

加速器控制系统及其进展

赵籍九¹⁾

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 目前加速器控制系统普遍采用了分布式体系结构,使用系统集成工具进行开发,当前加速器界主流的系统集成工具有EPICS、TANGO和商业SCADA产品.在硬件方面,FPGA、DSP芯片广泛地用于硬件模块中实现数字化控制,嵌入式EPICS IOC智能控制器是当今研究的一个热点.软件方面,除系统集成工具之外,各大实验室都建立了自己的软件开发环境,对软件开发进行标准化管理,其中开放的软件平台Eclips, Abeans活跃在控制系统软件开发中.目前具有挑战性的课题是系统高可用性研究.本文将介绍加速器控制系统及技术方面的现状和进展.

关键词 加速器控制 系统集成 硬件和软件 高可用性

1 引言

高能加速器的控制系统是大型控制系统,系统中的被控设备可达到数万台,硬件信号的数量可达几十万甚至上百万个,它最终控制的对象是在真空管道中高速运行的带电粒子,因此控制系统需要有很高的可靠性、控制精度和实时响应速度.

一般来讲,加速器控制系统应该具有设备监控的功能,提供加速器调束软件,具有友好的图形人机操作界面,以数据库为核心的信息管理系统.控制系统还应有加速器的定时系统和设备及人身安全连锁保护系统等.高能加速器规模庞大、设备种类繁多,使得控制系统变得很复杂,它涉及计算机技术、网络通讯技术、电子学及数字信号处理、数据库技术、软件开发和系统集成技术等,因此控制系统的研发是一项复杂的系统工程.

2 加速器控制系统

近年来,国内外加速器控制系统普遍采用了分布式体系结构,也称为“标准模型”.^[1]逻辑上分为操作员接口级(Operator Interface Layer)、前端控制级(Front-End Layer)和设备控制级(Device Control Layer).不同级别的设备之间使用网络和现场总线进行数据通讯.除了中央服务器和控制台计算机之外,VME处理器和PC机常用作前端控制计算机,PLC、智能控制器和I/O模块用于现场设备控制.

控制系统的软件也可分为三层,即客户级(Client Tier)、服务级(Services Tier)和实时控制级(Real-time Control Tier).在客户级运行操作员界面,提供调束软件.服务级一般配置大型服务器计算机,安装关系数据库系统,运行调束软件、在线计算作业和高层控制软件,进行故障报警管理和历史数据存储等.实时控制级安装实时操作系统和实时数据库,运行设备驱动程序和现场控制程序等.

目前国际加速器界在控制系统设计和建造方面已经达成共识,即控制系统应该采用分布式体系结构,使用系统集成工具进行开发,尽可能多地采用商业硬件产品,采用标准化的硬件和软件和先进成熟的技术,设计时还应考虑系统扩充的可能性.

3 系统集成

加速器等大型控制系统开发的主要任务是系统集成.近年来由于大规模集成电路的发展,控制系统硬件基本上实现了商品化和模块化,只有部分专用模块需要自行研发.系统研制的主要工作量是软件开发,包括人机界面、分布式数据库、网络通讯和控制应用等,全部手工编程十分困难.目前加速器控制系统普遍采用系统集成工具进行开发,使得建成的系统是标准化的、开放的系统,延长了软件的生存周期,提高了系统的可靠性和可维护性.

目前主流的系统集成工具有美国LANL和ANL联合开发的EPICS (Experimental Physics and In-

2008 - 01 - 07 收稿

1) E-mail: zhaojj@ihep.ac.cn

dustrial Control System) 系统, 是开放的软件, 广泛地用于高能加速器控制系统中^[2]. 目前国际上有140余家实验室和大学的控制系统采用, 中国的NSRL, BEPCII, SSRF都采用了EPICS系统. EPICS用于建立控制系统的软件构架, 它可以在前端机上自动建立分布式的实时数据库, 提供透明的网络通讯, 具有VME、CAMAC等数百种设备的驱动程序、提供图形人机界面开发工具和控制系统常用的应用软件, 比如故障报警管理, 历史数据归档, 二维图形显示等, 用户通过配置文件或对话框建立应用, 大大减少了程序开发的工作量. 它也提供脚本语言SNL支持多种语言编程. 目前新推出的EPICS R3.14版本支持多操作系统平台的IOC, 包括VxWorks, Linux, Windows, RTEMS等; 用新的Web CA可建立Web操作界面; Java IOC, Redundant IOC和基于Eclips的新的OPI开发工具CSS正在研发之中.

