

文章编号:1671-251X(2024)S2-0127-05

露天矿 5G 通信抗干扰技术及信道均衡算法研究

遇宇

(国能准能集团有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 010300)

摘要:针对露天矿 5G 通信抗干扰技术及信道均衡算法进行了探讨。通过改进模糊评价方法分析矿坑变化对 5G 通信的影响,并结合 MIMO-OFDM 系统与小波变换改进 LMS 算法,提升信道均衡能力。实验结果表明,该算法能有效降低误码率,提高收敛速度,确保信息数据的完整性,对露天矿智能化发展具有重要意义。

关键词:露天矿; 5G 通信; 信道均衡; MIMO-OFDM 系统; 小波变换; LMS 算法

中图分类号:TD655.3 文献标志码:A

Research on 5G communication anti-interference technology and channel equalization algorithm for open-pit mines

YU Yu

(CHN Energy Zhunneng Group Co., Ltd., Erdos 010300, China)

0 引言

5G 技术能够有效提升露天矿开采中信息传输的时效性,更完整地传递露天矿矿坑情况和开采进度^[1-3]。但由于露天矿开采环境较为恶劣且地处偏远,大部分露天矿都会出现 5G 信息受干扰的情况^[4]。因此,学者们针对露天矿 5G 通信抗干扰技术进行了研究,也有研究提出 5G 通信信道均衡算法^[5]。宋一川等^[6]提出了一种改进差分进化算法,通过动态参数调整机制提升算法的收敛精度,确保信道均衡。Bi Meihua 等^[7]提出了一种低开销的信道均衡算法,能够在降低传输损伤基础上提升算法鲁棒性。

由于不同区域的露天矿所处环境不同,开采要求存在差异,导致不同区域的矿坑变化对露天矿 5G 技术的干扰不同^[8]。为了有效避免矿坑变化带来的 5G 信号干扰,研究了一种改进型的 LMMSE 信道估计算法,采用基于小波变换改进的信道均衡算法对露天矿中受到矿坑变化影响的 5G 通信进行优化,提升其抗干扰能力。

1 露天矿 5G 通信抗干扰技术

1.1 露天矿 5G 信号影响因素

在露天矿生产过程中,煤矿开采导致矿坑地形

不断发生变化,导致露天矿通信受阻,内外通信出现杂音^[9-11],从而产生极大安全隐患^[11-12]。

由于信号干扰因素存在多样性,为了达到数据定量分析要求,引入三角模糊函数对影响因素进行定量分析^[13-14]。为了量化每个因素的具体数值,采用重心法来进行计算。重心法是一种受仿生学启发的优化算法,有全局搜索能力强、适应度灵活等特点^[15]。应用三角模糊函数来对影响因素进行定量评价时存在精确度较低的现象,为此本文结合最大期望值和高斯混合模型对评价结果进行优化和标准化。最后通过模糊评价及因素评价的计算方式获取露天矿矿坑变化中影响 5G 通信的相关因素,得到评价指标,见表 1。

表 1 露天矿 5G 信号影响因素

一级指标		二级指标	
指标名称	影响程度 评价值	指标名称	影响程度 评价值
电磁影响	0.323	静电感应	0.175
		电磁感应	0.148
矿坑 作业变化	0.677	爆破冲击波	0.202
		机械设备作业	0.264
		地表沉降	0.211
材料影响	0.482	矿石衰减	0.193
		岩石吸收	0.187

表 1 中,评价值越大,说明影响程度越大。可看

收稿日期:2024-10-25;责任编辑:胡娟。

作者简介:遇宇(1991—),男,辽宁沈阳人,工程师,研究方向为信息化业务管理、深度学习与机器学习,E-mail:510361987@qq.com。

出,影响 5G 通信的主要因素是矿坑作业变化,其评价价值最大,为 0.677。矿坑作业变化因素中以机械设备作业的影响最为显著,究其原因,可能是机械设备作业时会导致矿坑地形不断发生变化,从而致使 5G 信号传播中出现杂音^[16-17]。此外,机械设备的结构、金属外壳等可能会形成信号屏蔽区域,使得 5G 信号在设备附近区域受到干扰或无法到达^[18]。在矿坑作业变化因素中影响较小的是爆破冲击波^[19]。究其原因,可能是爆破产生的噪声干扰及对地形的破坏导致 5G 通信过程中出现极为显著的信号杂质^[20]。此外,爆破冲击波会产生冲击波和尘埃,这些物质可能会吸收或散射 5G 信号,导致信号衰减。

