

光束线站 EPICS 数据采集系统研究

刘 平 周永年 米清茹 张招红 胡 纯 吴盈锋 郑丽芳

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201204)

摘要 上海光源光束线控制系统采用标准软硬件平台开发完成。为实现 XBPM 测量及电离室等探测器要求的运动控制与信号采集的联动集成,本文用 Hytec 公司的 ADC/DAC 模块建立一套 VME/IOC 的 EPICS 数据采集系统。经光束线在线测试,该系统完全可应用在 XBPM 同步光位置诊断、单色器能量控制与探测器信号同步采集等相关用户实验中。

关键词 光束线, 数据采集, VME/IOC, EPICS

中图分类号 TP311.11

同步辐射光束线由前端区、光束线和实验站组成。从前端区引出的储存环同步光经光束线上的白光狭缝限束、单色器晶体衍射、压弯机构准直和聚焦及单色光狭缝限束后到达实验站,此时同步光的能量、光斑和光通量等性能指标满足用户实验要求。用户常用的实验方法是用某一能量范围的 X 光连续扫描实验样品,采集样品附近探测器信号^[1]。此法的实现涉及光束线单色器的控制与实验站探测器信号采集系统的同步与集成。

上海光源(SSRF)首批 7 条光束线控制硬件采用标准化的基于 VME 总线的 MAXv 控制器,软件在 EPICS 平台下开发完成^[2]。标准化软硬件系统不仅集成光束线上各底层设备的复杂运动机构,且为实验站的探测器信号采集系统提供接口,实现用户实验中控制单色器进行能量扫描的要求。各线站信号采集系统的开发前提为:不大量增加后续的系统维护工作^[3-5],不因接口、通信等问题降低整个系统的可靠性,方便用户实验。为此,我们研制一套统一标准的软硬件平台以实现运动控制和信号采集系统的集成。

本文从各光束线站的基本需求出发,针对目前普遍使用的电离室探测器、束流位置探测器的信号采集系统,应用英国 Hytec 公司的 ADC 和 DAC 模块^[6],研究在 EPICS 下的工作模式和数据采集原理。最后以 BL15U1 丝扫描探测器为对象测试在线诊断同步光位置,实现标准软硬件平台下的运动控制与信号采集系统。

1 软硬件

1.1 软硬件环境

主机为运行在 Linux 下的 PC 机,安装 EPICS Base V3.14.8.2 版本。

目标机 VME/IOC 由 VME 机箱(VersaModule Eurocard)、Emerson 公司的 MVME5500 处理器(运行 VxWorks5.5)和插有 Hy8401 ADC、Hy8402 DAC 模块的 Hy8002 载板组成。

1.2 模块工作参数配置

在 VME/IOC 的启动脚本 st.cmd 文件中对三个模块进行配置。

1.2.1 载板 Hy8002 配置

加载函数为 ipacEXTAddCarier(2 个参数)。参数 1 是载板类型指针;参数 2 是常数字符串,包含 3 个整形常量:1)载板的 VME 槽口号,2)载板的中断优先级,3)Hot Swap 功能的任务中断优先级。本文应用“IPAC3=ipacEXTAddCarier (&EXTHy8002, “3 3 10”)”。

1.2.2 ADC 模块配置

配置函数 Hy8401ipConfigure(.....),参数 12 个,参数及意义见表 1。

本文中配置为“Hy8401ipConfigure(60, IPAC3, 0, 4, 1, 0, 0, 15, 1, 10, 1, 1)”。参数 IPAC3 就是载板 Hy8002 加载函数的返回值。

表 1 Hy8401 配置函数参数表
Table 1 Configure parameters of Hy8401.

函数名 Functions	参数 Parameters	物理意义 Physical meaning	说明 Remarks
Hy8401ipConfigure(int cardNum, int vmeSlotnum, int ipSlotnum, int itrlevel, int itrState, int aiType, int clockSource, int clockRate, int inhibit, int smples, int spacing, int trigger)	cardNum vmeSlotnum ipSlotnum itrlevel itrState aiType clockSource clockRate inhibit samples spacing trigger	Card number in the INP field VME slot number of the carrier board IP slot number on the carrier board Level interrupts Enable/disable interrupt mode Analogue input signal type Clock source Clock rate of sample Enable/disable inhibit function Size of samples Step between samples External trigger signal of hardware	Return value of function ipacEXTAddCarrier, such as 'IPAC3' 1: A slot, 2: B slot, 3: C slot, 4: D slot Range of 0-7 1: enable interrupt, 0: disable interrupt 1: difference input, 0: single-ended input 1: external clock source, 0: internal clock source 0-15, 0: 1 Hz, 1: 2 Hz, 3: 5 Hz, ... 15: 100 kHz 1: enable inhibit, 0: disable inhibit 1: triggered by hardware, 0: continuous sample mode

