

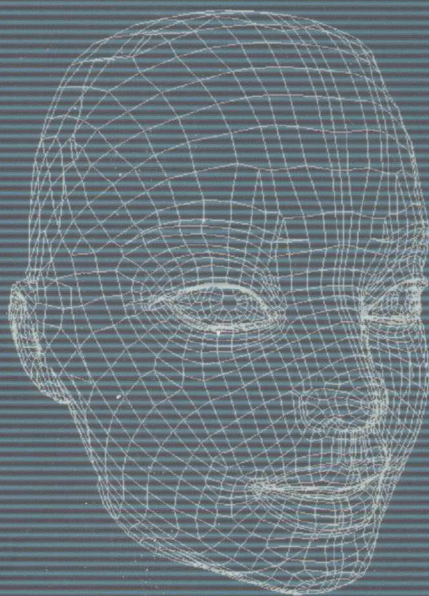
控制科学与工程



国防
科技
教材
规划
『十五』

体素成像技术及其应用

● 李金 编著





国防科工委“十五”规划教材 控制科学与工程

体素成像技术及其应用

李 金 编著

哈尔滨工程大学出版社

内容简介

体素成像技术是计算机图形学领域中近十几年来发展起来的一个新的研究领域,它在描述客观对象内部方面所具有的强大功能远远超过了传统的计算机图形学,所以倍受人们的青睐。

本书系统地介绍了体素成像技术的基本概念、原理、方法、实现、最新研究动态,以及在各个领域的实际应用。本书可以作为高等院校研究生的教材,也可以作为从事体素成像技术的研究或开发人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

体素成像技术及其应用/李金编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005

ISBN 7-81073-531-4

I. 体… II. 李… III. 计算机图形学
IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086236 号

体素成像技术及其应用

李 金 编著

责任编辑 卫天蛟

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通大街 145 号 哈尔滨工程大学 11 号楼

发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001

新华书店经销

黑龙江省教育厅印刷厂印刷

开本:787×960 1/16

印张:9 字数:182 千字

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

ISBN 7-81073-531-4 定价:14.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禔
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科



技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

近几年来,体素成像技术(Volume Rendering)已成为科技先进国家图形学领域研究的热门课题之一。

体素成像的研究对象是用体数据类型定义的数据场,这个体数据是由三维空间定义的大量的点,而不仅是表面的集合组成。这些体数据集合不仅可以用于描述表面,而且,更重要的是可以描述整个数据场的变化。

体素成像技术研究的是在真正的三维空间里实现数据的输入、存储、构造、分析、处理以及显示,目的是探查客观事物的全貌,使我们能够看到客观对象内部原本不可见的复杂结构。

由于全面采用三维表示,所以,体数据类型比面数据类型具有更强的描述能力,体素成像技术在描述或可视化客观事物内部的强大功能越来越受到人们的重视。

在过去的十几年中,在医学以及科学计算等方面应用需求的推动下,体素成像技术取得了令人瞩目的进展,人们研究了很多体素成像的方法用于将体数据集合中的三维信息有选择地显示在二维图像上。随着现代计算机硬件技术的不断发展,这些显示方法的实现已经不存在问题;而且更重要的是,基于体数据的表示方法为体数据内部和表面的描述提供了一致的解,而传统的基于面的显示技术的最主要的缺陷是不能描述体数据的内部,也不能描述无形的物理现象。

体素成像技术的出现,为传统的计算机图形学带来了一场革命,具有传统图形学无可比拟的优越性,它不仅拓宽了计算机图形学的应用范围,而且,使计算机图形学更贴近于科学计算和工程实践。

全书由哈尔滨工程大学李金教授执笔。

编者借鉴了大量的文献资料,并结合自己在体素成像技术研究领域的一些研究成果,介绍了体素成像的基本概念、原理、方法、实现、最新研究动态以及在各个领域的实际应用等。



全书共分为十章。第1章是绪论,概括性地介绍了体素成像技术及其主要应用领域。第2章是体素成像的基础,介绍了体数据的体素化、滤波、分割、插值等重要的基础工作。第3章是体视见方法。第4章是体光学模型,介绍了在体素成像中应用广泛的三种光学模型。第5章是像空间的体素成像技术,介绍了光线投射法。第6章是物空间的体素成像技术,介绍了足迹表法、基于错切-变形的体素成像算法等。第7章是频域体素成像技术。第8章是三维不规则体数据的体素成像。第9章是三维体数据的并行体素成像。第10章是体素成像技术的应用示例。

