

基于无线分布式的仪器预约与控制系统研究与实现

谈文蓉^{1,3}, 陈毅红^{1,2,3}

(1 西南民族大学 计算机科学与技术学院, 四川 成都 610041;

2 西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031;

3 计算机系统国家民委重点实验室(西南民族大学), 四川 成都 610041)

摘 要: 该系统基于射频芯片全分布式无线通信协议, 具有载波检测和冲突避免功能, 解决多对一通信问题; 采用主从一致性更新策略, 解决分布式系统数据一致性问题。基于这些技术, 成功研制了一套仪器设备控制管理系统, 实现了仪器设备预约与使用过程控制相结合, 提高了实验室仪器设备管理的自动化水平。

关键词: 仪器; 分布式控制; 通信协议; 数据一致性; 预约

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)01-0114-06

Instrument Reservation and Control System Based on Wireless Distributed Technology

TAN Wen-rong^{1,3}, CHEN Yi-hong^{1,2,3}

(1 School of Computer Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China;

2 School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3 Key Laboratory of Computer system, State Ethnic Affairs Commission, Chengdu 610041, China)

Abstract: A distributed instrument control system based on wireless communication is proposed with a view to convenient installation of the system. The fully distributed wireless communication protocol based on the radio frequency chip is provided with carrier detection and collision avoidance mechanism to solve the problem that more than six stations can not transmit their packets to one station simultaneously. Furthermore the proposed master-slave update strategy has solved the data consistency problem in the distributed system. Based on these core technologies, the instrument control system is successfully developed and applied to the key laboratory.

Key words: instrument; distributed control; communication protocol; data consistency; reservation

1 引言

科学仪器设备的共享管理是高校实验室等科学研究机构一项重要工作, 仪器设备共享能够通过开放方式得以实现^[1-2]。现有仪器设备管理系统处于信息管理阶段, 设备信息采集需要手工录入系统, 其实时性难以得到保证, 不利于设备共享, 也就产生了仪器设备使用效益低下问题。设备使用过程管理也是

需要特别考虑, 通过使用过程管理可以增加使用者的仪器设备爱护意识、责任意识, 达到提高仪器安全正常运行率; 也为系统提供使用时间等基本使用过程信息, 为仪器设备管理决策服务, 提高仪器设备的科学化水平。

如何提高仪器设备使用效益和保证仪器设备的安全正常运行是开放过程必须考虑的问题。当仪器设备种类和数量较多时, 手工方式难以保证仪器设

收稿日期: 2014-03-18; 修回日期: 2014-05-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61175122); 四川省科技厅项目(2014GZ0006, 2013JY0188); 成都市科技惠民计划项目(2013H056); 四川省教育厅科技项目(14ZA0368); 中央高校基本科研业务专项资助项目(2014NZYQN54); 西南民族大学一体两翼项目(2012NYT001)。

备使用的高效益和有效实现仪器设备安全正常的运行。无线通信是利用电磁波信号可以在自由空间中传播的特性而进行信息交换的一种通信方式,利用无线通信技术这一特点,对仪器设备共享进行管理将是一种有效途径。

仪器设备管理主要包括仪器设备预约、使用过程控制管理等。目前这两个过程是分离的,如戴亚平等^[3]提出系统虽然有仪器远程控制,但预约功能很弱,且没有仪器设备过程控制,以及记录用户使用时间等相关信息。罗虹等^[4]提出基于 Web 的网络预约系统,但没有仪器设备使用过程控制功能。钱亚东等^[5]提出符合贵重仪器设备网络化共享特点的共享方式及其关键支撑系统,不具备设备预约功能,也无仪器设备过程控制。AngelValera 等人^[6]给出了一种虚拟过程实验和远程实验室的建设方案,但没有智能预约算法。Huang Hong-zhi^[7]提出了一种基于 web 的化学实验室信息系统,不具有仪器使用过程控制功能。总之,从目前一些现有文献和专利可以发现,在现有仪器管理系统中,有些仅具有部分功能,即使涉及这两个方面,要么不完善,要么停留在概念设计之中。因此,将仪器设备预约与使用过程控制全面有机地结合起来,研制一套成熟的仪器预约与控制系统,对于提高实验室仪器设备共享水平是必要的。用户通过该系统对仪器设备预约后,在规定时间内,采用 RFID 技术^[8]经过身份验证后使用所预约的仪器设备,将显著提高仪器设备管理的自动化水平,确保仪器设备使用效益和有效保证其安全正常运行。网络技术的广泛应用也为上述预约提供了极大方便,用户可以随时通过网络预约信息系统以远程访问方式实现在线预约。

