

基于 ZigBee 的矿井环境监测与定位系统

滕志军,李国强,何建强

(东北电力大学 信息工程学院,吉林 132012)

摘要:针对煤矿井下有线传输通信困难、信息传递不及时以及安全生产等问题,该文提出了基于无线传感器网络与以太网技术相结合的矿井环境监测与定位系统的设计方案。该方案实现了对井下环境参数的实时监测,并实时跟踪定位井下人员,为科学决策提供了依据。该系统能够提高矿井工作面的安全系数,适用于矿井的安全管理,具有较高的实用性与推广价值。

关键词:ZigBee;矿井;环境监测;定位;以太网

中图分类号:TP277 **文献标志码:**A

Environmental Monitoring and Positioning System of Mine Based on ZigBee

TENG Zhi-jun, LI Guo-qiang, HE Jian-qiang

(College of Information Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: In order to solve problems of communication difficulties of cable transmission, not timely transmission of information and safety production in underground mine, this paper describes the design of mine environmental monitoring and positioning system based on a combination of wireless sensor networks and Ethernet technology. The program realizes real time monitoring of downhole environmental parameters, Real-time tracking and positioning underground staff, provides basis for scientific decision. The management system can improve the safety factor of the mine, which is suitable for mine safety management, with high availability and promotion of value.

Key words: ZigBee; mine; environment monitoring; positioning; Ethernet

煤炭是我国重要的基础能源,也是人类生活生产的主要能源,在经济发展中发挥着巨大的作用。作为煤炭储量大国的中国,有关部门虽大力整治煤矿的安全问题,但是重特大安全事故时有发生,状况不容乐观。事故的突发性、环境的特殊性等因素对矿井工作人员的生命安全构成极大的威胁,严重地影响了煤矿工业的发展^[1]。矿难的频繁发生暴露出目前矿井监测系统的弊端:有线通信方式灵活性差、覆盖性不足,不能及时提供井下环境信息与工

作人员的位置信息等,一旦事故发生,很难展开有效救援。因此,本文提出了以 ZigBee 无线传感器网络为核心,以太网为骨干网的矿井定位与环境参数监测系统。将无线传感器网络技术应用于对井下人员的跟踪定位与环境参数的采集监测,利用以太网有线网将信息传输到监测中心,并通过计算机后台智能软件的综合处理与分析,使地面管理人员实时掌握井下工作人员的分布情况以及井下各区域环境参数的变化,可尽量避免事故的发生或在事故发生后

收稿日期:2012-04-28;修订日期:2012-10-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51077010);吉林市科技局科技支撑计划项目(201262505)

作者简介:滕志军(1973—),男,教授,研究方向为无线通信技术。

做出科学有效的援救措施,从而保证了人员与经济安全。

1 ZigBee 简介

ZigBee 是近年来一种新兴的近距离、低功耗、低复杂度、低数据速率、低成本的双向无线通信技术,工作于免执照的 2.4 GHz 频段。ZigBee 自主定义了 16 个信道,通信灵活度高,提高了通信的抗干扰能力。ZigBee 采用无线局域网(WLAN)中 802.11 系列标准的载波监听多路访问/冲突防止(CSMA/CA)协议^[2],有效地避免了无线电载波之间的冲突,保证了数据传输的可靠性。ZigBee 设备可以无线自动组网,响应速度较快,一般从睡眠转入工作状态只需 15 ms,节点连接进入网络只需 30 ms。ZigBee 模块使用两节五号电池可实现长达 6 个月到 2 年的工作时间。

2 系统整体方案

井下 ZigBee 无线传感器网络、以太网有线网和监测中心等共同构成了环境监测与矿井定位系统。系统结构图如图 1 所示。

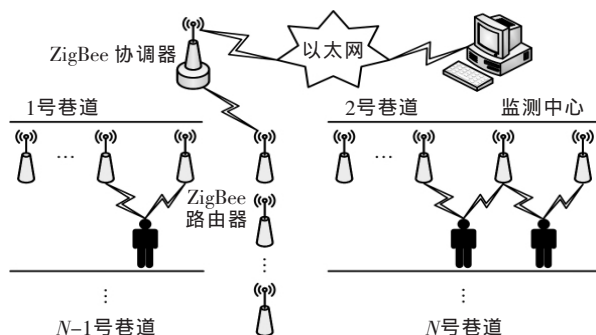


图 1 矿井环境监测与定位系统结构图

Fig.1 System structure of environmental monitoring and positioning system of mine

