

煤矿井下人员精确定位方法

孙哲星^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京),北京 100083;2. 中国建设银行股份有限公司北京数据中心,北京 100068)

摘要:分析总结了煤矿井下人员定位特点:覆盖范围远大于地面室内;定位信号应能非视距传输;电磁波衰减严重;无线传输衰减受巷道分支、弯曲、倾斜、断面面积和形状、围岩介质、巷道表面粗糙度、支护、纵向导体、横向导体、设备等影响大;必须电气防爆;环境恶劣,粉尘大、潮湿、淋水等。提出无线电传输适用于煤矿井下人员定位;超声波、激光、红外传输不适用于煤矿井下人员定位。提出 RSSI 基于信号强度测距定位方法、AOA 基于角度测量的定位方法和不同类信号源 TDOA 基于时间差的测距定位方法不适用于煤矿井下人员精确定位;TOA 基于传输时间的测距定位方法和 TDOA 基于时间差的测距定位方法适用于煤矿井下人员精确定位,TDOA 基于时间差的测距定位方法较 TOA 基于传输时间的测距定位方法系统成本低。

关键词:人员定位;精确定位;TOA;TDOA;煤矿

中图分类号:TD67

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)03-0130-05

Personnel position method in underground coal mine

SUN Zhexing^{1,2}

(1. China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China;

2. Beijing Data Center, China Construction Bank Corp., Ltd., Beijing 100068, China)

Abstract: The characteristics of the underground coal mine personnel positioning are analyzed and summarized: the coverage is much larger than the indoor environment; the transmission of the positioning signal should be not line of sight; the attenuation of electromagnetic wave is serious; the attenuation of wireless transmission is affected by the gallery branching, bending, inclination, the area and shape of cross-sectional, the medium of surrounding rock, the roughness of gallery surface, support, longitudinal conductors, transverse conductors, equipment and etc; the electrical equipment must be explosion-proof; the underground coal mine environment is harsh because of dust, moisture, water and etc. It is proposed that the radio transmission is suitable for the underground coal mine personnel positioning; while ultrasonic, laser, and infrared transmissions are not suitable for underground coal mine personnel positioning. And, it is proposed that the positioning method based on received signal strength indication(RSSI) is not suitable for underground coal mine accurate personnel positioning; the positioning method based on angle of arrival(AOA) measurement is not suitable for underground coal mine accurate personnel positioning; the positioning method based on time of arrival(TOA) and the positioning method based on time difference of arrival(TDOA) within similar signal source are suitable for underground coal mine accurate personnel positioning, and the positioning system based on time difference of arrival(TDOA) within similar signal source costs less than the positioning method based on time of arrival(TOA); the positioning method based on time difference of arrival(TDOA) within different types of signal source is not suitable for underground coal mine accurate personnel positioning.

Key words: personnel positioning; accurate positioning; TOA; TDOA; coal mine

0 引言

煤炭是我国的主要能源,约占一次能源的

70%。中国是世界第 1 产煤大国,煤炭产量约占世界 50%。2017 年全国煤炭产量约 35.4 亿 t。2017 年全国煤矿发生死亡事故 219 起,死亡 375 人,百万

收稿日期:2017-12-22;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.03.022

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800);国家自然科学基金重点资助项目(51134024);国家高技术研究发展(863 计划)资助项目(2012AA0622031)

作者简介:孙哲星(1984—),女,山西翼城人,工程师,博士研究生。E-mail:1308474693@qq.com

引用格式:孙哲星.煤矿井下人员精确定位方法[J].煤炭科学技术,2018,46(3):130-134.

SUN Zhexing. Personnel position method in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(3): 130-134.

