



高等学校教材

计算机图形学

● 魏海涛 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校教材

计算机图形学

魏海涛 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先在导论中介绍了计算机图形学的发展简史,与其他学科之间的关系,以及本学科的研究对象、实现方法、发展方向等基本问题;然后以导论为总纲,采用系统分析的方法,以图形的构造为主线,分别从图形的输入、存储、运算处理、输出显示等4个方面,全面地介绍了二维、三维复杂图形数据模型的生成与显示所需要的基本理论与算法,以及图形系统的处理流程。全书论述简明扼要,内容充实,结构严谨,注重实用,注意跟踪计算机图形学的最新发展成果,较好地理顺了计算机图形学这门学科的教学体系。

本书可作为高等院校计算机、信息处理等相关专业本科生和研究生的教学用书,对从事三维图形标准、应用软件系统开发和计算机辅助设计的广大科技工作者也有重要的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/魏海涛编著. —北京:电子工业出版社,2001.11

高等学校教材

ISBN 7-5053-6875-3

I. 计… II. 魏… 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(2001)第 057651 号

丛 书 名:高等学校教材

书 名:计算机图形学

编 著 者:魏海涛

责任编辑:童占梅

特约编辑:王乃康

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京市增富印刷有限责任公司

装 订 者:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18 插页:1 页 字数:456 千字

版 次:2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-6875-3
TP·3903

印 数:6000 册 定价:24.00 元

135258/05

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 (010)68279077

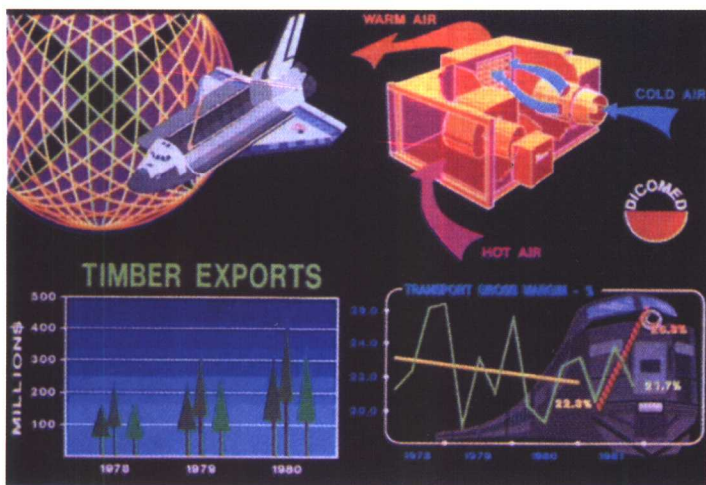


图 1 计算机图形学应用示例〔55〕

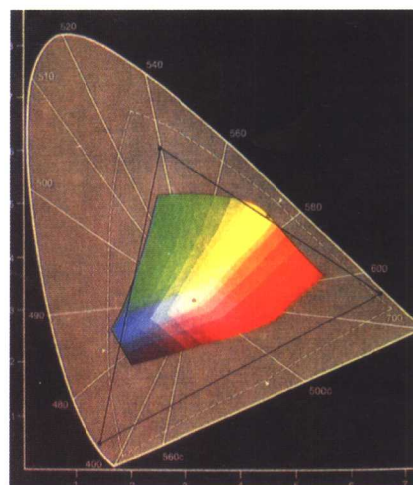


图 2 色度图〔21〕



图 3 3DS 的作品 花卉

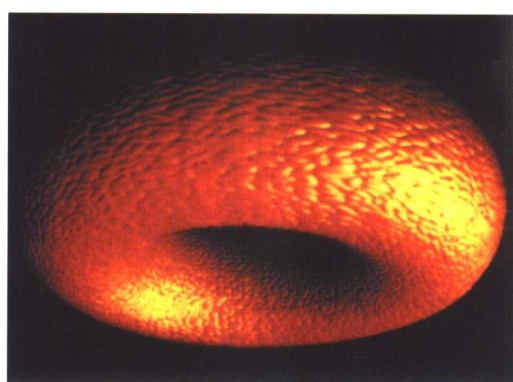


图 4 粗糙纹理〔21〕

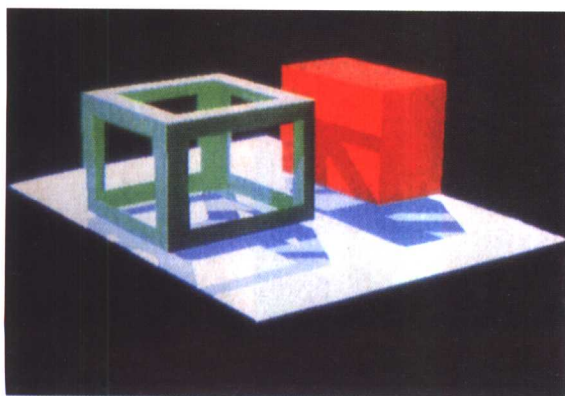


图 5 在双光源照射下产生的阴影〔21〕

