

# 诊断中性束电源的数据采集与处理系统

盛 鹏, 胡纯栋, 刘 胜, 刘智民, 丁同海, 刘保华

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

**摘要:**文中介绍了一种用于诊断中性束电源系统的数据采集与处理系统(DPAS)。在电源系统的运行过程中,系统需要对 18 路电流/电压信号进行实时采集。DPAS 采用网络技术以客户端/服务器模式进行开发。系统引进了一种高效的压缩算法从而大量地节约了数据存储所需的磁盘空间。系统所采用的数据存储格式与 EastScope 软件(一款用于查看实验数据的软件)兼容,从而使实验操作人员可以很容易对实验结果进行分析和总结。

**关键词:**诊断中性束, 电源系统, 输出采集系统, 数据压缩

**中图分类号:** TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2007)06-1095-05

诊断中性束(diagnostic neutral beam, DNB)<sup>[1-2]</sup>是 HT-7 托卡马克<sup>[3-4]</sup>的重要诊断设备。它主要用于诊断离子温度和等离子体的旋转速度<sup>[5]</sup>。DNB 电源系统<sup>[6-7]</sup>在 DNB 系统中占有重要的地位,它直接关系到中性束的产生和注入质量。DNB 电源系统的可靠性和稳定性直接决定了整个 DNB 系统的可靠性和稳定性。因此电源系统的运行状态的监控在 DNB 实验过程中是十分重要的。为此我们设计了一套电源系统的数据采集与处理系统用于监控和记录电源系统的工作状态。

DNB 电源系统包括 9 个子系统<sup>[8]</sup>。它们是:缓冲器偏置电源(大约 18VDC)、弧电源(大约 200VDC)、偏转磁场电源、抑制极电源、加速极电源和四组灯丝电源(大约 12VDC)。其中四组灯丝电源、缓冲器偏置电源和弧电源采用同一个控制模式。通过电源变压器的转换,380V 50Hz 的三相交流电源被转换成 480V 电

源作为余下的六个子系统的初级电源系统。弧电源系统通常可以为离子源提供 200V 直流电压,以便离子源内部的氢气顺利起弧放电产生等离子体。加速极电源可以提供高达 50kV 的直流电压,这可以使离子源的带电离子获得巨大动能以便逃离子源中弧室的约束。

本文介绍了 DNB 电源系统的数据采集处理系统(Data Processing and Acquisition System, DPAS)。DPAS 具有 36 个通道实时采集运算能力和 16 路 DIO 通道,其中 18 个通道实时采集电源系统中的电流信号和电压信号,余下的通道可满足将来扩充需要。DPAS 采用客户端/服务器(Client/Server, C/S)模式进行开发设计,因此用户可以进行远程实验参数配置和运行操作。系统采用将模拟信号转换成光信号通过光纤传输的方式来隔离来自电源系统的高压,这样就避免了高压电源对数据采集系统的高压干扰并保证了系统安全。

## 1 数据采集系统

DPAS 系统包括以下几个部分:两个工控机、两块凌华 PCI-9112 数据采集卡、变频转换器(VF)和频压转换器(FV)以及采样电路。其

收稿日期:2007-02-08

基金项目:该项目受国家自然科学基金 10575105 支持

作者简介:盛鹏(1979-),男,博士研究生,主要从事数据采集和系统控制研究。

中,PCI-9112 板卡是多功能板卡,它有 16 个模拟输入通道,其最高采样频率可达 110kHz。该板卡工作时具有两种工作模式:单缓冲数据输出模式和双缓冲数据输出模式。在单缓冲数据输出模式时,数据采集时以指定的采样频率采集预先设定的采样点数,然后将采集的数据传输到用户数据缓冲区。在双缓冲数据输出模式时,可以实现连续稳定的采集数据并交替使用两个数据缓冲区,从而使系统性能大大提高。

DPAS 采用了 PCI-9112 板卡的双缓冲数据输出模式。为了使系统中的两块 PCI-9112 板卡能够协同工作,程序采用了多线程编程的方法为每个板卡指定一个管理操作线程负责板卡的数据采集<sup>[9]</sup>。当系统需要更多的通道来采集电源信号时,只需向工控机的 PCI 插槽插入一块新的 PCI-9112 板卡,然后为此板卡指定一个数据采集控制线程即可。这为系统的扩充带来极大方便。DPAS 的系统框图如图 1 所示。图中的光纤用来隔离电源系统与数据采集服务器之间的高压。为了降低环境电磁噪声对系统的影响,我们采用同轴电缆传输 FV 转换器得到信号到采集板卡。另外为了提高系统的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR),我们设定板卡的采集的电压范围为-10V 到+10V。采集板卡采集的数据直接通过 DMA 方式传送到计算机的内存中,并由数据服务程序将数据存储到本地硬盘,如果设置了网络备份,则服务程序将传送数据到数据服务器备份。

