

文章编号:1671-251X(2013)08-0022-04 DOI:

武先利,王鹏,温良,等.一种新型煤矿井下无线通信系统研究[J].工矿自动化,2013,39(8):22-25.

一种新型煤矿井下无线通信系统研究

武先利, 王鹏, 温良, 郎琦

(中煤科工集团煤炭科学研究总院 安全装备技术研究分院, 北京 100013)

摘要:针对应急救援常用的救灾通信电话存在通信链路建立时间长、通话质量差、不能实时在线等问题,提出了一种基于 Mesh 多跳和跳频扩谱技术的煤矿井下无线通信系统的设计方案。采用骨干路由节点和中继路由节点相互配合构建 Mesh 多跳的基础结构,同时采用多射频多通道技术来提高多跳子系统的容量、多跳次数及覆盖范围;针对跳频扩谱通信链路中需要解决多频天线技术和异频无线路由技术的问题,采用改进型最小费用路由算法来确保在灾变后煤矿井下不确定性因素增强的情况下,无线传输选择最优路由链路。试验结果表明,该系统能够实时准确地将井下信息传送到地面救援指挥中心,且能够实现地面救援指挥中心与井下救护队员的直接对话和通信指挥,提升了应急救援能力。

关键词:矿井无线通信;应急救援;Mesh 多跳;跳频扩谱;多频天线;异频无线路由;最小费用路由算法

中图分类号:TD655.3 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of a new underground wireless communication system

WU Xian-li, WANG Peng, WEN Liang, LANG Qi

(Research Branch of Safety Equipment Technology, China Coal Research Institute of CCTEG,
Beijing 100013, China)

Abstract:In view of problems of long setup time of communication link, bad voice quality and unable for online existed in common rescue communication telephone for emergency rescue, the paper proposed a design scheme of underground wireless communication system based on Mesh multi-hop and FHSS. The scheme uses backbone routing nodes and relay routing nodes to build basic structure of Mesh multi-hop, meanwhile uses multi-radio and multi-channel technology to improve capacity, multi-hop times and coverage ranges of multi-hop subsystem. For solving problems of technologies of multi-frequency antenna and wireless routing with different frequency, the scheme uses improved minimum cost routing algorithm to ensure wireless transportation select the best routing link under condition of enhancing of underground uncertain factors. The test result shows that the system can send related underground information to surface rescue and command center, and can realize direct communication and communication command between surface rescue and command center and rescuer with higher ability of emergency rescue.

Key words:mine wireless communication; emergency rescue; Mesh multi-hop; FHSS; multi-frequency antenna; wireless routing with different frequency; minimum cost routing algorithm

收稿日期:2013-05-13。

基金项目:煤炭科学研究总院青年创新基金项目(2010CX08)。

作者简介:武先利(1970—),女,内蒙古武川人,副研究员,博士,主要从事煤矿井下通信系统、井下安全监控系统等方面的研究工作,E-mail:wuxianli@ccriscn.cn。

0 引言

在煤矿井下灾变后的应急救援过程中,可靠有效的无线传输手段至关重要,可有效保证救护队员、井下救护基地和地面指挥中心三方的正常通信,实时了解救灾环境情况。目前应急救援常用的救灾通信电话(防爆手机)在灾变条件下需要预先拨号,通信链路建立时间长,在紧急时刻容易误拨,并需要救护队员手持通话,携带极不方便;防爆手机采用传统的声音电磁波转换原理,在灾变现场恶劣的环境下,信号信噪比较低,通话质量差,不能实时在线,一旦断线需要重新建立新链路^[1-4]。因此,需要采用更先进的煤矿井下灾变后应急救援的无线传输手段。本文提出一种采用 Mesh 多跳和跳频扩谱(Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS)技术的煤矿井下无线通信系统,构建了可靠的多频点路由通信方式及多频天线、异频无线路由技术;研究了煤矿井下灾变后应急救援无线通信最优传输路由的 Mesh 算法(即最小费用路由算法)^[5]。

1 应急救援 Mesh 多跳通信技术

煤矿井下发生灾难后,环境恶劣,常规通信技术会受到诸如塌方、断电等情况的困扰,而采用 Mesh 技术,即使在救援过程中部分通信线缆再次受到损害,井下各通信基站之间仍可利用 Mesh 技术通信。Mesh 多跳组网每个节点的信号传输和信号接入采用 2.4 GHz 和 5.8 GHz 两个不同的频段,本地接入服务采用 2.4 GHz 802.11 b/g 信道,骨干 Mesh 回传网络采用 5.8 GHz 802.11a 信道,二者互不干扰,这样每个 Mesh 基站就可以在服务本地接入用户的同时,执行回传转发功能,解决了回传和接入的信道干扰问题,提高了网络性能,确保了应急救援语音、视频、环境参数等信息回传的可靠性。