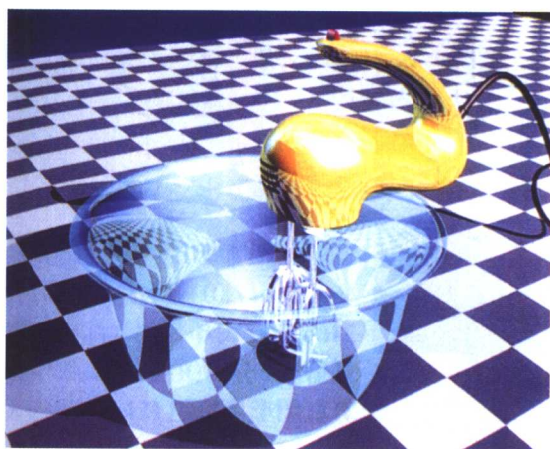


图 6 用光线跟踪算法绘制的场景, 它显示了透明物体的透射光照与非透明光亮物体的镜面反射光照效果〔55〕

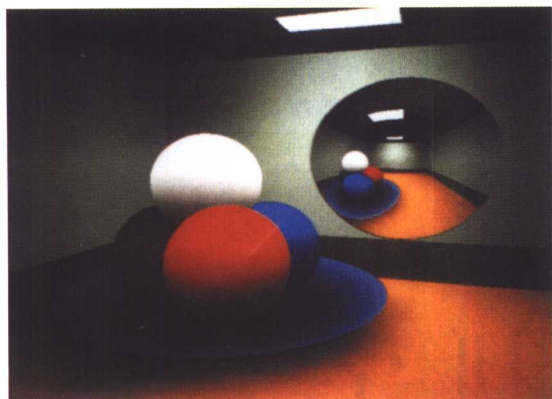


图 7(a) 采用辐射度方法绘制的场景
(朱一宁 1990) [56]



图 7(b) 采用辐射度方法绘制的场景
(邵敏之 1988) [56]



图 8 用光线跟踪和辐射度方法生成的场景，
它表现了灯光的聚焦、反走样以及酒杯液体
的阴影与折射等效果 [55]



图9 3DS MAX 3.0 的作品 汽车透视效果图
[64]



图 10 3DS MAX 3.0 的作品 晚霞映照下的湖光山色

前 言

计算机图形学是一门发展迅速的新兴学科,它广泛地应用于工程、科学、教育、办公、军事、商业广告以及娱乐行业等各个领域,并正在发挥越来越大的作用。因此,有关计算机图形学方面的知识,对于从事计算机应用研究和开发的工程技术人员来说是必备的。

计算机图形学是研究在计算机中如何构造图形,并把图形的描述数据通过指定的算法转换成图形显示的一门学科,它的内容非常丰富。作者综合自己多年的教学与科研成果,在原有的计算机图形学讲义基础上,经过补充、修改并参考国内最新出版的多种有关教材编写了本教材。本教材突破一般计算机图形学的编写方式,尝试根据系统分析的观点,按计算机图形系统的实际组成,把二维图形与三维图形、线段图形与实面积图形等相互分开。首先详细地介绍了各种二维图形的生成、几何变换、集合运算、开窗裁剪、输入技术、数据结构等基本概念与算法,以及这些功能之间的相互关系,让读者对计算机图形系统有一个整体概念,使读者能充分理解图形学中的各种基本算法在整个图形系统中的作用;然后向读者介绍三维图形的显示基础(三维图形的几何变换、投影与裁剪),三维物体的几何构造(三维物体的描述方法与数据结构、全剖切运算、集合运算、欧拉运算、三维重建)与三维物体的真实感显示技术(真实感物体的线框模型输出显示——隐藏线的消除、真实感物体的表面模型输出显示——隐藏面的消除与光照物体的显示)等计算机图形学的核心内容。授课前,要求读者掌握软件的基本编程方法与数据结构等方面的基础知识;授课时,建议对本科生重点讲授前6章,对研究生重点讲授后4章。为配合本教材的实习,读者除了要调通教材中介绍的多种图形的生成算法与图形文件的管理方法等程序之外,还应掌握 AutoCAD 与 3D MAX 图形软件的使用方法,这两个软件对读者全面理解图形学中的有关概念极有帮助。通过本教材的教学,希望能为读者学习应用软件的系统设计方法、研究计算机辅助设计和掌握三维图形标准等打下一个良好的理论基础,为今后继续深造并选修“高度真实感图形的生成算法”[56],“CAD/CAM 技术”与“自由曲面造型技术”[36]、[65],“计算机动画”[74]、[75],“科学计算可视化”[72]、[77],“非均匀有理 B 样条(NURBS)理论”[34],“虚拟现实系统”[71]等课程做好准备。

