

基于 Linux 集群的 EAST 实验数据 在线分析及可视化

黄勤超^{1,2}, 罗家融¹, 王华忠¹, 袁旗平¹

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031;

2. 解放军炮兵学院信息工程教研室, 合肥 230031)

摘 要: 超导托卡马克装置 EAST 长稳态运行的方式需要对实验有重要影响的实验数据进行在线分析和数据可视化。介绍了 Linux 集群的概念, 给出了系统总体结构功能设计方案和硬件总体结构方案, 阐述了实验数据在线分析和数据可视化的实现方法。

关键词: 托卡马克; Linux 集群; 在线分析; 数据可视化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

1 引言

短脉冲的核聚变实验放电时间相对较短, 一般都要经历实验准备——数据采集——数据分析这样的过程。在 HT-7 装置实验早期, 由于放电时间较短, 数据分析及可视化工作一般在放电间隔中进行, 对实验数据在线分析的需求不大。目前 HT-7 装置实验放电时间达到 200 多秒, 数据采集时间延长, 数据量也相应地增大。此时, 物理实验人员对实验数据在线分析及可视化的需求日益增加。而 EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 装置将实现稳态运行, 放电时间达到 1000s 以上。因此, EAST 装置实验必须采用准实时的数据采集、数据分析和数据可视化工作模式, 通过数据在线分析和数据可视化及时了解实验的演化趋势, 发现等离子体放电实验数据中隐含的规律, 为物理实验人员的决策分析提供依据。

因此, 针对 EAST 装置实验, 我们不仅仅要考虑数据采集的实时性, 还需要考虑实验数据的在线分析和可视化。我们知道 Linux 可以运行于极为普及的 PC 机上, 不需要购买昂贵的专用硬件设备。在几台运行 Linux 的 PC 机上, 只要加入相应的集群软

件, 就可以组成具有超强可靠性、负载能力和计算能力的 Linux 集群^[1]。Linux 集群技术最大地发挥了 PC 机和网络的优势, 可以带来可观的性能。基于这样的背景, 文章中提出了基于 Linux 集群的方式实现 EAST 实验数据在线分析及可视化方案。

2 EAST 长脉冲实时数据处理特点

准持续模式下的长脉冲放电是世界各国核聚变等离子体研究一直以来追求的主要目标。许多成果已经在一些著名的长脉冲核聚变装置上得到, 如 Tore Supra、LHD、TRIAM-IM、HT-7, 还有一些装置如 W7-X、KSTAR、SST-1 和 EAST 正处于设计和试运行阶段^[2,3]。EAST 长脉冲运行模式对实验数据实时处理的需求可以归结为如下几点:

a. 24 小时持续监控是主要的操作模式。主要的控制模式应该能实时地做出反应, 子系统必须能同步和及时地对参数变化做出反应。

b. 数据智能化采集。采集系统不仅仅能够实时准确地采集实验数据, 而且可以灵活地控制采集机的采样率和采集时长以适应不同放电模式的需要。

收稿日期: 2004-12-28; 修订日期: 2005-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10475079)

作者简介: 黄勤超(1976-), 男, 博士研究生, 研究方向为数据采集、并行计算和数据可视化。

c. 智能数据的存储是非常重要的,与常规时钟数据采集不同,要求利用实时数据处理和压缩技术获得自适应值。

d. 实时处理。实现实时数据显示、数据压缩、物理参数的重新标定。改变传统的数据处理成为在线数据处理。

e. 实时数据存储。合理优化目前的实时数据流和存储,采集程序将会以多线程形式重写,因此在一个脉冲结束前,快速地实现数据存储,并且同步数据采集和可视化也要能实现。

3 系统结构功能设计

根据系统的结构功能设计要求,EAST 实验数据在线分析及可视化系统分为四层结构。数据采集层实现采集实验诊断数据并将实验诊断数据存储到数据库中的功能。数据在线分析服务器层对采集到的实验诊断数据进行处理分析,得到可供数据可视化且具有直观含义的数据。考虑实验数据在线分析的实时性,服务器并不是对所有采集到的实验诊断数据进行处理分析,而是通过物理实验人员提供的处理指令要求激活相应的数据分析处理部分。数据可视化服务器端产生可供客户端显示的数据。数据可视化客户端是根据物理实验人员的不同处理要求实现实验数据的可视化,使得实验数据更加直观。系统的结构功能框图如图 1 所示。

