

基于 ZigBee 和 GPRS 的班级考勤系统设计*

杜 军 马 俊 周亚强
(青海师范大学计算机学院 西宁 810008)

摘 要: 针对人工完成的班级考勤任务存在劳动量大、效率低、实时性差和管理粗放等问题,设计了一种基于 ZigBee 和 GPRS 网络的班级考勤系统,由 RFID 读写器和 ZigBee 通信模块组成的终端节点对以 nRF24LE1 为核心的电子标签进行读写,电子标签信息由 ZigBee-GPRS 网关传输至 GPRS 网络,再经 Internet 网络上传至监控中心,实现班级考勤任务的远程监测和管理。介绍了系统的总体结构,给出了 WSN 网络各功能节点的软硬件设计及上位机软件设计。系统测试表明,该系统能够对电子标签进行远程识别,且电子标签信号发射距离为 15~65 m,满足系统设计的要求,具有良好的应用前景。

关键词: 射频读写器;无线传感器网络;CC2530;nRF24LE1;GPRS

中图分类号: TP919.72 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5030

Design of class attendance system based on ZigBee and GPRS

Du Jun Ma Jun Zhou Yaqiang
(College of Computer Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Traditional class attendance task is completed manually, which appears many problems such as large amount of tasks, low efficiency, poor real-time performance, system is designed based on ZigBee and GPRS network. The terminal nodes composed of RFID reading-writing device and ZigBee communication module can control reading and writing of electronic tag whose core is nRF24LE1. Information of electronic tag is transferred from ZigBee-GPRS gateway to GPRS network, and then is uploaded to the monitoring center according to the Internet network to come true remote monitoring and management of the class attendance task. The overall structure of system is introduced, and the WSN's software and hardware design of each function nodes and the upper machine are given in this paper. The test of system shows that it can identify the information of electronic tag remotely, and signal launch distance of electronic tag is about from 15 to 65 meters, which is met requirement of system showing a good application prospect.

Keywords: RFID reader; WSN net; CC2530; nRF24LE1; GPRS

1 引 言

学生出勤率通过班级考勤得知,是学校教学管理的重要指标之一。学校存在着地势复杂,给班级考勤人员的工作带来极大不便,而传统的班级考勤大多依靠人工完成,任务量大、实时性差、效率低下和管理粗放。针对这些问题,以电子标签 nRF24LE1 芯片、微处理器 MSP430F449、射频收发芯片 CC2530 和 MC52i 模块为核心设计了基于 ZigBee 和 GPRS 技术的班级考勤系统。射频识别^[1-2](Radio Frequency Identification)是一种非接触的自动识别技术,其基本原理是利用射频信号和空间耦合传输特性对被

识别物体实现自动识别。RFID 系统一般由天线、读写器和电子标签组成。传统的 RFID 系统采用读写器与 PC 上位机通过有线的形式(以太网、RS232)进行通信,存在灵活性差、数据传输距离短、成本高等缺点。与有线传输系统比较,ZigBee 无线传输技术可实现数据信息的无线双向传输,省去了布线的麻烦,而且 ZigBee 组网高效、快捷、简单。文献[7]《基于 ZigBee 技术的无线 RFID 读写系统》和文献[9]《基于 ZigBee 技术的无线射频识别系统硬件设计》分别设计了基于 ZigBee 技术的无线 RFID 读写系统和无线射频识别系统,但是基于 ZigBee 技术的无线传感器网络 WSN(wireless sensor network)具有一定的局限性,

收稿日期:2015-05

* 基金项目:教育部春晖计划(Z2011019)项目

因为传输距离短,在比较复杂的校园环境中利用 WSN 对数据信息的传输影响较大,无法对数据信息进行远距离和可靠传输,因此需要通过其他网络技术对其拓展。通用分组无线业务 GPRS^[3](general packet radio service)具有合理组网方式、较强数据纠错能力和可靠数据传输机制等特点,是一种面向远距离传输的通信方式,通过 ZigBee 网络和 GPRS 网络融合技术,形成了一种在 PLAN 内利用 WSN 网络传输数据、在 WLAN 内利用 GPRS 网络传输数据的网络结构。解决了系统不能远距离传输的问题,从而实现了班级考勤任务的远程监控和管理,具有广阔的应用前景。