吨死亡率0.106;其中重大事故6起、死亡69人,没有发生特别重大事故;事故起数、死亡人数、重特大事故和百万吨死亡率均大幅下降,安全生产形势持续稳定好转。

煤矿安全生产形势持续稳定好转,离不开煤矿自动化、信息化和智能化。矿井人员定位系统在遏制超定员生产、防止人员进入危险区域、发现超时作业人员、特种作业人员管理、干部下井管理、入井考勤、应急救援、事故调查、持证上岗管理等方面发挥着重要作用,是煤矿井下安全避险六大系统之一,是煤矿安全生产的重要保障。

煤矿井下电磁波衰减严重,GPS等卫星定位信号无法穿透煤层和岩层到达煤矿井下,电气防爆等特殊性质,制约着地面定位技术直接在煤矿井下应用。因此,有必要针对煤矿井下特点,研究煤矿井下人员精确定位方法。

1 煤矿井下人员定位特点与定位传输技术

1.1 煤矿井下人员定位特点

煤矿井下人员定位与地面定位相比具有如下特点:

1)煤矿井下单一巷道长度可达10 km,矿井人员定位系统需覆盖采掘工作面等作业地点和行人

巷道等,矿井人员定位系统覆盖范围远大于地面室内。

2)煤矿井下巷道有分支、弯曲和倾斜,巷道中有胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等,矿井人员定位信号应能非视距传输。

3)煤矿井下电磁波衰减严重,GPS等卫星定位信号无法穿透煤层和岩层到达煤矿井下。

4)煤矿井下无线传输衰减受巷道分支、弯曲、倾斜、断面面积和形状、围岩介质、巷道表面粗糙度、支护、纵向导体(电缆、铁轨、水管等)、横向导体(工字钢支护等)、设备等(以下简称“巷道和支护、巷道中的导体和设备”)影响大。

5)煤矿井下有瓦斯等可燃性气体,用于煤矿井下的电气设备必须电气防爆。

6)煤矿井下环境恶劣,粉尘大、潮湿、淋水。

煤矿井下人员定位特点,制约着地面定位技术和设备直接在煤矿井下应用。因此,需要针对煤矿井下人员定位特点,研究适用于煤矿井下的人员定位传输技术和定位方法。

1.2 煤矿井下定位传输技术

定位传输技术主要有红外、超声波、激光、无线电波等,其用于煤矿井下人员定位优势比较见表1。

表1 4种定位传输技术优势比较

Table 1 Advantage comparison of four location transmission technologies

定位传输技术	测距距离	受粉尘影响	无障碍和有障碍测距	定位分站间距	分站用量	成本	维护量	满足煤矿井下人员定位
红外	短	大	无障碍测距	短	大	高	大	不满足
超声波	短	小	无障碍测距	短	大	高	大	不满足
激光	远	大	无障碍测距	中	大	高	大	不满足
无线电波	远	小	无障碍和有障碍测距	长	少	低	小	满足

从表1可知,红外、超声波、激光技术可用于直线无障碍测距,测距范围内不能有胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等任何阻挡物,更不能有造成非视距的巷道弯曲、分支和倾斜;而无线电波具有传输距离远,可非视距传输、设备成本低等优点。采用适宜的定位方法,无线电波可以解决或减少煤矿井下巷道分支、弯曲和倾斜,胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等对定位精度的影响,是煤矿井下人员定位主流传输技术。

因此,红外、超声波、激光传输技术不适用于煤矿井下人员定位,一般用于短距离相对定位,如胶轮车等大型设备的避障监测等。无线电波传输技术适用于煤矿井下人员定位。

2 煤矿井下人员定位方法

GPS等卫星定位信号无法穿透煤层和岩层到达煤矿井下,因此,GPS等卫星定位方法不能用于煤矿井下。除GPS等卫星定位方法外,主要有基于信号强度的测距定位方法RSSI、基于角度测量的定

位方法 AOA、基于传输时间的测距定位方法 TOA、基于时间差的测距定位方法 TDOA 等。

2.1 RSSI 基于信号强度测距定位方法

RSSI(Received Signal Strength Indicator)测距定位法是基于无线信号强度的测距定位方法。已知无线信号发射设备的发射功率,接收设备测量此信号的接收强度,计算传播损耗,通过运算将传播损耗转化为距离实现测距。RSSI 测距定位具有原理简单,定位设备成本低等优点。但由于矿井电磁波传输受巷道和支护、巷道中导体和设备等影响大,因此, RSSI 测距定位方法定位误差大。发射功率的波动和接收灵敏度变化,进一步降低了 RSSI 测距定位法的定位精度。因此, RSSI 基于信号强度测距定位方法,不适用于煤矿井下人员精确定位。

