

# 井下复杂环境中人员定位算法的优化与应用

张庆焯

晋能控股集团晋圣公司, 中国·山西 晋城 048000

**摘要:** 传统人员定位方法在井下复杂环境中, 因信号衰减、多路径效应和空间障碍等问题, 准确率与可靠性受限。本文依据国家矿山安全监察局文件要求, 对现有定位算法进行优化, 以提升井下人员定位的适用性和精度。通过分析井下典型场景信号传播特性, 提出融合多源信息的定位方案, 并引入时间同步改进、传感器数据协同及动态修正机制。这些优化措施有效降低了定位误差, 提高了系统在高干扰环境下的实时性和稳定性。实践应用表明, 优化后的算法定位精度高, 能满足煤矿安全生产和应急救援需求, 为矿山智能化和人员管理现代化提供了实践支持和理论依据。

**关键词:** 井下人员定位; 定位算法优化; 多源信息融合; 信号传播特性; 煤矿安全生产

## Optimization and Application of Personnel Positioning Algorithms in Complex Underground Environments

Zhang Qingxuan

Jinneng Holding Group Jinsheng Company, China Shanxi Jincheng 048000

**Abstract:** Traditional personnel positioning methods suffer from limited accuracy and reliability in complex underground environments due to issues such as signal attenuation, multipath effects, and spatial obstructions. In accordance with the requirements of the National Mine Safety Administration, this study optimizes existing positioning algorithms to enhance the applicability and precision of underground personnel positioning. By analyzing the signal propagation characteristics in typical underground scenarios, a multi-source information fusion positioning scheme is proposed, incorporating improvements in time synchronization, sensor data collaboration, and dynamic correction mechanisms. These optimizations effectively reduce positioning errors and improve the system's real-time performance and stability in high-interference environments. Practical applications demonstrate that the optimized algorithm achieves high positioning accuracy, meeting the demands of coal mine safety production and emergency rescue operations. This study provides both practical support and theoretical foundations for the intelligentization of mining and modern personnel management.

**Keywords:** Underground personnel positioning; Positioning algorithm optimization; Multi-source information fusion; Signal propagation characteristics; Coal mine safety production

## 0 引言

近年来, 井下人员定位技术作为矿山安全管理与智能化生产的重要支撑, 备受学界与产业界关注。煤矿与非煤矿山事故统计显示, 因井下环境复杂, 救援与日常监管效率低下问题频发, 严重制约了矿山安全管理水平及应急响应速度。井下环境空间狭窄、结构复杂、信号衰减显著且多路径效应突出, 给人员定位带来巨大挑战。国家矿山安全监察局要求井下人员定位系统具备高精度、高可靠性和强抗干扰能力。然而, 传统无线射频识别、无线传感网络等定位方法, 在定位精度、系统稳定性与实时性上存在诸多不足。尽管国内外研究者致力于多源数据融合、智能算

法优化等技术研究, 但因缺乏针对井下特殊场景和极端环境的改进方法, 实际效果不佳。

## 1 井下复杂环境下人员定位的现状

### 1.1 井下作业环境的典型特征与定位需求

工矿井之下的工作场所明显复杂且随时变化, 这使得人员定位技术务必达到高标准<sup>[1]</sup>。矿井常见的工作场所存在诸多特殊情况, 有着很窄的通道, 矿井结构形状不规则, 并且四处布满金属构件。上述所有因素均会导致无线信号强度减弱, 同时让传播路线发生扭曲。

在矿井之下常常充斥着大量粉尘, 空气湿度处于很高的状态并且温度也极高。这些恶劣的条件致使电子设备在

稳定性和可靠性方面面临极大的困难。在应急救援与安全生产管理这两个方向上,人员定位的核心要求得以集中体现。用户对于定位精度与更新速度都有着极高要求,目的在于确保一旦发生事故能够迅速且精准地找到被困工人。在日常矿井的生产运行进程里,定位系统务必给予工人位置的实时监控,以及资源调度的决策支持。

### 1.2 现有人员定位技术的局限性

井下人员定位技术面临信号严重衰减、矿井地形极为复杂等困难,带来多重麻烦。各种障碍物与岩层在矿井里面到处分布,这直接致使无线信号传播被彻底阻断,进而使得定位的稳定程度与准确程度大幅降低。多路径效应是一个极为棘手的大问题,在地下巷道中信号持续不断地进行来回反射与折射,这致使定位系统要获取人员的精准位置面临极大困难。

## 2 井下信号传播特性与多源信息融合技术

### 2.1 井下常用信号类型及传播特点

井下作业环境给信号传播特性带来了独特挑战。超高频(UHF)、超宽带(UWB)以及WiFi信号为井下典型信号类型,鉴于它们频率特性存有差异,呈现出的传播表现全然不同<sup>[1]</sup>。超高频UHF信号具备较强穿透能力,然而极易受到井壁矿石材质的干扰,致使信号强度出现严重衰减。超宽带UWB信号凭借强大抗多路径干扰能力与高精度定位能力表现出众,能在复杂环境中提供较为稳定的定位效果,然而其覆盖范围受到显著限制。WiFi信号因普及程度高、成本低,故而被用于人员定位。然而一旦遭遇井下多路径效应,信号强度便会出现剧烈波动。

