



高等学校电子信息类“十二五”规划教材

计算机图形学

张宁蓉 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信

计算机图形学

张宁蓉 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书讲述了计算机图形学的基础理论、图形程序设计方法及 AutoCAD 绘图系统。考虑到所讲内容的独立性和系统性,本书可分为两篇。第 1 篇为计算机图形学的基础理论,共 6 章,内容包括绪论、计算机图形系统、基本图形的生成、图形变换、曲线与曲面、真实感图形;第 2 篇为计算机图形学的应用,共 4 章,内容包括 VC++ 图形程序设计、OpenGL 图形程序设计、AutoCAD 绘图系统、AutoCAD 系统的二次开发。

本书结构严谨、条理清晰、内容丰富、实用性强,注重将实验原理与编程案例相结合,有利于读者迅速掌握计算机图形学的基本原理、算法和程序实现。同时,本书所介绍的 AutoCAD 绘图系统的应用和二次开发,以及所提供的典型零件的计算机辅助制图和实体建模实例,也有利于读者掌握计算机辅助设计方面的基础知识。

本书可作为高等院校通信、电子、计算机及机电类专业“计算机图形学与 CAD”课程的教学用书,也可作为相关专业的培训教材,还可作为广大工程技术人员从事 CG/CAD 工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/张宁蓉编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2011.10
高等学校电子信息类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5606-2597-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 098667 号

策 划 毛红兵

责任编辑 任倍萱 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18

字 数 423 千字

印 数 1~3000 册

定 价 30.00 元

ISBN 978-7-5606-2597-3/TP·1283

XDUP 2889001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

计算机图形学已经成为计算机科学中最主要的分支之一。从二维图形到三维实体,从静态图片到实时动画,从线框图到真实感显示,从真实场景到虚拟现实,从产品设计、工程分析到动画、广告、影视艺术等,计算机图形学已在众多领域得到了应用。并且,由于它在发展应用中与其他学科相结合,产生了许多新兴的学科,因此计算机图形学在现代社会中的作用也越来越重要。

为了能够从计算机图形学的理论高度和计算机绘图的实用角度来研究和开发计算机图形的生成技术及软件,本书着力于把计算机图形学理论与计算机绘图的实践结合起来,尽量用简明的算法程序描述出图形学的理论和方法,并给出如何用 Visual C++ 开发工具进行交互式图形软件设计的实例,使学习人员在掌握理论知识和实用技术两方面都能得到提高。

本书是编者在总结了长期教学实践的基础上,参考了国内外大量同类教材,并融入了一些教学和科研成果编写而成的。本书具有以下特点:

1. 选材精练,结构严谨

本书理论体系完整,内容精简、得当。书中数学方法的阐述先于算法的描述,算法的描述先于程序的设计,循序渐进地讲解了基本图形生成、图形变换、曲线与曲面、真实感图形。

2. 技术实用,注重实验

本书注重理论与实践的结合,详细描述了各种数学方法和算法,精选了部分例题,合理安排各章节的课后习题,精心设计了实验指导。

3. 通俗易懂,可操作性强

本书语言流畅、深入浅出。考虑到图形学的理论和算法比较艰深,书中采用了详细的算法的过程描述、更形式化的类 C 语言描述和流程图语言描述。通过直观、生动的 Visual C++ 和 OpenGL 下的实验及其结果,加深学生对概念、原理和算法的理解,起到事半功倍的作用。

4. 内容丰富,适用性强

本书紧跟学科发展动态与趋势,介绍了计算机辅助设计方面常用且版本较新的软件使用基础知识,即 AutoCAD 通用图形软件的应用和二次开发。本书适用于培养应用研究型人才,既为教师提供了良好的教学内容,也为教师根据教学对象调整教学内容留出了空间。

由于编者知识水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,望读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第 1 篇 计算机图形学的基础理论

