

# 基于 Wi-Fi 与 xDSL 的矿井应急救援多媒体综合通信系统设计及应用

郑万波<sup>1,2</sup>

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037; 2. 中国煤炭科工集团 重庆研究院, 重庆 400039)

**摘要:**针对井下有线通信系统铺设困难和无线通信系统易受井下空间约束、带宽衰减快、传输距离短的缺点,设计了一套基于有线 xDSL 和无线 Wi-Fi 协议的多媒体综合通信系统。经过验证,该系统传输速率高,通信距离长,适合井下多种数据实时融合通信的需要,是煤矿应急救援的综合通信中重要的信息平台之一。

**关键词:**矿井应急救援指挥;三级指挥模型;有线救援通信;无线救援通信

中图分类号:TD77

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)02-0068-06

## Design and Application of Integrated Multimedia Communication System for Mine Rescue Based on Wi-Fi and xDSL

ZHENG Wanbo<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China;  
2. Chongqing Research Institute, China Coal Science & Engineering Group, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** According to such shortcomings as difficulties of laying wire communication system underground and the underground space restriction, quick bandwidth attenuation and short transmission distance of the wireless communications system, an integrated multimedia communication system was designed based on the cable, xDSL, and wireless, Wi-Fi protocols. The verification shows that such a system is of high transmission rate and long communication distance, satisfying the need of various real-time data integrated communications underground and it becomes one of the important information platforms in the integrated communications for coalmine emergency rescue activities

**Key words:** mine emergency rescue direction; three-level direction model; wire rescue communication; wireless rescue communication

救援实施过程中,救护人员需要借助灾区通信系统实现现场信息的传输,但是当前多数有线无线救援通信系统互不兼容、难以联网,信息资源可视化程度低,造成信息量不足,不能全面准确反映现场情况,导致救援指挥不畅,延误遇险人员的求助,甚至造成更大人员伤亡和财产损失。

国内科研单位在矿山救援通信方面做了许多工作。煤科总院抚顺分院的 ZJC 系列车载矿山指挥系统用 KFSZ(A)型低照度矿用工业电视系统和 KJT95(A)型矿井救灾通信系统实现了图像语音的传输<sup>[1]</sup>;西安森兰 KTE 型矿山可视化指挥装置实现了数据的高带宽、长距离(5 km)传输,图像语音的复合实时传输显示<sup>[2-3]</sup>。中煤科工集团重庆研究院研制了 KTN01 矿用救灾指挥装置采用 ADSL(asymmetric digital subscriber line,非对称数字用户线路)技术实现 5 km 的有线语音、视频和数据监测,具有休眠唤醒和卫星通信功能<sup>[4-6]</sup>;KT138 矿用救灾无线指挥装置 2 km 的 Wi-Fi(wireless fidelity,无线宽带)语音视频混合接入传输,与美国 VENTURE 公司合作研制了 KTW122 矿用救灾无线通信装置基于 ZIGBEE 的 9.6 kbps 无线双

收稿日期:2011-10-11

作者简介:郑万波(1981—),男,四川自贡人,助理研究员,主要从事矿井应急救援技术与装备和工程物探研究工作。

E-mail:zwanbo2001@163.com

工语音系统,通过无线中继达到长距离语音传输。煤科总院常州自动化研究所开发的 KTW2 型矿用救灾无线通信系统,工作时间 12 h,有线 10 km,无线 1 km 的语音传输。中国矿业大学张会清等<sup>[7]</sup>提出将 CDMA (code division multiple access, 码分多址)技术应用到井下移动通信中,组成了一个抗衰落能力强、智能型的移动通信系统。

在国外,南非 GST 公司较早开发出有线声能电话和 RB2000 型无线电话,实现语音无线传输;2009 年,Transtek 公司开发的下一代 TeleMag 系统在美国一个煤矿测试达到 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health,美国国家职业安全卫生研究所)防爆要求。系统利用 DSP(digital signal processing,数字信号处理)技术,能够传输双向语音,通信距离超过 183 m。2009 年,Vital Alert 公司上市的 Canary 系列最新产品能够传送语音信号的距离超过 100 m,传送文字信息的距离超过数百 m,数据传输率达 2 400 bps,采用的频率是 2~6 kHz。俄罗斯研究超低频穿越岩层无线技术,需要大尺寸天线,传输低速电报码,通话距离或布线方式稍有变动就不能使用。这些救援装置只能传输语音,不能传输图像和数据<sup>[8]</sup>。

