

文章编号:1671-251X(2020)07-0028-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17620

5G 技术在煤矿井下应用架构探讨

孟庆勇^{1,2,3}



扫码移动阅读

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司, 北京 100013; 2. 煤矿应急避险技术装备工程研究中心, 北京 100013; 3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013)

摘要:通过对比、分析 5G 非独立组网(NSA)和独立组网(SA)架构的网络部署及优缺点,结合煤矿井下 4G“一网一站”已普遍应用的现状,提出了基于 NSA 的煤矿井下 4G 与 5G 融合网络架构,利用 4G 网络实现语音、调度功能,5G 网络拓展其他智能化应用,以最大程度地减少投资。研究了煤矿井下 5G 网络传输方式,重点探讨了 5G 承载网的 3 种前传组网方案及适用场景:光纤直连方案适用于井下水泵房、变电所等场所的机器人巡检,虚拟现实(VR)/增强现实(AR)培训,无人值守工作面等场景;无源波分复用方案适用于井下网络部署简单、独立维护性强的场景;有源光传送网方案可灵活适应不同场景。探讨了智能巡检机器人、环境监测与安全防护、VR/AR 智慧煤矿、井下车辆无人驾驶 4 种煤矿井下 5G 网络切片应用场景,分析了不同场景下 5G 组网架构的应用模式。

关键词:智慧矿山;煤矿 5G 专网;5G 组网架构;一网一站;非独立组网;独立组网;网络切片
中图分类号:TD655 **文献标志码:**A

Probe on 5G architecture applied in coal mine underground

MENG Qingyong^{1,2,3}

(1. CCTEG China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. Engineering Research Center for Technology Equipment of Emergency Refuge in Coal Mine, Beijing 100013, China; 3. Beijing Engineering and Research Center of Mine Safe, Beijing 100013, China)

Abstract: Through comparing and analyzing network deployment of 5G non-standalone (NSA) and standalone (SA) as well as their advantages and disadvantages, and combining with current status of 4G "one network one base-station" generally applied in coal mine underground, a 4G-5G fusion network architecture of coal mine underground based on NSA is proposed which uses 4G network to realize voice and dispatch functions and 5G network to expand other intelligent applications, so as to minimize investment. 5G network transmission modes in coal mine underground are researched, and three front-haul transmission networking schemes of 5G hosted network are focused on as well as their applicable scenes: Fibre-optical direct-connection scheme is applicable for scenes including robot inspection in underground pump house, substation and other places, virtual reality (VR)/augmented reality (AR) training, unattended working face; Passive wavelength division multiplexing scheme is applicable for underground scenes with simple network deployment and high independent maintainability; Active optical transport network scheme is applicable for different scenes flexibly. Four application scenes of 5G network slice in coal mine underground are probed on, which are intelligent inspection robot, environment monitoring and security protection, VR/AR smart coal mine and driverless vehicle, and application modes of 5G networking architecture in different scenes are analyzed.

收稿日期:2020-06-10;**修回日期:**2020-07-06;**责任编辑:**李明。
基金项目:天地科技股份有限公司面上项目(TD-MS003)。
作者简介:孟庆勇(1982—),男,山东梁山人,副研究员,硕士,现主要从事煤矿安全监控与通信技术方面的研究和应用工作,E-mail: mengqingyong@ccrise. cn。
引用格式:孟庆勇. 5G 技术在煤矿井下应用架构探讨[J]. 工矿自动化,2020,46(7):28-33.
MENG Qingyong. Probe on 5G architecture applied in coal mine underground[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(7):28-33.

Key words: smart mine; coal mine 5G private network; 5G networking architecture; one network one base-station; non-standalone; standalone; network slice

0 引言

5G 无线通信技术是 4G 的升级和延伸。与 4G 相比,5G 采用大规模 MIMO(Multi-Input Multi-Output,多输入多输出)、上下行解耦、波束成形、密集网络等技术,实现了更快网速和更大网络容量^[1];具备高速率、超宽带、低功耗、低时延等优势,成为特殊行业机器人、无人驾驶、VR(Virtual Reality,虚拟现实)、超清视频、设备远程操控、全矿井安全监测信息采集等应用的技术基础^[2]。

