

基于 EPICS 的 SAPT 注入引出远控系统*

朱海君¹ 董金¹ 何子锋² 欧阳联华¹

(1.中国科学院上海高等研究院,上海 201210;

2.中国科学院上海应用物理研究所,上海 201800)

摘要:介绍了基于 EPICS 的质子加速器主环注入引出的远程控制系统的设计。硬件部分描述了系统的硬件配置和工作原理;软件部分分析了 s7nodave 驱动程序和 IOC 的设计过程。系统具有研制成本低且扩展性好的特点,并具有软件功能强、操作使用简便等优点。该系统目前已在主环束流调试过程中正常使用,满足了系统对注入引出的各种控制要求。

关键词:实验物理及工业控制系统;质子治疗;注入引出;远程控制

中图分类号: TP271 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10.14016/j.cnki.1001-9227.2019.06.001

Remote control of injection & extration based on EPICS in SAPT

ZHU Haijun¹, TONG Jin¹, HE Zifeng², OUYANG Lianhua¹

(1.Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;

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

Abstract: Design of remote control system in accelerator main ring's injection & extration in SAPT based on EPICS is introduced. The system hardware configuration and working principle are described, software design of control system of s7nodave driver and Input Output Controller are also expatiated in this paper. The system is improved with its expansibility and the lower cost of development. The system is easy to operate and its software function is perfect. This control system has been tested and verified by accelerator main ring's commissioning. The requirements of injection & extration are fulfilled.

Key words: EPICS; proton therapy; injection & extration; remote control

0 引言

质子治疗技术具有质子束能量大、穿透力强、对正常组织损伤小、精准治疗等优点,近年来已成为世界各国优先发展的肿瘤治疗新技术,目前国外已有多台质子治疗装置开放使用。上海质子治疗示范装置作为中国科学院上海应用物理研究所自主研发的首台国产质子医用加速器,由注入器、低能输运线、同步加速器储存环、高能输运线以及两个固定治疗室和一个旋转治疗室组成。注入器产生的质子束经由低能输运线进入同步加速器升能引出到高能输运线再由束配系统分配给不同的治疗室使用。

在 SAPT 项目中,注入引出系统包括加速器主环注入系统、主环引出系统两个部分。质子加速器主环注入引出远控系统的目的是对各脉冲磁铁电源系统进行监测和控制,完成 Bumper 电源和 Septum 电源的

内部外部的联锁控制以实现设备保护和人身安全保护,同时将注入引出系统脉冲磁铁电源的工作状态通过以太网实时发送到 SAPT 中央控制室。系统根据中控室工作人员操作电脑发送的命令执行相应的动作,比如开机、关机、复位、紧急停机以及输入电压电流等物理参数,从而为物理人员提供安全的调束工作环境,并协调整个质子加速器主环的正常运行。

1 系统架构

系统的平台是基于 EPICS 控制系统。目前,EPICS 在世界上的粒子加速器等大型物理实验装置上应用比较广泛。它采用分布式的体系结构,可同时由许多专业技术人员对其进行软件升级和更新维护。EPICS 控制软件结构主要包括负责输入输出控制的 IOC (Input/Output Controller) 层和负责用户操作的操作员接口 (Operator Interface, OPI) 层。其中,一个完整的 IOC 应用主要包括以下几部分:通道访问 (Channel Access, CA) 服务器接口、数据库访问接口、动态数据库、记录支持模块、设备支持模块、设备驱动模块;OPI 层主要指运行在 Linux 操作系统中的各种 EPICS 工具。

操作员接口计算机 OPI 与输入输出控制器 IOC

收稿日期:2019-03-08

* 基金项目:科技部“基于同步加速器的质子放疗系统研发”资助项目 (No.2016YFC0105401)

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。

之间的通讯由以太网 Ethernet 实现。

加速器主环注入系统包括 2 台 Bumper, 1 台 ES Septum 和 1 台 MS Septum, 主环引出系统包括 1 台 ES Septum 和 2 台 MS Septum。加速器注入引出系统本地控制采用以可程序逻辑控制器 PLC 为核心的控制器来实现和完成; 监控程序包括人身安全保护 PPS、设备保护 MPS 和设备操作控制。设备控制器具备本地完整的监控保护功能。人身和设备保护采取软件和硬件二重冗余的保护设计方法。PLC 通过以太网与 EPICS 进行通信, 来实现加速器主环注入引出系统的远程控制功能。

由于注入系统和引出系统中的磁铁电源的数量和功率不一样, 所以它们的控制系统结构图也不完全一样。图 1 和图 2 分别为质子加速器的主环注入控制系统结构图和主环引出控制系统结构图。