总之,在井下特殊的空间环境中,有线通信系统能够保证高带宽,高品质,长距离的语音视频传输,但是有线通信系统存在铺设困难、成本高、维护困难等缺点;无线通信系统作业方便,但可靠性和带宽都得不到保障。有线和无线相互不能取代,而将无线系统作为有线系统的实用化延伸,有线系统作为无线系统可靠传输的保证,构成一种适应性很强的通信模式,是矿井救援通信系统的发展方向之一,必将提升我国的矿井救援通信装备水平。

## 1 井下应急救援系统结构

事故救援时,必须保证以下位置通信正常<sup>[9]</sup>:抢险指挥部与地面基地、井下基地之间;井下基地与灾区救护小队之间;队员之间。因此,应急救援指挥可以采用三级指挥机制。事故现场信息可以实时传输到三个指挥部,指挥信息逐级传输,指挥员根据现场实际情况实施救援方案。本研究按照三级指挥流程和信息传输模型,设计矿井救援指挥通信系统,解决应急救援中信息传输问题<sup>[10]</sup>。

如图 1 所示,系统由救援终端,井下指挥基站,井上指挥基站,远程指挥站 4 部分组成,传输语音视频等数据。救援终端由语音、图像和多参数传感器 3 部分组成,实现现场信息的采集、编码、调制并传输到通信网络中;井下指挥基站、井上指挥基站和远程指挥站三方可以观测现场的图像、环境数据和互相通话,井下基站,地面基站可以双向视频。远端基站可以通过办公局域网、因特网或者卫星视频系统进行传输。

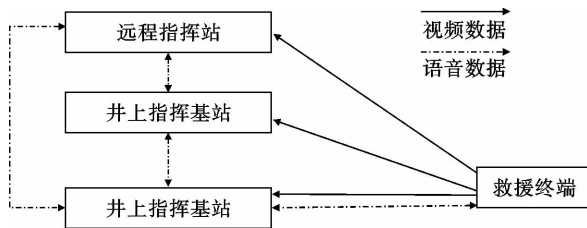


图 1 数据传输流向和信息载体示意图

Fig. 1 Sketch of data transmission flow and information carrier

## 2 井下救援系统系统设计

### 2.1 系统构成

KT170Z 矿用救灾多媒体通信系统连接如图 2 所示,有线部分由矿井地面基站,井下基站,有线语音视频终端 3 部分组成,最大覆盖距离为 8 km,其传输速率为 700 kbps,视频 2 路(每路 250 kbps),语音 2 路(每路 24 kbps),具有可更换备用电源。无线部分由移动通信站,静中通便携式卫星站 Wi-Fi 基站,无线 AP(access point, 接入点),无线语音视频终端 5 部分组成;井下最大覆盖距离为 2 km,具有 CH<sub>4</sub> 浓度,CO 浓度, O<sub>2</sub> 浓度和环境温度 4 参数监测和休眠唤醒功能,地面采用卫星覆盖方式。

### 2.2 国内井下救援指挥系统比较

在应急救援中,需要选用通信距离长、通信带宽高、能传输多媒体信息、铺设方便并能多次长时间工作的通信系统。表 1 分别从组网方式,语音通话、监控视频、休眠时间、有线中继距离、无线通信距离和环境