目前,国内对于 5G 技术在煤炭行业的应用还处于探讨和试验阶段,未见成熟应用案例的报道。王国法等^[3]论述了 5G 技术在煤矿智能化中的应用展望,分析了煤矿智能化应用 5G 的可行性、必要性;孙继平等^[4]研究了智慧矿山与 5G 和 WiFi6,对矿用 5G 与 WiFi6 技术应用进行了比较。霍振龙等^[5]研究了矿用 5G 无线通信系统的组成及组网方式,并提出了 5G 技术在煤矿的应用场景。笔者认为矿用 5G 应用主要围绕井下机器人、井下车辆无人驾驶、环境监控与安全防护、VR/AR(Augmented Reality,增强现实)智能培训、物联网数据传输、智能工作面等煤矿井下智能化场景展开研究。

本文着重探讨了适合煤矿井下应用的 5G 组网架构、5G 网络传输方式、行业小型核心网切片技术应用等,以期为 5G 在煤矿井下应用提供技术思路及方法。

1 矿井 5G 组网架构分析

公网 5G 分为非独立组网(Non-Standalone, NSA)和独立组网(Standalone, SA)2 种架构。NSA 架构是通过整合 5G 基站和 4G 核心网、基站的方式组网,投入小、部署快,能够快速推进 5G 网络覆盖;SA 架构为在新建 5G 基站基础上建设独立的 5G 核心网,初期建设成本高。2 种 5G 组网架构对比见表 1^[6]。

目前国内公网运营商先行采用 NSA 架构^[7],在此基础上逐步过渡到 NSA/SA 架构。SA 架构尚处于推进阶段。矿用 5G 专网建设技术尚在探讨和论证阶段。

1.1 NSA 架构

基于 NSA 架构的 5G 网络部署如图 1 所示。其是在已有 4G 核心网基础上,将 5G 作为 4G 副载波传输用户数据,5G 无线空口 RRC(Radio Resource

表 1 NSA,SA 架构对比		
Table 1 Comparison between NSA and SA architecture		
项目	NSA 架构	SA 架构
承载业务	仅支持大带宽业务	支持大带宽和低时延业务
4G/5G 组网灵活性	不同厂商技术性能灵活性差	不同厂商技术独立组网
语音业务	4G VoLTE (Voice over Long-Term Evolution, 长期演进语音承载)	VoNR (Voice over New Radio, 新空口语音)或回落至 4G VoLTE
终端吞吐量	下行峰值速率优(4G/5G 双连接,NSA 架构比 SA 架构优 7%);上行边缘速率优,尤其是 FDD(Frequency Division Duplex, 频分双工)	上行峰值速率优(终端 5G 双发, SA 架构比 NSA 架构优 87%);上行边缘速率低(后续可增强)
覆盖性能	与 4G 相同	初期 5G 连续覆盖投入大
业务连续性	与 4G 相同,不涉及 4G/5G 切换	初期未连续覆盖,4G/5G 切换多
4G 无线网改造	未来升级 SA 不能复用	4G 升级支持 5G 互操作,配置 5G 邻区
5G 无线网实施	新建 5G 基站,与 4G 基站连接;连续覆盖压力大,邻区参数配置少	新建 5G 基站,配置 4G 邻区;连续覆盖难度大
核心网	4G 核心网增加虚拟化设备,支持 5G 业务,无需新建	新建 5G 核心网,需与 4G 网络、业务、计费、网管等融合,技术及设备新建难度大

Control, 无线资源控制)、广播等信令可由 4G 传递,数据通过 5G NR(New Radio,新无线)和 4G LTE(Long-Term Evolution,长期演进)传递,终端连接方式为 5G 与 4G 双连接。该架构下只能发挥 5G 的 eMBB (Enhanced Mobile Broadband,增强移动宽带)优势,不能发挥其 uRLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications,高可靠和低延迟通信)及 mMTC (Massive Machine Type Communication,大规模机器类型通信)优势^[8-9]。

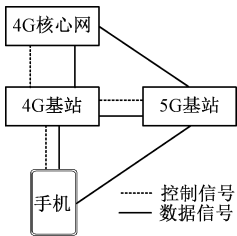


图 1 基于 NSA 架构的 5G 网络部署
Fig. 1 5G network deployment based on NSA architecture

SA 架构下 5G 组网进程分为 3 个阶段:① 4G 基站(eNB)和 5G 基站(gNB)共用 4G 核心网(EPC),eNB 为主站,gNB 为从站,控制信号经 eNB 至 EPC。② eNB 和 gNB 共用 5G 核心网(NGCN),eNB 为主站,gNB 为从站,控制信号经 eNB 至 NGCN。③ eNB 和 gNB 共用 NGCN,gNB 为主站,eNB 为从站。

