

中性束注入装置数据发布系统的设计与实现

Design and Implementation of A Data Publishing System for Neutral Beam Injection

(1. 东华大学理学院; 2. 中国科学院等离子体物理研究所) 肖龙江¹ 罗家融^{1,2} 盛鹏² 刘智民²
XIAO Long-jiang LUO Jia-rong SHENG Peng LIU Zhi-min

摘要:为有效的管理中性束注入(NBI)装置的分布式采集系统采集的实验数据,需要设计一套数据发布系统,向物理研究人员提供实验数据,进行分析处理,从而及时了解实验中装置的运行状态。该系统采用 C/S 模式进行设计,经测试与实验表明,整个系统稳定、有效,具有良好的通用性与可扩展性。

关键词: 中性束注入(NBI); 数据发布; Socket; 并发服务器; 多线程
中图分类号: TP302.1 **文献标识码:** A

Abstract: For the effective management of distributed acquisition system of collecting experimental data on NBI, it is necessary to design and implementation of a data publishing system to provide experimental data to physical scientists for analysis and processing and it is possible for scientists to acquire the control data of devices in experiments and make decision how to do in time. Its design is based on C/S mode. Testing and experiments show that the whole system is stable, effective and has a good generality and expansibility.

Key words: neutral beam injection(NBI); data publishing; socket; concurrent server; multi-thread

1 引言

高能中性束注入(Neutral beam injector, NBI), 是当今世界大型磁约束受控热核聚变装置托卡马克(TOKAMAK)及下一代聚变堆(ITER)所采用的芯部辅助加热和非感应电流驱动主要手段之一。可以说, 近些年来国际上聚变研究的重要进展都是与高能中性束技术的发展和贡献密不可分的。世界上各大聚变实验装置都配置了几十兆瓦的大功率高能中性束注入器, 并依靠它们取得了令世人瞩目的实验成果。设计应用于中性束注入系统的数据发布系统, 能有效的为物理实验人员提供很好的数据分析与处理的平台, 提高实验水平。本文将介绍该数据发布系统的硬件结构与软件设计流程。

2 系统方案设计

中性束注入系统主要由离子源、主真空室、中性化室、偏转磁铁、漂移管道、真空系统、束能测量装置和各部分电源系统等组成。目前等离子体物理研究所中性束注入装置正处理搭建测试阶段。NBI 控制系统结构如图 1 所示。总控系统是为实验控制部署的控制台, 用于控制装置中各子系统协调工作。中央定时系统为整个实验过程提供统一的时钟信号和触发信号。数据服务系统负责存储和发布所有采集到的数据。数据采集系统由采集控制系统与一系列采集子系统组成。由于整个装置是采用分布式采集系统, 采集下来的实验数据分布在多台采集机中, 所以有必要设计数据服务器, 以便于实验数据的发布, 为实验人员提供很好的数据分析与处理的平台。数据发布系统的具体功能如下:

(1) 各采集子系统在把采集到数据按指定的格式通过 TCP/IP 协议发送的数据服务器中。

(2) 服务器上运行 recdaq 程序接受各采集子系统发送来的数据按指定的路径进行存放。

(3) 服务器上同时运行 prodaq 程序响应各客户端的数据请求。

(4) 在客户端计算机运行 NBWave 数据分析与可视化集成软件, 通过 TCP/IP 协议连接 prodaq 程序下载数据服务器实验数据进行绘图分析处理, 及时了解实验中装置的运行状态。

3 系统实现

3.1 系统的硬件结构

数据服务器我们选用戴尔 R510 机架式服务器, 2 颗四核 Intel Xeon E5506(2.13G)处理器, 8G 内存, 用 PERC 6/i 阵列控制器把 6 块(每块 2T 容量)SATA 硬盘做成 RAID6 磁盘阵列, 这样最大程度保证了数据安全性, RAID6 可以允许坏掉两块硬盘而不会使数据丢失。服务器采用千兆双网卡模式, 一端通过 1Gbps 光纤连接采集子网, 另一端通过具有防火墙功能的路由器连接所里局域网。双网卡模式使 NBI 数据存储和数据发布功能分离, 可提高 NBI 数据发布系统运行速度和稳定性。

