

5G 技术发展 与行业应用探讨

5G Technology Development and Industry Application

严斌峰 /YAN Binfeng, 袁晓静 /YUAN Xiaojing, 胡博 /HU Bo

(中国联通研究院, 北京 100176)

(China Unicom Research Institute, Beijing 100176, China)



摘要: 介绍了全球 5G 的发展现状以及标准化进展, 并对 5G 的关键技术和行业应用进行总结。认为在智能互联的网络时代, 如何推进 5G 技术的应用是电信行业需要面对的问题, 面向不同行业输出 5G 服务是电信行业的重要业务。提出了网联无人机解决方案, 通过 5G 网络支撑无人机与平台实时互联, 保证飞控指令、遥测参数、业务数据安全可靠传输, 促使无人机向无人化、智能化和自动化转变, 实现了 5G 技术与垂直行业的真正赋能。

关键词: 5G 技术; 产业互联网; 工业无人机

Abstract: In this paper, the developing situation and standardization of global 5G technology are introduced, and the key technology and industry application of 5G are summarized. It is considered that how to promote 5G technology application in intelligent network era is the problem that the telecom industry needs to face, and the output of 5G service for different industries is an important business. Therefore, networked unmanned aerial vehicle (UAV) solution is proposed. The 5G network supports UAV to interconnect with platform in real-time, ensuring safe and reliable transmission of flight control instruction, telemetry parameters and business data. By this way, the unmanned, intelligent and automatic conversion of the unmanned aerial vehicle is promoted, and the genuine enabling of the 5G technology and the vertical industry is realized.

Keywords: 5G technology; industrial Internet; industrial UAV

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906006

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191220.1635.004.html>

网络出版日期: 2019-12-20

收稿日期: 2019-10-20

5G 作为新一代信息技术, 已成为全球各界高度关注的热点话题。它不仅能满足人际间的通信, 还能促进各行业数字化、网络化、智能化的发展。5G 使移动通信技术演进为可以赋能各行各业的通用技术。5G 与行业的深度融合将加速创新, 产生新的收入来源, 支持全球国内生产总值 (GDP) 长期可持续增长, 对全球经济社会产生深

远影响。

据全球移动通信系统协会 (GSMA) 预测, 到 2025 年 5G 将会覆盖超过全球 1/3 的人口, 连接数将超过 11 亿。据全球著名咨询公司 IHS Markit 预测, 到 2035 年 5G 将在全球创造 12.3 万亿美元的经济产出, 全球 5G 价值链将创造 3.5 万亿美元产出, 并创造 2 200 万个工作岗位。5G 将成为中国推

动产业升级、发展数字经济、实现高质量发展的新动能。

目前中国通信产业总量为全球第一, 手机终端出货量达全球第一, 设备商市场份额全球领先。以 5G 为核心的通信产业将成为推动中国企业全球化的重要力量。根据中国信息通信研究院《5G 经济社会影响白皮书》预测, 到 2030 年 5G 将直接带动中国直接经济产出

6.3 万亿元人民币，新增就业岗位 800 万个。大力发展 5G 将有益于网络强国和制造强国。

1 5G 技术的发展现状

5G 是当前移动通信技术发展的下一阶段，它将为客户提供更快的数据连接，为新的工业应用开辟道路，5G 技术是万物互联的开始。5G 技术可以提供 10 倍于 4G 的峰值速率及用户体验速率、百万的连接数以及超低的空口时延。5G 不仅仅是以用户为中心、全方位的信息生态系统，更能做到从线上到线下、从消费到生产、从平台到生态，有效支撑垂直行业融合发展。

5G 技术的蓬勃发展也进一步推动云计算、网络、大数据的快速发展。其中，云计算是重要的基础设施，网络是构建万物互联的桥梁，大数据则通过汇聚海量数据以及挖掘其价值，实现服务的智能化。同

时，工业制造系统的高度网络化和智能化，要求网络具备高带宽、高速率和高可靠性，保证精准的工业生产。因此，5G 网络的高速率、高带宽和高品质可助力产业互联网与传统互联网的深度融合^[1]。运营商将利用 5G、云计算、网络、大数据的资源，像消费互联网时代一样全面使能产业互联网经济。

1.1 5G 技术标准进展

目前，多个国家组织都在积极进行 5G 技术的研究和标准制定工作，主要的国际标准组织包括国际电信联盟（ITU）和第三代合作伙伴计划（3GPP）。其中，ITU 已经完成了 5G 愿景研究及 5G 技术方案征集，在评估方案后将于 2020 年完成 5G 标准制定。