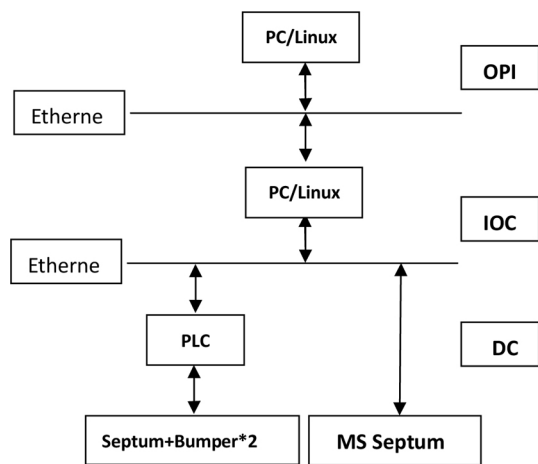


图 1 主环注入控制系统结构图

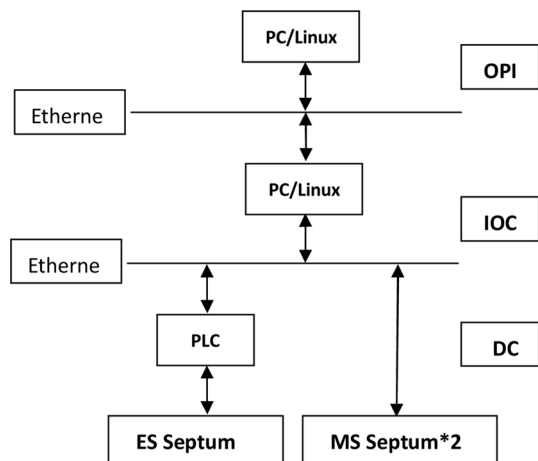


图 2 主环引出控制系统结构图

2 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, 提供物理调束人员或操作员访问控制加速器设备, 用户可以选择所需要的软件包进行安装。

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于内存中。每个数据库记录对应于一个 I/O 通道。

注入引出系统中的 IOC 开发, 包括实时运行数据库的开发以及基于西门子 PLC 网络通讯模块的设备支持与设备驱动程序的开发。具体设计过程包括 Linux 下 EPICS base(3.14.15.2) 开发环境的建立与配置, S7nodave 驱动模块的添加和虚拟 IOC 的设计以及网络 IP 及端口的配置等。

在 IOC 中需要添加对西门子 PLC 设备类型的驱动支持。采用基于 Siemens PLC 的 EPICS 驱动模块 S7nodave。S7nodave 软件包提供了基于 asynDriver (Asynchronous Driver Support) 的异步设备对各种常用的 EPICS 记录类型支持和对 Siemens PLC 以太网模块的通讯支持。目前该模块可以实现 Siemens S7 系列的多种 PLC 通信协议支持, 可直接访问 PLC 中的内存映射表内容, 无需在 PLC 端进行通讯配置, 也无需额外再安装和配置 autosave 软件包。首先将 S7nodave 作为单独模块添加到 EPICS 的设备驱动模块目录下并编译, 编译成功后, EPICS base 下的库文件目录和 dbd 目录下分别有文件 S7nodave 和 S7nodave.dbd 生成。配置 S7nodave 安装路径添加到应用程序的配置目录 RELEASE 文件中。

```
S7NODAVE = /aaa/bbb/epics/modules/s7nodave-
```

在应用程序源目录中的 makefile 文件中添加库文件 S7nodave 和 dbd 文件 S7nodave.dbd。example_DBDBD += s7nodave.dbd

```
example_LIBS += s7nodave
```

S7nodave 设备支持可以直接读取和写入 PLC 的内存地址, 利用记录的设备地址域 INP 和 OUT, 指定 S7nodave 认可的 PLC 设备地址。在 IOC 程序的 st.cmd 中添加系统 db 块及命令:

```
< envPaths
cd " ${TOP} "
## Register all support components
dbLoadDatabase "dbd/ * * *.dbd"
ext_registerRecordDeviceDriver pdbbase
S7nodaveConfigureIsoTcpPort( "s7" ," 192.168. *
* * . * * " 0 0 0)
S7nodaveConfigurePollGroup( "s7" ," .1s" 0.1 0)
## Load record instances
#dbLoadTemplate "db/userHost.substitutions"
dbLoadRecords "db/abcdef.db" ," user = AAA -
```

BBB"

