

文章编号:1671-251X(2021)11-0131-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17859

煤矿井下粉尘浓度对 UWB 测距精度的影响研究

丁震¹, 张雨晨²

(1. 国家能源集团 煤炭运输部, 北京 100013;
2. 中国矿业大学(北京) 机电与信息工程学院, 北京 100083)



扫码移动阅读

摘要:煤矿井下综掘工作面环境恶劣,粉尘浓度大,利用超宽带(UWB)进行定位时易受到粉尘的干扰,UWB 测距会存在一定误差,从而定位精度不能达到煤矿智能化需求。针对该问题,分析了 UWB 测距原理,指出影响 UWB 测距精度的主要因素是多径效应与非视距传播,而多径效应与非视距传播的产生与粉尘浓度密切相关,通过实验探讨了煤矿井下粉尘浓度对 UWB 测距精度的影响。实验结果表明,随着粉尘浓度增加,UWB 测距误差增大,且 UWB 测距误差增速加快。

关键词:超宽带; UWB 测距; 粉尘浓度; 非视距传播; 多径效应; 测距精度
中图分类号:TD655 文献标志码:A

Research on the influence of coal mine dust concentration on UWB ranging precision
DING Zhen¹, ZHANG Yuchen²
(1. Coal Transportation Department, CHN Energy, Beijing 100013, China;
2. School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract:The environment of the fully mechanized working face in coal mines is harsh and the dust concentration is high. When ultra wide band (UWB) is used for positioning, it is easy to be interfered by dust. UWB ranging will have certain errors, so the positioning precision cannot meet the requirements of intelligent coal mines. To order to solve this problem, the principle of UWB ranging is analyzed, and it is pointed out that the main factors affecting the precision of UWB ranging are multipath effect and non-line-of-sight propagation. The generation of multipath effect and non-line-of-sight propagation is closely related to dust concentration, and the influence of dust concentration on the precision of UWB ranging in coal mines is explored through experiments. The experimental results show that the UWB ranging error increases as the dust concentration increases, and the growth rate of UWB ranging error accelerates.

Key words:ultra wide band; UWB ranging; dust concentration; non-line-of-sight propagation; multipath effect; ranging precision

0 引言

随着智能化开采理论与设备不断发展,综采工作面已经向着少人化甚至无人化开采的目标迈进。相比于综采工作面智能化程度,综掘工作面智能化

程度较低,掘进机、锚杆钻机等掘进设备操控仍需大量人工辅助作业^[1-2]。综掘工作面智能化与综采工作面智能化的脱节导致我国煤矿开采智能化水平不高。因此,提高综掘工作面智能化水平显得尤为重要。

收稿日期:2021-10-22;修回日期:2021-11-15;责任编辑:盛男。
基金项目:国家自然科学基金项目(52104169)。
作者简介:丁震(1980—),男,山西万荣人,高级工程师,主要从事煤矿机电技术、煤矿智能化、露天卡车无人驾驶方面的研究及管理工作, E-mail:zhen.ding@chnenergy.com.cn。
引用格式:丁震,张雨晨.煤矿井下粉尘浓度对 UWB 测距精度的影响研究[J].工矿自动化,2021,47(11):131-134.
DING Zhen,ZHANG Yuchen.Research on the influence of coal mine dust concentration on UWB ranging precision[J].Industry and Mine Automation,2021,47(11):131-134.

提高综掘工作面智能化水平的首要任务是解决综掘工作面设备精准定位问题^[3],从而可实现综掘作业远程操控、自主操控。全球卫星定位系统可对室外物体进行高精度定位,然而煤矿井下空间狭小且设备遮蔽造成信号大幅度衰减,利用卫星定位存在困难^[4]。煤矿井下设备定位不需要知道精确的经纬度坐标,只需要特定坐标的相对位置即可。因此煤矿井下多采用布置基站方式解决空间相对定位,再融合绝对空间信息,最终实现精准定位。超宽带(Ultra Wide Band, UWB)定位技术是基站定位方式的一种,其具有穿透力强、功耗低、安全性高、复杂度低、定位精度高等优点,已被应用于煤矿井下巷道静止或移动物体及人员的定位。郭安斌等^[5]提出了一种基于 UWB 技术的矿山电铲定位算法,并选用到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)算法构建矿山电铲定位模型,定位误差在 1 m 以内。申伟光^[6]设计了井下无线定位系统总体结构,给出了定位基站的硬件选择,采用 UWB 技术实现定位基站之间的无线通信。牛卫国^[7]针对煤矿胶轮车运输效率偏低的问题,提出了利用 UWB 技术解决煤矿胶轮车位置精准跟踪、信号精准控制、到站精准提醒的需求。然而综掘工作面环境恶劣,粉尘浓度大, UWB 信号实质是电磁波,其传播途中易受粉尘干扰, UWB 测距会存在一定误差,从而定位精度不能达到煤矿智能化需求。因此,本文通过实验研究煤矿井下粉尘浓度对 UWB 测距精度的影响。