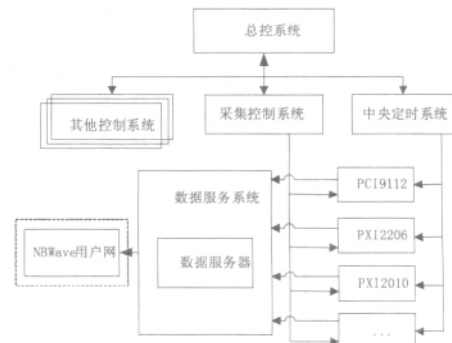


图 1 NBI 控制系统结构

3.2 系统软件的设计

3.2.1 采集端数据传送接口

NBI 采集系统使用了凌华公司的 PCI9112、PXI2206、PX-12010 等几种采集板卡组成分布式采集系统, 此处我们以使用 PCI9112 的采集机来说明数据网络发送端口的编写。首先数据采集下来调用 LZO 压缩算法进行数据的压缩, 然后给每道信号数据加上头区信息, 头区信息包括实验装置名、当前炮号、信号名、采样频率、采样点数、放大倍数等等。实验采集下来的原始数据, 由于采集信号多, 数据量大, 因此以 LZO 压缩格式把数据存储在磁盘阵列上。LZO 压缩算法是开放源码的压缩算法, 该压缩算法的特点是具有较高的解压缩速度和低内存占用率。经过测试, 对于一台 P4-2.4GHz, 内存 512MB 的计算机, 其平均解压缩速度可达 50MB/s, 而压缩速度为 5MB/s。数据经过压缩和加上头区信息后存放于缓冲区, 把一个结构体信息(包含炮号、信号名、采集机名、信号数据和头信息总长度)写入一个字符数组中发送给服务器 recdaq 程序, 然后再把信号数据以数据块的方式发送给 recdaq 程序。其他采集系统都用与此类似的方式进行发送数据, 如果是用 LabVIEW 进行控制采集的, 就调用我们做好的动态链接库中函数, 配置相关参数后进行发送数据。整个数据发送是基于 TCP/IP 协议的。

程序代码片段如下:

```
char chInfo[128];
sprintf (chInfo, "%d#%s#%s#%d", uiShot, head.strSigName,
dasinfo.strDasName, uiHeadLen+uilzolen);
CsockAddr ServerAddr =CsockAddr(ServerIp, SendPort);
CBlockingSocket sClient;
try
{
sClient.Create();//创建套接字
sClient.Connect(sDataServerAddr);//连接服务器
sClient.Write(chInfo, 128, 1); //发送结构体信息
sClient.Write(data, uilen, 10);//发送信号数据
}
catch (CBlockingSocketException e) {...
```

程序中 CsockAddr、CBlockingSocket 和 CBlockingSocketException 等是一组经过封装的有效的关于 Socket 通讯的 C++ 类[3]。CBlockingSocket 类中 Write 函数连续调用 Send 函数, 直到所有的字节都被发送出去或者接收端关闭 SOCKET, Send 函数调用 Winsock 的 select 函数以激活超时处理之后, 再调用 Winsock 的 send 函数。

