

适于渐进传输的三维模型 LOD 简化方法^{*}

张永志¹, 黄文胜², 晋航³, 潘军¹

(1. 蚌埠坦克学院 计算机教研室, 安徽 蚌埠 233000; 2. 武汉军械士官学校 枪炮系轻武器教研室, 武汉 430075;
3. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

摘要:通过传统多层次细节方式组织的三维模型数据由于每个细节层次都采用一个文件进行组织,而且每个层次的模型都对应单独的属性数据,加重了数据冗余程度,不利于数据网络传输;由于各个层次细节模型独立组织,在绘制过程中各个层次之间变化不连续,导致“跳跃”现象,影响了三维模型绘制的可视化效果. 研究并且提出一种精细模型简化方法;设计一种渐进式模型数据编码方法,对经过简化处理后的多层次三维模型数据进行存储,实现精细模型网络渐进式传输,通过实验检验方法的可行性.

关键词:模型数据;多层次细节模型;边折叠;简化;渐进传输

中图分类号:TP012.1+1;TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2009)01-0076-03

随着三维模型的日益广泛应用,越来越高的复杂场景逼真表现要求和有限的系统软硬件性能和人力物力等成本之间的矛盾也日益突出. Clark^[1]在1976年提出的多层次细节技术是解决此矛盾最通用的方法之一.

常见的多层次细节简化机制包括顶点聚类、增量式简化、采样和自适应细分,简化算法基本都是采用了这4种机制的某种结合或者是变形. Schroeder^[2]等人提出了基于顶点移去模型简化算法, Hamann^[3]提出一种基于三角形移去的模型简化算法, Kalvin^[4]给出了面片合并方法自动生成物体的简化模型, Hoppe^[5]提出了累进网格的概念和生成方法,通过搜索平面区域和特征边,使用边折叠来完成简化功能. 国内研究人员在这方面也开展了些有意义的工作. 尽管当前对几何模型的简化算法研究的比较多,可是对满足基于渐进传输的模型简化和组织方法的研究却涉足较少,这方面的技术也还很不成熟,因此进行这方面的研究有较大的意义.

1 基于边折叠的一种简化算法

1.1 折叠边的选择

正确选择折叠边的次序^[6]可以在折叠的过程中最小程度影响模型的视觉变化. 渐进网格的提出者 Hoppe 采用能量函数作为折叠边的选择条件,获得了比较满意的简化结果,可每秒钟只能简化30个面(15次边折叠),简化效率太低. 在折叠边的选择中,本文采用一种简单高效的方法来产生较高质量的简化模型.

在去除细节简化模型的过程中,对于在同一个平面上的表面,只需使用少量多边形表示;而具有高度弯曲的曲面则需用大量多边形表示. 考虑到简化速度,本文采用一种快速渐进网格生成算法,利用了被折叠边的边长,以及共享该边的两个三角形形成的二面角的余弦值,以它们加权的形式来度量几何误差,并对算法的执行过程进行优化,从而在满足生成简化模型质量的情况下提高简化效率. 即一条边是否要折叠,取决于它的边长和曲率值的乘积^[7],将边长作为几何误差度量因子之一,是因为折叠短边比折叠长边产生的视觉误差小.

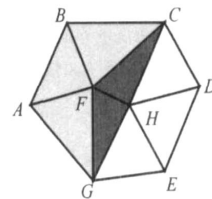


图1 曲率计算示意图

通过比较2个面的法线点积来得到曲率值,即取包含当前检测边的三角面与包含当前检测点的三角面的夹角大小来表示曲率. 具体方法参考图1,当前要检测的折叠边为FH,即检测把F折叠到H的折叠影响(当然该影响越小则FH越优先被折叠). 当前包含FH边的三角形为FHC和FGH,包含被折叠点F的其它三角形为CBF、BAF以及AGF. 分别计算包含折叠边FH的三角形同包含折叠点F的其它三角形法向量的点积,计算折叠边曲率的公

^{*} 收稿日期:2008-09-12

作者简介:张永志(1980—),男,安徽利辛人,硕士,主要从事虚拟与仿真技术研究.