1.2 SA 架构

SA 为新建 5G 核心网、回程链路、基站等独立组网架构,采用 NFV (Network Functions Virtualization,网络功能虚拟化)、SDN (Software Defined Network,软件定义网络)等技术,实现全新网元与接口技术,支持 5G 网络引入的所有新功能和业务。基于 SA 架构的 5G 网络部署如图 2 所示。该架构下终端与 5G 基站直接连接。5G 频点较 4G 高,初期部署难以实现连续覆盖,会存在大量 5G 与 4G 系统间切换^[10],用户体验有待提高。

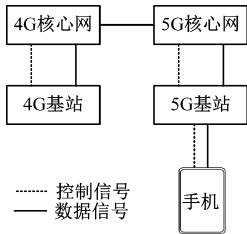


图 2 基于 SA 架构的 5G 网络部署

Fig. 2 5G network deployment based on SA architecture

1.3 煤矿井下 5G 网络架构

煤矿井下 4G“一网一站”已普遍推广应用,安装了矿井 4G 核心网,可与公网无缝对接,实现了视频监控及调度、宽带接入、语音集群、人员定位、应急指挥调度等功能的数据集成,以及全矿井信息流的无线高速传输。针对 5G 技术的特点,煤矿井下 5G 应用场景预测为井下机器人数据传输、VR/AR 增强应用、环境监测与安全防护、高清视频、井下车辆无人驾驶等。基于 NSA 架构,构建如图 3 所示的煤矿井下 4G 与 5G 融合网络架构。该架构利用原来的 4G 网络实现语音、调度功能,新建 5G 网络拓展其他智能化应用,最大程度地节省建设投资,推进智慧矿山建设。

2 煤矿井下 5G 网络传输方式分析

5G 网络主要包括接入网、承载网、核心网、空口等。5G 接入网由 BBU (Base Band Unit,基带处理单元)、RRU (Remote Radio Unit,远端射频单元)、天线等组成。其中 BBU 包括 CU (Centralized Unit,集中单元)、DU (Distribute Unit,分布单元)。CU 为 BBU 非实时部分,负责处理非实时协议和服

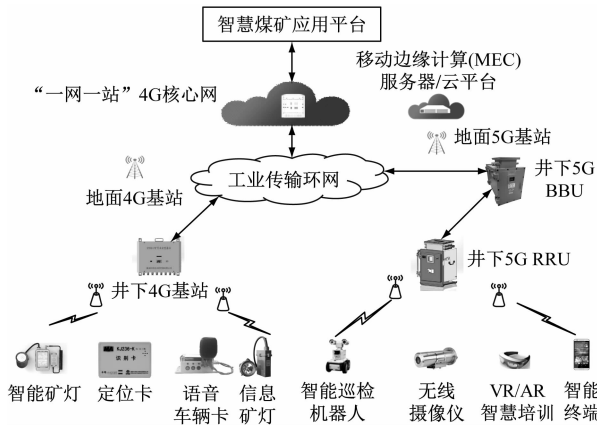


图 3 基于 NSA 的煤矿井下 5G 网络架构

Fig. 3 5G network architecture in coal mine underground based on NSA

务; DU 负责处理物理层协议和实时服务。BBU 提供与传输设备、射频模块、外部时钟源、LMT (Local Maintenance Terminal,本地维护终端)或 U2020 连接的外部接口,实现信号传输、时钟接收及 BBU 在 LMT 或 U2020 上的维护;RRU 将基带信号调制到发射频段,经滤波放大后,通过天线发射。5G 承载网为 OTN (Optical Transport Network,光传送网)。基于 OTN 的 5G 网络传输方式如图 4 所示。

