

# 基于寻优补偿矫正的煤矿危险气体监测系统设计

郑天明, 李 欢

(周口师范学院 计算机科学与技术学院, 河南 周口 466001)

**摘要:** 煤矿井下的气体在封闭的环境中传输, 信息难以获取, 采集数据不完整, 导致无法准确地对井下的密封不严、腐蚀穿孔等情况及时感知而造成危险气体泄漏发生爆炸; 将传感网络的思想引入到管道内爆炸风险监控中, 在管道中布置压力传感器与气敏传感器对管内数据进行采集与处理; 针对危险气体模型在系统的软件设计中, 用 Zigbee 网络协议构造传感网络, 使用信号补偿技术配合粒子群寻优搜索技术对井下危险气体进行搜索; 实际的系统测试中在不同距离的测试环境下, 系统测试的最大报警误差在 2% 以内。

**关键词:** 煤矿监测; ZigBee; 粒子群优化; 线性矫正

## Coal Mine Gas Monitoring System Design Based on Optimum Compensation and Correction Risk

Zheng Tianming, Li Huan

(School of Computer Science and Technology, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

**Abstract:** Transmission of the coal mine gas in a closed environment, information is difficult to obtain, incomplete data, lead to can't accurately untight seal, corrosion perforation of downhole, and so on and so forth in time perception and cause gas leak explosion danger; Thoughts of sensor network is introduced into the pipe explosion risk monitoring, decorate in the pipeline pressure sensor and gas sensor data acquisition and processing in pipe; Against dangerous gas model in system software design, using Zigbee sensor network protocol structure network, using the signal compensation technology with particle swarm optimization search search for dangerous gases underground; The actual system tests under different distance of test environment, within 2% of the maximum error of the alarm system test.

**Key words:** coal mine monitoring; zigBee; particle swarm optimization; linear correction

### 0 引言

我国的能源需求持续增长, 在能源结构中煤炭占消费结构的 70% 左右, 在未来相当长的一段时间内, 煤炭仍然还是我国的主要能源支撑。我国的煤矿中自然条件复杂, 开采条件差机械化的程度较低, 煤矿的作业情况狭小, 形成大量的危险源与事故隐患。大量的煤矿为了节省开销, 在事故的隐患监控与防治很不完善, 隐患监控的数据主要依靠人工手工记录, 历史数据查询自动化程度较低, 工作人员的人身安全难以保证。近些年, 我国针对煤矿的环境监测与从业人员的安全保护中进行了大量的研究, 出现了很多优秀的研究成果<sup>[1]</sup>, 这些研究成果很多已经广泛应用在实际的煤矿生产中。这部分系统有些是基于有线通信的方式, 这种数据监控与传输的方式布线复杂, 不适合长距离的矿井采掘, 且这种方式成本昂贵在建设的初期存在监控盲点<sup>[2-5]</sup>。急需新一代的系统设计方案, 加以替换。

### 1 煤矿监控系统的基本框架

我国的绝大多数的煤矿处在条件复杂的地势中, 灾害类型较多, 其中井下的可燃气体与有害气体是重要的安全威胁。传统的系统存在数据特征漂移的弊端, 本文设计的无线传感网络煤矿监控系统总体上分为监控中心与采集传输系统两个部分, 监控中心分布在井上, 采集与监控系统主要设计原理图如图 1

