

基于分布式数值模拟结果的可视化

陈哲, 封卫兵

(上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200444)

摘要: VTK 是一个基于对象的三维重建方面的软件系统, 其应用日益广泛。在对数值模拟软件进行开发时, 需要对曲线、等值线、三维场等结果数据进行可视化。文中将针对大规模分布式数值模拟时的实时可视化问题, 通过客户端广播可视化信息, 服务器分别用数值模拟结果进行计算得到 VTK 文件, 并将结果传回客户端, 客户端将得到的数据进行合并, 最后对其进行可视化并得到切线图像。结果表明, 该可视化方法可以在较少影响数值模拟过程的情况下实现实时可视化。

关键词: VTK; 可视化; 分布式; 实时; 数值模拟

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)12-0155-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.12.036

Visualization Based on Distributed Numerical Simulation Result

CHEN Zhe, FENG Wei-bing

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: VTK is a widely used software system of 3D reconstruction based on the object. During the development of some numerical simulation softwares, the visualization of curve, contour and three dimensional data fields is needed. Focusing on the real time visualization problem of the large scale distributed numerical simulation, through the client broadcasting the visualization information into servers, these servers respectively use the numerical simulation results to generate the VTK file and the calculation results are returned to the client, the client will have to merge the data which is used for the visualization. The results show that the visualization method which is less affected by numerical simulation process can realize real-time visualization.

Key words: VTK; visualization; distributed; real time; numerical simulation

0 引言

大规模工程与科学计算是 20 世纪重要的科学技术进步之一, 伴随着电子计算机的迅速发展并得到广泛应用, 科学计算已与理论研究和实验研究并列成为科学研究的第三种方法, 成为促进重大科学发现和科技进步的重要手段。现今科学计算已是体现国家科学技术核心竞争力的重要标志, 是国家科学技术创新发展的关键要素。

随着科学计算规模的不断扩大, 其数值结果的可视化就显得十分重要, 因而科学计算的可视化在很多领域都得到了广泛的应用。它是运用计算机图形学和图像处理技术将科学计算过程及结果的数据转换为图形及图像, 并在屏幕上显示出来并进行交互处理的理论方法和技术。

作为一种可视化工具, VTK 是一个开放资源的免

费软件系统, 主要用于三维计算机图形学、图像处理和可视化。VTK 是在面向对象原理的基础上设计和实现的, 它的内核是用 C++ 构建的, 类库相对于其他工具, 具有较好的灵活性和较高的算法执行效率, 支持跨平台和并行处理, 其生成图像的速度快, 图像质量优。正因为如此, 有关 VTK 的图像可视化是众多学者所青睐的研究热点^[1]。

分布式计算是利用网络将多台计算机连接起来, 组成超级计算机, 完成大规模数值模拟工作。分布式计算应用十分广泛, 在教育、天气预报分析、生物科技和工程计算等诸多领域都有重要应用^[2]。目前, 在商用大型分布式计算软件中, 如: FLUENT、ANSYS、STAR-CCM+ 等软件, 在大规模分布式数值模拟计算时, 由于数据量大, 数据处理时间较长, 用户只能看到数值迭代过程中的各种物理量的迭代误差, 不能实时地看到数值迭代过程中的模拟结果, 只能等待数值模

收稿日期: 2013-12-23

修回日期: 2014-03-25

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(91330116)

作者简介: 陈哲(1987-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 研究方向为 VTK 可视化研究; 封卫兵, 副研究员, 研究方向为计算流体力学。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1001.029.html>

拟结束后才能看到,因此无法对模拟结果进行实时监控。如果模拟中模拟数据和参数设置有误时,用户也只能在模拟结束后发现错误,这样就造成时间上的延误。因此根据用户的需要实时地返回计算结果的可视化成为一种必要。

1 分布式数值计算可视化框架

分布式数值模拟是将计算程序和数据分布到多台服务器中,用户可以通过客户端向服务器发送请求,服务器对请求进行处理,将处理后的结果回送到客户端,通过客户端界面显示。分布式框架如图 1 所示^[3]。

