

计算机图形学

原理、算法及实践

李晓武 主编

清华大学出版社

李晓武 主编

樊百琳 曹彤 副主编

周晓雨 万静 杨皓 陈平 许倩 陈华 杨光辉 参编

计算机图形学

原理、算法及实践



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

计算机图形学是计算机科学的一个重要分支,具有较强的理论性和实践性。本书内容丰富,不仅系统介绍了计算机图形学的主要研究内容以及基本原理,也提供了大量的编程实践,在一定程度上帮助读者开发真实的图形应用程序。理论与实践相结合是本书的重要特色。该书不仅系统讲解了真实图形开发环境下的 OpenGL 技术,也提供了 Web 环境下的图形开发方法,可以使读者了解计算机图形学的应用趋势。

本书编程所用数据均通过动态交互获取,而非提前设定,因此,最后的图形显示效果为实时的结果,这样,也直接验证了书中算法的稳定性、可靠性和可行性。

本书的读者对象可以是在校本科生、研究生,也可以是希望学习和掌握计算机图形学的相关人员。本书可以作为计算机图形学的教材,也可以作为学习计算机编程的技术书籍。

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:原理、算法及实践/李晓武主编. —北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-49873-5

I. ①计… II. ①李… III. ①计算机图形学 IV. ①TP391.411

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 052454 号

责任编辑:许 龙 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25.75 字 数:626 千字

版 次:2018 年 6 月第 1 版 印 次:2018 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:65.00 元

产品编号:078796-01

计算机图形学是计算机科学的一个重要分支,现在的计算机技术应用领域,例如计算机辅助设计(CAD)、计算机动画仿真、影视广告特效制作、电脑网络游戏、虚拟现实、三维扫描和打印以及人工智能技术等涉及图形图像的方面,都在直接或者间接地使用计算机图形学的理论和方法。那么,如何学习才能掌握计算机图形学这门学科呢?

作为一门计算机应用技术,计算机图形学具有较强的理论性和实践性。本书内容丰富,不仅介绍了计算机图形学这门学科的主要研究内容以及基本原理,也提供了大量的编程实践,理论与实践相结合是本书的重要特色,可以在一定程度上帮助读者开发真实的图形应用程序;该书不仅系统讲解了真实图形开发环境下使用的 OpenGL 技术,也提供了 Web 环境下的图形开发方法,可以使读者了解计算机图形学的应用趋势。

在结构安排上,本书分为两大部分。

第一部分为本书前 9 章内容,详细介绍了计算机图形学的主要研究内容、基本原理以及图形学的开发环境和编程实践。具体如下:

第 1 章 绪论

介绍了计算机图形学的基本概念、相关研究内容、应用领域、发展历史以及发展趋势。

第 2 章 图形开发工具及使用

详细介绍了图形开发工具 VC++ 系统的开发流程、相关函数及集合的使用、基本像素点的绘制方法以及非模式对话框的交互式实现方法。

第 3 章 基本图形的生成

详细讲解了直线扫描转换生成的各种算法及实现、VC++ 的橡皮筋和双缓存交互技术、圆及圆弧的扫描转换、椭圆的扫描转换、多边形的扫描转换和填充、字符的表示、线宽和线型处理方法以及反走样技术。

第 4 章 裁剪

详细讲解了直线在矩形窗口的裁剪算法、多边形的裁剪(包括矩形及凸多边形裁剪窗口的裁剪和任意形状多边形的裁剪及实现)、圆的裁剪(包括圆形窗口的直线裁剪和任何多边形窗口对圆的裁剪及实现)以及字符裁剪。

第 5 章 图形变换

介绍了图形变换的数学基础,详细讲解了二维图形的矩阵变换、交互式对象拾取和捕捉技术、三维图形的矩阵变换、三维图形的线框拉伸造型方法、投影变换、三维图形的交互拾取以及透视投影变换。

