



文章编号:1671-251X(2015)10-0001-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.10.001

慕灯聪,孟磊,丁恩杰,等.煤岩应力分布式监测系统[J].工矿自动化,2015,41(10):1-4.

煤岩应力分布式监测系统设计

慕灯聪^{1,2,3}, 孟磊^{1,2}, 丁恩杰^{1,2,3}, 张申^{1,2,3}, 邓国芳^{1,2,3}

(1. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008;

2. 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室, 江苏 徐州 221008;

3. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:针对现有煤岩应力监测存在布线复杂、可扩展性差及数据传输实时性不高等问题,基于无线传感器网络架构,设计了一种煤岩应力分布式监测系统。该系统以CC2530芯片为核心,利用传感节点采集钻孔煤岩应力,路由节点通过ZigBee网络接收采集数据并传至汇聚节点,汇聚节点通过工业以太网将数据传至上位机进行显示、存储和分析。测试结果表明,传感节点与汇聚节点间最大通信距离达50 m,该系统可实时、准确地监测煤岩应力,具有操作方便、部署灵活、易于扩展等优点。

关键词:煤岩应力;分布式监测;无线传感器网络;ZigBee

中图分类号:TD311/655.3

文献标志码:A

网络出版时间:2015-09-29 14:40

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150929.1440.001.html>

Design of distributed coal-rock stress monitoring system

MU Dengcong^{1,2,3}, MENG Lei^{1,2}, DING Enjie^{1,2,3}, ZHANG Shen^{1,2,3}, DENG Yuanfang^{1,2,3}

(1. Internet of Things (Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. National and Local Joint Engineering Laboratory of Internet Application Technology on Mine, Xuzhou 221008, China; 3. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract:In view of problems of complex wiring, bad extensibility and low real-time performance of data transmission existed in coal-rock stress monitoring, a distributed coal-rock stress monitoring system based on wireless sensor network was designed. The system takes CC2530 as core, collects drilling coal-rock stress through sensor node. Routing node receives and transmits the collected data to sink node through ZigBee network. The sink node sends the data to upper computer for display, storage and analysis through industrial Ethernet. The test results show that the system can realize real-time and accurate monitoring of coal-rock stress with the maximum communication distance between sensor node and sink node is 50 m and has advantages of convenient operation, flexible deployment and easily to expand.

Key words:coal-rock stress; distributed monitoring; wireless sensor network; ZigBee

收稿日期:2015-05-23;修回日期:2015-08-20;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41302203);国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA06A411);“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH12B01)。

作者简介:慕灯聪(1989—),男,安徽蒙城人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络,E-mail:787357610@qq.com。通信作者:孟磊(1982—),男,山东济宁人,助理研究员,博士,主要研究方向为矿山灾害感知,E-mail:mengleicunt@126.com。

0 引言

煤岩应力是指在地下采掘活动影响下,原有的地应力平衡被打破,并在煤岩空间重新分布后的次生应力。当重新分布的应力超过煤岩体的极限强度时,会使采掘工作面周围的煤岩体发生破坏,进而诱发冲击地压、煤与瓦斯突出等煤岩动力灾害^[1-2]。实时监测采动过程中煤岩应力的动态变化对于研究煤岩动力灾害机理、预防灾害发生及顶板控制具有重要意义。

现有的煤岩应力监测包括在线式和离线式 2 种。在线式监测基本采用钻孔应力计、分站与有线传输网络的结构,建设成本高,线缆错综复杂、易被损坏、延伸拓展较困难,尤其在井下工作面经常搬迁、有线传输网络未及时覆盖条件下,在线式监测很难实现快速、及时部署。离线式监测使用自计式仪器,由工人定时到井下采集数据,数据的实时性与连续性较差,后期数据分析与处理滞后,不能及时发现问题。目前,集成智能传感器、嵌入式系统、无线通信等的物联网技术广泛应用于矿山领域,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)作为重要的感知手段,具有自组网、部署灵活、功耗低等特点^[3-5]。本文基于 WSN 架构,采用 ZigBee 网络,以 CC2530 芯片为核心,设计了一种煤岩应力分布式监测系统,该系统可准确、实时地显示煤岩应力变化,为预测、预防冲击地压等煤岩动力灾害提供重要的数据支持。

