

TSINGHUA UNIVERSITY

清华大学学术专著

三维数据场可视化

唐泽圣等 著

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>





全国高技术重点图书·信息获取与处理领域

清华大学学术专著

三维数据场可视化

唐泽圣等 著

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

科学计算可视化是 20 世纪 80 年代发展起来的一个新的研究领域。它运用计算机图形学和图象处理技术将科学计算过程中的数据以及计算结果的数据转换为图象,在屏幕上显示出来并进行交互处理。科学计算可视化极大地提高科学计算数据的处理速度和质量,实现科学计算工具和环境的现代化。本书全面详细地介绍了三维数据场可视化的研究成果,内容包括规则数据场的体绘制算法、面绘制算法、非规则数据场可视化、散乱数据可视化、科学计算可视化的并行算法、三维复杂模型的多分辨率表示以及可视化在气象、医学及石油勘探领域的应用等。系统性强,内容新颖。

本书可作为高等学校计算机或非计算机专业研究生科学计算可视化课程的教材,也可作为从事科学计算可视化技术的研究或开发人员的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

三维数据场可视化/唐泽圣等 著. —北京:清华大学出版社,1999

ISBN 7-302-03752-3

I. 三… II. 唐… III. 三维-计算机图形学 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 50147 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:国防工业出版社印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 插页:2 字数:426 千字

版 次:1999 年 12 月第 1 版 2000 年 5 月第 2 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03752-3/TP·2100

印 数:3001~6000

定 价:36.00 元(精)

24.00 元(平)

《全国高技术重点图书》 出版指导委员会

主任：朱丽兰

副主任：刘 杲
卢鸣谷

总干事：罗见龙 梁祥丰

委员：（以姓氏笔划为序）

王大中	王为珍	牛田佳	王守武	刘 仁	刘 杲
卢鸣谷	叶培大	朱丽兰	孙宝寅	师昌绪	任新民
杨牧之	杨嘉墀	陈芳允	陈能宽	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	张兆祺	张钰珍	张效祥	赵忠贤	顾孝诚
徐修存	谈德颜	龚 刚	梁祥丰		

《全国高技术重点图书·信息获取与处理领域》 编审委员会

主任委员：陈芳允

委员：汪成为 杨震明 袁宝宗 邓又强

序 言

计算机因科学计算的需求而诞生,至今科学计算仍然是它的主要应用领域之一。50年来,随着计算机性能的飞速发展,科学计算的规模也越来越大。功能强大的计算机已广泛应用于气象预报、石油地质勘探、核爆炸模拟、空气动力学、有限元分析、分子生物学等众多需要大量计算的领域。在这些科学计算中,计算结果的数据量十分巨大,常规方法已难于处理。20世纪80年代末出现的科学计算可视化,将科学计算的结果数据转化为图象,使人与数据、人与人之间实现图象通信,对计算过程实现引导与控制并观察其影响,极大地提高了科学计算数据处理的速度和质量,实现了科学计算工具和环境的现代化。

我国学者自20世纪90年代初开始进行科学计算可视化技术的研究,取得了丰硕的研究成果。本书作者唐泽圣教授和他的学生是国内最早开展科学计算可视化研究的群体之一。他们撰写的这本讨论三维数据场可视化的书是一本关于科学计算可视化技术的专著。它不仅系统地介绍了国内外优秀的三维数据场可视化算法,而且重点阐明了他们自己多年来的创造性成果,系统性强,内容新颖,并以彩图表示结果图象,形象直观。书中的不少算法已经应用于作者开发的可视化应用系统中。这是一本值得推荐的好书。希望这本书的出版,能进一步推动我国科学计算可视化技术的研究和教学,以使科学计算可视化技术在国民经济和人民生活的各个领域得到广泛应用。