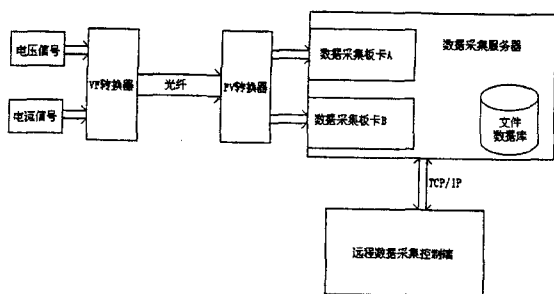


图 1 DPAS 系统结构示意图

## 2 软件设计

DPAS 的系统控制软件利用 VC++ 6.0 开发工具包以 C/S 模式开发完成。它包括两个部分:数据服务例程和远程控制程序。数据服务例程运行在数据采集服务器上,负责对采

集板卡的初始化和数据采集操作;远程控制程序运行在客户端工作站,接受用户的控制命令。服务器和客户端之间以 100Mbps 的局域网相连。客户端的配置信息和控制命令被打包后以 TCP/IP 协议传输到服务器,而数据量大的电源相关数据信息的存储与访问以 UDP 协议进行传输。

### 2.1 远程控制程序

DPAS 的控制程序运行在客户端,它具有以下功能:

- (1) 配置采集卡(包括设置文件数据库参数);
- (2) 分配数据采集通道的名称和单位;
- (3) 选择开启或者关闭某个采集通道;
- (4) 设置 DPAS 系统的采集时间长度;
- (5) 开始或者结束一次数据采集操作。

DPAS 系统有两种工作模式:单次触发模式和外触发连续采集模式。当系统工作在单触发模式时,用户可以手动控制 DPAS 实现采集一炮电源系统实验参数的功能。该模式在系统调试和子系统重新整理维修时特别便利。外触发连续采集模式是指由外部触发源发出的触发信号的连续触发下系统自动进行连续不断数据采集的模式,这在系统运行稳定时不需人为干预而且运行效率高。该模式主要运行在 DNB 实验过程中用来监测和记录电源系统的各个实验参数。

当客户端的控制程序启动后,它将打开网络功能并发送 FINDING 探测命令包来寻找数据采集服务器是否在线。如果服务器在线,服务器将应答客户端的请求并发送一个 ACK 命令到客户端。客户端控制程序接到 ACK 命令后,将显示欢迎登陆信息并进入无限循环的主循环程序以等待命令输入。当用户点击了一个命令按钮或者在命令窗口中输入了命令后,主循环将中断并解释用户的命令,如果命令合法则发送一个命令包到服务器。然后,客户端程序等待服务器的执行结果并将返回的结果信息显示给用户。当接收到 EXIT 命令后,程序将结束并退出。图 2 是客户端控制程序的工作流程图。

### 2.2 数据服务例程

DPAS 的数据服务例程运行在数据采集服务器。它控制着两个数据采集卡、解释远程客

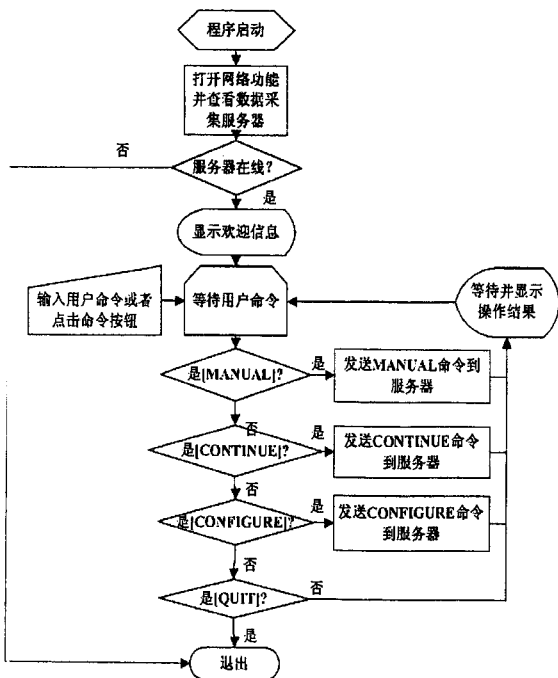


图2 客户端控制程序工作流程图

TCP/IP 协议送来的远程用户的命令。剩下的两个线程管理两个数据采集卡并采集电源系统的实验参数。

当数据服务例程启动后，它将读取服务器的配置文件并根据配置信息对服务器进行初始化。然后，服务例程将对双卡进行配置并等待数据采集命令。初始化完成后，服务器就进入无限循环的主循环以等待服务器控制台的命令或从网络上以 TCP/IP 协议发来的命令包。当命令到达时，服务器将解释命令并执行用户所请求的命令，然后将执行结果发给客户端用户。例如：当服务器接受到 CONTINUE 命令时，它将为两个采集卡创建两个并行线程并设置相应的参数以实现连续的数据采集。如果是 EXIT 命令，则服务器结束数据采集并退出数据服务例程。服务器能够处理五种类型的命令，并可以完成四种控制执行动作：配置服务器、手动单次数据采集、连续数据采集和查看一炮实验相关的 DNB 电源系统参数。数据服务例程的工作流程如图 3 所示。

