

文章编号:1001-9081(2005)09-2188-04

多分辨率并行等值面绘制

艾志玮,王弘堃

(北京应用物理与计算数学研究所 高性能计算中心, 北京 100088)

(azw@mail.iapcm.ac.cn)

摘 要:文中介绍一个多分辨率并行等值面绘制系统的设计与实现。通过显示调度策略实现基于多层次细节的实时等值面绘制。着重讲述并行处理、网格简化和多分辨率显示技术。实验结果表明,该系统能在并行分布式环境下动态生成等值面的多分辨率模型,实现等值面的远程快速绘制。

关键词:并行处理;可视化;等值面;多层次细节

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Multi-resolution parallel isosurface rendering

AI Zhi-wei, WANG Hong-kun

(High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract: A visualization system of multi-resolution parallel isosurface rendering was presented. With an explicit schedule strategy, real-time rendering based on Level-Of-Detail model was achieved. Mesh reduction and multi-resolution techniques were introduced. Some experiments show that fast isosurface rendering can be realized in parallel and distributed environment.

Key words: parallel processing; visualization; isosurface; LOD

等值面是显示三维标量场数据的主要技术之一。等值面绘制技术在科学可视化中应用很广,多标量场中的可视化问题都可归纳为等值面的生成与绘制,如医学图形处理中的三维重建,气象研究中的等压面和等温面等。随着数据场规模的急剧扩大,计算速度成为可视化算法设计中着重考虑的问题之一。个人计算机存储空间的扩大、计算能力的提高尚不足以解决这个问题。因此,并行等值面绘制技术的研究与开发成为提高数据处理规模和效率的一个重要途径。目前成熟的可视化产品都具有了强大的结果分析能力,但是大多不支持并行处理功能,如 Amtec 公司的 Tecplot 等。尽管 Kitware 公司研制的 Paraview^[1,2] 具有并行处理功能,但是在动态多分辨率显示方面缺乏支持。为了实现对大规模数据场等值面的并行多分辨率绘制的实际要求,我们提出一个简易高效的并行等值面绘制的解决方案。

该解决方案采用了 C/S 工作模式,以 Visualization Toolkit^[3] (VTK) 软件包为底层可视化模块,实现大规模标量场数据在高性能并行机上的并行等值面提取,在远程图形工作站上实现等值面的显示。利用层次细节模型 (LOD) 技术对等值面表面进行简化的最新技术,通过在各个计算结点上制定显示调度策略实现模型的局部选择显示和动态多分辨率模型显示。该解决方案充分利用高性能并行机的并行处理功能,实现大规模三维标量数据场的并行等值面绘制,获得了良好的加速性能,多分辨率显示提高了系统的交互性能。

1 系统设计

1.1 设计目标

系统的设计目标:①分布式环境下远程可视化:可视化服务器运行在高性能并行机或计算机机群上,实现等值面的并

行绘制,产生图形数据,可视化客户端运行在远程工作站,完成图形显示;②多分辨率显示:通过制定显示调度策略实现视区选择法和模型的动态多分辨率显示;③数据处理的正确性:保证分布式环境下等值面并行处理和图形显示的正确性;④移植性:整个系统可以跨多种操作平台,具有良好的可移植性。

1.2 系统体系结构

系统的设计目标是正确实现分布环境下三维标量场的等值面并行可视化绘制。系统的体系结构如图 1 所示,主要由 3 个模块构成,即可视化处理模块、数据传输模块和图形显示模块。可视化处理模块运行在可视化服务器上,实现等值面抽取及网格简化;数据传输模块加载在可视化服务器和可视化客户端上,通过点对点通信器,实现几何数据的传输;图形显示模块运行在远程图形工作站上,实现图形显示。

