

# EPICS 环境下的 LINAC 控制系统

丁建国, 郑丽芳, 胡守明, 缪海峰, 李纪堂, 周大勇, 刘松强

(中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

**摘要:**介绍了一个 100MeV 直线加速器(LINAC)的控制系统,该系统采用分布式控制体系结构,采用大型分布式控制软件 EPICS 作为开发平台。描述了系统的构成、EPICS 的软件结构、控制原理及其在 LINAC 控制中的应用。

**关键词:**直线加速器, EPICS, 控制系统

**中图分类号:** TL503.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2006)01-0036-05

100MeV 电子直线加速器(Linear Accelerator, LINAC)是上海同步辐射装置(Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF)2 期预研项目,其第一阶段的目标是建造一台能量为 100MeV 的直线加速器,在第 2 阶段升级到 300MeV 能量,并将作为自由电子激光(FEL)装置的基础平台。

图 1 是 LINAC 的总体布局图。LINAC 由低能段、微波系统、主加速段、以及磁铁电源、真空系统、水冷、束流诊断和控制系统等组成。其中低能段由热阴极栅控电子枪、预聚束器和聚

束器组成;微波系统包括前级主振、固态放大器、速调管、调制器、微波传输以及相位控制系统。

LINAC 控制系统的研制是基于分布式控制的设计思想,在 SSRF 预研研究 1 期<sup>[1]</sup>的基础上,采用被国际上许多大型加速器装置普遍使用的 EPICS 系统作为系统开发的基本平台,建立的基于现代计算机网络通讯的分布式控制系统。本文将介绍 LINAC 控制系统的组成结构,各子系统的构成与 I/O 过程控制方法、EPICS 控制系统的基本原理及其在 LINAC 控制系统中的应用。

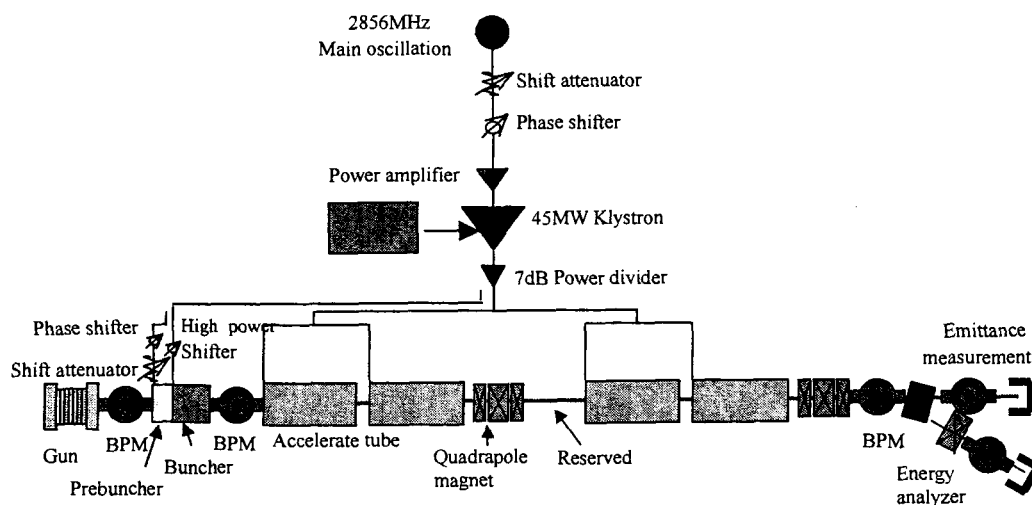


图 1 直线加速器总体布局图

收稿日期: 2004-11-21

作者简介: 丁建国(1964—),男,中国科学院上海应用物理研究所副研究员,在职博士生,目前从事上海同步辐射装置控制系统的建造工作

## 1 控制系统的结构

### 1.1 基本结构

LINAC 控制系统采用公认的称为“标准模

型”的分布式控制体系结构,其基本结构如图 2 所示。它由操作员接口计算机(Operator Interface, OPI)、输入输出控制机(I/O Controller, IOC)、设备控制器(Device Controller, DEC)、局域网(LAN)和 IOC 与设备控制器的通讯总线组成。

