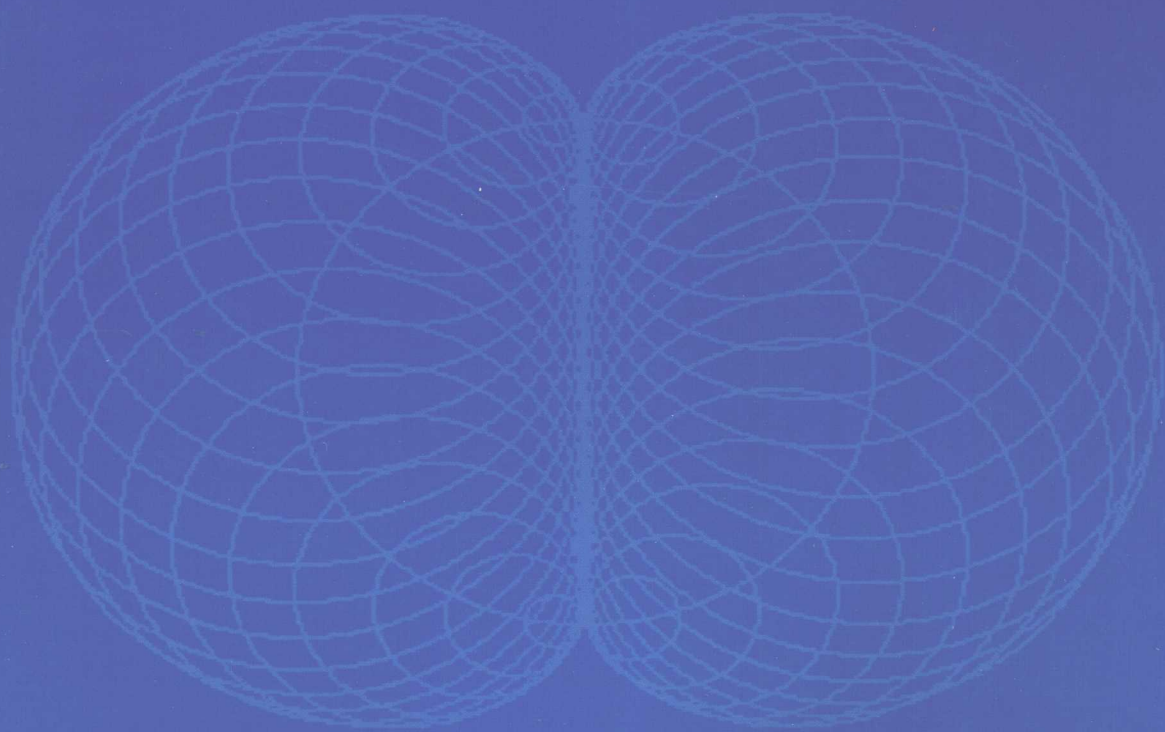


高等学校“十一五”规划教材

# 计算机图形学

贾艾晨 编著



哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材

# 计算机图形学

贾艾晨 编著

哈尔滨工业大学出版社

### 内容简介

本书是作者在从事多年的“计算机图形学”教学和研究的基础上,参考国内外的有关教材、专著和论文编写而成的。书中的主要内容有:计算机图形学的发展和应用、C 语言的图形功能、基本图形的生成算法、图形变换的矩阵方法、工程上常用的曲线曲面、几何造型技术、真实感图形显示、计算机动画技术、分形学的基本方法、科学可视化等。本书反映了计算机图形学的主要内容、计算机图形学的最新研究成果,以及作者多年研究的部分成果。书中附有许多应用程序,采用 C 语言编写,均已用 VC++ 或 Turbo C 2.0 上机通过。

本书可作为高等院校各专业本科生的教材,也可作为计算机图形学研究和应用人员的自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/贾艾晨编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2009.4

ISBN 978-7-5603-2823-2

I. 计… II. 贾… 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 046124 号

策划编辑 郝庆多

责任编辑 张 瑞

封面设计 张孝东

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.75 字数 318 千字

版 次 2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数 1~3 000 册

书 号 ISBN 978-7-5603-2823-2

定 价 25.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

计算机图形学作为计算机应用的一个分支,已经渗入生产、生活的各个方面。随着计算机技术的发展,越来越多的问题需要用计算机图形来表示和解决。我们所熟悉的电影、计算机游戏、多媒体远程教育、电子邮件以及我们所不熟悉的许多科学领域,都是计算机图形学的应用范畴。在数字化信息时代里,凡是使用语言、文字、数字、数学公式的场合,计算机图形学都大有用武之地,可以说,计算机图形无所不在。

本书是作者在从事多年的“计算机图形学”教学和研究的基础上,参考国内外的有关教材、专著和论文编写而成。书中的主要内容有:计算机图形学的发展和应用、C 语言的图形功能、基本图形的生成算法、图形变换的矩阵方法、工程上常用的曲线曲面、几何造型技术、真实感图形显示、计算机动画技术、分形学的基本方法、科学可视化等。本书反映了计算机图形学的主要内容、计算机图形学的最新研究成果,以及作者多年研究的部分成果。

本书的特色是在计算机图形学共有的内容基础上,加进了分形学、可视化的内容,使本书适应于计算机图形学发展的最新动态及前沿研究。本书每章的内容都配有相应的实践性例题,使读者学过每一章内容后,就能够参照例题编写程序上机实践,及时掌握学过的内容。本书的例题全部采用 C 语言编写,使读者学过本书的内容后,能够很快地运用书中的知识,用 C 语言编制计算机图形学的应用软件,提高读者直接应用知识的能力。书中的应用程序均已用 VC++ 或 Turbo C 2.0 上机通过。