2 系统总体设计

根据 ZigBee 和 GPRS 2 种网络的优势互补,该系统采用 ZigBee、GPRS 和 Internet 3 种网络结构将班级考勤系

统接入互联网的分布式系统架构,如图 1 所示。该系统主要由各班级电子标签, ZigBee 终端节点、ZigBee 路由节点、协调器节点、GPRS 模块和监控中心组成,其中 ZigBee 无线传感器网络^[4-5]包括终端节点、路由节点和协调器节点。而 ZigBee 终端节点由 RFID 读写器和 ZigBee 通信模块组成,由 RFID 读写器对电子标签数据信息进行读写操作,然后再由 ZigBee 通信模块进行上传。路由节点将终端节点对电子标签识别的数据信息进行转发,同时接受远程监控中心下发的控制命令。由协调器节点和 GPRS 通信模块构成的 ZigBee-GPRS 网关将 GPRS 分组数据通过 GPRS 基站发送到 SGSN(serving GPRS support node), SGSN 与 GGSN(gateway GPRS support node)之间进行通信, GGSN 对标签实时数据信息进行相应处理,再发送到与 Internet 网络连接的远程监控中心,从而实现了系统对电子标签的远程识别和管理。

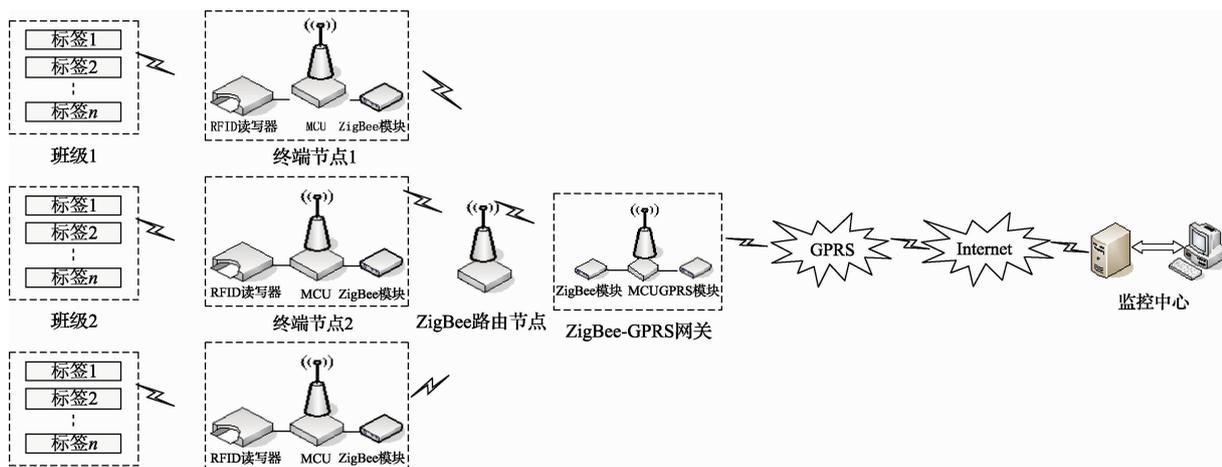


图 1 班级考勤系统总体架构

3 系统硬件设计

3.1 电子标签设计

电子标签是系统的应用终端,转载着其他物品及自身的数据信息,如该系统电子标签不同的 ID 号代表不同的学生。根据电子标签供电方式的不同,分为无源标签(Passive Tag)、有源标签(Active Tag)和半有源标签(Semi-active Tag)。根据学校教室的实际情况,该系统采用有源标签,与无源标签相比,不但具有无源标签的特征,还具有对读写器发射功率要求低、数据传输可靠、有效读写距离远的特点。电子标签硬件电路如图 2 所示。