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学概述	1
1.2 计算机图形学的发展史	3
1.3 计算机图形学的应用	4
1.4 计算机图形学的研究方向	6
1.5 习题	8
第 2 章 计算机图形系统	9
2.1 计算机图形系统的组成、功能及分类	9
2.2 图形设备	10
2.2.1 图形输入设备	11
2.2.2 图形显示设备	14
2.2.3 图形硬拷贝设备	20
2.3 图形软件	22
2.3.1 图形软件类型	22
2.3.2 图形软件标准	22
2.4 习题	25
第 3 章 基本图形的生成	27
3.1 直线的生成算法	27
3.1.1 数字微分分析器算法	27
3.1.2 中点画线算法	28
3.1.3 Bresenham 画线算法	30
3.2 圆与椭圆的生成算法	32
3.2.1 圆的生成算法	32
3.2.2 椭圆的生成算法	36
3.3 区域的填充	37
3.3.1 扫描线填充算法	38
3.3.2 种子填充算法	41
3.3.3 区域图案填充算法	44
3.4 字符	44
3.4.1 点阵字符	45
3.4.2 矢量字符	45
3.4.3 字符属性	45
3.5 裁剪	46
3.5.1 线段裁剪	46
3.5.2 多边形裁剪	51

3.5.3 字符裁剪	52
3.6 习题	53
第4章 图形变换	54
4.1 齐次坐标	54
4.2 图形的几何变换	55
4.2.1 二维图形的几何变换	55
4.2.2 三维图形的几何变换	58
4.3 形体的投影变换	61
4.3.1 正投影变换	61
4.3.2 正轴测投影变换	63
4.3.3 斜平行投影变换	63
4.3.4 透视投影变换	64
4.4 窗口视区变换	67
4.4.1 用户域和窗口区	67
4.4.2 屏幕域和视图区	68
4.4.3 窗口区和视图区的坐标变换	68
4.5 习题	69
第5章 曲线与曲面	70
5.1 曲线与曲面的基础知识	70
5.1.1 曲线的表示形式	70
5.1.2 曲面的表示形式	72
5.1.3 参数三次曲线与曲面	72
5.1.4 参数连续性和几何连续性	74
5.2 常用的参数曲线	75
5.2.1 Bézier 曲线	75
5.2.2 B样条曲线	79
5.3 常用的参数曲面	82
5.3.1 Bézier 曲面	82
5.3.2 B样条曲面	84
5.4 习题	86
第6章 真实感图形	87
6.1 线消隐	87
6.2 面消隐	88
6.2.1 画家算法	88
6.2.2 深度缓存算法	89
6.2.3 扫描线算法	90
6.3 光照模型	91
6.3.1 简单光照模型	91
6.3.2 增量式光照模型	92
6.3.3 透明处理	94
6.3.4 整体光照模型与光线跟踪	94
6.4 纹理	97

6.4.1 颜色纹理	98
6.4.2 凹凸纹理	99
6.5 颜色模型	100
6.5.1 基本概念	100
6.5.2 CIE 色度图	102
6.5.3 常用的颜色模型	104
6.6 习题	106

第 2 篇 计算机图形学的应用

第 7 章 VC++ 图形程序设计	107
7.1 VC++ 可视化编程概要	107
7.1.1 概述	107
7.1.2 MFC 应用程序框架	111
7.1.3 MFC 的消息映射	112
7.1.4 VC++ 可视化编程	114
7.2 图形程序设计步骤和方法	115
7.2.1 图形程序设计步骤	115
7.2.2 图形程序设计方法	116
7.3 绘图工具应用程序编程实例	119
7.3.1 图元基类和各种图元类的组织	120
7.3.2 命令基类和各种命令类的组织	129
7.3.3 实现图元的绘制与操作	136
7.4 实验: 在 MFC 中编写绘图程序	142
第 8 章 OpenGL 图形程序设计	146
8.1 OpenGL 编程基础	146
8.1.1 OpenGL 概述	146
8.1.2 OpenGL 的基本数据类型和函数	150
8.1.3 OpenGL 工作流程	151
8.1.4 OpenGL 图形的实现	154
8.1.5 基于单文档的 OpenGL 图形程序的基本框架	159
8.2 OpenGL 建模	164
8.2.1 用 OpenGL 生成基本图形	164
8.2.2 图元扩展	169
8.2.3 用 OpenGL 生成字符	174
8.3 OpenGL 变换	176
8.3.1 从三维空间到二维平面	176
8.3.2 几何变换	177
8.3.3 投影变换	180
8.3.4 裁剪变换	183
8.3.5 视口变换	184
8.4 用 OpenGL 生成曲线和曲面	185
8.4.1 用 OpenGL 生成曲线	185