本书力求内容全面、通俗易懂、理论清楚、方法具体,便于自学掌握,可作为高等院校各专业本科生的教材,也可作为计算机图形学研究和应用人员的自学参考书。书中的部分程序及插图由侯燕、张秋敏调试及绘制完成。

由于时间和水平有限,书中定会有缺点和不足之处,诚望各位老师和同学批评指正。

作者

2009 年 3 月于大连理工大学

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第1章 绪论                      | 1   |
| 1.1 计算机图形学的研究内容             | 1   |
| 1.2 计算机图形学的发展历史             | 3   |
| 1.3 计算机图形学的应用               | 4   |
| 第2章 C语言的图形功能                | 10  |
| 2.1 Visual C++ 6.0 开发环境概述   | 10  |
| 2.2 CDC 图形程序库               | 12  |
| 2.3 一个 Visual C++ 绘图应用程序的实现 | 18  |
| 2.4 Turbo C 绘图功能            | 25  |
| 第3章 基本图形的生成算法               | 32  |
| 3.1 直线图形的生成算法               | 32  |
| 3.2 圆弧图形的生成算法               | 37  |
| 3.3 区域填充                    | 41  |
| 3.4 反走样                     | 47  |
| 3.5 图形裁剪                    | 49  |
| 3.6 平面图形的绘制                 | 54  |
| 第4章 图形变换的矩阵方法               | 59  |
| 4.1 图形变换基础                  | 59  |
| 4.2 二维图形变换                  | 63  |
| 4.3 三维图形变换                  | 68  |
| 4.4 三维图形的投影、透视变换            | 71  |
| 4.5 窗口、视见区及其变换              | 79  |
| 第5章 工程上常用的曲线曲面              | 81  |
| 5.1 曲线曲面的基本理论               | 81  |
| 5.2 规则曲线的绘制                 | 85  |
| 5.3 二次插值样条曲线                | 87  |
| 5.4 三次插值样条曲线                | 92  |
| 5.5 Bezier 曲线和曲面            | 95  |
| 5.6 B 样条曲线和曲面               | 101 |
| 第6章 几何造型技术                  | 108 |
| 6.1 形体在计算机中的表示              | 108 |
| 6.2 几何造型中的运算方法              | 118 |
| 第7章 真实感图形显示                 | 123 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 7.1  | 隐藏线的消除 .....        | 123 |
| 7.2  | 隐藏面的消除 .....        | 134 |
| 7.3  | 基本光照模型 .....        | 137 |
| 7.4  | 明暗处理方法 .....        | 142 |
| 7.5  | 纹理 .....            | 144 |
| 第8章  | 计算机动画技术 .....       | 148 |
| 8.1  | 计算机动画的发展及应用 .....   | 148 |
| 8.2  | 计算机动画的实现方法 .....    | 150 |
| 8.3  | 运动控制 .....          | 152 |
| 8.4  | 变形动画 .....          | 157 |
| 第9章  | 分形学的基本方法 .....      | 163 |
| 9.1  | 分形的概述 .....         | 163 |
| 9.2  | 迭代函数系统 .....        | 163 |
| 9.3  | L系统(L-System) ..... | 175 |
| 9.4  | 自然场景的分形模拟 .....     | 176 |
| 第10章 | 科学计算可视化 .....       | 183 |
| 10.1 | 科学可视化概述 .....       | 183 |
| 10.2 | 可视化的面绘制方法 .....     | 186 |
| 10.3 | 可视化的体绘制方法 .....     | 191 |
| 参考文献 | .....               | 197 |

# 第1章 绪论

计算机图形学是近 50 年来发展迅速、应用广泛的新兴学科,是计算机科学中最活跃的分支之一。随着计算机技术的发展,越来越多的问题需要用计算机图形来表示和解决。我们所熟悉的电影、计算机游戏、多媒体远程教育、电子邮件以及我们所不熟悉的许多科学领域,都是计算机图形学的应用范畴。在数字化信息时代里,凡是使用语言、文字、数字、数学公式的场合,计算机图形学都大有用武之地,可以说,计算机图形无所不在。

计算机图形学主要包含两大部分内容:一是将数据和几何模型转换成图形;二是将图形转换成数据和几何模型。前者为一般所指的计算机图形学的内容;后者则称为模式识别,如信封上手写邮政编码的自动识别。两者是相反的过程。

图形也可称作图像,但图像处理往往指另一门计算机技术,它是将客观世界中原来存在的物体映象处理成新的数字化图像,如气象预报中的云图和海图处理、人体的 CT 扫描等。图像处理关心的问题是怎样滤除噪声,压缩图像数据以便于传输和存储,用对比增强技术突出图像中的某些特征,用复原技术使模糊的图像清晰等。

还有一门专门研究几何模型和数据处理的学科,那就是计算几何,它是计算机图形学中数学建模的基础。它着重讨论几何形体的计算机表示和分析,研究怎样方便灵活地建立几何形体的数学模型,提高算法效率,在计算机内怎样更好地存储和管理这些模型数据等。

因此,与计算机图形学密切相关的学科有计算几何、图像处理、模式识别。由于科学技术发展的普遍规律是各门学科之间相互渗透与沟通,计算机图形学与计算几何、图像处理、模式识别的学科界限也正在变得模糊起来,并且继续交叉产生新的学科,如科学可视化、分形学等。

本书将着重讨论计算机图形学的一般内容,并简要介绍图形学及科学计算可视化的典型算法。

## 1.1 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(Computer Graphics)简称 CG,是研究怎样用数字计算机生成、处理和显示图形的一门学科。它可以生成现实世界中已经存在的物体的图形,也可以生成虚构物体的图形,因此,计算机图形学是真实物体或虚构图形的综合技术。