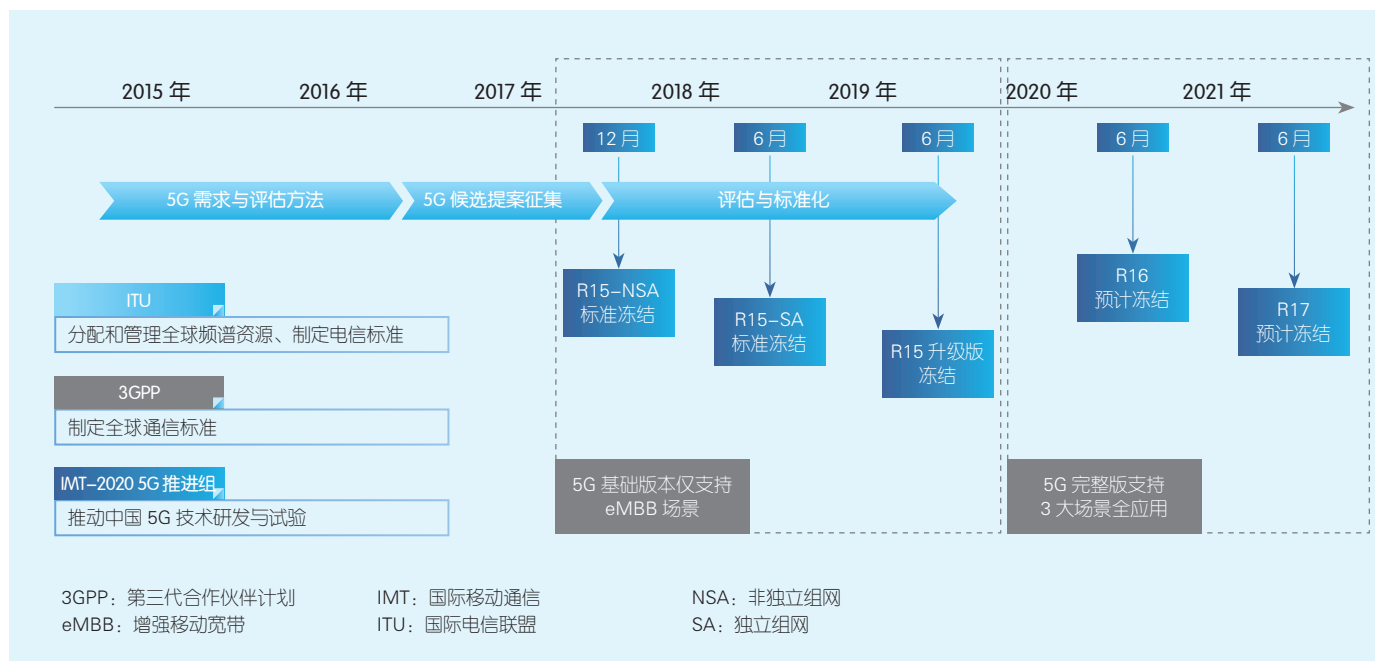
3GPP 作为制定 5G 标准的核心组织，已于 2018 年 6 月正式宣布 5G 新空口（NR）技术独立组网

（SA）功能冻结；2018 年 12 月，完成了非独立组网（NSA）标准的制定，5G 已完成第一阶段全功能标准化工作（如图 1 所示），进入了产业全面冲刺新阶段。虽然 3GPP 计划最终 5G 的标准将于 2020 年冻结，但 R15 的部分标准提速，已满足激进运营商的布网需求^[2-3]。

在中国，国家相关部委、企业、科研机构也积极参与到 5G 国际标准的制定工作中，主导多项 5G 国际标准。国家工业和信息化部、发展和改革委员会、科学技术部还联合成立了 IMT-2020 5G 推进组，共同积极推动中国 5G 技术的相关研发试验。

1.2 5G 组网方式

5G 标准定义了新的无线空口和核心网架构，组网方式分为 5G 核心网 NSA 和 SA 2 种模式。



▲ 图 1 5G 标准化工作进程

3GPP R15 版本的第 1 期面向 NSA，使用 5G 基站复用 4G 核心网的方式进行组网；第 2 期面向 SA，即不再依赖 4G 核心网，而独立部署核心网。运营商可以根据自身网络的情况选择部署模式，NSA 组网能快速而且低成本地面向增强移动宽带（eMBB）实现 5G 网络覆盖，SA 组网在 eMBB 的基础上实现了 5G 网络切片管理、能力开放等一系列特性，是 5G 网络最终的目标架构。

1.3 5G 为用户提供了更多的场景需求

相比于 4G，5G 可提供更高的速率（至少 10 倍）、更低的时延（毫秒级）、更多的连接数（千亿级）、更高的安全性以及更灵活的业务部署能力，将实现 eMBB、高可靠低时延通信（uRLLC）和海量

机器类通信（mMTC）3 大场景。

其中，eMBB 主要应用于对网络传输速率有极高要求的领域；uRLLC 主要应用于自动驾驶、工业控制等对时延要求和可靠性要求很高的行业中^[4]；mMTC 主要应用在智慧城市、智能家居这些连接数量庞大、接入成本低的场景，实现万物连接。

