

3D多层次模型简化算法的研究

冯良波, 罗大庸

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘 要: 细节层次模型(LOD)是指对同一个场景或场景中的物体,使用具有不同细节的方法得到一组模型,供绘制时使用。建立 LOD 模型能很有效地降低数据量和复杂度,实现三维场景的实时处理。以研究多层次细节模型快速生成算法为目的,在分析当前多层次细节模型生成算法的基础上,构建了三角形面片的权值计算公式,设计和实现了基于面片删除操作的 LOD 算法,详细描述了算法的设计,给出了算法实现所需的关键公式,最后给出了算法的应用实例和对算法时间效率的分析。此算法的最大特点是在不同的层次细节模型之间快速地平滑过渡。从试验结果和分析可见,该算法可以满足大的 3D 模型快速生成和交互的需要,同时也证明了算法的正确性和实用性。

关键词: 三角形网格;模型简化;3D 模型;细分法;权值

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)04-0097-04

Research on 3-D Model LOD Algorithm

FENG Liang-bo, LUO Da-yong

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Level of model (LOD) means to create models with different details in the same scene, and uses them while drawing. Creating models at multiple level of detail can effectively reduce data amount and complexity and realize real-time processing of the three-dimensional scene. An algorithm to rapidly generate adaptive 3-D LOD model is presented. In the beginning, different methods to generate LOD model are investigated and the weight's calculation formula of triangle patches is constructed and LOD algorithm based on patch deletion is designed and implemented. The detail description of its design is presented. Moreover, the key functions of the algorithm are also provided in the paper. At last, a 3-D model on different LOD models generated by the algorithm is illustrated; moreover, the time efficiency analysis for the algorithm is also presented. The practical testing shows that the algorithm has good adaptive characteristic, the most important advantage of the algorithm is that it can quickly changes between different LOD models smoothly. The implementation result and analysis indicate this 3-D model LOD algorithm can meet the needs of browsing and interacting with huge 3D model real time, the experimental data discloses that the algorithm is correct and practical.

Key words: triangular mesh; model simplification; 3-D model; refinement; weight

0 引言

计算机硬件绘图一直在高速的发展,但是仍然不能满足 3D 场景的实时绘制。在研究较大规模的可视化模拟系统时,由于 3D 场景中的模型比较多而且结构比较复杂,如果内存容量无法满足,则不得不牺牲时间进行存储交换。为了获得高效和理想的视觉效果和计算机处理的速度,需要采用一种技术需要对场景中的模型进行有效的处理。细节层次模型 LOD(Level of Detail)方法就是从软件上提高计算机的绘图速度,改

善现实的效果。该方法由 Clark^[1]于 1976 年提出,他认为当物体覆盖屏幕较小区域时,可以使用该物体描述较粗的模型,并给出一个用于可见面判断算法的几何层次模型,以便对复杂场景进行快速的绘制。

在场景的动态显示中,当视点距离某一物体很近时,它的图像在屏幕上占据较多的像素,而当视点距离它很远时,图像在屏幕上占据很少的像素,甚至是一个像素,在这种情况下用大量的三角形网格去精确的表示物体已经没有必要,可以适当合并一些三角形,而不损失画面的视觉效果。这样即保证场景的视觉效果,又能提高场景的绘制帧速,改善系统的实时性。

1 LOD 模型简化介绍

LOD 技术大多数情况下用于简化多边形几何模

收稿日期:2009-06-27;修回日期:2009-09-28

基金项目:湖南省科学技术与科技攻关计划(2006GK3130)

作者简介:冯良波(1982-),男(回族),硕士研究生,研究方向为可视化与虚拟现实技术;罗大庸,教授,博士生导师,研究方向为综合自动化智能控制、信息融合技术及应用等。

型,目前在模型简化的研究中,生成层次 LOD 的方法主要有:细分法、采样法和删减法等^[1-6]。

(1) 细分法。

细分法(Refinement)用非常简单的基模型表示初始模型,然后迭代细分基模型,每一步向模型的局部区域增加越来越多的细节,直到细节的模型满足用户定义的误差要求。

(2) 采样法。

采样法(Sampling)通过随机抽取一些点来初始化多边形模型,通过较少的多边形数重建初始模型且满足采样点处的误差估计,用户可以控制采样点数,但不能控制最终近似的初始多边形模型。

