御系统，这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形，操作者可借用一种被称为“光笔”的交互设备指向屏幕上被确定的目标图形，来获取被选取对象的数据信息，在 CRT 显示器屏幕上选取图形，这是交互式计算机图形系统的雏形，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，MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了题为“Sketchpad: A Man Machine Graphical Communication System（Sketchpad：一个人机交互通信的图形系统）”的博士论文。他在论文中首次使用了“计算机图形学（Computer Graphics）”这个术语，并提出了交互技术、分层存储符号和

图素的数据结构等概念,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,奠定了交互式计算机图形学研究的基础,确立了计算机图形学作为一个独立的新兴学科的地位,同时也奠定了他作为“计算机图形学之父”的基础。

Sutherland 开发的 Sketchpad 系统是一个三维交互式图形系统,能够产生直线、圆、圆弧等图形,并有一定的交互功能。它的工作原理是:光笔在计算机屏幕表面上移动时,通过一个光栅系统测量笔在水平和垂直两个方向上的运动,从而在屏幕上重建由光笔移动所生成的线条,并且可以对线条进行拉长、缩短和旋转等操作,线条可以相互连接起来表示任何物体。Sketchpad 的成功也奠定了 Sutherland 作为“计算机图形学之父”的基础,并为计算机仿真、飞行模拟器、CAD/CAM、电子游戏机等重要应用的发展打开了通路。1988年, Ivan E. Sutherland 因此而获得图灵奖, ACM 除授予他图灵奖以外, 1994 年还授予他软件系统奖。

20 世纪 60 年代的中、后期,美国的 MIT、通用汽车公司、贝尔电话实验室、洛克希德飞机公司、法国雷诺汽车公司等相继开展了对计算机图形学大规模的研究活动,同时,英国的剑桥大学等各国的大学和研究机构也开始了这方面的工作,计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)也作为一个技术概念于 1968 年的美国国防与工业会议上被正式采纳,使计算机图形学的研究进入了迅速发展并逐步得到应用的新时期。

3. 推广应用阶段(20 世纪 70 年代)

20 世纪 70 年代是计算机图形学蓬勃发展、开花结果的年代。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,使得计算机图形学进入了第一个兴盛的时期,并开始出现实用的 CAD 图形系统。众多商品化软件的出现,使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 2 版,增加了包括光栅图形显示技术在内的许多其他功能。

在这十年期间,随着图形标准的出现,许多新的、功能完备的图形系统开始问世,交互式计算机图形系统得到了广泛的应用,不仅存在于传统的军事和工业领域,而且还进入了科学研究、教育、艺术及事务管理等领域,这些应用极大地推动了计算机图形学的发展,尤其是对图形硬件设备的制造和发展。

4. 系统实用化阶段(20 世纪 80 年代)

进入 20 世纪 80 年代,超大规模集成电路的发展为计算机图形学的发展奠定了物质基础,具有高速图形处理能力的图形工作站的出现,又进一步促进了计算机图形学的发展,工作站已经取代小型计算机成为图形生成的主要环境。同时,三维计算机图形的国际标准 PHIGS 和 GKS-3D 的颁布,为研制通用的图形系统提供了良好的基础。

20 世纪 80 年代后期,带有光栅扫描显示器的微型计算机的性能迅速提高,同时其价格低廉,因而得以广泛普及和推广,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软件的全面出现,如 Windows, Office, AutoCAD, CorelDRAW, Freehand, 3D Studio 等,使计算机图形学应用得到了前所未有的发展。

5. 标准智能化阶段(20 世纪 90 年代)

20 世纪 90 年代,随着多媒体技术的提出,计算机图形学的功能有了很大的提高,计算机图形系统已成为计算机系统必不可少的组成部分,随着面向对象的程序设计语言的发展,出现了面向对象的计算机图形系统,计算机图形学开始朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。

