

三维地形可视化技术研究

许兆新,花文华

XU Zhao-xin, HUA Wen-hua

哈尔滨工程大学 自动化学院, 哈尔滨 150001

College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

E-mail: newxu@126.com

XU Zhao-xin, HUA Wen-hua. Study of three-dimensional visualization technology. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(3): 91-93.

Abstract: Based on the research about organizing and real-time rendering of terrain data, this paper realizes the terrain multi-resolution representation by quadtree for getting good three-dimensional visualization effect; a reasonable node evaluation system is designed, which is based on the consideration of viewpoint and terrain roughness; for eliminating the cracks between the nodes of different resolution, a method of fast adaptive triangulation mesh division is put forward. The experiment result presents, on the premise of keeping terrain photorealistic, terrain visualization get good rendering quality and displaying rate using the technology of this paper.

Key words: three-dimensional terrain; visualization; quadtree; node evaluation system

摘要: 为了获得较好的三维可视化效果,在对地形数据组织和实时绘制技术进行研究和实验的基础上,实现了基于四叉树结构的地形模型的连续多分辨率渲染;在考虑视点和地形粗糙度的基础上,设计了一种合理的节点评价系统;提出了一种快速自适应的三角网剖分方法,有效消除了不同分辨率节点间的裂缝。实验结果表明,在保证地形真实感的前提下,该技术实现三维地形显示可以获得较好的图形质量和显示速度。

关键词: 三维地形;可视化;四叉树;节点误差评价系统

文章编号: 1002-8331(2008)03-0091-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.41; P208

1 引言

近年来,随着计算机技术,特别是计算机图形学、虚拟现实、三维可视化技术的飞速发展,使得开发出直观、形象的三维地形系统日益成为三维图形领域研究的热点。相比于二维平面地形,三维地形可以将地理数据及其分析结果转化为用户能够直观理解的信息,并且可以在此基础上进行地理信息显示和空间分析。

具有真实感的三维地形可视化最大的难点是,如何跟踪视点的变化和漫游的需要实时的模拟地形的各种形态。由于地形结构的复杂性,采用数学方法建立地形的物理模型将非常复杂,而且地形本质特征也决定了其存储数据量将非常巨大,要实时模拟地形的动态变化将非常困难。因此,在不显著减低视觉效果的情况下如何提高显示效率是关键。

本文在对地形数据管理和实时绘制技术进行研究和实验的基础,给出了节点误差评价系统和自适应三角剖分方法,实现了一个完整的地形三维可视化系统,并给出了相关的实验结果。

2 三维地形多分辨率渲染技术

2.1 地形四叉树

四叉树与二叉树都可以对规则格网(RSG)进行数据组织,

但与二叉树相比,四叉树主要具有以下优点,首先四叉树与地理信息在坐标系方面有天然的统一;四叉树结构便于同纹理影射技术相结合;能够降低选择节点的时间,加速地形简化算法。因此,可用四叉树数据结构对数字高程模型(DEM)数据进行表示。如图1所示,在图中每一个正方形为四叉树的一个节点,灰色为观察者能看到的区域。

四叉树对DEM网格数有一规定:大小必须为 $(2^n+1) \times (2^n+1)$,对于地形网格数不是 (2^n+1) 的情况,可以将地形进行补充或分割使之满足这一规定。对DEM数据作等间距格网采样,采样结果即构成四叉树的一层节点。四叉树数据结构表示地形模型时,树中的每一个节点都覆盖地形中的一块相应的矩形区域。上层的节点涉及的采样点较少,用其来表示地形时具有更高的绘制效率,但具有较低的分辨率,地形表示的误差较大。底层地形的分辨率高,误差小,但绘制效率低。因此,用四叉树表示地形场景时,可以由分辨率的变化,动态选择节点层次,使其具有最高的绘制效率,这在交互式的地形漫游中,具有重要的意义。

2.2 节点误差评价系统的建立

基于四叉树的地形模型的多分辨率表示,还要考虑地形场景视相关和地形粗糙度的因素,动态选择一组最优地形节点来

实现对地形模型的连续多分辨率表示。

视相关因素主要体现在观察点和节点之间的距离上,离观察点近的地方分辨率较高,反之较低。将距离因素应用于一个节点的时候还应该考虑到节点的大小,因此结合图2,给出如下公式:

$$\frac{l}{d} < C_1 \quad (1)$$

其中 l 为视点到节点中心位置之间的距离, d 为节点大小, C_1 为一可调因子, C_1 越大,地形分辨率越高,反之越低。

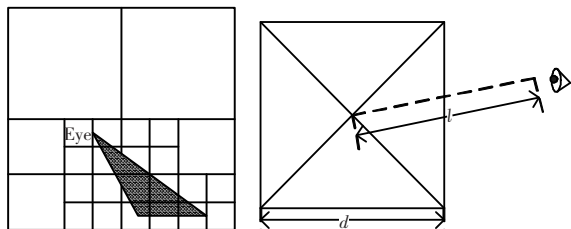


图1 一个地形的四叉树表示 图2 视相关的节点误差

考虑地形粗糙度因素主要是使分辨率适应地形表面的变化,在地形比较平坦的地方使用较高的分辨率渲染,比较崎岖的地方使用较低的分辨率渲染。

如图3所示: $e_0, e_1 \sim e_4, e_5 \sim e_8$ 分别为四叉树中心点、四个边点、四个子节点相对于平均误差平面的误差,平均误差平面是以节点为中心,使邻域内节点具有最小拟合误差的平面。取九个值中最大的一个和节点大小的比值作为粗糙度的评价,即 $r = \max(e_0, \dots, e_8) / d$ 。由于节点的粗糙度误差为静态误差,可以在数据处理阶段完成其处理过程。

