



华章教育

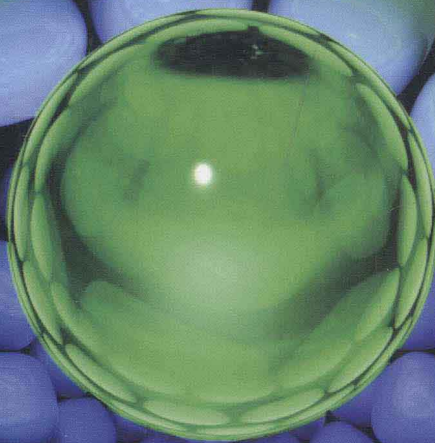


数字媒体专业规划教材

3D Computer Graphics

3D计算机图形学

王长波 高岩 编著



机械工业出版社
China Machine Press

D
IGITAL

数字媒体专业规划教材

3D计算机图形学

王长波 高岩 编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书重点介绍三维计算机图形学的基本概念、算法与编程实现,以及3D图形开发技术的最新进展。主要内容包括:计算机图形学概述、基本图形生成算法、3D图形数学基础、图形变换、三维场景的绘制基础、真实感图形光照处理、纹理映射技术、场景组织与管理技术、游戏特效绘制技术、地形绘制技术、阴影绘制技术、碰撞检测技术、计算机动画技术、GPU硬件加速技术等。

本书理论结合实际,图文并茂,注重培养学生的编程实现能力,可作为高等院校本科生或研究生计算机图形学课程的教材,也可供从事计算机图形学、游戏动画开发等工作的研究人员参考。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

3D计算机图形学/王长波,高岩编著. —北京:机械工业出版社,2010.8
(数字媒体专业规划教材)

ISBN 978-7-111-31311-3

I. 3… II. ①王… ②高… III. 三维—动画—计算机图形学—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第134555号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:李俊竹

北京瑞德印刷有限公司印刷

2010年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 16.75印张

标准书号:ISBN 978-7-111-31311-3

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88378991; 88361066

购书热线:(010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线:(010) 88379604

读者信箱:hzjsj@hzbook.com

—○ 前 言 ○—

随着计算机软硬件技术的进步,计算机图形学技术发展很快,在各方面的应用也越来越广。特别是近几年以动画、游戏为代表的数字娱乐产业的迅猛发展,极大地推动了计算机图形学相关学科的发展。目前计算机图形学是计算机应用、软件工程、数字媒体等专业的核心课之一。

我们自 2005 年开始教授计算机图形学课程以来,一直较难找到一本合适的教科书,目前市面上的教材中虽然不乏优秀之作,但我们发现这些教材在用于实际教学时还存在以下一些问题:

1) 多以二维图形和理论阐述为主。对直线、圆、曲线等基本图形算法讲述较多,但是目前的图形学应用主要是 3D 的,二维图形算法已经非常成熟和硬件化了。

2) 对当前应用领域中所用到的最新图形技术涉及较少。随着动画、游戏等技术的发展,计算机图形技术涌现了越来越多的新方法和新技术,但现有的教材无法紧跟最新技术的发展,内容陈旧。

3) 实践案例教学内容欠缺。目前的教材没有理论结合实践,缺乏讲解具体算法的实现方法,要么主要讲理论,要么讲程序语言 OpenGL 的简单使用方法,与实际应用需求严重脱节,使得学生学习一学期后也无法进行具体的图形编程。

为此,迫切需要有一本教学内容与时俱进、理论与实践并重的教材,不仅要把经典计算机图形学的基本原理讲透,而且能适当融合当前三维计算机图形技术的最新发展,并结合具体实践开展案例教学。基于上面的考虑,我们编写了这本教材,并已经以讲义的形式进行过几年的教学,效果良好。

本书在内容上偏重于三维计算机图形的最新技术,在介绍基本图形生成处理技术的基础上,进一步介绍了特效绘制技术、LOD 技术、GPU 加速技术等,以及 3D 图形开发技术的最新进展。同时本书将理论与实际相结合,着重培养学生的编程实现能力,即利用 DirectX 或 OpenGL 进行图形编程的能力。此外,本书通俗易懂、深入浅出,并较多地融合了最新 3D 游戏图形开发技术以及作者在相关领域的科研成果。作者还根据教学实践开发了一套辅助教师教学的“3D 图形教学辅助演示系统”,该系统可以交互地演示图形生成过程,效果直观,交互方便,便于学生理解。

本书的主要特色:

1) 偏重最新的 3D 计算机图形技术。用较少的篇幅介绍最经典的二维图元绘制算法,然后重点介绍当前用得最广泛的三维图形技术,融合最新 3D 游戏图形开发技术和作者在相关领域的科研成果。

