

文章编号: 1001-1986(2012)05-0075-03

# 无线传感网络在矿井物探仪器中的应用

王小波

(中煤科工集团西安研究院, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 针对煤矿井下数据采集采用有线连接方式给勘探工作带来了不便的问题, 开发了无线传感网络系统。介绍了节点分类、硬件构成及软件工作流程, 并做了系统的自动组网、通讯距离及同步测试试验。试验结果表明, 设计的无线传感网络系统可满足设计要求, 给井下数据采集带来了方便。

**关键词:** 无线传感网络; CC2431 芯片; 井下无线数据采集

中图分类号: TD15 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.05.019

## Application of wireless sensor networks in mine geophysical instruments

WANG Xiaobo

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Aiming at the inconvenience of data acquisition using cable connection in underground mines, the wireless sensor network system was developed. Data collection by wireless sensor network can greatly reduce the work intensity. In this paper, the development of wireless sensor network system for data acquisition in coal mines has been introduced, including node classification, constitution of hardware and software workflow, and automatic networking of the system, communication distance and simultaneous test have been experimented. The results show that the wireless sensor network system can meet the design requirements and is convenient for underground data acquisition.

**Key words:** wireless sensor network; CC2431; mine wireless data acquisition

目前我国煤矿井下勘探仪器基本采用有线连接, 带来了设备布局受限、勘探工作量大、装备质量增加、容易发生断线、安装难度大等诸多不便。无线传感网络没有绝对的中心节点, 且具有无中心和自组织性, 节点开机后可快速、自动地组成一个独立的无线网络<sup>[1]</sup>。将无线网络应用于井下勘探传感节点中, 主机与传感器及传感器之间可相互协调, 实现数据通信。网络能够实现自动重组, 节点可在规定的范围内扩展, 也可以方便地调整数据采集点的位置, 能极大的减轻井下勘探工作强度。

### 1 无线传感网络组成

#### 1.1 网络模块硬件组成

井下无线传感网络节点模块是由 MCU 模块、功放模块、天线模块、空中升级模块、程序下载模块、数据传输模块和本安电源模块<sup>[2]</sup>等组成(图 1)。

MCU 模块包括主处理器 CC2431<sup>[2]</sup>及其相关配套元件, 芯片采用 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 工艺生产, 工作电流为 27 mA, 可用外部中断或 RTC(实时时钟)唤

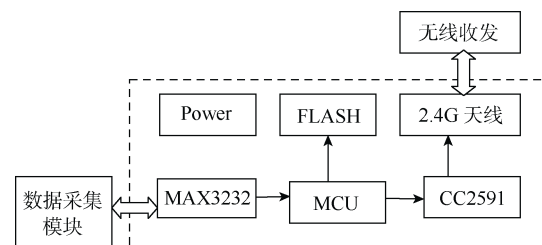


图 1 无线传感模块硬件组成

Fig. 1 The hardware components of wireless sensor modulus

醒系统。功放模块包括 CC2591<sup>[3]</sup>及其相配套的元件, 其组合可将无线系统覆盖范围扩展 15 倍, 并集成了输出功率高达 22 dBm 的功率放大器和接收机, 灵敏度提高+6 dB 的低噪声放大器。天线根据技术要求, 选用鞭状全向天线, 传输距离远, 灵敏度高, 实现 CC2591 输出端 50  $\Omega$ ·m 到天线 50  $\Omega$ ·m 的信号传输的阻抗匹配。为了测试和检测的方便, 电路中应用了具有低功耗、高数据速率、增强型 ESD 保护等特性 MAX3232<sup>[4]</sup>芯片及两级稳压本安电源模块。

CC2431 芯片片内有 128 kB 的 Flash 存储器, 通常在此平台上开发的程序代码超过 64 kB, 这样

收稿日期: 2011-10-19

作者简介: 王小波(1978—), 男, 陕西咸阳人, 硕士, 工程师, 从事地球物理勘探与信息技术研究。

在芯片内部很难做到存放镜像而不影响运行程序。因此,要在 CC2431 平台上实现 OAD 无线下载功能,须在芯片外部添加 E<sup>2</sup>PROM,用以存放需要下载的镜像代码。设计采用闪存 M25PE10 实现这一功能。M25PE10 是容量为 1 Mb 的串口分页闪存,通过高速的 SPI 兼容总线,页写入和页编程,能够一次写入或编入 1~256 B。