由于体素成像技术是一个新兴的且发展中的学科,有些术语尚未统一,也存在许多问题尚待研究,再加上编者从事的研究范围和研究能力有限,书中难免有不妥之处,所以,对本书存在的不足和错误,恳请专家和读者提出批评指正。

在本书的编写过程中,得到了国防科工委教材出版指导委员会、哈尔滨工程大学领导和同志们的关心、支持,在此表示衷心的感谢。

编 者

2005年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 科学计算可视化概述	1
1.2 矢量图形与光栅图形	2
1.3 计算机三维重构	6
1.4 面成像技术	7
1.5 体素成像技术	8
1.6 体素成像技术的应用	14
1.7 本章小结	19
第2章 体素成像的基础	20
2.1 图像的几种采集方式	20
2.2 体数据的来源	21
2.3 体数据的定义及体素化	21
2.4 三维离散拓扑学基础	24
2.5 体素成像的理论模型	25
2.6 体数据的预处理	27
2.7 本章小结	56
第3章 体视见方法	58
3.1 体变换	58
3.2 逆向映射中的光线投射	61
3.3 两种视见方法	62
3.4 视见方法的比较	62
3.5 颜色	63
3.6 透明度和阻光度	63
3.7 体浓淡方法	66
3.8 沿着光线的累计和合成	69
3.9 本章小结	69
第4章 体光学模型	70
4.1 光线的发射	70
4.2 光线的吸收	71
4.3 光线的发射与吸收	72
4.4 本章小结	73
第5章 像空间的体素成像技术	74



5.1 光线投射的基本原理	74
5.2 逆映射中的光线投射	74
5.3 光线投射的基本过程	75
5.4 光线投射的计算方法	76
5.5 再采样方法	77
5.6 图像合成的基本原理	80
5.7 光线投射积分	81
5.8 光线投射积分的离散化	81
5.9 图像合成的方法	84
5.10 本章小结	86
第 6 章 物空间的体素成像技术	87
6.1 Z 缓存算法	87
6.2 足迹表法	88
6.3 基于错切 - 变形的体素成像算法	95
6.4 本章小结	98
第 7 章 频域体素成像技术	99
7.1 基本的频域体素成像算法原理	99
7.2 频域体素成像所存在问题的解决方法	102
7.3 本章小结	107
第 8 章 三维不规则体数据的体素成像	108
8.1 规则体数据	108
8.2 不规则体数据	108
8.3 本章小结	111
第 9 章 三维体数据并行体素成像	112
第 10 章 体素成像技术应用示例	114
10.1 由计算形成的体数据的体素成像	114
10.2 由计算机模拟形成的胸部脏器体数据的体素成像	116
10.3 由平行切割获得的头部 CT 图像数据的体素成像	116
10.4 规则模型的扇扫切割图像数据的体素成像	122
10.5 不规则模型的扇扫切割图像数据的体素成像	126
10.6 工业部件的体素成像及无损检测	130
10.7 本章小结	130
参考文献	132

第 1 章 绪 论

1.1 科学计算可视化概述

近年来,来自超级计算机、卫星、先进医学成像设备,以及地质勘探等的数据与日俱增,特别是互联网的飞速发展,人类活动呈现出空间扩展性和时间瞬时性的特点。相应地,大量信息产生了,原有的信息处理方法如数字信号处理、数字图像处理等,已不能完全满足用户的多样性需求:准确、直观、迅速、可交互、分布式,使数据可视化日益成为迫切需要解决的问题。

强烈的社会需求是科技发展的推动力,也是产生新学科的必要条件。针对大数据场处理问题,美国国家科学基金会(NSF)于1986年专门召开了一次研讨会,提出了“科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing, ViSC)”这一全新的概念。在1987年华盛顿召开的科学计算会议上,美国计算机成像专业委员会提出了解决方案:可视化——用图形和图像解释数据。这次会议正式形成了ViSC报告,后称为科学可视化(Scientific Visualization, SV)。从此一门新的交叉学科诞生了。ViSC报告认为:“科学计算可视化是一种特殊的计算方法,它把数字符号转换为几何图像或图形,使研究者能够观察其模拟和计算过程,并进行交互控制。科学计算可视化提供了一种发现不可见信息的方法,丰富了科学发现的过程,赋予人们深刻而意想不到的洞察力,从根本上改变了科学家进行科学研究的方式。”

