

基于 PCI 的 HT-7 托卡马克数据采集及实时可视化

黄勤超^{1,2}, 王华忠¹, 罗家融¹, 刘琨²

(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, 合肥 230031)

摘要: 为了适应 HT-7 托卡马克长脉冲放电实验的需要, 有必要将实验诊断信号的数据采集与实时数据可视化相结合, 使实验人员在实验进行中及时了解装置的运行状态, 从而作出判断和决策。该文以采用数据采集卡 PCI-9112 进行 HT-7 实验诊断信号数据采集及实时可视化系统开发过程为例, 详细介绍了系统的硬件组成结构、软件设计和实现。

关键词: 托卡马克; 数据采集; 实时可视化

HT-7 Tokamak Data Acquisition and Real-time Visualization Based on PCI Bus

HUANG Qinchao^{1,2}, WANG Huazhong¹, LUO Jiarong¹, LIU Kun²

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031; 2. Artillery Academy of PLA, Hefei 230031)

【Abstract】 To meet the requirement of long pulse discharge experiments on HT-7 Tokamak, it is necessary to make diagnosis signal data acquisition system integrated with real-time data visualization system. And it is possible for scientists to acquire the operation information of devices in experiments and make decision how to do in time. This paper takes the design of data acquisition and real-time data visualization system on HT-7 Tokamak which adopts data acquisition card PCI-9112 as an instance to introduce the hardware structure and the software design and realization.

【Key words】 Tokamak; Data acquisition; Real-time visualization

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、数据可视化这样的过程。在 HT-7 托卡马克装置核聚变实验早期, 由于放电时间较短, 对实验数据在线分析及实时可视化的需求不大。目前, HT-7 核聚变实验放电时间达到 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实时可视化的需求日益增加。因此, HT-7 实验必须采用集数据采集、数据分析和数据可视化于一体的实时工作模式。将数据采集得到的实验诊断数据以图形方式实时地提供给物理实验人员, 能够使物理实验人员通过数据在线分析和数据实时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, 从而为物理实验人员的决策分析提供依据。

PCI (Peripheral Component Interconnection) 以其速度快、可靠性强、成本低及兼容性好等性能, 在各种总线标准中占有重要地位。它不受制于处理器, 它为 CPU 及高速外围设备之间提供了一座桥梁, 可缩短外围设备取得总线控制权所需时间, 提供数据吞吐速度; PCI 总线在 33MHz 的时钟频率下运行, 采用 32 位数据总线, 并能扩展到 64 位, 可支持多组外围部件, 数据传送速率高达 132Mbps, 远远超过标准 ISA 总线 5Mbps 的速率, 在一定意义上可以认为 PCI 局部总线解决了高性能的 CPU 处理能力和低效的系统结构之间的瓶颈问题; 兼容性好, 稳定可靠的 PCI 总线可与 ISA、EISA、VISA 等总线兼容。基于这样的背景, 文章设计了基于 PCI 总线的 HT-7 托卡马克数据采集及实时可视化系统。

1 系统方案设计

1.1 系统结构功能设计方案

HT-7 托卡马克数据采集及实时可视化系统, 就是要在数

据采集进行的过程中, 将采集到的数据及时反映到显示器或者绘图仪等人机界面上。部分数据还需要在进行可视化之间进行一些简单的处理, 从而使实验人员得到更直观、更清晰的数据, 以便于进一步分析处理。

系统总体结构如图 1 所示。由于实验诊断数据实时可视化的需要, 在采集设备工作的过程中, 必须可以随时从采集设备获取采集得到的数据, 而不是必须等待采集设备本次工作完全结束, 才可以对数据进行处理及可视化。并且, 在实现实验诊断数据的实时可视化过程中, 不能影响采集设备的正常数据采集。数据采集卡是本系统的硬件核心部分, 它主要完成数据的采集和存储。主要考虑采样频率、输入精度、A/D 转换速度与分辨率等技术指标, 本系统选择了研华公司生产的多功能数据采集卡 PCI-9112。PCI-9112 是 16 通道 12 位的多功能数据采集卡, 具有独特的电路设计和完善的数据采集与控制功能, 具有 1k FIFO 的高速缓存, 可灵活设定输入类型和范围, 具有 16 路单端或 8 路差分模拟量输入、16 通道数字 I/O 和 2 通道 12 位模拟量输出。最高可达到 110kHz A/D 采样率。带有可编程定时/计数器芯片 8254。内部结构主要由单端/差分模拟输入通道、模拟输出通道和触发源连接 3 部分。PCI-9112 数据采集卡能够满足被测信号的需求。PCI-9112 数据采集卡最重要的一个特点是支持数据直接写入系统内存, 可以在任何时刻方便地从系统内存中读取数据, 从而可以实现实验诊断信号的实时可视化功能。

