



基于 5G 的水泥行业数字矿山应用场景及网络建设难点

赵慧杰¹, 张学智¹, 谢东²

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209;

2. 中国电信股份有限公司安徽分公司, 安徽 合肥 230001)

摘要: 5G 在水泥矿山领域的应用发展受到关注。水泥工厂通常依石灰石矿山而建, 通过 5G 网络可满足无人机安全巡检、矿山 3D 建模、矿车无人驾驶/远程控制等移动业务需求。首先, 分析了 5G 在水泥行业矿山的主要业务场景及网络需求。其次, 通过对 5G 水泥矿山网络部署的实际案例及测试数据分析, 矿山 5G 网络覆盖的难点在于山坡状梯田式开采的石灰石矿山由于山体屏蔽及遮挡作用, 5G 网络覆盖率和信号强度欠佳。最后, 从网络配套、规划仿真以及环境动态变化几个方面总结了 5G 矿山网络覆盖的难点并给出了初步建议。

关键词: 5G 定制专网; 矿山网络仿真; 无线覆盖

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021098

Application scenarios and difficulties in network construction of digital mines in cement industry based on 5G

ZHAO Huijie¹, ZHANG Xuezhong¹, XIE Dong²

1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

2. Anhui Branch of China Telecom Co., Ltd., Hefei 230001, China

Abstract: The application and development of 5G in the field of cement mining has drawn attention. Cement factories, usually built around limestone mines, in which 5G network shows great value to be used for safe inspection by drones, UAV 3D modeling of mines, unmanned driving and remote control of mining vehicles, of excavators and other mobile services. Firstly, the main business scenarios and network requirements of 5G in cement industry mines was analyzed. Secondly, via the analysis of practical cases and test data of 5G cement mine network deployment, the difficulty of 5G network coverage in mines lies in the poor coverage rate and signal strength of 5G network in limestone mines, which are due to mountain shielding effect mined by hillside terraced fields. Finally, the difficulties of 5G mine network coverage were summarized from the aspects of supporting facilities, planning simulation and environmental dynamic change, and preliminary suggestions were given correspondingly.

Key words: 5G customized private network, mine network simulation, wireless coverage

1 引言

5G 具备更低的时延、更高的速率、更大的接入数量、更高的稳定性,有望成为未来工业互联网的网络基石,解决工业设备互联互通、设备上云的数字化转型难题。2019 年 11 月,工业和信息化部发布《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》,指出到 2022 年,将突破一批面向工业互联网特定需求的 5G 关键技术,加快垂直领域“5G+工业互联网”的先导应用,内网建设改造覆盖 10 个重点行业。2021 年 1 月 13 日,工业和信息化部发布《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023 年)》,明确提出到 2023 年,进一步完善新型基础设施,在 10 个重点行业打造 30 个 5G 全连接工厂。

我国是水泥生产和消费大国,水泥产量占世界水泥总产量的 60%左右。水泥行业作为我国建材工业的最大板块、基础建设的重要工业之一,面临淘汰落后产能、优化产业结构、推进企业联合重组、化解产能过剩、加快两化融合、实施智能制造战略的发展需求,处于行业数字化转型的关键阶段,需要应用 5G 网络融合工业互联网技术对企业安全生产和精益管理等方面进行整体提升。5G 通信网络结合人工智能、无人机、物联网等技术,将加速水泥行业转型升级,推动其高质量发展。

水泥工厂为节约运输成本,就近加工,通常靠近矿山而建,涉及矿区开采、矿石研磨、生料加工、回转烧结、熟料加工、成品储运等环节,作业区域主要为矿山、厂区(工厂产线)两大部分。其中,在空旷的矿区存在安全问题突出,作业环境恶劣、招工难、生产效率低下等问题。水泥行业石灰石开采属于典型的露天矿模式。光纤接入困难,传统 4G 蜂窝网带宽不足且稳定性安全性欠佳。5G 作为新一代无线通信技术,是矿山网络覆盖的理想解决方案。本文分析了矿山 5G 应用的主要场景及网络诉求,结合水泥 5G 数字矿山实

