

高等学校计算机专业教材

GAODENG XUOXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI

计算机图形学 实用教程

◎ 李东 孙长嵩 苏小红 等 编著 马培军 主审

GAODENG XUOXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI
GAODENG XUOXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI
GAODENG XUOXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI
GAODENG XUOXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校计算机专业教材

计算机图形学实用教程

李 东 孙长嵩 苏小红 等编著

马培军 主审

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学实用教程 / 李东, 孙长嵩, 苏小红编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2004.10

ISBN 7-115-11729-2

I. 计... II. ①李...②孙...③苏... III. 计算机图形学—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 105123 号

内 容 提 要

本书由 9 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, 几何造型, 真实感图形显示, 颜色科学及其应用和计算机动画等。

本书在介绍图形学基本算法的同时, 还着重介绍实体造型、分形几何造型、分形艺术、色彩管理与色彩匹配, 以及计算机动画等最新的和常用的计算机图形学实用技术。

本书适合作为高等院校各相关专业的教科书和教学参考书。

书中部分算法的源程序和根据本书内容制作的多媒体课件将对使用本教材的单位和读者免费赠送。

高等学校计算机专业教材

计算机图形学实用教程

◆ 编 著 李 东 孙长嵩 苏小红 等

主 审 马培军

责任编辑 王亚娜

◆ 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>

读者热线 010-67129259

河北涞水华艺印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20.5

字数: 490 千字

2004 年 10 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-11729-2/TP · 3650

定价: 27.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

编者的话

本书在内容编排上侧重于图形学基本算法的介绍,同时,还介绍了实体造型、分形几何造型、分形艺术、色彩管理与色彩匹配,以及计算机动画等计算机图形学实用技术。

作者曾多年与日本佳能集团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匹配、分形艺术、计算机辅助几何设计等方面发表的多篇研究论文,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,力求使读者耳目一新。

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为使用本教材的教学单位免费提供。有需要者可与出版社或作者本人直接联系。

学时建议:前面加星号“*”的章节为有一定深度和开放性的选学内容,可以留给学生自学,也可以视学时而定,进行有选择性的讲授。

对本科生 30 学时的课程,建议第 1 章 2 学时,第 2 章 4 学时,第 3 章 8 学时,第 4 章 6 学时,第 5 章 6 学时,第 9 章 4 学时。

对本科生 20 学时的课程;建议第 1 章 2 学时,第 2 章 2 学时,第 3 章 6 学时,第 4 章 4 学时,第 5 章 4 学时,第 9 章 2 学时。

对研究生 30 学时的课程,建议第 1 章 2 学时,第 4 章 4 学时,第 6 章 6 学时,第 7 章 8 学时,第 8 章 6 学时,第 9 章 4 学时。

全书的统稿工作由李东和苏小红完成,第 5、7 章由李东编写,第 1~4 章由孙长嵩编写,第 6、8、9 章由苏小红(原名苏晓红)编写。

在本书写作过程中,曾在日本佳能集团任主任研究员、具有多年色彩匹配技术研究开发经验的马培军教授在百忙之中审阅了全部初稿,对本书提出了许多宝贵意见。在书稿的录入与校对中,陈超、焦淑红、逢志宇、李秀坤、秦兵、孙志岗、傅忠传、陶海军、刘秉权和陈惠鹏等做了大量工作。此外,廖明宏教授、王宇颖、郭茂祖和王亚东教授也对本书给予了大力支持,在此表示衷心感谢。

本书可作为所有专业的计算机图形学教学用书以及本科生或者研究生的自学参考书。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请专家和读者批评指正,提出宝贵意见。作者的 E-mail 地址为:hitlid@hit.edu.cn, sxh@hit.edu.cn。

