

# 三维动态多分辨率地形模型的研究

邹海,陈保柱

(安徽大学 计算机科学与技术学院,安徽 合肥 230601)

**摘要:**为了绘制大规模地形图,适当地减少数据,利用四叉树结构存储采样点,提出了一种与地形特征和视点相关的实时动态的多分辨率地形模型。在三维场景漫游和切换中,采用二级缓冲机制实现场景数据的快速调度和绘制,同时提出了基于细分评估函数的自适应 LOD 算法。随着分辨率的动态变化,实时递归地构建绘制当前视域地形所需的数据集。而且在起伏变化大的地形中利用有限的采样点,根据地形特征进行距离加权插值,最终提高特定地区的分辨率和绘制效果。

**关键词:**四叉树;三角网简化;多分辨率模型;二级缓冲;细分评估函数;插值

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)05-0239-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.059

## Research on 3D Dynamic Multi-resolution Terrain Model

ZOU Hai, CHEN Bao-zhu

(School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** To draw a large topographic map and reduce data, by using quad-tree structure to store the sampling point, a topographic features and view-dependent related real-time dynamic multi-resolution terrain model was proposed. In 3D scene roaming and changing, a mechanism of second-level buffering was used for data scheduling and rendering. At the same time, propose the adaptive LOD algorithm based on subdivision evaluation function. With the dynamic changes of resolution, construct recursively the data set that was used to generate required terrain in real time. In order to improve the resolution and drawing effect of a particular region, distance weighting interpolation was established with the finite points according to the regional feature.

**Key words:** quad-tree; triangular mesh simplification; multi-resolution model; second-level buffering; subdivision evaluation function; interpolation

## 0 引言

大规模三维数字地形可视化在地理信息系统、游戏、军事演习模拟等方面有广泛的应用。在三维地形可视化方面,怎样平衡渐增的海量数据和有限的计算机资源是国内外学者关注的热点问题。目前,简化地形数据是解决上述问题的有效方法之一。自1976年Clark提出细节层次模型(Level Of Detail, LOD)技术以来<sup>[1]</sup>,它就成为地形简化技术的主要思路方向,并经历了离散型LOD模型、连续LOD模型以及动态多分辨率模型的研究<sup>[2-3]</sup>。

现在的大多数LOD技术及多分辨率技术虽然使三维地形实时绘制在很大程度上得以简化,但是在场景切换、快速漫游和不同细节层次间的切换时,还是存

在场景更新显示的速度慢,产生卡屏和跳跃感较为明显等问题。而且,有时用户需要特定区域更高分辨率的仿真效果,但是有限的数据采样点,无法满足用户的要求<sup>[4-5]</sup>。

为了解决以上问题,文中基于四叉树结构的LOD模型和基于TIN的三角简化和细化方法,构建了由视距、地表起伏程度和地图颜色变化剧烈度决定的LOD细分评价函数。同时运用了二级缓冲技术来提前绘制在视域切换时,下一个满足一定条件的可能显示的区域,并把它写入缓冲区,从而实现了地形数据的渐进调度。对于局部地区的有限采样点,根据地形特征进行加权插值产生更多的点,满足特定地区的更高精度的地形显示。

收稿日期:2013-07-12

修回日期:2013-10-16

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:国家科技重大专项基金资助项目(2008ZX05039-004)

作者简介:邹海(1969-),男,副教授,研究方向为智能计算、中间件技术、图像处理、数据挖掘;陈保柱(1988-),男,硕士研究生,研究方向为地理信息系统、数据挖掘。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1453.026.html>

# 1 四叉树结构多分辨率地形模型构建

## 1.1 基于四叉树结构的地形数据管理

在实际应用中,地形可视化的原始数据就是 DEM 格网数据。用四叉树结构来构建多分辨率地形模型不仅因为它与格网数据形式统一,而且能准确快捷地选择 LOD 层次,减少地形表示时间,提高地形简化算法的效率。

使用四叉树结构进行地形表示,首先对 DEM 数据作不同精度的等间距网格采样,采样的间距由地形大小和 LOD 层次共同决定。用每一个采样间距得到的采样结果,构成树中其对应的一层节点。采用自上而