3.2.2 服务器软件的设计

服务器采用的是 Linux 操作系统, Linux 操作系统具有良好的稳定性和出色的网络性能, 被广泛应用于网络服务领域。因此我们在 Linux 系统下开发并发服务器, 即在一个时刻可以处理多个客户请求的服务器。Linux 提供了两种形式的并发, 进程和线程。对比多进程并发服务器, 多线程并发服务器有更高的效率和共享存储空间[4], 因此我们选用多线程技术开发并发服务器。并且选用 Scket 通讯模型, 最基本的 Scket 通讯模型即客户服务器模型 (C/S)。Scket 通讯根据所采用的协议分为面向连接 (TCP) 和面向非连接 (UDP) 两种。由于 UDP 在传送资料时并不能保证资料能够完整地送达对方, 而 TCP 则提供了数据传输的完全可靠性, 即使 TCP 相对于 UDP 会消耗更多的系统资源, 但是为了保证数据传输完全准确, 选用了基于 TCP 协议的 Socket 通讯模型。

recdaq 程序的执行流程图如图 2 所示, 程序启动初始化后,

创建套接字, 绑定 IP 和端口, 将套接字设为监听模式, 主线程并不与客户直接通信, 一直循环运行, 负责侦听和接受客户连接请求, 每当有新的连接时, 主线程将创建一个子线程负责处理这个连接, 子线程收到结构体信息数组后调用解析函数把炮号、信号名、采集机名、信号数据和头信息总长度赋予新的变量, 然后再把数据存储到当前的炮号路径与信号文件中, 直到与客户通讯结束, 子线程终止, 程序回到监听模式, 等待下一客户请求。程序中接受数据的代码片段:

```
try{
sListen.Create();//创建套接字
sListen.Bind(saServer); //绑定 IP PORT
sListen.Listen();//监听
/* 创建子线程 */
if ((ret = pthread_create(&threadserver, &attr, Server-
Thread, NULL)) != 0) {...}
...
}
void* ServerThread(void* arg)//线程执行函数
{
...
sAccept.Read(head, 128, 1);//接受结构体信息
.../* 调用解析函数进行处理 */
sAccept.Read ((char*)strData, TransP.uifileLen, 10);//
接受数据
...
}
```

为了充分利用服务器 CPU 资源, 提高数据发布的效率, 我们为每一台采集机开启一个数据接受进程, 如 recdaq01, recdaq02, recdaq03 等, 不同之处只有绑定的端口号 PORT 的不同, 其他都一样, 这样同时接受多台采集机发送来的实验数据。

在 recdaq 程序编写中我们采用多线程技术, 其中有几个关键的问题解决, (1) 程序调用 pthread_create 创建子线程前需要先调用初始化的函数 pthread_attr_init。 (2) 用 pthread_create 创建线程时, 必须判断返回值, 否则可能造成错误。 (3) 设置子线程的属性为分离 PTHREAD_CREATE_DETACHED。线程的分离状态决定其以什么样的方式结束自己, 在默认的非分离情况下, 原有的线程等待创建的线程结束, 才能释放自己占用的系统资源, 这不太适合于多线程并发服务器, 因为每次连接请求主线程都会产生一个子线程, 线程数目一直递增, 这导致积累了大量已经运行结束, 正在等待主线程结束, 但是却没有释放系统资源的僵死线程, 由于并发服务器的主线程一般处于循环接受请求状态, 永远不会自己结束, 所以这些僵死线程也永远不会结束, 直到整个程序结束。这样最终会导致线程数目达到系统所允许的最大数目, 无法创建新的线程。如把子线程的属性设为分离, 那么线程运行结束了也就终止了, 马上释放系统资源。 (4) 由于同一进程的线程共享相同的全局变量等信息, 所以带来了同步问题。为了使得多个线程访问一个全局变量而不引起混乱, 必须使用同步机制。我们用互斥锁实现线程的同步机制, 在主线程中将一个互斥锁变量初始化, 在线程中访问公共变量时加锁, 使用完了解锁。如果一个线程加了锁, 其他线程只有等待该线程完成对这一互斥锁解锁后, 才能完成加锁操作。程序中相应代码片段:

```
pthread_attr_init(&attr);//初始化线程
/* 设置线程属性为分离状态 */
```

```
pthread_attr_t attr; pthread_create(&ServerThread, &attr, ServerThread, NULL);
/* 创建线程时,必须判断返回值 */
if ((iret = pthread_create (&thServer, &attr,ServerThread, NULL)) != 0){...}
/* 互斥锁实现线程的同步机制 */
pthread_mutex_lock(&mutex_mkdir);//加锁
/* 关键区代码 */
pthread_mutex_unlock(&mutex_mkdir);//解锁
向客户端提供数据的 prodaq 程序也是采用多线程技术,设计思想相类似,此处不再累述,只给出 prodaq 程序的执行流程图,如图 3 所示。
```