第 6 章 消隐技术

介绍了消隐的相关概念,详细讲解了凸多面体的可见性判断方法和一般多面体的各种消隐算法,并对基于扫描线的消隐算法进行了详细分析和编程实现。

第 7 章 真实感图形绘制

介绍了颜色与光的基本知识,详细讲解了简单光照模型和复杂光照模型,并实现了简单光照模型的编程,讲解了纹理映射的实现原理。

第8章 曲线曲面

介绍了曲线曲面的参数表示方法以及相关概念,详细讲解了 Bézier 表示法、递推生成算法和 Bézier 曲面,详细讲解了 B 样条的定义、B 样条曲线的递推定义,介绍了 B 样条曲线的绘制以及 B 样条曲面的拉伸造型方法,介绍了非均匀有理 B 样条 NURBS 方法。

第9章 计算机动画与仿真

介绍了动画的概念及基本原理、逐帧动画和实时动画实现方法,并对实时动画方法进行了编程实现。

这部分内容各章节之间理论独立,但是代码编程部分前后关联,并创建了一个集成的图形程序,因此,在练习这一部分的代码时,建议循序渐进,不要跳跃式学习。

本书第二部分为第 10 章和第 11 章,这两章各自独立,分别介绍了真实环境下计算机图形学应用程序接口(API)——OpenGL 技术和 Web 环境下的图形开发技术,如果读者仅对 OpenGL 技术或者 Web 图形开发感兴趣,可以直接跳过本书前面的章节,学习这两章的内容。具体如下:

第10章 基于 OpenGL 的图形开发技术

详细讲解了 VC++ 环境下 OpenGL 的配置方法、OpenGL 基本图形及真实感图形绘制技术、OpenGL 图像处理技术、OpenGL 纹理映射技术以及 OpenGL 曲线曲面技术等。

第11章 Web 图形开发技术

介绍了 Web 绘图技术所需的 Html 文档结构、JavaScript 脚本语言和 canvas 功能标签,详细介绍了 JavaScript 语言生成基本图形的编程方法和基于 WebGL 的 3D 图形技术。

本书编程所用数据均由应用程序通过动态交互获取,而非提前设定,因此,最后的图形显示效果为实时的结果,这样,直接验证了书中算法的稳定性、可靠性和可行性。

本书的读者对象可以是在校本科生、研究生,也可以是希望学习和掌握计算机图形学的相关人员。本书可以作为计算机图形学的教材,也可以作为学习计算机编程的技术书籍。

本书第 1~10 章主要由李晓武编写,第 11 章主要由周晓雨编写。由李晓武担任主编,樊百琳和曹彤担任副主编,参编人员还有万静、杨皓、陈平、许倩、陈华和杨光辉等,他们还提出了非常宝贵的意见,在此一并致谢。除了已经列出的参考文献以外,还参考了其他相关图书和网上资料,无法一一列出,谨向所有作者表达谢意。本书的编写和出版得到了北京科技大学教材建设经费的资助,在此也表示感谢。

本书中编程实现的应用程序代码及其他相关资料可通过本书封底的二维码扫描下载。由于作者水平有限,错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2018年4月于北京

第一部分

第 1 章 绪论	3
1.1 概念	3
1.2 研究内容及应用领域	3
1.2.1 图形和图像的关系	3
1.2.2 图形输入输出硬件技术	4
1.2.3 计算机图形学的主要研究内容	4
1.2.4 计算机图形学的应用领域	6
1.3 发展历史	8
1.3.1 萌芽阶段	8
1.3.2 发展阶段	8
1.3.3 推广应用阶段	9
1.3.4 实用化阶段	9
1.3.5 标准化、智能化阶段	10
1.3.6 多学科融合发展阶段	10
1.4 学科发展	10
第 2 章 图形开发工具及使用	13
2.1 VC++ 开发系统简介	13
2.1.1 VC6.0 系统介绍	13
2.1.2 VC++ 相关设计流程	18
2.2 VC++ 基本图素的绘制方法	21
2.2.1 相关类及函数	21
2.2.2 基本像素点的交互式绘制方法	22
2.2.3 非模式对话框交互式实现方法及颜色对话框的使用	23
第 3 章 基本图形的生成	29
3.1 直线的扫描转换	29
3.1.1 直线扫描转换原理	29
3.1.2 数值微分法	30
3.1.3 中点画线算法	33
3.1.4 Bresenham 画线算法	36
3.1.5 图形程序设计及 VC++ 的橡皮筋和双缓存交互技术	39

