

ZigBee Design and Implementation of Wireless Gas Alarm System

Xingang Lee, Liejun Wang, Wanlin Sun

College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi
Email: xiaoyaoxiaolong@gmail.com

Received: May 16th, 2013; revised: Jun. 23rd, 2013; accepted: Jul. 6th, 2013

Copyright © 2013 Xingang Lee et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The gas leak detection and alarm is the most important coal mining safety production supervision and control object. This article uses the ZigBee wireless networking technology of communication module and MQ-5 gas concentration detection sensor with temperature and humidity sensors, designs and implements the wireless gas concentration alarm system. The wireless gas concentration alarm system can play multi-node capture, automatic networking and remote alarm roles. Compared with the traditional single-point mine gas alarm, the alarm system has the characteristics such as flexible layout, low power consumption, high accuracy measurement acquisition, disaster tolerance and so on. It can be applied to the gas concentration monitoring in the coal mine and can greatly reduce the gas explosion.

Keywords: ZigBee; Gas Explosion; CC2530

ZigBee 技术无线瓦斯报警系统的设计与实现

李新刚, 汪烈军, 孙万麟

新疆大学信息科学与工程学院, 乌鲁木齐
Email: xiaoyaoxiaolong@gmail.com

收稿日期: 2013 年 5 月 16 日; 修回日期: 2013 年 6 月 23 日; 录用日期: 2013 年 7 月 6 日

摘要: 瓦斯泄露的检测与报警是煤矿开采安全生产中的重点监控对象。本文使用 ZigBee 无线通信模块组网技术和 MQ-5 的瓦斯浓度探测传感器与温湿度传感器设计并实现了无线瓦斯浓度报警系统。本无线瓦斯报警器系统, 能够起到多节点瓦斯浓度采集、自动组网、远距离报警的作用。与传统的单点矿井瓦斯报警器相比, 本报警系统使用电池供电具有布置灵活、低功耗、测量采集精度高、容灾性高等特点, 可应用于煤炭井下开采的瓦斯浓度监控, 可大大降低煤矿瓦斯爆炸的安全隐患。

关键词: ZigBee; 瓦斯闪爆; CC2530

1. 引言

如今人们可以偶尔在电视新闻中看到某地区煤矿瓦斯爆炸的事故报道, 瓦斯在各类矿产开采, 尤其是煤矿开采中始终是一个产生安全的隐患不良因素, 对于瓦斯泄露的检测与报警也是煤矿开采安全生产中重点的监控对象之一^[1]。

瓦斯泄露于空气中遇明火产生爆炸有一定的浓度范围, 我们把空气中瓦斯遇火后能引起爆炸的浓度范围称为瓦斯爆炸阈值。瓦斯爆炸阈值为 5%~16%, 当瓦斯浓度低于 5% 时, 遇明火不发生爆炸, 但能在火焰外围形成燃烧层; 当瓦斯浓度为 9.5% 时, 其爆炸威力最大(空气中氧气和瓦斯发生完全闪爆反应); 当

瓦斯浓度高于 16% 时,混合气体失去其爆炸性,但在空气中遇明火仍会燃烧。具生产现场实际测试瓦斯气体爆炸阈值并不是固定不变的,此阈值会受环境温度、大气压力以及煤尘、其它可燃性气体、惰性气体的混入等因素的影响。

新疆地区煤炭资源丰富,据有关部门勘测预计,储量在 2.19 亿万吨,占全国煤炭储量的四成以上。因受地理条件限制,现阶段还没有大规模开发,随着内地煤炭资源的日益枯竭,新疆地区煤炭资源的合理开发安全生产的重要性日益凸显。实际煤炭生产开采的过程总会遇到煤层气的干扰。煤层气,是指赋存在煤层中以甲烷为主要成分、吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体,是煤的伴生矿产资源,属非常规天然气。煤炭开采中如不采取相应措施很容易造成煤矿瓦斯爆炸的悲剧。因此矿井内的瓦斯泄露监测预警就显得格外重要,是安全生产工作的重要组成部分。

