

TMSR 核能加速器调制器远程控制系统*

朱海君,周孝轩,吴勇华

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要:介绍了调制器系统的工作特性。调制器的本地控制采用 PLC 完成,远程控制采用 EPICS 完成。描述了 EPICS 的系统架构,并对其硬件和软件设计中的关键技术进行了阐述。系统具有人机交互性好、操作使用简便等优点。通过实际运行发现,系统工作稳定,达到了设计要求。

关键词:实验物理及工业控制系统;调制器;输入输出控制器;远程控制

中图分类号: TP273.5 文献标识码: A DOI 编码: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2019.03.001

Remote control system of modulator in nuclear energy accelerator of TMSR

ZHU Haijun, ZHOU Xiaoxuan, WU Yonghua

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: The peculiarities of the modulator system were introduced. The local control system of modulator based on PLC and the remote control system based on EPICS were presented. The system architecture and the key technologies in the design of hardware and software are expatiated. The system has advantages such as friendly interface, simple operation. The system can run correctly by practical work.

Key words: EPICS; modulator; input output controller; remote control

0 引言

在 TMSR 核能加速器装置中,微波功率源由脉冲调制器和微波系统组成。微波系统主要由微波激励源、速调管和波导组成。速调管完成由调制器提供的脉冲功率倍频,从而实现超高频的脉冲输出。为了得到足够高的加速电场,微波功率源的工作状态为脉冲方式。除振荡频率由速调管决定外,重复周期和脉冲宽度均由调制器控制和调节。为使微波功率源能连续、稳定可靠地提供加速电子所需的功率,调制器既要确保高压脉冲参数指标,又应具有波形指标优异、运行维护的安全性以及连续运行的高稳定性等技术指标。TMSR 核能加速器的性能与调制器的稳定运行直接关联。根据 TMSR 核能加速器的总体设计,调制器的输出脉冲重复频率为 266 Hz。对调制器的远程监控,是对内部硬件上的监控电路和调制器的 PLC 控制器相互协调工作来共同对调制器系统进行完成。为使调制器操作简便、运行稳定、安全可靠并且能够按照 TMSR 核能加速器装置的总体要求及时调整调制器的工作运行模式,设计并实现了基于 EPICS 的调制器远程控制系统。

1 设计要求

在调制器运行时,远程控制系统必须起到如下作用:实时掌握调制器的运行状况,并通过设备控制器 PLC(Programmable Logic Controller,可编程逻辑控制器)的逻辑分析,通过硬件上的控制电路对调制器进行相应的调整,以保证调制器系统处于正常、安全的状态,并以此为基础,保证调制器的运行状态满足物理人员的调束要求以及核能加速器系统的实验要求。调制器的 PLC 控制器接收其它设备当前的状态信号,并发送调制器本身的工作状态信号,通过相互制约来构成设备级联锁保护。

将调制器的状态信息实时反馈给物理调束人员,并提供良好的人机交互控制界面;接收操作人员的控制指令,调整调制器的工作参数,使其达到实验要求。监控调制器状态,为物理调束人员确保提供可靠、连续运行的工作环境,维护人身和设备的安全性。

2 系统组成及结构

TMSR 核能加速器装置选用 EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System,实验物理及工业控制系统)作为控制系统软件设计平台。根据调制器系统的需求特点,选取以西门子 S7-300 PLC 为核心的基于硬件的技术路线,调制器系统的联锁逻辑由 PLC 处理完成,以满足调制器系统的高可靠性要求。

EPICS 的系统结构共为 3 层,即操作员接口层

收稿日期: 2019-01-03

* 基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项资助项目 (XDA02001031)

作者简介: 朱海君(1967-)男,江苏扬州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为加速器控制技术。

(Operator Interface ,OPI)、输入输出控制层(Input/ Output Controller ,IOC) 和设备控制层(Device Controller ,DC)

调制器控制系统中,基于 TCP/IP 协议 ,OPI 和 IOC 间以及 IOC 和 DC 间均通过 Ethernet 进行通讯连接和数据传输。调制器控制系统结构示于图 1。