3.2	圆的扫描转换	44
3.2.1	圆的扫描转换概述	44
3.2.2	中点画圆算法	45
3.2.3	Bresenham 画圆算法	46
3.2.4	圆弧段的扫描转换	48
3.3	椭圆的扫描转换	54
3.4	多边形的扫描转换及区域填充	57
3.4.1	多边形的扫描转换	57
3.4.2	区域填充	69
3.5	字符和汉字的表示	72
3.6	线宽和线型处理	73
3.6.1	线宽处理	73
3.6.2	线型处理	76
3.7	反走样技术	76
第4章	裁剪	79
4.1	点和直线的裁剪	79
4.1.1	点的裁剪	79
4.1.2	直线裁剪	79
4.2	多边形裁剪	85
4.2.1	多边形裁剪概述	85
4.2.2	矩形及凸多边形裁剪窗口裁剪	85
4.2.3	任意形状多边形的裁剪	95
4.3	圆裁剪	107
4.3.1	圆裁剪概述	107
4.3.2	圆形窗口的线段裁剪	107
4.3.3	任意多边形窗口对圆的裁剪	109
4.4	字符裁剪	114
第5章	图形变换	116
5.1	图形变换的数学基础	116
5.1.1	矢量的定义及运算	116
5.1.2	矩阵的定义及运算	117
5.1.3	齐次坐标	118
5.2	二维图形几何变换	119
5.2.1	二维几何变换概述	119
5.2.2	二维图形基本变换	120
5.2.3	二维组合变换	125
5.2.4	交互技术实现图形变换	130

5.3 三维图形几何变换	141
5.3.1 三维图形基本变换及组合变换	141
5.3.2 三维图形的线框拉伸造型方法	146
5.3.3 投影变换	153
5.3.4 三维形体的交互技术	156
5.3.5 透视投影变换	164
第6章 消隐技术	170
6.1 消隐相关概念及算法类型	170
6.2 凸多面体的消隐	171
6.2.1 凸、凹多面体的区分	171
6.2.2 利用平面外法线判断可见性	171
6.3 一般多面体的消隐	176
6.3.1 消隐分析	176
6.3.2 隐线算法	176
6.3.3 画家算法	178
6.3.4 深度缓冲器算法	179
6.3.5 基于扫描线的消隐算法	180
第7章 真实感图形绘制	210
7.1 相关物理知识	210
7.1.1 基本光学原理	210
7.1.2 颜色与光的关系	211
7.2 光照模型	212
7.2.1 简单光照模型	212
7.2.2 整体光照模型	222
7.3 纹理	226
7.3.1 概述	226
7.3.2 二维纹理映射和三维纹理映射	227
第8章 曲线曲面	229
8.1 曲线曲面基础知识	229
8.1.1 曲线和曲面的表示方法	229
8.1.2 连续性、样条及曲线曲面构造方式	230
8.2 Bézier 曲线曲面	231
8.2.1 Bézier 曲线定义	231
8.2.2 Bézier 曲线的性质	232
8.2.3 低次 Bézier 曲线及矩阵表示	233
8.2.4 Bézier 曲线的拼接	234

8.2.5	Bézier 曲线的递推生成算法	235
8.2.6	Bézier 曲面	235
8.3	B 样条曲线曲面	236
8.3.1	B 样条的一般定义	236
8.3.2	二次和三次 B 样条曲线段	236
8.3.3	双三次 B 样条曲面	239
8.3.4	B 样条递推定义	239
8.3.5	B 样条曲线的类型	240
8.3.6	反求 B 样条曲线控制点	241
8.3.7	B 样条曲线绘制	241
8.3.8	曲面拉伸造型方法	248
8.4	NURBS 方法	257
第 9 章	计算机动画与仿真	260
9.1	计算机动画与仿真的概念及基本原理	260
9.2	计算机动画与仿真的实现方法	261
9.2.1	逐帧动画	261
9.2.2	实时动画	262
9.3	计算机实时动画实践	263

