

60-63

复杂景观模拟的理论和技术分析

Analyses for the Theory and Implement Techniques of Complex Scenes Simulation

张 谦 石教英 蔡 虹

TP391.41

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 佛山企业博士后工作站)

摘 要 This paper presents systemic analyses for the theory and implement techniques of complex scenes simulation and the charts of the technique constitution are posed also.

关键词 Computer graphics, Complex scenes simulation

计算机图形学中复杂景观模拟的技术与理论方法,包括对自然客体(规则物体场景及不规则的自然景物)的表达再现和对人为结构(分形结构、数据场的可视化结构等)的构成展示两个方面。它们的共同之处在于对画面质量的要求,如对自然客体的模拟,需要高度真实地表达景物的层次明暗和表面质感;对人为结构的展示,则需要现出其丰富的细节与结构特性。两者不同之处在于前者所表达的是现实中存在的可见物体形态的近似图示,而后者则多是展现实中不可见的结构(即人为结构)的图形,只有依赖于计算机图形技术才能获得这类图形;它们所依赖的理论与技术也不相同:前者研究对描述对象的抽象过程,力图从现实中存在的杂乱无章的材料中概括出逻辑关系,使之具有系统性与条理性,并使最终的输出具有满足实用要求的真实性;而後者的研究目标是对描述对象(如解析映射、数据场等)通过图示进行直观了解,以促进对研究对象的深入理解,在它们之间建立有着具体含义的有效的联系。

一、基本思想与技术路线

复杂景观模拟的基本思想是:在通过造型过程获得自然客体与人为结构的几何描述或过程描述之后,进而通过位置、视点和场景的交换,依据特定的显示技术,展现出描述对象的结构细节。

造型过程是复杂景观模拟技术的基础和起点。造型过程的目标在于形状的综合处理,使我们易于将复杂景观中的物体或结构描述成形状简单或生成

过程简单的形状的组合。它是描述物体形状、模拟动态过程并为后继处理作出逻辑上、几何上或生成方法上的准备的技术学科。造型技术所提供的方法及模型是数学的、解析的、抽象的、过程的而不是具体的。

本文讨论的复杂景观的造型技术包括几何造型、体元造型及分形造型。几何造型汇集并应用计算几何、解析几何、线性代数、拓扑学、集合论、计算方法及计算机科学等领域的理论技术,通过参数几何学与实体造型技术^[1],可成功地获得规则形状物体的几何与拓扑描述,许多几何造型技术已日臻成熟且应用广泛。体元造型是以体元(Voxel, Volume element 或 volume cell)为单位来描述 3D 形体的,它在对不均质、不规则的 3D 形体的描述方面有着突出的优点,“体元图形学将可能取代面壳模型图形学来实现 3D 景物的表示、操作和绘制”^[2];分形造型^[3]的理论基础是混沌学与分析论,是近年来非线性科学与计算机图形学相结合的产物,并一直是此领域内的研究热点,它可以成功地对自然界中大量存在的不规则、不光滑、断裂、皱折等具有分形特征的形态进行过程性描述。几何造型、体元造型及分形造型技术的综合应用,是模拟复杂景观的必然要求。

在获得复杂景观的几何描述或过程描述之后,可通过真实感图形处理技术获得特定环境下的复杂景观的模拟图形。所谓真实感即照片实感。真实感图形是指可模拟出层次及质感、阴影、透明、纹理等效果的图形,是自 70 年代后期(自 Phong 照明模型提

张谦 博士后,研究方向:CG, CAD 及图像信息系统。石教英 教授,博导,浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任 研究方向:CAD&CG。蔡虹 佛山华顺资讯系统有限公司 总经理,研究方向:MIS 与图像信息系统。

出后)以来,CG工作者的一大研究领域,应用比较广泛的技术方法有扫描线算法、光线跟踪技术与辐射度技术^[4]等。

扫描线算法基于物体的几何描述和局部光照模型,用较复杂的数据结构和正则几何造型数据来快速获得具有一般真实程度的图形。它的优点是效率高、计算量小,适于一般用途的实时图形系统。

光线跟踪技术通过反向跟踪射入视点的光线,可有效地模拟3D场景中物体间的相互作用,生成高度真实感的图形,可方便地模拟阴影、透明、动态模糊等效果,实现了整体光照模型。但其计算量巨大,约95%的CPU时间耗费在光线与物体求交计算过程中,且易造成图形混淆。

