

# 信息融合技术在矿井安全监测系统中的应用

杨帆<sup>1,2</sup>, 姜勇<sup>1</sup>, 杨元君<sup>1</sup>

1. 武汉工程大学电气信息学院, 湖北 武汉 430205;

2. 智能机器人湖北省重点实验室(武汉工程大学), 湖北 武汉 430205

**摘要:**为了能够准确的判断矿井内环境的安全状况,利用信息融合技术设计了一套矿井安全监测系统.该系统主要由传感器节点、数据处理单元、地面监控单元和融合算法等几部分构成.传感器节点由温度传感器、瓦斯传感器、CO传感器和风速传感器组成,完成对井内各项数据的采集并将数据传送给数据处理单元;数据处理单元以CC2530芯片为控制芯片,对采集到的数据进行处理,并通过ZigBee技术实现无线传感器网络节点的数据传输;算法部分基于反向传播(BP)神经网络的融合算法,利用MATLAB实现的训练样本对实际数据进行融合,完成对实际情况的判断,最后做出决策. MATLAB仿真结果显示,融合后的结果与实际情况吻合,为矿井的安全监控提供更好的保障.

**关键词:**传感器节点;多传感器信息融合;无线传感器网络;神经网络;矿井安全

**中图分类号:**TP273

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2014.05.014

## 0 引言

随着我国经济的发展,矿井事故频发,特别是瓦斯、水害等重大事故,对从业人员的生命安全构成了巨大的威胁,同时也造成了巨大的经济损失.矿井的工作环境十分特殊,存在瓦斯、CO等易燃、易爆气体,而且里面空间狭小、矿尘大,工作场所分散且距离远,井下安全监测设备应具有体积小、性能稳定、可靠性高、抗干扰能力强等特点.传统的监控系统主要是采取有线电缆的传输方式,但是井下数据的多样性和不同的干扰信号会严重影响数据的传输,而且随着生产的推进、矿井结构的不断变化以及通信电缆的延伸,线路维护起来越来越复杂,如果某处线路发生故障,整个系统有可能会瘫痪.针对矿井的特点,笔者设计了基于紫蜂(ZigBee)技术、无线传感器网络、信息融合和神经网络技术的矿井安全监测系统.该系统不仅能够准确的分析预测矿井的安全状况,提醒井下工作人员及时采取相应的安全措施,而且当其中某些传感器发生故障或停止工作时,系统不受影响仍能继续工作,这样既保证了工作人员的人身安全,也保证了矿井的安全生产<sup>[1-3]</sup>.

## 1 系统整体结构

矿井安全监测系统主要由数据采集单元、数据处理单元和地面监控单元3个部分构成.数据采集单元主要包括安放在矿井各地方的传感器,主要监测矿井中的瓦斯气体浓度、CO浓度、温度以及风速等基本信息.数据处理单元主要将传感器采集的环境温度、风速、瓦斯浓度及CO浓度数据进行处理(测量瓦斯浓度选用的是CJG10光干涉式甲烷测定器,测量范围为0~10%,分辨率为0.02%;测量风速采用的是KGF型风速传感器,测量范围为0.3~15 m/s,测量误差为0.3 m/s;测量CO浓度采用CO-T2型CO气体变送器,测量范围为0~1 g/L,分辨率为0.1 mg/L;测量温度采用PT100温度传感器,测量范围为0~200℃),通过ZigBee协议,将采集到的矿井环境数据送入到以嵌入式为核心的远程控制系统中,利用多传感器信息融合对当前的矿井环境进行判断,做出决策,再通过无线网络传输给地面监控系统.地面控制单元主要是接收矿井下面发送来的处理好的数据,如果数据异常,井下报警器将启动,井下工作人员就能及时撤退,保证人身安全.系统整体结构如图1所示.

收稿日期:2014-04-15

基金项目:湖北省自然科学基金(2010CDB11101);武汉工程大学研究生教育创新基金(2011CX63)

作者简介:杨帆(1966-),女,湖北公安人,教授,硕士.研究方向:智能仪器及测控系统.