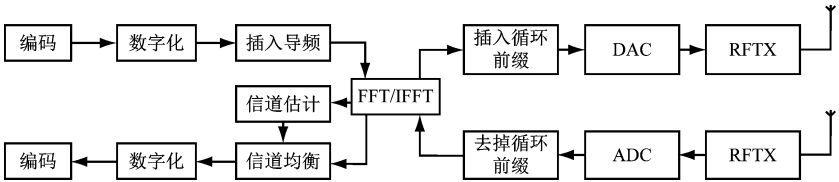


图 1 MIMO-OFDM 系统

利用 OFDM 将传输信号数字化,再插入导频,利用傅里叶变换将信号转换为时域信号,最后将其发射出去,进行信号分解,并对分解后的信号进行信道估计和均衡。信道估计是通信系统中的关键部分,其性能受导频个数的影响。为了更好地实现 MIMO-OFDM 系统的信道估计,首先需研究导频结构。选择合适的导频结构后,为了使信道估计更接近真实值,需要引入插值算法。本文采用线性内插算法,该算法能够通过一定的内在规律确定整个函数的变化规律,计算 2 个导频之间的估计值。在信道估计算法的选择上,本文在线性最小均方误差 (Linear Minimum Mean Square Error, LMMSE) 基础上引入加权算法,降低 LMMSE 算法的复杂度^[24]。

2 5G 通信中的信道均衡算法

5G 信号传输过程中受噪声等因素的影响,信道会产生较为显著的变化,需要对信道估计后得到的信号进行均衡处理^[25]。现有的信号均衡方式是采用均衡器,通过补偿信号幅度来降低干扰。均衡器有时域均衡和频域均衡 2 种。时域均衡能够借助自适应能力对信道进行均衡处理,但存在收敛速度慢的问题,因此,本文引入结合小波变换的自适应滤波算法进行改进。该算法能够对信号进行正交化处理,避免信号出现较高的相关性,从而提升收敛速度,其原理如图 2 所示。

1.2 5G 通信抗干扰技术

在露天矿施工中,矿坑中的多种因素会导致 5G 通信出现显著的噪声干扰。为了提升露天矿开采效率,提升其内外通信能力。研究了多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术^[21]。该技术是一种常用的 5G 通信抗干扰技术,能够显著提升通信容量,具有较为丰富的空间自由度。但是在应用过程中,该技术仍存在导频污染问题^[22]。为了解决该问题,引入正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术进行改进^[23]。利用 OFDM 保证信道的正交性,提升信道频率。MIMO-OFDM 系统如图 1 所示。

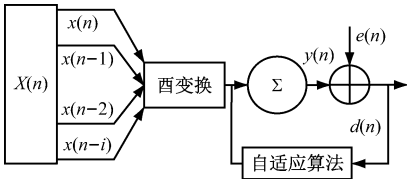


图 2 基于小波变换的自适应滤波算法

利用滤波器对信号进行正交化处理,然后对信号进行自适应滤波。小波变换的实质是利用傅里叶变换来提高均衡算法的性能,同时降低信号相关性,提升算法的收敛速度。但在信号均衡过程中仍然存在步长固定等问题,导致收敛速度和稳态误差之间存在矛盾。为此,本文在自适应滤波器框架基础上引入小波变换和可改步长的最小均分 (Least Mean Square, LMS) 算法,提出一种结合小波变换和 LMS 的信道均衡算法,如图 3 所示。该算法能够改变信号步长,从而得到更快的收敛和跟踪速度。

