

文章编号:0253-9993(2006)04-0535-05

煤矿瓦斯监测与语音综合业务网络 系统体系结构

武卫东^{1,2}, 王光兴¹

(1. 东北大学 网络与通信中心, 辽宁 沈阳 110004; 2. 沈阳航空工业学院 电子系, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要: 为了对瓦斯浓度进行全方位、无人值守的实时监测, 降低煤矿生产安全隐患, 将无线传感器网络与现代 VOIP 网络相结合, 设计出了一种适合瓦斯监测和语音通信的综合业务数字网; 通过对瓦斯涌出的动态变化特性、实际环境特征的分析, 提出了一种用于煤矿瓦斯监测系统, 研究了一种切实可行的瓦斯传感器网络的体系结构, 包括物理通信模型、MAC 协议、路由协议, 并提出了瓦斯传感器网络的感知节点和监控中心的结构和功能。

关键词: 瓦斯监测; 传感器网络; 网络体系结构; 智能预警

中图分类号: TD672 **文献标识码:** A

The system structure about integrated services digital network for gas sensor monitor and voice in coal mine

WU Wei-dong^{1,2}, WANG Guang-xing¹

(1. Networks and Communications Center, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Electronic Department, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China)

Abstract: To monitor the gas strength with whole orientation, real time and unmanned, and reduce the hidden safe trouble, a gas monitor and voice communication Integrated Services Digital Network (ISDN) was designed by using wireless sensor network and wireless communication and voice on IP technology. By analyzing the gas pulling up dynamic characters and the surroundings in coal mine, a gas monitor system was presented. The structure of the gas monitor network was studied include the physical layer, MAC protocol, routing protocol etc. The structures and functions of node controller and monitor center were designed.

Key words: gas monitor; sensor network; the structure of network; pre-alarm intelligently

煤矿瓦斯监测是困扰煤矿安全生产的一大难题, 目前我国各大煤矿的瓦斯监测系统^[1]、井下与地面信息中心一般通过电缆或光纤连接, 这些线路需要有专业人员建立和维护, 若线路施工不及时就会造成瓦斯漏检。存在以下缺点: ① 有线通信方式布线复杂, 劳动强度高; ② 网络结构相对固定, 不适合掘进工作面延伸的动态变化要求; ③ 监测点相对固定, 容易出现监测盲区; ④ 工作现场的通信线路容易破坏, 破坏后的恢复周期一般较长; ⑤ 通信线路维护成本高, 造成部分厂矿出现边维护、边生产的违规现象, 甚至有些厂矿干脆不维护。所以, 现有的有线网络较难达到动态全方位监测, 需要采用先进技术进行网络改造。

收稿日期: 2005-11-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2002AA784030)

作者简介: 武卫东 (1971-), 男, 山西襄汾人, 讲师, 博士研究生。Tel: 024-86141784, E-mail: wwdylh@syiae.edu.cn

瓦斯涌出特性也是困扰瓦斯监测的重要问题。瓦斯涌出大部分出现在掘进工作面，而在掘进工作面上，实时进行瓦斯检测使用现行的技术操作性和实时性差，这样由于检测不及时，导致通风设备跟进不及时，极易导致事故。瓦斯的涌出具有一定的规律性，瓦斯涌出一般向上运动；瓦斯的涌出量与测量的浓度和风速成正比。瓦斯涌出量也是动态变化的，对于水掘、炮掘和机掘方式产生的涌出规律基本类似。在地下煤层瓦斯流动场内，由于煤巷的掘进，破坏了煤层内原始瓦斯平衡状态，产生一定的瓦斯压力梯度^[2]，这样煤层中的瓦斯沿煤层内的裂隙和孔隙流向掘进空间，新揭露的煤壁瓦斯从煤体中涌出的强度随时间按一定的曲线形式衰减。其衰减指数取决于瓦斯绝对黏度和具体的孔隙和裂隙的大小。初始强度取决于煤层的瓦斯含量、透气性系数和刚形成的压力梯度。因此可以得出，瓦斯的涌出变化的关键点在于机掘时的操作面、炮掘时轰击的有效区域、水掘时裸露煤体的表面。要了解井下瓦斯的分布情况，必须实时采集瓦斯的涌出量，就需要在关键点布置测量瓦斯浓度和风速的传感器；经过计算机的数据分析得到采掘面瓦斯的涌出强度分布，然后根据此强度调节通风的强度和位置，进而有效地将瓦斯的浓度保持在安全的水平。由此可知，瓦斯监测需要全方位地检测工作面的瓦斯浓度和风速。

