

面向工业的 5G 组网方案研究

孙丽楠, 朱红绿, 孙 慧

(中国电信股份有限公司研究院, 上海 200122)

摘 要: 5G 网络拥有更大的带宽、更广的覆盖、更快的速度、更低的时延、更可靠的连接等特征, 必将为工业互联网的发展提供更广阔的空间。5G 网络需要通过一种便捷的方式把网络切片、MEC、uRLLC 等能力提供给工业用户。在研究工业需求和 5G 关键技术的基础上, 细化工业场景与多种 5G 能力的匹配, 提出面向工业的 5G 组网方案, 满足不同场景的需求, 促进 5G 网络与工业深度融合。

关键词: 工业互联网; 网络切片; 多接入边缘计算; 高可靠低时延通信

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201041

中文引用格式: 孙丽楠, 朱红绿, 孙慧. 面向工业的 5G 组网方案研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(5): 5-10.

英文引用格式: Sun Linan, Zhu Honglu, Sun Hui. Research on 5G networking schemes for industry[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 5-10.

Research on 5G networking schemes for industry

Sun Linan, Zhu Honglu, Sun Hui

(China Telecom Research Institute, Shanghai 200122, China)

Abstract: 5G network has the characteristics of larger bandwidth, wider coverage, faster speed, lower delay, more reliable connection, and so on. It will provide a wider prospect for the development of industrial Internet. 5G network needs to provide network slice, MEC, uRLLC and other capabilities to industry users through a convenient way. Based on the study of industrial demands and 5G key technologies, the matching between industrial scenario and various 5G capabilities are refined, and 5G networking schemes for industry are proposed to fit different scenarios, in order to promote the deep integration of 5G network and industry.

Key words: industrial Internet; network slice; multi-access edge computing; ultra reliable low latency communication

0 引言

2013 年 2 月成立了 IMT-2020 5G 推进组^[1]。2017 年 11 月出台了 中国 5G 频率规划方案。2018 年底完成了 5G 关键技术、方案以及组网等研发试验。2019 年 6 月, 工信部正式发放 5G 商用牌照; 同年 10 月, 三大运营商宣布 5G 套餐, 开启 5G 商业时代。

3GPP 已经制定了 R15 和 R16 两个版本的 5G 标准。R15 版本聚焦增强移动宽带(Enhanced Mobile Broadband, eMBB), 提供网络切片、多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC)等能力。R16 为增强版本, 支持物联网业务、高可靠低时延通信(Ultra Reliable Low Latency Communication, uRLLC)增强等, 面向工业互联网的业务需求、网络架构、空口增强技术是 R16 的工作重点^[2]。

世界各国都在制定政策, 加快 5G 与工业互联网融合发展。2017 年起, 美国联邦通信委员会开始促进 5G 向精准农业、远程医疗、智能交通等领域的扩散。欧盟在 2018 年 4 月成立工业互联与自动化 5G 联盟, 推动 5G 在工业生产领域的落地。韩国三大运营商在 2019 年制

定 5G+战略, 智慧工厂是五项核心业务之一。

我国高度重视 5G 与工业互联网的融合发展。2017 年 11 月, 国务院印发《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》, 明确将 5G 列为工业互联网网络基础设施^[3]。2018 年提出《工业互联网发展行动计划》, 提出两年内初步建成工业互联网基础设施和产业体系^[4]。2019 年出台了《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》, 明确了建设“5G+工业互联网”园区网络等重点工作。我国已有十几个省市地区发布了 5G 产业规划, 很多城市将 5G 与工业的融合应用作为重点。此外, 通过 5G 应用产业方阵、工业互联网产业联盟、“绽放杯”5G 应用大赛等, 推动 5G 向工业互联网领域渗透, 涌现出一批优秀的示范企业。5G 和工业互联网的深度融合意义深远, 也待继续推进^[5]。