张敦祥

1999年7月

前 言

科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)是发达国家在 20 世纪 80 年代后期提出并发展起来的一个新的研究领域。1987 年 2 月,美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。会议指出:科学家们不仅需要分析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,这些都要借助计算机图形学及图象处理技术。因而“将图形和图象技术应用于科学计算是一个全新的领域”。会议将这一领域定名为“Visualization in Scientific Computing”,简称“Scientific Visualization”。近年来,科学计算可视化又扩展到工程计算可视化及测量数据可视化。

实现科学计算可视化具有多方面的重要意义。它可以广泛应用于气象学、石油勘探、计算流体力学、分子生物学、医学教育与医疗、有限元分析等领域。它是发现和理解科学计算过程中各种现象的有力工具;它可以大大加快数据的处理速度,使目前每日每时都在产生的庞大数据得到有效的处理;它可以在人与数据、人与人之间实现图象通信,而不是目前的文字通信或数据通信;它还可以使人们对计算过程实现引导和控制,通过交互手段改变计算依据的条件并观察其影响。总之,科学计算可视化将极大地提高科学计算数据的处理速度和质量,实现科学计算工具和环境的现代化。

科学计算可视化的实质是,运用计算机图形学和图象处理技术将科学计算过程中的数据以及计算结果的数据转换为图象,在屏幕上显示出来并进行交互处理。它涉及到三维数据场的可视化,计算过程的交互控制和引导,图形生成和图象处理的并行算法,面向图形的程序设计环境,图象传输的宽带网络和协议以及虚拟现实技术等。而其核心则是三维数据场的可视化。

1991 年,作者所在的研究组开始进行科学计算可视化的研究,承担了国家自然科学基金重点项目,八六三高技术项目及用户委托的应用项目。先后对规则数据场的体绘制算法、面绘制算法、非规则数据场可视化、散乱数据可视化、科学计算可视化的并行算法、三维复杂模型的多分辨率表示等问题进行了研究并将其应用于气象数据、医学数据及石油勘探数据的可视化。为了总结前一段的工作,与国内同行交流研究成果,也是为了让刚刚进入这一领域的青年学者了解已有的工作,尽快进入前沿课题,我们撰写了这本专著。围绕三维数据场可视化这一题目,介绍国际上的先进研究成果,与此同时,也系统地总结了我们自己的研究工作。

本书共分十章。第一章为绪论。首先对科学计算可视化做了一个概述。然后,介绍了三维数据场可视化的基本原理。第二章是三维空间数据场的直接体绘制。在介绍了体绘制的基本概念后,讨论了图象空间扫描和物体空间扫描的体绘制技术,以及频域体绘制和三维纹理硬件支持的直接体绘制等。第三章是三维空间数据场中构造等值面的算法,包括移动立方体方法和移动四面体方法。第四章是三维空间不规则数据场的可视化算法。第五章是散乱数据的可视化。第六章是三维矢量场的可视化。第七章专门讨论如何由二维

轮廓线重构三维形体。在比较系统地讨论了多种不同的三维数据场可视化算法以后,第八章着重讨论可视化中复杂模型的简化及多分辨率表示。第九章讨论三维数据场可视化算法的并行实现。最后,第十章简单介绍了作者所在研究组开发的两个三维数据场可视化实用系统。全书除介绍了三维空间数据场可视化的基本原理及国际国内提出的优秀算法以外,给出了作者及其学生提出并实现的 15 个新算法和改进算法。

本书的第六章由浙江大学陈莉博士撰写,第九章由清华大学邓俊辉博士撰写,其余各章均由唐泽圣撰写,全书由唐泽圣整理成文。本书可作为研究生科学计算可视化课程的教材,也可作为从事科学计算可视化技术的研究或应用人员的参考书。

本书的出版,首先要感谢国家自然科学基金委员会和国家八六三高技术专家组长期以来对我们研究工作的支持,没有他们的支持,是不可能长期进行科学计算可视化的研究工作的。其次,要感谢与我在一起工作的博士生们,没有他们的辛勤劳动,也不可能有这本书的出版。最后,还要感谢中国气象局国家气象中心、中国人民解放军总医院、第三军医大学、石油天然气总公司物探局、北京应用物理和计算数学研究所、浙江大学计算机辅助设计及图形学国家重点实验室以及中国科学院计算所和软件所等单位在长期的合作中给我们的帮助。

