



信息通信领域产学研合作特色期刊 | 十佳皖刊  
第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN

# 中兴通讯技术

## ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

<http://tech.zte.com.cn>

2019 年 12 月 · 第 6 期

**专题：5G 通信系统示范应用**



# 《中兴通讯技术》第8届编辑委员会成员名单

**顾问** 侯为贵（中兴通讯股份有限公司创始人） | 钟义信（北京邮电大学教授） | 陈锡生（南京邮电大学教授）

**主任** 陆建华（中国科学院院士）

**副主任** 徐子阳（中兴通讯股份有限公司总裁） | 糜正琨（南京邮电大学教授）

## 编委（按姓名拼音排序）

- |     |                 |     |                     |
|-----|-----------------|-----|---------------------|
| 陈建平 | 上海交通大学教授        | 唐雄燕 | 中国联通网络技术研究院首席科学家    |
| 陈前斌 | 重庆邮电大学教授、副校长    | 陶小峰 | 北京邮电大学教授            |
| 葛建华 | 西安电子科技大学教授      | 王文博 | 北京邮电大学教授、副校长        |
| 管海兵 | 上海交通大学教授        | 王文东 | 北京邮电大学教授            |
| 郭庆  | 哈尔滨工业大学教授       | 王喜瑜 | 中兴通讯股份有限公司执行副总裁     |
| 洪波  | 中兴发展股份有限公司总裁    | 王翔  | 中兴通讯股份有限公司高级副总裁     |
| 洪伟  | 东南大学教授          | 卫国  | 中国科学技术大学教授          |
| 黄宇红 | 中国移动研究院副院长      | 吴春明 | 浙江大学教授              |
| 纪越峰 | 北京邮电大学教授        | 邬贺铨 | 中国工程院院士             |
| 江涛  | 华中科技大学教授        | 肖甫  | 南京邮电大学教授            |
| 蒋林涛 | 中国信息通信研究院科技委主任  | 解冲锋 | 中国电信新兴信息技术研究所总工程师   |
| 李尔平 | 浙江大学教授          | 徐安士 | 北京大学教授              |
| 李红滨 | 北京大学教授          | 徐子阳 | 中兴通讯股份有限公司总裁        |
| 李厚强 | 中国科学技术大学教授      | 续合元 | 中国信息通信研究院副总工        |
| 李建东 | 合肥工业大学教授、副校长    | 薛向阳 | 复旦大学教授              |
| 李军  | 清华大学教授          | 薛一波 | 清华大学教授              |
| 李乐民 | 中国工程院院士         | 杨义先 | 北京邮电大学教授            |
| 李融林 | 华南理工大学教授        | 杨震  | 原南京邮电大学教授、校长        |
| 李少谦 | 电子科技大学教授        | 叶茂  | 电子科技大学教授            |
| 林晓东 | 中兴通讯股份有限公司副总裁   | 易芝玲 | 中国移动研究院首席科学家        |
| 刘健  | 中兴通讯股份有限公司高级副总裁 | 张宏科 | 北京交通大学教授            |
| 刘建伟 | 北京航空航天大学教授      | 张平  | 中国工程院院士             |
| 陆建华 | 中国科学院院士         | 张卫  | 复旦大学教授              |
| 马建国 | 广东工业大学教授        | 张云勇 | 中国联通研究院院长           |
| 孟洛明 | 北京邮电大学教授        | 赵慧玲 | 工业和信息化部科技委信息网络专家组组长 |
| 糜正琨 | 南京邮电大学教授        | 郑纬民 | 中国工程院院士             |
| 任品毅 | 西安交通大学教授        | 钟章队 | 北京交通大学教授            |
| 石光明 | 西安电子科技大学教授、副校长  | 周亮  | 南京邮电大学教授            |
| 孙知信 | 南京邮电大学教授        | 朱近康 | 中国科学技术大学教授          |
| 谈振辉 | 北京交通大学教授        | 祝宁华 | 中国科学院半导体研究所副所长      |

# 目次

中兴通讯技术 (ZHONGXING TONGXUN JISHU)  
总第 149 期 第 25 卷 第 6 期(卷终) 2019 年 12 月

## 专题: 5G 通信系统示范应用

5G 商用起步, 融合应用蓬勃兴起 **02**  
李珊, 张春明, 汪卫国

网络切片在 5G 无线接入侧的动态实现和发展趋势 **08**  
杨立, 李大鹏

5G-NR 基站软节能技术 **19**  
黄俊, 田森, 张诗壮

端到端网络切片赋能 5G+ 超高清媒体行业 **24**  
孙晓文, 陆璐

5G 在能源互联网应用的分析和思考 **29**  
夏旭, 朱雪田

5G 技术发展与行业应用探讨 **34**  
严斌峰, 袁晓静, 胡博

**42** 智能高铁中的 5G 技术及应用  
艾渤, 马国玉, 钟章队

**48** 传媒变革: 5G 对媒体的基本影响  
赵子忠, 张坤

## 专家论坛

**55** 6G 愿景: 统一网络赋能智慧城市群  
王海明

**59** 关于人工智能对用户 QoE 提升的若干思考  
高赞, 魏昕, 周亮

## 企业视界

**65** 移动边缘计算规模部署的技术制约因素和对策  
熊先奎, 段向阳, 王卫斌

## 综合信息

**I** 《中兴通讯技术》第 25 卷总目次

**II** 《中兴通讯技术》2020 年专题计划

## 2019 年第 1—6 期专题计划及策划人

### 1. 5G 商用支撑理论及关键技术

中兴通讯股份有限公司执行副总裁 王喜瑜  
中兴通讯股份有限公司首席科学家 向际鹰

### 3. 边缘计算技术及其应用

中国工程院院士 郑纬民  
佐治亚州立大学教授 潘毅  
韦恩州立大学教授 施魏松

### 5. 新型光互连与光接入技术

北京大学教授 李红滨  
北京大学副教授 杨川川

### 2. 云网一体化技术

中国联通网络技术研究院首席科学家 唐雄燕

### 4. 5G 通信安全技术

清华大学教授 李军

### 6. 5G 通信系统示范应用

中国信息通信研究院科技委主任 蒋林涛

# CONTENTS

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 25 No. 6 Dec. 2019

## Special Topic:

### 5G Communication System Demonstration and Application

5G Commercial and Its Fusion Applications **02**  
LI Shan, ZHANG Chunming, WANG Weiguo

Realization and Trend of Network Slicing in 5G NG-RAN **08**  
YANG Li, LI Dapeng

Soft Power Saving of 5G-NR Base Station **19**  
HUANG Jun, TIAN Sen, ZHANG Shizhuang

End-to-End Network Slicing Enables 5G+ Ultra HD Media Industry **24**  
SUN Xiaowen, LU Lu

5G Application in Energy Internet **29**  
XIA Xu, ZHU Xuettian

5G Technology Development and Industry Application **34**  
YAN Binfeng, YUAN Xiaojing, HU Bo

**42** 5G Technologies and Applications in High-Speed Railway  
AI Bo, MA Guoyu, ZHONG Zhangdui

**48** Media Revolution: Impact of 5G on Media  
ZHAO Zizhong, ZHANG Kun

## Expert Forum

**55** 6G Vision: Unified Network Enabling Intelligent Megalopolis  
WANG Haiming

**59** QoE Improvement Issues Based on Artificial Intelligence  
GAO Yun, WEI Xin, ZHOU Liang

## Enterprise View

**65** Technique Constraints and Countermeasures in Large-Scale MEC Deployment Progress  
XIONG Xiankui, DUAN Xiangyang, WANG Weibin

期刊基本参数: CN 34-1228/TN\*1995\*b\*16\*72\*zh\*P\* ¥ 20.00\*15000\*11\*2019-12

## 敬告读者

本刊享有所发表文章的版权, 包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权, 所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。未经本刊许可, 不得以任何形式全文转载本刊内容; 如部分引用本刊内容, 须注明该内容出自本刊。

# 专题：5G 通信系统示范应用

专题策划人 蒋林涛



中国信息通信研究院科技委主任，工业和信息化部通信科技委常委，原信息产业部电信研究院总工程师，IP 与多媒体标准技术工作委员会主席；长期从事多媒体技术、数据通信网、IP 网络技术的基础研究和系统开发工作；曾获邮电部科学技术进步奖、国家科学技术进步奖、中国通信标准化协会技术奖等奖项，1992 年起获国务院颁发的政府特殊津贴，1996 年获“中华人民共和国有突出贡献的中青年科学技术专家”称号。

## 内容导读

全球 5G 进入商用部署的关键阶段。数据显示截至 2019 年 7 月，全球共有 19 个国家 / 地区的 31 家运营商开始商用 5G。5G 旨在更高效地统一支持增强移动宽带、海量机器类通信、高可靠低时延通信 3 大类的移动业务，涉及到不同行业和领域。本专题共由 8 篇文章组成。

《5G 商用起步，融合应用蓬勃兴起》是一篇综述文章，该文指出 5G 应用包括智慧化生活、数字化治理、产业数字化 3 大方向，4K/8K 高清视频、无人机 / 车 / 船、机器人是其 4 大基础应用。5G 发展初期以 4G 增强型业务为主，中后期将出现更多创新性应用。

