

文章编号: 1672-9315(2008)01-0117-05

新型煤矿井下应急无线通信系统的建立

孙 弋

(西安科技大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要:随着现代化煤矿的要求及无线通信技术的发展,地面无线通信技术(如 PHS)开始应用于煤矿井下通信。通过分析基于 Zigbee 的短距离无线通信技术,提出了一种基于 Zigbee 技术的矿井应急救援无线通信系统,实现井下目标位置环境等参数远程采集,为救援决策提供科学依据。该系统基于 S3C44BOX ARM7 硬件平台和 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 软件平台开发出基于 Zigbee 技术的无线接力中继器来快速建立一条无线通信链路,并通过搭载环境参数传感器和红外摄像头的 Zigbee 前端实现对井下目标位置环境参数和视频图像的采集。重点介绍了该应急救援无线通信系统的原理、硬件组成和软件实现。

关键词:SDR 短距离无线通信; Zigbee 技术标准; 应急通信; 低功耗

中图分类号: TD 65*5.3

文献标识码:A

随着社会对煤炭需求量的增大,煤矿产能的不断提高,近年我国煤矿事故又有攀升趋势,煤矿安全状况令人担忧。煤矿事故发生后,为了保证安全、不发生二次事故,煤矿井下电力供应完全切断,已有的各种通讯系统无法开启。因此,为了能够实时了解到救援人员不能到达位置的具体状况(如瓦斯浓度、 H_2S 浓度、温度等各种环境参数及巷道通风情况),需要能够快速建立一套应急通信链路来实现井下目标位置环境参数远程采集,为救援决策提供科学参考。

近年来由于无线通信技术和煤矿信息化的要求,地面无线通信技术开始应用于井下,其中井下小灵通 PHS 已经成熟应用于井下话音及人员定位等服务。针对矿井有限空间特殊的无线电波传播环境,以 Zigbee 为代表的 SDR (Short Distance Radio, 短距离无线通信)技术由于具备网络铺设简单、发射功率低、低功耗、续航能力强、易实现煤矿本质安全电路设计等特点,也开始在煤矿行业中得到应用。

矿井事故发生后,由于井下特殊环境,如具有易燃易爆瓦斯气体、 H_2S 等有毒气体,所以建立的救援通信系统必须满足以下要求:第 1,由于事故发生后,井下大部分区域情况不明,因此该通信系统链路的建立应该由机械来完成,并可以通过后方人员远程控制操作,为救援中心提供前方敏感区域的实时信息;第 2,该通信系统应该具备足够的网络伸展能力;第 3,网络设备在采用蓄电池供电时,应该具有 1 周左右持续工作能力,保证在整个救援过程中正常稳定工作。

针对井下应急通信系统的设计要求,文中提出了一种采用 Zigbee 技术的井下应急无线通信系统,以满足煤矿井下应急通信的要求。

1 Zigbee 技术

Zigbee 是一组基于 IEEE 批准通过的 802.15.4 无线标准,是一个有关组网、安全和应用软件方面的技术标准,被称作 IEEE 802.15.4 (Zigbee)技术标准。Zigbee 技术是一种结构简单、低功耗、低速率、低成本和可靠性高的双向无线网络通信技术,使用的频段为 2.4 GHz, 868 MHz (欧洲)及 915 MHz (美国),均为免执照频段,主要适合于自动控制领域,可以嵌入各种设备中,同时支持地理定位功能。

• 收稿日期:2007-12-20

责任编辑:郭西山

作者简介:孙 弋(1972-),男,陕西泾阳人,博士,副教授,主要从事短距离无线通信技术及通信终端设计与应用的研究。

IEEE802.15.4 满足国际标准组织(ISO)开放系统互连(OSI)参考模式。完整的 Zigbee 协议套件由高层应用层、应用会聚层、网络层、数据链路层和物理层组成。网络层以上协议由 Zigbee 联盟制定, IEEE802.15.4 负责物理层和链路层标准^[1]。协议框架如图 1 所示。