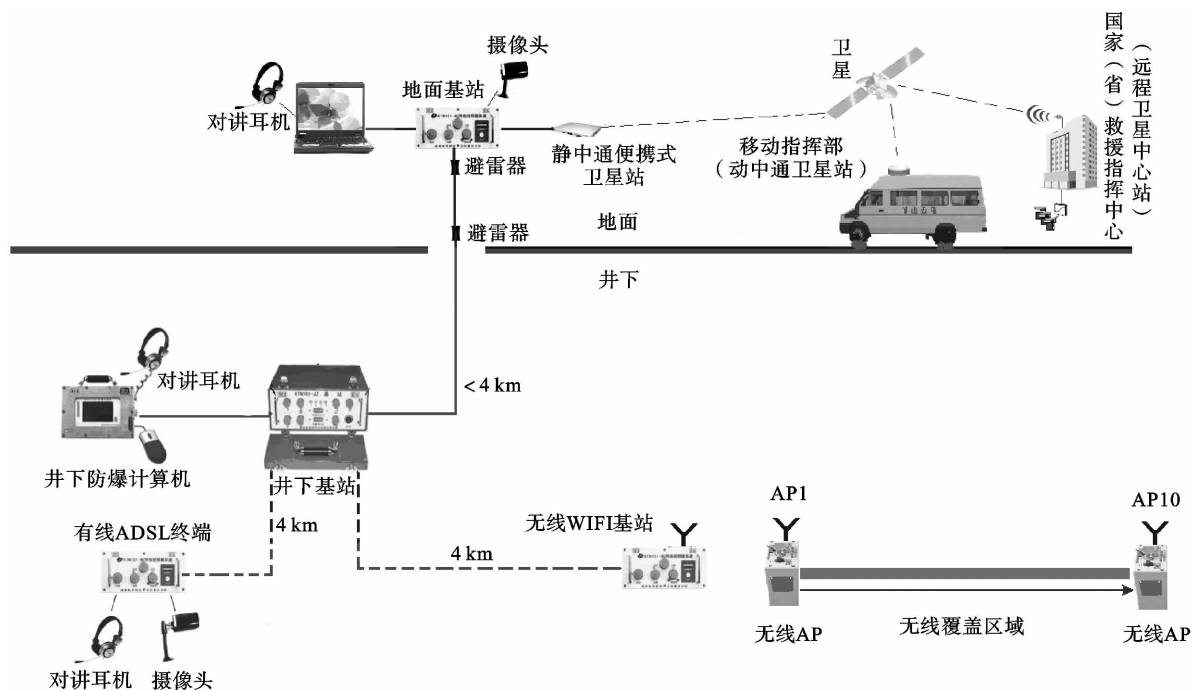


图 2 系统连接示意图

Fig. 2 Sketch of system connection plan

监测 6 方面进行了比较。KTT9 仅能够传输点对点的数字语音通信,通信距离为 2 km,带宽窄;xDSL 技术采用细双绞线传输的高带宽数据,适合于应急救援即铺即用的要求,KJ105 采用光纤传输,铺设繁琐,不适合救援快速反应的要求。西安森兰 KTE 型矿山可视化指挥装置采用 SDSL 技术,其有线分站之间距离 2 km,长距离传输需要多个中继节点,铺设较复杂,不符合应急救援多次重复长时间的特点;中煤科工集团重庆研究院研制了 KTN01 矿用救灾指挥装置采用 ADSL 技术实现 5 km 无中继的有线语音、视频和数据传输,节点少,带宽较高,具有休眠唤醒功能,但是单纯有线系统救援作业不便;KT138 矿用救灾无线指挥装置实现 2 km 的基于 Wi-Fi 技术,Wi-Fi 具有高带宽,频带公开的特点,可以用于传输数据量较大的多媒体信息。因此,选用了综合 KTN101 的 ADSL 技术和 KT138 的 Wi-Fi 技术的优点,研制出的 KT170Z 矿用救灾多媒体通信系统,在国内处于领先水平。

表 1 国内主要应急救援通信指挥系统与本文系统参数指标比较表

Tab. 1 The comparison of parameters between domestic major emergency rescue communication systems and the proposed system

产品名称	组网方式	监控视频 /路	休眠时间/h	有线中继 距离/km	无线通信 距离/km	环境监测
KTT9 型便携式通信电话	有线	—	—	2.0	—	—
KTE5 型矿山可视化救援指挥装置	有线	2	—	2.0	—	—
KJ105 型矿井抢险救灾监测指挥系统	有线	1	—	1.0	—	CH <sub>4</sub> 浓度,CO 浓度, O <sub>2</sub> 浓度,温度
南非 SC2000 型无线电话	有线加无线	—	—	—	0.5	—
KTN101 矿用救灾指挥装置	有线加无线	4	≥320	4.5	0.2	CH <sub>4</sub> 浓度,CO 浓度, O <sub>2</sub> 浓度,温度
KT138 矿用无线救灾指挥装置	无线	—	—	—	2.0	CH <sub>4</sub> 浓度,CO 浓度, O <sub>2</sub> 浓度,温度
KT170Z 矿用救灾多媒体通信系统	有线加无线	2	≥320	8.0	2.0	CH <sub>4</sub> 浓度,CO 浓度, O <sub>2</sub> 浓度,温度

### 3 试验测试

#### 3.1 基于双绞线的 xDSL 电路传输速率和距离的关系

在实验测试中,采用市场上常用的 ADSL, VDSL(very-high-bit-rate digital subscriber loop, 甚高速数字用户环路)和 G. SHDSL(symmetric high bit rate digital subscriber line group, 单对线高速数字用户线工作组)传输协议进行传输速率与距离的对比测试。通信线参数:线径 0.8 mm (铜芯),直流电阻 $\leq 90 \Omega/\text{km}$ ,分布电容 $\leq 0.06 \mu\text{F}/\text{km}$ ,固有衰减 $\leq 1.10 \text{ dB}/\text{km}$ 。结果如图 3 所示。