式为

$$\text{mincurv} = \text{Math.Min}(\text{mincurv}, (1 - \text{dotprod}) / 2.0f)$$

其中: mincurv 为折叠边的曲率, dotprod 是三角形的点积。

折叠边的折叠影响因子计算公式为

$$\text{cost}(u, v) = \frac{u - v}{f} \times \max_{T_u} \left\{ \min_{T_v} \left\{ (1 - f \cdot \text{normal} \cdot n \cdot \text{normal}) \div 2 \right\} \right\}$$

其中: T_u 为包含顶点 u 的三角形的集合, T_{uv} 为同时包含顶点 u 和顶点 v 的三角形的集合。

1.2 模型简化算法

边折叠操作只影响和它相邻的顶点,对每次折叠后受影响的顶点重新进行折叠误差计算即可。一般来说,每次边合并涉及的误差重新度量次数同误差度量中所涉及局部区域的大小相关,涉及到被合并的所有相邻三角形的几何信息。若按每个顶点平均有 6 个相邻三角形计算,每次边折叠引发的误差重新度量约有 40 次左右。采用顶点误差队列来对顶点的折叠误差进行排序,折叠位于队首的顶点,然后对其相邻顶点的折叠误差重新计算并更新其在队列中的位置。为了在修改相邻顶点的折叠代价时可以在队列中方便的定位,在原始顶点序列中记录下每个顶点在队列中的位置,当其在折叠代价队列中移动未知时,这个属性也相应的修改。

边折叠的简化过程实质上就是对顶点根据重要性大小动态排序并逐步删除的过程,只要在操作中找出合理的折叠顺序,保证在简化中被删除的顶点或者三角形不再参与后面的排序即可,不需要将这些顶点数据从内存中删除。

由于顺序结构具有最优的存取效率,本文采用顺序结构来存储顶点序列和三角形序列。将模型文件中的顶点数据和三角形数据分别读入两个数组中,再另外创建一个排序数组来对顶点根据其折叠误差进行排序,可以通过将已删除顶点排在当前活动排序队列的末尾,从而不需要改动数据结构。

2 渐进式组织方法和编解码

传统的渐进式模型是以“层”作为基本数据单元来组织的,层次之间会出现很大的跳跃,采用“数据流”进行模型的网络传输可以避免层跳跃现象。与此相对应的模型编码方式必须符合“流”传输的规范,“流”传输最大的特点就是可以保证完全的不间断传输;以“流”方式进行模型数据的还原,可以保证模型下载和显示的过程中是一个完全不间断的过程,使得用户可以随心所欲的看到每一个细节的变化。当网络速度较慢,用户可以在看到满意的细节程度后随时中止下载,而不必去等待所有细节的传输,同时也能获得全部已经下载文件的显示。这就解决了“层”方式所带来的包含细节信息越多的“层”越需要较长时间等待的问题。李公立^[8]在其硕士论文中提出一种基于顶点删除的渐进式编码方法,本文中对其方法进行改进,将其应用于

边折叠简化算法。

将上节中简化的模型作为基本网格文件存储,存储格式是“顶点-三角形”法。在边折叠中,每简化一个顶点,就会删除 2 个三角形,并对简化点相邻的其他三角形更换简化点(如图 2 所示),本文的渐进式组织就是基于该简化顶点删除和更改的三角形进行的。

