

基于 EPICS 的加速器联锁保护系统

郑丽芳 沈国保 陆承蒙 刘松强
(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 介绍一个在 EPICS 软件环境下实现的用于加速器的联锁保护系统。系统由 PowerPC CPU 和 VxWorks 实时操作系统组成的 VME 前端计算机 (IOC) 与高性能可编程逻辑控制器 PLC-5 共同组成。

关键词 控制系统, EPICS, PLC 联锁

中图分类号 TL54⁺4, TP277

随着微电子技术的迅速发展,集传统的继电器控制、计算机和通讯技术为一体的可编程逻辑控制器 (Programmable logic controller, PLC) 已普遍应用于工业控制领域。近年来,PLC 以其功能强、控制灵活、可靠性高和操作维护简单等特点,在大型实验物理装置控制系统中也得到了广泛应用^[1]。

EPICS (Experimental physics and industrial control system) 是在大型实验物理装置控制系统中被广泛使用的软件开发环境。本文所介绍的联锁保护系统是一个在 EPICS 框架下由 VME 前端计算机和 PLC 组成的分布式控制系统,它的任务是对加速器的开机、运行和关机进行联锁逻辑控制,并在加速器运行中监测设备的工作状态,及时发现设备的故障和异常状态,根据设定的控制算法,向有关设备输出保护控制信号和报警信号。由于被控设备的位置较为分散,因此系统不仅可提供直接的 I/O 功能,还可利用 DeviceNet 现场总线提供远程 I/O。

1 PLC-5 设备控制器

PLC-5^[2]是美国 Allen-Bradley (AB) 公司的高端 PLC 系列产品。该设备控制器 (Device controller, DC) 包含一本地节点和一远程 DeviceNet 节点。本地节点包括处理器 PLC-5/40、通讯模块 1771-DCM^[3]、数字 I/O 模块 1771-IB16 / 1771-OB16 及 DeviceNet 扫描器 1771-SDN。远程 DeviceNet 节点包含适配器 1794-ADN 和数字 I/O 模块 1794-IB16 / 1794-OB16。设备控制器的详细结构如图 1 所示。

设备控制器与 IOC 的通讯协议采用远程 I/O 网络协议,传输速率 115.2 kbit/s,传输距离可达 1500m。DeviceNet 的传输速率 125 kbit/s,传输距离可达 500m。

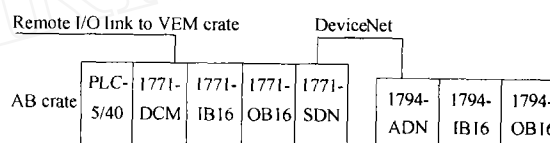


图 1 PLC 设备控制器结构框图

Fig.1 Schematic layout of PLC device controller

1.1 PLC-5/40 的控制逻辑

PLC 的作用是控制开关量,如开关、阀门等的输入/输出。处理器内部有一专门内存表,映射本地 I/O 模块。PLC-5/40 的输入/输出内存映射表各为 128 字。

PLC-5/40 的逻辑控制周期包括内部管理和逻辑扫描两阶段。内部管理阶段完成内部寄存器状态检查和自动扫描本地 I/O 模块,即根据输入模块的状态刷新输入内存映射表;将输出内存映射表的数据发送到相应的输出模块。逻辑扫描阶段执行由梯形图 (Ladder logic) 和/或流程图 (Sequential flow chart, SFC) 语言编写的应用程序,实现系统联锁保护功能。

PLC-5 系列支持读/写块传送指令,用于实现对块传送模块 1771-DCM 和 1771-SDN 的数据操作,每个块传送指令读/写 64 个字。

块传送数据的第一个字为 1771-DCM 或 1771-SDN 的状态量,因此块传送的有效数据为 63 个字。

由于块传送指令非同步于 PLC-5/40 的逻辑控制周期,如果程序中有多个块传送指令,在执行本次块传送指令前必须确保上次块传送已完全结束。

第一作者:郑丽芳,女,1966年出生,1991年于中国科学院上海原子核研究所获硕士学位,现为该所在职博士生
收稿日期:2003-03-20,修回日期:2003-06-24