2) 理论结合实际。在每一章讲完理论后,紧接着介绍如何采用 DirectX 或 OpenGL 进

行具体编程实现的方法和步骤，使学生可以利用所学知识做出自己的图形，提高了学生的学习兴趣与编程能力。

3) 图文并茂，交互演示。每章都有图例演示，提供相关程序运行结果截图和项目应用实例。作者根据教学实践自主开发的“3D 图形教学辅助演示系统”在教学应用中获得较好的效果，很方便教师授课。教师可登录华章网站 (www.hzbook.com) 免费获取。

本书可以作为高校本科生的教材，也可供从事计算机图形学、游戏和动画开发等工作的研究生、科研人员和从业人员参考。

本书在编写的过程中得到了机械工业出版社的大力支持，也得到彭群生、王章野、伍品芳等教授的指导和帮助，同时得到了张卓鹏、李晨辉、许彦如、肖昭、栾天娇、戴金球、钱嫒婧等同学的帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，不妥和错误之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 6 月

— 教 学 建 议 —

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排 (36)	
		本科专业课	高年级研修
第 1 章 计算机图形学	- 了解计算机图形学的定义和研究范畴。 - 了解计算机图形学的历史和应用领域。 - 掌握图形系统构成及输入输出设备。 - 了解计算机图形学的发展热点。	2	2
第 2 章 基本图形生成算法	- 了解图形光栅化的基本原理。 - 掌握直线的 DDA 和 Bresenham 算法。 - 掌握圆的生成算法。 - 了解其他图形的光栅化算法。	4	2
第 3 章 3D 图形中的数学基础	- 掌握图形学中用到的几种坐标系。 - 掌握向量的点积、叉积等运算。 - 掌握图形学中常用的矩阵运算。 - 掌握基本的图形表达及空间几何求交。 - 了解向量、矩阵、几何等的程序实现。	4	2
第 4 章 图形变换	- 掌握二维及三维几何变换方法。 - 掌握平行投影及透射投影方法。 - 掌握图形变换的程序实现方法。	4	2
第 5 章 三维场景绘制基础	- 掌握三维场景的绘制流水线。 - 了解 Direct3D 的绘制流程。	2	2
第 6 章 真实感图形光照处理	- 了解 3D 图形的颜色原理。 - 掌握 Phong 光照模型。 - 了解基本的光照的 Direct3D 实现原理。	4	3
第 7 章 纹理映射技术	- 了解纹理映射的基本原理。 - 掌握纹理映射的实现过程。 - 了解高级纹理映射技术。	5	4
第 8 章 场景组织与管理技术	- 了解基本 3D 场景组织方式。 - 了解优化场景的几何剖分技术。 - 了解三维场景的快速可见性判断。 - 了解几种典型 LOD 技术。	3	4
第 9 章 游戏特效绘制技术	- 掌握 Billboard 技术。 - 掌握粒子系统的技术。 - 了解精灵动画技术。 - 了解烟火雾等特效技术。 - 了解眩光特效技术。	3	4

(续)

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排 (36)	
		本科专业课	高年级研修
第 10 章 地形绘制技术	- 了解几种不同的地形生成方法。 - 了解高级地形优化 LOD 技术。	1 略讲	3
第 11 章 阴影绘制技术	- 了解阴影绘制的基本原理。 - 掌握平面投影阴影的绘制方法。 - 了解阴影图及阴影体算法原理。	1 略讲	2
第 12 章 碰撞检测技术	- 了解碰撞检测的基本原理。 - 了解基本的碰撞检测及其实现。	1 略讲	2
第 13 章 计算机动画技术	- 了解计算动画的基本原理。 - 掌握基本的关键帧动画实现过程。 - 了解过程动画、变形动画、基于物理动画等的基本原理。	1 略讲	2
第 14 章 GPU 硬件加速技术	- 了解 GPU 加速的基本原理及优点。 - 掌握简单的 GPU 实现原理。 - 了解 HLSL 和 GLSL 着色器原理。	1 略讲	2

说明:

- ① 本书主要是为计算机专业本科生“计算机图形学”课程编写的。建议课堂授课时数 36~48 (包括习题课、课堂讨论等必要的课堂教学环节, 实验课时 12~18 课时), 部分高级内容可以略讲, 不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数酌情对教材内容进行取舍。
- ② 本书也可以作为有一定基础和研究兴趣的高年级本科生选修课的教材, 以及硕士研究生的教材, 在快速介绍完前 6 章的基本内容后, 以后面的高级图形学内容为主, 即可参考“高年级研修”部分的课时安排。