《网络切片在 5G 无线接入侧的动态实现和发展趋势》指出网络切片功能是未来 5G 蜂窝网的核心功能，它使得传统运营商能挖掘、利用 5G 蜂窝网的各种资源和能力，开拓新的商业模式，增加业务营收。该文系统叙述了网络切片相关技术发展缘由和各自优缺点。

《5G-NR 基站软节能技术》认为新空口基站的节能是运营商需要重点考虑的问题。软节能的主要技术包括单小区节能和多小区联合节能，这些技术包含符号关断、时隙关断等功能。基于大数据人工智能节能技术在复杂组网场景中的应用将会有效地降低网络维护的压力。

《端到端网络切片赋能 5G+ 超高清媒体行业》从网络切片的使能方案、应用示范和技术演进 3 个方面，对网络切片赋能超高清媒体应用展开了深入分析，指出端到端网络切片技术可以为不同的行业、应用提供按需、定制、差异化服务。

《5G 在能源互联网应用的分析和思考》指出能源互联网将是 5G 技术落地的重要应用领域之一。针对以

能源电力行业为代表的 5G 能源互联网，5G 网络的技术指标和架构设计需要进一步量化，以提供创新的解决方案。

《5G 技术发展与行业应用探讨》分析了当前全球 5G 技术的发展现状以及标准化工作进展，研究了 5G 关键技术，探讨了 5G 对行业的影响，还讨论了 5G 技术对无人机发展的影响。

《智能高铁中的 5G 技术及应用》介绍了面向智能高铁的 5G 场景及业务需求，研究了适用于智能高速铁路的大规模天线、超可靠低时延、大规模接入等 5G 关键技术，并给出了智能高铁中的 3 种 5G 应用案例。

《传媒变革：5G 对媒体的基本影响》指出随着 5G 移动网络通信技术的商业化推进，5G 在人与人、人与物、物与物之间建立起无缝链接，达到“万物互联、万物皆媒”的信息服务。5G 不仅满足人们对移动网络速度渐进提升的要求，其超带宽、低时延和大连接可以推动终端、平台、信息内容及形态的创新，使信息流通的各个流程和环节适应于 5G 技术标准，全面提升信息承载能力。

未来 5G 发展需要打造高质量 5G 网络，加强网络和应用的匹配性研究，创新体制和机制，吸引全社会各行业各领域参与 5G 应用创新，打通产业链、资金链、创新链，建立贯通端、管、云、边、用各环节的、完备的 5G 产业生态体系，加快 5G 融合应用的成熟，促进产业生态建设。

蒋林涛

2019 年 12 月 15 日

# 5G 商用起步， 融合应用蓬勃兴起

## 5G Commercial and Its Fusion Applications

李珊 /LI Shan, 张春明 /ZHANG Chunming, 汪卫国 /WANG Weiguo

(中国信息通信研究院, 北京 100037)

(China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100037, China)



**摘要:** 相对于 4G 手机, 5G 手机研发难度更高; 但由于智能手机产业日益成熟, 其发展超预期。从应用方向上看, 5G 应用包括智慧化生活、数字化治理、产业数字化 3 大方向, 4K/8K 高清视频、虚拟现实 (VR) / 增强现实 (AR)、无人机 / 车联网 / 船、机器人是其 4 大基础应用。5G 还可以应用到工业、医疗、教育、安防等行业领域, 并将产生 X 类创新型应用。5G 发展初期以 4G 增强型业务为主, 中后期将出现更多创新性应用。

**关键词:** 5G; 5G 应用; VR/AR; 车联网

**Abstract:** Although 5G mobile phone is more difficult to research and develop than 4G mobile phone, its development exceeds expectations because of the growing maturity of the smartphone industry. 5G applications include three directions: smart life, digital industry and digital governance, and 4K/8K video, virtual reality (VR)/augmented reality (AR), drone/Internet of Vehicles (IoV)/ship and robot are four basic applications. 5G can also be applied in industry, medical, education, security and other vertical industries, and generate X kinds applications. In the early stage of 5G development, 4G enhanced services will be the primary applications, and more innovative applications will come out in the middle and late stages.

**Keywords:** 5G; 5G applications; VR/AR; IoV

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906001

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191219.0928.002.html>

网络出版日期: 2019-12-19

收稿日期: 2019-10-13

## 1 5G 加速商用

### 1.1 全球 5G 网络建设加快

**全**球 5G 进入商用部署的关键阶段。根据中国信息通信研究院的跟踪统计: 截至 2019 年 9 月 30 日, 全球 28 个国家 / 地区的 47 家运营商开始商用 5G; 另有 47 个国家 / 地区的 65 家运营商明确了 5G 商用时间表, 其中 19 个国家 / 地区的 23 家运营商计划 2019 年商用, 预计到 2019 年底提供 5G

商用的运营商有望超过 70 家。全球 5G 试验范围不断扩大, 共有 90 个国家 / 地区的 232 家运营商完成或正在进行 5G 试验, 194 个试验结果表明了所使用的频谱 (部分试验涉及多个频段): 118 个 5G 试验使用 sub-6 GHz, 67 个 5G 试验使用毫米波频段; 最常使用的试验频段为 3.5 GHz 和 28 GHz, 68 个 5G 试验在 3.5 GHz 上开展, 41 个 5G 试验在 28 GHz 上开展<sup>[1]</sup>。

目前大多数运营商选择非独

立组网 (NSA) 方式。该方式主要面向增强移动宽带场景, 以提升用户速率和网络容量为目标。由于独立组网 (SA) 的标准比 NSA 冻结晚, 且架构复杂度高, 实施难度大, 中国运营商正在对 SA 进行测试。在 5G 建网初期, 运营商一般采用 NSA 方式, 实现小规模商用, 同时大力推进 SA 方式的使用, 后续将以 SA 为目标加快 5G 商用网络部署。

中国 3 大运营商已于 2019 年

10月31日正式宣布启动5G商用。截至9月底,3大运营商在全国范围内已开通5G基站8.6万个,其中广东、北京、上海、浙江等省/直辖市的5G基站数量已经超过1万个,北京、上海、广州、深圳等一线城市在城区实现了5G网络连片覆盖。预计到2019年底,全中国开通的5G基站数量可以达到13万个。

## 1.2 5G 智能手机快速成熟

与4G相比,5G芯片的设计、研发、制造难度更高。一是为了保证后向兼容,5G芯片需要同时支持2G/3G/4G网络,以及中低频段和毫米波频段,支持的模式数和频段数更多,芯片的设计难度更高;二是5G要支持更大带宽、更高的数据传输速率,对终端芯片的高速并行处理能力的要求大幅提升;三是为满足5G高速率、低功耗要求,需要采用7nm或10nm等更加先进的半导体制程工艺进行流片。

由于智能手机产业日益成熟,5G智能手机的发展要快于预期。高通、海思等终端芯片企业于2019年第1季度发布了商用版本芯片;基于这些芯片产品的第一批5G旗舰手机在2019年年中或下半年上市,更多的5G手机将于2020年规模上市,并在未来1~2年内价格逐渐下降;2020年有望推出千元机,这将会使越来越多的普通用户逐步用上5G手机。根据全球移动供应商协会(GSA)统计,截至2019年6月底,全球39家厂商共公布90款5G终端(不含地区限

定、原型机等),其中手机25款,客户前置设备(CPE)23款,5G模块23款。从品牌来看,发布的终端有3/4集中在中国和韩国。根据中国信息通信研究院统计,截至2019年9月,中国5G手机为18款,5G手机的出货量已经达到了78.7万部<sup>[2]</sup>。

## 1.3 全球 5G 发展超预期

5G初期,其发展速度超出预期。从商用网络部署速度、基站出货量、终端款式等方面看,5G发展初期要比4G发展速度快。商用后第1年内,4G商用网络共有16个,5G商用网络预计达到70个;5G基站出货量将是4G的29倍以上;从标准冻结到商用且终端发布数达到100款,4G用时2年,5G用时仅1年。根据全球移动通信系统协会(GSMA)数据显示,截至2019第3季度,全球5G用户数为477万。其中,韩国用户超过300万,占据大部分市场份额。此外,5G用户流量也远高于4G,到2019年8月,韩国5G用户人均每月使用流量(DOU)为25.2GB,是4G用户DOU的2.58倍。LG U+的5G用户的日均数据使用量为1.3GB,是4G用户的3倍左右;在5G用户数据量中,增强现实(AR)、虚拟现实(VR)内容比重超过2成。不过全球5G发展尚处于早期阶段,运营商网络覆盖有限,同时缺乏与5G技术匹配的内容和应用,且手机终端价格相对昂贵。

美国4大移动运营商全部商用5G,Verizon、AT&T和T-Mobile

均使用毫米波频段,Sprint使用中频频段。4家运营商覆盖城市重合度高;但覆盖范围非常有限,提供的均为增强移动宽带(eMBB)业务,且大部分主要提供替代光纤的5G固定接入服务。

欧洲运营商加速5G商用步伐。以英国沃达丰为例,5G已经覆盖了伦敦、加的夫、曼彻斯特、利物浦、格拉斯哥、布里斯托和伯明翰7个城市,提供三星Galaxy S10 5G或小米Mix 3终端。在资费方面,5G主要是基于速率定价,不限流量套餐,承诺“提速不提价,加量不加价”,入门级不限量套餐,月费23英镑(约29美元),计划于2019年底商用范围扩大到19个城市。

