



高等院校机械工程·工业工程系列教材

Computer Graphics Theory and Practice

# 计算机图形理论与实践

李凌丰 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

高等院校机械工程·工业工程系列教材

Computer Graphics Theory and Practice

# 计算机图形理论与实践

李凌丰 编著

浙江大學出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

计算机图形理论与实践/李凌丰编著. —杭州:浙江大学出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-308-05568-0

I. 计... II. 李... III. 计算机图形学 IV. TP391. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148969 号

**责任编辑** 杜希武

**封面设计** 刘依群

**出版发行** 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

**排版** 星云光电图文制作工作室

**印刷** 浙江省临安市曙光印务有限公司

**开本** 787mm×1092mm 1/16

**印张** 14.25

**字数** 346 千字

**版印次** 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

**书号** ISBN 978-7-308-05568-0

**定价** 28.00 元

---

**版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换**

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88072522

# 致读者

为什么选择《新电脑课堂》系列丛书？

这是一套为初学者量身打造的图书，自2002年1月问世以来，累计销量超过200万册，已成为一个著名图书品牌。

这是一份教育专家为您定制的“营养套餐”，面向各个应用层面和应用领域，满足广大读者的不同需求。

丛书荣获“全国优秀畅销书”大奖。

我们为读者提供全面而贴心的服务，网上和电话疑难解答服务免费为您排忧解难。

此次推出的《新电脑课堂》新书，彻底颠覆了“死记硬背、枯燥乏味、光学不练”的传统学习方法，大大提高了学习效率。

## 丛书的特点

-  **多媒体光盘** 配套自学光盘包含数小时教学演示视频，学习知识更加轻松自如！
-  **图解式教学** 操作步骤直接指向插图，更加直观、易懂！
-  **丰富且实用** 包含最常用、最实用的电脑知识，还有众多操作技巧！
-  **易学又易练** 手把手教让您一学就会，课后练习让您一练就精，疑难解答让您一点就通！

## 丛书的阅读说明

-  **图书的内容特点** 本套丛书的结构和内容按照电脑初学者的学习习惯进行编排，使用简洁流畅的语言介绍重点知识，通过典型实用的操作实例帮助读者快速掌握技能。
-  **操作步骤表述** 在讲解操作实例时，本书采用了图解方式，将主要操作步骤直接指向插图中的相关位置，直观地指引读者进行学习，便于快速领会相关知识。
-  **快捷键说明** 当操作讲解中涉及快捷键时，本套丛书采用类似【Ctrl+C】的形式表述，表示在按住【Ctrl】键不放的同时按下【C】键，然后松开各键。
-  **注释性内容说明** 正文中穿插着一些注释性内容，其中，“说明”用于介绍和正文相关的知识或解释特殊内容，“提示”表示需要特别注意。

## 光盘使用提示

-  **运行环境要求**  
操作系统：Windows 9X/Me/2000/XP/2003/NT/Vista简体中文版  
显示模式：1024×768像素以上分辨率，16位色以上  
光驱：CD-ROM或DVD-ROM  
其他：配备声卡与音箱（或耳机）

-  **使用方法**  
将光盘放入光驱，光盘中的软件将自动运行，出现运行主界面。如果光盘未能自动运行，请打开【我的电脑】或【计算机】窗口，用鼠标右键单击光驱所在盘符，从弹出菜单中选择【打开】命令，然后双击光盘根目录下的Autorun.exe文件。

启动软件主界面后，用鼠标单击章节标题，在弹出的子菜单中选择要学习的小节标

题,即可进入演示界面进行学习。在演示界面中,可以使用左下角的播放控制按钮对多媒体演示进行控制,例如前进、后退和退出等。

## 丛书的实时答疑服务



### 网上疑难解答

网站地址: [faq.hxex.cn](http://faq.hxex.cn)

电子邮件: [faq@hxex.cn](mailto:faq@hxex.cn)

服务时间: 工作日9:00~17:00 (其他时间可以留言)