由于作者水平有限,书中难免有错误及不当之处,请读者批评指正。

唐泽圣

1999 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 科学计算可视化概述	(1)
1.1.1 科学计算可视化的含义	(1)
1.1.2 实现科学计算可视化的重要意义	(2)
1.1.3 科学计算可视化的应用领域	(3)
1.1.4 科学计算可视化的研究内容	(5)
1.1.5 国内外科学计算可视化现状	(6)
1.2 三维空间数据场可视化	(8)
1.2.1 数据类型	(9)
1.2.2 三维空间数据场可视化的基本流程	(12)
1.2.3 两类不同的三维空间数据场可视化算法	(14)
第 2 章 三维空间规则数据场的直接体绘制	(15)
2.1 体绘制技术中的重采样	(16)
2.1.1 几个基本概念	(16)
2.1.2 图象信号的空域和频域表示	(17)
2.1.3 滤波	(18)
2.1.4 重构与重采样	(23)
2.2 体绘制中的光学模型	(24)
2.2.1 光线吸收模型	(25)
2.2.2 光线发射模型	(26)
2.2.3 光线吸收与发射模型	(26)
2.3 图象空间扫描的体绘制技术——光线投射体绘制算法	(28)
2.3.1 光线投射算法的基本原理	(28)
2.3.2 三维数据场的分类问题	(29)
2.3.3 颜色赋值	(32)
2.3.4 图象合成	(33)
2.3.5 明暗计算	(34)
2.3.6 改进的光线投射体绘制算法	(34)
2.3.7 用光线投射算法显示多等值面	(35)
2.4 物体空间扫描的体绘制技术	(38)
2.4.1 足迹表法	(38)
2.4.2 基于错切-变形技术的体绘制算法	(45)
2.4.3 体元投射法	(47)

2.4.4	子区域投射法	(51)
2.5	频域体绘制技术	(58)
2.5.1	频域体绘制技术的原理	(58)
2.5.2	基于物质分类和颜色赋值的频域体绘制算法	(60)
2.5.3	重构核阶次的自适应选择	(62)
2.5.4	进一步减少计算量和存储空间	(66)
2.5.5	频域体绘制中的指数深度补偿	(71)
2.5.6	频域体绘制中的边界面动态突出算法	(74)
2.6	由三维纹理映射硬件支持的直接体绘制	(76)
2.6.1	纹理映射	(76)
2.6.2	三维纹理映射及其硬件实现	(76)
2.6.3	由三维纹理映射硬件支持的直接体绘制算法	(78)
第3章	构造三维空间规则数据场中的等值面	(89)
3.1	Marching Cubes (MC)方法	(89)
3.1.1	MC方法的基本原理	(89)
3.1.2	MC方法存在的问题	(92)
3.1.3	用渐近线方法判别和消除二义性	(94)
3.1.4	多边形的连接及三角化	(95)
3.1.5	等值面的成组连接	(97)
3.2	Marching Tetrahedral(MT)方法	(98)
3.2.1	MT方法的基本原理及存在的问题	(99)
3.2.2	MT方法中的二义性判别和消除	(100)
3.2.3	连接等值点构造多边形	(101)
3.2.4	多边形的三角化	(104)
3.2.5	几种方法的比较	(105)
3.3	剖分立方体方法	(106)
3.3.1	剖分立方体方法的基本原理	(107)
3.3.2	剖分立方体方法的两点改进	(107)
第4章	三维空间不规则数据场的可视化	(110)
4.1	三维空间不规则数据场可视化的光线投射算法	(110)
4.1.1	将三维空间不规则数据场转换为规则数据场	(110)
4.1.2	将光线投射算法直接应用于不规则数据场	(110)
4.2	三维空间不规则数据场的体元投影方法	(112)
4.2.1	凸多面体网格的深度排序	(113)
4.2.2	非凸多面体网格的深度排序	(118)
4.2.3	三维空间不规则数据场体元投影方法的实现	(122)
4.3	体元投影与光线投射相结合的方法	(124)