计算机图形学的研究内容主要是围绕着生成、表示物体的图形图像的准确性、真实性和实时性的基础算法,可以分为以下几个方面。

### 1. 几何元素和图形的生成方法

计算机图形学首先要解决基于图形设备的基本图形元素的生成算法,如光栅图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的图案填充等问题。

### 2. 几何形体的描述

我们在显示屏幕上或图纸上看到的物体图形,是空间形体在平面上的投影。对于三维空

间的几何形体需用一定的方法进行描述。对于空间的几何形体,其基本元素的信息可分为几何信息和拓扑信息两大类。几何信息用以确定每个分量在欧氏空间的几何位置(如点坐标)和描述(如平面方程系数);拓扑信息则用来定义几何元素的数目及相互间的连接关系。

一个多面体各元素之间的拓扑关系可以互相推导,因此只需存储一种关系即可。但由于关系的推导要付出代价,所以一般的系统常同时存储若干种拓扑关系。这些拓扑关系,既要能够足够地表示出几何形体的构造,又要尽量压缩信息的存储量,便于检索和修改,利于计算机的自动生成。

数据结构技术在几何形体的描述中起着关键的作用。线性链接表、树结构、堆栈和队列等被广泛应用于几何形体的描述、运算和输出中。

### 3. 几何造型

我们在构建形体时,需要通过并、交、差等布尔运算将一些基本形体体元组合起来,这种操作叫做几何造型。在进行几何造型时,首先要将各体元正确地定位,然后还要判断各体元之间的交互作用、各种相交出现的位置以及它们之间的相互关系,以确保生成法定的三维形体。

### 4. 图形的变换

一个图形系统需具有图形变换的功能,这种变换包括二维变换、三维变换和三维向二维的变换。可以说,没有图形变换就不能处理和输出图形。我们可以通过二维或三维的几何变换由某些几何体去构造新的更复杂的几何体,在对图形进行交互式操作时,我们也要用到平移、放大缩小、旋转等变换。在显示或绘制一个环境时,要将三维的几何信息映射到二维屏幕上,就要用到平行投影、轴测投影或透视投影这些由三维向二维的投影变换。

图形变换一般采用向量、矩阵和齐次坐标的形式来描述,这些形式可将线性代数的一些基本理论应用到图形变换中。例如,可用一个矩阵对应一个变换,图形的连续变换就可由矩阵的相乘来实现,一个变换的逆变换也可由一个矩阵的逆矩阵来表示。

### 5. 真实感图形生成

真实感图形的生成包括消隐、光照模型及纹理等算法。消隐技术就是消除那些从当前的观察点看不见的那一部分物体,即消除隐藏线和隐藏面,从而产生层次感;建立或选用适当的光照模型,尽可能准确地模拟物体在现实世界中受到各种光源照射时的效果,如漫反射、镜面反射及投射等;纹理生成技术,即在物体表面产生几何纹理或颜色纹理。一般来说,生成二维图形的逼真度越高,所需的计算时间就越长,因此,复杂模型真实感图形的实时动态显示一直是计算机图形学的研究热点和难点。

### 6. 计算机图形系统设计方法

计算机图形系统是为了支持图形应用程序便于实现图形的输入、处理、输出而设计的系统,由计算机硬件和软件两部分组成。系统的基本物理设备统称为硬件,包括主机及大容量外存储器、显示处理器、图形输出和图形输入设备。为了运行、管理和维护计算机及其图形输入/输出设备而编制的各种程序统称为软件。软件分系统软件、支撑软件和应用软件三类。系统软件是使用和管理计算机及其外围设备的软件;支撑软件由一组共用的图形子程序组成,它扩展了原有高级语言的图形处理功能,给用户提供了描述、控制、分析和计算图形的语句,适用于用户设计有关图形方面的应用程序;应用软件是用户利用计算机以及它所提供的各种系统软件编制解决用户各种实际问题的程序和相关文档,其中的程序称为应用程序,而图形应用程序是开发图形系统的核心。

计算机图形系统的工作方式目前都以交互式绘图为主。交互式图形系统可由设计人员(或用户)利用键盘、光笔、数字化仪器、图形显示器等交互设备的有关功能,进行人机对话,控制和操纵模型的建立和图形的生成过程,模型和图形可以边生成、边显示、边修改。

下面以三维物体透视线框图为例说明计算机图形系统的图形输出过程:首先根据视点在用户坐标系中的位置和观察方向建立观察坐标系,并对三维物体上的点通过观察变换用观察坐标表示;然后按观察范围进行裁剪坐标变换,剪掉舍弃的部分;再通过透视投影,在观察平面上产生相应的像点;最后根据绘图仪或显示器的设备坐标及指定显示区域,将这些像点转换为屏幕坐标系上的显示像素点,并在相应点之间画线连接,从而生成三维物体的透视线框图。

## 1.2 计算机图形学的发展历史

计算机图形学的发展,是与计算机软硬件及外围设备、图形设备的发展密不可分的。

### 1. 准备和酝酿时期(20世纪50~60年代)

1950年,美国麻省理工学院研制出“旋风1号”(Whirlwind 1)图形设备,这套设备可以显示简单的图形。

1957年,以麻省理工学院林肯实验室为主研制的半自动防空系统 SAGE(Semi Automatic Ground Environment)正式投入使用,成功地把雷达波形转换成计算机图形,第一次用光笔选取图形,为交互图形显示技术的发展起了巨大的带头作用。