## 2 5G 融合应用体系与发展

### 2.1 5G 融合应用体系

5G融合应用体系包括3大应用方向、4大通用应用和X类行业应用。随着商用进程的全面开启和网络建设加速推进,5G与垂直行业的融合应用成为未来发展的关键所在。2019年,中国5G应用在广度、深度、技术的创新性等方面都有一定的进步。各地方、各行业5G创新应用百花齐放,一些应用逐渐从单一化业务探索、试点示范阶段进入体系化应用场景、复制推广阶段。从应用方向上看,5G应用包括产业数字化、智慧化生活、数字化治理3大方向;5G通用应用(即未来可能应用于各行业各种5G场景的应用)包括4K/8K超高清视频、VR/AR、无人机/车/船、机器人

4 大类; 5G 还可以应用到工业、医疗、教育、安防等领域, 将产生 X 类创新型行业应用, 具体见图 1。

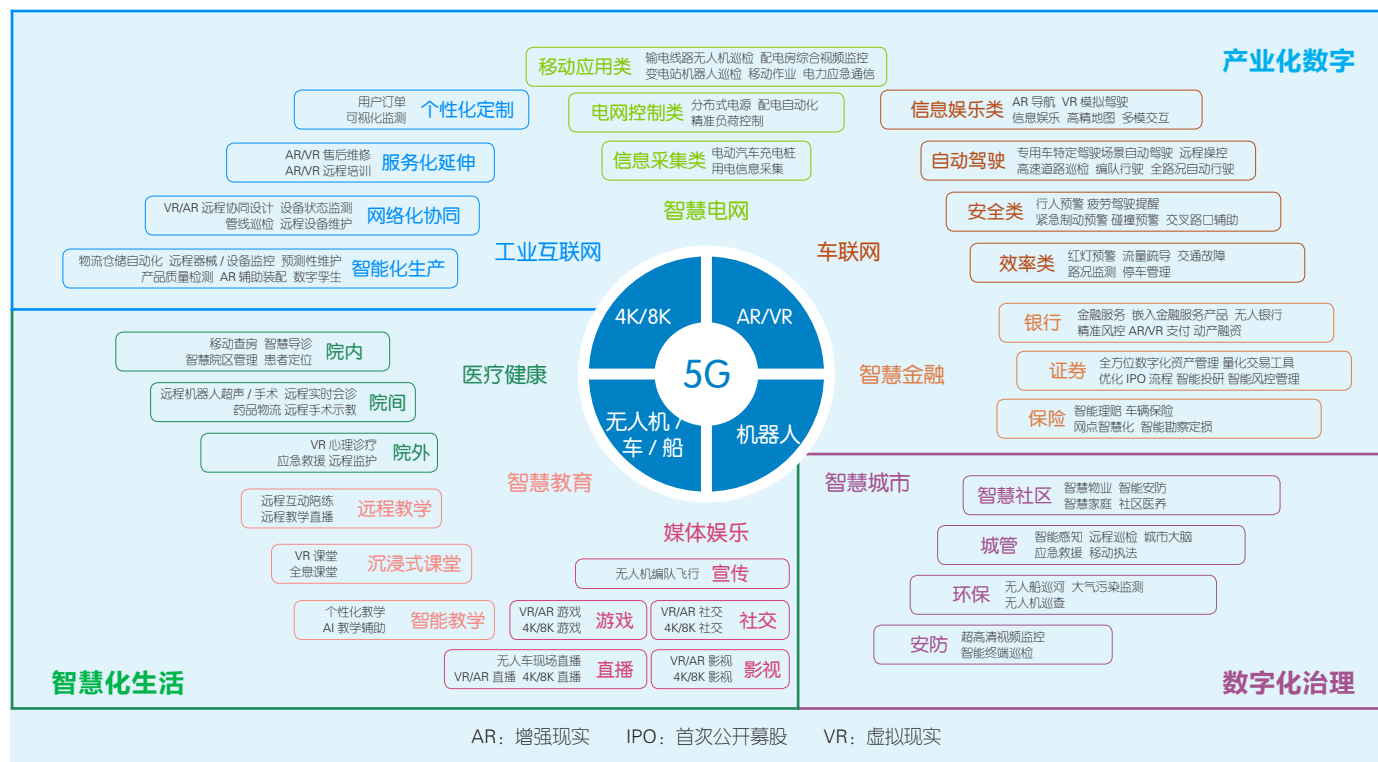
5G 融合应用体系包括产业数字化、智慧化生活、数字化治理 3 大方向。在智慧化生活方面, 5G 不仅支持 4K/8K 超高清视频、VR/AR、云游戏等文体娱乐业务, 提供“不卡不顿不转圈”的观影体验和“身临其境”的沉浸式体验, 还带来智能家居、云桌面等新的生活方式; 在数字化治理方面, 5G 通过给城市管理、照明、抄表、停车、公共安全与应急处置等行业带来新型智慧应用, 提升社会治理能力和效率; 在产业数字化方面, 5G 与工业、医疗、交通、金融、教育等行业融合发展, 融入到研发、生产、管理、服务等环节, 可满足人、物、

机器等各种要素之间的全连接, 实现泛在深度互联以及个性化定制, 并通过重塑传统产业发展模式, 使行业变得更加数字化、网络化、智能化。

5G 融合应用体系包括 4K/8K 超高清视频、VR/AR、无人机/车/船、机器人 4 大类通用应用。在能力增强方面, 5G 可支持未来视频图像分辨率向 4K/8K 演进, 推动视频采编传播等多环节变革; 5G 云 VR/AR 借助云端渲染能力, 在降低对终端硬件要求的同时提升沉浸体验; 5G 为网联无人机/车/船赋予实时超高清图传、远程低时延控制、永远在线等重要能力, 提升运行效率; 5G + 机器人云端大脑通过共享计算、存储、数据和智能, 可降低成本, 助力机器人规模化部署。

从应用范围来看, 该 4 类应用正逐步成为各个行业应用的重要组件, 如 4K/8K 超高清视频广泛应用于赛事直播、工业检测、远程医疗会诊、安防等领域, VR/AR 支持游戏、教育、培训、影视、金融、医疗等领域创新型应用, 无人机/车/船、机器人扩大了工业、交通、医疗、环保、安防、物流等行业的服务范围, 提高了智能化水平。

5G 融合应用体系包括工业互联网、医疗健康、智能电网、智慧金融、智慧城市等 X 类创新型应用。一方面, 5G 应用与各个领域融合都将产生新的应用场景, 包括支持 5G 远程工业控制、质量监测、环境监测等业务, 渗透到输电线路巡检、变电设备及环境监测、用电信息采集等电力各个环节, 支持远程



▲ 图 1 5G 融合应用体系

手术、移动查房、应急救援等医疗应用, 优化和创新现有的金融服务模式及体验, 实现精细化城市管理和移动安防巡检、生态环境监测等。另一方面, 5G 将与其他新一代信息技术深度融合, 创造并发挥巨大的价值。由于 5G 大带宽和低时延特性, 很多业务场景将由本地转向云端, 数据采集量急剧增长。基于大数据分析和机器学习, 将促进人工智能加速发展, 给新产品、新业务、新模式带来无限想象空间。

## 2.2 全球 5G 应用发展态势

全球 5G 应用整体处于初期阶段。根据中国信息通信研究院监测, 截至 2019 年 9 月 30 日, 全球 135 家运营商共进行或即将进行的 5G 应用试验达到 391 项。VR/AR、4K/8K 超高清视频传输、固定无线接入是试验最多的 3 类应用。在行业应用中, 工业互联网、车联网、物联网受到广泛关注。整体来看, 全球 5G 应用整体处于初期阶段, 现阶段主要应用场景是增强型移动宽带业务, 行业融合应用仍在验证和示范中。

美国家庭宽带成为 5G 应用主要业务之一。美国 4 大移动运营商全部商用 5G, 在若干个重点城市推出服务, 并相继推出 5G 固定无线接入的服务; 在工业互联网方面, AT&T 正在探索基于 4K 视频的安全监测、VR/AR 员工培训及定位服务。与此同时, 美国也在尝试将 5G 与 VR/AR 用于医疗领域, 帮助临终患者减少慢性疼痛和焦虑等。美国联邦通信委员会 (FCC) 通过

采取一些举措促进 5G 技术向精准农业、远程医疗、智能交通等方面的创新步伐, 如设立 204 亿美元的“乡村数字机遇基金”等。

欧盟 5G 应用涵盖工业互联网及其他多种应用场景。欧盟于 2018 年 4 月成立工业互联与自动化 5G 联盟 (5G-ACIA), 旨在推动 5G 在工业生产领域的落地。欧盟 5G 应用试验涉及工业、农业、VR/AR、高清视频、智慧城市、港口等多场景。英国伍斯特郡 5G 工厂探索使用 5G 进行预防性维护、远程维修指导等应用; 德国电信在汉堡港的船舶上安装了 5G 传感器以支持实时传输行驶轨迹和环境数据, 还将交通灯接入 5G 网络, 远程控制交通流量。

韩国出台 5G 战略, 引领 5G 用户发展。韩国“5G+”战略选定 5 项核心服务和 10 大 5G+ 战略产业, 其中 5 项核心服务是: 沉浸式内容、智慧工厂、无人驾驶汽车、智慧城市、数字健康。在商用进展方面, 韩国运营商针对 VR/AR、游戏推出基于 5G 的内容和平台活动。韩国运营商已经在多个领域开展 5G 应用展示与试点, 如 SK Telecom 的 5G 工厂解决方案包括多功能协作机器人、智能生产设备、小型自动驾驶机器人、扩增实境以及 5G+AI 的机器视觉, LG U+ 和汉阳大学的汽车控制与电子实验室 (ACE 实验室) 展示了使用 5G 连接的自动驾驶汽车。

