

文章编号:1671-251X(2009)05-0041-04

基于无线传感器网络的煤炭自燃火源监测系统的设计^{*}

邓明^{1,2}, 张国枢¹, 陈蕴²

(1. 安徽理工大学煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室,安徽 淮南 232001;
2. 阜阳师范学院计算机与信息学院,安徽 阜阳 236041)

摘要:无线传感器网络因可在小规模、低成本的器件上实现处理、存储、传感和通信的一体化,广泛应用于环境监测等领域。文章在分析现有的煤矿井下自燃火源监测技术所存在的不足基础上,提出了一种基于无线传感器网络的煤炭自燃火源监测系统,介绍了该系统的结构、传感器节点、接入网关节点的设计,给出了微型传感器节点的软件设计。该系统可实现现有的有线系统无法实施的特殊区域温度的监测功能,有效地提高了煤矿的安全生产水平。

关键词:煤矿; 自燃火源监测; 无线传感器网络; 无线传感器节点; sink 节点

中图分类号:TD655/752 **文献标识码:**B

Design of Monitoring System for Coal Spontaneous Combustion Sources Based on Wireless Sensor Networks

DENG Ming^{1,2}, ZHANG Guo-shu¹, CHEN Yun²

(1. Key Laboratory of Safety and High Efficiency Mining of Ministry of Education of
Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China.

2. School of Computer and Information of Fuyang Teachers College, Fuyang 236041, China)

Abstract:Because of wireless sensor networks can realize integration of processing, storage, sensing and communication on small-scale and low-cost devices, it is widely applied in fields of environmental monitoring. On the basis of analyzing the existing defaults of present monitoring technique of coal spontaneous combustion sources, the paper put forward a monitoring system for coal spontaneous combustion source based on WSN. It introduced design of structure, sensor nodes and access gateway nodes of the system, and gave software design of micro-sensor nodes. The system can achieve temperature detection for special area that existing wire system couldn't implement, and improve safety production level of coal mine effectively.

Key words:coal mine, monitoring of spontaneous combustion source, WSN, wireless sensor node, sink node

0 引言

煤矿井下绝大多数的自然火灾都是发生在回采工作面的采空区或相邻的老空区内,由于火源位置无法接近,往往无法确定火源的实际位置,给防灭火工作带来了很大的盲目性。因此,预测矿井生产过程中可能出现的煤炭自燃发火的时间和空间分布,准确探测地下火源的位置及其范围至关重要。

收稿日期:2008-12-23

* 基金项目:安徽省教育厅自然科学基金资助项目(KJ2009B008),安徽省高校青年教师资助计划项目(2008jq1120),阜阳师范学院科研项目(200803)

作者简介:邓明(1976-),男,安徽寿县人,博士,副教授,现主要从事安全信息技术开发及传感器网络方面的研究工作,已发表论文12篇。E-mail:mdeng7@163.com

煤炭自然高温火源监测技术是防治煤炭自然发火亟待解决的重大难题之一。国内外许多学者为此进行了长期的基础理论研究和科学试验,取得了大量的研究成果^[1~2]:预埋热电偶可进行远距离巡回检测,但仅限于几个可疑点采样,且监测周期长、劳动强度大、数据采集速度慢,不便于火情的早发现、早报告;遥感技术虽然已经成熟,但只能对数十甚至数百平方千米的范围进行圈定,无法满足生产矿井的需要;红外成像仪可在井下探测温度的三维空间变化规律,但如何消除人体、设备及重叠高温源的影响尚处于试验阶段;气体探测法、磁力探测法、电磁波探测法、电阻法等均是通过测定气体成份变化、磁场强度变化以及电参数(电阻、电磁波频率)的变化间接探测,因受大地杂散电流、磁场、山区复杂地形等多因素的干扰,探测准确度很低。

虽然以上技术在现场得到了一定程度的应用,但由于煤系地层的复杂性,火源状态千差万别,加之探测手段和仪器落后,煤炭自燃火源的监测至今还未得到圆满解决。要准确进行火源的探测和监测,尚须研究新技术,研制先进仪器设备。

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由一组微传感器以 Ad Hoc 方式构成的无线网络,可以应用于布线和电源供给困难的区域、人员不能到达的区域和一些临时场合等。为此,笔者采用 WSN 设计了一种煤炭自燃火源监测系统,该系统可实现对现有有线系统无法实施的特殊区域温度的监测,能有效地提高煤矿的安全生产水平。

