

计算机图形学 与角色群组仿真

COMPUTER GRAPHICS AND
CROWD SIMULATION

● 陈红倩 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

计算机图形学与 角色群组仿真

陈红倩 著



机械工业出版社

本书以群组仿真技术的实现过程为主线,综合群组仿真涉及的几大模块,针对模型变形技术、动作驱动技术、快速绘制技术以及硬件加速技术进行探讨和阐述。书中包含了大量的实例介绍和代码示例,具有一定的视角广度和技术深度。

本书可以作为运动仿真和角色群组仿真方面的参考书,还可以作为计算机图形学领域技术人员提高性参考书,对于图形硬件编程人员也具有参考与实用意义。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学与角色群组仿真/陈红倩著. —北京:机械工业出版社, 2011.4

ISBN 978-7-111-33883-3

I. ①计… II. ①陈… III. ①计算机图形学②计算机仿真
IV. ①TP391.41②TP391.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第051183号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国 吕 潇 责任编辑:吕 潇

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:路恩中 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·10.75印张·214千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-33883-3

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着计算机图形学技术的发展,3D 动画技术、虚拟现实技术以及数字电影制作技术出现了空前的进步,令各领域的专家们都刮目相看,从而进一步激发了大量的新应用、新热点。在军事演习、人群行为模拟、大型舞台节目设计、电影战争场面制作等应用中,由于涉及大量的运动人物或其他个体,因此达到理想的最终效果需要非常长时间的编排和训练,花费大量的人力物力。虚拟现实的发展为这类场景的设计提供了一个完善的仿真环境,通过设置个体的行为模式可以迅速地实现整体的场景效果,反之,还可以根据整体场景效果,计算出个体的行为模式,从而指导实际训练。

随着奥运会开幕式、阅兵式、国庆晚会等大型表演受到全国人民的喜爱,科研工作者对角色群组仿真技术也越来越关注。如何使用计算机仿真的方法,对实际演习、演练、编排起到更好的辅助与加速作用,并提高实际展现的效果水平,是一个热门的研究课题。

角色群组仿真技术是一种虚拟现实领域的技术,它通过计算机建模手段将最终场景中的实体进行建模,并通过骨骼、蒙皮动画等手段驱动场景中的实体,辅以大规模绘制技术,实现大规模运动角色的快速仿真。如在电影《指环王3:王者无敌》中6万人的战争场面,就是一个大规模群组运动仿真的典型应用。同时,角色群组仿真技术还包含场景编排的逆向过程,即将整体的场景效果,通过分解计算得到场景中每个个体的动作,这对于实现导演意图的快速编排具有极大的帮助。

在计算机图形学领域中,角色动作驱动、角色变形与角色快速绘制方法是角色仿真过程中的三个必要过程,也是大规模角色群组仿真的基础。针对这三方面的研究,近几年来,国内、国际的期刊均有相当多的论文发表。

本书以角色群组仿真技术的实现过程为主线,针对其所涉及的模型变形技术、模型驱动技术、快速绘制技术以及硬件加速技术进行探讨和阐述。在每章中,首先介绍这类技术的当前概况、技术原理以及主要实现方法,然后介绍本书作者所提出的新方法、新技术,并针对该技术的优越性与之前的方法进行对比,最后使用该方法实现应用实例,并展示实例结果。在每章的内容中,都引用了大量的参考文献,针对当前的技术概况进行了深入的分析与归纳总结,包含了大量的实例介绍和代码示例,具有一定的视角广度和技术深度。

本书针对角色群组仿真过程中几大模块的技术难点、重点进行了详尽的阐

述,对技术的实现过程和应用实例进行了讲述,并概述了所涉及的图形学基础,以及图形硬件加速方法。本书的内容主要包含如下几部分:

(1) 计算机图形学与群组仿真概述。该部分主要介绍群组仿真技术的应用背景、技术概要,群组仿真技术的几大模块的相互关系等内容。

(2) 角色变形技术。变形技术是所有运动仿真技术的基础,所有运动的对象都将通过变形实现其运动。在本书中将分别介绍和研究针对2D图像角色和3D模型角色的运动变形技术。