际部署经验,重点分析了目前网络建设的难点,并提出了初步解决方案及建议。

2 5G 智慧矿山业务场景及网络需求

5G 水泥行业智慧矿山的业务场景主要有无人机矿山爆破警戒、无人机矿山 3D 建模、矿车无人驾驶等。

2.1 无人机矿山爆破警戒

水泥生产所需的矿石原料开采需预先对矿区进行爆破,以使埋在地下的矿石暴露,因此矿区的爆破是矿石原料开采的一个重要环节。水泥原料石灰石矿山大多处于半开放状态,覆盖范围几千米,周围难以完全封闭,时常有村民误入。在矿坑爆破前,需要拉警戒线避免人员闯入被炸伤,传统通过人工巡检方式效率低下,且存在巡检范围死角,无法完全杜绝人员误入,目前矿山仍普遍存在爆破引起人员死伤的情况。通过 5G 无人机航拍巡检,结合 AI 图像识别和人员定位,可实现智能爆破警戒,无人机加载 4K 超高清摄像机,通过 5G 大带宽、低时延网络,实时将现场视频传到边缘计算服务器,在边缘端部署 AI 算法实时检测人、动物、矿车等异常情况并实时告警,同时可在无人机加载高音喊话装置,用于驱散闲散人员。中国电信通过与客户合作试点,实现将警戒覆盖范围从 500 m 扩大到 2 km,将原来 2 h 的人工检查工作量降低至 0.5 h,有效地提高了生产效率,减小了安全事故发生系数。

5G 无人机 AI 爆破警戒的主要业务场景及网络需求见表 1。

2.2 无人机矿山 3D 建模

矿山开采后需及时更新地形地表信息,传统方式为通过软件手工输入采矿点、经纬度等数据,再由软件自动生成数据,效率较低,准确性差。通过无人机航拍矿山地表信息,通过 5G 网络回传到地面接收装置,进行预处理,预处理后的数据发送给 3D 建模服务器(可部署在本地 MEC 或云



表 1 5G 无人机 AI 爆破警戒主要业务场景及网络需求

业务场景	性能指标				其他要求
	上行速率	下行速率	时延	可靠性要求	
高清视频传输	4K: 30 Mbit/s	—	<200 ms	99.9%	对空覆盖 30~100 m
无人机飞控	—	—	<20 ms	99.999%	对空覆盖 30~100 m

服务器上),实现矿山三维建模,自动完成环境扫描和地图刷新,进一步通过行业软件,进行土方量测算及挖掘车运输车的路线及排产规划,该系统能有效提高水泥矿山开采生产效率和自动化智能化管理水平。由于基于目前业界的运算能力,矿山建模运算要一周的时间,在此基础上还需要人工进行调整,因而对于该场景实时性要求较低。

5G 无人机矿山 3D 建模的主要业务场景及网络需求见表 2。

2.3 矿车无人驾驶

矿山主要车辆类型有运输车、挖掘机、加油车等。通过矿山质量信息安排排班计划系统结合矿卡调度系统给运输矿卡车辆下发驾驶指令,车辆根据指令要求的行驶路线自动驾驶到目的挖掘地点,并实现倒车入位、精准停靠、自动倾斜等车辆控制行为。通过 5G 网络可以实现车辆监控及调度系统,除采集车辆实时运行信息、设备油耗数据、车辆位置信息等基本运行数据外,还可通过多路超高清摄

机用于对车内驾驶员视野和车外路况的监控。单车需要 5~7 路高清摄像机。4~6 路车身摄像机和 1 路车内摄像机,可增加视觉辅助能力,对远距离和多目标进行实时自动识别。由于石灰石矿山存在大量山坡地形,运载路线通常沿山坡从山上向山下运行,矿车载重约 10^5 kg,惯性极大,当矿车行驶出现异常情况,需要远程干预,接管车辆控制驾驶权限时,因而需要较大的提前量判断,单向网络时延要求较高。以矿车行驶速度为 30 km/h 测算,1 m 制动距离仅有 120 ms 反应时间,其中扣除机械传导大约 50 ms,软件运行 10 ms,视频处理 30 ms,网络反应时延仅剩 30 ms。