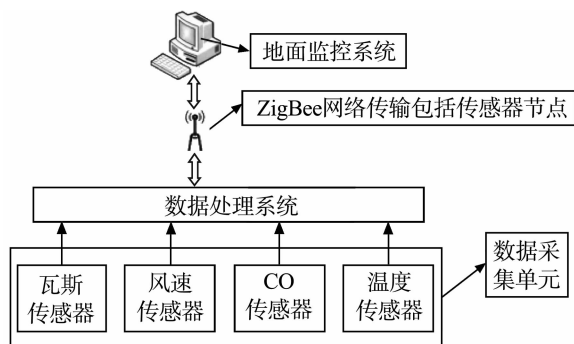


图1 矿井监测系统整体结构

Fig. 1 Overall structure of the safety monitoring system

## 2 ZigBee 传感器网络节点体系

ZigBee 是一种短距离、可靠性高、低功耗、低成本、自组织的无线通信技术。矿井下环境复杂，对设备的功耗、抗干扰性具有严格的要求，ZigBee 技术对矿井无线传输部分具有十分重要的作用<sup>[4-6]</sup>。

ZigBee 传感器网络节点体系结构主要由传感器模块、电源模块、射频模块和控制器模块等组成，如图2所示。

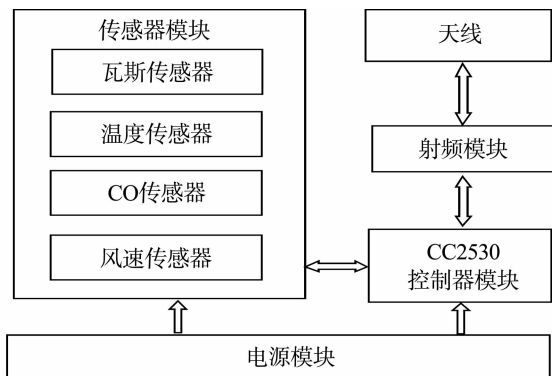


图2 传感器节点结构

Fig. 2 Structure of the sensor nodes

传感器模块由瓦斯传感器、风速传感器、CO传感器、温度传感器组成；控制器模块由CC2530芯片组成。CC2530芯片结合了RF收发器、增强型8051CPU、系统内可编程闪存和许多其他模块的强大功能，以极低的总材料成本建立较为强大的网络节点，具有多种运行模式，使它能满足超低功耗系统的要求；射频模块由CC2530芯片本身提供的射频模块和外围电路构成；电源模块由2节1.5V干电池供电。

## 3 系统软件设计

系统软件设计包括系统初始化和各节点的软件设计2部分。

系统初始化包括各接口的初始化、传感器模块的初始化、通信模块的初始化、CC2530芯片的初始化等。

各节点的软件设计，以传感器节点为例，传感器节点系统初始化后，开始加入网络进行传感器的数据测量，并将采集到的数据进行转换，再将转换好的数据信息发送给协调器，传感器节点流程如图3所示。

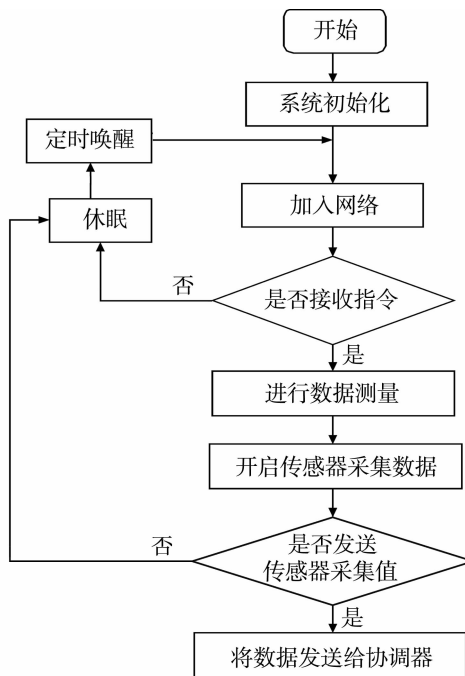


图3 传感器节点组网流程图

Fig. 3 Software design process of the sensor nodes

协调器节点初始化后建立网络，开始处理节点的申请要求，接收串口传输来的命令并向数据采集节点传输数据采集命令，当数据需要接收时，接收传输来的数据，并将数据传输给上位机。当终端节点成功加入已存在的网络后，对指令进行分析，选择各传感器的开关状态，处于开启状态的传感器开始采集数据并将数据传回。

## 4 信息融合

信息融合的实质就是充分利用多个传感器所获取的数据信息，通过一定规则对这些数据进行支配和处理，将不同层次的信息，包括冗余信息和互补信息结合起来，从而获得被测数据的一致性描述。信息融合的方法主要有Bayes推理、模糊信息融合、D-S证据推理及神经网络融合等<sup>[7]</sup>。

由于井下环境比较特殊、复杂，瓦斯浓度、温度、风速等都是随机变化的，因此难以建立比较精确的数学模型。而反向传播(Back Propagation, 以下简称:BP)神经网络具有较强的非线性映射能

