

基于四叉树结构的多分辨率三维地形网格模型

A Multi-Resolution 3D Terrain Mesh Model Based on Quarter-Tree

杨 勇^{1,2} 刘玉树¹ 李 侃¹ 沙 芸¹

(北京理工大学计算机系 北京100081)¹ (长春理工大学 长春130022)²

Abstract Visualization of DTM (Digital Terrain Model) is the key technique at geography and simulation fields. Although graphics hardware has been greatly developed, it cannot meet the requirement of visualization of massive three-dimension terrain now. So techniques concerning model simplification, multi-resolution representation and LOD (Level Of Detail) have become the research hotspot at recent years. Based on idea of multi-resolution model, this article proposes quarter-tree multi-resolution model of three-dimension terrain. Large quantity of experiments prove this method has advantages such as high efficiency in model simplification, high speed in algorithm running and easy realization.

Keywords Terrain, Multi-resolution, Quarter-tree

1. 引言

三维地形的可视化是仿真、虚拟现实等科学可视化领域的关键技术。尽管近些年来计算机硬件技术得到了极大的发展,但三维地形作为一种复杂场景,其复杂程度往往超过了计算机图形系统的交互显示能力,而且现在模型的增长速度,也远远超过了硬件绘制能力的增长。因此人们试图通过算法和软件技术,在所期望的硬件性能和实现硬件水平之间搭起一座桥梁,三维地形数据的简化技术就是其中的一个重要研究内容。

本文所提出四叉树多分辨率模型及简化算法的基本思想是:首先规格化基本模型,利用四叉剖分对规格化格网进行重新采样,并通过加密采样技术来获得精细的模型;在采样的同时,计算各网格的法线矢量及4个相邻网格法线矢量的均方差,加密采样停止于满足系统分辨率要求,建立自顶向下的三维地形四叉树多分辨率模型;在实时绘制时,通过误差控制和网格融合技术简化模型。

2. 地形数据简化技术的三种基本模型

2.1 离散层次细节模型

这类方法就是通过简化或细化方法,生成多个离散的不同细节层次的模型;实时显示时,根据当时的条件进行选用。这些条件包括地形整体距视点的距离、投影后地形在图像空间所占像素面积以及光照强度等。交互过程中,对于每个特定的场景,只需选择一个合适的 LOD 模型进行渲染即可。由于不同 LOD 模型之间在拓扑结构上互不相关,因此这种离散 LOD 技术有一个明显的缺点,即在实时显示中,不同 LOD 模型之间进行切换时,在视觉上会

引起明显的突跳感。

2.2 连续层次细节模型

连续层次细节模型是指可以生成任意多个不同分辨率的模型,从而实现模型的连续显示。这种技术一般通过迭代运算进行各种操作,其中包括删除点、折叠边或网格中的三角形等,从而得到简化的三角形网格。这就隐含地定义了一个被简化模型的不同细节水平的层次结构。每个后继的 LOD 与前一个 LOD 相比,只有在删除点、边、三角形附近的局部区域有差别。这种方法的优点是两个前后相继 LOD 模型的差别相对较小,进行模型切换时,只会引起视觉上非常微小的变化,不易察觉。

2.3 多分辨率模型

它的基本思想是用不同 LOD 构造表示地形,其中局部分辨率可根据视点距离不同,以不同的细节层次水平表示,并且随着视点的移动作相应的变化;而对于依据地表特征变化的模型,在突变和缓变处采用不同的细节层次。这样即可在没有视觉损失的前提下,加快大面积地形的渲染速度,并且满足所需的图像质量要求。

根据上述思想,场景的不同部分必须从多个 LOD 模型中获取,即前景或突变区域从高细节版本中获取,背景或平坦区取自低细节版本。这就要求算法必须将不同的模型块连接到一起,使其连续且接合处没有裂缝,这就存在一个所谓的“空间连续性”(Spatial continuity)和“时间连续性”(temporal continuity)的问题。

3. 地形四叉树结构的建立

采用四叉树结构来表示地形,是因为四叉树在地形可视化方面有一定的优势;由于地形可视化要

涉及大规模的纹理信息,四叉树结构非常便于把纹理镶嵌技术集成进地形可视化系统中来,从而减轻图形系统的负担;采用四叉树结构,可加速地形简化算法,非常利于实时交互。

由于利用四叉树结构表示的地形是 2^n 个网格的格网结构,而地形的的基本结构模型不一定满足上述要求,因此在对地形进行四叉剖分前应对地形的的基本模型做规格化处理。地形数据的规格化处理是在地形格网的边界外增加网格,使地形格网形成 2^n 的网格结构。