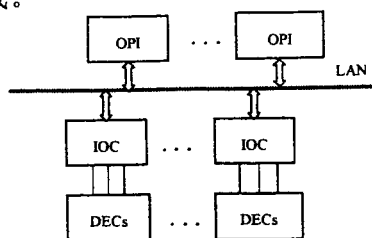


图 2 LINAC 控制系统基本结构

### 1.1.1 操作台接口计算机

操作台计算机位于 LINAC 控制室,采用 1 台基于 Solaris UNIX 操作系统的 SUN 工作站和若干台运行 Linux 的 PC 计算机。操作台计算机都具有访问整个控制系统的能力,但在使用中有专门的分工,通过人机界面监控各子系统的运行,并实现机器参数设置/回读、报警处理、操作记录、数据存档、访问控制等功能。

### 1.1.2 前端 I/O 控制机

前端 I/O 控制机(IOC)通过现场总线或直接 I/O 控制前端设备控制器;根据分布式数据库的内容实施过程控制;通过局域网响应操作台计算机的控制请求。

3 台 IOC 采用 VME 高性能计算机,其中 1 台用于微波系统控制,1 台用于各类电源及真空系统控制,1 台用于真空及安全联锁。VME/IOC 的 CPU 模块采用 2 块 Motorola 公司的 MVME2302 模块(CPU 为 PowerPC 603),1 台 MVME162(CPU 为 MC68040),IOC 运行 VxWorks 实时操作系统。

### 1.1.3 控制网络

控制系统的网络采用快速交换式以太网。为了彻底截断接地环,提高系统的抗电磁干扰性能,从控制室的交换机到现场的 IOC 控制机之间采用光纤传输。控制网络包括 100Base-TX 以太网交换机,100Base-TX/FX 介质转换器和多模光缆。

### 1.1.4 设备控制器

设备控制器是分布式控制系统的底层,直接与受控设备接口,完成模拟信号与数字信号的输入/输出、信号处理功能。LINAC 控制系统

的设备控制可以分为磁铁电源控制、真空设备控制、高频设备控制(包括电子枪、微波设备及调制器控制)、全局性设备控制(包括联锁保护系统和定时系统的控制)等若干子系统。各子系统的设备控制器采用商业化的产品或由商业化部件组成,有 VME I/O 板卡、可编程控制器、现场总线模块、IP 夹层总线模块等。

LINAC 控制系统中设备控制器与 IOC 的通讯总线主要采用 DeviceNet 现场总线,VME 背板总线,Allen-Bradley(A-B)公司的 DCM 通讯,RS232 和 485 串行通讯。

## 1.2 LINAC 子系统控制

### 1.2.1 磁铁电源控制

磁铁电源的控制包括对聚焦线圈电源,磁压缩磁铁电源,偏转磁铁电源,四极磁铁电源,导向线圈电源,短透镜电源和反向线圈电源共 7 类电源的刻度、控制和监测。

电源控制子系统由 VME 总线的 DeviceNet 接口模块和由 DeviceNet 现场总线接口的 A-B 1794 系列模块构成的若干电源控制器组成。1 台高精度电源控制器和 6 台低精度电源控制器构成一个 DeviceNet 子网,DeviceNet 接口模块是 IOC 与 DeviceNet 子网的通讯接口。低精度电源控制器包括 DeviceNet 通信模块、数字 I/O 模块、12bit DAC 模块、12bit ADC 模块和电源模块。高精度磁铁电源控制器包括 DeviceNet 通信模块、数字 I/O 模块、15bit DAC 模块、16bit ADC 模块和电源模块。DeviceNet 接口模块采用 SST 公司的 5136-VME 控制模块。

### 1.2.2 真空子系统

真空控制子系统包括对真空计控制器、离子泵电源控制器以及真空阀门的运行控制、状态检测以及设备联锁保护。

LINAC 系统中共有 14 台离子泵电源控制器,它们以 RS485 总线相连,通过一个专用 RS232/485 信号转换器连接到一台工控机的 RS232 端口,IOC/VME 通过与工控机的串行通讯实现对离子泵电源控制器所有 I/O 量的监控。

