

一种新的连续性 LOD 实现算法

吴有用^{1,2}, 万旺根¹, 金龙存¹, 崔 滨¹

(1 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072; 2 东华理工大学 信息与电子工程学院, 江西 抚州 344000)

摘 要: 为进一步提高网格简化速度和实现连续性的层次细节(LOD), 文中利用球形包围体对模型顶点进行分割, 通过基于视距的误差阈值和最小误差聚类算法综合控制包围球的体积大小并对包围球的顶点进行聚类. 实验结果显示, 该算法能够较快、高保真地对模型网格进行简化, 并解决了传统算法在层次细节实现上非连续性的问题, 证明该算法是有效和实用的.

关键词: 连续性 LOD; 包围球; 误差阈值; 聚类

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0185-03

A Novel Continuous LOD Algorithm

WU You-yong^{1,2}, WAN Wang-gen¹, JIN Long-cun¹, CUI Bin¹

(1 School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2 School of Information and Electronic Engineering, East China University of Technology, Fuzhou 344000, China)

Abstract: For improving velocity of Mesh Simplification and realizing continuous Level of Details (LOD), this paper uses spheres to segment vertexes of models, and control the radius of each spheres by a cluster error threshold, then cluster the vertexes in each sphere by a minimum error-based cluster algorithm. The experimental results show that this method can simplify model meshes with a comparatively high speed and high fidelity, and provides a solution to continuous LOD, so it is effective and useful.

Key words: continuous LOD; enveloping sphere; error threshold; cluster

1 引言

在计算机图形学领域, 物体表面一般由三角网格描述, 为了能够尽可能清晰的展现模型的细节, 常采用海量的三角网格来逼近现实的物质形状^[1]. 但是海量的三角网格给交互显示、网络传送等方面的应用都带来了极大的困难. 为了便于大规模网格数据的实时显示, 必须研究相应的解决方法, 而多层次细节(Level of Detail, LOD)模型便是其中重要的解决方法^[2].

LOD生成的一种常用方法是网格简化. 目前常用的网格简化方式有边压缩、面收缩、点聚合和顶点删除等^[3,4]. 其中顶点聚合由于算法简单、计算速度

快、与原模型相似度较高, 在实际使用中得到了广泛应用^[5]. 常用的顶点聚类办法是对网格包围盒的自适应划分, 然后基于某种方法对长方形体内的顶点进行聚类, 同时为了减少聚类误差, 结合了稀疏网格的方法^[6]. 但由于顶点属性总是以辐射形向四周变化的, 因此采用方形格栅很可能把一些相关性较小的顶点聚类在一起, 增大聚类误差.

文中提出了一种新的基于包围球的自适应动态网格简化方法. 首先由模型上每个顶点的视距确定一个聚类误差阈值, 然后以该顶点为球心进行膨胀, 由误差阈值控制膨胀球的大小, 并提出一种新的顶点聚类算法, 对膨胀球内的顶点进行聚类, 可以动态连续地实现层次细节中的网格简化.

收稿日期: 2009-04-24; 修回日期: 2009-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873130); 上海市教委重点学科建设项目(J50104)

2 顶点聚类算法及其误差

选取模型上一个三角形顶点 $v(v_x, v_y, v_z)$, 以该顶点为球心进行膨胀, 形成一个包围球, 设膨胀球包围的顶点集合为 $T = \{v_1(v_{1x}, v_{1y}, v_{1z}), v_2(v_{2x}, v_{2y}, v_{2z}), \dots, v_n(v_{nx}, v_{ny}, v_{nz})\}$, 相关的三角形面片集合为 $T(V_S)$, 要求这些顶点未参与过聚类并且和边所构成的图是连通的, 这点用文献[7]的方法可以得到保证. 下面研究如何对膨胀球内的顶点进行聚类.

设顶点集合 T 被聚类到点 $s = (x, y, z, 1)^T$, 称之为聚类中心. 定义聚类误差 ϵ 为聚类中心 s 到三角形集合 $T(V_S)$ 中每个三角形所在平面的距离平方之和 ϵ_p 加上 s 到 T 中的每个顶点的距离平方之和 ϵ_q , 即

$$\epsilon = \epsilon_p + \epsilon_q \quad (1)$$

第一项误差 ϵ_p 是为了保证简化后的模型与原始模型在凹凸性上尽量保持一致, 第二项误差 ϵ_q 是为了尽可能保证聚类中心居中.