## 2.3 中国 5G 应用发展情况

中国举办 5G 应用大赛, 培育

5G 应用生态。为推动 5G 发展, 工业和信息化部连续 2 年举办“绽放杯”5G 应用征集大赛: 2018 年首届大赛, 就得到了业界的广泛关注和支 持, 共收到参赛项目 334 个, 参与单位 189 家, 涵盖基础运营企业、互联网企业、科研院所等产业界各方力量, 并发布了《“绽放杯”5G 应用征集大赛白皮书》; 2019 年 1 月启动了第 2 届“绽放杯”5G 应用征集大赛, 陆续举办了浙江、上海、江苏、四川和广东等区域赛事, 以及智慧城市、智慧生活、智慧工业、智慧医疗、智媒技术、云应用、车联网和虚拟现实 8 个专题赛, 收到的参赛项目共有 3 731 个 (项目数量是 2018 年的 10 倍), 参与单位约 3 000 多家, 覆盖了 26 个省 (区、市)。2019 年 6 月 21 日, 在工业和信息化部指导下, 中国信息通信研究院牵头成立了 5G 应用产业方阵, 立足于搭建 5G 应用的融合创新平台, 解决共性技术产业问题, 形成 5G 应用产业链协同, 实现了 5G 应用的孵化与推广, 并促进 5G 应用蓬勃发展。

全国纷纷布局 5G, 5G 应用成为关注重点。北京、浙江、重庆、江西等地方政府积极出台 5G 指导文件, 强化政策保障。据统计, 截至 2019 年 9 月底, 中国各省市共出台 5G 政策文件累计 40 余个, 包括发展规划、行动计划、实施方案、基站规划建设支持政策等, 积极推进 5G 网络建设、应用示范和产业发展。2018 年, 5G 政策侧重产业发展和网络建设, 而 2019 年出台

的政策将 5G 应用发展作为重点。此外，各地纷纷成立 5G 有关产业联盟和研究机构，为 5G 发展搭建合作平台和创新平台。截至 2019 年 9 月底，中国共成立省市级 5G 联盟累计 50 余个。

中国通信运营企业在重点城市、典型领域开展应用示范。中国移动成立了 5G 联合创新中心，汇聚 400 余家成员单位，其 5G+ 计划提出面向工业、农业等 14 个重点行业进行 5G 应用开发，面向大众重点开发 5G 超高清视频、5G 快游戏等应用；中国联通网络研究院设立了 5G 创新中心，下设新媒体、智能制造、智能网联、智慧医疗、智慧教育、智慧城市等 10 个行业中心，并编制 6 大行业 5G 工作指引。中国电信积极开展 5G+ 云创新业务、5G+ 行业应用和 5G+ 工业互联网 3 方面 5G 示范应用，包

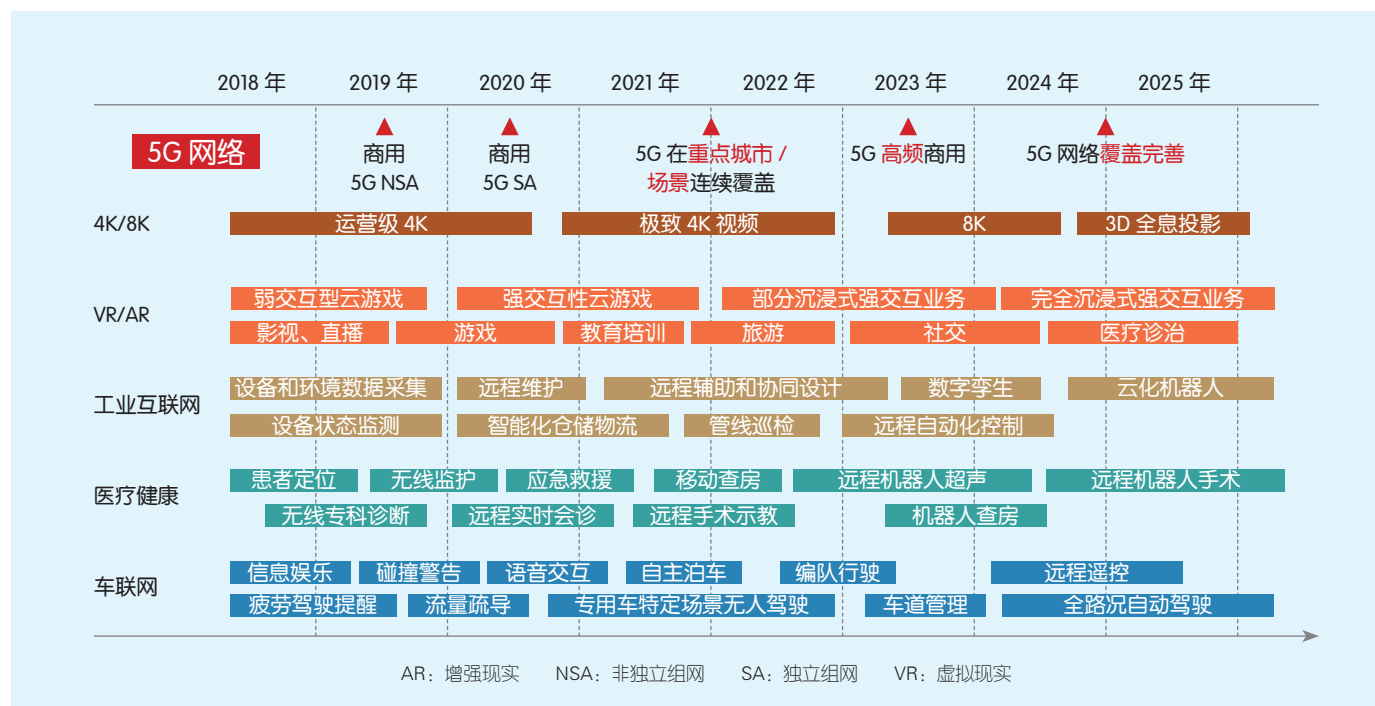
括智慧警务、智慧交通、智慧生态等共 10 大行业<sup>[3]</sup>。

### 3 未来发展与挑战

在 5G 应用的发展节奏方面，5G 初期以 4G 增强型业务为主；随着新的产业能力的培养和加强，5G 中后期将出现更多创新性应用。如图 2 所示，初期（2019—2020 年）5G 网络以 NSA 为主，支持 eMBB 业务，主要满足大带宽移动互联网应用需求，如超高清视频、下一代社交网络、沉浸式游戏、全息视频等业务。超高清视频类业务被认为是 5G 时代的先期落地场景，5G 将支持 4K/8K 实现不卡顿的观影体验，并助力 VR/AR 打造高度沉浸感和强交互的应用场景。超高清视频类业务在以在线互动课堂为引领的教育界、以远程医疗诊断为初期探索的医疗界，以及观众沉浸式体

验的文化体育界等民众智慧生活方面会有亮眼表现。随着 5G 网络逐步向 SA、高频方向发展（2021—2023 年），5G 核心网实现服务化架构革命性变化，逐渐支持高可靠低时延通信（uRLLC）和中低速海量机器类通信（mMTC）等与 5G 行业应用关系紧密的业务，如车联网中基于碰撞预警和车速引导的交通安全和效率类应用、工业互联网中基于 AR/VR 的辅助设计和远程培训类应用以及物流跟踪、智能抄表等。随着 5G 网络逐渐成熟和覆盖完善（2023—2025 年），远程手术、全路况自动驾驶、云化机器人等行业应用场景进一步发展，5G 促进社会各相关产业数字化的能力开始凸显，并将大幅增强政府的数字化治理能力，进一步改善民众智慧生活水平。

5G 将促进新一代信息技术加



▲ 图 2 5G 应用和网络协同发展路线图

快发展。在智慧交通、智慧医疗、智慧安防、智能制造等领域，5G 将与人工智能、大数据、云计算等技术相结合，创造并发挥巨大的价值。以人工智能为例，随着核心算法的突破，人工智能迎来了新一轮爆发式增长。目前，人工智能在医疗、安防、智能制造等领域已经开始逐步应用。未来，通过部署海量物联网传感器，可以获取的大数据将呈几何级增长，并可以对这些数据进行清洗、分析、深度学习等工作。这对大规模数据传输和超算都提出非常高的要求，海量大数据带来传输数据和连接终端的几何级增长，而超算目前主要部署于超算中心从而产生较高的传输时延。5G 的大带宽、低时延特性结合边缘计算技术能够进一步提升人工智能的应用效能，降低时延。

5G 融合应用刚刚起步，多个环节尚须进一步贯通。首先，5G 在行业领域的网络建设和运维方面与 4G 有很大不同，例如无人机物流和巡检需要沿航线进行对天覆盖，工业检测、远程会诊等需要超高清视频等海量数据上传，对网络上行