科学计算可视化涉及计算机图形学、图像处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机交互等多个领域,是发现和理解科学计算过程中各种现象的有力工具,将同“理论—实验—计算”三种科学方法一样被广泛应用于科学研究中。十多年来,SV的应用遍及医学、地质勘探、气象预报、分子生物学、核科学等自然科学、工程技术、经济管理和艺术领域,呈现出蓬勃发展的趋势。科学计算可视化的实质是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像,在屏幕上显示出来并进行交互处理,其核心是三维数据场的可视化。

科学计算可视化技术可按照其功能划分为三个层次。

1.1.1 后处理(Postprocessing)

将计算过程与可视化过程分开,也就是说数据采集或模拟计算系统与可视化系统可以是两个完全独立运行的系统,用户与数据的采集及计算过程不存在任何交互,不能对计算过程进行干预和引导,可视化过程在数据采集或模拟计算完成后的任意时刻的脱机状态下进行。这样做的优点是可以重复显示,此外,由于不要求实时地用图形、图像显示数据,因而,这一层次的



可视化对计算能力的需求较之下面两个层次要低一些。目前,这一层次上的可视化应用最为广泛,如计算流体力学、气象分析计算的后处理。缺点是无法提前发现数据采集和计算中的错误,不能及时地得到有关数据的直观、形象的整体概念,而且还有可能丢失大量信息。

1.1.2 跟踪处理(Tracking)

可视化过程与计算过程同时进行,即在进行科学计算的同时,实时地对计算的结果数据或测量数据实现可视化。近年来,由于计算机的计算速度迅速提高,内存容量和磁盘空间不断扩大,网络功能日益增强,并可用硬件来实现许多重要的图形生成及图像处理算法,使得直观、形象地用三维动画显示海量的数据和信息、并进行实时的交互处理成为可能。另外,由于图像直接从数据中产生,某些情况下一些数据无需写入介质中,节约了存储容量和存取时间。医学上的 CT 诊断技术和工业无损检测技术均属于跟踪的范围。这一层次上的功能较之上一层次需要更强的计算能力。

1.1.3 驾驭处理(Steering)

随着网络和计算机能力的进一步提高,科学计算可视化的结果可以自动反馈到计算过程,即这一层次的功能不仅能对数据进行实时处理及显示,而且如有必要,还可以根据计算结果通过交互方式修改原始数据、物理模型、计算方法(包括计算网格、边界条件等)及其他参数,使计算结果更为满意,实现用户对科学计算过程的交互控制和引导。为了实现较广范围的驾驭处理,应该具有扩展的交互技术及支持大型数据集的交互技术、灵活的图像绘制功能、三维数据的输入、公共单元的输出手段及动画功能、用户接口等。很显然,这一层次的功能不仅要求计算机硬件具有很强的计算能力,而且要求可视化具有很强的交互功能。目前,这一层次上的可视化系统还不多见。

为适应硬件平台、操作系统、网络和通信方面的飞速发展,可视化的软件产品在近几年中发展很快,它们已可以提供多平台的交互式多维可视化软件开发和集成环境。

体素成像(Volume Rendering)技术是科学计算可视化中的一个重要分支,研究的是体数据的可视化问题。

1.2 矢量图形与光栅图形

1.2.1 矢量图形与光栅图形概念

计算机图形学经历了从矢量图形(Vector Graphics)到光栅图形(Raster Graphics)的发展历程。矢量图形和光栅图形这两个概念在没有计算机之前好像难以理解,实际上,这是在计算机技术特别是 CAD 技术发展以后才拥有具体内容的东西。

矢量图形,又称为向量图形,发展于二十世纪六七十年代,是用包含位置和颜色属性的直线或曲线(称为矢量)来描述图像属性的一种方法,即是用数学函数来描述图形的位置、大小、形状和色彩。其基本原理:定义一些诸如点、线、圆、圆弧、多边形、曲线、球、立方体等基本图素(图形基元),这些基本图素存放在显示列表中,并依此建立更复杂的物体,物体的描述、变换和显示都是建立在图形基元之上。例如,我们想画一个圆,方法之一是用公式法,这种方法是先判断函数代表的曲线形状(比如圆形),然后根据圆心和半径画图,这就是矢量图形的绘制原理。也就是说,每个图形元素都是由几个简单的控制点位置来描述,而不是直接描述数据的每一点,画矢量图就像画几何图形和函数曲线。对显示列表中的图形基元不断地重绘就达到了屏幕刷新的目的,从而确保物体留在屏幕上。图1-1给出了矢量图形系统的示例。