编者

2004 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
1.1 计算机图形学的研究内容及与相关学科的关系	1
1.1.1 什么是计算机图形学.....	1
1.1.2 计算机图形学的研究内容.....	2
1.1.3 计算机图形学与其他相关学科的关系.....	2
1.2 计算机图形学的发展与应用	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方向.....	4
1.2.3 计算机图形学的应用领域.....	5
1.3 本章小结	8
习题.....	8
第 2 章 图形输入输出设备	9
2.1 交互式计算机图形系统的组成	9
2.1.1 个人计算机图形系统.....	9
2.1.2 工作站图形系统	10
* 2.2 图形输入设备	12
2.2.1 一般应用图形输入设备	12
2.2.2 特殊应用图形输入设备	16
2.3 视频显示设备与显示系统.....	17
2.3.1 阴极射线管及其分类	18
2.3.2 光栅扫描显示系统与随机扫描显示系统	22
2.3.3 图形显示卡	28
2.3.4 平板显示器	32
* 2.4 图形绘制设备	34
2.4.1 绘图仪	34
2.4.2 打印机	35
* 2.5 图形软件标准	36
2.5.1 图形软件标准制定的目标	37
2.5.2 GKS 标准	37
2.5.3 IGES 标准	42
2.5.4 PHIGS 标准	45
2.5.5 OpenGL	46
2.6 本章小结.....	46
习题	47
第 3 章 基本图形生成算法	49

3.1	直线生成算法	49
3.1.1	光栅图形中点的表示	49
3.1.2	绘制直线的要求	49
3.1.3	数值微分画线算法	50
3.1.4	中点画线算法	51
3.1.5	Bresenham 画线算法	53
3.1.6	几种算法的比较	54
3.2	圆和圆弧的生成算法	55
3.2.1	圆的数值微分生成算法	55
3.2.2	中点画圆法	56
3.2.3	Bresenham 画圆算法	58
3.2.4	多边形逼近画圆法	60
3.2.5	几种算法的比较	61
* 3.3	一般曲线生成算法	61
3.3.1	正负法	61
3.3.2	T-N 算法	64
* 3.4	线宽与线型的处理	66
3.4.1	线宽的处理	66
3.4.2	线型的处理	68
3.5	实区域填充算法	68
3.5.1	一般扫描线填充算法及其存在的问题	68
3.5.2	有序边表算法	70
3.5.3	边填充算法	74
3.5.4	简单种子填充算法	75
3.5.5	扫描线种子填充算法	76
3.6	图形反走样技术	76
3.6.1	光栅图形的走样现象及其原因	76
3.6.2	常用反走样技术	77
3.6.3	Bresenham 区域反走样算法	78
3.7	本章小结	79
	习题	79
第4章	自由曲线和曲面	80
4.1	计算机辅助几何设计概述	80
4.1.1	CAGD 的研究内容	80
4.1.2	对形状数学描述的要求	81
4.1.3	曲线曲面的表示形式	82
4.1.4	自由曲线曲面的发展过程	83
4.2	曲线插值方法	84
4.2.1	插值、逼近和拟合	84

4.2.2	样条与样条插值	86
4.3	Bézier 曲线和曲面	91
4.3.1	Bézier 曲线的数学表达式	92
4.3.2	Bézier 曲线的性质	93
4.3.3	Bézier 曲线的设计技巧	94
4.3.4	常用的 Bézier 曲线	95
4.3.5	de Casteljau 递推算法	97
4.3.6	反求 Bézier 曲线控制点的方法	98
* 4.3.7	Bézier 曲面	98
4.4	B 样条曲线和曲面	100
4.4.1	问题的提出	100
4.4.2	B 样条曲线的数学表达式	101
4.4.3	B 样条曲线的性质	101
4.4.4	均匀 B 样条曲线	102
4.4.5	一种新的反求 B 样条曲线控制点的方法	108
* 4.4.6	B 样条曲面	110
* 4.4.7	非均匀 B 样条曲线	110
* 4.4.8	非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线	110
4.5	本章小结	111
	习题	112
第 5 章	图形变换与裁剪	114
5.1	窗口视图变换	114
5.2	二维图形几何变换	115
5.2.1	二维图形几何变换原理	115
5.2.2	齐次坐标技术	117
5.2.3	二维组合变换	117
5.3	三维图形几何变换	122
5.3.1	三维空间坐标系	122
5.3.2	三维图形几何变换	122
5.3.3	三维图形的组合变换	128
5.4	投影变换	129
5.4.1	投影变换的分类	129
5.4.2	平行投影	131
5.4.3	透视投影	136
5.5	二维线段裁剪	140
5.5.1	矩形窗口裁剪算法	140
* 5.5.2	多边形窗口裁剪算法	145
5.6	多边形的裁剪	148
5.6.1	Sutherland-Hodgman 算法	149