令 $p = [a \ b \ c \ d]^T$ 为每个与顶点集合 T 相关的三角形面片所在平面的平面方程 $ax + by + cz + d = 0$, 并且 $a^2 + b^2 + c^2 = 1$, 则 ϵ_p 可表示为

$$\epsilon_p = \sum_{p \in T(V_S)} [(s^T p)(p^T s)] = s^T \left(\sum_{p \in T(V_S)} M_p \right) s \quad (2)$$

其中

$$M_p = pp^T = \begin{bmatrix} a^2 & ab & ac & ad \\ ab & b^2 & bc & bd \\ ac & bc & c^2 & cd \\ ad & bd & cd & d^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

另外 ϵ_q 可表示为

$$\epsilon_q = \sum_{i=1}^n [(x - v_{ix})^2 + (y - v_{iy})^2 + (z - v_{iz})^2] \quad (4)$$

为使聚类误差 ϵ 最小, 令

$$\begin{cases} \partial \epsilon / \partial x = 0 \\ \partial \epsilon / \partial y = 0 \\ \partial \epsilon / \partial z = 0 \end{cases} \quad (5)$$

求解式(5)得聚类中心 s 的坐标 $(x, y, z, 1)^T$. 当 T 包含原始模型的所有顶点时, 聚类误差最大, 记为 e_m .

3 聚类误差阈值的计算

定义某三角形顶点 $v(v_x, v_y, v_z)$ 距离视点的

距离为 $l = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$, 以该顶点为球心形成的膨胀球包含有 N 个顶点, 显然这 N 个顶点的聚类误差 ϵ 应该满足下列边界条件:

(1) $l = 0$ 时, $\epsilon = 0$;

(2) $l = \infty$ 时, $\epsilon = e_m$.

根据上述边界条件, 聚类误差阈值 E 可以表述如下

$$E = \frac{e_m}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{e^l} \right) \quad (6)$$

其中, $\lambda (\lambda \geq 1)$ 为分辨率因子, λ 越大, 分辨率越高. 视距 l 、误差阈值 E 以及分辨率因子 λ 三者之间的关系如图 1 所示. 逐渐增大膨胀球半径, 依次计算膨胀球内顶点的聚类误差 ϵ , 当 ϵ 达到阈值 E 或膨胀球包含前面的聚类中心时, 停止膨胀, 同时得到聚类中心 s 的坐标. 如此遍历所有的点, 完成对原始模型的网格简化[7].

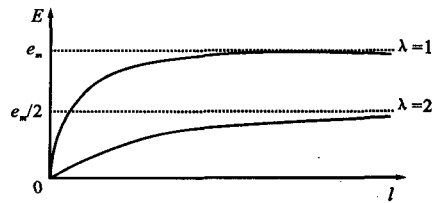


图 1 聚类误差阈值与视距的关系

4 算法

基于误差控制的自适应动态网格简化算法步骤如下:

步骤 1: 选择一个顶点 $v(v_x, v_y, v_z)$;

步骤 2: 计算视距 $l = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ 及 e_m ;

步骤 3: 计算误差阈值 $E = \frac{e_m}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{e^l} \right)$;

步骤 4: 以顶点 v 为球心、以一个适当的步进逐步增大半径 r 进行球膨胀, 对每个 r , 计算膨胀球内顶点的聚类误差 ϵ 和聚类中心 s , 当 ϵ 达到误差阈值 E 或膨胀球包含前面的聚类中心时, 停止膨胀, 该次聚类结束, 如图 2 所示.

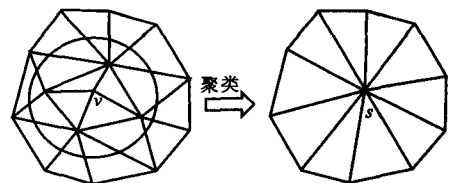


图 2 基于包围球的顶点分割聚类

步骤 5: 选择另一个未聚类的点为球心, 重复步骤 1~4, 如此遍历所有的点, 完成网格简化.