在上述背景下, 本文分析了工业对网络的需求, 研究了 5G 的典型关键技术, 提炼出工业场景和 5G 能力的匹配关系, 进而总结出面向工业进行 5G 组网时有哪些技术可供选择; 并针对工业典型场景(例如车间内、工

厂/园区内、工厂/园区间)提供了不同的 5G 组网方案建议。

1 工业需求和 5G 关键技术

1.1 工业对网络的需求

通过对化工类、生产制造类、电子制造类工业企业进行调研,可以初步得到工业对网络具有如下需求:

(1)多业务需求:工厂业务种类繁多,如视频回传、AR/VR 业务、AGV 调度、智能辅助驾驶等,可以通过 eMBB/uRLLC/大规模机械通信(Massive Machine Type Communication, mMTC)等 5G 基本能力满足。

(2)无线网络需求:传统的生产制造和工业控制依赖于有线连接,速度快、带宽高、可靠性高,但物理线路容易磨损,且影响机器的机械设计^[6]。对非新建工厂,目前无线网络主要用于有线补盲,以优化后期工厂运营运维,该情况在石化行业应普遍存在。

(3)安全隔离需求:某些业务在 4G 网络通过虚拟私有拨号网络(Virtual Private Dial Network, VPDN)进行隔离^[7],可以满足安全需要;但对于安全性更高业务,可以引入 5G 专用切片,支持工业网络与公网之间以及工业网络内的不同应用之间的安全与隔离。

(4)网络切片需求:对于制造类工厂,由于业务类型丰富,尤其 AGV 实时调度、AR/VR 类业务,切片需求比较强烈^[8]。

(5)MEC 需求:工业场景数据一般不出专网/虚拟专网(园区网、广域网),可以通过用户面功能(User Plane Function, UPF)下沉结合 MEC 的方式,保证数据不出厂^[9]。

(6)成本需求:在有条件的情况下复用公网资源,降低建网成本,快速部署 5G 网络。

1.2 5G 典型关键技术

1.2.1 uRLLC

如表 1 所示,uRLLC 可以满足很多工业场景需求,如工业控制、自动驾驶等。uRLLC 技术可以在指定时间

可靠地传输数据包,例如生产制造的闭环控制场景。uRLLC 通过更短的 TTI 间隔、快速收发数据、调度单位更短、调度更灵活等能力,降低时延;通过分集冗余技术,使用特定的信道编码,改进空口传输的可靠性^[10],以满足未来智能工厂的要求。

1.2.2 网络切片

5G 网络增加了网络切片特性,可以满足工业场景下需要部署独立专网的需求,实现生产制造网络和移动办公网络或者和公众网络隔离的目的。

如表 2 所示,5G 的网络切片可以通过虚拟化技术、预调度技术、FlexE 等技术在网络实现切片^[11],并且允许建立多个虚拟网络,用以处理不同工业应用。这些虚拟网络可以在公共物理基础设施上运行,也可以根据需要在专用物理设施上运行^[12]。

1.2.3 MEC

MEC 能够把网络流量就近分发给用户,降低网络传输时延^[13]。边缘计算平台可以部署于工厂内,工厂的工业互联网平台、企业资源计划系统(Enterprise Resource Planning, ERP)平台、虚拟交换机等系统均可以部署于运营商的 MEC,同时能够满足数据不出工厂的诉求^[14]。

如表 3 所示,MEC 可以使网络具备计算能力,在降低传输带宽的同时使业务更靠近用户侧,为用户带来更好的业务体验。可以满足 5G 相关的低时延、高带宽的应用需求,在工业互联网领域将有广泛应用前景。

1.3 工业场景和 5G 能力的匹配

图 1 为工业场景与 5G 能力的匹配。对于流量较小的环境监控类应用,使用大连接网络能力即可;对于无线视频监控,可选择高速率的 eMBB 能力^[15];对于工业现场的数据采集,选择 eMBB 能力,如果需保障其数据传输的安全性,可叠加 VPDN 能力。对于各类无人机、机器人、AGV、AR/VR、工业视觉类的应用,均可以通过 eMBB