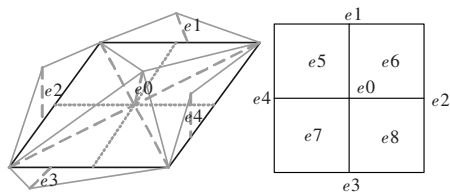


图3 地形粗糙度节点误差

综合考虑视相关和地形粗糙度这两类因素的影响,可以建立节点误差评价准则,由以下公式表达:

$$f' = \frac{l}{d \times r \times C_1} < C_2 \quad (2)$$

归一化后:

$$f = \frac{l \times C}{d \times r} < 1 \quad (3)$$

其中 l 为视点到节点中心位置之间的距离, d 为节点大小, r 为节点的粗糙度误差, $C = \frac{l}{C_1 \times C_2}$ 为可调因子。

这些因素的综合形成节点评价系统,但是在实验中发现地形随着视点的改变会发生几何形变,即视点改变时有些细节会突然出现或消失。文献[2]提出通过差值的方法来降低或者消除几何形变,但是经过研究发现这样的系统实现很困难,计算代价太大。

经过反复测试,可以通过两种方式来减少几何形变,一是通过调节可调因子 C 来降低几何形变,二是通过减少近距离时的视点依赖性,对 l 设定一个阈值 L ,当 $l < L$ 时,只使用地形粗糙度评价公式作为节点评价公式。这样虽然不能够完全消除几何形变,但是可以将几何形变控制在一个比较满意的范围内。

2.3 四叉树三角网剖分技术

采用树型结构对地形进行多分辨率渲染时,会出现天然的“裂缝”现象,如图4所示,图上节点 n_1 具有较低的分辨率,相邻节点 n_2 则具有较高的分辨率,这使得三角化时出现了未被覆盖的区域,从而在地形绘制时产生了裂缝,如图4虚线所示。

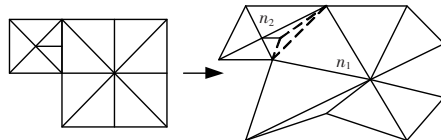


图4 “裂缝”现象的产生

解决“裂缝”现象最常用的方法是构建限制四叉树,但是限制四叉树节点间的分辨率差别最多不超过1层。文献[3]通过定义模型中顶点之间的约束关系,解决不同分辨率块之间的裂缝问题。此外还出现将产生裂隙的顶点的实际高程用伪 z 值替换,强制将裂隙点移到低分辨率模型一侧的边上^[4],这种方法虽然简单,但却破坏了地形的原始的拓扑结构。本文主要利用递归技术实现地形四叉树的自适应三角网剖分方法,不仅消除了裂缝,并且剖分结果满足了限制四叉树条件,同时还保持了地表的连续性。

对于满足误差节点评价公式的四叉树来说,可将三角剖分归结为以下五种方式,如图5所示。

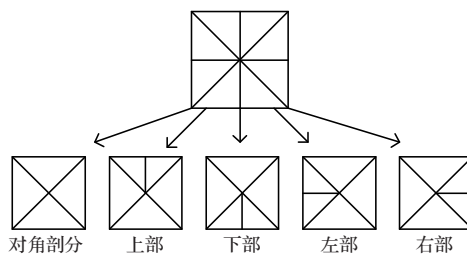


图5 四叉树分割示意图

自适应三角网剖分是在地形简化的同时进行的,具体方法如下:

- (1)如果节点与上、下、左、右相邻的4个节点(如果都存在的话)相比较,具有相同或更高的分辨率,则直接进行对角剖分;
- (2)如果与上、下、左、右相邻的4个节点(如果都存在的的话)相比较,该节点具有较低的分辨率,则首先对该节点进行相应的上部、下部、左部或右部剖分,然后判断其余4个子节点是否满足条件(1),如果不满足则继续进行相应的4部剖分,这是一个递归的过程,直到满足条件(1)。剖分结果如图6所示。

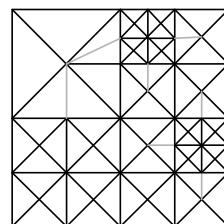


图6 自适应三角剖分

2.4 实时动态渲染方法

在地形场景可视化方面,一种提高地形场景绘制效率的有效途径是对可见区的不同范围运用不同的细节层次模型

(LOD)进行渲染,即对离视点较远的区域用较低的分辨率进行渲染;而对离视点较近的区域用较高的分辨率进行渲染,这样在给定误差阈值的情况下,即能显著地提高地形场景的绘制效率,同时又能够较好地保持地形场景的绘制效果。