感谢北京航空航天大学的唐荣锡教授,华中科技大学的柳健、瞿坦教授在百忙之中审阅了本教材并提出了宝贵的修改意见,使本教材的质量有了很大的改进。此前,教材能在学院内部编印、试用、修订并最终正式出版,得益于院教材编审委员会、训练部、教务处、教保处等部门的大力支持;系、教研室对编写教材的工作始终给予了极大的支持与帮助。同时,教材在编写过程中得到了浙江大学的彭群生教授,空军雷达学院的朱裕生、谭绍贤教授,杨瑞娟、马小岩、徐毓副教授的悉心指导,作者在此一并向他们致以诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,加之编写教材时间仓促,对于本教材中存在的错误与不足之处,恳切希望广大读者批评指正。作者联系方式:E-mail:ruijuany @ public.wh.hb.cn。

作 者

目 录

计算机图形学导论	1
上篇 二维图形学基础	7
第1章 线段图形的生成	8
1.1 直线的生成	8
1.2 圆的生成	11
1.3 椭圆的生成	15
1.4 自由曲线的生成	20
1.4.1 三次样条曲线	20
1.4.2 三次参数样条曲线	24
1.4.3 贝齐埃曲线	26
1.4.4 B样条曲线	30
1.4.5 多项式曲线的快速计算	37
1.5 矢量字符的生成	37
练习	40
第2章 实面积图形的生成	42
2.1 多边形的填充	42
2.2 图案填充	50
练习	52
第3章 图形的基本运算	53
3.1 图形的几何变换	53
3.2 图形的集合运算	59
练习	65
第4章 图形的观察运算	67
4.1 图形的开窗	67
4.2 图形的裁剪	71
练习	80
第5章 图形的数据输入	81
5.1 图形数据输入常用的编程处理方法	82
5.1.1 利用高级图形专用语言编程输入图形数据	82
5.1.2 利用图形输入设备交互输入图形数据	86
5.1.3 图形标准为图形数据输入提供的交互处理方法	90
5.2 光栅扫描图形显示器常用的交互输入处理技术	94
5.2.1 光栅扫描图形显示器的工作原理与软件功能	94
5.2.2 图形的定位、拾取、命令选择等交互输入处理技术	100

5.3 图形系统交互设计的基本方法	103
练习	109
第6章 图形的数据结构	110
6.1 复合图形元素	110
6.2 图形的基本编辑功能	114
6.3 图形系统的数据结构与数据处理流程	117
练习	124
下篇 三维图形学基础	127
第7章 三维图形的显示基础——图形的几何变换、投影与裁剪	128
7.1 三维图形的几何变换	128
7.2 三维图形的投影	134
7.3 三维图形的正透视裁剪	141
7.4 三维图形的规范化投影变换与裁剪	150
7.5 三维图形的输出流程	160
练习	164
第8章 平面物体的几何构造与显示	166
8.1 平面物体的描述与数据结构	166
8.2 平面物体的全剖切运算	171
8.3 平面物体的集合运算	176
8.4 平面物体的欧拉运算	180
8.5 平面物体的三维重建输入介绍	190
8.6 真实感平面物体的线框模型输出显示——隐藏线的消除	193
8.7 真实感平面物体的表面模型输出显示——隐藏面的消除	199
练习	209
第9章 曲面物体的构造基础与线框模型输出显示	210
9.1 三维物体常用的描述方法	210
9.2 常用曲面的数学描述函数	215
9.3 几何造型中的相交计算问题	226
9.4 真实感曲面物体的线框模型输出显示	231
9.4.1 代数法描述曲面物体的输出显示	231
9.4.2 双参曲面物体的输出显示	237
练习	240
第10章 光照物体的显示	241
10.1 光色模型	241
10.2 物体的简单光照模型	254
10.3 真实感曲面物体的表面模型输出显示	258
10.3.1 曲面物体、透明物体的着色处理	258
10.3.2 物体的纹理显示	261
10.3.3 物体的阴影显示	269

10.4 高度真实感图形显示技术介绍.....	270
10.4.1 整体光照模型与光线跟踪算法	270
10.4.2 辐射度方法	273
练习.....	275
参考文献.....	276

计算机图形学导论

一、计算机图形学的发展

计算机图形学是计算机科学领域中的一个重要而又年轻的学科,它随着计算机硬件特别是图形显示设备的发展而逐渐产生、发展起来。由于计算机图形学在人与计算机之间建立了一种形象直观和高效的信息交互手段,这使得人们从大量繁杂的数字和符号中解脱出来,人们通过视觉非常容易掌握并理解大量的信息,从中发现其变化趋势和规律,人们甚至能直接使用计算机得到各种设计图纸,观察、检验设计效果等,因而深受各行各业用户的欢迎。在短短几十年中,计算机图形学获得了极大的发展,并在工业、商业、军事、教育和娱乐等各个领域得到了广泛应用,成为计算机科学中发展最快、影响最大的学科之一,并在应用中日益显示出其重要性和不可替代性。

