

国外计算机科学教材系列

计算机图形学

Computer Graphics

Donald Hearn
M. Pauline Baker 著

蔡士杰 吴春榕 孙正兴
黄豫清 周 群 汪灏泓 译

蔡士杰 等校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

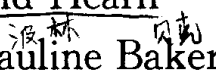


PRENTICE HALL 出版公司

国外计算机科学教材系列

计算机图形学

Computer Graphics


Donald Hearn

M. Pauline Baker 著

蔡士杰 吴春榕 孙正兴
黄豫清 周 群 汪灝泓 译

蔡士杰 等审校



PRENTICE HALL 出版公司



电子工业出版社

内 容 提 要

本书共 16 章。第 1 章为计算机图形学综述;第 2~8 章讲授二维图形对象表示、算法和应用;第 9~13 章讲授三维图形技术、建模和变换等;第 14~16 章讲授光照模型、颜色模型和动画技术。

本书第二版是对第一版作了全面扩充和增加了许多新内容重写成的。内容覆盖了近年来计算机图形学的最新发展和成就。全书内容丰富、层次分明,且附有大量的程序及插图,堪称杰出之作。

本书适用于本科生和研究生作为教材或参考书,也可作为计算机图形学工作者的参考书。

本书中文简体版由电子工业出版社和美国 Prentice Hall 出版公司共同出版。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。版权所有,侵权必究。

丛 书 名:国外计算机科学教材系列

原 书 名:Computer Graphics

书 名:计算机图形学

著 者:Donald Hearn & M. Pauline Baker

译 者:蔡士杰 吴春谔 孙正兴 黄豫清 周 群 汪源泓

审 校 者:蔡士杰等

责任编辑:邓又强

印 刷 者:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社出版、发行 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 68214070

经 销:各地新华书店经销

开 本:787×1092 1/16 印张:33 字数:800 千字

版 次:1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第一次印刷

定 价:45.00 元

印 数:10000 册

书 号:ISBN 7-5053-4597-4/TP·2178

著作权合同登记号 图字:01-97-1874

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻印必究

JS294/28

出版说明

计算机科学的迅速发展是 20 世纪科学发展史上最伟大的事件之一。从 1946 年第一台笨重而体积庞大的计算机的发明至今, 仅仅半个多世纪, 计算机已经变得小巧无比却又能力非凡。它的应用已经渗透到了社会的各个方面, 成为当今所谓的信息社会的最显著的特征。

处于世纪之交科技进步的大潮中, 我国正在加强计算机科学的高等教育, 着眼于为下一世纪培养高素质的计算机人才, 以适应信息社会加速度发展的需要。当前, 全国各类高等院校已经或计划在各专业基础课程规划中增加计算机科学的课程内容, 而作为与计算机科学密切相关的计算机、通信、信息等专业, 更是在酝酿着教学的全面革新, 以期规划出一整套面向 21 世纪的、具有中国高校计算机教育特色的课程计划和教材体系。值此, 我们不妨借鉴并引进国外具有先进性、实用性和权威性的大学计算机教材, 洋为中用, 以更好地服务于国内的高校教育。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年公司成立以来, 即致力于教育图书的出版。它所出版的计算机教材在美国为众多大学所采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著。许多蜚声世界的教授学者成为该公司的资深作者, 如: 道格拉斯·科默 (Douglas Comer), 安德鲁·坦尼伯姆 (Andrew Tanenbaum), 威廉·斯大林 (William Stallings)……几十年来, 他们的著作教育了一批批不同肤色的莘莘学子, 使这些教材同时也成为全人类的共同财富。

为了保证本系列教材翻译出版的质量, 电子工业出版社和 Prentice Hall 出版公司共同约请北京地区的清华大学、北京大学、北京航空航天大学, 上海地区的上海交通大学、复旦大学, 南京地区的南京大学、解放军通信工程学院等全国著名的高等院校的教学第一线的几十位教师参加翻译工作。这中间有正在讲授同类教材的年轻教师和博士, 有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师, 还有我国著名的计算机科学家。他们的辛勤劳动保证了本系列丛书得以高质量地出版面世。

如此大规模地引进计算机科学系列教材, 在我们还是第一次。除缺乏经验之外, 还由于我们对计算机科学的发展, 对中国高校计算机教育特点认识的不足, 致使在选题确定、翻译、出版等工作中, 肯定存在许多遗憾和不足之处, 恳请广大师生和其他读者提出批评、建议。

电子工业出版社

URL: <http://www.phei.com.cn>

Prentice Hall 出版公司

URL: <http://www.prenhall.com>

译者的话

近 30 多年来,交互式计算机图形学有了引人瞩目的发展。它已广泛应用于计算机辅助设计、电视广告、动画和仿真、科学计算、事务管理等许多领域并发挥重要作用。可以说:“已经没有哪个领域未从计算机图形学的发展和应用中获得巨大好处。”

