

基于频度中心理论的三维模型简化方法

付鑫 陈睿 唐雁

(西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)

摘要 针对三维模型传输技术中的模型简化问题,以边收缩算法思想为基础,应用网络节点频度中心理论(Degree Centrality),提出并实现了一种保持几何封闭性的模型简化方法。该方法能在保证简化模型逼真度的同时较好地保持模型的几何封闭性,避免孤立面的产生,并且生成了渐进网格文件,为模型提供了连续多分辨率的模型重建。实验证明了该方法的有效性。

关键词 三维模型, 网格简化, 渐进网格, 频度中心

3D Model Simplification Algorithm Based on Degree Centrality

FU Xin CHEN Rui TANG Yan

(Southwest University, Faculty of Computer and Information Science, Chongqing 400715, China)

Abstract Based on the edge-collapse algorithm and degree centrality theory, a mesh simplification method with closeness is proposed. This method can successfully preserve appearance and closeness of the original mesh during the simplification process. The experiment results support the conclusion obviously.

Keywords 3D model, Mesh simplification, Progressive mesh, Degree centrality

1 引言

三维数据采集和建模技术的飞速发展使三维模型的数据量也随之快速增长,给计算机处理、绘制系统带来了巨大的压力,也对现有的三维模型处理方法提出了挑战。为了解决不断增长的数据量与有限的计算能力之间的矛盾,必须对三维模型进行简化。由于三角形网格在三维模型的绘制和自由曲面的表示方面有其他方法不可比拟的优势,目前几何压缩研究领域的重点集中于三角网格模型。

国内外对网格模型的研究已取得了一系列成果: Lounsbery 等提出基于小波分解理论的网格简化方法^[1,2]; Schroeder 等提出了基于顶点删除的网格简化方法^[5]; Rossignac 等提出了基于顶点聚类的网格简化方法; Hoppe 等提出了基于边收缩的网格简化方法^[6-8]。近年来,也出现了一些针对模型特征的处理方法: Okuda 提出了结合几何、纹理的递进编码方法^[11], Fahr 则利用二次误差提出了保留三角面片颜色和边界边的方法^[12]。但是上述网格简化算法大多只考虑了模型的几何、拓扑信息和颜色、纹理等属性,没有考虑模型的封闭性问题。如何对封闭模型在简化过程中保持其几何封闭性,成为一个值得研究的问题。

本文基于边收缩算法,利用网络节点频度中心理论(Degree Centrality),提出了一种保持几何封闭性的模型简化方法。与以往简化算法相比,它能更好地保持模型的几何封闭性,在简化过程中避免孤立面的产生。实验证明了该方法的有效性。

2 边收缩算法与渐进网格

在图形学中,多边形网格已成为表示大量立体形状的标准方法。所谓多边形网格(或简称为网格),就是一组多边形

或“面”的集合,这些多边形共同构成了一个物体的表面。特别地,全部由三角形组成的多边形网格称为三角网格。

2.1 边收缩算法

边收缩是 1996 年 Hoppe 提出的一种基于迭代点对收缩的网格简化方法^[8]。迭代点对收缩方法的原理是:每次迭代地从网格中选定一对顶点。然后将二者合并成为一个新的顶点,当要求选定的顶点是一条边的两个端点时,就称为“边收缩”。

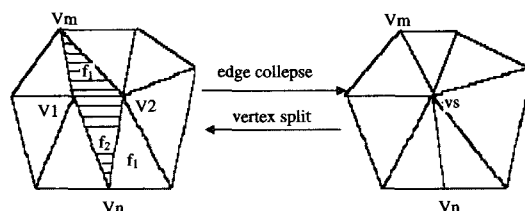


图 1

如果从网格中删除的边为 (v_1, v_2) ,如图 1 所示,则它的两个顶点 v_1, v_2 被合并为一个新顶点 v_s ,与这条边相邻的两个三角形 f_1, f_2 也同时被删除。如果 (v_1, v_2) 是边界上的边,则只删除一个三角形。随着边收缩操作的进行,网格模型中的顶点和三角形都逐渐减少,网格分辨率也就随之降低。