2.2 AOA 基于角度测量的定位方法

AOA(Angle of Arrival)基于角度测量的定位方法工作原理如图 1 所示。已知两固定定位分站 BS1 和 BS2 的距离为 d , E 为被定位动目标, E 与 BS1、BS2 的角度分别为 α_1 、 α_2 ; 则 E 点与 BS1、BS2 的距离 r_1 、 r_2 满足公式:

$$\begin{cases} r_1 \cos \alpha_1 + r_2 \cos \alpha_2 = d \\ r_1 \sin \alpha_1 = r_2 \sin \alpha_2 \end{cases} \quad (1)$$

解方程可得 $r_1 = \frac{d \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$, $r_2 = \frac{d \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$, 进一步即可得到 E 点位置。

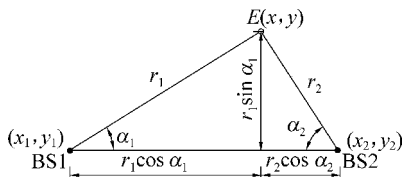


图1 AOA 基于角度测量的定位方法

Fig.1 AOA localization method based on angle measurement

AOA 基于角度测量的定位方法,定位精度与角度有关,与信号强度无关(但要保证信号被准确接收)。因此,巷道和支护、巷道中导体和设备等造成的信号传输衰减,不影响定位精度。

AOA 基于角度测量的定位方法,只能用于直线无障碍测距,测距范围内不能有胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等任何阻挡物,更不能有造成非视距的巷道弯曲、分支和倾斜。因此, AOA 基于角度测量的定位方法不适用于煤矿井下人员定位。

AOA 基于角度测量的定位方法主要有基于定

向天线的 AOA 测量和基于阵列天线的 AOA 测量。

2.2.1 基于定向天线的角度测量法

基于定向天线的角度测量法,定位设备使用定向天线实现到达角度的采集。定向天线的主要特点是具有方向性,主瓣对准信号发射方向时信号强度最大,根据定向天线的这一特点可以实现到达角度的测量。定向天线受主控系统控制,做周期性旋转扫描,将采集到信号强度数据实时传给主控系统,主控系统使用特定的算法完成信号到达角的估计。通过定向天线测得的到达角度误差较大,由于角度的微小偏差会导致方向线的大幅偏差,所以不适合用于远距离定位。煤矿井下粉尘大、潮湿等,周期性旋转扫描的定向天线易损坏。受巷道变形、机械振动和人为破坏,天线位置会发生变化,影响测量精度。因此,基于定向天线的角度测量定位方法不宜在煤矿井下应用。

2.2.2 基于阵列天线的角度测量法

基于阵列天线的到达角度测量比基于定向天线的测量精度高。基于阵列天线的电磁波到达方向的估计算法主要有:空间谱估计、最大熵估计、最小方差无损响应法、本征结构法、线性预测法等。基于阵列天线的角度测量法,设备结构复杂,成本高;受巷道变形、机械振动和人为破坏,天线位置会发生变化,影响测量精度。因此,基于阵列天线的角度测量定位方法不宜在煤矿井下应用。

2.3 TOA 基于传输时间的测距定位方法

TOA(Time of Arrival)测距定位方法是基于传输时间的定位方法,根据已知信号的传播速度和信号从发射点至接收点接收所需的时间实现测距的方法。TOA 实现的过程如下:

1) 信号发射设备向信号接收设备发射包含有信号发送时刻 t_1 的信号,信号发送时刻 t_1 为信号发射设备当前时钟。

2) 信号接收设备接收到信号后,根据信号接收设备当前时钟,记录信号到达时刻 t_s ;同时解析得到信号的发送时刻 t_1 ;用信号到达时刻 t_s 减去信号发送时刻 t_1 ,得到信号传输时间。

3) 信号传输速度 c 乘以信号的传输时间,即得到信号发射设备与接收设备之间的距离 d 。运算公式如下:

$$d = c(t_s - t_1) \quad (2)$$

TOA 基于传输时间的测距定位方法,定位精度与信号传输时间有关,与信号强度无关(但要保证

信号被准确接收)。因此,巷道和支护、巷道中导体和设备等造成的信号传输衰减,不影响定位精度。

TOA 基于传输时间的测距定位方法,可用于非视距传输,通过抗多径效应等处理技术,可以减小或解决巷道弯曲、分支和倾斜,胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等阻挡物,对定位精度的影响。