第二部分

第 10 章	基于 OpenGL 的图形开发技术	275
10.1	OpenGL 开发环境配置及相关规范介绍	275
10.1.1	VC6.0 环境 OpenGL 配置方法	275
10.1.2	OpenGL 相关规范介绍	281
10.2	基本图形及真实感图形绘制	282
10.2.1	基本图形绘制	282
10.2.2	图形变换与三维绘图	294
10.2.3	真实感图形显示	301
10.3	OpenGL 图像处理技术	319
10.3.1	位图图像	319
10.3.2	像素图像	321
10.3.3	图像操作	324
10.4	OpenGL 纹理映射技术	329
10.4.1	纹理映射的一般步骤	329
10.4.2	纹理对象	333
10.4.3	纹理透明	336
10.4.4	一维纹理	337

10.4.5	球体纹理	339
10.4.6	立方图纹理及天空盒绘制和表面反射	342
10.5	OpenGL 曲线曲面技术	350
10.5.1	绘制二次曲面	350
10.5.2	绘制 Bézier 曲线曲面	353
10.5.3	绘制 NURBS 曲线曲面	358
10.5.4	NURBS 曲面修剪	364
10.5.5	曲面纹理映射	367
第 11 章	Web 图形开发技术	369
11.1	Web 绘图技术的结构概述	369
11.1.1	HTML 网页文档结构	369
11.1.2	JavaScript 概述	371
11.1.3	canvas 中的图形	372
11.2	Web 环境下基本图形的生成	373
11.2.1	直线的绘制	374
11.2.2	封闭多边形的绘制	375
11.2.3	多边形的扫描填充	376
11.2.4	多边形的裁剪	378
11.2.5	二维图形的组合变换	382
11.2.6	二维图形拉伸生成三维图形	391
11.2.7	三维图形的组合变换	393
11.3	基于 WebGL 的 3D 图形	398
11.3.1	Three.js 绘制 3D 图形的结构	399
11.3.2	Web 下的三维模型的显示	400
	参考文献	402

第一部分

1.1 概念

由于计算机图形学涉及的面较广,因此,对其没有一个统一的定义,国内外各种专业词典、百科全书等有不同的表述。

国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)给出的定义是:计算机图形学是指通过计算机对数据进行图形表示,并在专门显示设备上显示的图形、方法和技术的学科。

美国电气电子工程师学会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)的定义是:计算机图形学是指用计算机生成图形图像的一门交叉性学科。

目前,国内外对于如何对计算机图形学进行定义,计算机图形学是研究怎样利用计算机来生成、处理和表示用图形图像的方法和技术的学科。随着其应用领域的发展,人们对计算机图形学的认识会越来越深入。

1.2 研究内容及应用领域

1.2.1 图形和图像的关系

计算机图形学中的研究首先要区分图形和图像两个概念,二者虽然有联系,而且区别也很明显,但它们是不同的。

图形,从广义的程度上讲,产生视觉印象的客观刺激物都可以称为图形,包括自然景物、拍摄的照片、数学中在坐标轴上的图形等。狭义上,计算机图形学中的图形是指用数学方法描述的线条、图形和常值域、数、形、体等几何体及其属性,它是(曲线、线框、线面等非几何

计算机图形学(computer graphics,CG)是建立在传统图学理论、应用数学和计算机科学等基础上的一门学科,广泛应用于很多领域,计算机辅助设计、计算机动画仿真、虚拟现实和计算机可视化等相关学科和技术都以计算机图形学的原理和算法为基础。虽然现在各学科之间的研究内容相互交叉、相互渗透,使学科界限逐渐模糊,但是计算机图形学仍然具有明显的学科特点。

1.1 概 念

由于计算机图形学涉及的图形内容很广泛,因此,对其很难有一个统一的定义,国内外各种专业文献对它的概念也有不同的表述。

国际标准化组织(International Organization for Standardization,ISO)给出的定义是: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。

美国电气电子工程师学会(Institute of Electrical and Electronics Engineers,IEEE)给出的定义是:计算机图形学是利用计算机产生图形影像的一门艺术或科学。

目前,国内广泛采用的对计算机图形学的定义是:计算机图形学是研究怎样利用计算机来表示、生成、处理和显示图形的原理、算法、方法和技术的学科。随着其应用领域的不断扩展和延伸,人们对计算机图形学的认识会进一步深入。

