

大数据三维模型快速显示技术研究

付燕平, 罗明宇, 刘其军

(广东粤铁瀚阳科技有限公司, 广东 广州 510630)

摘要:随着三维模型技术的发展,生命线工程三维模型显示中存在数据量大、渲染时间长、显示处理运算压力大等问题。为此,文中构建了高度协同的分布式集群并行显示系统。在分析生成多分辨三维模型常用算法的基础上,提出了大数据三维模型的多分辨处理算法,通过建立多层次细节模型(LOD),实现了大数据三维模型的集群并行快速显示。实验结果表明,文中提出的大数据三维模型集群并行显示系统既可兼顾三维模型的显示速度,又可并行显示出模型的精细信息,为大数据三维模型快速、高分辨率显示提供了可行的解决方案。

关键词:集群;多分辨;大数据;三维模型;塌陷算法;多层次细节模型

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)05-0087-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.05.021

Research on Fast Display Technology for Big Data Three-dimensional Model

FU Yan-ping, LUO Ming-yu, LIU Qi-jun

(Guangdong Railway & Sun Technology Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

Abstract: With the development of 3D model technology, lifeline engineering 3D model shows the problem that the amount of data is large, the rendering time is long, and display processing operation pressure is high. To solve these problem, a distributed and parallel cluster display system is presented in this paper. Based on analysis of commonly used algorithms in generating multi-resolution 3D model, the large data multi-resolution processing algorithm of 3D model is put forward, by establishing a multiple Level of Detail (LOD) model, realize the cluster parallel fast display of big data 3D model. The experimental results show that the proposed 3D model big data cluster parallel display system can give attention to display speed of 3D model, and show detailed information of the model in parallel, providing a feasible solution for quick and high resolution display of big data 3D model.

Key words: cluster; multi-resolution; big data; three-dimensional model; collapse algorithm; LOD

0 引言

随着三维模型技术的发展以及三维建模软件功能的不断完善^[1],高速铁路、桥梁隧道、供水供气等生命线工程在规划设计、施工建设等阶段积极采用了基于三维模型的 BIM(建筑信息模型)技术^[2-4],为生命线工程建设中的多学科、多专业交叉设计、沟通提供了直观有效的信息可视化模型,极大地提高了生产效率,避免了设计冲突、节约了建设成本,三维模型的推广应用为生命线工程的工业化与信息化结合、实现绿色建设提供了强有力的支撑。

由于生命线工程是对社会生活、生产有重大影响的交通、通信、供水排水、输油等工程系统,具有规模

大、专业交叉、信息复杂等特点,其三维模型数据量大、渲染时间长、显示处理运算压力大,迫切需要研究大数据三维模型的超高分辨快速显示技术。

为提高大数据三维模型的显示速度,常用的方法是对原始模型进行简化操作,生成多分辨不同细节层次的简化三维模型。文献[5]通过删除原始模型中夹角最小且公共边最短的三角形来合并模型实现三维模型的简化。文献[6]使用多视角的 Billboard 技术实现了一种粗精度三维模型显示,可极大提高三维模型在单机上的显示效率。Hoppe^[7]定义了基于视锥模型表面法向和屏幕空间几何误差的简化准则进行选择性的边塌陷和顶点分裂,以简化大数据三维模型的处理。

上述方法通过模型简化实现了大数据三维模型的

收稿日期:2014-07-09

修回日期:2014-10-13

网络出版时间:2015-04-23

基金项目:广东省重大科技专项(2012A080102003);广东省省部产学研结合项目(2012B090500012)

作者简介:付燕平(1985-),男,硕士,研究方向为图形图像处理、并行显示;罗明宇,总工,博士,研究方向为通信技术、大数据处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150423.1534.004.html>