实验教学建议:

实验一: C++ 基本编程练习, 包括 VC++、GDI 和 MFC 编程练习。

实验二: 基本图元算法的实现, 包括 DDA 算法和 Bresenham 直线算法。

实验三: 坐标变换, 包括几何变换和投影变换。

实验四: 光照的编程实现, 可以基于基本的 OpenGL 和 DirectX 程序修改。

实验五: 纹理映射的编程实现。

实验六: 简单 3D 场景漫游系统的实现, 可作为课程项目。

—○ 目 录 ○—

前 言

教学建议

第1章 计算机图形学 1

1.1 计算机图形学概述 1

1.2 计算机图形学的发展历史 2

1.3 计算机图形学的应用领域 3

1.3.1 计算机辅助设计 (CAD/CAM) ... 4

1.3.2 科学计算可视化 4

1.3.3 图形化的用户界面 5

1.3.4 电脑游戏 5

1.3.5 动画特效 5

1.3.6 地理信息系统 6

1.3.7 虚拟现实系统 7

1.3.8 计算机艺术 8

1.4 计算机图形设备与图形系统 8

1.4.1 计算机图形设备 8

1.4.2 计算机图形系统 10

1.5 计算机图形的最新发展动向 10

本章小结 11

习题 11

第2章 基本图形生成算法 12

2.1 图形光栅化的原理 12

2.2 直线的光栅化算法 13

2.2.1 逐点比较法 13

2.2.2 数值微分法 15

2.2.3 中点 Bresenham 算法 15

2.3 圆的光栅化算法 18

2.3.1 简单方程法产生圆弧 18

2.3.2 Bresenham 算法产生圆弧 19

2.4 其他图形的光栅化算法 20

2.5 基本图元的代码实现 21

2.5.1 基本图元的 C 语言实现 21

2.5.2 基本图元的 MFC 实现 22

2.6 多边形填充 23

2.7 宽图元 25

2.7.1 复制像素画宽图元 25

2.7.2 移动画笔画宽图元 26

本章小结 27

习题 27

第3章 3D 图形中的数学基础 28

3.1 坐标系 28

3.2 向量 30

3.2.1 向量的基本概念 30

3.2.2 向量的基本运算 30

3.2.3 向量的代码实现 32

3.3 矩阵 33

3.3.1 矩阵的基本概念 33

3.3.2 矩阵的基本运算 34

3.3.3 Direct3D 中的矩阵 35

3.4 空间几何的运算 36

3.4.1 几何形体的表达 36

3.4.2 几何体之间的空间关系 38

本章小结 41

习题 41

第4章 图形变换 43

4.1 二维及三维图形几何变换 43

4.1.1 二维图形几何变换 43

4.1.2 三维图形几何变换 47

4.2 投影与投影变换 49

4.2.1 平行投影 49

4.2.2 透视投影 50

4.3 图形变换的实现 53

4.3.1 Direct3D 中的矩阵 53

4.3.2 Direct3D 中的矩阵变换 54

4.4 编程实例	56	7.1.1 纹理的基本概念	94
本章小结	57	7.1.2 纹理映射的概念	94
习题	58	7.1.3 纹理映射中的几何关系	95
第5章 三维场景绘制基础	59	7.2 纹理映射的实现过程	96
5.1 三维场景绘制流水线	59	7.2.1 纹理映射的 OpenGL 实现	96
5.1.1 世界变换	59	7.2.2 纹理映射的 Direct3D 实现	100
5.1.2 观察空间变换	59	7.3 高级纹理映射技术	102
5.1.3 背面拣选	61	7.3.1 纹理的优化处理技术	102
5.1.4 光照	61	7.3.2 多重纹理映射	104
5.1.5 裁剪	61	7.3.3 凹凸纹理	105
5.1.6 投影	64	7.3.4 环境映射技术	108
5.1.7 视口变换	65	本章小结	111
5.1.8 光栅化	66	习题	111
5.2 Direct3D 的绘制流程	66	第8章 场景组织与管理技术	112
5.2.1 创建场景	66	8.1 3D 场景组织方式	112
5.2.2 绘制场景	69	8.1.1 场景图	112
5.2.3 Direct3D 绘制流水线	71	8.1.2 基于绘制状态的场景管理	114
本章小结	72	8.2 优化场景绘制的几何剖分技术	115
习题	73	8.2.1 四叉树	115
第6章 真实感图形光照处理	74	8.2.2 八叉树	116
6.1 3D 图形的颜色原理	74	8.2.3 BSP 树	117
6.1.1 颜色的光学性质	74	8.3 三维场景的快速可见性判断	119
6.1.2 CIE 色度图	75	8.3.1 入口技术	119
6.1.3 颜色空间模型	77	8.3.2 遮挡剔除	121
6.2 光照模型	79	8.3.3 潜在可见集方法	123
6.2.1 简单光照模型	79	8.4 LOD 加速绘制技术	124
6.2.2 基于简单光照模型的多边形 绘制	83	8.4.1 LOD 技术分类	125
6.2.3 整体光照模型和光线跟踪 算法	84	8.4.2 LOD 的主要简化方法分类	125
6.3 光照的 Direct3D 编程实现	86	8.4.3 典型 LOD 的简化方法	126
6.3.1 Direct3D 颜色定义	86	本章小结	127
6.3.2 光源	88	习题	127
6.3.3 材质	91	第9章 游戏特效绘制技术	128
6.3.4 Direct3D 顶点颜色	91	9.1 广告牌技术	128
本章小结	92	9.2 粒子系统技术	130
习题	92	9.2.1 粒子的属性	130
第7章 纹理映射技术	93	9.2.2 粒子系统的创建	131
7.1 纹理映射的基本原理	94	9.3 精灵动画技术	132
		9.4 Warping 特效技术	134
		9.5 烟、雾、火特效技术	136
		9.5.1 粒子系统	137