IEEE802.15.4 定义了 2 个物理层标准,分别是 2.4 GHz 物理层和 868/915 MHz 物理层。它们都基于 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum,直接序列扩频)技术,使用相同的物理层数据包格式,区别在于工作频率、调制技术、扩频码片长度和传输速率。其中 2.4 GHz 波段为全球统一的无需申请的 ISM 频段,有助于 Zigbee 设备的推广和生产成本的降低,该频段的物理层使用了 16 个信道、250 kb/s 的传输速率^[2]。

数据链路层分为逻辑链路控制子层(LLC)和介质访问控制子层(MAC)^[3,4]。

网络层采用基于 ad hoc 技术的网络协议^[5],支持 3 种网络拓扑结构:星状、网状、丛树状。功能包括拓扑管理、MAC 管理、路由管理和安全管理。根据节点的不同角色,可分为全功能设备(Full-Function Device;FFD)与精简功能设备(Reduced-Function Device;RFD)。RFD 节点的电路较为简单且存储体容量较小,只能传送数据给 FFD 或从 FFD 接收数据;FFD 的节点具备控制器(Controller)的功能,能够提供数据交换。

应用汇聚层负责把不同的应用映射到 Zigbee 网络层上,包括安全与鉴权、多个业务数据流的汇聚、设备发现和业务发现。应用层定义了各种类型的应用业务,是协议栈的最上层用户。

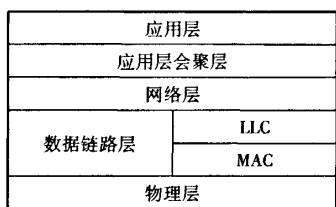


图 1 IEEE802.15.4 协议架构

Fig.1 IEEE802.15.4 protocol stack

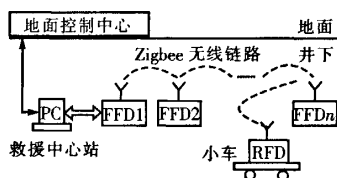


图 2 井下应急快速无线通信系统原理框图

Fig.2 The theory of the wireless emergency communication system for mine

2 井下应急无线通信系统需求分析

基于 Zigbee 技术的煤矿井下应急无线通信系统的主要功能是在矿井事故发生后,迅速建立一套应急通信系统,完成井下目标位置环境参数的监控与测量,为救援中心的科学决策提供依据。该系统的原理框图如图 2 所示。

该通信系统主要包括 4 个部分:救援中心站部分、无线接力中继器部分、采集前端及布放装置。系统网络采用线性网络结构,沿着矿井通道,布放装置(运输小车)每隔一定距离自动放置一个链路节点,数据采用多跳逐级路由传送。

救援中心站负责接收远端传送的实时图像和环境参数以及对数据进行处理,为救援工作提供科学依据;通过有线方式将数据发送至地面控制中心;救援人员根据这些信息控制布放装置的运动方向及机械动作,遥控完成无线网络即通信通道的快速搭建。

无线接力中继器部分包括网络中心节点和路由节点,主要负责为救援中心站与采集前端之间提供通信通道,所以要使用 FFD 类型的设备。

采集前端的主要功能是通过红外摄像头和各种传感器来采集远端目标位置的图像和数据、发送图像和数据信息、接收救援中心站的命令。

布放装置(运输小车)包括行走机构、Zigbee 中继站投放机构、采集前端控制平台。布放装置通过 Zigbee 采集前端设备测量前一级中继站的信号强度,当信号强度达到一定的门限值时,布放装置在救援中心站的遥控下,将下一个无线接力中继器布放在特定位置,逐步建立 n 级线性 Zigbee 接力传输网络;同时小车上携带的前端采集装置将前端的瓦斯浓度等环境信息及摄像头采集的图像信息通过网络发送回救援中心站。

2.1 系统硬件设计

煤矿井下应急无线通信系统硬件主要包括无线接力中继器部分和采集前端部分。无线接力中继器部分的设备主要包括处理器、存储器、Zigbee 通信模块。其中处理器选用三星 ARM7 处理器——S3C44B0X。Zigbee 通信模块选用某公司的 Zigbee 模块。