5.6.2	Weiler-Atherton 算法	151
* 5.7	三维线段裁剪	153
5.7.1	平行投影中的三维裁剪	154
5.7.2	透视投影中的三维裁剪	154
5.8	本章小结	156
	习题	156
第 6 章	几何造型基础	157
6.1	多面体模型和曲面模型	157
6.1.1	多面体模型	157
6.1.2	曲面模型	159
6.2	线框模型、表面模型和实体模型	161
6.3	实体几何造型	162
6.3.1	实体造型系统的发展	162
6.3.2	实体的定义	163
6.3.3	欧拉公式与欧拉运算	166
6.3.4	实体的正则集合运算	168
6.3.5	实体的边界表示	170
6.3.6	实体的分解表示	172
6.3.7	实体的构造表示	174
* 6.4	特征造型	177
6.5	分形几何造型	179
6.5.1	分形的概念	179
6.5.2	分形维数与分形几何	181
6.5.3	随机插值模型	182
6.5.4	迭代函数系统	183
6.5.5	L 系统	186
6.5.6	粒子系统	189
* 6.6	分形艺术	190
6.6.1	Julia 集与 Mandelbrot 集	190
6.6.2	广义 Julia 集与 Mandelbrot 集	195
6.6.3	复平面域的 Newton-Raphson 方法	195
6.6.4	基于改进的 Newton-Raphson 方法生成分形艺术图形	196
6.7	本章小结	199
	习题	199
第 7 章	真实感图形显示	200
7.1	三维图形显示的基本流程	200
7.2	取景变换	201
7.3	隐藏面的消除	204
7.3.1	背面剔除算法	205

7.3.2	Roberts 算法	205
7.3.3	画家算法	209
7.3.4	Weiler-Atherton 算法	211
7.3.5	BSP 树算法	212
7.3.6	深度缓冲器算法	213
7.3.7	扫描线 Z 缓冲器算法	215
7.3.8	区间扫描线算法	217
7.3.9	Warnock 算法	218
7.3.10	光线投射算法	220
* 7.4	阴影生成	221
7.5	基本光照模型	222
7.5.1	环境光模型	224
7.5.2	Lambert 漫反射模型	224
7.5.3	镜面反射和 Phong 模型	225
7.5.4	简单的透明模型	228
* 7.6	整体光照模型	229
7.7	多边形表示的明暗处理	230
7.7.1	Gouraud 明暗处理	230
7.7.2	Phong 明暗处理	232
* 7.8	半色调明暗处理技术	233
7.8.1	模式单元法	233
7.8.2	抖动技术	234
7.9	光线跟踪技术	237
7.9.1	光线跟踪的基本原理	237
7.9.2	光线跟踪的求交计算	239
7.10	纹理细节模拟	239
7.10.1	纹理分类	239
7.10.2	颜色纹理	240
7.10.3	几何纹理	241
7.10.4	过程纹理	243
7.11	本章小结	243
	习题	244
第 8 章	颜色科学基础及其应用	245
8.1	颜色的基本知识	245
8.1.1	颜色的基本概念	245
8.1.2	视觉现象	247
8.1.3	颜色视觉的机理	248
8.2	常用的颜色空间	250
8.2.1	与图形处理相关的颜色空间	250

8.2.2	与设备无关的颜色空间	254
8.2.3	电视系统颜色空间	259
8.3	色彩设计	261
8.3.1	色彩的情感	261
8.3.2	面向色彩设计的 HSV 颜色模型	262
8.3.3	HSV 与 RGB 颜色空间的相互转换及其应用	263
8.3.4	数字图像颜色类型	267
8.4	颜色再现与色彩管理	268
8.4.1	颜色再现的目标	268
8.4.2	颜色再现的科学性与艺术性	269
8.4.3	颜色再现质量的评价	269
8.4.4	为什么要进行色彩管理	270
8.4.5	基于 ICC 标准的色彩管理	271
8.4.6	色彩管理系统分类	274
* 8.5	基于 ICC Profile 的色彩管理	275
8.5.1	ICC Profile 的类型及文件结构	275
8.5.2	基于 ICC Profile 的颜色空间变换	280
8.5.3	ICC Profile 的局限性	283
* 8.6	基于科学发现的色彩匹配	283
8.6.1	彩色喷墨打印机工作原理	283
8.6.2	影响色彩匹配质量的因素分析	284
8.6.3	色彩匹配的难点	285
8.6.4	常用的色彩匹配方法	286
8.6.5	基于科学发现的色彩匹配	288
* 8.7	黑色生成与灰度平衡	290
8.8	本章小结	292
	习题	292
第 9 章	计算机动画	294
9.1	动画技术的起源、发展与应用	294
9.1.1	动画技术的起源与发展	294
9.1.2	计算机动画的应用	295
9.1.3	计算机动画的未来	296
9.2	传统动画	296
9.2.1	什么是动画	296
9.2.2	传统动画片的制作过程	297
9.2.3	动作特效与画面切换方式	298
9.3	计算机动画	299
9.3.1	计算机在动画中所起的作用	299
9.3.2	计算机动画系统的分类	299