1 系统硬件设计

煤岩应力分布式监测系统主要由传感节点、路由节点、汇聚节点及上位机组成,如图 1 所示。传感节点采集钻孔煤岩应力并传送至路由节点,路由节点将数据通过多跳的方式传至汇聚节点,汇聚节点通过工业以太网将数据传送给上位机,通过上位机的人机交互界面读取煤岩应力监测数据。

1.1 传感节点

传感节点主要包括应变式应力传感器、信号调理电路、CC2530 射频模块、电压转换电路、电池电量监测及状态指示灯,如图 2 所示。应变式应力传感器将采集的应力信号转换为电压信号,经信号调理电路放大后送至 CC2530 射频模块,CC2530 射频模块将应力数据及电池电量等信息打包发送给路由节点。考虑到功耗问题,采用 3 个 LED 指示灯分别表示工作状态、缺电报警及阈值超限报警,方便井下

工作人员观察。

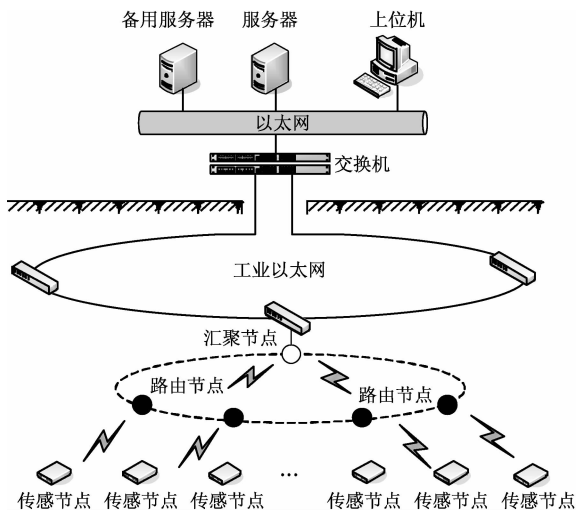


图 1 煤岩应力分布式监测系统结构

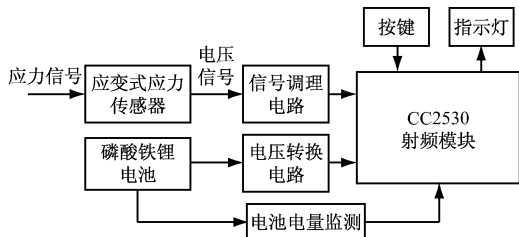


图 2 传感节点结构

传感节点采用容量为 $5 \text{ A} \cdot \text{h}$ 的 3.2 V 磷酸铁锂电池供电,经电压转换电路转换为 3.3 V 电压。考虑到硬件设计要求电源具有功耗低、稳压、纹波小等特点,电压转换电路采用 TPS79433 芯片,其输入电压范围 $2.7 \sim 5.5 \text{ V}$,输出 3.3 V 电压时的转换效率达 80% 。

应变式应力传感器采用弹性钢,可承受较大应力。在传感器中间两侧可发生形变位置粘贴应变片,组成全桥电路,当传感器受力后弹性钢发生形变,导致两侧的应变片形变,从而全桥电路失去平衡,输出与应力成正比的电压信号^[6]。全桥电路采用 2 个半桥应变片,电阻为 350Ω ,灵敏系数为 $2.0 \pm 1\%$ 。受生产工艺等因素影响,应变片阻值不可能完全相等,存在少许偏差,使得传感器未受力时全桥电路输出不为零,因此,采用滑动变阻器设置调零电路,通过调节滑动变阻器的阻值使电桥趋于平衡。

