

矿山工程机械中无线通信技术应用研究

姜伟涛 (晋能控股装备制造集团金鼎山西煤机有限责任公司, 山西 晋城 048000)

摘要: 我国是一个化石能源储量大国, 同时也是一个能源消耗大国, 随着人口不断增长, 以及新型制造业、传统制造业对能源的刚性依赖。必然要求能源的稳定供应, 煤炭的采掘及供应是保持国家能源稳定及安全的重要方式。煤炭采掘在我国有着悠久历史, 近年来随着煤炭采掘工艺逐步更新迭代, 对井下煤炭采掘机械的安全性、高效性、自动化程度、信息化集成度有了更高的要求。随着我国信息化技术特别是无线通信、5G 等通信技术的重大突破, 逐步实现了信息技术与传统煤炭采掘机械设备制造的深度融合, 提高了采掘机械在恶劣的井下工况条件下的生产效率、工作精度、安全性及便携可操控性, 保证了煤炭采掘行业安全高效的生产管理。

关键词: 煤炭采掘工程机械; 无线通信技术; 通信技术应用

通信工程技术与传统行业的交叉应用范围很广, 常见于机械制造、交通管网、市政交通、土木建筑工程等方面。有了通信工程技术的辅助, 帮助传统行业逐渐克服了现场工况条件复杂、对操作人员有安全威胁、技术工艺困难等瓶颈难题, 同时也实现高效率和高质量的产出。引入无线通信甚至 5G 技术, 会大大提高机械设备的信息化集成度、施工项目的高效安全性。从工程机械的实用角度来看, 有些生产环境或工程存在一定的危险性, 对操作人员有着较高的操作要求, 通过无线通信技术对生产采掘机械进行远程操控, 从有人工作面逐步过渡到无人工作面, 将大大提高生产作业过程中操作人员的安全性, 同时还能捕获即时的现场生产数据, 方便管理人员进行数据统计和管理决策。

1 无线通信技术的迅猛发展

LMDS (Local Multipoint Distribution Services) 是一种基于微波的宽带业务, 工作在 28GHz 附近频段, 在较近的距离进行双向语音、数据和图像传输。它工作在 20GHz 到 40GHz 的频率范围内运行, 实现从每秒几千比特到 25.6Mbps 的用户接入速率, 具有很高的传输效率。相对于目前常见的有线接入方式 ADSL、HFC 以太网接入技术、卫星接入技术等传统标准的有线接入方式相比, LMDS 非常适合煤矿井口基站 (枢纽站) 与区域内的多个用户站实现点到多点的无线链路连接, LMDS 通过使用方向性强的用户天线、相邻枢纽站服务区之间采用不同的极化方式等方法来实现频带复用, 以提高频率利用效率。LMDS 可提供广播图像分配业务 (含高清晰度电视)、电话、可视电话、ISDN 以及各种交换式宽带多媒体高速业务。利用该技术可以实现井下皮带机、刮板机、破碎机及瓦斯监测设备运行工况数据到井口控制终端的实时数据传输。该技术作为一种宽带无线接入手段, 有着很快的发展趋势。目前, 世界各地的许多研究机构和组织都在开发该技术标准和规范, 并提出了适应自己国情的技术标准。同时以 ZigBee 和 Z-Wave 两大阵营最为成熟。其中 ZigBee (紫蜂) 无线通信技术是一种低速短距离传输的无线网上协

议, 通信协议采用 IEEE 802.15.4 标准, 工作在 OSI 七层模型中的数据链路层与物理层。具有耗电低、成本廉价的优点, 支持特定区域大量节点集合、支持多种组网拓扑结构。同时保证信息传输的可靠安全。现在已大量应用在工业控制、物流管理和医疗信息管理中。但是 LMDS 面临的实际问题存在于对信息传播环境的具有一定要求, 传输路径上遇到岩石、水雾、大型金属钢架时会存在一定程度上的信号衰减, 会和卫星通信频段有一定程度的互扰现象。因此该技术适用于山区采掘环境下井口基站与井下进风、回风、交通巷道的直接通信。