(3) 运动驱动技术。使角色真实地运动起来,需要准确且合理的运动数据。在本书中将分别就运动数据的获取与转换、迁移、应用等方面进行介绍和探讨性研究。

(4) 快速绘制技术。随着群组仿真中运动个体的数量越来越多,绘制成为群组仿真的一个瓶颈。在本书中,将就当前的快速绘制技术进行介绍,并介绍本书作者在快速绘制方面所取得的一些研究成果。

(5) 硬件加速技术。提高仿真与绘制速度,离不开计算机资源的有效利用,计算机图形硬件的发展,使得图形硬件成为一个重要的计算单元,目前最新的操作系统和大软件,均已公布将利用GPU(Graphics Process Unit,图形处理单元)提高运行效率的计划。本篇将介绍使用图形硬件进行开发的原理和步骤,以及在群组仿真中的具体实现方法。

本书可以作为运动角色仿真或角色群组仿真方面的参考书,还可以作为计算机图形学领域的技术研究人员的提高性参考书,对于图形硬件编程也具有一定的参考与实用意义。

本书的基础是作者本人博士研究期间所取得的成果,书中所附带的源代码均曾由作者本人调试通过并用于实验。在此感谢导师战守义教授、李凤霞教授对本人的精心指导,感谢本书作者原博士研究单位北京理工大学计算机学院的培养,感谢曾为本书作出贡献的同学、同事、朋友。本书的出版得到了北京工商大学各级领导的关心、支持和帮助,并得到了北京工商大学“北京市属市管高校人才强校计划”项目的资助,书中参考了国内外许多专家、学者的论著,在此一并致以衷心的感谢。

由于本书所涉及的课题内容较新,一些理论方法和技术还在继续研究之中,加之作者水平有限,书中错漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。另外,由于本书涉及大量图形学的相关知识,或有个别引用遗漏之处,在此一并致歉。

作 者

2011年4月

目 录

前言

第 1 章 群组仿真相关技术概论	1
1.1 计算机图形学	1
1.1.1 计算机二维图形学	2
1.1.2 计算机三维图形学	4
1.2 计算机动画技术	7
1.3 虚拟现实技术	8
1.4 群组仿真技术	9
1.5 计算机图形、图像、虚拟现实、群组仿真之间的关系	11
1.6 群组仿真技术的应用实例	12
1.7 本章小结	16
第 2 章 群组仿真的关键技术	17
2.1 运动角色仿真流程	18
2.2 角色动作驱动技术	20
2.3 角色模型变形技术	21
2.3.1 传统变形方法	22
2.3.2 最新的模型变形方法	24
2.4 角色快速绘制技术	25
2.5 图形硬件加速技术	26
2.5.1 硬件加速机制	28
2.5.2 硬件加速的编程实现方法	29
2.5.3 GPGPU 通用编程	30
2.6 本章小结	31
第 3 章 二维运动角色变形技术研究	32
3.1 相关工作	33
3.2 基于自适应网格的二维角色变形	35
3.2.1 自适应网格的原理	36
3.2.2 自适应网格的关节点旋转角计算	37
3.2.3 自适应网格的构建	38
3.2.4 自适应网格的面积保持	41
3.3 二维角色变形的硬件加速	43
3.3.1 自适应网格的图形硬件加速	43
3.3.2 相邻自适应网格的无缝连接	45

