

ZigBee 远距离射频识别系统设计与实现

Design and Realization of Remote RFID System Based on ZigBee Technology

任小洪^{1,2} 方刚² 贺映光² 王天文²

(人工智能四川省重点实验室¹,四川 自贡 643000;四川理工学院自电学院²,四川 自贡 643000)

摘要: 针对传统射频识别系统存在识别距离短、安全性不高、组网不便、定位困难和功能单一等问题,提出了基于 ZigBee 技术的远距离射频识别设计。采用超低功耗控制器,通过 CAN 总线实时监测和显示,并利用神经网络的自适应性优化定位算法,有效解决了传统射频识别的弊端,拓宽了射频识别系统的应用范围。测试结果表明,该系统运行稳定可靠、数据收发准确、识别距离增大、定位准确性高,整体性能得到明显提高。

关键词: 射频识别 ZigBee CAN 总线 超低功耗 定位算法

中图分类号: TP212 **文献标志码:** A

Abstract: In view of the traditional radio frequency identification system features problems of short identified distance, low security, difficulty of structuring network, and positioning, as well as unitary function, the remote RFID design based on ZigBee technology is put forward. By adopting low power consumption controller, through CAN bus real-time monitoring and display, and using neural network adaptive optimal positioning algorithm, the disadvantages of traditional RFID are overcome, and the applicable scope of RFID is expanded. The test result shows that the system runs stably, sending and receiving data precisely, identifying distance and positioning precision increases, and entire performance obviously enhances.

Keywords: Radio frequency identification (RFID) ZigBee CAN bus Ultra-low power consumption Locating algorithm

0 引言

射频识别 RFID (radio frequency identification) 技术和 ZigBee 无线传感器网络技术是组建物联网的两项关键技术。射频识别是利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电场)实现无接触式信息传递,并通过这种传递的信息进行识别^[1]。它具有体积小、容量大、寿命长和可重复使用等优点,但传统射频识别存在自身难以克服的缺点。新兴 ZigBee 技术和传统射频识别优势互补,射频识别更广泛的应用技术融合的实现将是未来科技发展的趋势。本文基于 ZigBee 技术的远距离 RFID 系统设计,打破了传统射频识别的设计模式,拓宽了 RFID 系统的应用范围,可广泛应用于矿井、隧道和地铁等恶劣环境下工作人员的自动考勤、人员定位、环境监测和安全生产等。

1 ZigBee 技术介绍

ZigBee 技术是一种低成本、低功耗和低速率的双向无线通信技术^[2],它在数千个微小传感器之间相互

协调,用很少的能量以接力的方式,通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器,实现无线通信。ZigBee 协议的基础是 IEEE802.15.4 标准,ZigBee 联盟对其网络层协议和 API 进行了标准化,其工作于 2.4 GHz 的 ISM 频段,无须申请许可。ZigBee 技术采用直接序列扩频 DSSS (direct sequence spread spectrum) 方式,以无线电波为媒介,实现数据的发送和接收。无线电波的覆盖范围广,发射功率低于自然噪声,基本避免了信号被偷听或窃取,提高了网络的安全性;同时,ZigBee 所使用的无线电波不会对人体健康造成伤害。

TI 公司的 CC2430 射频芯片是一款基于 ZigBee 协议的 SoC 片上系统。该芯片沿用以往 CC2420 芯片结构,在单芯片上集成了 ZigBee 射频前端、内存和微控制器,并集成了一个 8 位增强型高性能低功耗的 8051 微控制器;具有 128 kB 的可编程闪存和 8 kB 的 RAM,包含灵敏度高、抗干扰性强的 CC2420RF 接收器;具有接收信号强度指示 RSSI (received signal strength indication) 支持和直接存储器定址 DMA (direct memory access) 功能以及可编程看门狗定时器、AES-128 安全协处理器、14 位模/数转换器、两个强大的支持几种协议的 USART、睡眠模式定时、上电复位、掉电检测电路和丰富的外围接口等。