9.3.3	计算机辅助二维动画	300
9.3.4	计算机辅助三维动画	300
9.3.5	实时动画和逐帧动画	301
9.4	计算机动画中的常用技术	302
9.4.1	关键帧技术	302
9.4.2	样条驱动技术	304
9.4.3	Morphing 和 FFD 变形技术	304
9.4.4	运动捕获技术	305
9.4.5	其他动画技术	305
* 9.5	动画文件格式	306
9.5.1	GIF 格式	306
9.5.2	FLI/FLC 格式	306
9.5.3	SWF 格式	306
9.5.4	AVI 格式	307
9.5.5	MOV 格式	307
* 9.6	微机上的二维动画软件简介	307
* 9.7	常用的三维动画软件简介	308
9.7.1	3D Studio 与 3DS MAX	308
9.7.2	Softimage 3D	308
9.7.3	Maya 3D	309
9.7.4	LIGHTWAVE 3D	310
9.8	本章小结	310
	习题	311
	参考文献	312

第 1 章 绪 论

1.1 计算机图形学的研究内容及与相关学科的关系

随着计算机科学与技术的迅猛发展，特别是大规模集成电路（LSI）和超大规模集成电路（VLSI）技术的飞速发展，计算机已经成为一种高速、费用低地生成图形的有效工具。计算机图形学作为利用计算机生成图形的技术，已经越来越广泛地在各个领域得到了应用。随着计算机图形学应用领域的拓宽和应用水平的提高，人们越来越重视对该项技术的研究和利用。当今，计算机图形学已经成为了计算机科学技术领域的一个重要研究方向，并被广泛地应用于科学计算、工程设计、医药、工业、艺术、娱乐业、广告业、教育与培训、商业和政府部门等。在对计算机图形学深入学习之前，首先对其定义、研究内容和它与其他学科的关系做一简要说明。

1.1.1 什么是计算机图形学

计算机图形学（Computer Graphics, CG）是计算机科学与技术领域中迅速发展起来的一个重要的分支。国际标准化组织（ISO）对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，计算机图形学是研究利用电子数字计算机来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做主动式计算机图形学（Active Computer Graphics），它包含着用户与计算机之间的双向通信功能，有的人也称它为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人们利用图形学开辟了广阔的空间，带来了巨大的效益。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，而且还提高了飞行员试飞的成功率，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作被动式计算机图形学（Passive Computer Graphics），用户不能直接控制与修改所显示的图形，而只能作为一个观察者像看电视一样来观察所显示的

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上有限，在应用上有诸多不便，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

计算机图形学自诞生以来，随着软、硬件技术的发展，它的应用领域在不断地扩大，这些又推动了其研究领域的扩展和研究内容的不断增加。它的主要研究内容有如下几个方面。

- (1) 交互式计算机图形处理系统的组成、图形输入、输出设备以及图形显示原理。
- (2) 基本图形生成算法。
- (3) 图形变换与裁剪算法。
- (4) 自由曲线和曲面。
- (5) 三维实体造型。
- (6) 真实感图形显示技术。
- (7) 色彩科学的基本理论。
- (8) 计算机动画显示技术。
- (9) 科学计算的可视化。
- (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。

本书以计算机图形学的算法为主，突出图形学的实用技术。除在第2章中介绍图形输入、输出设备外，在从第3章到第9章，共7章的内容中都将以算法为主，介绍各类常用的图形生成和处理技术。