当多个用户在网络上并发预约仪器设备时^[9],一个用户预约请求中可能包括对多个仪器设备使用的要求,在此情况下,如何在用户间安排仪器设备使用,不仅要考虑仪器使用效益,还应该考虑到用户满意度。比如说安排一个用户连续地使用仪器设备时,可以使他高效率地完成实验工作,且满意仪器设备安排;如果安排的仪器使用时段不连续,会影响实验进度,用户满意度下降。此外,还应当考虑到仪器设备需要维护等原因,会令可用时间分散。如何最优化地安排这些仪器设备的使用是并发预约仪器时需要解决的关键问题。邵科峰等^[9]采用仪器投标方式来解决并发预约最优问题,但他假定每个用户只请求一种仪器设备,没有考虑用户一次请求中可能包括多个仪器设备需求。而且该方法将各个仪器独立开

来优化,不利于获得整体最优化。金锋赫等^[10]考虑车间使用时段,提出一种装配作业调度,但没有考虑使用连续性问题,不适用于并发预约仪器设备环境。

为了将预约过程和使用过程控制相结合,考虑仪器设备分布范围广,可采用分布式控制系统来对仪器设备进行控制,并与网络预约信息系统有机融合。分布式控制系统由多台计算机分别控制不同设备,各自构成子控制系统,各子系统之间通过网络互连^[11-12]。整个系统在逻辑上、功能上、物理上和地理位置上均分散,系统根据它的总体目标与任务可进行综合协调与分配,一般采用有线通信方式^[12-15],需要专门布线。考虑到仪器设备分布范围的广泛和系统布置的方便,可采用无线通信技术来满足这一要求。为此,需要解决这种无线通信系统的无线信道共享问题,以及基于无线通信方式所构建的分布式系统中数据一致性问题。

基于上述分析,本文考虑系统布置实施方便,融合无线通信和有线通信技术,将仪器设备预约与使用过程控制相结合,提出一种基于无线分布式最优化仪器预约与控制系统,以达到提高仪器设备控制管理自动化水平目的。

2 系统结构及控制策略

用户在线预约某些仪器后,分布式仪器控制系统将该预约信息通过有线和无线网络方式送达直接控制仪器的智能控制器。通过 ID 身份验证后,控制器开启仪器,同时记录仪器使用信息,然后在结束使用后将这些使用信息记录在控制系统的中心数据库中,供查询与分析仪器使用情况,为仪器管理决策服务。

总体结构如图 1 所示,由四级构成,包括现场控制级、控制管理级、仪器综合管理级和用户级。现场控制级由多台智能控制节点组成,这些智能控制节点是一种嵌入式系统^[16-18],主要功能包括以下几点:通过无线方式接收来自控制管理站的仪器预约信息和用户身份信息;用户身份验证通过后自动开启仪器,然后用户就可以使用仪器进行工作;接收仪器维护人员输入的仪器状态信息并通过无线方式传送到控制管理站;显示仪器当前状态、使用者和工作时间等。控制管理级主要功能是接收来自仪器管理系统的仪器预约信息。系统接收到各用户的预约信息后,基于各仪器设备可用时段,尽可能地安排每个用户连续使用仪器设备,并将之通过无线方式采用轮循式通信协议向智能控制节点传送;接收智能控

制节点发送的仪器状态信息和用户验证信息;向门禁与预约发布站传送用户与预约信息;接收仪器综合管理级的仪器预约信息与用户身份信息,并向它传送仪器状态信息和用户验证信息.仪器综合管理级是对整个仪器进行分布式控制管理,包括支持用户在线预约,它包括支持用户在线预约的 Web 服务器和存储仪器运行等相关数据的数据库服务器.用户级支持网络在线预约,在预约成功后通过 GSM 短信告知用户.