1.2.3 DAC 模块配置

配置函数为 Hy8402ipConfigure(int cardnum, int vmeslotnum, int ipslotnum, int vectornum, int doram, int clocksoure, int clockrate, int inhibit), 8 个参数, 只有“doram”和“clockrate”与 ADC 模块不同。“doram”=0 表示使用内部寄存器直接 DAC 输出; “doram”=1 表示使用内部 RAM 暂存数据, 等触发信号有效才从 RAM 缓冲区取数供 DAC 输出。用该机制在 RAM 区以数组方式暂存若干数据, 再依次输出, 实现信号波形发生器功能。由于 DAC 输出刷新频率最大为 20 kHz, “clockrate”只能在 1-20 kHz 间共有 14 档选择。本文配置为“Hy8402ipConfigure(63, IPAC3, 3, 5, 0, 0, 4, 0)”。

掌握这三个函数的配置后, 就能根据需要组合出各种数据采集和控制方式。

1.3 ADC 信号隔离

出厂时 ADC 和 DAC 都是 VME 机箱±12 V 供电, 它们的“GND”和“AGND”连通, 即两模块上所有光电隔离芯片两端的地线连通。实际应用时, 为防止噪声干扰 ADC、DAC 精度和瞬时高压导致烧毁芯片, 在信号传输板 TB8202 上安装 8912 DC-DC 隔离模块。该模块接收 VME 机箱±12 V, 隔离降压输出 +5 V 给 ADC 和 DAC。隔离电源后, ADC 的 J₁ 和 J₂ 跳针及 DAC 的 J₂ 和 J₃ 跳针须作相应改动, 并去除“LNK1”跳线, 断开“GND”和“AGND”地线^[6]。

1.4 ADC 信号抑制

Hy8002 前面载板上有一标注“Inhibit”的 Lemo 接头, 用来接收外部信号, 抑制 ADC/DAC 转换功

能。该接头一端接地, 一端接上拉电阻, 当 Inhibit 信号为高电平时, 不抑制 ADC 模数转换, 反之接地变低电平时, 抑制 ADC 模数转换。用继电器的无源触点等多种方法可控制 Inhibit 信号。本文设计一个硬件电路来实现模数转换抑制功能(图 1)。用 DAC 输出~1 V 电压作用于三极管 9013 的基极, 控制该基极电压的有无来使三极管截止或导通, 从而切换 Inhibit 信号的高低电平。图 1 中虚线框内为印制板内部电路。需注意的是, 启用 Inhibit 抑制功能, 除提供硬件电路外, ADC 或 DAC 配置函数中必须设置相应参数。

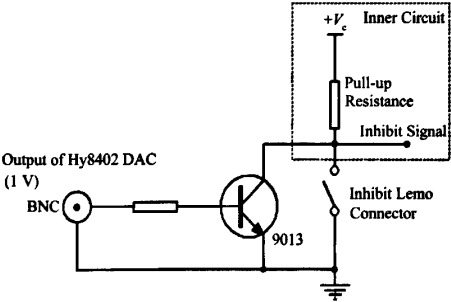


图 1 ADC 抑制电路
Fig.1 Circuit of ADC inhibit signal.

1.5 EPICS 与 ADC 间的数据传输

Hy8401 驱动程序支持 ADC 连续采样或中断(外触发)采样模式, 并支持以数组或单值格式从 ADC 读取数据。我们发现, 以数组格式读取数据时得注意两个问题。一是 EPICS 数组大小。Hy8401 分辨率是 16 bit, 共有 2 M bytes 的 SRAM 分配给 8 个通道, 每个通道的数据缓冲区有 128 K。这 128 K

分成高低两部分内存区，由于 ADC 没有块传输功能，驱动程序无法读取高 64 K 内存区数据，只支持读取低 64 K 的数据，因此当 EPICS 记录以数组格式读取采样值时，数组大小设置不能超过 65535。如果记录的“SCAN”域设置循环扫描时间，则此时间最好大于 0.65 s，大于 0.65 s 的最小选项为 1 s，所以最小扫描时间设为 1 s，时间越长越好，以保证在这个间隔时间内能从头到尾传输完整数组。二是中断方式的数据读取。当 Hy8401 以中断方式工作时，EPICS 记录最好以单值格式读取 ADC 值，如“Hy8401:ADC-01:AI”记录，如下：

```
record(ai, "Hy8401:ADC-01:AI")
{
    field(SCAN, "I/O Intr")
    field(LINR, "LINEAR")
    field(EGUF, "10")
    field(EGUL, "-10")
    field(DESC, "ADC Site A Ch 0")
    field(PREC, "6")
    field(EGU, "Volts")
    field(HOPR, "10")
    field(LOPR, "-10")
    field(DTYP, "Hy8401ip")
    field(INP, "#C60 S0 @MEAN")
    field(FLNK, "Hy8401:ADC-01:WF")
}
```

