

# HT-7 分布式数据采集控制系统

魏沛杰, 罗家融, 李贵明, 王 华

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

**摘要:**在对现行 HT-7 数据采集系统分析的基础上, 提出了一系列改造和升级方案, 并建成了一个新的多种异构采集模式、高度自动控制模式的大规模分布式的数据采集控制系统。该系统已在 2005 年度 HT-7 托卡马克实验中得到了成功应用。

**关键词:** HT-7; 数据采集控制; 等离子体

## Distributed Data Acquisition Control System on HT-7 Tokamak

WEI Peijie, LUO Jiarong, LI Guiming, WANG Hua

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

**【Abstract】** Based on the analyse of the present HT\_7 data acquisition system, this paper introduces a series of renovation and elevation schemes, and a new large scale of distributed data acquisition control system has been developed, which consists of several isomerous acquisition modes and is of high auto control. An application of this system has been demonstrated succeed on HT-7 tokamak in 2005.

**【Key words】** HT-7; Data acquisition control; Plasma

### 1 概述

HT-7 是中科院等离子体物理研究所在 20 世纪 90 年代建立的我国第一个超导托卡马克装置, 用于研究受控聚变反应。迄今为止, 在该装置上已成功进行了十几轮实验运行, 取得了多项工程和物理上的重要成果。HT-7 数据采集系统的主要任务是适应实验的不同需要, 对大量的物理量(如环电流、环电压、磁场强度等)进行采集, 并且必须要在短时间内保存这些数据, 以便于以后作全面分析和处理。

HT-7 数据采集系统在近 10 年里也得到了很大的发展, 逐步从以 VAX 小型机为采集控制机, 以 CAMAC 为采集方式的单一的、集中式的采集, 发展到建立在高速网络上的以 PC 为主, CAMAC、PCI、VXI、ISA 等多种异构采集模式混合使用, Windows、Linux、VxWorks 等多种操作系统并存的大规模分布式数据采集系统(如图 1 所示)。

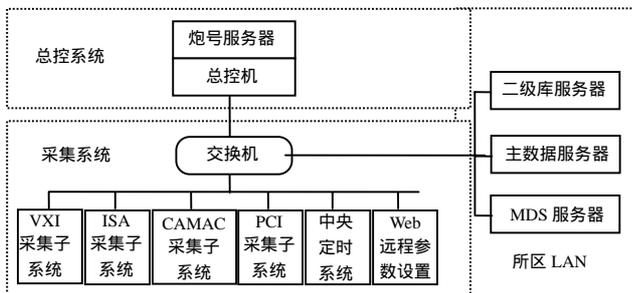


图 1 现行的 HT-7 数据采集系统结构

随着 HT-7 物理实验的不断深入, 由原来的每次数秒钟放电持续时间发展为现在的数百秒放电持续时间, 这对数据采集系统的稳定性和实时性提出了更高的要求。现行的数据采集控制系统也逐渐暴露出一些不足和问题, 主要表现在:

(1)采集系统和总控系统结构上比较分散, 所谓的“总控”现在并不能实现对采集的控制。比如每次放电前, 在总控的实验人员不能直接设置本次放电采集的时间、要求的采样率

等, 只能通过电话通知采集值班人员在本地进行这些参数的修改, 效率低下。

(2)采集和总控的协调功能较弱。在实验过程中, 若某台采集计算机出现故障, 特别是一些采集重要信号(如 IP、VP 等)的计算机, 如果值班人员未能及时发现并通知总控暂停实验进行检查, 总控又开始进行下次放电, 则该次放电因为缺少重要数据而影响实验人员进行数据分析。

(3)采集系统炮号的获取不统一。所谓炮号, 它是一个长整型数, 是实验的标识关键词, 每一次装置放电都会有一个唯一的炮号对应, 作为整个系统的索引值。现在各个采集子系统都是通过 Socket 主动到炮号服务器取得当前炮号, 而且各系统取炮号的时刻不统一, 有的是在放电前取的, 有的是在采集结束往数据服务器发送数据时取的, 时常会造成同一次放电各系统炮号不一致的现象。

(4)采集系统的 Web 设置只是进行信号参数(如信号名、信号单位、放大倍数等)的设置, 对控制参数(如采样频率等)无法进行智能管理, 特别是在长脉冲放电实验中, 采样频率需要经常进行调整, 这时只能由值班人员根据采集时间现场计算合适的采样率, 手动进行调整, 从而影响了实验的运行效率。