井下数据采集网络是整个系统的核心,主要由矿工携带的终端移动节点、ZigBee 路由器以及 ZigBee 协调器等组成。ZigBee 设备的辐射功率多为 mW 级,达不到瓦斯爆炸所需要的能量,接触瓦斯、粉尘或煤屑不可能引发爆炸,故 ZigBee 通信就有很高的安全性。

终端移动节点(RFD)既可接收上层的广播信息,又可定时发送自身存在信息。ZigBee 路由器

(FFD)安装在巷道之中或盲巷等关键位置,其数量与密度决定定位精度;可以挂接多种传感器,完成环境参数(瓦斯、温度、湿度等)的采集,并通过最优路径传输到 ZigBee 协调器,增大了网络覆盖范围。ZigBee 协调器(Coordinator)固定安装在煤矿的出入口,负责组建、配置网络并管理网络节点,以及汇聚网络节点的信息,并通过以太网有线网将收集到的数据包传到监测中心。

ZigBee 无线传感器网络与监测中心之间使用光纤通信技术,实现了两者间的双向通信,从而将监测设备和互联网有效地连接起来,大大提高了数据通信的可靠性、安全性和保密性。

监测中心接收终端移动节点采集到的环境参数数据与矿工定位信息,动态显示每个矿工的姓名与位置等,通过计算机高速、可靠与有效地处理并建立数据库,便于日后查询分析。地面工作人员可通过计算机实时了解井下矿工的具体位置与环境的变化趋势,以此判断危险情况并采取有效的安全措施。

系统工作过程如下:首先根据井下的具体情况安装实际位置已被测出的 ZigBee 协调器和 ZigBee 路由器。系统上电后,ZigBee 协调器组建起一个无线传感器网络,各 ZigBee 路由器分别加入到网络中,矿井人员携带的终端移动节点每隔 30 s 向外发送自身的 ID 等信息,ZigBee 路由器将接收到的信息加上自身的 ID 号、RSSI 值和采集到的环境数据打包传送到 ZigBee 协调器,协调器将收集到的数据整理后通过以太网传输到监测中心。监测中心对井下采集到的各类数据进行处理、分析、存储,若出现异常情况,则发出报警信号。

本系统采用的是基于 RSSI 的定位算法。已知发射功率,在接收节点测量接收功率,计算传播损耗,使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转换为距离^[3],并采用三边测量法计算出待定位节点的位置。RSSI 定位时容易受到矿井环境的影响,相同距离下会产生明显不同的传播损耗,因此需要在不同的环境下,通过采集到的实测数据校正数学模型中各参数值。矿工携带的 RFD 节点进入某几个 FFD 节点的辐射范围内,则发送通信协议包,通过其内的无线信号参数的强弱,采用三边测量法计算其位置。根据实际需要,应使 FFD 之间的距离小于 RFD 信号传输距离的两倍,且注意每个 ZigBee 模块至少与两个及以上的模块进行通信,避免单线联系。

3 系统硬件设计

3.1 ZigBee 无线通信模块的设计

ZigBee 无线通信模块采用 Chipcon 公司的 CC2430 芯片。它结合了一个高性能 2.4 GHz DSSS (直接序列扩频) 射频收发器核心和一颗工业级小巧、高效的 8051 控制器^[4-5], 不用外接微处理器且只需少量的外围元器件配合就能实现数据的收发及处理。井下矿工所携带的终端移动节点的射频芯片内含有每个人的身份识别信息, 当矿工进入某一个或几个 ZigBee 路由器的辐射范围之内, 则向 ZigBee 路由器传输信息。同时, 接收上层网络所发送的广播信息。无线传感器节点的硬件电路如图 2 所示。

