



“十五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

计算机图形学 基础教程(第2版)

孙家广 胡事民 编著

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

计算机图形学 基础教程(第2版)

孙家广 胡事民 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是讲述计算机图形学基本原理和最新进展的一本图形学基础教材,是作者在清华大学多年教学经验的基础上,同时参考了国内外最新的相关教材和部分最新的研究成果编写而成。本书按内容分为5章,分别讲授计算机图形学的最新概况,光栅图形学的基本原理,几何造型技术的基础,真实感图形学的基础知识和图形标准。基本上涵盖了图形学的主要内容。

本书可作为各高等院校本科生、研究生学习计算机图形学的教材,并可供相关专业技术人员和计算机教育工作者参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础教程/孙家广,胡事民编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2009.8
(清华大学计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-20711-5

I. 计… II. ①孙… ②胡… III. 计算机图形学—高等学校—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第119346号

责任编辑:焦虹 林都嘉

责任校对:梁毅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京紫瑞利印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14.75

字 数:361千字

版 次:2009年8月第2版

印 次:2009年8月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:033740-01

作者简历

孙家广 清华大学教授,清华大学信息学院院长兼软件学院院长,清华大学学术委员会副主任,国务院学位委员会委员、学科评议组成员、教育部计算机科学与技术教育指导委员会副主任、软件工程教育指导委员会主任、国家企业信息化软件工程技术研究中心主任、信息科学技术国家实验室主任、中国工程图学学会理事长、国家自然科学基金委员会副主任。1999年选为中国工程院院士。孙家广长期从事计算机图形学、辅助设计、软件形式化验证及软件工程与系统的教学研究,在基于Web技术的产品数据管理框架,线框、曲面、实体和特征统一表示的造型算法,多资源、多事件、多进程协同软件开发工具等方面取得了创新性成果。

胡事民 清华大学计算机系教授,计算机系学位分委员会主席,可视媒体研究中心主任,教育部长江学者奖励计划特聘教授。2002年获得国家杰出青年基金资助,2006年被聘为国家重大基础研究(973)计划项目首席科学家。主要从事计算机图形学与人机交互、几何计算、智能信息处理等方面的教学与研究,已在ACM/IEEE Transactions和Computer Aided Design等重要国际刊物上发表论文40余篇。担任多个国际重要会议的程序委员会主席和委员及Elsevier期刊Computer Aided Design的编委。

序

清华大学计算机系列教材已经出版发行了近 30 种,包括计算机专业的基础数学、专业技术基础和专业等课程的教材,覆盖了计算机专业大学本科和研究生的主要教学内容。这是一批至今发行数量很大并赢得广大读者赞誉的书籍,是近年来出版的大学计算机教材中影响比较大的一批精品。

本系列教材的作者都是我熟悉的教授与同事,他们长期在第一线担任相关课程的教学工作,是一批很受大学生和研究生欢迎的任课教师。编写高质量的大学(研究生)计算机教材,不仅需要作者具备丰富的教学经验和科研实践,还需要对相关领域科技发展前沿的正确把握和了解。正因为本系列教材的作者们具备了这些条件,才有了这批高质量优秀教材的出版。可以说,教材是他们长期辛勤工作的结晶。本系列教材出版发行以来,从其发行的数量、读者的反映、已经获得的许多国家级与省部级的奖励,以及在各个高等院校教学中所发挥的作用上,都可以看出本系列教材所产生的社会影响与效益。

计算机科技发展异常迅速、内容更新很快。作为教材,一方面要反映本领域基础性、普遍性的知识,保持内容的相对稳定性;另一方面,又需要跟踪科技的发展,及时地调整和更新内容。本系列教材都能按照自身的需要及时地做到这一点,如《计算机组成与结构》一书 10 年中共出版了 3 版,其他如《数据结构》等也都已出版了第 2 版,使教材既保持了稳定性,又达到了先进性的要求。本系列教材内容丰富、体系结构严谨、概念清晰、易学易懂,符合学生的认识规律,适合于教学与自学,深受广大读者的欢迎。系列教材中多数配有丰富的习题集和实验,有的还配备多媒体电子教案,便于学生理论联系实际地学习相关课程。