所示。

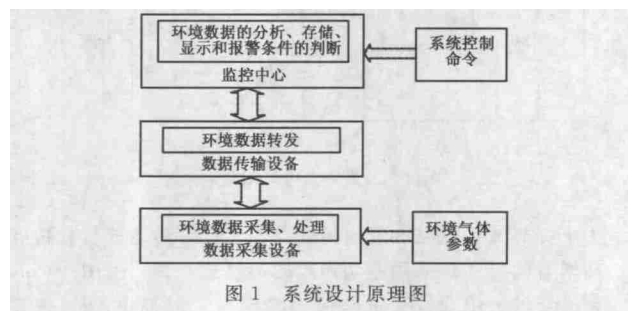


图 1 系统设计原理图

系统的采集与传输系统包括网络协调器、路由设备、采集终端三个部分。数据采集模块的功能是对煤矿井下的瓦斯、甲烷、一氧化碳、氧气的浓度、温度等环境进行数据采集与处理。甲烷传感器中本文选取的是炜盛科技集团研发的 MJC4/3.0J 安全传感器<sup>[6]</sup>, 这种传感器的输出电压呈线性、响应的速度较快稳定可靠; 氧气传感器的数据采集本文选取了 ME3-O2 氧气传感器, 温度传感器选取了将晶体管电路、恒流源电路、放大电路集合在一起的温度传感器, 这种传感器的测量精度高、具有良好的线性输出能力。无线传输模块中 ZigBee 技术的飞速发展, 迅速成为经典广泛使用的无线网络协议, 本文选取了 CC2430 与 CC2591 低功耗结合的无线收发芯片进行数据的无线转发与传输。CC2430 内置了 8 位的 8051MCU 和 8KB 的 RAM, 采用 CMOS 的生产工艺设计, 使用时钟分块技术进行功率损耗的动态控制。CC2591 芯片集成了功率放大器与低噪声放大器可以进行多达 22 dbm 的输出功率, 灵敏度也

收稿日期:2013-06-25; 修回日期:2013-08-23。

作者简介:郑天明(1980-),男,河南省信阳市人,讲师,主要从事计算机应用的研究。

大大提高。监控中心负责对采集与传输的系统数据进行分析存储与显示,上位机监控中心的数据支持环境参数查询功能。

## 2 煤矿监控系统的硬件设计

根据系统的设计原理,本文在主坑道中每隔一定的距离设置数据采集终端,在特定的区域中设置网络的协调器节点,采集区自我组成一个无线传感器网络,通过通信接口与总线和上位机进行通信。系统的设计主要包括数据采集收发模块、上位机的信号处理与矫正模块两个部分。

### 2.1 数据采集与收发模块设计

数据采集设备是由电源模块、数据采集模块、通讯接口模块、总线接口模块组成。采集的数据主要包括甲烷、氧气、一氧化碳、温度、瓦斯等现场数据。系统的甲烷传感器依据催化燃烧式的传感器采集甲烷的原理,随着气体浓度的变化传感器的电压变量出现变化。MJC4/3.0J 传感器的输出稳定、响应速度快,工作电压为 3.0V,响应时间小于 10S,同样在氧气传感器与一氧化碳传感器的数据采集也都选取了线性输出好,性能稳定的传感器。因为甲烷的采集受到环境的影响较大,经常受到数据微弱灵敏度较低的影响,本文设计了气体采集前段放大电路。

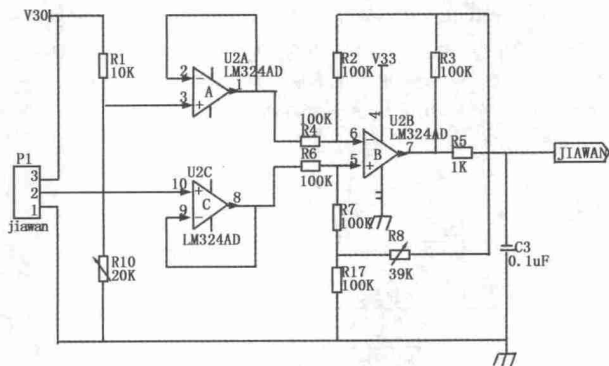


图 2 前置放大电路设计

为了提高放大电路的输出精度,本文设计的运放具有精度高、高增益的特性,采用差动输入的运算放大器,采用两级放大,每一级放大组成放大电路保证漂移与失调很小。 $R_{10}$  为零点调节电位器, $R_9$  的调整可以改变电路的放大系数。系统的 ZigBee 无线收发模块中集成了 CC2430 与 CC2591 两种芯片,CC2591 芯片内部集成了  $R_F$  匹配网络,不需要增加额外的匹配电路就可以实信号收发,图 3 是收发模块的系统设计图。

本文将 ZigBee 模块传感器采集模块分开设计,将多余的 CC2430 芯片 I/O 口引出用于系统的扩展,如上图所示, $R_1$  为 32MHz 的晶振提供了一个合适的工作电流, $R_2$  是电流参考发生器。外部的两个电容  $C_{14} \setminus C_{15}$  提供了外部晶振的主时钟控制,CC2430 工作需要外加 32M 参考时钟,采用了 32M 晶振与起振电容通用的方式进行晶振控制。系统在第一次启动时不会启动 32M 晶振而是采用 16M 的晶振工作。

无线网络中的协调器是网络中节点能耗最大的部分,但是协调器工作在数据的汇总阶段对能耗的要求大,网络协调器通过 220V 的交流电源提供,图 4 是系统中的电源供电电路设计图。