表 1 uRLLC 关键能力

关键能力	空口技术	核心网技术	典型场景
时延:1 ms; 可靠性:99.999%	更短的子帧结构,更短的 TTI 间隔,快速收发数据; 调度单位更短; 调度更灵活; 网络协作:降低切换时延	MEC:把业务下移到基站侧; 网络切片:低时延、高可靠切片	生产制造、 远程控制、 远程/无人驾驶

表 2 网络切片关键能力

关键能力	空口技术	承载网技术	核心网技术	典型场景
逻辑资源隔离、 定制的网络、 满足业务不同需求	资源预调度、 带宽划分、 切片标识识别	SDN 架构、 FlexE 技术、 网元节点虚拟化	虚拟化技术、 切片选择技术、 切片管理开通技术	视频监控切片、 工业控制切片、 AGV 切片等

表 3 多接入边缘计算关键能力

关键能力	空口技术	核心网技术	典型场景
本地分流、 边缘云服务、 用户识别	网络状态信息上报	本地分流策略控制、 用户地址控制、 云服务能力	AR 应用部署在厂区边缘云平台; 工业互联网平台部署于厂区边缘云平台等

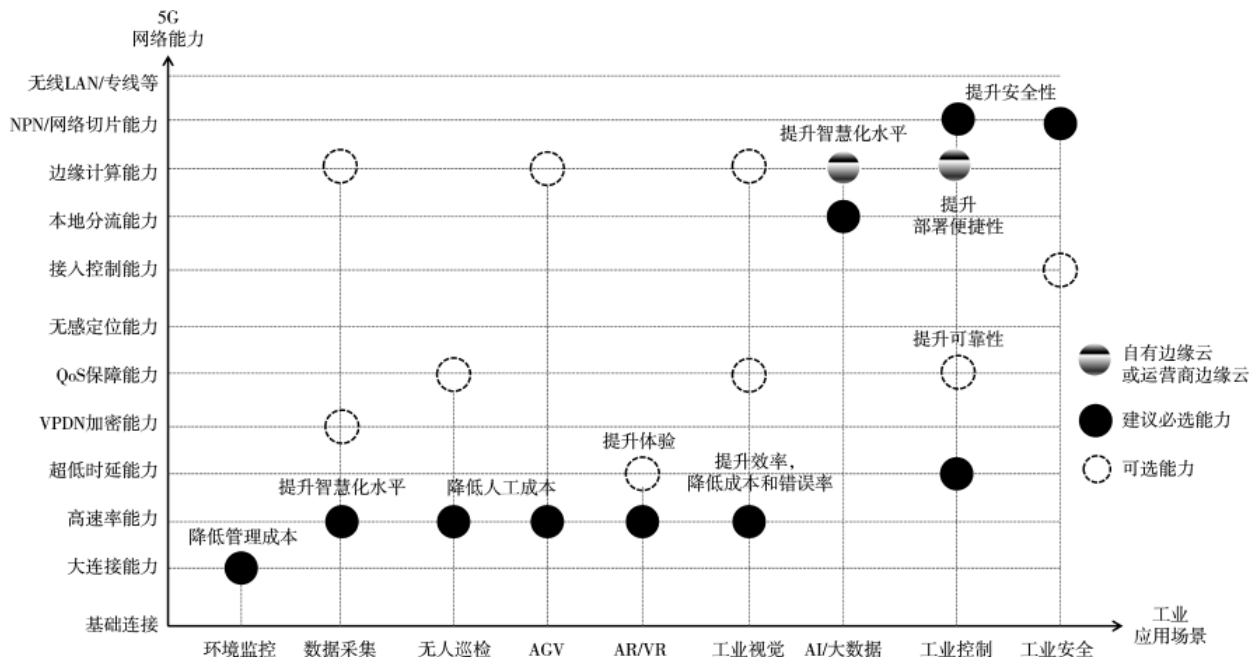


图1 工业场景和5G能力的匹配

能力实现,如果需要保障更好的体验,可以叠加服务质量(Quality of Service, QoS)、MEC等能力。对于AI/大数据类应用、工业控制类以及安全性要求较高的应用,建议选择MEC和网络切片能力。