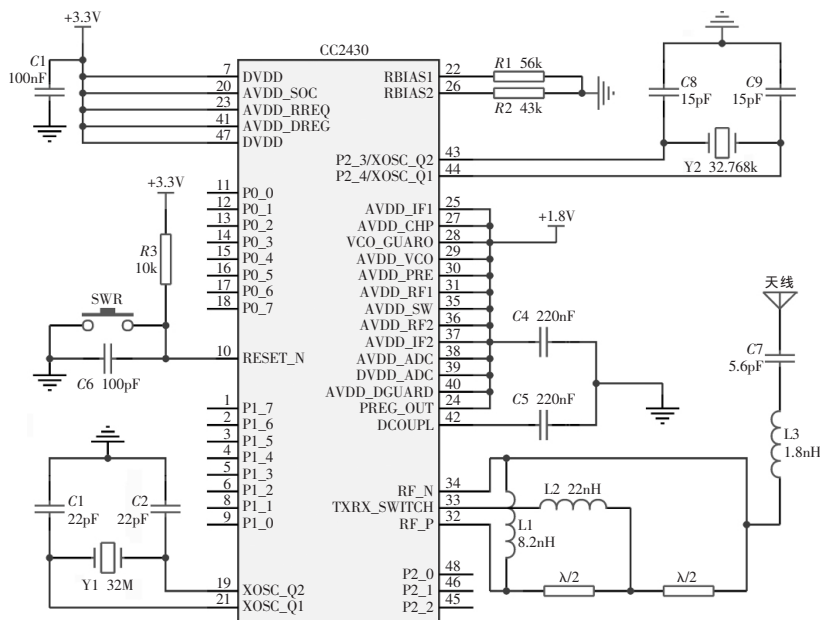


图 2 无线传感器节点硬件电路

Fig.2 Wireless sensor node's hardware circuit

3.2 传感器的选择

根据煤矿井下的实际情况, 选择合适的瓦斯、温湿度等传感器。本系统采用 SHT11 数字型大气温湿度传感器测量井下的温度与湿度, 采用 KGS-20 低功耗瓦斯传感器作为瓦斯测量元件。传感器数据采集接口电路如图 3 所示。

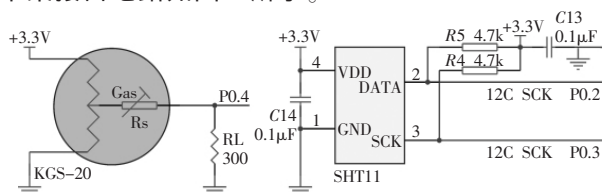


图 3 传感器数据采集接口电路

Fig.3 Interface circuit of sensor data collection

SHT11 挂接在 I²C 总线上, 支持 CRC 传输校验。该芯片和微处理器通信采用串行二线接口 SCK 和 DATA, 其中 SCK 为时钟线, DATA 为数据线^[6]。内置 A/D 转换器, 测量精度可编程调节, 且输出为数字信号。测量湿度范围: (0~100)%RH; 温度范围: (-40~+120)℃。KGS-20 气体传感器用于对瓦斯等可燃气体浓度的检测, 将气体浓度的物理量转化为电信号, 然后把信号送至 CC2430 的 A/D 输入端进行 A/D 转换, 完成数据的采集与预处理任务^[7]。该传感器体积小, 耗电低, 应用电路简单, 具有极高灵敏度和高速的响应速度。

3.3 电源模块的设计

由于煤矿井下的环境较为特殊, 矿工佩戴的电池具有体积小、重量轻等特殊的要求, CC2430 的工作电压范围 (2.0~3.6)V, 故本系统采用 5 V 锂电池进行供电, 并连接 SPX1117-3.3 稳压芯片, 将 5 V 电压转换为直流 3.3 V 的工作电压, 以保证模块的持久工作, 数据的持续采集与收发。电源模块电路图如图 4 所示。

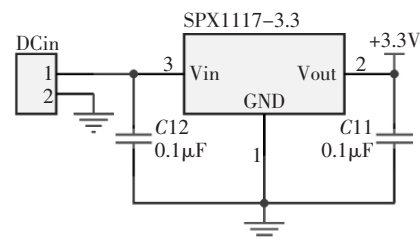


图 4 电源模块电路图

Fig.4 Power supply module circuit diagram

4 系统软件设计

4.1 监测中心软件设计

监测中心的系统软件采用面向对象语言 VB6.0 开发工具设计, 使用 SQLite3 数据库开发管理程序负责数据的存储与工作人员的查询请求回应。通过对采集的数据进行处理分析, 系统软件可对整个矿井实时监测。监测中心的系统软件分为信息查询与井下监测两个部分。信息查询软件主要完成信息的查询、显示、记录等方面的功能, 井下监测软件负责井下矿工位置、环境参数、人员信息的采集。监测中心软件结构如图 5 所示。

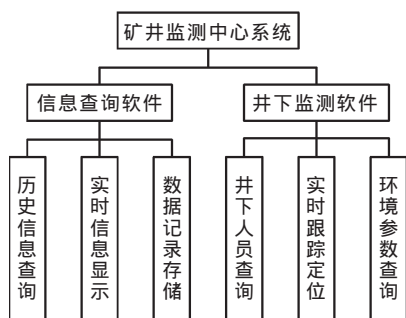


图5 监测中心系统软件结构图

Fig.5 System software structure of monitoring center

4.2 井下无线传感器网络软件设计

ZigBee 无线模块平时处于睡眠状态用来减少功耗,一定时间后通过中断的方式唤醒,从睡眠转入工作状态只需 15 ms^[8]。系统工作后,首先查询以太网有线网是否发送过来数据,如果有数据,ZigBee 模块就发送数据并校验,进行相应操作;若没有数据则查询信道是否有数据转发,若有则 ZigBee 模块就接收数据,校验正确后通过以太网有线网传输到监测中心。图 6 为 ZigBee 协调器程序流程图。