业界普遍认为，未来的 5G 将重点解决“移动数据流量的爆炸式增长”“物联网设备的海量连接”“垂直行业应用的广泛需求”3 类重要场景（如图 2 所示）。5G 带来的将是更快的速率、更低的功耗、更短的延迟、更强的稳定性，并能支持更多用户。5G 发展的前期，虽然仍将主要面向消费互联网，但是基于 5G 的、面向行业用户的工业互联网业务布局和落地的重要性已开始显现。5G 网络的精益化、运营的智能化以及生态的开放化是未来支撑工

业互联网快速发展的基础。

2 5G 关键技术分析

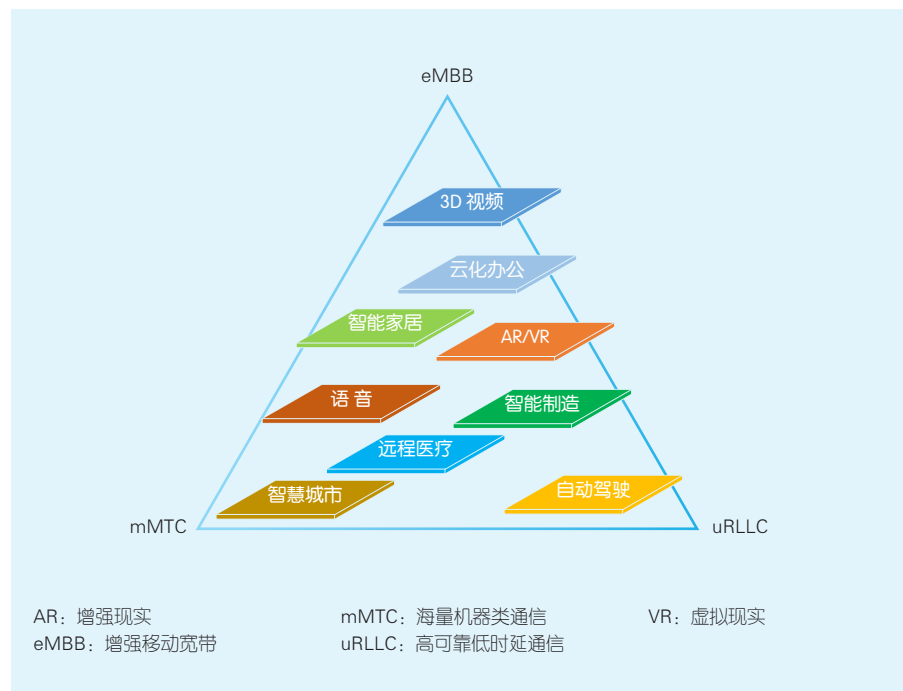
5G 网络的总体架构包括无线接入网、传输网以及核心网，需要大规模天线阵、超密集组网、新型多址、网络切片、云化网络等多种关键性技术做支撑，它们保证了 5G 网络的高速率、低时延、广覆盖、大连接、高安全及灵活部署能力。5G 的关键技术包括毫米波通信、大规模天线、网络切片和边缘计算等，具体如图 3 所示。