2 工业5G组网方案

2.1 工业5G组网技术

图2所示为工业5G组网方案,主要由工业终端、无线侧的5G基站、工厂本地UPF/MEC、传输网、核心网几部分组成。

基于上述组网方案,归纳总结在无线、承载、核心网、管理等不同层面,工业5G组网相关的关键技术、应用场景及推荐建议细节,如表4所示。

2.2 工业5G组网具体方案

2.2.1 车间内组网

同一工厂同一车间不同工业设备间的连接,可以通过5G客户终端设备(Customer Premise Equipment, CPE)作

为转发,将数据传送给5G基站。如果工业设备支持5G模组能力,也可以不经过CPE,直接与基站通信。CPE与工业设备之间可以经过有线连接,或者无线连接。初始上电后,CPE到核心网用户数据管理(User Data Management, UDM)进行安全认证。CPE设备的地址由核心网控制面会话管理功能(Session Management Function, SMF)或UPF分配。工业设备的IP地址由CPE分配。如果无CPE,工业模组的地址由SMF或UPF分配。工业设备的流量(如图3所示加粗实曲线)经由基站,转发到就近的UPF,由UPF转发到企业私有云平台或者互联网。UPF可以下沉到园区,此时与企业私有云之间需要设置防火墙,保证大网安全。