为了降低煤矿生产隐患，遏制瓦斯事故，对瓦斯浓度进行全方位、无人值守的实时监测和智能预警。本文设计了一种适合工作地点动态变化，具有报警、预警功能的实时监测的网络通信系统。提出了一种基于Ad-Hoc的瓦斯传感器网络与语音通信网相结合的煤矿瓦斯监测系统，分析了瓦斯检测的实际环境特征和需求，设计了瓦斯传感器网络的体系结构，给出了瓦斯传感器节点机、监控中心的功能及组成。

1 瓦斯监测传感器网络的系统模型

无线传感器网络^[3]是一种由大量微型移动传感器节点构成的网络，能够协作地实施监测、感知和采集环境信息，并对数据进行处理，传送到监测中心。它综合了传感器技术、遥测遥控技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术。由美国高级国防研究中心用于军事目的提出并实施，被认为是21世纪最重要的十大新技术之一（麻省理工学院的《Technology Review》杂志），将被广泛地应用于有害气体的监测、移动目标的跟踪、环境状态变化的监测等。它充分利用了Ad-hoc网络^[4,5]动态自组、多跳的特点，通信和感知节点可以移动，无须铺设线路，操作简单、容易维护、组网成本低，是解决煤矿瓦斯全方位、实时监测的一种可行方法。

瓦斯监测网络通信模型可以分为3种：有线网络、无线网络和混合网络。有线网络难以实现动态、实时监测；无线网络对于骨干网中继节点的要求比较高，特别是在井下由于巷道弯曲、环境复杂，通信的质量和可靠性很难保障，特别在塌方事故时，无线信道就会被阻断。因此，考虑传感器网络系统实际应用的可靠性、实用性、可操作性的要求，采用无线传感器网络、无线语音网、有线骨干网相结合的混合网络，其系统模型如图1所示。

瓦斯传感器网络包含：信息控制中心（Monitor Center：MC）、有线骨干网（Backbone

Net：BN）、访问接入点（Access Point：AP）、传感器节点（Sensor Nodes：SN）。传感器节点安排在掘进工作面、工作面和巷道，根据其地理位置的不同或通信的空间关系分成若干个簇，每个簇以AP作为簇首（Head in Cluster）。感知节点负责感知现场信息，将现场信息通过自组网的方式传送到簇首，簇首作为路由将信息实时地传送到监控中心的网关服务器，网关服务器负责将感知的数据信息传递给信息处理服务器，处理后通过监控平台实时显示瓦斯的浓度。语音通道由分布在井下的无线电话与骨干网络的语音AP