4.4	构造三维空间不规则数据场中的等值面	(125)
4.4.1	不规则网格中各角点梯度值的计算	(126)
4.4.2	单元内等值面的几何表示	(126)
4.4.3	等值面边界法向的连续性	(129)
第5章	散乱数据的可视化	(130)
5.1	中、小规模散乱数据的插值	(130)
5.1.1	与距离成反比的加权法	(130)
5.1.2	径向基函数插值法	(133)
5.1.3	有限元方法	(136)
5.1.4	实例与讨论	(143)
5.2	大规模散乱数据的插值	(144)
5.2.1	基于多层 B 样条的散乱数据插值方法	(144)
5.2.2	自适应的层次 B 样条散乱数据插值方法	(148)
第6章	三维矢量场的可视化	(153)
6.1	三维矢量场可视化概述	(153)
6.1.1	三种实验型矢量场可视化方法	(153)
6.1.2	用计算机实现三维矢量场的可视化	(155)
6.1.3	矢量场可视化的基本流程	(156)
6.2	矢量场数据的组织及预处理	(157)
6.2.1	基于六面体单元的矢量场数据组织	(157)
6.2.2	基于四面体单元的矢量场数据组织	(159)
6.3	基于几何形状的矢量场映射方法	(163)
6.3.1	点图标方法	(163)
6.3.2	矢量线方法	(164)
6.3.3	矢量面、矢量管方法	(166)
6.4	基于颜色、光学特性的矢量场映射方法	(168)
6.4.1	体绘制技术的扩展——动态体绘制技术	(168)
6.4.2	粒子方法	(169)
6.5	基于纹理的矢量场映射方法	(170)
6.5.1	点噪声方法	(170)
6.5.2	线积分卷积法	(171)
6.5.3	可变形参数域卷积法	(172)
6.6	特征可视化	(174)
6.6.1	矢量场拓扑结构分析法	(174)
6.6.2	流场中特征结构的可视化	(175)
6.6.3	基于选择的特征可视化	(176)
第7章	由二维轮廓线重构三维形体	(177)

7.1 单轮廓线之间的三维形体重构	(178)
7.1.1 凸轮廓线之间的三维形体重构	(178)
7.1.2 非凸轮廓线之间的三维形体重构	(183)
7.2 多轮廓线之间的三维形体重构	(186)
7.2.1 轮廓线对应问题的最小生成树方法	(187)
7.2.2 分支问题的中间轮廓线方法	(188)
7.2.3 将多轮廓线之间的形体重构问题转化为体数据中的 等值面构造问题	(190)
第8章 科学计算可视化中复杂模型的简化及多分辨率表示	(196)
8.1 复杂模型简化技术概述	(196)
8.1.1 模型简化技术的重要性	(196)
8.1.2 模型简化方法的分类	(197)
8.2 复杂模型简化的超面方法	(199)
8.2.1 超面算法	(199)
8.2.2 超面算法的结果举例	(201)
8.2.3 超面算法的几点改进	(202)
8.3 三角形网格的实时、连续多分辨率表示	(205)
8.3.1 基本定义	(206)
8.3.2 三种变换操作	(207)
8.3.3 重要度的定义	(208)
8.3.4 有序递减网格	(209)
8.3.5 模型简化的结果数据	(210)
8.4 基于有序递减网格的实时动态绘制	(213)
8.4.1 距离驱动的实时动态绘制	(213)
8.4.2 自适应的多分辨率绘制	(215)
8.5 快速的非流形模型简化	(218)
第9章 三维数据场可视化算法的并行实现	(220)
9.1 并行可视化算法概述	(220)
9.1.1 并行计算体系结构	(220)
9.1.2 评价并行算法的主要指标	(221)
9.1.3 三维数据场可视化并行算法	(222)
9.2 基于PVM的三维数据场可视化算法	(225)
9.2.1 将并行计算技术引入频域体绘制算法	(225)
9.2.2 并行虚拟机	(226)
9.2.3 同构机群环境中的并行频域体绘制	(226)
9.2.4 异构机群环境中的并行频域体绘制	(237)