下的方式构建,网格由粗到细逐层细化。树中任意相邻的两层,下一层的采样精度都是上一次的 2 倍,采样间距是上一次的一半。四叉树中任意一个非终结节点都有四个子节点。

图 1 是四叉树结构表示的多分辨率地形模型的一个实例。树中的任意一个节点都对应地形中一块相应的区域,根节点  $C_0$  代表整个区域。同一层的所有节点如  $L_0$  层构成一种分辨率的表示, $L_1$  虚线框的来自不同层的所有节点代表了一种多分辨率地形表示, $C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}$  覆盖的区域表示具有较高的分辨率,说明在浏览地形时,该区域距视点近或地形复杂。

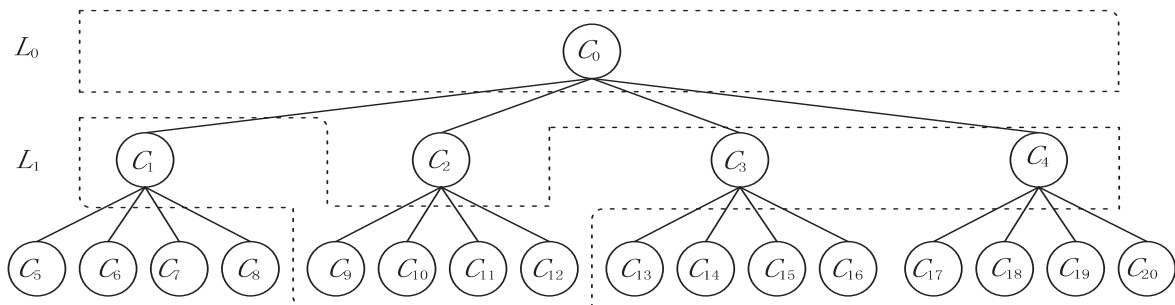


图 1 四叉树结构地形表示

## 1.2 三角网的简化和细分

动态浏览时,需要从表现地形的四叉树中,根据当前分辨率的需要,实时地选取树的节点构成集合  $C$ ,用它来绘制当前所需的地形。由于浏览时的分辨率在实时的变化,所以集合  $C$  中的点也在不停地调整。但是集合  $C$  必须满足两点:(1) 集合  $C$  中的所有节点必须覆盖整个区域;(2) 对  $C$  中的每个节点  $N$  做出细分评估,其必须满足公式(1):

$$E(N) \leq \varepsilon \tag{1}$$

其中, $E(N)$  为节点细分评估函数; $\varepsilon$  为细分评估阈值,它的值与分辨率相关。

利用图 2 的算法动态构建集合  $C$ 。

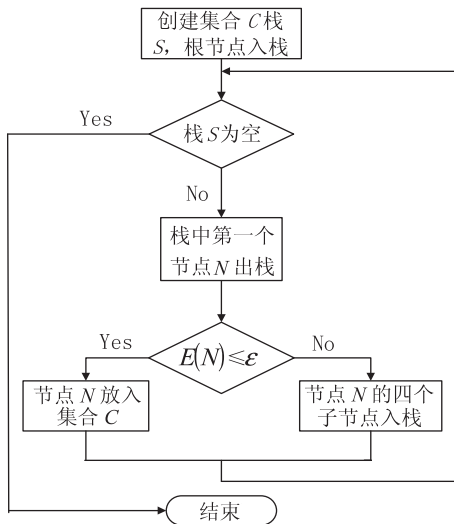


图 2 构建集合  $C$  的算法

叶子节点根据节点细分评估函数来判断是否细分。根据分辨率的不同,集合  $C$  会做相应的调整,就会导致三角形网的局部需要插入或删除相应的点。例如图 3 多边形  $OBCD$  代表三角网的一个局部区域,文中是用代表该区域的三角形集合  $T_1$  和  $T_2$  ( $T_1$  有相对较少三角形, $T_2$  是细化后有更多的三角形) 相互替换来实现局部的细化、简化。实质上就是,在多边形  $OBCD$  内插入或删除  $P$  点时,必须对这个多边形区域进行重新的局部三角化<sup>[6-7]</sup>。