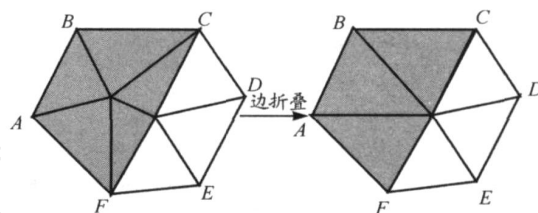


图 2 边折叠过程

2.1 渐进式编码过程

在三角形序列中的每个元素都可以表示为一个由顶点集合中元素索引组成的三元循环组: $t = (i_0, i_1, i_2)$ 。其中,顶点元素的排列顺序服从右手定则。根据这一特点,将移除顶点 v 、删除的三角形序列 T_d 和改变的三角形序列 T_r 记录下来并形成“流”文件。“流”文件以节点为最小单位,节点的定义为

$$\text{Node}_i = \{ i_{\text{index}}, \text{Info}, \text{Triangle}_{\text{delete}}, \text{Triangle}_{\text{change}} \}$$

其中: i_{index} 为节点索引编号, Info 为节点信息,包含节点坐标、法线、纹理坐标等, $\text{Triangle}_{\text{delete}}$ 为边折叠后删除的三角形, $\text{Triangle}_{\text{change}}$ 为边折叠后改变的三角形。

根据曲率和边长的乘积来决定顶点移除的顺序,重要性低的顶点先被移除;重建时,顺序相反。编码时将节点 Node 按照其被移除顶点的重要性进行排序,保证每一个顶点在其重建过程中,所需要的其他顶点都在已存在的顶点序列中。并将模型简化后所形成的最简网格的大小、节点 Node 的个数以及每个节点的大小写入编码后的文件头部,以便对模型进行“流”式传输(如图 3 所示)。

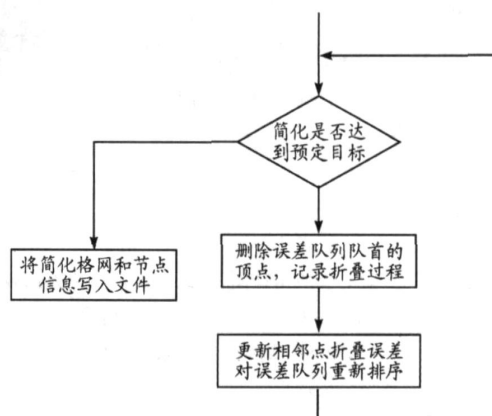


图 3 编码流程

为了方便“流”传输,需要确定每个节点的大小,针对

这个问题,李公立^[8]采用了遍历所有节点 Node,找到具有最多相邻节点的节点,然后用占位符将其他节点 Node 的数据量补足,大大增加了模型文件的冗余数据量。本文采用节点分隔符来对各个节点进行分割,在方便文件读写的同时减少了数据量。

在全部节点 Node 的编码结束后,就可以得到一个“流”文件,该“流”文件中以顺序序列保存了“流”节点序列:

$$\text{Node} = \{ \text{Node}_i | i = 0, 1, 2, \dots, n \}$$

其中: n 为节点数。

2.2 渐进式解码实现

移除顶点所生成的移除顶点序列中,元素 Node_i 包含的是恢复某一个顶点 v_i 的全部信息,所以在编码过程中将 Node_i 作为最小单位,以移除顶点序列的顺序将信息写入“流”文件中。

一个 Node 的基本解码过程为:首先恢复节点 Node_i 中所包含移除顶点 v_i 的信息,同时恢复该点的三维坐标,接着恢复与 v_i 有联系的三角形,再将在边折叠中改变的三角形还原。以图 4 所示为例,首先恢复点 G 的信息,包含其空间坐标、纹理坐标等;然后恢复与 G 有关的三角形,首先增加在边折叠中被删除的 2 个三角形 CGH 和 GFH ,接着恢复在边折叠中改变的 3 个三角形 CBH 、 BAH 和 AFH ,将它们还原到 CBG 、 BAG 和 AFG 。