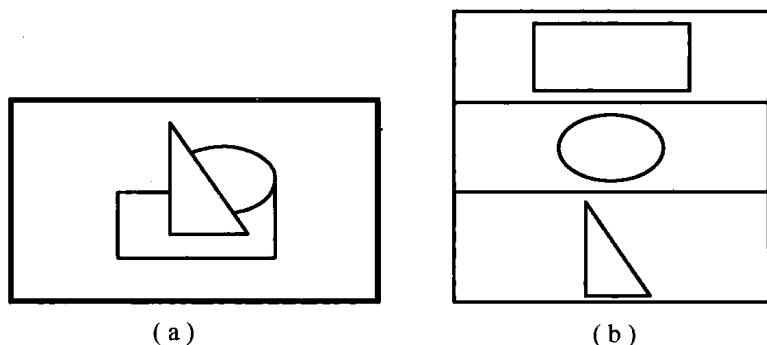


图1-1 矢量图形系统示例

(a) 显示图形;(b) 显示列表

如果我们想画同样一个圆,方法之二是用描点法。描点法是先列出图上点的坐标,然后描出图形。这就是光栅图形的画图机制。

光栅图形又称为栅格图形,也叫做位图图像(Bit-Map Image),是指在空间和亮度上已经离散化的图像,是在20世纪70年代后期逐渐发展起来的。它使用被称为像素的一格一格的小点来描述图像。像素是图像的基本单位,是一个有颜色的小方块。图像通常由许多像素组成,它们以行和列的方式排列。即用像素来代表图像,每个像素都被分配一个特定位置和颜色值。因为图像是由方形的像素组成的,这就导致了图像必须是方形的。计算机的屏幕其实就是一张包含大量像素点的网格。光栅图形是由这样的像素矩阵构成的,有人将光栅图形的产生比喻成绘画:图形是由“墨水”等有颜色的点点缀而成,画光栅图就像素描、水彩画。也有人将光栅图形的产生比喻成铺瓷砖,所以,光栅图形在放大的时候变得更为颗粒化和图像边缘锯齿状,最终变得难以识别,这是因为放大以后将单个的像素都给显露出来了。

通常把一幅位图图像考虑为一个矩阵,矩阵中的一个元素(像素)对应图像的一个点,相应的值表示该点的灰度或颜色等级。图1-2给出了光栅图形系统示例。

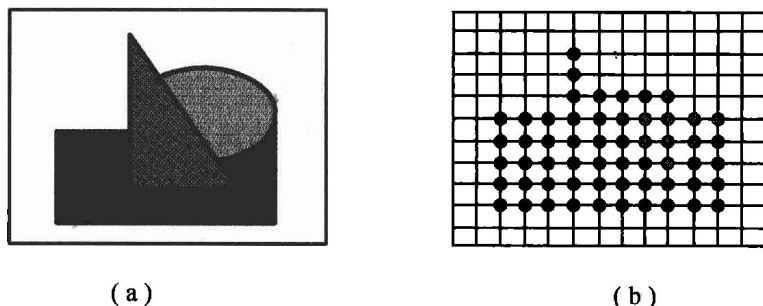


图 1-2 光栅图形系统示例

(a) 显示图形;(b) 光栅显示

1.2.2 矢量图形与光栅图形的属性对比

下面我们将矢量图形和光栅图形的属性做一对比。

1. 矢量图形是画线,而光栅图形是画点

矢量图像是用包含颜色和位置属性的直线或曲线来描述图像属性的一种方法。比如一个椭圆,它就包括由通过椭圆边缘的一些点组成的轮廓和轮廓内的点两部分。

对于矢量图形,椭圆的颜色取决于椭圆轮廓曲线的颜色和轮廓封闭的区域颜色,与轮廓内单独的点无关。可以通过修改描述椭圆轮廓的直线或曲线来更改椭圆的性质,也可以移动、放缩、变形,或者在不改变图形显示质量的前提下,改变具有矢量性质的椭圆的颜色。

光栅图形是用每一个栅格内不同颜色的点(像素)来描述图像属性的。以前面的椭圆为例,该椭圆也可以由所有组成该椭圆的像素的位置和颜色来描述。因为编辑光栅图形时,修改的是像素,而不是直线和曲线,因此无法通过修改描述椭圆轮廓的直线或曲线来更改椭圆的性质。