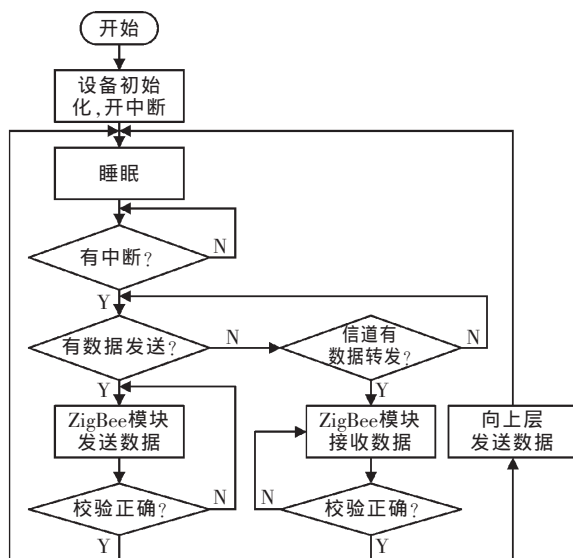


图6 ZigBee协调器程序流程图

Fig.6 ZigBee coordinator program flow chart

终端移动节点首先加入无线传感器网络,进入休眠模式。设置定时,每隔 30 s 通过 ZigBee 射频天线发送自身存在信息,路由节点根据接收信号强弱(RSSI 值)确定该终端节点具体位置,并将采集的数据上传。同时,路由节点返回确认帧,终端移动节点收到回应则进入休眠状态,否则继续重发数据,在所设置的重发次数内成功就进入休眠模式,不成功

则返回发送失败进入休眠状态。终端移动节点程序流程图如图 7 所示。

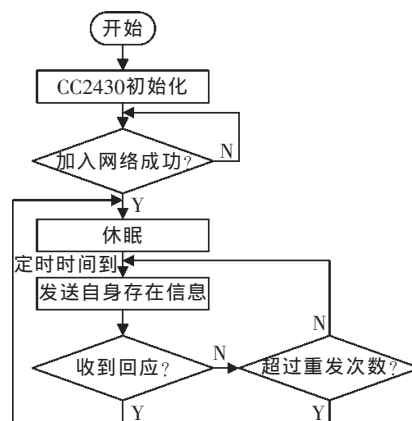


图7 终端移动节点程序流程图

Fig.7 Terminal mobile node program flow chart

5 监测结果

图 8 所示为系统在全天候测试时的实时数据。其中可以对井下人员和传感器节点进行增加、修改、删除操作;也可以对井下任何人员进行报警,如设置井下瓦斯的报警浓度为 1%,当超过此界限时,发出报警信息。通过简洁的环境数据监测界面,用户可以直观清晰的观察井下环境与人员的信息,并据此作出判断与响应。

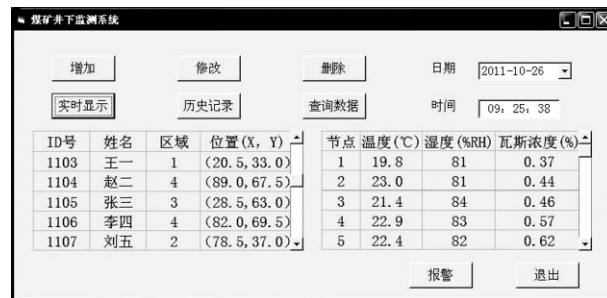


图8 井下人员与环境监测界面

Fig.8 Monitoring interface of personnel and environment under mine

6 结语

基于煤矿井下环境变化与人员定位的安全性考虑,从灵活组网,可靠性,低功耗等角度出发,本文提出的基于 ZigBee 的环境监测与矿井定位系统,结合了以太网有线网络技术,实现了对井下工作人员的精确定位与瓦斯浓度、温湿度等参数的实时采集,提高了系统远程实时与自动监测能力,减少了煤矿事故的发生,促进了我国煤矿的安全性生产。(下转第 34 页)

由,写到协调器的存储器中。如果当前路由被锁定,则无需重新计算。如果系统信道空闲时,协调器会尝试连接各个路由,在一定成功率下,如果有三次连续连接成功,则该路由可作为最佳路由之一;同时各个可能的最佳路由中,成功率越高越好,而且中继深度越小越好,通信成功率与中继深度成下降的指数关系,系统设定的最大中继深度为15层。那么中继深度最小且成功率最高的路由将作为最佳路由并写入协调器和终端的存储器中。

