

文章编号: 1007-4627(2010)02-0170-04

基于 P2P 技术的 CSRe 冷却装置控制系统设计*

何旭春^{1,2}, 乔卫民¹, 敬 岚¹, 郭玉辉^{1, #}, 龙银东^{1, 2}

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: HIRFL-CSR 工程对 CSRe 冷却装置电子冷却部分的控制系统在实时性和可靠性方面提出了非常高的要求。电子冷却工作环境复杂, 各种干扰难以预测。从电子冷却的控制系统改进出发, 以实现电子冷却的自动调束为目标, 以高端 FPGA 和 ARM 嵌入式系统为基础, 采用 P2P 通讯技术和神经网络算法来实现对电子冷却的自动控制。该控制系统对电子冷却控制的完善提供了先进的硬件平台和软件实现方案。

关键词: 电子冷却; 磁场电源; 神经网络; 嵌入式系统

中图分类号: TP273.5 **文献标识码:** A

1 引言

兰州重离子加速器电子冷却储存环^[1] (HIRFL-CSR) 由主环 (CSRm) 和实验环 (CSRe) 组成。主环用于离子束的积累、加速, 实验环用于内靶实验, 每个环都有一个电子冷却装置。电子冷却是通过具有相同平均速度运动的离子束与强流电子束之间的库仑碰撞, 将离子束的横向振荡与纵向振荡能量转移给电子束, 从而降低储存环或对撞机中离子束的横向发射度和纵向动量散度的方法^[2]。

2 CSRe 电子冷却装置

CSRe 冷却装置如图 1 所示。设计采用国际上已经成熟的经典模式, 即采用螺线管磁场将电子束从枪阴极引导到收集器^[3, 4]。其主要部件包括电子枪加速管两个 45° 弯曲螺线管、减速管和电子收集器。所有这些设备都置于螺线管磁场的轴线上。

从图 1 可知, 所需的电子束需要依次经过电子枪、弯曲螺线管 (电子枪端)、冷却段直螺线管、弯曲螺线管 (收集器端) 和收集器。而每个区域实际上

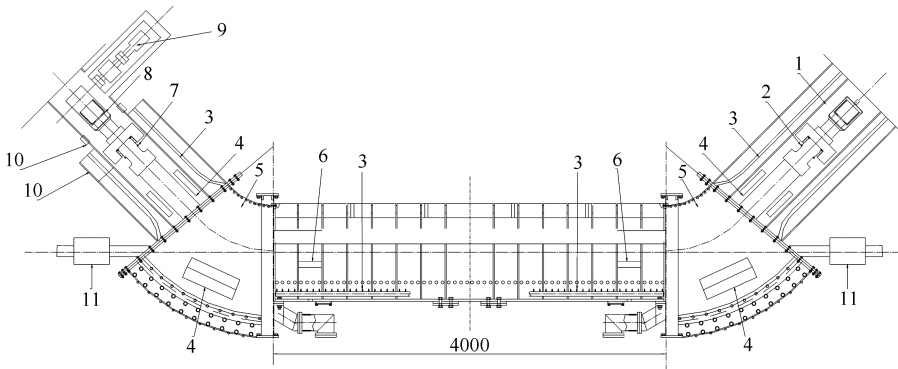


图 1 CSRe 电子冷却装置示意图

1 电子枪, 2 加速管, 3 螺线管, 4 NEG 泵, 5 弯曲螺线管, 6 电子位置监测器, 7 减速管, 8 收集器, 9 离子泵, 10 垫补螺线管, 11 校正二级磁铁。

* 收稿日期: 2009-07-21; 修改日期: 2009-08-20

* 基金项目: 国家九大科学工程冷却储存环项目(06HIRFL200)

作者简介: 何旭春(1969-) 男(汉族), 江苏金坛人, 博士研究生, 从事计算机系统结构及自动控制研究;

E-mail: szbalder@163.com

通讯联系人: 郭玉辉, E-mail: guoyuhui@impcas.ac.cn

都是由螺线管产生一定的磁场对电子束进行约束的，而每组螺线管又是由不同的电源来提供工作电流。此外，电子束与离子束的相对位置关系也影响装置的冷却时间和效率。为了调整电子束与离子束的相对位置，冷却装置内还安装了 22 组校正线圈，以期达到在冷却过程中对电子束与离子束的相对位置、夹角的调整和优化。本控制系统的任务主要是通过通过对 3 台主螺线管电源、1 台静电偏转板高压电源和 22 组校正线圈电源进行控制，组建智能化的