计算机图形学的发展历史可以追溯到 20 世纪 50 年代。1950 年世界上生产出第一台 CRT (阴极射线管式)显示器,这使得当时的计算机摆脱了纯数字计算工具这种单一用途,使之同时还能显示各种简单图形。1963 年,美国麻省理工学院的 Ivan E·Sutherland 发表了“画板(Sketchpad):一个人机图形通信系统”的博士论文,标志着计算机图形学作为一个全新研究领域的起步。到了 20 世纪 60 年代中期,美国麻省理工学院、通用汽车公司、洛克希德飞机制造公司和贝尔电话实验室等都大规模地开展了计算机图形显示的研究工作,与此同时,各种绘图仪和图形显示器也相继问世,这为计算机图形学的发展提供了必要的硬件基础。进入 70 年代以后,人们相继提出了各种图形标准(如 GKS 二维图形标准与 PHIGS、OpenGL 三维图形标准等),这使得各种图形应用软件的开发更加方便,同时使其应用软件具备了良好的可移植性。应该说图形显示软件的标准化是计算机图形学发展趋于成熟的一个重要标志,是对计算机图形学成果的总结与概括。

二、处理计算机图形信息的三门学科

人们往往这样认为:平面上指定范围内可见点阵的集合统称为**图像**,如人们常见报纸上印刷出的照片就是一种典型的例子。那些能被人们分类并给出描述参数的一类图像,则称其为**图形**。如图 0-1 所示,这个人像完全能用一幅 $N \times N$ 点阵的图像来表示,但经过美术家的艺术描画处理之后,它却能简单地用多条曲线(几何参数)与黑颜色(属性参数)等形式表现出来。由此可见,**图形**是**图像**的一种特例,它仅仅是一种能用各种几何参数(如各种形式的线段)与属性参数进行有效描述的图像,这是二维图形的基本特征。而在**计算机中构造图形**就是如何产生并有效组织、保存、管理图形的这类描述数据,它能明确无误地确定相应图形的表现形式——即图像的显示内容,简称**图形显示**。不难把这种用几何参数与属性参数描述图像的方法推广到三维空间中以描述三维物体,从而形成三维图形的描述数据。随着现代计算机技术的发展,特别是光栅扫描图形显示器的应用,人们见得更多的是这样一种图像,它是根据物体的三维描述参数、投影条件以及光照效果生成的,即所谓的**三维光照图形**(又称**三维图像**,它不光

知道平面上每一点的色彩或亮度,而且还能查出每一点的深度数据——即每一点的 Z 信息)。对于这种类型的图像,人们不能像二维图形那样,根据其显示效果就较容易地确定出它所对应物体模型的几何描述参数等条件,这一任务通常由另一学科——模式识别来完成,由此形成了用计算机处理图形(图像)的三门学科——图像处理、模式识别和计算机图形学。

所谓**图像处理**,即可见的景物射线或不可见的辐射信息,经过电子扫描量化后送入计算机,由计算机按应用的需要把量化后的数据依次转化成平面上明亮不同或色彩各异的点阵图像,并对该图像进行增强、去噪、复原、分割、重建、编码、存储、压缩、恢复、传输等不同的处理,必要时把加工处理后的图像重新输出,这个过程称为“图像处理”。计算机 X 射线断层扫描造影技术(简称 CT)就是不可见辐射信息成像即图像处理的一个典型例子。

所谓**模式识别**,即当图像信息输入计算机之后,先对它进行特征抽取等预处理,然后用统计判定或语法分析等方法对图像作出识别,最后由计算机按照人们的使用要求给出该图像的分类与描述。如印刷体中、西文字符和工程图纸的自动阅读识别系统,就是图像处理与模式识别技术的具体应用。模式识别是人工智能领域中的一个重要分支,目前该项技术正处于不断发展之中。

计算机图形学是研究在计算机中如何构造图形,并把图形的描述数据(数学模型)通过指定的算法转化成图形显示的一门学科。此时,这个被描述处理的图形对象既可以是各种实实在在的物体(如长方体、圆球体等),也可以是抽象、假设的事物数据(如天气形势、人口分布、经济形势预测等)。具体地说,计算机图形学的任务首先是建立被处理图形对象的数学模型并把该模型参数输入、存储在计算机中;然后再根据人们提出的各种要求,对这一模型进行种种有效地加工处理;最后在显示设备上生成这些图形对象被加工处理后的结果以及相关的各种性质的图形。

图像处理、模式识别和计算机图形学这三门与图形(图像)处理有关的学科,它们之间的相互关系可用图 0-2 来表示。虽然这些学科都已有几十年的历史,但长期以来它们基本上是以相互独立的形式各自发展的。到了 20 世纪 80 年代,由于光栅扫描图形显示器的广泛使用,以及大量复杂应用课题的研究需要,使得这三门学科之间的相互关系越来越密切。例如,现在计算机生成的光照物体图形(即高度真实感彩色图形)与实际拍摄的实物彩色照片(图像)已没有多大的区别。与此同时,可以用图像处理技术使计算机生成的图形更优美,更逼近真实的图像,如对于像光栅扫描图形显示器中有关斜线产生的阶梯效应(又称走样),可以采用像素点调色的方法进行平滑处理,使其消除。另外,还可以利用图像处理、模式识别技术解决如机械制图、印刷体文字字符等“规范”图形的自动输入,以达到减轻操作人员劳动强度,提高计算机输入图形数据的效率。再例如,人们现在可以利用航测、遥测地形地貌作为飞行模拟训练系统的地貌环境,这些海量地形数据的自动输入,只有采用图像处理、模式识别等自动技术处理后才



