

硕 士 研 究 生 读 书 报 告



题目 三维地形可视化研究综述

作者姓名 尹益鹏

作者学号 21651012

指导教师 李启雷

学科专业 软件工程

所在学院 软件学院

提交日期 二○一七年四月

The Review of 3D Terrain Visualization

A Dissertation Submitted to

Zhejiang University

in partial fulfillment of the requirements for

the degree of

Master of Engineering

Major Subject: Software Engineering

Advisor: Qilei Li

By

Yipeng Yin

Zhejiang University, P.R. China

2017

摘要

地形可视化在可视化研究领域中占有重要地位，受到人们的关注。本文展示了数字地形生成模型的主要分类、国内外学者在地形可视化方面研究的主要方法和成果；提出了分形技术是模拟地形生成的主要方法;指出地形可视化研究中采用的主要开发工具；最后归纳出地形可视化领域的研究趋势和方向。

**关键词**：移动互联网，终端技术，能源控制技术，混合开发模式

Abstract

Terrain visualization plays an important role in the field of visualization. This paper presents the main methods and results of the main classification, digital terrain model generation scholars in terrain visualization; the fractal technology is the main method to simulate the terrain; pointed out the main development tools used in the study of terrain visualization; finally summed up the trend and direction of terrain visualization research.

**Keywords：**mobile internet, terminal technology, energy control technology, Mixed development model

1国内外研究现状

早期，最简单的地形仿真方法是由稀疏分布点的高程值构成一些简单的三角形平面，从而形成地形框架，并贴以纹理图像。这种方法的显示速度很快，但基本框架过于简略，且有较强的卡通效果，因此地景的真实感受到影响。后来，三维地形生成也采用计算几何方法，即利用一些常用的参数曲面，如Bezier 曲面、B样条曲面，通过插值、拟合生成所需要的三维地形。该方法不仅计算复杂、计算量大，且生成的物体一般具有光滑的表面、规则的形状。但是，自然地形是粗糙的、不规则的，用这种方法无法生成令人满意的、真实感效果好的自然地形。

目前，实际应用中使用最多的方法是基于数字地形模型DTM( Digital Terrain Model) 生成技术。DTM 数据是由规则网格地形图上采样所得的高程值组成，与飞机或卫星上所拍摄的遥感纹理图像相对应，这些纹理图像在地形重构时被影射到相应的位置便得到逼真的地形图。但这种算法的效率很低，因为这种算法在渲染时需将遥感获得的纹理图像以最高分辨率影射到对应的多边形，而多边形和遥感图像纹理像素的数量非常大，因此如果用DTM 直接生成地形，对硬件要求非常高，需要对DTM 数据进行一些简化。数字地形模型中地形属性为高程时称为数字高程模型DEM( Digital Elevation Model)，DEM 是建立DTM 的基础数据。DEM 通常用地表规则网格单元构成的高程矩阵表示，广义的DEM 还包括等高线、三角网等所有表达地面高程的数字表示。

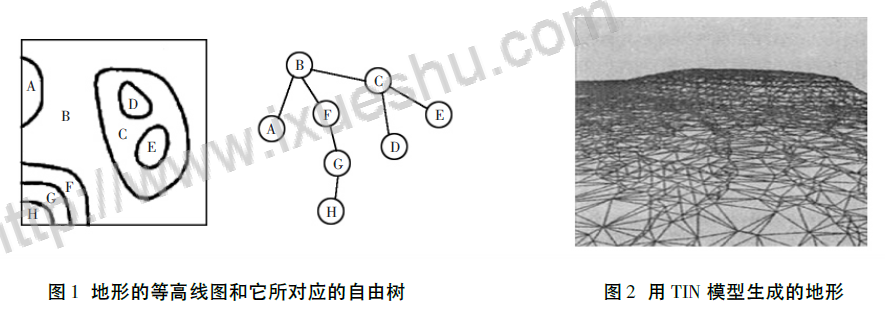
**1.1 DEM的分类**

(1) 规则网格模型。规则网格，通常是指正方形、矩形、三角形等规则网格。规则网格将区域空间切分为规则的网格单元，每个网格单元对应一个数值。数学上可以表示为一个矩阵，在计算机实现中则是一个二维数组。每个网格单元或数组的一个元素，对应一个高程值。任何不是网格中心的数据点的高程值都可采用其周围4 个中心点的高程值的距离加权平均方法进行计算。