2 系统设计原理与结构

本系统的终端环境参数采集主要采集空气中的瓦斯浓度、空气湿度以及环境温度。通过检测瓦斯浓度可以提前预警排除瓦斯闪爆的危险,空气湿度可以提前预警矿井下的透水事故的发生。

ZigBee 瓦斯报警系统中主要有路由器、协调器和系统终端构成,其中每组传感器节点都作为 ZigBee 网络中的一个终端,协调器负责各个节点的身份识别 ID 的分配协调。整个无线网络拓扑选用星型网络结构,此种网络结构可由中心协调器节点统一收集各个终端采集到的环境数据统一发送到 PC 机储存或动态监控。在自建网络完成后,传感器的终端节点与路由器或协调器完成绑定关系,周期性的向路由器传送采集到的环境数据。传感器节点在固定时间内若找不到路由器或者协调器的应答信号时可以自动寻找新的可连接节点实现自动组网,极大地提高系统的容灾性能。同样还可以通过全功能路由节点实现数据的接力传递,扩大矿井下的检测范围^[2,3]。终端节点也可以将采集到的数据进行内部存储,对所得数据进行相关的校准处理,提高其精确性,减少外界环境干扰的影响。按照行业规范的数据传输格式标准调制数据,最终通过 GPRS 模块或 RS232/RS485 通信接口传输数据

至 PC 监控端进行监测分析^[4]。系统结构框图如图 1 所示。

3. 系统硬件结构

本系统的 ZigBee 节点的硬件电路部分主要包括环境参数采集电路模块和数据处理通信电路模块、电源电路模块几部分。系统构成框图如图 2 所示。

本系统硬件结构包括有主控制器 CC2530、传感器模块(MQ-5 瓦斯传感器、DHT11 温湿度传感器)、电源模块、输入装置(按键盘)、输出装置(Led 指示灯、RF 通信部分集成于 CC2530、RS232 串口通信部分)。其中 CC2530 是 TI 公司生产的增强型 8051 CPU,结合了领先的 RF 收发器的优良性能,遵循 2.4-GHz IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用。它能够以非常低的总的材料成本建立强大的网络节点。CC2530F256 结合了德州仪器的业界领先的黄金单元 ZigBee 协议栈(Z-Stack™),提供了一个强大和完整的 ZigBee 解决方案。

3.1. 传感器电路

本系统瓦斯传感器采用了 MQ-5 气体传感器,该传感器正常工作需要通过加热丝对气敏材料预热。对液化气、天然气等有较好的灵敏度,有快速响应恢复特性,可长期可靠、稳定工作。适用于家庭或工业上对液化气,天然气,煤气的监测装置。图 3 是瓦斯传感器电路图,CC2530 具有片上 12 位高精度 A/D 转换功能,通过端口 P2_0 对瓦斯传感器的采样端口电压采样,由此采样电压通过计算得到气敏传感器的电阻值,从而通过查表与函数矫正的方法可以较精确的得到空气中瓦斯的浓度。此外通过与 9014 三极管串联的法官二极管的明暗度也可以比较直接的看到空气中瓦斯浓度的变化,为工人现场调试提供便利。

此外本报警系统还是用 DHT11 做环境的温湿度采集。DHT11 传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器,内部包括电阻式感湿元件、NTC 测温元件、高性能 8 位单片机,有快速响应、抗干扰能力强等优点。出厂前都在精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式存在 OTP 内存中,测试中调用这些存储的校准系数对数据校准。最后由单线串行输出采样数据。图 4 是 DHT11 温湿度传感

器模块的电路图。

以下是新疆大学信息工程学院 2012 年校级实训项目中完成的 ZigBee 无线瓦斯报警器的监控中心和瓦斯浓度检测节点的是实物电路。经过同学们实际测试空旷场地有效通信距离 250 米,有效自动组网距离 150 米,在室内间隔钢筋混凝土墙壁 100 米内可以有效通讯,将节点采集到的瓦斯浓度可靠发送到监控中心节点(图 5)。