图 0-1 人像

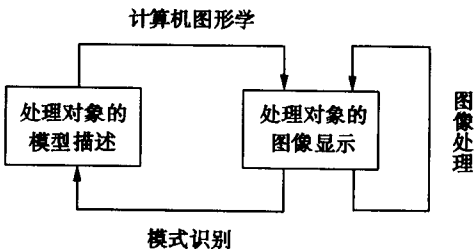


图 0-2 图像处理、模式识别与计算机图形学之间的关系

能有具体的结果。这些都说明图像处理、模式识别与计算机图形学等学科之间是相互促进的。

三、计算机图形学的主要研究内容

计算机图形学的主要研究对象可以概括成:点、线、面、体、场的数学构造方法与其图形显示,以及它们随时间的变化情况(例如墨水在清水杯中的扩散或物体的爆炸运动等过程)。注意这里的体与场既可以是刚体,也可以是流体、弹性物体如人体肌肤与表情等,既可以是具体的物体,也可以是抽象的事务数据等。这些研究对象又可称为0维、一维、二维、三维与四维几何图形。就计算机图形系统的组成而言,由于实际的图形应用系统一般可分成二维图形系统与三维图形系统,因此不妨把图形学分成二维图形学与三维图形学。

二维图形学的研究对象是平面上的点、线、面(即有界平面)以及它们随时间的变化情况。这就是说,二维图形系统的用途只能完成用户要求绘制的任意复杂的平面图形(对这种应用要求最为典型的有计算机辅助制图系统、计算机辅助电路设计系统等领域),这些复杂平面图形既可以是静态图形(即图形显示或绘制后不用擦除,如绘图仪、打印机生成的图形)、动态图形(即显示在显示器上的图形,可根据需要擦除或重新显示等),也可以是实时图形(即在给定的短时间内,完成相应图形的动态显示,如工业过程的实时监控系统与军事防空系统等应用领域所要求的图形)。如果要求显示这些复杂平面图形随时间的变化情况,即制作动画(卡通)片,它主要依靠人们事先画出一个个中间复杂图形(即图形随时间的变化情况),再连续播放这组图形,从而在人们的视觉中形成动画效果。

三维图形学的研究对象是点、线、面、体、场。与二维图形不同的是,此刻的线可以是空间中的任意曲线,面可以是空间中的任意曲面(即有界曲面或有界面)。

如果在三维图形中仅研究点、线、面以及由这些点、线、面所构成的任意复杂图形,则这种图形又称为**二维半图形**(在数控加工中,如果铣刀走平面曲线,即X-Y坐标联动,一般铣刀可沿Z向单独作升降运动,不能与X-Y坐标联动,铣刀的这种运动称为 $2\frac{1}{2}$ 坐标加工。而把平面图形经过平移扫描定义的三维图形——即扫描体称为二维半图形,最初只是商业软件公司出于商业竞争的目的,对竞争对手的一种戏称,意指三维图形系统的功能较弱。这里为了表示点、线、面与体的差异,这里也暂时借用这一术语,故应用时应注意这三种不同的含义)。之所以如此是因为此处点、线、面仅是数学上的概念,虽然它们可以用图形的形式进行形象显示,但它们在客观现实世界中是不能孤立存在的。二维半图形系统的主要用途在于显示具有高度真实感的三维图形,例如三维空间中的点、线、面,在光照效果条件下,可以构成有各种立体感效果的画面,让这些点、线、面在空间中连续变化即可构成三维动画片,这种动画片与人工在平面上绘制的动画片相比较,有较强的立体感。另外,这种三维动画效果也被用于飞行模拟训练器中训练飞行人员等。

体是三维空间中有限的封闭空间。一般来说它的边界是面,面的边界是边线,边线的边界是点。若三维图形的研究对象是体(所谓**真三维图形**),则它应满足用户提出的其物体形状任意复杂这样一种要求。体的概念不仅仅用于像机械零件等计算机辅助设计与制造领域,而且可用于需要设计物体形状以及对其进行必要分析的应用领域,例如在分析空中复杂目标高频等效雷达截面这一问题时,就需要逼真的飞机形状模型,以便分析飞机对雷达发射电磁场的反射效果等。

场是现实世界中一个比体更复杂的概念。人们接触的大气层(标量场),地球周围的电磁场(矢量场),雷达的探测范围等都是场的具体表现。与体相比,一般说来,场的物质密度在一