(3) 删减法。

删减法(Decimation)主要通过几何移去模型单元来简化。几何移去包括:顶点删除、边折叠、边压缩法和三角形删减等(如图 1 所示)。

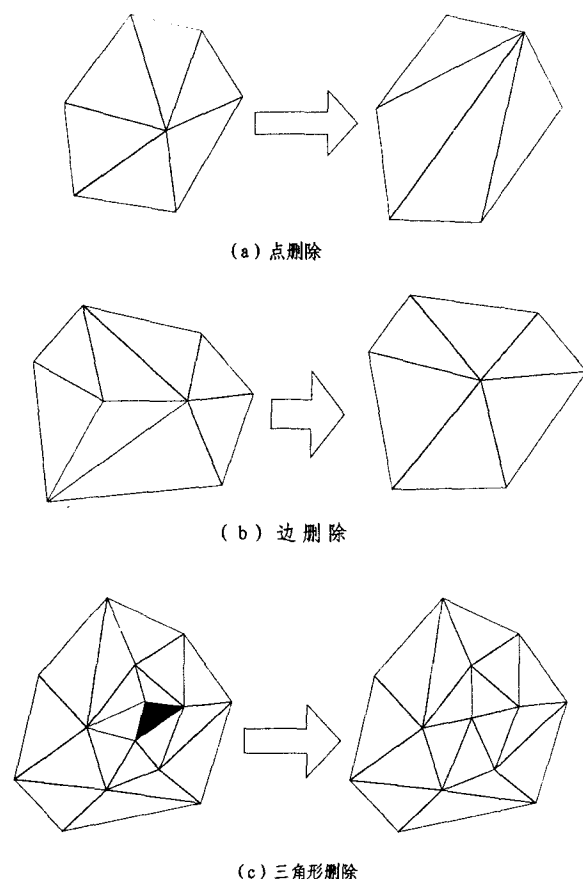


图 1 层次细节模型化简的基本操作

(4) 小波变换法。

此类方法是通过变换技术来实现复杂模型的简化。当前的一个热点是采用小波变换来得到几何模型的多精度表示,其优点是能在简化的模型中较好地保持原模型的局部特征。但是,并非任意形状的复杂模型都能应用小波变换技术予以简化,小波变换技术只

是应用于那些可以用层次结构来表示的模型。

利用这些基本操作,只要确定每次操作给网格场景带来的误差计算,用这个误差代价计算方法来计算原始网格上的每一个基本元素的误差作为权值,插入到一个按权值增序排列的队列中。然后开始循环进行网格基本简化操作。

在每一次循环中,选取队首权值最小的操作并执行之,然后更新变化的网格信息,并重新计算改变了的网格基本元素的误差,插入到队列中,再开始下一个循环,直到队列的最小误差达到用户设定的阈值或者用户希望的化简网格数目即止。

多层次细节简化技术的应用大大减少了 3D 模型中多边形的数目,但是当视点连续变化时,在两个不同层次的模型之间切换就存在一个明显的跳跃,影响了视景的真实性,所以有必要在相邻层次的模型之间形成平滑的视觉过度,使生成的真实感图像序列是视觉平滑的^[7]。

在 MultiGen 中采用了 Morphing 方法来平滑过渡相邻层的 LOD 模型,即在相邻的两层 LOD 之间生成一个过渡带^[8],如图 2 所示。在高精度分辨率 LOD 模型换入前,先在过渡带中生成与高精度分辨率 LOD 的每一个顶点相对应的 Morphing 顶点,其范围位于相邻两个 LOD 模型的顶点之间,一般是选取相邻低精度分辨率 LOD 模型顶点中的最近顶点为其 Morphing 顶点,从而形成了 Morphing 过程中的顶点过渡的两条边^[9]。

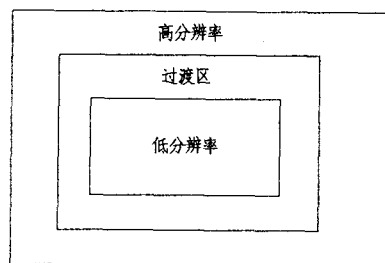


图 2 LOD 模型之间的过渡

2 简化算法流程

以上可以看出 LOD 有很多种算法,各种算法都有使用的局限性,但都是在尽量保持形态特征的前提下,最大限度地删除三角形^[10]。本算法是对删除三角形算法的一种改进,提高了实时效率。