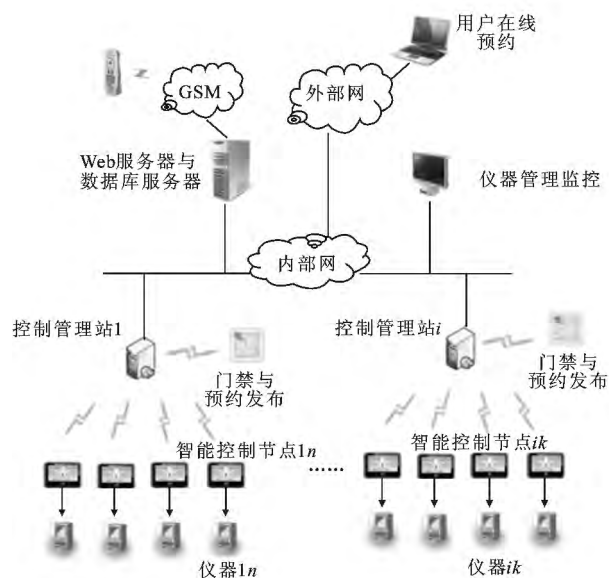


图1 仪器控制总体结构

3 无线通信协议

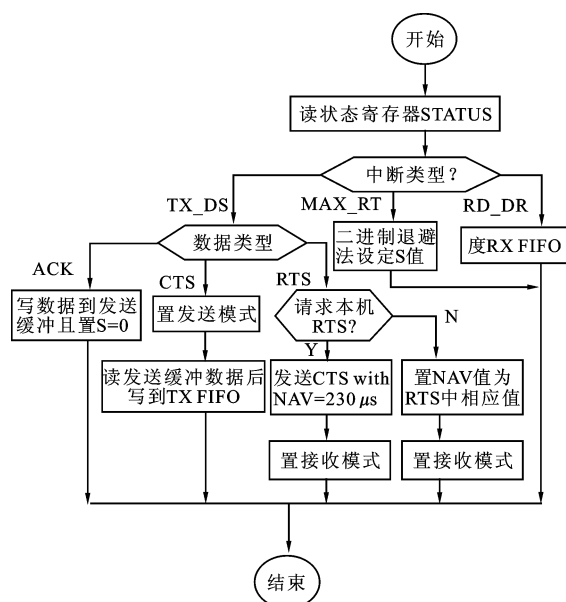
本系统通信协议基于无线射频模块 nRF24L01,分为二层,即物理层、链路层.该模块是一种带双 FIFO 队列的半双工通信器件,具有发送模式、接收模式、空闲模式.它的基于链路层的 Enhanced ShockBusrt 具有自动数据包的组装、定时、自动应答和重传功能,不会增加主控制器 MCU 复杂性,最大可能实现该通信模块与 MCU 的工作并行性.若开启自动应答,nRF24L01 在发射数据后马上处于接收模式,以接收应答信号.若收到应答 TX_DS,则认为本次发送数据成功,清除发送队列 TX FIFO 中数据,并以中断方式告知 MCU;如未收到应答,则经过设定的重发时间后自动重新发射该数据(自动重发已开启),若超过所设定重发次数(ARC),以中断 MAX_RT 通知 MCU,同时 TX FIFO 中数据保留用于下次重发.最后发射成功时,若 CE 为低则 nRF24L01 进入空闲模式 1;当 CE 为

高且 TX FIFO 中有数据,则进入下一次发射;当 CE 为高且 TX FIFO 中无数据,则进入空闲模式 2.发送队列满时,位 TX_FULL=1.接收数据时,先将 nRF24L01 置为接收模式,接着延迟一段时间后处于接收状态.当检测到有效的 CRC 和地址时,将数据存入在接收队列 RX FIFO 中,通过中断 RX_DR 通知 MCU 读取数据.如此时自动应答已开启,进入发射状态以回传应答信号.最后成功接收时,当 CE 变为低电平时,则进入空闲模式 1.此外,当接收功率大于 -64 dBm 时寄存器 RPD 位 0 置为 1,否则为 0.由此可见 nRF24L01 工作在物理层和具有部分链路层功能.

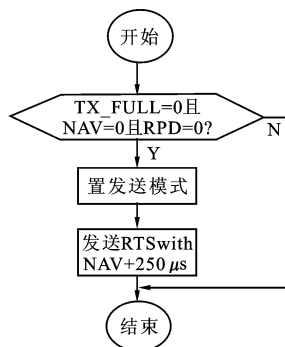
该模块不支持多于六个站同时向一个站传送数据,然而本系统中,往往多于六个智能控制节点在开机时同时向控制管理站传送其数据.为了解决这一矛盾,为本系统专门设计了基于该模块的高效率无线通信协议.无线信道数据包碰撞是影响无线通信协议效率的主要因素,必须减少数据包碰撞.为此所设计通信协议在启用 nRF24L01 的 Enhanced Shock Busrt 自动应答和自动重传功能条件下,采用具有载波检测和冲突避免功能的分布式控制机制来实现.

