

数字博物馆中的三维模型渐进传输方法

李起成, 汪国平

(北京大学计算机系人机交互及多媒体实验室, 北京 100871)

摘要: 实现一种三维模型在网络中渐进传输的方法, 该方法根据 SmoothLOD 模型编码的思想, 设计了一个基于 C/S 的网络传输架构, 从而在浏览过程中从一个点到复杂模型的平滑过渡效果, 并且可以方便地实现三维模型在网络上平滑地增量传输。通过在数字博物馆系统的应用验证, 算法实现了模型在网络上流式传输, 有效地减少了数据传输的网络延迟。

关键词: 数字博物馆; SmoothLOD; 渐进网格; KDTree

Progressive Transmission of 3D Model in Digital Museum Project

LI Qicheng, WANG Guoping

(HCI & Multimedia Laboratory, Department of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871)

【Abstract】 This paper proposes a progressive transmission of 3D model on network, designs a C/S network architecture for SmoothLOD transmission, realizes the effect of smooth transmission from a single point to the complex model when being browsed and conveniently implements the incremental transmission on network. As the application of digital museum project shows, the method can realize the streaming transmission of model on network and reduce the network delay of data transmission.

【Key words】 Digital museum; SmoothLOD; Progressive mesh; KDTree

随着信息技术特别是网络技术的发展, 网络教育的兴起, 用虚拟现实技术等数字化手段对博物馆进行数字化改造, 建成基于网络的数字化博物馆系统, 对于实现资源共享, 保护珍贵的博物馆资源具有极其重要意义。网络缩小了博物馆与观众之间的距离, 使更多的人能够了解博物馆中的藏品信息, 享受知识普及带来的乐趣。

然而基于网络的数字化博物馆系统在实现过程中面临着很多问题, 基于网络的虚拟模型数据传输就是其中的主要问题之一。在数字化博物馆中虚拟模型通常被表示成三角形网格, 有些模型为了能够描述其精细的细节特征, 往往需要几万或者几十万面片表示, 数据量如此巨大的模型必然造成网络实时浏览时的延迟, 用户需要等待数据下载完毕后才能开始浏览虚拟场景。

本文设计了一个基于 C/S 的网络传输架构, 分别实现了客户端和服务端, 对三维模型采用了 SmoothLOD 渐进编码方法, 从而实现了三维模型在网络上平滑地增量传输, 这样用户在接收到部分数据时就可以浏览三维模型, 而不必等待所有数据下载完毕才可浏览, 随着接收数据的不断增加, 模型就会变得越来越精细。北京大学地质系虚拟博物馆中的海龙模型实时浏览应用了本文的方法。

1 相关工作

自 1992 年联合国教科文组织开始推动“世界的记忆”项目以来, 在世界范围内兴起用现代信息技术使文化遗产数字化, 以便永久性地保存以及最大限度地使社会公众能够公平地享有文化遗产。例如, 美国 Stanford 大学利用 0.01mm 精度的非接触式三维扫描仪开展的“数字米开朗基罗”(Digital Michelangelo)项目^[1], 计划将文艺复兴时期的这位意大利著名雕塑家的作品实现数字化。2001 年教育部在《面向

21 世纪教育振兴行动计划》“现代远程教育工程”中专门安排了“现代远程教育网上公共资源建设——大学数字博物馆建设工程”专项, 10 多所大学的博物馆获准立项建设, 至今有多家已开通。例如, 山东大学^[2]采用了 Inspeck 3D-DF 三维扫描仪^[3]和基于 XML 的表示方法^[4], 取得了很好的效果。

目前大部分数字博物馆系统都应用了 LOD 技术, 自从 LOD 技术在 1976 年被首次提出以来, LOD 方法得到了长足的发展并成为实现三维场景快速绘制的重要途径之一。Hoppe 在 1996 年提出一种模型表示方法, 称为渐进网格^[5]。这种方法表示的模型由一个基网格和其上的一系列顶点分裂操作组成, 每经过一次顶点分裂, 模型增加一条边和两个三角面片。随着顶点的分裂, 模型的分辨率逐步提高, 从而实现了分辨率由低到高的连续过渡。渐进网格主要有 3 个特点: 提供了模型平滑变化的连续层次细节模型, 在网络上实现增量传输以及可以在粗糙和精细等级之间任意动态切换, 以上特点使得渐进网格这种模型表示方法非常适合模型的网络传输。Schmalstieg 提出一种几何模型的光滑 LOD (smooth LOD) 表示方法^[6]。该表示与渐进网格相似, 但避免了渐进网格顶点合并时复杂的能量计算, 而且提出一种顶点合并后的细节表示数据结构, 使得该算法更利于网络上的渐进传输。

