

科学计算可视化的研究现状和发展趋势

唐伏良 张向明 茅及愚 刘令勋

华中理工大学交通学院特机研究室 湖北·武汉 (430074)

摘 要 科学计算可视化(VISC)作为 80年代后期在计算机图形学的基础上发展起来的一种全新的计算风格,日益受到人们的重视,并在航空航天、船舶、建筑等许多领域得到越来越广泛的应用。本文阐述了 VISC的发展历程,首先指出了 VISC的研究现状以及迄今为止所取得一些重要成果;当今可视化研究的主要方向。重点介绍了当前可视技术的热门研究的体绘制技术;最后预测了 VISC的发展趋势以及将来应该重视的研究方向。

关键词 科学计算可视化,体绘制,数据流,可视编程,并行绘制

TODAY AND TOMORROW OF VISUALIZATION IN SCIENTIFIC COMPUTING

Tang Fuliang, Zhang Xiangming, Mao Jiyu and Liu Lingxun

Academy of Traffic Huazhong University, Hubei·Wuhan 430074

Abstract Visualization in Scientific Computing(VISC), Relaying on the prominent caculating power of computer and based on computer graphics, became a new style of caculating in the latter of 80's and Poeple value it day by day. This article discussing the course VISC has gone. Firstly, it points out researching prospects nowadays and some important achivements in this field up to now. Secondly, it tells you the maim directions poeple are now exploring, especially volume rending-hot point of this day. Finally, it also dicusses the main direction VISC will develop and some fields we should pay attention to.

Keywords VISC, Volume rendering, Data flow, Visual programming, Parallel

1 引言

近年来,随着科学技术的迅猛发展,科学计算所涉及的领域越来越宽,对象也越来越复杂,计算量变得越来越大,待处理的数据量越来越多,来自超级计算机、地震勘测、航天航空、CT扫描、核磁共振的数据与日俱增,以致科学家们惊呼“我们所能做的只是将这些数据收集并存放起来”,人们面临着分析和解释大规模数据的艰巨任务,客观上人们不得不去寻求一种帮助处理数据的手段。

1986年,美国科学基金会(NSF)专门召开了一次研讨会,会上提出了科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing-VISC),第二年美国 McCormick 等向美国国家科学基金会提交了“科学计算可视化研究报告”以后,美国国家科学基金会正式把科学计算可视化列为重点资助项目。科学计算可视化一经提出,很快就在计算机图形学的基础上发展成为一门新兴的学科方向,它融合了计算机图

形技术、工作站技术、计算机辅助设计与交互技术、网络技术、视频技术。短短几年时间,科学计算可视化已经被成功的运用到天体研究、地震预测、气象分析、航空航天、船舶、建筑等许多领域。科学计算可视化计算结果的分析过程中所带来的直观性、准确性等都给科学家们带来了很大方便,科学计算可视化的快速发展引发了科学计算的计算风格的一次革命。

2 科学计算可视化研究现状和热点

科学计算可视化分为三个方面,对应三种处理方式,即跟踪(Tracking)、事后处理(Postprocessing)、驾驭(Steering),事后处理把计算与计算结果的分析分成两个阶段进行,两者之间不能进行交互处理;跟踪是针对实时显示的计算结果,判断计算过程的正确与否以确定是否继续进行计算;驾驭过程使科学家能对计算过程加以实时控制,修改或增减某些变量和参数,以保证计算过程的正

确进行。目前由于软硬件性能还达不到跟踪与驾驭的使用要求,大量的计算过程还处于事后处理阶段。当今科学计算可视化的研究对象也主要集中在三维数据场的可视化,来源于医学、气象场、温度场、力场、有限元分析、流体力学中的许多三维体数据,它们可表示为分布于体空间的单值函数 $V = f(x, y, z)$,当 V 为标量时则为标量场,若 V 为矢量则为矢量场。体数据场包含的信息量非常丰富,数据量也非常多,经过可视处理,借助数字图像技术,可直观的反映出数据场内部信息的分布规律以及变化过程,科学家们能很快的找到问题之所在。

由于科学可视化计算脱胎于计算机图形学,而且图形学也发展得非常成熟,涌现出了一大批优秀的算法和软件。传统的可视化技术正是沿袭了图形中曲线曲面能有效的表现复杂对象,通过从数据场中提取曲线信息和曲面边界,重新构造数据场。比较有代表性的是 Marching Cubes 方法。等值面等曲面信息的提取和重构成成为早期可视化研究的主要方向,但这种方法在数据场重构过程中大量整体信息被丢失,造成对整体信息的理解出现偏差。

第二个方面是剖面显示技术,这主要得利于医学领域中对 CT 扫描信息的处理,如何利用最新的软硬件资源,把大量的二维信息通过某些更有效的算法,将信息重构、叠加成能真正准确显示人体的三维物质场分布,做到生成图像能反映出细小的物质差别,为医疗诊断提供准确的判断依据,是剖面显示技术研究人员所必须解决的重大问题。