该通信协议初始化包括设置模块通信地址,设置通信频率、自动应答和自动重传功能等. S 为退避变量,用于避免由于信道忙引起所发送数据包碰撞,其初值 $S=0$,为避免频繁重发引起过多冲突,采用二元退避法修改 S 值^[20].协议是由 MCU 和 nRF24L01 共同完成,MCU 实现协议部分主要在中断服务程序中,该中断服务算法如图 2 所示.

如图 2(a)所示,在信息到达中断服务程序中,MCU 通过读状态寄存器 STATUS 来分别处理:①当 nRF24L01 接收到数据时,产生数据到达中断(TX_DS),根据接收到的数据类型分别进行处理:当为本站发送请求(RTS)的响应(CTS)时,则将 nRF24L01 置为发送模式,将待发送数据写入 nRF24L01 发送缓冲区内;当接收到 RTS 时,如果 RTS 中地址指示本站为接收站时,回传 CTS,CTS 中包括信道分配向量 $NAV=230\ \mu s$ (nRF24L01 的数据速率为 1 Mb/s,待发送数据有 28 个字节,故每次数据传送的信道占用时间至少为 $224\ \mu s$),以让附近站知道有站要占用信道时间为 $230\ \mu s$,在此期间,这些站不发送任何数据,从而减少数据包碰撞;反之如果 RTS 中地址指示本站不是目标站时,置本站 $NAV=250\ \mu s$;如目标站成功接收数据确认命令



(a)射频模块信息到达中断请求处理



(b)S中断处理

图2 通信协议

ACK,则MCU写入新数据到nRF24L01发送缓冲区内、置S为0。②当nRF24L01接收到最大重发次数中断(MAX_RT)时,采用二进制指数退避算法修改S值。③当MCU接收到数据到达中断RD_DR时,则读取nRF24L01缓冲区内数据。

退避变量S为零时,则MCU执行S中断服务程序。在该中断服务处理中,当nRF24L01发送缓冲区满、且表明信道空闲的RPD=0和网络分配向量NAV=0时,将nRF24L01置为发送模式,然后发送参数NAV值为250 μs的请求(RTS)命令给目标站。定时器S中断服务程序如图2(b)所示。

4 分布式系统数据一致性协议

本分布式系统中的关键数据是用户预约数据和仪器设备状态数据。用户预约数据在用户预约时产生,然后通过有线通信和无线通信方式传送并保存在智能控制节点、控制管理站、Web服务器和数据

库服务器、门禁和预约发布系统和仪器管理与监控系统中。有时这些预约数据在局部会因修改而变化,如果不及及时更新其他子系统相关数据,会引起仪器设备过程控制失效问题。局部数据发生变化的一个例子是,仪器设备故障时临时更改仪器设备的使用。仪器设备状态数据也会因仪器设备故障和故障恢复而首先在智能控制节点处变化,过程控制失效问题和无效预约问题本质上是分布式系统数据不一致性问题^[21]。在基于无线通信的分布式系统中,该数据不一致性问题尤其突出。

本仪器控制系统数据分布情况:仪器室内门禁和预约发布站、控制管理站和所有智能控制节点等子系统中均存储本仪器室内所有仪器设备预约数据,以便于各智能子系统均能提示用户其正确的仪器设备和提高系统可靠性。仪器设备状态数据存放在中心数据库中,控制管理站保存有本仪器室内的所有仪器设备状态数据,各智能控制节点保存所控制仪器设备状态数据。

由于干扰可能引起子系统间通信失败,不能采用事务机制来实现数据一致性,而要采用主从数据一致性更新策略,即由数据变化所在的节点发起更新过程,发起节点称为更新协调节点,其他相关节点称为更新参与节点。数据更新协议如下:(1)每个更新协调节点建立更新队列,队列中存放待更新请求,更新请求包括更新参与节点、待更新数据、更新时间;(2)更新协调节点一旦有数据更新,在队列中增加更新请求,然后则向本仪器室中所有节点广播;(3)收到更新请求的更新参与节点更新本地数据,并向更新协调节点回复,协调节点收到回复后删除队列中参与节点对应的更新请求,然后更新协调节点在一个10 s延迟后,判断该更新所涉及的所有更新请求是否被删除完,如果删除完则表明更新成功;(4)广播更新请求10 s延迟后,队列中仍有该数据更新有关的更新请求,然后采用二进制退避算法设置间隔时间并再次向更新参与节点发送相应的更新请求,超过10次后,不再发起更新请求;(5)各节点启动后向本仪器室广播其启动消息,有更新请求的节点收到该启动消息后,向其发送数据更新请求;(6)在更新过程中存在读-写冲突,以写优先,在写-写冲突时,以更新请求中更新时间为序选择更新。