9.5.2 分形几何	137	第12章 碰撞检测技术	168
9.5.3 过程纹理	137	12.1 碰撞检测的基本原理	168
9.5.4 细胞自动机	137	12.1.1 概念	168
9.5.5 基于物理的方法	137	12.1.2 碰撞检测问题描述	170
9.6 眩光特效技术	139	12.1.3 碰撞检测算法分类	171
9.6.1 太阳及镜头光晕的绘制	139	12.2 高级碰撞检测技术	176
9.6.2 光晕淡入淡出效果	140	12.2.1 基于图像空间的碰撞检测 算法	176
9.6.3 可见性判断	140	12.2.2 基于一般表示模型的碰撞检测 算法	177
本章小结	141	12.2.3 面向可变形体的碰撞检测 算法	177
习题	141	12.3 基本碰撞检测算法实现	178
第10章 地形绘制技术	142	12.3.1 使用边界框测试碰撞	178
10.1 地形绘制的基本理论	142	12.3.2 使用边界球测试碰撞	180
10.1.1 地形生成	142	12.4 示例程序	181
10.1.2 地表纹理	144	12.4.1 边界框碰撞	181
10.1.3 地形光照	145	12.4.2 边界球碰撞	185
10.1.4 地形的雾化效果	147	本章小结	188
10.2 简单地形的绘制方法	147	习题	188
10.2.1 生成地形高度数据	147	第13章 计算机动画技术	189
10.2.2 创建地形网格	148	13.1 计算机动画概述	189
10.2.3 添加纹理	149	13.2 计算机三维动画过程	190
10.2.4 计算阴影	149	13.3 关键帧动画	192
10.2.5 添加雾化效果	150	13.4 过程动画	193
10.3 高级地形绘制技术	150	13.4.1 三维纹理映射与过程纹理	193
10.3.1 地形 LOD 技术简介	151	13.4.2 L 系统	194
10.3.2 基于 GeoMipmapping 的地形 LOD 技术	152	13.4.3 傅里叶合成技术	197
本章小结	155	13.5 变形动画	197
习题	156	13.6 基于物理模型的动画	199
第11章 阴影绘制技术	157	13.6.1 刚体动力学模拟	200
11.1 阴影的基本原理	157	13.6.2 弹性变形体模拟	200
11.2 平面阴影技术	158	13.6.3 流体模拟	200
11.2.1 投影矩阵	158	13.7 人体和关节动画	201
11.2.2 模板缓存	159	13.7.1 人体骨架模型	201
11.2.3 绘制过程	160	13.7.2 运动学方法	202
11.3 复杂阴影实现技术	161	13.7.3 动力学方法	203
11.3.1 阴影图算法	161	13.7.4 基于运动捕获的方法	204
11.3.2 阴影体算法	163	本章小结	214
本章小结	166	习题	215
习题	167		

第14章 GPU 硬件加速技术	216	14.4.2 GLSL 的输入输出	226
14.1 GPU 硬件加速的原理	217	14.4.3 顶点着色器与片段着色器 操作	231
14.2 GPU 与 CPU 比较.....	218	14.4.4 GLSL 光照示例程序	232
14.3 HLSL 着色器.....	218	本章小结	237
14.3.1 HLSL 简介.....	218	习题	237
14.3.2 HLSL 的数据类型.....	219		
14.3.3 编写 HLSL 着色器代码	219		
14.3.4 在 Direct3D 程序中加载 HLSL	221		
14.3.5 HLSL 的 Effect 框架.....	222		
14.3.6 基于 HLSL 的光照效果程序 ...	223		
14.4 GLSL 着色器.....	225		
14.4.1 GLSL 数据类型	226		