测试结论如下:通信距离在 0~2 km 时, VDSL 的传输速率大于 10 Mbps,高于 SHDSL,但是当距离大于 2 km 时,传输速率迅速衰减到零;ADSL 在 0~4 km 通信距离时,其上行传输速率为 5~8 Mbps,下行传输速率 0.6~0.78 Mbps,但是通信距离大于 4 km 时,传输速率快速衰减到 0;HDSL 在 0~6 km 通信距离内传输速率均维持在 1.5~1.8 Mbps,上下行基本相等,当传输距离大于 8 km 时,速率开始缓慢下降到 0。

SHDSL 比 ADSL、VDSL 更具优势,因此选用 SHDSL 作为长距离稳定传输的通信协议。

#### 3.2 无线 Wi-Fi 多跳测试

在复杂的矿井多跳无线通信应用中,采用统计方法来总结其规律。应用文献[11]的试验方法,在模拟巷道搭建无线 10 跳系统模型,节点之间信号强度基本相等,最大拐弯节点相距 100 m。其统计测试结论如图 4 所示:随着链路跳数的增加,相邻链路需要共享频谱资源,端到端吞吐量逐步降低;由于超过三跳距离的两条链路可以空分复用频谱,进行同时传输,当节点数 $\geq 5$  时,理论上最大的端到端吞吐量应不高于 13.45 Mbps;在单信道环境下,端到端吞吐量却逐步降低至 7.47 Mbps,而使用信道带宽调制,端到端吞吐量能几乎恒定保持在 12.9 Mbps 左右;单信道环境下,源节点由于面临的竞争较少,向路径中注入超过频谱共享区域内节点转发能力的报文,导致这些报文被阻塞并丢弃。

#### 3.3 Wi-Fi 和 ADSL 的宽带连接测试

采用基于 IEEE802.11G 无线协议的 KT138-Z 矿用本安型无线中继器(无线 AP)与 KTN101-JW 矿用浇封兼本安型无线基站(Wi-Fi 转 ADSL 转换器),中间采用 TCP/IP 传输协议,实现了有线网络和无线网络的高传输速率连接,并按图 5 搭建测试平台,在目标计算机和测试主机上装有传输速率和误码率测试软件。经近距离测试,其测试界面如图 6 所示,传输速率在 3.5~7.0 Mbps,能够满足 4 路视频(300 kbps/路)和 4 路语音数据(4 kbps/路)传输速率,误码率小于  $10^{-8}$ 。

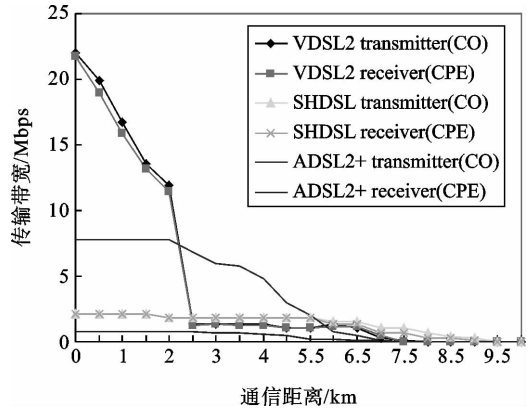


图 3 基于双绞线的 ADSL, VDSL 和 G. SHDSL 通信距离和传输速率的对比测试图

Fig. 3 The comparison test of communication distance and transmission rate based on the twisted pair of ADSL, VDSL and G. S HDSL

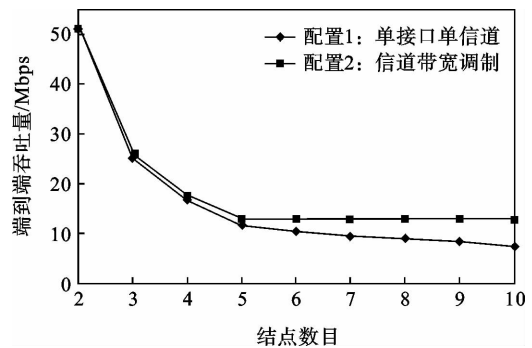


图 4 链状网络节点数目与端到端吞吐量的关系图

Fig. 4 The relationship between the number of chain network nodes and end-to-end throughput