5 系统实现

智能控制节点和控制管理站硬件系统设计如图3和图4所示。Web服务器采用IIC(支持ASP语

言), 系统界面采用 Dreamweaver 设计; 数据库服务器采用 SQL Server 2000; 智能控制节点软件采用 Keil C51, 用 STC-ISP 进行程序下载相关驱动; 控制管理站包含 IAR 4.21 (MSP 430 程序开发及下载) 相关驱动; 仪器管理监控系统采用 VC6.0 (MFC 程序开发, 采用 comdlg32 对话框组件)。

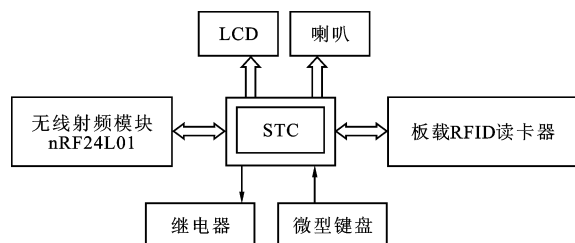


图3 智能控制节点硬件结构

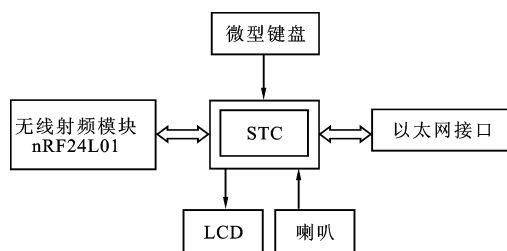


图4 控制管理站硬件结构

用户通过在线预约系统, 提交仪器设备使用申请。预约成功后, 用户按照预约安排, 到指定仪器室, 通过仪器处的智能控制节点身份验证后, 控制节点自动开启仪器, 就可以使用仪器设备, 使用完后, 系统记录各用户使用信息于中心数据库中, 为仪器管理提供详实数据。各仪器室设备状态监控如图5所示, 在该系统中, 实验室管理人员可以在中心监控室大屏幕看到各仪器设备的状态, 能够及时掌握整个实验室当前仪器设备状态。图5左下部所示为控制管理站硬件系统, 右下部为智能控制节点系统, 图6所示为仪器室布置场景。

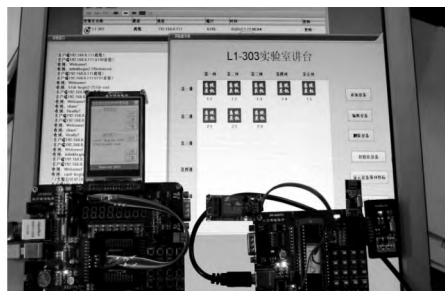


图5 仪器控制系统实物图



图6 仪器室系统布置场景

6 结束语

为提高仪器设备在开放时的使用效益和安全正常运行, 研制了基于无线分布式仪器预约与控制系统, 该系统采用基于通用的射频芯片所设计的高效率分布式无线通信协议, 实现了子系统间可靠通信, 运用主从数据一致性更新策略有效地解决了基于无线通信的分布式系统数据一致性问题。应用该系统于实验室仪器设备共享管理, 明显提高了仪器设备共享管理的自动化水平。

参考文献:

- [1] 蔡昭权, 卢庆武, 庄冬梅. 基于 .NET 的网络化多功能虚拟仪器系统的研究[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(6): 40-43.
- [2] Cao Pan, Hui Ding, Hong Yuan Wang. The research and design of instrument management system based on wireless HART technology [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 241(11): 2350-2353.
- [3] 戴亚平, 田德振, 董芳艳. 混合结构的互联网资源共享和远程控制实验室[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(2): 250-255.
- [4] 罗虹, 胡亮, 卢海峰. 基于 Web2.0 的设备共享系统的设计与实现[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(10): 1638-1643.
- [5] 钱亚东, 祁国宁, 李响烁, 等. 基于网络的仪器设备共享研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(10): 1169-1174.
- [6] Valera A D, Ez J L, Vall SM, et al. Virtual and remote control laboratory development [J]. IEEE Control Systems Magazine, 2005(2): 35-39.
- [7] Huang Hong-zhi, Cai Yan-rong. Web-based design of the management information system for the chemical laboratory in the university[J]. International Conference on Computer Design and Applications (ICCD), 2010(5): 292-293.