一方面,国际标准化组织(ISO)公布的图形标准越来越多,且更加成熟,并得到了广泛的

认同和采用。这些图形标准包括计算机图形接口标准 (Computer Graphics Interface, CGI)、计算机图形元文件标准 (Computer Graphics Metafile, CGM)、图形核心系统 (Graphics Kernel System, GKS)、三维图形核心系统 GKS-3D 和程序员层次交互式图形系统 (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System, PHIGS)。图形软件标准制定的主要目标是提供计算机图形操作所需要的功能, 包含有图形的输入和输出、图形数据的组织和交互等, 使现有的计算机和图形设备的功能得到有效利用, 以满足实际应用的需要, 在不同的计算机系统、不同的应用系统、不同的用户之间进行信息交换, 使图形、程序等可以重复使用, 与设备无关, 实现对设备的独立性, 便于移植, 减少应用系统的开发费用, 减少因重复开发带来的浪费。

另一方面, 多媒体技术、人工智能技术以及专家系统技术和计算机图形学的有机结合使得许多应用系统具有了智能化的特点, 而智能 CAD 技术、虚拟现实技术的应用又向计算机图形学提出了更新更高的要求。

21 世纪以来, 计算机图形系统以其更高的性能价格比和优良完善的功能进入到人类社会的各个领域, 并在真实性和实时性两方面得到了更快的发展。今后, 一方面, 图形设备与图形系统将更加智能化, 将人工智能和数据挖掘技术等引入图形系统, 提高了图形系统的交互功能, 使人机界面更友好、更人性化, 并且具有学习、理解和咨询服务等人的智能。另一方面, 图形系统将更加多媒体化, 支持图形数据、图像数据、声音数据和文本数据的多媒体数据库将会成为图形系统的数据管理中心, 图形系统将具有更强的多媒体功能以及更广阔的应用前景。

1.2.2 计算机图形学的应用领域

自交互式计算机图形学诞生以来, 计算机图形学的研究与图形设备的发展推动了它在各个领域的应用, 而图形系统的应用又反过来促进了计算机图形学的研究与图形设备的进步。计算机图形学现已成为用户接口、计算机辅助设计与制造、科学计算的可视化、影视、动画、计算机艺术、虚拟现实和许多其他应用中的重要组成部分。尤其是近十年间, 随着硬件技术的飞速发展和软件技术的巨大进步, 计算机图形学的应用领域越来越广泛, 已经深入到整个社会生活的各个方面。主要的应用领域如下。

1. 图形用户接口

用户接口是计算机系统中人与计算机之间相互通信的重要组成部分, 是人们使用计算机的第一观感。一个友好的图形化的用户界面能够大大提高软件的易用性, 在 DOS 时代, 计算机的易用性很差, 编写一个图形化的界面要花费大量的劳动, 传统软件中有 60% 以上的代码用来处理与用户接口有关的问题和功能。进入 20 世纪 80 年代后, 在用户接口中广泛使用了图形用户界面 (Graphical User Interfaces, GUI), 如菜单、对话框、图标和工具栏等, 大大提高了用户接口的直观性和友好性, 以及软件的质量和开发效率。特别是微软公司 Windows 操作系统的普及, 极大地改善了计算机的可用性和有效性, 迅速代替了以命令行为代表的字符界面, 成为当今计算机用户界面设计的主流。图形用户接口的主体部分是一个允许用户显示多个窗口区域 (视图区) 的窗口管理程序。各窗口可以获得图形的或非图形的显示。这种窗口功能对于人机交互过程是不可缺少的, 特别是图形接口, 为用户提供了直观和易于理解与接受的人机界面, 拉近了计算机与用户的距离。如今在任何一台普通计算机上都可以看到计算机图形学在用户接口方面的应用。操作系统和应用软件中的图形、动画比比皆是, 使应用程序直观易用, 无需说明书, 用户根据它的图形或动画界面的指示即可进行操作。