显示,但在简化模型的过程中,不可避免地丢失了大量信息。为此,文中通过构建集群并行显示系统,对大数据三维模型进行多分辨处理,生成多层次细节模型(LOD),根据视点距离的远近加载显示不同层次的三维模型,从而实现了大数据三维模型的集群并行快速显示。既兼顾了大数据三维模型的显示速度,又并行显示出了模型的精细信息,满足不同信息的快速显示需求。

1 集群并行显示系统

集群并行显示系统利用多台节点计算机连接拼接显示屏组成一个集群显示系统。既可充分发挥计算机的图形处理能力,又可利用集群计算构建并行的信息显示系统,建立一个高度协同的分布式集群可视化平台,支撑高性能的超高分辨信息显示。集群并行显示系统具有灵活性好、扩展能力强和性价比高等优势^[8-9]。

通过计算机集群处理技术构建的并行显示系统如图 1 所示。

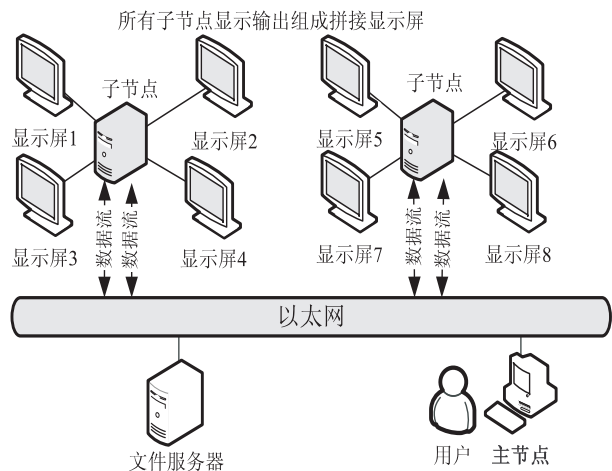


图 1 集群并行显示系统结构

系统采用一台主控制节点机来协调控制多台子节点的同步渲染和处理操作,每个子节点机连接 2~4 台显示屏。

由主控制节点机调度各子节点机的渲染和处理,实现显示区域的划分和同步管理。子节点机在主节点机的控制指令下建立显示环境、对场景进行绘制和裁剪,为每块显示屏提供显示信号。每台子节点机在主节点机的控制下实现自主并行数据处理,并对显示屏进行实时渲染输出。

集群并行显示系统充分利用了节点机的图形处理能力,可实现高度协同、高性能的分布式集群并行显示。虽然单台子节点机的输出分辨率有限,但多台子节点机集群后即可并行完成超高分辨率图像和三维模型的显示任务。

2 多分辨三维模型

对于高速铁路、桥梁隧道等生命线工程的大数据三维模型,其 BIM 模型集成了三维几何信息和建筑属性信息等多维信息,信息数据量非常大^[10]。这些模型不仅提供了高精度的建筑信息,同时也提供了可视化的高真实感图像,提升了用户基于三维模型的信息决策分析能力。但由于相关三维模型的数据量大,显示输出速度慢,成为了三维模型应用的瓶颈。例如,广州白沙河大桥的 BIM 三维模型包含 160 万个顶点和 3 百多万多边形,其显示处理运算量大,难以快速完成全模型的显示任务。为此,需要研究多分辨三维模型处理技术,以支持大数据三维模型的快速显示。

多分辨三维模型处理技术在保证三维模型外形相似和满足精度的前提下,对模型进行了多分辨简化处理,生成多分辨率三维 LOD (Level Of Detail) 模型。通过生成多分辨率三维模型,可以在较小的时间代价下在不同细节层次(LOD)之间实现三维模型的显示切换。当需要显示三维模型的整体宏观信息时,采用信息较少的模型来代替高精度的原始模型,以减少三维模型的数据处理量,提高渲染效率,加快三维模型的显示速度。

目前,生成多分辨三维模型常用的算法主要有静态模型简化和动态模型简化^[11-13]算法:

(1) 动态模型简化是在模型显示过程中,通过塌陷和细化运算实时运算获得所需分辨率的三维模型;