2 常见的无线通信技术

2.1 Wi-Fi 技术

Wi-Fi 技术已经融入人们的日常生活。目前, 大型商业街区内的店铺都会向消费者提供免费的 Wi-Fi 上网服务。Wi-Fi 技术降低了用户的移动数据流量消耗, 让用户可以随时随地享受 Wi-Fi 技术带来的生活便捷。但 Wi-Fi 技术带来非常方便快捷的使用体验同时, 私人信息的泄露也变得很隐蔽很容易。Wi-Fi 技术使用的信息交互协议及信息加密方式决定了在信息传输方面存在一定的安全风险, 针对特定的协议漏洞可以进行数据包截获甚至个人信息窃取。

2.2 WiMAX 技术

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 是一种基于标准的技术, 可以替代现有的有线和 DSL 连接方式, 来提供最后 1km 的无线宽带接入。WiMAX 还具有成本低、易实施的优势, 因此有利于形成新的产业链, 新兴运营商、设备制造商、用户都会获益。在基站建设方面, 过去所采用的无线技术的移动信号站为了更好的工作, 减少障碍物的影响, 都需要搭建具有一定高度的基站。而 WiMAX 无需如此, 可大大降低移动运营商的成本。WiMAX 将提供固定、移动、便携形式的无线宽带连接, 并最终能够在不需要直接视距基站的情况下提供移动无线宽带连接。但 WiMAX 技术还需要克服硬件架设成本、技术标准应用、固定使用带宽以及和现有的网络相互融合的问题。

2.3 LMDS 技术

LMDS 技术是一种成熟实用的技术，常用于有宽带上网的家庭。LMDS 的工作频率很高，通常为 20-40GHz（各国标准不同），在介于毫米波带宽范围内，其信号适用于短距离传输线（3-5km），但在遇到暴风雨等恶劣天气时，传输距离 2km。该技术可以同时无线传输大量数据，可以满足不同人群的不同需求。

3 无线通信技术及通信工程的特点

3.1 无线通信技术的由来

无线通信是利用电磁波在空间传播的物理特性进行信息传输的一种通信方式。随着我国高速铁路的蓬勃发展、5G 技术应用的成熟落地，在信息工程领域，无线通信技术是版本更新迭代最快、应用最广泛的一种。人们将信息在多个节点间，不经由金属导体或传播介质进行传输的方式称之为无线通信。在位置不断变换中实现的无线通信的方式又可以称为移动通信，因此二者合称为无线移动通信简称无线通信。

3.2 无线通信技术的特点

①应用标准多。IEEE 802.16 标准系列到目前为止包括 802.16、802.16a、802.16c、802.16d、802.16e、802.16f 和 802.16g 共七个标准，例如 Wi-Fi 技术属于其中的标准之一；②无线通信覆盖范围大。总的来说通信方式几乎是不受地理环境限制的，其原理决定了建立连接时可以随时架设或者是增加链路，设备进行安装或者是扩容要求时都非常便捷。拥有基于通信技术和计算机技术相结合的多种通信形式。可以通过图片、视频等多种形式进行交流，也可以通过文字进行交流，形式多种多样；③运行的速度快。可以在短时间内就迅速建立起通信链路，能够有效满足临时的或者是应急的抗灾通信需；④适用范围很广。过去的无线通信技术一般只是适用于一些手机通信的移动产品，但是现在已经慢慢发展成为满足于传统制造行业、物流行业、医疗卫生等多个领域的应用。

4 工程机械中无线通信技术应用

4.1 全矿井安全监测信息采集需求

目前，依靠矿井中使用的传输网络以及普通信号传感器，以及整个矿井相应的监控信息，很难满足全面的生产管理要求。对于地质条件复杂、高瓦斯、顶板透水风险等事故概率较高的区域，依旧缺乏可发挥较高实效性的环境监测方案，针对井下巷道等区域和一些井下设备上，还存在较为旺盛的数据采集节点设置需求，既需要终端发挥出安全、低能耗等优势，且要求无线网络实时性、高速性、连接数密度等达到相应标准。

5G 技术在 < 10ms 的大规模连接场景中以低功耗提供高效的端到端时数据传输。连接数密度约为 10w/km²，用户可根据实际应用场景相应地改变实际需求。对于井下瓦斯监控系统、环境监测和仪器仪表，应使用