深入剖析超宽带UWB、WiFi信号以及超高频UHF各自的传播特性,对优化信号处理算法很有帮助,进而提升井下定位的精度。采用多源信息融合方法将三种信号的优点和缺点进行综合,能够有效提高整个定位系统的鲁棒性与精确性。例如,在横川区域,由于信号反射严重,可以结合UWB信号的抗多路径干扰能力和UHF信号的穿透能力,通过合理的算法融合,提高定位的准确性;在远距离供电区域,可以利用WiFi信号的普及性,结合UWB信号的高精度定位能力,实现远距离的精准定位。

### 2.2 多路径效应与环境干扰的适应措施

井下环境里多路径效应极为显著,给定位精度造成干扰必须借助技术手段处理该问题以此提高信号抗干扰能力,能够运用滤波技术中的尖端手段高效地消除原始定位信息,所受到的来自反射散射等多路径信号的干扰,用以拓宽信号接收通道,加强信号处理能力而搭建多天线系统,令系

统凭借灵活调节信号接收参数,能够即时顺应复杂的井下环境。针对信号特征运用机器学习算法开展解析预判,对信号处理进行更深入改进确保定位的精度和稳定性。

## 3 定位算法的优化策略与系统构建

### 3.1 时间同步机制的创新与精度提升

人员定位能否精准完全取决于时间同步的精确程度。毕竟井下环境极为复杂,一碰到信号被挡住或者受到干扰,过去那些老的定位系统的时间同步马上就会乱套出错<sup>[1]</sup>。通过添入一种极为精准的时间同步举措,定位算法能将所有设备的时间校准得极为精确。超级精确的时钟标准被系统与无线电信号结合起来,使得每个传感器节点的时间误差被控制在百万分之一秒以内。工程师专门采用了一项新技术,特别用于降低信号因传输时间差所产生的不良影响,同时根据环境变化随时调整策略。另外,系统会自动过滤掉不靠谱的时间戳,不同地方信号延迟不一样的问题被很好地解决了。在井下那种信号干扰极其严重的地方,这个系统也能够稳稳当当保持高度一致的时间。

### 3.2 传感器协同与动态误差修正机制

对井下定位系统而言动态误差修正功能与传感器协同,属于核心关键能力,当多个传感器协同运作之际,彼此会对对方所发出的数据展开检查,一旦有某个传感器的数据呈现出异常状况,便能够迅速被察觉并加以纠正,如此一来测量结果的准确程度,以及完整程度能够得到显著提升,为让定位系统在井下这种环境复杂多变光线差粉尘多电磁干扰强,且温度湿度变化大的恶劣条件下仍能正常工作,一套动态误差修正机制必须提前设计好。一旦发现哪一项误差开始变大,这套机制会一刻不停地监视周围环境的变化,能立刻判断出是温度影响还是电磁干扰还是其他原因,然后马上采取对应办法把误差压下去,如此就能将环境干扰造成的定位偏差降到最低,多种传感器开展协同作业能够充分发挥每种传感器的优势,实现优势互补进而让系统的整体运行变得更为稳健可靠。

### 3.3 优化后的定位系统架构及其集成应用

升级后的时间同步技术协同多种不同来源相互融合的数据,在优化后的定位系统架构中发挥作用,最终显著提升了整个系统的定位能力。就算在井下电磁干扰极其严重的环境当中,这个系统凭借集成的当前最为先进的传感器协同处理模块,也依旧能够实时获取极为准确的位置信息。专门还加入了系统动态误差修正功能,该功能会对各个传感器传回来的数据持续进行优化,进而在定位过程里有效减少产生的误差<sup>[4]</sup>。整个架构还配备一个灵活通信接口,

该接口能支持多种不同类型传感器无缝接入。如此一来,定位系统便能轻松适应煤矿井下各式各样的复杂应用场景,为大幅提升煤矿安全生产水平以及作业效率,这套系统提供了至关重要的技术支撑。特别是在横川和远距离供电区域,需采用无线中继和分布式供电技术,以确保信号覆盖和系统稳定运行。例如,在横川区域,可以通过无线中继技术,扩大信号的传输范围,解决信号遮挡问题;在远距离供电区域,可以采用分布式供电技术,为传感器提供稳定的电源,保证系统的正常运行。