边收缩算法主要步骤如下^[7]:

- ① 预定规则计算每条边的边权 w_e ;
- ② 选择边权最小的边 (v_i, v_j) 进行边收缩操作,删除边 (v_i, v_j) 及其相邻三角形 f_i 和 f_j ;
- ③ 更新待删除边的集合;
- ④ 如果满足结束条件则退出,否则转①,继续下一次边收缩操作。

付鑫 硕士研究生,主要研究方向为计算机图形学;陈睿 讲师,硕士,主要研究方向为模式识别;唐雁 教授,硕士生导师,主要研究方向为智能科学。

上述算法的结束条件为以下几种情况之一：

- ① 边收缩引入的误差达到一定阈值；
- ② 被删除的顶点数达到一定数目；
- ③ 被删除的顶点数与原顶点数之比达到一定比率。

2.2 渐进网格

在边收缩算法的基础上, Hoppe 提出了渐进网格 (Progressive Mesh, PM) 的构造方法^[8]。一个 PM 由一个粗糙的简化网格和一个细节信息记录列表组成, 即 $\{M^0, vsplit_0, vsplit_1, \dots, vsplit_{n-1}\}$, 这个列表记录着如何渐进地优化 M^0 , 使它完全变成原始网格 M 。PM 算法由网格简化和网格恢复两个过程组成。

网格的简化是通过边收缩操作实现的。每一次边收缩过程中, 原始网格 M 中的一条边及其相邻三角形被删除, 网格的分辨率也随之降低, 最后得到一个较粗糙的简化网格 M^0 和一系列细节信息记录。网格的恢复是由边收缩操作的逆过程——“点分裂”操作完成的。根据细节信息记录, 重新向网格中插入顶点和三角形, 最后恢复出具有原始分辨率的网格。

上述过程可以表示为

简化过程:

$$(M=M^N) \xrightarrow{\text{edgecollapse}} M^{N-1} \xrightarrow{\text{edgecollapse}} \dots \xrightarrow{\text{edgecollapse}} M^0$$

重建过程:

$$M^0 \xrightarrow{\text{vertexsplit}} M^1 \xrightarrow{\text{vertexsplit}} \dots \xrightarrow{\text{vertexsplit}} (M^N=M)$$

2.3 存在的问题

实验证明, 目前最常用的边收缩简化算法应用到某些模型上时, 会导致孤立面的产生, 严重影响了模型的简化质量。如图 2 所示, BD 边的折叠使 AB 边和 AC 边变为边界边, 从而形成孤立面 $\triangle ABC$ 。

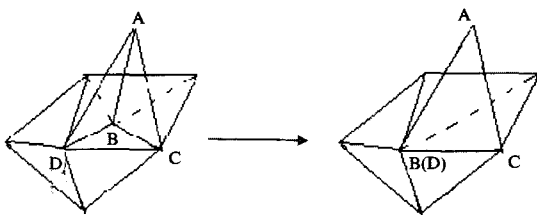


图 2

由图 2 可见, 孤立面通常含有度较小的顶点 (图 2 中, 顶点 A 具有最小度 2)。我们发现, 若优先合并度较小的顶点, 则可在简化过程中有效地避免孤立面的产生。所以, 顶点的度及其重要性是密切相关的, 我们拟采用频度中心理论为三维模型顶点设置权值。

3 频度中心理论

社会网络理论将人及其相互关系映射为网络结构中的节点和边, 用于研究社会中人与人之间的各种关系、人在网络中的作用及网络的发展趋势。随着社会网络理论研究的不断发展, 提出一系列计算网络节点重要度的方法^[9], 其中以研究网络节点中心度为主。三种基本的中心度测量尺度为: 频度中心 (Degree Centrality, DC)、间接中心 (Betweenness Centrality)、亲近中心 (Closeness Centrality)。