1.2 研究内容及应用领域

1.2.1 图形和图像的关系

对计算机图形学的研究首先要区分图形和图像两个概念,二者虽然有联系,而且区别也越来越模糊,但还是有区分的。

广义上,能在人的视觉系统中产生视觉印象的客观对象都可以称为图形,包括自然景物、拍摄的照片、用数学方法描述的图形,等等。狭义上,计算机图形学中的图形是指用数学方法描述的形状,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。从构成要素上看,图形主要分为两类:一类是几何要素在构图中具有突出作用的图形,如工程图、等高线地图、曲面的线框图等;另一类是非几何要素在构图中具有突出作用的图形,如明暗图、晕渲图、真实感图形等,这样的图形又称为矢量图形。例如,一幅花的矢量图形实际上是由线段形成外框轮廓,由外框的颜色以及外框所封闭的颜色决定花显示出的颜色。矢量图只有通过图形软件才能生成,图形文件在计算机的硬盘和内存中占用的空间较小,图形放大或者缩小后图像不会失真,显示质量和显示设备的分辨率无关。

图像是广义上的图形,它是指通过诸如视觉系统看到的一幅景象、照相机拍的一张照片、图像扫描设备扫描获得的图片等方式获得的图形,在计算机内图像以点阵位图(bitmap)的形式呈现,图像中的每一个点记录了图像在该点的灰度、亮度或者颜色值,将图像中所有点的灰度、亮度或者颜色值组合在一起才能得到图像的整体信息。因此,图像需要记录每一个图像点,相对于图形文件,图像文件占用的计算机空间较大,显示会发生失真现象,显示质量和显示设备的分辨率有关。

1.2.2 图形输入输出硬件技术

从软硬件上划分,计算机图形学的研究大致可分为两个方面:一是计算机对图形数据输入、输出的硬件技术研究,二是图形数据的计算、处理和存储的软件技术研究。

由于计算机图形学最初是由于计算机图形硬件的发展而产生的,因此图形硬件是其重要的研究内容之一,例如图形的输入、输出设备和技术,包括显示设备的结构体系,硬件交互、接口等方面。

图形输入设备常用的是键盘和鼠标,其他的还有坐标数字化仪、图形扫描仪、触摸屏、光笔、操纵杆以及数据手套等,三维扫描仪是现在的研究热点之一,它可以通过直接扫描空间物体来获得物体的立体图形数据。图形输入设备获得的图形分为矢量型图形和光栅扫描型图形两种类型,矢量型图形即我们所讲的图形(graphics),记录的是图形的几何要素(轮廓和形状等)以及非几何要素(颜色、材质等),光栅扫描型图形获得的数据是由亮度值构成的像素矩阵——图像(image),图像数据转化为图形数据后,即可用于计算机图形相关软件中。图形输入设备的重要性能指标是图形输入的精度。

图形输出设备包括显示器、打印机、绘图仪等,图形数据经过计算后可在显示器上呈现当前的图像状态或者图形编辑后的结果,也可以通过打印机、绘图仪在纸质介质上保留下来,以便长期保存。当前图形输出设备研究的热点之一——三维打印机,可以将空间立体的图形数据直接快速成型。图形输出设备的重要性能指标是图形输出的精度。

1.2.3 计算机图形学的主要研究内容

由于计算机图形学是研究利用计算机来表示、处理和显示图形的原理、方法和技术的学科,所以,凡是和此相关的内容都是计算机图形学的研究内容。简单来说,从基本图形到复杂图形,从二维图形到三维图形,从静态图形到动态仿真图形,从线框和实体模型到真实感图形、虚拟现实、真实场景以及其他相关计算机图形表示等都属于计算机图形学的

研究范畴。而且,由于计算机技术的迅猛发展,计算机图形学的研究内容也在不断变化和丰富完善。

计算机图形学的研究主要是围绕图形信息的输入、表达、存储、显示、变换以及图形准确性、真实性和实时性的基础算法进行的,其算法可以分为以下几类。

- (1) 基于图形设备的基本图形数据结构和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,以及反走样等。
- (2) 图形元素的几何变换、投影变换、窗口裁剪等。
- (3) 自由曲线和曲面的插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体和局部修改等。
- (4) 图形元素(点、线、面、体、环)的求交以及集合运算。
- (5) 隐藏线、隐藏面消隐算法以及具有光照模型效果的真实感图形显示算法。
- (6) 不同字体的点阵表示。
- (7) 山、水、花、烟云等模糊景物的生成算法。
- (8) 三维形体的实时显示和处理。
- (9) 虚拟现实环境的生成及其控制算法。