以用户为中心的系统设计思想、增进人机交互的自然性、提高人机交互的效率和带宽是目前用户接口的主要研究方向。为此, 人们提出了多通道用户接口的思想, 它包括语言、姿势输入、头部跟踪、视觉跟踪、立体显示、三维交互技术、感觉反馈以及自然语言界面等, 即人体的任何部分都将成为人

机对话的通道。虚拟现实是其实现的关键所在,这不仅要求软件实现,更需要在硬件上实现。

2. 计算机辅助设计与制造——工业领域

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用领域。计算机图形学被用来进行产品设计和工程设计,生产周期短,效率高,精确性和可靠性高,可以用于飞机、汽车、船舶、建筑、轻工、机电、服装的外形设计,大规模集成电路、印刷电路板的设计,以及发电厂、化工厂等的布局等。例如,在电子工业中,应用CAD技术进行集成电路、印刷电路板的设计,可以使无法用手工设计和绘制的大规模或超大规模集成电路板图在较短时间内完成设计和绘图,并把设计结果直接送至后续工艺进行加工处理。在飞机工业中,美国波音飞机公司的波音777飞机的整体设计和模拟(包括飞机外型、内部零部件的安装和检验)就是利用有关的CAD系统实现的,使其设计制造成本下降30%以上。在建筑设计中,除了可以利用CAD技术完成建筑的二维工程图之外,还可以使建筑师和用户直接看到建筑的外貌,显示出逼真的外观效果图对密集的楼群地段进行光照分析,同时还可以完成结构设计、给排水设计、电器设计和装饰设计等。由计算机制作的足以以假乱真的建筑效果图,现在已成为建筑设计不可缺少的技术。结合虚拟现实技术,还可以模拟出三维的室内布局、装饰和照明效果,让建筑师和用户逐个房间参观和考察设计的效果。在轻纺工业领域,对纺织品的织纹设计、织物的图案设计、地毯图案设计、服装设计等也都开始采用CAD技术。CAD技术的采用减轻了设计人员的劳动强度,加快了设计速度,提高了设计质量,缩短了产品上市时间,从而提高了产品的竞争力。

CAD领域另一个非常重要的研究领域是基于工程图纸的三维形体重建。三维形体重建就是从二维信息中提取三维信息,通过对这些信息进行分类、综合等一系列处理,在三维空间中重构成二维信息所对应的三维形体,恢复形体的点、线、面及其拓扑关系,从而实现形体的三维重建。

3. 计算机动画——商业领域

为了避免画面闪烁,产生连续的画面需24帧/秒,所以制作较长时间的动画,往往需要几万、几十万甚至上千万幅画面,工作量是相当大的,利用计算机使用关键帧插值技术,自动在两幅关键画面之间插入中间画面,大大提高了动画制作的效率,缩短了动画制作的周期。

利用计算机动画技术生产动画片,使角色造型、色彩搭配和角色的运动路径规划等环节的设计变得更加容易。特别是在制作影视特技方面更有其优势。计算机图形学为电影制作开辟了一条全新的道路。现代电影几乎都用到了数字合成技术,除了添加背景、生成前景等,还可以产生以假乱真而又惊险的特技效果,如模拟大楼被炸、桥梁坍塌等。例如,影片《珍珠港》中的灾难景象就是利用计算机动画制作的。而《侏罗纪公园》、《指环王》和《阿凡达》等影片中的许多精彩镜头也都是计算机动画的功劳,因此可以说影视特技的发展和计算机动画的发展是相互促进的。

如今,计算机图形学技术已越来越多地进入商业领域,除了用于制作动画片和影视特效外,还常用于制作音乐录像片、视频游戏等。在科学研究、视觉模拟、电子游戏、工业设计、教学训练、写真仿真、过程控制、建筑设计、军事战术模拟等许多领域都有重要应用。计算机图形学、计算机绘画、计算机音乐、计算机辅助设计、电影技术、电视技术、计算机软件和硬件技术等众多学科的最新成果都对计算机动画技术的研究和发展起着十分重要的推动作用。