3.4 基于自适应网格的二维角色变形算法实现	46
3.4.1 简化骨骼标定	47
3.4.2 变形过程初始化	48
3.4.3 交互变形及渲染	48
3.5 二维角色变形关键代码	48
3.5.1 角色关节点数据结构	49
3.5.2 角色动作驱动部分代码	49
3.5.3 图形硬件 GPU 加速接口程序代码	51
3.6 实验结果与分析	56
3.6.1 基于自适应网格的二维角色变形结果	57
3.6.2 自适应网格精细度对变形结果的影响	62
3.6.3 变形计算时间与网格精细度的关系	64
3.6.4 变形计算时间与角色个数的关系	68
3.7 本章小结	72
第4章 三维运动角色变形技术研究	74
4.1 相关工作	75
4.2 基于统一基础模型的角色变形方法	77
4.2.1 规则网格的统一基础模型构建	77
4.2.2 统一基础模型的变形计算	79
4.2.3 统一基础模型变形的表面积保持	81
4.2.4 基于统一基础模型的细节保持变形	83
4.3 基于统一基础模型的三维角色变形算法实现	85
4.4 三维角色变形关键代码	85
4.4.1 主网格采样算法	85
4.4.2 计算控制网格的放缩系数	87
4.4.3 面积保持网格的计算	88
4.4.4 各部分网格合并算法	91
4.5 实验结果与分析	92
4.5.1 基于统一基础模型的三维角色变形结果	93
4.5.2 变形计算时间与基础模型精细度的关系	95
4.5.3 变形计算时间与原始模型顶点数的关系	96
4.6 本章小结	98
第5章 运动角色动作驱动技术研究	99
5.1 相关工作	100
5.2 骨骼角色运动控制技术	102
5.3 基于关节点旋转角的动作迁移方法	103
5.3.1 基于关节点旋转角的动作迁移原理	104
5.3.2 二维动作状态的三维重建	105

5.3.3 以二维角色为目标的动作迁移	105
5.3.4 源角色与目标角色的关节点对应	106
5.3.5 关键动作状态迁移	107
5.3.6 任意时刻的动作状态计算	108
5.4 基于动作迁移的角色驱动算法实现	108
5.5 动作驱动关键代码	109
5.5.1 目标模型关节点位置计算	109
5.5.2 中间帧计算算法	111
5.5.3 顶点数据计算	113
5.5.4 角色运动自动驱动算法	115
5.6 实验结果与分析	116
5.6.1 基于动作迁移的角色驱动结果	116
5.6.2 动作驱动执行时间的分析	118
5.7 本章小结	119
第6章 角色群组快速绘制技术研究	121
6.1 相关工作	122
6.2 复杂模型快速绘制技术	123
6.2.1 LOD 绘制技术	124
6.2.2 基于图像的绘制技术	126
6.3 基于动态纹理的运动角色绘制技术	127
6.3.1 大规模动态角色绘制的特点	127
6.3.2 动态纹理技术的原理	128
6.3.3 运动角色的动态纹理创建	129
6.3.4 基于动态纹理的角色绘制	130
6.3.5 运动角色绘制的硬件加速	130
6.4 基于动态纹理的角色绘制算法实现	131
6.5 大规模角色群组绘制关键代码	132
6.5.1 从立点扩展成 Billboard 板的顶点	132
6.5.2 动态角色变形计算 GPU 加速程序	133
6.5.3 Billboard 板顶点坐标计算 GPU 加速程序	135
6.5.4 程序运行计时功能函数代码	136
6.6 本章小结	138
第7章 大规模角色群组场景仿真方案	139
7.1 基于动态纹理的大规模角色群组仿真结果	140
7.2 角色群组仿真速度与角色数量的关系	142
7.3 角色群组仿真速度与角色种类数的关系	143
第8章 群组仿真技术在森林场景中的应用	145
8.1 当前的森林场景仿真方法	145

8.2 基于图像变形的单株树木变形方法	146
8.3 基于群组仿真技术的森林场景绘制方法	148
8.4 基于群组仿真技术的动态森林仿真算法实现	149
8.5 大规模动态森林场景仿真关键代码	150
8.6 实验结果与分析	151
8.6.1 基于群组仿真技术的动态森林绘制结果	151
8.6.2 动态森林仿真速度与树木数量的关系	152
第9章 总结与展望	154
9.1 本书的工作总结	154
9.2 进一步研究与展望	155
参考文献	157

第 1 章 群组仿真相关技术概论

科学技术的发展极大地扩展了人们的视野，也极大地开拓了人们的知识面，同时为提高人们对信息的理解能力，增强人的知识接收能力作出了杰出贡献。据科学研究表明，人所获取的信息中 70% 来自于眼睛，也就是说，大量的信息来源于视觉所感知的图形图像。自从计算机开始进入人们的视野以来，从指示灯到文字的打印输出，再到现在的多媒体技术，图形图像占据着计算机时代的大部分输出形式。