TOA 基于传输时间的测距定位方法要求发射设备和接收设备的时间必须严格准确地同步,对发射设备和接收设备时钟精度要求非常高,并且要同步校准,发射设备和接收设备成本非常高。煤矿井下人员定位卡用量多达数千个,因此,TOA 基于传输时间的测距定位方法适用于煤矿井下人员精确定位,但系统成本高。

2.4 TDOA 基于时间差的测距定位方法

TDOA (Time Difference of Arrival) 测距定位方法是基于时间差的定位方法,主要有同类信号源 TDOA 基于时间差的定位方法(以下简称 TDOA 基于时间差的定位方法)和不同类信号源 TDOA 基于时间差的定位方法。

2.4.1 TDOA 基于时间差的测距定位方法

TDOA 基于时间差的测距定位方法,除人员定位卡 M 外,至少需要 2 个固定定位分站 A 和 B, A 和 B 两固定定位分站距离 L 已知。人员定位卡 M 发送信号,固定定位分站 A 和 B 接收信号,分别记录信号到达时刻 t_1 和 t_2 ,通过计算到达时间差,可计算出人员定位卡 M 与 A 和 B 两固定定位分站距离差 d ,进而计算出人员定位卡 M 与 A 和 B 两固定定位分站距离。TDOA 基于时间差的测距定位方法,也可由 A 和 B 两固定定位分站同时发送信号,人员定位卡 M 接收 A 和 B 两固定定位分站同时发送的信号,分别记录 A 和 B 两固定定位分站发送信号的到达时刻 t_1 和 t_2 ,通过计算到达时间差,可计算出被定位动目标 M 与 A 和 B 两固定定位分站距离差 d ,进而计算出人员定位卡 M 与 A 和 B 两固定定位分站距离。设信号传播速度为 c ,人员定位卡 M 与 A 和 B 两固定定位分站距离差 d 为

$$d=c(t_1-t_2) \quad (3)$$

TDOA 基于时间差的测距定位方法,定位精度与信号传输时间有关,与信号强度无关(但要保证信号被准确接收)。因此,巷道和支护、巷道中导体和设备等造成的信号传输衰减,不影响定位精度。

TDOA 基于时间差的测距定位方法,可用于非

视距传输,通过抗多径效应等处理技术,可以减小或解决巷道弯曲、分支和倾斜,胶轮车、电机车、带式输送机、移动变电站等设备和作业人员等阻挡物,对定位精度的影响。

TDOA 基于时间差的测距定位方法,不需要固定定位分站与人员定位卡 M 时钟同步,降低了人员定位卡 M 设备成本。但该方法需要固定定位分站时钟严格同步,晶振偏移小,系统复杂,成本高。煤矿井下固定定位分站一般间距 400 m,覆盖整个矿井约需百台,安装数量较少。人员定位卡 M 使用数量达数千个。煤矿井下固定定位分站安装数量远小于人员定位卡 M 使用数量。因此,TDOA 基于时间差的测距定位方法,适用于煤矿井下人员精确定位系统。TDOA 煤矿井下人员精确定位系统整体成本远低于 TOA 煤矿井下人员精确定位系统。

2.4.2 不同类信号源 TDOA 基于时间差的测距定位方法

不同类信号源 TDOA 基于时间差的测距定位方法,通过同一发射设备同时发射电磁波和超声波实现测距,具体过程如下:

1) 信号发射设备同时发送带相同信息的电磁波信号和超声波信号。

2) 接收设备先接收到电磁波信号后,记录信号到达时间 t_c 。

3) 接收设备接收到超声波信号后,记录信号到达时间 t_s 。

由于电磁波传播速度远大于超声波传播速度,因此,可以忽略电磁波传播时间,信号发送设备发射的超声波到达信号接收设备的时间可近似为 (t_s-t_c) 。设超声波传播速度为 s ,发送设备与接收设备之间的距离 d 表示如下:

$$d \approx s(t_s-t_c) \quad (4)$$

不同类信号源 TDOA 测距定位方法,不需要信号发送设备与接收设备时钟同步,也不需要定位分站之间信号时钟同步,但需要信号接收设备精准计时。不同类信号源 TDOA 测距定位方法,使用了电磁波和超声波两套不同的传输方式,增加了设备的复杂度和成本,特别是超声波传输距离有限,因此,不适用于煤矿井人员定位。