在电子标签电路中,电路右边是匹配电路,在 L_3 和 C_5 之间进行阻抗变换, L_3 和 C_5 形成了一个 LC 低通滤波器,能够抑制谐波。在接收模式下由 C_4 与 L_2 的短路产生本振泄漏,它是一种共模信号。由于对称的匹配网络,两个天线端口拥有相同的阻抗值,确保 TX 模式下 VDD_PA

将按原设计输出。 C_3 和 C_4 组成直交流耦合,直流通路通过 L_1 和 L_2 。为了达到降低电子标签功耗和发射距离最大化的平衡点,电子标签采用 0 dBm、-6 dBm、-12 dBm 和 -18 dBm 4 种不同的信号发射功率,不同的信号发射功率所发射的距离不同,其中 0 dBm 为最大信号发射功率。同时对电子标签设置了 2 种工作状态:主动发送(休眠-接受-发送)和被动接受(休眠-接受),实现降低电子标签功耗,延长电子标签电池寿命。电子标签采用的 nRF24LE1^[6] 芯片是 Nordic 公司推出的一款带增强型 8051 内核的无线收发芯片,可工作于 2.4~2.5 GHz 的 ISM 频段,不需要任何信道的通信费用,用户无须申请频率使用许可证,方便用户应用与开发。最大空中传输速率为 2 Mbps,灵敏度为 -94 dBm,最大信号发射功率为 0 dBm。在理想状态下,室内传输距离可达 30~40 m,室外传输距离可达 100~200 m。

制命令。其采用 TI 公司推出的能实现 2.4 GHz IEEE 802.15.4 的射频收发 CC2530^[9], 具有灵敏度高、抗干扰能力强等特点, 尤其是 CC2530 芯片的超低功耗, 在被动模式 (RX) 下, 电流损耗为 24 mA, 在主动模式 (TX) 时, 电流损耗为 29 mA, 3 种模式的电流损耗分别为 0.2 mA、1.0 μ A 和 0.4 μ A, 特别适合有低功耗要求的场合。

3.3 网关设计

ZigBee-GPRS 网关由 ZigBee 协调器、微处理器 MSP430 和 GPRS 模块 MC52i 组成, 如图 4 所示。微处理器与 ZigBee 协调器之间通过 SPI 总线进行通信, 与 GPRS 模块 MC52i 通过 RS232 通信。协调器节点负责网络维护和数据信息传输。网络维护包括组建 ZigBee 网络、为节点分配地址和建立绑定表。协调器节点对终端节点采集的实时数据上传到监控中心, 同时对监控中心的控制命令进行下发, 以及终端节点的入网管理。MC52i 无线模块是西门子公司生产的双频 GSM/GPRS 模块, 内嵌 TCP/IP 协议栈, 具有体积小、重量轻、低功耗等特点, 支持数据、语音、短信息业务, 采用 AT 命令格式初始化 GPRS 模块, 利用 PPP 协议将协调器网关连接到 GPRS 网络, 从而获得网络运营商分配的 IP 地址, 并与监控中心建立连接。

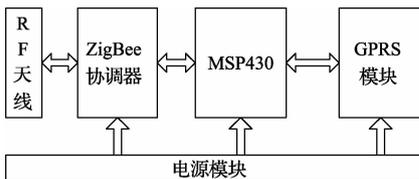


图 4 ZigBee-GPRS 网关硬件结构

4 系统软件设计

4.1 电子标签软件设计

该系统电子标签采用纽扣电池供电, 为了降低电子标签功耗, 延长电池寿命, 标签采用主动式设计, 通过 RTC 定时唤醒, 标签工作在掉电和休眠状态。通过配置 CONFIG 寄存器来切换 4 种工作模式: 掉电、休眠、接收和发送模式。为了避免标签相互干扰, 采用载波监听和防碰撞算法^[10], 当载波侦听到信道忙时, 芯片自身的随机数产生器产生一个随机数, 结合定时器延迟信号的发送, 从而实现干扰目的。当标签处于接收模式时, 能对电子标签的 ID 号、信号发射功率和发射周期进行修改, 满足系统的多功能需求。如图 5 所示为电子标签程序流程。

