

基于视觉原理的多分辨率地形生成准则

杜金莲 杜 薇 迟忠先

(大连理工大学计算机系, 大连 116024)

摘 要 目前多分辨率地形的生成准则主要是屏幕空间误差或其变相表达的地形粗糙度, 但该类误差准则仅适于对近处的地形进行简化. 为了能对远处地形进行简化, 因而从能量传播的角度出发, 提出了一个适合对离视点较远的区域进行简化的残余能量准则, 同时将其与屏幕空间误差相结合, 建立了一个基于视觉原理的多分辨率地形生成准则, 并给出了一个基于二叉树结构的实时生成算法. 实验表明, 该算法能有效减少三角形的数目, 并能适合于大规模地形的实时显示应用.

关键词 地理信息系统(420 · 3040) 多分辨率模型 屏幕空间误差 残余能量准则

中图法分类号: P208 TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)11-1295-04

Vision-based Generating Rule for Real-time Multi-resolution Model

DU Jin-lian, CHI Zhong-xian, DU Wei

(Computer department of Dalian University of Technology, Dalian 116024)

Abstract There are two mainly error rules for the generation of multi-resolution model of terrain, one is screen space error, the other is terrain roughness, however, both of them are liable to reduce the area near or not very far from the viewer, because they discard 2 of 3 dimensions of a vertex. In this paper, first, a rule named remaining energy is proposed which is suitable for reducing the area far or very far from the viewer, the principium of the rule is that the light radiated from surface will attenuate during its transmission, so the light energy radiate from the surfaces far from the viewer will become too faintness to attract the viewer's attention, thus the surfaces far from the viewer can be emerged into larger surface, then the rule based on vision principle is formed by combining remaining energy rule and terrain roughness. In the end, an algorithm and its implementation based on quadtree for generating terrain multi-resolution model under the vision-dependent rule is described in detail, the algorithm can simplify the terrain effectively and is proven to be very valid for the reduction of large scale terrain at the same time.

Keywords Multi-resolution model(MRM), Screen space error, Remaining energy rule

0 引 言

自 Clark 提出地形的多分辨率模型(Multi-Resolution Model, MRM)表示后, 许多学者提出了一系列该模型的生成算法^[1~3], 如层次树法、特征点法、基于视点的累进网格法(VDPM)等等. 其中除特征点法是通过提取地形关键点来进行地形重构外, 其他算法均采用分裂及合并操作来生成地形的多分辨率表示. 根据算法的不同, 目前这种分裂及合并操作主要有屏幕空间误差^[4]和距离与地形粗糙度比两

种指导准则.

屏幕投影误差也称投影像素误差, 是指新三角形与旧三角形对的误差 $d_{x,o}$ 在屏幕空间上的投影 δ_{screen} (如图 1 所示), 其定义如下

$$\delta_{screen} = \frac{d_{v,o} \sqrt{1 - \left(\frac{V_z - O_z}{\|V - O\|} \right)^2}}{\|V - O\|} \quad (1)$$

其中, $d_{v,o}$ 为视点 V 到 O 点的距离; V 为视点坐标; V_z 为视点坐标的 z 分量; O 为节点坐标; O_z 为节点坐标的 z 分量;

当 δ_{screen} 小于用户给定的阈值 δ_{user} 时, 则认为两

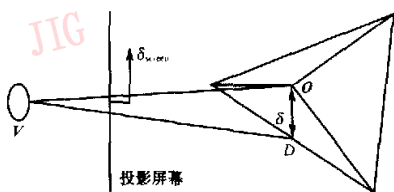


图1 屏幕空间误差

个三角形可以合并为一个大的三角形,用该误差准则生成的多分辨率模型基本上符合人的视觉特征,即远粗近细,但在实际应用中,单一的屏幕空间误差准则还存在以下不足:(1)没有考虑三角形法向量的方向,使得背向视线的三角形面仍然得到处理,而实际上,由于观察者看不到这些面,所以没有必要对其进行处理;(2)在比较远或很远的地方(实际上,人可能已经看不清)仍然存在大于给定阈值的误差,从而导致没有意义的细分操作。我国学者杨崇源在屏幕空间误差的基础上,考虑了视锥台的限制及法向量的方向性^[5],但笔者认为,考虑视锥台限制的计算量并不小,而且每当台体移动时,都要重新计算与其相交的三角形。这种方法不如将地形进行足够的简化后,再利用 OpenGL 内嵌的裁剪技术效率高。

