

工程计算可视化的几个热点问题

郑 澎, 何铁宁

(中国工程物理研究院计算机应用研究所, 四川绵阳 621900)

[摘要] 随着工程数值模拟的规模和复杂度的提高, 可视化研究面临着发展机遇和挑战, 结合国内外的技术发展情况, 对于工程计算应用中的表达方式、算法优化、集成解决框架等几个热点问题展开讨论, 指出可视化技术发展与应用学科结合的重要性。

[关键词] 工程计算; 工程数值模拟; 可视化

[中图分类号] TP391 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)09-0039-04

1 前言

可视化是理解和高效利用不断增长的信息的重要工具, 近年来, 工程计算向着多尺度建模和模拟的方向发展, 更大规模和复杂度的计算必然产生更大规模的数据可视化的需求, 而验证、实证和不确定性量化等提高工程计算精确度和置信度的研究对可视化又提出了新的要求。可视化研究面临着新的课题^[1], 包括: 与应用学科的交叉问题; 衡量其有效性的问题; 误差和不确定性的可视化问题; 将视觉领域的最新研究成果应用到可视化中的问题; 发展基于硬件的可视化算法、集成可视化框架的研究、信息可视化与科学计算可视化结合的问题; 时变数据场可视化及特征探索的研究、发展可缩放的分布式可视化、建立领域抽象模型、完善可视化理论等, 其中大部分研究对工程计算可视化的发展具有重要意义。

2 总体框架技术

近年来, 美国三大试验室对可视化研究给予了很高重视。LLNL(Lawrence Livermore National Laboratory)的可视化框架致力于为仿真计算提供高端的显示、合成和综合分析能力, 研究集中在 3 个方面: 计算机图形、数据管理和显示技术研究; 可定制的可

视化应用环境的研究; 可视化中心和协作环境的研究。LANL 的可视化框架着重提供一种从高级计算环境到桌面用户的分布式可视化服务。SNL(Sandia National Laboratories)提出开放的可视化工具, 并在非结构化网格体视化、高阶非结构化单元可视化方面取得了研究成果, 图 1 为 SNL 为 Red Storm 部署的可视化系统的功能

数据源: 仿真数据, 文档, 实验数据	
数据获取 过滤 查询 子集 代数变换 重采样 数据服务: 格式及表达方式转换 数据简化 重新分区 (例如, 多分辨率) 数据挖掘 特征检测, 数据融合和比较 时变历程 抽取, 追踪	用户服务: 浏览 交互绘制 高级界面 协同控制 对显示环境的操作
生成可视化 属性规范 对象 (例如, 表面抽取) (例如, 体数据的 可视化 传递函数) 服务 多种可视化技术 时变历程	
表面绘制 体绘制 图表绘制 基于图像的 绘制	
显示环境: 桌面级 演示中心级 演示墙级 立体沉浸式环境	

图 1 SNL 可视化功能图

Fig. 1 SNL visualization functional diagram

总体来看, 面向工程计算的可视化框架发展的趋势为可缩放的、分布式的支撑环境, 性能更优的数据 I/O, 有效的可视化工具, 数据服务, 超大规模的科学数据管理。

[收稿日期] 2008-12-22

[作者简介] 郑 澎(1972-), 女, 浙江鄞县人, 博士, 高级工程师, 研究领域主要为科学计算可视化、虚拟现实技术;

E-mail: eliza_zheng@126.com

采用集群环境实现可缩放的、分布式可视化是研究的热点,其图形技术基础是并行绘制技术,它包括绘制任务分布、图元归属判断、负载平衡、数据压缩传输、图像合成等关键技术。

集群支撑环境的结构是采用在服务器集群端进行并行的工程计算和并行的可视化计算(包括数据预处理计算、交互响应计算等),客户端负责可视化,在可视化循环中,客户端发出的交互指令传给服务器端,服务器重新进行计算后,又反馈给客户端。按其结构可分为3类。第一类:服务器集群端是将可视化的图形结果传至桌面客户端,由桌面客户端负责图形的合成绘制,这种类型适合可视化规模相对较小的数据集,但交互性好;第二类:服务器集群端负责可视化图形的绘制合成,并将图像结果传给客户端,客户端只负责图像展示,这种类型适合于超大规模的多时间步的数据集,但交互性差。前两类都由并行计算节点同时承担并行可视化计算,第三类和第二类相似,唯一不同的是,并行计算环境和并行可视化环境分离,它们可以是异构的,但在各可视化节点间进行负载平衡比较困难。