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, 博士生, 主研方向: 数据采集, 数值计算和数据可视化; 王华忠, 副研究员; 罗家融, 研究员、博导; 刘琨, 硕士生

收稿日期: 2005-05-18 **E-mail:** qc_huang@ipp.ac.cn

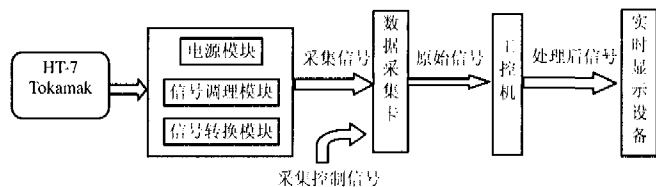


图1 数据采集及实时可视化系统总体结构

1.2 系统硬件结构

数据采集需要对各种实验现场信号作出响应，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，在 HT-7 装置的实验诊断信号数据采集及实时可视化系统中，需要对 3 个信号进行响应，分别是：采集触发信号，放电异常中断信号和负 30s 倒计时信号（时序信号，用于通知各系统实验将在 30s 后开始，从而做各自的准备工作）。将 3 个信号分别接入到 16 位数字量信号输入 I/O 端口上，通过软件巡检的方式来检测各 I/O 端口通道信号的高低电平变化，分别做出相应的处理。对于各种信号组合，以及实验过程中的情况，可以分为 4 种情况，如表 1 所示。

表 1 触发信号及相应处理

-30s 信号	触发信号	中断信号	相应处理
1	0	0	开始倒计时
0	1	0	开始数据采集
0	0	1	实验中断处理
0	0	0	无任何信号，继续巡检

1.3 系统软件流程

数据采集和实时可视化系统需要对数据采集和数据实时处理分别进行控制和操作，在系统软件设计过程中，必须使系统各部分协调工作，从而保证各部分的实时性和准确性，避免数据采集和实时可视化之间互相影响，导致程序异常。同时还要注意内存的使用和释放，避免出现内存泄漏等问题，保证程序运行的稳定性和可靠性。HT-7 托卡马克装置的实验诊断信号数据采集和实时可视化系统软件主要分为 3 个部分：采集卡初始化和参数设置，触发等信号响应以及信号实时可视化。系统的软件流程如图 2 所示。