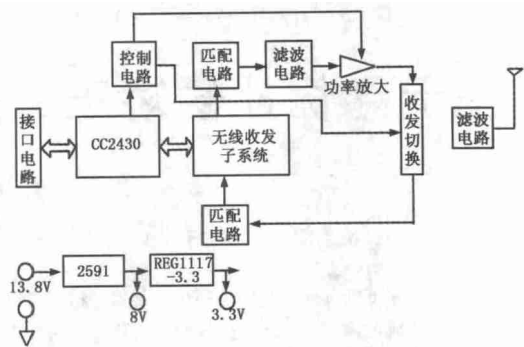


图 3 ZigBee 无线收发模块图

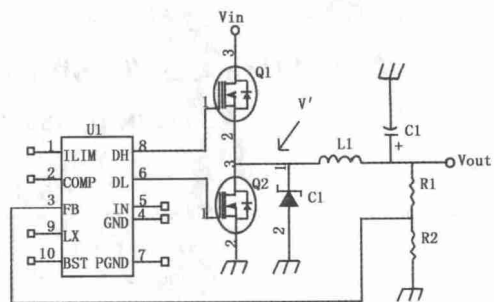


图 4 电源供电电路设计图

上图中的 D1, D2 防止输出电压大于输入电压时烧坏 7812 与 7805。LDO 选用了 T1 公司的 REG1117-3.3 稳压器,这种芯片电路简单可靠适合工作在煤矿监控中。网络协调器与上位机的通信使用串口通信技术,上位机通过串口向协调器发送控制信息,协调器通过串口向上位机进行信息反馈。串口模块的电路设计图如下所示:

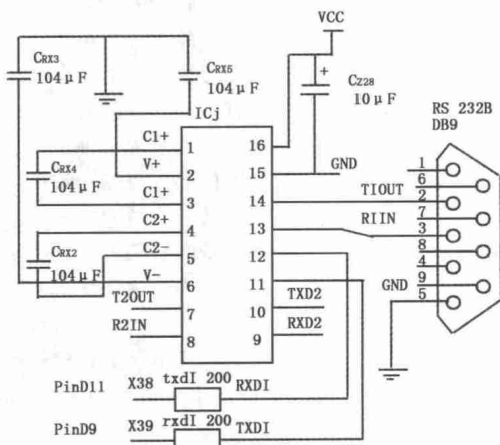


图 5 串口模块电路设计图

MAX3232CSE 电平转换芯片与 DB9 插座组成了串口转换的电路主体,系统采用的电路主体中的电平转换芯片的工作电压是 3.3V。

## 3 系统软件设计

上位机安装在井上的监控中心,上位机可以对井下的环境数据进行存储与分析。另外,本文在上位机的数据分析端口中设计了传感器的输出数据线性矫正过程,实际的系统测试证

明，这种系统可以将传感器输出更加线性化、标准化。数据在采集模块中采集各个参数时，检测输出与浓度成一定比例关系，但是在检测浓度过高或者浓度过低的情况下会产生一定非线性的漂移影响传感器的输出准确度。本文使用粒子群优化的方法作为软件设计的基础算法，获取煤矿井下的气体浓度输出值矫正模型，针对大量的历史记录数据与现场采用人工测量仪器进行数据测量进行对比，本文在核心算法设计中通过粒子群优化的非线性优化能力进行模型构造。粒子群优化的核心思想是模仿鸟群在自然空间中觅食的过程，粒子群寻找食物的过程通过数学建模成为非线性问题的优化过程，优化的解空间结构就是粒子群的速度与位置的更新空间。算法的流程如下：

- (1) 计算粒子的速度更新。
- (2) 计算粒子本身的学习能力，这种能力帮助其跳出本身的位置进行下一步的更新，反应了速度对粒子的影响，第二部分代表了粒子本身的认知能力，避免使该优化陷入局部最小。
- (3) 第三部分是整个粒子群的社会能力即互相学习能力，这种能力可以帮助粒子群进行全局的寻优，经过初始值设置的迭代次数更新后找到全局的最优解。将海量的历史数据经过非线性优化的模型构造过程得到传感器的线性矫正。

本文中粒子群的优化适应度函数使用的是输出值与人工测量值的最小均值误差，这样就避免了因为非线性漂移对系统准确性带来的影响。图 6 是在核心控制芯片中加载了粒子群优化技术的系统软件流程图。