(2) 等高线模型。等高线模型表示高程、高程值的集合是已知的，每一条等高线对应一个已知的高程值，这样一系列等高线集合和它们的高程值一起就构成了一种地面高程模型。等高线通常可用二维的链表来存储，另外的一种方法是用图来表示等高线的拓扑关系。这类图可以改造成一种无圈的自由树。图1 为一个等高线图和它相应的自由树。

(3) 不规则三角网( TIN) 模型。不规则三角网TIN( Triangulated Irregular Network) 是另外一种表示数字高程模型的方法，它既减少规则网格方法带来的数据冗余；同时，在计算效率方面又优于纯粹基于等高线的方法。图2 是用不规则三角网生成的地形。

多年以来，人们对地形的生成从不同角度或利用不同的算法做出了大量的工作，也取得了许多成就。



**1.2国外三维地形可视化研究现状**

国外在三维地形方面研究的比较早，Lindstrom 等于1996 年，首次针对Gird 提出了多分辨率地形模型实时绘制算法，他的算法采用四叉树结构，自底向上递归合并三角形直到屏幕投影误差超出阈值，得到最终的地形LOD( Level of Detail) 模型。其算法思想为以后一系列地形LOD 模型算法打下了基础。2001 年，Lindstrom等又提出了基于外存( out-of-core) 的大规模地形可视化技术，使地形数据在自顶向下细分的过程中安排数据在内、外存中调度。2002 年，他又提出的SOAR( Stateless One-pass Adaptive Refinement) 算法，类似于先前的几种方法，在规则网格上采用基于视点的最长边剖分方法，自顶向下逐步求精，每一帧均采用相同的步骤，并且把三角形条带化、视区裁剪以及几何过渡都集中在这一步骤，使得执行起来更为方便。此外，Heckbert 提出的一种通用的多分辨率LOD 地景选择方法、Eck 提出的一种通用不规则网格表面细分方法以及Staadt 提出的一种基于小波分析的地形LOD 层次细节模型生成方法。Luebke 采用分级动态简化法( HDS) ，并用视相关方法来对大的多边形场景进行自适应的简化，HDS 通过顶点对收缩操作建立的顶点层次树结构称为顶点树，这种顶点树提供了一种整个场景的连续LOD 表示方法。实时绘制时，HDS 遍历顶点树，对场景中任何有效的多边形进行绘制，并通过有效多边形来确定屏幕空间误差门限、轮廓边界和三角形概算等。这些算法和技术在某种程度上，极大地促进了地形可视化领域的发展。总之，国外对地形可视化的研究比较早，取得的成果比较丰富，这里不再赘述。

**1.3国内三维地形可视化研究现状**

国内学者对地形的可视化研究比较晚，但近年来发展比较迅速，取得诸多成就。如涂超、毋河海、王新生发表了论文：大规模地形快速渲染算法的研究，文中主要对原有的算法进行改进，目的在于减少绘制的三角形数量、处理的时间，以及合理地组织数据；李凤霞、王尚洋、黄都培发表的论文：大规模地形模型的多分辨率显示技术研究，提出了一种基于块的大地形模型多分辨率显示技术；武玉国、杜莹、王晓明等发表的论文：大规模地形TIN 模型的LOD 算法设计与实现，主要利用LOD 细节分层思想提出了一种地形TIN 模型，重点解决不同分辨率TIN 模型间的连续过渡问题；赵友兵、石教英、周骥等发表的论文：一种大规模地形的快速漫游算法，通过地形分块和视见体投影三角形扫描算法实现快速裁剪，通过调整顶点的高度值消除裂缝，通过基于三角形的四叉分割实现连续细节层次地形简化，简化了算法实现，提高了算法效率。除此之外，有些研究是主要针对提高三维模拟地形的真实感而展开的。例如：张继贤等提出的利用小波进行多尺度地形的生成方法；另一类方法则注重根据地学图形数据的精确描述，来进行真实地形的仿真，如薛安等提出的基于OpenGL 实现真实感地形表现的研究。