给定的空间范围内是有规律地逐渐变化的且不易直观掌握,即它不像体那样具有明确的边界。正因为场的这种复杂性,人们才希望借助图形显示的方法,直观地了解并掌握场的物质密度在空间中的变化规律。这些是科学计算可视化研究中目前正在积极探讨并解决的问题之一。

要实现图形学研究的目标(以三维物体为例),一般需要解决下述6方面的问题。

(1) 描述复杂物体图形的方法与数学工具,是计算几何要解决的问题。有了强有力的描述复杂物体图形的数学工具,就为建立复杂物体的数学模型提供了保证。传统上使用的方法有样条曲线、B样条曲线、非均匀有理B样条(NURBS)曲线以及相应曲面等描述方法。此外对于二、三维图形还有分形描述、粒子描述等方法,这些方法可以方便地表现像火焰、云彩、山脉、树林、沙漠、海岸线等模糊、不甚明确或具有某种相似性与随机性边界的物体或物质,它特别适合计算机艺术造型等应用领域。这些研究内容属计算机图形学中新的研究分支。

(2) 物体图形描述数据的输入。当成功建立了所要求物体的数学模型之后,这些描述数据要存入计算机中,这通常包括图形数据的编程输入方法、人机交互输入技术以及自动输入技术。特别是人机交互输入技术是目前的一个热点,它包括各种新型图形输入设备和三维图形输入方法、技术的研究,各种交互技术如构造技术、命令技术、选择与拾取技术、响应技术、反馈方式,以及图形描述、分析语言与多通道用户界面问题的研究等。

(3) 输入数据的存储。对输入的图形数据,如何在计算机图形系统内部对它进行有效地组织、存储与管理,以使用户对图形进行各种编辑与检索操作,这是具体实现一个计算机图形系统要解决的重要问题。与存储技术相关的还有图形数据库的管理、图形数据通信与图形数据交换标准等问题。这些问题的解决,可使不同用户在不同的计算机系统之间相互交流信息,实现图形资源的共享等要求。

(4) 物体图形数据的运算处理。就构造复杂物体而言,常用的运算方法主要有:不断追加新的简单物体,对已有物体进行几何变换(平移、旋转、放大、缩小等),对物体实施全剖切、集合运算(两物体交、并、差后形成新物体)与欧拉运算,以及其他一些辅助构造方法,如框架式三维重建与蒙皮法等。

(5) 物体图形数据的输出显示。这通常包括二维图形中的直线段、圆弧、椭圆弧、自由曲线、矢量字符的生成与实面积图形的填充,以及三维图形中物体的各种投影、开窗裁剪技术,平面、曲面的显示,隐藏线、隐藏面的消除,物体的光照模型、着色处理、纹理、阴影、光线跟踪算法、辐射度方法、灰度与色彩等各种真实感图形的显示方法与技术。

事实上,以上5步是计算机辅助设计(即CAD)所面临的经典任务。当然计算机辅助设计一般还应解决物体的表面积、体积、重心、旋转惯性、有限元分析等诸多物体性能分析问题,以满足实际应用过程中对所设计物体的性能提出的各种复杂要求。

(6) 物体的制造。物体制造就是把上述用户所设计出的物体用数控机床加工出来(即物体图形的实体模型输出制造),这是计算机辅助制造(即CAM)要完成的主要任务。

除此之外,图形学还研究下述几个方面的问题。

(1) 图形输出显示设备、输入设备的研究与计算机图形系统结构的发展。图形输出显示设备,如各种高分辨率、大屏幕、高对比度的显示器以及各种显示器(图形卡、图形终端)逻辑结构的研究;开发新的高速图形显示专用芯片——图形处理单元(GPU)芯片与加速卡以及高效率、快速、低成本的硬拷贝设备,如彩色激光打印机、数码胶印机等;不断地把已成熟的图形软件算法用硬件方式实现,以提高图形显示的效率,是人们不断追求的目标之一;而不断研究新的图形输入设备,以提高图形数据输入的效率,也一直是摆在人们面前的一个重要课题。对计

算机,特别是图形工作站而言,不断用硬件技术实现较为成熟的软件算法与功能,使计算机图形工作站的硬件系统结构更合理;不断用速度更快、容量更大的计算机加快图形运算处理的速度,提高图形系统的费用效能比,以此推动图形技术向更高、更深、更广的方向发展,这些是计算机图形系统不断追求的目标。