带宽要求远高于下行带宽。其次，由于各个垂直行业的信息化基础参差不齐、需求千差万别，对融合应用的认识不同、标准不同，客观上导致形成一定的融合壁垒。再次，5G 行业应用暂未形成清晰的商业模式，碎片化的行业需求意味着难以大规模复制推广，还需要不同产业领域协同探索合作共赢的商业模式。最后，5G 应用和网络、终端、基础软硬件间的协同仍需进一步加强，需要面向不同行业新场景、新需求，重新研制新的软硬件产品。

#### 4 结束语

5G 商用刚刚起步，融合应用方兴未艾，且正朝着产业数字化、智慧生活化、社会化治理 3 个方向发展。展望未来，更多创新应用蓬勃兴起，新业务、新应用、新业态随之而来，为中国数字经济发展带来新的动力和活力。未来 5G 的发展需打造高质量网络，加强网络和应用匹配性研究，创新体制与机制，吸引全社会各行业各领域参与 5G 应用创新，打通产业链、资金链、创新链，建立贯通端、管、云、边、

用各环节的、完备的 5G 产业生态体系，加快 5G 融合应用的成熟，促进产业生态建设。

#### 参考文献

- [1] 5G Devices Ecosystem[R]. GSA, 2019
- [2] 2019 年 9 月国内手机市场运行分析报告[R]. 中国信息通信研究院, 2019
- [3] 5G 产业与应用白皮书[R]. 中国信息通信研究院, 2019

#### 作者简介



李珊，中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部高级工程师；主要研究领域为无线技术及其应用，近期重点研究 5G 产业与应用；已发表论文 20 余篇。



张春明，中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部工程师；主要从事无线与移动领域 5G 应用、产业发展相关的研究工作，参与多项 5G 与垂直行业融合应用相关课题研究工作。



汪卫国，中国信息通信研究院数据研究中心数据分析部高级工程师；主要从事 ICT 产业领域新技术新业务跟踪及数据指标体系研究，近期重点研究领域为 5G 市场、产业和应用；已发表论文 20 余篇。

# 网络切片在 5G 无线接入侧的动态实现和发展趋势

## Realization and Trend of Network Slicing in 5G NG-RAN

杨立 / YANG Li, 李大鹏 / LI Dapeng

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)



**摘要:** 网络切片功能是未来 5G 蜂窝移动网络的必选功能, 如何在 5G 蜂窝移动网络无线接入侧实现端到端 (E2E) 的网络切片功能是业界的研究重点。针对该问题, 介绍了第三代合作伙伴计划 (3GPP) 中的相关标准进展, 并系统阐述了其背后的技术发展脉络、缘由, 以及各自优缺点。认为 5G 网络已初步具备 E2E 的网络切片能力, 但仍有一些技术需要进一步发展和提升。

**关键词:** 网络切片; 5G 蜂窝移动网; 无线接入网; 功能编排; 资源共享

**Abstract:** The network slicing function is the required function of the future 5G cellular mobile network. How to realize and implement the end to end (E2E) network slicing function in 5G cellular next generation-radio access network (NG-RAN) is one of the hot topics. Based on various facts of 3rd Generation Partnership Project (3GPP) standardization process, the comprehensive views about its development are given and advantages and disadvantages of its related essential technical issues are analyzed. It is considered that the 5G network has the capability of E2E network slicing, but there are still some technologies that need to be further developed and promoted.

**Keywords:** network slicing; 5G cellular mobile network; RAN; function orchestration; resource sharing

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906002

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191211.0845.002.html>

网络出版日期: 2019-12-11

收稿日期: 2019-06-14

### 1 网络切片的需求

随着蜂窝移动通信进入到 5G 时代, 一系列新的行业特征和移动通信技术也随之而来。从产业生态的角度看, 5G 实现了真正意义上的全球蜂窝移动通信统一技术标准, 因此全球信息通信技术 (ICT) 产业力量将得到空前聚合, 同时产业能力也将得到集中释放; 业界将专攻于 5G 唯一制式——蜂窝网络, 这更有利于把它做得更好、更

精。从业务应用的角度看, 5G 旨在更高效地统一支持增强移动宽带 (eMBB)、海量机器类通信 (mMTC)、高可靠低时延通信 (uRLLC) 3 大类业务, 这涉及到不同的行业领域、千差万别的动态服务质量 (QoS), 以及更宽范围的业务服务需求。这有利于推进传统运营商的业务升级、跨行业间的资源协作整合, 并带来各种新应用的快速商业部署。从网络节点形态的角度看, 5G 网络节点的建立基于异构融合化、模

块解耦化、功能虚拟化、软件定义化等先进的技术理念; 因此在产品业务和服务的开发、构建、部署、应用等方面, 将都变得更加灵活且适配, 成本和性能将更加按需可控。总之, 5G 蜂窝移动网络将成为未来人类社会强大的通信基础设施, 为各行各业的生产力和生产关系再发展注入更多的向上使能。未来各种更新潮、更高级的移动业务应用都离不开 5G 网络的支持保障。过去, 出于节省网络的资本性支出

(CAPEX)/运营成本(OPEX),达到快速部署业务应用的目的,蜂窝移动运营商们可利用无线接入网(RAN)共享的合作模式,即一套物理无线网络设备(包括基站、空口和传输资源等)由多个协议运营商共享地使用和运维,来自不同运营商的签约用户可同时接入和被服务于同一个物理服务小区。通过这种共享方式,能尽可能地实现网络资源复用,避免无线网络资源的闲置浪费。由于网络共享并不能有效地实现多运营商间的不同用户、不同业务的应用部署,不同资源配置、运维计费等方面的充分隔离和差分定制化操作;因此在用户管理、业务功能编排、资源分配、调度协同等方面难以做得很好。这同时也会造成 RAN 资源无法被最优化地复用和综合利用,不同用户的体验无法得到充分保障。运营商们逐渐意识到,基于专有核心网(DCN)技术而进行的核心网功能剪裁去冗和不同用户业务群差分归类处理,可以带来精细化管理。于是,业界很快达成共识,网络端到端的切片化功能,更有利于网络资源的优化利用,可以对不同用户业务管理和服务质量提供保障。作为 5G 蜂窝移动网络端到端的必要一部分,5G RAN 切片是整个网络切片在无线接入侧的功能实现,它能保证 RAN 对外呈现出网络切片的相关重要特征<sup>[1-2]</sup>。

5G 面向万物互联,需要承载指数级增多的无线连接数和更多元的移动业务应用。不同运营商通常面向不同的市场用户业务群,

有着可归类描述的服务等级协议(SLA),例如,不同的市场用户服务质量的差异、在特定区域内的容量覆盖要求、传输带宽和时延要求、链路安全等级和可靠性等属性。上述可归类的用户业务属性集合,为网络切片提供了天然的细分市场需求。随着 5G 时代新商业合作模式的发展,如虚拟运营、大数据运营,以及基于 RAN 共享的概念,运营商们期待一套 5G 物理网络基础设施,能够同时提供多个虚拟的端到端网络,动态共享着各类网络实体资源,但又能相对独立地存在和被管理且彼此隔离。这些虚拟子网络被称为网络切片。网络切片功能的实现可用图 1 中的 3 个特征来概括:切片能力灵活编排、切片资源动态管理、切片业务跟踪隔离。换言之,非网络切片化就无法高效地支持上述 3 大特征,并会导致运营商无法灵活地部署业务并充分利用网络资源<sup>[3]</sup>。

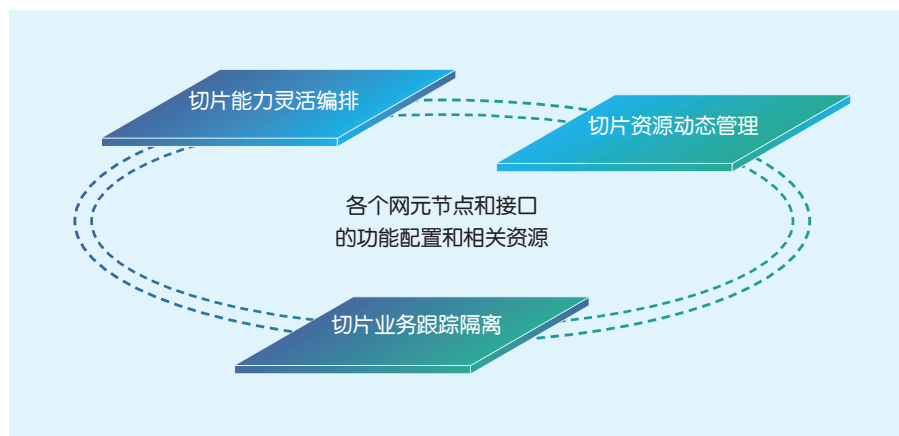
(1) 切片能力灵活编排:建立在对网络功能模块和虚拟化的基础上,每个网络切片可以按需配置特定的网络功能或能力集合,去除

不需要的网络功能或能力,减少一切配置的冗余。

(2) 切片资源动态管理:每个网络切片运行中所消耗的资源,应尽量和切片实时业务量相关,不同切片间要尽量共享地使用资源,以提升资源利用率。

(3) 切片业务跟踪隔离:对某切片业务的服务在网络移动中能保持一定的物理连续性和一致性,不同的切片业务间必须保持彼此不干扰,服务质量不互相影响。

如图 2 所示,类似于云计算服务的分层框架,5G 蜂窝移动网络提供的各类服务可抽象地分为 3 层:网络基础设施层、通信平台使能层、网络切片编排层。网络基础设施层尽量采取软件定义网络(SDN)的方式去实现网络基本功能,以延续网络各类硬件资源的生命力;通信平台使能层基于下层的网络基础设施,进一步构建出虚拟化的网络功能或能力,从而形成虚拟化网络功能(VNF);网络切片编排层基于下层的通信平台使能,进一步灵活编排出特定的网络切片,从而对外提供有针对性且定制