3.2. 无线数据传输电路

CC530F256 是美国 TI 半导体公司设计研发的一款增强型 51 单片机,支持 ZigBee 通讯协议,内部结合了德州仪器的业界领先黄金单元 ZigBee 协议栈(Z-Stack™),是一款非常出色的射频单片机。在待机模式下只有 $0.4\mu A$ 的电流,CC2530 是继 CC2340、CC2341 之后的又一款 2.4 GHz (2.4~2.483 GHz) ISM Zigbee 芯片。它支持 IEEE 802.15.4 标准,还包括 ZigBee PRO 网络、ZigBee RF4CE 等,在远程控制、楼宇自动化、环境监控以及无线医疗等都有广泛的应用前景^[5,6]。2.4 GHz 是全球性的频段,其具有全球通用性;整体的频宽胜于其他 ISM 频段,提高了整体数据传输速率且允许系统共存;2.4GHz 无线电和天线的体积能够做到最小使其更为微型化;在 IEEE802.15.4 标准中有很多机制的保护,使得 Zigbee 在 2.4GHz 频段与 Wi-Fi、蓝牙、无线 USB 以及家用相比具有更强的抗干扰优势。通过 SPI/UART 接口可与任意一款主控芯片实现交互通信^[7]。CC2530 在 ZigBee 无线网络中可以担任传感器终端设备节点、路由器节点或协调器节点,在传感器网络中具有很大通用性。CC2530 的电路设计如图 6 所示。

4. 系统软件设计

本系统的软件部分主要是按照功能模块划分为几个部分进行便编写计。功能函数主要包括有环境瓦斯浓度、温度、湿度的采集与处理,无线通信的部分通过调用 Z-Stack™的功能函数来实现数据的收发^[8]。整个程序编写均是用常用的 C 语言完成,便于程序的移植与调整。本系统程序的编写调试使用了 IAR.760A,直接使用 TI 公司的 ZStack-CC2530-2.3.0-1.4.0 协议进行开发。通过连接 CC.Debug 完成程序的下载和运行