四川理工学院研究生创新基金资助项目(编号:y2009003)。

修改稿收到日期:2010-07-22。

第一作者任小洪,男,1960年生,2002年毕业于四川大学电气工程专业,获硕士学位,副教授;主要从事智能测控和无线传感器网络方面的研究。

2 总体设计和协议算法

射频识别系统总体设计包括标签、读卡器、CAN 总线、CAN 接口转换器和上位机监测系统设计五部分,如图 1 所示。

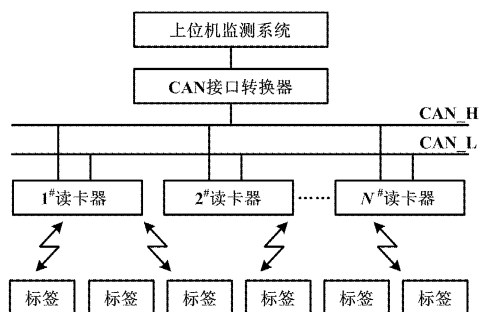


图 1 系统框图

Fig. 1 Block diagram of the system

图 1 中,读卡器是系统的核心部分,读卡器在系统中负责建立网络,并与加入网络的标签进行通信、数据接收、控制命令发布以及把数据传送给上位机等操作。标签主要负责现场环境参数的采集和发送以及对自己身份信息的识别,它体积小、功能强,可以放在被测对象上对传感器采集到的数据进行处理、打包,并通过无线方式发送给读卡器,然后由读卡器对接收到的数据进行汇集、处理和重新包装后,通过 CAN 总线进行数据发送。CAN 总线具有非破坏性仲裁的特性,它采用短帧结构,每帧数据都有 CRC 校验及其他检错措施,数据传输时间短,受干扰的概率低,保证了数据传输的高可靠性和实时性。最后通过 CAN 接口转换器,将数据由串口传到上位机数据库中,上位机对数据进行处理、存储并以实时曲线的方式显示出来,这样就可以使标签检测到的现场环境参数及时准确地在上位机上显示。

ZigBee 技术采用载波监听多路访问/冲突防止 (CSMA/CA) 协议。当站点要发送信息时,首先监听信道是否空闲,若空闲则立即发送,否则继续监听,避免了数据堵塞现象。读卡器以单个独立的标签为依托,通过无线方式组成星状、串状或网状网络,其协议栈源码开放,用户可以根据需要进行更改和设定。定位算法是 RFID 系统的一项关键技术,传统的定位大多根据接收信号强度指示 RSSI 值的大小来进行定位,但在实际的应用环境中,多径、绕射和障碍物等不稳定因素都会对定位产生很大的影响。对此,有文献提出了加权和均值算法、最大似然估计算法和高斯模型算法等对 RSSI 进行处理^[3]。由于标签发送的 RSSI 信号很多且相当一部分是冗余的,消耗了标签的很多能量,使得

标签的使用寿命大大缩短。因此,为了提高 RFID 系统标签的使用寿命和定位精确性,本文采用神经网络模型对 RSSI 数据进行融合处理。神经网络具有很强的自适应性、自学习性、自组织能力以及较强的并行性、容错性和坚韧性,它将读卡器看作神经元(读卡器的接收信号强度就是神经元的输入),并选择合适的权值进行三级 BP 神经网络的训练。