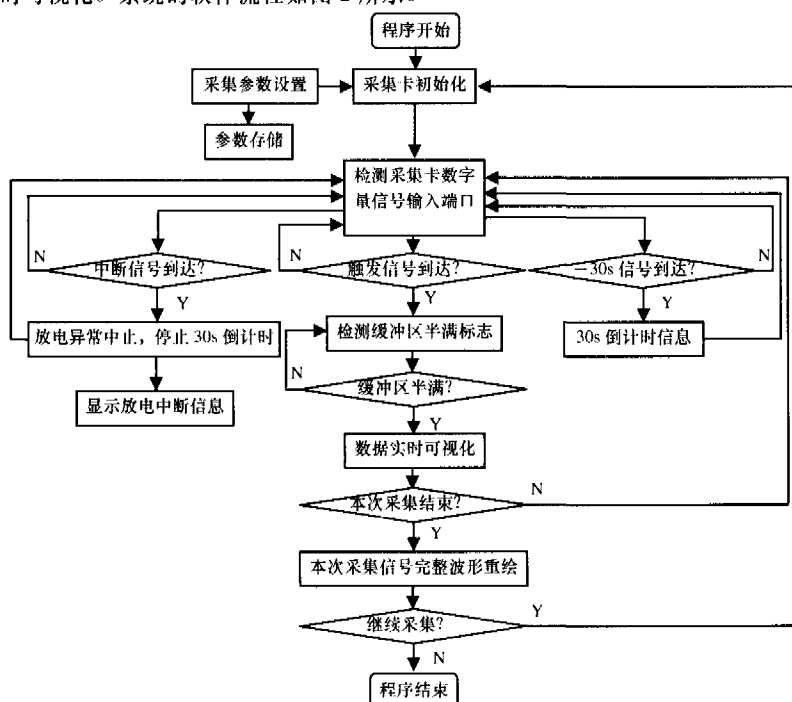


图2 HT-7 实验诊断信号数据采集及实时可视化系统软件流程

2 系统实现

从严格意义上讲，Windows 系统不是实时操作系统，但它的多任务（多线程）机制允许在时间要求不是很严格的条件下，实现实时系统的某些功能，比如其低精度定时器在秒量级是相对精确的。同时在程序中充分利用 Windows 系统的多任务机制，使用多线程的编程方法，实现数据采集和实时可视化的“同步”进行。另外，在 Windows2000 系统中，由于安全方面的原因，不能以通常的读写端口的方式来对系统或其它设备的端口直接进行读写操作，必须写设备驱动程序，才能进行相应的端口操作。针对采用的多功能数据采集卡 PCI-9112，只需对其端口进行读写就可以方便地控制其数据采集。因此，首先要解决的就是实现该采集卡在 Windows2000 系统下的驱动和控制。

2.1 采集卡驱动的实现

为了解决在 Windows2000 系统下对 PCI-9112 采集卡的端口读写功能，利用了一个可以直接对 Windows9x/NT/2000/XP 下直接存取 I/O 端口和物理存储器地址的函数库 WinIO，它可用于 VC、VB 以及 C++Builder 中。这个函数库可以从 Internet 上方便地获得，它通过使用一个内核模式的设备驱动程序和一些低级编程技术绕过了 Windows 的保护机制来实现端口操作，同时对于 WindowsNT/2000/XP 系统，可以在非管理员账户下使用。

Win I/O 库提供了几个主要的函数来对 I/O 端口进行读写操作，在 Visual C++ 中调用过程如下：

```

/*初始化 WinIO*/
WinIO_API bool _stdcall InitializeWinIo();
/*读端口*/
WinIO_API bool _stdcall GetPortVal(WORD wPortAddr,
    PDWORD pdwPortVal, BYTE bSize);
/*写端口*/
WinIO_API bool _stdcall SetPortVal(WORD wPortAddr,
    DWORD dwPortVal, BYTE bSize);
/*清除 WinIO 环境*/
WinIO_API void _stdcall ShutdownWinIo();
    
```

利用以上 4 个主要的函数，就可以实现 PCI-9112 采集卡在 Windows2000 下的数据采集任务。

2.2 系统的软件实现

系统的软件实现采用 Visual C++6.0 为开发环境，利用 MFC 文档视图结构实现数据采集处理与实时可视化的分离。考虑到系统是一个实验诊断信号数据采集系统，应该有数据的采集和永久保存、数据的实时可视化、数据的回放以供实验后期的分析等。把系统分为数据的采集及保存模块、数据处理模块、实时可视化模块和实验诊断数据回放模块几个部分，具体实现如下。

2.2.1 数据采集及保存模块

数据采集及保存模块完成数据的采集和保存，为实验研究提供数据支持。数据保存涉及到数据的采集，因为要连续不断地采集，就要求数据保存和对数据的实时可视化操作都不影响数据的采集，所以最好使用一线程函数后台采集数据，把采集到的数据存在双缓冲中。根据显示器像素和采样频率之间的对应关系，

抽取和绘出相应的数据点。同时,利用另一线程函数把这些数据写入文件中永久保存。

```
UNIT DataAcquisitionThreadProc(LPVOID pParam)
[...//采集数据送入双缓冲中;]
UNIT DataSaveThreadProc(LPVOID pParam)
[...//保存数据至磁盘文件中;]
```

只要缓冲区的大小设置合适,就可避免缓冲区的溢出和数据的丢失。

2.2.2 数据处理模块

数据采集及保存模块保存的数据都是采集到的原始数据,其中必然包括采集过程中出现的干扰和噪声,如果不加任何处理就会使实验所得到的数据不够准确,从而对实验分析产生误导,得不到正确的结果,因此,对原始数据要采取滤波、去零漂等处理。在数据处理模块中利用3个数字滤波器来减少非有效数据的成分:(1)中位值滤波器,其原理为把对某通道连续采样n次的采样值按大小排队,取中间值为本次的采样值。这种滤波器能有效地克服因偶然因素引起的波动或者由于采集卡不稳定引起的误码等造成的脉冲干扰。(2)算术平均值滤波器,其原理为以连续采样n次相加的平均值作为本次的采样值。它对随机干扰有显著的抑制作用,但是n值不宜取得过大,过大会使得测量精度下降,有用的数据也被过滤掉了。(3)加权递推平均值滤波,其原理可用公式表示如下:

$$\bar{y}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n w_i y_{n-i} \quad (1)$$