近年来，通过增强预处理功能等手段，研究人员发展了很多减轻CPU 实时计算负担、充分利用GPU 计算和绘制能力的算法。通过这些算法可以减轻CPU 在地形模拟中的计算负担，但GPU 技术的发展推动了人们对更高质量渲染画面的追求，同时也受到了CPU 计算能力的制约。这些缘由加上两者之间的性能差距还在不断扩大等因素，促使地形绘制领域的研究人员开始重新审视传统的单纯按照顶点最少原则设计的地形绘制算法。在这种背景下，以简化地形网格和减少CPU 计算负担为双重目标的GPU 友好型算法成为一个的研究热点。然而，有许多应用并不需要针对某个特定地区的真实地形数据来进行仿真，而是希望可以灵活地生成不同特征的地形，以满足不同的要求，或者是为了保证整个虚拟环境的真实感，需要临时增加一个具有良好视觉效果的地形作为辅助环境建模，这时如果仍然采用基于DTM 数据的地形生成方法显得并不经济适用，但应用分形技术生成地形可以解决这一问题，利用分形技术可以用尽量少的数据量来实现具有真实感虚拟地形的生成。

分形几何是Mandelbort 于1957 年造出的一个名词，分形几何关注的是物体的随机性、奇异性和复杂性，它试图透过混乱现象和不规则构型揭示隐藏在背后的局部与整体的本质联系和运动规律。分形几何具有细节无限，以及统计自相似性的典型特性，它用递归算法使复杂的景物可用简单的规则来生成，在现代的计算机图形学中，分形几何在对自然现象的真实绘制和建模方面起着重要作用。

分形布朗运动FBM( Fractional Brownian Motion) 可用来模拟地形，许多分形地景建模方法都与这一数学模型有关。分形布朗运动是现代非线性时序分析中的重要随机过程，它能有效地表达自然界中许多非线性现象，也是迄今为止能够描述真实地形的最好的随机过程。 FBM 有多种不同的实现方法，根据实现方法的不同，FBM 生成算法可细分为泊松阶跃法、傅立叶滤波法、中点位移法、逐次随机增加法和带限噪声累积法等。分形布朗运动的几个实现方法中，中点位移法是标准的分形几何法，时间复杂度仅是n 的线性次项，可用作快速地景生成。它是利用细分过程中，在两个点或多个点之间进行插值的方法来进行地景建模，因此中点位移法产生了真正的分形地表。但不同细分阶段产生的点在相邻区域中有不同的统计特性，这常会产生所谓的“折痕问题”。另外，由于这种算法地形的高程值是随机产生的，生成的山脉地形形状无法预测和控制。虽然中点位移法有这样的缺陷，但因其实现非常容易，代码简单，可递归进行；可以合成任意分辨率地形；图像对于放大缩小具有不变性。因此，此法已经成为计算机模拟中一个有代表性的方法。

2移开发工具的选择

当前，关于三维地形生成的系统多在Visual C + + 开发环境下进行的，采用的图形库是OpenGL 或Direct3D，但以OpenGL 为主。OpenGL 是一个开放的图形硬件的软件接口，是SGI 公司于1972 年7 月首次发布的作为三维图形编程的接口，目前已成为国际上通用的开放式三维图形标准。它集成了所有曲面造型、图形变换、光照、材质、纹理、像素操作、融合、反走样、雾化等复杂的计算机图形学算法，开发人员可利用这些函数对整个三维图形轻松进行渲染，达到数字化现实生活景象的目的。