1.1.3 计算机图形学与其他相关学科的关系

计算机图形学与计算机领域内外的各相关学科有着密切的联系，特别是它与计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 和数字图像处理 (Digital Image Processing) 及模式识别 (Pattern Recognition) 的关系最为密切。

1. 计算机图形学与 CAD 的关系

在 CAD 系统中，对设计对象的结构描述和对图形的绘制是系统的主要功能之一。特别是复杂的 LSI 和 VLSI 集成电路的版面设计，更要依靠机器来完成。计算机图形学是 CAD 的技术基础，利用计算机图形技术所建立的 CAD 图形库和所开发的 CAD 图形建模软件是 CAD 应用层的基础与支撑环境。

2. 计算机图形学与数字图像处理和模式识别的关系

计算机图形学与数字图像处理和模式识别的关系更是十分密切，图 1-1 为它们之间的关系示意图。

从图 1-1 中可以看出，计算机图形学是通过建立数学模型或算法，把真实的或想象的物体在显示设备上构造和显示出来，研究的是图形的综合技术。而模式识别则是该过程的逆操

作,其主要任务是识别出特定图像所模仿的标准模式,主要讨论怎样从图像中提取数据、模型或特征,图像处理的任务则是按照一定的目的和要求将一种图像处理变换成另一种图像,具体包括图像增强、图像复原、图像解析与理解、图像编码与数据压缩以及图像匹配等内容。计算机视觉(Computer Vision)是通过三维世界所感知的二维图像来研究和提取出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。

随着科学技术的发展以及各相关学科之间的相互渗透,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,例如交互图像处理技术,它允许人们输入信息来帮助系统指导或控制其对连续色调图像的处理过程,将交互技术引入到图像处理中。在计算机图形学中,也常采用图像处理操作来帮助合成模型的图像。图形生成和图像处理算法的结合是促进计算机图形学和图像处理技术发展的一个途径。

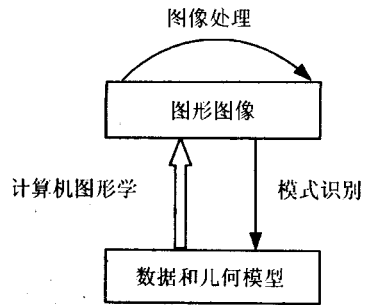


图 1-1 计算机图形学与数字图像处理和模式识别的关系模型

1.2 计算机图形学的发展与应用

计算机图形学是随着计算机及其外围设备而产生和发展起来的,它是计算机科学与雷达、电视及图像处理技术的发展、融合而产生的结果。随着计算机图形学在航空航天、汽车、电子、造船、机械、土建、轻纺、化工、影视、广告和地质地理等领域的广泛应用,更加推动了该学科的迅速发展,在不断地解决应用中提出各类新问题的过程中,又进一步充实了该学科的内容,拓展了该技术的应用领域。

1.2.1 计算机图形学的发展简史

计算机图形学伴随着计算机的出现而产生,它主要经历了以下的几个发展阶段。

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显示器(CRT)是作为世界第一台电子数字计算机旋风一号(Whirlwind 1)的输出设备出现于世人面前的,它的主要功能是以简单图形方式(曲线)来显示运算结果。1958年美国Calcomp公司推出了由联机的数字记录仪发展而成的滚筒式绘图仪,而GerBer公司则推出了由数控机床发展而成的平板绘图仪,第一代硬拷贝图形输出设备诞生了。在20世纪50年代,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也只具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时间,被称为“被动式”图形学,它完全不具备交互功能。到了50年代末期,MIT的林肯实验室在其“旋风”计算机上开发的SAGE空中防御系统中,第一次使用了具有指挥和控制功能的CRT显示器,该系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者可以在屏幕上用一种被称为“光笔”的交互设备指向屏幕上被确定的目标图形,来获取所需的信息。同时,类似的技术在设计和生产过程中也陆续使用,出现了交互式计算机图形学的萌芽。

1962年,MIT的林肯实验室的Ivan E. Sutherland发表了题为“Sketchpad:一个人机通讯的图形系统”的博士论文。在他的论文中首次使用了计算机图形学(Computer Graph-

ics) 这个术语, 提出了交互技术、分层存储符号的数据结构等概念, 证明了交互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。20 世纪 60 年代的中、后期, 美国的 MIT、通用汽车公司和贝尔电话实验室等相继开展了对计算机图形学的大规模研究活动, 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, 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时期。