1 UWB 测距原理与测距精度影响因素

UWB 技术不需要使用传统通信体制中的载波,而是通过发送和接收一种具有纳秒或纳秒级以下的极窄脉冲来传输数据,从而具有吉赫兹量级的带宽^[8-10],实质上是以很高的射频频率来达到高带宽。UWB 测距是通过计算传输数据在空中飞行的时间乘以光速得出数据飞行距离,从而测得两节点间的距离。

在复杂的煤矿井下局域环境中,多径效应与非视距传播是造成 UWB 测距误差增大的最主要原因^[11-12]。多径效应是指电磁波经不同路径传播后,各分量场到达接收端时间不同,按各自相位相互叠加而造成干扰,使得原来的信号失真,或者产生错误^[13]。例如电磁波沿不同的 2 条路径传播,而 2 条路径的长度正好相差半个波长,那么 2 路信号到达终点时正好相互抵消(波峰与波谷重合),此时就不能计算出电磁波收发端的距离^[14-15]。非视距传播主要是指电磁波在传播过程中受到障碍物(如粉尘颗粒)阻挡,发生衍射、折射、反射(图 1),导致电磁

波不能沿直线传播,或者造成电磁波传播失败。多径效应与非视距传播的产生与环境有着密切的关系,一般情况下,环境中粉尘浓度越大,电磁波传播越受阻,测距误差越大。

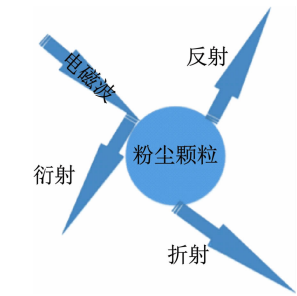


图 1 粉尘影响下的电磁波传播
Fig. 1 Electromagnetic wave propagation under the influence of dust

2 实验结果与分析

为探究粉尘浓度对 UWB 测距精度的影响,在高 5 m、宽 5.5 m 的密闭工棚中模拟煤矿井下局域空间进行实验,如图 2 所示。



图 2 实验环境
Fig. 2 Experimental environment

实验选用的 UWB 基站为 PulsOn 440 模块(简称 P440 模块),如图 3 所示。P440 模块是一种波段在 3.1~4.8 GHz 之间的 UWB 无线收发器,同时也是相干无线收发器,即每一个发射脉冲的能量可以相加来增加接收信号的信噪比。P440 模块的静态定位误差相对较小,为 2~10 mm。



图 3 P440 模块
Fig. 3 P440 module

实验需要 2 个 P440 模块:一个模块与电脑端连接,实时测量与另一个模块之间的距离,并将测得的

数据呈现在电脑端;另一个模块只需通上电源,接收或发送电磁波。由于2个模块之间的电磁波传播会实时发生变化,所以测距值会在一个极小的范围内发生波动,导致读取测距值困难。因此,本文将在特定粉尘浓度下随机测得10个距离值,之后对其求平均值。

人工利用标尺测量出2个P440模块之间的距离为5 000 mm。之后在实验室环境下(粉尘浓度为 $5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)测量2个模块之间的平均距离为5 004 mm,将4 mm作为实验的固有误差。利用电子天平准确称量一定量的粉尘,将其用大功率鼓风机吹撒在实验环境中。

在不同粉尘浓度下对2个P440模块进行测距,结果见表1,测距误差如图4所示。可看出随着粉尘浓度增加,UWB测距误差增大,且UWB测距误差增速加快。

表1 不同粉尘浓度下UWB测距值
Table 1 UWB ranging values under different dust concentrations

粉尘浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	测距值/ mm	粉尘浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	测距值/ mm
5	5 004.0	2 407	5 009.4
208	5 004.2	2 624	5 010.2
415	5 004.4	2 809	5 010.9
620	5 004.7	3 008	5 011.7
815	5 005.1	3 211	5 012.6
1 006	5 005.6	3 623	5 013.5
1 225	5 006.1	3 887	5 014.8
1 416	5 006.6	4 207	5 015.8
1 627	5 007.2	4 436	5 016.9
1 804	5 007.9	4 681	5 018.4
2 006	5 008.4	4 819	5 019.7
2 217	5 008.8	5 028	5 020.9

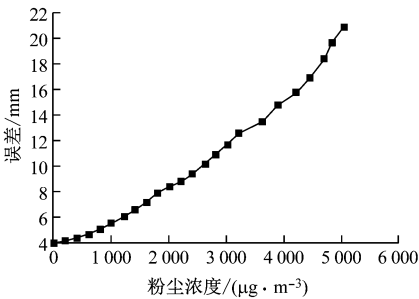


图4 不同粉尘浓度下UWB测距误差
Fig. 4 UWB ranging errors under different dust concentrations

3 结语

基于UWB测距原理,分析并指出电磁波在传

播过程中易受到多径效应与非视距传播的影响,而多径效应及非视距传播的产生与粉尘浓度紧密相关,通过实验探讨了粉尘浓度对UWB测距精度的影响。实验结果表明,粉尘浓度越大,UWB测距误差越大,且UWB测距误差增速越快。