煤岩应力引起的应变片形变较小,使得输出电压为毫伏级(实测为 $0 \sim 4 \text{ mV}$),需通过信号调理电路放大至 CC2530 可采集的 $0 \sim 3.3 \text{ V}$ 。采用具有高精度(最大非线性度 40×10^{-6})、低失调电压(最大失调电压 $50 \mu\text{V}$)和低功耗(最大工作电流仅 1.3 mA)等特点的 AD620 放大器^[7],仅需 1 个外部

电阻即可设置增益,增益范围可达1~1 000。

1.2 路由节点

路由节点的主要作用是寻找最佳路径将传感节点发来的数据转发给汇聚节点,同时接收汇聚节点发送的上位机指令并转发给传感节点。在网络中添加路由节点可有效扩大网络覆盖范围。另外,路由节点能够自愈 ZigBee 网络,如果某个无线连接断开,路由节点能自动寻找新的路径来避开断开的网络连接,极大提高了网络的可靠性。

路由节点通常需要一直处于活动状态,必须使用主电源供电,但考虑到突发紧急状况时主电源不能及时供电,因此设计了2种供电方式。路由节点结构如图3所示。隔爆兼本质安全型电源输出电压为12 V,电压转换电路采用K78L03-500R2 高效率稳压器将12 V转换为3.3 V,转换效率可达90%。

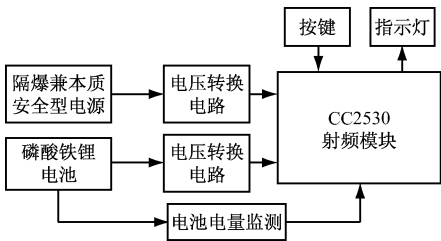


图3 路由节点结构

1.3 汇聚节点

汇聚节点负责启动和配置整个 ZigBee 网络,连接 ZigBee 网络与工业以太网,实现 ZigBee 协议和以太网协议之间的转换,同时具有存储、转发能力,将接收的数据转发至上位机,并将上位机指令通过 ZigBee 网络发送至路由节点。汇聚节点结构如图4所示。

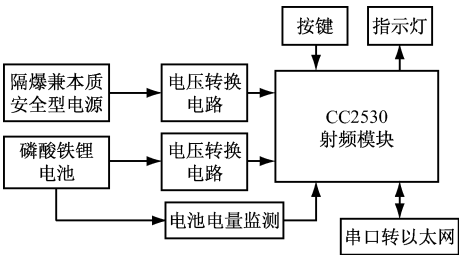


图4 汇聚节点结构

2 系统软件设计

煤岩应力分布式监测系统软件包括嵌入式软件和上位机管理软件2部分。

嵌入式软件包括传感节点、路由节点和汇聚节点程序,实现数据实时采集和定时发送、电池电量监测、协议转换等功能,采用的集成开发环境为 IAR

Embedded Workbench for MCS,在 ZigBee 协议栈 Z-Stack 的基础上进行开发,开发语言为 C 语言。汇聚节点程序流程如图5所示。

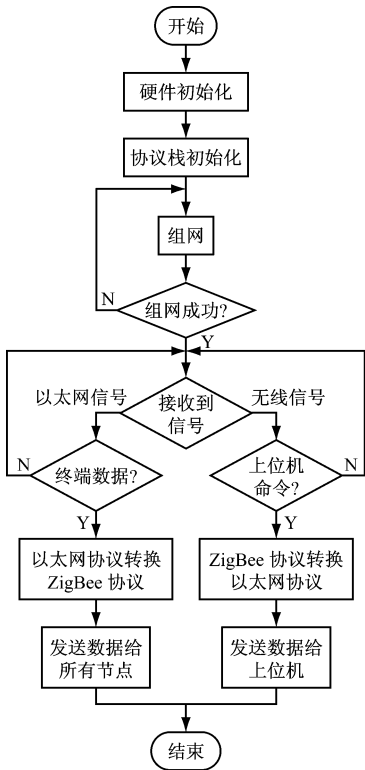


图5 汇聚节点程序流程

上位机管理软件功能包括实时显示与存储传感节点发送的应力监测数据、超阈值报警以及历史数据查询。上位机通过 UDP Socket 通信方式接收汇聚节点发送的数据,根据数据类型分别进行数据包解析,将数据存储到数据库中,并在上位机界面显示。在 Visual Studio 2008. NET 编程环境中使用 C# 语言编程,完成上位机管理软件的开发,数据库采用 SQL Server 2005。上位机管理软件流程如图6所示。