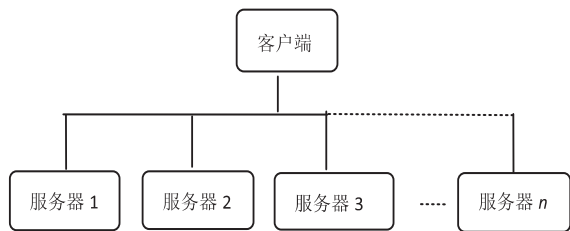


图 1 分布式框架

根据分布式数值模拟的特点,设计了两套方案。

1) 方案一。

(1) 客户端将可视化信息(如截面信息、局部区域等)发送给服务器 1;

(2) 服务器 1 在所有服务器都结束一次数值迭代后查看是否有客户端的可视化请求;

若有请求,就从各服务器获取数值模拟结果并根据可视化信息计算出客户所需的图像(如曲线和几何体等),再将图像信息写入 VTK 文件中;

若无请求,继续下一次的数值迭代计算。

(3) 服务器 1 将 VTK 文件发送回客户端;

(4) 客户端接收服务器 1 传来的 VTK 文件并将其显示。

2) 方案二。

(1) 客户端广播可视化信息给各个服务器;

(2) 各服务器在本服务器结束一次数值迭代后查看是否有客户端的可视化请求;

若有请求,就将本服务器的数值模拟结果根据可视化信息计算出客户所需的图像(如曲线和几何体等),再将图像信息写入 VTK 文件中;

若无请求,继续下一次的数值迭代计算。

(3) 各服务器将各自的 VTK 文件发送回客户端;

(4) 客户端接收各服务器传来的 VTK 文件,合并这些 VTK 文件并显示。

从上述两套方案来看,采用方案一,VTK 文件的计算与传送都由服务器 1 来完成,这样将会影响服务器 1 与其他服务器的同步性,同时服务器 1 所需的计算模拟数据需要从其他服务器获得,这会产生大量的

数据通信量(通常数值模拟结果数据量远大于 VTK 文件的数据量)。而采用方案二就能够克服上述缺点,并将合并这些 VTK 文件的工作由客户端完成,从而减少实时可视化对数值模拟过程的影响。

模拟实验表明,方案一由可视化造成的数值模拟迭代的延迟时间要大于方案二,当模拟的数据规模越大时,延迟时间就越明显,该实验也初步验证了上述的分析。

2 模拟结果的可视化

2.1 VTK 文件的生成

STL 文件是一种用许多空间小三角形面片逼近三维实体表面的数据模型,广泛应用于各类工程数值模拟中的几何体描述中。文中以获取复杂几何体的 STL 文件中的截面(由客户指定点坐标和法向量)为例来说明模拟结果的可视化。

从 STL 文件中提取三角形信息并判断每个三角形与客户端提供的点和法向量形成的平面相交,并将交线写入 VTK 文件,算法如图 2 所示。

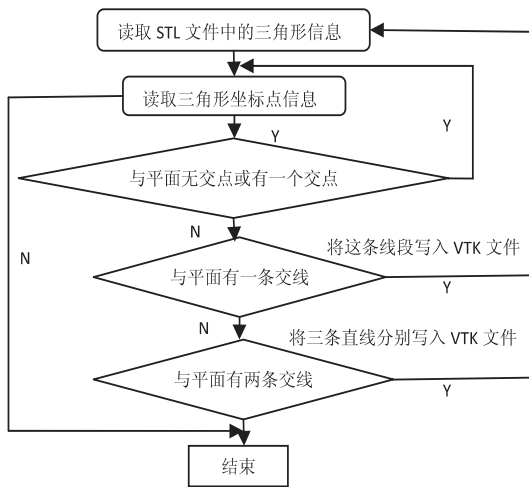


图 2 算法流程

三角形和平面有 5 种关系,如图 3 所示。

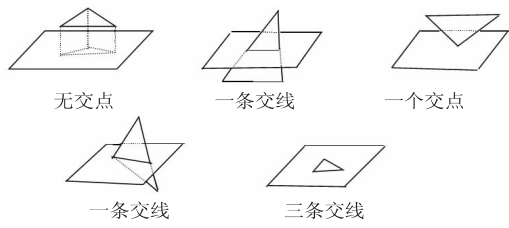


图 3 三角形和平面关系

三角形和平面交线算法:

步骤 1: 根据客户端提供法向量和点,计算出平面方程 $ax+by+cz+d=0$,从 STL 文件中得到三角形各顶点坐标为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 。

步骤 2: 将三点带入平面方程 $ax+by+cz+d=0$,得: $A=ax_1+by_1+cz_1+d, B=ax_2+by_2+cz_2+d, C=ax_3+by_3+cz_3+d$ 。

$cz_3+d;$

步骤 3: 根据 A, B, C 判断三角形和平面相交情况:
(1) 如果 A, B, C 都是同号, 说明三个坐标点在同侧, 三角形和平面不相交;

(2) 如果 A, B, C 其中有一个等于零, 另外两个乘积大于零, 说明三角形和平面相交于一个顶点;

(3) 如果 A, B, C 其中有一个等于零, 另外两个乘积小于零, 说明三角形和平面有一条交线, 通过计算将交线信息存入 VTK 文件中;

(4) 如果 A, B, C 其中两个等于零, 另外一个不等于零, 说明三角形的一条边位于平面上, 将该边的信息存入 VTK 文件中;

(5) 如果 A, B, C 中一个符号和另外两个符号相反, 说明三角形和平面有一条交线, 通过计算将交线信息存入 VTK 文件中;

(6) 如果 A, B, C 三个都等于零, 说明三角形位于平面上, 将三角形的信息存入 VTK 文件中。

2.2 VTK 文件的合并

客户端在获得了各服务器发送来的 VTK 文件后, 需要把它们在一个打开的绘制窗口同时显示出来。vtkRenderWindow 是一个或多个绘制器在其上进行绘制的窗口抽象基类^[4]。因此, 直接调用 vtkRenderWindow 来自动生成所在平台上的窗口子类, 再将 vtkRenderer 作为 vtkRenderer 对象的容器对象, 用多个 vtkRenderer 对象(每个对象对应一个服务器发送来的 VTK 文件)在一个 vtkRenderWindow 中平铺绘制, 从而创建复合的可视化效果^[5]。

2.3 VTK 文件的显示

VTK 使用数据流的方式将源数据转换为图像数据, 包括数据对象和处理对象。数据对象是各种要处理的数据^[6]。处理对象分为源处理对象、过滤器、映射器。源处理对象用来读入数据并产生数据对象, 过滤器处理一个或多个数据对象, 并产生一个或多个输出, 映射器将数据对象转换成图形对象, 然后由引擎展现出来, 它不产生输出, 是可视化的结束^[7]。将数据对象和处理对象连接在一起就形成了 VTK 的可视化流水线^[8], 如图 4 所示。