(2) 制定与图形应用软件有关的多种技术标准。国际标准化组织(ISO)相继提出或正在讨论下述有关标准,它们分别是:计算机图形接口(CGI),它的目的是提供控制图形硬件的一种与设备无关的方法,故可把它看做是图形驱动程序的一种标准;计算机图形元文件(CGM),它规定了生成、存储、传送图形信息的格式,这对于生成公用的图形磁盘文件,并用打印机、绘图机绘制这些图形非常有用;GKS、GKS-3D、PHIGS、PHIGS+、OpenGL(工业标准)等图形标准,这些标准的制定,使编程者开发的应用程序摆脱了对具体显示设备的依赖;基本图形转换规范(IGES),它的作用是为了使不同的 CAD/CAM 系统之间交换数据而约定的一种通用数据格式,如把系统 A 的数据传送到系统 B,则由系统 A 的前处理器把系统 A 的内部格式数据转换成 IGES 格式的数据,然后由系统 B 的后处理器把传输的 IGES 格式的数据再转换成系统 B 的内部格式数据。由于 IGES 存在的种种不足,目前它仅是一个工业标准而非 ISO 标准。针对这种情况,ISO 的一个分技术委员会开发了一个产品模型数据转换标准(STEP),该标准提供的模型数据较全面地覆盖了一个产品从设计、分析、制造到测试、检验、管理等多方面的应用需求,是定义一个产品全局模型的工具,但该标准目前正处于不断地完善中。上述标准之间的相互关系如图 0-3 所示。为了总结计算机图形标准化的现有成果,为下一代的标准化工作提供指导性框架,模仿 ISO 的 7 层网络模型,人们提出并制定了计算机图形参考模型(CGRM),它是目前 ISO 正在讨论的计算机图形国际标准[6]。不难发现,上述多种标准的制定,将对图形显示设备的研制与开发有较大的指导作用。

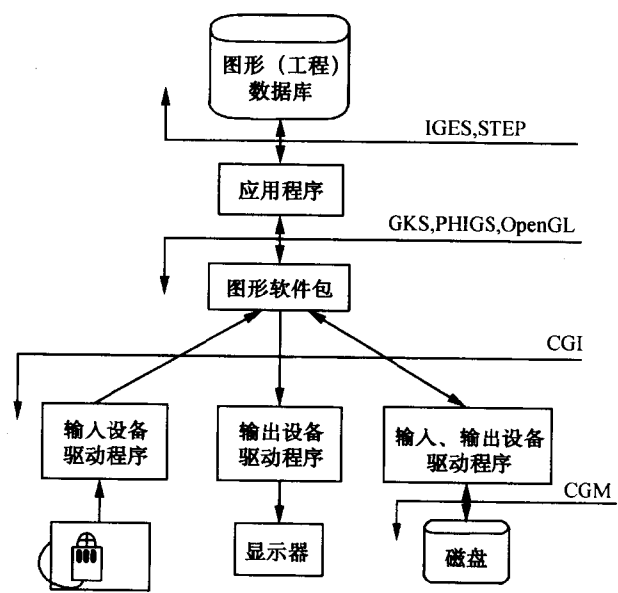


图 0-3 图形系统中各种标准的作用

(3) 实时动画与多媒体技术。研究实现高速动画的各种软、硬件方法(如参数关键帧技术、轨迹驱动技术、Morphing 和变形动画技术、过程动画技术、关节动画与脸部表情技术、基于

物理的动画技术、剧本动画技术、行为动画技术等[61]),开发工具,动画语言以及多媒体技术。将动画技术与视频图像信号和音频语音信号(即声音)结合在一起,不但能产生高度真实感的动画电影等效果,并使图形工作站升级为多媒体工作站(微软的 Direct3D 图形标准以及 DirectSound 等技术有望为下一代 PC 机中的多媒体工作站奠定基础),而且这些技术还将成为“虚拟现实系统”的基础。所谓**虚拟现实系统**,是指由计算机在显示屏上生成一个实时的三维场景空间,计算机通过跟踪器确定操作用户的身体运动(如用光天花板跟踪器[6]或多部摄像机等方式输入相关数据)、头部的转动与升降(用头盔式显示器中的相关传感器测量其数据)、手掌的动作(用数据手套测定相关数据),并把跟踪的结果实时地显示在屏幕上,用户可以自由地在跟踪范围内的三维空间中运动,同时通过头盔式显示器可随意观察上述跟踪效果与周围的景物,并可通过交互输入设备与虚拟环境中的物体进行交互操作。在此环境中,用户看到的是全彩色主体景象,听到的是虚拟环境中的音响,手或脚等身体器官可以通过多自由度的机械手等设备感受到来自虚拟环境中反馈给他的作用力,由此使用户产生一种身临其境的感觉。需要说明的是,在虚拟现实系统的开发上,浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室安装的 CAVE 系统达到了较好的漫游视觉效果。该虚拟环境为一 4 屏幕围成的立方体空间,其中正面、左侧面、右侧面为大幅背投式屏幕,地面为正投式屏幕。用高性能计算机(一台 SGI Onyx2 Infinity Reality, 4 CPU 多处理机,双图形加速流水线)同步产生同一场景相邻视域内的四幅画面,并分别投影到大屏幕上。人们戴了具有立体视觉的液晶眼镜,可以自由浏览具有立体感的全景图。观众中有一人的眼镜上装有空间位置跟踪器,计算机根据所接收到的电磁波反馈信号,动态跟踪该观察者的视点和视线方向,实时生成对应画面。在这样宽敞自由的空間里观察 CAD 产品,在新设计的建筑里漫游,或者走进分子结构的微观世界,都将产生令人惊讶不已的奇妙感觉,从而使人整个地融合到计算机所创造的虚拟氛围中。