第 10 章 三维数据场可视化实用系统简介	(239)
10.1 人体断面解剖图象三维重构系统.....	(239)
10.1.1 应用背景.....	(239)
10.1.2 系统功能.....	(240)
10.1.3 系统开发环境.....	(240)
10.1.4 算法特点.....	(240)
10.1.5 系统的实现.....	(241)
10.2 三维气象动态图象系统.....	(244)
10.2.1 应用背景.....	(244)
10.2.2 系统功能.....	(244)
10.2.3 系统开发环境.....	(245)
10.2.4 算法特点.....	(245)
10.2.5 系统设计与实现.....	(249)
参考文献.....	(253)

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	(1)
1.1 Introduction of Scientific Visualization	(1)
1.1.1 What is Scientific Visualization?	(1)
1.1.2 The Significance for Implementing Scientific Visualization	(2)
1.1.3 The Application of Scientific Visualization	(3)
1.1.4 Research Issues in Scientific Visualization	(5)
1.1.5 Current Status of Scientific Visualization	(6)
1.2 Visualization of 3D Spatial Data Sets	(8)
1.2.1 Data Types	(9)
1.2.2 Basic Pipeline for Visualizing 3D Data Sets	(12)
1.2.3 Two Different Visualization Approaches of 3D Data Sets	(14)
Chapter 2. Direct Volume Rendering of 3D Regular Data Sets	(15)
2.1 Resampling in Volume Rendering	(16)
2.1.1 Some Basic Concepts	(16)
2.1.2 Image Representations in Spatial Domain and Frequency Domain	(17)
2.1.3 Filtering	(18)
2.1.4 Reconstruction and Resampling	(23)
2.2 Optical Models for Direct Volume Rendering	(24)
2.2.1 Absorption Model	(25)
2.2.2 Emission Model	(26)
2.2.3 Absorption Plus Emission Model	(26)
2.3 Image Order Volume Rendering—Ray-casting Algorithm	(28)
2.3.1 Basic Principles of Ray-casting Algorithm	(28)
2.3.2 Classification of 3D Data Sets	(29)
2.3.3 Color Assignment	(32)
2.3.4 Image Composition	(33)
2.3.5 Shading Calculation	(34)
2.3.6 Improvement of Ray-casting Algorithm for Volume Rendering	(34)
2.3.7 Rendering Multi-isosurfaces Using Ray-casting Algorithm	(35)
2.4 Object Order Volume Rendering	(38)
2.4.1 Footprint Methods	(38)