结合煤矿井下灾变后应急救援需求及矿井巷道特点,采用骨干路由节点和中继路由节点相互配合构建 Mesh 多跳的基础结构,同时采用多射频多通道技术来提高多跳子系统的容量、多跳次数及覆盖范围,解决由于多跳传输造成的容量与覆盖范围间的矛盾。由于不同救援环境的网络业务数据量、信息量不同,而且不同类型的数据实时性、突发性、交互性、重要级别也不同,应急救援的无线通信要求具有合理的网络规划、业务量预测、网络运行控制等,保证高级别的数据优先传输等功能。煤矿应急救援 Mesh 多跳通信架构如图 1 所示。

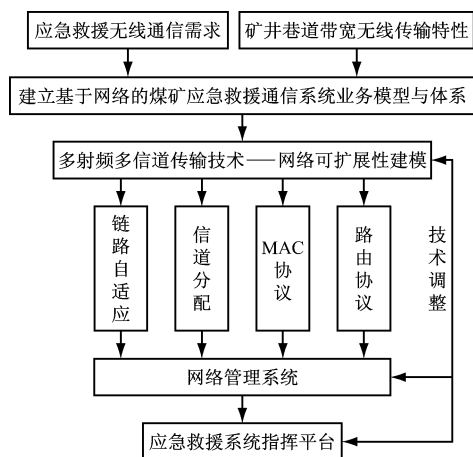


图 1 煤矿应急救援 Mesh 多跳通信架构

2 FHSS 最小费用路由算法

无线通信传输链路中必须解决 2 个关键技术,才能保证煤矿井下灾变后应急救援通信数据的可靠、有效传输:

(1) 多频天线技术。在 FHSS 通信中,抗干扰、自动选择链路是 2 个主要问题,在同一电磁环境下,解决这 2 个问题的要点是更换发射频点。因此,研究双(或 2 个以上)频点天线是关键技术所在,双频点天线就是 1 根天线支持 2 个(或 2 个以上)频点设备的发射。

(2) 异频无线路由技术。异频路由需对不同频率信号进行检测、比较,保证无线发射频率在传输和接入的 2.4 GHz 和 5.8 GHz 间快速切换,优化各个不同频率的最大路径和抗干扰特性^[6]。

FHSS 分组无线网的路由选择算法是跳频网络中最为重要的技术之一,解决以上 2 个问题,设计合适的路由选择算法非常重要。针对不同分组类型,网络对其时延、丢失率等指标的要求不同,因此,同一条链路面向不同类型分组的链路费用也不同。ALR (Adaptive Least Residual) 算法和 QoS (Quality of Service) 算法 2 种路由算法在 FHSS 分组无线网中广泛应用,但它们对链路费用的考虑非常单一。本文提出一种改进型最小费用路由算法,可大大提高网络传输性能。以下重点分析该算法原理。

改进型最小费用路由算法是基于 Bellman-Ford 算法的推理路由算法,设定从给定的源节点找出最短路径,该最短路径是从所有最多只含 1 条链路的路径中选择出来,再找出条件为所有路径最多只含 2 条链路的最短路径,如此类推。定义: s 为源节点; $\omega(i, j)$ 为节点 i 到节点 j 之间的链路费用;

h 为算法在目前阶段中的路径具有的最大链路数; K 为多跳链路的 Mesh 跳变数; $L_h(n)$ 为在不多于 h 条链路的条件下,从节点 s 到节点 n 的最小费用路径的费用。具体步骤:

(1) 初始化。 $L_0(n) = \infty$, 当 $n \neq s$ 的情况下, $L_h(s) = 0$ 。

(2) 更新。对每个后继的 $h \geq 0$ 及每个 $n \neq s$, 计算

$$L_{h+1}(n) = \min_j [L_h(j) + \omega(j, n)] \quad (1)$$

将 n 与前一次处理的节点 j 相连,以获取最小值,并删除在以前重复时形成的 n 与任何其他前次处理节点之间的连接。从 s 到 n 的路径以从 j 到 n 的路径结束。

(3) 循环。不断重复第(2)步,当 $h = K$ 时,对于每个目的节点 n ,算法将从 s 到 n 的长度为 $K+1$ 的可能路径与前一次重复结束时得到的路径相比较,选择较短路径。

从以上分析可看出,两节点间的链路费用 $\omega(i, j)$ 是计算路由的重要参数,它包含传输链路费用和节点费用 2 个部分,可表示为

$$\omega(i, j) = \alpha I(i, j) + \beta W(j) \quad (2)$$

式中: $I(i, j)$ 为传输链路费用,考虑了链路的衰落、丢失、信噪比等; $W(j)$ 为节点费用,由目的节点缓冲区分组数、转发延迟等决定; α, β 为系数^[7]。