随着计算机处理能力的提高，人们已经不再满足于文字的交流，还希望通过人们的视觉、听觉、触觉，乃至形体、手势等参与到信息处理的环境中。这种信息的处理，已经不仅仅是针对一维的文字信息，而是针对多维的图形图像信息了。在这个过程中，计算机图形图像作为人机交互界面的主要技术支撑部分，发挥了巨大的作用，从而也成为了一个庞大的研究领域。

1.1 计算机图形学

“计算机图形学”是一门研究图形图像处理的学科，在英文中被称为 Graphics，在国内它是计算机专业学生的一门必修课，针对该门课程的教材和参考书比比皆是，但笔者经过比对发现，各大大专院校针对这门课的教学计划不尽相同，不同的图形学的教材所涉及的内容也差之甚远。其实，在图形学领域一直对计算机图形学的研究范畴有较大的争议，尤其是近些年来，随着三维图形学的发展，对于计算机图形学的涵盖内容存在较大的出入。

最初的图形学研究主要集中于如何在计算机屏幕上快速地显示文字、图像等内容（如快速地绘制出一条直线、快速地填充一个三角形区域等），以及如何充分利用有限的帧缓冲区——显示内存（显存）进行复杂的图像输出。最初的图形学研究集中于这些领域主要有两个原因，一个原因是受当时的计算机硬件条件限制，在计算机开始普及的初期，各硬件的价格都非常高昂，为降低计算机价格，不得不配置较少的内存、显存等，这对快速的内容显示提出了很高的要求；另一个原因是由于在当时的计算机显示需求中仅限于将文字内容、操作命令进行图像化，以利于更方便的操作。

摩尔定律指出集成电路上可容纳的晶体管数目，约每隔 18 个月便会增加 1

倍[⊖]，性能也将提升1倍，这一定律揭示了信息技术进步的速度。随着计算机硬件的发展，使得PC获得了越来越强的处理能力，人们在追求更快的处理速度的同时，也追求更佳的用户界面以及更好的使用体验。如在操作系统方面，从Windows 2000、Windows XP，到Windows Vista、Windows 7，操作系统的界面由标准界面过渡到Windows XP的“炫彩”界面，到Windows Vista和Windows 7的Aero玻璃效果，都吸引了大量用户群的喜爱和追捧。这些用户体验的提高，极大地促进了计算机图形学的发展，同时也引发了大量新技术和新领域的应用。

计算机硬件的发展，使得计算机图形学技术得以巨大的发展。以三维建模技术、纹理技术、混合技术、绘制技术等为代表的新技术成为人们研究的重点，而针对具体应用所衍生出的变形技术、骨骼技术、蒙皮动画等逐渐成为计算机图形学所研究的主题。计算机图形学的应用领域，也从之前的计算机平面绘图发展到更加广泛的领域，如数据可视化、计算机仿真、电影动漫、游戏技术、装备制造、编排训练等方面。

进入21世纪后，可编程图形处理单元（Generic Programming Unit, GPU）的出现，使得计算机图形学技术的发展登上了一个更高的台阶，大量的应用又开始往并行性和硬件运行等方面发展。从以往追求更佳的显示效果，开始发展为效果和性能并重，倾向于实时性大规模应用的发展之路。

在计算机图形学界内，为区分早期的计算机图形学和近期图形学的研究内容不同范畴，将最初期的计算机图形学称为二维图形学，也叫做光栅图形学，将近期的以计算机三维建模为基础的图形学技术称为三维图形学，有时也称为真实感图形学。

1.1.1 计算机二维图形学

在计算机二维（2 Dimension, 2D）图形学中，由于图形学算法的大量应用限制于计算机硬件的计算能力，研究者们在这方面花费了大量的精力，进行了深入的研究，也出现了很多著名的算法。计算机二维图形学中的一些关键技术包括几何变换、裁剪算法、扫描变换算法以及隐藏面隐藏线消除等算法。这些二维图形学中的算法，同样可以应用在三维（3D）图形学中，只是它们已经不再是研究的重点内容。在各位读者学习的过程中，也会涉及这些算法与技术。这些算法在某些方面也与本书的主题——计算机群组仿真技术相关，是几乎所有图形学技术及应用的基础。