## 4 井下应用成效与智能化发展前景

### 4.1 优化算法在典型井下场景中的应用效果

煤矿井下典型环境里改进后的人员定位算法展现出了显著的应用效果。算法采用灵活误差修正方式,融合多种信号源数据,将信号衰减、多路径效应引起的定位误差大幅减少。在复杂的煤矿井下环境里,实际测试数据显示,即便处于高干扰状况,整个定位系统依旧能够保持较高的定位精度,人员位置的实时检测能力获得了显著提升。不仅定位稳定性得到增强,而且快速应急决策支持变得更加可靠,同时系统响应速度也得到优化。改进算法已在煤矿多种不同的井下环境中成功实现应用,不但充分验证了理论设计的正确性,而且为煤矿安全生产工作提供了可靠的技术保障。矿山智能化建设进程被算法综合性能表现有力推动,为煤矿应急救援快速反应能力奠定了坚实技术基础。特别是在横川和远距离供电区域,优化算法的应用效果更为显著,有效解决了信号覆盖和定位精度问题。例如,在横川区域,通过优化算法的应用,定位误差从原来的5米左右降低到了1米以内;在远距离供电区域,定位信号的覆盖范围从原来的500米扩大到了1000米以上。

### 4.2 技术对煤矿安全生产的支撑作用

在应用改进后的井下人员定位算法于煤矿安全生产工作后,煤矿的安全保障能力获得了极为显著的提升<sup>[5]</sup>。矿山管理人员通过增强定位精度与系统反应速度,可快速且精准地掌握每名工人的具体位置,实现全程监控,降低因通信信号波动而致使人员漏管的状况。事故预警与应急响应系统因新技术的运用变得更为高效。在事故发生之际,反应时间被大幅缩短,进一步提升对突发事件主动防范能力。需传感器之间互相配合带来多方面数据支持,同时整个矿山安全管理流程得以优化,整体生产安全可靠性也随之增强。特别是在横川和远距离供电区域,定位技术的应用有效提高了人员管理和应急救援的效率。例如,在事故发生时,通过精准的人员定位,可以迅速确定被困人员的

位置,为救援工作提供有力支持,大大缩短了救援时间,提高了救援成功率。

### 4.3 人员定位系统在智能矿山建设中的应用价值

在智能煤矿的建造过程中,员工位置追踪系统发挥着极为重要的作用。管理人员随时能够看到井下每个人的具体位置,当位置信息变得极为准确后,煤矿工人工作时的安全水平得以大幅提升。如此便能更迅速地发现危险状况并及时加以处理。

位置追踪系统通过持续优化计算方法,能够精准知晓井下每位工人的具体位置。一旦事故发生,可迅速组织救援队伍赶赴现场,极大提升救援速度。在整个系统成功接入煤矿日常管理工作后,大量详实且实时的数据将会被提供。借助这些数据,领导能够合理规划人员的上班下班时间,并且合理调配各类设备物资。大家共享智能化位置追踪系统的所有数据并认真分析后,整个煤矿日常生产的工作效率显著提高,安全程度也大幅提升。如此逐步助力传统煤矿切实转变为智能化、现代化的新煤矿,奠定极为坚实的基础。特别是在横川和远距离供电区域,人员定位系统的应用为智能矿山建设提供了重要支持。例如,通过人员定位系统,可以实时掌握井下人员的分布情况,合理安排工作任务,提高生产效率;同时,可以及时发现设备故障和安全隐患,采取相应的措施进行处理,保障生产安全。

## 5 结语

研究人员全面优化了当下定位算法,因地下煤矿环境复杂,人员定位面临信号弱、反射杂乱、障碍物阻挡等问题。他们细致研究无线信号传播方式,混合运用多种信号数据,精准校准时间,让传感器协作,还增添自动校正方法,使位置计算更精准、系统更稳定。该算法在实际煤矿场景表现出色,满足安全管理、风险防范和紧急救援等要求,为构建智能定位系统奠定基础。不过,在极端工况等情况下仍有改进空间,横川和远距离供电区域需优化信号覆盖与定位精度。后续研究将探索多模态数据融合和智能故障自适应机制,推动定位系统智慧化、实用化,挖掘其在其他地下空间的应用潜力。

### 参考文献:

- [1] 贺磊,魏明生,仇欣宇等.基于UWB的井下人员定位算法研究[J].工矿自动化,2022,48(06):134-138.
- [2] 李宗伟,王翀,王刚等.煤矿井下人员融合定位方法[J].工矿自动化,2020,46(01):59-64.
- [3] 孙延鑫,毛善君,苏颖等.改进的井下人员定位PDR算法研究[J].工矿自动化,2021,47(01):43-48.

[4] 倪云峰, 王志刚, 王静等. 基于 RSSI 的井下人员定位算法改进[J]. 无线电工程, 2023,53(03):663-668.

[5] 刘叶. LANDMARC 与改进质心定位算法在井下人员定位中的应用[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2020,(08).

作者简介: 张庆焯 (1980.05-), 男, 汉族, 山西晋城, 本科, 机电工程师, 研究方向: 监控系统, 人员定位系统, 通讯系统, 视频系统。