2.2.2 工厂/园区内组网

同一工厂不同车间之间,覆盖范围相对较大,业务需求多样。如图4所示,可以部署多个5G基站。基站类型可以是宏站、室分、一体化小基站等,可以根据覆盖范

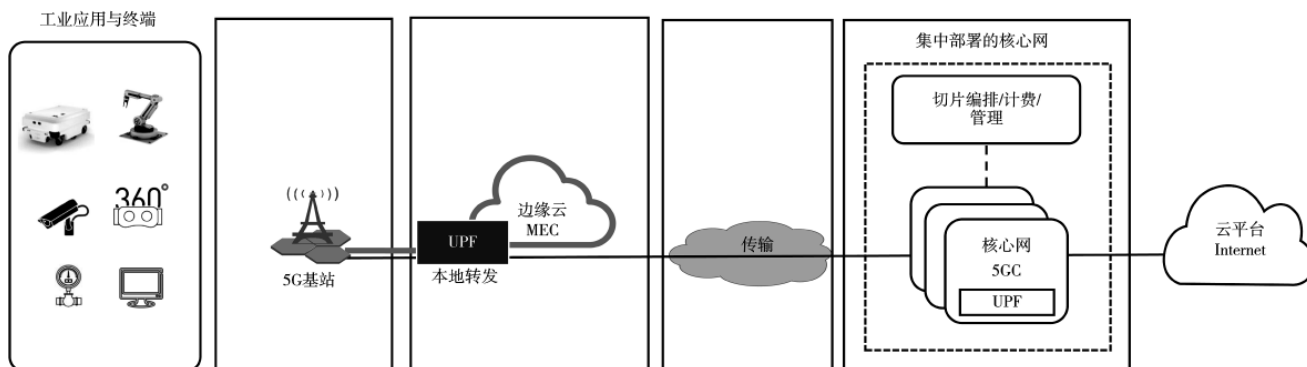


图2 工业5G组网方案

表 4 工业 5G 组网关键技术

组网层面	组网方案	可选项	详细说明	建议
无线侧	架构方案	SA	独立组网架构,通过 5G 基站直接接入 5G 核心网,支持边缘计算、网络切片等 5G 新特性	推荐
		NSA	非独立组网架构,5G 基站接入 4G 核心网, 不支持网络切片等 5G 新特性	
	连接方案	大带宽连接	5G 空口 eMBB 能力,速率可达 1 Gb/s 以上,具体由基站能力决定,时延要求在 5~20 ms 的业务可以选择该技术,如视频监控、普通远程控制、一般性远程驾驶、数据采集等	按需选择
		超低时延连接	5G 空口 uRLLC 能力, 对于时延要求在 5 ms 以下的工业场景可以选择该技术,如工业生产控制、运动控制类	按需选择
		大连接	物联网类连接,对于环境传感器、开关控制等小流量类设备可以选择该技术	按需选择
	覆盖方案	宏站覆盖方案	室外场所的覆盖方案,可以选择大规模天线类设备支持大量设备的接入	室外选择
		小基站覆盖方案	室内覆盖的主要方案, 分为有源室分和无源室分方案,以及单点覆盖的一体化小基站方案	根据现场环境选择
核心网侧	虚拟专网方案	网络切片	通过虚拟隔离技术,实现端到端的虚拟专网,保障网络资源不被挤占,确保虚拟通道内的资源独享,对于跨域经营的企业,建议选择	跨域生产经营且需要跨域组建无线内网的企业推荐选择
		边缘计算	通过 UPF 下沉,实现边缘计算,保障客户数据在本地处理,网络的控制信息共享大网的相关网元,仅保障用户面在本地专网内处理	时延要求较高、具有边缘计算需求的企业推荐选择
	分流方案	UPF UL CL 等分流	通过 UPF 配置的策略进行分流,公众流量和企业流量均经过同一个 UPF	按需求选择
承载网侧	——	IPRAN 承载	由核心网控制,公众流量不经过企业本地的 UPF	按需求选择
	——	PON 承载	光纤直驱的回传方案,室外宏站和室内小基站覆盖方案均可选择	按需求选择
网络运维管理	——	运营商运维	一体化小基站回传方案,对于单点覆盖的场景可以选择该方案	按需求选择
	——	自主运维+运营商运维	由运营商对所有网络设备进行运维、监控和管理,企业无法查看、监测和基础管理	有 IT 技术团队的企业推荐选择
	——	自主运维+运营商运维	企业根据运营商构建的智能运维管理系统进行自主运维,监测网络运行状态,进行初级的立即处置,对于无法处置的故障、告警,通过平台申请运营商专家运维	

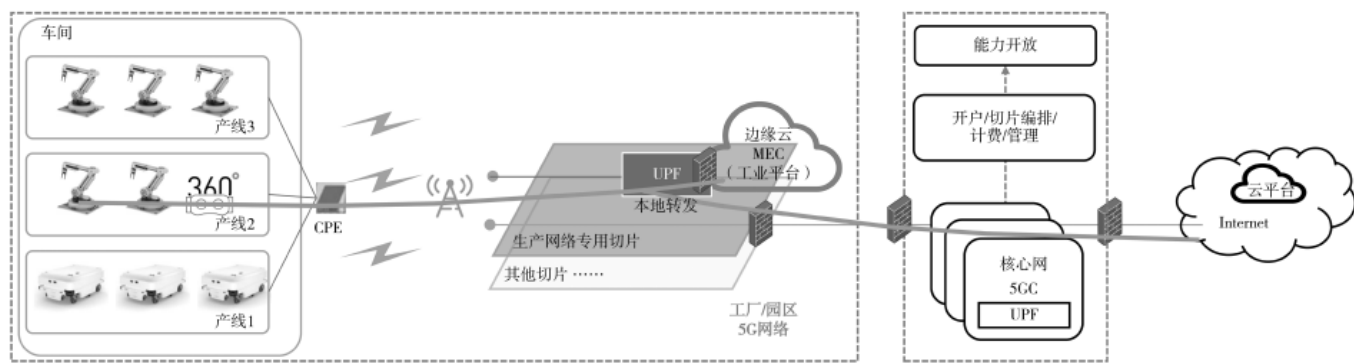


图 3 车间内组网

围选择不同的类型。不同业务对基站要求可能也不尽相同,例如某些工业控制类业务对时延要求较高,基站需要支持 uRLLC 技术。不同车间之间的流量转发如图 4 中加粗实曲线所示。例如车间 1 的设备,经过空口到基站,再到 UPF,UPF 再寻址到车间 2 的基站,再到车间 2 的设备。