为了适应计算机图形学的发展并促进其应用,几乎所有高等学校均已开设了“计算机图形学”课程。人们都希望有更新、更好的计算机图形学教材。在这种情况下,我们把本书介绍给国内读者,希望能对计算机图形学的教学、研究与应用起到一定作用。

由 Donald Hearn 和 M. Pauline Baker 所著的《计算机图形学》初版于 1986 年,1994 年作了修改。针对计算机图形学领域发生的巨大变化,又在 1997 年进行了重写,使其内容覆盖近年来的最新发展和成就。本书内容丰富,层次分明,附有大量程序例及插图,可作为本科生、研究生的教材,也可作为计算机图形学工作者的参考书。

本书第 1、8、15、16 章由蔡士杰翻译,第 2 章及附录由吴春镛翻译,第 3、4、5 章由孙正兴翻译、第 6、7 章由黄豫清翻译、第 9、10、11、12 章由周群翻译、第 13、14 章由汪灏泓翻译。全书由蔡士杰校阅、修改、定稿。

计算机图形学发展太快,我们根据自己的理解翻译了本书,由于业务水平和翻译经验的局限,难免有错误和不妥之处。敬请读者提出批评意见。

译者

南京大学计算机科学与技术系

1997.7

前 言

计算机图形学是一个最令人振奋的且发展最快的计算机领域。自从本书第一版发行以来,计算机图形学现已成为用户接口、数据可视化、电视广告、动画和许许多多其他应用中的公共成分。已开发了许多硬设备和算法来改善生成图片的效率、真实感和速度。当前,计算机图形学的趋势是将更多的物理原理结合进三维图形算法中,更好地模拟物体和照明环境之间的复杂交互。

软件标准

自从第一个图形软件包,图形核心系统(GKS)被国际标准化组织(ISO)和美国标准化所(ANSI)接受以来,图形软件标准得到了有效的发展。程序员的层次结构交互图形系统(PHIGS)现在也已经既是 ANSI 又是 ISO 的标准。PHIGS 以及扩充的 PHIGS+ 软件包都得到了推广。此外,还出现了一些流行于工业界的软件包,包括 SGI 的 GL(图形库)、OpenGL、用于页面描述的 Pixar RenderMan 接口、PostScript 接口以及各种绘、画和设计系统。

新内容

由于计算机图形学领域内出现的巨大变化,我们决定完全改写本书、发行第二版。我们只保留第一版的一般结构,而对其所有内容都扩充了对当前技术的讨论,并增加了许多新内容。扩充较多的内容有反走样、分数维和其它对象表示方法、光线追踪、样条曲线和曲面、光照模型、表面绘制方法和计算机动画。增加的内容有虚拟现实、图形算法的并行实现、超二次曲面、BSP 树、图型语法、微粒系统、物理建模、科学可视化、商用可视化、图形算法的四元法、分布式光线跟踪、快速 phong 明暗方法、幅射度、凹凸映射、变形和用于图形应用中的多种数学方法。

第二版可作为没有计算机图形学背景的学生的教科书和图形学专业人员的参考书。我们的侧重点是对设计、使用和理解计算机图形系统所需的基本理论。既讨论了图形系统的硬件、软件部分又讨论了计算机图形学的应用。还包括了演示图形算法的实现和应用 C 语言程序的例子。我们还探讨了 PHIGS、PHIGS+、GKS 和其它图形库的特点,同时使用 PHIGS 和 PHIGS+ 函数的 C 程序来给出算法实现和图形应用。

所需背景

我们不要求读者先熟悉计算机图形学,但要求读者具有程序设计和基本的数据结构方面的一些知识。计算机图形学算法中用到了许多数学方法,这些方法在附录中较深入地讨论了。附录中的数学问题有关于分析几何、线性代数、向量和张量分析、复数、四元数和数值分析方面的技术。

如何将本书做教材用

第二版中的素材源自我们多年来几门课的讲稿,包括计算机图形学引论、高级计算机图形学、科学计算可视化和计算机图形学项目课。对一学期的课,可选择二维方法、或二维和三维混合的方法,并按课程的特定要求而定。对二学期的课,则在第一学期选择基本图形概念和方法,而在第二学期则选择覆盖高级三维方法和算法。对自学的读者,前面一些章节用来理解图形概念,再根据读者兴趣选择后面的某些章节。

对本科生,从第2章到第8章的基本内容组成二维图形引论课程加上第9章对三维概念和方法的介绍。再从后面几章中选择以下内容,如颜色模型、动画、样条曲线、或二维分数维表示,作为补充材料。对研究生或高年级本科生课程,前半段覆盖二维概念和方法,后半段覆盖三维建模、观察和绘制等内容。高级课程则覆盖对象表示、表面绘制和计算机动画。