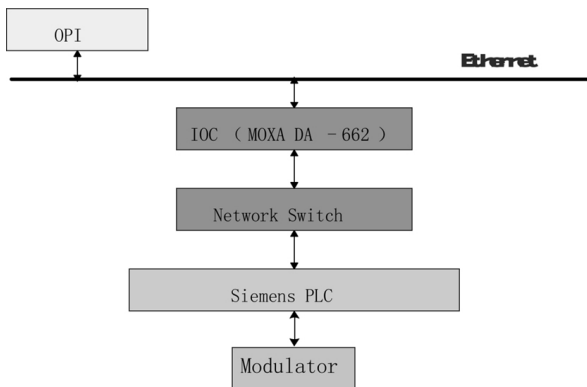


图 1 调制器控制系统结构

3 软件设计

EPICS 软件包由 IOC 软件和 OPI 客户端软件组成。IOC 软件中主要运行 EPICS Base 内核,包括文件系统和工具、公共操作系统接口库、通道访问客户和服务器共享库、静态和实时数据库访问机制、数据库处理代码、标准的记录、设备驱动支持程序。IOC 同时运行 EPICS 实时数据库,实现对底层设备的过程控制。OPI 客户端软件由一系列软件工具组成。用户可选择所需的软件工具进行安装,例如,通道访问客户端工具 Channel Archiver(数据文档存储)、Operator Interface(用户界面编辑/运行工具)、Alarm Manager (报警管理工具) 等,是用户应用程序,提供人机界面对系统进行监测和控制。

3.1 IOC 动态数据库

控制系统的 I/O 量是频繁变动的数据,为了响应来自 OPI 的命令和来自设备控制器的各种数据及状态变化,EPICS 采用动态数据库来记录 I/O 数据。

IOC 数据库以记录的形式存放在内存中。每个数据库记录对应于一个 I/O 通道,EPICS 系统中所有过程控制功能基本上是通过动态数据库实现的。数据库有 50 余种记录类型,如模拟量的输入输出、数字量的输入输出、建立历史曲线、储存波形、步进电机和操作记录实现 PID 循环、驱动定时硬件等等。

EPICS 数据库的基本元素是通道(Channel),它是对数据库的记录属性访问的路径。除了名字,记录有值和其它(如最大值/最小值等)属性。记录的名字和属性是 CA 连接客户和服务器的唯一途径。记录的格式为 <RecordName>.<FieldName>,其中 <RecordName>为记录名字,<FieldName>为记录属性。每个记录的值可以来自硬件设备输出、操作员设置或者其它记录的输出。数据库中每个记录的 I/O 操作是通

过 iocCore 中的扫描器(scanner) 对数据库的扫描来实现完成。每个记录的扫描方式决定何时处理该记录。数据库的记录有三种扫描方式: 周期扫描、事件触发扫描和被动扫描。数据库分布式存放于现场运行的 IOC 中,IOC 提供数据库系统管理与访问的工具,并提供上百种 VME、PLC、GPIB、现场总线设备的 I/O 驱动程序。

3.2 通道访问原理

在 EPICS 系统中,过程变量(Process variable, PV) 是控制的基本单元。当 PV 通过通道访问协议 CA 与 OPI 客户端建立起连接时,就建立了一个通道(Channel)。

CA 是 EPICS 系统基于 Client/Server 模型,建立在 TCP/IP 协议之上的应用层协议。CA 是连接 OPI 与 IOC 的一条软件总线,EPICS 中的各个组件通过这一总线交换数据。OPI 应用程序(包括 IOC 中的部分线程)通过 CA 客户接口发送请求,IOC 通过 CA 服务器响应 OPI 的请求。通道访问协议使得 CA 客户程序在不知道设备、通道的位置和 I/O 类型的情况下,根据通道名称完全透明地访问系统 IOC 中的每条通道。

CA 提供的服务包括动态通道定位、数据读写、访问监控、连接监控和自动重接等。

3.3 EPICS 的软件组成

EPICS 采用分层式的结构,其中 IOC 层可细分为 7 层,OPI 层可细分为 2 层,如图 2 所示。访问数据库记录无需知道具体的记录类型,记录支持模块提供了对记录类型的解释,同样记录支持模块也不需知道具体的设备类型,因每种记录类型均有很多种独立的设备支持模块,设备支持与驱动模块建立了 I/O 设备与 IOC 的连接。EPICS 的应用实现均围绕 IOC 数据库而展开,通道访问和分布式动态数据库(Distributed Runtime Database) 是 EPICS 系统中的两个基本机制。