S3C44B0X 处理器采用 ARM7TDMI 核心,是一款低功耗、高性能 32 位 RISC 微处理器,主频达 64 MHz,板载接口丰富,支持 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 和 μCLinux 等操作系统^[6,7]。

Zigbee 模块集成了符合 IEEE802.15.4 标准的射频收发器(2.4 GHz 或 915 MHz)和 8051 微处理器,具有外接天线和功放。同时支持 Zigbee1.0 协议栈和 Zigbee-Ready IP-Net 网络软件。该模块可以快速搭建出包括星状、丛树状或者网状网络结构。模块内嵌的 Zigbee-Ready IP-Net 软件协议包含通过网络进行串行通讯的功能,使 RS232/RS485 数据流可以通过多跳进行透明传输,从而提高数据可靠性和增大传输范围。该模块的操作模式有 3 种:AT 模式、二进制模式和透明传输模式,其中 AT 模式和二进制模式互为补充。

无线接力中继器部分的硬件框图如图 3 所示。S3C44B0X 负责对单元的控制、运算、处理等功能;存储单元(包括 SDRAM,FLASH 和 SDRAM)提供程序运行的临时存储空间,FLASH 用来存储软件和数据;Zigbee 模块主要完成数据的接收和发送;RS232 串口只有网络中心节点使用,连接 PC 机,而路由节点不使用。

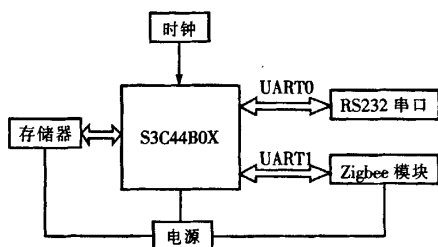


图 3 无线接力中继器部分的硬件框图

Fig. 3 The hardware of the repeater

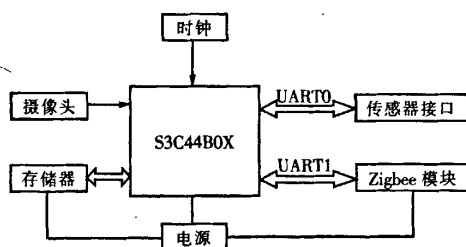


图 4 采集前端部分的硬件框图

Fig. 4 The hardware of the collection unit

采集前端部分的硬件同样使用 S3C44B0X 处理器和 Zigbee 模块,此外还包括红外摄像头和各类传感器接口,原理框图如图 4 所示。S3C44B0X 负责对单元的控制、运算、处理等功能;存储单元包括 SDRAM 和 FLASH;Zigbee 模块主要完成数据的传输;红外摄像头主要完成井下现场图像的采集;传感器接口提供环境参数采集接口。

2.2 系统软件设计

应急通信系统的软件包括 4 部分:救援中心站软件、无线接力中继器网络中心节点设备的软件、无线接力中继器路由节点设备的软件和采集前端设备的软件。

救援中心站可以由一台便携式笔记本电脑担当,中心站软件的开发平台使用 windows 下的 Visual C++ 6.0。Visual C++ 提供一种非常好用的 ActiveX 控件 MSComm(Microsoft Communications Control)来支持应用程序对串口的访问,在应用程序中插入 MSComm 控件后就可以较为方便地实现对计算机串口收发数据。该软件包括 3 大功能,其一,对从串口接收到的数据进行解析和分析处理以及对数据库进行管理,还有图像的显示;其二,通过串口给前端 Zigbee 设备发送控制命令,控制其工作方式;第三,链路信号质量报警、环境参数报警等。

无线接力中继器设备的软件和采集前端设备的软件均采用 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 2.76v 作为底层平台支持应用软件开发。 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 是一个著名的、源码公开的实时内核,是专为嵌入式应用设计的,可用于各类 8 位、16 位和 32 位单片机或 DSP,已经在世界范围内得到广泛使用。 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 已经通过了非常严格的测试,并且得到了美国航空管理局(Federal Aviation Administration)的认证,可以应用于飞行器,因此 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 稳定可靠,并支持多任务的调度与管理^[8,9]。在 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 的平台上开发软件,可以简化程序的设计。