随着我国进一步的开放,我们需要扩大国际交流,加强学习国外的先进经验。在大学教材建设上,也应该注意学习和引进国外的先进教材。但是,计算机系列教材的出版发行实践以及它所取得的效果告诉我们,在当前形势下,编写符合国情的具有自主版权的高质量教材仍具有重大意义和价值。它与前者并不矛盾,而且是相辅相成的。本系列教材的出版还表明,针对某个学科培养的要求,在教育部等上级部门的指导下,有计划地组织任课教师编写系列教材,还能促进对该学科科学的、合理的教学体系和内容的研究。

我希望今后有更多、更好的优秀教材出版。

清华大学计算机系教授,中科院院士

张钹

2007 年 6 月 28 日

第 2 版前言

本书是在 2005 版《计算机图形学基础教程》的基础上修订而成。

《计算机图形学基础教程》是根据作者在清华大学多年教学实践,并参考了国内外最新的相关教材和部分最新的研究成果编写而成。第 2 版教材主要修订了以下内容:

1. 增加了第 1 章的 1.5 节,介绍清华大学近年来的最新研究成果。
2. 增加了第 3 章的 3.9 节,介绍网格表示、简化与细分。
3. 增加了第 4 章的 4.1 节,介绍图形绘制的基本概念和流程,提高本章整体上的可读性。
4. 将第 4 章 4.8 节层次细节的内容移入第 3 章的 3.9 节,增加有关景物模拟的内容。
5. 删除第 5 章 VRML 的内容,改写 Open GL 的内容,增加一些常见的功能,并给出更多的示例。

本教程第 1 版出版 4 年来,被国内一大批高等院校采用,相关的老师、同学及读者提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心感谢。徐昆、来煜坤参与了第 2 版教材的修订,在此也一并表示感谢。

作者
2009 年 4 月

(联系人:胡事民,电话:62782052,电子邮件:shimin@cg.cs.tsinghua.edu.cn)

第 1 版前言

计算机图形学是利用计算机研究图形的表示、生成、处理和显示的一门重要的计算机学科分支,是计算机学科中最活跃的分支之一。

随着计算机系统的硬件、软件的迅速发展,计算机已经具有强大的图形处理功能,目前计算机图形学已无所不在,从 CAD 设计到广告设计、从影视娱乐到计算机动画,都使人们感受到计算机图形技术独特的魅力。同时,由于计算机图形学技术本身的长足进步及其应用的日益广泛,计算机图形学已成为计算机科学技术与其他应用学科之间的一个桥梁,也已成为许多本科生专业的必修课程之一。

如何在较短时间内成为一个计算机图形学入门者,领悟并有能力实现那激动人心的计算机图形效果?本书希望起到这样一个目的。本书分为光栅图形学、几何造型技术、真实感图形学和图形标准 4 个技术专题,涵盖了当前图形学的基本内容,题材新旧结合,篇幅精练,难度错落有致。书中各主题间又相对独立,适合于计算机专业本科专业的课程教学,也便于自学。

通过本书的学习,读者可以快速掌握计算机图形学实现原理,感受最新图形学进展。本书同时配备有 OpenGL 和 VRML 的技术讲解,力图让学习者学以致用。无论是 CAD 几何造型用户、动画设计用户、图形学软件设计师,还是未来的计算机图形学研究者,本书都将为读者打下扎实的知识基础,从而让今后的工作、学习更加得心应手。

计算机图形学是一门实践性很强的计算机学科,内容变化日新月异,本书在保留经典图形学的必要内容外,对最近十多年的研究近况作了介绍,力图使读者在掌握相应的知识后,能迅速跟上研究前沿。本书每章结束都附有相应的习题,读者通过这些习题的思考和上机操作,可以加深对内容的理解,达到理论与实践相结合的目的。