3 系统硬件设计

3.1 标签硬件设计

标签由传感器模块、射频模块、电池电源、信号指示灯、天线和调试接口构成,如图 2 所示。

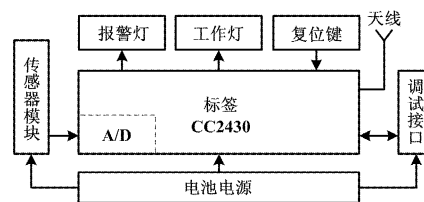


图 2 标签结构图

Fig. 2 Structure of the tag

图 2 中,标签的射频模块由 ZigBee 芯片 CC2430 构成^[4],其外围接口电路结构简单,功能强大。由于标签采用锂电池供电,低功耗是非常重要的技术指标,其工作时的电流损耗最大为 27 mA,睡眠时仅为 0.9 μ A,且外部中断或实时时钟芯片 RTC (real-time clock) 唤醒时间超短。因此,本系统采用睡眠/唤醒模式,标签每 10 s 采集发送一次数据,其他时间处于睡眠状态。信号指示灯包括正常工作时的工作指示灯和出现异常时进行闪烁的报警指示灯。传感器模块可以根据需要进行选择,本系统以煤矿井下的矿工为研究对象,选择合适的传感器监测矿工所处位置的瓦斯浓度和温湿度,保证矿工安全。瓦斯传感器采用 KGS-20 型可燃气体传感器,它是二氧化锡为基本敏感材料,专门用于可燃气体浓度检测的一种半导体型气体传感器,灵敏度高、响应速度快且功耗低。瓦斯传感器把采集到的模拟信号经过滤波、放大后在 CC2430 进行 A/D 转换并存储。温湿度传感器采用 SHT11^[5],SHT11 采用独特的 CMOSens TM 技术,具有数字式输出、免调试、免标定、免外围电路及抗干扰能力强的特点,只需一条时钟线和一条数据线就可以把传感器采集到的数据传递给 CC2430,并在 ZigBee 协议栈的支持下把瓦斯浓度和温湿度数据通过射频天线发送给读卡器。由于瓦斯气体在一定的浓度界限(5% ~ 16%)就会爆炸,因此,本系统设定瓦斯浓度在 1.0% 时就自动报警。

3.2 读卡器硬件设计

根据配置灵活的需要,系统采用模块化设计。读卡器由控制模块、射频模块、显示模块、CAN 接口模块和电源管理模块构成,如图 3 所示。

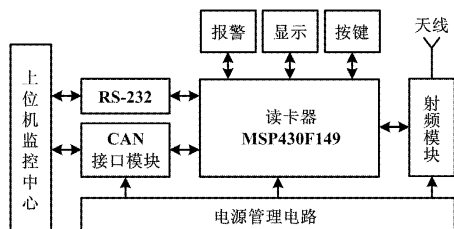


图 3 读卡器结构图

Fig. 3 Structure of the card reader

图 3 中,读卡器的控制模块主要由 MSP430F149 单片机构成^[6],其功能强大,功耗极低,外围资源丰富,能够实现数据的接收、处理、存储、显示和发送。无线射频模块由 CC2430 芯片实现,它可以工作在四种模式(发送、接收、空闲和睡眠)下,模式之间的转换时间非常短,可以满足系统超低功耗的要求。由于无线系统受通信距离、空间布局和外部干扰等因素的影响,读卡器通过 CAN 总线和上位机进行通信,解决了特殊环境对无线通信网络的不利影响。CAN 接口模块包括控制器、收发器和光电耦合器。CAN 控制器选用 Philips 公司的 SJA1000 芯片^[7],SJA1000 是高集成度 CAN 控制器,具有多主节点的对等结构、非破坏性总线仲裁技术、良好的出错检验机制和总线出错保护功能。PCA82C250 作为 CAN 收发器支持 110 个节点,可以增加通信距离,提高系统的瞬间抗干扰能力,降低射频干扰。为了进一步提高抗干扰能力,保证收发数据的准确性,在 CAN 总线控制器和收发器之间增加了一个高速光电耦合器 6N137,构成隔离电路。此外,为方便数据的下载和调试,本系统保留传统的 RS-232 串口,使读卡器通过 CC2430 射频模块接收标签发来的无线信号,并把数据存储在微控制器的内存中,以定时发送给上位机。功能按键可以控制相应的功能,并把相关信息显示到液晶屏上,当某个标签采集到的参数超出设定值时,就会自动报警并显示相关信息。

4 系统软件设计

无线网络的软件设计是实现远距离 RFID 系统设计中极其关键的部分,其中,标签和读卡器系统软件设计采用 IAR Embedded Workbench 7.20C 版本的交叉编译器和调试器进行开发、调试,实现了数据的无线通信。标签和读卡器中都含有基于 ZigBee 技术的射频