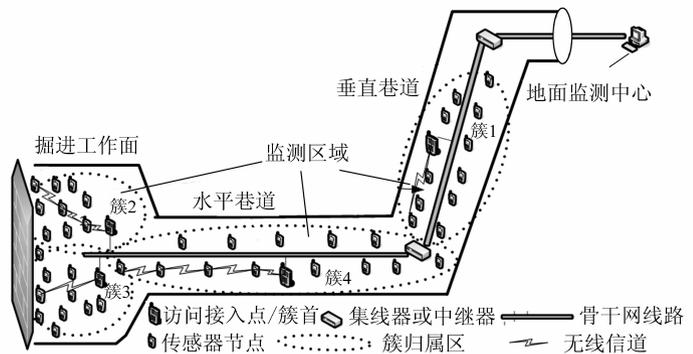


图1 瓦斯监测传感器的网络结构

Fig. 1 Gas monitor sensor network structure

通信 (也作为数据 AP), 通过骨干网使用 TCP/IP 网络进行 VOIP 语音通信。

信息控制中心地面工作站即信息中心由接入服务器、信息处理服务器、数据库服务器、预警平台、www 服务器等组成。异地监管中心可通过 www 服务器了解煤矿现场的瓦斯浓度和其它信息; 控制中心主要完成对网络无线瓦斯传感器节点数据实时采集、网络管理、数据分析、预警和报警, 给井下节点单播、组播或广播指令, 完成数据的巡检和单测功能。有线骨干网由双绞线或光纤链路和 AP 节点组成, 作为主要的通信链路, 根据巷道的实际布局 and 需要、检测瓦斯的巷道分布点及工作面的变化分段进行铺设。光纤链路可采用环形、星型、混合型拓扑结构。双绞线采用星型拓扑结构。通信带宽可以达到 100 Mbps 以上, 提供语音 VOIP 业务和其他数字业务。

AP 分为 2 类: ① 骨干网接入点, 通过双绞线与骨干网连接, 完成 VOIP 语音业务的路由功能和传感器感知数据业务的接入 (Data Access Point: DAP) 功能, 语音路由采用符合 802.11g 标准的无线路由芯片 Broadcom 公司的 BCM74712, 集成以太网和 USB 接口, 以太网接口用于骨干网的链接, USB 接口用于连接传感器网络的 DAP; ② 移动访问接入点, 它为无线传感器数据提供接入服务, 同时作为一种语音终端, 采用 BCM94317, 集成 USB 接口, 可用来连接感知模块。

每个传感器网络节点, 具有数据采集和无线路由功能, 一般由电池供电, 必须考虑节能^[6]。数据采集负责采集节点的瓦斯浓度、CO 浓度、风速、振动波强等数据, 并将这些数据处理后, 按照网络协议封装成数据包传送给其他 (路由) 节点或 DAP。根据是否经常移动, 分为相对固定节点和移动节点两类, 相对固定节点主要安排在巷道的拐弯处或直巷道的固定位置, 用于采集巷道瓦斯浓度, 转发其它节点的通信数据, 保持无线链路畅通; 移动节点主要用于每个作业工人或作业机器所处位置的监测, 可以安装在煤矿工人的矿灯上, 也可以安装在挖掘机等设备上, 还可以随机安装在瓦斯涌出变化较快的关键位置。

2 瓦斯传感器网络协议体系结构

由于瓦斯传感器网络具有拓扑动态变化、数据转发、多跳的特点, 为了保障网络的畅通和节约能量消耗, 必须合理设计网络体系结构。网络的协议体系分为以下几部分: 无线传感器网络协议体系、骨干网及地面监控中心网协议体系。骨干网及地面监控中心采用 TCP/IP 协议体系 (图 2)。TCP/IP 协议已经成熟, 所以系统协议设计的关键在于 AP 接入点的网关协议、传感器网络协议体系。

AP 接入点包含 VOIP 语音通信协议、传感器网与 IP 网关协议。AP 接入点的网关协议完成传感器网与 IP 网关协议的转换, 其主要通过网络层与传感器网络的网络层进行转换。

瓦斯传感器网络协议体系与传统的传感器网络协议不同, 主要有以下几个方面:

物理层: 感知节点采用蓝牙无线数据传输模块^[7], 使用 ISM 433 MHz 的公用频段, 可以提供 16 个子频段, 采用 GFSK 调制解调方式, 提供 100 kbps 的无线带宽。具有 VOIP 的无线节点, 采用 802.11g 的协议, 进行无线语音和数据的通信。

数据链路层: MAC 协议选择使用了 S-MAC^[8,9] 协议, 数据链路层采用 S-MAC 接入策略, 即通过周期性的监听和休眠控制, 采用 802.11 的虚拟/物理载波监听机制和 RTS/CTS 消息预约机制。在这种方式中, 当节点间无数据传送时, 通信节点处于休眠状态, 从而使能量消耗达到较低的水平, 延长了网络节点的生存周期。由于瓦斯传感器的数据采集设计为实时检测^[10], 假定其采用间隔 1 s 循环采集一次, 则网络的传感器节点以 1 s 间隔采集、处理、通信。每个传感器节点的通信具有周期性, 采用定时循环接入与随机接入相结合的方式, 可以进一步降低系统的接入能量消耗, 提高接入效率; 同时采用先进的同步机制, 在 DAP 节点使用多频道切换和 TDMA 的方式避免冲突。