2 渐进传输的实现

本文设计了一种 C/S 的网络传输结构(图 1), 该结构有 3

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展计划基金资助项目(2004CB719400); 国家“863”计划基金资助项目(2004AA115120); 国家自然科学基金资助项目(60473100)

作者简介: 李起成(1979 -), 男, 博士生, 主研方向: 计算机图形学, 虚拟现实, CAD 仿真; 汪国平, 教授、博导

收稿日期: 2005-12-27 **E-mail:** lqc@graphics.pku.edu.cn

部分组成：预处理程序，服务器端和客户端。预处理程序的功能是读入模型文件，然后对模型进行 SmoothLOD 编码表示，再将编码后的模型文件加入到模型数据库。服务器端的功能是根据服务器的请求从数据库中取得模型的相应 LOD 数据发送到客户端。客户端的功能是接受数据加入到缓存中，然后根据缓存中的数据进行解码并恢复成三角面片表示，再在客户端显示出来。

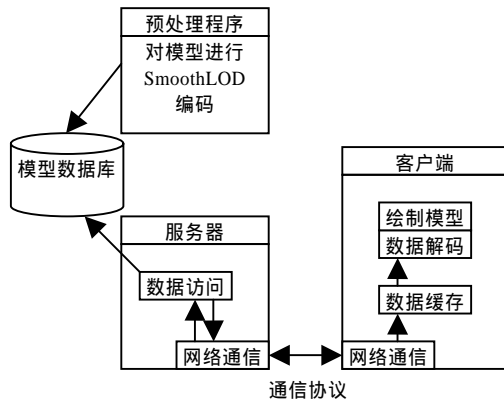


图1 系统结构示意图

2.1 预处理程序

预处理程序首先要做的是模型文件的读入，模型文件读入工作是将各种格式的模型文件转化成统一格式 PLY 文件，PLY(Polygon File)文件是斯坦福大学 Animator Pro 创建的一种图形文件格式，三维扫描产生的模型一般以这种格式保存，这种文件格式的冗余信息很少。

然后对模型数据进行数据压缩，无论是用建模工具手工创建的还是用扫描仪扫描生成的模型数据，其顶点数据都是由浮点数表示的，为此通过离散的方法对顶点数据进行了压缩。对于顶点坐标(x, y, z)，计算模型的包围盒，即模型在坐标轴方向上的最大最小值 xmax、xmin、ymax、ymin、zmax、zmin，然后通过以下公式计算：

$$x' = (x - x_{min}) * (256^w - 1) / (x_{max} - x_{min})$$

$$y' = (y - y_{min}) * (256^w - 1) / (y_{max} - y_{min})$$

$$z' = (z - z_{min}) * (256^w - 1) / (z_{max} - z_{min})$$

如果 w 为 1，则 x' 的范围是 [0,255]，可以使用 1 个字节离散表示；如果 w 为 2，则可用 2 个字节表示。在实践中取 w=2，这样离散误差为 1/65535，能够保证模型精度(10 m 尺度下误差不会超过 0.16ms，而浏览一般不需要这么高的精度)。

模型数据读入并进行压缩后就要使用 SmoothLOD 方法编码，编码就是将模型的三角面片表示转换为链表表示，然后存成文件保存到数据库中。而链表中每个节点由代表顶点、被替代的顶点、更新列表(update list)、折叠列表(collapsed list)以及指向下一个节点的指针 5 部分组成。

SmoothLOD 的编码过程首先要从模型中找到欧拉距离最近的两个点，然后将两个点进行合并，同时从两个点中选出一个代表点，则另一个点用代表点代替表示。重复此过程，直至只剩下一个点，这样就生成了模型的一系列细节表示。在合并过程中，对每个涉及到的三角形有 3 种可能：

(1)有一个点被合并，并且此点作为合并后的代表点。这时不需要任何操作。

(2)有一个点被合并，但此点不作为合并后的代表点。这时需要更新此点。

(3)有两个点合并。这时三角形因一条边的折叠而消失。算法对后两种情况分别采用了更新列表和折叠列表来记录相应的变化。更新列表记录那些被修改的三角面片，折叠列表记录那些消失的三角面片。根据节点的以上数据就能恢复出顶点合并前的三角面片。