在改进型最小费用路由算法中,同一条链路上的不同数据类型, $\omega(i, j)$ 对应不同的表达式。设定考虑数据分组和语音分组 2 种分组类型。数据分组要求误码率低,但允许一定延迟;语音分组要求时延小,但可包含少量误码。这 2 种分组的链路费用为

$$\begin{cases} \omega_d(i, j) = \alpha_d I_d(i, j) + \beta_d W_d(j) \\ \omega_v(i, j) = \alpha_v I_v(i, j) + \beta_v W_v(j) \end{cases} \quad (3)$$

式中:下标 d 代表数据分组;下标 v 代表语音分组; I_d, I_v 与未考虑分组类型的情况基本相同; W_d, W_v 由节点 j 接收缓冲区中的等待分组数决定,设等待的数据分组数、语音分组数分别为 N_d, N_v , 则有 $W_d = N_d + \lambda_d N_v, W_v = N_v + \lambda_v N_d$ 。由于语音分组对数据分组的延迟影响很小,取 $\lambda_d = 0$;而数据分组对语音分组的时延影响较大, $\lambda_v > 0$ 。

在实际网络中,采用 Reed-Solomon 编码,链路费用可由式(4)计算:

$$\begin{cases} \omega_d(i, j) = 2t + e \\ \omega_v(i, j) = t + 0.5e + N_v + 0.7N_d \end{cases} \quad (4)$$

式中: t 为每码字中码元错; e 为每码字中删除错。

煤矿井下环境复杂,大功率电磁干扰源较多,同

时井下地势起伏较大,巷道煤壁粗糙,诸多不确定因素对无线信号的干扰和损耗较大。采用改进型最小费用路由算法的无线链路传输方式,能够提供多通道、最短路由的链路连接,在灾变后煤矿井下不确定性因素增多的情况下,选择最优路由链路。

3 Mesh 多跳及 FHSS 最小费用路由算法在应急救援中的应用

根据以上研究的 Mesh 多跳传输技术及 FHSS 最小费用路由算法,设计救护安全信息平台来验证该算法在煤矿应急救援中的应用优势。救护安全信息平台由地面无线接收装置、井下中继基站和前端接入基站 3 个部分组成,其中地面无线接收装置与井下中继基站的位置比较固定,距离 5~20 km 不等,采取有线通信方式;前端设备主要负责救援现场信息(环境参数和人体参数)的采集与上传,与中继设备距离通常为 1~3 km,移动性比较大,采取 Mesh 多跳和 FHSS 无线通信方式。基于 Mesh 多跳和 FHSS 技术的无线通信系统结构如图 2 所示。



图2 基于 Mesh 多跳和 FHSS 技术的无线通信系统结构

根据图2,选用模拟巷道,共有5名救护队员参加试验。中继器之间的距离为200 m,数据采集仪与中继器之间的无线通信距离为150 m。试验结果表明,基于 Mesh 多跳和 FHSS 技术的无线通信系统运行稳定、可靠,效果良好,能够实时准确地将救护队员的生命体征参数、救护环境参数、煤矿井下情形传送到地面救援指挥中心,且能够实现地面救援指挥中心与井下救护队员的直接对话和通信指挥。

4 结语

针对中国煤矿井下灾变后应急救援通信技术落后的情况,提出了一种采用 Mesh 多跳和 FHSS 技术的煤矿井下无线通信系统,研究了煤矿井下灾变后应急救援无线通信最优传输路由的 Mesh 算法,从而实现了实时、准确地把灾变后救援过程中的信息传送到地面救援指挥部及各级救援指挥中心,保障了救护队员的自身安全,提升了应急救援能力,对构建畅通高效应急救援通信手段具有一定作用。

参考文献:

[1] 王鹏,霍中刚,宋先明,等. 煤矿应急救援可视化通信技术与装备研究报告[R]. 北京:煤炭科学研究总院, 2011.

[2] 徐亚民. 煤矿应急救援系统数字化预警通信研究[J]. 山东煤炭科技, 2012(3):223-227.

[3] 孙震宇,张振龙,王海燕. 我国煤矿事故新特点及应急救援特征分析[J]. 科技创新导报, 2012(15):219-221.

[4] 冯珍,郝晶星. 煤矿企业应急救援能力评估[J]. 电子科技大学学报:社会科学版, 2010,12(3):53-57.

[5] ARSLAN H, CHEN Zhining. DI BENEDETTO M G. 超宽带无线通信[M]. 长春:吉林长白山出版社, 2006.

[6] 王世伟,褚庆昕,陈付昌,等. 微带超宽带带通滤波器研究[D]. 广州:华南理工大学, 2012.

[7] 黄武,吕国强,朱健. 跳频频率合成器的设计[D]. 合肥:合肥工业大学, 2007.