3 仿真分析

3.1 信道估计效果验证

以西藏巨龙铜矿露天采矿过程的信道数据为基础,构建测试数据集,将数据集的 20% 作为测试集,80% 作为训练集。利用训练集数据进行测试分析。针对 MIMO-OFDM 系统进行信道估计仿真,设置导频间隔为 2、4、8、16,多径个数为 3,得到不同间隔下的误码率,如图 4 所示。可看出,同一信噪比的基础上,随着信道导频间隔的增加,系统的误码率不断增加,当信道导频间隔为 2 时,误码率仅为

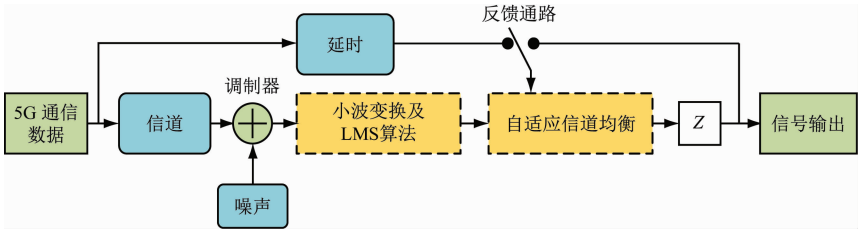


图 3 结合小波变换和 LMS 的信道均衡算法

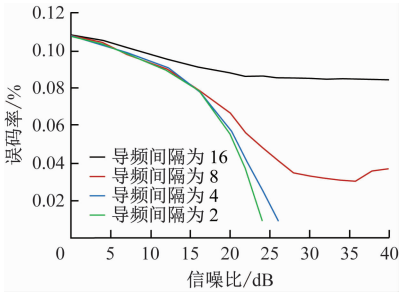


图 4 不同间隔下的误码率

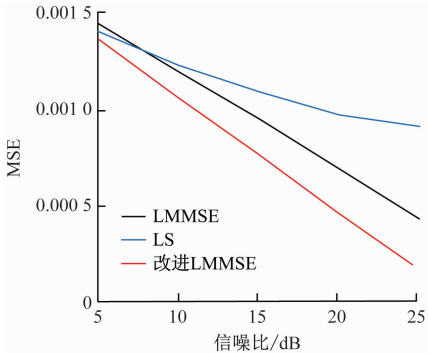
0.01。在同一信道导频间隔的基础上,随着信噪比的增加,各个导频间隔的误码率呈现逐渐降低的趋势,当导频间隔为 2 时,在信噪比为 24 dB 时误码率降低至最小值,为 0.01。

以导频间隔 2 为基础,比较基于加权算法的改进 LMMSE 算法与 LMMSE 算法、LS 算法之间的均方误差(MSE)及误码率,如图 5 所示。从图 5(a)可看出,改进 LMMSE 的均方误差下降显著,当信噪比达到 25 dB 时,其均方误差降低至 0.000 3。LMMSE 算法与 LS 算法最低均方误差出现在 25 dB 时,分别为 0.000 4 和 0.000 8。从图 5(b)可看出,在导频间隔为 2 的信道条件下,其误码率均呈现不断降低趋势,相较于 LMMSE 算法、LS 算法,改进 LMMSE 算法的误码率更低,在信噪比达到 20 dB 时,误码率降低至 0.002。从以上结果可看出,改进 LMMSE 算法效果更为显著,能够显著降低误码率。

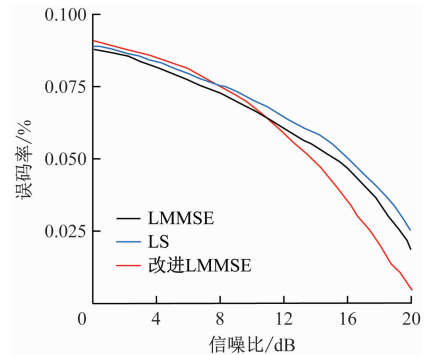
3.2 信道均衡效果验证

针对弱信道环境设置仿真环境,将信道噪声设置为加性高斯白噪声,采样次数和信噪比分别设置为 1 000,30 dB,得到不同算法的均方误差,如图 6 所示。LMS 均衡算法、小波变换算法和小波变换改进 LMS 算法的均方误差最小值分别为 0.031,0.029,0.017,小波变换改进 LMS 算法均方误差最小。