⊖ 据查阅，“每18个月便会增加1倍”是后人修改的修正版本，摩尔最初的说法是“每年翻1番”。

1. 图形学中的几何变换

在计算机图形学中,无论是二维图形学还是三维图形学,都离不开几何变换,以三维图形学的观点看来,二维变换是三维变换的特例。在几何变换算法中,变换是通过矩阵对向量的操作实现的。每一次几何变换都可以对应为一个变换矩阵,每一个顶点的坐标使用一个向量来表示,顶点的位置改变相当于将其坐标与变换矩阵相乘,从而得到一个新的坐标向量。当一个物体的所有顶点位置发生了同样的位置改变,而顶点之间的相对位置不变,那么就相当于针对该物体完成了位置改变。当物体的各个顶点相对位置发生了不同的改变,则该物体发生了变形操作。

2. 裁剪算法

裁剪算法是计算机图形学中的一个重要部分,对于计算机图形学的执行速度有重大影响。裁剪是针对一个场景中物体可见性进行判断的算法,对于一个计算机所显示的场景来说,在逻辑上可能有上千上万件物体,但在计算机屏幕上,能同时被看到的可能只有几件,那么,对于本次计算机绘制来说,看不到的这些物体,就可以排除在当前的显示计算过程之外。

对于一个二维平面图像来说,看不到的部分包括屏幕外上下左右四个部分。由于图形系统中的每一个图形基本元素,都需要进行裁剪判断工作,因此,能否快速地判断物体是否位于窗口内,直接影响整个图形系统的效率。

裁剪算法有很多,效率的高低常常与所渲染的场景情况有关,因此需要根据实际情况选择裁剪算法。Sutherland-Cohen 算法是一种针对直线的快速裁剪算法,该算法通过计算线段的两个端点与屏幕的位置关系,获取直线是否位于屏幕内。梁友栋-Barsky 算法是另一种经典的图形裁剪算法,它不再考虑线段与屏幕边界的位置关系,而是直接将线段所在的直线与四条屏幕边界线方程进行求交,根据交点排序而决定裁剪结果。

3. 多边形的扫描变换

在计算机图形学的内部表示中,物体使用点、线、面、体表示,如三角形的图形只需要存储其三个顶点的位置即可。而要在计算机屏幕上显示,需要转换成像素表示,也称为点阵表示。顶点表示是用多边形的顶点序列来表示多边形,该方法几何意义强,占有内存少,但它不利于在屏幕显示时进行像素着色。点阵表示是用位于多边形内的像素的集合来表示多边形,该方法不包含多边形的几何信息,但便于使用帧缓冲器存储图像,并在屏幕上显示。

图形由顶点表示转换为点阵表示的过程称为光栅化。以多边形为例,图形的光栅化,即求出多边形内部的各个像素,并在帧缓冲器的对应元素上设置相应的灰度和颜色。这个过程也称为多边形的扫描转换,其转换算法主要有逐点判断法、扫描线算法、边缘填充算法、边界标志算法等。

4. 隐藏面和隐藏线的消除

隐藏面和隐藏线的消除是计算机图形学中的另一个基本问题,讨论关于图形在二维屏幕上显示时,如何消除二义性的问题,消除的结果是使得图形能够反映不透光物体中被遮挡的部分。

消除算法的主要原理就是对曲面按 Z 值的递减顺序(即由前到后)进行排序,然后计算各曲线或曲面间的交线,针对交线之间的某一个区域内,选择位于前面的曲线或曲面作为该区域的最终颜色。 Z 缓冲器算法是最简单的隐藏面消除算法之一,用一个 Z 缓冲器存储着一个屏幕(X, Y)位置上的最大 Z 值,对于每一个显示对象,与相应的 Z 缓冲器内的值进行比较,如果更靠近观察者则修改颜色显示,并同时修改 Z 缓冲器的值,直至所有对象绘制完成。