1958年,美国 Colcomp 公司研制出滚筒式绘图仪,为图形的输出创造了条件。

### 2. 学科确立和进入应用时期(20世纪60年代)

1962年,美国麻省理工学院林肯实验室的伊凡·萨塞兰德(Ivan Sutherland)发表了题为“图板:一个人机通讯的图形系统”的博士论文,首次提出了计算机图形学、交互技术等新思想,为交互式计算机图形学的确立打下了理论基础。

1964年,孔斯提出的孔斯曲面(用小块曲面片组合表示自由型曲面)使图形学的应用大大发展(如设计汽车外表面),成为计算机辅助设计的奠基人。

20世纪60年代,显示器也大大发展,成本降低,使图形学的应用和普及成为可能。

### 3. 蓬勃发展和广泛应用时期(20世纪70年代)

20世纪70年代,计算机硬件迅猛发展。由于集成电路的发展,有了存放像素的大容量存储器,使得光栅图形显示器研制成功。

20世纪70年代,计算机图形学有了重要发展,在消隐线、消隐面、明暗技术、真实感图形显示方面发表了很多研究成果。同时,计算机图形学和 CAD 技术也得到了广泛应用。市场上出现了图形输入板等多种形式的图形输入设备,出现了面向中小企业的 CAD/CAM 系统。

### 4. 突飞猛进和成熟化、标准化时期(20世纪80年代)

20世纪80年代,个人计算机和图形工作站迅猛发展,主机和图形显示器融为一体,光栅扫描技术更加成熟。

1983年,国际标准化组织的有关成员国投票通过了 GKS,这是一个图形学国际标准,为开发图形支撑软件提供了具体的规范,对以后图形设备的研制有指导意义,为计算机图形学的教育和国际学术交流提供了统一的规范术语和概念。在 GKS 支撑软件基础上开发的应用软件具有良好的可移植性。此后,又颁布了计算机图形学的国际标准,图形学从软件到硬件逐步实

现了标准化。此后的十几年时间里,计算机图形的理论已逐渐成熟,其应用领域也逐步扩大。计算机图形学在当今的科技革命中起到了举足轻重的作用。

### 1.3 计算机图形学的应用

计算机图形学的应用几乎无所不在,下面介绍计算机图形学的几个主要的应用领域。

#### 1. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

CAD/CAM 是计算机图形学在工业界最广泛、最活跃的应用。在机械、建筑、纺织、航空航天等各个领域,计算机绘图已经代替了传统的绘图板加丁字尺的设计方式,担负起繁重的日常出图任务以及方案的优化和细节设计工作,如图 1.1 所示。相应的 CAD 软件也已成熟,设计人员可以用最简单、方便的操作来对产品的外形进行交互式设计,并可在计算机里对产品进行复杂部件的数字预装配,在正式出图前就排除掉各部分结构和尺寸的不协调。建筑物的总体设计及各设计方案无需制作模型即可显示其真实感图形(各种轴测图、透视图),直到用户满意为止,如图 1.2 所示。CAM 系统则可根据产品的数字化几何定义确定零件的制作和装配工艺过程、计算数控加工的走刀轨迹、制定产品的质量保证金计划等。

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。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。CAD 领域另一个非常重要的研究方面是基于工程图纸的三维形体重建。三维形体重建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。

计算机图形学在 CAD 和 CAM 方面的应用,提高了设计与制造的质量,大大减轻了劳动强度,提高了生产效率。

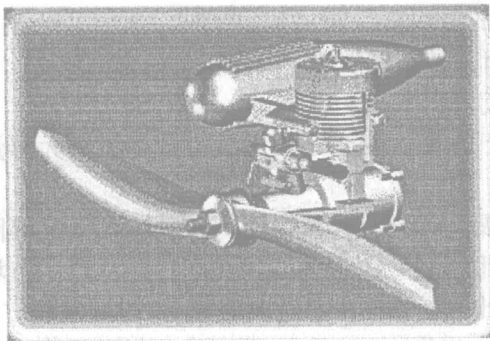


图 1.1 机械制造计算机辅助设计图



图 1.2 小区规划计算机辅助设计图

#### 2. 地理信息系统(GIS)

地理信息系统(GIS—Geographic Information System)是融计算机图形学和数据库技术于一体,储存和处理空间信息的高新技术。它把地理位置和相关属性有机地结合起来,根据实际需要准确真实、图文并茂地输出给用户。早在 1960 年,R.F.Tomlinon 就提出了“把地图变成数字形式的地图,以便于计算机处理和分析”这一新思想。20 世纪 70 年代起,为了更好地保护环

境、进行建设、开发资源和规划土地,需要分析和处理大量的地理数据,这为地理信息系统的发展提供了一个机遇,一些大学和科研机构纷纷投入力量开始研究 GIS,一些商业公司也积极开发和销售 GIS,越来越多的专业杂志发表了有关 GIS 方面的论文,地理信息系统的理论、方法和技术逐渐趋于成熟。目前,GIS 的数据处理能力、空间分析功能、人机交互对话、地图的输入及编辑和输出技术都有了较大的发展,并且 GIS 在许多领域都得到了广泛的应用。图 1.3 和图 1.4 为某地区配电地理信息系统和消防地理信息系统。

我国幅员辽阔,草原、森林、矿产、生物等各种资源丰富,使用 GIS 和遥感技术对资源进行综合调查,可以加快调查的进度,能够使获取的资料充分地满足精度和现实的需要。不仅如此,GIS 及相关技术还可以应用于交通规划、城市规划及其管理、地质与矿产资源的开发利用、林业、农业、景观生态等各个领域,为相关的研究及决策提供更可靠的信息收集及评价分析。此外,GIS 在环境监测、环境工程、环境规划管理等方面都发挥着重要作用。