▲ 图 1 端到端网络切片功能的 3 大实现特征

化的切片业务服务。上述 3 大层，都可各自通过能力开放平台对外提供服务；但网络切片编排层提供的服务，无疑是最有针对性和定制感的，因此对于各类行业用户和应用开发者而言是最简洁方便的。基于 SDN/NFV 技术、统一运营管理（OAM）和切片编排器系统，运营商可在同一物理基础设施上，根据各种主客观因素和具体业务需求，按需动态地去构建编排网络切片。强大的切片编排器，可通过数据驱动和软件模板等方式，快速创建生成所需的业务切片，实现切片参数集的适配定制化。此外，切片还必须具备资源量弹性伸缩和还原能力释放，以对切片服务质量进行实时监测控制分析和诊断。综上所述，5G 网络切片能按需独立灵活且非常高效地去定制化配置网络功能，动态分配资源，承载大动态范围下不同的用户业务应用，以实现对

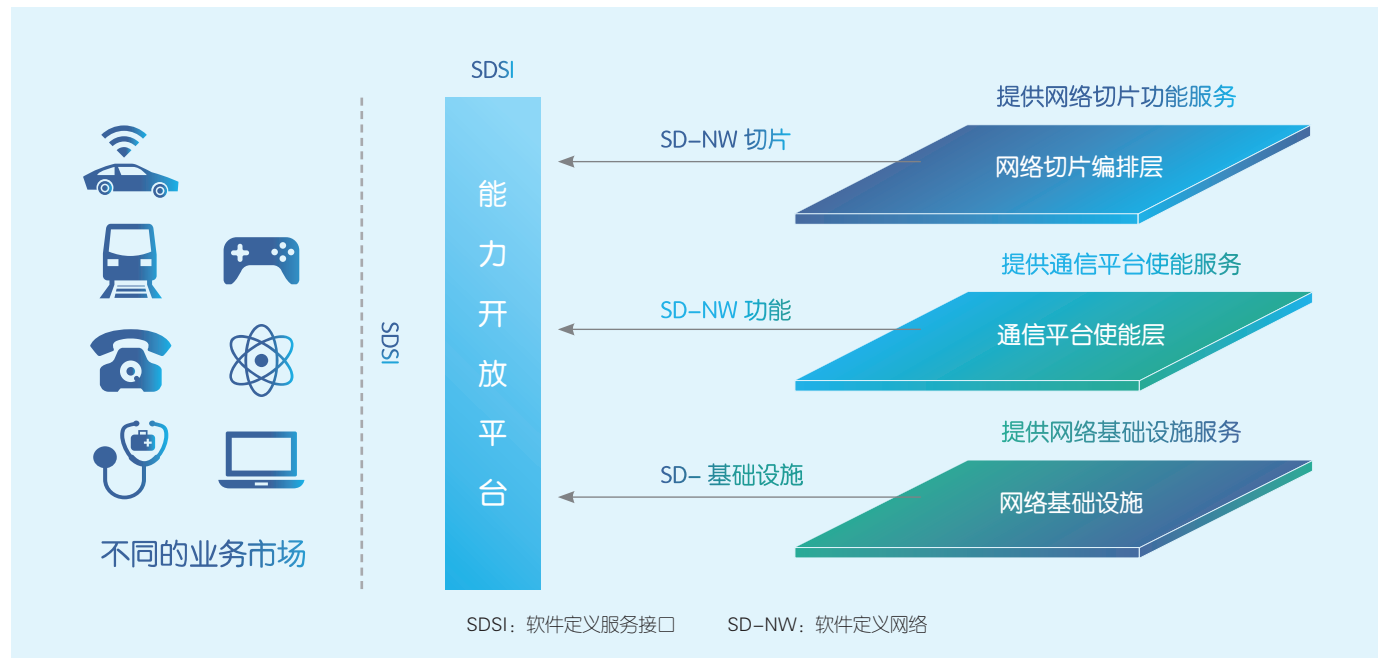
5G 网络基础设施各类资源的最优化利用<sup>[4]</sup>。

## 2 网络切片的标准化发展

第三代合作伙伴计划（3GPP）从 2015 年开始，启动了对网络切片的标准化研究和制定工作：SA1 最先研究了场景业务，SA2 随后制定了系统框架，SA5 也对网络切片有专门的课题研究。2016 年 3 月，随着 5G 下一代无线接入网（NG-RAN）/ 新空口（NR）制式研究立项的启动，网络切片功能对 NG-RAN 的协议影响和落地实现，进一步地被标准化推进。2018 年 6 月，随着 Rel-15 5G 的工作立项（WID）顺利完成，网络切片端到端功能的第 1 个版本也正式完成。

SA2 确定了 5G 核心网（5GC）的控制面接入移动管理功能（AMF）不需要切片化，而用户面功能（UPF）及控制面会话管理功能（SMF）要

被切片化。结合 5G 新的协议数据单元（PDU）会话承载管理架构，SA2 规定单个 PDU 会话只能从属于服务于单个网络切片，即切片业务在网络侧承载管理的最小粒度是 PDU 会话，如此的粒度较好地平衡了网络承载灵活性、复杂度、差异化管理这三者之间的综合要求。SA2 并没具体规定 NG-RAN 该如何去实现切片功能，RAN2/3 研究规范了 NG-RAN 如何实现切片功能。网络“业务类型”和“租户”是决定网络切片划分的 2 个主要因素，因此 SA2 规定单个网络切片选择辅助信息（S-NSSAI）包含切片服务类型（SST）和切片区分租户（SD）2 个属性。S-NSSAI 可用来唯一标识特定的网络切片，由运营商内部协同进行赋值。目前业界已完成试验的 5G 典型切片，包括监测控制终端群物联网切片、车联网 / 无人机切片、公共安全管理切片、远程医疗服务



▲ 图 2 5G 蜂窝移动网络服务提供的分层框架

切片、工业自动化切片等<sup>[5-6]</sup>。

SA2 并没对 RAN 侧切片功能的具体实现方式做精确定义,也未对 RAN 侧的功能配置、资源分配和隔离保护的具体做法进行规定。RAN 侧的功能包含 NG-RAN 各个协议层所支持的全部特征功能或其组合,例如,支持不同的波段频段组合、多输入多输出(MIMO)多天线技术、半静态调度(SPS)、非连续接收(DRX)、载波聚合(CA)、双连接(DC)、非激活新状态(INACTIVE)等;RAN 侧的资源主要包含 NG-RAN 基站内部的基带计算存储资源、射频天线和功率资源、空口载波无线时频资源、基站外部网络接口相关的传输资源等(下文简称为 RAN 资源)。在实际的 RAN 实现和部署应用中,网络切片根据对 RAN 资源使用的动态性和弹性程度,可划分为以下 3 大类:

(1) 像特定行业的专网或专用类基站那样,某 NG-RAN 的 RAN 资源被某切片专门地占据使用。如果没有相关业务数据发生,这些 RAN 资源就是被闲置浪费的。当该基站需要去服务其他新切片业务时,必须通过宕机和重定义编排的方式,重新做配置和资源划分预留。这种方式称为切片的静态方式。

(2) 某 NG-RAN 的 RAN 资源在某段时间内,被某切片暂时预留而占据使用。如果该切片的业务量变化较大,相应的资源就会通过网络上层接口信令做半静态地调整,或被回收或增配。当该基站需要服务其他新切片业务,不必通过宕机和重定义、重编排,可直接进

行新切片的创建和相关资源的暂时预留。这种方式被称为切片半静态方式。

(3) 某 NG-RAN 的 RAN 资源在任何时间内,理论上可供任何切片被分配和使用。无论该切片的业务量如何变化,相应的资源就会通过网络下层信令的方式进行动态调整,实现资源快速回收或增配。当该基站需要服务其他新切片业务时,不必通过宕机或重定义、重编排,也无须相关资源预留,就可直接进行新切片创建。这种方式称为切片动态方式。由于运营商们很看重 RAN 资源的动态共享性,不希望因为构建网络切片而导致空口容量减少,资源利用率降低;因此上述的第 3 类动态方式成为 RAN 切片功能最重要的实现目标,也是众多运营商和 3GPP 追求的标准化方向。理论上,任何网络切片上的业务承载,都能充分利用基站内外硬软件资源和空口无线资源。因此,NG-RAN 基站的内部和接口处理必须时刻跟踪和区分当前处理的切片业务数据块和哪个切片相关联,且为了保证切片彼此间的隔离,需要执行一些必要的约束操作,如无线资源管理(RRM)算法配置、资源复用方式、无线时频资源调度处理等,同时这些约束操作又不能降低切片业务 QoS 或移动性等方面的服务质量。

NG-RAN 在空口仍基于数据无线承载(DRB)粒度的承载方式和基站侧主控资源分配调度的原则,因此 NG-RAN 天然具备对 RAN 资源的细切分和强管控能力。

为了以必选的方式支持端到端网络切片功能,NG-RAN 必须要能支持图 1 中的 NG-RAN 切片能力灵活编排(主要通过网管和编排器预配置、在线重配的方式)、NG-RAN 切片资源动态管理(基于承载切片业务的 DRB 及 QoS 参数信息,依赖于基站 RRM 和调度增强)、NG-RAN 切片业务跟踪隔离(依赖于基站对业务所属的切片标识的及时跟踪和管理)等功能。