辐射度技术根据热辐射工程中的能量平衡原理,可模拟出表面色彩渗透现象,尤其适用于室内环境的模拟,生成高度逼真的画面,其缺点亦是计算量大,无法满足实时性要求。

综上所述,复杂景观模拟的技术构成主要有造型技术和真实感图形技术。其技术构成如图1所示。

复杂景观模拟的总的技术路线是:3D造型→成像与投影→真实感处理→图象输出。

二、复杂自然客体的模拟概述

自然客体的模拟是复杂景观模拟技术的重要组成部分,旨在高度真实地表达、复现自然客体的外貌,其研究对象是客观存在的可见的自然物体,它是3D真实感图形学最初、最直接的表达对象。

根据模拟技术方法的不同,自然客体的模拟可分为规则物体场景模拟和不规则自然景物的模拟两大类。其描述对象、技术原理和实现方法有着许多不同。

2.1 规则物体场景模拟

规则物体场景模拟的描述对象是可以用传统的几何方法表述的物体,可通过3D实体造型和3D曲面造型获得对象的几何拓扑的精确描述。辅之以相关的光源模型、光照模型、材质模型及真实感图形算法,可生成真实感很强的模拟图象。

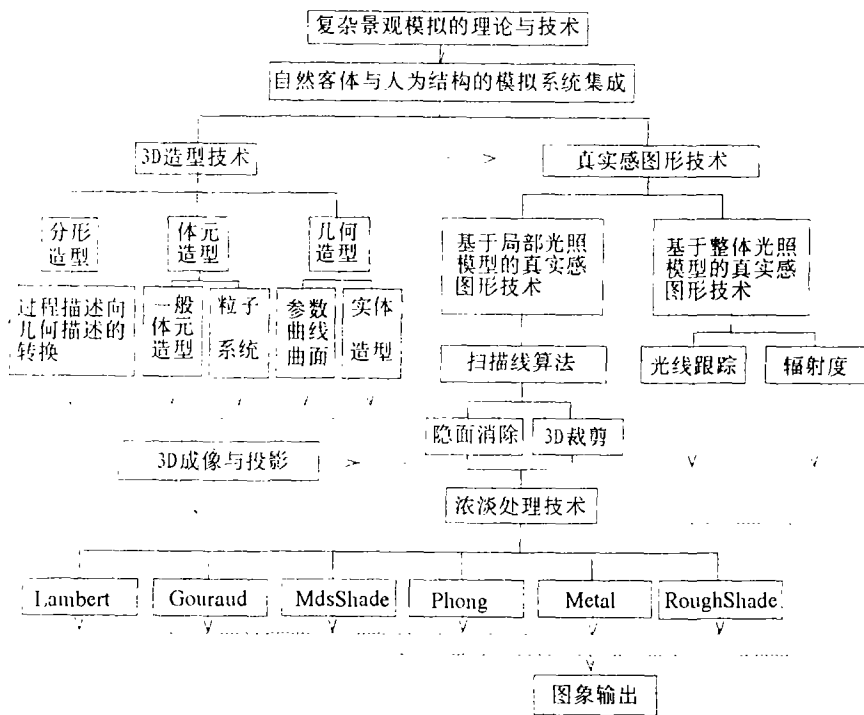


图1 复杂景观模拟的技术构成略图(其中实线表示构成,虚线表示数据的流动)

规则物体的场景是传统3D真实感图形学的研究内容,其技术基础是3D几何造型,包括实体几何造型和曲面造型技术。真实感图形技术的关键是3D成像与投影(3D变换)、材质模型、光照模型、光源模

型和真实感图形显示算法,如扫描线算法、光线跟踪技术、辐射度技术等。

光线跟踪是自然光照明物理过程的近似逆过程,即逆向跟踪从光源发出的光经环境景物的多次

反射、折射后投射到景物表面最终进入人眼的过程。其中只跟踪景物间的镜面反射光线和规则透射光线,是一近似过程。与扫描线算法相比,真实感程度逼真,缺点是效率低和易引起图形混淆。有关光线跟踪的研究大多是针对提高执行效率的技术途径,如包围盒、包围球法、空间单元子分法、复合技术、分布式光线跟踪^[5]等。

辐射度方法把组成环境的曲面视作一个封闭的系统,并假定封闭系统中的曲面均为漫反射面,然后考虑封闭系统中各个曲面之间的能量传递,根据能量平衡原理计算每一曲面上的能量,从而求出被观察点的光亮度。它可以从整体上正确计算环境中的光能分布,有效地模拟彩色渗透现象。最初的辐射度方法仅适用于由理想漫反射面组成的封闭环境,1987年Wallace等进一步推广了该方法,使之适用于包含镜面、透明面在内的复杂光照环境^[6]。