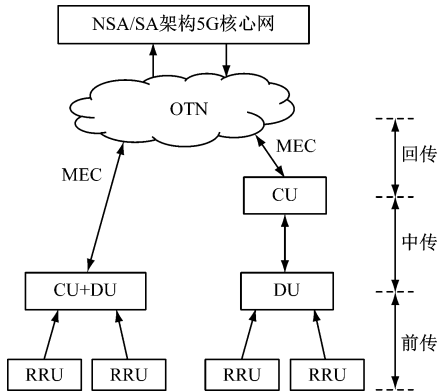


图 4 5G 网络传输方式

Fig. 4 5G network transmission mode

煤矿井下 5G 业务需求、网络架构直接影响承载网的带宽、时延、时钟精度和可靠性等指标,研究 5G 承载网功能划分,网元下沉,不同模式的前传、中传、回传组网方案,适应煤矿井下应用场景、狭长巷道特殊环境下的传输方式是 5G 技术在煤矿井下应用的关键。本文重点探讨 5G 承载网前传组网方案,具体如下。

(1) 光纤直连方案,如图 5 所示。节点的每个 RRU 与 DU 全部采用光纤点到点直连组网。该方案布线简单,最大的问题是占用光纤资源较多。随着 5G 基站、载频数量急剧增加,对光纤的使用量激增。对于煤矿井下集中场景(如水泵房、变电所等场所)的机器人巡检,VR/AR 培训,无人值守工作面

等)的热点覆盖,可以采用该方案,以最大化满足大带宽、低时延、高可靠信息传送需求。

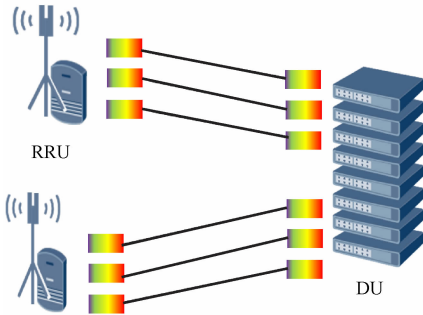


图5 光纤直连方案

Fig.5 Optical-fiber direct connection scheme

(2) 无源 WDM (Wavelength Division Multiplexing, 波分复用) 方案,如图 6 所示。将 WDM 安装到 RRU 和 DU 上,实现波分复用。多个 RRU 通过 1 根光纤与 DU 连接,不同中心波长的光信号在同一根光纤中传输且互不干扰。该方案通过 WDM 将不同波长的光信号合成 1 路传输,减少了链路成本,但存在运维困难、不易管理、故障定位较难等问题,适用于煤矿井下网络部署简单、独立维护性强的场景。但目前支持该方案的 RRU 设备体积较大,需要实现设备小型化后才可大规模应用于井下。

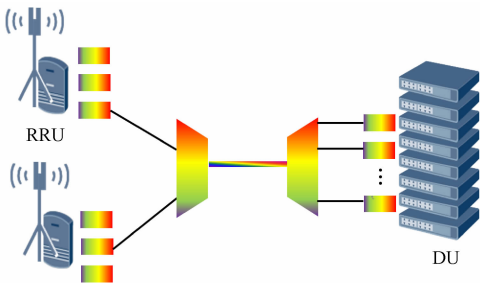


图6 无源 WDM 方案

Fig.6 Passive WDM scheme

(3) 有源 OTN 方案,如图 7 所示。在 RRU 和 DU 中配置相应的 OTN,多个前传信号通过 WDM 共享光纤资源。与无源 WDM 方案相比,有源 OTN 方案支持点对点 and 组环,可灵活适应不同场景,无需增加光纤资源,同时提供环网保护,支持综合承载和业务收敛环。该方案目前只有少数厂家的设备通过在 RRU 和 OTN 之间增加 RHUB 来实现。在设备小型化后,也可将 DU 和 RRU 放置到井下,DU 通过 OTN 将数据传输到地面,实现全矿井 5G 覆盖。