2.1 毫米波通信

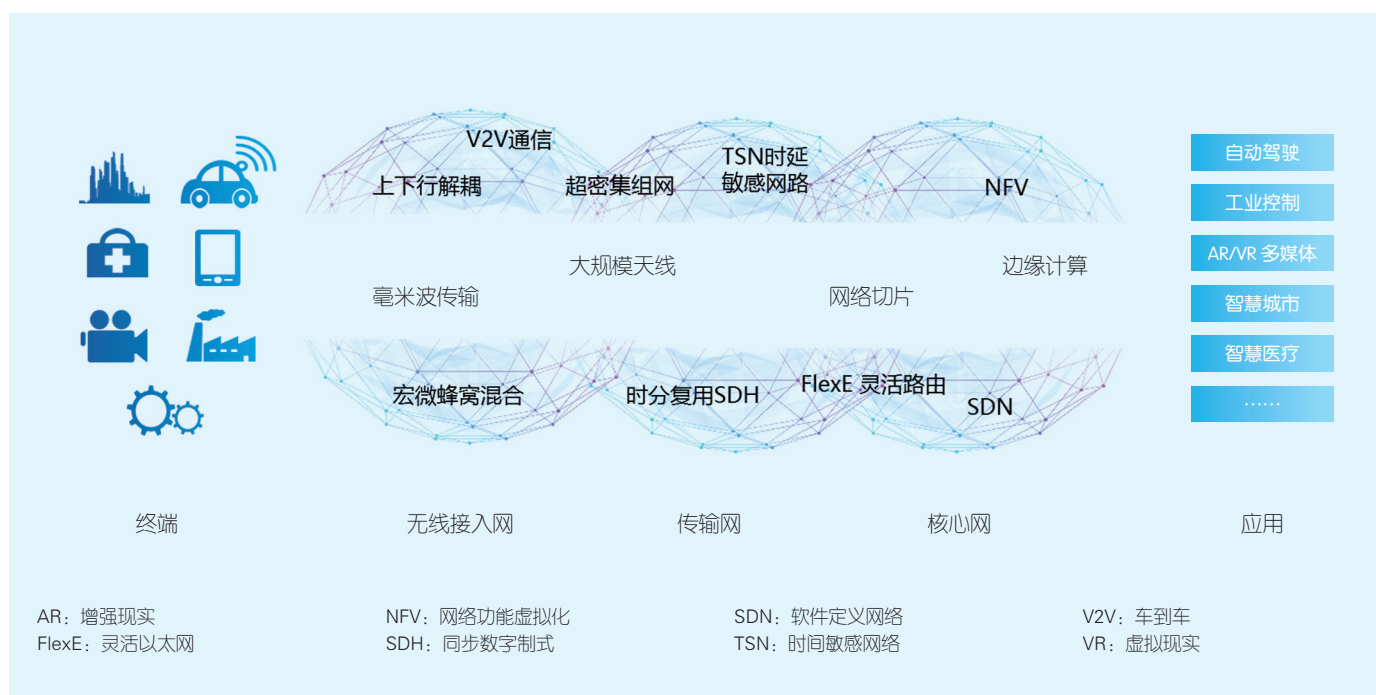
5G 在无线侧的关键技术以毫米波通信和大规模天线技术为代表，但目前中低频段的带宽已被广播和 2G/3G/4G 占用；因此 5G 将开拓高频段的毫米波进行无线网络部署。毫米波具体是指波长为 1~10 mm 的电磁波，对应频率为 30~300 GHz。相比而言，4G 长期演进（LTE）频段最高频率的载波在 2 GHz 左右，而可用频谱带宽只有 100 MHz；因此，如果使用毫米波频段，带宽宽度是 4G 的几十倍，传输速率也可得到巨大提升。

2.2 大规模天线

随着 5G 进一步发展和运行效率的不断提升，传统的多天线技术已难以有效满足 5G 通信网络呈指数式增长的无线数据发展需求；因此，在面临 5G 传输速率和系统容量等多方面重大挑战的同时，天线数目将随之不断增长^[6]。毫米波的缺点是传输损耗大，因此需要配合



▲ 图 2 5G 应用的 3 大场景



▲ 图 3 5G 关键技术

使用大规模天线技术。大规模天线技术是指多根天线同时发送，接收多路信号流，这样能有效提升信号的覆盖范围以及传输速率，弥补毫米波在传输过程中的损耗，进而提高无线频谱效率，提升信号质量。

2.3 网络切片

网络切片是指对于不同用户的业务流量，无线接入网和核心网进行不同的处理^[6]。5G时代的业务场景极为丰富，不同场景对网络的时延、可靠性、移动性甚至是计费方式都有着不同的需求，为不同的应用场景单独铺设专用的网络成本巨大且不现实；因此，需要将一张物理网络切分成多个虚拟网络切片，每个虚拟切片提供差异化的网络性能及业务功能。通过网络切片分层，能够按需求灵活地提供多种网络服务。运营商通过切片管理的

功能，结合虚拟化资源平台，来提供专用的逻辑网络^[7]。

2.4 边缘计算

5G的边缘计算是将运算与存储能力部署到离用户和应用更近的网络边缘，极大降低信令、消息的回传时延，实现海量数据的实时化处理，以满足无人驾驶、工业控制等对网络时延要求极高的业务需求。同时，边缘计算还可以将“云”灵活部署在网络的各个位置，为用户提供灵活、敏捷的网络体验。

3 5G 产业创新业务应用分析

3.1 5G 赋能垂直行业

5G技术的特性能够更好地推动其他新兴技术的发展，将5G技术与云计算、大数据、物联网、人工智能等技术融合，为新媒体、工

业互联网、智慧交通、公共安全、教育医疗、无人机、电竞等领域提供信息技术赋能，有望产生颠覆性的效果，重构产业形态。

在智能互联的网络时代，如何推进5G行业应用是电信行业面对的问题。运营商具备强大的资源整合能力，可汇聚大数据处理方法、云计算先进技术，构筑智能的业务平台。面向不同行业输出5G服务是电信行业的重要业务，更是今后工作的发展方向。

智慧交通领域是5G主要应用领域之一，其中一个非常重要的方向是智能联网汽车及车路云协作。利用5G通过车路协同实现智慧交通是目前普遍认可的技术途径。5G作为端-管-云之间的衔接桥梁，实现车、路、云实时信息交互，助力构建车路云协同的新型交通体系，服务众多的智慧交通业务。