为了验证基于小波变换的自适应均衡算法的信号处理能力,对比分析了不同算法进行信号处理的收敛过程,如图 7 所示。比较 3 种不同算法的收敛速度可知,传统的 LMS 收敛速度最慢,小波变换的收敛过程波动不明显,且收敛速度显著低于传统 LMS 算法,小波变换改进 LMS 算法的收敛过程波



(a) MSE 比较



(b) 误码率比较

图 5 信道估计效果

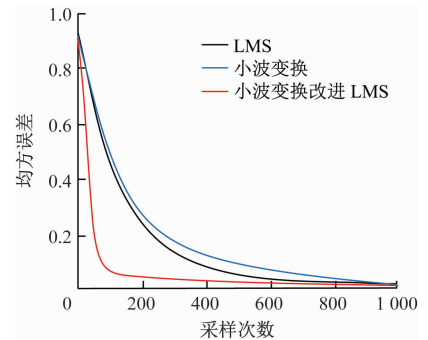


图 6 不同算法的均方误差

动较小波变换更少。因此,小波变换能够提升传统信道均衡算法的收敛速度,同时提升算法稳定性,减少波动。

不同算法下的信号稳态误差如图 8 所示。可看出,LMS 均衡算法处理下的信号质量较差。相较于 LMS 算法,小波变换算法得到的信号稳态误差较小,信号质量得到提升。相较于 LMS 算法和小波变换算法,小波变换改进 LMS 算法能够更为有效降低稳态误差,更有效实现信号均衡。比较 3 种算

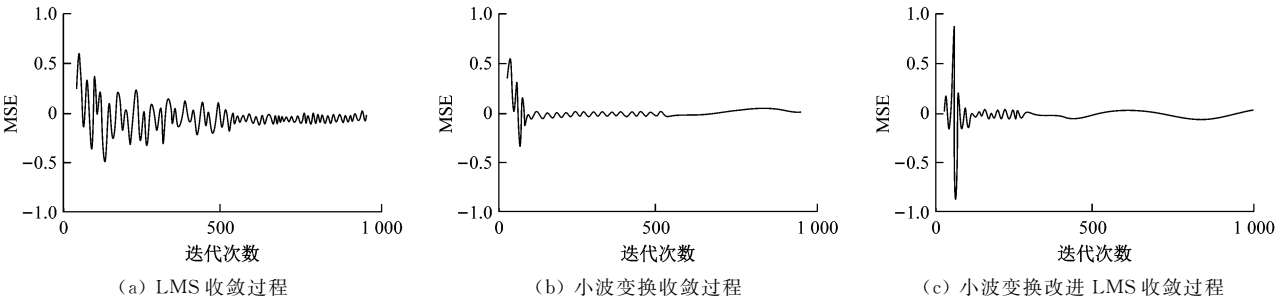


图 7 不同算法的收敛速度

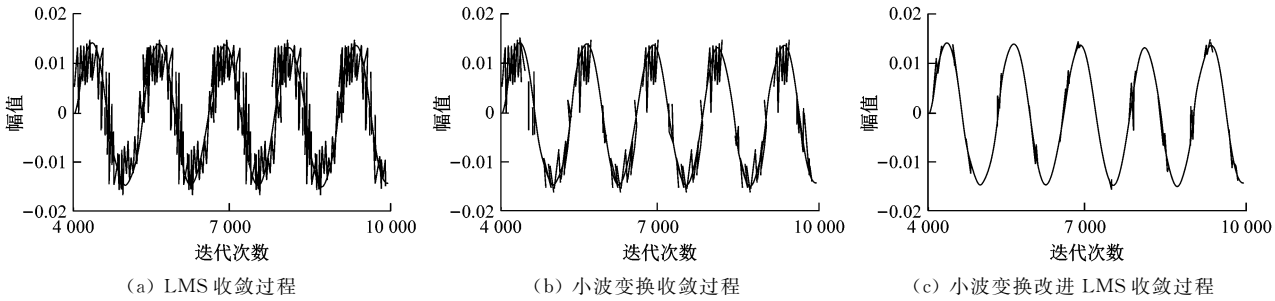


图 8 不同算法的信号稳态误差

法的信号稳态误差可知,小波变换改进 LMS 算法处理后的信号更稳定。

为验证小波变换改进 LMS 算法的适用性,以比特误差为参考指标,与迫零均衡算法、最小均方误差算法和自适应均衡算法进行对比测试。测试结果如图 9 所示。随着信噪比增加,各类算法的比特误差逐渐降低。小波变换改进 LMS 算法的收敛速度最快,比特误差最小,相较于同类型的其他算法性能更好。