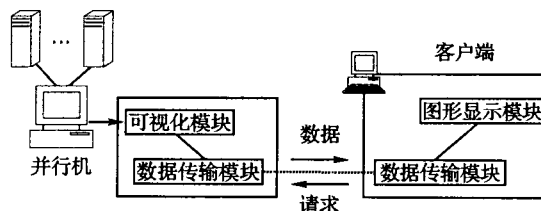


图 1 系统的体系结构

2 关键技术

2.1 并行处理

为了加速超大规模数据场的等值面绘制,我们采用了数据并行的处理方式,如图 2 所示。每个处理机上同时加载了数据读入、等值面抽取、模型简化模块。数据场的读入可以以垂

收稿日期:2005-04-28;修订日期:2005-07-27 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60425205)

作者简介:艾志玮(1973-),男,湖南邵阳人,工程师,主要研究方向:科学计算可视化;王弘堃(1966-),男,辽宁锦州人,高级工程师,主要研究方向:科学计算可视化、虚拟现实。

直于X轴、Y轴、Z轴方向的片状方式读入,也可以以自定义的块状方式读入。当每个处理机读入所需的数据场信息后,进行等值面的抽取及模型的相关简化,主控进程统一收集各个处理机的处理结果,统一绘制。为了实现主控程序对数据的收集,在每个进程内创建一个数据源的输出口,而在主控程序进程内创建数据源的输入端口,通过底层的通信器实现数据的传输。

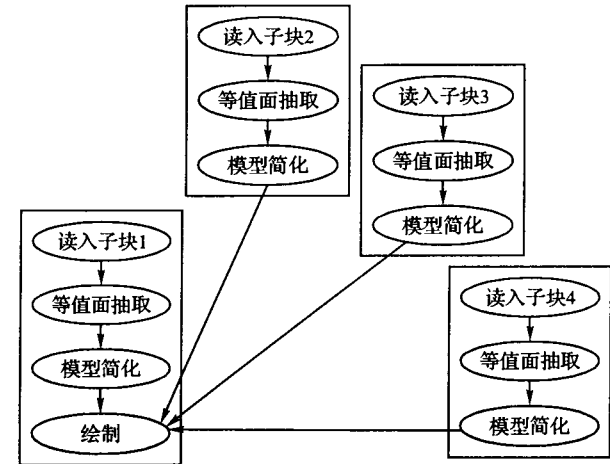


图2 数据并行模块图

2.2 网格简化

由于绘制时间和存储量与多边形的数量成正比,因此过于庞大的物体网格模型通常是不实用的。一种有效的途径是对网格模型进行简化,其本质是在减少网格三角面和顶点数目的同时尽量保持原始模型的拓扑结构、边界和尖锐棱边之类的形状特征。

该系统提出了一种基于边顶点重要度的简化方法,即通过折叠边的长度和待合并顶点到其星型邻域平均平面的距离计算为标准,建立边折叠优先队列,删除一些不必要的采样点,以减少数据量。在进行重要度计算过程中,利用二叉树的快速排序功能预先对每个结点进行重要度排序,建立一棵相对应的三角形二叉树;而在简化过程中,每次删除最小的叶节点,完成边折叠操作,随后根据重要度的变化局部调整树的结构,达到简化的目的。

算法步骤如下:

(1) 识别顶点的几何和拓扑特征

按其顶点的分类,除了复杂顶点(以其为端点的边没有被两个三角形所共享,或者该顶点被一个没有在三角形环中的三角形使用)不能被删除外,其余顶点都可以成为候选删除顶点。

(2) 求出顶点的去除条件值

对于简单顶点(正好被一个完整的三角形环所包围,每一个以该顶点为端点的边被两个三角形所共享),将其与一个平均平面的距离作为去除条件。

(3) 三角化顶点删除后留下的洞

如果删除了一个顶点以及与该顶点相关的三角形,那么由与该顶点相关的有序顶点环(或半环)所形成的多边形区域必须进行三角化。

该算法的实际应用效果,如图3所示,原始模型的三角面片数为52660个,简化量为75%后的三角面片数为13065,模型规模减少了3/4,同时可以看到模型的本身并没有太大的