芯片。因此,它们的软件架构是一样的,主要涉及应用程序、操作系统和 ZigBee 协议栈的交互,不同的是一些配置信息、子程序和需要实现的功能程序。

4.1 标签软件设计

标签 RFID 系统结构比较简单,主要实现标签身份的识别、传感器数据的采集和数据的无线发送,其工作流程图如图 4(a) 所示。

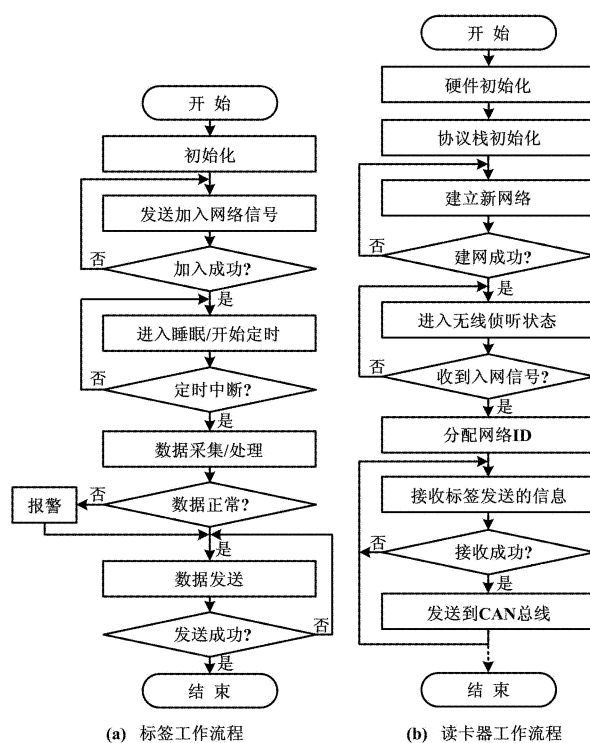


图 4 射频识别系统流程图

Fig. 4 Flowchart of RFID system

首先初始化 CC2430 并打开各传感器电源,接着初始化 ZigBee 协议栈,开始发送申请加入读卡器网络的信号,并等待读卡器响应及分配网络地址。标签工作指示灯被点亮,表示信号加入成功,工作指示灯不亮,则表示加入失败,需重新申请加入。信号成功加入网络后,标签进入睡眠状态,并每隔一段时间(10 s)采集一次传感器参数,如数据正常,就把数据打包并循环调用 SendData() 函数向读卡器发送,发送成功后标签重新进入睡眠状态;当数据不正常时,报警指示灯开始闪烁,传感器重新采集数据并把数据发送给读卡器。如数据发送失败,传感器马上重新采集数据并发送给读卡器。如果数据发送不成功的次数超过 3 次,则自动终止发送并报告发送失败信息。

4.2 读卡器软件设计

读卡器主要负责网络的建立、地址的分配、成员的加入、节点设备数据的更新和设备关联表的维护以及

根据网络的状况自动更新任务。它是整个 RFID 系统的核心,承担了控制中心的任务,负责各个标签传感器数据的汇聚、处理以及与外界网络的通信,其基本的工作流程如图 4(b)读卡器工作流程所示。

首先初始化微处理器、射频模块和液晶等硬件,接着初始化 ZigBee 协议栈和 CAN 总线协议并打开中断,之后建立一个新网络,如果网络建立成功,则读卡器的物理地址、新建网络 ID 号和频道号将显示在液晶上或通过串口调试助手看到。然后程序进入应用层,处理函数 `apsFSM()` 开始监测空气中的 ZigBee 信号。当有标签申请加入网络时,液晶或串口输出都会显示申请标签的物理地址,此时读卡器给标签分配网络地址。如果加入成功,读卡器就开始接收标签发来的数据;如果加入失败,将重新加入直到成功为止。最后微控制器将接收到的标签信息及传感器采集到的数据进行处理,并通过 CAN 总线发送到上位机。