无线模块技术指标见表 1。

表 1 技术指标  
Table 1 Technical specification

规 范	规 格
范围	100 m
性能	
发送功耗输出	60 mW(18 dBm)
数据传输率	250 kbps
接收器灵敏度	-90 dBm
工作电压(VDD)	3.0~3.6 V
电源	
发送电流	195 mA
功耗	
接收电流	31 mA
睡眠电流	<10 $\mu$ A

## 1.2 数据采集站结构框图

主站、中继节点和传感器节点都包含有一个无线模块。无线模块与采集模块之间通过 RS232 接口连接。无线传感网络中的所有模块硬件结构相同,除 Sink 节点外所有节点都具有无线数据通信能力和路由器作用。系统工作如图 2 所示。

## 1.3 软件流程

无线传感网络移植到物探仪器中的数据采集过程<sup>[1]</sup>可以分为以下几个部分:无线网络组网;进行网络配置;同步采集数据;数据汇总;进入休眠模式以降低功耗。串口通讯处理是管理串口数据的收发,验证串口收到的指令字,如果是合法的指令字则进行相应的后续处理,否则丢弃。无线通讯处理是当有无线数据包到来时,接收消息并分类处理。登记请求/回应、同步(补偿)请求/回应和其他指令是直接通过串口转发。Sink 节点工作流程如图 3。采集节点负责接收 Sink 节点的控制命令,并与传感器模块交互,实现数据的采集与传输任务。

## 2 野外试验效果

### 2.1 节点距离测试

节点样机(图 4)面板上的 LED1 是入网指示,LED2 是发送/收到数据指示,LED3 是登记成功/闪烁命令指示。节点间距离测试是在节点之间没有障碍物,非完全理想测试环境下进行的。对于发送失败的

