

文章编号:1671-251X(2010)06-0015-05

# 基于 ZigBee 与数传电台的矿井环境检测系统 节点设计及其组网方案

江 杰, 陈树树

(内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:**针对因煤矿井下环境复杂造成无线传感器网络无法有效地远距离传输信息的问题,提出了一种基于ZigBee 无线传感器网络与数传电台的矿井环境检测系统的设计方案,给出了系统总体结构,介绍了以 CC2430 为核心的传感器节点和网关节点的设计,阐述了适合于矿井环境的 ZigBee 无线传感器树形网络组网方案的实现。实际测试结果表明,该系统采用 ZigBee 无线传感器网络与数传电台相结合的通信方案是切实可行的,有效解决了低功耗、远距离传输、高可靠性方面的问题;对节点进行编号的组网规则使网络拓扑结构更具有针对性,提高了节点的精确定位功能,降低了井下作业的危险性。

**关键词:**矿井; 环境检测; 无线传感器网络; ZigBee; 数传电台; 节点; 树形网络; CC2430

**中图分类号:**TD655.3      **文献标识码:**B

Node Design and Networking Scheme of Mine Environmental Detection System  
Based on ZigBee and Data Radio Station

JIANG Jie, CHEN Shu-shu

(School of Information Engineering of Inner Mongolia University of Technology, Baotou 014010, China)

**Abstract:** In view of the problem that wireless sensor network can't make remote transmission because of complex underground situation, the paper proposed a design scheme of mine environmental detection system based on ZigBee wireless sensor network and data radio station. It gave general structure of the system, introduced design of sensor node and gateway node which taking CC2430 as core, and expounded implementation of networking scheme of ZigBee wireless sensor tree network. The test result showed that the system uses communication scheme combining with ZigBee wireless sensor network and data radio station is feasible, which solves problems about low power, remote transmission and high reliability, and networking rule of node numbering makes topology of network has pertinence, which improves accurate position function of node and reduces risk of underground operation.

**Key words:** mine, environmental detection, wireless sensor network, ZigBee, data radio station, node, tree network, CC2430

## 0 引言

在矿井环境检测系统中,为了避免因矿井结构的变化使通信线路的延伸和维护变得困难,用无线

传感器网络取代传统的有线网络已成为解决方案之一。但由于井下环境复杂、监测点较多,通信及组网困难,尤其是随着采掘的不断深入,无线传感器网络无法进行有效的远距离传输以及 GPRS 网络传输的延时问题,使采掘设备与人员不能及时地与地面监控中心取得联系,增加了作业的危险性。

一般可采用以下几种通信方案解决上述问题:

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(20080404MS0703)  
作者简介:江杰(1958-),内蒙古包头人,教授工程师,主要从事网络控制与智能仪表装置方面的教学与科研工作。E-mail: chenss80@163.com

(1) 采用传统的网关节点直接传输,该方案会因传输距离较远导致通信可靠性严重降低;(2) 缩短网

收稿日期:2010-02-05

关节点与监控中心之间的距离,在汇聚节点与网关节点间增加中继节点,该方案增加了系统成本且存在丢包现象;(3)采用传统网关节点与 GPRS 网络相结合的方式,该方案解决了远距离传输的问题,但后期营运成本较高且网络延时较严重;(4)采用传统网关节点与数传电台相结合的方式,该方案可实现实时可靠的远距离传输且成本较低。

通过比较,笔者选择第四种通信方案设计了一种基于 ZigBee 无线传感器网络与数传电台的矿井环境检测系统。本文主要介绍该系统的节点设计及组网方案。

## 1 系统总体结构及要求

基于 ZigBee 无线传感器网络与数传电台的矿井环境检测系统主要由传感器节点、汇聚节点和网关节点组成,如图 1 所示。沿巷道每隔 200 m 设置 1 个传感器节点,实时获得井下环境的瓦斯浓度、压力及温湿度等数据信息并将处理后的信息传到汇聚节点进行数据整理,汇聚节点通过 ZigBee 网络将数据以帧的形式传送至位于矿井入口的网关节点,网关节点将数据进一步融合后通过数传电台发送到监控中心。