频度中心 (DC) 通过节点多少来测量每个节点的重要程度, DC 值越高, 则节点的重要程度越高。如图 3, 节点 A 是直接连接节点最多的, 所以认为节点 A 是右边网络群的核心成员。节点 A 的频度中心记为 $DC(A)$ 。

$$DC(A) = \frac{D(A)}{N}$$

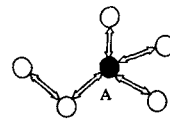


图 3

其中 $D(A)$ 为节点 A 的度, 即 A 直接相连的节点数, N 为可能与 A 相连的最大节点数。图 3 中节点 A 的 $D(A)$ 值为 4, N 值为 5, DC 值为 0.8。

采用频度中心理论为三维模型顶点设置权值, 能有效地反映顶点点度的重要性, 点度越高, 权值越大。

4 基于频度中心理论的三维模型简化方法

本文在边收缩的基础上, 利用频度中心理论, 为模型的每个顶点设置权值。选择待折叠边时, 将边的 DC 值和边长综合考虑, 有效地避免了模型简化过程中孤立面的产生。

边的 DC 值和规范化边长定义如下:

定义 1 边 $e(v_i, v_j)$ 的 DC 值为顶点 v_i, v_j 的 DC 值之和, 记为 $EDC(e)$, 即 $EDC(e) = DC(v_i) + DC(v_j)$

定义 2 边 e 的长度与模型的最大边长之比称为边 e 的规范化边长, 记为 $NEL(e)$, 即 $NEL(e) = \frac{L(e)}{\max_{e \in E} L(e)}$

定义边的权值有许多可以选择的方案。一种比较简单的方案是用边长作为权值^[10], 即每次删除网格中最短的一条边。但是, 实验证明最短边策略会使某些模型在简化过程中出现孤立面。然后, 我们采用频度中心理论计算模型顶点的 DC 值, 通过顶点 DC 值得到边的 DC 值, 并改用 $EDC(e)$ 作为权值, 即每次删除网格中具有最小 DC 值的边。但是, 实验发现, 最小 DC 边策略虽能较好地保持模型的几何封闭性, 避免生成孤立面, 但简化模型的失真度比较大。因此, 我们综合考虑边长和边 DC, 将边权设置为边长和边 DC 值的加权和。实验证明, 该方法能在保证模型逼真度的同时避免孤立面的产生。

设边 $e(v_i, v_j)$ 边权为 $V(e)$, 则 $V(e)$ 可定义为

$$V(e) = \alpha * EDC(e) + \beta * NEL(e)$$

其中, α, β 为在 $[0, 1]$ 区间取值的任意实数, 且 $\alpha + \beta = 1$ 。通过调整这两个系数, 可以达到不同的简化效果。适当增大 α 的值, 可以更好地保持模型的几何封闭性, 避免孤立面的产生; 增大 β 的值, 所得到的简化模型能较好保持形状。

本文提出的简化算法如下:

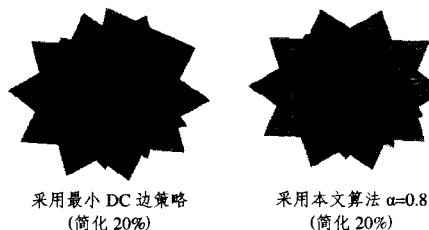
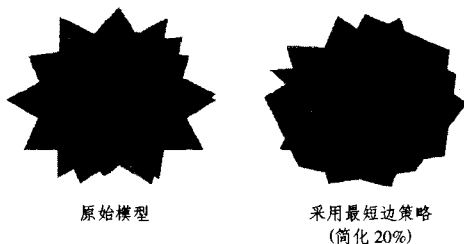
- Step1 对原始网格进行预处理, 建立顶点列表、三角形列表和边列表;
- Step2 利用 DC 方法计算每个顶点的 DC 值, 通过顶点的 DC 值得到每条边 e 的 DC 值, 即 $EDC(e)$;
- Step3 对网格的每一条边 e , 计算规范化边长 $NEL(e)$;
- Step4 根据预定的 α, β 计算网格每条边的边权 $V(e)$;
- Step5 从边列表选取具有最小边权的边做边收缩;
- Step6 重复执行 Step5, 直至误差达到用户要求时结束。