(2) 静态模型简化是在模型显示之前由复杂模型生成离散的细节层次模型,存储供快速渲染显示时调用。

两种算法各有优缺点:静态模型简化在使用之前进行预处理生成了离散的 LOD 模型,显示速度快,但需要占用较多的存储空间,同时由于 LOD 在不同分辨率下的模型具有不连续性,相邻两层模型差别较大,切换时会引起跳跃的感觉;动态模型简化生成的是连续的 LOD 而不是离散的 LOD 模型,可避免 LOD 切换时的跳跃感,但动态模型的计算量较大,影响三维模型的显示速度。

虽然静态模型简化需要较多的存储空间,但当前的计算机存储容量是足够的,同时,静态 LOD 三维模型在显示过程中无需把各个分辨率下的三维模型数据全部加载到内存中进行显示,只需根据显示需要逐步加载,可有效地减少显示运算量、提升显示速度。

因此,可采用静态模型简化算法生成大数据三维模型的多细节层次模型。具体可采用几何删除法对三维模型进行简化并构建多分辨率 LOD 模型,不同分辨率的模型都是在上一层 LOD 模型的基础上应用塌陷算法生成的,相关塌陷算法主要包括:顶点塌陷、边塌

陷和面塌陷算法。实现塌陷操作的示例如图 2 所示。

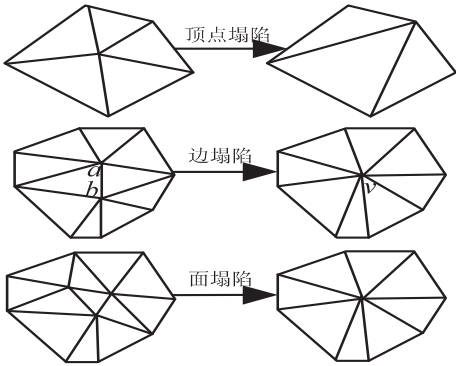


图 2 塌陷算法

(1) 顶点塌陷:通过删除网格中的一个顶点,然后对其相邻三角形的空洞做三角剖分,以保持网格拓扑的一致性。

(2) 边塌陷:将网格的一条边压缩为一个顶点,与该边相邻的两个三角形退化至面积为零,如图塌陷边 ab 到一个新的顶点 v ,使得边 ab 被删除,同时, ab 边邻接的三角形也被删除了。边塌陷的核心是找出夹角最小且公共边最短的两个三角形,将其公共边删除,并将公共边相邻的三角形合并为一个新的顶点。可用式 (1) 的代价方程来判断公共边是否可删除:

$$\text{cost}(a,b) = \|a - b\| \times \max_{f \in T_a} \{ \min_{h \in T_{ab}} \{ \frac{(1 - f \cdot n \cdot h \cdot n)}{2} \} \}$$

(1)

其中, cost 表示 ab 边的塌陷代价; n 为法线; T_a 为含顶点 a 的三角形的集合; T_{ab} 为同时包含顶点 a 和顶点 b 的三角形的集合。

(3) 面塌陷:将网格中的一个三角形面收缩为一个顶点,该三角形面本身和与其相邻的 3 个三角形都退化,而其 3 个顶点收缩为一个新的顶点。

图 3 是采用塌陷算法生成的多分辨率三维模型。

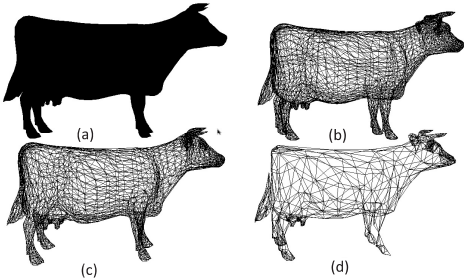


图 3 塌陷算法多分辨率三维模型生成示意图

图中, (a) 为原始三维模型, (b) 为原始三维模型网格图, (c) 为原始模型简化 80% (顶点数与原始模型顶点数的比值) 后的网格模型, (d) 是原始模型简化 20% 后的三维网格模型。