Stephan Röttger 为了提高算法的速度,提出利用距离与地形粗糙度比来决定细节层次,并用自适应二叉树来实现自上而下的三角剖分^[6]。其误差准则为

$$f = \frac{d}{W} \cdot C \cdot \max(c \cdot d_2, 1) \quad (2)$$

其中, d 为视点到要判断节点的距离; W 为节点所在块的宽度; d_2 为节点所在块的粗糙度; C, c 为控制系数;

Röttger 的算法结构简单,且模型的生成速度快,但用该准则生成的地形有如下问题:在平坦地区本应该用较少的三角形表示,但该算法依然对其进行细分,这种细分除增加图形的绘制负担外,毫无益处。另外,它也有屏幕空间误差准则所具有的缺点。

以上两种准则均是基于节点至视点的距离及地形粗糙度这两个因素的,本文把这类准则称为基于视点的误差准则。这类准则只能说在一定程度上反映人观察景物的物理特性。实际上,当人们观察较远的区域时,只能看到简单模糊的轮廓,即使该处地形比较粗糙也觉察不出来,所以再用距离及粗糙度来进行地形简化显然有些不适合。

本文从人们观察景物的物理学原理出发,根据能量传播理论给出多边形简化的又一准则,同时结

合屏幕空间误差准则给出了一个基于视觉原理的多分辨率模型生成算法。

1 基于能量衰减理论的地形简化准则

1.1 理论基础

根据光学物理理论,一个物体表面呈现的颜色及亮度是由表面向视线方向辐射的光能决定的。大家知道,光是一种波,光能就是由光波表现的。不同波长的光波相互叠加就形成物体表面的颜色,其所含能量的大小就是所感觉到的亮度。光波同样地遵循波的传播法则,即同方向上的同相波在传播过程中会得到加强,不同相的波在传播过程中会相互削弱。同时由于介质的作用(如吸收,散射等),使光波在传播过程中能量不断衰减,最后传到人眼的便是那些能量没有完全耗尽的光波。光能在传播过程中的削弱及衰减理论为实施地形简化提供了直接的化简准则。

1.2 基于能量衰减的残余能量准则

在光学物理学中,描述物体表面朝某方向辐射的光能时,常采用光亮度或光强这种既表示能量大小又表示色彩组成的物理量,记为 I ,如果定义单位时间内通过某一面积的光能量称为通过该面积的光通量^[7],则表面某点处单位面积上朝某辐射方向单位立体角发出的光通量 dF 与该方向光亮度 I 的关系为

$$dF = I \cos \alpha \quad (3)$$

式中, α 为该点表面法向量 N 与辐射方向的夹角。

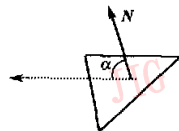


图2 节点所在面的法向量与辐射方向的夹角

对于地形模型来说,地形已被剖分成一个一个的多边形,由于建模的最终目的是用最少的多边形来表达地形,所以需要将那些没有必要表达过细的区域中的多边形进行合并。初步的想法是将那些朝视线方向辐射且到达视点光能较少的多边形面合并。大家知道,由于多边形面辐射的光能并不全部进入人的眼内,只有那些朝视线方向辐射的光能才能被人眼接收,所以如果令式(3)中辐射方向为视点方向,则 dF 便为多边形面上某点朝视点方向发出的光通量。如果令地形为均匀漫反射面,则一个面积为 S 的多边形向视点方向辐射的总能量 E 为

$$E = \int_S dF dS = \int_S I \cos \alpha dS = I S \cos \alpha \quad (4)$$

由于辐射出的能量在传播过程中会衰减,为了模拟光能的衰减过程,可将多边形面到视点的距离 d 作为衰减因子,这样到达视点的剩余能量 E_p 为

$$E_p = E/d = I S \cos \alpha / d \quad (5)$$

式(5)就是基于光能衰减的残余能量准则,如给定最小能量阈值 ϵ ,当 $E_p \leq \epsilon$ 时,则由于此多边形向视线方向辐射的光能太少,而不足以引起观察者的重视,因此可将其与相邻的多边形合并。该准则中,关键的参数是光亮度 I 的计算,在计算机图形学中,对光亮度的计算有许多方法;其中,传统、典型而又成熟的计算方法有 phong 光照模型;而用于真实感图形绘制的精确,但复杂度高的计算方法有光线跟踪计算模型和基于热辐射理论的辐射度光照模型。对于地形来说,由于不涉及到镜面反射、折射等,因此没有必要使用光线跟踪模型,本节仅以 phong 光照模型及辐射度光照模型为例来计算 I 。