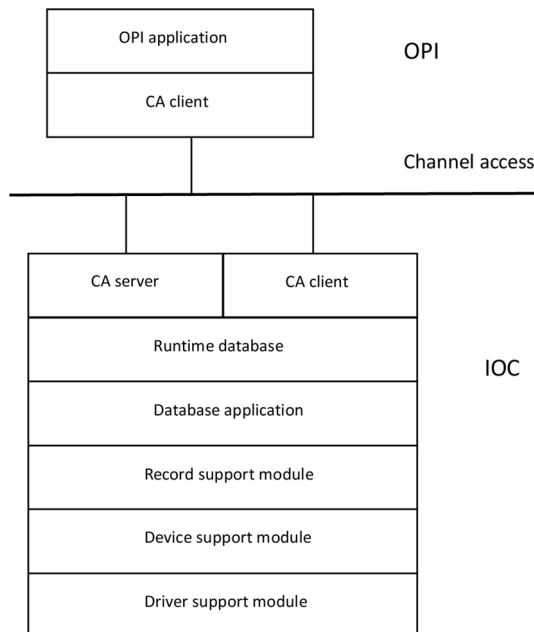


图 2 EPICS 软件结构

4 调制器远控系统 IOC 设计

基于调制器设备的特点,系统采用 MOXA DA662 作为 IOC 控制器,运行嵌入式 Linux 操作系统,采用 EPICS 3.14.11 作为基础内核。s7plc 作为设备支持与驱动程序,根据 PLC 系统配置的接收与输出缓冲区的定义,开发 EPICS 实时运行数据库。

4.1 IOC 控制器

MOXA DA-662 是基于 RISC 架构的即开即用型嵌入式系统的工控机。该控制器固化了 Linux 系统内核。IOC 控制器拥有 4 路 Ethernet 接口,使用第 1 路与 CA 控制网络相连;使用第 2 路网络接口与工业交换机相连,PLC 也直连于工业交换机,从而构成 IOC 与 PLC 的专用网络。隔离了设备网络与 CA 控制网络,减轻了主干负荷。另外,PLC 与 IOC 之间的快传输通过内存映射的办法,要求在网络没有任何干扰情况下运行,否则会因网络阻塞造成连接中断致使 IOC 退出,从而影响控制系统的稳定性。专用设备网络的作用相当于 IOC 与 PLC 直接互联,网络响应时间充分保证,最大程度避免了因网络而造成系统异常。

4.2 EPICS 设备支持与驱动

s7Driver 是带有 Ethernet 模块的西门子 s7 PLC 基于 TCP/IP 协议与 IOC 进行通讯的 EPICS 设备支持驱动程序。IOC 与 PLC 通过块传输的方式交换数据,并且仅支持基于块的数据传输。程序在 IOC 端与 PLC 端定义了数据发送与接收块,发送端的数据块长度与接收端的数据块长度必须相同。双方定时地将数据发送给对方,同时当发送块中的数据发生任何变化时,立刻激发数据块的传送,这样相当于在 IOC 与 PLC 之间建立了内存映射,保持双方的数据同步。根据内存的位置偏移(offset)得到控制量的值。

在 IOC 端,需要在 IOC 启动脚本中对 s7plc 的网络连接进行配置(configure)。配置的内容包括:PLC 命名(PlcName)、网络模块 IP 地址(IPaddress)、TCP 端口号(TCPport)、发送接收数据块大小(PlcToLocSize, IocToPlcSize)、字节顺序(bigEndian or littleEndian)、PLC 应答的超时设置(PlcSendTimeout)、IOC 数据发送的周期(IocSendPeriod)等:

```
s7plcConfigure("PlcName","Ipaddress",TCP-
port,PlcToLocSize,IocToPlcSize,bigEndian,
PlcSendTimeout,IocSendPeriod)
```

数据库 INP/OUT 域表达的形式为:"@PlcName/offset T=type L=low H=high B=bit"。

其中 T 为数据类型(WORD, BYTE); L 和 H 为进行模拟量进行数据转换的范围; B 为取第几位二进制数值。

5 调制器远控系统 OPI 设计

操作员界面 OPI 采用软件工具 EDM(Extensible

Display Manager)设计与实现。EDM 具有图形化控件的界面编辑功能,直接将控件与控制变量关联,同时内置了通道访问功能以访问 IOC 中的过程变量,可直接启动进入运行模式。