工业互联网被认为是未来实现经济高质量发展的关键点,正确地理解工业互联网有利于推动它的健康发展^[8]。5G 是工业数字化的重要手段,5G 的 3 个应用场景可以解决工业互联网的数字化痛点,如智能工厂、智能产线、工业控制与监测控制、工业物联、工业资产管理与安全,实现产品的智能制造,推动了产业的智能升级。

在医疗健康领域,可借助安全可靠的 5G 高速网络,积极尝试智慧移动医疗服务,从辅助智慧院前到院内智能运维,以及远程院间协同,全流程赋能医疗向无线化、远程化、智能化发展。借助 5G 网络,使远程监测护理、远程诊断与指导,甚至远程控制等医疗应用成为可能,可进一步推进医疗资源实时共享,缓解地区经济发展不均、交通条件受限等问题带来的医疗困境。5G 技术在医疗领域的大规模应用正在一步步地实现^[9]。

面向空中服务,5G 引入了前

置导频、迷你帧结构、上下行免调度等机制,极大地降低了空口的数据传输时延^[10]。5G 解决了传输带宽限制,实现高效传输和实时计算,促使无人机向无人化、智能化和自动化转变,从而在安防、能源、环保、交通等领域输出应用解决方案,涉及地空通信、飞行服务、数据处理,管线巡线、水域检测、农林植保、森林防火等应用场景。

3.2 5G 网联无人机

3.2.1 无人机产业背景介绍

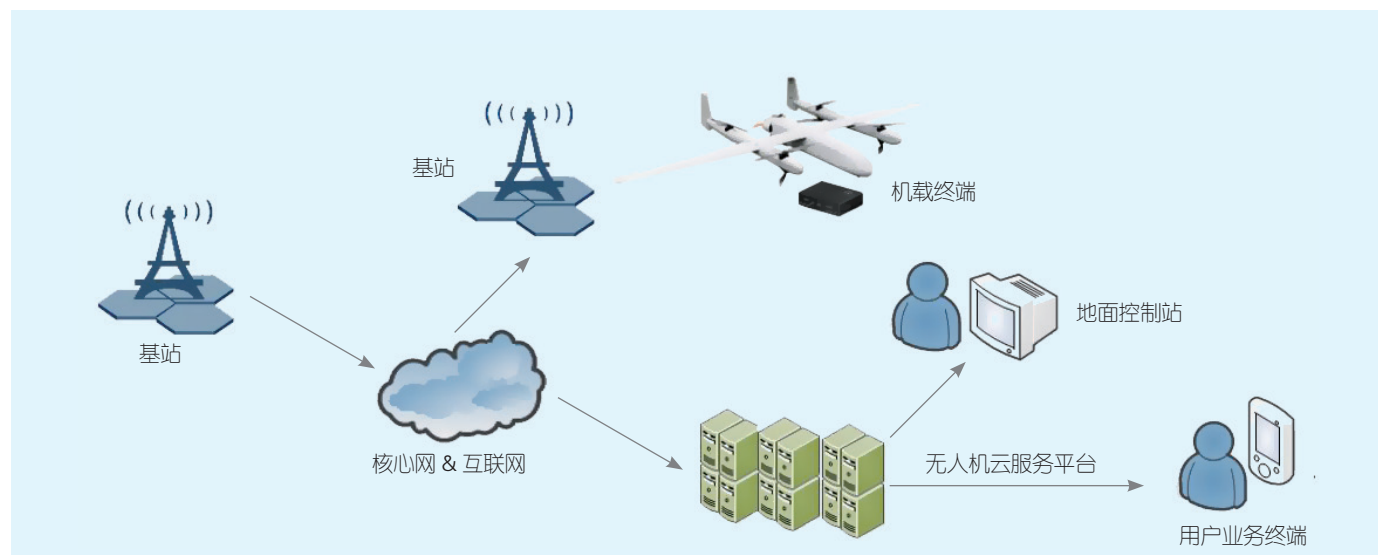
无人机不仅是一种交通方式,在各行业领域应用广泛,更是催生了“无人机+”的新兴产业模式。无人机农林植保、物流运输、管线巡检、江河巡视、公共安全将随处可见,对第一、二、三产业诸多领域产生深远影响,基础电信运营商都在积极拓展产业互联网市场。工业无人机应用市场作为产业互联网市场的重要组成部分,拥有巨大的

商业机会。目前各大电信运营商均正在其中积极探索与布局,力争占领先发优势。

5G 与无人机创新业务的融合,将有利于两者共同发展。5G 凭借自身特性,可将无人机核心的测控及数据传输服务提升到全新的高度,并有助于无人机创新业务向垂直行业和特定场景进行渗透。相应地,无人机创新业务必将成为 5G 技术应用的重要分支。