2. 物体显示与屏幕刷新

在矢量图形系统的显示过程中需要对显示列表中的内容(基本图素)不停地进行显示,才能达到屏幕刷新的目的。因此,矢量图形显示是与显示物体紧密地结合在一起的,即物体的显示嵌入屏幕刷新过程。用基本图素可以构成简单的物体,也可以构成复杂的物体。但当物体的形状十分复杂时,显示列表中的基本图素的数量就会很多,屏幕刷新的负担也被加重。严重时会导致刷新频率过低,影响视觉效果。

光栅图形最吸引人之处是它将显示图像的生成与屏幕刷新分成两个独立的部分,即光栅图形的扫描变换独立于屏幕刷新过程,这使得屏幕刷新与被显示场景和物体的复杂性无关,即一旦显示图形生成完毕,光栅图形显示将不再受景物复杂度的影响。



3. 几何变换

矢量图形中的每个基本图素都是一个自成一体的实体对象,它们具有颜色、形状、轮廓、大小和屏幕位置等属性。因为每个对象都是一个自成一体的实体,所以就可以在维持它原有清晰度和弯曲度的同时,多次移动和改变它的属性,而不会影响图例中的其他对象。因此,矢量图形是面向对象的。

矢量图形的一个优点就是它们能够被任意放大、缩小而不损失细节和清晰度,也不会扭曲。它的另外一个优点:在矢量图中可以只编辑其中某一单个物体而不影响图中的其他物体。例如,想缩小或放大矢量图中的某个物体时,只要选中该物体,进行缩放就可以了。矢量图物体间可以相互覆盖而不会相互影响。

在光栅图形中,每个像元是由许多单个激光点组成的。一个光栅图形详细地规定了生成多少个像元,像元数不随输出器件的分辨率而改变。位图图像是不能被任意放大的。当图像扩大时,像素栅格尺寸也相应增加,可以看见赖以构成整个图像的无数单个方块,从而使线条和形状显得参差不齐,所以清晰度就下降了。

光栅图形导入后,将成为一个单独对象,也就是说,一旦离散化后,“物体”的概念就不存在了。所以,在光栅图形中要编辑它的单个物体是很困难的。

4. 显示图形的走样现象

矢量图形利用点和线等矢量化数据描述图像,并在图形中包含色彩和位置信息。矢量图形的最大优点是“分辨率独立”。当显示或输出图像时,图像的品质不受设备的分辨率影响,能够提供高清晰的画面。放大和缩小矢量图不会影响图像品质。

光栅图形受分辨率影响,与分辨率有关,也就是说它包含固定数量的像素。因此,在屏幕上以较大的倍数放大显示,或以过低分辨率打印时,光栅图形会出现锯齿边缘。

5. 存储量

光栅图形需要的存储量大,且对帧缓存有较强的处理能力,这两点曾一度严重制约了光栅图形的推广。直到20世纪70年代末期,随着廉价、快速存储器,以及其他硬件的问世,这两个问题才得到解决,光栅图形也才开始为人们所接受。

而矢量图形通常占的存储空间要比光栅图形小得多。在分辨率相同且图大小相同时,光栅图形所需要的存储量可能是矢量图的10 ~ 1 000倍^[1]。

6. 与数字图像的相容性

光栅图形特别适用于二维图像的显示,它为几何定义的图形与图像的融合提供了一个理想的环境。

7. 块运算

在光栅图形上可以方便地实现块操作。例如,它可以快速地对屏幕上的一个区域填充某一种纹理。

表1-1是矢量图形与光栅图形的属性对照简表。



表 1-1 矢量图形与光栅图形的属性对照简表

序号	属性	矢量图形	光栅图形
1	画图机制	画线	画点
2	物体显示与屏幕刷新	物体显示嵌入屏幕刷新过程	扫描变换独立于屏幕刷新过程
3	几何变换	连续的,变换作用于几何定义的形体	离散的,变换作用于区域内的所有像素
4	显示图形的走样现象	没有走样	会产生走样
5	存储量	变化的,依赖于景物的复杂度	很大,但恒定不变
6	与数字图像的相容性	不相容	完全相容
7	块操作	困难	容易