### 电话疑难解答

电话号码: 010-88253801-168

服务时间: 工作日9:00~11:30, 13:00~17:00

## 《新电脑课堂》大家族



**钻石版** 具有钻石般的品质,采用“文字+图解+光盘”的模式,易学易会。



**实用版** 浓缩最有实用价值的基础知识和操作技巧,物美价廉。



**基础与提高** 电脑知识讲解系统全面,从入门到精通,一步到位。



**实例版** 以大量精彩、实用的综合实例为主线,全面介绍软件应用,快速成就高手梦想。



**双格式** 配套多媒体自学光盘能够使用家用DVD机或电脑光驱播放,使用方便。

## 丛书的作者和编委

本套丛书的作者和编委会成员均是多年从事电脑应用教学和科研的专家或学者,有着丰富的教学经验和实践经验,这些作品都是他们多年科研成果和教学经验的结晶。

## 结束语

您还在为不会使用电脑而烦恼吗?您还在为不知从何学起而发愁吗?赶快拿起这本书,投身于电脑学习的轻松之旅吧!

## 摘 要

本书按照理论基础、操作技能、实践练习的体系,系统地讲述了计算机图形的有关知识。在理论基础部分,介绍了计算机图形系统的硬件和软件结构,同时通过介绍计算机图形学在典型工程领域以及现实生活中的应用,展示其对社会发展的重要作用和灿烂的前景。介绍了计算机图形学基础,包括图形元素的生成方法、图形处理的算法、图形的数据结构。介绍了几何造型技术及其应用,包括基本几何造型方法、参数曲线与曲面造型、隐式曲面造型以及其他造型技术。介绍了图形显示技术,包括反走样、消隐、真实感显示等技术。在操作技能部分,以 AutoCAD 为平台,介绍了工程设计绘图软件的一般操作方法,包括以绘制图形元素构造复杂平面图形的操作方法,通过修改编辑图形获得满意结果的操作方法,在工程图样上标注尺寸的操作方法。在实践练习部分,通过举例和设置练习题,进一步巩固所学的计算机图形操作方法并加深对计算机图形的理解。