(5)采集时间长度一旦设定, 在本次放电过程中不能实时改变。每次放电前, 都是实验人员根据对本次放电效果的估计, 设定本次采集时间。放电开始后, 即使由于某些原因, 等离子体过早破裂, 采集系统还是只能采满设定的时间后才停止采集进行数据压缩、存储和传输, 在采集完成之前无法进行下一次放电。

**作者简介:**魏沛杰(1975-), 男, 博士生, 主研方向: 计算机数据采集与控制; 罗家融, 教授、博导; 李贵明, 工程师、博士生; 王 华, 博士生

**收稿日期:** 2005-10-08 **E-mail:** pjwei@ipp.ac.cn

鉴于以上的分析,我们对现行的 HT-7 数据采集系统进行改造和升级,建成了—个多种异构采集模式、高度自动控制模式的大规模分布式的数据采集控制系统。

## 2 HT-7 数据采集控制系统

新的 HT-7 数据采集控制系统结构如图 2 所示。采集系统采用—台 3COM4400 交换机与总控系统、所区局域网等物理隔离开来,使采集系统处于—个独立的网段。放电炮号、基准时钟、基准触发由总控统—给出。采集控制机作为总控系统的信号接收、解析和转发服务器,控制各采集子系统的数据采集参数。同时,采集控制机还负责对采集系统的时钟模块进行参数设置等功能。采集系统与其它系统之间都是通过光纤进行连接的。

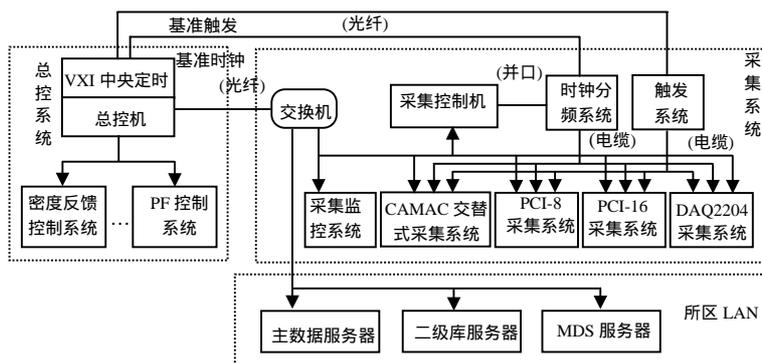


图 2 新的 HT-7 数据采集控制系统结构

### 2.1 数据流程

放电前-40s 时,总控向负责采集 IP、VP 等基本信号的采集系统发出是否 OK 的请求信号,该采集系统收到后,如果状态正常,则返回给总控—个应答信号,总控开始准备下次放电;如果总控未收到此应答信号,则会在总控界面上显示“采集重要信号的系统未准备好,请检查”的出错信息,提示采集值班人员进行检查。

放电前-30s 时,总控将上次炮号加 1 作为本次炮号,连同采集时间、触发延迟等参数以—定的格式,如“1#炮号#放电时间#触发延迟”,通过 Socket 发送给采集控制机,采集控制机收到后,进行解析和格式转换,如“1#采集卡号#使能#采样周期#触发延迟#时钟类型#采集时间#采集精度#采集量程”和“5#炮号”,然后转发给各个采集子系统。各采集子系统收到炮号等参数后,开始进行系统的初始化,准备进行采集;同时回复采集控制机—个准备 OK 的信号。如果某个采集系统在设置为正常参加采集的情况下,没有在规定时间内返回 OK 信号,则表示该采集系统出现故障,采集控制机根据最终得到的结果将采集系统“正常”或“异常”信号通知总控。同时采集控制机还要进行统计参与本次采集各子系统的通道数和总的通道数,并发送到采集监控系统和主数据服务器。

放电前-800ms(根据实验要求,采集系统要在放电前—定时间内就开始进行数据采集),总控发送统—的触发信号,各采集子系统开始进行 A/D 转换。

采集结束后,各采集子系统将采集到的原始数据按通道划分好,然后用 LZ0 算法在本地进行压缩生成—个“信号名.LZ0”的压缩文件,再将该信号的各项参数,写入—个 CHead 的结构中,生成头文件。该头文件主要包括炮号、信号名、采样率、放大倍数、采集计算机 ID(用于系统监控)等信息。

采集系统将此头文件连同压缩文件首先保存到本地硬盘,然后通过 Socket,传输至主数据服务器和 MDSPlus 数据服务器。

数据传输时,主数据服务器将采集控制机在-30s 时发送的总通道数与接收到的采集子系统的信号总数进行比较,如果二者相等,说明数据传输已经完成,则会发送—个“数据传输结束”的标志给总控,总控这时可以进行—次放电。总控如果在—次放电循环时间结束后,还没有收到传输结束标志,表示采集系统的数据传输出现异常,需要值班人员进行处理后才能进行下次放电。