2.2 不规则自然景物的模拟

不规则自然景物,如花草、树木、云、海浪、山脉、岩石等,其共同特性是其不规则性及弯曲、断裂、褶皱的形态,用传统的几何方法很难或无法描述。目前常用的自然景物模拟方法大致有两种,一种是对景物的传统几何模型进行随机扰动,从而获得不规则景物的表面形状,如可用一非周期准高斯的随机变量对表面法矢进行扰动,从而有效地模拟出表面粗糙感的RoughShade浓淡技术。另一种方法是分形(Fractal)方法,即根据分形理论来构造一种递归模式,辅之以相关的形状控制参数(随机的或确定的)最终生成期待中的自然景物的图形。

随机分形方法的关键是随机分形内插技术,在

许多自然景观的模拟方面,该方法有着成功的应用。另一种分形方法为迭代函数系统IFS,其实质是分形重构过程,将一具有分形特征(统计的或自相似的)的图形F视作一IFS的吸引子(attractor),然后根据拼贴定理(Collage Theorem),可以找到一种以F为不变集的相似压缩映射,用IFS的图形生成方法,在此压缩相似变换族下,最终可获得F的图形,我们称此分形方法为确定分形。

综上所述,复杂自然客体的模拟主要包括规则物体场景的模拟和不规则自然景物的模拟两方面的内容,其构成如图2所示。

三、复杂人为结构的模拟技术概述

在本文中,将客观中存在的、可见的景物模拟称为复杂自然客体的模拟,而对于构成、创造主观想象的或不可见物体的图形环境的模拟技术,称为复杂人为结构的模拟。它主要由分形图形学和科学可视化技术构成。

3.1 分形图形学

复杂人为结构来源于数学,如Sierpinski垫片、Sierpinski海绵、Koch曲线、Levy曲线、Peano曲线等,由于其特殊的性态(如图3所示,初始元为一等边 Δ ,生成元为一折线的Koch雪花,其极限集所据面积有限,但周长无限),最初被经典的数学和几何学视作无理的、病态的问题。后来,分形几何对它们进行了有效地描述与分析,并获得了更多种类的具有分形特征和美学价值的美妙图形。这些大都是在计算机出现之前,人类所不曾欣赏过的图形。即使在计算机出现之后,但在分形理论诞生的70年代末之

前,人类也不曾目睹过如此精美复杂的图形。它是分形论与计算机强大的计算能力相结合的产物,其描述的对象均为现实世界中看不到、只能用计算机根据分形方法生成的对象。这类对象从数学意义上讲是极限分形集,但在计算机上的迭代或递归次数不可能达到无限,故输出图形实质上是极限分形集的近似集,所以我们统称此类技术为复杂人为结构的模拟技术。

分形图形学是复杂人为结构的模拟技术的重要组成

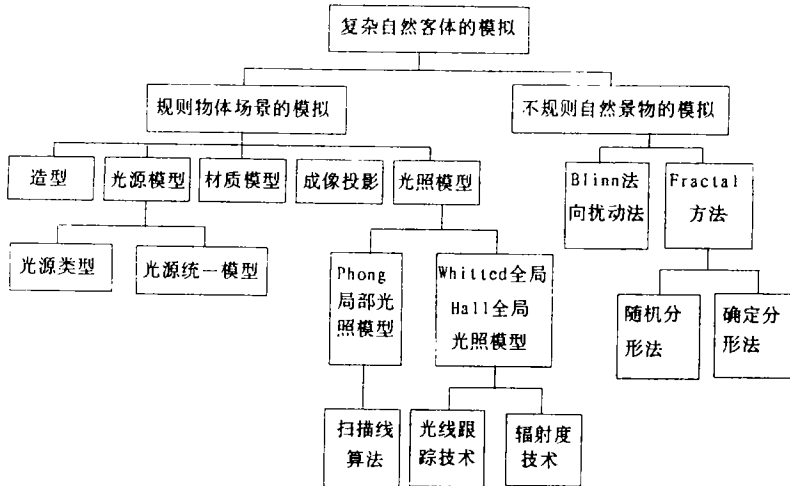


图2 复杂自然客体模拟的技术构成略图

部分,它包括:解析分形集^[7],由非线性复解析映射在某种规则下经迭代生成;随机分形集^[8],通过将随机变量引入递归或迭代过程来实现分形集的绘制;确定分形集^[9],即迭代函数系统 IFS 及其改进;几何分形集^[10],主要由两个几何图形(生成元、初始元)经递归仿射变换替代过程来生成。