3 多源可视化

工程计算中提出了动态模拟系统的思想,通过模拟计算和试验实时相互作用,将提高模拟工具的保真度,精确度和可靠性。多源可视化技术用于反映各种数据相互之间及数据自身随时间变化的规律,可为动态模拟系统提供重要的分析工具。

一个典型的应用实例就是温度贮存试验的多源可视化系统^[2](见图2),武器及部组件的温度贮存性能对其可靠性有显著影响,随着数值模拟精度的提高和温度试验测量手段的不断丰富,采用数值模拟技术和试验相结合的方法来进行温度试验的分析、评估。多源可视化方法一方面提高了试验数据的显示度,另一方面通过数值模拟结果和试验数据的映射来获得无法布置测点位置的温度分布情况。

多源可视化的关键技术是低维数据向高维数据的映射,物性参量与图形参量、特征参量与图形参量之间关联映射,以及图形合成绘制。试验数据和计算数据能进行相互映射的前提条件是:计算模型必须经过多次的预估计算和优化,计算结果与试验结果预吻合的误差在工程设计要求范围内。在这个前提下,可以建立试验数据与有限元结果数据的映射关系。

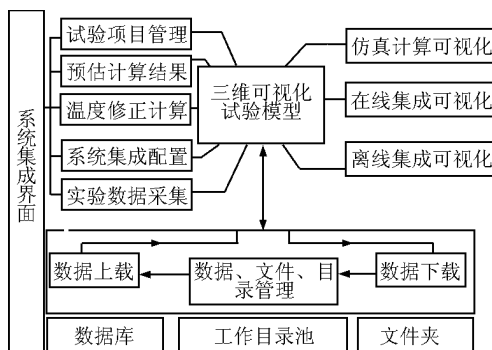


图2 一个多源可视化系统

Fig. 2 A multi-field visualization system

4 可视化表达方式和算法

近年来,三维可视化在表达方式和显示算法上有不少进展,材料分子、标量场、矢量场^[3]的可视化方法分别有如下几种。

4.1 材料分子的可视化

棍球表示法,用“球”代表原子,“棍”代表共价键,二者的约束关系表达了子结构的稳定性;空间填充表示法,用“球”的半径表示范德瓦尔斯半径,可视化模型更加简化;Ribbon表示法更清晰地展示分子结构,它用“带”表示主链结构,用“带”上附着的方向箭头表示次级结构。

4.2 基于图形硬件处理的体视化

体绘制方法计算量大,图像生成速度慢,难以满足实际应用中实时交互的需求。利用纹理硬件加速使得实时绘制成为可能,然而,由于硬件纹理加速的体视化算法起源于对规则网格的处理,因此,对非规则网格需重新取样,取样精度直接影响可视化效果。由此也出现了体视化非规则网格的硬件加速算法,首先需将单元进行四面体剖分,再对其切片和纹理映射。另一方面,硬件纹理加速受到硬件纹理内存大小的限制,如果数据量过大,则需要在系统内存与纹理内存之间进行频繁交换。因此,对于内存中体数据的存储、提取算法的优化也是研究的热点。

4.3 等值面方法

等值面方法把空间分布的物理量中具有相同量值和相同单位的点用曲面拟合成一组曲面图形,以描述那些具有连续分布特征物理量的分布规律。Marching Cubes法是应用最广泛的等值面抽取方法之一,当前研究的主要热点是消除二义性、提高逼近精度和算法效率。由于Marching Cube三角面片数量巨大,并且很多三角片投影到屏幕上以后小于一

个像素的大小,因此又出现了简化的 Dividing Cubes 方法,它绘制的基本元素由三角片变成了点,不用考虑拓扑结构,速度更快。

4.4 矢量场可视化

表示方法可以分为流线、流面、流带、粒子及粒子动画,矢量场拓扑,矢量体绘制和基于纹理的方法等。流线方法可表现矢量场的全局信息,但选择初始点不同,流线表示效果也不同;在流场中取一条开放或闭合的曲线,对曲线上每一点都计算流线,就得到了流面;使用多边形连接相邻的流线,就得到了流带。流面和流线能揭示矢量场的刚体平移特性,而流带还能揭示出流场沿流线的旋转特性。粒子和粒子动画利用光强、颜色信息反映流场变化。矢量场拓扑则是在矢量场内部结构未知时,求出临界点并分类,然后通过积分曲线(面)将临界点连接起来。矢量体绘制技术采用半透明物质的运动效果表达出方向信息。纹理方法则是采用颜色按一定方式排列组成的图案来表示矢量场,目前常用的有点噪声方法和线积分卷积法,针对 LIC(linear integral convolution)方法中存在的问题,还出现了可变形参数线卷积法。