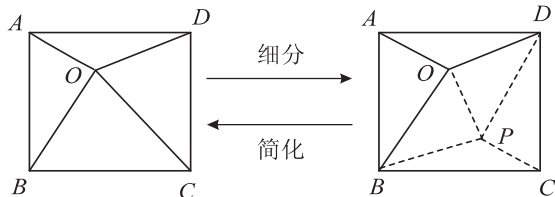


图 3 三角网局部的简化和细分图示

## 1.3 节点细分评估函数

在上一节中,可以看出细分评价函数  $E(N)$  是绘制动态多分辨率地形图的一个重要内容。为了避免不必要的细分,减少数据冗余,在实际应用中,细分评价函数由 3 个因素决定。

- (1) 地形的起伏变化程度;
- (2) 节点区域到视点的距离;
- (3) 根据具体地形而定,如区域各种元素的含量、压力、水容量等属性的变化程度,它们在显示的地形上,会表现为不同颜色的变化。

根据以上三个因素,定义如下:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^4 |\bar{z} - z_i|}{e} \tag{2}$$

$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{e} \tag{3}$$

$$E(N) = K \frac{\alpha \cdot h}{d} \tag{4}$$

其中, $h$ 为节点 $N$ 表示区域的地形粗糙度,粗糙度越大,细分的可能性就越大; $z_i(i=1,2,3,4)$ 和 $\bar{z}$ 分别代表节点 $N$ 的4个子节点的高程值和高程的平均值; $e$ 为节点 $N$ 表示的正方形区域的边长; $\alpha$ 为该区域相应显示的地形颜色的变化率,颜色的变化率越大说明该区域相关的属性越复杂,细分的必要性越大; $P_{\max}$ 和 $P_{\min}$ 代表该区域颜色的最大值和最小值; $d$ 为节点区域到视点的距离,距离越小越应该细分; $K$ 为调节参数,可以根据浏览的速率来调整<sup>[8-9]</sup>。

1.4 消除裂缝

当用多分辨率表示地形时,两个相邻节点块的 LOD 模型,若其中一个再细分,就会产生相邻而又拥有不同的分辨率,这样会很大可能地产生裂缝。如图 4(a), $C_1$ 再次细化后产生 $C_5, C_6, C_7$ 和 $C_8$ ,它们具有较高的分辨率,这样 $C_6$ 和 $C_8$ 与右边相邻块 $C_2$ 的分辨率就会不同,而且 $P_3$ 的高程值又不一定等于 $P_1$ 和 $P_2$ 之间点 $P$ 的高程值,因而产生了 $\triangle P_1 P_2 P_3$ ,它就是相邻

LOD 模型之间的裂缝。为了消除这样的裂缝,文中是把在具有高分辨率模型中的点 $P_3$ 移到相邻的低分辨率模型的边界中点上<sup>[10]</sup>,如图 4(b)是裂缝消除后的表示。

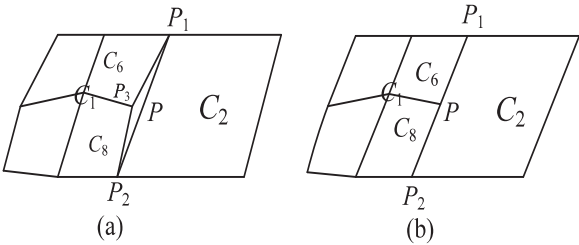


图4 消除裂缝

2 二级缓冲机制

当地形较大,LOD 层次较多时,在漫游时或通过鹰眼进行区域的切换,都需要不断地将视域范围内的地形的表示数据抛弃,然后再重新调入新视域的数据进行地形绘制,这样高频率的数据抛弃和重调入加重了系统的负担,地形显示易产生延迟。为了解决这个问题,文中采样二级缓冲机制,将满足一定条件区域的 LOD 模型写入缓冲区,当视点移动或跳跃需要新的视域时,就先检索缓冲区,如检索不到,再重新调入 LOD 模型,这样可以实现地形数据的渐进调度,提高地形显示的效率。