3.1 地形格网的四叉剖分

通过对地形格网的规格化处理,可以得到 2^n 的地形格网结构。在此基础上通过对其做四叉剖分,对地形格网进行重新采样。图1为对地形四叉剖分的示意图。首先将经过规格化处理的整个地形在XY平面上的投影看作是一个大的网格,分别在X方向和Y方向上对其做一次等间距划分,将其划分成均匀的4个子网格,形成一个 2×2 个格网结构。然后对此次划分所得到的每一个子网格重复上述划分过程,直到所得到的子网格满足最高分辨率显示的要求。

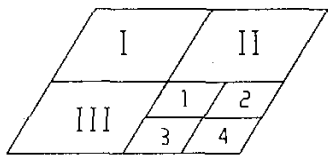


图1 四叉剖分示意图

3.2 地形四叉树的建立

地形四叉树是在对地形进行四叉剖分的过程中建立的。首先将初始的整个地形作为地形四叉树的根节点,剖分所得的4个子网格作为根节点的4个子节点。依此方法,在对其后各层网格的剖分时,各节点网格剖分所得的节点作为其子节点。由此,对于地形四叉树中任意一个非叶子节点,都存在4个子节点,且子节点所表示的采样区域恰好将父节点的采样区域四等分。地形四叉树节点结构中主要包含指向父节点和子节点的指针、2个三角面片的法线矢量、子节点的法线矢量均方差、4个顶点的位置等信息。

对树结构的操作一般采用递归算法,但因地形四叉树的结构较复杂,需用非递归算法实现,下面给出了建立地形四叉树的算法描述。

Step 1: 生成根节点,根节点入栈;

Step 2: 判断栈是否为空,若空则转 Step 6;

Step 3: 栈顶节点出栈,判断该节点所表示的网格是否满足最高分辨率要求,若满足则转 Step 5;

Step 4: 对该节点所表示的采样区域做四叉剖分,得到其4个子节点,并将子节点入栈;

Step 5: 转 Step 2;

Step 6: 结束。

3.3 地形四叉树存储结构的选择

对于四叉树结构有两种存储结构:顺序存储和四叉链表存储。由上述构造方法可知,地形四叉树一定是满四叉树结构,采用顺序存储结构可节省空间。同时,地形四叉树中相邻层节点代表相邻分辨率的地形表示,而在地形显示时,也只是显示相邻分辨率的地形网格。因此,采用顺序存储结构,搜索所要显示的网格节点速度较快。

4. 多分辨率模型

在上述的地形四叉树中,各层表示了地形在各种不同分辨率下的情况。而三维地形的结构一般较为复杂。其表现为在一些局部具有较好的平坦性,而在另外的某些局部存在突变,甚至突变较大。若以同一分辨率显示会有两方面的问题:一、用较低分辨率显示,则可能丢失地形某些细节特征;二、用较高分辨率显示,则会增加系统的无谓开销。这就要通过地形的不同局部采用不同的分辨率显示来解决,即对平坦性较好的地方用层次小的节点网格结构表示,而有突变的地方用层次大的节点表示。

多分辨率模型是在地形四叉树的基础上,对每个节点增加一个网格融合的误差控制,其作用是在显示该区域时使用上层节点的低分辨率网格还是下层节点的高分辨率网格。用于网格融合误差控制的方法较多,但大多计算较复杂。由于可以通过相邻网格法线矢量的均方差来表征该处的突变程度,本文提出一种均方差的误差控制方法:首先计算所有叶子节点网格的法线矢量,然后对每一个非叶子节点 d_i ,计算其四个子节点网格法线矢量的均方差 $E(d_i)$,在显示时对给定的误差控制阈值 ϵ ,判断各节点是否满足分辨率,以确定该节点所在区域的分辨率。那么就有:

(1) $E(d_i) > \epsilon$, d_i 与其兄弟节点进行网格融合, d_i 所在区域采用上层节点的低分辨率;

(2) $E(d_i) \leq \epsilon$ 且 $E(d_{i+1})$ 、 $E(d_{i+2})$ 、 $E(d_{i+3})$ 、 $E(d_{i+4})$ 均小于等于 ϵ , d_i 表示区域采用下层节点的高分辨率;

(3) $E(d_i) \leq \epsilon$ 且 $E(d_{i+1})$ 、 $E(d_{i+2})$ 、 $E(d_{i+3})$ 、 $E(d_{i+4})$ 不都小于等于 ϵ , d_i 表示区域采用该节点的分辨率。