第1章给出了计算机图形学综述,阐述了应用领域间的差异。在第2章介绍图形系统的硬件和软件的组成以后,第3、4章给出了二维图形对象的表示和显示的基本算法。这两章考察了生成基本图形成分的方法和调整大小、颜色和其它属性的技术。这为学生介绍了实现图形子程序所必需的程序设计技术。第5、6章讨论了二维几何变换和观察算法。第7章给出了二维图片的建模和组织成为独立结构的方法。在第8章中,我们给出了用户接口和各种应用,包括虚拟现实系统中的图形方法。

三维技术在第9章中介绍。然后我们在第10章中讨论三维物体按其特性而采用的不同的图形表示方法。第11章给出了三维建模和几何变换方法。获得三维场景的视图的方法在第12章中详细讨论。识别场景中可见面的各种算法在第13章中讨论。第14章介绍了光照模型和表面绘制方法。颜色模型和方法在第15章中讨论,而动画技术则在第16章中介绍。

致谢

多年来许多人对本书以各种方式作出了贡献。对提供照片和其它材料的组织和个人,我们再次表示感谢。我们也感谢学生在计算机图形学和可视化课程和讲座中提出的许多有帮助的意见。我们感谢所有审阅本书或对本书提出改进意见的人,同时我们对可能未顾得上致意的人表示歉意。谢谢 Ed Angel, Norman Badler, Phillip Barry, Brian Barsky, Hedley Bond, Bart Braden, Lara Burton, Robert Burton, Grag Chwelos, John Cross, Steve Cunningham, John DeCatrel, Victor Duvaneko, Gary Eerkes, Parris Egbert, Tony Faustini, Thomas Foley, Thomas Frank, Don Gillies, Jack Goldfeather, Georges Grinstein, Eric Haines, Robert Herbst, Larry Hodges, Eng-Kiat Koh, Mike Krogh, Michael Laszlo, Suzanne Lea, Michael May, Nelson Max, David McAllister, Jeffrey McConnell, Gary McDonald, C. L. Morgan, Gred Nielson, James Oliver, Lee-Hian Quek, Laurence Rainville, Paul Ross, David Salomon, Günther Schrack, Steven Shafer, Cliff Shaffer, Pete Shirley, Carol Smith, Stephanie Smullen, Jeff Spears, William Taffe, Wai Wan Tsang, Spencer Thomas, Sam Uselton, David Wen, Bill Wicker, Andrew Woo, Angelo Yfantis, Marek Zaremba, and Michael Zyda。我们还感谢 Robert Burton 1995 年秋在 Brigham Young 大学的计算机图形学课程运行并测试了本书的 C 程序。感谢本书的编辑 Alan Apt, Sondra Chavez 和科罗拉多的职工在准备这第二

版过程中的帮助、建议和鼓励。我们向执行编辑 Bayani DeLeon 和 Joe Scordato, 和 Prentice Hall 的职工们致意, 感谢又一杰出作品的问世。最后特别感谢 Carol Hubbard 在开发 C 程序中的帮助。

Urbana-Champaign

Donald Hearn

伊利诺大学计算机科学系和超级计算机应用国家中心

M. Pauline Baker

伊利诺大学超级计算机应用国家中心

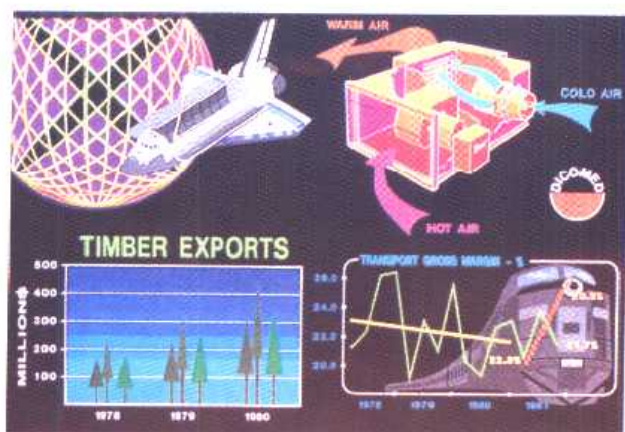


图1-1 计算机图形学应用例(DICOMED 公司提供)

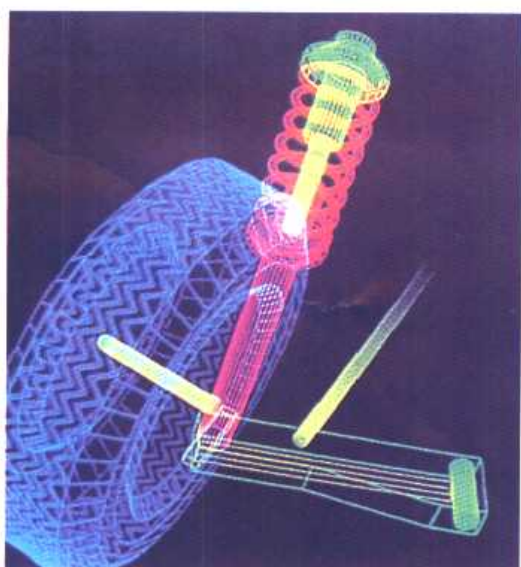


图1-2 汽车轮胎安装的彩色线框显示 (Evans & Sutherland 公司提供)