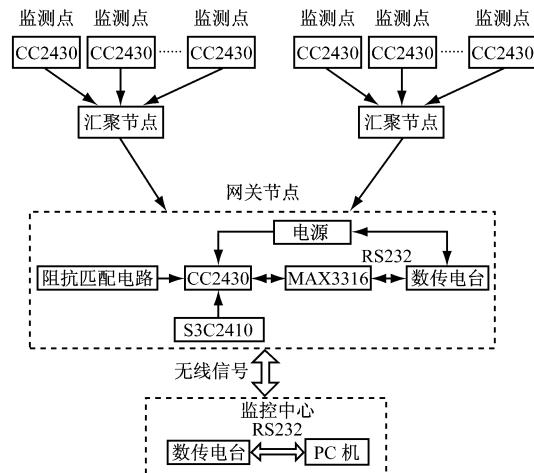


图 1 基于 ZigBee 无线传感器网络与数传电台的矿井环境检测系统结构

在布置现场 ZigBee 节点的位置时,应满足每个节点至少可与 2 个以上的节点通信,以保证通信的可靠性。此外,为了避免由于瓦斯监测系统设施较固定而造成的瓦斯探头不能随着采掘进度跟进到位所导致的瓦斯监测系统盲区的问题,在矿工和掘进设备上安装传感器节点作为移动节点,移动节点将采集的信息通过固定的 ZigBee 节点送到监控中心。

## 2 节点设计

### 2.1 传感器节点的设计

传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块组成。其中无线通信模块采用 Chipcon 公司生产的符合 ZigBee 技术的 2.4 GHz 射频芯片 CC2430。CC2430 在单个芯片上整合了 ZigBee 射频前端、内存和微控制器,使用 1 个 8 位 MCU (8051),具有 32/64/128 KB 的可编程内存和 8 KB 的 RAM,还包括模拟数字转换器、定时器、AES128 协同处理器、看门狗定时器、32 kHz 晶振的休眠模式定时器、上电复位电路、掉电检测电路,以及 21 个可编程 I/O 引脚。

瓦斯传感器选用中国船舶重工集团公司第 718 研究所生产的 LXK-3 催化元件,它是一种广谱性的气敏元件,适用于天然气、液化石油气和城市煤气等多种可燃气体的检测和报警。

温湿度传感器选用瑞士 Sensirion 公司生产的单片全校准数字式相对湿度和温度传感器 SHT11,它具有数字式输出、免调试、免标定、免外围电路及全交换的特点。

压力传感器选用 Intersema 公司生产的 MPX2100,它是一款集成压阻式压力传感器,具有 ADC 接口和 SMD 混合集成电路。

由于 LXK-3 输出的差模信号量比较小,其差分输出端接放大芯片 INA114 的差分输入端  $V_i^-$ 、 $V_i^+$ ,INA114 的输出端  $V_o$  接 CC2430 的 P0.1,再由 CC2430 自带的 A/D 转换器对该信号进行处理;SHT11 有 8 个管脚,GND 接地、 $V_{DD}$  为电源端、DATA 为双向串行数据线、SCK 为串行时钟输入、其余为空管脚,DATA 与 SCK 分别接 CC2430 的 P0.0 和 P0.1,用 CC2430 的 P0.0 虚拟数据线 DATA,用 P0.1 虚拟时钟线;MPX2100 的 2 根数据线 DIN、DOUT、串行时钟线 SCLK 分别接 CC2430 的 I/O 端口 P1.6、P1.5、P1.4;CC2430 的工作电压为 3~3.3 V,采用电压转换模块 MAX1724 将电压从 5 V 降低到 3.3 V 左右。图 2 为瓦斯传感器节点的电路。

### 2.2 网关节点的设计

与传感器节点相比,网关节点要将来自各汇聚节点的信息进行校正、融合等处理后通过数传电台发给监控中心,因此,网关节点要具有较强的数据处理能力和运行速度。由于 CC2430 内嵌的 8051 控制器不能满足要求,选用具有丰富片上资源的