5 实验结果与分析

实验采用 VC++ 6.0、OpenGL 开发包实现上述算法,对一个有 3896 个三角片的地形模型进行简化,实验结果如图 3 所示.

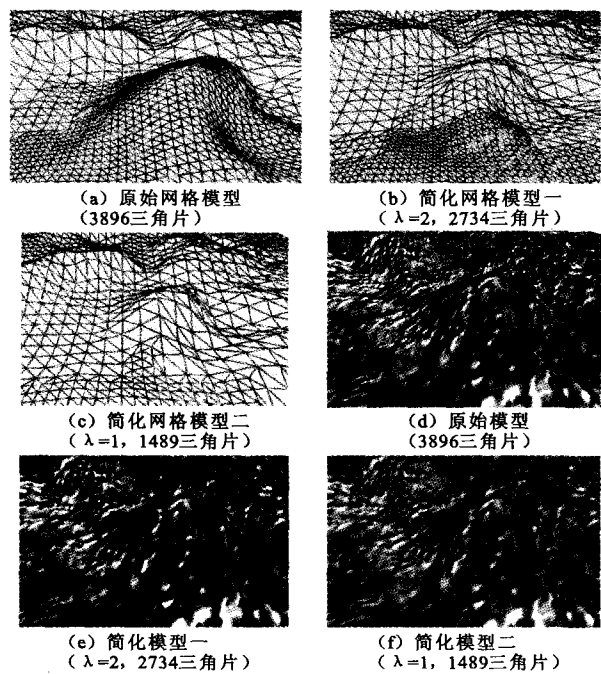


图 3 实验结果对比

表 1 是同视距不同分辨率因子下的运行时间对比.

表 1 同视距不同分辨率因子下运行时间对比

分辨率因子	简化模型(三角形数)	运行时间(秒)
$\lambda=1$	1489	0.47
$\lambda=2$	2734	0.93

可以看出,该算法能够较快、高保真地对模型网格进行简化.在同一视距条件下, λ 越大,失真越小,但增加了网格简化的运行时间. λ 的引入给平衡简化时间和保真度带来了灵活性.

6 结束语

文中提出了一种新的自适应动态网格简化算

法.基于包围球的模型顶点分割方法,增大了包围体内被聚类点的相关性,减少了方形格栅方法中因被聚类点相关性较小而增加的聚类误差.利用聚类误差阈值确定包围体的大小,可以动态连续地实现层次细节中的网格简化,避免了传统算法中方形格栅大小确定的盲目性,解决了传统算法在层次细节实现上非连续性的问题.

参考文献:

[1] 陈家新,胡海鹤. 基于四叉树空间分割的网格模型简化算法[J]. 微电子学与计算机,2007,24(7):87-90.

[2] 李建军,李俊山,李钊,等. 基于特征的三维模型简化算法研究[J]. 系统仿真学报,2007,19(11):2434-2436.

[3] In Kyu Park, Sang Wook Lee, Sang Uk Lee. Shape-adaptive 3D mesh simplification based on local optimality measurement[C]// Computer Graphics and Applications. China:Beijing, 2002:462-466.

[4] Mata S, Pastor L, Rodriguez A. Adaptive mesh simplification using distance to focus of attention for multiple points of view[C]// Image and Signal Processing and Analysis. Singapore, 2007:385-390.

[5] Date H, Kanai S, Kishinami T, et al. Mesh simplification and adaptive LOD for finite element mesh generation[C]// Computer Aided Design and Computer Graphics, Ninth International Conference. Hongkong, 2005:6-11.

[6] 罗鸥,黄魁东,连明明. 基于顶点删除的三角网格模型简化新方法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(5):142-148.

[7] 周昆,潘志庚,石教英. 一种新的基于顶点聚类的网格简化算法[J]. 自动化学报,1999,25(1):1-8.

作者简介:

吴有用 男,(1970-),博士研究生.研究方向为通信与嵌入式系统.

万旺根 男,(1961-),教授,博士生导师.研究方向为多媒体信号处理、嵌入式与 SOC、互动数字媒体技术等.

金龙存 男,(1983-),博士研究生.研究方向为互动数字媒体技术.

崔 滨 男,(1978-),博士研究生.研究方向为互动数字媒体技术.