通过本书的学习,使读者掌握绘制计算机图形的基础操作方法,并且对计算机生成以及处理图形的共性技术有理解,为将来进一步深入学习或研究打下坚实基础。

本书可作为大学本科和专科的计算机图形学课程的教材,也可作为从事计算机图形在工程中应用工作的研究生、科研人员、工程人员的技术参考书。

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 概论 .....              | 1  |
| 1.1 计算机图形学的发展 .....         | 1  |
| 1.2 计算机图形学的研究内容 .....       | 2  |
| 1.3 应用及研究前沿 .....           | 3  |
| 1.3.1 用户接口 .....            | 3  |
| 1.3.2 计算机辅助设计与制造 .....      | 4  |
| 1.3.3 真实感图形生成 .....         | 4  |
| 1.3.4 计算机动画及计算机艺术 .....     | 5  |
| 1.3.5 科学计算的可视化 .....        | 7  |
| 1.3.6 虚拟现实 .....            | 7  |
| 1.4 图形设备 .....              | 8  |
| 1.4.1 图形输入设备 .....          | 8  |
| 1.4.2 图形输出设备 .....          | 10 |
| 1.4.2.1 彩色 CRT 监视器 .....    | 10 |
| 1.4.2.2 LCD 显示器 .....       | 11 |
| 1.4.3 图形处理器 .....           | 12 |
| 1.5 CAD 软件概述 .....          | 13 |
| 1.5.1 软件的层次 .....           | 13 |
| 1.5.2 CAD 软件的发展 .....       | 13 |
| 1.5.3 目前流行 CAD 软件的状况 .....  | 17 |
| 1.5.4 CAD 软件开发的标准 .....     | 21 |
| 1.5.5 CAD 软件相关技术 .....      | 23 |
| 1.5.5.1 计算机图形系统的功能及组成 ..... | 23 |
| 1.5.5.2 选择技术 .....          | 24 |
| 1.5.5.3 定位技术 .....          | 24 |
| 1.5.5.4 定向技术 .....          | 24 |
| 1.5.5.5 定路径技术 .....         | 24 |
| 1.5.5.6 定量技术 .....          | 25 |
| 1.5.5.7 文本技术 .....          | 25 |
| 1.5.5.8 橡皮筋与拖动技术 .....      | 25 |
| 1.5.5.9 徒手画技术 .....         | 25 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>第2章 计算机图形学基础 .....</b>  | <b>26</b> |
| 2.1 计算机图形学基础理论 .....       | 26        |
| 2.1.1 坐标系和点 .....          | 26        |
| 2.1.1.1 坐标系 .....          | 26        |
| 2.1.1.2 点的描述 .....         | 27        |
| 2.1.2 直线段的生成算法 .....       | 27        |
| 2.1.2.1 数值微分(DDA)法 .....   | 27        |
| 2.1.2.2 中点画线法 .....        | 28        |
| 2.1.3 圆和圆弧的生成算法 .....      | 29        |
| 2.1.3.1 圆的特征 .....         | 30        |
| 2.1.3.2 直线(正多边形)逼近算法 ..... | 30        |
| 2.1.3.3 正负法 .....          | 31        |
| 2.1.3.4 Bresenham 算法 ..... | 32        |
| 2.1.4 多边形域的扫描填充算法 .....    | 33        |
| 2.1.4.1 扫描线算法 .....        | 33        |
| 2.1.4.2 边界标志算法 .....       | 35        |
| 2.1.4.3 种子填充算法 .....       | 36        |
| 2.1.4.4 种子扫描线算法 .....      | 37        |
| 2.1.5 字符 .....             | 39        |
| 2.1.5.1 点阵字符 .....         | 39        |
| 2.1.5.2 矢量字符 .....         | 40        |
| 2.2 计算机图形相关算法 .....        | 40        |
| 2.2.1 图形交切 .....           | 40        |
| 2.2.1.1 相交 .....           | 40        |
| 2.2.1.2 相切 .....           | 42        |
| 2.2.2 窗口裁剪 .....           | 42        |
| 2.2.2.1 直线段裁剪 .....        | 43        |
| 2.2.2.2 多边形裁剪 .....        | 47        |
| 2.2.2.3 字符裁剪 .....         | 49        |
| 2.2.3 内外轮廓识别 .....         | 49        |
| 2.2.4 画剖面线 .....           | 50        |
| 2.3 图形数据结构 .....           | 51        |
| 2.3.1 数据的基本组织技术概述 .....    | 52        |
| 2.3.1.1 线性表 .....          | 52        |
| 2.3.1.2 二叉树 .....          | 53        |



|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 2.3.2 基于图形元素的数据结构 .....       | 53        |
| 2.3.2.1 点、线、圆弧的数据结构 .....     | 53        |
| 2.3.2.2 数据结构的操作 .....         | 54        |
| 2.3.3 基于图形元素的存储结构 .....       | 56        |
| 2.3.3.1 线集数据结构 .....          | 56        |
| 2.3.3.2 环数据结构 .....           | 57        |
| 2.3.3.3 参数化数据结构 .....         | 57        |
| <b>第3章 几何造型技术及其应用 .....</b>   | <b>58</b> |
| 3.1 引 言 .....                 | 59        |
| 3.2 基本几何造型技术 .....            | 60        |
| 3.2.1 边界表示法(B-rep) .....      | 60        |
| 3.2.2 构造实体几何表示法(CSG) .....    | 62        |
| 3.2.3 扫描法(Sweeping) .....     | 63        |
| 3.2.4 分解表示法(D-rep) .....      | 64        |
| 3.2.5 特征表示 .....              | 65        |
| 3.3 参数曲线、曲面造型技术 .....         | 66        |
| 3.3.1 Bézier 曲线与曲面 .....      | 67        |
| 3.3.1.1 Bézier 曲线的定义和性质 ..... | 67        |
| 3.3.1.2 Bézier 曲面 .....       | 68        |
| 3.3.2 B样条曲线与曲面 .....          | 69        |
| 3.3.2.1 B样条曲线 .....           | 69        |
| 3.3.2.2 B样条曲面 .....           | 71        |
| 3.3.3 NURBS 曲线与曲面 .....       | 72        |
| 3.3.3.1 非均匀有理 B样条 .....       | 72        |
| 3.3.3.2 NURBS 曲面的定义和性质 .....  | 73        |
| 3.3.4 Coons 曲面 .....          | 74        |
| 3.3.4.1 基本概念 .....            | 74        |
| 3.3.4.2 双线性 Coons 曲面 .....    | 75        |
| 3.3.4.3 双三次 Coons 曲面 .....    | 76        |
| 3.4 隐式曲面造型技术 .....            | 77        |
| 3.4.1 隐式曲面的特点 .....           | 78        |
| 3.4.2 隐式曲面的发展 .....           | 78        |
| 3.4.3 隐式曲面表示 .....            | 81        |
| 3.4.4 隐式曲面 CSG 方法 .....       | 81        |
| 3.4.5 隐式曲面交互造型 .....          | 82        |