失真,简化后的模型很好地逼近了原始模型。当简化量为90%时,简化后的模型所含三角面片数目很少,但是模型的基本轮廓特征依然清晰。因此,该算法具有一定的适用性。

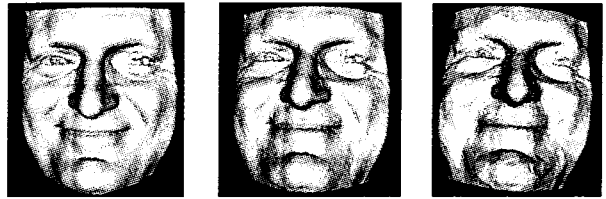


图3 顶点删除算法的实际效果图

2.3 多分辨率显示

多分辨率模型(Multiple Resolution Model)的几何和表面属性用多种细节层次来表示,绘制程序就可以根据需求选择相应的细节层进行显示,这样就避免了因绘制那些意义相对不大的细节而造成的时间上的浪费。

2.3.1 显示调度策略

该系统提供两种显示方式:视区选择法和多分辨率显示。其中视区选择法是通过用户对用户关心的模型区域进行选择,依据主控程序的显示调度策略,收集相关的处理器上的几何数据,绘制用户关心的区域;多分辨显示是对多个处理机上的模型以不同的简化量进行简化,以达到模型中不同区域的显示精度不同,在减少模型的规模的情况下,保证重要细节部分的精确描述。

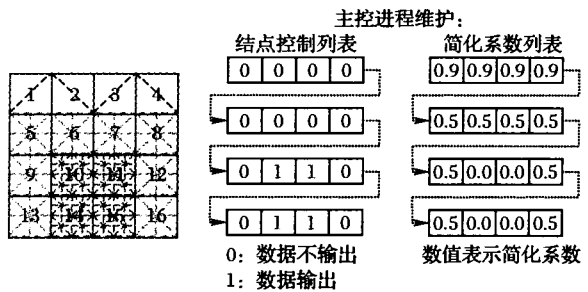


图4 结点控制列表和简化系数列表示意图

为了实现上述的等值面显示方式,主控程序必须依据显示调度策略来控制各个处理机上数据处理的流程。如图4所示,该系统维护了两个控制列表:结点控制列表和简化系数列表。结点控制列表是一个一维数组,其中数组中的每一个元素的值(即0、1)作为卫星进程与主控进程之间是否需要数据传输的控制标志。通过对该控制列表中元素值的修改,实现视区的显示。简化系数列表同样为一个一维数组,其中数组中的每一个元素的值作为各个处理机上对模型简化的程度。如图中简化系数列表描述,显示策略是模型的中部以原始模型精度显示,外层处理机上的模型以0% - 50% - 90%的简化系数对模型简化,从而实现模型的多层次显示。

2.3.2 视区选择法

视区选择法,通过选取关心的数据块,达到显示模型的简化,并没有对网格进行约减,所以保证了模型显示的精确度,即实现了模型的局部无损绘制。计算模型网格点规模为100×200×100,可视化使用的处理机个数为8,以“块”方式划分原始模型,不同着色部分代表该数据块是由不同处理器负责处理的。原始模型抽取阈值为180.0的等值面时生成222568个三角面片。通过“视区选择法”分别对模型的中部和两端

选取,使得拾取“中部”和“两端”时模型的规模分布为135 780和86 788个三角面片,简化量分别为39%和61%,通过选择及显示局部细节特征,达到简化模型的目的。如图5所示,每个拾取的部分都是以原始模型的精细度显示,没有任何的信息的损失。