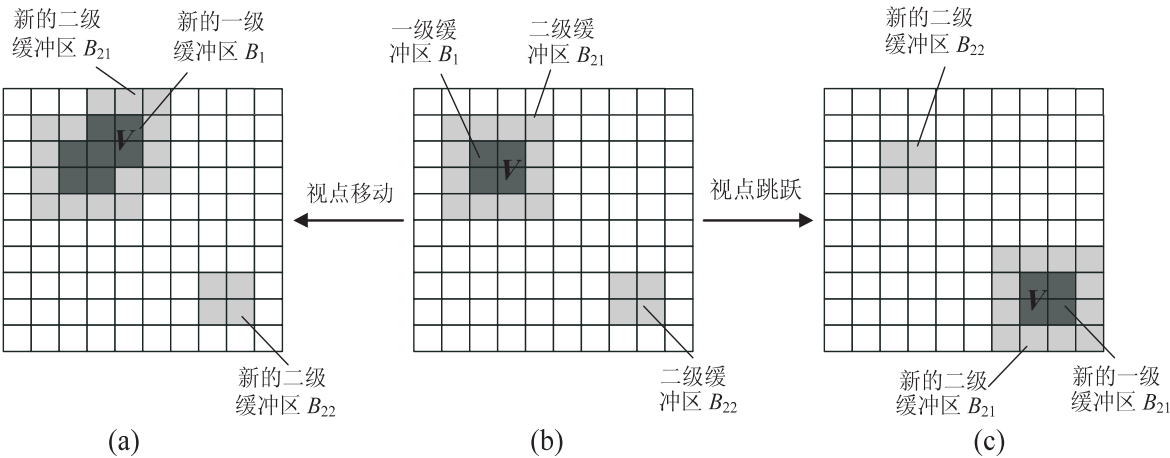


图5 二级缓冲机制

如图 5(b)视点为 $V$ ,一级缓冲区 $B_1$ 为当前的视域,那么它的周围就是漫游时下一个要绘制的区域,先把它绘制的 LOD 地形调入二级缓冲区 $B_{21}$ ,当视点快速移动时就先从二级缓冲区检索,读取新的 LOD 模型,如图 5(a)是视点移动后的重新构成的缓冲区。视点也有可能通过鹰眼进行远距离跳跃如图 5(c),通常情况用户是有规律的跳跃的,如从一个学校的老区,直接跳到新区的可能性就大,当视点在学校老区时,不仅把其周围的区域写入缓冲区,而且把学校新区也写入缓冲区。

通过在树的节点加一个属性为关联节点,它通过经验学习,记录从该节点跳跃到其他节点的次数,选择跳跃次数最多的节点为关联节点。在绘制地图时,将能代表该区域的节点的关联节点,调入缓冲区。这样通过二级缓冲机制可以有效地减少快速漫游和视域跳跃的延迟。

3 地形特征加权插值

由于采样点的有限性,经常无法满足某个特定区域的高分辨率显示的要求。文中根据地形特征和浏览

者的需要,利用已有的点进行插值,参考文献[11],综合特定区域采样点的数量和其距离权重对采样点数据进行预处理<sup>[11]</sup>。把复杂的地形起伏变化分成不同的两类,第一类就是山地地形表面细节比较复杂,地表的起伏比较明显,此时需要用插值点周围 8 个邻近点进行拟合计算还要考虑各相邻点间的高度值变化率的影响;第二类地形地表细节较少,则插值点处高程值可以直接使用 4 个点进行距离加权插值<sup>[12-13]</sup>。这样就可以产生新的点,对该区域再次细分,来提高特定区域的分辨率。

## 4 实验

文中是在 Visual Studio 2008 环境下,利用 OpenGL 图形库,选用 C++ 编程语言进行实验。PC 机配置如下:CPU 3.20 GHz、2 G 内存、显卡 ATI Radeon HD5450。实验数据是用 DEM 格网数据,然后再进行三角化。实验地形大约是 2 km×2 km,采样点的间隔大约是 10 m。如图 6 是生成的三维多分辨率模型,可以看出离视点近或地形复杂的区域分辨率更高些,在漫游时也根据视距和地形绘制不同 LOD 的模型。