5G 网络作为大规模的节点感知互联互通操作。通过组建一张内含大量传感器的通信网络，在全矿井范围内有效收集相关现场环境信息、设备运行信息、人员流动信息并集中汇总供决策者进行全面的生产管理。

4.2 井下无人工作面及智能化生产设备

井下无人工作面对矿井无线网络的需求极高，而复杂工况下机器对机器的通信是无线网络的难题，只有 5G 技术才能为井下通信网络提供足够的带宽、高速的传输速度、低时延和准确的定位。井下无人工作面上的 5G 技术可以实时生成采煤巷道上的 3D 空间模拟数据。通过传感器数据对采煤机的运行状态进行调整。井下采煤机搭载的 5G 网络设备，具备精准位置测量与自主环境识别功能，实现了主动避障、倾斜检测等功能。井下运输系统的信息化和智能化，实现井下物流管理的全面协同，5G 技术将采集到的轨道车、皮带机运输机、破碎机、刮板机运行数据、环境等信息进行汇总研判，保证煤炭运输系统运行过程中的安全性。

4.3 设备维护及故障远程诊断

实现这一目标主要得益于 5G 网络服务的优越性能和低时延。它还依赖于智能数据库和实时监控平台。自动化数据分析和处理任务，增加诊断和处理违规的简单性和灵活性，并提高人员生命安全。同时通过 5G 技术和 AR/VR 技术的有效融合，以操作视频交互等方式，实现了地面现场远程对地下设备进行控制和维护的目标。通过对现场人员进行远程指导，实现远程开展设备运维的目的。

4.4 VR/AR 矿山

以 5G 通信技术为基础的 VR 技术（虚拟现实技术 Virtual Reality 缩写为 VR）与 AR 技术（增强现实 Augmented Reality 缩写为 AR）能够实现矿井实时工况的远程感知和管理，这一目标的实现在很大程度上依赖于 5G 网络服务的卓越性能和低延迟。它还依赖数据中心和智能管理平台进行实时监控，负责分析和处理数据、运行与自动化机械控制相关的诊断程序做出故障分析和运行状态判断，从而提高了生产管理和运行状态感知的便利性和灵活性，并提高了操作人员的安全性。将 5G 为基础的 AR/VR 技术与视频操作或其他方式有效结合，可实现井下设备在地面远程控制维护和远距离指导操作的目标。

4.5 井下巡检和安防

基于 5G 的定位数据速率，端端物联有助于确保有效的井下检查和安全防护。该网络提供了后台设备和人员的实时可见性，以及实时安全信息的传输和共享。智能终端传感器将主动推送环境识别信息到其他移动或节点终端，根据要求采集传输相关信息，提供安全维护监测的相关信息供工作人员集中管理分析。与传统的信号传输使用相比，5G 技术的使用具有更高效、延时更短、可靠性更高、经济性更好的卓越特性。

4.6 大宽带业务数据传输

5G 技术可以满足高清视频监控业务的带宽需求。井下关键位置的数据节点宽带需求包括采掘工作面、进风巷和回风巷、胶带运输巷等关键视频监控区域以及主要运输路线。成像设备是高分辨率相机，正确安装在各种检测机器人上。主要应用于操作人员识别、煤石识别、煤流识别、煤炭分类图像识别、作业安全质量识别、设备状态检查等场景。此外也可做为应急救援现场的照片和视频支持，指导井下救援行动。

4.7 煤矿机器人云端控制

灵活、高移动性、低带宽、低延迟和可靠的 5G 通信网络是煤矿机器人安全执行生产任务的基本要求。未来井下煤矿将需要很多机器人来代替人工操作，但每个机器的计算能力都是有限的。煤矿机器人云控制是指机器人接收到的外部信息实时传输到云端。5G 通信网络将用于机器人连接到云端的“神经元”。短期前景可以满足云端处理和网络广播时间不超过 100ms 的要求，其高带宽特性为机器人提供足够的数据交互带宽（10Gbit/s 以上）。

4.8 井下水泵房、变电所应用分析

目前煤矿井下水泵房、变电所等区域基本配套了自动化设备，提供 4G+5G 无线覆盖。它不仅用于补充和保护供电网络，还可以随时随地提供与井下自动化系统的通信和数据采集。有了 4G+5G 网络覆盖，工作人员可以减少对供电线路的手动监测，实现远程控制，手动启停，无需安装大量线缆，节省人工成本。IPRAN 环网具有高带宽，可通过高速连接实现 5G 无线接入大型设备，以及将水泵房、中央变电所的相关运行信息进行到控制中心的高速传输，也为海量的 5G 高速率联网设备无线接入提供了强大的业务接入 / 交换能力。