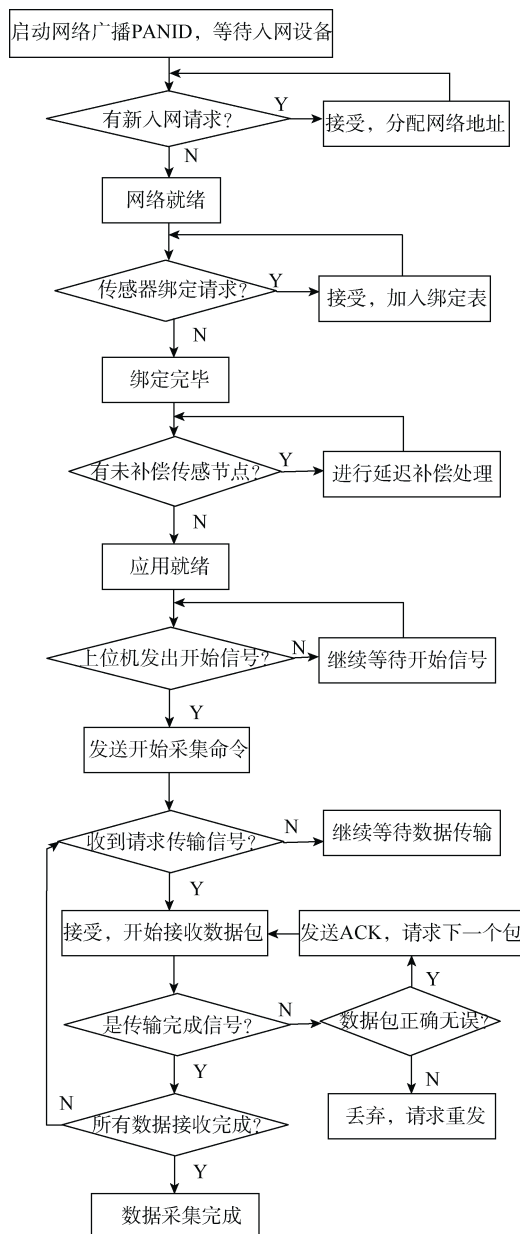


图 2 无线传感网络系统框图

Fig. 2 Block diagram of the wireless sensor network

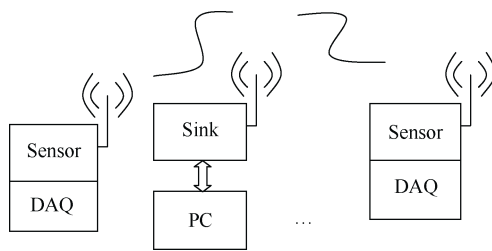


图 3 Sink 节点工作流程

Fig. 3 Sink node workflow

数据设置 3 次重发机制。测试要求相邻节点间距不小于 60 m。

测试记录见表 2,在距地面 1 m 以上,节点相距 80 m 以内基本不存在丢包问题,80~150 m 有丢包现象,当大于 150 m 丢包现象相对比较严重。

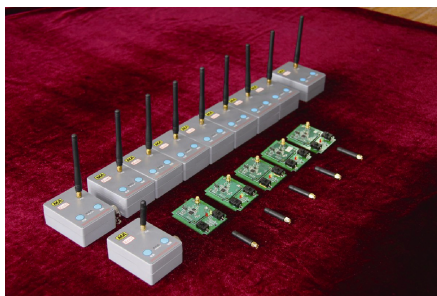


图 4 无线传感网络节点样机

Fig. 4 Prototype of wireless sensor network node

表 2 测试记录  
Table 2 Test records

距离/m	次数	发包数	收包数	丢包率/%
40	1	2 000	2 000	0
	1	2 000	2 000	0
60	2	2 000	2 000	0
	3	2 000	2 000	0
80	1	2 000	2 000	0
	2	2 000	1 998	0.1
100	3	2 000	2 000	0
	1	2 000	1 997	0.15
	2	2 000	1 999	0.1

## 2.2 自适应及同步测试

主站的同步指令应能通过无线传感模块同时到达各采集子站无线模块, 无线传感网络应能实现自动桥接。当直接通讯距离不够时, 可以通过其他节点进行中继通讯, 其中某一个非 Sink 节点(不包括连续 2 个或以上的节点)失效时, 网络能正常通讯, 实现自适应功能。

Sink 节点向数据采集节点同时发送采集命令, 采集节点在收到命令后, 点亮相应的 LED 灯, 此时示波器同时对 3 个 LED 的电平进行测量, 得到其发生电平变化的时延波形图(图 5), 显示最快响应时间和最慢响应时间, 即时间延迟。

对同步传输延时进行了多次测量, 最大延迟为 70 s, 最小延迟为 10 s, 平均传输延迟<sup>[5]</sup>为 57.3 s, 小于设计要求的从指令发出到各子站开始执行的时间误差应不大于 100 s 的要求。测量结果的不同是由传输延迟和处理延迟以及测量误差造成的。

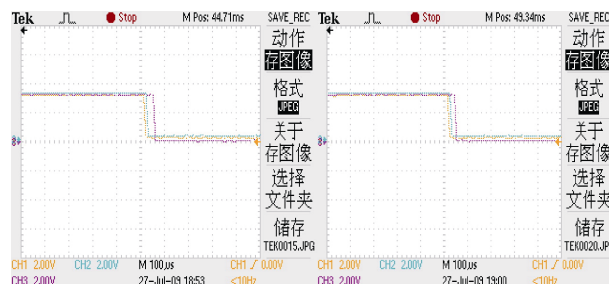


图 5 时延波形

Fig. 5 Waveform delay

## 3 结 论

通讯距离在地面达 60 m, 能够自动中继, 实现自适应功能; 串口速率达 115 200 bps, 满足一般勘探数据采集系统要求。

后续工作主要是在井下进行巷道环境因素<sup>[6]</sup>(如路径损耗、多径衰落、电磁噪声干扰)对无线传感网络通讯能力的影响试验、定向功率天线对通讯距离的影响试验和巷道内金属支护的影响试验。

无线传感器网络节点的研制应用, 为煤矿井下物探仪器数据采集系统进一步轻量化、智能化提供了强有力的技术支持。后续将借助新的分析手段使网络匹配更完善, 进一步优化网络、减少功耗、减少失真, 增加传输距离。

## 参考文献

- [1] 高守玮, 吴灿阳. ZigBee 技术实践教程—基于 CC2430/31 的无线传感器网络的解决方案[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 10-19, 355-368.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. GB3836. 4-2010 爆炸性环境 第 4 部分: 由本质安全型“i”保护的设备[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. CC2431 System-on-Chip solution for 2.4GHz/ IEEE802.15.4 with Location Engine[G/OL]. Americal Texas :TEXAS INSTRUMENTS,(2007-06-01)[2011-09-01]http : // www.TI .COM.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS. CC2591 2.4-GHz RF Front End[G/OL]. Americal Texas :TEXAS INSTRUMENTS ,(2008-06-01) [2011-09-01]http : //www.TI.com.
- [5] 李帅, 刘宏立, 刘述钢. 基于 ZigBee 的无线传感网络节点能耗性能分析[J]. 科技导报, 2009, 27(13): 64-66.
- [6] 胡圣波. 煤矿井下无线传感网络通信关键技术的研究[J]. 工矿自动化, 2008 (3): 1-4.