真空计控制器采用 2 台 Varian 公司的多规真空计控制器和 2 台 Pfeiffer 公司的双规真空计控制器控制加速管区和波导区的 7 个真空规。IOC 通过 RS-232 协议实现对真空计控制

器所有 I/O 量的监控。

IOC/VME 系统中的 RS-232 接口采用 IP (Industry Pack) 夹层总线的 8 通道 IP-Octal 232 模块, IP 模块的 VME 承载模块为可提供 4 槽口的 VME-VIPC616 模块, 整个 VME 系统使用了 2 个 IP 模块和 1 个 VIPC 模块。

LINAC 中有 2 个真空阀门, 阀门的开关信号由联锁保护系统给出。真空超限报警值由真空控制器或控制台设定, 当真空控制器测出真空超限时, 产生真空报警信号, 输出到由 A-B 公司的 PLC-5 可编程控制器构成的联锁保护系统。PLC-5 根据输入信号决定阀门的联锁动作, IOC 根据真空的报警状态决定对离子泵电源的联锁操作。IOC/VME 通过 A-B 6008 SV2R 远程 I/O 扫描模块与 PLC-5 端的 1771 DCM 通讯模块间的远程 I/O (RIO) 通讯方式进行数据交换。

### 1.2.3 高频设备控制

LINAC 系统的高频设备控制子系统包括电子枪、微波系统和调制器的监控。

调制器的设备控制器采用 A-B 公司的 SLC-500 型可编程控制器。预聚束器的相位和幅度、聚束器和加速管的相位控制使用步进电机, 采用 SLC-500 和 1746-HSTP1 专用控制模块控制步进电机的运转。IOC/VME 通过 RIO 扫描方式与 IOC 接口, 在 SLC-500 端的通讯接口模块为 1746-DCM, IOC 端的通讯接口模块为 6008 SV2R。

微波信号源、固态放大器由 IOC 进行直接 I/O 控制, 采用 VMIC-VME-2356 模拟输入输出模块和 VMIC-VME-4514A 数字输入输出模块组成设备控制器。

电子枪由 2 组研华 ADAM-5000 模块控制, 这 2 组 ADAM 模块都通过光纤隔离的 RS-232 接底层控制的工业计算机。IOC 端通过 IP-Octal 232 模块与工业计算机的串行通讯实现电子枪的 EPICS 监控。

### 1.2.4 定时与联锁子系统

定时 (Timing) 系统为定制设备, 由定制的定时模块和输出保护模块组成。定时模块是可编程的多路同步时序脉冲信号发生器, 每路脉冲的宽度, 重复频率和相对基准的时延可调, 用来控制时序信号的启动和停止。输出和保护模块的作用是提供合适的脉冲幅度、极性和适配

接口, 如光纤, 电缆等, 并在外部联锁保护信号输入时, 切断有关设备的触发。

## 2 EPICS 控制系统

EPICS 即“实验物理及工业控制系统” (Experimental Physics and Industrial Control System)<sup>[2]</sup>, 是由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室 (LANL) 和阿贡国家实验室 (ANL) 等联合开发的大型控制软件系统, 被广泛用于粒子加速器和探测器系统、同步辐射装置、大型天文望远镜以及飞机制造等工业领域的控制系统中。上海同步辐射装置工程于 1998 年签约获得 EPICS 的使用和开发权利。根据 SSRF 一期预研的结果, 我们选择 EPICS 作为开发 LINAC 控制系统的基本软件开发平台。

### 2.1 EPICS 软件结构<sup>[3]</sup>

EPICS 系统是基于分布式结构开发的控制软件, 具有开放性、多平台、可扩充、事件驱动等特点。EPICS 系统的软件包括 IOC 层和 OPI 层以及在两者之间提供数据交换的通道访问 (Channel Access, CA) 模块 (如图 3 所示)。