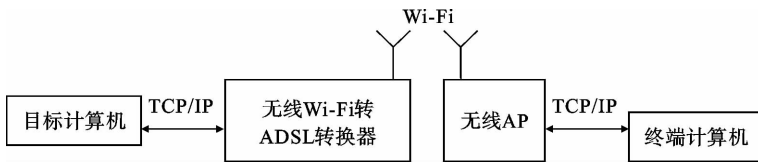


图 5 无线与有线转换模块传输速率测试连接图

Fig. 5 The connection diagram of transmission-rate test of wireless and wire conversion module



图 6 实验室测试软件界面截图

Fig. 6 The screenshots of software interfaces in laboratory test

#### 4 应用验证

在 2006—2011 年的推广应用过程中,应急救援多媒体系统分别在河北、内蒙古、山西、新疆、四川、重庆和贵州等地进行地面和井下的推广应用,部分现场测试效果如图 7 所示,主要用于矿山救援指挥中心、安监局、矿山救护队和矿业学校等。



图 7 井下测试视频截图

Fig. 7 The video screenshots in underground test

## 5 结论

以有线和无线通信理论为基础,依据应急救援信息传输的流程及特点,对有线和无线相结合的系统通信模式进行研究分析,并以 KTN101 矿用救灾指挥装置和 KT138 矿用救灾无线指挥装置为基础开发样机进行实验测试,验证通信系统模式的实用性。主要工作如下:

1)根据矿山救护规程、三级指挥机制原则和煤矿企业应急救援指挥信息流程,组建了一个基本可实现天、地、井综合通信的应急救援数字信息示范平台。

2)研发了一套自供电的新型多媒体救援指挥信息系统,此系统兼容井下监控系统和地面办公系统,高传输速率,长距离,融合语音、视频和环境参数,具有休眠唤醒、双向视频等新功能。

长期试验研究和煤矿现场应用验证证明,系统设计符合应急指挥流程,通信模式组网灵活,覆盖范围广,符合现场实际需要,功能更加完善,具有较强的推广应用价值。

### 参考文献:

- [1]煤炭科学研究总院抚顺分院. KJT95(A)型矿井救灾通信系统. 中国科技成果数据库[DB/OL]. [2011-09-09]http://cnki.clen.net.cn/kns50/detail.aspx? QueryID=6&CurRec=10601240044.
- [2]金永飞,徐精彩,郑学召. 基于双绞线通信技术的矿山应急救援系统的研究[J]. 矿业安全与环保,2006,33(2):70-71.
- [3]李文峰,郑学召. 一种矿山救援应急多媒体技术[J]. 现代电子技术,2005(22):43-45.  
LI Wenfeng,ZHENG Xuezhao. An emergency communication technology of multimedia used in mine rescue[J]. Modern Electronic Technique,2005(22):43-45.
- [4]郑万波,吴燕清,谢成梁,等. 新型矿井应急救援指挥通信系统关键技术研究[J]. 煤炭科学技术,2009,37(8):100-103.  
ZHENG Wanbo,WU Yanqing,XIE Chengliang,et al. Research on key technology of new mine emergency rescue and command communication system[J]. Coal Science and Technology,2009,37(8):100-103.
- [5]郑万波,吴燕清,秦伟,等. 矿井应急救援指挥通信装置的休眠唤醒功能实现探讨[J]. 煤矿安全,2010,41(3):107-111.
- [6]郑万波,吴燕清,康厚清,等. 矿井应急救援指挥通信装置的卫星传输音视频通信功能实现探讨[J]. 工矿自动化,2010(4):7-10.  
ZHENG Wanbo,WU Yanqing,KANG Houqing,et al. Implementation of audio and video transmission by satellite of communication device for emergency rescue commanding in mine[J]. Industry and Mine Automation,2010(4):7-10.
- [7]张会清,于洪珍,李佳宁. CDMA 技术在井下移动通信中应用的研究[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(5):499-502.  
ZHANG Huiqing,YU Hongzhen,LI Jianing. Study on application of CDMA technique in mine mobile communication[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2001,30(5):499-502.
- [8]孙红雨,王娜,郭银景,等. 透地通信系统研究进展[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2011,30(3):79-85.  
SUN Hongyu,WANG Na,GUO Yinjing,et al. Research progress of through-the-earth communication system[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science,2011,30(3):79-85.
- [9]矿山救援专家组.《矿山救护规程规程》实施手册[M]. 北京:中国煤炭出版社,2008.
- [10]郑万波. 新型矿井应急救援指挥通信系统关键技术研究[D]. 重庆:煤炭科学研究总院,2009:5-12.
- [11]李礼. 多接口多信道多跳无线网络资源管理与广播机制的研究[D]. 长沙:国防科技大学,2009:24-32.