8.4.2 用 OpenGL 生成曲面	187
8.5 用 OpenGL 生成真实感图形	191
8.5.1 OpenGL 光照	191
8.5.2 OpenGL 材质	194
8.5.3 OpenGL 纹理	200
8.6 实验: 利用 OpenGL 实现三维绘图	204
第 9 章 AutoCAD 绘图系统	208
9.1 AutoCAD 工作界面	208
9.2 AutoCAD 的基本操作	210
9.2.1 绘图界限及单位设置	210
9.2.2 图形显示控制操作	211
9.2.3 图层操作	211
9.2.4 命令及点坐标的输入方法	215
9.2.5 精确绘图方法	216
9.2.6 构造选择集	219
9.3 基本绘图命令和编辑方法	219
9.3.1 基本绘图命令	219
9.3.2 基本编辑命令	223
9.4 尺寸标注	227
9.4.1 尺寸标注基本知识	227
9.4.2 尺寸标注样式	227
9.4.3 标注实例	229
9.5 工程图样的绘制	231
9.5.1 平面图形的绘制	231
9.5.2 轴套类零件的图样绘制	237
9.6 三维造型	239
9.6.1 用户坐标系(UCS)	239
9.6.2 视点的设置	239
9.6.3 实体的创建	241
9.6.4 实体的编辑	245
9.6.5 实体造型实例	247
9.6.6 实体的消隐和渲染	251
9.7 习题	253
第 10 章 AutoCAD 系统的二次开发	255
10.1 基于 AutoCAD 的计算机辅助设计	255
10.1.1 AutoCAD 二次开发的主要工作和开发工具	255
10.1.2 AutoCAD 二次开发应遵循的原则	257
10.2 AutoLISP 语言	258
10.2.1 AutoLISP 的基本语法	258
10.2.2 AutoLISP 的基本函数	260
10.2.3 AutoLISP 程序的加载和运行	261
10.2.4 程序实例	262
10.3 Visual LISP 语言	264

10.3.1	启动和退出 Visual LISP	264
10.3.2	编写 Visual LISP 程序	264
10.3.3	加载和运行 Visual LISP 程序	265
10.3.4	程序实例	266
10.4	VBA 语言	267
10.4.1	VBA 概述	267
10.4.2	VBA 的启动和退出	268
10.4.3	VBA 工程	269
10.4.4	程序实例	270
10.5	ObjectARX 应用程序	271
10.5.1	ObjectARX 应用程序的开发环境	271
10.5.2	ObjectARX 对数据库对象的操作	272
10.5.3	ObjectARX 对实体的操作	273
10.5.4	建立 ObjectARX 应用程序的基本步骤	274
10.5.5	AutoCAD 与 ObjectARX 程序之间的消息传递	274
10.5.6	程序实例	275
参考文献		278

第1篇 计算机图形学的基础理论

第1章 绪 论

计算机图形学是建立在传统的图形学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门综合性学科,始于20世纪50年代。随着计算机软、硬件的不断发展,计算机图形学也迅速发展成为计算机科学与技术中最为活跃的学科分支之一,并在机械、建筑、电子、船舶、汽车、航空航天、广告业、娱乐业、政府部门、军事、医学、艺术、教育和培训等众多领域得到了广泛应用。在计算机中,图形界面已经取代了文本界面,成为人机交互的标准手段。在商业、科学、工程和教育等许多领域中,计算机图形技术已经成为一项交流思想、数据和趋势的关键技术。