相信每一位读者通过本教材的学习,都能得到不同程度的收获。

清华大学计算机系一直将图形学作为本科生的一门重要课程,在大学三年级下学期开设此课。近 10 年来,我系主要使用清华大学出版社出版、孙家广等编著的《计算机图形学》作为本科教材。本书的第二作者自 1998 年以来,在主讲图形学的过程中,深切感到《计算机图形学》一书内容太多,急需一本内容精练,能包含图形学的主要内容,又能介绍图形学的最新技术的本科生教材。1999 年,在清华大学 985 项目的支持下,开始编写新的讲义,经过 2000—2003 年的使用、实践,交付清华大学出版社出版。在编写本教材的过程中,许多同事、研究生付出了辛苦的劳动。周登文副教授及研究生王斌、王涛、吴建华、许云杰等同学帮助整理部分初稿,研究生张慧、雍俊海、张松海、董未明、朱旭平、丁俊勇、郭镔、严寒冰、靳力等作为图形学课程的助教,曾提出过许多宝贵的建议,给予了许多帮助。车武军博士在书稿

写作的后期,付出了许多辛苦的努力,他通读全书,给出了许多建议,而且充实了一些章节,使本书增色不少。在此向这些同事和学生表示衷心的感谢。

最后衷心希望读者在阅读过程中,对本书不足之处提出宝贵意见,以便我们能对书中内容不断加以完善,更好地为读者服务。

作者
2005年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学的研究内容	1
1.2 计算机图形学发展的历史回顾	1
1.3 计算机图形学的应用及研究前沿	3
1.3.1 计算机辅助设计与制造	3
1.3.2 可视化	4
1.3.3 真实感图形实时绘制与自然景物仿真	5
1.3.4 计算机动画	6
1.3.5 用户接口	7
1.3.6 计算机艺术	7
1.4 图形设备	8
1.4.1 图形显示设备	8
1.4.2 图形处理器	12
1.4.3 图形输入设备	13
1.5 最新研究成果	15
1.5.1 绘制	15
1.5.2 几何	16
1.5.3 视频	17
习题 1	18
第 2 章 光栅图形学	19
2.1 直线段的扫描转换算法	19
2.1.1 数值微分法	19
2.1.2 中点画线法	20
2.1.3 Bresenham 算法	22
2.2 圆弧的扫描转换算法	23
2.2.1 圆的特征	23
2.2.2 中点画圆法	24
2.3 多边形的扫描转换与区域填充	24
2.3.1 多边形的扫描转换	25
2.3.2 区域填充算法	28
2.4 字符	31
2.4.1 点阵字符	32
2.4.2 矢量字符	32
2.4.3 字符属性	32

2.5	裁剪	33
2.5.1	直线段裁剪	33
2.5.2	多边形裁剪	37
2.5.3	字符裁剪	40
2.6	反走样	40
2.6.1	提高分辨率	40
2.6.2	区域采样	41
2.6.3	加权区域采样	42
2.7	消隐	42
2.7.1	消隐的分类	43
2.7.2	消除隐藏线	43
2.7.3	消除隐藏面	45
	习题 2	56
第 3 章 几何造型技术		57
3.1	参数曲线和曲面	57
3.1.1	曲线曲面的表示	57
3.1.2	曲线的基本概念	58
3.1.3	插值、拟合和光顺	61
3.1.4	参数化	62
3.1.5	参数曲线的代数和几何形式	63
3.1.6	连续性	64
3.1.7	参数曲面的基本概念	65
3.2	Bézier 曲线与曲面	66
3.2.1	Bézier 曲线的定义和性质	66
3.2.2	Bézier 曲线的递推算法	69
3.2.3	Bézier 曲线的拼接	70
3.2.4	Bézier 曲线的升阶与降阶	71
3.2.5	Bézier 曲面	72
3.2.6	三边 Bézier 曲面片	74
3.3	B 样条曲线与曲面	78
3.3.1	B 样条的递推定义和性质	78
3.3.2	B 样条曲线的性质	79
3.3.3	de Boor 算法	80
3.3.4	节点插入算法	83
3.3.5	B 样条曲面	84
3.4	NURBS 曲线与曲面	84
3.4.1	NURBS 曲线的定义	85
3.4.2	齐次坐标表示	86