TANGO是欧洲同步辐射光源ESRF, ELETTRA, SOLEIL和ALBA联合开发的系统集成软件包. 它适用于基于CORBA的控制系统, 同样提供网络透明的访问, 提供各种软件开发工具. TANGO由Device Servers和Static Database组成, 支持Linux、Windows、Sun Solaris操作系统, 提供丰富的应用程序接口函数库, 支持多种语言编程.

组态软件SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)是商业产品, 与EPICS的功能类似, 广泛用于工业过程控制. 市场上有一百多种SCADA产品, 它们主要支持Windows平台、PLC和PCI总线设备, 常用于加速器安全连锁保护系统、真空、水冷、公用设施和谱议高压等慢速控制系统中.

4 硬件技术的进展

在硬件技术方面, FPGA、DSP芯片的应用, 基于单片机的智能控制器和事件定时系统是当前的热点. 现场可编程门阵列FPGA (Field Programmable Gate Array)和DSP芯片广泛地用于加速器控制系统硬件模块中, 对设备进行数字化控制, 比如数字化电源、高频低电平控制、数字BPM, 以及相控和定时系统等. 其基本结构有两种, 一种是由FPGA、DSP芯片组成, 另一种采用带有片上可编程系统的FPGA芯片设计模块. FPGA编程一般使用VHDL语言.

许多实验室在高频低电平控制系统中采用了基于FPGA技术的控制模块. 比如美国Cornell大学和JLAB联合研制的LLRF控制器采用了2个Xilinx Virtex-II XC2V 1000-4的FPGA芯片和2个DSP芯片, 以及外围的ADC/DAC芯片, 具有以太网、RS232、VME总线接口. 该低电平控制器可以实现各种高频控制功能, 如回路控制, 失超探测、

速调管高压控制、调谐器控制、反馈控制和高压电源纹波前馈控制、超导腔控制、系统状态监测等.^[3]Libera数字BPM是商业产品, 由模拟模块、数字模块和单板机组成. 它有EPICS IOC和TANGO Server接口, 可直接挂在以太网上使用. 国内中科院高能物理研究所和上海应用物理研究所都研发了基于FPGA的数字电源控制器, 中科院兰州近代物理研究所也研制了基于ARM和FPGA的通用智能控制器.

硬件技术的第二个热点是基于单片机的设备智能控制器, 尤其是嵌入式IOC的研制. 美国APS、JLAB等实验室研制了基于FPGA和ColdFire处理器的嵌入式IOC, 安装RTEMS实时操作系统和EPICS R3.14, 有以太网、CAN总线和RS232接口. 另一类嵌入式IOC则采用一般的单片机, 安装Linux操作系统和EPICS IOC, 也有以太网、VME总线或RS232接口.

事件定时系统(Event Timing System)主要部件是基于FPGA的事件发生器和事件接收器, 它用软件方法分频和定义时序, 调节灵活、精度高, 许多实验室已经或正在采用以取代硬件的定时系统.

5 软件技术的进展

5.1 软件开发环境

在软件方面, 除了上述系统集成工具之外, 各大实验室都建立了自己的软件开发环境, 对软件开发进行标准化管理. 软件开发环境一般包括OPI和控制应用的函数库, 透明的网络通讯管理, 程序开发环境(IDE)等. 大型加速器的软件开发环境有CERN/LHC的LSA/UNICOS, 德国DESY的TINE/DOOS, 日本Spring-8的MADOCA, 射电天文望远镜使用的ACS, 及核巨变装置使用的MDSplus等. 调束软件是实现加速器物理目标的重要手段, 国内外主要高能加速器都有自己的调束软件的开发环境, 如KEKB的SAD, APS的SDDS, JLAB的CDEV, SNS的XAL, SLAC/SpearIII的Matlab, RHIC的UAL等.