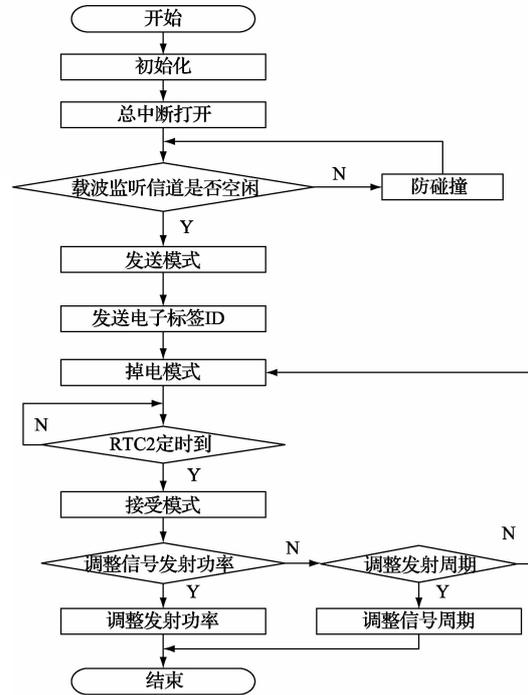


图 5 电子标签流程

标签相关函数如下:

1) 随机数发生器函数

```
void rng_init(void)
{ RNGCTL=0X80; } //启动随机数发生器
```

2) RTC2 中断服务函数

```
void RTC2_IQR(void) interrupt INTERRUPT_TICK
```

3) 发射模式

```
void TX_Mode(void)
```

```
{ RFCE=0;
SPI_RW_Reg(FLUSH_TX,0); //清除 TX 的 FIFO
SPI_RW_Reg(WRITE_REG + CONFIG, 0x0e); //
RX_DR 产生中断
```

```
SPI_Write_Buf(WR_TX_PLOAD, tx_buf, TX_
PLOAD_WIDTH); RFCE=1; } //写数据到 FIFO
```

4) 接收模式

```
void RX_Mode(void)
```

```
{ RFCE=0;
SPI_RW_Reg(WRITE_REG + CONFIG, 0X0F);
RFCE = 1; }
```

4.2 ZigBee 终端节点软件设计

无线传感器网络 WSN 的终端节点通过双通道 RFID 读写器对电子标签进行读取 ID 信息, 将读取的实时数据

信息经路由节点转发至协调器节点,同时接受路由节点的控制命令,如图6为终端节点程序流程图。首先,RFID读写器、数据处理模块和 ZigBee 无线传输模块进行上电初始化,以及 ZigBee 协议栈初始化,设备应用层向网络层发送原语申请加入网络,网络层接收到请求后,扫描周围网络以监听协调器组建的网络是否存在,找到合适的 PAN 后立即向 MAC 层请求关联,MAC 层关联后响应网络层关联请求,网络层再向设备应用层应答网络加入结果。若入网成功则给节点分配地址并进入低功耗模式即休眠模式。系统中终端节点采用电池供电,为了降低节点功耗,采用定时唤醒中断的方式采集和发送数据。