另外,读卡器软件还要对 CAN 总线状态进行检测、处理和控制在,即首先对 CAN 模块初始化 `CAN_INIT()` 和中断初始化 `CAN_INTINIT()`,然后由单片机继续监测 CAN 总线,如果总线状态有变化,就产生中断并调用相应的 CAN 接收函数 `CAN_RCVDAT()` 或发送函数 `CAN_TRANDAT()`。

4.3 上位机软件设计

上位机采用 Visual C++ 编程,将 CAN 总线接收到的数据通过网络接口储存到上位机的数据库里。上位机监测系统可实现实时显示、历史查询、安全保障和远程监控等功能。

① 实时显示,即监测系统把当前时刻标签身份及传感器采集的数据和时间显示到屏幕上,并不断刷新。

② 系统可以对历史记录进行查询,以及对人员进行考勤管理。

③ 当某标签采集的数据异常时,该节点的记录呈红色并闪烁报警,该标签也同时报警,人为复位才能消除。

④ 上位机监测系统可以把监控系统和以太网相连,实现远程监控。

上位机软件可以根据需要增加功能。本系统采用一点对多点的网络模式,大大提高了 RFID 系统的性能,使 RFID 系统朝模块化、智能化、网络化和小型化的方向发展。

5 系统测试结果

为验证本系统的稳定性和准确性,在实验室对系统进行测试,采用精度为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的标准温度计的测量值作为实际温度。接收信号强度指示值 RSSI 与定位

距离以及标签发送的温度值如表 1 所示。

表 1 RSSI 与实验数据的关系

Tab.1 Relationship between RSSI and the experimental data

RSSI	定位距离 /cm	测量温度 / $^{\circ}\text{C}$	实际温度 / $^{\circ}\text{C}$
0x85	50	19.2	18.89
0x73	200	18.8	18.86
0x6a	600	20.1	20.16
0x56	1 500	19.5	19.42
0x48	2 500	19.8	19.84
0x32	5 800	20.4	20.38

实验结果表明,该系统比较稳定,且经过神经网络算法的优化处理后,RSSI 的冗余值大大减少,温度测量值较准确。由于条件限制,未能对所有功能进行测试,下一步需要到煤矿现场做进一步的测试。

6 结束语

本文设计打破传统 RFID 系统点对点的无线传输模式,采用基于 ZigBee 协议的有源标签,大大提高了识别距离。该读卡器集识别、检测、监控、显示、报警和组网等多功能于一体,利用无线和 CAN 总线相结合的方式对监测数据进行通信,提高了数据的稳定性和实时性;神经网络的引入减少了系统能量消耗,提高了定位的准确性。实际测量的数据反映出该系统误差较小,且运行稳定可靠,能够满足设计要求。

参考文献

- [1] 中华人民共和国科学技术部等十五部委. 中国射频识别 (RFID) 技术政策白皮书[M]. 2006.
- [2] 李文仲,段朝玉. ZigBee 无线网络技术入门与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [3] 章坚武,张璐,应瑛,等. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报,2009,22(2):285-288.
- [4] 王建国,曹旭华,胡阳军. 基于 ZigBee 技术的无线测控系统[J]. 仪表技术与传感器,2008(5):42-44.
- [5] 王钦,陈忠辉,陈新. 基于 ZigBee 的仓库温湿度采集系统的设计[J]. 计算机与数字工程,2009,37(9):207-211.
- [6] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [7] 王黎明,夏立,邵英,等. CAN 现场总线系统的设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [8] 徐勇军,安竹林,蒋文丰,等. 无线传感器网络实验教程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007.
- [9] 屈明佑,雷航,郭文生. 基于 ZigBee 的现场数据采集系统设计与实现[J]. 电讯技术,2008,48(4):34-38.
- [10] 谭民,刘禹,曾隽芳,等. RFID 技术系统工程及应用指南[M]. 北京:机械工业出版社,2007.