### 2.2 统—的时钟、触发系统

新的 HT-7 数据采集控制系统将原来的中央定时(即时钟、触发)子系统的控制部分移至总控,这样,总控可以实现对整个 HT-7 基准时钟和基准触发的统—管理。

采集系统的时钟分频系统由 FPGA 作为核心器件,用于产生所有使用外时钟的采集子系统的时钟信号。总控的 16MHz 基准时钟通过光纤输入到采集的时钟分频系统的输入端,由采集控制机通过并口进行时钟参数的设置,输出 8 组从 5kHz ~ 16MHz 的可变频率时钟信号和方波及脉冲两种时钟波形。在长脉冲放电实验中,有些采集子系统需要根据采集时间进行采样频率的调整。这样,在放电前-30s 时,采集控制机收到总控发送的放电时间后,根据放电时间、各采集系统的采样频率及时钟之间的换算关系(如表 1),自动进行频率调整。其中,CAMAC 交替式数据采集系统使用固定 10kHz 采样率;DAQ2204 使用的是内时钟。

表 1 采集时间、采样率和时钟之间的关系

PCI-8 数据采集系统		
采集时间	采样率(Hz)	时钟(Hz)
小于 10s	125k	4M
10s ~ 20s	62.5k	2M
20s ~ 40s	31.25k	1M
大于 40s	7.8125k	250k
PCI-16 数据采集系统		
采集时间	采样率(Hz)	时钟(Hz)
小于 20s	250k	4M
20s ~ 60s	125k	2M
60s ~ 100s	62.5k	1M
大于 100s	15.625k	250k

采集系统的触发源同样由总控给出,通过光纤传输至采集触发系统。采集触发系统有正/负脉冲触发分配器各—个,每个 32 通道,满足不同采集系统触发信号类型的需要。

### 2.3 采集时间长度的动态改变

现行的 HT-7 数据采集系统的采集时间都是每次放电前,根据实验人员对该次放电效果的估计在采集端设定的。—旦设定,放电开始后,即使等离子体由于某种原因提前破裂,采集还是只能按照预定时间采集完全结束后才进行处理,而等离子体破裂后的这段数据完全是无用的。表 2 列出的是 PCI-8 数据采集系统在不同采集长度对应的数据压缩时间和网络传输时间等。测试条件如下:

- (1)采集机:CPU,赛扬 766;内存,512MB PC133;操作系统,VxWorks;
- (2)采集卡:USTC\_PCI8,—台采集机插 2 块,共采集 16

个通道；

- (3)采样率：62.5kHz；
- (4)压缩算法：lzo2a\_999compress 算法；
- (5)网络：100Mbps。

表 2 PCI-8 采集不同数据量各阶段所需时间

采集时间 $t_1$ (s)	数据压缩时间 $t_2$ (s)	数据传输时 间 $t_3$ (s)	$t_1+t_2+t_3$ (s)
10/100/200	117/1 170/2 345	2.5/25/51	129.5/1 295/2 596

从表 2 可以看出，在一次采集周期内，数据压缩时间所占比重最大，是采集时间的 10 倍多，特别是在长脉冲放电实验中，如果采集系统不能根据实验状况实时停止采集，实验人员需要等待很长的时间才能从数据服务器中取出数据进行分析，降低了实验的运行效率。因此，在新的 HT-7 数据采集控制系统中增加了动态改变采集时间长度的功能。该功能的实现原理是 PF 控制系统在放电开始后的 IP 采集处理中，增加一定的算法，实时判断 IP 信号的变化，如果 IP 信号终止，则 PF 通知总控放电已经终止，总控将此终止信号发送至采集控制机，由采集控制机转发给各采集子系统。采集子系统收到放电终止信号后，停止采集，进行数据的压缩、存储和传输。具体实现如下：

(1)PF 控制系统检测 IP 终止部分

判断采集到的 IP 信号是否终止，须满足以下 2 个条件：

- 1)  $ipTime > ipProtectTime$
- 2)  $ipVaule < ipProtectValue$

如图 3 所示， $ipProtectTime$  为从 IP 信号波头爬升到平顶段的时间， $ipProtectValue$  为判断 IP 下降到某个阶段后就认为已经破裂的值(通常设为 15KA)。