记录从 Hy8401 内存区读取数据的速度很慢，如果以数组方式读取，每次中断都要从头到尾传输整个数组，非常耗时，CPU 负载很大(几乎达 100%)，除非数组的长度很小或外部触发脉冲的频率非常低。以单值格式读取 ADC 值时，一个中断信号只传输 samples(ADC 配置函数中的第 10 个参数)个数值，每个 16 bit，驱动程序再取平均值，作为一次中断的采样结果。在 EPICS/IOC 数据库层开辟一个 compress 类型的数组空间，如“Hy8401:ADC-01:WF”记录，如下：

```
record(compress, "Hy8401:ADC-01:WF")
{
    field(DESC, "Array of the samples")
    field(RES, "0")
    field(PREC, "6")
    field(INP, "Hy8401:ADC-01:AI.VAL")
    field(ALG, "Circular Buffer")
    field(NSAM, "100000")
    field(EGU, "Voltage")
}
```

把每次读取到的ADC值依次存入该数组，能实现数组的存储功能，且数组的长度可以设置很大，完全不受65535的限制。

2 在线测试

丝扫描探测器是同步光位置测量(BPM)手段之一，它安装在光束线光路中，由步进电机带动其双丝做一维运动，同步光在双丝上产生两路电流，经 I/V 变换后，输入 Hytec ADC 进行模数变换。

2.1 测试目标

以 BL15U1 光束线的丝扫描位置探测器(WBPM4)及其电机为测试对象，用 HytecADC 数据采集系统采集丝扫描的探测信号，经计算分析后，在 OPI 人机界面上实时显示同步光位置曲线，实现同步光位置在线诊断。

2.2 测试原理与过程

硬件连接如图 2，左面是数据采集系统，右面是步进电机运动控制系统。EPICS 下运动控制参阅文献[7]。除 Inhibit 外的所有信号都从 VME 后传输板 TB8202 输入输出。为接线方便，从 TB8202 后面板经两根 SCSI 电缆分别转接到 16 通道和 8 通道的 BNC 终端接线板上。16 通道的接线板对应 Hy8402 模块的所有信号，8 通道的对应 Hy8401 模块的所有信号。电机驱动器的脉冲信号(5 V 方波)经额外添加的改装电路引出，作为 ADC 的触发信号，用于同步电机运动和 ADC 数据采集。ADC 中断模式，触发采样次数设为 10，10 次采样值取平均存入 EPICS 的数组中。由于采用驱动器脉冲触发方

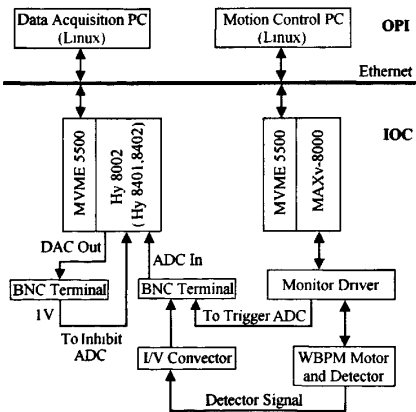


图 2 硬件体系结构
Fig.2 The hardware architecture.

式，在电机运动到设定的采样起点前，驱动器输出的脉冲会触发 ADC 采样，导致不需要的值被记录入数组，因此需要 Hy8402 提前输出 1 V 电压抑制 ADC 变换。运动到采样起点后，去除 1 V 电压，允许 ADC 触发采样。专门设计一个 Python 脚本程序自动完成测试过程，软件流程图如图 3。

2.3 测试结果

储存环流强 200 mA/3.5 GeV、单色器能量 14 keV 时，测量到的双丝扫描探测器信号如图 4(a)所示。探测器信号与同步光的位置成对应关系，用 Origin 软件作进一步数据处理，得到丝扫描探测器位置与信号强度的曲线关系(图 4b)。

3 总结

EPICS 平台下用 MAXv-8000 控制器与 HytecADC 实现运动控制与数据采集联动的系统在同步辐射光束线上有广泛应用。该系统用步进电机驱动器输出脉冲作为 ADC 采样的同步信号，要求电机在整个运动过程中不能丢步。对带有光学编码器的闭环运动控制系统，用编码器的脉冲信号作 ADC 同步触发，才能实现运动控制与数据采集的绝对同步。