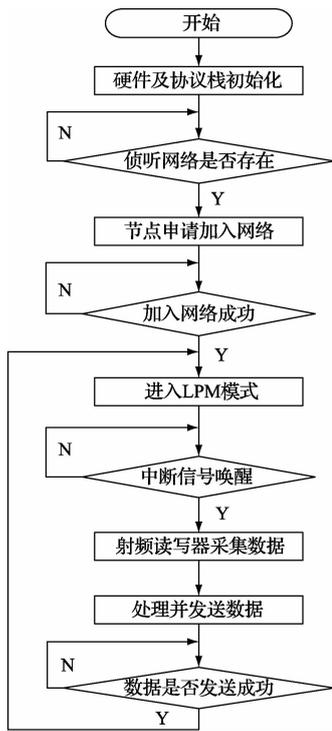


图6 ZigBee 终端节点流程

4.3 ZigBee 协调器网关软件设计

系统利用 ZigBee 网络的 Z-Stack 协议栈进行无线通信,Z-Stack 协议基于轮转查询式^[11]操作系统来实现对监控中心控制命令和终端节点采集的数据信息的收发,如图7所示为协调器网关节点程序流程。协调器节点负责 ZigBee 网络和 GPRS 网络之间通信和网络维护,网络维护包括建立 ZigBee 网络、为节点分配地址和建立绑定表。而网络的创建是由应用层向网络层管理实体发送一条 Nlme_Network_Formation_request 请求语句,请求初始化协调器网关设备。组建网络开始后,网络层请示 MAC 层对物理层(PHY)有效信道进行能量扫描监测,当管理实体收到能量扫描监测结果后,进行信道选择和确定 PAN 标识,并以 16 位网络地址运行新建的 ZigBee 网络,随着网络层向应用层发送 Nlme_Network_Formation_confirm 语句之后,标志网络创建成功。然后节点申请加

入网络,准许加入并分配一个 16 位的网络短地址。若入网成功,则终端节点和协调器节点进行绑定。协调器始终处于收发状态,而子节点处于查询状态,当子节点接受到监控中心命令时,协调器节点暂时将属于自身子节点数据信息保存在缓冲区中以便子节点通过一定的时间间隔向其查询,通过读取缓冲区的数据,来判断是否属于自己的数据,若有属于自己的数据,则取回并执行相应处理;若没有,进入下一轮状态查询。数据的传输采用了碰撞避免机制和完全确认机制^[12],且网络层和 MAC 层都有安全分级和安全策略,可以灵活地确定其安全属性,整个网络安全性和可靠性都比较高。

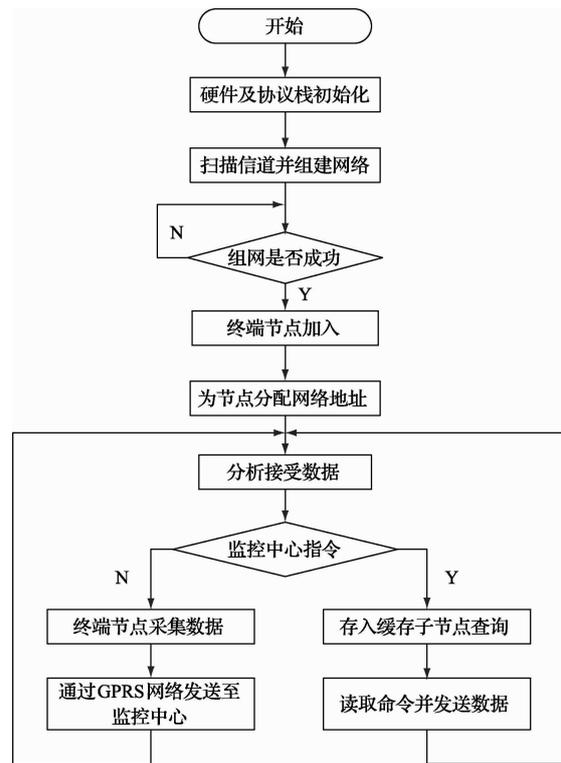


图7 ZigBee 协调器网关流程

4.4 上位机应用软件设计

该系统上位机应用软件使用 Visual Basic 语言结合 SQL Server 数据库开发而成。VB 语言是一种由 Microsoft 公司开发的结构化、模块化、面向对象的、包含协助开发环境的事件驱动为机制的可视化程序设计语言。该上位机应用软件通过 Winsock 与系统终端实现通信功能,利用 ADO DB 与 SQL Server 数据库建立连接,对数据库操作来实现。利用上位机应用软件通过 GPRS 网络和 ZigBee 网络对电子标签下发控制命令,能够实现对电子标签 ID 信息的读取、信号发射功率的修改和工作状态的切换。