NBWave 上做好数据下载接口,然后和服务器 prodaq 程序连接,把需要查看的炮号信号下载到内存中,然后直接绘图显示分析。信号显示图如图 4 所示。

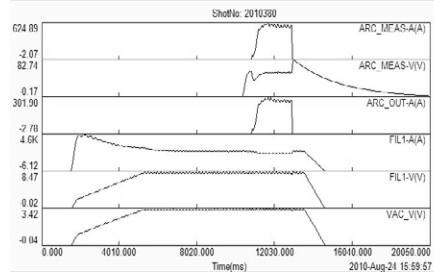


图 4 NBWave 效果图

4 系统测试结果

系统的测试主要是采集机采集数据进行压缩处理后发送数据到服务器,服务器接受存储数据和 NBWave 用户通过 C/S 模式浏览数据服务器上实验数据需要的时间。测试时,分别以单道和 10 道信号数据进行测试。结果如表 1 所示。

表 1 数据发布时间测试

炮号	单道信号数据量(≈KB)	时间	10 道信号数据量(≈KB)	时间
2010005	90	<5s	907	<10s
2010100	89	<5s	893	<10s
2010038	91	<5s	912	<10s
2010380	78	<5s	781	<10s
2010390	92	<5s	923	<10s

测试表明:局域网用户能够及时的访问实验数据。当实验进行时,同时在线访问服务器数据的用户会增多,但是基于多线程的并发服务器程序,完全能够满足多用户连接请求,可能在读数时间上比表中所测试的速度有一点延迟,但是系统总体设计完全满足实验人员的要求。

5 结束语

该系统于 2010 年 8 月 NBI 测试平台实验中开始投入使用,运行结果表明,其应用性强、性能稳定、操作简洁、容易扩展,数据的发布速度达到设计要求。实验人员可以方便地获得实验信息,从而及时了解实验中装置的运行状态。

本文创新点: 本文设计的一套中性束注入装置的数据发布系统,有效管理分布式采集系统的采集数据,把不同采集子系统的数据做成统一的格式和数据传送端口,服务端程序很好的融入了多线程技术,开发了强大的并发服务器,提高了实验水平。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

参考文献

[1]胡立群,张晓东,姚若河,EAST 中性注入组.EAST 托卡马克中性束注入方案[A].2004 全国荷电粒子源、粒子束学术会议论文集[C].?2004.
 [2]Liu Ying, Luo Jiarong, et al. The EAST distributed data system[J]. Fusion Engineering and Design,2007,82(4):339 - 343.
 [3]David J Kruglinski,Pan Aimin,Wang Guoyin translated.Inside Visual C++(4th Edition)[M].Beijing:Tsinghua University Press,1999.
 [4]刘仕筠,盛志伟,黄健.Linux 环境并发服务器设计技术研究[J].成都信息工程学院学报,2006,21(5):630-634