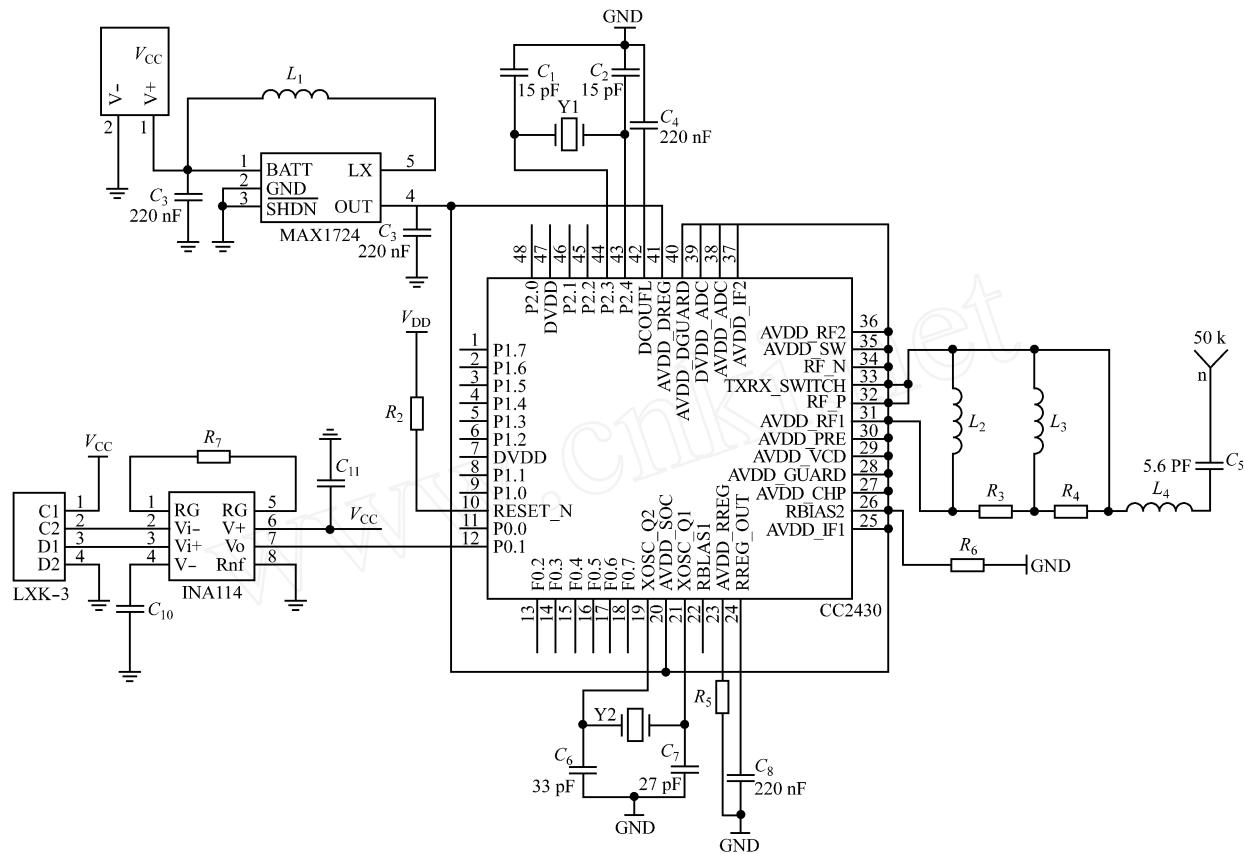


图2 瓦斯传感器节点的电路

ARM9微处理器S3C2410。TTL与RS232电平转换选用MAX3316,可直接操作CC2430的串行数据线和控制线。

数传电台选用美国MDS公司生产的MDSEL705,它是MDS公司专门为中国开发的点对多点SCADA专网及其它遥测、遥信、遥控系统设计的高性能、高可靠性、低价位的无线传输电台。该电台类型为频率合成式,半双工通信方式,信道间隔为12.5 kHz,同频或异频传输;数据接口采用RS232,与CC2430的连接用DB-25针插头,数据设备采用DTE配置。

### 3 ZigBee无线传感器网络的组网方案

#### 3.1 传感器节点的编号规则

本系统采用节点编号方式进行节点定位,即从编号反映节点所处的地理空间位置。编号规则如下:

(1) 节点编号的第一位用大写英文字母A、B、C、D、E来表示,代表不同的矿区编号。

(2) 节点编号的第二位、第三位、第四位均用数字1、2、3、4、5表示,分别代表一个矿区中不同的矿井编号;处于同一个矿区、同一个矿井中不同的巷道

编号;处于同一个矿区、同一个矿井、同一个巷道中的节点所在网络拓扑结构的层数。

(3) 节点编号的第五位用数字0~9表示,代表处于同一个矿区、同一个矿井、同一个巷道中的节点位于网络拓扑结构的第几层的第几个,这一位可以根据节点的数量和容量的不同采用不同的位数,拓扑结构中节点的数量越多位数也越多。