除了上述内容外,图形交互技术、图像生成算法、色彩处理、图形操作和处理、图形优化和加速、图形信息的描述和表示、图形数据的存储和检索以及编码等技术也是计算机图形学的研究内容。由于计算机图形学的研究问题来源于日常生活,以及科学、工程技术、艺术、影视、游戏、医疗、军事、教育等领域,因此,计算机图形学的研究目的也是解决相关领域的实际需求,例如,科学计算可视化和三维或高维数据场的可视化技术,可将科学计算中大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来,从而使人们加深对其科学过程的理解;有限元分析结果、应力场/磁场的分布、海洋洋流运动、气候变化分布以及各种复杂的运动学和动力学问题可以通过图形仿真来直观地呈现;除此以外,计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实、地理信息系统等也属于计算机图形学的研究内容。而且由于学科交叉和融合,很多研究内容和技术已经从计算机图形学中独立出来,成为一门新的学科。

为使读者理解和掌握计算机图形学的基本理论和方法,本书着重讨论如何在计算机中表示图形,以及如何利用计算机进行图形的生成、处理和显示的相关原理与算法,为进一步学习和研究计算机图形学的相关问题打下坚实的基础。本书对计算机图形学的研究主要集中在以下方面:

- (1) 图形生成技术研究,包括线段、圆弧、字符、区域填充、消隐、光照模型、纹理、灰度与色彩等各种真实感图形生成技术;
- (2) 几何模型构造技术研究,包括二维/三维几何模型、自由曲线和曲面造型等;
- (3) 图形编辑与处理技术研究,包括图形的平移、旋转、缩放、投影、裁剪等几何变换,三维几何投影变换;
- (4) 动画技术;
- (5) 图形动态交互拾取技术;
- (6) OpenGL 图形开发技术;
- (7) Web 环境下图形开发技术。

1.2.4 计算机图形学的应用领域

从相关研究内容可以看出,以计算机图形为基础的相关软硬件技术已经广泛应用于很多领域,如科学、工程、医药、工业、艺术娱乐、广告和教学等,直接或者间接地对我们的工作、学习和生活产生了深刻的影响。

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)是计算机图形学最广泛、最活跃的应用领域。利用计算机图形学的基本原理和方法研发的CAD/CAM软件,已广泛地应用于机械、建筑等产品和工程的设计,如飞机、汽车、船舶、建筑、轻工、机电、服装的外形设计,大规模集成电路、电子器件的设计以及工厂企业的布局等。CAD软件现在已经是工程产品设计必不可少的工具,它可以极大缩短产品设计周期,节省原材料,提高产品设计质量等,其产生的经济效益十分明显。CAD软件中的三维几何造型技术具有很多优点,除了造型便捷外,还可以进行装配件的虚拟装配、干涉检查等,结合CAM和CAE(计算机辅助工程分析)等软件或功能模块,对产品进行仿真数控加工、有限元分析等,基本上代表了CAD的发展方向。现在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、相关工程、相关技术资源和相关组织形式的系统化工程。在网络环境下进行异地异构系统的协同设计,已成为CAD领域的研究热点之一。

科研、工程、商业及社会中的各个行业都会产生大量的数据,从这些“数据海洋”中提取有价值的信息,并通过数据分析和处理找到变化的规律及数据反映的本质特征尤为重要,以计算机图形学为基础的科学计算的可视化技术将数据转化为图形或者图像显示出来,而且根据需要也可以进行交互处理,对数据处理非常有帮助。1987年2月英国国家科学基金会在华盛顿召开了有关科学计算可视化的首次会议,会议一致认为“将图形和图像技术应用于科学计算是一个全新的领域”,科学家们不仅需要分析由计算机得出的计算数据,而且需要了解在计算过程中数据的变化。会议将这一技术定名为“科学计算可视化”(visualization in scientific computing)。科学计算可视化将图形生成技术、图像理解技术结合在一起,它既可理解送入计算机的图像数据,也可以从复杂的多维数据中产生图形。它涉及下列相互独立的几个领域:计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计及交互技术等。科学计算可视化按其实现的功能来分,可以分为三个档次:①结果数据的后处理;②结果数据的实时跟踪处理及显示;③结果数据的实时显示及交互处理。科学计算可视化技术根据所研究对象的领域的不同,可分为科学可视化、数据可视化和信息可视化。由于社会活动日益频繁,数据量呈爆炸式的增加,可视化技术有着广阔的发展前途。