2.4.2	Volume Rendering Based on Shear-Warp Techniques	(45)
2.4.3	Cells Projection Methods	(47)
2.4.4	Sub-volume Projection Methods	(51)
2.5	Frequency Domain Volume Rendering	(58)
2.5.1	Principles of Frequency Domain Volume Rendering	(58)
2.5.2	Frequency Domain Volume Rendering Based on Data Classification and Color Assignment	(60)
2.5.3	Adaptive Selection for the Order of Reconstruction Kernel ...	(62)
2.5.4	Reducing Calculation Time and Memory Space	(66)
2.5.5	Frequency Domain Volume Rendering with Exponential Depth Effects	(71)
2.5.6	Boundary Sharpening Algorithm in Frequency Domain Volume Rendering	(74)
2.6	Volume Rendering Based on 3D Texture Mapping Hardware	(76)
2.6.1	Texture Mapping	(76)
2.6.2	3D Texture Mapping and Its Implementation with Hardware	(76)
2.6.3	Volume Rendering Algorithms Based on 3D Texture Mapping Hardware	(78)
Chapter 3.	Creating Iso-surfaces in 3D Regular Data Sets	(89)
3.1	Marching Cubes Methods	(89)
3.1.1	Basic Principles	(89)
3.1.2	Problems in Original Marching Cubes Methods	(92)
3.1.3	Using Asymptote Method to Detect and Eliminate Ambiguity	(94)
3.1.4	Polygon Connection and Triangulation	(95)
3.1.5	Grouping Iso-surfaces	(97)
3.2	Marching Tetrahedral Methods	(98)
3.2.1	Basic Principles	(99)
3.2.2	Ambiguity Detection and Elimination	(100)
3.2.3	Creating Polygons	(101)
3.2.4	Triangulating Polygons	(104)
3.2.5	Comparison among Different Methods	(105)
3.3	Dividing Cubes Methods	(106)
3.3.1	Basic Principle	(107)
3.3.2	Some Improvements	(107)
Chapter 4.	Visualization of 3D Irregular Data Sets	(110)

4.1	Ray-casting Methods in Visualization of 3D Irregular Data Sets	.....	(110)
4.1.1	Converting 3D Irregular Data Sets to 3D Regular Data Sets	...	(110)
4.1.2	Applying Ray-casting Methods on 3D Irregular Data Sets Directly	.....	(110)
4.2	Cell Projection Methods in 3D Irregular Data Sets	.....	(112)
4.2.1	Depth Sorting in Convex Polyhedral Meshes	.....	(113)
4.2.2	Depth Sorting in Non-Convex Polyhedral Meshes	.....	(118)
4.2.3	Implementation of Cell Projection Methods in 3D Irregular Data Sets	.....	(122)
4.3	Combination of Cell Projection Methods and Ray-casting Methods	...	(124)
4.4	Creating Iso-surfaces in 3D Irregular Data Sets	.....	(125)
4.4.1	Gradients Calculation on Nodes in Irregular Meshes	.....	(126)
4.4.2	Geometric Representation of Iso-surfaces in Elements	.....	(126)
4.4.3	Normal Continuity on the Boundary of Iso-surfaces	.....	(129)
Chapter 5.	Visualization of Scattered Data	.....	(130)
5.1	Interpolation of Medium and Small Scale Scattered Data	.....	(130)
5.1.1	Inverse Distance Weighted Methods	.....	(130)
5.1.2	Radial Basis Function Methods	.....	(133)
5.1.3	Finite Element Methods	.....	(136)
5.1.4	Examples and Discussion	.....	(143)
5.2	Interpolation of Large Scale Scattered Data	.....	(144)
5.2.1	Scattered Data Interpolation Based on Multilevel B-spline Surfaces	.....	(144)
5.2.2	Scattered Data Interpolation Based on Adaptive Hierarchical B-spline Surfaces	.....	(148)
Chapter 6.	Visualization of 3D Vector Data Sets	.....	(153)
6.1	Introduction for Visualization of 3D Vector Data Sets	.....	(153)
6.1.1	Three Experimental Methods	.....	(153)
6.1.2	Using Computer to Visualize 3D Vector Data Sets	.....	(155)
6.1.3	Flowchart for Visualization of 3D Vector Data Sets	.....	(156)
6.2	Organization of Vector Data and Preprocessing	.....	(157)
6.2.1	Organization of Vector Data Based on Hexahedral Elements	.....	(157)
6.2.2	Organization of Vector Data Based on Tetrahedral Elements	.....	(159)
6.3	Vector Data Mapping Based on Geometric Shapes	.....	(163)
6.3.1	Pointer Methods	.....	(163)