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 主要采用标准的 ANSI C 语言写成,与硬件有关的部分使用汇编语言编写,以使操作系统能很方便地移植到其他的处理器^[10]。使用嵌入式操作系统时,应用软件只与上层的代码有关,与处理器无关,在进行软件移植时只需对与硬件相关的底层函数进行修改,因此应用软件具有良好的可移植性和稳定的可靠性。

采集前端设备的软件包括以下几个功能:图像和各种环境参数的采集、数据的发送和命令的接收。对于采集前端设备的软件包括 5 个任务:空闲任务、信号强度检测任务、中继站的投放任务、数据采集任务和节电任务。上电后,首先完成系统初始化,紧接着启动空闲任务。空闲任务只在本地做一些简单的判断工作,属于节电模式。如果要进行链路的搭建,必须从救援中心站发送检测指令而启动信号强度检测任务,来实现信号强度的检测,为中继站的投放提供依据。当信号强度达到一定的门限值时,救援中心站通过发送投放指令,启动投放装置的投放机构来完成中继站的投放。当所有的中继站都按要求投放完毕后,发送采集指令来启动采集任务,实现前端图像和环境参数的采集和打包发送,每发送一个数据包后,等待救援中心站返回的确认信息,得到确认后,再发送下一包数据,否则反复尝试。当检测到中心站有节电命令时,启动节电任务,挂起采集任务、检测任务及节电任务自身,进入节电操作。软件流程如图 5 所示。

无线接力中继器设备的软件主要完成命令的接收和数据的转发功能。软件主要包括 4 个任务:空闲任务、数据透传任务、节电任务和信号强度检测任务。对于路由设备的软件,上电后,首先完成系统初始化,启动空闲任务,紧接着启动透传任务,进行路由设备的透传设置,进入 Ad hoc 状态,透传配置完成后,挂起透传任务。当路由设备检测到中心站有信号强度检测命令时,进行本节点的信号强度检测。当检测到中心站有节电命令时,启动节电任务,挂起透传任务、检测任务及节电任务本身,执行节电操作。软件流程如图 6 所示。链路的网络中心节点,即 FFD1 设备,在硬件上和链路上与其他设备没什么区别,但是在软件上稍微有些区别,它的数据转发任务是将接收到的数据转发给 PC 机上的应用程序,以待处理。