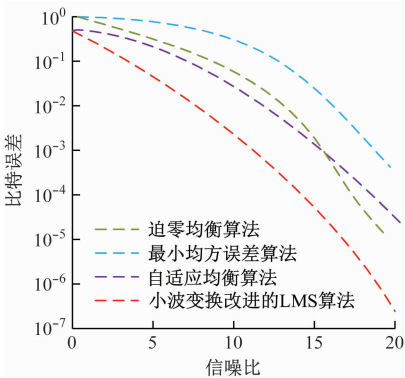


图 9 各种信道均衡算法的性能对比

4 结语

针对露天矿 5G 信号受阻问题,通过模糊评价分析矿坑变化对信号传输的影响,并引入 MIMO-OFDM 系统进行信道估计,采用基于小波变换的 LMS 算法进行信道均衡。仿真结果表明,该算法有效降低了误码率,提高了收敛速度和信号数据完整性,对露天矿 5G 通信信道均衡处理具有重要意义。

参考文献:

[1] 毕银丽,彭苏萍,杜善周.西部干旱半干旱露天煤矿生态重构技术难点及发展方向[J].煤炭学报,2021,46(5):1355-1364.

[2] 吕进国,韩阳,南存全,等.黑岱沟露天矿端帮压煤井工开采覆岩与地表变形破坏规律研究[J].采矿与安全工程学报,2019,36(3):535-541.

[3] 付恩三,刘光伟,王新会,等.基于“互联网+”智慧露天煤矿建设发展新构想[J].中国煤炭,2020,46(2):35-41.

[4] 李瑞华,冯治东.基于并行干扰抵消的 5G 通信信道传输控制系统设计[J].计算机测量与控制,2022,30(7):160-165.

[5] MAO X, ZHANG B, GOU X. Interference-aware resource allocation for device-to-device communication in 5G H-CRAN networks[J]. International Journal of Electrical Engineering,2019,26(1):25-34.

[6] 宋一川,张兴隆,牛萌,等.基于改进差分进化算法的信道均衡[J].现代雷达,2020,42(8):36-40,45.

[7] BI Meihua, LIU Ling, ZHANG Lu, et al. Low overhead equalization algorithm for simultaneously estimating channel and mitigating intrinsic imaginary interference in IMDD-OQAM-OFDM system [J]. Optics Communications,2019,430:256-261.

[8] 陈端云,苏素燕,林巍,等.基于 5G 通信的配网差动保护移动边缘计算方法[J].信息技术,2022,46(3):56-60,66.

[9] HUANG L, ZHANG Yucheng, LI Xiaolei, et al. Microwave photonic RF front-end for co-frequency co-time full duplex 5G communication with integrated RF signal self-interference cancellation, optoelectronic

oscillator and frequency down-conversion[J]. Optics Express,2019,27(22):32147-32157.

[10] 余翔,高燕妮,段思睿. 基于并行干扰抵消的 UFMC 系统信道均衡[J]. 计算机应用研究,2019,36(8):2496-2499,2503.

[11] 梁计锋. 基于串扰判决反馈信道均衡算法的语音通信系统设计[J]. 科学技术与工程,2019,19(25):231-237.

[12] 孙俊立,郑静雯. 大气污染对自由空间量子通信数据传输质量的影响研究[J]. 环境科学与管理,2019,44(7):64-67.

[13] 李敏娟,李潇,苟薨,等. 基于模糊综合评价法的有创呼吸机处置评价体系研究[J]. 中国医学装备,2022,19(11):164-169.

[14] 李春泉. 带有区间型三角模糊数的多目标规划模型算法[J]. 数学的实践与认识,2022,52(2):101-109.