矿车无人驾驶主要业务场景及网络需求见表 3。

3 5G 网络矿山覆盖案例分析

水泥石灰石矿山多为地上露天矿,按照地形条件分类又存在山坡露天矿和凹陷露天矿两种。

表 2 5G 无人机矿山 3D 建模的主要业务场景及网络需求

业务场景	性能指标				其他要求
	上行速率	下行速率	时延	可靠性要求	
高清视频传输	1080P: 4 Mbit/s	—	—	99.9%	对空覆盖 30~100 m
无人机飞控	—	—	<30 ms	99.999%	对空覆盖 30~100 m

表 3 矿车无人驾驶主要业务场景及网络需求

业务场景	性能指标				其他要求
	上行速率	下行速率	时延	可靠性要求	
状态数据采集	>2 Mbit/s	—	<50 ms	99.99%	
视频图像(单车)	720P:10~14 Mbit/s 1080P:20~28 Mbit/s	—	<20 ms	99.9%	通过部署 MEC 实现网络超低时延
控制信号	—	1 Mbit/s	<30 ms	99.999%	

矿山地形复杂且供电困难, 光纤布放受限, 矿坑低于地平面, 道路、作业易被山体遮挡, 网络覆盖差, 存在站址选择难、覆盖存盲区、矿山三维建模困难的问题与挑战。本文选取某客户矿区开展了 5G 网络覆盖试点验证。

3.1 矿山 5G 网络覆盖方案

矿区采用 3.5 GHz 64T64R 室外站进行网络覆盖, 根据地形条件, 确定了位于矿区周边 3 个高点的基站部署位置, 基站对矿区内部进行宏基站覆盖。

3.2 网络测试结果

采用路测 (drive test, DT) 方法, 对 5G 网络的相关关键数据进行了测试。通过测试获得的矿山平均小区参考信号接收强度 (reference signal received power, RSRP) 为-87.90 dBm, 平均覆盖率为 99.87%, 达到了 UL 25 Mbit/s、DL 300 Mbit/s、边缘覆盖 98 dBm 的建网标准。为进行对比, 表 4 列出了矿山和厂区的路测数据, 从数据可以看出, 矿山 5G 信号强度和覆盖率等性能指标都与厂区覆盖的效果存在一定差距。

3.3 覆盖方案仿真与分析

对 5G 网络的 RSRP 和 PDCP 下行吞吐量 (PDCP throughput downlink, PDCP Thr.D) 等相关网络性能参数进行热力图仿真, 进一步分析网络覆盖问题。

在矿山的南面部署了 5G 基站 1、5G 基站 2, 在矿山北部署了 5G 基站 3, 3 个基站约呈等腰锐三角形分布。在矿区范围内, 北面的基站 3 下方大约 200 m 处出现了夹杂区域 (圆圈标识位置), 信号覆盖较差。5G 数字矿山网络覆盖热力图如图 1 所示。



图 1 5G 数字矿山网络覆盖热力图

结合现场地形勘察, 基站采用抱杆建设。抱杆架设高度为 4~5 m, 山体较采掘平面高度为 25 m 左右。基站 3 部署所处的山坡垂直角度为 70°~80°, 由于石灰石矿山由于沿山坡开采, 平面呈阶梯多层次分布 (如图 2 所示), 就基站 3 单点情况的平面分析如图 3 所示, 其中阴影部分即非视距通信区域, 对应信号较差区域。综合以上所有分析, 可以判断图 1 中圆圈标识区域信号覆盖较差的原因为近处的低洼区域受到山体遮挡。站点高度及天线下倾角受限、山石遮挡环境形成了穿透损耗场景以及多径干扰等原因, 造成了部分区域覆盖率不足以及信号强度弱的问题。