2.1 采用的数据结构

文中算法的数据结构是在 OpenGL 平台上实现的,基本的数据结构由 Vertex, Triangle, Process 三个结构体组成。

```
struct Vertex
```

```
|
GLfloat V_coord[] = new GLfloat[3]; // 顶点三维坐标
GLint V_index; // 顶点索引号
|
struct Triangle
|
|
GLint T_index; // 三角形的索引号(排序标准)
bool T_flag; // 标示该三角形是否被删除
GLTVector3 T_normal; // 三角面的法向量
|
struct Process
|
|
GLint process[] = new GLint[4]; // 顺序存储了一次简化操作
中除的点、三角形的索引号
|
```

所研究的 3D 模型的 LOD 算法的基本思想就是找出权值(weight)最小的三角形 W_i , 根据三角形权值公式来具体决定要删除的三角形。首先通过图 3 来了解两个定义。

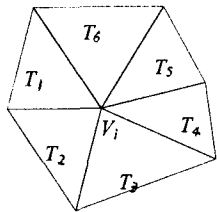


图 3 顶点 V_i 和共享顶点的三角面 T_{v_i}
 T_{v_i} : 共享顶点 V_i 的三角形集合, 在图 3 中 $T_{v_i} = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6\}$;
 W_T : 三角形 T 的权值, 可以按如下公式进行计算。

$$n = \frac{\sum_{T \in T_{v_i}} \Delta T \cdot n_T}{\sum_{T \in T_{v_i}} \Delta T}$$
$$W_T = (1 - k) \times (n \cdot n_T) + k \times \left(1 - \frac{\min(l_1, l_2, l_3)}{l_1 + l_2 + l_3}\right)$$

式中 ΔT 是三角形 T 的面积, n_T 是三角面 T 的法向量, k 是范围在 0 和 1 之间的乘积因子, l_1, l_2, l_3 代表三角形的三条边长。

2.2 算法实现

算法的程序实现流程如图 4 所示。
上述 LOD 算法步骤是通过 OpenGL 编程方法^[11]实现的, 图 5 是 3D 模型在不同层次细节时的截图。

3 试验结果及分析

(1) 算法耗时分析。

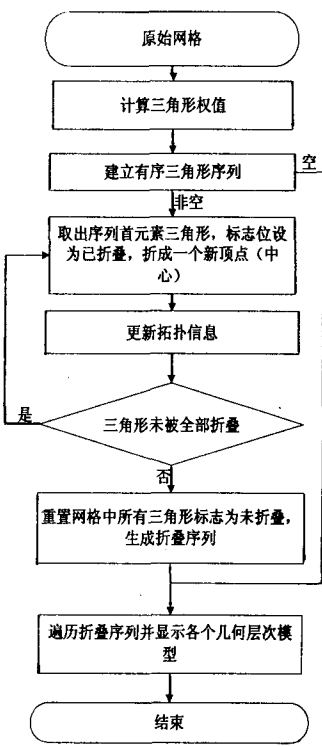


图 4 算法实现流程图



图 5 不同层次细节的 3D 模型

针对距离权重和三角形权重的算法耗时分析, 可得到如表 1 所示的实验数据。

表 1 不同 k 值时算法时间对比

方法 k 值	三角形权重新顶点是中心		距离权重新顶点是中心	
0.12	2.712s		2.845s	
0.34	2.605s		2.769s	
0.52	2.549s		2.632s	
0.75	2.635s		2.664s	
0.88	2.736s		2.703s	

从表中可以看出, 根据三角形权重来简化 3D 模型能够提高简化效率, 促进了 3D 场景的的更迭速度。该几何简化算法的优点是具有极高的计算速度和较小的内存消耗, 而且得到的简化网格具有较高的质量, 虽然该方法不是全局最优的, 但是得到的简化网格的质量可以和全局优化方法相媲美。

(2) 算法显示效果分析。

从实验显示效果上看,图 5 中的模型从右到左的化简率依次为 0% - 27% - 64%,化简率为 64% 时仍能保持模型的基本轮廓。通过多次试验可以得出 3-D 模型越大,三角面片越多,化简率也可以越高。