3.2.2 网联无人机技术体系

网联无人机也称为网络化无人机或物联网无人机,即利用现有移动通信网络或专用移动通信网络,替代传统的点对点测控链路,为无人机飞行提供测控通道,为业务应用提供实时的数据回传通道。网联无人机是一种不受距离限制的广域无人机应用模式,必须具备机载移动通信终端、移动通信网络、无人机云服务平台、地面控制站和业务终端 5 部分。网联无人机具体



▲ 图 4 网联无人机技术架构

的架构如图 4 所示。

3.2.3 网联无人机对 4G/5G 网络的要求

(1) 对网络速率的要求。

由于无人机应用的特殊性，相比于普通移动通信终端，无人机主要对网络上行速率提出较高的要求。网联无人机通过上行链路来向地面控制站实时传送视频图像或其他红外雷达数据，该链路传输速率一般为 8 Mbit/s（高清 1 080 p 视频）和 30 Mbit/s（4K 超高清视频）。

网联无人机测控系统为无人

机提供遥控遥测服务，通过上下行链路来实时控制无人机的飞行，并向地面控制站实时报告飞行的状态参数，该链路的一般传输速率为 64~115 kbit/s。网联无人机测控系统如图 5 所示。

(2) 对网络覆盖的要求。

无人机的工作高度一般可以达到 100~3 000 m，如果地面移动通信 4G/5G 网络不能满足覆盖的要求，需要根据工作高度要求，完成必要的对空专网覆盖。网联无人机对网络覆盖要求如图 6 所示。

(3) 对网络时延的要求。

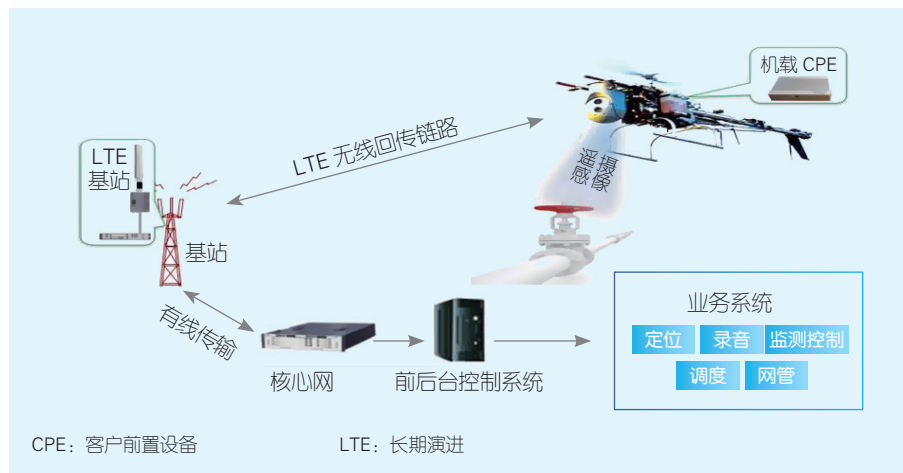
5G 空口时延相比于 4G 有了较大的降低，同时无人机平台的端到端时延也可以大幅度降低。如果加入移动边缘计算技术，无人机云平台时延会进一步降低。网联无人机对时延最低要求是 20 ms，对于遥控遥测延时一般建议 200 ms 以内。网联无人机对网络覆盖要求如图 7 所示。

3.2.4 网联无人机对 4G/5G 核心网的要求

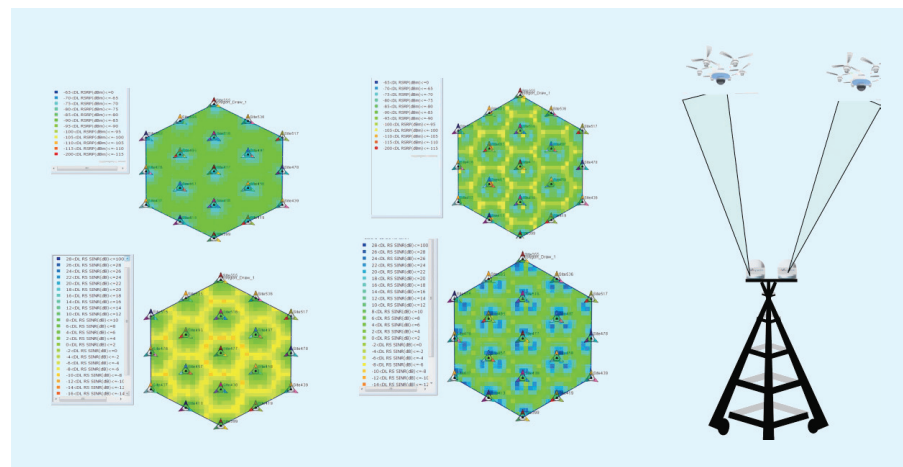
为便于对网联无人机终端管理，更加有效利用 5G 网络对无人机进行控制，也区别于普通地面终端的应用策略，需要为网联无人机建立专用的核心网。5G 核心网切片正适应了这一发展要求，通过建立专用的逻辑网络的网络切片技术，在逻辑上实现网联无人机与地面终端的业务和无线策略区分。进一步地，可以细化无人机网络切片，区分不同应用行业的无人机 UE，以及使用不同切片分别保障控制数据和业务数据业务。此外，5G 可以实现更细颗粒度的服务质量保障，保证网联无人机通信不同的数据类型得到相应的最佳承载，对于视频流和控制流的承载，设置不同的优先级，保证通信的可靠性。