2.2.3 工厂/园区间组网

不同工厂或者工业园区之间由于地理距离比较远,同一个 UPF 下的基站可能覆盖不到,此时需要部署多个 UPF,满足覆盖需求。工厂/园区间工业设备的流量转发如图 5 加粗实曲线所示。例如工厂 1 的设备,经过空

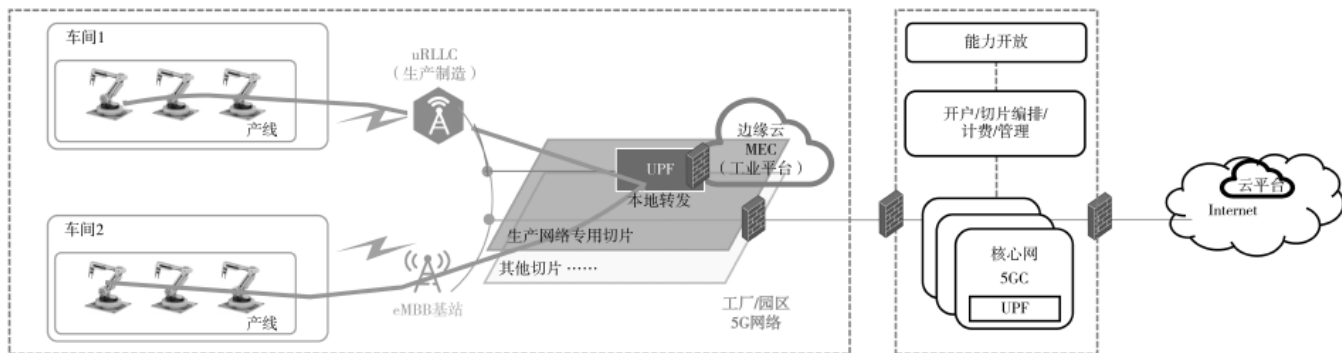


图4 工厂/园区内组网

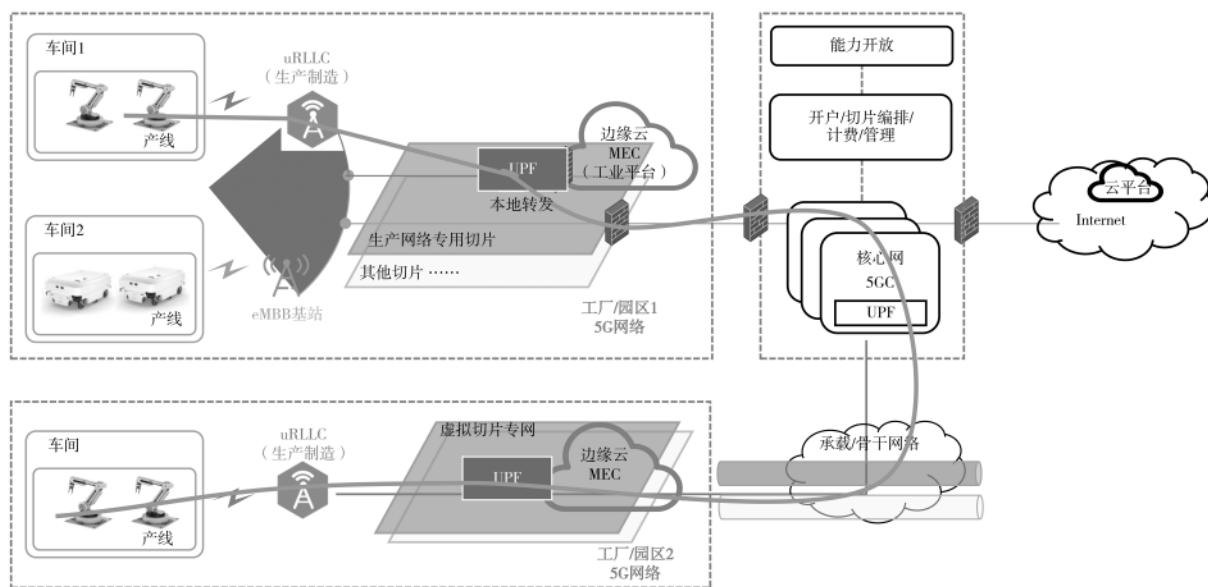


图5 工厂/园区间组网

口到基站,再到UPF,UPF再到运营商网络的中心UPF,由中心UPF寻址到工厂2对应的UPF,再到工厂2的基站,最终到设备。

3 结论

工业互联网是第四次工业革命的关键技术,5G是新一代信息通信技术演进的重要方向,二者都是实现社会数字化转型的重要驱动力。5G的低时延、高可靠、大带宽等特性,以及网络切片、边缘计算等更加灵活的组网模式,都为工业互联网的创新发展提供了新方向。本文在分析工业需求、研究5G典型关键技术的基础上,细化了工业场景和5G能力的匹配关系,归纳总结了工业5G组网技术,针对不同场景提出了工业5G的组网方案。5G与工业互联网融合创新发展,将加快推动工业网络智能化的转型升级。

参考文献

- [1] 胡金泉.5G系统的关键技术及其国内外发展现状[J].电信快报,2017(1):10-14.
- [2] 朱浩.3GPP 5G系统架构支持工业互联网标准的进展[J].通信世界,2019,4(10):17-19.
- [3] 张云勇.5G将全面使能工业互联网[J].电信科学,2019(1):1-8.
- [4] 孟月.5G使能工业互联网加快数字化进程[J].通信世界,2019(20):23.
- [5] 张长青.基于5G环境下的工业互联网应用探讨[J].电信网技术,2017(1):29-34.
- [6] 肖子玉,韩研,马洪源,等.5G网络面向垂直行业业务模型[J].电信科学,2019(6):132-140.