20 世纪 70 年代以后, 计算机图形学进入了发展和实用化阶段。在这 10 年期间, 许多新型的、功能完备的图形系统面世。图形系统从军事上和工业上的应用扩展到了科学研究、教育和事务处理等崭新领域。

到了 20 世纪 80 年代, 由于带有光栅扫描显示器的个人计算机和工作站的出现, 使得计算机图形学的应用深度和广度得到了前所未有的发展, 大量简单易用、价格低廉的基于图形的应用程序的出现, 为图形学应用的大发展铺平了道路。此间的计算机图形系统已经以数百万台计, 而且它的应用已进入家庭。

20 世纪 90 年代, 计算机图形学的功能有了很大的发展和提高, 图形学自身也朝着标准化、集成化和智能化不断进步。国际标准化组织推出了许多关于图形学方面的标准, 并得到了广泛地认同和采用。这对于实现图形软件与设备的独立性, 提高图形软件的可重用性带来了很大的益处。它进一步降低了图形系统的价格, 推动了图形系统的应用。随着多媒体技术、人工智能与专家系统技术与计算机图形学技术的有机结合, 科学计算的可视化和虚拟现实的应用又向计算机图形学提出了更新的课题, 这就使得三维乃至高维计算机图形学在真实感和实时性研究方面开始迅速发展, 同时也推动了分形图形学的研究与应用的发展。

进入 21 世纪的这几年, 计算机图形系统更以其高性能价格比和优良完善的功能进入到社会的各个领域。同时, 计算机图形学也在朝着智能化的方向继续发展。

1.2.2 计算机图形学的发展方向

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、CAD/CAM、数据可视化、商业广告、影视特技、虚拟现实和许多其他应用的重要组成部分。

对于未来图形学的发展, 很难有一个准确的预测, 因为许多新理论和新技术的出现将会使图形学及其应用出现意想不到的飞跃。就目前状况来看, 图形学在 21 世纪将主要有以下几方面的发展和进步。

(1) 随着图形学应用、图形设备和软件理论的进步, 一大批适应于应用需求和图形设备的图形生成算法和理论将会产生, 以满足不断发展的需要。

(2) 图形软件标准化将向前推进一大步。围绕图形软件的共享问题, 具有更强可重用性的图形软件将完全取代领域性的图形软件, 将完全实现图形软件的组件化设计和生产。图形软件的性能比将进一步提高。

(3) 图形系统将实现高质量化。显示器将向着平面化、大屏幕和高分辨率发展, 10 年后有望使用 4096×4096 的平板大屏幕显示器, 完全替代当前使用的 CRT 显示器。显示处理

速度将达到几千万 MIPS, 实现 $10^8 \sim 10^{12}$ 个 CPU 并行, 产生更高质量的动态画面。

(4) 图形设备与图形系统实现智能化。将人工智能和数据挖掘技术等引入图形系统, 提高交互功能, 使人机界面更友好, 更人性化, 使图形系统具有学习、理解和咨询服务等人的智能。

(5) 图形显示立体化。具有三维显示功能的显示设备和交互输入设备将得到广泛应用, 对三维世界的描绘与显示, 具有真实感的三维虚拟图形将得到普遍应用。虚拟现实技术将会应用于各个领域, 电影、电视、绘画艺术和可视化技术将产生融合, 一个新的艺术门类将在计算机图形学的推动下诞生。

(6) 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, 更大范围的应用前景。

计算机图形学将在其基本理论与技术、图形输入/输出设备、图形系统的体系结构和图形学的应用诸方面得到迅速发展。图形学的应用是发展的原动力, 图形设备是发展的物质基础, 而图形学的理论与技术是发展的理论基础, 它们三者相互促进, 相辅相成, 缺一不可, 忽视哪一方面或过分强调哪一方面都是不可取的。

1.2.3 计算机图形学的应用领域

计算机图形学作为一个新发展起来的学科, 已经在科学计算和工程等领域得到了广泛的应用。特别是近十年间, 随着硬件技术的飞速发展和软件技术的巨大进步, 使得计算机图形学的应用领域得以大范围拓宽, 它的应用已经发展到整个社会的每一个领域, 直至家庭生活中。计算机图形学以它的形象逼真和直观、具体而易于为人们理解和接受, 成为表达信息的最有效的手段之一。