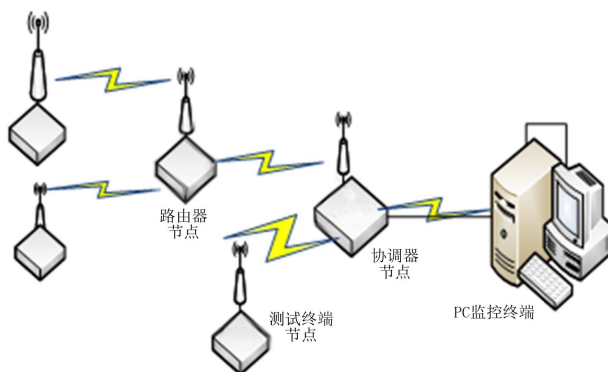


Figure 1. Gas monitoring alarm system block diagram
图 1. 瓦斯监控报警系统结构图

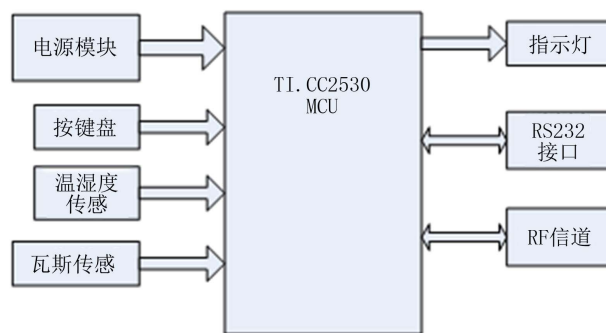


Figure 2. Gas monitoring node hardware block diagram
图 2. 瓦斯监控节点硬件结构框图

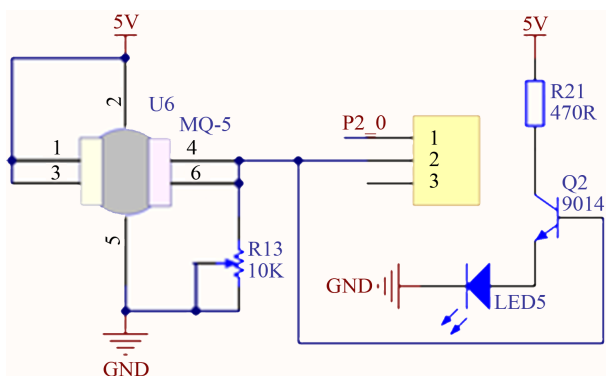


Figure 3. MQ-5 gas sensor circuit
图 3. MQ-5 瓦斯传感器电路

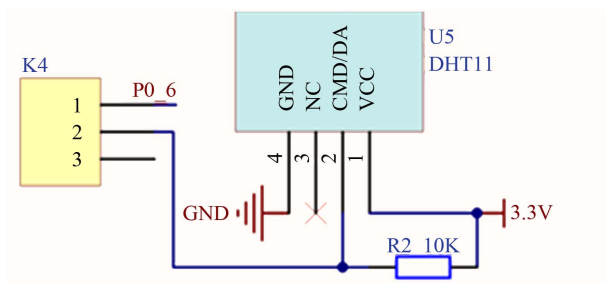


Figure 4. Temperature and humidity sensor circuit
图 4. DHT 温湿度传感器电路

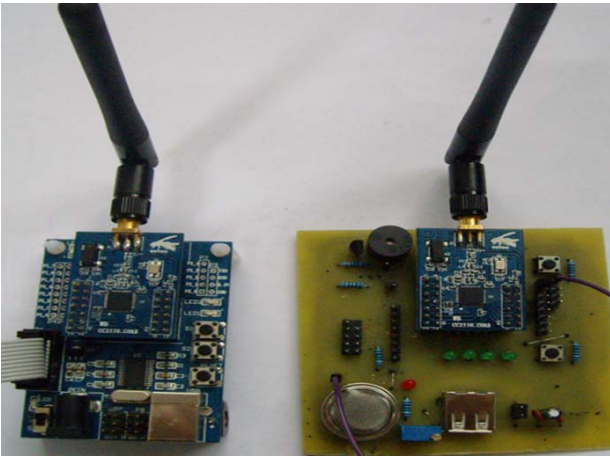


Figure 5. The circuit board of gas monitoring center node and terminal node

图 5. 瓦斯监控中心节点与终端节点电路板

调试。

主要的函数包括有环境的温湿度测试以及瓦斯浓度测试。温湿度测量功能模块实现的是对 DHT11 的初始化以及测试数据的读取并存储转化；瓦斯浓度测量功能实现对 MQ-5 的测温电路的模数转换并存储存储

转换结果，且通过线性化矫正的函数通过查传感器特性参数表以提高测量精度；数据发送格式处理功能模块完成对采集到的瓦斯浓度、环境温湿度的打包处理；无线数据传输主要是通过调用 ZStack 协议里的相关函数与协议栈完成数据的无线发射以及节点之间的信息互传。各个子函数之间保持相对的独立完整性，可以在主体函数内实现无缝调用。

为适应无人值守的矿井下恶劣环境中使用，必须设定好看门狗定时时间。同样为了提高系统的可靠工作时间、最大限度的降低功耗、延长 Li 电池的使用时间，需要充分的利用 CC2530 的低功耗控制模式，在进行 A/D 转换时选取低频的时钟，以及在空闲状态下及时关闭 MCU 通过定时器唤醒的方式控制 MCU 间歇性工作。在不需要监控的情况下系统可进入极低功耗模式以节约电能。传感器终端节点的程序流程图如图 7 所示。可以确保每个终端节点可靠地进行数据采集和传输。