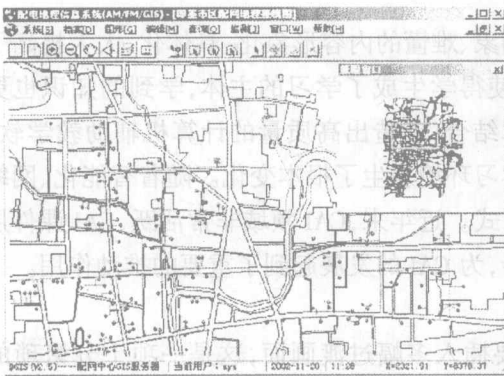


图 1.3 某地区配电地理信息系统



图 1.4 某地区消防地理信息系统

### 3. 数据场可视化

数据场可视化,是当前计算机图形学中最热门的应用领域之一,它用形象的图形方式表示数据域中抽象的数据所反映的内容及之间的相互关系,帮助人们直接地把握复杂的全局,理解与洞察计算中发生的一切,并可驾驭科学计算,控制科学发现的过程。

目前可视化技术广泛应用于医学、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途。依靠精密机械做脑部手术是目前医学上很热门的课题,而这些技术实现的基础则是可视化。当我们做脑部手术时,可视化技术将医用 CT 扫描的数据转化成图像,使得医生能够看到并准确地判别病人的体内患处,然后通过碰撞检测一类的技术实现手术效果的反馈,帮助医生成功完成手术。我们都知道现在的气象预报越来越准确,而且可以预报相继几天后的天气情况,这主要是利用了可视化技术。天气气象站将大量数据通过可视化技术转化成形象逼真的图形后,经过科学的分析来预见几天后的天气情况。图 1.5 和图 1.6 为可视化在气象分析和医学分析中的应用实例。

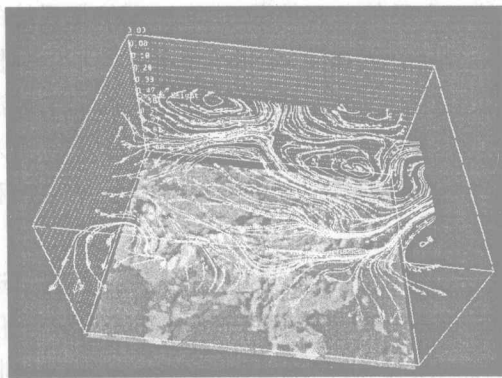


图 1.5 气象分析中风流场的可视化显示

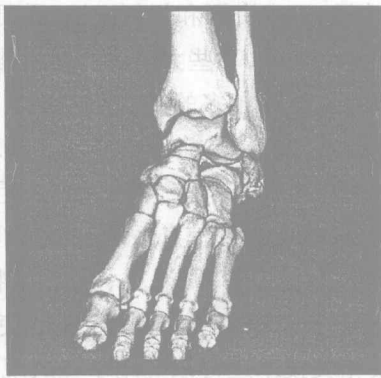


图 1.6 骨骼 CT 结果的可视化重组

#### 4. 计算机辅助教学(CAI)

计算机图形学被引入到教育领域后,使得抽象、难懂的内容形象化、具体化,大大提高了学生学习的兴趣和学习积极性。计算机的交互性使得学生成了学习的主体,学到的知识也更深刻、更牢固。尤其是计算机图形学与多媒体技术结合,创造出高质量的计算机辅助教学软件。利用 CAI 课件学习,可达到声、形、图、文并茂,学习环境发生了根本变化。随着智能化、网络化的实现,远程教育已成为获取知识的一种重要方式。近年来,CAI 领域非常活跃,CAI 课件层出不穷,每年全国都举办 CAI 课件展示会和研讨会,为 CAI 的发展起到了重要的推动作用。

#### 5. 计算机动画和艺术

在动画片的制作中,两幅关键画面之间需要插入多幅过渡画面,这是一项十分繁琐的工作。将计算机图形学引入到制作动画片中,使动画片的效果、质量及制作效率得以大幅度提高。计算机动画内容丰富多彩,生成动画的方法也多种多样,比如基于特征的图像变形、二维形状混合、轴变形方法、三维自由形体变形等。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。然而要真正到达真实运动是很难的,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画面,计算机方程非常复杂、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。

计算机图形学还可用于产生艺术品,例如各种图案、花纹,甚至传统的油画和中国画等。这一技术也被用来制作各种商业广告以吸引顾客,推销商品。在近几年的电影和电视剧拍摄及后期制作中,更是大大地运用了计算机图形学的相关技术,使得古代生物、精灵及很难制作的布景、高难度的武打动作、惊险的灾难场景等真实地展现在人们面前,如图 1.7 和图 1.8 所示。目前国内外不少人士正在研制人体模拟系统,这使得在不久的将来把历史上早已去世的著名影视明星重新搬上新的影视片成为可能,使我们能一睹他们当年的风姿,这是一个传统的艺术家无法实现也不可想象的。