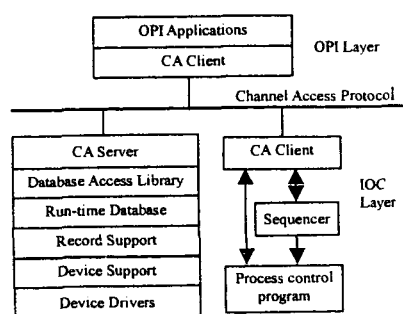


图 3 EPICS 软件结构

EPICS 采用分层式的结构, 每一层都相对独立, 只与它的下一层进行通信。例如, 访问数据库记录不需要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要知道具体的设备类型, 因为每一种记录类型都有很多种独立的设备支持模块, 设备支持与驱动建立了 I/O 设备与 IOC 的连接。EPICS 应用都是围绕 IOC 数据库展开的, 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。

### 2.2 通道访问

控制系统中,设备的每个模拟或数字的输入/输出量称为一个通道,一个通道在 IOC 数据库中对应为一个记录实体。

EPICS 系统依据客户-服务器模型,在 TCP/IP 和 UDP 协议之上建立了通道访问机制,并为客户(主要是 OPI)和服务器(主要是 IOC)分别提供了应用接口子程序库。CA 在 EPICS 中相当于一条软件总线,EPICS 软件中的各个组件通过这一总线交换数据。OPI 应用程序(包括 IOC 中的部分应用程序)则通过 CA 客户发送数据请求,IOC 通过 CA 服务器响应 CA 客户的数据请求。EPICS 的分层式控制结构使得客户程序可以在不知道设备、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分布于 IOC 中的动态数据库中的通道数据。

CA 还具有回叫(callback)机制,服务器根据客户的预先指定发送监控所得的信息,这样便无须依靠巡回检测来监控 IOC 中的通道数据,极大地减轻了网络负荷。

EPICS 还提供了对 Java、Tel/Tk、MATLAB 等的 CA 接口支持,用户可以使用这些支持开发的自己需要的应用软件。

### 2.3 动态数据库

控制系统的 I/O 数据是频繁变化的,为了实时响应来自操作台的命令、执行控制算法和反映各种操作状态,EPICS 采用现场运行的动态数据库来记录数据。分布式动态数据库是 IOC 应用软件的核心,它在相关的 I/O 支持模块(记录支持、设备支持、设备驱动)的支持下运行。在 EPICS 系统中,动态数据库采用结构简单的(flat)列表方式分布于各个输入输出控制机(IOC)中,每个 I/O 通道对应于一条数据库的记录存放在控制该通道的 IOC 中。EPICS 不仅使用动态数据库存放当前的通道数据,而且通过动态数据库实现所有过程控制的功能,EPICS 的数据库记录又被称为过程控制模块。

EPICS 系统的 IOC 中一般运行实时操作系统 VxWorks。系统启动时,IOC 分别从服务器下载 VxWorks 内核 EPICS 基础内核 iocCore、分布式数据库、记录和设备支持模块等,然后开始运行。IOC 通过 iocCore 中的扫描器对数据库记录的扫描实现对每个记录的处理。记录扫描方式有:1)周期扫描:记录以给定的时

间间隔周期性地处理;2)中断和事件扫描:由外部 I/O 硬件中断触发,或由用户设计的事件(即软中断)触发引起对记录的扫描;3)被动扫描:由 CA 客户端的对指定记录的 I/O 操作,或者由与该记录链接的记录的引起的对指定记录的扫描。记录的域值记录了每个通道的详细信息。

iocCore 具有监控器(monitor)功能,可以根据预先的设定,当数据变化时通过 callback 机制发送监控通道的信息。

## 3 LINAC 控制系统的应用实现

### 3.1 开发环境

SUN/Solaris 的 UNIX 系统是 EPICS 系统开发的原始软件平台,早期的 EPICS 系统主要采用 SUN 工作站作为 EPICS 应用的开发环境。由于 Linux 的开放性、稳定性,加上个人电脑的高性价比越来越受到开发者和使用者的青睐,最近几年,PC/Linux 系统逐渐成为 EPICS 应用,特别是 OPI 客户程序的主要开发平台。在 LINAC 控制系统应用开发中,使用 SUN 工作站作为 IOC 下载软件的开发平台,编译产生适合不同 IOC 目标机的 VxWork 操作系统内核、EPICS 基础内核代码等,而动态数据库的设计和 OPI 应用的开发和运行都在 Linux/PC 上进行。