- [8] 陈毅红,冯全源,校景中. 基于 MAS 的 RFID 物联网数据集成中间件研究与实现[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(4): 1-5.
- [9] 邵科峰,刘连臣,吴澄. 设备共享环境下的并发预约问题研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(7): 1117-1121.
- [10] 金锋赫,孔繁森,金东园. 基于设备可用时间约束的装配作业车间调度规则[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(9): 1727-1732.
- [11] 王明辉,马书根,李斌,等. 可重构星球探测机器人控制系统的设计与实现[J]. 机器人, 2005, 27(3): 273-278.
- [12] 邓小龙,张建林,陆锦军,等. 纺织空调系统的模糊 PID 控制研究及应用[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4): 763-769.
- [13] Chunjie Yang, Ji Yao. The design of distributed control system based on CAN Bus [J]. International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011(8): 3956-3958.
- [14] Xu Liangfei, Hua Jianfeng, Li Xiangjun, et al. Distributed control system based on CAN bus for fuel cell/battery hybrid vehicle[C] // IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Seoul, Korea; IEEE, 2009:183-188.
- [15] Yuxiao Zhang, Xianqun Zeng, Xinjie Wang, et al. Distributed control system design for quadruped robot based on CANopen network[J]. International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, 2010(1): 633-636.
- [16] 陈毅红,冯全源,李高平,等. 基于层次体系结构的嵌入式监控系统研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5):1749-1752.
- [17] 甘岚,龚礼武. 基于嵌入式 Linux 的细胞特征提取算法设计[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(8): 82-85.
- [18] 霍华,崔欢欢. 一种新的嵌入式 Linux 实时调度算法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(6): 138-141.
- [19] 陈毅红,张志杰. 基于 GPS 和 GSM 移动安全终端的硬件系统设计[J]. 西南民族大学学报:自然科学版, 2008, (2): 393-396.
- [20] Andrew S Tanenbau. 计算机网络[M]. 潘爱民,译. 4 版. 北京:清华大学出版社, 2004: 233-234.
- [21] 于晓鹏,陈建孝,李永丽. 基于消息队列的分布式系统数据一致性方法研究[J]. 吉林大学学报:信息科学版, 2011, 29(3): 258-26.

作者简介:

谈文蓉 女,(1968-), 硕士, 教授. 研究方向为物联网与机器翻译.

陈毅红 男,(1972-), 博士研究生, 副教授, 中国计算机学会高级会员. 研究方向为 RFID、物联网、嵌入式系统、计算机系统结构. E-mail:cyhswpi@126.com.

(上接第 113 页)

- [3] 李洪兴. 变论域自适应模糊控制器[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 1999, (01): 32-42.
- [4] 陈富国,邓冠男,谭彦华. 一种改进的三级倒立摆变论域模糊控制器设计[J]. 控制理论与应用, 2010, (02): 233-237.
- [5] 邵诚,董希文,王晓芳. 变论域模糊控制器伸缩因子的选择方法[J]. 信息与控制, 2010, (05): 536-541.
- [6] 喻飞,李元香,魏波,等. 一种基于去个性化理论的粒子群算法[J]. 控制与决策, 2013, (10): 1520-1524.
- [7] 包广清,毛开富. 改进粒子群算法及其在风电系统中的应用[J]. 控制工程, 2013, (02): 262-266+271.
- [8] 姬伟,李奇. 自适应模糊 Pid 控制器在跟踪器瞄准线稳定系统中的应用[J]. 控制理论与应用, 2008, (02): 278-282.
- [9] 胡大军. 基于模糊控制的舰载光电跟踪伺服系统设计[D]. 武汉:武汉工程大学, 2012.

作者简介:

罗健 男,(1990-), 硕士研究生. 研究方向为自动控制、数字系统设计与信号处理. E-mail:lericky@126.com.