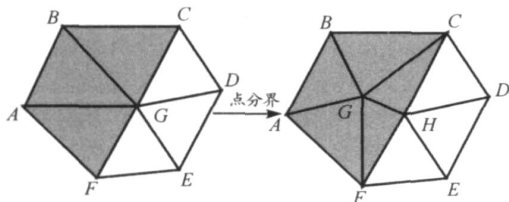


图 4 渐进编码的还原

随着 Node 的逐渐传输和解码还原,最后的模型信息就可以准确地显示在屏幕上;显示顺序是编码顺序的逆向,用下式说明:

$$M^0 \xrightarrow{\text{Node}_n} M^1 \xrightarrow{\text{Node}_{n-1}} M^2 \dots \xrightarrow{\text{Node}_0} M^n$$

其中: M^0 为基础网格; Node_i 为节点操作恢复的对象节点; M^n 为原始网格。

3 实验

比较下面实验的模型拓扑图,可以看出该简化方法较好地保持了模型的基本特征。为方便观察模型简化细节,采用线框图表示(见图 5),实际应用中采用实体表示结合顶点法线视觉效果会更理想。

实验采用 Hoppe 个人主页中的 M 文件模型,效率提升比较明显;实验结果表 1 所示。

由表 1 得知,传统算法因为每简化一个顶点都需要对余下所有顶点重新计算折叠误差,并从中选择折叠误差最小的顶点进行折叠操作,因此其对顶点折叠误差的计算量大致为 $N!$ (N 为模型的顶点数),随着模型复杂程度的增加,耗时量陡然上升;而改进简化算法只需要计算当前折叠点的相邻顶点的折叠误差,在流体模型中,一般一个顶点对应 6 个相邻顶点,因此折叠一个顶点后只需要计算 5 个顶点的折叠误差,所以一个模型对于顶点误差的计算量大致为 $6 \times N$,简化时间大致呈现出线性分布。

本实验采用 Direct3D 三维 API 实现了一个简单的模型简化试验系统,通过使用大量模型数据进行分析比较,证实了采用本文中所讨论的算法是切实可行的。

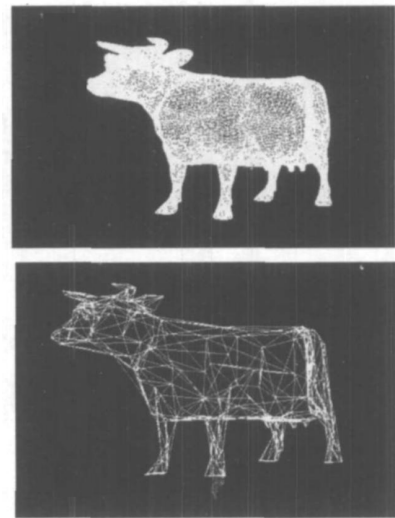


图 5 实验效果

注:左图是原始 cow 模型(顶点数 11610,面数 23216);右图是简化后的 cow 模型(顶点数 300,面数 596)

表 1 模型简化比较

| 模型数据 | 原始顶点数 | 原始型面数 | 传统方法耗时/s | 改进方法耗时/s |
|-------|--------|--------|----------|----------|
| cow | 11 610 | 23 216 | 23 | 0.148 |
| bunny | 34 817 | 69 630 | 201 | 0.547 |
| horse | 48 476 | 96 948 | 388 | 0.835 |

4 结束语

本文中采用了一种改进的高效的模型简化算法,使用该简化算法和渐进式编码技术相结合可以使模型数据以数据流的形式在网络上进行传输,从而不仅可以大大提高网络的传输效率也可以极大的加快客户端的响应速度。模型纹理等属性数据的组织、大数据量模型的简化算法等很多方面需要进一步研究。

(下转第 81 页)

有:抢修时间 T 、抢修资源 R 、任务需要 M 等,可以将上述因素合并表达为代价函数^[3]:

$$C = T + R + M$$

损伤装备有 n 个部件时,优化的抢修顺序由公式(1)确定^[4]:

$$\frac{P_1}{C_1} \quad \frac{P_2}{C_2} \quad \dots \quad \frac{P_n}{C_n} \quad (1)$$