1 WSN 概述

WSN 是最近几年新兴的一种新型网络,它由部署在监测区域内的大量廉价微型传感器节点组成,节点能协作地通过传感或控制参数感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观察者;节点间通过无线方式通信,具有计算处理、无线通信、传感或控制能力。目前,WSN 在环境监测领域已得到越来越多的应用。

针对矿井环境远程实时监测水平,与传统的监测系统相比,WSN 具有以下特点^[3~5]:

(1) 传感器节点通常布设在无网络设施的恶劣环境(如采空区、突出和冒落孔洞等)中,网络能够在复杂环境中组建网络路由,节点通过分配协议和分布式算法能够重新恢复其配置,并且动态地创建通信链路。

(2) 传感器节点随时可能由于各种原因发生故

障而失效,如在工作和睡眠状态之间切换、电能耗尽、环境条件变化、传感器网络感知对象移动等。因而,传感器节点间通信时断时通,造成网络拓扑结构动态变化。

(3) 由于传感器节点的微型化,节点的电池能量有限,而且受限于物理条件,难以给节点更换电池,因而,节点采用间歇方式工作。当无事可做时,节点处于休眠状态,当基于外部执行或定时情况下,再将其唤醒。

2 基于 WSN 的煤炭自燃火源监测系统的设计

2.1 系统结构

矿山环境监测是 WSN 的一类典型应用。为了满足监测网络拓扑动态变化、数据转发多跳等要求,确保网络的通畅与能量消耗节约,基于 WSN 的煤炭自燃火源监测系统选用了层次型网络结构,如图 1 所示。

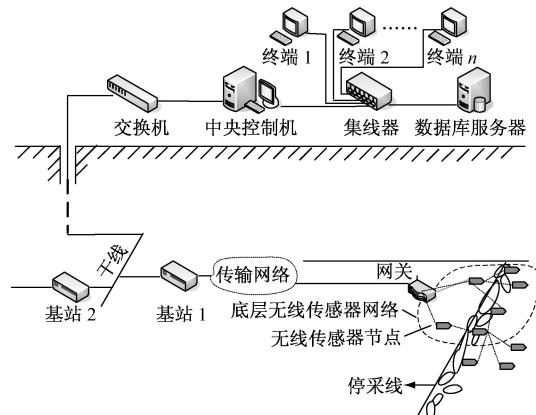


图 1 基于 WSN 的煤炭自燃火源监测系统结构图

网络底层为部署在煤炭自燃火源可疑点(如停采线、采空区等)附近的无线传感器节点,用于采集环境温度,并构成无线传感器网络。网关搜集网络中的监测数据,经传输网络初步处理后(如数据压缩、数据融合等)发送到设置在主要巷道中的基站,基站再通过有线方式将监测数据传输到地面中央控制机,中央控制机对数据进行管理与分析,从而实现对井下有线测量盲区的实时监测。同时,中央控制机也可向基站发出命令。

2.2 系统网络拓扑结构

良好的网络拓扑结构能够提高路由协议和 MAC 协议的效率,有利于数据融合、时间同步和节省节点的能量等。煤矿的实际监测地形大多是狭长的巷道,采空区也在几十米到数百米的范围内变化。因此,实际用于煤矿的煤炭自燃火源监测的传感器

拓扑结构大多是以链状网络为主。层次型的拓扑控制利用分簇机制,让一些节点作为簇头节点,形成一个处理并转发数据的骨干网,担负数据融合的任务,其它非骨干网节点可以暂时关闭通信模块,进入休眠状态以减少数据通信量、节省能量。同时,分簇式的拓扑结构有利于分布式算法的应用。分簇式网络拓扑结构如图2所示。

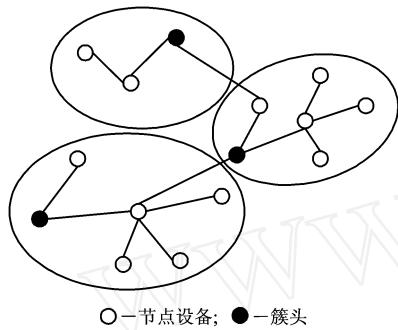


图2 系统的分簇式网络拓扑结构图

2.3 无线传感器节点

组建井下煤炭自燃火源监测无线传感器网络,首先要求组成的节点可靠且有效,同时,节点的设计必须满足小型化、低成本和微功耗。

无线传感器节点通常都是一个微型的嵌入式系统,它不是把采集的原始数据传送给网关,而是传送需要处理的数据。传感器节点一般由传感器模块(传感器/执行器、A/D转换器)、数据处理模块(存储器、控制器)、无线通信模块(无线收发机)和能量供应模块(电池或电源)组成,功能更强大的还含有节点定位系统、运动系统或执行机构等,如图3所示^[6~7]。