[15] 熊志林,刘禹. 基于改进重心法的装配式建筑生产基地的布局选址研究[J]. 工程管理学报,2021,35(6):25-30.

[16] 葛新民,薛宗安,周军,等. 核磁共振横向弛豫时间谱高斯混合聚类及应用[J]. 石油勘探与开发,2022,49(2):296-305.

[17] 杨国,魏波,李成森,等. 浅析 5G 信号影响因素与调制方式[J]. 网络安全技术与应用,2023(7):81-83.

[18] 曾晟,何旺,刘其兵. 露天矿爆破安全评价影响因素与预防研究[J]. 西部探矿工程,2021,33(12):169-172.

[19] 孙传猛,裴东兴,陈嘉欣,等. 基于深度学习的爆炸冲击波信号重构模型[J]. 计测技术,2022,42(2):57-67.

[20] 张涵,邹逸伦,何韬. 爆破后冲击波在含联络通道隧道内的传播[J]. 现代隧道技术,2022,59(增刊 1):378-389.

[21] 徐顺清,石晶林,张宗帅,等. 5G 通信中基于混合波束成型的多用户 MIMO 调度算法研究[J]. 高技术通讯,2020,30(6):545-552.

[22] 虞成城,任周游,赵安平. 一种用于 5G 移动通信终端的双频 MIMO 天线系统[J]. 微波学报,2019,35(6):40-44.

[23] 郭昊,李岩,侯冰冰,等. 基于正交频分复用-多进制正交幅度调制的 DC-DC 变换器能量信息一体化技术[J]. 电工技术学报,2023,38(16):4353-4365.

[24] 李贵勇,于敏,余永坤. 大规模 MIMO 系统中分布式压缩感知 LMMSE 信道估计[J]. 系统工程与电子技术,2021,43(3):823-831.

[25] 雷维嘉,张维翰,谢显中,等. 多天线预均衡时间反转安全传输系统中预均衡器的优化[J]. 电子学报,2021,49(9):1736-1745.

(上接第 126 页)

基于机械设备的数量、类型值、工作频率、额定电压、额定电流、基站数量这 6 种影响 5G 信号分布的因素进行了覆盖优化,找到了影响因素与覆盖率的关系,并得到了最优取值范围。最后设计了矿井机械设备信号干扰下 5G 网络布置方案,为井下 5G 网络部署设计提供借鉴。

参考文献:

[1] 柳旭东. 5G 网络覆盖自优化技术研究[实现[D]. 南京:南京邮电大学,2022.

[2] 李太平. 高铁 4G 网络远距离覆盖技术研究[J]. 网络安全技术与应用,2020(1):78-79.

[3] 徐军霞,顾寄南,王雷,等. 矿井监控设备的抗干扰研究[J]. 煤矿机械,2012,33(10):83-85.

[4] İZMITLİGİL H, KARAMANCIOĞLU A. An online home energy management system using Q-learning and deep Q-learning [J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems,2024,43:101005.

[5] 孙同贺,闫国庆. 求解自回归模型参数的最小二乘法[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(6):16-19.

[6] 卞权博,赵新,冯文辰,等. 最小二乘原理在 RTK 控制测量中的应用[J]. 华北自然资源,2024(3):95-98.

[7] 鞠晨. 5G 核心网在煤矿的应用研究[J]. 工矿自动化,2024,50(增刊 1):29-33.

[8] 黄烈然,赫玉欣,高子昂,等. 纤维增强环氧基电磁干扰屏蔽复合材料的研究现状 [J/OL]. 化工新型材料: 1-8[2024-08-14]. <https://doi.org/10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2024.10.012>.

[9] JIANG Zhuomin, PIAO Shuqing, PARK T, et al. Multifunctional ultrathin recycled PET-based membrane for electromagnetic interference shielding, antibacterial and thermal management[J]. Advanced Materials Interfaces, 2024, 11(14). DOI: 10.1002/admi.202301047.

[10] 刘钰,张申,付慧生,等. 矿井新型电机车调度通信系统研究 [J]. 中国矿业大学学报,1996(4):50-53.