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.6 隐式曲面的显示 .....                            | 83        |
| 3.4.7 隐式曲面与参数曲面的相互转换 .....                     | 84        |
| 3.5 其他造型技术 .....                               | 84        |
| 3.5.1 描述造型(Declaration Modeling) .....         | 84        |
| 3.5.2 基于物理的造型(Physically Based Modeling) ..... | 85        |
| 3.5.3 不规则形体的造型 .....                           | 85        |
| 3.6 几何造型技术的应用 .....                            | 86        |
| 3.6.1 航空工业中的应用 .....                           | 86        |
| 3.6.2 汽车工业的应用 .....                            | 86        |
| 3.6.3 船舶工业的应用 .....                            | 87        |
| 3.6.4 塑料加工业的应用 .....                           | 87        |
| 3.6.5 机电产品的应用 .....                            | 87        |
| 3.6.6 医学上的应用 .....                             | 88        |
| 3.6.7 建筑工程中的应用 .....                           | 89        |
| 3.6.8 服装业的应用 .....                             | 89        |
| 3.6.9 计算机动画制作 .....                            | 89        |
| 3.6.10 人体造型 .....                              | 90        |
| 3.6.11 计算机辅助教学 .....                           | 90        |
| <b>第4章 图形显示技术 .....</b>                        | <b>91</b> |
| 4.1 反走样 .....                                  | 91        |
| 4.1.1 提高分辨率 .....                              | 91        |
| 4.1.2 区域采样 .....                               | 92        |
| 4.1.3 加权区域取样 .....                             | 92        |
| 4.2 消隐 .....                                   | 93        |
| 4.2.1 消隐的分类 .....                              | 93        |
| 4.2.2 线消隐 .....                                | 94        |
| 4.2.3 面消隐 .....                                | 96        |
| 4.2.3.1 画家算法 .....                             | 96        |
| 4.2.3.2 Z缓冲区(Z-Buffer)算法 .....                 | 97        |
| 4.2.3.3 扫描线 Z-Buffer 算法 .....                  | 100       |
| 4.2.3.4 区间扫描线算法 .....                          | 102       |
| 4.3 真实感显示(渲染) .....                            | 103       |
| 4.3.1 颜色模型 .....                               | 103       |
| 4.3.1.1 基本概念 .....                             | 103       |
| 4.3.1.2 三色学说 .....                             | 105       |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 4.3.1.3 CIE 色度图 .....    | 105        |
| 4.3.1.4 颜色模型 .....       | 107        |
| 4.3.2 纹理 .....           | 109        |
| 4.3.2.1 纹理的概述 .....      | 109        |
| 4.3.2.2 二维纹理域的映射 .....   | 109        |
| 4.3.2.3 三维纹理域的映射 .....   | 110        |
| 4.3.2.4 几何纹理 .....       | 112        |
| 4.3.3 实时真实感图形学技术 .....   | 112        |
| 4.3.3.1 层次细节显示和简化 .....  | 113        |
| 4.3.3.2 基于图象的绘制技术 .....  | 114        |
| <b>第5章 平面图形绘制 .....</b>  | <b>117</b> |
| 5.1 AutoCAD 基础 .....     | 117        |
| 5.1.1 AutoCAD 的主界面 ..... | 117        |
| 5.1.2 坐标系 .....          | 118        |
| 5.1.3 基本操作方法 .....       | 120        |
| 5.1.4 简单绘图命令 .....       | 122        |
| 5.1.5 编辑命令初步 .....       | 124        |
| 5.1.6 文件操作 .....         | 125        |
| 5.1.7 绘图环境设置 .....       | 128        |
| 练习题 5-1 .....            | 134        |
| 5.2 精确绘图及图形显示控制 .....    | 134        |
| 5.2.1 捕捉、栅格和正交 .....     | 134        |
| 5.2.2 正交 .....           | 134        |
| 5.2.3 对象捕捉 .....         | 135        |
| 5.2.4 对象捕捉追踪与极轴追踪 .....  | 136        |
| 5.2.5 图形显示控制 .....       | 139        |
| 练习题 5-2 .....            | 141        |
| 5.3 平面图形绘制 .....         | 142        |
| 5.3.1 绘制构造线 .....        | 142        |
| 5.3.2 编辑和绘制多线 .....      | 142        |
| 5.3.3 绘制和编辑多段线 .....     | 147        |
| 5.3.4 绘制正多边形 .....       | 150        |
| 5.3.5 绘制圆弧 .....         | 151        |
| 5.3.6 绘制圆环 .....         | 152        |
| 5.3.7 绘制和编辑样条曲线 .....    | 152        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.3.8 绘制椭圆和椭圆弧 .....        | 154 |
| 5.3.9 块的定义和使用 .....         | 155 |
| 5.3.10 设置点样式和绘制点 .....      | 158 |
| 5.3.11 图案填充与图案填充编辑 .....    | 160 |
| 5.3.12 绘制修订云线 .....         | 162 |
| 5.3.13 绘制擦除 .....           | 163 |
| 5.3.14 设置文本样式、输入和编辑文本 ..... | 163 |
| 5.3.15 徒手绘图 .....           | 169 |
| 5.4 图形编辑 .....              | 170 |
| 5.4.1 对象选择方法 .....          | 170 |
| 5.4.2 常用编辑命令 .....          | 171 |
| 5.4.3 使用夹点编辑图形对象 .....      | 184 |
| 5.4.4 对象编组处理 .....          | 186 |
| 5.4.5 设置和管理对象选择模式 .....     | 187 |
| 综合练习:平面图形绘制 .....           | 189 |
| 练习题 5-3 .....               | 189 |
| 练习题 5-4 .....               | 192 |
| 练习题 5-5 .....               | 195 |
| 5.5 尺寸标注及编辑 .....           | 195 |
| 5.5.1 概述 .....              | 195 |
| 5.5.2 标注术语 .....            | 196 |
| 5.5.3 关联/非关联尺寸标注 .....      | 197 |
| 5.5.4 创建和修改尺寸标注样式 .....     | 197 |
| 5.5.5 尺寸标注命令 .....          | 199 |
| 5.5.6 编辑标注文字 .....          | 204 |
| 综合练习:图形绘制与尺寸标注 .....        | 211 |
| 练习题 5-6 .....               | 211 |
| 练习题 5-7 .....               | 212 |
| 练习题 5-8 .....               | 212 |
| 参考文献 .....                  | 213 |