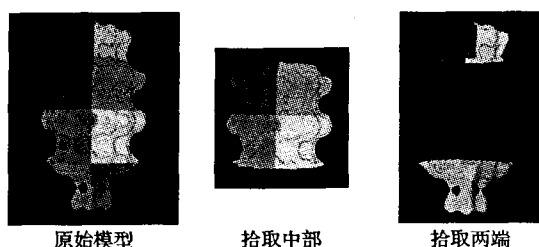


图5 视区选择法效果

2.3.3 多分辨率显示

多分辨率显示,通过制定显示调度策略,对不同视区包含的数据块做简化处理,在尽量保持原始模型的拓扑结构、边界和尖锐棱边之类的形状特征同时,达到简化模型的目的。由于存在网格顶点的删除,故该方法为全局有损绘制。计算模型网格点规模为 $100 \times 200 \times 100$,可视化使用的处理机个数为3,以垂直于Y轴方向“片”形式划分原始模型。原始模型抽取阈值为180.0的等值面时生成222 568个三角面片。显示调度策略是以视点所在结点的数据块为中心,邻近结点的简化程度依次为:0% - 50% - 90%,以达到同一模型多分辨率层次显示。如图6所示,当视点分别为底部、中部和顶部时,模型简化后的三角面片数分别为109 598,147 335,112 964。在尽量保持原始模型的拓扑结构、边界和尖锐棱边之类的形状特征同时,模型简化量分别为51%,34%,49%。

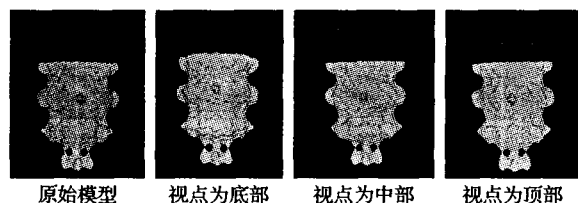


图6 多分辨率显示效果

3 实际应用

惯性约束聚变(ICF)是实现热核聚变的一条重要途径。在ICF的研究中,数值模拟是一个非常重要的研究手段之一。程序Lared-P是一个等离子体与强激光相互作用的三维数值模拟并程序,主要研究在等离子体传播过程中的激光吸收和能量分配,特别是反常吸收的非线性相互作用中所产生超热电子的机理和份额、超热电子温度和散射光的份额。

3.1 等值面并行绘制效果

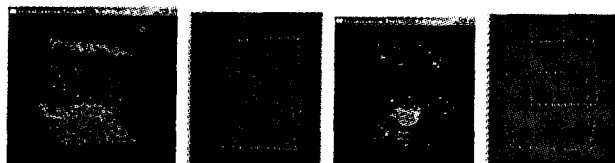


图7 不同阈值的等值面绘制效果图及比较图

如图7所示,对Lared-P程序在20时间步产生的电磁场强度的可视化分析的效果图,其中网格规模为 $26 \times 51 \times 26$ 。可以看到该系统绘制的等值面图与ParaView可视化软件绘

制的效果相同,其中该系统绘制的等值面效果图中不同着色部分代表该数据块是由不同处理器负责处理的。

3.2 加速性能评测

性能评测的数据文件为Lared-P程序在1 500时刻输出的数据文件,其中网格规模为 $200 \times 300 \times 200$ 。并行等值面绘制系统运行在32个处理器的并行机上,设定等值面阈值为5。图8为系统以不同处理器个数运行时的时间统计,其中横坐标为处理器个数,纵坐标为时间(单位:秒)。从图8可以清楚地看到:随着处理器个数增加,等值面提取过程的时间大幅度的减少,从单结点运行状态下的127.191秒减小为24个处理器并行处理运行下的7.106秒。如图9所示。使用16个处理器时可以获得的13.194加速比;使用24个处理器时可以获得17.899的加速比。该系统在并行等值面提取过程中获得了良好的加速性能。