附录 A 图形开发库 Direct3D 编程

入门	238
----------	-----

附录 B OpenGL 简介	249
----------------------	-----

参考文献	254
------------	-----

第 1 章 计算机图形学

客观世界中的事物是多姿多彩的，而呈现在我们眼前的往往是它们的外观，通过外观人们进一步地认识及研究它们。以图画为表现形式的图形信息在人类的社会生活中起着非常重要的作用，与其他的信息表现形式相比，图形信息具有容易理解、容易记忆、直观等特点。随着现代科学技术的发展，用计算机来处理图形的信息，完成图形的构造、显示与分析，很自然地就成为人们研究与探索的方法。经过 30 多年的发展，计算机图形学已成为计算机科学中最为活跃的分支之一，并得到广泛的应用。本章将介绍计算机图形学的研究内容、发展历史、应用领域等，使读者对计算机图形学的基本内容有大致的了解。

1.1 计算机图形学概述

首先，我们来看什么是计算机图形学？简单来说，计算机图形学是指用计算机把对象的图形进行输出的技术。更确切地说，计算机图形学是利用计算机研究图形的表示、生成、处理、显示的学科，它综合了应用数学、计算机科学等多方面的知识。例如要表现一个桌子的图形，我们需要先研究如何在计算机上表示这个图形，并准备表现该图形所需的数据，如桌子的长、宽、高等，这是建模的过程；接着我们需要考虑如何显示已准备好的图形，这是绘制的过程；当然中间还要考虑人与图形的交互和参数化，这是交互式图形学的主要内容。

计算机图形学的研究内容非常广泛，如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线（曲面）造型、实体造型、真实感图形绘制技术，以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等。

随着计算机技术的快速发展，涉及图形方面的应用也越来越深入，诸如零件的构造与显示、卫星照片的处理及手写文字的识别等。经过多年的研究与发展，逐渐形成了多个与图形相关的研究分支，计算机图形学、图像处理、模式识别、计算几何学就是其中的典型代表。下面简述一下这几个学科：

- 图形是对象的一种外在表现形式，它是对象有关信息的具体体现。对象可以是各种具体的、实在的物体（如机械零件、房屋建筑等），也可以是抽象的、假想的事物（如天气形势、人口分布、经济增长趋势等）。能够正确地表达出一个对象性质、结构和行为的描述信息，称为这个对象的模型。计算机图形学中产生图形的方法是建立对象的模型，即对该对象作出所需的正确的信息描述，然后利用计算机对这个模型进行各种必要的处理，从无到有地产生出能正确反映对象的某种性质的图形输出。可以说，计算机产生图形的过程就是将数据（对象的模型表示）转化为图形的过程。
- 图像处理是指用计算机来改善图像质量的数字技术。可见或不可见的图像经过量化

后输入到计算机中（如扫描仪扫描输入、数码相机拍照），由计算机按应用的需要对已有的图像进行增强、复原、分割、重建、编码、存储、传输等不同的处理，再把加工后的图像进行输出。在太空探索中分析宇宙飞船发回的各种照片，在生物医学工程中发展起来的计算机的 X 射线断层摄影技术等都是计算机图像处理技术的典型例子。

- 模式识别是指用计算机对输入图形进行识别的技术。图形信息输入计算机后，先进行特征抽取等预处理，然后用统计判定方法或语法分析方法对图形作出识别，最后按照使用的要求给出图形的分类或描述。各种中西文字符及工程图样的自动阅读装置，就是模式识别技术的应用实例。

上述三门学科是独立发展起来的。当前由于光栅扫描显示器的广泛使用及解决复杂的实际问题的需要，它们已经相互渗透，也使人们对这三门学科的相互关系和共同技术产生了越来越大的兴趣。

- 计算几何学是研究几何模型和数据处理的学科。几何模型指描述物体形状的数据集合。显然，寻找对复杂形体的描述方法和在计算机中存放适当的数据结构不是很容易的。通常认为，二维、三维物体及曲线、曲面的描述，几何问题算法的设计和分析，都是计算几何学研究的内容。