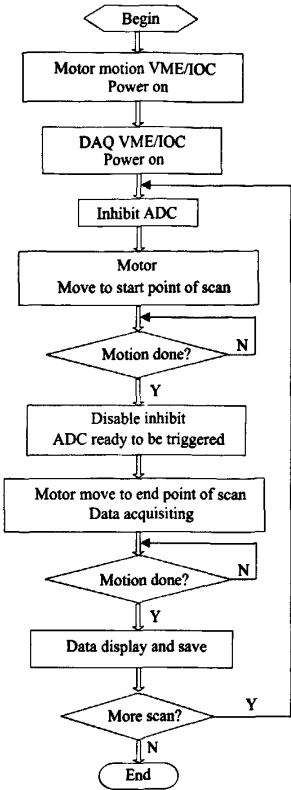


图 3 测试流程图
Fig.3 Flow chart of the test software.

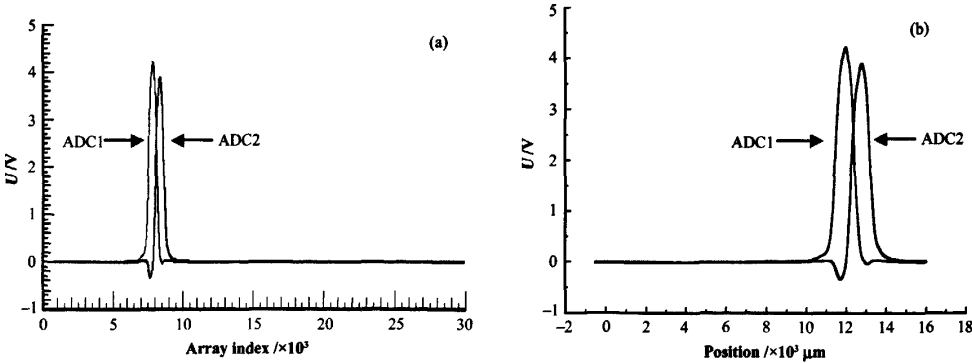


图 4 同步光位置测量结果(a)和同步光位置-探测器信号强度曲线(b)
Fig.4 Measured data of the beam position and beam position-signal intensity curves.

受 Hy8401ADC 的 100 kHz 采样频率限制，该系统无法满足如 QXAFS 实验站的高速采样要求^[5]。可采用更高采样率的 ADC 模块来实现 EPICS 平台下高精度、高速度的运动控制与数据采集系统。

致谢 感谢上海光源赵申杰、陈之初、闫芬、汪启胜等对本工作的帮助和支持。

参考文献

1 刘涛, 薛超, 谢亚宁, 等. 核技术, 2004, 27(12): 885-889
LIU Tao, XUE Chao, XIE Yaning, et al. Nucl Tech, 2004, 27(12): 885-889

2 Kraimer M R. EPICS: Input/Output Controller

Application Developer's Guide. Argonne National Laboratory, 2007

3 杨 嵩, 冷用斌, 阎映炳. 核技术, 2008, 31(6): 410-414

YANG Song, LENG Yongbin, YAN Yingbing. Nucl Tech, 2008, 31(6): 410-414

4 刘 佳, 王春红. 核电子学与探测技术, 2009, 29(1): 128-131

LIU Jia, WANG Chunhong. Nucl Electron Detect Technol, 2009, 29(1): 128-131

5 邹 杨, 顾颂琦, 姜 政, 等. 核技术, 2009, 32(4): 246-250

ZOU Yang, GU Songqi, JIANG Zheng, *et al.* Nucl Tech, 2009, 32(4): 246-250

6 MRN, ADC8401 8-channel 16-bit ADC Users Manual. Hytec Electronics Ltd, 2002

7 胡 勇, 郑丽芳, 李纪堂, 等. 核电子学与探测技术, 2007, 27(6): 1175-1178

HU Yong, ZHENG Lifang, LI Jitang, *et al.* Nucl Electron Detect Technol, 2007, 27(6): 1175-1178

The EPICS-based data acquisition system on beamlines at SSRF

LIU Ping ZHOU Yongnian MI Qingru ZHANG Zhaohong HU Chun WU Yingfeng ZHENG Lifang
(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201204, China)

Abstract The beamline control system at SSRF was fully implemented using standard hardware and software technology. Based on the VME/IOC and EPICS platform, a data acquisition system with the ADC/DAC modules from Hytec Ltd.Co., was developed to meet the requirements of some application research, such as X-ray beam position measurement, ion chamber measurement and user experiments. The online test showed that the system is applicable to various cases.

Key words Beamline, DAQ, VME/IOC, EPICS
CLC TP311.11