神经网络控制系统，而上述共计 26 台电源即可视为此神经网络控制系统的节点。为此设计基于先进的 ARM+FPGA 芯片的嵌入式控制硬件平台来实现网络控制算法及性能优化。

加速器的磁铁电源是为加速器各种类型的电磁铁供电的系统。通过调节磁铁电源的电流，可以改变磁铁的电磁场，从而控制粒子运行的轨道。表 1 所示为在整个 CSR_e 的电子冷却装置中所使用电源的主要参数。

表 1 电子冷却装置电源参数

	CSR _m				CSR _e			
	电流/A	电压/V	电源类型	冷却	电流/A	电压/V	电源类型	冷却
冷却段直螺线管电源	198	370	大功率电流源	水冷	195	370	大功率电流源	水冷
弯曲螺线管电源	780	197	大功率电流源	水冷	780	230	大功率电流源	水冷
电子枪(收集器)螺线管	1200	50	大功率电流源	水冷	1400	50	大功率电流源	水冷
静电偏转板	0.005	3000	高压电压源	风冷	0.005	20000	高压电压源	风冷
校正线圈	10 (30)	30@10A	电流源	风冷	10(30)	30@10A	电流源	风冷

CSR_e 电子冷却部分的这 26 台电源参数形成一个大维数的输入向量，修改其中的任何一个，都可能导致结果的偏差。如何同步协调各个值，并没有理论依据可循，全凭现场工作者的经验。当目标变化和输入向量的调整非常繁琐费时，效率很低。而神经网络有学习能力和逼近任意非线性映射的能力，可对这类不确定系统提供新的有效控制手段。用一种全局寻优自适应快速 BP 算法弥补基本 BP 算法的缺陷，使其更符合电子冷却控制的需要。

3 系统硬件平台简介

此系统硬件平台主要采用基于以太网技术的分布式系统结构，通过 FPGA+ARM 来实现神经网络控制的 BP 算法对加速器磁场电源的精确控制。图 2 所示为该系统的总体设计框图。

系统由 ARM 处理器、FPGA、ADC 控制器及其外围电路、存储器、LCD 液晶显示电路、USB 键盘电路、串口通信、USB 接口等组成，主要完成程序以及命令的输入，图形界面的显示以及与 PC 机的通信等。首先将写好的神经网络 BP 控制算法代码通过 JTAG 口下载到 FPGA 的系统 FLASH 里面，再通过 ARM 网络控制器，传递和接收系统上层的控制参数和监测命令，并将用户输入的算法给

定值传送给 FPGA，启动控制动作的运行。在控制的实施阶段，主要是在 FPGA 里面，结合预先设置好的控制参数，通过 VHDL 语言实现 BP 控制算法，不断地根据适配的参数、权重进行计算，从而实现 CSR_e 的电子冷却部分的磁场电源系统的神经网络控制。此神经元控制器算法的实现硬件平台采用 Cyclone III EP3C25F256 芯片。

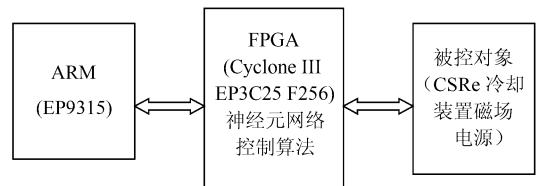


图 2 系统的总体设计

对于 ARM 网络控制器电路设计，系统采用 EP9315 芯片。其上运行的 ARM Linux 操作系统具有丰富的网络功能和应用接口，可降低系统的软件开发难度。EP9315 本身价格十分低廉，是一款性价比高的网络控制器件。

4 软件及算法实现

由于硬件设计中采用的 EP9315 芯片可运行 ARM Linux 嵌入式系统，现场设备通过以太网在

同一个网段内互联。在系统的实际运行过程中，各物理位置相互独立的节点间的网络算法通信可借助 P2P(Peer to Peer)技术实现。这样可大大降低控制网络节点对上层服务器的资源要求，使节点的大规模扩展成为可能。