这几门学科的相互关系如图 1-1 所示。

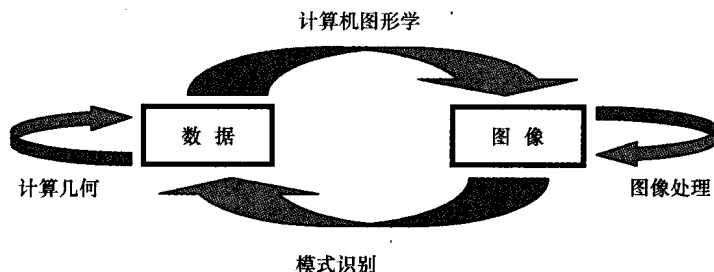


图 1-1 计算机图形学、模式识别、图像处理、计算几何学科之间的关系

交互式计算机图形学是指用计算机交互式地产生图形的技术。交互式绘图允许操作人员以对话方式控制和操纵图形的生成。图形可以边生成、边显示、边修改，直到产生符合使用要求的图形为止。交互式绘图可以将人的逻辑思维能力、分析能力和计算机准确快速的计算能力结合起来，从而发挥更大的威力，使人们运用起来更加方便，近年来得到了大量的应用。

1.2 计算机图形学的发展历史

计算机图形学的发展是伴随着图形硬件技术发展的。虽然人们对图形的兴趣由来已久，但是如何显示这些图形需要特殊的硬件。在 20 世纪 50 年代，由于计算机还不适应交互式应用，交互式计算机图形学几乎没有什么发展。那时的计算机主要用于计算冗长的数字。计算机图形学的研究最早起源于美国麻省理工学院（MIT）。1950 年，第一台和麻省理工学院的 Whirlwind 计算机相连的显示器产生了简单的图形。这台显示器使用了类似电视机使用的阴极射线管（CRT）。

从 20 世纪 50 年代初到 60 年代中期,麻省理工学院积极从事现代计算机辅助设计/制造技术的开拓性研究。计算机图形这个术语是在 1962 年美国麻省理工学院林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表的博士论文中首次使用,这篇论文题为“Sketchpad: 一个人-机通信的图形系统”,从而确立了计算机图形学作为一个崭新的学科分支的独立地位。

1964 年,孔斯(S. Coons)提出了用小块曲面片组合表示自由曲面,使曲面片边界上达到任意高阶连续的理论方法,称为孔斯曲面。此方法受到了工业界和学术界的极大重视。法国雷诺公司的贝济埃(P. Bézier)也提出了 Bézier 曲线和曲面,并将其成功地用于几何外形设计,他们被称为计算机辅助几何设计的奠基人。

1964 年,IBM 公司推出了第一台交互式光笔输入显示器的设计方案,以后经过改进,成为 IBM 2250 显示器,它预示着交互式计算机图形学的诞生。洛克希德飞机公司利用 IBM 2250 开发了 CAD 绘图加工系统,成为 IBM 主机上目前应用最广的 CAD/CAM 软件。

20 世纪 70 年代是计算机图形学发展过程中一个重要的历史时期。由于光栅显示器的产生,在 20 世纪 60 年代就已萌芽的光栅图形学算法迅速发展起来。区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生,图形学进入了第一个兴盛时期,并开始出现实用的 CAD 图形系统。又因为与设备无关的通用图形软件的发展,图形软件功能的标准化问题被提出来。在这个时期,计算机图形技术的应用进入了实用化的阶段,交互式图形系统在许多国家得到应用,许多新的更加完备的图形系统不断被研制出来。除了在军事上和工业上的应用之外,计算机图形学还进入教育、科研、事务管理等领域。

20 世纪 70 年代,计算机图形学的另外两个重要进展是真实感图形学和实体造型技术的产生。1980 年提出的光透视模型和光线跟踪算法,标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。

20 世纪 80 年代以来,超大规模集成电路的发展,为图形学的飞速发展奠定了物质基础。计算机的运算能力的提高,图形处理速度的加快,使得图形学的各个研究方向得到充分发展,图形学已广泛应用于动画、科学计算可视化、CAD/CAM、影视娱乐等领域。

20 世纪 90 年代,计算机图形学在更多领域得到了广泛而深入的应用,在技术上逐渐融合了多媒体技术、人工智能、科学计算可视化、虚拟现实和三维造型技术,其应用并逐步向标准化、集成化、智能化方向发展。在部分领域逐渐取得了规模效应,如机械 CAD 绘图已经完全代替了传统的手工绘图方式。

进入 21 世纪,以动漫、游戏为主导的数字娱乐产业的迅猛发展为计算机图形学的发展带来了井喷式的推动。移动设备、网络应用的流行也为移动图形学和网络图形显示提供了更大的空间,同时为融合人工智能、增强现实和人机交互最新技术为一体提供了更加深入的应用。