3 煤矿井下 5G 网络应用场景探讨

5G 网络切片技术是将物理网络划分为多个逻辑虚拟网络,每一个虚拟网络根据时延、带宽、安全性和可靠性等划分,以灵活应对不同的网络应用场

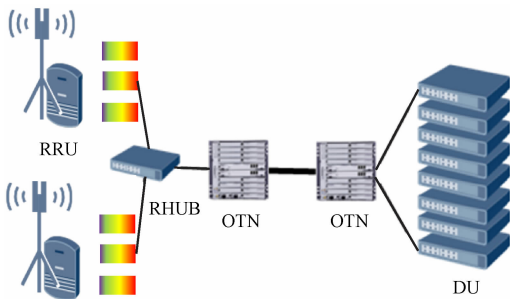


图7 有源 OTN 方案

Fig.7 Active OTN scheme

景^[11]。每个虚拟网络内的设备、接入网、传输网和核心网逻辑独立,任何一个虚拟网络发生故障都不会影响其他网络^[12]。网络切片优化网络资源分配,从而实现最大成本效率,满足多元化需求,是实现 5G 多场景、多样化应用的核心技术之一。随着 5G 终端数量及种类增多,为满足高带宽、低时延、高密度需求,采用 MEC(Mobile Edge Computing,移动边缘计算)^[13] 技术实现网络切片。

矿井 5G 网络采用 NSA/SA 架构,采用无线网、核心网、承载网切片,实现 5G 业务端到端切片。针对煤矿井下不同业务场景或类型,确定无线业务隔离、时延等属性来定义承载网切片;选择业务端口、VLAN(Virtual Local Area Network,虚拟局域网)、IP 的 DSCP(Differentiated Services Code Point,差分服务代码点)等进行无线网业务和承载网切片之间的映射。结合终端设备、接入网性能、核心网配置、网络规模,实现独立、隔离和集成的 5G 网络切片。本文主要探讨图 8 中 4 种 5G 网络切片应用场景。

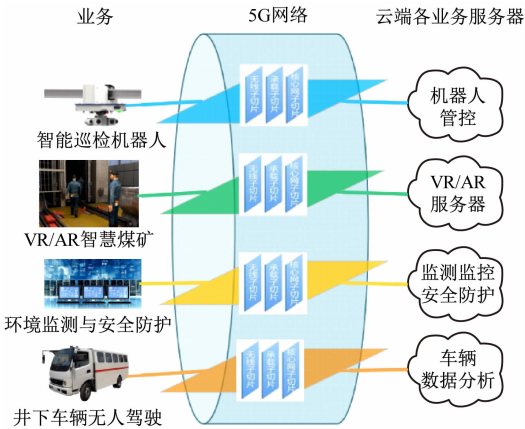


图8 煤矿井下 5G 网络切片应用场景

Fig.8 Application scenes of 5G network slice in coal mine underground

3.1 智能巡检机器人

智能巡检机器人利用 5G 大带宽、低时延特性,有效解决实时通信问题;加载红外热成像仪、气体检测仪、高清摄像机等装置,代替人对厂区及生产线巡检,便于维护人员及时发现设备问题,提升巡检质量

和效率。智能巡检机器人应用于水泵房、变电所等固定场所,先期采用 NSA 架构,主要实现无轨行走、多点自主巡航、可视化识别、实时数据回传分析、自主执行任务等功能。

针对巡检机器人应用特性,搭载的传感器大部分为采集、传输静态数据,无需移动性管理,因此应用场景中 5G 核心网切片任务相对简单。核心网、承载网协同通过基于 SDN/NFV 架构的切片编排器完成^[14];采用 SDNO(SDN Openflow,SDN 开放协议)实现承载网切片编排;通过 SDNC(SDN Controller,SDN 控制器)完成承载网切片部署;采用切片控制器完成无线网和承载网之间跨域的业务协调和编排,协调核心网、无线网和承载网切片管理。无线网切片粒度不易太大,否则无法满足巡检数据实时回传的低时延需求。

3.2 环境监测与安全防护

5G 网络可以更快的速度和更大的容量实现矿山全环节高清视频监控。与目前煤矿井下安全监控系统仅能实现环境参数及人员位置等监控不同,5G 网络环境下采用边缘计算服务器的影像分析及视频图像算法对高清图像进行实时分析,针对人员、环境、设备、资产等提供全矿井、全流程智能安全预警。环境监测与安全防护对网络承载能力要求较高,5G 网络可搭载 4G 核心网,采用 NSA 架构,以有源 OTN、无源 WDM 方案接入环网或点到点网络,实现高清视频无死角监测预警。