光栅图形的上述优越性,加上相应的处理硬件的发展,以及反走样技术的提高,促使了矢量图形向光栅图形的转变。

1.3 计算机三维重构

1895 年伦琴(Rontgen)发现了 X 射线,这是人类科学史上的一个重大事件,被称作 19 世纪最伟大的发现之一。X 射线透视设备的诞生,使我们拥有了探索事物内部的手段。它一出现,就在医疗诊断和工业探伤上发挥着重要的作用。然而,这种设备产生的 X 光照片只是一种透视投影图像,它仅反映出 X 射线穿过人体或工件后的衰减程度。虽然从这种 X 光照片中,人们可以在一定程度上发现人体内部的肿瘤、检查器官是否正常,也可以检测机械部件内部是否有气泡和裂痕,但是人们无法从 X 光照片中获得对象的立体信息,如肿瘤在三维空间的位置、形状等。

因而人们迫切地希望根据不同角度的投影重构物体的三维信息。三维重建技术从手工方法、光学方法到计算机处理方法已有了一百多年的历史。计算机三维重构就是通过仪器从人体或物体的某一部位的几个不同位置获取若干数量的二维截面图像,然后将这些二维截面图像,以及它们之间的位置和角度信息一起输入计算机,由计算机对这些切片进行相应地组合和处理,最后在计算机显示器上精确地再现这些部位原来的三维构型。近十多年来,随着各种影像技术如计算机断层摄影术(Computerized Tomography, CT)、超声(Ultrasonography, US)、磁共振成像(Magnetic Resonance, MRI)、正电子辐射断层摄影(Positron Emission Tomography, PET)和光电子辐射断层摄影(Single Photon Emission Computer Tomography, SPECT)等逐渐成熟,计算机三维重构技术获得了迅猛发展。计算机三维重构技术的历史经历了从面成像到体素成像的发展过程。



1.4 面成像技术

1.4.1 面成像技术的成像机制

矢量图形基于对象的方法被推广到用三维重构就能构成了面成像的基础。面成像技术在屏幕上仍然采用光栅显示技术,而在对象的描述、变换以及显示图像生成等方面则采用基于对象的方法。在三维重构中同样要将对象保存在一个显示列表中,所不同的是,这个列表中存放的不仅是点、线、多边形等二维基本图素,还有三维空间中对象的面(平面或曲面),即对象是以它的表面作为它的表示、操作和显示的核心,我们要对显示列表中的几何基元进行维护和处理。对列表中对象的任何改动或者视见参数、光照参数等的变化(如改变视点)时,都要重新生成显示图像。被称为几何机^[2](Geometry Engine)的计算机图形处理的专门硬件在过去十多年中曾风靡一时,造就了面成像技术在三维图形领域的辉煌。

从物体的表面进行物体的三维重建在诸如医学和 CAD 等很多领域中具有重要的意义。从 20 世纪 70 年代中期到 70 年代末期,由于受当时计算机断层摄影术发展水平的限制,切片的厚度和切片之间的距离都很大,因此,早期的研究工作主要集中在轮廓连接(Contour Connection)或称为从平面轮廓重建形体(Shape from Planar Contours),也有人称为切片级重建方法。其中,具有代表性的是 Keppel 在 1975 年提出的用三角片拟合物体的表面的方法。这类重建方法需要解决断层图像上的轮廓提取、层之间的轮廓对应和物体外表面的拟合等问题。因为切片级重建方法是把各切片上抽取的物体轮廓作为输入,但是,至今仍没有鲁棒的分割方法保证所有边缘轮廓提取的正确性,所以人机交互是不可缺少的。尽管面成像技术中目前存在一些尚未解决的问题,但是面成像研究中的很多理论和技术都处于成熟阶段,并且获得了应用。如 1989 年东京大学的一些研究人员提出了一种用标准线对准轮廓提取特征点并连接特征点的重构方法,用于心室的重建。首都医科大学生物医学工程系马斌荣等人承担的国家自然科学基金课题“医学图像三维重构系统”,较好地解决了丘脑下核团的三维重构和脑体瘤的三维重构。

1.4.2 面成像技术存在的问题

传统的计算机图形学可以利用称为图素(Primitives)的点、线和多边形等基本构件去模拟一个场景。在面成像技术的基础上,可以利用诸如纹理映射(Texture Mapping)等很多技术来增加物体的真实性。但是,利用传统的计算机图形学不论模拟多么逼真,如果您想透过物体的外表面看物体的内部,您将一无所获。原因是这些场景缺少真实物体的内部信息。因而,面成像的最大缺陷就是它只能描述物体的表面,换句话说,它无法描述物体的内部。例如,在前列腺的诊断和治疗当中,如果前列腺肿胀的话它就会压迫尿道,在这种情况下病人会感到排尿困难。为了获得更好的治疗方案和配合外科手术,医生不仅要了解前列腺的病变情况还要了解尿道的