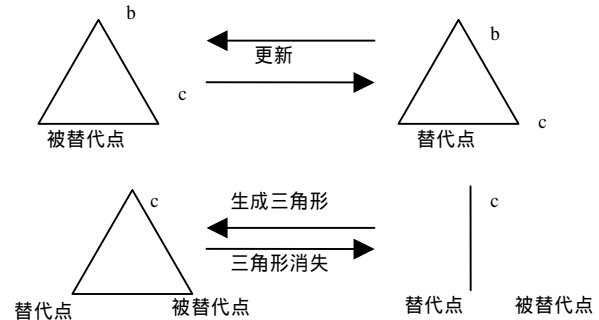


图2 顶点合并过程

在记录更新列表和折叠列表的过程中，如果保存更新和消失的三角面片的全部 3 个顶点，就会造成数据冗余。因为已经记录了代表点和被替代点，所以更新列表只需要记录替代点除外的另两个顶点，而折叠列表只需要记录替代点和被替代点除外的另一个顶点。这样更新列表中每个三角面片只用两个顶点表示，而折叠列表中每个三角面片只用一个顶点表示。

在网络传输中，由于带宽的限制，要尽量减少数据量。SmoothLOD 编码生成链表后会造成大量的重复顶点数据，为了减少重复顶点的数量，模型的三角面片都采用顶点索引的方式表示。

编码过程是一个很耗时的过程，例如对一个几万个三角面片的模型进行 SmoothLOD 编码的时间大约要几个小时。虽然编码过程是个预处理过程，我们也希望能改进其编码效率，分析编码过程中的时间主要消耗在空间中找到欧拉距离最近的两个点，为此采用了 KDTree^[7] 这种数据结构对点集进行空间分割，然后在相邻区域内快速找到欧拉距离最近的两个点，从而提高了编码效率。

2.2 服务器以及传输策略

由于系统采用了 C/S 结构，因此客户端和服务端之间的通信可以通过一个简单的协议实现。请求消息和应答消息结构见图 3。服务器端对于每个连接首先发送虚拟场景描述，然后维护一个请求列表，根据请求逐项发送所需数据。

因为在预处理的过程中，对模型的顶点数据进行了离散化压缩，模型的顶点数据都是相对与包围盒的偏移数据，所以在模型数据传输前首先要将模型的包围盒发送到客户端。另外由于编码过程是对顶点索引形式的三角面片模型进行 SmoothLOD 编码的，因此服务器传送的数据包括两部分：顶点数据和 SmoothLOD 编码数据。



图3 请求及应答消息结构

2.3 客户端策略

客户端采用缓冲区存储所有的接收数据,以最大限度减少网络传输数据量。缓冲区的替换策略主要是以下两点:低级别的 LOD 数据必须优先存储,级别越高越优先替换;离视点远的模型 LOD 数据优先被替换。在虚拟场景的最终显示过程中,对每个模型都使用已经得到的最高 LOD 级别进行绘制,以提高浏览效果。

客户端实现对接收数据的实时绘制需要为每个模型维护一个当前的模型表示,包括两部分数据:顶点数据以及顶点索引表示的三角面片链表。这样解码过程就可以接收到数据后,在当前的模型表示上添加顶点数据,然后解析出接收数据中代表点、被替代点、更新列表和折叠列表,根据以上数据就可以在当前的模型表示中修改更新列表包括的三角面片以及添加折叠列表包括的三角面片。

解码是一个实时的过程,而不像编码那样是一个预处理的过程,当从网络中得到编码后的数据,需要立刻从节点数据中恢复出三角面片绘制出来。因此解码过程对时间效率要求非常高,通过分析,解码过程中主要的时间消耗是修改当前模型表示的三角面片链表中被更新列表包括的三角面片过程,该过程就是每次从接收到的数据取出一个节点都要进行一次更新,需要遍历一次当前模型表示的三角面片链表,从中查找需要修改的三角面片。这实际上是一个检索问题,我们通过使用散列表的方法提高了解码的效率。