本章概述了计算机图形学的研究内容、发展历史、应用领域以及研究方向,使读者对计算机图形学有一个粗略的了解。

1.1 计算机图形学概述

计算机图形学(Computer Graphics, CG)是研究使用计算机输入、表示、处理和显示图形的原理、方法及硬件设备的一门学科。

国际标准化组织(ISO)把它定义为: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。

美国电气和电子工程协会(IEEE)把它定义为:计算机图形学是借助计算机产生图形图像的艺术和科学。

美国的James Foley把它定义为:计算机图形学运用计算机产生、存储、处理物体的物理模型和它们的画面。

德国的Wolfgang K Giloi把它定义为:计算机图形学=数据结构+图形算法+语言。

另外,按照不同的使用设备和系统,还有所谓的交互式计算机图形学和光栅图形学的概念。前者是指利用键盘、鼠标、光笔等人机交互设备,对计算机产生的图形的内容、形式、大小、颜色等进行动态控制;后者是指所显示的图像是由按行和列排列的像素阵列组

成的。

容易与计算机图形学的概念混淆的是图像处理。随着学科的发展,图形和图像已经没有了明确的界限了。计算机图形学的主要目的是由数学模型生成真实感图形,其结果本身就是数字图像。当然,图形有别于对实物拍摄或捡取的照片。图形是运算形成的抽象产物,而图像是直接量化的原始信号形式。它们的定义及区别如下:

图形(graphics):计算机中由场景的几何模型和景物的物理属性表示的图形,它强调场景的几何表示,记录图形的形状参数与属性参数。它的显示形式是基于线条信息的矢量图和基于明暗处理后的图像图。

图像(image):计算机中以具有颜色信息的点阵所表示的图形,它强调图形由哪些点组成,记录点及其灰度或色彩。

计算机图形学的基本含义是使用计算机通过算法和程序在显示设备上构造出图形。也就是说,图形是人们通过计算机设计和构造出来的,不是通过摄像机或扫描仪等设备输入的图像。计算机所设计和构造的图形可以是现实世界中已经存在的物体的图形,也可以是完全虚构的物体。因此,计算机图形学是真实物体或虚构物体的图形综合技术。

长期以来,计算机图形学、图像处理、模式识别和计算几何四个技术领域密切相关。图1-1概括了它们之间的关系。

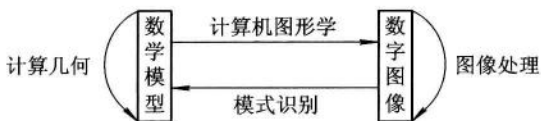


图 1-1 计算机图形学、图像处理、模式识别和计算几何之间的关系

图像处理:对图像进行分析、加工和处理,使其满足视觉、心理以及其他要求的技术。图像处理中,输入的是质量低的图像,输出的是质量改善后的图像。常用的图像处理方法有图像变换、图像增强、图像复原、图像编码压缩等。

模式识别:对所输入的图像进行分析和识别,找出其中蕴涵的内在联系或抽象模型的技术,如邮政分检设备、地形地貌识别等。

计算几何:研究几何模型和数据处理的学科,是讨论几何形体的计算机表示、分析和综合的技术。例如,如何方便灵活、有效地建立几何形体的数学模型,如何提高算法效率,如何在计算机内更好地存储和管理几何模型,以及曲线、曲面的表示、生成、拼接、数据拟合,等等。

计算机图形学的研究内容涉及用计算机处理图形信息的硬件和软件两方面的技术,主要是围绕着生成的图形图像的准确性、可靠性、高效性、真实性和实时性的基础算法,大致可以分为以下4类。

- (1) 图形的输入:研究如何输入图形或图形数据到计算机中。
- (2) 图形的表示:研究如何在计算机内存和外存中表达和存储图形。
- (3) 图形的处理:研究如何将某种形式表达的图形转换成另一种表达形式。
- (4) 图形的显示与输出:研究如何将计算机中以某种形式表达的图形生成可见的图像。