从图中可以看出,经过简化后网格的数量减少,模型的信息精度逐渐降低。但是模型的基本形状保持不变,图(d)的低精度简化模型网格数量明显减少,显示

渲染处理效率会明显上升,且不影响模型的整体结构。显示过程中,可从图(d)过渡到图(b),完成大数据三维模型的快速显示。

3 三维模型集群并行显示

由于大数据三维模型包含的图元和数据体量大,集群并行显示系统节点机直接进行绘制处理将大大地影响显示系统的总体性能。为了保持集群系统的并行显示能力,首先应对大数据三维模型进行多分辨处理,生成多个层次细节的 LOD 模型,多分辨处理的算法步骤如图 4 所示。

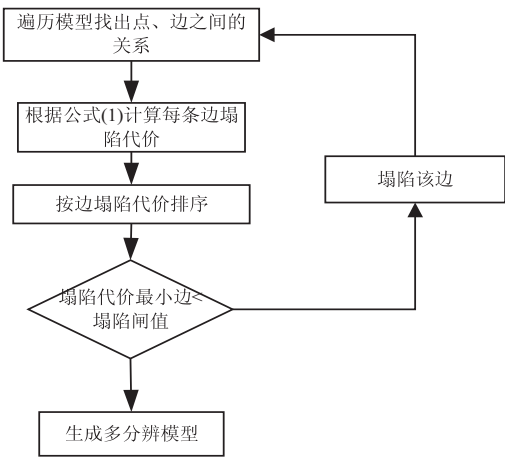


图 4 多分辨处理的算法实现

使用塌陷算法对大数据三维模型进行多分辨处理后生成多层次细节模型。集群并行显示系统可利用 OSG (OpenSceneGraph) 对场景信息进行管理^[14],使用 LOD 要求所有的多分辨细节模型一次载入内存,当场景中存在大量的 LOD 节点时,对内存的需求将非常巨大。为此可采用 OSG 提供的 PagedLOD 节点来代替 LOD 节点。PagedLOD 是 LOD 节点的加强版,可保证每个 LOD 节点的每一层模型只在需要显示时才进行加载,当不需显示时可动态卸载。PagedLOD 类可对三维模型多分辨 LOD 节点进行动态加载和渲染显示。多分辨模型的载入过程是在场景遍历时异步加载的,这样当模型的数据量非常大时可保证渲染线程不会因模型加载而阻塞,保证了渲染速度的稳定。当遍历 PagedLOD 节点时,系统应根据当前显示的分辨率需求决定载入的 LOD 节点,完成渲染显示。

在集群并行显示过程中,也可以对大数据三维模型进行局部多分辨处理,针对不同节点机的显示需求加载显示相应层次的多分辨模型,进一步提高系统的显示效率,确保三维模型的显示速度。

4 实验结果

实验中采用的 SPIDer 集群并行显示系统由 6 台

节点机和 18 块显示单元拼接组成,通过主节点控制 5 台子节点,每台子节点内存 8 G、显存 2 G,其中 4 台子节点连接 4 块显示单元,1 台子节点连接 2 块显示单元,集群后的系统可提供亿像素以上的信息处理能力。