3 结 语

煤矿井下人员定位具有覆盖范围远大于地面室内;定位信号应能非视距传输;电磁波衰减严重;无

线传输衰减受巷道和支护、巷道中导体和设备等影响大;必须电气防爆;环境恶劣,粉尘大、潮湿、淋水等特点。因此,无线电传输适用于煤矿井下人员定位;超声波、激光、红外传输不适用于煤矿井下人员定位。RSSI定位方法、AOA定位方法、不同类信号源TDOA定位方法不适用于煤矿井下人员精确定位;TOA定位方法和TDOA定位方法适用于煤矿井下人员精确定位,TDOA定位方法较TOA定位方法系统成本低。

参考文献(References):

- [1] 国家煤矿安全监察局.2017年全国煤矿事故分析报告[R].北京:国家煤矿安全监察局,2017.
- [2] 孙继平.煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J].工矿自动化,2015,41(2):1-5.
SUN Jiping.Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring[J].Industry and Mine Automation,2015,41(2):1-5.
- [3] AQ 1048—2007,煤矿井下作业人员管理系统使用与管理规范[S].
- [4] AQ 6210—2007,煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件[S].
- [5] 孙继平.煤矿井下人员位置监测技术与系统[J].煤炭科学技术,2010,38(11):1-5.
SUN Jiping.Personnel position monitoring technology and system in under ground mine[J].Coal Science and Technology,2010,38(11):1-5.
- [6] 蒋恩松.矿井人扩频测距定位方法研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2017.
- [7] 刘毅.基于三向加速度数据的井下移动通信设备定位[J].工矿自动化,2016,42(4):70-73.
LIU Yi.A method for locating the mobile phone in coal mine based on three direction acceleration data[J].Industry and Mine Automation,2016,42(4):70-73.
- [8] LIU Yi.Study of a channel assignment model at underground strap cell communication system[C].2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Chongqing, China,2012.
- [9] 吴绍春,陈亮.基于RSSI的矿山井下人员定位方法研究[J].计算机应用与软件,2015,32(10):116-119.
WU Shaochun, CHEN Liang.Research on localisation method for underground mine personnel based on RSSI[J].Computer Applications and Software,2015,32(10):116-119.
- [10] 刘世森,汤朝明,吴畏.无线传感器网络中的TOA测距方法研究[J].工矿自动化,2012,37(3):31-34.
LIU Shisen,TANG Chaoming,WU Wei.Research of TOA ranging method in wireless sensor network[J].Industry and Mine Automation,2012,37(3):31-34.
- [11] 吴畏,刘世森.基于TOA技术的煤矿井下精确人员定位系统研究[J].中国煤炭,2012,38(4):65-67.
WU Wei, LIU Shisen.Accurate person positioning system for coal mine based on TOA technique[J].China Coal,2012,38(4):65-67.
- [12] 孙继平,蒋恩松.基于WiFi信号二次扩频的矿井TOA测距方法[J].工矿自动化,2017,43(10):53-58.
SUN Jiping,JIANG Ensong.Mine TOA ranging method based on re-spread spectrum to WiFi signal[J].Industry and Mine Automation,2017,43(10):53-58.
- [13] 李晨鑫.矿井人员精确定位及唯一性检测关键技术研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.
- [14] 肖竹,王勇超,田斌,等.超宽带定位研究与应用[J].电子学报,2011,39(1):133-141.
XIAO Zhu,WANG Yongchao,TIAN Bin,et al.Development and prospect of ultra-wideband localization research and application[J].ACTA Electronica Sinica,2011,39(1):133-141.
- [15] 孙继平,李晨鑫.基WiFi和计时误差抑制的TOA煤矿井下目标定位方法[J].煤炭学报,2014,39(1):192-197.
SUN Jiping,LI Chenxin.TOA underground coal mine target positioning method based on WiFi and timing error suppression[J].Journal of China Coal Society,2014,39(1):192-197.