设置标签工作状态程序源代码如下:

```
ReDim bytbyte(1)
Bytbyte(0)=221
```

```

Bytbyte(1) = 17 * (Val(Form3. Combo_sta. ListIndex) + 1)
Form3. MSComm1. Output = bytbyte()
设置标签发射信号功率程序源代码如下:
ReDim bytbyte(1)
Bytbyte(0) = 221
Bytbyte(1) = 17 - 2 * Val(Form3. Combo_rssi. Text)
Form3. MSComm1. Output = bytbyte()
读取标签 ID 信息部分源代码如下:
Dim k As Integer
For k = 0 To intinputlen - 1
rfidinfo = rfidinfo & bytinput(k) & Chr(32)
Next k
Dim i As Integer
    
```

```

For i = 0 To intinputlen - 1
Form3. txt_display. Text = Form3. txt_display. Text & bytinput(i) & Chr(32)
    
```

5 测试结果

为了验证实验结果的可靠性和稳定性,在室内外对系统进行了测试,室内测试主要是检测系统穿透墙壁的传输距离,室外测试主要是检测系统无障碍物的传输距离。通过监控中心软件对电子标签发送控制指令来改变电子标签的信号发射功率,以实现电子标签信号的最远发射距离,更好地达到降低电子标签功耗和发射距离最大化的平衡点,在不同信号发射功率条件下,电子标签信号发射距离如表 1 所示。

表 1 电子标签信号发射距离测试

测试序号	测试环境	信号发射 功率/-18 dBm	信号发射 功率/-12 dBm	信号发射 功率/-6 dBm	信号发射 功率/0 dBm
1	室内	17	27	33	45
2	室内	15	25	32	48
3	室外	26	32	53	62
4	室外	25	35	55	65

由表 1 测试结果可知,电子标签信号发射功率为 0 dBm时,在室外电子标签信号发射距离在 65 m 范围内,在室内电子标签信号发射距离在 48 m 范围内,针对教室的情况能满足系统的设计要求。

该系统中电子标签 ID 代表不同的学生个体, ID 号为 1 的学生在教室中距离读写器的距离在 70 m 范围内, ID 号为 2 的学生在教室中距离读写器的距离在 50 m 范围内,因此可根据距离远近调整电子标签的信号发射功率,既能满足信号发射距离的最大化,也能满足低功耗要求。图 8 所示为系统最终测试结果,从而实现了监控中心对班级的远程考勤功能,具有智能化、高效率 and 实时性优点。

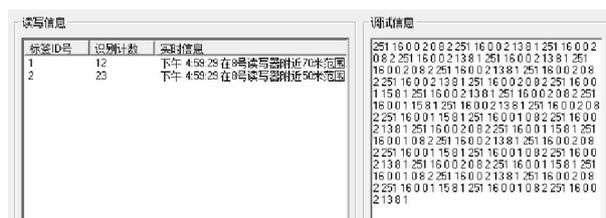


图 8 系统测试结果

在室内室外不同条件下,系统 ZigBee 无线模块在 200 m 范围内能够对标签数据信息实现有效传输,提高了系统传输距离,有广泛的应用前景。其测试结果如表 2 所示。

表 2 ZigBee 无线模块传输距离测试传

输距离/m	50	100	150	200	250	280	300
无障碍测试	正常	正常	正常	正常	正常	信号不稳定	收不到信号
有障碍测试	正常	正常	正常	正常	信号不稳定	收不到信号	收不到信号