在调制器远控系统中,OPI 作为操作员人机界面,置于 TMSR 核能加速器中央控制室,使用基于 Linux 操作系统的 PC 机(PC/Linux)。

OPI 控制界面总共设置了 32 个监控状态量、6 个控制量(包括启动运行、允许输出、允许充电、高压开/关、复位、紧急停机等)、7 个模拟显示反馈值(充电电压、充电电流、触发频率、充电剩余时间等)和 2 个模拟设置值(充电电压、充电电流等)。

图 3 为基于 EDM 实现的调制器控制界面。

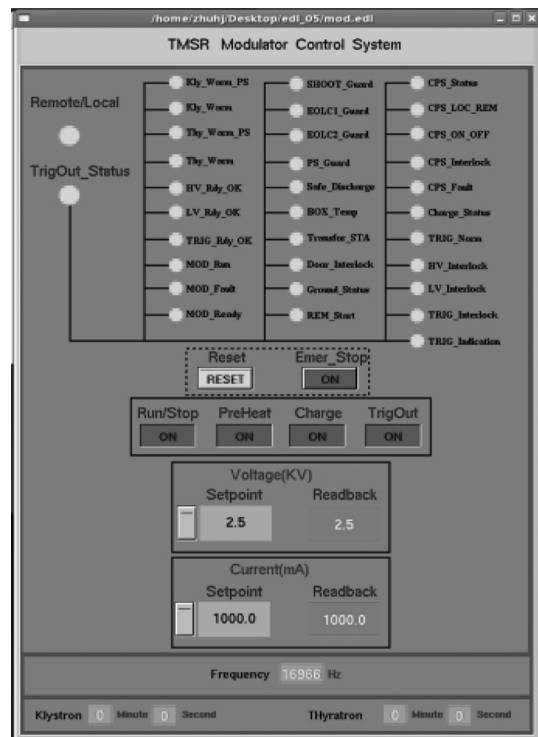


图 3 调制器系统的控制界面

调制器系统的启动、运行和关机由 OPI 进行全程监控。首先,钥匙开关开启总电源和 PLC 的电源开关,使 PLC 进入监控程序运行。调制器的启动可由面板开关设置为自动、手动和远控 3 种方式。选择远控方式时,PLC 自动读取上级控制器(微波本地站)的指令,启动调制器。操作人员在中央控制室点击 OPI 控制界面上的按钮控件,顺序进入“低压准备”、“充电准备”和“输出准备”3 个阶段,然后输入充电电压、充电电流的数值,预热成功后,即可使调制器开始稳定工作。

6 结语

根据调制器的工作特性以及 TMSR 核能加速器的物理设计和运行总体要求,利用西门子 S7-300 PLC,完成了调制器系统的本地控制;基于 EPICS 的应

(下转第 7 页)

间温湿度数据监测的可靠性,提高无线通信网络的抗干扰性,本文提出了一种改进后的跳频决策算法,让网络内所有节点都能参与跳频决策,根据所有节点判决情况形成网络总体跳频决策。实验结果表明,采用改进后的跳频决策算法,减少了无线传感网络的跳频动作,降低了误跳频率,提高了网络的健壮性。

参考文献

- [1] 陈扬.烟草仓库环境无线监测系统设计[D].武汉理工大学,2010.
- [2] 冯珂.数据采集系统在卷烟生产中的应用研究[J].计算机光盘软件与应用,2014,17(02):132-133.
- [3] Liu L, Luo G, Qin K, et al. An algorithm based on logistic regression with data fusion in wireless sensor networks [J]. Eurasip Journal on Wireless Communications & Networking, 2017, 2017(1): 10.
- [4] 史文进.基于RSSI无线传感网络室内定位算法研究[D].重庆理工大学,2018.
- [5] Abbasi A A, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks [C]. // International Conference on Network-Based Information Systems. IEEE, 2010: 2826-2841.
- [6] 张京, 杨启良, 戈振扬, 等. 温室环境参数无线传感器网

络监测系统构建与CC2530传输特性分析[J].农业工程学报,2013,29(07):139-147.