根据 Phong 的光照模型^[7],物体表面辐射光亮度 I 的计算公式如下

$$I = k_s I_{ps} + \sum [k_d I_{pd} \cos \varphi + k_s I_{ps} \cos^n \theta] \quad (6)$$

式中, I 为向视点方向辐射的光亮度; I_{ps} 为环境反射分量; I_{pd} 为漫反射时入射光的光亮度; I_{ps} 为镜面反射光亮度; φ 为入射光线与表面法向量的夹角; θ 为反射光与视线的夹角; n 为镜面反射光的会聚指数; k_s 为环境反射分量的比例系数; k_d 为漫反射分量的比例系数; k_s 为镜面反射分量的比例系数。

由于这里考虑的是地形表面,不会出现镜面反射的高光,所以地表辐射的光亮度 I 可以省去镜面反射光亮度的计算,其计算式如下

$$I = k_s I_{ps} + k_d I_{pd} \cos \varphi \quad (7)$$

对于辐射度算法来说,可将地形看成是一个理想漫反射面,此时由于多边形面上某一点的辐射度与其光亮度的比值为一个常数 π ,因此可直接利用多边形面的辐射度 B 进行计算。

残余能量准则能将远处地形,特别能将视景体外的地形进行大幅度的简化,由于不会出现没有必要的细分,因此能在减少多边形数量的同时,也减少了视景体裁剪的计算量。

2 基于视觉原理的多分辨率模型生成算法

残余能量准则适合于对远处地形进行简化,

但其对近处的地形并表现不出太多的优势;而屏幕空间误差准则则适合对近处的地形进行简化,为此,本文将二者结合,形成一组地形简化准则,称之为基于视觉原理的多分辨率模型生成准则。下面以地形多分辨率表示的四叉树结构^[8]为基础来给出该准则下的 MRM 生成算法,该算法是一个自顶向下的过程,算法描述如图 3 所示。

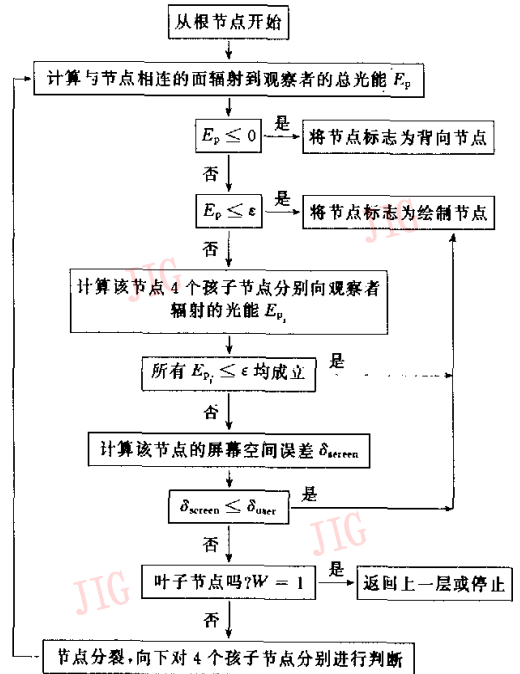


图 3 基于视觉原理地形多分辨率表示的生成算法

在该算法中,为确保网面的连续性,避免出现“T”三角形,可在节点处增加一标志位,以保证相邻节点分裂的同时性,并使相邻节点的细节层次差不超过 1。

3 实验结果

为验证上节提出的误差准则在生成地形多分辨率模型时的有效性,用金州和滦河两个 DEM(Digital Elevation Model)数据对此算法进行了实验,并将其与只用屏幕空间误差的算法、基于距离与粗糙度比的自顶向下算法进行比较。实验用的机器配置为 1.6GHz 的 P IV 处理器,512M 内存,32M 显存。实验数据是从大连金州区 DEM 数据和滦河流域 DEM 数据中分别选取 1024×1024 pixels 大小的数据块, R 为简化后模型与原模型的最小均方差,采用的用于比