# 概论

## 1.1 计算机图形学的发展

计算机图形学的发展随着计算机硬件特别是图形显示设备的发展而逐渐产生和发展,其发展史可以追溯到上个世纪 50 年代,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院(MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机附件诞生。该显示器利用一个类似于示波器的阴极射线管(CRT)来显示一些简单的图形,使得当时的计算机摆脱了纯数字计算工具这种单一用途。1958 年美国 Calcomp 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。在整个 50 年代,只有电子管计算机用机器语言编程,主要应用于科学计算,为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时期,可称之为“被动式”图形学。到 50 年代末期,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发 SAGE 空中防御体系,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到了应用,它预示着交互式计算机图形学的诞生。1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了一篇题为《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,证明了交互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一些基本概念和技术,如交互技术、分层存储符号的数据结构等至今还在广泛应用。1964 年 MIT 的教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为超限插值的新思想,通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。同在 60 年代早期,法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 建立了一套被后人称为 Bézier 曲线、曲面的理论,成功地用于几何外形设计,并开发了用于汽车外形设计的 UNISURF 系统。Coons 方法和 Bézier 方法是 CAGD (Computer Aided Geometric Design,计算机辅助几何设计)最早的开创性工作。值得一提的是,计算机图形学的最高奖是以 Coons 的名字命名的,而获得第一届(1983)和第二届(1985)Steven A. Coons 奖的,恰好是 Ivan E. Sutherland 和 Pierre Bézier,这也算是计算机图形学的一段佳话。