由于 PLC 与 SofHOC 间通过以太网基于 TCP /IP 的方式交换信息 ,需要指明 PLC 的 IP 地址 ,后面 3 个数字分别代表 PLC 机架号、卡槽站号和线程优先级。

abcdef.db 指定系统建立的 db 数据块。数据库 db 文件中 ,最基本的单位是记录 record。record 主要由名字、属性(字段)、行为、类型、链接等组成。基本格式如下:

```

record( ao ," $( user) : WRITEVOLTAGE_W8" )
{
field( DTYP ,"s7nodave" )
field( OUT ,"@ s7 ( DLV = 0 ,DHV = 27648) DB1.
DBW4 int16" )
field( OIF ," Full" )
field( LINR ," LINEAR" )
field( PREC ," 2" )
field( EGUF ," 30.0" )
field( EGUL ," 0.0" )
field( HOPR ," 30.0" )
field( LOPR ," 0.0" )
field( DRVH ," 30.0" )
field( DRVL ," 0.0" )
}

```

3 系统 OPI 界面设计

质子主环注入引出远控系统中 ,OPI 置于 SAPT 中央控制室 ,作为操作员人机界面。使用基于 Linux 操作系统的 PC 机(PC/Linux) 作为 OPI 的操作计算机。

3.1 主环注入系统 OPI 设计

在主环注入远控 OPI 界面中 ,一共设置了 31 个数字监控量、5 个控制量(紧急停机、复位、启动运行、充电、触发)、3 个模拟显示反馈值(工作电流、工作电压、充电电流)、2 个模拟设置值(工作电流、充电电流)。

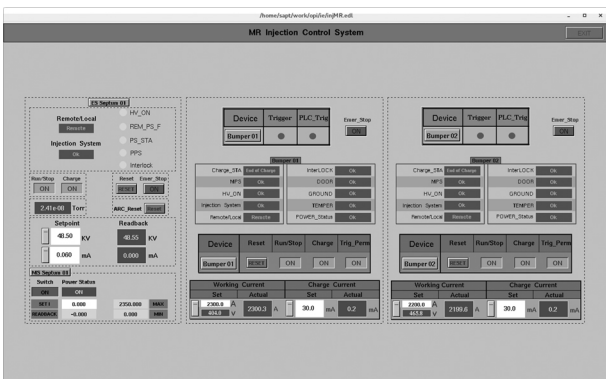


图 3 主环注入远控系统的界面

3.2 主环引出系统 OPI 设计

在主环引出远控 OPI 界面中 ,一共设置了 8 个数字监控量、7 个控制量(紧急停机、复位、ARC 复位、启

动运行、充电)、2 个模拟显示反馈值(电压、电流)、4 个模拟设置值(电压、电流)。

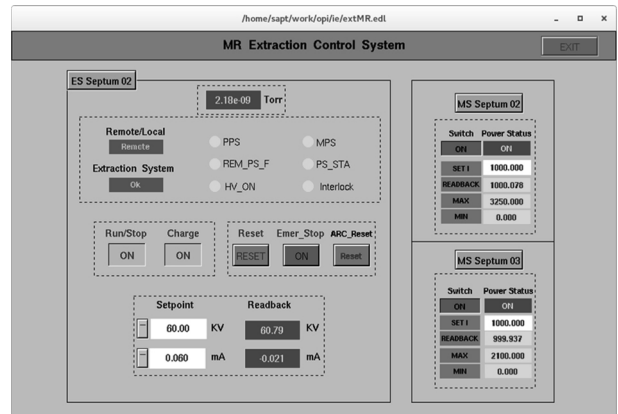


图 4 主环引出远控系统的界面

主环注入系统和引出系统的启动、运行和关机 ,均由 OPI 全程监控。在出现紧急情况 ,如火灾、短路等 ,按下“EmerStop”按钮 ,会弹出“确认”对话框 ,如确需紧急关机 ,立即按下控件“YES”按钮 ,系统会立刻断电并且停机;否则 ,属于误操作 ,按下“EXIT”按钮 ,即可退出 ,并正常运行。

控制操作 OPI 界面的直接打开与直接关闭不会影响控制系统本身的正常运行。另外控制界面在运行中出现的任何异常 ,都可以尝试通过关闭操作页面后重新打开新的运行窗口解决;如果问题仍然存在 ,则可以尝试重新登录或重新启动正在使用的 OPI 操作电脑。

4 结语

通过对主环注入引出系统结构性能的特点分析与系统设计 ,利用西门子 S7-1200 PLC ,基于梯形图语言 ,完成了注入引出系统的本地控制;利用 EPICS ,实现了注入引出系统的远程控制。整套控制软件均在 Linux 操作系统下基于 EPICS Base 包开发 ,简化了软件系统结构和代码维护量 ,提高了整套系统运行的稳定性 ,为质子加速器的稳定运行和提供治疗束流提供了可靠的技术保障。

参考文献

- [1] HU Zheng ,MI Qingru ,ZHEN Lifang et al. ,EPICS data archiver at SSRF beamlines [J] . Nucl. Sci. Tech. 25 ,020103 (2014) .
- [2] Zhu J L ,Ge Z Q ,Song Z H. Distributed parallel PCA for modeling and monitoring of large-scale plant-wide processes with big data [J] . IEEE Transactions on Industrial Informatics 2017 ,13(4) : 1877-1885.
- [3] Jiang Q C ,Yan X F ,Huang B. Performance-driven distributed PCA process monitoring based on fault-relevant variable selection and Bayesian inference [J] . IEEE Transactions on Industrial Electronics 2016 ,63(1) : 377-386.