力,而且具有高度的自学习、自适应能力,因此笔者采用 BP 神经网络算法来对传感器所收集的数据进行信息融合。

BP 神经网络是由输入层、隐含层和输出层构成的三层网络,如图 4 所示。

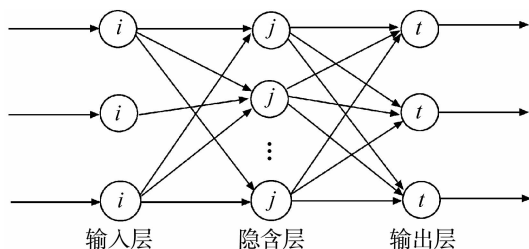


图 4 BP 神经网络拓扑结构

Fig. 4 BP neural network topology

根据井下传感器采集到的瓦斯浓度、CO 浓度、温度以及风速等信息,网络输入样本  $P$ 、输出样本  $F_n$  可表示为:

$$P = [p_1, p_2, p_3, p_4], \quad (1)$$

$$F_n = [F_1, F_2, F_3]. \quad (2)$$

式(1)中:  $p_1$  为瓦斯浓度;  $p_2$  为 CO 浓度;  $p_3$  为风速;  $p_4$  为温度. 式(2)中:  $F_1$  表示安全;  $F_2$  表示临界安全;  $F_3$  表示危险。

隐含层节点数的取值对神经网络的性能也有非常大的影响. 如果隐层节点的数目选取过少,网络能够获取的有用信息太少,学习的容量非常有限,得出的结果可能具有片面性;隐层节点过多的话,不仅会增加训练的时间,还会导致学习时间过长、容错性差,影响网络的泛化能力。

根据经验公式,隐含层节点数可表示为  $n_1 = \sqrt{n+l} + a$ , 式中  $n_1$  为隐含层节点数,  $n$  为输入节点数,  $l$  为输出节点数,  $a$  为  $[1, 10]$  之间的常数。

根据式(1)、式(2)可知  $n=4$ ,  $l=3$ , 故可取  $n_1$  为 4, 即隐层节点数为 4。

MATLAB 是一款功能强大的数学软件,可用于数据可视化、数据分析及数值计算、算法开发等多个方面,应用工具箱丰富的功能也是一大特点,其中包括神经网络工具箱<sup>[8]</sup>。

笔者利用 MATLAB 中的神经网络工具箱,将矿井中采集的各项数据作为 BP 神经网络的训练样本,网络输入层神经元 4 个、中间层 4 个、输出层 3 个,根据安全、临界安全、危险 3 种状态,可分别用对应的二进制 000、100、010 表示,最后得到的仿真误差曲线如图 5 所示。

由训练结果可看出,经过约 1 000 次的训练,神经网络可达到收敛状态。

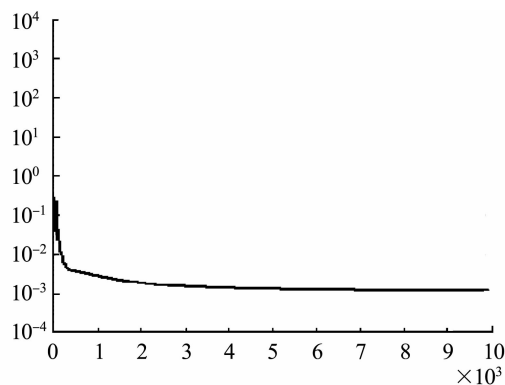


图 5 神经网络训练误差曲线

Fig. 5 Neural network training curve

分别将安全、临界安全、危险 3 种情况下的随机数据对训练完成后的神经网络进行信息融合仿真验证,实际参数及情况如表 1 所示. 通过 MATLAB 神经网络处理,得到表 2 所示结果,处理后的结果与实际测量情况完全吻合。

表 1 实际参数及实际情况

Table 1 The actual parameters and situations

| 序号 | 瓦斯浓度/% | CO 浓度/% | 温度/℃ | 风速/(m/s) | 实际情况 |
|----|--------|---------|------|----------|------|
| 1  | 0.35   | 0.002   | 18   | 2.5      | 安全   |
| 2  | 0.6    | 0.01    | 24.1 | 2.0      | 临界安全 |
| 3  | 0.73   | 0.02    | 28   | 1.5      | 危险   |

表 2 融合仿真结果

Table 2 The simulation results

| 序号 | 神经网络输出值 |         |         | 融合后状态 |
|----|---------|---------|---------|-------|
| 1  | 0.000 2 | 0.000 1 | 0       | 安全    |
| 2  | 0.999 7 | 0.000 3 | 0.000 1 | 临界安全  |
| 3  | 0       | 0.999 8 | 0.000 3 | 危险    |