可视化表示方法的另一个关注点,就是“不确定性”的表示^[4]。由于计算模型和计算精度带来的工程计算误差,可视化计算也会造成误差,不确定性表征的可视化处理流程与一般的可视化处理流程不同,如图3所示。

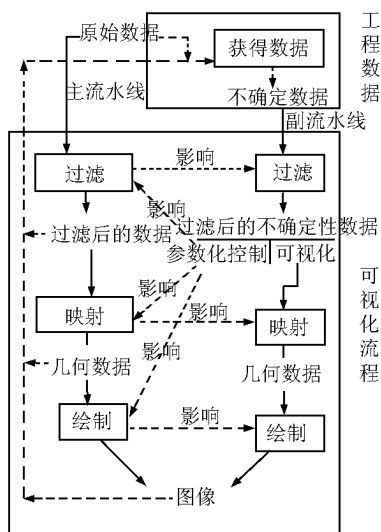


图3 “不确定性”可视化的处理流程

Fig. 3 The process of uncertainty visualization

这个流程具有4个特点:首先,将主数据和不确定

定性数据分成主、副两个处理流水线,副流水线除从外部接收不确定性数据外,还接收了来自主流水线中各阶段产生的不确定性数据。当主流程选择对某部分主数据进行映射和绘制时,对应的不确定性数据也被选择到副流水线中进行处理,副流程可对主流程进行参数化控制,例如:当某部分数据的不确定度超标时,主数据将不显示。在表达方式上,颜色、透明度、动画、几何形状等,任何已有的可视化表达方式都被尝试运用到表现不确定性数据上,与被广泛接受的“匀纹图”、“等值线”等工程计算中常用的可视化表达方式相比,尚未有被广泛认同的不确定性数据的表达方式。

5 多分辨率可视化

超大规模数据场(尤其是时变数据场)的可视化预处理和绘制是比较困难的。已有的处理方式都是采用离线方式生成数据场动画,可交互性差,无法及时发现计算中的问题。多分辨率可视化^[5]方法的研究将有助于快速生成可视化模型,其关键技术包括:

1) 优化数据结构,提高数据查询效率,减少占用内存的空间,例如:对有限元数据场(ICS格式)进行索引树重构^[6]。

2) 基于外存的数据预处理,合理地组织数据,实现数据从硬盘到内存的快速交换和读取,例如:通过并行处理、分块内存映射等方法,提高处理效率^[6]。

3) 生成多分辨率模型^[5],即在保留特征的前提下,根据不同的精度要求,简化可视化模型,提高绘制效率,但是特定分辨率下的表达需要在保证状态下的物理特征,采用统一的纯几何量的简化原则很有可能在简化过程中淹没重要的物理特征细节。已有的简化方法包括:自适应聚类方法、小波方法和基于误差矩阵的方法。

4) 全局与局部观察结合,即基于全局快速检索并可视化局部区域。

6 结语

可视化技术可应用到材料、化学、机械、航天、电气等工程计算的各方面。目前,加强工程计算应用学科和计算机学科之间的交流与沟通,对推动可视化研究的发展十分必要。

参考文献

- [1] Theresa M R. Visualization viewpoints [J]. IEEE Computer Graphics and Application, 2005, 25(04):12-16
- [2] 郑 澎, 何铁宁, 刘建波. 温度试验可视化系统的关键技术研究[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(01):148-152
- [3] Nelson Max. Progress in scientific visualization[J]. Visual Compute, 2005, (21):979-984
- [4] Thomson J, Hetzler B, MacEachren A, et al. A typology for visualizing uncertainty[A]. Proceedings of the IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Conference on Visualization and Data Analysis[C]. America: San Jose, 2005
- [5] Lindstrom P. Out-of-core simplification of large polygonal models [A]. Proceedings of SIGGRAPH 2000[C]. 2000. 259-262
- [6] 郑 澎, 何铁宁. 大规模时变数据场的可视化[A]. 第四届全国计算爆炸力学会议[C]. 西宁:2008. 136-141

Several hot spots in engineering computing visualization

Zheng Peng, He Tiening

(Computer Application Research Institute of China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

[**Abstract**] Visualization technique confronts great challenges raised by large-scale and comprehensive engineering numerical simulation. Key research problems such as visualization expression, algorithm optimization and integrated solving framework are paid more attention to, current developments in and outside China are introduced and discussed. It is concluded that communication with application fields should be attached more importance to development of visualization technique.

[**Key words**] engineering computing; engineering numerical simulation; visualization