### 3 实验结果

DPAS 系统很好地满足了 DNB 电源系统在实验过程的要求。为了满足系统对数据存储方面的要求，系统采用了一些有效的数据处理和数据压缩方法。

DPAS 系统可以连续实时地采集 DNB 一炮实验过程中约 20 秒的实验数据。一炮实验过程中采集的原始实验数据大小约为 80MB。以此计算下来 DNB 实验一个月的实验数据将达到 180GB，这样庞大的一个实验数据量远远超过了我们实验设备的存储能力。因此，为了节省磁盘空间，我们引进了一种实时性和压缩比都较高的压缩算法——LZO<sup>[10]</sup> 算法。LZO 算法是一个实时数据压缩或解压的数据压缩函数库。LZO 可以在保证压缩速度的情况下获得最大的压缩比。对实验结果统计后发现一炮的实验数据压缩后大约只有 6MB 左右。这样一个月下来压缩后的数据大约为 10GB，节约了近 150GB 硬盘空间。因此，DPAS 应用 LZO 压缩算法后可以使压缩的数据大小约占原始数据的十分之一，节约了 90% 的硬盘资源。这就很好地减少了网络数据备份时的传输的数据量并节省了大量的数据服务器空间。

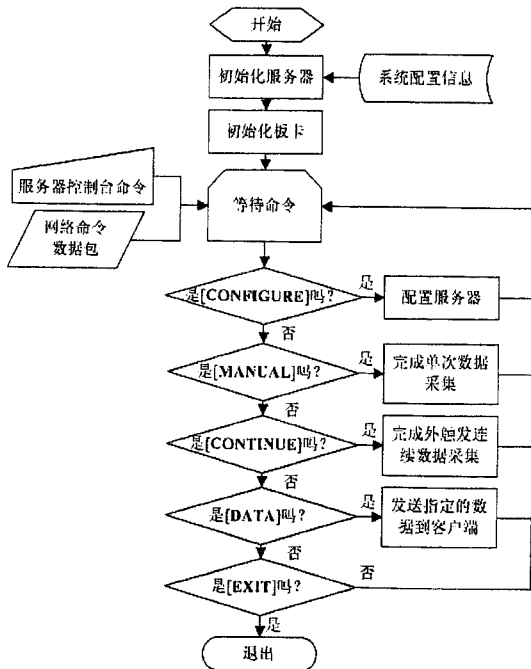


图3 数据服务例程工作流程图

户端的用户发来的操作命令并把采集的数据存储到文件数据库中。数据服务例程由四个并行的线程组成。其中，一个线程用来处理数据服务器的用户命令，一个线程用来处理通过

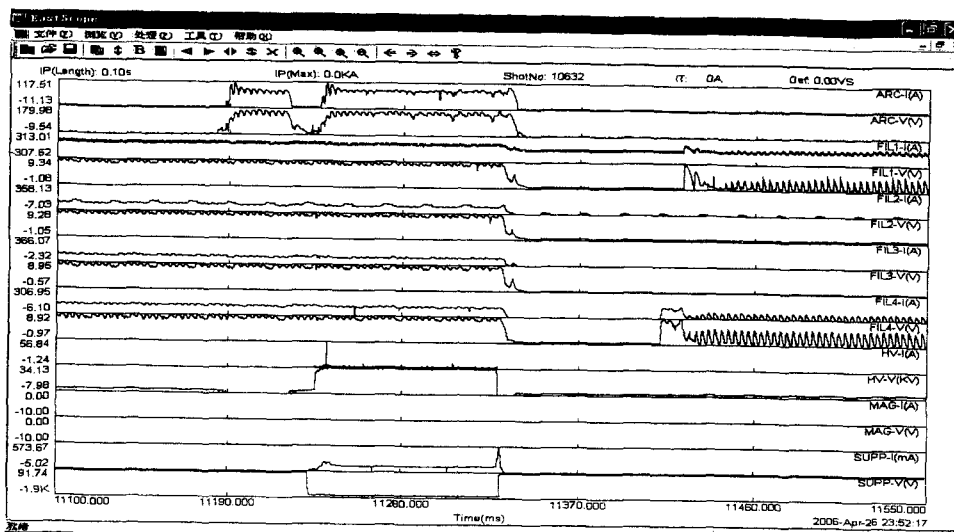


图4 DNB电源系统10632炮的实验参数曲线图

DPAS 存储的实验数据格式与 HT-7 托卡马克和全超导托卡马克实验装置 (Experimental advanced superconducting tokamak, EAST)<sup>[11]</sup> 实验中普遍使用的 EastScope (等离子体物理研究所自主开发的数据处理绘图软件) 绘图软件相兼容。因此, 实验用户可以很方便地通过 EastScope 软件获得和显示 DPAS 采集的 DNB 电源系统的实验参数曲线。当获得了一炮实验数据后, 物理实验运行者可以通过 EastScope 软件来显示自己关心或感兴趣的实验信息进行分析研究, 以便改变下一炮的实验参数获得更好的实验结果。图 4 是通过 EastScope 处理后获得的 DNB 电源系统 10632 炮的实验参数曲线图。从图中可以清晰地看出: 弧压和弧流开始于 11182ms 处; 高压出现比弧压延迟约 50ms, 其幅值为 35kV, 持续时间将近 100ms。

#### 4 结论

DNB 电源系统的实验结果表明 DPAS 系统完全满足了实验要求, 实现了实验过程中实验参数的实时采集、处理和存储。DPAS 很好地监测了 DNB 实验过程中电源系统的工作状态并保证了系统安全运行。在系统的下一步设计中, DPAS 局域网将与 DNB 数据服务器和 DNB 控制服务器局域网互联, 并接受控制服务器的控制。到时候 DPAS 将会更紧密地集成到 DNB 系统中, 为实验操作者提供更方便的操作和更好的服务, 同时也为其它系统的实现

奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] Han Xiaopu, Hu Chundong. Plasma Science & Technology, 2005, 7(6): 3102.
- [2] 刘智民, 谢俊, 刘胜, 等. 强激光与粒子束, 2005, 17(12): 1875.
- [3] Kuang G L, Liu Y X, Shen J F, et al. Nucl. Fusion, 1999, 39: 1769.
- [4] Fang Y D, Shi Y J, Kuang G L, et al. Chin. Phys. Lett., 2001, 18: 1487.
- [5] Liu Zhimin, Liu Xiaoning, Hu Chundong, et al. Plasma Science & Technology, 2005, 7(3): 2819.
- [6] 丁同海, 刘保华, 姜书方. 核聚变与等离子体物理, 2002, 21(3): 178-182.
- [7] Du Shaowu, Ge Suolian, Zhang Jian, et al. Plasma Science & Technology, 2005, 7(6): 3111.
- [8] 张建, 刘保华, 丁同海, 等. 核聚变与等离子体物理, 2004, 24(4): 307-310.
- [9] 盛鹏, 胡纯栋, 刘胜. 低温工程, 2006, 第 1 期: 16-20.