我国计算机图形学的发展始于 20 世纪 70 年代,晚于国际计算机图形学的发展。不过经过近些年的努力,计算机图形各个方向的技术也得到了迅猛的发展。在计算机图形学方面的研究也取得了长足的进展,相关工作成果也逐渐出现在一些知名的国际图形学会议上。

1.3 计算机图形学的应用领域

随着计算机图形学不断发展,它的应用范围也日趋广泛。目前计算机图形学几乎在各个领域都有着广泛的应用,诸如工业、商业、政府部门、教育、科研、医学和广告等。目前计

算机图形学的应用领域主要有以下几个方面。

1.3.1 计算机辅助设计 (CAD/CAM)

CAD/CAM 是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用领域。CAD/CAM 是制造业信息化的一项核心技术,采用这项技术可以大大提高产品创新设计能力,缩短产品设计周期,加快产品更新换代的速度。CAD/CAM 的应用领域有飞机、轮船、汽车外形、大规模集成电路、建筑、服装、玩具等。在电子工业中,计算机图形学应用到集成电路、印制电路板、电子电路和网络分析等方面的优势是十分明显的。一个复杂的大规模或超大规模集成电路版图根本不可能用手工设计和绘制,用计算机图形系统不仅能在较短的时间内完成设计和画图,而且还可以把其结果直接送至后续工艺进行加工处理。在飞机工业中,美国波音飞机公司已用有关的 CAD 系统实现波音 777 飞机的整体设计和模拟,其中包括飞机外形、内部零部件的安装和检验。目前的 CAD/CAM 技术正逐渐向网络协同设计、虚拟装配等方向发展。图 1-2 为采用 CAD 技术设计的流线型汽车外形。

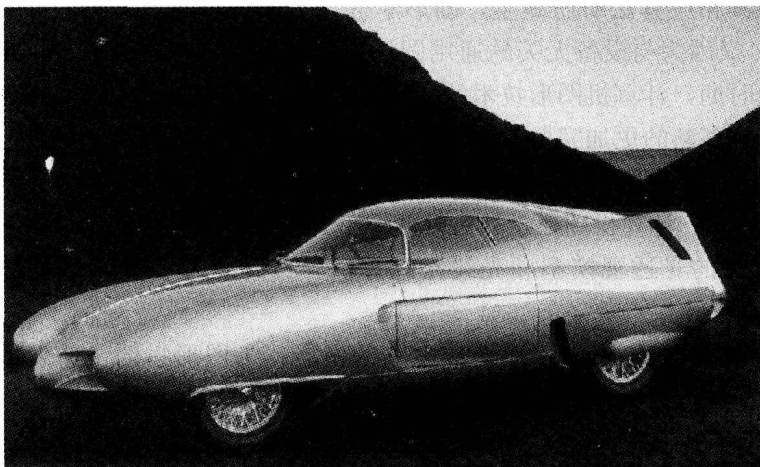


图 1-2 计算机辅助设计应用于汽车的外观设计

1.3.2 科学计算可视化

科学技术的迅猛发展,数据量的与日俱增,使得对数据的分析和处理变得越来越困难,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。但是如果能将这些数据用图形的形式表示出来,情况就不一样了,事物的发展趋势和本质特征将会很清楚地呈现在人们面前。科学计算可视化即采用图形表现抽象的数据。

目前科学计算可视化广泛应用于医学、流体力学、有限元分析、气象分析等领域。尤其在医学领域,可视化有着广阔的发展前景。可视化技术将医用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,使得医生能够看到并准确地判别病人体内的患处,帮助医生成功完成手术。如图 1-3 所示为采用图形技术展现的脑部 CT 的数据可视化。