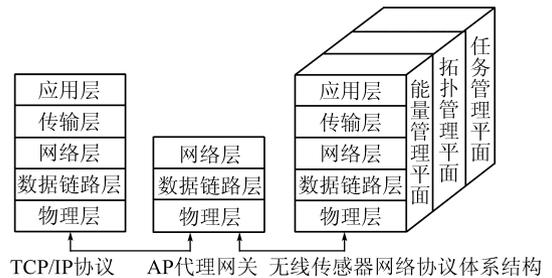


图 2 瓦斯监测网络的协议结构

Fig. 2 The protocols structure of sensor network

网络层主要负责路由的生成和路由的选择, 由于传感器网络节点的运动、节点的能量失效是产生路由拓扑变化的触发事件. 由于每个 DAP 节点负责的传感器节点数目相对较少, 绝大部分的节点可以与移动或固定 AP 点通信, 簇内节点不需要复杂的多层路由, 采用 SPEED 路由^[11]. SPEED 协议是一个实时路由协议, 在一定程度上实现了端到端的传输速率保证^[12]、网络拥挤控制和负载均衡机制. 另外网络层还执行简单的分簇算法, 该分簇算法基于数据访问接入点. 由数据访问接入点进行分簇, 且不需要选定、动态调整簇首.

应用层协议主要包括 VOIP 协议、拓扑管理协议、数据收发协议、数据融合协议等.

3 网络节点机

传感器节点由数据采集单元、数据处理单元、数据通信单元和电源 4 部分组成 (图 3). 数据采集单元由瓦斯传感器和 A/D 转换器组成, 数据处理单元由微处理器、内存和应用程序组成, 数据通信单元包含网络协议单元、MAC 接入单元和射频模块 3 个子单元.

微处理器选用 TI 公司的嵌入式 MSP430F149^[13] 单片机, 内部含有 RAM 和 A/D 转换器, 应用程序和网络协议单元、接入单元由软件编程实现, 该软件存放在单片机的 Flash 中. 数据传输单元的射频模块选用低功耗、短距离的无线通信模块 nRF905^[14]. 瓦斯传感器 TP1.1A 感知现场的瓦斯浓度, 将其浓度转化为电压信号, 经过 A/D 转换器的转换为 12 位的数字信号, 经过分析、处理, 通过通信协议单元的封装成标准的数据包, 由接入单元的控制建立链路, 通过 nRF905 将数据发送出去. 另外还有风速的感知、振动强度的感知和透水事故的感知等.

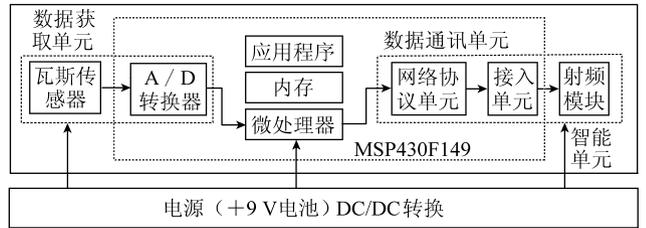


图 3 传感器节点的基本组成

Fig. 3 The basic structure of the sensor node controller

4 监控中心系统结构

监控中心的系统主要有网关服务器、监控平台、语音处理平台、Web 服务器、网管服务器、数据库服务器组成, 如图 4 所示.

网关服务器完成 AP 无线访问接入点与上位机系统地协议转换, 并将 AP 送来的语音数据和实时采集的感知数据分类后, 将感知数据传递数据库服务器, 将语音 VOIP 信息转发给语音处理平台. 瓦斯监测平台具有实时监测窗口, 该窗口可以实时显示检测感知节点的瓦斯浓度、CO 浓度、振动强度等参数. Web 服务器通过防火墙接入 Internet 网, 以便于煤矿领导、监管部门、国家安全生产管理办公室通过 Internet 实现对煤矿工作状态的监管. 语音处理平台为语音监管中心, 接收井下的语音呼叫, 呼叫井下工作的语音节点, 实施任务调度, 发布工作指令. 网管服务器接收通信中的网络拓扑信息与网管数据, 通过拓扑控制协议、网络传输控制协议和网络管理协议, 实施对网络的拓扑的管理和传输控制、管理. 为了记录历史感知数据和语音通信数据, 系统后台采用 Oracle 服务器作为数据库服务器, 包括语音数据库、感知信息数据库、拓扑状态数据库等.