3.4.3	权因子的几何意义	86
3.4.4	圆锥曲线的 NURBS 表示	87
3.4.5	NURBS 曲线的修改	87
3.4.6	非均匀有理 B 样条(NURBS)曲面	89
3.5	Coons 曲面	89
3.5.1	基本概念	89
3.5.2	双线性 Coons 曲面	90
3.5.3	双三次 Coons 曲面	91
3.6	形体在计算机内的表示	92
3.6.1	引言	93
3.6.2	形体表示模型	94
3.6.3	形体的边界表示模型	99
3.7	求交分类	104
3.7.1	求交分类简介	104
3.7.2	求交分类策略	105
3.7.3	基本的求交算法	106
3.8	实体造型系统简介	109
3.8.1	Parasolid 系统	110
3.8.2	ACIS 系统	112
3.9	三角网格	114
3.9.1	三角网格的概念	114
3.9.2	三角网格的半边表示	115
3.9.3	网格处理概述	116
3.9.4	网格简化	117
3.9.5	网格细分	119
3.9.6	特征敏感网格重剖	120
习题 3	122
第 4 章	真实感图形学	124
4.1	真实图像的生成	124
4.2	颜色视觉	125
4.2.1	基本概念	126
4.2.2	三色学说	127
4.2.3	CIE 色度图	127
4.2.4	常用的颜色模型	129
4.3	简单光照明模型	131
4.3.1	相关知识	132
4.3.2	Phong 光照明模型	133
4.3.3	增量式光照明模型	135

4.3.4	阴影的生成	137
4.4	局部光照明模型	138
4.4.1	理论基础	138
4.4.2	局部光照明模型	140
4.5	光透射模型	141
4.5.1	透明效果的简单模拟	141
4.5.2	Whitted 光透射模型	142
4.5.3	Hall 光透射模型	143
4.5.4	简单光反射透射模型	144
4.6	纹理及纹理映射	145
4.6.1	纹理概述	145
4.6.2	二维纹理域的映射	146
4.6.3	三维纹理域的映射	147
4.6.4	几何纹理	147
4.7	整体光照明模型	148
4.7.1	光线跟踪算法	148
4.7.2	辐射度方法	156
4.8	实时真实感图形学技术	163
4.8.1	基于图像的绘制技术	164
4.8.2	景物模拟	165
习题 4		169
第 5 章	图形标准	170
5.1	OpenGL 概述	170
5.2	OpenGL 程序结构	172
5.3	基本几何元素绘制	174
5.4	坐标变换	182
5.5	光照处理	189
5.6	显示列表	194
5.7	纹理贴图	196
习题 5		201
附录 A	计算机图形学的数学基础	202
A.1	矢量运算	202
A.2	矩阵运算	203
A.3	齐次坐标	204
A.4	线性方程组的求解	205

附录 B 图形的几何变换	206
B.1 窗口区到视图区的坐标变换	206
B.2 二维图形的几何变换	207
B.3 三维图形几何变换	209
附录 C 形体的投影变换	212
C.1 投影变换分类	212
C.2 世界坐标与观察坐标	212
C.3 正平行投影(三视图)	213
C.4 斜平行投影	214
C.5 透视投影	214
参考文献	216

第 1 章 绪 论

计算机图形学是利用计算机研究图形的表示、生成、处理和显示的学科。经过 40 多年的发展,计算机图形学已成为计算机科学中最活跃的学科分支之一,取得了广泛的应用。本章讲述计算机图形学的研究内容、发展历史、应用领域、研究前沿及未来趋向,同时介绍图形硬件的一些基本原理,使读者对图形学的相关内容有一个概括性的了解。

1.1 计算机图形学的研究内容

计算机中图形的表示方法,以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法,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。从处理技术上来看,图形主要分为两类:一类基于线条信息表示,如工程图、等高线地图和曲面的线框图等;另一类是明暗图(shading),也就是通常所说的真实感图形。