P2P 网络的两个节点之间可以直接交互数据信息而不需要经过特定的服务器。这些数据信息包括信息交换、高速缓存、处理能力和存储空间等。P2P 网络区别于客户端/服务器(Client/Server)结构或浏览器/服务器(Browser/Server)结构，其最显著的特点是整个网络不存在中心节点(或中心服务器)，其中的每一个节点(Peer)大都同时具有信息消费者、信息提供者和信息通讯等三方面的功能。其结构示意图如图 3 所示。

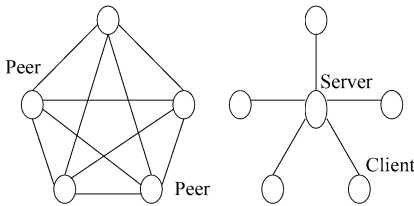


图 3 P2P 与 C/S 的结构示意图

对于 P2P 网络资源的定位采用动态哈希表(Distributed Hash Table, 简称 DHT)方式。首先将网络中的每一个节点分配虚拟地址(vID)，同时用一个关键字(Key)来表示其可提供的共享内容。取一个哈希函数，这个函数可以将 Key 转换成一个哈希值 H(Key)。网络中节点相邻的定义是哈希值相邻。发布信息的时候就把(Key, vID)二元组发布到具有和 H(Key)相近地址的节点上去，其中 vID 指出了文档的存储位置。资源定位的时候，根据 H(Key)可到相近的节点上获取二元组(Key, vID)，从而获得文档的存储位置。

对 FPGA 实现的具体算法部分，主要采用硬件

算法运算器设计基于神经网络 BP 算法的神经网络节点控制器。系统总共使用由 ALTERA 公司免费提供的专门用于 5 个 32 位浮点数运算的 32 位浮点数乘法器；5 个 32 位浮点数除法器；11 个 32 位浮点数的加/减法器。

5 结语

本系统是一个实时性和精度要求都很高的一个控制系统。系统采用 EP9315 芯片所提供的网络控制、内存管理、USB 接口等功能资源和 ARMLinux 系统平台，自行设计分布在现场的网络智能节点。本文提出了采用 P2P 网络技术来实现 CSRe 的电子冷却部分各节点间的网络通信和拓扑的方法。基于高端 FPGA 和 ARM 嵌入式系统为基础的硬件平台，采用硬件算法运算器设计基于神经网络 BP 算法的神经网络节点控制器，对 CSRe 的电子冷却部分磁场电源的自动控制提供硬件支持和软件方案。该系统设计的完成为高实时性、高精度、高稳定性人工智能控制器的实现提供了一条可行途径。

参考文献 (References):

- [1] Xia Jiawen, Zhan Wenlong, Wei Baowen, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2002, **A488**: 11.
- [2] Xia Guoxing, Xia Jiawen, Liu Wei, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 2003, **15**(8): 809(in Chinese). (夏国兴, 夏佳文, 刘伟等. 强激光与粒子束, 2003, **15**(8): 809.)
- [3] Yang Xiaodong. High Power Laser and Particle Beams, 2000, **12**(6): 771(in Chinese). (杨晓东. 强激光与粒子束, 2000, **12**(6): 771.)
- [4] Mao Lijun, Yang Xiaodong, Li Jie, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 2005, **17**(7): 1106(in Chinese).
- [5] (冒立军, 杨晓东, 李杰等. 强激光与粒子束, 2005, **17**(7): 1106.)

Design of Control System for CSRe Cooling Equipment Based on P2P Technology^{*}

HE Xu-chun^{1, 2}, QIAO Wei-min¹, JING Lan^{1, 2}, GUO Yu-hui^{1, #}, Long Yin-dong^{1, 2}

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: In the HIRFL-CSR project, it needs the high performance requirement in real time and reliability for the control system of CSRe's cooling equipment—Cooler. Simultaneously, the running environment of the Cooler is very complex and it is difficult to predict various kinds of interference. To solve these problems, we focus on the improvement on the control system of the Cooler. The high performance FPGA and ARM embedded systems are used to realize the beam commissioning automatically, and the P2P(Peer to peer) technology and the neural network algorithm are adopted to implement the automatic control of the Cooler. The system provides the advanced hardware platform and the design proposal for the cooling control system.

Key words: electron cooling; magnet power-supply; neural network; embedded system

* **Received date:** 21 Jul. 2009; **Revised date:** 20 Aug. 2009

* **Foundation item:** Cooling Storage Ring of National Key Science Engineering Project (06HIRFL200)

Corresponding author: Guo Yu-hui, E-mail: guoyuhui@impcas.ac.cn