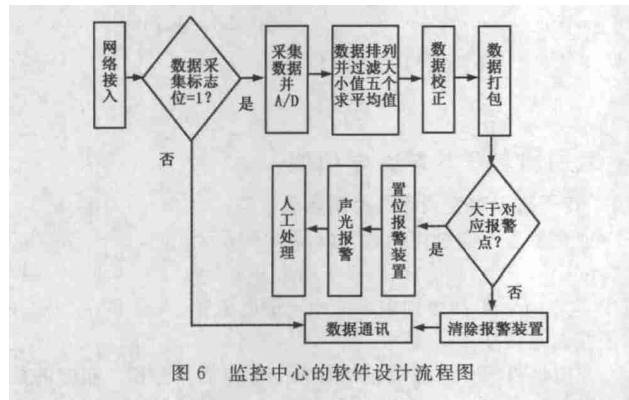


图 6 监控中心的软件设计流程图

除了传感器的线性矫正功能设置在监控中心中，煤矿的井下数据采集与传输系统中的参数存储、分析、显示功能也设置在该模块中。对网络中的传感器节点进行控制与反馈也在该模块实现。

4 系统测试分析

4.1 系统本身性能测试

为了验证本系统在煤矿井下环境监测中的性能，本文在某煤矿的矿井中进行测量，测量的网络性能主要包括网络性能与传感器采集的数据准确率，系统的测试环境为煤矿的井下采掘面，井下 100 m，坑道高 3 m、宽度为 2 m、测试温度在 20℃、湿度 80%。本文在煤矿井下搭建的网络包括两个网络协调器与 20 个终端节点，节点的信息包括 64 位的 IEEE 地址与 16 位的短地址，表 1 是部分网络性能数据测试结果。

4.2 系统功能测试

上表可见，随着测试距离的增大，数据的丢包率在逐渐扩

表 1 系统网络性能测试表

实验序号	距离	收到数据包	丢包率
1	30	1000	0
2	40	1000	0
3	50	999	0.001
4	60	998	0.002
5	65	995	0.005
6	70	994	0.006
7	80	990	0.01
8	100	990	0.01

大，但是数据的丢包率仍然在系统要求范围内。图 7 是经过线性校正后与传统方法进行的报警准确率对比。

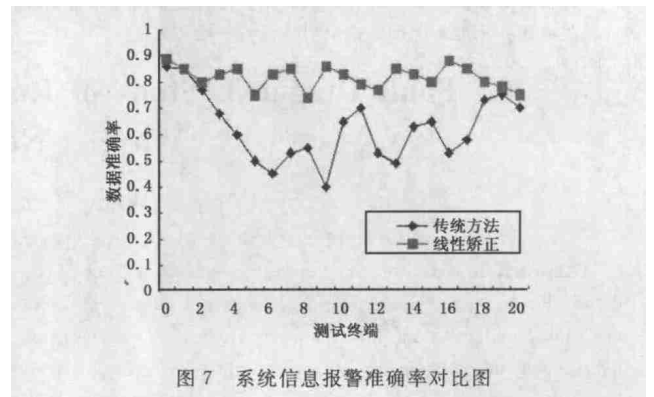


图 7 系统信息报警准确率对比图

上图可见在不同的测试终端中数据的报警准确率经过粒子群优化的线性校正后有了明显提高，证明这种方法具有很强的实用性，系统运行性能稳定。

5 结束语

本文分析了煤矿井下甲烷、一氧化碳等物质的浓度采集集中在过高与过低浓度分布时会产生非线性的输出漂移值，降低了数据监控的准确性的问题。提出一种基于线性补偿的井下传感器数据采集与监控系统，以 ZigBee 作为无线网络通信平台，在上位机的数据处理端口采用了粒子群优化的传感器线性矫正方法，实际的系统测试中在不同距离的测试环境中数据丢包率保持在 0.01 以下，气体测试的最大误差在 2% 以内，报警符合系统的要求，具有很强的实用性。

参考文献：

[1] 钟震宇. 小煤矿通风瓦斯集群监控系统的研究田 [J]. 武汉：中国地质大学，2006.

[2] 万国峰. 基于专家系统的煤矿安全监测监控系统 [J]. 计算机测量与控制，2008，(10)：1456-1458.

[3] 武卫东，王光兴. 煤矿瓦斯监测与语音综合业务网络系统体系结构 [J]. 煤炭学报，2006，31 (4)：535-539.

[4] 李元元. 基于 Open Core 核心的 Android 平台视频监控系统设计 [J]. 科技通报，2012，10 (28)：193-195.

[5] 杨 维，冯锡生，程时听，等. 新一代全矿井无线信息系统理论与关键技术 [J]. 煤炭学报，2004，29 (4)：506-509.

[6] 武仁杰. 基于 ZigBee 的矿井监测节能系统设计 [J]. 计算机测量与控制，2012，(07)：77-79.