5 实验

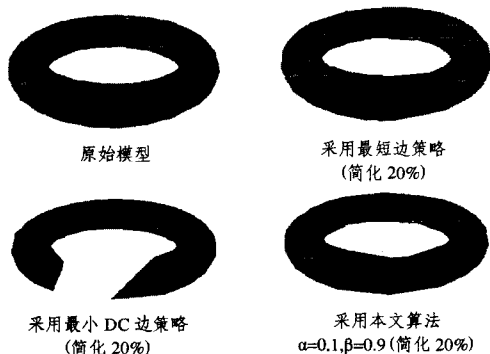
在 PC 机上用 C++ 及 DirectX SDK 进行了多次实验, 分别采用最短边策略、最小 DC 边策略和本文提出的算法对三维模型进行了网格简化和测试。

实验结果如下:

- (1) 五角星模型的简化



(2) 轮胎模型的简化



由实验结果可以看出,最短边策略造成了模型简化过程中孤立面的产生,最小 DC 边策略能较好地保持模型的几何一致性,但损失了模型的逼真度。本文提出的算法则能在避免孤立面产生的同时保证模型的逼真度。

(上接第 215 页)

息,分割效果得到改善。另外,从表 2 可以发现,本文算法也有更快的分割速度,这对于图像分割尤其是大图像以及 SAR 图像而言是非常重要的,它可以为后续的图像识别提供一个良好的基础。

结束语 我们主要分析和研究了量子进化规划算法的基本原理、算法实现,并将进化规划算法用于解决核聚类中初始化的优化等问题,有效克服核模糊 C-均值聚类算法过分依赖聚类参数的初始值。通过两组仿真实验,不仅实现了纹理图像的分割,同时实验结果证明了 QEP-KFCM 算法对于 SAR 图像分割是有效的。但是对于 SAR 图像不进行斑点噪声滤除,直接在分割时能够达到滤波效果,或者说,研究图像分割的同时,如何合理地进行滤波,以及针对 SAR 图像如何更好地提取有利于分割的特征,是我们以后进一步的努力方向。

参考文献

- [1] Feng Yan-qiu, Chen Wu-fan, Liang Bin, et al. A New algorithm for image segmentation based on Gibbs random field and fuzzy c-means clustering. *Acta Electronica Sinica*, 2004, 32(4): 645-647
- [2] Kersten P R, Lee R R Y, Verdi J S. Segmenting SAR images using fuzzy clustering. 2000: 105-108
- [3] Dell'Acqua F, Gamba P. Detection of urban structures in SAR images by robust fuzzy clustering algorithms; the example of street tracking. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, 2001, 39(10): 2287-2297
- [4] 张莉,周伟达,焦李成. 核聚类算法. *计算机学报*, 2002, 25(6): 587-590

结束语 本文在边收缩算法的基础上,提出了一种应用频度中心理论的模型简化算法,并生成了连续的多分辨率模型。实验证明,该方法在保证简化模型逼真度的同时避免了孤立面的产生,保证了模型的真实感。下一步工作的主要内容是针对重叠三角面片引起的“假”孤立面问题,设计有效的方法以避免简化过程中重叠三角面片的生成。