其中 $w_0, w_1, w_2, \dots, w_{N-1}$ 为常数,且应满足如下条件:

$$w_0 + w_1 + w_2 + \dots + w_{N-1} = 1 \quad (2)$$

同时 $w_0, w_1, w_2, \dots, w_{N-1}$ 的大小根据实验的需求确定并由实验人员设定。

这3种滤波方法可以组合形成复合滤波法。其中第(1)种,第(2)种分别与第(3)种组合,第(1)种和第(2)种不宜组合。实验中具体选择哪种组合方式,由实验人员根据经验和数据处理的效果来决定。

2.2.3 实时可视化模块

实时可视化模块主要完成从文档中提取当前数据显示在视窗中,供实验人员观测。由于数据实时可视化要求不断地

刷新屏幕来显示最新的数据,因此很容易造成屏幕的闪烁。可以采用下面的方式来消除此种影响,首先在内存中创建和屏幕兼容的设备描述符表,在其上绘图,然后拷贝到屏幕上去就实现无闪烁显示。部分程序代码如下:

```
memDC.CreateCompatibleDC(&dc);
//创建与屏幕显示兼容的内存描述符表
memBitmap.CreateCompatibleBitmap(&dc,FWidth,FHeight);
//创建与屏幕显示兼容的内存位图
OldBitmap= (CBitmap *)memDC.SelectObject(&memBitmap);
//把内存位图选入内存设备描述符表
dc.BitBlt(0,0,FWidth,FHeight,&dc,0,0,SRCCOPY);
//把在内存描述符表中形成的最终图形原样拷贝到屏幕上,
//dc为与屏幕对应的设备描述符表
memDC.SelectObject(OldBitmap);
//删除内存描述符表中原有的位图
memBitmap.DeleteObject(); //删除内存位图对象
```

2.2.4 实验诊断数据回放模块

实验诊断数据回放是指在采集结束以后从磁盘文件中读取实验中本次采集到的完整数据来显示实验诊断信号趋势曲线图。在实验间歇的时间内,可以对数据进行进一步的处理分析并进行二次重绘,为科研人员提供更为详细和直观的实验信息。

3 结束语

基于PCI总线的HT-7托卡马克数据采集及实时可视化系统的成功开发,能够方便地根据实验情况,由实验人员控制各参数,进行实验诊断信号的数据采集和实时可视化。特别是在HT-7托卡马克稳态长脉冲实验中,系统能够为实验人员提供快速而直观的数据和信号波形,为HT-7托卡马克实验的进一步开展提供重要的参考。

致谢:感谢中科院等离子体物理研究所计算机室李贵明工程师在数据采集实验中提供的帮助。

参考文献

- 1 Wan Y, HT-7 Team and HT-7U Team. Overview of Steady State Operation of HT-7 and Present Status of the HT-7U Project[J]. Nucl. Fusion, 2000, 1057 (40).
- 2 Kruglinski D J. 潘爱民译. Visual C++技术内幕(第4版)[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.

(上接第211页)

Nvidia GeForce Fx 5800。首先考察该算法的精确度,分别以非参数局域变换(NLT)的结果、SSD和SAD为匹配代价处理加入椒盐噪声的Aschwanden测试数据,得到的结果如图1所示。精度最高为非参数局域变换方法,最低为SAD方法。重点考察的是GPU实现相对与CPU实现的运行速度差异。实验数据为Scharstein推荐的测试实例^[4]。图2为算法CPU实现和GPU实现处理不同分辨率的立体图像执行时间的统计结果。可以看出,GPU实现的速度要高于CPU的处理速度,这主要归功于算法本身的并行性可以充分利用GPU的并行流水处理特性。双目立体视觉算法是计算机视觉、基于图像的绘制和增强现实等技术的基础算法之一,所以本文的算

法实现具有实用价值。

参考文献

- 1 Zabih R. Individuating Unknown Objects by Combining Motion and Stere[D]. Stanford University, 1994.
- 2 Kruger J, Westermann R. Linear Algebra Operators for GPU Implementation of Numerical Algorithms[C]. SIGGRAPH'03, 2003.
- 3 Nvidia Corp. Nvidia Developer Homepage[Z]. <http://developer.nvidia.com>, 2004.
- 4 Scharstein D, Szeliski R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-frame Stereo Correspondence Algorithms[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1): 7-42.