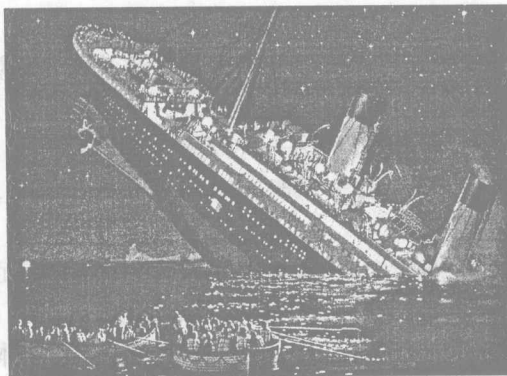


图 1.7 《泰坦尼克号》中巨型沉船的再现

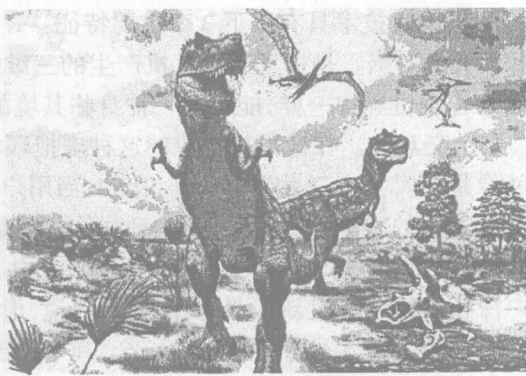


图 1.8 《侏罗纪公园》中恐龙的再现

### 6. 计算机模拟与仿真

计算机模拟与仿真是利用计算机模拟某个系统、某种效应和过程。例如,在飞行员、船员的培养过程中,要经过模拟飞行、航行训练。用计算机可以在飞行员、船员前方产生场景,显示飞机起飞及返航着陆、船只进出港的整个场景,如图 1.9 和图 1.10 所示,有白天航行,也有夜航训练。这里牵涉到各地的机场、港口及周围地域数据的压缩存储以及实时完成数据检索、取景变换和绘制,因此计算机模拟仿真是计算机图形学的扩展研究内容。

计算机仿真还可以用于研制产品或设计系统的全过程中,包括方案论证、技术指标确定、设计分析、生产制造、试验测试、维护训练、故障处理的各个阶段。当前计算机仿真有六大挑战性课题,包括核聚变反应、宇宙起源、生物基因工程、结构材料、社会经济和作战模拟等。未来几年的计算机仿真将集中于大规模复杂系统的仿真,作战指挥就属于复杂系统仿真。

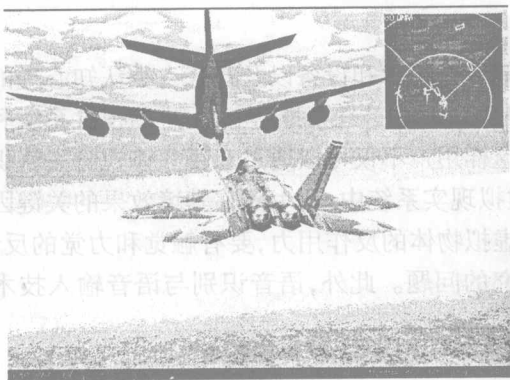


图 1.9 计算机模拟仿真用于飞行模拟



图 1.10 计算机模拟仿真用于航海模拟

### 7. 虚拟现实

虚拟现实(Virtual Reality),又称灵境,是在信息科学的飞速发展中诞生的。虚拟现实是要使人们整个融合进计算机所创造的虚拟氛围中。人们带上具有立体视觉的液晶眼镜或头盔、数据手套等,通过视觉、听觉、触觉、嗅觉以及形体、手势或口令,参与到信息处理的环境中去,从而取得身临其境的体验,自由浏览具有立体感的全景图,如图 1.11 和图 1.12 所示,在宽敞的空间里观察 CAD 产品,或在新设计的建筑里漫游,或走进分子结构的微观世界里猎奇。这也是计算机图形学的研究热点之一。

虚拟现实技术具有以下 3 个主要特征:

(1) 沉浸感。是指利用计算机产生的三维立体图像,让人置身于一种虚拟环境中,就像在真实的客观世界中一样,能给人一种身临其境的感觉。

(2) 交互性。在计算机生成的这种虚拟环境中,人们可以利用一些传感设备进行交互,感觉就像是在真实客观世界中一样,比如:当用户戴上数据手套去抓取虚拟环境中的物体时,手就有握东西的感觉,而且可以感觉到物体的重量。

(3) 想象。虚拟环境可使用户沉浸其中并且获取新的知识,提高感性和理性认识,从而使用户深化概念和萌发新的联想,因而可以说,虚拟现实可以启发人的创造性思维。

虚拟现实技术是多种技术的综合,其中关键技术包括实时三维图形图像生成技术、立体显示技术、传感交互技术和系统集成技术。

#### (1) 实时三维图形图像生成技术

实时三维图形图像生成技术目的就是在实际环境中获取三维数据,然后利用这些数据,在计算机中建立相应的虚拟环境模型,将客观世界的对象在相应的三维虚拟世界中进行重构。由于实际环境的数据量大,既要实时显示又要保证图像质量,这其中有许多需要解决的技术问题。

#### (2) 立体显示技术

要想使一幅画面产生立体感,至少要满足三个条件,一是画面要有透视效果,二是画面要有正确的明暗虚实,三是双眼的空间定位效果。人在看周围世界的时候,两只眼睛所得到的图像会有不同,在大脑进行融合最终形成一幅整体的图像。在虚拟现实系统中,用户的两只眼睛看到的图像是分别产生的,显示在不同的显示器上,用户戴上特殊的眼镜后,两只眼睛就会看到不同的图像,从而形成视差产生立体感。

#### (3) 传感交互技术

此技术包括三维定位、方向跟踪、触觉反馈等传感技术和设备以及符合人类认知心理的三维自然交互技术。在虚拟现实技术中,利用头部跟踪来改变图像的视角,用户的视觉系统和运动感知系统可以联系起来,感觉会更逼真一些,这样用户不仅可以通过双目立体视觉去认识环境,而且可以通过头部的运动去观察环境。在虚拟现实系统中,产生身临其境效果的关键因素之一是让用户能够直接操作虚拟物体并感觉到虚拟物体的反作用力,要有触觉和力觉的反馈。然而研究力学反馈装置还是一个需要进一步研究的问题。此外,语音识别与语音输入技术也是虚拟现实系统的一种重要人机交互手段。