1.2 PLC-5 底层软件

AB 公司提供了开发 PLC-5 底层应用的软件包, 包括系统配置、编程以及调试。

采用 RSLogix5 实现本地节点配置, 指定 PLC-5 系统的硬件组成和地理位置, 并分配内存。远程节点配置采用 RSNetWorx。

底层软件开发在 RSLogix 5 开发环境下采用梯形图语言完成。主要功能包括接受 IOC 的命令请求; 读取 DeviceNet 节点的数据; 将输入模块的信号经处理后发送到输出模块, 完成设备保护; 将本地和 DeviceNet 节点上的 I/O 数据发送给 IOC 等。

1.3 响应速度

PLC-5 设备控制器的本地节点和 DeviceNet 节点分别有 16 个数字 I/O 通道。与 IOC 通讯及 DeviceNet 的传输距离在 30m 之内。PLC-5/40 运行时, 从它的内部状态寄存器可以测出, 设备控制器完成 1 个联锁保护动作 (包括自动扫描本地 I/O 模块、执行控制算法、向外部设备输出联锁保护信号等) 的时间约为 10ms。

2 系统结构

将 PLC-5 设备控制器集成到 EPICS 框架下的系统硬件结构见图 2。采用 EPICS 的三层标准结构: SUN/Solaris 工作站作为 OPI, 提供人机交互界面, 监测设备工作状态, 存档、分析和报警处理; MVME2302 作为 IOC, 运行分布式数据库, 接受 OPI 层的命令, 并接收从 PLC-5 设备控制器发送的数据; PLC-5 设备控制器通过 1771-DCM 与 VME 机箱内的 Remote I/O 扫描器 6008-SV2R^[4] 交换命令和数据。

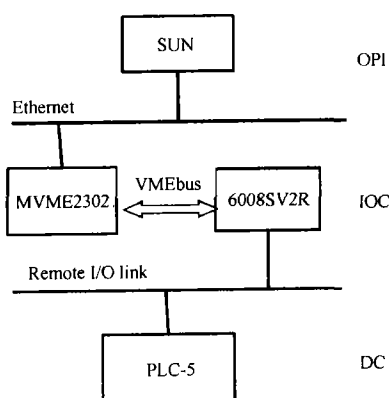


图2 系统硬件结构

Fig.2 System hardware architecture

与图 2 对应的 EPICS 软件包括 OPI 层和 IOC 层两部分, 如图 3 所示。OPI 层的人机交互界面和报警处理分别由软件工具 MEDM 和报警处理器 ALH 完成; IOC 层软件包括动态数据库、记录支持模块、设备支持模块和驱动程序。其中基于 VME 总线的 6008-SV2R 扫描器在 VxWorks 下的驱动程序是整个软件系统开发的核心。

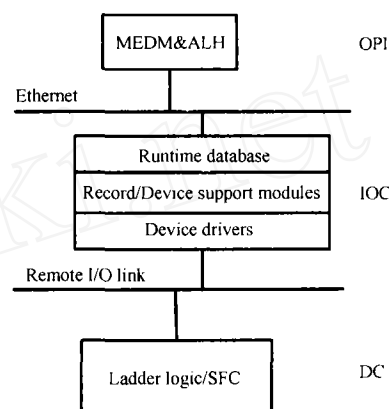


图3 系统软件结构

Fig.3 System software architecture

3 软件设计和调试

3.1 6008-SV2R 扫描器驱动程序

驱动程序的任务是实现 MVME2302 与扫描器之间的数据通讯, 为 1771-DCM 和各种 I/O 设备支持模块 (如 bi/bo/mbbi/mbbo device support modules) 提供软件接口。