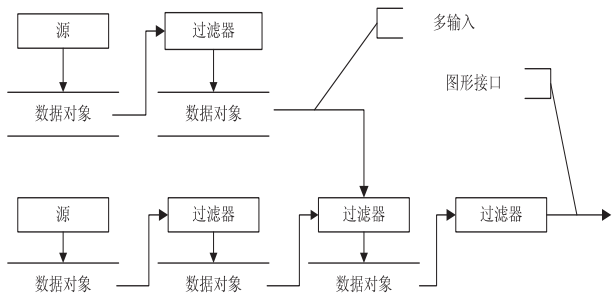


图 4 VTK 的可视化流水线

运用 VTK 一般包括如下步骤: 读取或产生数据、筛选或过滤数据、呈现数据并与之交互。vtkObject 是工具集中大多数对象的基类, 它提供了跟踪修改时间、调试、打印和事件调用等方法^[9]。vtkSource 是整个可视化流程的开始, 它封装了可视化流程中具体的行为和接口, 如读取、生成数据等。vtkFilter 利用各种 Filter 算法将原始数据进行滤波, 以便后续算法的处理^[10]。vtkMapper 将经过各种 Filter 处理后的应用数据映射为几何数据, 即将原始数据转换成需要的图像数据^[2]。vtkActor 类用来表达绘制场景中的一个实体, 也就是绘制场景中的角色, 调用 SetMapper() 方法将几何数据的属性告诉角色, 比如颜色、材质、反射等属性^[11]。接着通过 vtkRender 类将结果通过 vtkRenderWindow 在窗口中显示出来。最后通过 vtkRenderWindowInteractor 对角色进行交互操作^[12]。

利用 VTK 进行数值模拟数据的读取和可视化, 可以通过鼠标对图形进行旋转、缩放、平移等操作, 值得提到的是, 程序添加了对颜色控制和颜色条控制, 每一个定点对应的属性值对应一个颜色, 并且与颜色条上的属性值对应, 可以通过查找颜色条上的值判断该点的属性范围^[13]。在实际的应用中, 属性可以是速度、压力和温度等物理量的值。可以通过点的颜色判断出属性所对应的值的范围, 从而判断出压力的变化或温度的变化^[14]。可视化图形如图 5 所示。

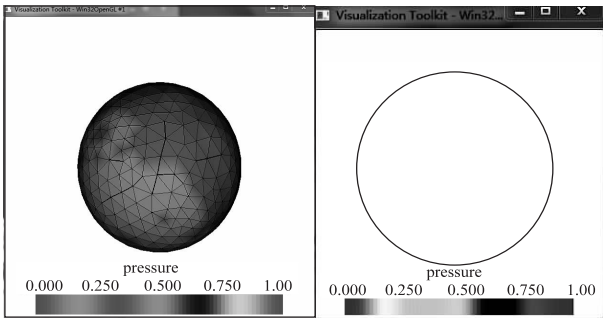


图 5 复杂几何体表面压力的截面曲线绘制

3 结束语

VTK 作为科学计算可视化的一个重要工具, 功能强大, 使用灵活。应用可视化工具 VTK 实现了基于分布式模拟数值的可视化。文中重点介绍了分布式数值计算框架, VTK 文件生成。由于 VTK 文件大小远比计算节点上模拟数据信息量小, 几乎不影响后台计算过程。分布式算法提高了可视化效率, 该方法在数值模拟可视化领域有着广泛的应用前景。

参考文献:

[1] Law C C, Henderson A, Ahrens J P. An application architec-

方便跟踪,将数据库中密码数据用哈希 MD5 方法进行加密,然后编写用户输入端密码加密函数 EncoderByMd5()。

```
public String EncoderByMd5 (String password) throws NoSuchAlgorithmException
{
    //MD5 方法
    MessageDigest m=MessageDigest. getInstance (" MD5" );
    BASE64Encoder base = new BASE64Encoder();
    //对密码加密
    String newstr=base. encode(m. digest( password. getBytes (" utf
-8" )));
    return newstr;
}
```

4 结束语

随着硬件性能的提升、网络带宽的增加、软件技术的成熟以及人们对生活品质要求的提高,今后嵌入式工控终端将会与云架构融合得越来越深。文中针对工业生产智能化监控中嵌入式工控终端计算能力受限的问题,采用云架构的思想,结合了 Java Web 主流开发框架 Spring MVC 和 Hibernate,实现了一个工业监控云服务平台。

参考文献:

- [1] Vaquero L, Rodero-Merino L, Caceres J, et al. A break in the clouds: towards a cloud definition[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 39(1): 50-55.