到 20 世纪 70 年代,计算机图形学发展进入了一个重要的历史时期。由于光栅显示器的产生,在 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的时期,并开始出现实用的 CAD(Computer Aided Design,计算机辅助设计)图形系统。又因为通用、与设备无关的图形软件的发展,图形软件功能的标准化问题被提了出来。1974 年,美国国家标准化局(ANSI)在 ACM SIGGRAPH 的一个“与机器无关的图形技术”的工作会议上,提出了制定有关标准的基本规则。此后 ACM 专门成立了一个图形标准化委员会,开始制定有关标准。该委员会于 1977 年、1979 年先后制定和修改了“核心图形系统”(Core Graphics System)。ISO 随后又发布了计算机图形接口 CGI(Computer Graphics Interface)、计算机图形元文件标准 CGM(Computer Graphics Metafile)、计算机图形核心系统 GKS(Graphics Kernel System)、面向程序员的层次交互图形标准 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard)等。这些标准的制定,为计算机图形学的推广、应用、资源信息共享,起到了重要作用。70 年代计算机图形学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。1970 年 Bouknight 提出了第一个光反射模型,1971 年 Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理。1975 年 Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型。这些可以算是真实感图形学最早的开创性工作。另外,从 1973 年开始,相继出现了英国剑桥大学 CAD 小组的 Build 系统、美国罗彻斯特大学的 PADL-1 系统等实体造型系统。

进入 80 年代后,计算机图形学系统已经超过数百万台,不仅在工业、管理、艺术领域发挥巨大作用,而且已进入家庭。1980 年 Whitted 提出了一个光透视模型——Whitted 模型,并第一次给出光线跟踪算法的范例,实现 Whitted 模型;1984 年,美国 Cornell 大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度方法引入到计算机图形学中,用辐射度方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果。光线跟踪算法和辐射度算法的提出,标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。从 80 年代中期开始,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(Computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)、影视娱乐等各个领域。

最后,以 SIGGRAPH 会议的情况,来结束计算机图形学的历史回顾。ACM SIGGRAPH 会议是计算机图形学最权威的国际会议,每年在美国召开,参加会议的人在 50,000 人左右。世界上没有第二个领域每年召开如此规模巨大的专业会议,SIGGRAPH 会议很大程度上促进了图形学的发展。SIGGRAPH 会议是由 Brown 大学教授 Andries van Dam 和 IBM 公司 Sam Matsa 在 60 年代中期发起的,全称是“the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques”。1974 年,在 Colorado 大学召开了第一届 SIGGRAPH 年会,并取得了巨大的成功,当时大约有 600 位来自世界各地的专家参加了会议。到了 1997 年,参加会议的人数已经增加到 48,700 人。因为每年只录取大约 50 篇论文,在 Computer Graphics 杂志上发表,因此论文的学术水平较高,基本上代表了图形学的主流方向。

## 1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(Computer Graphics)是一门新兴学科,国际标准化组织(ISO)将其定义

为:计算机图形学是研究借助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。图形的具体应用范围很广,但从基本的处理技术上看只有两类:一类是线条,如工程图、地图、曲线图表等;另一类是点阵,比如照片。计算机图形学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。

如何在计算机中表示图形,以及如何利用计算机生成、处理和显示图形,从而验证图形学的相关原理与算法,构成了计算机图形学的主要研究内容。图形通常由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成。