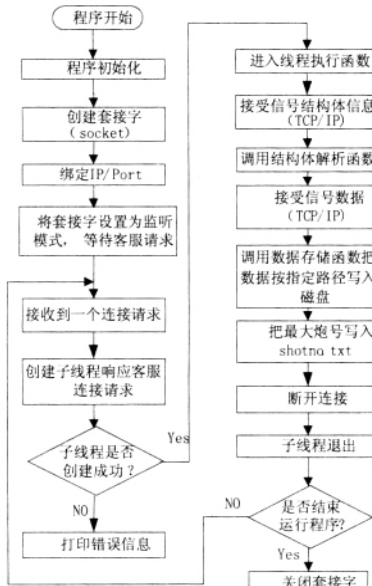


图 2 recdaq 程序流程图

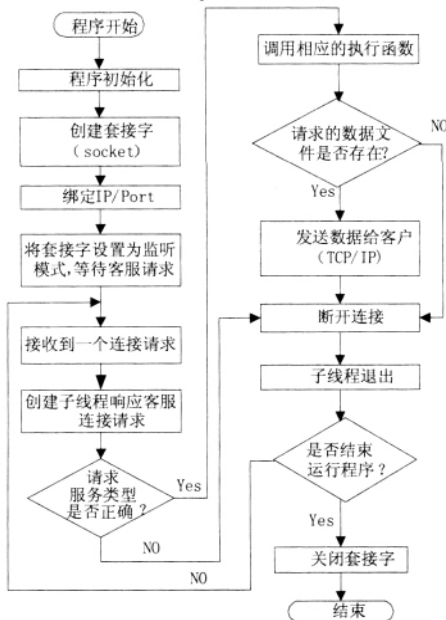


图 3 prodaq 程序流程图

3.2.3 数据的发布

我们在等离子所专为聚变实验开发的可视化集成软件

技术创新

式4就可基本保证无延迟感,实现流畅的动态可视化。其中, H_s 为平均载入速度, C_s 为显存至内存带宽, M 为每次可视化的数据量, T 为最短响应时间, f_{ps} 为渲染帧速。

$$T = M/H_s + M/C_s + 1/f_{ps} \quad (4)$$

3.3 多可视化环境同步

系统实现了两种可视化模式的同步,即可在 UTM 模式下选择数据在球体模式下进行可视化与分析,反之亦然;两种模式实现了数据的共享以降低对硬件资源的消耗。

本文将 Singleton 模式应用于海洋数据管理模块。通过将数据管理类 DataManager 的构造函数被声明为私有,使其无法被单独的实例化,只能通过静态函数 getSingleton 获得类的实例化对象。getSingleton 函数只维护唯一的静态实例变量,从而保证了对象的全局唯一化。模式切换时,不同的可视化方法函数可通过 DataManager 访问同一数据集,从而实现数据共享与操作同步。

4 实验与分析

本文测试选用的数据集为 PHC 年月平均海洋温度数据,数据空间范围为:179.5°W—179.5°E,89.5°S—89.5°N,分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,深度范围为[-1500m,0]。数据集表现为 12 个月的整个模拟区域属性场。原始数据为总量 4G 的文本格式文件。

实验用计算机配置为:Core2 2.4GHz,内存 2GB,显卡 GeForce 9300 GT。分别进行中国周边海域和全球海域的点、线、面和动态演变可视化。结果表明,各种可视化功能帧速都在 24 帧以上,渲染效果较为流畅。

5 结束语

本文实现了多维多模式的海洋数据可视化,可以使研究人员从不同角度、不同方位,用不同的方法查看和分析海洋数据,更加直观地反映数据的实际意义,从而提高信息的利用效率。本系统下步的研究方向将在三维标量数据场的等值面、体绘制方面,并且逐步往矢量数据可视化发展。

本文作者创新点:实现了基于地球直角坐标系和 UTM 坐标系的多维同步可视化分析,系统能够直观地表达海洋标量数据的空间分布及时间变化,具有良好的精度;基于内存映射技术提出了一种海量数据动态可视化方法有效的解决了大数据量带来的效率问题。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