系统总体程序流程图设计如图 8 所示。

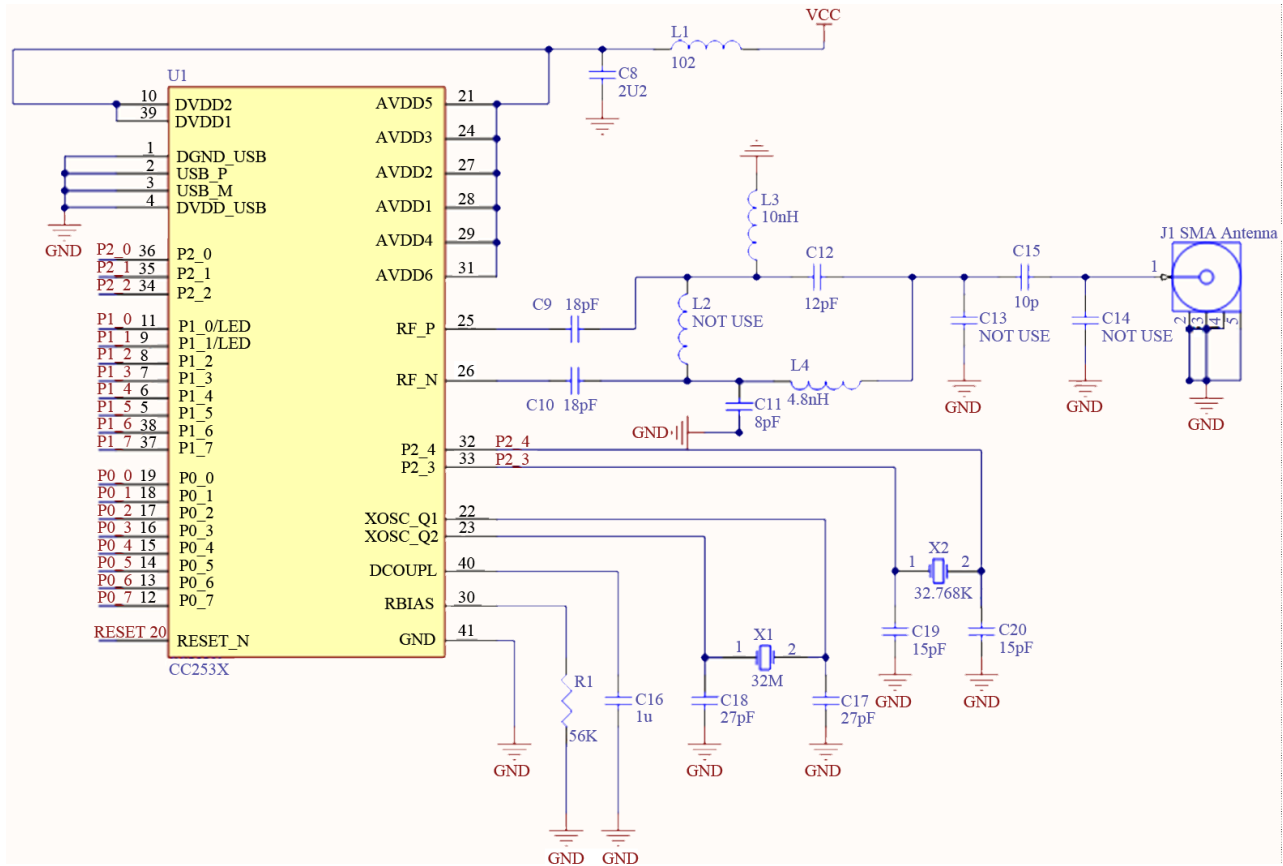


Figure 6. RF chip CC2530 core circuit diagram
图 6. 射频芯片 CC2530 核心电路图

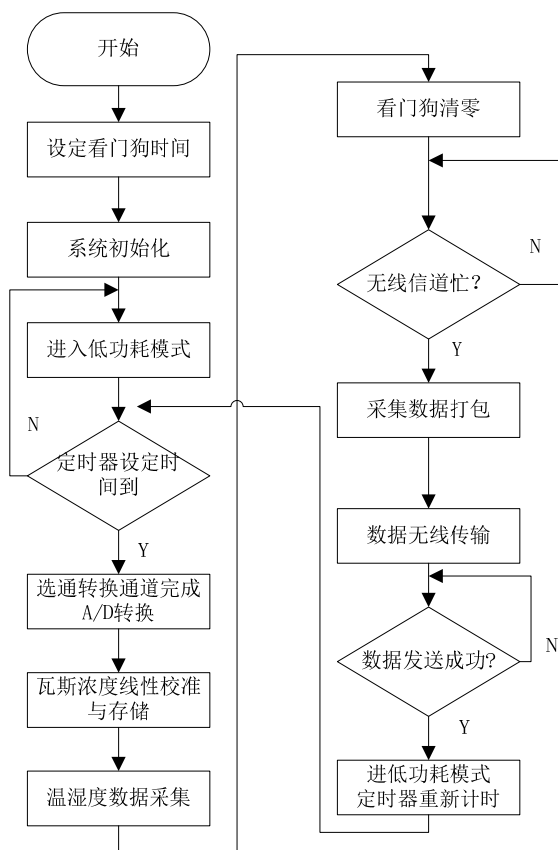


Figure 7. The sensor terminal node program flow
图 7. 传感器终端节点程序流程

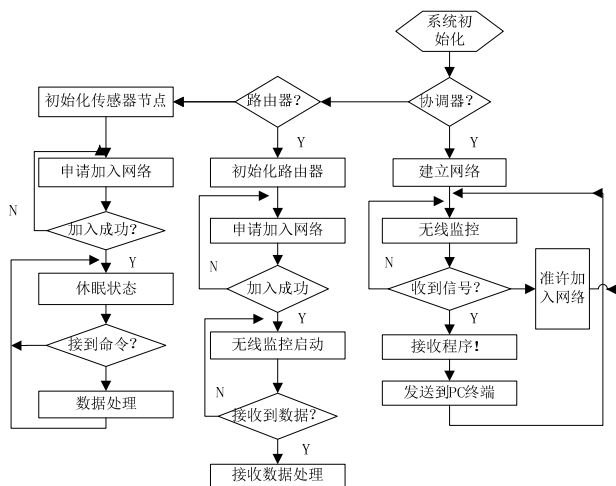


Figure 8. The ZigBee Node system flow chart
图 8. ZigBee 节点系统流程图

5. 结论

本 ZigBee 无线瓦斯监控报警系统通过使用 MQ-5 气体传感器监控矿井的瓦斯浓度、DHT11 检测环境温度与湿度。从而可以对矿井瓦斯闪爆、矿井透水做出预警。而 ZigBee 技术组网可以在低功耗下长时间可靠运行，整体系统各节点之间星型拓扑结构可以提高系统的容灾特性，即使系统中的某几个节点发生故障也不会影响其他节点的正常工作。通过相应的软件校正可以消除瓦斯传感器的非线性误差，在一定范围内提高系统的检测精确性，满足系统的设计需求。各个传感器节点自动与检测中心的协调器节点组网最终完成监控数据的无线传输。通过在监控 PC 终端的控制指令发送操作，也可以控制监控节点工作于低功耗模式，为矿井下长时间无人值守，通过 Li 电池供电提供了可能。本监控报警系统可适用于新疆地区各种类型的煤矿井下瓦斯安保监控，以及其他矿井的安全监控。

参考文献 (References)

- [1] 裴新, 虞慧群, 范贵生. 基于 ZigBee 技术的井下人员定位算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 12(1): 108-116.