图形的底层结构是点、线、面的基本形态要素及其组合。由于点是表示图形的基本元素,因此图形算法就是说明如何把点有机地组织起来。图形数据包括形体几何元素(点、线、面)之间的连接关系以及各种属性信息。图形处理的数据和图形显示的数据不同,通常图形显示的数据只是整个图形处理数据的某些部分、视图或画面。图形处理包括对图形数据进行旋转、平移、缩放等几何变换,以及各种投影变换。在生成最终图形之前,往往还需要消除隐藏线和隐藏面,以及进行明暗、阴影、透明、纹理或色彩等处理。综上所述,我们把从几何模型和数据转变为图形的过程概括为:建立物体模型→存储该模型→产生物体图像→对该图像进行操作、修改、完善。

1.2 计算机图形学的发展史

20世纪50年代,计算机图形学处于萌芽阶段。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50年代,电子管计算机仅用机器语言编程,并主要应用于科学计算,而为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。到50年代末期,MIT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,这预示着交互式计算机图形学的诞生。

20世纪60年代,计算机图形学处于发展阶段。1962年,MIT林肯实验室的I. E. 萨瑟兰德(I. E. Sutherland)在他的博士论文中提出了一个名为“Sketchpad”的人机交互式图形系统,该系统能够在屏幕上进行图形设计和修改。他在论文中首次使用了“计算机图形学”这个术语,证明了交互式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分层存储符号和图素的数据结构等基本概念和技术至今还被广泛应用。1964年,MIT的Steven A. Coons教授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发展了一套被后人称为Bézier曲线、曲面的理论,被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方法是计算机辅助几何设计最早的开创性工作,Coons和Bézier并列被称为现代计算机辅助几何设计技术的奠基人。60年代,美国通用汽车公司、贝尔电话公司和洛克希德飞机制造公司等开展了计算机图形学和计算机辅助设计的大规模研究,分别推出了DAC-1系统、Graphic-1系统和CADAM系统,使计算机图形学进入了迅速发展的新时期。这一时期使用的图形显示器是随机扫描的显示器,它具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。为了避免图形闪烁,它通常需要以30次/s左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此,不仅需要有一个刷新缓冲存储器来存放计算机产生的显示图形的数据和指令,还要有一个高速的处理器。由于这一时期使用的计算机图形硬件(大型计算机和图形显示器)是相当昂贵的,只有上述大公司才能投入大量资金研制开发出只供本公

公司产品设计使用的实验性系统,因而交互式图形生成技术没有得到进一步普及。

20 世纪 70 年代,计算机图形学处于推广应用阶段。由于集成电路技术的发展,计算机随着硬件性能的不断提 高、体积缩小、价格降低,特别是光栅显示器的产生,使 60 年代萌芽的光栅图形学算法迅速发展起来,也使得区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生,至此,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被提了出来。1974 年,美国国家标准化局(ANSI)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,并在 1977 年和 1979 年先后制定和修改了“核心图形系统(Core Graphics System, CGS)”。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 提出的“漫反射模型+插值”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,即 Phong 模型。以上这些可以说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。

20 世纪 80 年代,计算机图形学处于系统实用化阶段。大规模和超大规模集成电路、工作站和精简指令集计算机(RISC)等的出现,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。与此同时,图形软件更趋于成熟,二维/三维图形处理技术,真实感图形技术以及有限元分析、优化、模拟仿真、动态景观、科学计算可视化等方面都已进入实用阶段。图形学已广泛应用于动画、科学计算可视化、CAD/CAM、影视娱乐等各个领域。

20 世纪 90 年代以来,计算机图形学进入标准化、集成化、智能化阶段。虚拟现实、科学计算可视化等应用要求促使计算机图形学向着更高阶段发展,它的许多技术也已成为发展迅速的多媒体技术的重要组成部分。随着计算机图形学理论、方法的不断完善,软、硬件技术的不断发展,其应用领域也必将越来越广。