对于隐藏面和隐藏线的消除,进一步的算法改进有扫描线算法、区域子分算法、曲线扫描线算法以及区间扫描线算法。

1.1.2 计算机三维图形学

随着图形学硬件的发展,人们对于视觉效果的追求也越来越高,技术人员的关注点也已不再是如何提高裁剪算法和扫描算法的速度,而是如何获得更优质的显示效果。

在计算机图形显示设备上生成一幅高真实感的场景图像,一般需要经过场景描述(即建模过程)、坐标变换、颜色与纹理映射、绘制与显示等几个过程。在这几个过程中,坐标变换过程是最难以理解的部分,在新手学习过程中也是最容易出错的部分。如果说其他部分关系到显示效果的优劣,那么坐标变换过程则是场景能否被正确显示、能否被看到的关键。

三维坐标变换的过程包括四个步骤,它们依次是世界变换、视图变换、投影变换、视窗变换。其中世界变换实现主要负责场景中各个物体之间的位置关系,将物体坐标由其自身为基准的坐标,变换到整个场景统一的世界坐标。视图变换将物体坐标由世界坐标变换为以观察者为基准的视图坐标系中。投影变换将观察者看到的世界从三维世界中投影到二维平面世界中。投影变换分为两种,一种是正射投影,另一种是透视投影。正射投影多用于建筑蓝图或工业模型设计,在投影过程中,同样大小的物体投影后占据屏幕大小也相同;透视投影多用于动画模拟和真实感图形图像,在透视投影中,同样大小的物体当离观察者距离较远时所占屏幕面积较小。视窗变换根据最终显示窗口的大小,将图形学中的逻辑坐标变换为操作系统中的像素坐标。

随着计算机硬件的发展,尤其是图形硬件的发展,计算机图形学中的经典问题,如裁剪问题、多边形转换问题、消隐问题都已不再是图形学的瓶颈,取而代之的是建模问题、控制问题、纹理贴图、光照计算、硬件加速等问题,而在近几

年的图形技术发展过程中,很多问题已经由研究者们提供了大量的解决方案。目前,在三维图形学中仍然关注的研究重点有如下这几个部分:

1. 三维模型建模技术

三维图形学研究的第一个方面是如何快速地模拟真实世界或建立虚拟世界中的场景,因此需要在整个场景中观察什么东西,以及场景中展示的物体如何获得是一个关键问题。随着计算机处理能力的提高,人们对可视化效果的要求越来越高,所表示的模型规模越来越大,模型的细节程度也越来越详细,详细庞大的模型使得建模过程越来越复杂。研究快速建模方法,寻找更优质的模型表示方法以及使用更少的数据准确地表示模型,是三维图形学所研究的一个问题。

在三维图形学中,制作虚拟物品一般有以下三个途径:一是通过编程方法直接生成,二是使用商品化的软件辅助制作,三是通过摄像机或三维扫描仪进行拍摄。在技术实现上,建模基本可分为两步:第一步称为几何建模,主要包括用多边形或三角形拼构成对象的立体外形;第二步称为物理建模,主要包括对几何建模的结果进行纹理、颜色、光照等处理。用几何建模建立模型主要有三种方法:线框模型(也称为多边形建模)、曲面模型和实体模型。

对于上述所述的三种建模方法,多边形建模是被广泛使用的方法,在屏幕上看到的几何图形由许多互相连接的小三角形组成,这些三角形被称为“面片”。每个面片有不同的尺寸和方向,同一模型的面片数越多,则模型的细节就越细腻。

曲面建模是通过曲线(通常是 Bezier 曲线)表示表面区域边界而实现的模型定义方式,边界线之间的区域是平滑过渡的,曲面建模技术可以使用很少的细节表示出很光滑的形状,同时这种表示形式可以实现快速参数化变形。

实体造型技术是基于计算机辅助设计和制造发展起来的建模技术,能处理类似于打孔等复杂的模型表示,并可以实现自动消隐计算、侧影轮廓线等模型特征求解,对于模型的重心、体积等也可以很快求解。实体造型技术包括 CSG 体素构造表示、实体边界表示、八叉树表示、基于特征的实体造型等方法。

2. 模型变形及匹配技术

三维图形学需要研究的第二个主要方面是模型变形。图形学中所展现出来的模型,只有少部分是通过原始建模过程建出来的,更多的模型是通过变形技术实现的。随着应用领域的扩展,变形技术变得更加重要,而超大模型的变形和大规模模型的快速变形技术成为了一个研究难题。本书中所研究的很大一部分内容,就是进行模型变形方面的研究,相关章节会给出更为详细的模型变形方面的技术现状及前沿信息。