6008-SV2R 扫描器遵从 VME 总线标准, 它提供一专用共享资源供 VME 机箱内的其它主 CPU 访问。共享资源包括 I/O 映射区、邮件中断区、通用数据区和中断标识区。

MVME2302 与扫描器之间的通讯采用异步中断方式。当 MVME2302 向扫描器发送命令请求时, 设置扫描器中断标识区寄存器, 产生中断。对 MVME2302 的每次命令请求, 扫描器产生两次邮件中断。第一次表示已接收到命令。待命令执行完毕, 再次向 MVME2302 产生邮件中断, 通知它获取数据。

在 MVME2302 向扫描器发送命令请求或从扫描器接收数据前, 首先利用 TAS (Test-and-set) 操作测试并设置扫描器邮件中断区的信号灯, 获取对共享资源的拥有权。然后将命令写到邮件中断区的命令寄存器, 待命令执行完成后清除信号灯。

由美国阿贡实验室 (ANL/APS) 提供的基于 68K 系列的 VxWorks 驱动程序中, 涉及到的 TAS 操作

需要用到 VME 总线的 RMW (Read-modify-write) 原子周期, Wind River 只为 68K BSP 提供了该功能, 但却不支持本系统所用的 MVME2302/PowerPC BSP。我们使用软件方法, 利用 MVME2302 上的 universeII 芯片的专用周期发生器在 VME 总线上产生 RMW 原子周期。基于 RMW 周期的 sysBusTas () 例程执行 TAS 操作时, 先锁住中断, 再产生 RMW 周期, 测试并设置扫描器信号灯, 最后取消 RMW 周期并释放中断。

应用开发的 EPICS/base R3.13.3 针对 PowerPC BSP 存在一些 bugs, 在进行软件移植时对有关的核心软件都作了相应修改。

3.2 记录 abDcm

EPICS 标准软件环境中, 没有现成的支持该特定应用的记录类型。针对本系统的特殊性, ANL/APS 设计了一个专门的记录类型 abDcm^[5], 用于实现 MVME2302 与 PLC-5 设备控制器的数据通讯。其典型应用例子如图 4 所示。

```
record (abDcm, "DCMmess"){
  field (SCAN, "1 second")
  field (NT, "2")
  field (TOFF, "1")
  field (LINK, "0")
  field (RACK, "0")
  field (SLOT, "0")}
```

图 4 abDcm 记录实例

Fig.4 Example of abDcm record

在 abDcm 记录实例中, SCAN 域定义该记录每隔 1s 被扫描处理一次, NT 域定义记录每次读 2 个数据包 (最多可达 10), TOFF 等于 1 表示数据包的第 1 个字为标识位, LINK、RACK、SLOT 三个域用来指定 1771-DCM 在 AB 机箱的地址。

abDcm 记录既可以接收从 1771-DCM 发送来的数据包, 也可以向 1771-DCM 发送命令。abDcm 记录可以用周期性扫描处理或被动处理。处理完毕, 发出软 I/O 中断请求。

从 1771-DCM 接收到的消息包中每个字甚至每个 bit 包含的实际含义必须由具体的记录来解析。图 5 定义了基于图 4 的 abDcm 记录类型的 bi 记录实例, 扫描方式采用 I/O 中断; INP 域指向 abDcm 记录实例名, T0[2, 0]定义该 bi 对应 abDcm 记录实例中第 1 个消息的第 2 个字的 bit0。

```
record (bi, "R00:state0"){
  field (SCAN, "I/O Intr")
  field (DTYP, "Ab Dcm")
  field (INP, "@DCMmess.T0[2, 0])}
```

图 5 基于 abDcm 记录的 bi 记录实例

Fig.5 Example of bi record based on abDcm

3.3 时间延迟

前面已给出 PLC-5 设备控制器的一个逻辑控制周期(完成一个联锁保护动作)为 10ms 量级。但是当 MVME2302 按 1s 的周期处理记录实例 abDcm, 读取 1771-DCM 数据时, 由 MEDM 完成的上层监控界面刷新时间出现 2—4s 的延迟, 主要归结为以下三个原因:

(1) 从 MVME2302 发送的命令请求异步于扫描器查询方式的 I/O 刷新, 这样有时 MVME2302 接收到的数据就不能反映输入模块的最新状态。

(2) 在 PLC-5/40 的 Ladder logic 程序中使用一个累加计数器, 用以记录 PLC-5/40 是否在每个逻辑扫描阶段都执行了块传送指令以及 MVME2302 是否接收到所有的块传送数据。每次测试时都发现第三个数据包丢失, 越往后丢失的数据包越多。该结果表明 PLC-5/40 向 1771-DCM 写数据的速度快于扫描器从 1771-DCM 读数据的速度, 并且可以确定工作在保护模式下的 1771-DCM 同时能保存两个块传送数据。只有当扫描器从 1771-DCM 读取数据, 腾出内存空间后, PLC-5/40 才能再次向 1771-DCM 写数据。

以上两点可以解释 2s 的时间延迟。

(3) 调试驱动程序时发现, MVME2302 向扫描器发送的命令请求有时会遇到失败, 增加了延迟时间。出现这问题的原因是因为扫描器的两块版本为 F 的 PROMS 软件在处理邮件中断时存在 bugs, 后改用版本 A 的 PROMS 软件, 解决了上述问题^[6]。

综上所述, MVME2302 与扫描器的异步工作方式及 1771-DCM 的保护工作模式决定了上层监控固有的时间延迟。但是这个时间延迟只是影响上层人机交互界面显示的刷新速度, 而联锁保护动作本身在 PLC 中即已完成。尽管可以通过缩短处理记录的时间周期来减小这种延迟, 然而却受到 MVME2302 的最小时间单位 1tick (16ms) 的限制。

4 结束语

在 EPICS 环境下采用 PLC 来实现机器联锁保护系统, 是大型加速器系统的一个普遍适用的方法。

作为一个应用实例, 本项研究工作将应用在一台 100MeV 直线电子加速器的全局机器保护系统中。在这个系统中, 由于大量保护工作已在电子枪和微波系统等设备级上完成, 因此使用 PLC-5 的全局联锁保护系统的任务相对简单。

PLC-5 的主要任务是采集系统中各个真空计的真空报警信号, 在真空报警情况下, 关闭离子泵电源和真空阀门, 保护设备。真空报警信号是通过真空计的继电器常开触点输出到 PLC-5 数字输入端的, 闭态为正常, 开态为报警。由于只需使用本地的一个节点, 这个系统的联锁保护响应速度可达到 10ms。

参考文献

- 1 Stein J. Nuclear Instruments & Methods in Physics

- Research, 1994, **A253**: 210—212
- 2 Allen-Bradley Company. Enhanced and Ethernet PLC -5 Programmable Controllers (Cat. Nos. 1785 -L11B, -L20B et. al) User Manual.
- 3 Allen-Bradley Company. Direct Communication Module (Cat.No.1771 -DCM) User Manual.
- 4 Allen-Bradley Company. VMEbus Remote I/O Scanner (Cat. No. 6008-SV1R, 6008-SV2R) User Manual.
- 5 Kraimer M R. EPICS: Allen Bradley Driver and Device Support Release 1—6
<http://www.aps.anl.gov/asd/people/mrk/epics/modules/bus/allenBradley/R1—6/allenBradley.html>
- 6 Kraimer M R. Private communication

An EPICS-based accelerator interlock and protection system

ZHENG Lifang SHEN Guobao LU Chengmeng LIU Songqiang

(Shanghai Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract This paper describes a machine interlock and protection system used for accelerators. The system is composed of a VME front-end computer and an Allen-Bradley programmable logic controller PLC-5. The software is developed in the EPICS (Experimental physics and industrial control system) environment.

Key words Control system, EPICS, PLC Interlock

CLC TL54⁺4, TP277