表 4 矿区 5G 网络覆盖路测数据

测试区域	SSB-RSRP/dBm	SSB-SINR/dBm	上行吞吐率/(Mbit·s ⁻¹)	下行吞吐率/(Mbit·s ⁻¹)	覆盖率
矿山	-87.90	22.73	90.26	425.2	99.87%
厂区	-80.13	21.64	92.34	398.49	100.00%



图2 石灰石山坡露天矿山开采地貌

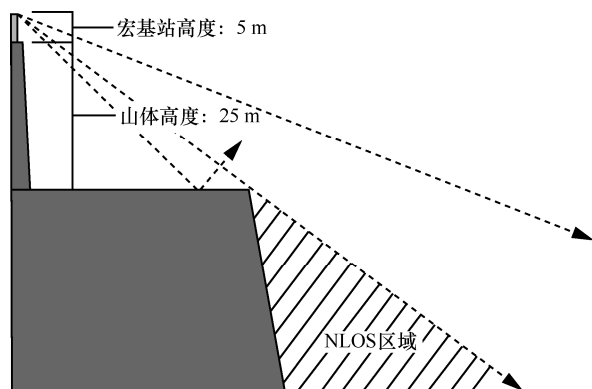


图3 信号受山体遮挡平面分析

4 5G 数字化矿山建设难点

通过项目实践及分析,5G 水泥行业矿山存在较多难点。

(1) 网络配套设施建设难度大,费用高

矿山地处郊区,没有直接可用的电源和光纤,且矿山内部由于爆破地形随时变化,无法铺设管线,需要从山的背面引入电缆和光纤。为了尽可能高地架设基站,采用4~5 m高的双抱杆形式,为后续架设4G基站预留点位,单站配套建设成本在60万~70万元,耗费人力物力巨大,且后续维护存在较大困难。

(2) 室外网络规划无成型工具,主要依靠经验

目前暂无结合矿山地形及3D经纬度、海拔数据的矿山5G网络仿真成熟产品。实际项目主要根据现场条件、专家经验静态配置选址,实际部署网络后通过路测获得网络性能指标,发现问题后通过波束成形等方式对天线覆盖范围进行调优,

部分区域甚至需要建站补点,建网效率和智能化有待提高。5G相比传统3G/4G而言,网络将更加复杂和立体。与低频无线传播特性相比,高频对无线传播路径上的建筑物材质、植被、雨衰/氧衰等更敏感,LOS和NLOS场景下,高频相比低频,链路损耗将分别增加16~24 dB和10~18 dB。同时随着大规模MIMO天线、复杂天线成形技术的出现,多径建模的重要性凸显,缺乏多径小尺度信息,将很难保证网络规划准确性。因此,基于高精度矿山三维坐标地图和具备多径建模的射线追踪传播模型在5G无线网络规划中具有不可替代的作用和地位。

(3) 矿山不断被开采引起网络覆盖动态变化

由于矿山被不断开采,矿山地形逐年变化。一座典型的石灰石矿山采掘寿命在30~50年不等。随着爆破和不断开采,采掘面逐年降低,形成坑状地形。目前采用的抱杆挂载AAU的方式,方向角较为固定,由于3.5 GHz 64T64R AAU重量可到40 kg,部署面倾斜角度受限,一般为15°~20°,因此对部署高度和范围要求较高。由于2B 5G客户专网通常由某家运营商负责,并不涉及三家共享,铁塔公司不会介入建塔,因而站点的部署高度条件有限,在某种程度上也对覆盖造成影响。对于网络带宽要求不高的场景,采用RRU+电调天线的方法解决部署角度变化问题。天线大约15 kg,可以90°垂直部署,能够解决未来地面下沉后,网络覆盖变化的问题。在保障其可靠性与时延的同时,降低单站成本(从设备和配套均能降低)。

5 结束语

5G水泥行业数字矿山网络建设需结合实际2B客户业务需求规划网络建设,完善室外网络仿真工具,提高网络建设智能化水平,进而提升建网效率、降低成本。根据客户实际业务需求,可通过使用机器学习、深度学习等智能化手段,进行3D MIMO