3. 三维场景快速绘制技术

三维图形学研究的第三个方面是快速绘制技术。随着图形学的发展,现在的

仿真应用的技术中,对模型的精细程度以及仿真规模,都提出了更高的要求对于仿真应用中,实时性是一个需要着重考虑的因素,因此研究超大模型或大规模仿真应用的快速绘制技术,是三维图形学中研究的一个课题。

大规模场景的实时绘制问题是虚拟场景实时生成和可视化的关键问题,也是实现实时交互性的前提。计算机三维图形学中,加快场景渲染速度往往有两种途径:一种是提高图形系统的性能,另一种就是减少场景中所需渲染的面片数。减少场景所需渲染面片数的三个重要途径:场景面片剔除、LOD 简化和基于图像的渲染。

对场景面片进行剔除是减少计算量十分明显的一种加速方法,在图形运行库(如 OpenGL 和 DirectX)中,每个面片都根据顶点顺序分为正面和背面。在渲染过程中可以指定渲染其中一面,这对于闭合物体,将减少一半的纹理和光照计算量。除图形系统运行库所内置的背面剔除算法之外,在系统渲染中所常用的剔除方法还有:视景剔除、遮挡剔除、误差合并。

视景剔除是指对场景中的物体,根据当前视点的位置和视域范围,计算物体的可视性,对当前视点下不可见的物体进行剔除。视景剔除算法一般来源于二维图形学中的裁剪算法。遮挡剔除是指对经过视景剔除保留下来的物体,根据当前的视点与面片的位置关系,通过计算面片的相互遮挡关系,剔除被遮挡的面片。误差合并是指根据面片对最终屏幕图像的贡献率,当贡献率小于既定的阈值时,对该面片进行剔除,并将其两侧的面片合并以填补这个形成的孔洞。

图形渲染过程中,使用 LOD 方法进行加速已经成为了一个标准式方法,大规模场景绘制中的 LOD 方法,基本经历了离散层次细节技术到连续层次细节技术的历程。LOD 的核心思想是将模型组织成不同细节程度的层次,绘制时按视点需求进行适当选择。研究者们针对 LOD 技术进行了近 30 年的研究,目的是寻找更好的途径,在尽量少影响最终可视效果的前提下,使绘制量减到最少。但 LOD 方法有两个不可避免的问题,一个是对最终效果逼真度的影响,另一个是在 LOD 技术中不同层次的模型的过渡不平滑性。更为详细的 LOD 的介绍,将在本书的与绘制相关的章节中进行。

基于图像的渲染方法是减少绘制所需面片的另一种思路,它通过将场景做成图像,然后通过纹理映射的形式,应用于场景中。对于基于图像的渲染来说,绘制的面片数与场景的复杂程度无关,可以大幅度减少绘制的面片数。本书中所介绍的“动态纹理技术”是基于图像渲染的一种发展形式,在快速绘制的那一章里,将会有“基于图像的渲染方法”的详细介绍和描述。

4. 图形硬件加速技术

三维图形学研究的第四个方面是硬件加速技术。图形学的发展离不开图形硬件的发展,图形学硬件的发展反过来又推动图形学技术的发展。随着 GPU 编程

的普及,越来越多地开始运用 CPU/GPU 协作的并行计算模式。研究大规模应用的硬件加速技术成为一个新的热点。

图形硬件加速技术是本文所介绍和研究的一个重点内容,随着 nVidia 公司 GPGPU 架构以及近期的统一渲染架构的提出,目前越来越多的软件开始使用“图形硬件加速技术”,而且,图像硬件加速技术已不再是计算机图形学的专利,而是成为了各种应用的加速器,如高清电影编码解码、数据压缩与分析、图像处理、计算机视觉等方面都开始应用图形硬件加速技术。最近的 Adobe Photoshop 软件的 CS5 版本,已经开始应用图形硬件加速,硬件加速应用的火热程度由此可见一斑,其应用普及时代或许即将来临。本书将详细介绍图形硬件加速的原理以及实现方法,并在各章节的应用实例中穿插其具体应用方法。