#### (4) 系统集成技术

由于虚拟现实系统中包括大量的感知信息和模型,因此系统的集成技术起着至关重要的作用。集成技术包括信息的同步技术、模型的标定技术、数据转换技术、识别和合成技术等等。

虚拟现实技术的应用非常广泛,它可以应用于军事领域、医学领域、教育领域、互动娱乐领域等。比如,虚拟现实技术在医学上已应用于仿真组织、器官的解剖结构,包括虚拟人。今后还可构建“虚拟器官”,它可以对各种刺激做出反应,具有生长功能,可模拟实际人体器官的生理、病理过程。在教育领域,利用虚拟现实技术可以建立各种虚拟实验室,如地理、物理、化学、生物实验室等,拥有传统实验室难以比拟的优势。随着虚拟现实技术的发展,它的应用领域会更加广泛和深入。



图 1.11 利用虚拟现实技术漫游历史古迹

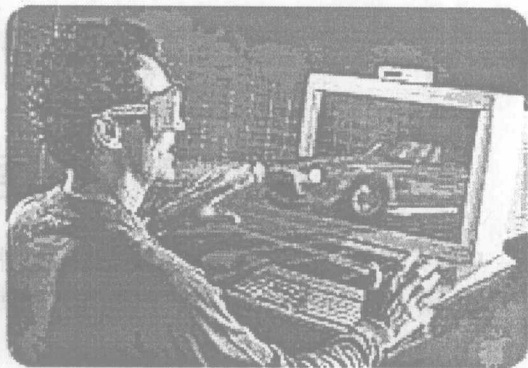


图 1.12 虚拟现实技术使人身临其境

Visual C++ 自诞生以来,一直以 Windows 平台为主,其开发环境、编译系统、运行库等都与 Windows 紧密相连。Visual C++ 最大的优势在于其强大的集成开发环境,通过 Microsoft 基础类库 (MFC, Microsoft Foundation Class) 将大量的 Windows API 封装成易于使用的类,为开发人员提供了极大的便利。同时,Visual C++ 还提供了丰富的 API,使得开发人员可以轻松地开发出各种类型的 Windows 应用程序。

Visual C++ 6.0 开发环境由 Visual Studio 6.0 集成开发环境 (IDE) 和 Windows 平台 SDK 组成。Visual Studio 6.0 是一个强大的集成开发环境,它提供了从代码编辑、编译、链接到调试的完整开发流程。Windows 平台 SDK 则提供了开发 Windows 应用程序所需的头文件、库文件和 API。Visual C++ 6.0 还支持多种开发模式,包括单线程、多线程、动态链接库 (DLL) 和静态链接库等。此外,Visual C++ 6.0 还提供了丰富的 API,使得开发人员可以轻松地开发出各种类型的 Windows 应用程序。

## 2.1.1 Visual C++ 6.0 用户界面

Visual C++ 6.0 的 Developer Studio 为程序员提供了一个强大的集成开发环境。它包括了一个文本编辑器、一个编译器、一个链接器和一个调试器。此外,它还提供了一个资源管理器,用于管理项目中的各种资源文件。Visual C++ 6.0 还支持多种开发模式,包括单线程、多线程、动态链接库 (DLL) 和静态链接库等。此外,Visual C++ 6.0 还提供了丰富的 API,使得开发人员可以轻松地开发出各种类型的 Windows 应用程序。

Visual C++ 6.0 的 Developer Studio 用户界面由多个窗口组成。主窗口用于显示正在开发的源代码。资源管理器窗口用于显示项目中的各种资源文件。输出窗口用于显示编译和链接的输出信息。调试器窗口用于调试程序。此外,还有一个命令窗口,用于输入和执行各种命令。Visual C++ 6.0 还支持多种开发模式,包括单线程、多线程、动态链接库 (DLL) 和静态链接库等。此外,Visual C++ 6.0 还提供了丰富的 API,使得开发人员可以轻松地开发出各种类型的 Windows 应用程序。

## 第2章 C语言的图形功能

C语言较强的图形功能是C语言的重要特点之一。本章以 Visual C++ 6.0 和 Turbo C 为平台,介绍 C语言主要的图形、字符功能,以使读者能够读懂后续章节的例题并能够用 C语言绘图及开发图形软件。

### 2.1 Visual C++ 6.0 开发环境概述

Visual C++ 自诞生以来,一直是 Windows 环境下最主要的应用程序可视化开发工具,它不仅仅是 C++ 语言的集成开发环境,而且与 Win32 紧密相连。Visual C++ 最大的特色便是提供了面向对象技术的强大支持,通过 Microsoft 基础类库 MFC(Microsoft Foundation Class)把大部分与用户界面设计有关的 Windows API 函数封装起来,提供给程序开发人员使用,提高了代码的可重用性。

Visual C++ 6.0 开发环境 Developer Studio 包含有编写程序员代码的文本编辑器、设计用户界面(如菜单、对话框、图标等)的资源编辑器、建立项目配置的项目管理器、检查程序错误的集成调试器等工具。同时,Visual C++ 还提供了功能强大的应用程序向导工具 AppWizard 和类向导工具 Class Wizard。AppWizard 向导用于帮助用户生成各种不同类型的具有 Windows 界面风格的应用程序的基本框架,生成完整的从开始文件出发的基于 MFC 类库的源文件和资源文件。在生成应用程序框架后,使用 Class Wizard 便可轻松完成创建新类、定义消息处理函数、重载虚拟函数等操作。

#### 2.1.1 Visual C++ 6.0 用户界面

Visual C++ 6.0 的 Developer Studio 为标准的 Windows 用户界面,由标题栏、菜单栏、工具栏、工作区窗口、编辑窗口、输出窗口和状态栏组成,如图 2.1 所示。