(4) 节点编号的第六位用大写字母W、S、L表示,代表在网络拓扑结构中不同节点所检测的不同参数,分别代表瓦斯检测节点、水文检测节点和巷壁压力检测节点。

例如,一个传感器节点的编号为A31206W,代表的意思:A矿区中的第三号矿井中的第一号巷道中的瓦斯检测节点,这一节点是网络拓扑中第二层的第六号节点。

#### 3.2 网络拓扑结构中的分层及布点构建原则

根据煤矿井下巷道的环境状况和地质结构,笔者按照巷道深度的不同将巷道中的ZigBee无线传感器网络的拓扑结构分为5层,并且随着井下巷道距地面水平线位置垂直深度的增加,网络拓扑结构也逐层增加,即层数编号越大巷道的深度也越深。网络拓扑结构的层数编号分别用1、2、3、4、5表示,

代表 1~5 层。本文所采用的树形网络拓扑结构的构建原则：

(1) 由于瓦斯浓度的检测是众多检测数据中的重点,所以在每一层中检测瓦斯浓度的传感器节点较检测巷壁压力和水文的传感器节点数量居多。

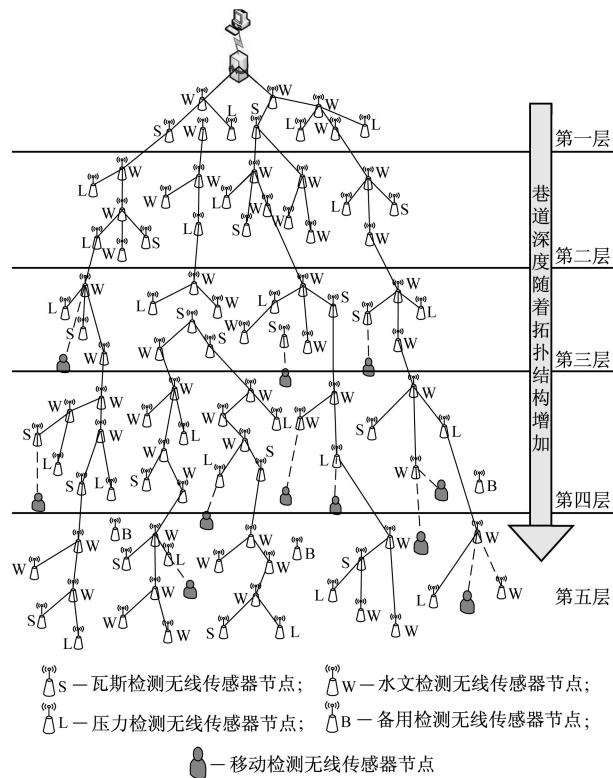
(2) 网络拓扑结构总容量是 100 个各类节点。每一层的节点容量随着巷道深度以及网络拓扑结构的层数的增加而增加。具体容量:第一层为 10 个节点,第二层和第三层均为 20 个节点,第四层和第五层均为 25 个节点。

(3) 移动节点的加入。

(4) 在实际的巷道环境中,节点间距在无阻挡物的情况下设定为 200 m 左右,反之,采用多个节点接力传递的方式。

(5) 为了避免由于汇聚节点失效而造成多个节点的数据不能发送或丢失,从而影响整个网络及瓦斯监控系统的实时性和准确性,笔者在关键的汇聚节点周围布置了备用节点。

按照上述原则构建的适合煤矿井下瓦斯监测的 ZigBee 无线传感器树形网络拓扑结构如图 3 所示。图 3 给出了虚拟的信通连接,实线表示固定节点间的虚拟连接信道,虚线表示移动节点和固定节点间的虚拟信道连接。