从用户终端(UE)的角度看,单个 UE 可同时和 8 个不同的网络切片连接并参与相关的切片服务,每个切片业务可同时被多个 PDU 会话所承载,如 UE 同时连接切片 S-NSSAI1(被 PDU 会话 1 and 2 承载相关的切片业务数据)和切片 S-NSSAI2(被 PDU 会话 3 and 4 承载相关的切片业务数据)。虽然 UE 在用户面同时连接多个网络切片(即消耗着不同的用户面资源),但在控制面仍然只有一个无线资源控制(RRC)连接和网元间的信令连接(如 NG-C、Xn-C、F1-C)。不同切片在空口共享着相同的信令无线承载(SRB),而在网元间的接口控制面仍然共享着相同的流控制传输协议(SCTP)连接承载(即消耗着共同的控制面资源)。网络切片在 5G 无线接入侧的实现架构如图 3 所示。针对单个 UE,NG-RAN 可通过内部实现增强,保证不同的切片业务在用户面上的充分隔离,但无法做到在控制面上的隔离。例如,当某 UE 发生无线链路失败(RLF),该 UE 所有的切片业务都要中断。但针对不同的 UE,

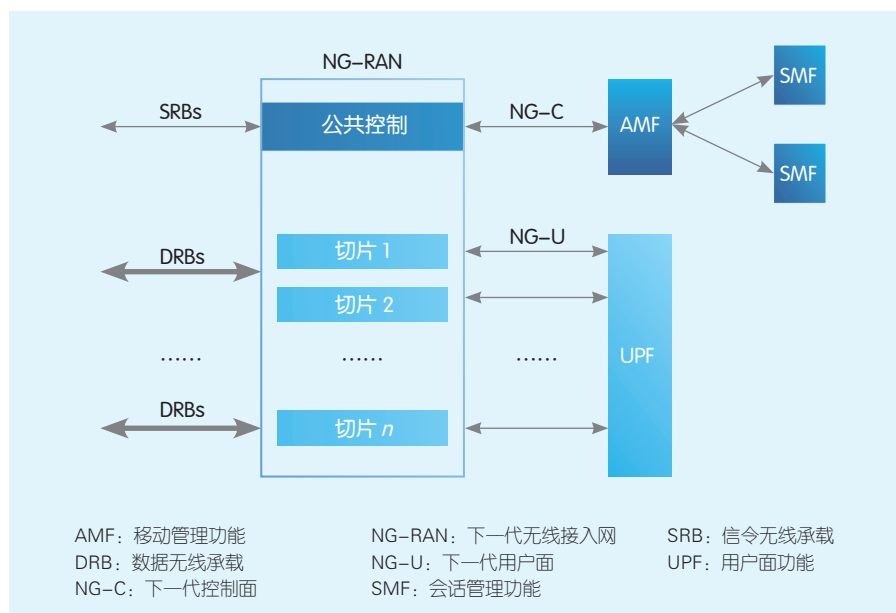
NG-RAN 仍然可充分保证它们在用户面和控制面上的彼此隔离,例如,几个不同 UE 即使在同一位置经历了相同的无线环境,当一个 UE 发生了 RLF,另一个 UE 也还可能保持正常的通信连接。

### 3 5G 无线接入侧的具体实现

#### 3.1 空口物理层

5G NR 工作立项 WID 并没有针对网络切片功能做物理层的专门设计,因为 5G NR 支持非常灵活的空口无线时频资源的使用,例如,引入了时分双工(TDD)动态帧结构、不同的 Numerology/传输时间间隔(TTI)、部分带宽(BWP)、增强的异步调度机制。在 5G 网络中,为了更好地支持不同业务动态范围的 QoS 需求,不同的 NG-RAN 基站可部署在不同的频带和频点上,本地服务小区可配置不同的帧结构和 Numerology/TTI 等,从而可灵活地适配于不同的网络切片功能。例如,某些 eMBB 切片可大量地利用高频无线资源,而 uRLLC 切片尽量地利用优质的低频无线资源;某些下行流量为主的切片尽量多配置 TDD 下行子帧资源,而上行流量为主的切片可多配置 TDD 上行子帧资源。

和过去 4G 演进的通用陆地无线接入(E-UTRA)制式不同,5G NR 从第 1 个版本 Rel-15 开始就已针对各种移动全业务类型,面向各种部署场景,旨在充分利用更广的频带资源(sub-100 GHz);因此,5G NR 比 4G E-UTRA 具备更灵活、



▲ 图 3 网络切片在 5G 无线接入侧的实现架构

更精细的空口无线资源管理和利用能力。从空口物理层的角度看,5G NR 更能有效地支持端到端网络切片功能在无线接入侧的灵活实现;而 E-UTRA 即使在 5G 系统框架内不断地演进,在某些切片服务能力方面可能亦有所不及 NR。

#### 3.2 空口高层

##### 3.2.1 空口高层控制面

当前,NG-RAN 基站的服务小区,不要求显式地广播它所支持的切片能力信息,因此 UE 无法通过读取系统消息来提前确定是否能从当前驻留小区中获得想要的切片业务。当服务小区选择或重选时,UE 无须提前获知目标小区支持的切片信息。NG-RAN 基站中小区支持的切片能力,是由基站网管系统提前预配置的。为了实现 UE 在物理移动时对切片能力的一致性支持,在网络部署阶段,UE 入网

注册归属的注册区(RA)内必须支持相同的切片能力集合。在注册区域内移动时,UE 无须通过跟踪区域更新(TAU)流程更新切片能力信息。切片部署可能无法一直物理连续(某些区域支持的切片在另一区域中不支持),因此 UE 在移动到新的注册区域时,需要通过 TAU 流程更新新切片的能力信息。切片部署的不连续性典型的场景如图 4 所示,在不同区域可能不同的频点支持不同的切片能力集合。gNB1 的 F1 频点上所有的小区都支持切片 1、切片 2 和切片 3(图 4 中切片 1—3),gNB2 的 F1 频点上的小区仅支持切片 4。当 UE 支持切片 1—3 而不支持切片 4 时,如图 4 所示,UE 移动后继续驻留和使用 F1,会导致无法获得想要的切片业务,造成业务中断;因此基站需要为 UE 重选目标频点,这个功能被称为切片相关的频率优先级。具体过程为,基站通过 RRC

连接释放消息中携带 UE 应优先接入的频率列表,引导 UE 选择到切片支持的目标频点上。如果 UE 接入时初始使用的是 F1,但 UE 需要接入切片 1—3,基站 2 可为 UE 设置优先的频率 F2。基站 2 可通过核心网配置的制式率选择优先级 (RFSP) 配置信息,结合本地小区的切片部署信息,为 UE 选择更合适的 F2。

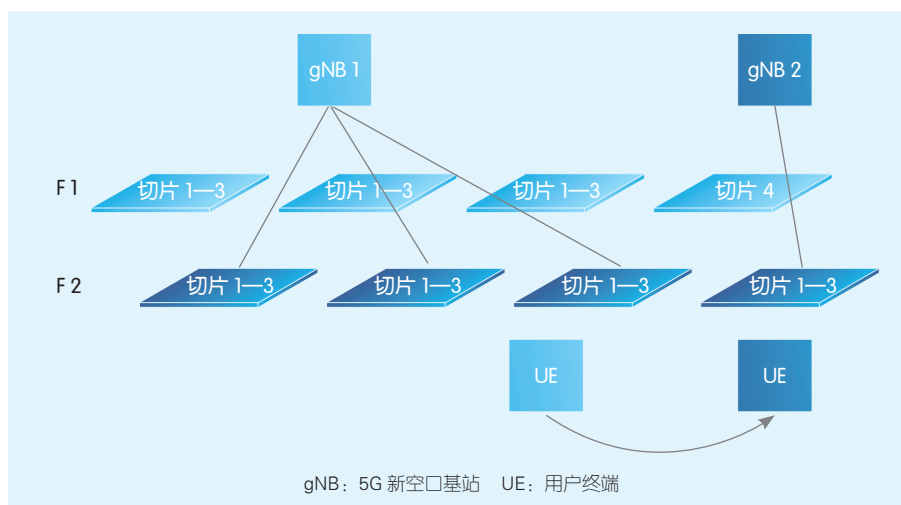
随着业务量增加,越来越多的 UE 业务会消耗掉有限的网络切片 RAN 资源,切片有可能处于拥塞状态。后续接入到切片的业务请求,将会进一步加剧设备的拥塞状态。为了解决上述问题,NG-RAN 基站可用多种手段来降低 UE 切片业务请求对基站的冲击。当 UE 支持的某切片发生拥塞时,NG-RAN 基站可以调整和切片相关的接纳控制类型所归属的接纳控制参数。UE 在发送切片业务申请之前,在 UE 侧先经过 UE 内接纳控制功能的判决。接纳控制判决决定了请求的切片业务是否可以被发起。如果判决阻止发起请求,UE 只能等一段时间后,再尝试发送切片业务申请。另一个解决拥塞的手段是,NG-RAN 基站拒绝或释放终端请求的切片业务。根据消息 5 中携带的 S-NSSAI 信息,基站可先知道 UE 请求的业务归属的切片信息。如果此时请求的切片属于资源拥塞状态,NG-RAN 基站可直接释放该 UE 刚刚建立的 RRC 无线连接。