可以说,计算机图形学的一个重要研究内容就是要利用计算机产生令人赏心悦目的真实感图形。为此,必须建立图形所描述的场景的几何表示,再用某种光照模型,计算出在假想的光源、纹理、材质属性下的光照明效果。所以计算机图形学与另一门学科——计算机辅助几何设计有着密切的关系。事实上,图形学也把可以表示几何场景的曲线曲面造型技术和实体造型技术作为其重要的研究内容。同时,真实感图形计算的结果是以数字图象的方式提供的,计算机图形学也就和图象处理有着密切的关系。图形与图象两个概念间的区别越来越模糊,但还是有区别的:图象纯指计算机内以位图(Bitmap)形式存在的灰度信息,而图形含有几何属性,或者说更强调场景的几何表示,是由场景的几何模型和景物的物理属性共同组成的。

计算机图形学的研究范畴非常广泛,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、真实感图形计算与显示算法,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。本书着重讨论与光栅图形生成、曲线曲面造型和真实感图形生成相关的原理与算法,以及用商品化软件实现这些功能的操作技能。

### 1.3 应用及研究前沿

由于计算机设备的不断更新和图形软件功能的不断扩充,也由于计算机硬件功能的不断增强和系统软件的不断完善,计算机图形学在近20年内得到了广泛的应用。

#### 1.3.1 用户接口

用户接口是人们使用计算机的第一观感。图形比文字、报表更直观、逼真。所谓“一目了然”、“耳闻不如目睹”,都是说明形象观察的优越性和必要性。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。过去软件中有60%的程序是用来处理与用户接口有关的问题和功能的,在DOS时代,计算机的易用性很差,编写一个图形化的界面要费去大量的劳动。进入80年代后,随着Xwindow标准的面世,苹果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各个领域。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、动画比比皆是,程序直观易用。很多软件几乎可以不看任何说明书,直接根据它的图形或动画界面的指示就可以进行操作。

目前几个大的软件公司都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、多通道整合算法及其软件结构和界面范式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。

### 1.3.2 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土建工程、机械结构和产品的设计,包括设计飞机、汽车、船舶的外形和发电厂、化工厂等的布局以及电子线路、电子器件等。有时,着眼于产生产品相应结构的精确图形,然而更常用的是对所设计的系统、产品和工程的相关图形进行人一机交互设计和修改,经过反复的迭代设计,便可利用结果数据输出零件表、材料单、加工流程和工艺卡,或者数据加工代码。在电子工业中,计算机图形学应用于集成电路、印刷电路板、电子线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进行设计和画图,而且可以在较短的时间内完成,并对结果直接进行后续工艺加工处理。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,其中包括飞机外型、内部零部件的安装和检验。

CAD 领域一个非常重要的研究领域是三维几何造型,三维几何造型系统具有许多优点,例如,可以进行装配件的干涉检查,可以用于有限元分析、仿真、数控加工等后续操作。CAD 领域另一个非常重要的研究领域就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,在三维空间中重新构造出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。二维图纸设计在工程界中仍占有主导地位,工程上有大量旧的透视图和投影图片可以利用、借鉴,许多新的设计凭借原有的设计基础进行修改即可完成,所以,三维形体重建在工程中有重要的意义。不过,目前的三维形体重建算法主要是针对多面体和对主轴方向有严格限制的二次曲面体。任意曲面体的三维形体重建,至今仍是一个未解决的世界难题。