实验采用的三维模型为广州白沙河大桥设计模型,集群并行显示效果如图 5 所示。

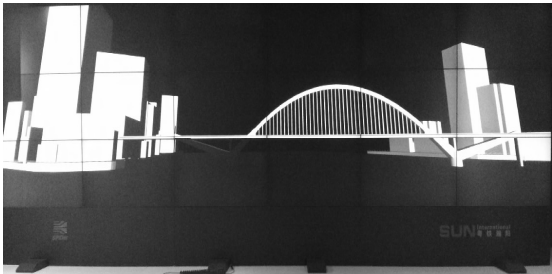


图 5 白沙河大桥多分辨模型集群显示效果图

表 1 给出了原始三维模型和不同简化率下多分辨模型的顶点数、面数、集群显示载入时间等实验结果。

表 1 多分辨模型载入对比

简化率	顶点	面	集群载入平均时间/s
原始模型	169 万	310 万	31
0.5	93 万	157 万	10
0.2	46 万	65 万	6

可以看出,随着模型的简化,模型在集群中的载入时间明显缩短,渲染效率有了很大的提升,同时,三维模型的显示速度也趋于稳定。

因此,采用多分辨三维模型后,系统可首先载入简化后的模型,然后,随着视点距离的拉近加载显示不同层次的三维模型,减少三维模型的显示载入时间,提高渲染显示效率,便于决策者既见森林、又见树木,实现宏观信息与精细信息的快速切换显示。

5 结束语

针对生命线工程三维模型显示中存在的数量大、渲染时间长、显示处理运算压力大等问题,文中构建了集群并行显示系统,对大数据三维模型进行了多分辨处理,生成了多层次细节模型(LOD),根据视点距离的远近加载显示不同层次的三维模型,从而实现

了大数据三维模型的集群并行快速显示。
实验结果表明,大数据三维模型的集群并行显示系统既可兼顾大数据三维模型的显示速度,又可并行显示出模型的精细信息,可有效地满足生命线工程三维模型的显示需求,为大数据三维模型快速、高分辨率显示提供了有效的解决方案。

参考文献:

[1] 丁 丽. 基于 OpenGL 的三维模型的可视化研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.

[2] 李 杰. 生命线工程的研究进展与发展趋势[J]. 土木工程学报, 2006, 39(1): 1-6.

[3] Smith D. An introduction to Building Information Modeling (BIM)[J]. Journal of Building Information Modeling, 2007 (9): 12-14.

[4] 魏英洪. BIM 技术中建筑工程可视化应用方法及价值探讨[J]. 铁道勘察, 2014(1): 17-19.

[5] 张宛方, 苏鸿根. 3D 模型 LOD 算法的研究及其 OpenGL 实现[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(10): 1790-1791.

[6] 赵 龙, 秦 昆. 一种粗精度三维模型的生成与快速显示方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(6): 2381-2385.

[7] Hoppe H. Progressive mesh[C]//Proc of ACM SIGGRAPH. [s. l.]: [s. n.], 1996: 99-108.

[8] 石教英. 分布式图形绘制技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[9] 俞凌云, 王毅刚, 王 亢. 大屏幕无缝拼接系统的应用软件平台开发[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2434-2436.

[10] 何 波. 大型项目 BIM 模型组织方法与实践[J]. 土木工程信息技术, 2012, 4(4): 7-14.

[11] 张志国. 基于边塌陷和顶点分裂的动态多分辨率网格生成[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.

[12] Chen Huahong, Luo Xiaonan, Ling Ruotian. Surface simplification using multi-edge mesh collapse[C]//Proc of fourth international conference on image and graphics. [s. l.]: [s. n.], 2007: 954-959.

[13] 费红辉, 王毅刚. 大规模场景分割及 LOD 结构生成算法研究[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(7): 227-230.

[14] 王 锐, 钱学雷. OpenSceneGraph 三维渲染引擎设计与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 74-86.

大数据三维模型快速显示技术研究

作者：[付燕平](#)，[罗明宇](#)，[刘其军](#)，[FU Yan-ping](#)，[LUO Ming-yu](#)，[LIU Qi-jun](#)
作者单位：[广东粤铁瀚阳科技有限公司, 广东 广州, 510630](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(5)

引用本文格式：[付燕平](#). [罗明宇](#). [刘其军](#). [FU Yan-ping](#). [LUO Ming-yu](#). [LIU Qi-jun](#) [大数据三维模型快速显示技术研究](#)
[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(5)