6.3.2	Vector Lines Methods	(164)
6.3.3	Vector Surfaces and Vector Tubes Methods	(166)
6.4	Vector Data Mapping Based on Colors and Optical Feature	(168)
6.4.1	Dynamic Volume Rendering	(168)
6.4.2	Particle Methods	(169)
6.5	Vector Data Mapping Based on Texture	(170)
6.5.1	Spot Noise Method	(170)
6.5.2	Linear Integration Convolution Methods	(171)
6.5.3	Convolution Methods Using Parametric Region with Changeable Shape	(172)
6.6	Feature Visualization	(174)
6.6.1	Topological Structure Analysis in Vector Data Sets	(174)
6.6.2	Visualization of Feature Structure in Flow Field	(175)
6.6.3	Feature Visualization Based on Selection	(176)
Chapter 7.	Construction of 3D Objects from Serial 2D Contours	(177)
7.1	Construction of 3D Objects from Single Branching 2D Contours	(178)
7.1.1	Construction of 3D Objects from Single Branching Convex 2D Contours	(178)
7.1.2	Construction of 3D Objects from Single Branching Non-Convex 2D Contours	(183)
7.2	Construction of 3D Objects from Multiple Branching 2D Contours ...	(186)
7.2.1	Minimum Spanning Tree for Correspondence Problem	(187)
7.2.2	Intermediary Contour Methods for Branching Problem	(188)
7.2.3	Using Marching Cubes Methods to Construct 3D Object from Multiple Branching Contours	(190)
Chapter 8.	Simplification of Complex Models and Multi-resolution Representation in Scientific Visualization	(196)
8.1	Introduction	(196)
8.1.1	Significance of Model Simplification	(196)
8.1.2	Taxonomy for Model Simplification Methods	(197)
8.2	Super-surface Methods in Model Simplification	(199)
8.2.1	Super-surface Methods	(199)
8.2.2	Examples of Super-surface Methods	(201)
8.2.3	Improvements of Super-surface Methods	(202)
8.3	Continuous, Real-time Multi-resolution Representation for Triangular Meshes	(205)
8.3.1	Some Definitions	(206)

8.3.2	Three Operations for Transformation	(207)
8.3.3	Definition of Importance	(208)
8.3.4	Sorted Decremental Triangular Mesh (SDTM)	(209)
8.3.5	Results of Model Simplification	(210)
8.4	Rendering of Triangular Meshes Based on SDTM	(213)
8.4.1	Multi-resolution Selection Based on Distance	(213)
8.4.2	Multi-resolution Selection Based on Interactive Speed	(215)
8.5	Simplification for 3D Non-manifold Models	(218)
Chapter 9	Parallel Implementation for Visualization of 3D Data Sets	(220)
9.1	Introduction	(220)
9.1.1	Architecture for Parallel Computing	(220)
9.1.2	Criteria for Evaluating Parallel Algorithms	(221)
9.1.3	Parallel Algorithms for Visualization of 3D Data Sets	(222)
9.2	Parallel Algorithms for Visualization of 3D Data Sets Based on PVM	(225)
9.2.1	Implementation of Frequency Domain Volume Rendering Using Parallel Computing	(225)
9.2.2	Parallel Virtual Machine (PVM)	(226)
9.2.3	Parallel Frequency Domain Volume Rendering in Homogeneous Cluster Machines	(226)
9.2.4	Parallel Frequency Domain Volume Rendering in Heterogeneous Cluster Machines	(237)
Chapter 10	Application Systems for Visualization of 3D Data Sets	(239)
10.1	3D Reconstruction System for Cross Section Images of Human Body	(239)
10.1.1	Background	(239)
10.1.2	System Performance	(240)
10.1.3	Development Environment for System	(240)
10.1.4	Algorithms Description	(240)
10.1.5	System Implementation	(241)
10.2	3D Meteorological Dynamic Image System	(244)
10.2.1	Background	(244)
10.2.2	System Performance	(244)
10.2.3	Development Environment for System	(245)
10.2.4	Algorithms Description	(245)
10.2.5	System Design and Implementation	(249)
References	.....	(253)