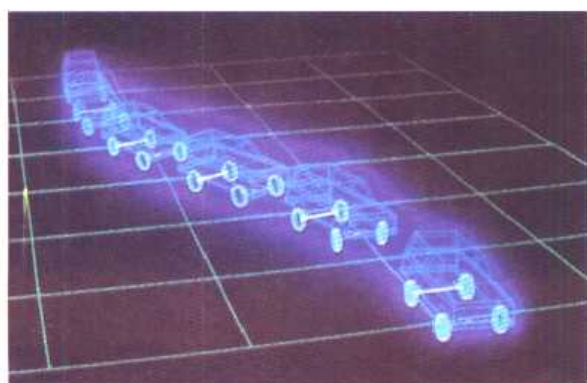


图1-4 在路线改变时汽车性能的模拟(Evans & Sutherland and Mechanical 公司提供)



图1-5 在虚拟现实环境中驾驶拖拉机。当控制器移动时，驾驶员通过头盔观察前铲斗、拖犁以及周围环境。(伊利诺大学UIUC巨型机应用国家中心和Caterpillar 公司提供)



图1-6 头盔中展示给拖拉机驾驶员的拖犁视图 (伊利诺大学UIUC巨型机应用国家中心和Caterpillar 公司提供)

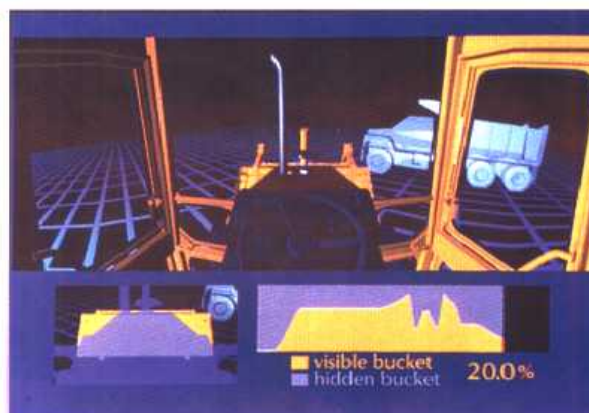


图1-7 标准监视器上显示的驾驶员能看到的拖拉机前铲斗几个部分组合而成的广角视图(伊利诺大学UIUC巨型计算机应用国家中心和Caterpillar 公司提供)

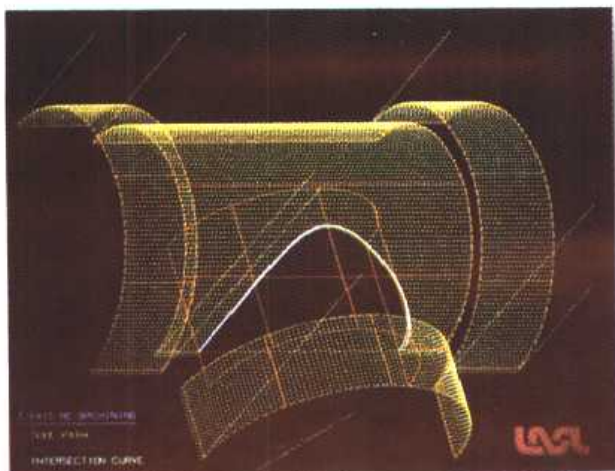


图1-9 描述零件数控加工的CAD布局。零件曲面用一种颜色，机床路径用另一种颜色显示(Los Alamos 国家实验室提供)



图1-12 宾馆走廊 给出沿波浪形路径安装灯具的效果和在每一宾馆房间使用灯塔的效果 (Skidmore, Owings & Merrill 提供)



(a)



(b)

图1-11 大楼设计的真实感三维绘制。(a)世贸中心街头透视图 (Skidmore, Owings & Merrill提供)。(b) 门廊建筑结构可视化，为法国里昂 Marialine Pricur 的计算机动画而作(Thomson Digital Image 公司提供)



图1-13 用计算机图形设计技术生成的东方地毯图案(Lexidata 公司提供)



图1-18 象征性表示美术师在视频监视器上用画笔程序作卡通画(Gould公司, Imaging & Graphics Division 和 Aurora Imaging 提供)



(a)



(b)

图1-19 展示“美术家”使用画笔系统作画的卡通片。在数据板上绘的画显示在视频监视器上。在(b)中卡通片迭加到 Saint Nicholas 的名画 Thomas Nast 上,后者经摄象输入然后进行比例和定位加工(Gould 公司, Imaging & Graphics Division 和 Aurora Imaging 提供)



图1-20 用配有无线的压感触笔的图形美术家 Elizabeth O'Rourke 创作的仿 Van Gogh 图(Wacom Technology 公司提供)



图1-21 Time Arts 公司的 John Derry 用配有无线的压感触笔和 Lumena gouache brush 软件创作的电子水彩画(Wacom Technology 公司提供)