4.9 筑路机械短程无线监控中的蓝牙技术分析

当前筑路机械的发展方向是开发各种智能化的筑路工程装备。传统的互联网位置监控，无论是微机上的主动监控系统还是自动监控系统，都需要通过适当的有线电缆对每个传感器提供的互联网信号进行实际测量。它被传送到微机并与微处理器的标准存储器进行比较。由于各种运行条件的限制，车载设备必须尽可能可靠和简单。因此，只能对振动压实和摊铺找平进行简单的处理，不再可能进行彻底、系统的检查。同时，目前的管理缺乏对施工过程的统一管理，道路的质量完全取决于司机的效率，因此对施工工作没有一个整体的概览。蓝牙技术基于低成本、短距离的无线连接，一般为 10cm-10m，当工作距离达到 100m 以增加传输性能时，可用于通过互联网控制筑路设备。

蓝牙技术独特的抗干扰性能，让工作场所的中控监控设备有效管理 7 台设备（点），达到实时监控的目的。由于该技术尚未完全开发，蓝牙还没有经过广泛的实际

测试。它的传输速率不是那么高，所以传播可能会受到其他工程机械的限制。目前，主要的软硬件平台都不支持蓝牙，这增加了蓝牙应用的成本和实现难度，类似的 Z-Wave 传输率仅有 9.6kbps。它们与 ZigBee 无线通信技术无线通信技术相比，虽然我们不是在谈论 2.4GHz 频段的 250Kbps，但 915MHz 频段至少有 40Kbps（868MHz 频段为 20Kbps）。由于蓝牙芯片已经量产多年，元器件的数量和价格已经达到了很高的成熟度。ZigBee 无线通信技术最初被配置为在控制平面中取代低成本的蓝牙，这也增加了实现的复杂性。

4.10 塔吊无线遥控系统中的微功率通信技术分析

短距离微功率作为一种实用的无线电技术，通常使用单片射频无线电、微控制器和一些外围设备组成专用或通用的无线电模块。在德国，几乎所有超过 20t 的移动式起重机都配备了比例遥控系统。通常，遥控器还配有数据调用装置，发射器配有大型平板液晶显示器，可连续报告载荷、爆裂长度、扭矩、油温、压力等起重机操作员的重要操作。今天在家用电器和其他行业中使用的大多数塔式起重机都是控制面板的形式。控制室速度慢、视线模糊、环境恶劣、控制协调性差等因素都可能导致事故发生。由于我国很多中小型建筑公司使用的塔式起重机种类繁多，结合传统控制面板和单片机控制技术的小功率塔式起重机开发了抗干扰功能可靠性无线遥控系统：MSP430 具有超低功耗和 NRF905 无线电接收器的 16 位微控制器对于抵消来自用于增强保护的软件编码和硬件解码系统的干扰至关重要。记忆输出方式不仅提供安全可靠，而且提高生产效率，常用于塔式起重机等工业远程控制系统。

5 结语

综上所述，无线通信技术是适合在工程机械领域特别是矿山井下采掘工程领域中不断得到完善和发展的。无线通信技术在当前传统行业的应用市场和其他几个领域正在快速更新迭代。大中型企业可以先利用已具备的市场资本，通过引入先进的无线通信技术来提升市场竞争力，迅速摆脱战略策略中的劣势。例如建设一个 GPRS 网络所需的投资相对较小，是一种具有巨大增长和发展潜力的高性价比应用技术。随着目前的发展趋势，无线传输技术不仅会在工程机械领域越来越流行，将来在其他领域也会看到。

参考文献：

- [1] 谢鑫. 无线通信技术在工程机械中的应用 [J]. 造纸装备及材料, 2021, 50(02): 99-100+114.
- [2] 刘宇航. 工程机械中无线通信技术的应用 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2020(05): 28-29.
- [3] 申佳佳. 无线通信技术在工程机械中的应用 [J]. 南方农机, 2020, 51(02): 191+201.