3 实验结果

本文方法应用于一个基于网络的虚拟博物馆系统^[8]中,该系统实现了北大地质博物馆部分展室的虚拟场景浏览。

首先看预处理过程中的简化效果,衡量 LOD 简化效果主要是两方面:简化的三角面片数量和简化后的视觉效果。图 4 给出了 SmoothLOD 对海龙模型简化后的网格表示,从左到右分别是 2 764 个面片、4 467 个面片以及 19 448 个面片的海龙模型。

在虚拟博物馆系统的实现中应用了基于图像的建模、基于图像的绘制以及多重纹理等技术,图 5 给出了虚拟博物馆的实时浏览效果图。图 6 给出接收到不同数据量时的海龙显示效果图,其中图 6 (a)是接收到 30k 数据时显示的海龙效果图,图 6 (b)是接收到 60k 数据时显示的海龙效果图,图 6 (c)是接收到 320k 数据时显示的海龙效果图。可以看出,客户端在接收到 30k 数据时已可以基本显示出海龙模型的形状,而接收到 60k 数据时和接收到 320k 数据时海龙的显示效果并没有太大的差别,也就是说客户端在接收到 60k 的数据时就可以达到需要显示的视觉要求。由此可见,实现的渐进传输方法能达到增量传输的效果,有效地减少网络传输量,避免了由于网络带宽限制造成的延迟。

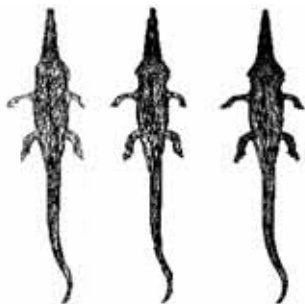


图 4 海龙模型简化后各个级别的网格图



图 5 虚拟博物馆场景的效果图

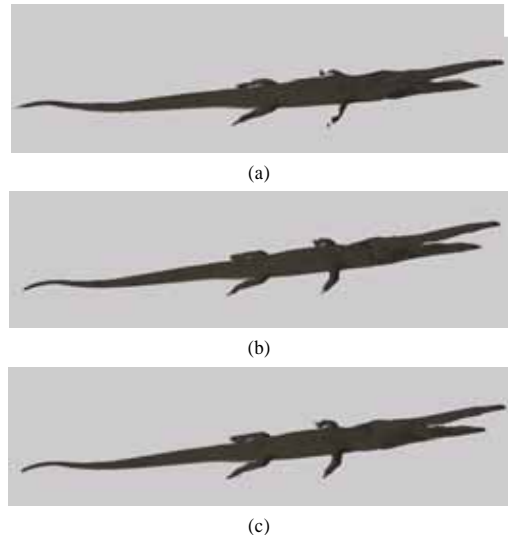


图 6 接受到各级数据时所对应的海龙效果图

4 总结

本文实现了一种在数字博物馆系统中应用的三维模型的渐进传输方法。该方法通过对模型网格简化,并编码生成一系列连续的模型细节表示,可以方便地实现通过网络浏览时模型由粗糙到精细的平滑过渡,并有效地减少了模型数据的网络传输量。本文的渐进传输算法还有一些可以改进的地方,例如考虑加入视点相关的因素,根据遮挡剔除的方法,模型中被遮挡的数据就可以不传输,这样就更有效地减少模型数据的传输量。

参考文献

- 1 Fausto B, Joshua M, Holly R. Case Study: Scanning Michelangelo's Florentine Pieta[C]. Proc. of SIGGRAPH '99, Course Notes 8, 1999.
- 2 向 辉, 孟祥旭, 杨承磊. 山东大学考古数字博物馆设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(3): 319-321.
- 3 荣国栋, 孟祥旭, Inspeck. 3D-DF 三维扫描仪在数字博物馆中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(16): 237-239.
- 4 刘士军, 孟祥旭, 向 辉. 基于 XML 的文物数字博物馆数据集研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14 (12): 1624-1627.
- 5 Hugues H. Progressive Meshes[C]. Proceedings of SIGGRAPH'96, 1996: 99-108.
- 6 Schmalstieg D. The Remote Rendering Pipeline[D]. Technical University of Vienna, 1997.
- 7 Andrew W M. An Introductory Tutorial on Kd_trees[R]. Computer Laboratory, University of Cambridge, Technical Report: 209, 1991.
- 8 李成军, 汪国平, 蒋 珂等. 虚拟博物馆场景构造和渐进传输[C]. 第 4 届全国虚拟现实与可视化学术会议(CCVRV'2004), 2004-08.