其中节点 d_{i+1} 、 d_{i+2} 、 d_{i+3} 、 d_{i+4} 为节点 d_i 四个子节点。

实验与结论 本文中所述三维地形的多分辨率模型及相应算法,已用 VC++ 和 OPEN GL 实现,运用到实际的软件设计中。图2给出了实验结果的局部图,可以看到图中较为平坦的区域采用了较低分辨率

(下转第190页)

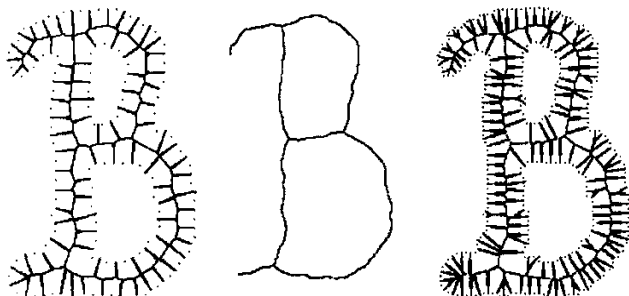


图5 Voronoi 图

图6 Voronoi 骨架

图7 采样间隔为 1/4 比划宽度的 Voronoi 图



图8 原图像

图9 轮廓采样点

图10 Voronoi 图

图11 Voronoi 骨架

- 3 Pfaltz J L, Rosenfeld A. Computer representation of planar regions by their skeletons. Communications of ACM, 1967, 10(2): 119~122
- 4 Lam L, Suen C Y. An evaluation of parallel thinning algorithms for character recognition. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(9): 914~919
- 5 Ogniewicz R L, Kubler O. Hierarchic voronoi skeletons. Pattern Recognition, 1995, 28(3): 343~359
- 6 Mayya N, Rajan V T. An efficient shape representation scheme using Voronoi skeletons. Pattern Recognition Letters, 1995, 16: 147~160
- 7 周培德. 计算几何—算法分析及设计. 清华大学出版社, 2000
- 8 Lee D T. Medial axis transformation of a planar shape. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1982, 4(4): 306~336
- 9 付庄, 王树国, 王剑英, 等. 基链分治算法与 Voronoi 区的面积计算定理研究. 软件学报, 2001, 12(3): 440~447
- 10 龚时华, 朱国力, 陈士金, 等. 二值轮廓化处理中的几个关键技术的研究. 华中理工大学学报, 2000, 28(2): 48~50
- 11 胡青泥, 欧宗瑛, 刘金义. 二值和多值图像的边界跟踪及逼近. 大连理工大学学报, 1995, 35(3): 357~361
- 12 张有会, 李秀丽, 杨立平, 等. Voronoi 图画法的改进与实现. 计算机科学, 1999, 20(11): 86~87

(上接第206页)

率的显示,而突变较大的区域采用较高分辨率显示。

简化后模型的三角面片数为原模型的79%。

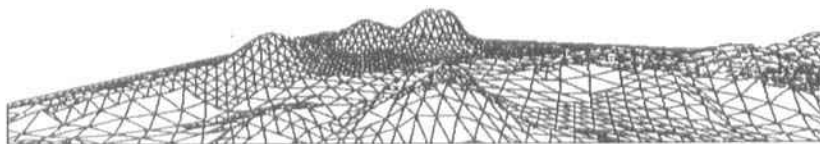


图2 地形多分辨率模型效果图

通过对文中所述模型和算法的分析以及实验结果证明,该多分辨率模型简单实用,简化率高,显示速度快;文中选择顺序结构存储四叉树,减小对内存的占用,提高了节点的搜索效率;所提出的均方差误差控制方法能有效控制面片融合程度,即提高了地形显示速度,又能够有效地保留地形的细节特征。

参考文献

- 1 Hoppe H. Progressive Meshes. SIGGRAPH'96 Proceedings, 1996, 30: 99~108
- 2 吴亚东, 刘玉树. 基于连续细节层次的地形动态生成技术. 北京理工大学学报, 2000, 20(5): 602~606
- 3 Hoppe H. Optimization of mesh locality for transparent vertex caching [a]. Rockwood A. Proceedings of SIGGRAPH'99, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series [c]. Los Angeles: Addison Wesley Longman, 1999, 269~276
- 4 Lindstrom P, et al. Real-Time continuous level of detail rendering of hight fields. Proceeding Visualization'96, 1996. 109~118
- 5 Gross M H, Gatti R, et al. fast Multi-resolution surface meshing. Proceeding Visualization'95, 1995. 135~142
- 6 齐敏, 郝重阳, 佟明安. 三维地形生成及实时显示技术研究进展. 中国图象图形学报(A), 2000, 5(4): 269~275