4. 计算机艺术——艺术领域

将计算机图形学和人工智能技术引入计算机艺术领域,生成各种美术图案、花纹、盆景、工艺外形以及油画和书法等,是近年来计算机图形学的另一个活跃的研究分支。

所谓计算机艺术(Computer Art)就是以计算机为工具创意、设计或制作的艺术作品,包括计算机美术绘画(平面图形)、书法、雕塑(立体图形)、印染、编织、音乐、体操舞蹈设计等,

它集中体现了科学与艺术相融合的特点,因此计算机艺术是科学与艺术相结合的一门新兴的交叉学科。计算机艺术的含义很广,其中以美术作品所占的比重最大。因此,计算机艺术主要指计算机美术,即美术工作者利用计算机提供的功能在屏幕上创作他们的美术作品。计算机艺术使得艺术家置身于全新的作画环境,屏幕代替了画板,鼠标代替了画笔,电子合成颜色代替了调色板,作为一种特殊的艺术形式,它使得计算机科学家和艺术家走到了一起。目前可专门用于美术创作的软件很多,如美术字生成软件、中国画绘制工具软件、西洋画绘制工具等。美术工作者利用这些软件,特别是结合一些数学函数软件包、三维建模软件包和分形几何软件包的应用,可以创造出许多人们意想不到的美术作品,产生超乎想象的效果。

计算机艺术包括计算机平面绘画艺术、计算机数字图像合成艺术、计算机图形设计艺术等多个方面,计算机艺术广泛应用在工业产品设计、建筑和环境设计、广告设计、网页和新媒体设计、纺织品和服装设计、平面装饰设计、影视特技设计、动画和游戏设计。其中,计算机绘画(Computer Painting)主要指利用鼠标或数字压感光笔直接在屏幕或数字化板上进行的绘画,主要应用于手绘动画和漫画创作。可用于计算机绘画的软件包括 Corel Painter、Adobe Photoshop 等。计算机绘画易于修改、效果丰富、成本较低,但对于计算机设备要求较高,而且要求绘画者有扎实的美术功底。计算机数字图像合成艺术(Computer Image Editing and Montage Art)主要指利用计算机对扫描或数码相机导入的图像素材进行编辑、合成以及后期特技处理所产生的新的视觉作品,应用于影视后期和多媒体创作。可用计算机数字图像合成的软件包括 Corel Painter、Adobe Photoshop 等。计算机数字图像合成艺术易于掌握、便于普及、效果丰富、成本较低,合成图像可以带有荒诞、刺激、搞笑、离奇和超现实主义风格的效果,并带有“蒙太奇艺术”的特点。

近年来,非真实感图形绘制技术(Non-Photorealistic Rendering, NPR)即用数字方法对传统绘画进行模拟,在计算机艺术中发挥重要作用,广泛用于文学读物插图尤其是儿童读物插图的绘制。

5. 科学计算的可视化

科学技术的迅猛发展,数据量的与日俱增使得人们对数据的分析和处理变得越来越难,人们无法从数据海洋中得到最有用的数据,找到数据的变化规律,提取最本质的特征。对这些数据进行收集和处理以获得有价值的信息,是一项非常繁杂的工作。如果能够将这些数据用图形的形式表示出来,那么这些数据间的关系、变化趋势和模式就能得以清晰显现了。科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)就是将科学计算过程中产生的大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来,以加深人们对科学过程的理解和认识,为人们分析和理解数据提供方便。科学计算、工程和化学分析等的大量难以理解的数据集或过程而生成的图形表示通常称为科学计算可视化(Scientific Visualization)。为工业、商业、金融和其他非科学计算领域的数据可视化通常称为商用可视化(Business Visualization)。其核心是三维数据场的可视化,它涉及计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计以及交互技术等几个领域。现已广泛应用于气象分析、医学图像重建、计算流体力学、空气动力学、天体物理、分子生物学、有限元分析、石油地质勘探、核爆炸模拟等许多领域。目前科学计算可视化技术在美国的国家实验室及大学中已经从研究走向应用,并且正从后处理向实时跟踪和交互控制方向发展。