- [7] 冯亚军.基于4G/5G网络应用VPDN业务专网的设计与实现[J].中小企业管理与科技,2020,6(6):161-162.
- [8] 钟橙,张燕,唐怀坤.工业互联网中5G切片技术浅析[J].数据通信,2021,1(1):10-12.
- [9] 李为.探讨5G技术对工业互联网应用的影响[J].中国新通信,2021,23(3):99-100.
- [10] 梁辉,韩潇,李福昌.5G URLLC端到端关键技术分析[J].移动通信,2020(8):12-16.
- [11] 王华.未来5G网络切片技术关键问题分析与探究[J].通信电源技术,2019,36(1):188-189.
- [12] 任驰,马瑞涛.网络切片网络切片:构建可定制化的5G网络[J].中兴通讯技术,2018,24(1):26-30.

- [13] 王凌霄.5G 时代边缘计算发展趋势[J].网络安全和信息化,2020(11):24.
- [14] 周俊,沈华杰,林中允,等.边缘计算隐私保护研究进展[J].计算机研究与发展,2020,57(10):2027-2051.
- [15] 商建波.5G 通信的关键技术分析[J].电子技术,2021,50(2):40-41.

(收稿日期:2020-10-27)

作者简介:

孙丽楠(1983-),通信作者,女,博士,工程师,主要研究

方向:5G 无线技术、5G 家庭小基站、5G 核心网、5G 网管等,E-mail:sunlin6@chinatelecom.cn。

朱红绿(1984-),男,本科,工程师,主要研究方向:4G 网络 EPC 技术、室内覆盖解决方案、5G 小基站技术、5G 核心网等。

孙慧(1986-),女,硕士,工程师,主要研究方向:工业 PON、工业 5G、多接入边缘计算等。



扫码下载电子文档

(上接第 4 页)