为了满足海量高清视频数据承载需求,采用 NFV 技术对网络功能进行虚拟化,建立无线网部分的边缘云、核心网部分的核心云。边缘云和核心云中的 VMs(Virtual Machines,虚拟主机)通过 SDN 互联互通^[15]。将核心网中的 MME(Mobility Management Entity,移动性管理实体)、S/P-GW(Serving/PDN Gateway,服务/PDN 网关)和 PCRF(Policy and Charging Rules Function,策略与计费规则功能单元),无线网中 BBU 的 DU 转移到 VMs,与存储服务器一起放入边缘云,将部分虚拟化的核心网功能放入核心云。

3.3 VR/AR 智慧煤矿

基于 5G 技术大带宽、低时延特性,AR 技术在煤矿井下应用成为可能。网络云化可将 AR 终端的大量计算、存储任务转移到边缘云,减轻 AR 终端的前端负担。非现场实时的 VR/AR 智慧煤矿对网络的带宽要求较高,在 SA 独立组网尚未完成的情况下,采用 NSA 架构、光纤直连或无源 WDM 传输方案,实现煤矿 AR 智能巡检、设备运维、生产培训等应用。SA 方案成形后,可实现现场实时巡检、运

维、预警等功能。

因 VR/AR 智慧煤矿对于网络时延要求较低,核心网可同时接入多个切片,为每个切片分配独立地址,提高 VR/AR 独立运行的流畅性。承载网切片粒度不易太细,否则会增加 VR/AR 编排及演示复杂度。无线网根据 VR/AR 单个数据端 QoS(Quality of Service,服务质量)需求、通信负载或接口类型等,采用符合煤炭行业标准的服务器、存储和网络设备取代 5G 网络中的专用网元设备。无线网体系结构对于每个切片做实时调整^[16]。每个切片使用不同类型的无线网配置,以满足不同运行需求。

3.4 井下车辆无人驾驶

井下车辆无人驾驶应用对 5G 网络的低时延、高可靠、高覆盖性要求很高,NSA 架构无法满足 5G 网络的 uRLLC 及 mMTC 需求,因此采用 SA 架构,根据不同运输车型选择不同传输方式,实现井下无人驾驶。该应用受限于公网 SA 技术发展,短时间内难以实施。无人驾驶需要海量机端数据与云端实时计算,每小时处理约 100 GB 数据,时延为毫秒级。

井下无人驾驶属于复杂应用场景,无线网采用独立切片技术,独立部署各种端到端切片。每个独立切片包含完整的控制面和用户面功能,形成不同无人驾驶群专有网络,如 CIoT(Cellular Internet of Things,蜂窝物联网)、eMBB 等。井下车辆无人驾驶 5G 网络需突破切片隔离机制、配置等技术,以满足无人驾驶车辆同时接入多个无线网切片、实时鉴权、用户识别功能配置等需求。考虑到井下无人驾驶的低时延要求,切片需最小化端到端时延,核心网功能和相关服务器均需下沉到边缘云。

4 结论

(1) 提出的基于煤矿井下 4G“一网一站”核心网的煤矿井下 5G 网络架构能够最大程度地节省投资并有效利用现有设备,具备 4G 基站的连续覆盖、全矿井无线高速传输功能,同时充分利用了 5G 网络优势,可实现煤矿井下 5G 智能化应用,推进智慧矿山建设。

(2) 针对煤矿井下 5G 业务需求,分析了 5G 承载网 3 种前传组网方案:适用于井下水泵房、变电所等场所的机器人巡检,VR/AR 培训,无人值守工作面等场景的光纤直连方案;适用于井下网络部署简单、独立维护性强场景的无源 WDM 方案;可灵活适应不同场景的有源 OTN 方案。

(3) 探讨了煤矿井下智能巡检机器人、环境监测与安全防护、VR/AR 智慧煤矿 3 种 5G 网络切片

应用场景中的 NSA 架构应用模式,以及井下车辆无人驾驶场景中的 SA 架构应用模式。

(4) 5G 技术为实现煤矿智能化提供支撑,是煤矿井下无线通信技术的发展趋势。但 5G 技术在煤矿大规模应用还有很多方面需要研究及相关产业链厂商支持,包括配套的本质安全型 CPE(Customer Premise Equipment,客户前置设备)开发、基站及接入终端上下行速率优化等。

参考文献(References):

[1] 陈晓贝,魏克军. 全球 5G 研究动态和标准进展[J]. 电信科学,2015,31(5):16-19.
CHEN Xiaobei, WEI Kejun. Global research and standardization progress of 5G [J]. Telecommunications Science,2015,31(5):16-19.