标题栏用于显示应用程序名和所打开的文件名。菜单栏由多个菜单组成,包含着 Visual C++ 6.0 的绝大部分功能。工具栏由某些操作按钮组成,分别对应着某些菜单选项或命令的功能。Visual C++ 6.0 提供的多数菜单和工具按钮都是大家熟悉的标准 Windows 菜单和工具按钮。

工具栏下面是两个窗口,一个是工作区窗口,另一个是源代码编辑窗口。在它们的下方是输出窗口。屏幕最下方是状态栏,给出当前操作或所选择命令的提示信息。

用 Visual C++ 6.0 开发应用程序主要涉及三大类型文件:文件(Files)、项目(Projects)和工作区(Workspaces)。在 Visual C++ 6.0 中,通常意义下开发一个 Windows 应用程序是指生成一个项目,该项目包含着一组相关的文件,如各种头文件(.h)、实现文件(.cpp)、资源文件(.rc)、图标文件(.ico)、位图文件(.bmp)等,而该项目必须在一个工作区打开。当第一次建立一个应用程序时,应选择新建一个项目,此时 Visual C++ 6.0 自动建立一个工作区,并把新建的项目

在该工作区打开。以后要对该项目进行修改、补充、增加等工作,只要打开对应的工作区即可。

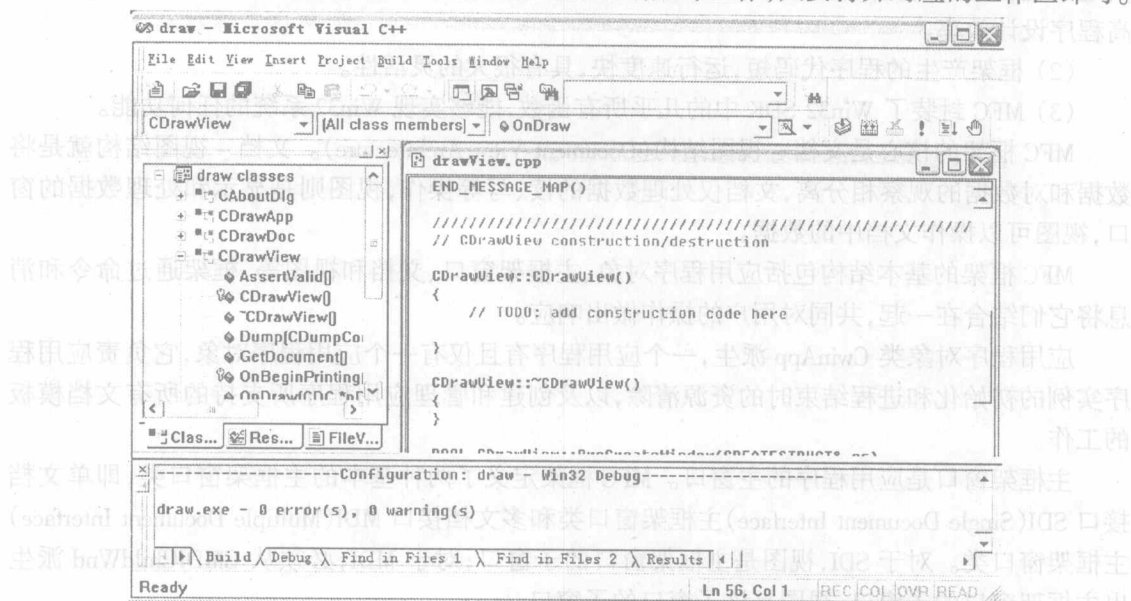


图 2.1 Visual C++ 6.0 操作界面

Visual C++ 6.0 以项目工作区(Project Workspace)的方式来组织文件、项目、项目配置,通过项目工作区窗口可以查看和访问项目中的所有元素。首次创建项目工作区时,将创建一个项目工作区目录,一个项目工作区文件、一个项目文件和一个工作区选项文件。项目工作区文件用于描述工作区及其内容,扩展名为“.dsw”。项目文件用于记录项目中各种文件的名称和位置,扩展名为“.dsp”。工作区选项文件用于存储项目工作区设置,扩展名为“.opt”。

创建或打开项目工作区时,Visual C++ 6.0 将在项目工作区窗口中显示与项目有关的信息。项目工作区窗口主要由 3 个面板构成,即 FileView、ResourceView 和 ClassView,分别用于显示项目中定义的 C++ 类、资源文件和包含在项目工作区中的文件。每个面板用于指定项目工作区中所有项目的不同视图,视图中每个文件夹可以包含其他文件夹或各种元素(如子项目、文件、资源、类和标题等)。通过项目工作区窗口可以定位到项目中的任一位置,以对其进行相应的编辑(源程序、资源等)。

编辑区窗口打开文本编辑器和资源编辑器。文本编辑器的使用与 Word 相似,可以方便地进行程序源代码的输入、编辑和修改工作。在资源编辑器中可进行各种资源的编辑工作,如编辑对话框、图标、菜单和位图等,从而直观地设计程序的用户界面。

输出窗口用于显示项目建立过程中所产生的错误信息、调试过程中的输出信息等,用它可以帮助定位到工程中的错误为止,观察到程序调试过程中的输出结果。

### 2.1.2 MFC 应用程序框架结构

MFC 是微软基础类库(Microsoft Foundation Class Library)的简称。基于 MFC 的应用程序框架(Application Framework)定义了程序结构的 MFC 类库中类的集合,它是 Visual C++ 编程的骨架。运用 MFC 应用程序框架具有如下优点:

(1) 标准化的程序结构和用户接口。这对具有标准用户界面的 Win32 程序来说,可以极