检、监控、救援、直播等领域发挥了重要的作用。无人机物流和无人机农业植保需要飞行状态上报以及高精度定位信息的下发;此外,无人机物流需要具备视频回传实时操控能力,农业植保有土地勘测图片等大量数据实时回传需求。在巡检、安防、救援场景中,无人机的典型网络需求包括实时视频传输(多路)、飞行状态监控、远程操控以及网络定位,以保证无人机优良的飞行稳定性、较快的反应能力和连续实时的现场跟踪。无人机测绘为智慧城市、智慧农业、勘察等多个领域提供了强大的扩展空间,在测绘场景下,除了典型的飞行状态监控、远程操控以及网络定位需求,对实时图像传输、图像处理的需求尤为迫切^[6]。

对于上述领域的应用,4G 网联无人机仅能满足现有的部分低速率、对时延不敏感的需求,5G 新一代移动通信技术为无人机的发展注入了新的动能。5G 具有超高速、超低时延和超高可靠性的显著特性,为无人机赋予了远程控制、高清图传、飞行状态监控、精确定位、网络安全等关键能力,能够支持多领域多类别的无人机应用,如 8K 的视频传输能力能够支持 5G 无人机在体育赛事、演艺活动等大型活动的 VR 直播和高清直播;5G 还将促进各行业数字化、网络化、智能化的发展。同时,云计算、AI 技术的发展使得未来的自主飞行成为可能。

5G 低空无人机新技术催生了广阔的应用空间,当前,国家层面正在促进无人机产业升级发展,相继出台了若干法律、规定和指导意见,低空经济产业的发展将对社会经济增长产生积极影响。

4 结论

信息技术的发展催生了无人机产业的兴起和快速发展。5G 网联无人机融合了移动终端、大数据、云计算和人工智能等热门技术,未来无人机的发展也必将向信息传输网络化、运行空间数字化、飞行终端智能化的方向发展。

当前,无人机在实际应用中主要面临测控与监管两大核心痛点问题的困扰,5G 网联无人机体系能够提供

数字化监管能力和安全飞行流程,为上述问题提供解决方案。但当前网联无人机的基础建设、产品和应用落地尚在摸索阶段,存在规范不明确、管理不完善等问题,下一步需要进一步完善管理规定,积极打造产业发展联合体,做好顶层规划,组织实施相关技术研究和标准制定,加快推动 5G 网联无人机关键技术突破,创新行业应用。

参考文献

- [1] 中国民航网.民航局召开通用航空工作领导小组第六次全体会议[EB/OL].(2021-02-26)[2021-04-10].http://www.caacnews.com.cn/1/1/202102/t20210226_1320077.html.
- [2] 严斌峰,袁晓静,胡博.5G 技术发展与行业应用探讨[J].中兴通讯技术,2019,25(6):34-41.
- [3] 3GPP TS 23.501.System architecture for the 5G system[S].2018.
- [4] 3GPP RP-171409.Report of 3GPP TSG RAN meeting #75[S].2017.
- [5] 3GPP TR 36.777 V15.0.0.Study on enhanced LTE support for aerial vehicles[S].2018.
- [6] IMT-2020(5G)推进组.5G 无人机应用白皮书[R/OL].(2018-09-xx)[2021-04-10].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201809/t20180928_186178.htm.
- [7] 中国民用航空局.低空网联无人机安全飞行测试报告[R/OL].(2018-01-xx)[2021-04-10].http://www.gov.cn/xinwen/2018-02/04/5263696/files/b0c587f6246840de8aa4e39-4540828e6.pdf.
- [8] GSMA SGP.01 V4.2.Embedded SIM remote provisioning architecture[S].2020.

(收稿日期:2021-04-15)

作者简介:

韩玲(1978-),女,博士,高级工程师,主要研究方向:5G 移动通信技术与标准化。

朱雪田(1975-),男,博士,教授级高工,主要研究方向:5G 移动通信技术与业务创新。

迟永生(1964-),男,硕士,教授级高工,主要研究方向:通信网络规划、技术研发与管理。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所