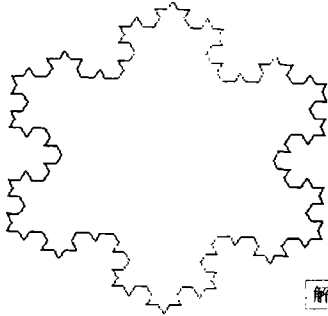
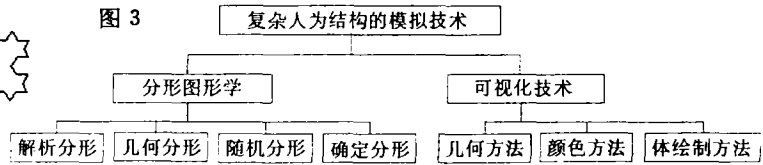


图 3



3.2 可视化技术

近年来迅速发展的可视化

技术^[11],由于其大多数的输出结果是一种只能由计算机生成的结构图形,故本文中也将其归入复杂人为结构的模拟技术的范畴中。

科学可视化的目的是将科学计算或实测产生的数据转变为直观的、易于理解的、可进行交互分析的、以图形或图象形式表示的静态或动态画面,从而使之成为发现、理解、分析数据场中所蕴含的特性、规律、现象的有力工具。

科学计算可视化涉及的主要技术问题有:高维标量、矢量、张量场的显示;模拟和计算过程中的交互控制及引导;面向图形的程序设计环境;工作站和超级计算机的联网使用;数据场的动态显示;用于图形、图象处理的特殊硬件;用于可视化的硬件和软件国际标准等。

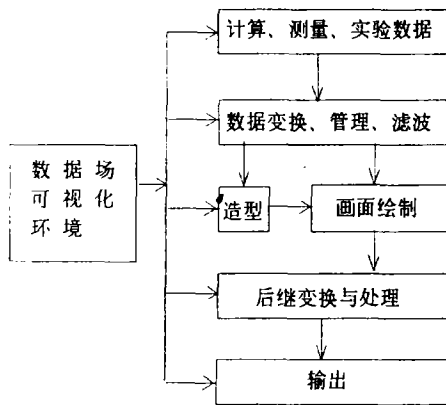


图 4 数据场可视化的一般流程图

图 4 为实现可视化的一般流程。当数据场经变换、管理、滤波后,若为体元模型,则可根据体元显示方法直接进行画面绘制,否则,需要经造型手段构造出连续的场分布或从中构造所需的几何元素,之后方能进行绘制。分形图形学与可视化技术目前还不成熟,技术体系还没有最终形成,许多问题正待进一步研究解决。

综上所述,分形图形学与可视化技术共同构成了复杂人为结构的模拟技术,其技术构成略图如图 5 所示。

图 5 复杂人为结构的模拟技术构成

参考文献

- [1] B. A. Eastman and Henrion M. , Geometric Modeling: A Survey, CAD, 11(5)1979
- [2] Arie Kaufman, et al. , Volume Graphics, COMPUTER, 26(7)1993
- [3] Mandelbrot B. , The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco, 1983
- [4] Goral C. M. et al. , Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces, Computer Graphics, 18(3) 1984
- [5] R. Pulleyblank and J. Kapengga, The Feasibility of a VLSI Chip for Ray Tracing Bicubic Patches, IEEE CG&A, March, 1987
- [6] Wallace J. R. et al. , A Two-Pass Solution to the Rendering Equations: A Synthesis of Ray Tracing and Radiosity Methods, Computer Graphics, 21(3)1987
- [7] Mandelbrot B. , On the Quadratic Mapping $z \rightarrow z^2 - m$ for Complex m and z : The Fractal Structure of Its M Set and Scaling, Physica 17D 1983
- [8] G. Y. Gardner, Visual Simulation of Clouds, Computer Graphics, 19(3)1985
- [9] J. E. Hutchinson, Fractals and Self-Similarity, Indiana Univ. J. mathematics, 30(5)1990
- [10] U. G. Gujar et al. , Traversed Geometric Fractals, IEEE CG&A. , Sept. 1993
- [11] 崔汉国, 三维数据场的可视化技术研究, 博士论文, 华中理工大学, 1995. 3