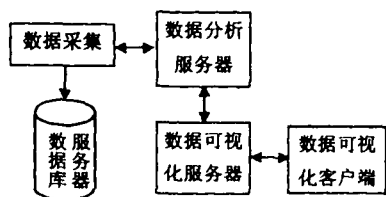


图 1 系统结构功能框图

3.1 数据采集

数据采集系统在长时间数据采集过程中,每经过一段时间(如 50ms)的数据采集,系统就对这段时间内得到的数据进行相应的处理。系统采用了多线程技术以及消息传递的机制,实现实验诊断数据的实时采集。数据采集还需要对各种实验现场信号做

出响应,最基本的是同步触发信号,用于通知采集系统何时进行数据采集。还有一些是各种实验所独有的信号,比如各种异常信号以及时序信号等。相应地数据采集系统还要将采集到的实验诊断数据存储到数据库中。

3.2 数据在线分析服务器

数据的在线分析处理过程是直接 with 数据采集过程相关的。因此,对原始诊断数据的分析处理是以不中断采集为前提的。数据分析的实时性问题是数据在线分析服务器首要考虑的问题。同时,还要设计对不同类型数据进行分析处理的相应算法。最终,数据在线分析服务器得到的是符合物理实验人员要求并提供给数据可视化客户端的数据。考虑到数据分析处理算法的复杂度对处理时间的要求很高,我们引入了 Linux 集群下的并行计算方式,通过对数据分析处理的并行算法设计增强数据在线分析的时效性。一个典型的数据在线分析过程是这样的:物理实验人员发送对相关数据进行分析处理的指令,数据分析服务器根据指令的要求取出相应的原始诊断数据进行相关的计算分析。

3.3 数据可视化服务器

数据可视化服务器的功能是响应客户端的处理指令,向数据分析服务器发出处理指令。当数据分析结束后,数据可视化服务器得到处理后的数据并转化为可供客户端显示的数据。设立数据可视化服务器目的主要是避免数据可视化客户端对数据分析服务器直接进行数据操作。同时,也减轻了数据分析服务器的负担,提高了数据分析处理的时效性。

3.4 数据可视化客户端

数据可视化客户端是物理实验人员在线观察实验数据的终端。远程和本地用户都可以通过这个终端看到实验数据的演化趋势。由于网络的时延性,在远程用户端的数据可视化过程不可避免地会产生一定的延迟。在本地用户端这个过程可接受的延迟时间为 0.5s。另外,如果需要的话,也可以在数据可视化客户端对原始诊断数据进行可视化,这部分功能主要提供给本地用户。

4 系统的硬件总体设计方案

在系统开发过程中,结合系统实时性的需要,我们选用了基于 RedHat7.3(Linux)的 Beowulf 集群平台^[4]。由于 EAST 实验需要采集的信号种类繁多,

为了便于分析,下面以 EAST 位形数据可视化的电磁测量信号为例进行介绍。EAST 位形数据可视化的电磁测量信号如表 1 所示。

表 1 EAST 位形控制的电磁测量

电磁测量种类	数 量	总 计
二维磁探针	44 × 2	88
磁通探圈	39	39
环电压	2	2
极向场电流	12 × 2	24
逆磁探圈	2	2
合计通道数		153

multidimensional electromagnetic measurement is a task that a single acquisition machine cannot handle, necessitating multiple machines. To save data analysis time and improve calculation accuracy, data acquisition and analysis are separated in principle. To avoid network congestion and errors, we adopted a high-speed network cluster form.

式。我们采用五台 CPU 为 Intel Xeon-3.0GHz、内存为 512M、硬盘为 40GB/7200RPM、配有双网卡的普通 PC 机作为节点组成 Linux 集群,实现基于消息传递的分布式内存的并行计算机系统。系统的硬件结构框图如图 2 所示。

计算机之间数据交换采用 Myrinet 网络。Myricom 公司提供的网卡和交换机,其单向互连速度最高可达到 2Gbps。为了便于连接到远程控制,提供了光导纤维的接口。提供 Linux 开放资源驱动程序和软件。可实现板上 DMA 传输方式不占用 CPU 资源,使用的“直接发送”的方式将数据发到目的地 CPU 所定义的地址。多口的交换机为增加 Linux 集群的节点提供了方便的可扩充性。Myrinet 提供直接点到点、基于集线器或基于交换机的网络配置,两个直接连接的节点之间的平均延迟是 5~18us,这要比以太网快得多。而且 Myricom 公司硬件连接可以绕过 TCP/IP 七层协议,不但减少了延迟时间,还大大降低了所占用的 CPU 资源。