- [10] LZO Documentation. <http://www.oberhumer.com/opensource/lzo/>.
- [11] 胡立群, 张晓东, 姚若河. 核技术, 2005, 第 2 期: 149-152.

## Data Processing and Acquisition System for Power Supply System on Diagnostic Neutral Beam Injection

SHENG Peng, HU Chun-dong, LIU Sheng, LIU Zhi-min, DING Tong-hai, LIU Bao-hua

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** A data processing and acquisition system (DPAS) for the power supply system on diagnostic neutral beam is introduced in this paper. There are 18-channel current or voltage signals to be acquired in real time throughout the operation of the power supply system. The DPAS is developed in the Client/Server mode with the network technology. A high data compression algorithm is used to save the disk space. The data storage format is compatible with EastScope (Software used to view the experimental data) and is easy for operators to analyze the experimental results.

**Key words:** Diagnostic neutral beam, Power supply system, Data acquisition system, Data compression

(上接第 1090 页, Continued from page 1090)

[5] 侯志林等. 过程控制与自动化仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[6] 陈开云, 胡纯栋, 刘胜等. NBI 双潘宁离子源参数的静电探针测量[J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26

(4).

[7] 袁本恕. 计算机控制系统[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1988.

## Application of the closed loop control in the ion source discharge

SONG Shi-hua, HU Chun-dong, LIU Sheng, SHENG Peng, XIE Ya-hong

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** The thesis introduces a feedback control system which is designed to control the gas supply of the ion source. The system consists of an A/D data acquisition card and a D/A output card, which are used as the data input and control output of the digital signal processing system. The digital PID controller is realized by the software. The gas valve is controlled by regulating the parameter. The structure of the system and the experiment results are described in the thesis.

**Key words:** closed loop control, ion source, signal processing, PID