APP层介于NWK层和附属设备之间,实现系统应用的特定功能,转发网络层与附属设备之间的应用层报文服务,以及探测附属设备的应用层地址。任何一个设备具有3个地址,MAC地址(长地址),NWK地址(短地址),APP地址(应用层地址)。MAC地址,每个设备唯一。MAC地址按照统一的算法生成,若MAC地址校验错误的节点,不允许上线^[9]。NWK地址,加入网络时,由协调器分配,网络内唯一。终端向协调器申请短地址,协调器为终端设备分配短地址。应用层地址绑定过程为:终端节点会自动探测附属设备的应用层地址,携带其中一个地址向协调器发送连接申请。协调器收到连接请求后,首先进行长地址校验,再根据应用层地址与系统档案对比,决定是否允许终端节点入网。协调器模块在终端入网后,把终端上的APP层地址一起召测回来,绑定到同一个网络层地址上。这样就建立了长地址、短地址、APP层地址之间的绑定。系统工作状态流程图如图6所示。

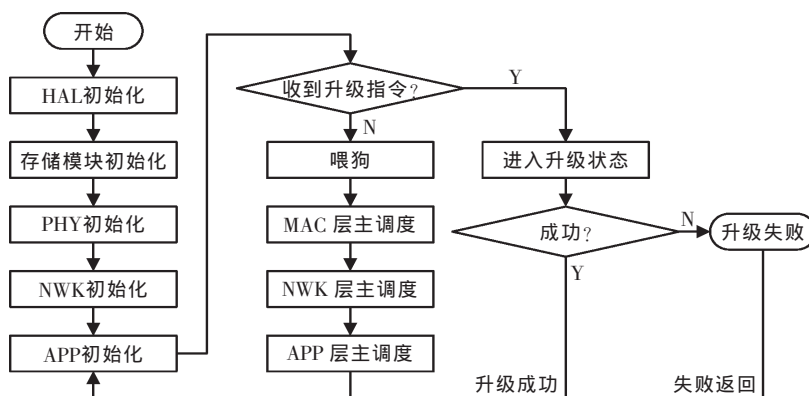


图6 终端系统工作流程

Fig.6 Terminal system workflow

4 结语

经过小批量测试以及现场使用情况,本系统终端可以为用户提供一个高可靠、实时快速的实时系统,具有广泛环境适应性,可以组成一个低成本新一代无线集中抄表系统。产品指标实现了中继深度不超过15级,单次通信延时不超过20s,最大支持1000个终端节点,组网时间不超过15min的采集系统。系统提供了便捷、经济、实用的解决方案,并能提供现在及将来一系列的增值功能和服务。

参考文献:

- [1] Nuvoton Technology Corporation. NUC100/120 Technical Reference Manual[R], 2012.
- [2] Silicon Laboratories. Si4430/31/32 ISM TRANSCEIVER[R], 2009.
- [3] 舒杰,曹建.基于MSP430F149与Si4432的无线传感器网络的实现方法[J].微型机与应用,2011,30(12):93-98.
- [4] 王晓峰,张旻.230MHz无线专网扩容及自组网技术研究[J].电力需求侧管理,2009,11(5):34-37.
- [5] 郑相全.无线自组网技术实用教程[M].北京:清华大学出版社,2004.

(上接第25页)下一阶段将考虑对基于距离的定位算法RSSI进行改进,提高定位精度,为救援工作提供科学的方案。

参考文献:

- [1] 张东,李长录,徐洋,等.基于ZigBee技术的煤矿安全监测系统设计[J].煤矿安全,2010(7):77-80.
- [2] 滕志军,屈银龙,王中宝,等.基于ZigBee的高压带电体温度在线监测系统[J].电工电能新技术,2011,30(3):80-83.
- [3] 段荣平,武君胜.基于带状通道的无线传感器网络定位算法[J].西北工业大学学报,2008,26(6):723-726.

- [4] 李文仲,段朝玉.ZigBee2006无线网络与无线定位实战[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:41-46.
- [5] 吕鑫,王忠.ZigBee无线数据传输模块的设计与实现[J].安徽师范大学学报,2010,33(4):332-335.
- [6] 苗连强,胡会萍.基于ZigBee技术的温室环境远程监测系统[J].仪表技术与传感器,2010(10):108-110.
- [7] 王延年,穆文静.基于ZigBee的无线信号采集传输系统的研究[J].西安工程大学学报,2010,24(4):510-515.
- [8] 庞海娟,赵建平.基于ZigBee技术的矿井人员管理系统设计[J].通信技术,2010,43(8):187-189.