参考文献(References):

[1] 王国法,刘峰,庞义辉,等.煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J].煤炭学报,2019,44(2):349-357.
WANG Guofa, LIU Feng, PANG Yihui, et al. Coal mine intellectualization: the core technology of high quality development [J]. Journal of China Coal Society,2019,44(2):349-357.

[2] 张科学.综掘工作面智能化开采技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(7):106-111.
ZHANG Kexue. Study on intelligent mining technology of fully-mechanized heading face[J]. Coal Science and Technology,2017,45(7):106-111.

[3] 王震,郭建.改进TDOA算法的UWB室内定位系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2017,17(5):34-37.
WANG Zhen, GUO Jian. UWB indoor positioning system based on improved TDOA algorithm [J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2017,17(5):34-37.

[4] 仰胜,胡志刚,赵齐乐,等.基于TOF模式的UWB定位原理与精度验证[J].大地测量与地球动力学,2020,40(3):247-251.
YANG Sheng, HU Zhigang, ZHAO Qile, et al. Principle and precision verification of UWB positioning based on TOF[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2020,40(3):247-251.

[5] 郭安斌,苏红俊,闫孝姮.基于UWB技术的矿山电铲定位算法研究[J].工矿自动化,2020,46(12):95-100.
GUO Anbin, SU Hongjun, YAN Xiaoheng. Research on positioning algorithm of electric mine shovel based on UWB technology [J]. Industry and Mine Automation,2020,46(12):95-100.

[6] 申伟光.基于UWB技术的煤矿井下无线定位系统[J].煤矿安全,2018,49(10):131-134.
SHEN Weiguang. Underground wireless location system based on UWB technology[J]. Safety in Coal Mines,2018,49(10):131-134.

[7] 牛卫国.基于UWB的煤矿胶轮车智能运输管理系统的开发实践[J].机械研究与应用,2020,33(1):151-154.
NIU Weiguo. Application practice of intelligent transportation of coal mine rubber wheel vehicle based

on UWB[J]. Mechanical Research & Application, 2020,33(1):151-154.

[8] 杨军华,李勇,程伟. 基于最邻近相关系数的指纹室内定位新算法[J]. 西北工业大学学报, 2017, 35(4): 676-682.

YANG Junhua, LI Yong, CHENG Wei. A novel algorithm for fingerprinting indoor localization based on k-correlation coefficient [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2017, 35(4): 676-682.

[9] 谢芝玉,刘雄飞,胡志坤. 基于 Taylor 展开的 UWB 井下定位算法研究与实现[J]. 计算机工程与应用, 2017,53(2):231-235.

XIE Zhiyu, LIU Xiongfei, HU Zhikun. Research and design of underground coal mine positioning method based on Taylor algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(2): 231-235.

[10] 王磊,李鹏涛,贾宗璞. 基于全质心-Taylor 的 UWB 室内定位算法[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(6): 146-149.

WANG Lei, LI Pengtao, JIA Zongpu. UWB indoor localization algorithm based on full centroid and Taylor [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017, 36(6): 146-149.

[11] 周奇,康宜华,武新军,等. 直流线圈励磁的有限元分析计算[J]. 无损检测, 2006, 28(12): 630-632.

ZHOU Qi, KANG Yihua, WU Xinjun, et al. Finite element method analysis and calculation of coil magnetization [J]. Nondestructive Testing, 2006, 28(12): 630-632.

[12] 任斌,徐会彬. 基于总体最小二乘的泰勒级数展开的 TOA 的 UWB 定位方法[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(21): 6129-6133.

REN Bin, XU Huibin. A Taylor series expansion TOA based on total least square in UWB[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13 (21): 6129-6133.

[13] 谢亚琴,张业荣. 基于信号到达时间的 UWB 定位算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2007, 27(3): 71-75.

XIE Yaqin, ZHANG Yerong. TOA based UWB location algorithms[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science), 2007, 27(3): 71-75.

[14] 王磊,张洪顺,柏熙. 超宽带定位技术及应用[J]. 通信对抗, 2007(3): 33-36.

WANG Lei, ZHANG Hongshun, BAI Xi. UWB positioning technology and it's application [J]. Communication Countermeasures, 2007(3): 33-36.

[15] 霍振龙. 矿井定位技术现状和发展趋势[J]. 工矿自动化, 2018, 44(2): 51-55.

HUO Zhenlong. Status and development trend of mine positioning technology[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 51-55.