(下转第 11 页)

置已通过上海市计量局的检定,整体装置的流量稳定性为0.06%,扩展不确定度为0.19%。对于这套国内先进的移动式水流量标准装置,目前已投入使用,完成了对上海巴斯夫公司的仪表的检测,提高了企业的生产效率。这套装置实现了快速设置调节流量点,自动控制,高精度的测量,具有很大的市场应用前景。文中所设计的实验方法和结论对其他类型的标准装置也具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 李锦冬,张超英,王玉森.基于标准表法的流量标准装置的设计与实现[J].中国仪器仪表,2006,17(12):78-81.
- [2] LEI Q,SUN L,TAO Z,et al.Design and implement of water-flow calibration facilities[C]//International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks. IEEE,2011:189-192.
- [3] 李宝.水流量标准装置变频调速稳压系统研究[D].天津:天津大学,2009.
- [4] 李峥.水流量标准装置不确定度和流量稳定性研究[D].天津:天津大学,2009.
- [5] 刘永,谷立臣,杨彬,等.液压系统流量、压力闭环控制实验研究[J].机床与液压,2017,45(7):23-25.
- [6] 柏滢,林都.一阶加纯滞后对象的PID控制器参数整定方法的比较研究[J].电子世界,2014,(15):72-73.
- [7] 黄良沛,黄昕,阳小燕.参数自适应模糊PID控制在恒压供水系统中的应用[J].自动化与仪器仪表,2005,(4):28-30.
- [8] CHENG C,LI B,QIN S.Design and Research of Water Flow Standard Facilities Based on Field Service[M]//Advanced Computational Methods in Energy,Power,Electric Vehicles, and Their Integration.2017.
- [9] QIN S,LI B,CHENG C.Data Management of Water Flow Standard Device Based on LabVIEW[J].2017.
- [10] 吴耀明,孙泉亮,袁少博.水流量标准装置控制系统的设计[J].工矿自动化,2012,38(1):93-95.
- [11] XIANG Q,SUN L,BAO L,et al.Development of flow stability experimental platform on water flow calibration facility[C]//International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks.IEEE,2011:2134-2137.
- [12] 高常进,刘高同,孙立军,等.流量装置流量稳定性数值仿真评价方法研究[J].传感器与微系统,2016,35(10):36-39.
- [13] 陈卓.流量装置不同供水方式的实验对比研究[D].天津:天津大学,2014.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,JJG 1037-2008,中华人民共和国国家标准,北京:中国标准出版社,2003-03-05.
- [15] 李新华,蔡大宇,彭辉,等.一种高速灌装自适应控制方法[J].仪器仪表学报,2017,38(7):1738-1746.
- [16] 易敏,邢飞,孙婷,等.高精度星敏感器标定方法研究[J].仪器仪表学报,2017,(9):2154-2160.
- [4] GE Z Q,CHEN J H.Plant-wide industrial process monitoring: a distributed modeling framework[J].IEEE Transactions on Industrial Informatics,2016,12(1):310-321.
- [5] LIU Q,QIN S J,CHAI T Y.Unevenly sampled dynamic data modeling and monitoring with an industrial application[J].IEEE Transactions on Industrial Informatics,2017,13(5):2203-2213.
- [6] WANG K,CHEN J H,SONG Z H.Performance analysis of dynamic PCA for closed-loop process monitoring and its improvement by output oversampling scheme[J].IEEE Transactions on Control Systems Technology,2017.
- [7] Y M ZHOU,Y B LENG,H J CHEN,et al.In: Proceedings of 8th International Particle Accelerator Conference[J].(Copenhagen,Denmark,2017),341-344
- [8] 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.
- [9] 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
- [10] 唐劲天,左焕琮.质子治疗肿瘤的现状与发展趋势[J].中华肿瘤杂志,2001,23(1):7-10.
- [11] 阎映炳,冷用斌,陈永忠,等.上海光源增强器工作点测量数据采集系统[J].核技术,2009,32(9):645-648.
- [12] 蒋舸扬,谭松清,赵欢,等.上海质子治疗装置动态电源控制系统[J].核技术,2018,41(2):020404.
- [13] 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.
- [14] 朱海君,刘亚娟,袁启兵.基于EPICS的上海光源注入引出远控系统[J].核技术,2012,35(5):342-345.
- [15] 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.

(上接第3页)