6 结论

通过 RFID 技术、ZigBee 网络、GPRS 网络和 Internet 网络,以电子标签、RFID 读写器、CC2530 各功能节点、GPRS 模块为硬件基础,设计了一种班级考勤系统,具有智能化、高效率 and 实时性等优点,实现了班级考勤系统的远程监控和管理。在系统软硬件设计中采取了低功耗的

设计方法,如终端节点采用定时唤醒的方式实现数据收发以降低功耗,以 nRF24LE1 为核心的电子标签工作在不同模式下,达到了降低功耗和信号发射距离最大化的平衡点。基于 Visual Basic 语言开发的上位机应用软件,可对电子标签进行读写和管理。系统测试表明:系统能对电子标签进行远程识别,可靠性高、稳定好,具有广阔的应用前景。下一步工作是完善监控软件的设计,以实现系统的智

能化、多样化功能。

参 考 文 献

- [1] 张利,袁猛,卫星,等. RFID多碰撞位联合锁位动态可调整算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8):773-780.
- [2] YU J X, LIU K H, SHI W. RFID localization algorithm based on multi-hop neighborhood [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33 (12): 2681-2687.
- [3] 张玉杰,惠洒乐. 嵌入式无线网关系统设计[J]. 自动化仪表, 2012, 33(12):71-73,76.
- [4] 王战备. 基于 ZigBee 的农田信息监测网络设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(8):42-45.
- [5] 焦尚彬,宋丹,张青,等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿监测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(5):436-442.
- [6] 赵苍荣,郑森森. 一种 RFID 智能传感电子标签的设计[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(4):1024-1026.
- [7] 姬五胜,郭宏,张丰臣. 基于 ZigBee 技术的无线 RFID 读写系统[J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(3): 106-110.
- [8] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙,等. MSP430 系列 16 位超低

功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

- [9] 杨玲,徐曼. 基于 ZigBee 技术的无线射频识别系统硬件设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(3): 65-68.
- [10] 余瑞驰,苗澎,尹晓伟,等. 一种低功耗有源射频识别系统的设计[J]. 现代雷达, 2012, 34(12):12-15,19.
- [11] 姜钧严,郭艳玲,杨冬霞,等. 基于 ZigBee 技术的温室温湿度检测系统[J]. 森林工程, 2014, 30(2):105-108.
- [12] 马宏锋,李祥林,胡玫,等. 森林火灾无线监测预警系统的设计与实现[J]. 自动化仪表, 2011, 32(12):39 - 42,46.

作 者 简 介

杜军,1989 年出生,硕士研究生。主要研究方向为电子信息技术。

E-mail:dujunniu@foxmail.com

马俊,1973 年出生,博士,教授。主要研究方向为电子信息技术、无线电与智能系统、磁悬浮技术。

周亚强,1989 年出生,硕士研究生。主要研究方向为电子信息技术。

(上接第 74 页)

- [8] POGLIANO U, BOSCO C G, LANZILLOTTI M. Calibration of a wideband transformer for measurement in the millivolt range by means of AC-AC transfer[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(2): 543-546.
- [9] 张江涛,赵毅,许晨. 二进制感应分压器的自校准及其在量程扩展中的应用[C]. 第四届全国电磁计量大会论文集, 2007.
- [10] 屠治国,王薇,高金伟. 低电压交直流转换仪器的几种溯源方法[C]. 国防计量测试学术交流会论文集, 2012.
- [11] TIAN G Y, ZHOU X Y, ADEWALE I D. Pulsed

electromagnetic non-destructive evaluation and applications [J]. Instrumentation, 2014, 1(1): 15-28.

- [12] 胡军. 一种微电流测量方法的研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4):31-35.

作 者 简 介

杭标,1989 年出生,硕士研究生。主要研究方向为仪器、科学技术专业。

E-mail:vs-powership@163.com