图1-22 混合使用图形板、三维建模、纹理影射和一组变换等方法, Spheres of Influence 生成了一张电子画面(Williams Gallery 提供)

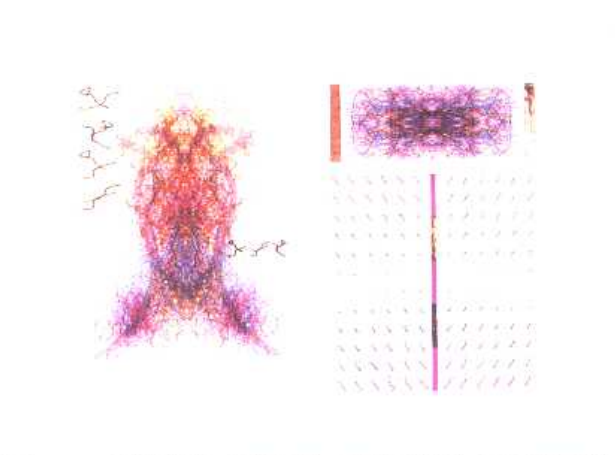


图1-23 为模拟美术师风格而设计的软件在笔式绘图仪上输出的电子画。笔式绘图仪带有多根笔、绘图设备以及中国毛笔(Williams Gallery 提供)



图 1-24 这一创作基于 Fermat 的最后定理 $x^n + y^n = z^n, n=5$ 的可视化, 由印第安纳大学计算机科学系的 Andrew Hanson 完成。该图象用 Mathematica 和 Wavefront 软件绘制(Williams Gallery 提供)

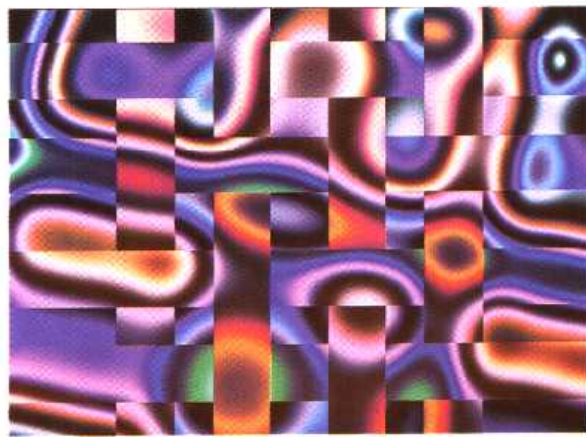


图 1-25 艺术合成器使用数学函数、分数维过程和超级计算机对将形态和彩色合成到音乐作品中作了各种试验(Vanderbilt 大学 Brian Evans 提供)



(a)



(b)

图 1-29 (a)电影 Red's Dream 中的一个计算机生成的场景;(b)电影 Knickknack 中的一个计算机生成的场景(Pixar 提供)

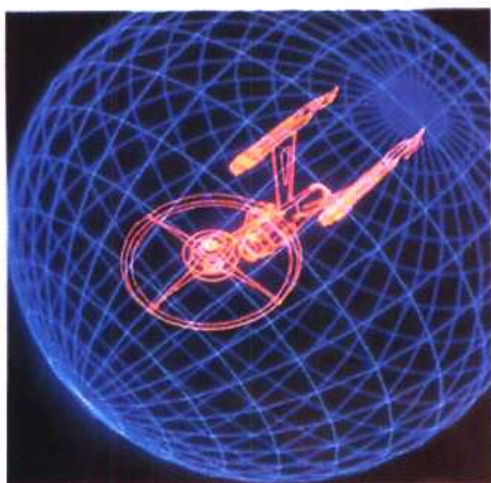


图 1-28 为 Paramount Pictures 的电影 Star Trak: The Wrath of Khan 开发的图形(Evans & Sutherland 公司提供)



图 1-30 电视连续剧 Stay Tuned 中图形与实景的混合(Rhythm & Hues Studios 提供)



图1-31 Taisei公司制作,用TDI软件绘制的13世纪北京建筑重构画面(Thompson Digital Image公司提供)

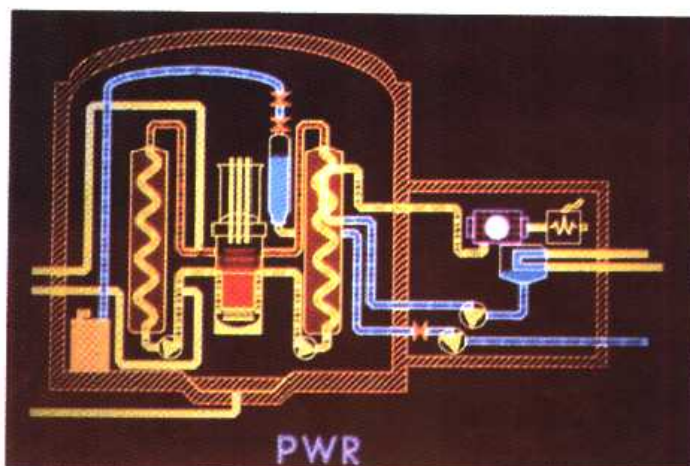


图1-33 用来解释核反应堆操作的彩色编码流图(Los Alamos 国家实验室提供)