1.3 计算机图形学的应用

随着计算机硬件功能的不断增强、系统软件的不断完善和图形软件功能的不断扩充,计算机图形学得到了广泛的应用。目前,计算机图形学主要应用于以下几方面。

1. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

由于设计周期短、成本低、质量高,CAD/CAM 是计算机图形学的一个最广泛、最活跃的应用领域,如飞机、汽车、船舶、宇宙飞船、计算机、大规模集成电路、民用建筑、服装等设计。使用人机交互的计算机辅助设计系统,不仅可以对产品和零部件进行外形设计,还可以对它们的机械性能、电性能或受力分布情况等进行分析计算,并且可以使用设计数据控制加工制造工具来完成部件和系统制作。

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,已经成为 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。它要求设计团队在合理的组织下,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、异地装配成为了可能,从而为企业在市场竞争中赢得了宝贵的时间。

CAD 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。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,工程上有大量的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做修改即可完成。同时,三维几何造型系统因为可以做装配件的干涉检查,以及有限元分析、仿真、加工等后续操作,所以也代表了 CAD 技术的发展方向。目前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。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。

2. 科学计算可视化

科学计算可视化是指运用计算机图形学和图像处理技术,将科学计算过程中产生的数据及计算结果转换为图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。国际上关于科学计算可视化的研究始于 20 世纪 80 年代末,它使往日冗繁、枯燥的数据变成了生动、直观的图形或图像。目前,科学计算可视化已成为计算机图形学的一个重要研究方向,并在医学图像处理、地质勘探、气象预报、天体物理、分子生物学、计算流体力学、有限元分析、核科学等很多方面得到了成功的应用。

3. 虚拟现实

虚拟现实也称虚拟实境,是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统,它利用计算机技术生成一个逼真的,具有视、听、触等多种感知功能的虚拟环境。用户通过使用各种交互设备,同虚拟环境中的实体相互作用,使用户产生身临其境感的交互式视景仿真和信息交流,它也是一种先进的数字化人机接口技术。自从虚拟现实技术诞生以来,已经在军事模拟、先进制造、城市规划/地理信息系统、医学生物等领域中显示出其巨大的经济、军事和社会效益。

4. 计算机艺术

现在的美术人员,尤其是商业艺术设计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(CorelDraw、PhotoShop、PaintShop)、专门的图表绘制软件(Visio)、三维建模和渲染软件包(3DMAX、Maya),以及一些专门生成动画的软件(Alias、Softimage)等,可以说是数不胜数。这些软件不但提供了多种风格的画笔、画刷,而且提供了多种多样的纹理贴图,甚至能对图像进行雾化、变形等操作,其中的好多功能是一个传统的艺术家无法实现、也不可想象的。图形学工作者们在真实感图形学如火如荼发展的同时,也在逐渐发展着模拟艺术效果的非真实感绘制。例如就计算机模

拟钢笔素描这一技术而言,华盛顿大学的 Georges Winkenbach、Michael P. Salisbury,德国 Magdeburg 大学的 Oliver Deussen 等人都在 Siggraph 会议上发表了高水平的论文。

与此同时,计算机动画艺术更是逐步步入辉煌。Disney 公司每年都要制作出一部制作精美的卡通动画片,好莱坞的大片也屡屡大量运用计算机生成各种各样精彩绝伦的特技效果。计算机动画还应用于游戏开发、电视动画制作、广告创作、生产过程及科研的模拟,等等。

5. 用户接口

用户接口是人们使用计算机的第一观感。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。在 DOS 时代,计算机的易用性很差,编写一个图形化的界面要花费大量的时间和精力,过去的软件中有 60% 的程序是用来处理与用户接口有关的问题和功能的。进入 20 世纪 80 年代后,随着 X Window 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、动画更是比比皆是,程序也更直观易用。很多软件几乎可以不看任何说明书,根据它的图形或动画界面的指示就能进行操作。