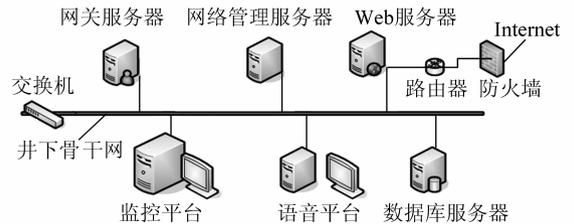


图 4 监控中心网络系统结构

Fig. 4 Monitor-control center network system structure

5 结 语

系统本着实用、低成本、高可靠性的原则, 进行了详细的分析设计, 提出了一种全方位、无人值守瓦

斯实时监测的系统,同时给出了网络的体系结构,对网络节点、骨干网、监控中心进行了全面的研究和论述,可以证明该系统具有可操作性、成本低、智能化、微型化的特点.当然,该系统的研究设计,包括硬件和软件模块还没有全部完成,还需要很多工作要做,相信在开发组的努力下再经过现场调试、测试和完善,将能满足对瓦斯浓度全方位、实时地监测.

参考文献:

- [1] 张申,丁恩杰,武增. 煤矿井下综合业务数字网网络结构的研究 [J]. 煤炭学报, 2002, 27 (2): 206 ~ 210.
- [2] 谢满温. 高瓦斯水掘工作面瓦斯涌出规律的研究 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (1): 61 ~ 66.
- [3] Pottie G J. Wireless sensor networks [A]. Proc. IEEE Information Theory Workshop [C]. Killarney, Ireland, 1998. 25 ~ 35.
- [4] Sohrabi K, Pottie G J. Performance of a novel self-organization protocol for wireless ad hoc sensor networks [A]. Proceedings of the IEEE 50th Vehicular Technology Conference [C]. Amsterdam; Netherlands, 1999. 1 222 ~ 1 226.
- [5] Hu Y C, Johnson D B, Perrig A. SEAD: secure efficient distance vector routing for mobile wireless ad hoc networks [A]. Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA2002) [C]. New York; Publisher ACM Press, 2002. 3 ~ 13.
- [6] Mainwaring A, Polastre J, Szewczyk R, et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring [A]. Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications [C]. New York; ACM Press, 2002. 88 ~ 97.
- [7] Shih E, Cho S, Ickes N, et al. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy - efficient wireless sensor networks [A]. Proceedings of the ACM MobiCom 2001 [C]. Rome; ACM Press, 2001. 272 ~ 286.
- [8] El - Hoiyi A, Decotignie J D, Hernandez J. Low power MAC protocols for infrastructure wireless sensor networks [A]. Proceedings of the Fifth European Wireless Conference [C]. Durham, UK, 2004.
- [9] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy - efficient MAC protocol for wireless sensor networks [A]. 21st Conf. of the IEEE Computer and Communications Soc. (INFOCOM) [C]. New York; ACM Press, 2002. 1 567 ~ 1 576.
- [10] He T, Stankovic J A, Lu C, et al. SPEED: a stateless protocol for real - time communication in sensor networks [A]. Proc. 23rd Int'l Conf. on Distributed Computing Systems [C]. Island; Providence Rhode, 2003.
- [11] Lynch J P, Sundararajan A, Law K H, et al. Power - efficient data management for a wireless structural monitoring system [A]. Proceedings of the 4th International Workshop on Structural Health Monitoring [C]. USA; Stanford University, 2003.
- [12] Stann F, Heidemann J. Rmst: reliable data transport in sensor networks [A]. Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications, Anchorage [C]. Alaska; IEEE, 2003. 102 ~ 112.
- [13] 胡大可. MSP430 系列 16 位单片机原理与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000. 7 ~ 20.
- [14] Vestre Rostern. 430 MHz - 950 MHz single chip RF nRF905 transceiver datasheet rev3_1 [DB/OL]. <http://www.nvlsi.no>, 2004 - 11.