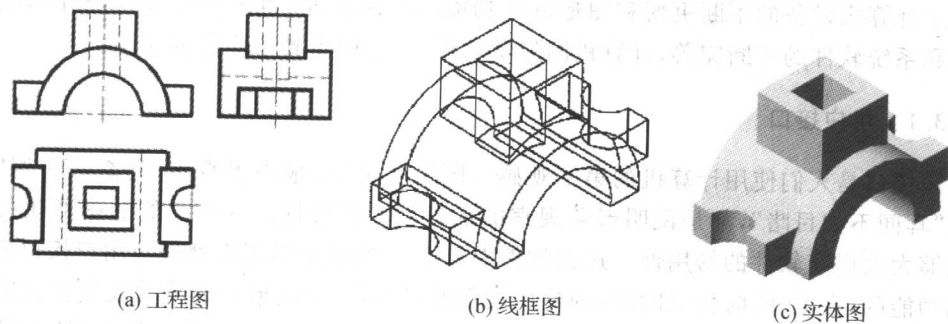


图 1-1 三维重建的例子

### 1.3.3 真实感图形生成

在计算机中重现真实世界场景的过程叫做真实感绘制。真实感绘制的主要任务是要模拟真实物体的物理属性,即物体的形状、光学性质、表面的纹理和粗糙程度,以及物体间的相对位置、遮挡关系等等。其中,光照和表面属性是最难模拟的。为了模拟光照,已有各种各样的光照模型。从简单到复杂排列分别是:简单光照模型、局部光照模型和整体光照模型。



从绘制方法上看有模拟光的实际传播过程的光线跟踪法,也有模拟能量交换的辐射度方法。除了在计算机中实现逼真物理模型外,真实感绘制技术的另一个研究重点是加速算法,力求能在最短时间内绘制出最真实的场景。例如求交算法的加速、光线跟踪的加速等等,像包围体树、自适应八叉树都是著名的加速算法。实时的真实感绘制已经成为当前真实感绘制的研究热点,而当前真实感图形实时绘制的两个热点问题则是物体网格模型的面片简化和基于图象的绘制(Image Based Rendering, IBR)。网格模型的面片简化,就是指对网格面片表示的模型,在一定的误差范围内,删除部分点、边、面,从而简化所绘制场景的复杂程度,加快图形绘制速度。IBR 完全摒弃传统的先建模,然后确定光源的绘制方法,它直接从一系列已知的图象中生成未知视角的图象。这种方法省去了建立场景的几何模型和光照模型的过程,也不用进行如光线跟踪等极费时的计算。该方法尤其适用于野外极其复杂场景的生成和漫游。

另外,真实感绘制已经从最初绘制简单的室内场景发展到现在模拟野外自然景物,比如绘制山、水、云、树、火等等。人们提出了多种方法来绘制这些自然景物,比如绘制火和草的粒子系统(Particle System),基于生理模型的绘制植物的方法,绘制云的细胞自动机方法等。也出现了一些自然景物仿真绘制的综合平台,如德国 Lintermann 和 Deussen 的绘制植物的平台 Xforg,以及清华大学自主开发的自然景物设计平台。

#### 1.3.4 计算机动画及计算机艺术

随着计算机图形学和计算机硬件的不断发展,人们已经不满足于仅仅生成高质量的静态场景,于是计算机动画就应运而生。事实上计算机动画也只是生成一幅幅静态的图象,但是每一幅都是对前一幅做一小部分修改(如何修改便是计算机动画的研究内容),这样,当这些画面连续播放时,整个场景就动起来了。

早期的计算机动画灵感来源于传统的卡通片,在生成几幅被称做“关键帧”的画面后,由计算机对两幅关键帧进行插值生成若干“中间帧”,连续播放时两个关键帧就被有机地结合起来了。计算机动画内容丰富多彩,生成动画的方法也多种多样,比如基于特征的图象变形、二维形状混合、轴变形方法、三维自由形体变形(Free-Form Deformation, FFD)等。近年来人们普遍将注意力转向基于物理模型的计算机动画生成方法。这是一种崭新的方法,该方法大量运用弹性力学和流体力学的方程进行计算,力求使动画过程体现出最适合真实世界的运动规律。然而要真正达到真实运动是很难的,比如人的行走或跑步是全身的各个关节协调的结果,要实现很自然的人走路动画,计算方程非常复杂、计算量极大,基于物理模型的计算机动画还有许多内容需要进一步研究。

20 世纪 90 年代是计算机动画应用辉煌的十年。Disney 公司每年都要制作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动画特技效果,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。

此外,现在的美术人员、尤其是商业艺术人员都热衷于用计算机软件从事艺术创作。可用于美术创作的软件很多,如二维平面的画笔程序(如 CorelDraw, Photoshop, PaintShop)、专门的图表绘制软件(如 Visio)、三维建模和渲染软件包(如 3DMAX, Maya)、以及一些专门生成动画的软件(如 Alias, Softimage)等,可以说是数不胜数。这些软件不仅提供多种风格