综上所述,以上各种模型简化方法,都能减少模型中的三角形数目,而且能保持模型拓扑结构,其中基于三角面片权值的方法对数据量大的模型使用效果好,保持模型逼近程度更高,对于大型三维场景来说是首选的方法。

4 结束语

在 LOD 技术中,还有很多内容需要进一步研究,包括物体表面属性(如彩色,纹理等)的统一处理^[12]、多分辨率模型的管理、视点和视区有关的 LOD 生成和绘制算法^[13]、LOD 层次之间的平滑过渡和实时连续 LOD 绘制、基于 LOD 的限时图形绘制、模型近似误差度量标准以及多分辨率模型简化的并行化研究等。

文中提出了一种基于三角形面片权值的原则来删除三角形的 LOD 模型简化算法,使 3D 模型的层次细节显示得到简化,也着重分析了数据的存储结构和算法的流程,说明了 LOD 技术的应用思路,并采用了 OpenGL 编程实现了这个 LOD 算法。实验结果表明,LOD 模型在复杂性大为降低的情况下,不会产生视觉的跳跃,仍能保持良好的视觉效果,同时改善了简化模型的几何相似性,对实验结果分析表明文中的算法切实可行。在今后的工作中将在以下三个方面努力使算法能更好绘制 3-D 模型场景:

①利用模型帧间的相关性优化算法;

②利用三角条(triangle strip)技术以提高绘制和显示的速度^[14];

③研究相应的纹理映射算法^[9],加快纹理映射速度。

但是到目前为止,LOD 算法仍然没有完善,其主要缺陷是只能简化模型的静态特征,针对复杂表面物体模型的简化算法相对复杂,并且在场景切换导致层

次模型切换时会产生不连贯现象,有待一步的研究能解决这些问题,使 LOD 算法得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] Lindstrom P, Koller D, Ribarsky W, et al. Real-time continuous level of detail rendering of height fields[J]. Computer Graphics, 1996, 30: 109 - 118.
- [2] Hoppe H. Progressive meshes[C]//In: Rushmeier H. Proc. of the SIGGRAPH'96. New York: ACM Press, 1996: 99 - 108.
- [3] Duchaineau M, Wolinsky M, Sigeti D, et al. ROAMing terrain: Real-time optimally adapting meshes[C]//In: Proceedings of IEEE Visualization'97. [s.l.]: [s.n.], 1997: 81 - 88.
- [4] Kent J R, Carlson W E, Parent R E. Shape transformation for polyhedral objects[J]. Computer Graphics, 1992, 26(2): 47 - 54.
- [5] 周 扬, 姬 渊. 基于三角形折叠的连续多分辨率 LOD 算法[J]. 测绘学院学报, 2004, 21(4): 279 - 285.
- [6] 雷伟杰, 蔡 勇. 基于分层次细节模型的场景快速绘制[J]. 网络信息技术, 2004, 23(5): 73 - 79.
- [7] Kalvin, Alan D, Taylor R H. Superfaces: Polygonal mesh simplification with bounded error[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(3): 64 - 77.
- [8] 郭 铃, 周献中. 关于改善可视化仿真系统实时性的途径[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29(2): 128 - 132.
- [9] 冯 洁, 查红彬. 大型三维网格模型的简化及基于视点的 LOD 控制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(2): 186 - 193.
- [10] 邹逸江, 吴金华. 虚拟地理环境视景研究[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(1): 67 - 71.
- [11] 苏鸿根. 三维计算机图形学和 OpenGL For Windows 编程[M]. 北京: 中国科学院研究生院出版社, 2003.
- [12] Hoppe H. Efficient Implementation of Progressive Meshes[J]. Computers & Graphics, 1998, 22(1): 27 - 36.
- [13] 潘志庚, 马小虎, 石教英. 多细节层次模型自动生成技术综述[J]. 中国图形图像学报, 1998, 3(9): 754 - 759.
- [14] Franc IN E E, Stev EN S, AM ITABH V. Optimizing Triangle Strips for Fast Rendering[C]//Proceedings of Visualization'96. New York: IEEE Computer Society Press, 1996: 319 - 326.

2010 年中国计算机大会

(China National Computer Conference, CNCC2010)

将于 2010 年 9 月—10 月在杭州隆重召开。