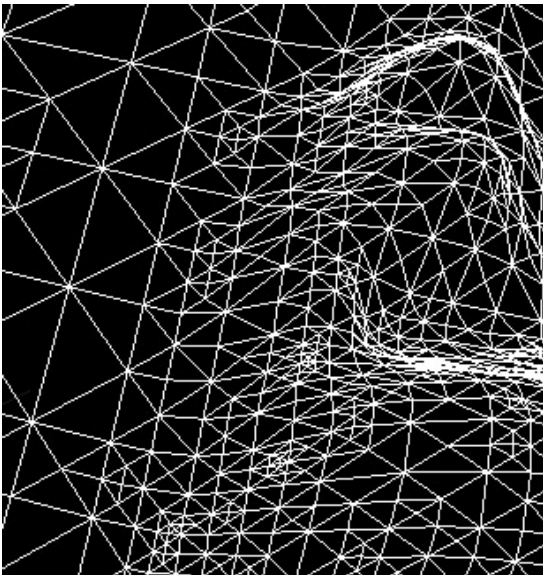


图 6 三维多分辨率模型

## 5 结束语

为了减少数据量,提高实时绘制三维地图的效率,文中利用四叉树的存储结构,考虑到地形特征、地形颜色的变化率和视距建立细分评价函数,在不损失视觉效果的前提下,合理地减少三角形的数量,实现了三维

多分辨率模型的构建。而且为了减少视点快速漫游和切换带来的延迟,又提出了一种二级缓冲机制。为了解决有限的采样点无法满足更高的分辨率的问题,文中根据地形特征和浏览者的需要,利用已有的采样点进行加权插值,来提高特定地区的分辨率。在实际的应用中,除了上面提到的地形特征、地形颜色的变化率和视距因素会影响细分评价函数,还有视线和坐标轴的夹角也会影响评价函数,具体的内容也是文中下一步需要研究的。


### 参考文献:

- [1] James C. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms[J]. Communication of the ACM, 1976, 19(10): 547-554.
- [2] Baumann K, Dollner J, Hinrichs K. Integrated multiresolution geometry and texture models for terrain visualization [C]// Proc of IEEE visualization '2000. Salt Lake City: [s. n.], 2000.
- [3] Lindstrom P, Koller D, Ribarsky W, et al. Realtime continuous level of detail rendering of height fields [C]// Proc of SIGGRAPH '96. New Orleans, LA, USA: [s. n.], 1996.
- [4] 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[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(4): 269-276.
- [5] 芮小平. 一种基于不完全四叉树的 LOD 生成算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(9): 1152-1160.
- [6] 冯振华, 齐华. 一种基于四叉树的 TIN 的 LOD 算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 499-502.
- [7] 尹长林, 詹庆明, 许文强, 等. 大规模三维地形实时绘制的简化技术研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37(5): 555-559.
- [8] 许妙忠, 李德仁. 基于点删除的地形 TIN 连续 LOD 模型的建立和实时动态显示[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(3): 321-325.
- [9] 余明, 左小清, 李清泉. 一种基于 TIN 的视相关动态多分辨率地形模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(12): 1106-1110.
- [10] 陈荣. 一种三维地形建模与可视化方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(S2): 41-44.
- [11] 付延强, 韩慧健. 基于区域特征距离加权的三维地形建模方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(12): 3377-3380.
- [12] 罗壮志. 计算机内插在数字高程分析中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(3): 223-226.
- [13] 宋哲, 刘衍聪, 牛文杰. GIS 中 TIN 模型的实现算法[J]. 计算机应用, 2003, 23(2): 94-95.

# 三维动态多分辨率地形模型的研究

作者：邹海, 陈保柱, ZOU Hai, CHEN Bao-zhu

作者单位：安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥, 230601

刊名：计算机技术与发展

英文刊名：Computer Technology and Development

年, 卷(期)：2014(5)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201405059.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201405059.aspx)