科学计算可视化技术发展的一个突破性进展便是体绘制 (Volume Rendering) 技术的出现。对基于体绘制算法的可视技术的研究是当前可视技术的研究热点。这些算法大都用离散方法加以实现,如 L. Westover 提出的以物空间为序的体绘制法的 M. Levoy 提出的以像空间为序的体绘制算法。从上面的叙述中我们不难发现,基于传统图形学的可视技术对于三维数据场建模形成三维形体后,将三维形体投影到二维平面上,通过形体的深度信息,产生立体感,但是这种图形只是表示了三维形体空间表面的效果,没有揭示三维数据场的内部的变化规律,虽然可以通过其它软件技术,如切片技术、剖面技术等来观察数据场的内部的变化规律,但其反映的信息量却比较有限。体绘制技术正是为了克服这种局限性而发展起来的新一代可视化技术,这种技术的特点是对三维数据的总体显示,对它的不同层次、材料、特性的各个组成部分,在一幅图像中整体表现出来,得到的是三维体数据的全局图像。它同传统的可视技术的主要区别在于:它不通过几何造型等其它的中间转换手段,也就是说,它的处理对象不再是曲线、曲面等几何元,而是直接对一个三维标量场或者矢量场进行操作。它的基本原理是从数据场出发,将体空间的每一体元都看成是能够接受或者发出光线的粒子,每个粒子都分配一光强及一定的透明度,沿着视线观察方向将这些粒子投影到二维图像平面上,计算每个粒子对整体所作的贡献,累加起来就可以得到一幅透明的投影图形。

体绘制数学处理过程是这样:设三维数据场 $f(x, y, z)$ 在空间网格上作规则分布,首先根据每一点

的场值的大小,分别求取不透明值与颜色值与场值的映射函数,得到每一空域场值点不透明值 A 和颜色值 (R, G, B) ,再根据各场值点的光照模型及其梯度,计算出各点的光照强度和各体元对各像素的贡献,然后将投射到图像平面中同一像素点的各数据的半透明彩色叠加起来。

在具体的处理过程中,体绘制算法分成两大类:光线追踪法 (Ray Tracking) 和投影成像法 (Project Imaging)。前者从视点向各个像素追踪光线穿越数据域,通过合成每条光线上所有体素的影响,求取各个像素的色彩。后者则是先将所有体素的影响投影到成像面上,然后依体素影响在各个像素上的迭加顺序,用某种合成方法,形成各个像素的颜色。两种方法有个共同之处在于:每个像素的色彩都是沿着体素的影响在此像素上的迭加顺序,用合成算子递推迭加合成。

目前,尽管进行体绘制研究的人很多,也取得了不少成果,但是体绘制技术还存在不少问题:

· 体绘制强调对整体信息的显示和理解,由于软硬件技术的限制,体绘制技术的这个优点正好也带来了某种程度上的不足。由于体绘制强调一次性处理全部数据单元,涉及到的数据量庞大,导致计算量较大,显示速度较慢,对于基于时间序列的三维动态数据场的动态显示更是显得无能为力。另一方面,由于映射函数的处理过程中,映射区域的分割不能太小,否则计算量也会迅速增加。因此对局部信息不能进行更细化的处理,导致局部细节不好理解,生成的可视图比较模糊,要理解一幅图像常需从不同的角度、不同的视距,以产生不同的视角和大小的可视图来综合分析才行。

· 体绘制的方法的实质可概括为三维数据场的重新采样 (Resampling) 和对采样结果的图像合成 (image composition) 两个主要过程。由于要对空域中每个体元 (voxel) 至少访问一次,才能完成采样过程,因此对于大小是 N^3 的数据场,这类算法的复杂度将不会低于 $O(N^3)$,对可视化的实时性要求越来越高的情况下,成为限制体绘制向更深领域发展的重大障碍之一。

3 可视化软件的开发现状

3.1 可视软件的基本组成模块和结构层次

尽管可视化技术由产生到现在还不到十年的时间,但软件工作者和工程技术人员针对不同研究领域的不同用途开发出了许多可视化软件,也确实解决某些数据场的可视化问题。可视化软件平台的研究沟通了可视化理论与应用,为科学计算可视化的具体应用提供了有力的支持。国外在 90 年代初已陆续推出了一些较为成功的可视化软件系统。如后处理型的 Ohio 州立大学开发的 paE, Wavefront, PV, Wave, GAS 和 RIP,跟踪型的如 Stellar Copute 公司研制的 AVS,驾驭型的如 JZ 等,还有 SGI 公司开办的商品化软件 IRIS Explorer。另外一些常见的有限元软件的可视化后处理功能也非常强,象 Adina SuperSAP, IDeas 等。不过,大多数的软件都是运行在大型工作站上,除了一些分析绘图软件包,如科学计算