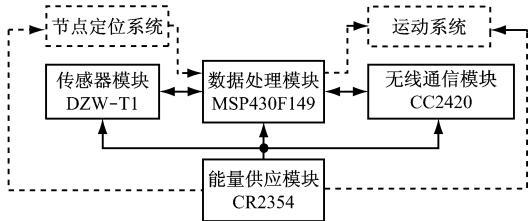


图3 WSN节点结构图

控制器是无线传感器节点的计算核心,选用TI公司的MSP430F149超低功耗处理器,该处理器是专门为嵌入式应用而设计的,采用16位CPU和高效RISC指令系统,在8MHz时可达到125ns的指令周期。外围功能模块丰富,开发功能强大,采样速率高,并且方式多样。无线通信模块采用Chipcon公司推出的CC2420芯片,该芯片符合2.4GHz IEEE802.15.4标准,性能稳定且功耗极低,支持数据传输率高达250kbps。传感器模块选用深圳

SUNSTAR公司的DZW-T1无线温度传感器,该传感器温度测量范围为-40~85℃,测量精度为±0.5℃。节点电源选用CR2354微型纽扣锂电池,工作输出电压为3V,标称容量为530mA·h。

2.4 接入网关节点

接入网关节点(sink节点)是该系统中用于连接WSN与以太网的关键设备,它接收通信节点发过来的监测数据(温度),并将该数据通过有线监测网传回监控中心。同样,它也接收监控中心计算机发送的指令,并将这些指令发送给通信节点。接入网关节点的结构如图4所示,硬件主要包括ARM9处理器AT91RM9200、无线通信模块CC2420、以太网控制器RTL8201、随机访问存储器IDT71V256D等。

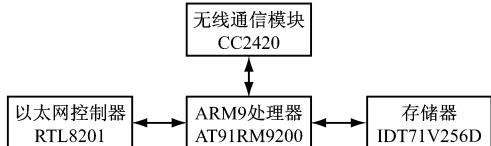


图4 接入网关节点结构图

RTL8201、AT91RM9200和CC2420之间的连接示意图如图5所示。CC2420通过4线SPI总线(SI、SO、SCL K、CSn)与AT91RM9200相连,通过该总线设置芯片的工作模式,并实现读/写缓存数据、读/写状态寄存器等。FIFO、FIFOP引脚标识接收FIFO缓存区的状态,通过控制FIFO和FIFOP管脚接口的状态设置发射/接收缓存器。在数据传输过程中,CSn作为数据传输使能,始终保持低电平。CCA引脚在信道有信号时输出高电平,只在接收状态下有效,通过CCA管脚状态的设置控制清除通道估计,通过SFD管脚状态的设置控制时钟/定时信息的输入。

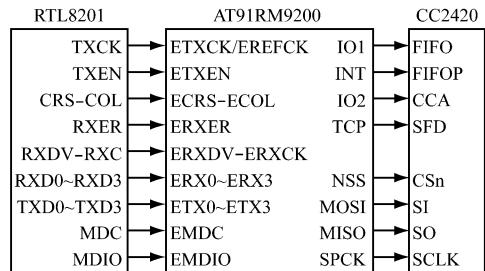


图5 RTL8201、AT91RM9200和CC2420的连接示意图

AT91RM9200处理器与RTL8201之间的数据与地址线采用总线方式,CC2420的射频信号采用差分方式。AT91RM9200的片内MAC通信接口MII与RTL8201的MII接口通信,通过网络隔离变压器接入网络。发送数据时,首先置发送使能信号ETXEN有效,数据发送端ETX0~ETX3与

R TL8201 的 TxD0 ~ TxD3 引脚对应连接 , 作为数据发送通道 , 以 R TL8201 提供的数据发送时钟信号 TXCK 发送数据。当发送有冲突时 , 冲突检测信号 ECOL 置高 , 并且当媒介不处于理想状态时 , 状态指示信号 ECRS 也置高。接收数据时 , 检测 RXDV 引脚状态 , 在数据接收端数据有效时置高 , 请求 A T91RM9200 按 R XC 引脚提供的时钟提取数据。A T91RM9200 数据接收端 ERX0 ~ ERX3 与 R TL8201 的 RXD0 ~ RXD3 对应连接 , 作为数据接收通道。当接收有错误时 , 接收错误信号 ERXER 置高。EMDC 和 EMDIO 用来管理数据的输入和输出。