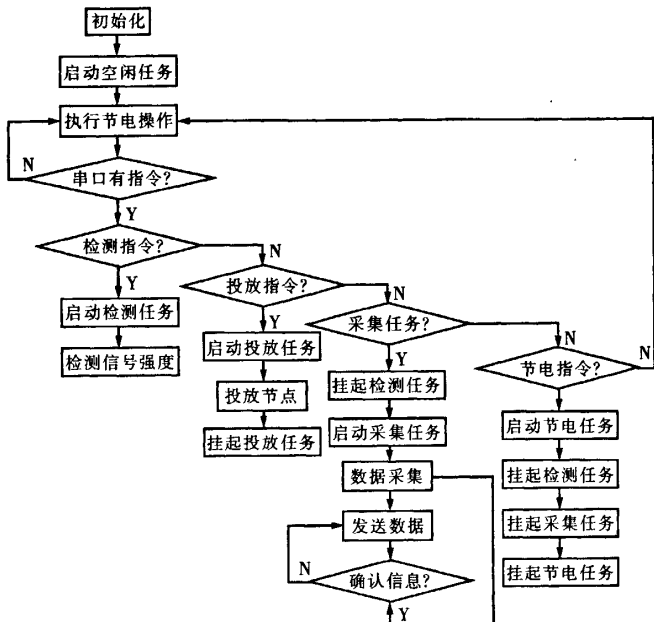


图 5 采集前端设备的软件流程图

Fig. 5 The software flowchart of the Zigbee collection unit

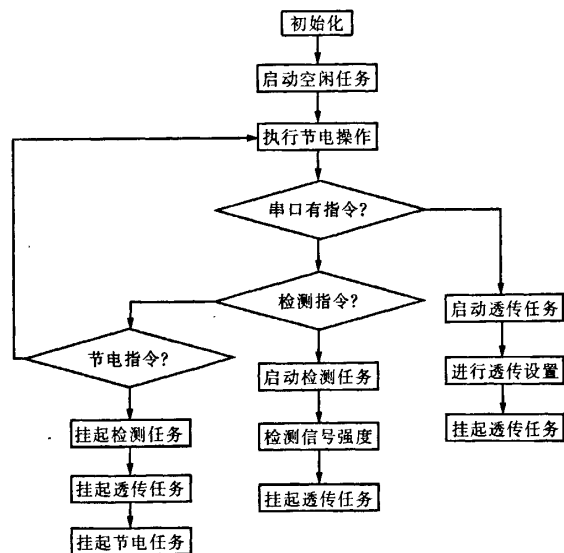


图 6 无线接力中继器设备的软件流程图

Fig. 6 The software flowchart of the Zigbee repeater

3 结 论

提出了一种采用 Zigbee 技术快速建立煤矿应急救援通信系统的新方法,并对系统硬件和软件进行了详细的说明。该系统可以实现井下目标位置环境,视频图像等参数的采集,为井下救援提供很好的决策依据,同时也为减少煤矿事故的再次发生起到了很好的保障作用。

参考文献 References

- [1] Camtepe S A, Yener B. Key distribution mechanisms for wireless sensor networks: a survey[R]. TR-05-07, Rensselaer Polytechnic Institute, 2005.
- [2] 朱海民,张森林.基于 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 和ARM的经纱张力嵌入式智能控制系统设计[J].机电工程,2006,(4):9-12.
ZHU Hai-min, ZHANG Sen-lin. The design of warp tension embedded intelligent control system based on $\mu\text{C}/\text{OS}$ and ARM [J]. Mechanical & Electrical Engineering, 2006, (4): 9-12.
- [3] 张 磊,李小兵,胡天友. ARM 芯片 S3C44B0 在高精度直流开关电源设计中的应用[J]. 电源技术应用,2006,(3):53-56.
ZHANG Lei, LI Xiao-bing, HU Tian-you. Application of ARM processor S3C44B0 in high accuracy switching power design [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2006, (3): 53-56.
- [4] HUANG Ing-jer, HUNAG Wen-kai, GU Rui-ting, et al. A cost effective multimedia extension to ARM7 microprocessors[J]. IEEE International Symposium on, 2002, (2): 304-307.
- [5] 赵跃华,蔡贵贤,蒋 军. 面向电力应用的嵌入式安全文件系统实现[J]. 计算机工程与应用,2006,(30):1 673-1 674.
ZHAO Yue-hua, CAI Gui-xian, JIANG Jun. The implementation of an embedded and secure file system used in electric application[J]. Computer Engineering and Application, 2006, (30): 1 673-1 674.

A wireless emergency communication system based on the Zigbee technology for modern mine

SUN Yi

(School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University
of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: With the requirement of the modern mine and the development of the wireless technology, many wireless communication technology (e. g. PHS) has been introduced into the modern mine in recent years. In this paper, with a short description of Zigbee technology, a wireless emergency communication system including the Zigbee repeater and the Zigbee collection unit used to collect the environment parameter has been introduced. A wireless communication channel can be established rapidly by using the Zigbee repeater that is designed by using the S3C44B0X Arm7 processor and $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ Operating System. The Zigbee collection unit can be used to get important information of the environment parameters and the field video. The data collected by environment sensors and the video by infrared camera can be transmitted to the central station via this system. The system hardware and software realization have been described too.

Key words: SDR; Zigbee; emergency communication; low power

• Biography: SUN Yi, Ph. D., Xi'an 710054, P. R. Chian, Tel: 0086-29-85583169, E-mail: sunyi@xust.edu.cn