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,而图形学在其中起着主导作用。

1.4 计算机图形学的研究方向

计算机图形学的理论和技术在教育、工农业生产和日常生活等各个领域的广泛应用,推动了这门学科不断发展,而对应用中提出的各类新课题的不断解决,又进一步充实和丰富了这门学科的内容。近几十年来,这门学科及其相关学科的国际、国内学术会议在不断地召开,会议论文的学术水平也都较高,引领了计算机图形学的主流发展方向。下面几方面是当前计算机图形学的研究热点。

1. 计算机辅助设计与制造

随着网络技术、人工智能、多媒体、虚拟现实等技术的进一步发展,使得人们对产品设计过程有了更深的认识,对设计思维的模拟达到新的境界。计算机辅助设计将朝着多元化、优化、一体化的方向发展,人机交互方式更加自然,创新设计的手段更为先进、有效。

从整个产品设计与制造的发展趋势看,并行设计、协同设计、智能设计、虚拟设计、敏捷设计、全生命周期设计等设计方法代表了现代产品设计模式的发展方向。随着技术的进一步发展,产品设计模式在信息化的基础上,必然朝着数字化、集成化、网络化、智能化的方向发展。计算机辅助设计的发展趋势则必然与上述发展趋势相一致,最终建立统一的设计支撑模型。

2. 虚拟现实

虚拟现实技术是一项发展中的高度集成的技术,涵盖了计算机软/硬件、传感器技术、立体显示技术等,其研究内容大体上可分为技术本身的研究和技术应用的研究两大类。根

据虚拟现实技术所倾向的特征的不同,目前虚拟现实系统主要划分为四个层次,即桌面式、增强式、沉浸式及网络分布式。虚拟现实技术的实质是构建一种人能够与之进行自由交互的“世界”,在这个“世界”中,参与者可以实时地探索或移动其中的对象。桌面式虚拟现实系统被称为“窗口仿真”,尽管有一定的局限性,但由于其成本低廉仍得到了广泛应用。沉浸式虚拟现实是最理想的追求目标,实现的方式主要是戴上特制的头盔显示器、数据手套以及身体部位跟踪器,通过听觉、触觉和视觉在虚拟场景中进行体验。增强式虚拟现实系统主要用来为一群戴上立体眼镜的人观察虚拟环境,性能介于以上两者之间,也成为开发的热点之一。总体上看,纵观多年来的发展历程,虚拟现实技术的未来研究仍将遵循“低成本、高性能”这一原则,从软、硬件的发展上展开,其主要研究方向有:

(1) 动态环境建模技术。动态环境建模技术的目的是获取实际环境的三维数据,并根据需要建立相应的虚拟环境模型。

(2) 实时三维图形生成和显示技术。该技术的关键是如何“实时生成”,即在不降低图形的质量和复杂程度的前提下,如何提高刷新频率。此外,虚拟现实技术还依赖于立体显示和传感器技术的发展,现有的虚拟设备还不能满足系统的需要,有必要开发新的三维图形生成和显示技术。

(3) 新型交互设备的研制。虚拟现实能够让人自由地与虚拟世界中的对象进行交互,犹如身临其境,它借助的输入/输出设备主要有头盔显示器、数据手套、数据衣服、三维位置传感器和三维声音产生器等。因此,新型、便宜、鲁棒性优良的数据手套和数据服将成为未来研究的重要方向。

(4) 大型网络分布式虚拟现实的应用。网络分布式虚拟现实(Distributed Virtual Reality, DVR)将分散的虚拟现实系统或仿真器通过网络联结起来,采用协调一致的结构、标准、协议和数据库,形成一个在时间和空间上互相耦合的虚拟、合成环境,使参与者可自由地进行交互作用。目前,分布式虚拟交互仿真已成为国际上的研究热点,相继推出了 DIS、mA 等相关标准。网络分布式虚拟现实技术在航天中极具应用价值,例如,国际空间站的参与国分布在世界不同区域,分布式虚拟现实训练环境不需要在各国重建仿真系统,这样不仅减少了研制费用、设备费用,也减少了人员出差的费用和异地生活的不适。