计算机图形学的一个主要目的就是要利用计算机产生令人赏心悦目的真实感图形。为此,一般先建立目标图形所描述场景的几何表示,再采用某种光照模型,计算在假想的光源、纹理、材质属性下几何模型的光照效果。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,图形学也把可用于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主要的研究内容。同时,真实感图形计算的结果是以数字图像的方式提供的,因此计算机图形学和图像处理也有着密切的关系。尽管图形与图像两个概念间的区别越来越模糊,但还是有区别的:图像是指计算机内以位图(bitmap)形式存在的灰度信息;而图形则含有几何属性,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、自然景物仿真和虚拟现实等。作为一本面向计算机专业的本科生和非计算机专业的研究生的图形学教材,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。

1.2 计算机图形学发展的历史回顾

1950年,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)计算机的附件诞生了。该显示器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。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 20 世纪 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,并称之为“被动式”图形学。到 20 世纪 50 年代末期,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发了 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,类似的技术在设计和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 发表了题为“Sketchpad:一个人机交互通信的图形系统”的博士论文^[1],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有价值的研究领域,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广为应用。1964 年,MIT 的教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为超限插值的曲面造型新思想,通过插值 4 条任意的边界曲线来构造曲面^[2]。同在 20 世纪 60 年代早期,法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 发展了一套被后人称为 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 的方法和 Bézier 的方法是 CAGD(计算机辅助几何设计)领域的开创性工作。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,而分别获得第一届(1983 年)和第二届(1985 年)Steven A. Coons 奖的,恰好是 Ivan E. Sutherland 和 Pierre Bézier。

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。由于光栅显示器的诞生,早在 60 年代就已萌芽的光栅图形学算法便迅速发展起来。区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应的算法纷纷诞生,图形学进入了第一个兴盛时期。同时,实用的 CAD 图形系统也开始出现。因为通用的、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也被提了出来。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(美国计算机协会)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 年及 1979 年先后制定和修改了“核心图形系统(Core Graphics System)”。ISO(国际标准化组织)随后又发布了计算机图形接口(Computer Graphics Interface,CGI)、计算机图形元文件标准(Computer Graphics Metafile,CGM)、计算机图形核心系统(Graphics Kernel system,GKS)、面向程序员的层次交互图形标准(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard,PHIGS)和产品模型数据交换标准(Standard for the Exchange of Product Model Data,STEP)等。这些标准的制定,为计算机图形学的推广、应用和资源信息共享起了重要的推动作用^[4,5]。

同在 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。1970 年,Bouknight 提出了第一个光反射模型^[6]。1971 年,Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理^[7]。1975 年,Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型^[8]。这些都是真实感图形学的开创性工作。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^[9]。

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,实现了 Whitted 模型^[10]。1984 年,美国 Cornell(康内尔)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,成功地模拟了理想漫反射

表面间的多重漫反射效果^[11]。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20世纪80年代中期以来,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和影视娱乐等各个领域。

最后,以SIGGRAPH会议的情况介绍,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,有数万人参加。SIGGRAPH会议很大程度上促进了计算机图形学的发展,世界上很难有第二个领域会每年召开如此规模巨大的专业会议。SIGGRAPH(the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques)大约是20世纪60年代中期,由美国Brown(布朗)大学的教授Andries van Dam(Andy)和IBM公司的Sam Matsa发起的。1974年,在美国Colorado(科罗拉多)大学召开了第一届SIGGRAPH年会,并取得了巨大的成功,当时有大约600位来自世界各地的专家参加了会议。如今,SIGGRAPH会议已经从一个专业会议发展成为全球最负盛名的计算机图形工业会议,吸引了世界各国大批研究学者、公司机构,参加会议的人数曾经超过5万人,会议期间不仅包括相关科技论文的交流,也有各类最新软件硬件的展览、图形技术标准的发布。最令计算机图形学的学者瞩目的是SIGGRAPH会议论文,由于该会议论文每年只录取约50~90篇论文,并在ACM Transaction on 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研究的主流方向。