也就是说,总是选择比率 $\frac{P}{C}$ 最高的操作.如果代价相同,先解决损伤概率大的;如果损伤概率相同,则选择代价小的.此抢修顺序的预期代价为公式(2):

$$ECR = C_1 + (1 - P_1) C_2 + \dots + \left(1 - \prod_{j=1}^{n-1} P_j\right) C_n = \sum_{i=1}^n \left(1 - \prod_{j=1}^{i-1} P_j\right) C_i \quad (2)$$

上式说明预期抢修代价是由抢修第 1 个部件的代价,如果抢修不成功(概率是 $1 - P_1$),就需付出第 2 个部件的抢修代价,以此类推.

当鱼雷发射装置发生损伤时,我们就可以根据基于贝叶斯网络的损伤定位过程,建立鱼雷发射装置的贝叶斯网络(如图 3),再根据专家经验或者试验得到的各节点先验概率和条件概率,计算节点的 $\frac{P}{C}$ 值,由公式(1)确定抢修(观测)顺序,由公式(2)计算抢修预期代价,最终做出立即修理、送后修理或放弃修理的决策.当进行一次观测或修理一个部件后,立即更新节点信息,重新确定剩下抢修顺序和预期代价,直到鱼雷发射装置恢复到可用状态或放弃抢修.

4 结束语

对损伤装备进行损伤评估时,快速确定引起装备损伤

的原因,即进行损伤定位,是整个损伤评估过程中的重要环节.利用贝叶斯网络进行智能化的损伤定位,可以提高定位速度,从而加快整个评估进程,提高评估效率.

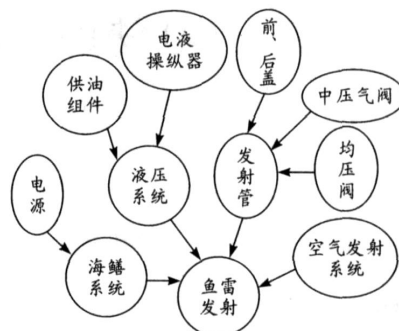


图 3 鱼雷发射装置的贝叶斯网络

参考文献:

- [1] 王润生,贾希胜,王卫国.基于贝叶斯网络的损伤定位研究[J].兵工学报,2006(7):726-730.
- [2] 石全,杜晓明,王润生.装备战场损伤评估理论与技术[M].石家庄:军械工程学院,2005.
- [3] 陈健,李忠民,王永明,潘力.基于贝叶斯网络的装备部件战斗损伤评估模型[J].系统工程与电子技术,2007(2):329-332.
- [4] 刘利,王宏,石全,等.基于贝叶斯网络的抢修顺序优化模型[J].航天控制,2005,22(6):72-75.

(上接第 78 页)

参考文献:

- [1] Clark J H. Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithms[C]// Communications of the ACM, 1976.
- [2] William J, Jonathan A. Decimation of Triangle Meshes [C]// Computer Graphics, 1992.
- [3] Hamann, Bernd. A Data Reduction Scheme for Triangulated Surfaces[C]// Computer Aided Geometric Design, 1994.
- [4] Kalvin A D, Taylor H. Polygonal Mesh Simplification with Bounded Error[C]// IEEE Computer Graphics and Application, 1996.
- [5] Hoppe H. Progressive Meshes [C]// Computer Graphics (SIGGRAPH Proceedings), 1996.
- [6] 淮永建,郝重阳,罗冠,等.LOD 和多边形表面简化[J].系统仿真学报,2001(52):30-33.
- [7] Melax S. A Simple, Fast and Effective Polygon Reduction Algorithm [EB/OL]. [2008-09-12]. <http://www.gdmag.com>.
- [8] 李公立.三维模型的渐进式编码与流式网络传输的研究与实现[D].北京:北京航空航天大学,2004.