参考文献

- [1] Lounsbery J M. Multi-resolution analysis for surfaces of arbitrary topological Type. PhD Dissertation, Seattle, WA. Dept. of Computer Science, Univ of Washington, 1994
- [2] Certain A, et al. Interactive multi-resolution surface viewing // Proc. of the ACM SIGGRAPH Conf. on Computer Graphics, 1995: 173-181
- [3] Rossignac J, Borrel P. Multi-resolution 3D approximations Modeling in rendering complex scenes // Falcidieno B, Kunii T, eds. *Geometric Modeling in Computer Graphics*, 1997: 75-82
- [4] Low K L, Tan T S. Model simplification using vertex clustering // Proc. of the ACM SIGGRAPH Conf. on Computer Graphics, 1997: 199-208
- [5] Schroeder W J, Zarge J A, Lorensen W E. Decimation of Triangle Meshes. *Computer Graphics*, 1992, 26(2): 65-70
- [6] Pajarala R, Rossignac J. Compressed Progressive Meshes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2000, 6(1): 79-93
- [7] Garland M, Heckbert P S. Surface Simplification Using Quadric Error Metrics // Proc. SIGGRAPH'98. 1998: 209-216
- [8] Hoppe H. Progressive Meshes // Proc. SIGGRAPH'96. 1996: 99-206
- [9] Latora V, Marchiori M. A measure of centrality based on the network efficiency. *Cond-Mat/0402050*, 2004
- [10] Zha H, Makimoto Y, Hasegawa T. Dynamic Gaze - Controlled Levels of Detail of Polygonal Objects in 3-D Environment Modeling // Proc. 3-D Digital Imaging and Modeling'99. October 1999: 321-330
- [11] Okuda M, Chen T. Joint Geometry/Texture Progressive Coding of 3d Models. *Image Processing*, 2000, 3: 632-635
- [12] Fahn Chin - Shyurng. Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric // Proceeding of IEEE 4th International Symposium on Multimedia Software Engineering, California, IEEE, 2002: 174-181
- [5] Zhang D Q, Chen S C. Kernel-based fuzzy clustering incorporating spatial constraints for image segmentation // Proceedings of 2th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2003: 2189-2192
- [6] Chumsamrong W, Thitimajshima P, Rangsaneri Y. Synthetic aperture radar (SAR) image segmentation using a new modified fuzzy c-means algorithm. 105-108
- [7] Maulik U, Bandyopadhyay S. Genetic algorithm-based clustering technique. *Pattern Recognition*, 2000, 33: 1455-1465
- [8] Babu G P, Murty M M. Clustering with evolution strategies. *Pattern Recognition*, 1994, 2(27): 321-329
- [9] Omran M G H, Engelbrecht A P, Salman A. Dynamic clustering using particle swarm optimization with application in unsupervised image classification. *IEEE Transactions on Engineering, Computing and technology*, 2005, 9: 199-204
- [10] 龙海侠, 须文波, 孙俊. 基于 QPSO 的数据聚类. *计算机应用研究*, 2006(12): 40-43
- [11] 周新华, 黄道. 一种基于蚁群算法的模糊 C 均值聚类. *控制工程*, 2005, 12(2): 132-134
- [12] Han K H, Kim J H. Genetic quantum algorithm and its application to combinatorial optimization problem // Proceeding of the 2000 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2000: 1354-1360
- [13] 杨淑媛, 刘芳, 焦李成. 量子进化算法. *工程数学学报*, 2006, 23(2): 235-246
- [14] 杨淑媛, 刘芳, 焦李成. 量子进化策略. *电子学报*, 2001, 29(12A): 1873-1877
- [15] 王安民. 计算的量子飞跃. *物理*, 2000, 29(6): 351-357
- [16] Tan S, Zhang X R, Jiao L C. A brushlet - based feature set applied to texture classification (C) // Int. Conf. on Computational and Information Sciences, 2004: 1175-1180
- [17] Li J M, Zhong H, Jiao L C. SAR Image Segmentation Based on Multiresolution GLC Pin Overcomplete Brushlet Domain [C]. Chinese Institute of Electronics International Conference on Radar, 2006