1.3 计算机图形学的应用及研究前沿

1.3.1 计算机辅助设计与制造

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)是计算机图形学在工业界中最广泛、最活跃的应用^[12]。运用计算机图形学可以进行土建工程、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、电子器件结构等。CAD/CAM大量应用于产生工程和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-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、材料清单、加工流程和工艺卡,或者数据加工代码的指令。在电子工业中,计算机图形学应用到集成电路、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板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,把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,其中包括飞机外型、内部零部件的安装和检验。

随着计算机网络的发展,在网络环境下进行异地异构系统的协同设计,已成为CAD领域最热门的课题之一。通俗地说,协同设计就是一种让不同用户在不同地点共同设计一个产品模型的新技术。现代产品设计已不再是一个设计领域内孤立的技术问题,而是综合了产品各个相关领域、相关过程、相关技术资源和相关组织形式的系统化工程。它要求设计团

队在合理的组织结构下,采用群体工作方式来协调和综合设计者的专长,并且从设计一开始就考虑产品生命周期的全部因素,从而达到快速响应市场需求的目的。协同设计的出现使企业生产的时空观发生了根本的变化,异地设计、异地制造、异地装配成为可能,从而为企业在市场竞争中赢得了宝贵的时间。

与此相关,随着 STEP(产品模型数据交换标准)的制订与完善,异构 CAD 系统间的数据通信已成为一个新的热门课题,而数据通信中的几何问题,更是计算机辅助几何设计中的重要研究方向,它主要解决异构 CAD 系统间不同表示形式间的转化问题^[13]以及模型表示的数据简化^[14,15]。

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(如图 1.1 所示)。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,从而实现形体的重建。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,许多新的设计可凭借原有的设计基础加以修改即可完成。同时,因为三维几何造型系统可以完成装配部件的干涉检查,以及有限元分析、仿真、加工等后续操作,它也代表了 CAD 技术的发展方向。目前国际上主要的三维形体重建算法是针对多面体和对主轴方向有严格限制的二次曲面体的。最近,清华大学提出了一个新算法,可以重建任意二次曲面体。但任意曲面体的三维形体重建,至今仍是一个有待解决的世界难题。

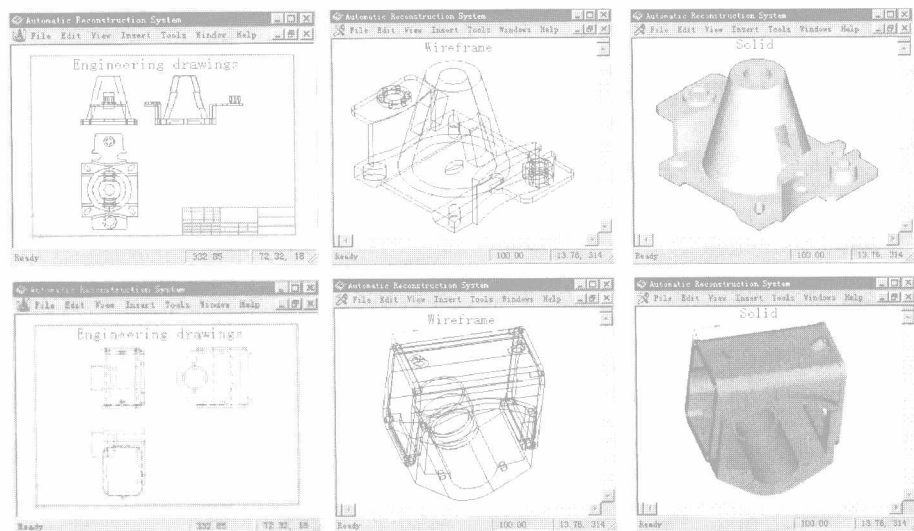


图 1.1 三维重建的两个例子

1.3.2 可视化

科学技术的迅猛发展为社会生产和科学研究提供了日益丰富和精密的探测手段,人们能够轻易地采集到各种不同类型的数据,但数据量的与日俱增使得数据的分析和处理变得越来越难,人们难以从数据海洋中得到最有用的数据,找到数据的变化规律并提取本质特征。但是,如果能将数据用图形的形式表示出来,情况就大不一样了,因为这种数据的