工具箱, GRAFTOOL, CORELDRAW等之外,微机版的可视化软件还不多见,而且这些软件各有自己的用途,一般来说,系统价格比较昂贵,软件扩充及二次开发相当困难。国内可视化软件的开发工作还刚起步,不过也取得了一些可喜的成绩,象华中理工大学 CAD中心开发的有限元可视化系统 FEVS(Finite Element Visualization System),西北工业大学 CAD/CAM研究中心开发的 VIFEMRE(Visualization of Finite Element Method Results),浙江大学 CAI& CG国家重点实验室开发的 GIVE(General Interactive Visualization Environment)等,这些软件通用性及交互能力不强,而且大都是基于传统可视技术开发成功的,如何尽快的开发出比较通用的能够运行在高性能微机以及工作站上的并且能够真正反映可视技术发展水平的可视化软件,是我们当前软件工作者和工程人员的一项重要课题。

3.2 可视软件的数据流程和软件功能模块结构

可视化模型设计中较多的采用数据流模型,一个应用程序是由多个功能独立的模块通过数据流通道互联构成,每个模块带有若干输入端口和输出端口,模块的功能是将其输入端口的数据进行变换后形成数据流送给与之相连的其它模块,数据流模型通过各模块之间的进程通讯来完成相应的功能,数据流通过通信管道来传输,而不采用模块间的直接数据传送。因此,比起传统的控制流,数据流的思想特别适合于并行和模块级编程以及驱动计算等高级控制机制,因此现有的可视化平台都选用数据流模型作为系统的体系结构。可视化数据流的基本模型见图 1 其中原始数据来自一些分析计算软件。

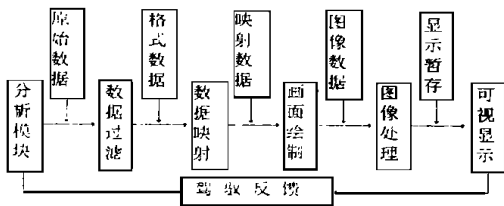


图 1

通过分析一些比较有代表性的可视化软件的功能和综合用户反馈的功能需求,可视化软件应该具有以下基本功能,基本功能模块见图 2 虚线表示基于传统可视技术的处理流程。

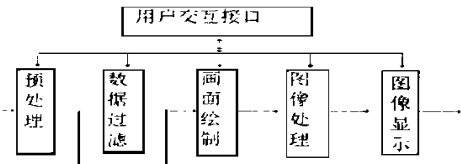


图 2

下面介绍了各模块的基本功能:

预处理模块解决可视化软件与不同计算软件输出数据的接口转换,由于不同的计算分析软件的输出数据的格式或多或少存在一定的差异,可视软件要能处理各种数据源的数据,必须能正确识别每种格式并进行相应的格式转换。

数据过滤模块负责完成从三维场数据中提取当前感兴趣的数据集,为以后的几何造型提供数据准备。或由基本的数据推导出新的数据,如梯度、插值等。便于后继处理过程中更清晰的显示局部场。

画面绘制功能是从数据过滤层或由预处理模块直接送来的数据(体绘制中采取这种模式)中抽取基本几何元信息。

图象处理模块集中了图形变换的一些基本功能,如平移变换、比例变换、图形消隐、平滑降噪等处理。

显示模块解决图象屏幕显示问题,显示图形包括等值线、等值面、云图;还应能正确显示随意改变视点视距后的图像以及空域中任意点的数值查询。

4 科学计算可视化的发展趋势

科学计算可视化技术经过近几年的飞速发展,在软硬件和处理算法上都取得了长足的进步,但作为一门全新的学科,很多方面有待提高和完善。

科学可视化的算法和数据结构仍然是一个重要的研究方向,对于计算密集的可可视化过程,算法和数据结构上的一点小小的改进和提高,也能显著的加快可视图象的显示速度。

由于提供高效超级计算环境的网络技术有了很大的发展,科学计算可视化和高速网络的结合为超级计算提供一个有效的分析计算环境,如何发展一些有效的并行算法,在分布式环境下实现并行体绘制可视计算,也是研究人员应该关注的问题。

正如早期的图形硬件技术用来加快图形处理的速度一样,我们应该研制出针对可视技术的一些图形加速设备,专门用于体绘制的真三维显示器或者说直接体显示设备(DDVD),这是可视硬件设计人员应尽快解决的问题。

5 结束语

可视技术的全部包括三大部分:程序设计可视辅助,可视界面和可视化。本文简要介绍了当前可视技术研究热点的科学计算可视化的发展状况,指出了可视化研究取得的主要成绩和存在的不足之处,并指明了可视化技术的发展趋势,也是本人在可视化领域的初步探索的结晶。

参考文献

- [1] 崔俊之,梁俊. 现代有限元软件方法. 北京: 国防工业出版社, 1995
- [2] 林宏,李颖. 工程应用可视化系统的开发. 计算机工程与设计, 1996, (2)
- [3] 唐泽圣. 科学计算可视化于三维空间数据场显示. 计算机学报, 1993
- [4] 蔡勋,黄朝晖,李晓梅. 高速网络环境中的科学计算可视化. 计算机科学, 1996, (4)
- [5] 余盛明,李华,刘慎权. 分布式计算环境中的并行体绘制算法. 软件学报, 1996, (9)