较各种算法优劣的指标为在具有同等 R 水平值情况下的平均地形重构时间及每帧的三角形数目。表1为相同漫游路线下的比较结果。

表1 3种算法的比较

算法名称	数 据 集			
	金州 DEM		滦河 DEM	
	平均地形 重构时间 (ms)	平均每帧 三角形数	平均地形 重构时间 (ms)	平均每帧 三角形数
屏幕空间误差法	141	17 897	102.0	9 398
距离/和精度法	135.2	22 340	96.0	15 685
本文算法	45.4	17 767	38.3	9 254

从表1可以看出,本文所应用的基于视觉原理的多误差准则在具有相同全局误差的前提下,能最大程度地简化地形,提高绘制速度。图4为用本文算法所产生的滦河 DEM 数据前4帧场景图。

需要强调的是,本文的算法主要着眼于大规模地形的处理,在进行大规模地形的实时绘制时,需采

取分块措施,为了减轻数据调度的负担,数据块不宜分得太小,而本文的算法由于使用了远近结合的简化策略,可使地形得到充分的简化,因此允许将地块分割得稍大些。目前笔者已将该算法应用于大规模地形数据的实时绘制中,并结合数据调度策略已经实现了海量地形的无缝漫游。

4 结论与展望

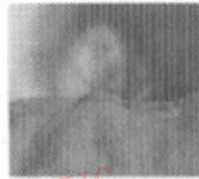
根据光能在传播过程中相互削弱及随距离衰减的理论,本文提出了地形简化的残余能量准则,并将其与屏幕空间误差准则相结合,给出了一组适用于大规模地形简化的准则——基于视觉原理的地形简化规则。经实验证明,该简化准则不仅能较大幅度地减少重构地形时的三角形数目,而且能提高实时显示性能。当然该算法还有待于进一步完善,如利用帧与帧间的相关性来进一步减少计算量,以及将光滑过渡技术(geomorphing)应用到该算法里。



(a) 第1帧



(b) 第2帧



(c) 第3帧



(d) 第4帧

图4 本文算法绘制的滦河 DEM 场景图

参考文献

- 1 Mark Duchaineau, Murray Wolinsky, Sigeti E *et al.* ROAM terrain: Real-time optimally adapting meshes[EB/OL]. <http://www.llnl.gov/graphics>. 1998
- 2 Hugues Hoppe. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[A]. In: Proceedings of IEEE visualization 1998[C/OL]. <http://www.vterrain.org>, October 1998:35~42.
- 3 Peter Lindstrom, David Koller, William Ribarsky. An integrated global GIS and visual simulation system[R]. Technical report, Georgia Institute of Technology (GIT)-Graphics. Visualization, & Usability (GV/V) Center-97-07, March 1997.
- 4 Peter Lindstrom, Valerio Pascucci. Visualization of large terrains made easy[EB/OL]. Lawrence Livermore National Laboratory, <http://www.vterrain.org/LOD/Papers/index.html>. 2000
- 5 杨崇源,张继贤,林宗坚. 虚拟地形场景绘制中的实时LoD算法[J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 133~139.
- 6 Stephan Rottger, Wolfgang Heidrich. Real-time generation of continuous levels of detail for height fields[EB/OL]. <http://fau90.informatik.uni-erlangen.de/pub/publications/1998/publ.1998.2.ps.gz>.

7 范幸义. 计算机图形学[M]. 重庆:重庆大学出版社, 1997.

8 Thatcher Ulrich. Continuous LOD terrain meshing using adaptive quadrees[EB/OL]. http://www.gamasutra.com/features/20000228/ulrich_01.htm. 2000



杜金莲 1972年出生,1995年获包头钢铁学院系统工程专业学士学位,1998年获包头钢铁学院硕士学位,博士研究生,现在北京工业大学计算机学院软件学科部工作。主要研究方向为三维地形与场景的建模与实时绘制技术。发表论文9篇。

杜薇 1979年生,硕士研究生。主要研究方向为三维地理信息系统。



迟志先 1939年生,教授,博士生导师。主要研究方向为面向对象的可适应性建模方法、空间数据仓库及数据挖掘、空间分布实体的超媒体系统、三维地理信息系统、数字城市、变结构MIS系统的应用开发等等。发表论文40余篇,著作6部。