- [7] 熊迎军, 沈明霞, 陆明洲, 等. 温室无线传感器网络系统实时数据融合算法[J].农业工程学报,2012,28(23):160-166.
- [8] 陈克涛, 张海辉, 张永猛, 等. 基于CC2530的无线传感器网络网关节点的设计[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(05):183-188.
- [9] 李学明, 吴海燕, 杨浩敏, 等. 基于物联网技术的仓库监控系统的设计与实现[J].数字通信,2013,40(02):19-23.
- [10] 黄波, 梅浩松. 基于ZigBee的烟草库监测系统的设计[J].微计算机应用,2011,32(10):48-52.
- [11] 于江, 王春岭, 沈刘平, 等. 扩频通信技术原理及其应用[J].中国无线电,2010,(03):44-47.
- [12] Ning B, Zhong D, Guan L, et al. Low-cost message-driven frequency-hopping scheme based on slow frequency-hopping [J]. Iet Communications, 2018, 12(4): 485-490.
- [13] 孙夙. 基于CC1110的无线传感器网络跳频算法研究[D].北京邮电大学,2014.
- [14] 齐扬阳, 于森. 基于EM的单通道盲源分离跳频通信抗干扰方法[J].计算机科学,2016,43(01):149-153.
- [15] 王军强. 基于SimpliciTI的无线传感器网络关键技术研究[D].重庆大学,2009.

(上接第3页)

用开发,实现了调制器系统的远程监控。采用基于计算机网络的分布式控制,系统结构简单灵活,便于扩展,各部分相对独立运行,且具有通讯连接自动恢复的容错能力。运行结果证明,该系统达到了TMSR核能加速器装置对控制系统长期稳定和可靠运行的要求,也为整个装置的顺利调束发挥了一定的作用。

参考文献

- [1] HAN Lifeng, CHEN Yongzhong, CAI Jun, et al. The application of EPICS in TMSR radiation protection and access control system [J]. Nuclear Science and Techniques, 2016, 27(2): 58-63.
- [2] Kraimer M R. EPICS input/output controller (IOC) application developer's guide [EB/OL]. 2013-9-17. <http://www.aps.anl.gov/epics/base/R3-14/12-docs/AppDevGuide/>.
- [3] ZHANG J, ZHOU Q, ZHUO J. Local control system of the elliptically polarized undulator at SSRF [J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2010, 20(3): 332-335.
- [4] 朱海君, 丁建国, 郑丽芳, 等. SDUV-FEL 调制器远程控制系统[J].原子能科学技术,2012,46(12):1508-1511.
- [5] 阎映炳, 冷用斌, 杨嵩. EPICS 在线数据分析软件包研制及应用[J].核技术,2008,31(3):170-173.
- [6] 王淑娴, 彭东林, 吴治峰, 等. 伺服电机位置检测技术综述[J].仪器仪表学报,2018,39(8):143-153.

- [7] 祁斌川. SDUV-FEL 实验装置真空联锁保护系统[D].北京:中国科学院研究生院,2012.
- [8] 于春蕾, 赵欢, 丁建国, 等. 上海软 X 射线自由电子激光装置联锁保护系统[J].原子能科学技术,2018,52(4):756-761.
- [9] 郭玉辉, 詹帅, 王永鹏, 等. 注入器 II 离子源控制系统设计[J].原子能科学技术,2017,51(8):1527-1531.
- [10] 许婕, 董方正, 田培红, 等. 实验物理与工业控制系统平台在 HL-2A 主机测控系统中的应用[J].核聚变与等离子体物理,2018,38(1):87-92.
- [11] 朱海君, 刘亚娟, 袁启兵. 上海光源调制器远控系统的设计与实现[J].核电子学与探测技术,2012,32(6):690-692.
- [12] 刘强, 卓洁, 郎自强, 等. 数据驱动的工业过程运行监控与自优化研究展望[J].自动化学报,2018,44(11):1944-1956.
- [13] 蒋舫扬, 姜伯承, 方文定, 等. 一个基于 EPICS 框架的 EPU 前端反馈系统[J].核技术,2012,35(8):568-572.
- [14] 雷碧峰, 王春红, 刘正同, 等. 基于 MicroTCA 的 EPICS 控制系统研究[J].原子能科学技术,2014,48(3):555-558.
- [15] 姜子运, 郭玉辉, 刘海涛, 等. 加速器驱动次临界系统注入器离子源控制系统[J].强激光与粒子束,2014,26(5):276-279.