参考文献

- [1]徐敏,方朝阳,朱庆林,琿. 海洋大气环境的多维动态可视化系统的设计与实现. 武汉大学学报(自然科学版)[J],2009,34(1):57-63
- [2]唐圣泽等. 多维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999
- [3]涂超. 海洋温度场的可视化[J],武汉大学学报(工学版),2007,40(6):126-128
- [4]Ainsworth, E. J. Ainsworth, Visualization of Ocean Colour and Temperature from Multi-Spectral Imagery Captured by the Japanese ADEOS Satellite [J], Journal of Visualization, 1999,2(2): 195-204
- [5]Huai-Chun Zhou, Shu-Dong Han, Feng Sheng and Chu-Guang Zheng. Visualization of three-dimensional temperature distributions in a large-scale furnace via regularized reconstruction from radiative energy images: numerical studies[J], Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2002,72(4):361-383
- [6]Hongqing Wang, Kai-Hon Lau, Wai-Man Chan. A PC based Visualization System for Coastal Ocean and Atmospheric Modeling [C], Estuarine and Coastal Modeling, 1999. 1233-1243

[7]程培英,邵斌. 基于共享内存的多处理器系统间通信技术研究[J],微计算机信息,2008,24,10-3:124-126

[8]程腾飞,文汉江,成英燕,王华. 2000 国家大地坐标系椭球参数与 GRS80 和 WGS84 比较[J],测绘科学,2009,38(6):189-194
作者简介:孔倩倩(1986-08-29),女(汉),山东人,中国海洋大学信息科学与工程学院计算机系,计算机应用技术,硕士研究生,研究方向为海洋可视化;导师简介:陈戈(1965-10-04),男(汉),浙江人,中国海洋大学信息科学与工程学院院长,物理海洋,博士,研究方向为海洋 GIS 与海洋遥感。

Biography: KONG Qianqian(1986-10-02), female(Han), Shandong, Department of Computer Science, College of Information Science & Engineering, Ocean University of China, Master, Major: Technology of Computer Application; Research area: marine visualization.

(266100 山东 青岛 中国海洋大学信息科学与工程学院)

孔倩倩 韩勇 李文庆 陈戈

(266100 山东 青岛 中国海洋大学海洋信息技术教育部工程研究中心) 孔倩倩 韩勇 李文庆 陈戈

(Department of Marine Technology, College of Information Science & Engineering, Ocean University of China, Qingdao Shandong, 266100, China) KONG Qian-qian HAN yong LI Wen-qing CHEN Ge

(Engineering Research Center of Marine Information Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao Shandong, 266100, China) KONG Qian-qian HAN Yong LI Wen-qing CHEN Ge

通讯地址:(266100 山东省青岛市崂山区松岭路 238 号中国海洋大学信息科学与工程学院南楼 A502) 孔倩倩

(收稿日期:2010.09.27)(修稿日期:2010.12.27)

(上接第 125 页)

[5]孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
[6]蔡勇,孟林. 网络服务器内部结构研究 [J]. 微计算机信息, 2008,3-2,153-155.

作者简介:肖龙江(1985-),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要研究方向为计算机控制与应用;罗家融(1948-),男,上海人,研究员,博士生导师,主要从事分布控制、数据采集和网络通讯系统的研究;盛鹏,助理研究员,主要研究方向为计算机控制及应用;刘智民,副研究员,主要研究方向为高能中性束注入加热技术。

Biography: XIAO Long-jiang (1985-), Mail, Yancheng City, Jiangsu Province, Master, Major research field: Computer control and application.

(201620 上海 东华大学理学院) 肖龙江 罗家融

(230031 安徽 合肥 中国科学院等离子体物理研究所) 罗家融 盛鹏 刘智民

(College of Science, Donghua University, Shanghai, 201620, China) XIAO Long-jiang LUO Jia-rong

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, 230031, China) LUO Jia-rong SHENG Peng

LIU Zhi-min

通讯地址:(201620 上海 东华大学理学院) 肖龙江

(收稿日期:2010.09.27)(修稿日期:2010.12.27)