

基于四边形网格的新细分算法的研究

王其华, 孙立镌

(哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 采用重复平均的方法对细分曲面进行平滑细分, 提出一种基于四边形网格的新细分算法. 该算法每细分一次四边形网格, 其数目增加为原来的两倍, 所以此细分算法具有网格几何操作简单, 所得网格数据量增长相对缓慢的优点, 应用广泛, 更适合 3D 信号网络传输等应用领域, 并且生成曲面在规则点具有 C^2 连续性, 在非规则点具有 C^1 连续性.

关键词: 细分算法; 四边形网格; 非规则点

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2683(2009)01-0035-03

Research on New Subdivision Scheme for Quadrilateral Meshes

WANG Qi-hua, SUN Li-juan

(School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In this paper, using the method of duplication average subdivision surfaces smoothing Subdivision, a new stationary subdivision scheme is presented for quadrilateral meshes. Once this algorithm subdivides a time of Quadrilateral Meshes, the number of the Quadrilateral Meshes increases for original two times. The simplicity in geometric operation and the slow topological refinement make the subdivision scheme more suitable for many applications, such as 3D image reconstruction and network transmission. The resulting surface is C^2 continuous for regular vertices and C^1 continuous for extraordinary vertices.

Key words: subdivision scheme; quadrilateral meshes; extraordinary vertex

1 引 言

曲面造型方法一直以来都是计算机图形学领域的研究重点之一, 它主要研究在计算机图像系统的环境下对曲面的表示、设计、显示和分析等. 网格细分^[1] (Subdivision) 是曲面的一种表示方法, 是曲面造型的一个分支, 也是曲面造型的研究重点之一. 细分曲面造型方法实际上是从一个被称为控制网格的多面体开始的, 递归地计算新网格上的每个顶点, 这些顶点都是其上一细分级网格中某几个顶点的加权平均. 近年来国内外对细分算法的研究有了很大的

进展, 主要体现在从常规的三角网格、四角网格向六角网格以及任意形状网格过渡.

细方算法包括对新网格形成点的拓扑连接及顶点几何定位两个步骤, 常用的细分算法主要基于四边形或三角形网格. 在 1978 年, Catmull 等人用双三次 B 样条建立了任意四边形网格的细分算法. 1987 年, Loop 用三方向 Box 样条构造了任意三角形网格的二分细分算法^[2]. 随后, Reiff 和 Zorin 的关于细分曲面的收敛性及光滑性分析为细分曲面造型技术奠定了理论基础, 极大地推动了细方算法的深入研究和广泛应用. 目前, 通常使用的细分算法都是基于二分细分的, 每细分一次, 面数增加为原来的 4 倍, 边

收稿日期: 2007-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60173055)

作者简介: 王其华 (1979-), 男, 哈尔滨理工大学硕士研究生.

数增加为原来的 2 倍.数据量的膨胀速度限制了它的应用领域,如 3D 信号的网络递进传输等.

近年来, Kobbelt, Labsik 等提出了三角形网格的 $\sqrt{2}$ 细分算法,用这种方法每细分一次,三角形网格数量增加为原来的 3 倍,细分两次相当一次三分细分再附加一个旋转. Velho 提出的 4-8 细分算法同时具有四边形网格^[3-5]和三角形网格的特性,每细分一次,数据量增长为原来的 2 倍,但网格拓扑相对复杂,但需要大量的预处理工作.本文提出的细方法具有,数据增长相对缓慢,几何结构和预处理结构简单等优点.

2 定义及术语

定义 1 对于四边形网格 M 中的任一顶点 v , 如果 v 为内部顶点且价不等于 4 或 v 为边界顶点且价不等于 3 或 2, 则称 v 为奇异顶点. 非奇异顶点称为正则顶点.

定义 2 权图 (Masks) 表示旧控制点计算新控制点规则的映射, 其中新控制点在映射中用黑点表示, 在每个旧控制点旁边的数字代表细分系数.