[2] 杨永明. 未来 5G 与能源的深度融合研究[J]. 新能源经贸观察,2018(7):86-93.
YANG Yongming. Study on the deep integration of 5G and energy in the future[J]. Energy and Outlook, 2018(7):86-93.

[3] 王国法,赵国瑞,胡亚辉. 5G 技术在煤矿智能化中的应用展望[J]. 煤炭学报,2020,45(1):16-23.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, HU Yahui. Application prospect of 5G technology in coal mine intelligence[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(1):16-23.

[4] 孙继平,陈晖升. 智慧矿山与 5G 和 WiFi6[J]. 工矿自动化,2019,45(10):1-4.
SUN Jiping, CHEN Huisheng. Smart mine with 5G and WiFi6[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(10):1-4.

[5] 霍振龙,张袁浩. 5G 通信技术及其在煤矿的应用构想[J]. 工矿自动化,2020,46(3):1-5.
HUO Zhenlong, ZHANG Yuanhao. 5G communication technology and its application conception in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(3):1-5.

[6] 5G 独立组网(SA)和非独立组网(NSA)[EB/OL]. [2020-06-03]. https://blog.csdn.net/weixin_41620451/article/details/105332523.
5G standalone architecture(SA) and non-standalone architecture(NSA)[EB/OL]. [2020-06-03]. https://blog.csdn.net/weixin_41620451/article/details/105332523.

[7] 冯登国,徐静,兰晓. 5G 移动通信网络安全研究[J]. 软件学报,2018,29(6):1813-1825.
FENG Dengguo, XU Jing, LAN Xiao. Study on 5G mobile communication network security[J]. Journal of Software, 2018, 29(6):1813-1825.

[8] 史建华. 5G 通信中传输技术的应用分析[J]. 电子世

界,2019(16):167-168.

SHI Jianhua. Application analysis of transmission technology in 5G communication [J]. Electronics World, 2019(16):167-168.

[9] 俞森吉. 面向 5G 通信的射频关键技术探讨[J]. 无线互联科技,2018,15(14):12-13.
YU Senji. Research on key radio frequency technologies for 5G communication [J]. Wireless Internet Technology, 2018, 15(14):12-13.

[10] 卜斌龙,林学进,孙全有. 5G 宏网天线覆盖解决方案及现网融合技术[J]. 移动通信,2019,43(4):21-24.
BU Binlong, LIN Xuejin, SUN Quanyou. Antenna solution to 5G macro network coverage and multi-network integration [J]. Mobile Communications, 2019, 43(4):21-24.

[11] 许阳,高功应,王磊. 5G 移动网络切片技术浅析[J]. 邮电设计技术,2016(7):19-22.
XU Yang, GAO Gongying, WANG Lei. Initial analysis of 5G mobile network slicing technology[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(7):19-22.

[12] 李子姝. 网络切片——5G 前行的助推器[D]. 北京:北京邮电大学,2017.
LI Zishu. Network slice-5G forward booster [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.

[13] 李金艳,杨峰义,梅承力. 网络切片将成 5G 理想架构商用部署仍面临多重挑战[J]. 通信世界,2017(15):40-42.
LI Jinyan, YANG Fengyi, MEI Chengli. Network slices will become 5G ideal architecture for commercial deployment and still face multiple challenges [J]. Communications World, 2017 (15): 40-42.

[14] 于立华,张宏宇. 未来 5G 网络切片技术关键问题分析[J]. 中国新通信,2017,19(11):85.
YU Lihua, ZHANG Hongyu. Key issues of future 5G network slice technology analysis [J]. China New Communications, 2017, 19(11):85.

[15] 宋熠,杜诗雨. 5G 网络切片对业务场景的支持与发展现状[J]. 软件,2018,39(8):156-161.
SONG Yi, DU Shiyu. Support for business scenarios and development status of 5G network slicing [J]. Computer Engineering & Software, 2018, 39 (8): 156-161.

[16] 黄旭. 5G 网络切片技术的应用与分析[J]. 通信技术,2018,51(9):2102-2106.
HUANG Xu. Application and analysis of 5G network slice technology [J]. Communications Technology, 2018, 51(9):2102-2106.