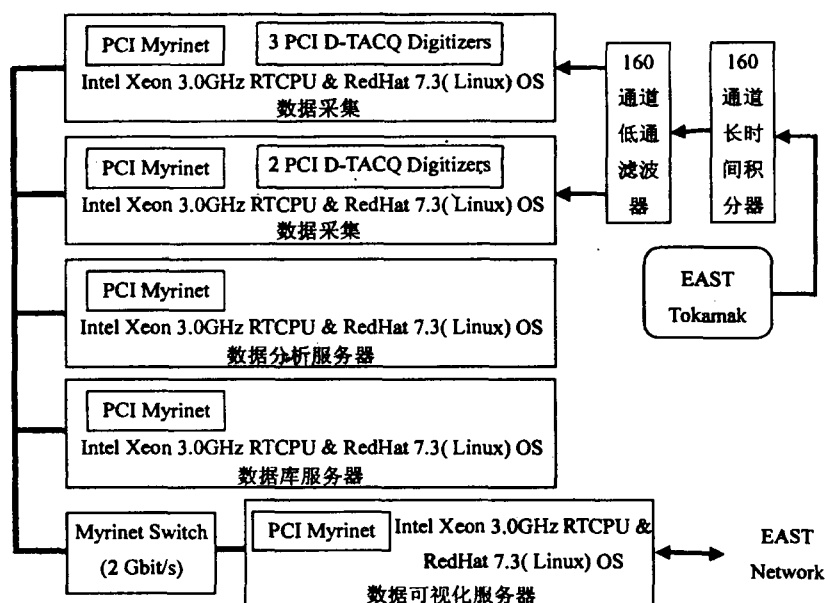


图 2 系统硬件结构框图

数据采集用 D-TACQ PCI 板卡。每块板上 32 个通道,每个计算机可以插 4 块板卡。采集卡分辨率是 16bit,10V。提供 Linux 开放资源驱动程序和软件。板卡上的 DMA 传输时间为 1us,板卡传送到内

存的时间为 1us。根据 EAST 装置电磁测量的需要,系统使用了 5 块卡,其中未使用的 7 个通道作为备用通道。

5 数据在线分析及可视化的关键技术实现

由于实现系统的难点主要在于实验数据的在线分析和数据的准实时可视化,也是系统的价值所在。以下将介绍关键技术的实现方法。

5.1 数据在线分析的并行计算

我们可以通过对实验数据的并行计算处理来实现 EAST 实验数据的在线分析。我们知道并行程序设计不同于顺序程序设计,主要在于对问题采取何种看法:顺序程序设计把事物的变化发展看成是单线程的,按先后顺序发展。并行程序设计把一个事物的行为看成是多个事物互相作用的结果,多个事物可以并行的发展。这是一个观念上的根本转变,根据这个观点,并行程序设计的核心内容就是并行划分与算法映射^[5]。

要进行 EAST 实验数据的并行程序设计,就需要了解并行算法的结构和设计模型。传统的串行计算,分为“指令”和“数据”两个部分,并在程序执行时“独立地申请和占有”内存空间,且所有计算均局限于该内存空间。并行计算将进程相对独立的分配于不同的节点上,由各自独立的操作系统调度,享有独立的 CPU 和内存资源(内存可以共享);通过网络联

接的不同计算机的多个进程,进程位于不同的计算机,消息传递是实现进程间通信的唯一方式;消息传递的实现是基于网络 socket 机制,用户不必关心;进程间可以相互交换信息如数据交换、同步等待,消息是这些交换信息的基本单位。消息传递操作有发送消息(send)、接受消息(receive)、进程同步(barrier)、规约(reduction)。因此,根据应用程序对消息传递功能的需求,在 EAST 实验数据的并行计算中采用标准的消息传递界面函数,以保证并行应用程序的可移植性。

在当前所有的消息传递软件中,最重要最流行的是 MPI, MPI 表示消息传递接口(Message Passing Interface),它能运行在所有的并行平台上,包括 SMP 和 PVP。二者已经在 Windows NT 和 Windows 9X 这样的非 Unix 平台上实现,程序设计语言支持 C, Fortran 和 Java。在等离子体地形数据的在线分析中采用了 MPI 消息传递机制。

5.2 数据可视化的 IDL 实现

为了解决 EAST 实验数据的实时可视化问题,我们应用了由美国 RSI 公司开发的 IDL(Interactive Data Language)第四代科学计算可视化语言。该语言