- [2] 徐肖肖, 瞿光祥, 黄秋燕等. 基于 ZigBee 的矿井无线语音通信系统探讨[J]. 工矿自动化, 2013, 39(1): 99-102.
- [3] 王继伟, 吴才章. 基于 ZigBee 的气调粮仓二氧化碳气体浓度检测系统设计[J]. 工矿自动化, 2013, 6(4): 289-290.
- [4] 张健, 陈国瑞. 基于 ZigBee 入侵地波监测技术的荆州大遗址地下遗产保护研究[J]. 应用科技, 2013, 40(1): 42-49.
- [5] M. Varchola, M. Drutarovský. ZigBee based home automation wireless sensor network. Acta Electrotechnica et Informatica 2007, 7(4): 1-7.
- [6] H.-J. He, Z.-Q. Yue and X.-J. Wang. Design and realization of wireless sensor network gateway based on Zigbee and GPRS. 2009 2nd International Information and Computing Science, Manchester, 21-22 May 2009, 196-199
- [7] P. Baronti, P. Pillai, V. W. C. Chook, et al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Computer Communications, 2007, 30(7): 1655-1695
- [8] T. G. Stavropoulos, K. Gottis, D. Vrakas, et al. aWESoME: A web service middleware for ambient intelligence. Expert Systems with Applications, 2013, 40(11): 4380-4392.