### 3.3 节点间所传送的数据信息

在 ZigBee 无线传感器网络中最重要的信息是各个测量节点所传送的测量信息,这是整个瓦斯监控系统的基础。

每个节点的信息包中包含以下内容:(1) 起始帧,其和结束帧均属于标准字段,为一个 8 bit 的列,具有帧同步作用,为了避免帧中其它字段也出现和标志字段相同的比特组合,笔者采用“零 bit 填充技术”,即标志字段的构成为“01111110”,确保其它字段不出现这样的组合即可,具体做法:在发送端,硬件扫描发送帧,发现 5 个连续 1,则填入 1 个 0;在接收端,分离出数据部分后用硬件扫描,每当发现 5 个连续 1 时删掉其后的 1 个 0,还原成原始比特流;(2) 节点的编号,映射节点的相关信息,如地理位置;(3) 节点的检测类型;(4) 具体测量值;(5) 节点的生命值,该值标志节点的能量状况;(6) 节点的路由信息,包含了节点的路由路径;(7) 报警信息,若节点测量的数据参数达到报警限值则产生报警信息通知监控中心及其它节点;(8) 结束帧,标志信息结束。具体的信息包结构如图 4 所示。

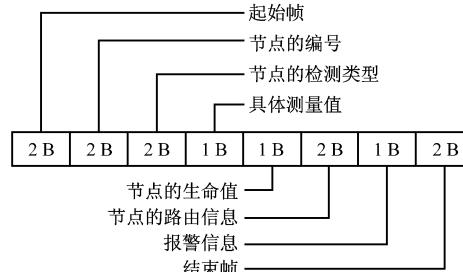


图 4 信息包结构

### 3.4 树形拓扑网络的路由协议

在 ZigBee 无线传感器网络中,树形网络拓扑的路由算法为目的地址提供简单而可靠的路由。该算法采用网络地址分配机制,节点根据目的节点的网络地址计算下一跳节点地址。树形网络中全功能汇聚节点可成为父节点,普通节点只能作为子节点。树形网络采用一种等级树路由机制,包括树地址分配和树路由 2 个部分。

加入 ZigBee 无线传感器网络的节点通过 IEEE 802.15.4 MAC 层提供的关联过程组成一棵逻辑树,当网络中的节点允许一个新节点通过它加入网络时,它们之间就形成父子关系,每个进入网络的节点都会得到父节点为其分配的在该网络中的唯一网络地址。如果子节点要发送数据包到其它节点,则将该数据包转发给其父节点,由父节点进行转发。

节点在网络拓扑中的网络地址由全功能节点自

文章编号:1671-251X(2010)06-0019-05

# 基于信息融合的异步电动机故障迹象 智能预测系统的研究

田慕琴, 刘志恒, 海振宏

(太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

**摘要:**异步电动机故障机理较复杂, 利用单个信息只能判断异步电动机系统可能在某些方面有故障征兆, 结论具有一定的不确定性, 特别是异步电动机在早期有劣化迹象时, 各个方面的表现都比较弱, 需要全面综合众多信息进行有效融合。针对上述问题, 提出了一种基于信息融合的异步电动机故障迹象智能预测系统的设计方案, 分析了 D-S 证据理论的原理, 并在其基础上给出了基于单个信息和基于多个信息融合的异步电动机故障诊断结果。实际应用表明, 该系统具有一定的有效性。

**关键词:**异步电动机; 故障诊断; D-S 证据理论; 信息融合

**中图分类号:**TD614; TM343      **文献标识码:**B

收稿日期:2010-02-24

基金项目:山西省科技攻关项目(2006031153-01), 山西省自然科学基金项目(2007011068)

作者简介:田慕琴(1962-), 女, 山西无台县人, 教授, 博士, 现主要从事大型机电设备在线故障诊断和智能控制等方面的研究工作。E-mail:tyut-wap@163.com

主分配。例如, 在 A11 巷道的第一层拓扑网络的第一个节点的网络地址是 1.01, 那么, 第二个节点的网络地址就是 1.02, 各层的各个节点的网络地址以此类推。节点储存的路由信息表的内容有本身的网络地址、目的地址、下一跳的网络地址, 其中, 下一跳的网络地址是和本节点在网络拓扑结构图中有通信信道链接的节点地址, 启动路由算法是各个节点以下一跳网络地址为基础, 按照不同的路由算法来选择符合的下一条网络地址, 以此来达到信息传送的目的。

## 4 检测信号总体流向

本系统最终目的就是将系统节点所检测到的数据信息在第一时间内准确地传送到网关节点以及监控中心, 其节点数据传输流向如图 5 所示。

## 5 结语

实际测试表明, 介绍的基于 ZigBee 无线传感器网络与数传电台的矿井环境检测系统是切实可行的, 有效解决了低功耗、远距离传输、高可靠性方面的问题; 对节点进行编号的组网规则使网络拓扑结