1.2 计算机动画技术

随着计算机图形学和硬件技术的高速发展,越来越多的研究机构和商业机构加入到计算机动画领域,用计算机来生成各种以假乱真的虚拟场景画面和特技效果。在过去几十年里,计算机动画一直是人们研究的热点,在全球计算机图形学盛会 Siggraph 上,几乎每年都有计算机动画的论文和专题。计算机动画每年一度的学术会议“Computer Animation”和学术期刊《Journal of Visualization and Computer Animation》为专业人士进一步交流研究成果提供了平台。目前,计算机动画已经形成一个巨大的产业。

计算机动画是计算机图形学和艺术相结合的产物,是用于创作这些电脑特技的一项专门的技术,它伴随着计算机硬件和图形学算法的发展而发展,综合利用计算机科学、艺术、数学、物理学和其他相关学科知识,在计算机上生成绚丽多彩的虚拟真实画面。在 21 世纪的今天,计算机动画已经渗透进人们生活的每个方面。例如美国迪斯尼公司的众多动画片、日本的卡通片以及数字电影中的精彩场面,都给人们留下了深刻的印象。

1993 年电影《侏罗纪公园》利用计算机特效和动画技术制作的恐龙获得了当年的奥斯卡最佳视觉效果奖。1996 年的第一部完全计算机动画制作的电影《玩具总动员》上映,给电影制作开辟了一条新路。1998 年的电影《泰坦尼克号》通过计算机生成技术表现甲板上的人物,还有电影《终结者》中恐怖而又神奇的液态机器人等。这些电影都给我们带来了深刻的印象,计算机动画已经在许多应用领域证明了其非凡的潜力,也同样使我们领略到了计算机动画的高超魅力。

计算机动画主要研究物体的运动控制技术以及与动画有关的造型、绘制、合成等技术。目前计算机动画技术大致可以分为如下 8 类:

- (1) 参数关键帧技术;
- (2) 轨迹驱动技术;
- (3) Morphing 和变形动画技术;
- (4) 过程动画技术;
- (5) 关节动画技术;
- (6) 基于物理的动画技术;
- (7) 剧本动画技术;
- (8) 行为动画技术。

这些技术保证了动画系统可以生成各种各样的复杂运动。

计算机动画根据其应用领域不同,可以分为二维动画和三维动画。二维动画研究对象为平面对象和二维形体,三维动画的研究对象为三维空间中的形体。按其实现技术来分,大致可分为关键帧动画、FFD 变形体动画、过程动画、关节动画和骨骼动画、基于物理的动画几方面。

本书的动作驱动技术部分,涉及计算机动画技术中的驱动原理,在相关章节中会给出更为详细的介绍。

1.3 虚拟现实技术

虚拟现实是做什么的?这是一个如此简单的问题,因为那么多的图形学元老以及专家们都曾给出过很明确的定义,如“利用计算机发展中的高科技手段构造的,使参与者获得与现实一样的感觉的一个虚拟的境界”;在地理信息学中,“虚拟现实是存在于计算机系统逻辑环境,通过输出设备模拟显示现实世界中的三维物体和它们的运动规律和方式”;从目前的应用来说,“虚拟现实是一种模拟三维环境的技术,用户可以如在现实世界一样地体验和操纵这个环境”这个定义更为确切。

虽然有如此繁复多样的定义,但到底哪一个描述更为确切?作者在这个领域的学习过程中,做过很多种类的工作,写过很多种类的程序,从图像处理中的直方图求解,到图像的卷积滤波边缘检测;从单个模型的建模和绘制,到虚拟场景的建立和漫游;从 OpenGL 中最基本的大茶壶的渲染,到骨骼动物或人物的运动控制;从三维物体的变形,到电磁场的可视化;从基本地形的 LOD 算法,到大规模地形的加速;从 CPU 编程到 GPU 编程;从风、烟、水等流体仿真,到衣服、软体的变形渲染,可能一页纸也未必说得完。

如果说,虚拟现实就是如其定义所述,使用计算机生成虚拟的场景,给人以类似于真实世界的体验,给人以沉浸感的体验,那么目前还未达到这样的目标。近些年的研究,在业界所能熟知的有很多,但为公众所有目共睹的却很少,公众