3.2.5 网联无人机对无人机云平台的要求

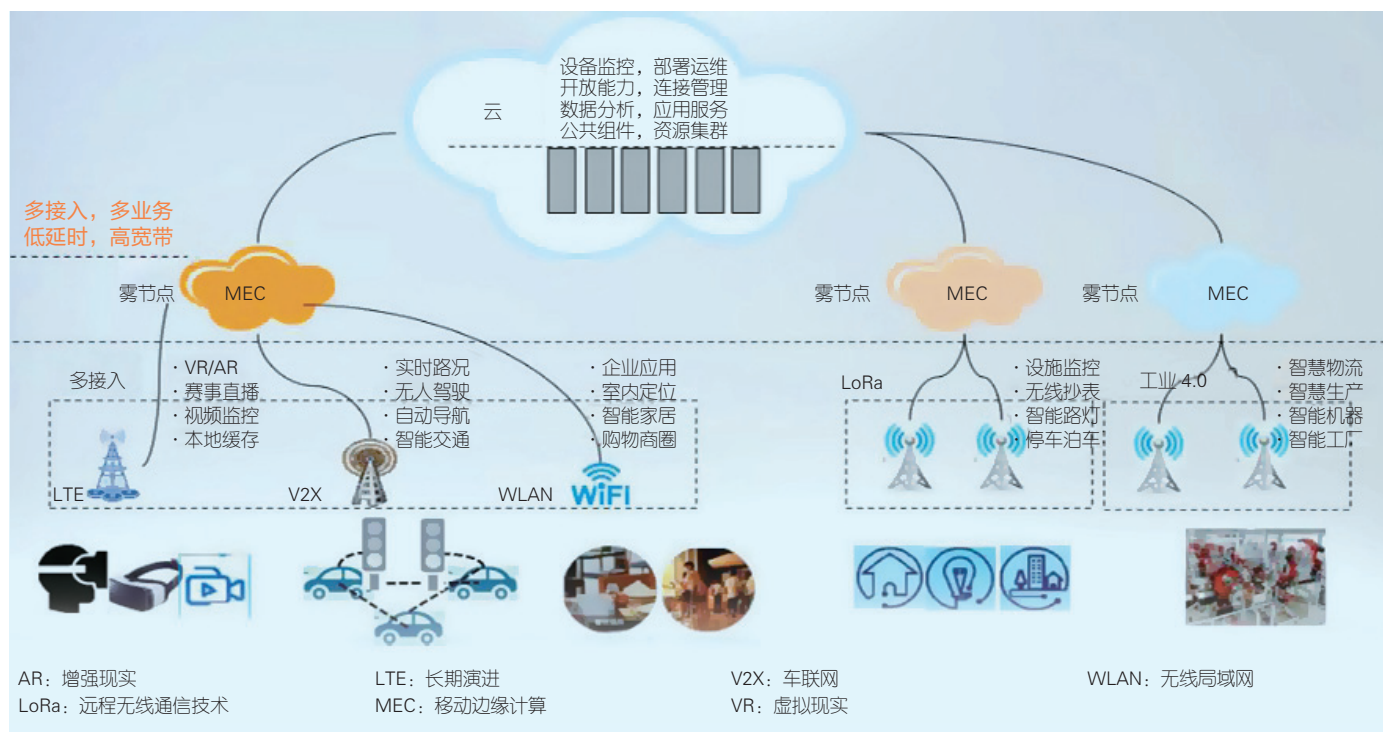
无人机飞行后会产生大量的飞行数据，包括遥测数据和载荷数据。行业应用的不同对数据的处理要求也有不同，有实时处理需求也有离线非实时处理需求，需要由统



▲ 图 5 网联无人机技术架构



▲ 图 6 网联无人机对网络覆盖要求



▲ 图 7 网联无人机技术架构

一的无人机数据云平台进行管理。无人机云平台应包括基础功能和增值业务功能 2 部分：基础业务功能包括飞行任务申请、飞行监测控制管理、飞行服务审核、视频数据存储等；增值业务服务功能包括飞行安全服务、健康分析服务、飞行保险服务、空域代理服务以及数据增值处理服务等。

3.2.6 网联无人机对机载终端的要求

机载终端是网联无人机的端到端核心产品，应包括设计图传和数传的通信协议设计，完成与地面移动通信网络体制的适配以及与飞行控制系统的适配；实现多链路接入调度、载荷智能控制、遥控遥测数据传输、视频叠加、编码和压缩、高精度定位要求；实现机载终端人工智能（AI）前端算法的能力、合