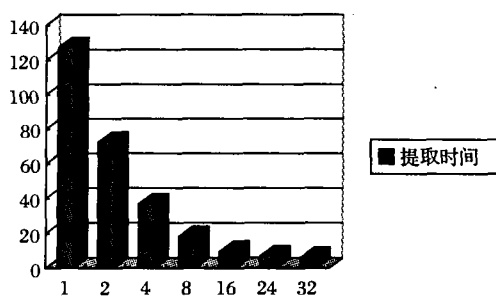


图8 不同处理器个数的并行等值面时间统计

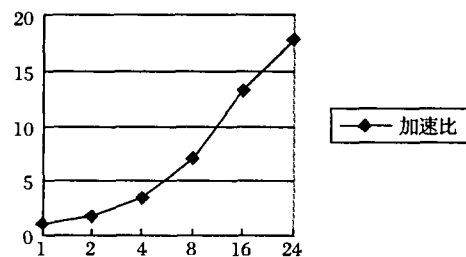


图9 不同处理器个数等值面提取的加速比

3.3 多分辨率并行动态实时绘制

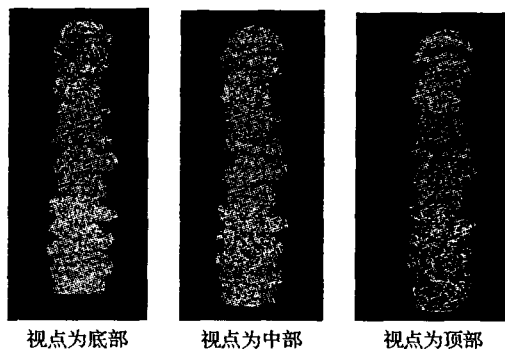


图10 模型线框图的多分辨率并行实时绘制

计算模型网格点规模为 $100 \times 201 \times 100$,可视化使用的处理机个数为3,以垂直于Y轴方向“片”形式划分原始模型。原始模型抽取阈值为0.5的等值面时生成69 670个三角面片。显示调度策略是以视点所在结点的数据块为中心,邻近结点的简化程度依次为:0% - 50% - 90%,以达到同一模型多分辨率层次显示。如图10所示,在模拟模型被拖动过程中,用户的观察点分别集中在底部、中部和顶部。系统可以根据视点的变化,依据显示调度策略,动态地对模型进行简化,其模型简化后的三角面片数分别为36 820,44 011,32 847,模

型简化量分别为47%,37%,53%。图中模型的线框图已经清楚地显示了拖动过程中模型不同部分简化后的变化。

4 结语

该系统能在并行分布式环境下动态生成等值面的多分辨率模型,实现等值面的快速绘制。作为一种简易的多分辨率并行等值面绘制的解决方案,基本达到了系统预先设计的要求。在实际科研工作中,它为科研人员更全面、更深入地认识模拟程序的实际物理过程提供了强有力的研究手段。

该系统还有很多方面要加以完善,如进一步研究海量数据场的并行等值面抽取算法;优化网格简化算法,提高简化网格与原始网格的逼近程度;建立和优化显示调度策略等等,都是我们今后要研究的课题。

参考文献:

- [1] AHRENS J, LAW C, SCHROEDER W, *et al.* A Parallel Approach for Efficiently Visualizing Extremely Large, Time-Varying Datasets [R]. Technical Report #LAUR-00-1620. Los Alamos National Laboratory, 2000.
- [2] LAW CC, HENDERSON A, INCORPORATED K, *et al.*, An Application Architecture for Large Data Visualization: A case study [A]. 2001 Symposium on Parallel and Large Data Visualization and Graphics Proceedings[C], 2001. 125 - 128.
- [3] LAW CC, SCHROEDER WJ, MARTIN KM, *et al.* A Multi-Threa-

ded Streaming Pipeline Architecture for Large Structured Meshes [A]. IEEE Visualization 1999 Proceedings [C], 1999.

- [4] ALGORRI ME, SCHMITT F. Mesh simplification[A]. Proceedings of EuroGraphics'96, Computer Graphics Forum[C], 1996. 77 - 86.
- [5] SCHROEDER WJ, ZARGE JA, LORENSEN WE. Decimation of Triangle Meshes [A]. SIGGRAPH '92 [C]. Computer Graphics, 1992. 65 - 70
- [6] HOPPE H, DEROSE T, DUCHAMP T, *et al.* Mesh Optimization [A]. SIGGRAPH '93 Proceedings[C]. Computer Graphics, 1993. 19 - 26.
- [7] HOPPE H. View-Dependent Refinement of Progressive Meshes[A]. SIGGRAPH'97 Proceedings[C]. Computer Graphics, 1997. 189 - 198.
- [8] OLBRICH S, PRALLE H, RAASCH S. Using Streaming and Parallelization Techniques for 3D Visualization in a High-Performance Computing and Networking Environment[A]. Proceedings, High-Performance Computing and Networking[C], 2001.
- [9] 李晓梅,黄朝晖,蔡勋,等. 并行与分布式可视化技术及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [10] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [11] 艾志玮,金其杰,王弘堃,等. 并行应用程序的远程实时跟踪可视化系统的设计与实现[J]. 计算机研究与发展,2004,41(5): 853 - 860.