目前,计算机图形学的发展趋势主要体现在下述多个研究领域:对各种图形更有效的描述方法,图形数据输入的自动化技术与交互输入的效率,非均匀有理 B 样条理论,自由物体的几何构造、特征造型与可靠性,图形的标准化与图形数据交换标准,光照条件下高度真实感物体(包括流体等)与场景(即由多种材料构成的各种形状的透明、半透明、不透明等多个物体,在多种纹理背景的衬托与多光源的照射下所呈现的场面)的显示技术与效率,图形系统的硬件结构,动画技术,虚拟现实技术,科学计算的可视化等,由此可见计算机图形学的研究内容是十分丰富的。

需要指出,虽然计算机图形学的许多研究工作已进行了多年并取得了不少成果,但随着计算机技术的进步和图形显示技术应用领域的扩大和深入,计算机图形学的研究、开发与应用还将得到进一步的发展,并受到越来越多计算机工作者的重视与欢迎。

上篇 二维图形学基础

计算机系统与图形显示设备是计算机图形学赖以存在的物质基础,而常见的图形显示设备又多是二维的,因此研究各种二维图形在图形显示设备中的生成技术是一切图形显示的基础。二维图形学主要研究各种二维平面图形的生成、变换与运算处理等方面的技术,对于某些行业中对二维平面图形运算处理所提出的特殊要求,如自动标注零件图的尺寸,根据电路原理图自动给出电子元器件集成块的布线图等,在此不准备多加讨论,而是将它归类于各种行业的实用程序范畴中,留待各行业用户通过对图形系统进行二次开发(建立解决相应问题的数学模型)来解决。本篇主要讨论计算机图形系统中常用图形的生成、变换、运算处理、数据存储与输入等技术,使读者建立起计算机二维图形系统的整体概念。

第 1 章 线段图形的生成

在图形显示设备上显示出各种各样的图形是计算机图形学的最终目的。虽然计算机图形显示设备有多种类型,如随机扫描图形显示器、光栅扫描图形显示器、绘图仪、打印机等,且它们的工作原理不尽相同,但是计算机把其保存的图形数据转换为显示输出设备上的图形的转换原理却是类似的。这一转换过程的基本方法是:由计算机产生 X 、 Y 两个正交方向的“步进”控制信号,以控制显示设备的电子束、绘图笔、打印头的偏转或移动,并在图形显示设备的设备坐标系(整数平面直角坐标系)上画点(在光栅扫描图形显示器中,电子束逐行或隔行地水平扫描整个显示屏,同时逐个控制每个像素点的亮度;在打印机上用打印针头击打色带与打印纸)或画线(在随机扫描图形显示器上控制 CRT 电子束的轨迹与亮度;在绘图仪上控制绘图笔的抬、落笔和运动轨迹),即用这种逐点逐线描绘逼近的方法,达到在显示设备上显示图形的目的。对于打印机、绘图仪所绘制的图形,上述转换过程人们可以一目了然,对于随机扫描图形显示器与光栅扫描图形显示器所显示的图形,这一转换过程虽不易被人察觉,但这一原理是可以理解的。

在图形显示设备上显示图形,以在绘点显示设备上显示直线为例,它要由计算机按一定规律,计算出直线上要显示的各点坐标并逐个显示这些点。由于设备坐标系是整数坐标系,所以计算直线上的各点,其坐标有时可能正好位于设备坐标系的整数位置上,有时可能正好位于设备坐标系的非整数位置上,这就需要选择距该直线最近的显示点以逼近该直线。可见用计算机绘图有两个特点:第一,线段是离散的,即有锯齿阶梯效应;第二,线段有误差。

人们都希望选择误差小、显示效果好、运算处理速度快、实现方便的算法来生成直线,以满足各种应用的需要。为了方便计算机处理大量的复杂曲线、曲面等图形,人们有两个假定:第一,对任意的空间曲线可用多条直线段来逼近;第二,对任意的空间曲面可用多个小平面片来逼近。有了这两个假定之后,就能大大简化计算机处理复杂图形的方法。从这里也可以看出,无论是处理二维图形还是三维图形,画好点与直线是最基础的。人们根据大量实际工作经验,从中总结出下述几种基本图形,作为构造复杂图形的基础。

这些基本图形是:点,直线,圆与圆弧,椭圆与椭圆弧,自由曲线,字符,实面积图形(即平面片、有界平面)。下面逐一研究这些图形在计算机中的产生方法。

1.1 直线的生成

一、直线的简单微分(DDA)算法

直线的简单微分算法是根据直线的增量来产生直线。

已知直线的两个端点坐标分别为 $A(x_a, y_a)$, $B(x_b, y_b)$, 并记 $\Delta x = x_b - x_a$, $\Delta y = y_b - y_a$ 。设 $P_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$ 点在 AB 直线上,若 $P_i(x_i, y_i)$ 点也在该直线上(见图 1-1),则图中两