图1-34 一个全彩色视觉系统和六自由度运动的大型嵌入式模拟器(Frasca International 提供)



图1-36 宇宙飞船的视景(Mediatech 和 GE Aerospace 提供)



图1-37 用来测试驾驶员反应的汽车模拟系统的视景(Evans & Sutherland公司提供)

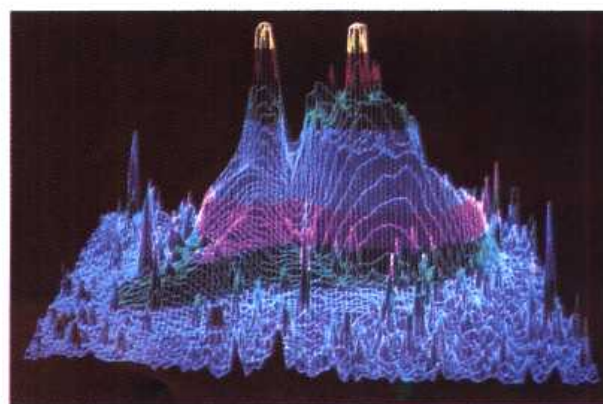


图1-38 观察 Whirlpool Nebula 展示两个远距离星系的有1600万亮点的彩色图(Los Alamos 国家实验室提供)



图1-39 以多种彩色混合绘制的数学曲线函数(Los Alamos国家实验室Melvin L.Prueitt 提供)

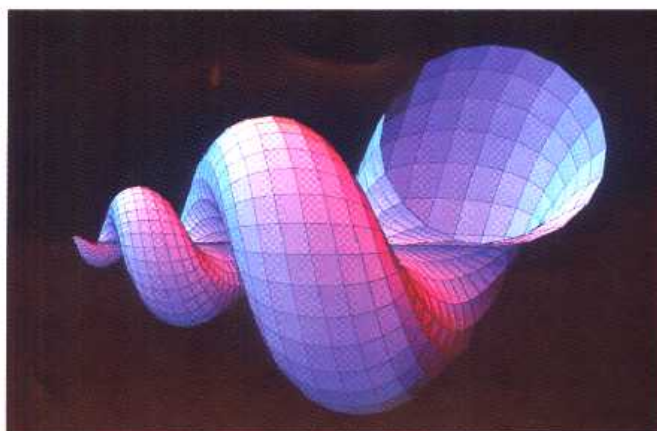


图1-40 使用光照作用和曲面绘制技术生成的表示三维函数的曲面(Mathematica 软件的开发者 Wolfram Research 公司的提供)

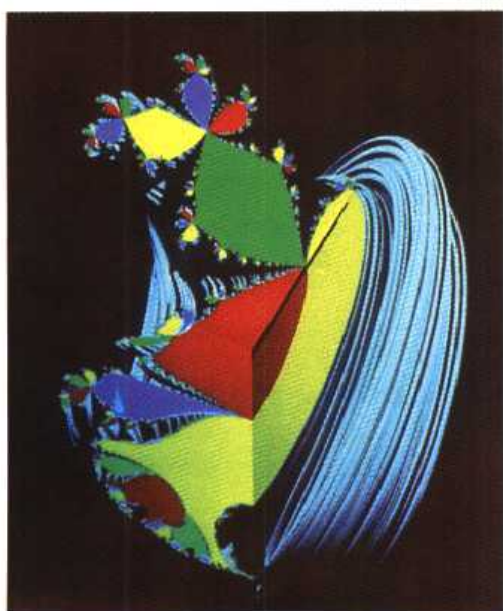
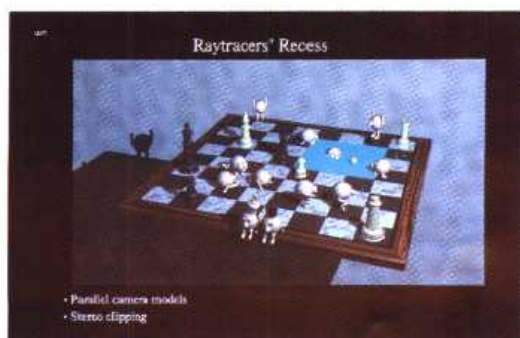


图 1-41 四维物体投影到三维空间,然后再投影到视频监视器上并给出彩色。该物体使用四分法和分数维二次幂过程生成。并使用八分圆切除以展示复杂的Julia集(华盛顿州立大学电子工程和计算机科学学院的 John C. Hart 提供)