(上接第2178页)

为了检验LSS算法的有效性,这里以常用的随机抽样算法、不确定抽样算法、极大距离抽样算法作为对照,针对7部电影,反复执行算法100次,求出平均误差率和整体标准差,如图1、2所示:

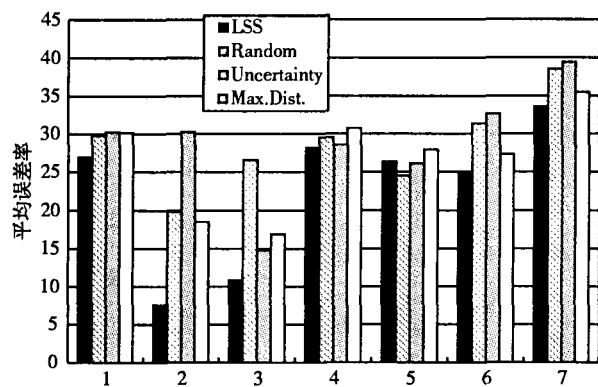


图1 抽样算法平均误差率比较

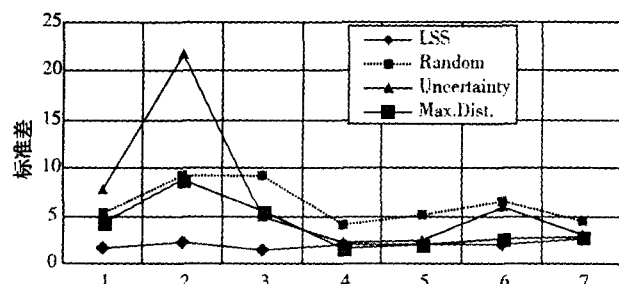


图2 抽样算法标准差比较

由上图可以观察到即使在用户数据极端稀疏的情况下,LSS算法的平均误差率和标准差数值较小,与其他算法相比表现出较高的推荐精度、较好的稳定性,明显提高推荐精度。

3 结语

推荐算法目前被广泛应用于电子商务、电子图书馆等众多领域,但随着系统的不断庞大,原有算法暴露出了许多缺点。LSS是基于最近邻分类法,结合选择抽样方法和前瞻框架的新算法,将其应用于推荐系统,即使在用户数据稀疏的情况下,有较低平均误差率和标准差,表现出良好的测试效果,有利于推荐质量的提高。

参考文献:

- [1] BREESE J, HECHERMAN D. Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative[A]. Proceedings of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence(UAI'98)[C], 1998. 43 - 52.
- [2] MICHAEL L, SHAUL M, DMITRY R. Selective Sampling for Nearest Neighbor Classifiers[J]. Machine Learning, 2004, (54): 125 - 152.
- [3] WILSON DR, MARTINEZ TR. Reduction Techniques for Instance-based Learning Algorithms[J]. Machine Learning, 2000, 38 (3): 257 - 286.
- [4] ZSEBY T, MOLINA M, RASPALL F. Sampling and Filtering Techniques for IP Packet Selection[EB/OL]. Internet draft draft-ietf-psamp-sample-tech-00.txt, 2002 - 10.
- [5] FREUND Y, SEUNG HS, SHAMIR E, *et al.* Selective Sampling Using the Query by Committee Algorithms[J]. Machine Learning, 1997, 28 (2/3): 133 - 168.
- [6] ZHANG J, YIM YS, YANG J. Intelligent Selection of Instances for Prediction Function in Lazy Learning Algorithms[J]. Artificial Intelligence Review, 1997, 11 (1 - 5): 175 - 191.
- [7] RICHARD OD, PETER EH, DAVID GS. 模式分类[M]. 北京:机械工业出版社,中信出版社,2003. 146 - 149.