3 系统测试

3.1 试验结果

采用 MTS 液压伺服万能试验机作为应力源,对应力传感器施加 0~20 MPa 应力,试验机加压过程采用计算机编程控制,设定应力调整步长为 2 MPa,使应力递增至最大,每调整 1 步后设置 5 s 的停留时间,记录试验机和上位机显示的应力,见表1。

由表1可知,上位机显示的应力和试验机的标准应力之间误差较小,平均误差为 0.481 3 MPa,表明系统可以准确监测煤岩应力的变化。

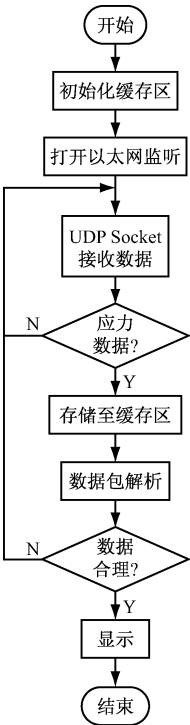


图 6 上位机管理软件流程

表 1 试验数据 MPa

试验机显示的应力	上位机显示的应力	误差
0	0.065 8	0.065 8
2	1.888 1	0.111 9
4	3.820 1	0.179 9
6	6.366 0	0.366 0
8	7.432 7	0.567 3
10	11.107 3	1.107 3
12	10.900 7	1.099 3
14	14.540 3	0.540 3
16	16.429 4	0.429 4
18	18.326 6	0.326 6
20	19.499 1	0.500 9

3.2 现场测试

在兖州煤业股份有限公司鲍店煤矿北辅运输巷道壁上的钻孔处安装应变式应力传感器,传感器安装至钻孔底部,周围用泥沙灌注并固定,保证传感器与岩层充分接触。汇聚节点接入井下环网,传感节

点与汇聚节点单跳传输。系统上电后,打开上位机软件界面,系统能正常接收煤岩应力数据,如图 7 所示。经测试,汇聚节点和传感节点间最大通信距离为 50 m 时系统能正常接收数据。



图 7 煤岩应力分布式监测系统上位机界面

4 结语

介绍了煤岩应力分布式监测系统的传感节点、路由节点、汇聚节点和上位机软件的设计方案。测试结果表明,传感节点与汇聚节点间最大通信距离达 50 m,系统性能稳定,可实时、准确显示煤岩应力变化,具有操作方便、部署灵活、易于扩展等优点。

参考文献:

[1] 徐文全. 采动空间围岩应力监测技术及应用研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2012.

[2] 宋广东,刘统玉,王昌. 基于采动应力监测的深部动力灾害预测技术[J]. 中国矿业,2012,21(增刊1):520-522.

[3] 王桃,刘晓文,乔欣,等. 基于无线传感器网络的液压支架压力监测系统[J]. 工矿自动化,2014,40(6):7-10.

[4] 张申,丁恩杰,徐钊,等. 物联网与感知矿山专题讲座之三——感知矿山物联网的特征与关键技术[J]. 工矿自动化,2010,36(12):117-121.

[5] 张申,赵小虎. 论感知矿山物联网与矿山综合自动化[J]. 煤炭科学技术,2012,40(1):83-86.

[6] 赵明. 矿用采动应力监测传感器的比较和应用[J]. 煤矿机电,2012(6):98-101.

[7] 丁恩杰,孟祥,李晓,等. 基于无线传感器网络的井下液压支架压力监测系统[J]. 煤矿机械,2010,31(10):139-141.