3. 计算机动画

计算机动画是计算机图形学和艺术相结合的产物,是伴随着计算机硬件和图形算法高速发展起来的一门高新技术,它综合利用计算机科学、艺术、数学、物理学和其他相关学科的知识,用计算机生成绚丽多彩的连续的虚拟真实画面,给人们提供了一个充分展示个人想象力和艺术才能的新天地。推动计算机动画发展的一个重要原因是电影电视特技等娱乐行业的需求。目前,计算机动画已经形成了一个巨大的产业,并有进一步壮大的趋势。

在过去的几十年里,计算机动画一直是图形学中的研究热点。在全球图形学的盛会——Siggraph 上,几乎每年都有计算机动画的专题,其研究方向主要有:

(1) 动画自动生成技术。动画自动生成技术研究着重于基于人工智能的动画技术,主要包括自然语言指令驱动的动画、知识驱动的行为仿真、文本到计算机动画的翻译、交互式故事系统、动态实时摄像机自动控制等。

(2) 可视化与虚拟现实进展。可视化与虚拟现实进展研究包括基于参数化表示的建模和动画,实时图形生成新技术,国画效果等风格化动画和卡通动画,游戏中的空间定位和

交互技术等。

4. 科学计算可视化

科学计算可视化虽然是近年来才发展起来的,但它的研究进展很快,已取得了一些研究成果,其研究方向主要有:

(1) 可视化变量的研究。传统上有位置、形状、方向、色彩、纹理、灰度等级与尺寸等七种可视化变量,但为了表示不确定性与时间维信息,一些学者将可视化变量延伸到十种,如把色彩分成色相、亮度和饱和度。这些变量的不同组合还可以构成其他的表现形式。同时,可视化变量在表示空间信息的属性方面是不一样的。可视化变量的选取是否妥当,将直接影响到信息表示的质量,因此十分重要。

(2) 可视化时空模型的研究。该研究提出了规范化的时空数据模型,该模型可以全面描述图形、图像、地表规则网格单元数字表示、属性等不同类型的多维、海量信息,实现对多类型、多尺度、多时态海量信息进行统一组织、存储、更新维护、连续快速调度等。

(3) 符号系统的研究。在可视化过程中,信息是通过一系列的符号进行表达和传输的。为了更好地揭示信息的本质和规律,便于人类认识并利用可视化信息,空间信息的表达和传输必须借助一些规则,直观、形象、系统的符号或视觉化形式,这些符号或形式不仅易于人类辨别、记忆、分析,也能被计算机所识别、存储、转换和输出。因此,符号系统作为认知科学的理论基础,是目前研究方向之一。

(4) 心理学和认知科学的研究。据有关研究,人的大脑有一半以上的神经元与视觉有关,而人从外界所获得的信息中,60%以上的是通过眼睛获得的,因此,人类对客观环境的认知行为体现在感知、识别、分析、思考等方面。人类具有高效的、大容量的图形和图像信息通道,人的知觉系统对图像信息的感知、把握能力远胜于对简单的文字符号处理,只是由于技术水平的限制,这一潜能还远未充分发挥。并且,人类所获得视觉信息以怎样的方式进入人的大脑及人脑对它们作出怎样的反映,其机制如何等一系列问题,尚待进一步研究。

(5) 非空间数据可视化处理的研究。目前,在可视化过程中,大量的不同时间、不同类型、不同介质的数据被及时地判读、理解和抽取日益显得重要。因此,可视化对于借助图形图像来进行的信息表达、存储和传递以及对浏览或检索操作过程进行可视化引导,并对信息流向、元数据、使用频率、访问权限、运行状态进行可视化监控与一致性检查等方面将面临巨大的挑战。

1.5 习 题

1. 阐述计算机图形学、图像处理、模式识别和计算几何这四门学科之间的关系。
2. 计算机图形学的研究内容是什么?
3. 简述计算机图形学的发展过程和发展趋势。
4. 举例说明计算机图形学的应用。