虚拟现实技术是近几年的研究重点之一,“虚拟现实”(virtual reality)一词是由美国喷气推动实验室(VPL)的创始人拉尼尔(Jaron Lanier)首先提出的,在克鲁格(Myren Kruege)20世纪70年代中早期的实验中被称作“人工现实”(artificial reality),而在吉布森(William Gibson)1984年出版的科幻小说*Neuremanccr*中,又被称为“可控空间”(cyber space)。简单来说,虚拟现实技术就是人们利用计算机生成一个逼真的三维虚拟环境,通过自然动作操作传感设备来与之相互作用的新技术。与传统的数字仿真系统相比,利用虚拟现实技术构造出来的可视化虚拟现实系统具有三个重要特征:一是沉浸性,体验者的确有“看得见、摸得着、听得到、闻得出”的身临其境的真实感受;二是交互性,体验者使用日常生

活中的方式与虚拟场景中的人或物进行各种交流,产生真实的互动体会;三是构想性,用户在虚拟的环境中获取新的知识和体验,形成感性或理性的认识,从而产生新的思想和行动,有效提高思考和行动能力。虚拟现实技术主要研究用计算机模拟(构造)三维图形空间,并让用户能够自然地与该空间进行交互。它涉及很多学科的知识,对三维图形处理技术的要求特别高。简单的虚拟现实系统早在20世纪70年代便被应用于军事领域,用来训练驾驶员。80年代后,随着计算机软硬件技术的提高,该系统也得到重视并迅速发展。目前,它已在航空航天、医学、教育、艺术、建筑等领域得到初步的应用。例如,1997年7月,美国国家航空航天局的“旅居者号”火星车着陆距地球约1.9亿km的火星。这辆在火星表面缓慢爬行的小车中并没有驾驶员,它是由地球上的工程师通过虚拟现实系统操纵的。虚拟现实技术的应用范围很广,例如用于脑外科规划的双手操作空间接口工具。美国弗吉尼亚大学推出了一种能用于脑外科规划的被称作Netra的双手操作空间接口工具,根据脑外科医生的工作环境和习惯,该系统采用一种外形像人头的控制器。脑外科医生可以根据他们的职业习惯,通过转动外形像人头的控制器来方便地观察人脑的不同部位,同时通过右手控制面板的平面来控制人脑的剖面的扫描,并能根据CT或强磁共振图像所产生的主体脑模型显示所需得到观察视点着色后的真实图像。虚拟环境也可用于恐高症治疗、虚拟风洞实验,作为封闭式战斗作战训练器,以及用于建筑设计中。

地理信息系统(geographical information system, GIS)是建立在地理图形之上的关于人口、矿藏、森林、旅游等资源的综合信息管理系统。在地理信息系统中,计算机图形学技术被用来产生高精度的各种资源的图形,包括地理图、地形图、森林分布图、人口分布图、矿藏分布图、气象图、水资源分布图等。地理信息系统可以为管理和决策者提供非常有效的支持,它在发达国家中已得到广泛应用,我国也对其开展了广泛的研究与应用。例如数字化地图是地理信息系统在人们日常生活中的一个直接应用,给人们的旅游等带来了极大的便利。

除了上述领域外,计算机图形学还应用于软件的交互界面设计、计算机动画、影视特效和游戏制作等。归纳起来,计算机图形学可应用于如下学科和领域:

- (1) 计算生物学(computational biology)
- (2) 计算物理学(computational physics)
- (3) 计算机辅助设计(computer aided design)
- (4) 数字化艺术(digital art)
- (5) 教育(education)
- (6) 图形设计(graphic design)
- (7) 信息几何(infographics)
- (8) 信息可视化(information visualization)
- (9) 理论药物设计(rational drug design)
- (10) 交通可视化(scientific visualization)
- (11) 视频游戏(video games)
- (12) 虚拟现实(virtual reality)
- (13) 网络设计(web design)