5.2 软件开发工具

Eclips是当今热门的开发平台. 它是IBM公司投资4000万美元研发的, 是一个开放源代码的基于Java的软件. Eclips采用插件(Plug-in)构架, 任何用户应用都可以作为一个插件纳入Eclips体系中. Eclips有许多功能, 它可以作为Java JDE使用, 支持从软件建模、自动生成、单元测试、性能测试到配置管理的完整软件开发过程. 目前国际上100多家公司支持Eclips, 他们在Eclips平台上开发了许多大型商业软件. 在加速器界Eclips的使用正在升温, CSS (Control System Studio)是Eclips应用的亮点^[4]. CSS

是EPICS新的客户方软件,使用Java语言开发,准备取代目前基于X-Window/Motif的OPI工具. CSS将开发EPICS和TANGO的接口,使得CSS的OPI可以访问控制系统的前端数据. 另外澳大利亚ANSTO在Eclips平台上研发了Gum-Tree软件包,开发了控制应用及EPICS, TANGO, SICS接口,目前正在开发仿真和数据分析软件. 斯洛文尼亚的CosyLab公司研发了控制系统客户方软件开发工具Abeans,是开放的软件,它具有EPICS, TANGO, CDEV, TINE和ACS接口,用户可以从Abeans界面访问上述控制系统的实时数据. 另外Oracle数据库和电子日志系统E-Logbook也是加速器常用的软件工具.

6 系统安全和高可用性研究

系统安全十分重要. 在系统设计、开发和运行中有许多保证安全的策略,比如采用模块化和分布式体系结构、使用商业产品、减少控制设备和协议的种类、设备的冗余和备份. 对系统进行分级保护,即建立硬件和软件的分级结构,区分核心功能、非基本功能和可选功能分别采取不同的保护措施. 许多时候系统不安全问题是为人为因素造成的,因此对相关人员也要进行严格管理. 网络安全方面,除了采取防火墙、gateway、虚拟网段等管理手段外,防病毒网关

可以较为有效地防止病毒入侵. 日本Spring-8实验室,使用InterSpect防病毒网关后,来自光束线用户笔记本电脑的病毒再没有发生过入侵事故.

控制系统高可用性研究(High Availability)是当今具有挑战性的课题. 对于大型控制系统来说,如果系统的可用性要求为99%的话,则子系统到机箱级的可用性需要高达99.99%或99.999%. 因此国际直线对撞机ILC控制系统开展了HA研究.^[5]包括系统设计的HA研究,保证可靠运行的HA研究,以及失效模型分析、失效检测算法和避免冲突策略的研究等. 其中从系统到子系统级的双机热备的研究是一个重点. 据了解ILC准备使用ATCA (Advanced Telecommunication Computer Architecture)取代VME作为前端控制计算机. 因为ATCA可以高速传输数据,有全套的双冗余部件,其可用性可达99.999%. 目前ILC正在研发ATCA标准的控制模块,进行EPICS IOC冗余系统的研究.

7 结论

由于计算机、网络、电子学和软件技术的飞速发展,加速器控制系统的技术也在不断更新,我们需要密切关注新技术的发展,加强国际交流与合作,引进先进成熟的技术,建造国际一流的加速器控制系统.

参考文献(References)

- 1 Proceeding of ICALEPCS 2001, 2003, 2005, 2007
- 2 <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- 3 Belomestnykh S. Cornell Digital LLRF System LLRF Work-shop CERN Oct. 2005
- 4 Clausen M. CSS Overview EPICS Meeting Argone, June 2006
- 5 Krause K M. High Availability Controls Control & LLRF EDR Kick-off Meeting Aug. 2007

Accelerator Control System and Its Progress

ZHAO Ji-Jiu¹⁾

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract Currently accelerator control systems adopt distribution architecture and are developed with integration tools, such as EPICS, TANGO and SCADA. The digital controller based on FPGA, DSP is widely used in accelerator controls and embedded EPICS IOC is a hot point. On the software side, laboratories have built their software development environments and the open sources Eclips, Abeans serve software development too. The high availability research is a challenge in the control world. The paper describes accelerator controls and progress of correlative technologies.

Key words accelerator control, system integration, hardware and software, high availability

Received 7 January 2008

1) E-mail: zhaojj@ihep.ac.cn