作目标认证、数据传输加密、影像和视频的前置预处理等功能。此外，在机载终端的重量、尺寸、发射功率、空中电磁兼容、航空飞行稳定性等方面也要满足要求。

3.3 网联无人机解决方案

网联无人机云平台实现了无人机中远距离飞行测控、多机协同智能化调度、身份识别综合管控、规划审批飞行计划、数据采集存储、实时分发、智能分析等服务，具体如图 8 所示。

当无人机搭载专用任务计算机执行定制化飞行任务时，通过 4G/5G 网络支撑无人机与平台实时互联，保证飞控指令、遥测参数、业务数据安全可靠传输。同时，平台侧根据用户需求对各类数据进行存储、分发以及处理，用户可利用

多种客户端实时查看数据，并从平台获取测绘建模、智能分析等数据产品。

网联无人机云平台作为物联网、云计算、大数据和人工智能的综合载体，提供包含存储、分发与处理的一站式数据服务，主要包括遥测及影像数据的存储，视频直播、点播、组播，各类地理信息建模，目标识别、变化检测等智能分析服务。

4 结束语

5G 不仅提升个人移动终端的传输速率，同时也将推动人们生产生活中的技术升级与变革：5G 将驱动移动互联网向产业互联网升级，重塑行业应用场景及业务形态，推动社会数字化演进。透过一系列的行业应用与案例分析发现，5G



▲ 图 8 网络无人机云平台架构

核心技术叠加灵活、弹性、开放的网络架构为全社会全行业提供数字化转型的动力。未来将出现数以万计的 5G 行业应用，具体的场景将由 5G 基本场景叠加其他领域通用技术，与垂直行业中的具体应用场景相结合形成具体的 5G 行业应用。

随着 5G 移动通信技术的日趋成熟，信息互联将进入崭新的时代。5G 技术将增强网络带宽，大幅提高海量物联，提供高可靠低时延的连接保障。同时也将促进通信网、互联网、物联网的深度融合，使人与人、物与物、人与物之间能够更为便捷、快速、广泛的连接与交互。功能的丰富、性能的增强势必提升网络规划建设与维护优化的复杂程度；因此如何研发设计通信架构，灵活调度网络资源，合理规划网络

建设，维护优化网络性能，以应对不同场景对网络差异的需求，是电信行业正在积极探索，且也面对竞争的技术课题。

作为万物智慧互联时代的建设者，电信行业正踏入升级转型之路，由互联互通管理者的角色向智联服务的供给者迈进。运营商将充分利用 5G 网络的优势，不断提升智慧互联的各类功能，以创新实践、多方协作的姿态，共同建设信息融合的智能产业环境生态。

参考文献

- [1] 张长青. 浅析 5G 技术对工业互联网应用的影响[J]. 邮电设计技术, 2017(6):41-46
- [2] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 15); V2.0.1; 3GPP TS 23.501[S]. 2017
- [3] 3GPP. Technical Specification Group Services

and System Aspects; Procedures for the 5G System; Stage 2 (Release 15); V2.0.0; 3GPP TS 23.502[S]. 2017

- [4] 黄宗伟. 5G 通信技术应用场景及关键技术[J]. 电子技术与软件工程, 2019(15):19-20
- [5] 段超. 5G 若干关键技术研究[J]. 电子世界, 2019(15):108
- [6] 石丽梅, 朱又敏, 郑颖, 等. 基于移动通信技术的 5G 时代核心网架构研究[J]. 无线互联科技, 2019,16(12):7-8
- [7] 赵丽. 基于 5G 关键技术的应用场景及发展研究[J]. 无线互联科技, 2019,16(12):139-140
- [8] 林伟宏. 5G 技术对工业互联网应用的影响[J]. 电子测试, 2018, (9):117+116
- [9] 沈飞, 杨林玉, 方剑, 等. 5G 技术在医疗领域的应用探索[J]. 通信企业管理, 2019(08):31-33
- [10] 陈佳佳. 基于 5G 的无人机系统在公共安全领域的应用浅析[C] //2019 年全国公共安全通信学术研讨会优秀论文集. 中国通信学会, 2019

作者简介



严斌峰, 中国联通研究院技术委员会主任、终端与智能卡研究中心经理; 研究领域为信息通信技术, 长期从事电信网络、移动互联网业务、终端与智能卡等方向的技术、标准、规划、产品等研发与管理工作。



袁晓静, 中国联通研究院高级工程师; 主要从事移动通信、终端与智能卡、终端智库等领域的技术研究工作。



胡博, 中国联通研究院高级工程师; 研究领域为移动通信技术, 长期从事移动网络、终端与智能卡、应用等领域的技术研发、标准研究工作。