6. 虚拟现实应用

虚拟现实(Virtual Reality)一词是由美国喷气推动实验室的创始人 Jaron Lanier 首先提出的。虚拟现实技术是指利用计算机图形产生器、位置跟踪器、多功能传感器和控制器等有效地模拟实际场景和情形,从而使观察者产生一种真实的身临其境的感觉。它是建立在计算机图形学、人机接口技术、传感技术和人工智能等学科基础上、多学科交叉和综合集成的新技术。虚拟现实技术

最基本的要求就是反映的实时性和场景的真实性,这使得它在军事、医学、设计、艺术、娱乐等多个领域都得到了广泛的应用,被认为是21世纪大有发展前途的科学技术领域。

例如,在建筑设计应用中,将建筑设计师们设计的未来建筑显示在虚拟工作平台上,佩戴特制的液晶眼镜可以看到建筑的立体设计效果,并方便地增添或移去建筑的一部分或其他物体,还可以通过数据手套来设置不同的光源,模拟不同时间的日光和月光,观察在不同光线下所设计建筑的美感以及与整个环境的协调性。

再如,在虚拟手术仿真应用中,将医用CT扫描的数据转化为三维图像,并通过一定的技术生成在人体内漫游的图像,使医生能够看到并准确地判别病人体内的患处,然后通过碰撞检测等技术实现手术效果的反馈,帮助医生成功完成手术。

7. 系统环境模拟

训练模拟仓是为专业训练而专门设计的计算机图形系统。如训练飞行员的飞行训练模拟仓,训练船员的舰船训练模拟仓,训练汽车驾驶员的汽车训练模拟仓,训练核电站操作人员的核装置训练模拟仓等,都是这样的一些专用系统。利用飞行训练模拟仓可以模拟飞机的飞行过程,用光栅扫描器产生驾驶员在驾驶舱中预期所能看到的景象,可以使受训驾驶员坐在训练模拟仓内,面对显示屏幕上的视景来演练控制飞机起飞和降落的过程,或者对飞行员进行单飞前的地面训练和飞机格斗训练等,飞行训练模拟仓内场景逼真,试验手段安全、可靠、迅速,价格又很低廉。经过数十小时的模拟训练,飞行学员放单飞的成功率将会大幅度提高,而且还节省了燃油、无需占用飞机、机场等昂贵资源,缩短了驾驶员的训练周期,这些技术对于宇航员的航天训练会更显现出其优越性。

除了上述这7个主要应用领域外,计算机图形学还在地理信息系统、电子印刷、办公自动化、过程控制等领域有重要的应用。例如,电子印刷和办公自动化领域,图文并茂的电子排版系统引起了印刷史上的一次革命。在过程控制领域,石油化工、金属冶炼、电网控制的工作人员根据设备关键部位的传感器送来的图像和数据,对设备运行过程进行监控,机场、铁路的调度人员通过计算机产生运行状态信息来调整空中交通和铁路运输。地理信息系统已被广泛地应用于地质调查、地下管线规划与管理,甚至应用于小区的物业管理等。可以说,计算机图形学的应用已经达到了无处不在的程度。

1.3 本章小结

本章首先讨论了计算机图形学的研究内容以及与其他相关学科的关系;其次,回顾了计算机图形学的发展历史,介绍了计算机图形学在人类社会各个领域中的应用。计算机技术的进步推动了计算机图形学的发展,计算机图形学的发展又拓宽了计算机的应用领域,推动了计算机科学技术的发展。计算机图形学也将在集成化、智能化和标准化的道路上继续前进。

习题 1

- 1.1 计算机图形学的主要研究内容是什么?
- 1.2 计算机图形学与其他相关学科的关系是什么?
- 1.3 针对你感兴趣的研究和应用领域,通过查阅文献资料,写一篇文献综述报告。
- 1.4 请你预计计算机图形学的未来发展方向和前景。