图1-42 三球面最小表面(“蜗牛”)向三维欧几里得空间投影的实时、交互式计算机动画研究的四个视图(伊利诺大学数学系和巨型机应用国家中心的George Francis 提供)



左



右

图 2-20 一对立体感视图(Jerry Farm 提供)

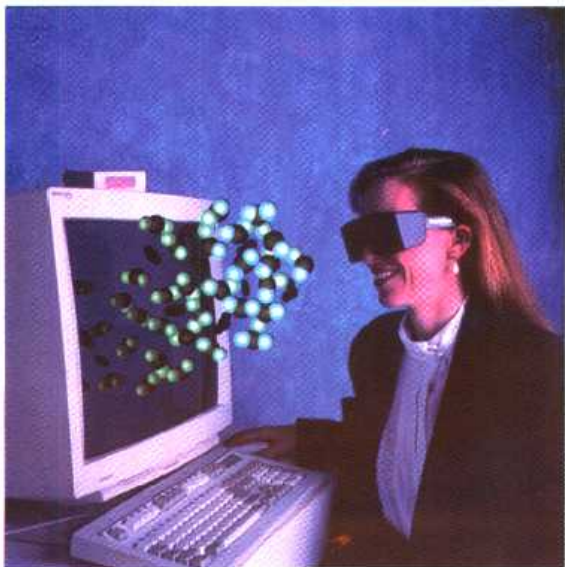


图 2-19 观察一个有立体感的投影(Stereo Graphics 公司提供)



图2-24 与立体眼镜配用的跟踪头部位置的超声波跟踪设备(Stereo Graphics 公司提供)



图 2-35 超高分辨率(2560×2048)的彩色监视器(BARCO Chromatics 提供)

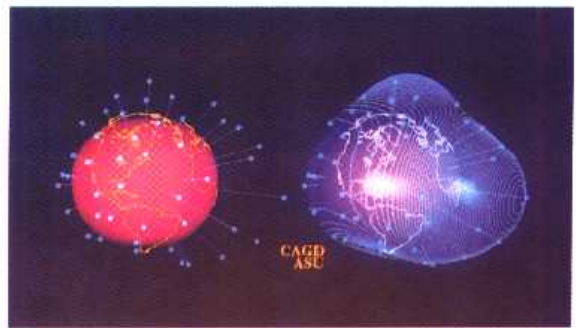


图1-43 对分布在球面上数据的建模和图示的方法(亚利桑那州立大学计算机科学系 Greg Nielson 提供)



图2-21 观察立体感场景的眼镜,并配有红外线同步发射器(StereoGraphics 公司提供)



图2-22 虚拟现实系统用的头套(Virtual Research 提供)



图 2-23 与虚拟现实环境的交互(伊利诺大学国家超级计算机应用中心提供)



图2-36 MediaWall: 多屏幕显示系统。以 3×3 监视器阵列显示图象, 由 Deneba Softwar 创建(RGB Spectrum 提供)



图2-46 美术家数字化仪系统, 带压力传感, 无绳触笔(Wacom Technology 公司提供)



图2-47 Apple Macintosh 计算机采用的三维数字化仪系统(Mira Imaging 提供)

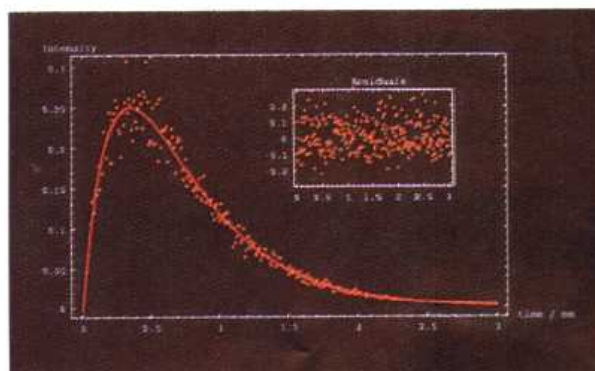


图3-50 用直线段、曲线、圆(或标记)和文本生成的数据点

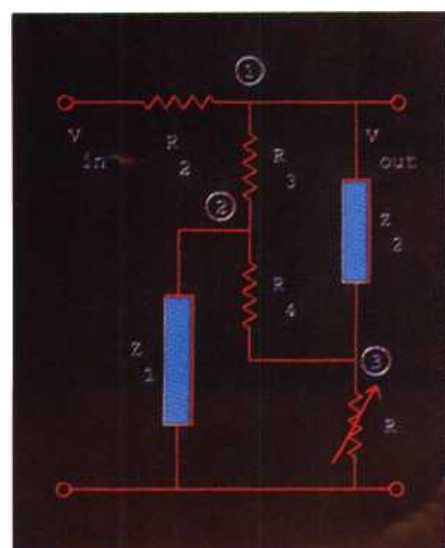


图3-51 用直线段、圆、填充多边形和文本绘制数据点的位置



图4-11 日本的幸运标志 Daruma 洋娃娃由计算机艺术家 koichi kozaki 用画笔系统绘制, Daruma 洋娃娃实际上没有眼睛, 一只眼在许愿的时候喷绘, 另一只在愿望实现时喷绘(Wacom Technology 公司提供)