EPICS 是基于工具集的系统,EPICS 协作组为动态数据库的设计和 OPI 应用软件的设计提供了一组多平台软件工具。

### 3.2 IOC 动态数据库设计<sup>[4]</sup>

在 EPICS 系统中,过程控制(即 I/O 的处理)的实现即动态数据库的设计。数据库的设计采用图形化设计软件工具 CapFast 或 VDCT 自动生成的办法,其特点是可以清楚地反映数据库记录实现过程控制的方法(如出发扫描触发方式,数据变换,报警阈值等),以及记录之间的关联关系。EPICS 有几十种不同的数据记录类型,用户也可以开发自己的记录类型。在 LINAC 控制系统中,共有约 1000 个数据库记录分布于各子系统的 IOC 中完成过程控制的任务,使用较多的记录类型有 Ai/Ao(模拟输入/输出)、Bi/Bo(二进制输入/输出)、Mbbi/Mbbo(多位二进制输入/输出)、Subroutine(子程序)等。

### 3.3 OPI 应用软件<sup>[5]</sup>

EPICS 有一组多平台运行的应用开发工具。在 LINAC 控制系统的 OPI 层,我们以 Linux 为操作平台,采用 EPICS 提供的 CA 客户端程序实现对个控制通道的监控。采用 EDM(Extendible Display Manager)的编辑模式进行人机交互界面的编辑,建立图形界面单元与控制通道的对应关系,采用 EDM 的执行模式建立与控制通道的连接,通过对人机交互界面的操作实现对控制通道的监控,采用报警处理工具软件 ALH(Alarm Handler)和用户设计的配置文件对通道(组)的工作状态进行报警提示。使用数据存档工具软件 ChannelArchiver 对一些控制通道的数据进行存档,以供离线分析使用,需要存档的通道以及触发存档的条件通过配置文件定义。运用 BURT 工具备份和恢复 IOC 中的各通道的值。

## 4 结论

EPICS 在 100MeV 直线加速器控制系统中的成功应用为上海同步辐射装置的控制系统的建设积累了经验。EPICS 采用基于现代通讯网

络技术的分布式体系结构,可以支持任意数目的 IOC 和 OPI,实现了用户在授权范围内对通道的完全透明访问,这对于诸如 SSRF 的大型用户实验装置更是十分必要的。EPICS 的技术交流平台 (<http://www.aps.anl.gov/epics/tech-talk>)对开发者提供了很大帮助。实践表明:EPICS 是一个技术成熟、性能稳定的系统,能够满足大型加速器控制系统的需求。

在 LINAC 控制系统研制过程中,SSRF 各组的同事给予了密切配合和帮助,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1]国家上海同步辐射装置中心(筹). 上海同步辐射装置工程初步设计,2001.
- [2]<http://www.aps.anl.gov/epics>
- [3]Kraimer MR. EPICS Input/Output Controller Application Developer's Guide[R]. Argonne National Lab., Advanced Photon Source. June, 1998.
- [4]Standley P, et al. EPICS IOC Record Reference Manual [R]. Argonne National Lab., Advanced Photon Source. May, 1998
- [5]<http://www.aps.anl.gov/epics/extensions>

## An EPICS-based LINAC control system

DING Jian-guo, ZHENG Li-fang, HU Shou-ming, MIAO Hai-feng,  
LI Ji-tang, ZHOU Da-yong, LIU Song-qiang

(Shanghai Institute of Applied Physics, CAS, Shanghai 201800, China)

**Abstract** This paper describes a 100 MeV LINAC (Linear Accelerator) control system. The System is a distributed control system, which is developed based on the large-scale control software EPICS. In this paper, we give detailed description of the control system architecture, the EPICS software and its application in the LINAC control.

**Key words:** linear accelerator; EPICS; control system

(上接第 32 页,Continued from page 32)

## Parallel computing for <sup>60</sup>Co container CT image reconstruction with MPI

CONG Peng

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** Under the MPI parallel programming environment, this paper realized the parallel computing progress through changing the ordinal reconstruction process. The time of reconstruction had reduced from 34 seconds to 9 seconds with four computing nodes which make out an almost linear acceleration.

**Key words:** Parallel Computing; MPI; CT image reconstruction