地形动态渲染的关键是在不显著降低地形场景绘制效果的前提下,具有交互性^[4]。为进一步简化地形数据和提高动态显示效果,满足动态、交互性要求,在实际应用中,通常需要随着视点变化,对每一个树节点进行可见性判断,然后仅仅让可见的数据节点参与绘制。这是一个在一定节点误差评价系统下,对节点进行逐步求精、动态选择最优节点集的过程。而且,最优节点集必须完全覆盖地形场景的采样区域,既不能有重复也不能有相交,还要具有可见性,达到好的动态渲染效果。

综上,通过如下步骤完成地形场景的动态绘制:

- (1) 装载地形数据,构建地形四叉树,计算地形四叉树各节点静态误差;
- (2) 根据给定的节点误差评价系统动态地选择地形节点集,并对节点可见性进行判断,剔除不可见节点;
- (3) 对可见节点进行自适应三角网剖分与实时渲染;
- (4) 在实时漫游中,需要随着视点的变化,不断地对节点集进行调整,以实现地形的实时 LOD 控制,重复步骤(2)、(3)。

3 实验结果

本文利用 Visual C++ 6.0 和三维图形标准 OpenGL, 依据 1.4 节中过程,实验渲染算法流程图如图 7 所示。

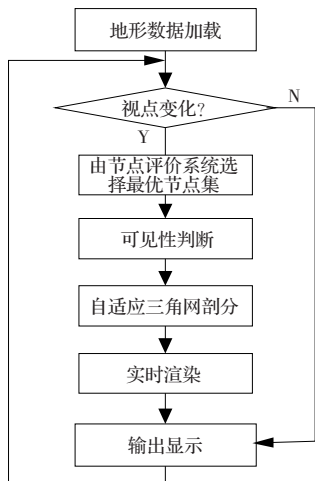


图 7 渲染流程图

本文选取了南海海域某地地形数据进行渲染,结果如图 8~10 所示。

从图 8 中可以看出,距离视点较远的区域分辨率较低,距离视点较近的区域分辨率较高,而且随着视点的改变,地形细节得到了有效调整,具有连续性,实现了 LOD 技术对场景渲染的要求;图 9、图 10 显示选取合适的节点误差评价参数,也较好地保持了地形场景的渲染效果,同时降低了几何形变。表 1 是对该地形场景进行帧率测试的结果,在对大规模三角面片进行渲染时保持了较高的帧率,场景渲染具有较高的速度。

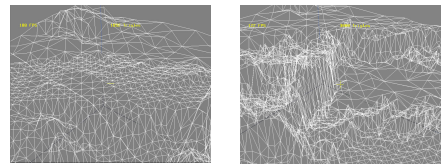


图 8 视点变换

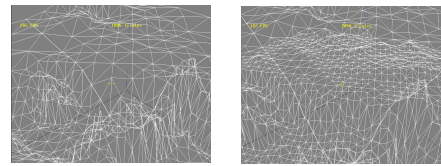


图 9 L 变化效果比较

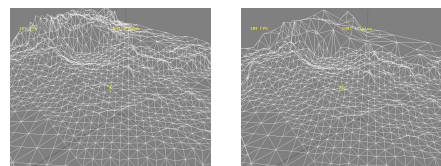


图 10 C 变化效果比较

表 1 不同三角面片数时的地形场景帧率比较

三角面片数	1 323	2 839	7 473	10 659	24 240
帧率/f/s	264	143	64	54	37

4 结论

地形场景的实时渲染是地形场景可视化的重要内容,本文针对四叉树结构的特点,在考虑视点和地形粗糙度的基础上,设计了一种合理的节点误差评价系统;提出了一种快速自适应的三角网剖分方法,该方法消除了不同分辨率节点间的 T 型裂缝,实现了地形的平滑绘制,并具有较好的绘制速度和绘制质量。

随着航空航天技术和摄影测量技术的飞速发展,获取大范围、高分辨率遥感影像数据将十分容易^[4],为此未来的工作将仍然主要集中在数据的管理上,特别是近年来提出的数字地球和数字海洋概念,如何实现大范围空间的三维实景显示,将仍然是一个极富挑战性的课题。(收稿日期:2007 年 8 月)

参考文献:

- [1] 张玉杰,崔铁军,姚慧敏.一种基于四叉树的地形模型简化快速生成算法[J].海洋测绘,2005,9(5):21-27.
- [2] Hoppe H.Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[C]/Ebert D S,Rushmeier H,Hagen H.Proc of the IEEE Visualization.Los Alamitos:IEEE Computer Society Press,1998:35-42.
- [3] 陈刚,夏青,万刚.地形 RSG 模型的实时动态构网算法的设计与实现[J].测绘学报,2002,1:44-48.
- [4] 谭兵,徐青,周扬.大区域地形可视化技术的研究[J].中国图像图形学报,2003,5:578-584.