图3-46 在多种颜色边界之内定义的区域

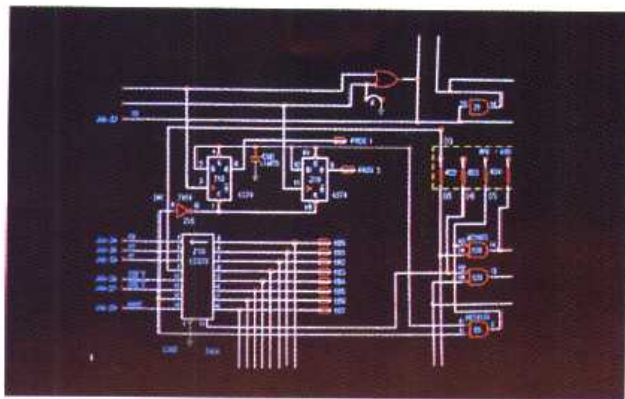


图7-9 电路设计中的二维布局(Summagraphics提供)

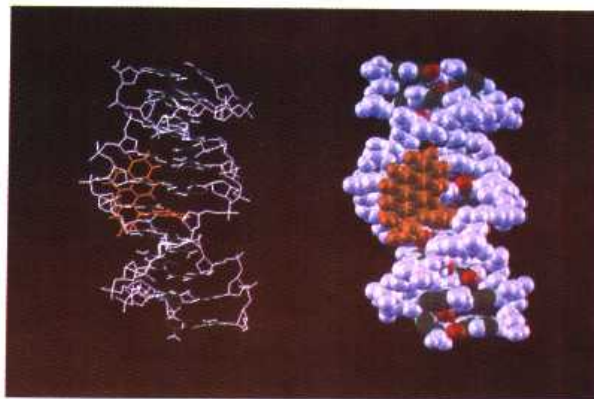


图7-10 表示DNA的三维分子模型的一对立体图像。Rutgers大学的Tamar Schlick, NYU, 和Wilma K. Olson 提供数据, SDSC 的 Jerry Greenberg, 将其可视化。(圣迪哥超级计算机中心的 Stephanie Sides 提供)



图8-14 使用一个称为BOOM(Fake Space实验室)和一个数据手套(VPL公司), 研究员交互地操纵Harrier喷气式飞机四周的不稳定气流中的探针。软件由 Steve Bryson 开发, 数据由 Harrier 提供(NASA Ames 研究中心 Sam Uselton 提供)

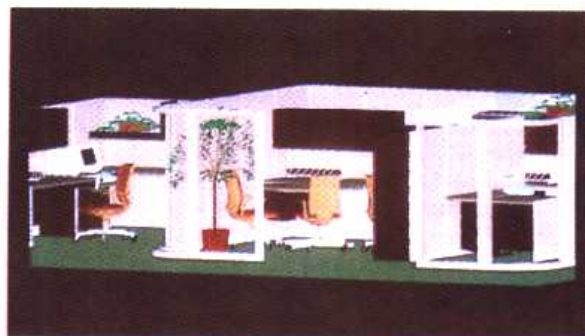


图7-11 办公室布局的三维视图(Intergraph 公司提供)

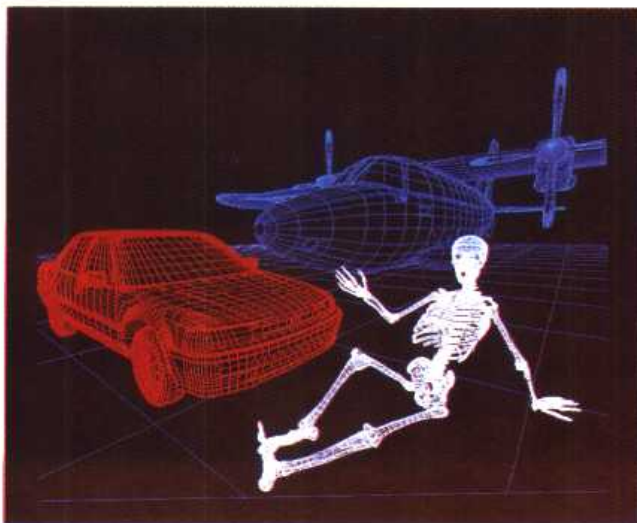


图9-2 三维物体的线框显示, 其中背部线已删除, 摘自物体形状的商业数据库。数据库中的每个物体被看成是坐标点的网格(grid), 以线框形式或面绘制形式显示。(Viewpoint Datalabs 提供)



图9-7 用随机光线跟踪方法实现的一个房间真实感显示, 这种方法运用了透视投影, 表面纹理映射和照明模式(加州理工学院的 John Snyder, Jed Lengyel, Devendra Kalra 和 Al Barr 提供)