(上接第 157 页)

- ture for large data visualization; a case study [C]//Proc of IEEE symposium on parallel and large-data visualization and graphics. San Diego: IEEE, 2001: 125-128.
- [2] 李晓梅, 蔡 勋, 汤红波. 并行与分布式科学可视化研究与实现[J]. 自然杂志, 1996, 18(4): 232-236.
- [3] 宁 葵, 严 毅. 分布式计算技术发展研究[J]. 微机发展 (现更名: 计算机技术与发展), 2004, 14(8): 14-16.
- [4] Maple R C, Osterday R. Fluent VTK extractor [C]//IEEE HPCMP user group conference. [s. l.]: [s. n.], 2006: 384-388.
- [5] 周海芳, 杨学军, 刘衡竹, 等. 科学计算可视化并行处理建模及其数据并行技术研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(z1): 308-311.
- [6] 黄姗姗, 王博亮, 闵小平. 基于 VTK 的可视化技术的研究[J]. 中国数字医学, 2008(1): 31-34.
- [7] 王延红, 丁 升, 袁 媛, 等. 基于 VTK 的数值模拟结果可视化[J]. 现代电子技术, 2013, 36(6): 15-18.

- [2] 孙利民, 沈 杰, 朱红松. 从云计算到海计算: 论物联网的体系结构[J]. 中兴通讯技术, 2011, 17(1): 3-7.
- [3] 李小平, 肖岳峰, 宿 元, 等. 基于 J2EE 多层架构的 Web 开发框架研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(5): 1429-1431.
- [4] 李 坤, 王百杰. 服务器集群负载均衡技术研究及算法比较[J]. 计算机与现代化, 2009(8): 7-10.
- [5] 陈 斌. 基于 Apache 集群负载均衡的研究和实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [6] 韩 菲. 基于轻量级框架的企业信息管理系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [7] 李 婵. 基于 J2EE 的热电厂生产班组管理系统的开发[D]. 西安: 西安石油大学, 2011.
- [8] 张 宇, 王映辉, 张翔南. 基于 Spring 的 MVC 框架设计与实现[J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 59-62.
- [9] 高秀慧, 高建华. 基于 J2EE 框架的 Web 应用可靠性研究[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(4): 1270-1275.
- [10] 冯慧灵. 基于开源技术的 Web 应用框架研究与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.
- [11] 王前红, 郝克刚, 葛 玮. 采用轻量级框架实现 Web 访问统计分析系统[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(4): 146-148.
- [12] 刘泮青. Web 持久层的研究与应用[D]. 大连: 大连交通大学, 2008.
- [13] 陈云望. 轻量级框架在 J2EE 开发中的研究及应用[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [14] 李彦秋. 面向数据库外层的安全技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2009.

- [8] Dutra M L, Rodrigues P S S, Grialdi G A, et al. Distributed visualization using VTK in grid environments [C]//Proc of IEEE international conference on cluster computing and grid. Washington, DC, USA: IEEE, 2007: 381-388.
- [9] 李 定, 周连第. 计算流体力学的可视化系统[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 1993, 8(3): 332-347.
- [10] Vo H T, Comba J L D, Geveci B, et al. Streaming-enabled parallel data flow framework in the visualization toolkit [J]. IEEE Visualization Corner, 2011, 13(5): 72-81.
- [11] 朱 虎, 杨忠凤, 张 伟. STL 文件的应用与研究进展[J]. 机床与液压, 2009, 37(6): 186-189.
- [12] 潘海鹏, 周天瑞, 胡世飞, 等. STL 数据模型可视化的实现[J]. 塑性工程学报, 2006, 13(6): 94-98.
- [13] 肖涵山, 刘 刚, 陈作斌, 等. 基于 STL 文件的笛卡尔网格生成方法研究[J]. 空气动力学学报, 2006, 24(1): 120-124.
- [14] 尹小刚, 师广山, 黄 佳. 基于 VTK 的有限元计算结果可视化[J]. 西北水电, 2012(5): 91-93.

基于分布式数值模拟结果的可视化

作者: [陈哲](#), [封卫兵](#), [CHEN Zhe](#), [FENG Wei-bing](#)
作者单位: [上海大学 计算机工程与科学学院, 上海, 200444](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2014(12)

引用本文格式: [陈哲](#). [封卫兵](#). [CHEN Zhe](#). [FENG Wei-bing](#) [基于分布式数值模拟结果的可视化](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2014(12)