3 软件设计

基于无线传感器网络的自燃火源监测系统的软件设计主要是在网关和无线传感器节点的设计。软件采用汇编语言和 C 语言。网关端的软件主要是处理和管理传感器节点传输过来的数据 , 主要由通信软件、命令行软件以及任务管理软件组成。节点端的软件主要负责完成现场数据的采集以及通过无线通信模块无线传送采集数据包。下面重点介绍无线传感器节点端的软件设计^[8~9]。

3.1 软件设计原则

(1) 轻量级。无线传感器节点体积微小 , 携带的电池能量十分有限 , 且更换电池不现实 , 这就要求简化软件设计 , 以实现轻量级计算。

(2) 模块化。模块化的软件设计有利于软件的更新和维护。

(3) 局部化协作算法。为提高系统的伸缩性和健壮性 , 要求采用局部化算法 , 通过层次化聚簇方法协同管理。

另外 , 软件应具有网络内的数据处理和查询机制 , 以最有效的方式获得并利用数据 , 满足不同应用的需求。同时 , 为了适应应用需求的变化和网络动态性要求 , 节点端软件还要具有自适应性。

3.2 节点软件工作流程

为了降低功耗 , 无线传感器节点采用唤醒和休眠的工作机制。节点在没有事件发生时处于休眠状态 , 处理器停止工作 , 无线模块处于低电流的接收状态。当无线模块接收到 sink 节点或是临近节点发出的命令后 , 节点自动醒来并唤醒邻居节点 , 进入正常工作状态 , 任务完成后 , 再次进入休眠状态。微型传感器节点的具体工作流程如图 6 所示。

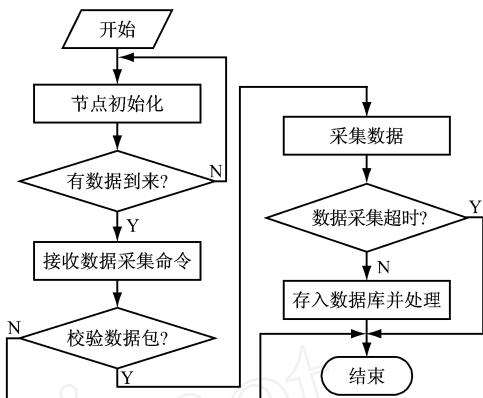


图 6 微型传感器节点的工作流程图

4 结语

本文针对我国现有的煤矿自燃火源监测技术存在的缺陷 , 提出了一种以无线传感器网络为基础 , 并与目前已有的煤矿井下有线监测网相结合的煤矿自燃火源监测系统。该系统对有线监测系统难以或者不能及时达到的区域实施有效、实时和灵活的监测 , 提高了井下监测系统的可扩展性 , 可实现对矿井下自燃高温点的本地监控和远程监控。随着无线传感器网络技术的日益成熟和完善 , 无线传感设备性价比的提高以及相关研究的不断深入 , WSN 在矿井安全领域的优势将会更加明显 , 这对我国煤矿安全生产状况的改善将起到一定的作用。

参考文献 :

- [1] 山东兖矿集团有限公司 . 煤炭自燃早期预测预报与火源探测技术 [M]. 北京 : 煤炭工业出版社 , 2002.
- [2] 张国枢 , 戴广龙 . 煤炭自燃理论与防治实践 [M]. 北京 : 煤炭工业出版社 , 2002.
- [3] 郑少仁 , 王海涛 , 刘志峰 , 等 . Ad Hoc 网络技术 [M]. 北京 : 人民邮电出版社 , 2005.
- [4] 孙利民 , 李建中 , 陈渝 , 等 . 无线传感器网络 [M]. 北京 : 清华大学出版社 , 2005.
- [5] 马祖长 , 孙怡宁 , 梅涛 . 无线传感器网络综述 [J]. 通信学报 , 2004, 25(4) : 114 ~ 124.
- [6] AKYDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A Survey on Sensor Networks [J]. IEEE Communications Magazine , 2002, 40(8) : 102 ~ 114.
- [7] 赵俊 . 基于无线传感器网络的煤矿瓦斯监测系统 [J]. 工矿自动化 , 2007(5) : 49 ~ 51.
- [8] KARL H, WILLING A. 无线传感器网络协议与体系结构 [M]. 邱天爽 , 唐洪 , 李婧 , 等译 . 北京 : 电子工业出版社 , 2007.
- [9] 李世晗 , 白跃彬 , 钱德沛 . 无线传感器网络软件技术研究 [J]. 计算机应用研究 , 2007(1) : 1 ~ 4.