定义 3 奇点 (Odd Vertices) 是在每一级细分中, 按照某种细分规则细分所有新生成的点. 在三角网格中, 奇点也就是边点, 实际上是将每条边的中点作为一个新点重新计算新的位置所得到的点.

定义 4 偶点是在每一级细分中, 所有从上一级控制点继承得到的点.

定义 5 某顶点的价 (Valence) 是指与该顶点通过公共边相连的顶点个数.

定义 6 在一个网格中, 如果一条边只属于一个面, 称这条边为边界边 (boundary edge); 如果一个顶点属于边界边则称此顶点为边界顶点 (或边界点, boundary vertex); 至少包含一个边界顶点的面积称为边界面 (boundary face). 非边界的边、顶点和面分别称为内部边 (internal edge)、内部顶点 (internal vertex) 和内部面 (internal face).

3 细分方法

一般情况下, 对几何网格细分算法的分类有以下四个标准:

- 1) 生成网格的类型 (三角网格和四角网格);
- 2) 细分规则的类型 (面分裂和点分裂);
- 3) 算法是逼近型还是插值型;

4) 规则曲面的极限曲面光滑性 (C^1 , C^2 等).

一般的对偶细分所产生的新面包括面-面、边-面和点-面. 而本文的削角细分所产生的新面仅包含面-面和点-面. 其拓扑细分规则描述如下.

首先描述面-面的产生规则, 不妨设四边形 $A_0B_0C_0D_0$ 为初始四边形网格的任一四边形. 分别求出边的中点, 如图 1 所示, 计算公式如下:

$$A_1 = \frac{1}{2}, \quad A_0 + \frac{1}{2}, \quad B_0B_1 = \frac{1}{2}, \quad B_0 + \frac{1}{2} C_0$$

$$C_1 = \frac{1}{2}, \quad C_0 + \frac{1}{2}, \quad D_0D_2 = \frac{1}{2}, \quad D_0 + \frac{1}{2} A_0$$

然后按顺序 $A_1B_1C_1D_1$ 连接, 这样就得到本文细分的新面-面.

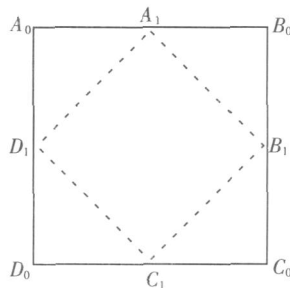


图 1 面的产生规则图

接着本文描述新点-面的产生规则, 不妨设 O 点为初始网格中的任一点, 其所在的边分别为 OE_0 , OF_0 , OG_0 和 OH_0 , 如图 2 所示. 然后求出 OE_0 的中点 E_1 , OF_0 的中点 F_1 , OG_0 的中点 G_1 和 OH_0 的中点 H_1 . 计算公式如同计算 $A_0B_0C_0D_0$ 各边的中点一样. 然后顺序连接 $E_1F_1G_1H_1$, 这样就得到了本文对偶细分的新点-面. 以上描述的为本文方法的拓扑细分, 从分析可以看出, 本文的对偶细分每细分一次面数增加为原来的两倍, 细分两次相当于一次 Doo-Sabin 细分再加一个旋转. 以上完成的仅为线性细分. 为了使细分曲面更加光滑, 线性细分后还应更加平滑. 此处的平滑采用两次重复平均的方法. 不妨设本文方法线性对偶细分后的结果为 M_1 , 然后求 M_1 中每个面的对偶点, 对偶点就是面的质心点. 如图 3 所示.

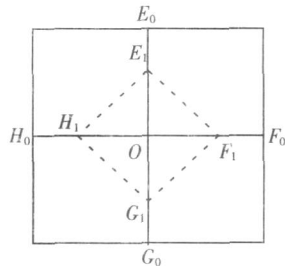


图 2 新点面产生规则

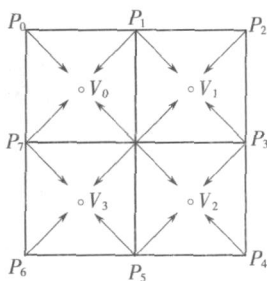


图3 线性对偶细分

第一次对偶分别求出面 $P_0 P_1 P P_7$ 的质心 V_0 , 面 $P_1 P_2 P_3 P$ 的质心 V_1 , 面 $P_3 P_4 P_5 P$ 的质心 V_2 和面 $P_5 P_6 P_7 P$ 的质心 V_3 , 计算公式如下:

$$V_0 = \frac{1}{4} (P_0 + P_1 + P + P_7),$$

$$V_1 = \frac{1}{4} (P_1 + P_2 + P_3 + P),$$

$$V_2 = \frac{1}{4} (P_3 + P_4 + P + P_5),$$

$$V_3 = \frac{1}{4} (P_5 + P_6 + P + P_7).$$

第二次对偶如图 4 所示. 求面 $V_0 V_1 V_2 V_3$ 的质心 O , 计算公式如下.

$$O = \frac{1}{4} (V_0 + V_1 + V_2 + V_3)$$

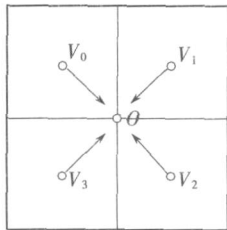


图4 第二次线性对偶细分

下面考虑非规则点的处理, 如果初始四边形网格存在非规则点 (价不为 4 的点), 则经过线性细分后存在非规则面 (边数不为 4). 在进行对偶细分的时候非规则面仍取其质心点为对偶点. 第二次细分时, 对非规则面仍然先求出其每条边的中点, 然后顺序连接形成新面即可.

最后考虑边界的处理. 如果初始网格存在边界, 则细分一次后在边界出现三角形. 为保持拓扑一致性, 把边界边的中点作为边界三角形面的对偶点, 不妨设线性细分后得到的边界三角形为 $A_0 B_0 C_0$ (如图 5 所示), 则其所对应的对偶点计算公式如下:

$$O = \frac{1}{2} (A_0 + C_0)$$

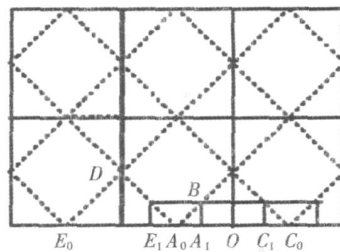


图5 线性细分后的边界三角形图

在做第二次细分时, 边界也需要特殊处理. 如图 5 所示, 第二次细分时, 边界三角形 $A_0 B_0 C_0$ 所对应的面 - 面为四边形 $A_1 C_1 D_1 B_1$, 其顶点计算公式为

$$A_1 = \frac{3}{4} A_0 + \frac{1}{4} C_0, \quad B_1 = \frac{1}{2} A_0 + \frac{1}{2} B_0,$$

$$C_1 = \frac{3}{4} C_0 + \frac{1}{4} A_0, \quad D_1 = \frac{1}{2} B_0 + \frac{1}{2} C_0.$$

点 A_0 所对应的点 - 面为 $E_1 A_1 B_1 F_1$, 其中 E_1 和 F_1 的计算公式为

$$E_1 = \frac{3}{4} A_0 + \frac{1}{4} E_0, \quad F_1 = \frac{1}{2} A_0 + \frac{1}{2} D_0.$$

这样就完成了边界的处理.

4 算法结果分析

本文给出了一个例子, 与 Catmull-Clark 算法作了比较. 如图 6~图 8 所示. 可以看出, 用本文算法细分二次产生的效果和 Catmull-Clark 算法细分一次的效果几乎没有差别. 综上所述, 本文算法所产生细分曲面的光滑性和 Catmull-Clark 细分曲面的光滑性没有明显区别, 这也证实了光滑性分析, 即本文细分算法和 Catmull-Clark 细分算法一样, 对规则点具有 C^2 连续性, 对于非规则具有 C^1 连续性, 本文细分算法的一个不足就是第一次细分产生的结果扭曲, 但从第一次细分开始曲面越来越光滑, 达到了预期的效果. 从以上例子中容易发现, 本文细分算法最大的优点就是网格几何操作简单, 网格数据量增长相对缓慢, 因此更适合 3D 信号网络传输等应用领域.