由表 2 可知,该系统能够准确的判断矿井下所处的环境,当环境达到临界安全时,警报将会自动启动,井下工作人员有足够的时间撤离现场,防止事故的发生. 同时地面监控系统将采取相应的措施,让井下环境达到安全状态,使警报解除。

## 5 结 语

根据矿井下的特殊环境,笔者设计了基于信息融合技术、利用神经网络融合算法的矿井安全监测系统. 采用 BP 神经网络信息融合算法,大大降低了预测误差. 该系统能够准确判断井下环境是否危险,保证了矿井的安全生产。

## 致 谢

湖北省科技厅和武汉工程大学提供了资金支持,在此表示衷心的感谢!

## 参考文献:

- [1] ZHANG Xiaoyu, HUANG Weizhi. Multi-sensor information fusion technology and the application in mine pit environmental monitoring[C]//YANG Yixian, 2010 Asia-Pacific Conference on Information Theory, October 1-2, 2010, Xi'an, China. USA: Scientific Research Publishing, 2010:10-13.
- [2] 杨帆,陈茂林,吴迅,等. 基于传感器信息融合技术的森林火灾报警系统[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(2): 22-25.  
YANG Fan, CHEN Mao-lin, WU Xun, et al. Warning system for forest-fire based on sensor information fusion technology[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2013, 41(2): 22-25. (in Chinese)
- [3] YICK J, MUKHERJEE B, GHOSAL D. Wireless sensor network survey[J]. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2008, 52(12): 2292-2330.
- [4] 杨帆,吴迅,陈茂林,等. 基于精馏塔多源信息融合故障诊断方法[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(11): 135-138.  
YANG Fan, WU Xun, CHEN Mao-lin et al. A method of fault diagnosis based on multi-source information fusion applied in the distillation column[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(11): 135-138. (in Chinese)
- [5] 杨帆,程雯,夏亦冰,等. 多传感器信息融合测控体系在温室测控中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(9): 156-159.  
YANG Fan, CHENG Wen, XIA Yi-bing, et al. Research on the application of sensor information fusion control system in the conservatory monitor[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(9): 156-159. (in Chinese)
- [6] 王鹤,周东祥,宋委远,等. 基于遗传神经网络的混合气体识别研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2007, 35(9): 118-120.  
WANG He, ZHOU Dong-xiang, SONG Wei-yuan et al. Recognition of multi-gas by using genetic algorithm optimizing neural network[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 35(9): 118-120. (in Chinese)
- [7] 杨帆,江星,陈茂林,等. 基于DS证据理论的精馏塔故障诊断方法[J]. 长江大学学报:自然科学版, 2013, 10(28): 60-62.  
YANG Fan, JIANG Xing, CHEN Mao-lin, et al. Distillation column fault diagnosis method based on DS evidence theory[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2013, 10(28): 60-62. (in Chinese)
- [8] 苏高利,邓芳萍. 论基于MATLAB语言的BP神经网络的改进算法[J]. 科技通报, 2003, 19(2): 130-135.  
SU Gao-li, DENG Fang-ping. On the improving back propagation algorithms of the neural networks based on MATLAB language: A review[J]. Bulletin of Science and Technology, 2003, 19(2): 130-135. (in Chinese)

## Information fusion technology in application of mine safety monitoring system

YANG Fan<sup>1,2</sup>, JIANG Yong<sup>1</sup>, YANG Yuan-jun<sup>1</sup>

1. College of Electronic and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

2. Hubei Provincial Key Laboratory of Intelligent Robot(Wuhan Institute of Technology), Wuhan 430205, China

**Abstract:** To determine the security situation accurately, a mine safety monitoring system was designed based on the information fusion technology. The system is mainly divided into four parts of sensor nodes, data processing unit, ground monitoring unit and fusion algorithm. Sensor nodes, consisting of temperature sensors, gas sensors, carbon monoxide sensors and wind speed sensors, collect and deliver the data to the processing unit; data processing unit uses CC2530 as control chip to process the collected data, then the wireless sensor network nodes transmit data by ZigBee technology; combined with the MATLAB, the fusion algorithm completes the training samples and carries out the fusion of actual data based on back propagation neural network, finally makes a decision. The MATLAB experiment simulation shows that the fused results are consistent with the actual situation, providing a stable and safe monitoring environment for the miners.

**Key words:** sensor nodes; multi-sensor information fusion; wireless sensor networks; neural network; safety monitor

本文编辑: 苗 变