在Visual C + + 开发环境下进行OpenGL 编程，就是要把OpenGL 命令函数融入到Visual C + + 程序的事件机制之中，使之与程序的其它部分结合成一个整体。类可视化系统的开发框架有: glut 框架、Win 32Application、Win 32 Console Application、基于MFC 的OpenGL 程序框架( 具体又可以细分: 基于对话框、基于单文档、基于多文档) 等。

3地形可视化研究的发展趋势

由上述可以看出地形可视化研究发展的趋势如下：① 对原算法进行改进，减少绘制数据的数量，进而提高绘制速度；② 对改进算法或原算法产生的某些视觉效果缺陷进行修正、补偿，从而得到更好的绘制效果；③ 对三维真实感地形生成的真实性进行研究，从而提高其真实感；④ 发展简化地形网格和减少CPU 计算负担的GPU 友好型算法。

除了前面提及的地形模拟研究的几个发展趋势外，地形的可控性(或可修改性)的研究也是一个热点。在地形的可控性研究中多采用分形算法生成的地形。目前来说，针对可控性这个方向的研究较少，虽然康晓清等提出过基于融合曲面造型方法的预定形状山脉地形生成，许社教等提出过基于散乱点网格化的可控地形图技术，但这些研究并不能彻底的解决分形地形不可控制和预测的缺点，如何将地形生成的真实感和可控性很好地结合是地形研究的另一个发展趋势。

5结语

地形可视化研究的内容十分丰富，如数字地形模型研究、地形的简化、相关算法的改进、地形多分辨率模型的建立或改进、地形真实感的研究、GPU 友好型算法研究、可控性地形研究、空间数据结构的研究等。经过人们多年不断的努力，取得了许多可喜成果。但本领域仍然有一些遗留问题值得人们继续研究和探索，如漫游地形的实时性显示、地形数据压缩、可控地形的研究问题等。

参考文献

［1］和平鸽工作室．OpenGL 高级编程与可视化系统开发高级编程篇( 第二版) ［M］． 北京: 中国水利水电出版社，2006: 140 － 141．

［2］范乃梅，熊坤． 基于OpenGL 的三维地形的生成与简化［J］． 郑州轻工业学院学报( 自然科学版) ，2006， 21( 3) : 84 － 87．

［3］高颖，黄罗军，许志国，黄建国． 飞行模拟用三维数字地形动态修改技术研究［J］． 西北工业大学学报， 2006， 24( 6) : 721 － 725．

［4］Lindstrom P，Koller D． Real － time， continuous level of detail rendering of height fields［A］． In: Proceedings of SIGGRA PH’96［C］，Held inNew Orleans，Louisiana，August 1996．

［5］Peter Lindstrom，Valeiro Pascucci． Visualization of Large Terrains Made Easy［A］． In: Proceedings of IEEE Visualization’2001 Conference［C］，Held in Sen Diego California，October． 2001．

［6］EckM，DeRose T，Duchamp Tetal． Multireso lution analysis of arbitrary meshes． In: Proceedings of SIGGRAPH ’95［C］，Held in Los Angles，California，August 1995．

［7］Staadt O，Gross M，Gatti R． Fast multiresolution surface meshing［A］． In: Proceedings of IEEE Visualization’95 Conference［C］，Held in AtlantaGeorgia，October 1995．

［8］涂超，毋河海，王新生． 大规模地形快速渲染算法的研究［J］． 昆明理工大学学报，2002， 27( 1) : 1 － 5．

［9］武玉国，杜莹，王晓明，游雄． 大规模地形TIN 模型的LOD 算法设计与实现［J］． 系统仿真学报， 2005， 17( 3) : 665 － 669．

［10］黄争舸． 虚拟自然场景建模和可视化的若干问题研究［D］． 杭州: 浙江大学，2000．

［11］高秀荣． 基于FBM 的可控性真实感地形的生成方法研究［D］． 青岛: 中国海洋大学， 2007．