

采用两次局部映射法简化三角网格

刘晓宁 耿国华 周明全

(西北大学计算机科学系可视化研究所, 西安 710069)

摘要 在计算可视化领域,通常采用三角网格来表示三维物体,但是,由于大量的三角网格会影响实时交互的效果,因而,三角网格的简化越来越引起人们的重视。为了有效地进行网格简化,在传统的边压缩方法的基础上,提出了一种采用两次局部映射的三角网格简化方法,即首先利用高斯球,将三角网格投影到二维平面上,然后在二维平面上简化后,再投影回三维空间,以达到简化目的。实践证明,该方法不仅误差小,简化效率高,而且不会产生自相交,同时具有运行稳定和适用性强等优点。

关键词 三角网格 边压缩 映射 高斯球

中图法分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)05-0594-04

Simplify Triangles with Two Local Mapping

LIU Xiao-ning, GENG Guo-hua, ZHOU Ming-quan

(Computer Department, Visualization Technology Institute of NorthWest University, Xi'an 710069)

Abstract In the field of computer visualization, three-dimensional object is usually rendered by triangle meshes, but too many triangle meshes can affect the result of real-time operation, such as shifting, rotation and zooming, most of users can't bear the slowness. So how to simplify the triangle meshes is regarded more and more important. To simplify triangles effectively while not influence the vision effect, based on the traditional method of edge contraction, a new method is presented, which named Two Times of Local Mapping. First, it maps the three-dimensional triangle meshes from three-dimensional space to two-dimensional plane by using Gaussian sphere which can determine the direction of projection. Then on two-dimensional plane, using the traditional edge contraction method, a new contracted point is found in the kernel of a polygon. With the new point, the number of triangles is reduced greatly. After simplification, when mapping the simplified triangles back to three-dimensional space, the error is checked. Two kinds of error are defined to ensure the minimum error. It is proved that the given method is little-error, efficient and without self-intersected, and also it is stable and applicable.

Keywords triangle mesh, edge contraction, mapping, gaussian sphere

1 引言

在计算可视化领域中表示三维物体时,经常使用MC(Marching Cube)算法。MC算法的实质是用大量的三角网格来近似表示三维物体,其存在的主要缺陷就是输出的三角网格太多,以至于用户无法实时对绘制出来的物体进行旋转、平移、缩放等交互操作。通过压缩原始数据虽然可以减少输出的网格数,但这是以丢失图像细节为代价的,而用户有时却往往需要观察图像的局部细节;另一方面,在有些远

景视图中,由于通常并不需要对物体的细节刻画得很详细,因此可以为每一个物体构造若干个不同细节层次的模型,然后再根据视图的远近来选用恰当模型^[1]。由此可见,为满足计算机分析、显示和存储的要求,必须对这类复杂的模型进行简化。

目前三角网格的简化方法大致有以下几种:

(1) 顶点删除^[2,3]

该方法主要是先删除网格上的一个顶点,然后对与它相邻的三角形所形成的空洞作三角剖分,以保持与原物体的拓扑一致性(如图1所示)。

通过该方法简化后的物体与原物体虽具有较高

基金项目:国家自然科学基金项目(60271032)

收稿日期:2002-12-09;改回日期:2003-10-13

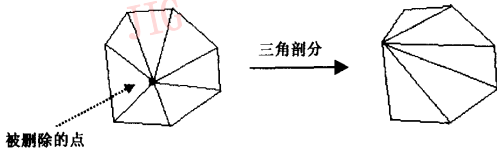


图 1 顶点删除

的相似度,但该方法的简化率(简化比例)不高。

(2) 边压缩^[4]

边压缩是把网格上的一条边压缩为一个顶点,而与该边相邻的两个三角形则退化(面积为零),它的两个顶点则融合为一个新的顶点(如图 2 所示)。



图 2 边压缩

由于该方法既能保持原物体的拓扑结构,也能大量地简化三角网格的数目,因而在实际三角网格简化中得到广泛的使用。

(3) 点聚合^[6]

点聚合是先用一个立方体将原物体包围起来,再将该立方体划分成一个个小立方体,并使位于一个小立方体中的所有顶点聚合成一个新的顶点。该方法虽简化速度快,但有可能造成原物体拓扑结构的巨大变化。

(4) 面片收缩^[6]

面片收缩是把网格上的一个面片收缩为一个顶点,且该三角形本身和与其相邻的 3 个三角形都退化,而它的 3 个顶点则收缩为一个新的顶点(如图 3 所示)。

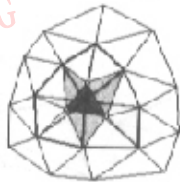


图 3 面片收缩

该方法虽简化率高,但有可能改变物体的局部细节特征,其仅可用于对物体细节要求不高的领域。

2 算法概述

本文基于比较常用的边压缩方法,采用两次映射来定位融合后的新顶点,以使压缩前后的三角网格误差达到最小。

边压缩方法也叫点合并、边删除方法,其操作是将网格上的一个边压缩成一个新的顶点。由于边压缩方法不仅局部控制性强,简单,而且每次简化最多只删除两个三角网格,因此可以较好地满足连续性。