综合起来看, 计算机图形学的应用领域主要包括以下各个方面。

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计 (CAD) 是以计算机图形学作为主要技术基础的支持设计应用的技术。CAD 方法已经普遍地应用在建筑物、汽车、飞机、船舶与海洋工程、航天器、计算机、纺织品和服装等许多产品的设计过程中。

CAD 系统包括其硬件支撑环境和软件系统。其中, 它的应用软件包可以支持不同的应用对象, CAD 的应用不仅使得工程技术人员免去了终日伏在图板上画图的辛苦, 使得设计工作变得轻松, 而且图纸的生成质量和速度也有了很大的提高, 底图保存在计算机中或刻录在光盘上, 再也不必设立一个庞大的仓库来保存图纸了。

CAD 的应用中还经常使用动画技术。在显示屏幕上出现的设计对象的动画, 不但直观、形象, 还可以让观察者能看清楚产品内部的结构, 构件间的相对位置关系, 甚至于运动时的内部构件行为, 可以有效地预测和解决空间干涉等设计过程中的棘手问题。在虚拟现实的环境中, 使用动画技术就“再现”了所设计对象的“真面目”, 实现了产品设计过程中的仿真。所有这些技术的采用不仅使设计人员在制造出该产品的实物之前就已经看到了它, 而且还能够为产品生产自动化提供支持。例如, 产品的外形信息可为机床加工制造过程规划加工路径使用, 使设计过程与工艺规划过程连通, 实现了 CAD 与 CAM 的信息集成。

CAD应用于建筑设计,除了完成它的二维工程图之外,它具有真实感的显示可使建筑师和用户直接看到该建筑物的外貌,一个逼真的模拟效果图。采用虚拟现实技术,还可让人们一个房间,一个房间地参观,以考察其设计的效果。甚至于可以模拟三维的室内布局、装潢和照明效果等。

在轻纺工业领域,对纺织品的织纹设计、织物的图案设计、地毯图案设计和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。

2. 图示图形学

图示图形学(Presentation Graphics)是计算机图形学的另一个主要应用领域,它主要是用来生成报告的插图或透明胶片和幻灯片,使各类报告、公告等的各种归纳、总结、统计和分析信息实现图示化,例如,将统计分析结果用条形图、饼图或折线图等形式表示出来。特别是三维显示图形的采用,不仅使图示效果更加形象生动,而且还可以表示更复杂的数据关系。

3. 计算机艺术

计算机图形学在计算机艺术(Computer Art)中也开始发挥作用,它主要应用于美术创作和实用艺术之中。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,已经有美术字生成软件、中国画绘制工具软件及西洋画绘制工具等许多美术创作软件问世。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,产生出乎意料的效果。

商用美术采用动画、虚拟现实等技术来制作产品的模拟照片,绘制产品的图片,制作商标和广告等,不仅对产品的描绘栩栩如生,而且能产生如同电影一样的三维动画效果,在计算机上拍动画广告要比在实景现场拍广告要便捷得多,况且有些广告中的场景是现实中并不存在的“虚幻世界”,只有计算机才能够“制作”出来。

4. 娱乐

计算机图形学技术也越来越多地走进娱乐圈,常用于制作动画片、电视片、音乐录像片,甚至于故事片电影等。

利用计算机动画技术生产动画片电影,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容易。计算机动画技术还运用于故事片的制作过程,将图形场景与演员及实际场景混合显示,制造出“半真半假”的场面来,特别是对电影特技的处理,更有其优势。计算机图形学为电影制作开辟了一条新路。

音乐录像片的制作以各种不同的方式使用图形学。图形对象可以与实景混合,产生一种特殊的效果,图形对象也可以与演员同台合唱,还可采用图像处理的方法来产生所需的特技效果等。电视片、电影片制作中所采用的图形技术,在这里都可应用。

另外,电子游戏机之所以对人们有如此大的吸引力,利用图形技术所产生的生动画面是功不可没的。

5. 教育与培训

利用计算机图形技术可以将许多抽象的事物以图的形式展示给人们,使其在教学上得到了广泛的应用。采用该项技术做成教学辅助工具帮助学生理解和掌握相关技术将变得比较容易。教师们可以利用计算机动画来说明诸如计算机内的控制流和数据流的流动情况,分子的