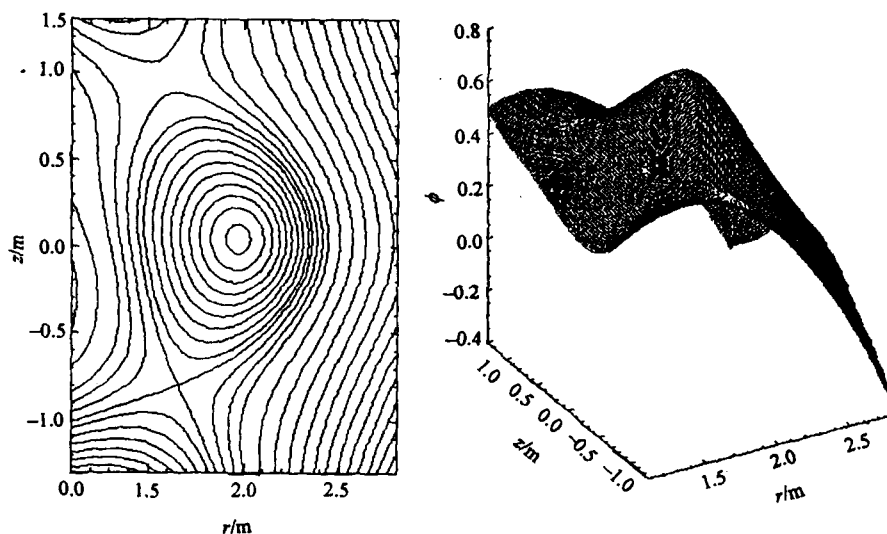


图 3 等离子体单零位形等磁通面图和等离子体单零位形三维曲面图

具有开放性、高维分析能力、科学计算能力、实用性及可视化分析为一体的特点,集成了所有科学计算环境中所需要的工具,使用户可以对任意科学数据进行可视化分析^[6]。

这里还是以等离子体放电位形数据的可视化为例。等离子体放电位形的平衡磁面能够使实验人员清晰地看到等离子体的边界、非圆截面放电位形情况下的 X-Point 点以及等离子体边界分离线与偏滤器靶板的撞击点的位置。同时,如果在增加采集通道数,缩短等离子体位形数据计算时间的情况下,还可以将等离子体形态通过三维实时显示出来。这样物理实验人员可以直观地看到放电过程中整个等离子体环的磁场形态分布、温度分布和压力分布。在等离子体放电位形数据的可视化部分中采用了 IDL 方式,实现对放电位形数据的分析、处理和可视化。利用 IDL 强大的功能,可以从不同的角度观察等离子体环的磁场形态分布、温度分布和压力分布,有利于更深入地研究等离子体的特性。

这里给出了 EAST 等离子体单零放电位形数据的 IDL 实现结果,如图 3 所示。它是等离子体单零位形等磁通面图和三维显示图。

6 结束语

在采用 Myrinet 高速交换网络的 Linux 集群为架构的基础上实现了 EAST 实验数据的在线分析,结合 IDL 第四代科学计算可视化语言设计了 EAST 实验数据在线分析及可视化系统。初步测试结果表明 IDL 快速显示和 Linux 集群在数据在线分析中的并行计算能力对等离子体放电位形数据的可视化起到很好的效果,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 郑纬民,石威.高性能集群计算[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [2] Raupp G. Experience from ASDEX Upgrade discharge control management for long pulse operation [J]. Fusion Eng. Des., 1999,43(4):383.
- [3] Luo J R, Zhu L, Wang H Z, et al. Towards steady - state operational design for the data and PF control systems of the HT-7U [J]. Nucl. Fusion, 2003,43(9):862.
- [4] 李贵明,俞国扬,罗家融.基于 Linux 的 Beowulf 集群的实现 [J]. 计算机工程,2003,29(11):49.
- [5] 陈国良.并行计算-结构、算法、编程[M].高等教育出版社,2000.
- [6] 闫殿武 编著. IDL 可视化工具入门与提高 [M]. 机械工业出版社, 2003.6.

Online analysis and visualization of EAST experiment data based on Linux cluster

HUANG Qin-chao^{1,2}, LUO Jia-rong¹, WANG Hua-zhong¹, YUAN Qi-ping¹

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031;

2. Department of Information Engineering, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031)

Abstract: To achieve long steady-state performance of the EAST tokamak requires online analysis and visualization for significant experiment data. The designing scenario of the system function structure and hardware structure as well as some concepts of Linux cluster are presented. The approach to realize the online analysis and visualization of experiment data has been described in detail.

Key words: Tokamak; Linux cluster; Online analysis; Data visualization