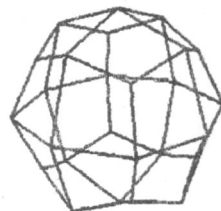


图6 Catmull-Clark 细分 1 次

(下转第 42 页)

表 1 标注性能

评价准则	平均精确度 / (%)
查全率	36.1
查准率	40.2

5 结 语

图像的自动语义标注能够将图像的视觉特征转化为图像的标注字信息,这为用户的使用带来了极大的方便.本文提出了一种基于实例的自动语义标注方法,该方法首先针对不同纹理图像进行图像检索,检索出与示例图像最相似的图像,然后根据标注实例确定示例图像的标注信息.

本文给出的这种标注方法容易受到噪声的污染,也不能明显提高自动标注的性能,但是它可以方便地扩展为半自动标注方式,为标注者提供了一个简单方便的标注接口.如何提高检索的准确度以及标注的精确度仍然是今后要深入研究的问题.

参 考 文 献:

- [1] 吴越聪.多媒体交叉参照检索和语义自动标注[D].杭州:浙江大学,2005.
- [2] HNANG J. Color-spatial Image Indexing and Applications[D]. New York, USA: Cornell University, 1998: 20 - 32.
- [3] 刘鹏宇.基于内容的图像特征提取算法的研究[D].长春:吉林大学,2004.
- [4] HARALICK R M, SHANGMUGAM K. Texture Feature for Image Classification [J]. IEEE Transactions on Systems, 1973, SMC - 3 (6): 768 - 780.
- [5] 龚 坚.彩色图像分割和纹理分隔[D].南京:东南大学,1998,38 - 40.
- [6] WANG JAMES Z. SMPLcity: Semantics-Sensitive Integrated Matching for Picture Libraries[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23 (9): 947 - 963.
- [7] SOMERS H. Review Article: Example - based Machine Translation[J]. Machine Translation, 1999, 14 (2): 113 - 157.
- [8] 于林森.图像检索中缩小语义差距的几个关键技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

(编辑:付长纓)

(上接第 37 页)

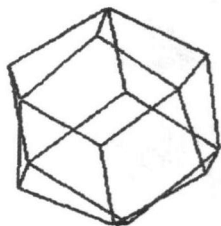


图 7 本文算法细分 1 次

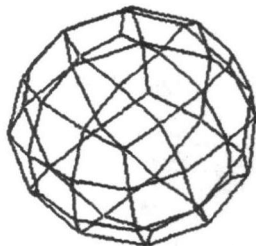


图 8 本文算法细分 2 次

5 结 语

本文针对传统的网格二分细分算法数据量增长较快的问题,给出了一种基于四边形网格的细分算法,该算法不仅具有 4 - 8 细分算法所拥有的数据量

增长相对缓慢的优点,还具有 $\sqrt{2}$ 细分算法几何操作简单有效的特点.由于本文细分算法对初始网格的拓扑变更,因此第一次细分会产生扭曲现象,但后面的细分会逐步光滑.今后研究工作的重点是保持初始网格的几何特性,实现简单可行的几何操作,使得细分数据量增长缓慢.

参 考 文 献:

- [1] ZORND, SCHRODER P. Subdivision for Modeling and Animation[C]//SIGGRAPH 2000 Course Notes, Course 23. New Orleans: ACM SIGGRAPH, 2000: 13 - 16.
- [2] LOOP C. Smooth Subdivision Surfaces Based on Triangles [D]. Utah: University of Utah, 2005.
- [3] WANG G J, WANG G Z, ZHENG J M. Computer Aided Geometric Design[M]. Beijing: China Higher Education Press, 2006.
- [4] 李桂清,马维银,鲍虎军.带尖锐特征的 Loop 细分曲面拟合系统[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17 (6): 1179 - 1185.
- [5] WANG Jianwei, ZHANG Zeyin, HUANG Daren. Edge-flipping Subdivision for Quad Meshes[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004 (1): 23 - 28.

(编辑:付长纓)