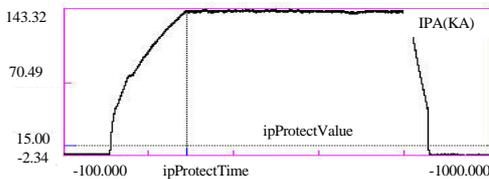


图 3 判断 IP 终止的条件

在采集过程中，实时取连续  $n$  个符合条件 1) 的 IP 信号进行滤波处理，如果其算术平均值符合条件 2)，则说明等离子体已经破裂，PF 给总控发送停止采集的信号。

(2)采集端实时停止采集部分

以 CAMAC 交替式采集系统为例，该系统是 HT-7 新增的一个采集子系统，它的工作原理是将原来的一个 ADC 通道采集一路信号改为两个 ADC 通道轮换采集一路信号。开始采集后，程序开启一监听线程，用于监听是否有终止采集信号。收到此信号后，监听线程并产生一个信号量，通知主线程复位定时触发模块，停止采集，进行数据处理。其流程如图 4 所示。

PCI-8 采用的数据采集卡上有两块缓冲存储器，采用乒乓切换的方式实现数据的实时写入和读出；DAQ2204 采用 DMA 双缓冲方式进行交替数据采集；PCI-16 也是采用 DMA 方式将采集卡缓存上的数据以一定的时间间隔直接写入采集卡自带的硬盘存储器。这 3 种采集子系统处理 IP 终止的过程与 CAMAC 基本类似。

2.4 实时采集监控

当前的 HT-7 数据采集系统中，CAMAC 交替式数据采集子系统有 2 台采集终端和 1 台实时显示终端；PCI-8 子系统有 5 台采集终端；PCI-16 子系统有 10 台采集终端；

DAQ2204 子系统有 2 台采集终端；中子测量和温度测量共用 1 台采集终端。如此多的终端再加上主数据服务器(共运行 4 个程序，分别是数据传输服务程序 Trans、数据传输状态监控程序 Status、数据服务器索引程序 Index 和客户数据服务程序 Gate)、二级库数据服务器和 MDS-Plus 数据服务器，实验过程中采集值班人员有时很难及时发现某台终端出现了故障，为此，在新的 HT-7 数据采集控制系统中增加了一个实时采集监控系统。该系统可以自动实时检测各个系统及各个终端的运行状态。

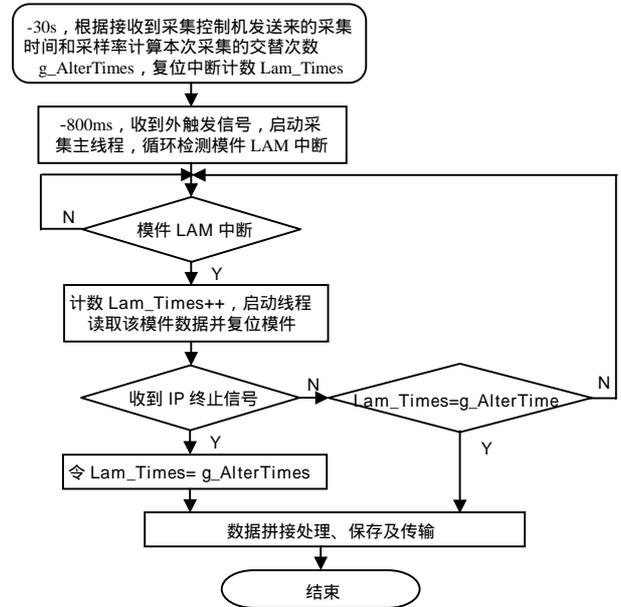


图 4 CAMAC 交替式采集系统处理 IP 终止信号的流程

放电前-30s，采集控制机收到各个子系统的反馈的状态是否 OK 信号后进行统计参与本次采集各子系统的通道数和总的通道数，然后将状态信号发送给总控，将通道数发送给主数据服务器和采集监控系统。采集监控系统同时收到的还有各数据服务器上各程序运行的状态信息。数据传输阶段，主数据服务器根据各信号头文件中的“ComputerID”将该采集系统当前传输的信号数量写入数据传输状态数据库的对应位置。采集监控系统从此数据库中读取信号总数，如果这个数目与-30s 时计算出来的该系统的通道总数相等，则说明该系统数据传输正常。如果某台终端出现故障，则在采集监控的图形界面上(如图 5 所示)，值班人员能够根据闪烁的状态指示灯及蜂鸣迅速定位出现故障的终端，及时采取措施，极大地提高了工作效率。



图 5 实时采集监控系统界面

(下转第 247 页)