在以前的边压缩算法中,新顶点的位置或者定义为压缩边两端点中的一点,或者为该边的中点。但这种方法不能使压缩前后三角网格误差最小化,而且有时候还可能会导致局部自相交。

可见,新顶点的定位是关键。新顶点定位得好,不仅误差能达到最小,而且简化后的三角网格也能保持原三角网格的几何特征。

本文提出一种两次映射方法,该方法是先将待简化的一组三角网格投影到一个二维平面上,然后在二维平面上定位新的顶点,最后将该点投影回三维空间。实践证明,由此方法产生的误差比自然映射小,而且同时还可以保证不会产生自相交。

2.1 基本定义

定义 1 自然映射

自然映射就是在三角网格简化前,将与被压缩边两端点连接的边,在压缩后直接与新点连接,这样,与压缩边相邻的两个三角面片就变成了一条边。

定义 2 $T(V(P))$ 为与顶点 P 邻接的三角网格集。

定义 3 $T(V(A, B))$ 为同时包含顶点 A 和 B 的三角网格集, $T^c(V(A, B))$ 为不同时包含顶点 A 和 B 的三角网格集。设待简化的一组三角网格集为全集 I

$$I = T(V(A)) \cup T(V(B))$$

那么, $T^c(V(A, B)) = I - T(V(A, B))$ 。

$T^c(V(A, B))$ 如图 4 阴影部分所示。

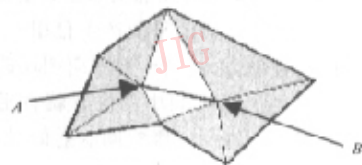


图 4 $T^c(V(A, B))$

2.2 从三维空间到二维平面的映射

对空间给定的一组三角网格,将它们映射到平面后,必须保证其映射是一对一的,且不能相交。若要满足这个条件,则所选定的投影方向与该组三角网格中每一个三角网格的法向量之间的夹角必须要小于 90° (不满足这个条件的不能进行映射),但由于满足该条件的投影方向有很多,因此为了不影响运算速度,可利用高斯球来确定一个唯一投影方向。

大家知道,高斯球是一个单位球,其上的每一个点都对应一个从原点出发的单位向量。对于给定的一个三角网格,可定义一个通过原点,且与该三角网格有着同样法向量的平面,如果投影方向是有效的,那么该三角网格上所有的点在高斯球上的投影就全部位于所定义的平面的同侧。

如果同时考虑两个三角网格时,则投影方向就应该由位于这两个三角网格向量所决定的平面的交集中。依次类推,对于一组三角网格,其投影方向就应该

位于由这组三角网格向量所决定的平面的交集中。

该交集就形成了一个以原点为顶点、底部无限延伸的多面锥体,而投影平面就位于该锥体内。为了不使投影平面处于无限远处,可将锥体的底部在适当的位置截断,这样就形成了一个以原点为顶点、底部为凸多边形的有体积锥体。

通过平均底部多边形各顶点的坐标 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$, 可找到一个点。由于底部多边形为凸多边形,所以找到的点一定位于多边形内部,而原点和该点所形成的法向量为投影方向,这样就可将给定的这组三角网格按投影方向投影到底部多边形上。

2.3 在二维平面上定义一个点

如图 5(a)所示,一组三角网格投影到二维平面上后,就成为一个多边形,而图 5(b)所示的阴影部分则称为该多边形的内核,而且简化时所选定的点应该位于多边形内核中,否则不合法(图 5(c)所示)。

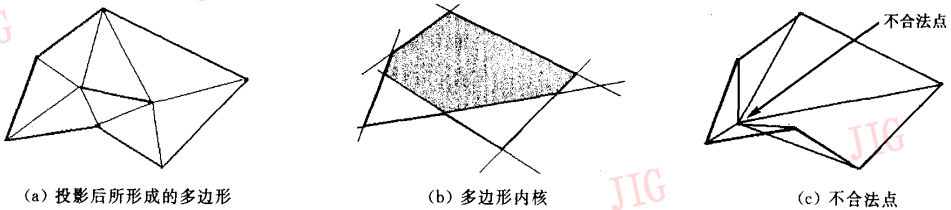


图 5 在二维平面定义新顶点

与选择投影方向类似,可通过平均内核多边形的坐标来找到新顶点(如图 6 所示)。

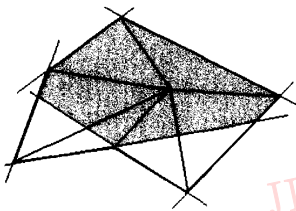


图 6 找到融合后的新顶点

2.4 从二维平面到三维空间的映射

在二维平面上找到新顶点后,还要将它放入三维空间,为了不使简化后的平面产生自相交,可按反投影方向,即与投影方向平行,但方向相反的方向返回,这样新顶点在三维空间中的位置就肯定位于反投影方向的直线上。在向三维空间映射的过程中,还需要计算误差。误差是这样定义的:

压缩后 $T(V(P))$ 与压缩前 $T^c(V(A, B))$ 的距离

和为

$$d_{sum} = \sum D(T^c(V(A, B)), T(V(P)))$$

压缩后 $T(V(P))$ 与压缩前 $T^c(V(A, B))$ 的最大距离为

$$E_2 = \max(D(T^c(V(A, B)), T(V(P))))$$

其中, D 为两三角网格之间的距离,如图 7(a)和图 7(b)中标有相同字母的三角网格之间的距离。如果 d_{sum} 和 d_{max} 在用户所给定的阈值内,那么就选定该点为融合后的新顶点。

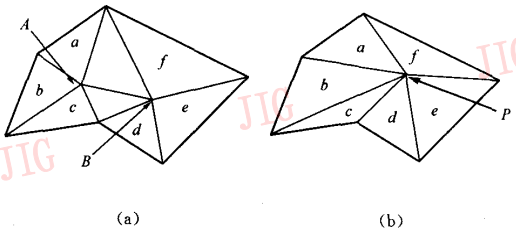


图 7 从二维平面到三维空间映射时的新顶点

3 试验结果分析

为验证本算法的效果,在微机环境下,用 Visual C++ 结合 OpenGL 进行了三角网格简化试验。图 8 是将该方法用于一个三维人头图像的简化结果。原始的人头图像共有 13 424 个三角网格(图 8(a)),经过简化,可达到 5 584 个(图 8(b)),简化率为 41%;再进一步简化,可达到 1 396 个三角网格(图 8(c)),简化率为 10%。运行时间不足 1 s。可见,本文所介绍的方法所需资源低,运行速度较快,而且简化的效果也比较令人满意。

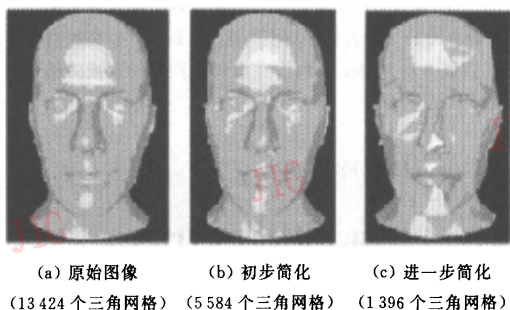


图 8 人头图像三角网格简化试验结果

4 结论

本文提出了一种在二维和三维空间之间采用映射来简化三角网格的方法。为了运算简单,在选择投影方向以及在二维平面上选择融合新顶点时,都采用了平均多边形坐标的方法。在以后的研究工作中,可以针对这两个环节找到一种能进一步减小误差的方法。另外,还应考虑到一些有纹理的三角网格的简化,即在简化过程中,既要减少三角网格的个数,又不能失掉纹理,这是一个很富挑战性的研究课题。

参考文献

- 1 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1996:196~212.
- 2 Schroeder William J, Zarge Jonathan A, Lorensen William E. Decimation of Triangle Meshes[J]. Computer Graphics, 1992, 26(2):65~70.
- 3 Hoppe H. Progressive meshes[J]. Computer Graphics, 1996, 30(2):99~108.
- 4 Michael Garland, Heckbert Paul S. Surface simplification using quadric error metrics[J]. Computer Graphics, 1997, 31(2):209~216.
- 5 Rossignac J, Borrel P. Geometric modeling in Computer Graphics, chapter multi-resolution 3D approximations for rendering complex scenes [M]. New York, USA: Springer-Verlag, 1992:455~465.
- 6 刘保权,周明全,耿国华. 交互式动态体绘制及其加速算法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(3):223~228.



刘晓宁 1978年生,现为西北大学计算机科学系教师,博士研究生。主要研究方向为图形图像处理及可视化技术。多次参与国家八六三项目和国家级自然科学基金项目的研究工作。



耿国华 1955年生,现为西北大学计算机科学系教授,博士生导师。主要从事模式识别、工程数据库等方面的教学科研工作。发表科研论文 60 余篇,出版教材 4 部,学术专著 1 部。



周明全 1954年生,现为西北大学计算机科学系系主任,教授,博士生导师。主要从事图形图像处理及可视化技术等方面的教学科研工作。多次主持国家“九五”项目及国家八六三、自然科学基金项目。