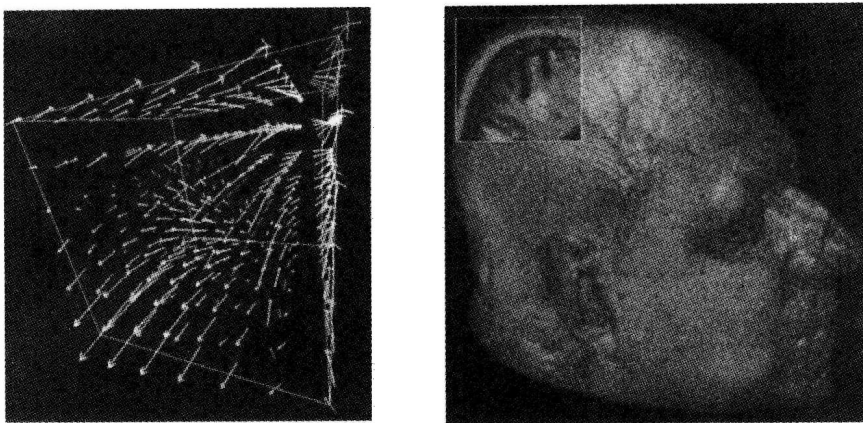


图 1-3 数据可视化

1.3.3 图形化的用户界面

一个友好的图形化用户界面（Graphic User Interface）能够大大提高软件的易用性。20 世纪 80 年代以后，随着 Apple 公司图形化操作系统的推出，特别是微软公司 Windows 操作系统的普及，标志着图形学已经全面融入计算机的方方面面。如今在任何一台普通计算机上都可以看到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、图标和动画被广泛使用，程序直观易用。很多软件几乎不用看任何说明书，而根据它的图形界面的指示就可进行操作。

图形用户界面的发展经历了命令行界面（CLI）、图形用户界面（GUI）、多通道用户界面（MMI）的历程，其中计算机图形学的作用至关重要。目前正在研究下一代用户界面，开发面向主流应用的自然、高效、多通道的用户界面。研究多通道语义模型、三维图形界面显示、多通道整合算法是当前用户界面和接口方面研究的主流方向，而图形学在其中起主导作用。

1.3.4 电脑游戏

计算机图形学的最大应用应该是电脑游戏。近年来，随着图形显示设备的发展，电脑游戏得到迅猛的发展，并逐步发展成为一个很大的产业。电脑游戏也是计算机图形学最彻底的应用，图形显示的逼真度是电脑游戏的核心。目前电脑游戏中的图形技术也发展得很快，很多游戏已经做得非常逼真，给玩家以真实的体验。图 1-4 为一款游戏的截图。

1.3.5 动画特效

计算机图形学技术在计算机动画、广告、影视特效中得到了非常广泛的应用。电视上各类广告片铺天盖地，它们都少不了计算机图形处理技术。计算机动画已经成为计算机图形学应用的一个重要分支，近十几年来也是计算机动画应用辉煌的时期，迪斯尼公司每年都要出一部制作精美的卡通动画片，好莱坞的大片屡屡大量运用计算机生成各种各样精彩绝伦的特效效果，广告设计、电脑游戏也频频运用计算机动画。计算机动画也因这些商业应用的大力推动而有了极大的发展。



图 1-4 电脑游戏

1996 年，世界上第一部完全用计算机动画制作的电影《玩具总动员》上映，该影片不仅获得了破纪录的票房收入，而且给电影制作开辟了一条新的道路。目前影视特效已经成为影视制作的传统技术手段，可以说没有任何一部电影不需要特效制作的。采用特效制作技术可以制作拍摄不到的一些效果，如泰坦尼克号中船的远景、海水、船翻沉时乘客的落水镜头等。图 1-5 是某电影的特效制作镜头。美国迪斯尼公司预言：“21 世纪的明星将是一个听话的计算机程序”。

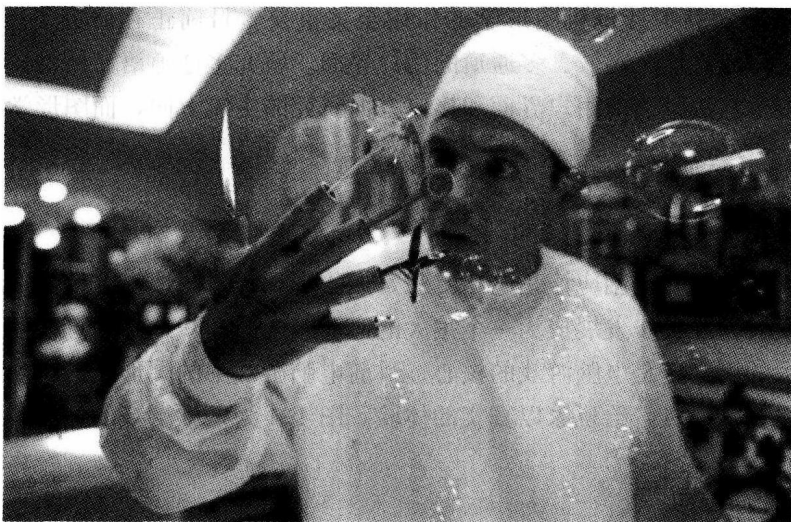


图 1-5 电影中的特效制作镜头

1.3.6 地理信息系统

地理信息系统 (GIS) 是建立在地理图形之上的关于各种资源的综合信息管理系统。它是国家经济信息系统的一个组成部分，将过去分散的表册、照片、图纸等资料整理成统一的数据库，记录国家的大地和重力测量数据、高山和平原地形、河流和湖泊水系、道路桥梁、