天线参数配置在不同场景下的快速灵活配置,以便适应未来矿山地表形态的变化,从而完成客户业务的最小成本建网,更好地实现项目的商业逻辑自洽和未来的建网复制。同时,在政策上,铁塔公司成立后,运营商无法自建铁塔的规定在 5G 2B 场景上是否继续适用还有待进一步探讨和商榷。抱杆承重和高度有限,这给网络覆盖带来了一定后续影响。2B 网络主要用于企业生产,通常由某一运营商承建,企业单独所有,基本不存在多运营商共享的问题,建议政策上可以进一步松绑,以释放 5G 专网建设的自由度,促进产业经济的发展。

参考文献:

- [1] 张蜀晋, 宋文渊, 南嵩, 等. 5G 室内外结合覆盖在智慧矿山中的应用[J]. 山西建筑, 2021, 47(1): 193-196.
ZHANG S J, SONG W Y, NAN S, et al. The application of 5G indoor and outdoor combined coverage in smart mines[J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(1): 193-196.
- [2] 靳丽丽. 5G 技术在远程智慧采矿中的应用[J]. 集成电路应用, 2020, 37(11): 70-71.
JIN L L. Application of 5G technology in remote intelligent mining[J]. Application of IC, 2020, 37(11): 70-71.
- [3] 轩红新. 5G 技术在煤矿的应用研究: 评《5G 移动通信系统及关键技术》[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(10): 186-187.
XUAN H X. Research on application of 5G technology in coal mine: comment on "5G mobile communication system and key technologies"[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(10): 186-187.
- [4] 张涛. 5G 智能助力绿色矿山建设: 焦作千业水泥有限责任公司转型发展纪实[J]. 资源导刊, 2020(9): 32.
ZHANG T. 5G intelligent assistance for green mine construction: documentary of transformation and development of Jiaozuo qianye cement Co., Ltd[J]. Resources Guide, 2020(9): 32.
- [5] 赵国瑞. 矿山 5G 及应用[EB]. 2020.
ZHAO G R. Mine 5G and application[EB]. 2020.
- [6] 王莉. 航天科工成功研制 5G 网络智能 110 吨无人驾驶矿用车辆[J]. 中国设备工程, 2019(21): 10.
WANG L. China has successfully developed a 110-ton unmanned mining vehicle with 5G network intelligence[J]. China Plant Engineering, 2019(21): 10.
- [7] 赵鑫彦. 面向 5G 的无线网络评估及测试方法研究[J]. 电信快报, 2019(11): 38-39.
ZHAO X Y. Research on 5G-oriented wireless network evaluation and testing method[J]. Telecommunications Information, 2019(11): 38-39.
- [8] 贺军, 高怡平. 5G 时代的射频前端技术分析[J]. 集成电路应用, 2017, 34(12): 68-71.
HE J, GAO Y P. Analysis of RF front-end technology in 5G[J]. Application of IC, 2017, 34(12): 68-71.
- [9] 樊丽珍. 移动通信基站设备及网络的测试[J]. 通讯世界, 2017(19): 105.
FAN L Z. Mobile communication base station equipment and network testing[J]. Telecom World, 2017(19): 105.
- [10] 李庆新. 移动通信基站铁塔的选型及设计[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016(32): 89-90.
LI Q X. Selection and design of tower for mobile communication base station[J]. Urban Construction Theory Research, 2016(32): 89-90.
- [11] 张宇, 吴翔, 刘罡, 等. 天线一体化基站设备评估[J]. 现代电信科技, 2016, 46(3): 41-44.
ZHANG Y, WU X, LIU G, et al. Evaluation of antenna integrated base station equipment[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2016, 46(3): 41-44.

[作者简介]



赵慧杰(1989-), 女, 中国电信股份有限公司研究院高级解决方案经理, 主要研究方向为 5G 数字工厂和企业园区专网的场景应用、网络规划和商业模式。



张学智(1983-), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为 5G 在垂直行业的技术与应用创新。



谢东(1973-), 男, 中国电信股份有限公司安徽分公司解决方案总监, 主要研究方向为 5G 新技术与行业信息化应用的融合探索。