### 3.2.2 空口高层用户面

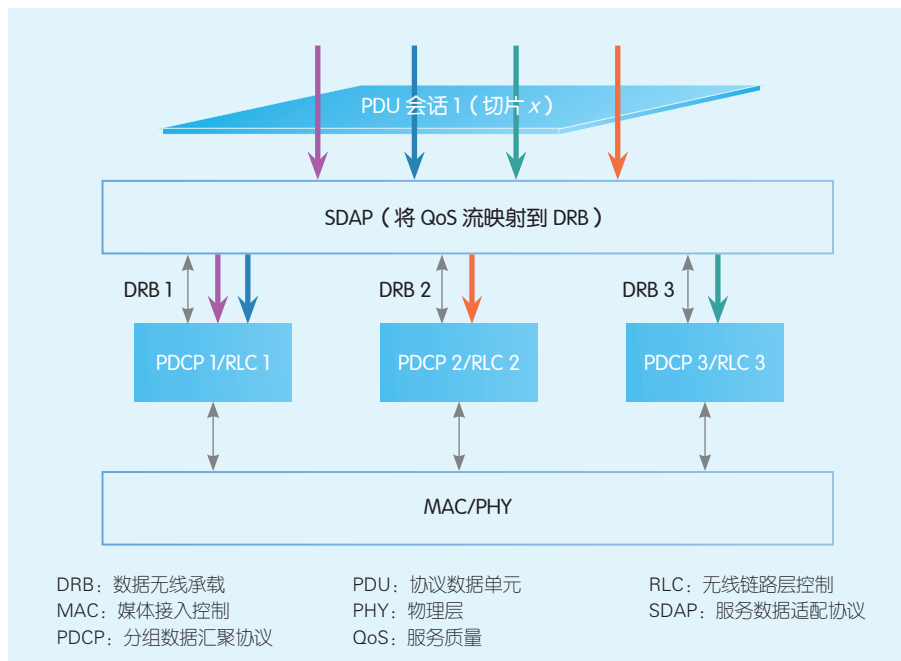
NG-RAN 网络侧处理切片业

务的最小粒度是 PDU 会话,单个 PDU 会话可包含最多 64 条 QoS 业务流,而这些 QoS 业务流必须从属于同一个切片;因此 PDU 会话总和唯一的 S-NSSAI 关联标识。NG-RAN 空口侧通过服务数据适配协议 (SDAP) 将 QoS 业务流进一步映射到一条或多条 DRB 上,进而对应到一个或多个分组数据汇聚协议 (PDCP)/无线链路层控制 (RLC)

协议实体上。SDAP 可根据不同切片需求进行不同方式的映射,当某条 QoS 业务流没被显式地映射到某条 DRB 上时,它将被自动映射到默认 DRB 承载上。如图 5 所示,某 PDU 会话 1 包含 4 条 QoS 业务流,其中红色和蓝色的 QoS 业务流由于和 QoS 的参数接近,被映射到同一 DRB1 上,而橙色和绿色 QoS 业务流被分别独立地映射到 DRB2



▲ 图 4 网络切片在不同频率上的部署示意



▲ 图 5 PDU 会话为粒度的单切片处理

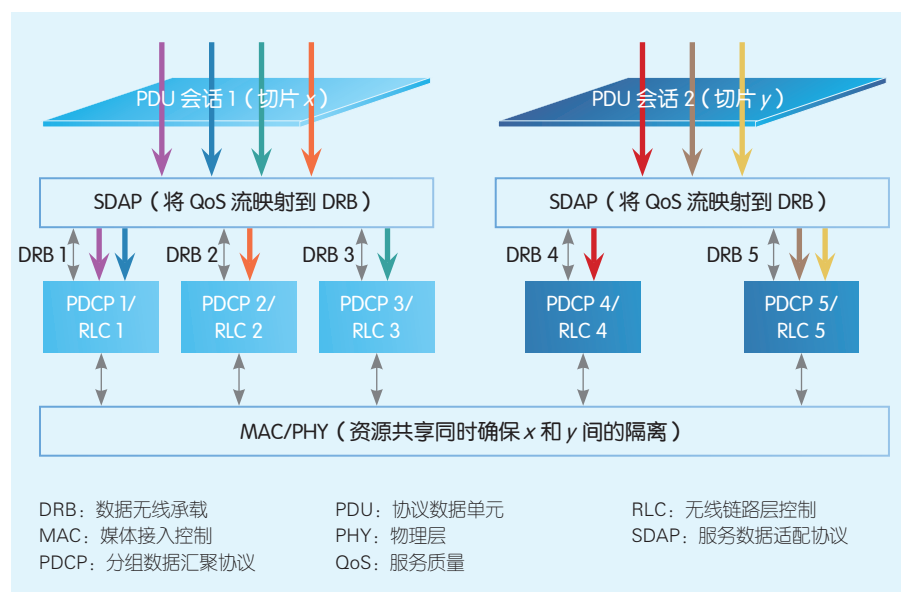
和 DRB3 上。进一步地, SDAP 下层的 PDCP、RLC、MACPHY 协议实体将根据不同切片的需求, 产生对应的功能和参数配置。例如, 如果该 PDU 会话属于 uRLLC 类业务切片, PDCP 可被配置复制传输功能, RLC 可配置较高的逻辑信道优先级, 自动重传请求 (ARQ) 的重传次数可设置为 1, MAC 层可配置基于载波聚合 CA 的复制操作, PHY 可选择低阶调制编码率编码策略 (MCS) 和短 TTI 等配置。再如, 如果该 PDU 会话属于 4K/8K 高清视频业务切片, PDCP 可配置互联网协议 (IP) 包头压缩功能, RLC 可选择中等的逻辑信道优先级, MAC 可将相关的逻辑信道映射到较大的工作带宽和 Numerology 之上, PHY 可配置高阶 MIMO 和调制与 MCS 配置等。总之, NG-RAN 空口用户面的各个协议实体, 须充分考虑相关切片的不同需求, 进而产生合理的配置, 以能达到切片服务定制化的目的。

如果单个 UE 同时连接到 2 个或多个不同的业务切片 (如图 6 所示), 除了上述属于切片 x 的 PDU 会话 1, 另还有从属于切片 y 的 PDU 会话 2。PDU 会话 2 包含有 3 条 QoS 业务流, 其中粉色的 QoS 业务流被独立地映射到 DRB4 之上, 而紫色和灰色的 QoS 业务流由于 QoS 参数接近, 被联合映射到 DRB5 承载之上。需要注意的是, 不同切片所属的 QoS 业务流被映射到不同的 DRB 承载上, 以保证充分隔离。进一步地, NG-RAN 基站内单个媒体接入控制 (MAC) 和 PHY 实体, 须联合处理来自 2 个或多个不同切片的所有逻辑信道数据块。通过内部实现的约束机制, 一方面要保证基站本地的基带计算和存储资源、射频天线和功率资源, 以及空口无线资源被共享高效地使用, 同时还要尽量保证不同切片业务间的隔离。例如, 对应于不同切片的逻辑信道不要被映射到同一个传输块 (TB) 中, 但可被映射到

不同的 PRB 资源块中。

如果单个 UE 同时连接到 2 个或多个不同的业务切片 (如图 6 所示), 除了上述属于切片 x 的 PDU 会话 1, 另还有从属于切片 y 的 PDU 会话 2。PDU 会话 2 包含有 3 条 QoS 业务流, 其中粉色的 QoS 业务流被独立地映射到 DRB4 之上, 而紫色和灰色的 QoS 业务流由于 QoS 参数接近, 被联合映射到 DRB5 承载之上。需要注意的是, 不同切片所属的 QoS 业务流被映射到不同的 DRB 承载上, 以保证充分隔离。进一步地, NG-RAN 基站内单个 MAC 和 PHY 实体, 需要联合处理来自 2 个或多个不同切片的所有逻辑信道数据块。通过内部实现的约束机制, 一方面要保证基站本地的基带计算和存储资源、射频天线和功率资源, 以及空口无线资源被共享高效地使用, 同时还要尽量保证不同切片业务间的隔离。例如, 对应于不同切片的逻辑信道不要被映射到同一个 TB 中, 但可被映射到不同的 PRB 资源块中。

5G NR MAC 实体, 可支持多种不同的 Numerology/TTI 持续时长的混合配置, 即可根据不同切片的需要, 把不同的逻辑信道映射到不同的 Numerology/TTI 上, 以实现对不同频率资源块的适配性使用, 充分体现出不同切片服务的资源配置差异化。同一条逻辑信道, 其实也可分时地映射到多个不同的 Numerology/TTI 上。从内部实现的角度看, 单个 MAC 实体逻辑上可划分为 2 个 MAC 子层, 上子层是不同切片间的公共功能或相同配



▲ 图 6 PDU 会话为粒度的多切片处理

置，它们对所有切片相同；而下子层可以是不同切片所特有的功能，相关配置和处理可针对不同的切片进行定制化操作。该原理如图 7 所示，即使某 UE 同时连接 eMBB 类型的切片 1 和 uRLLC 类型的切片 2，以及 mMTC 类型的切片 3，内部也可只配置有单个 MAC 实体。

### 3.3 网络接口高层

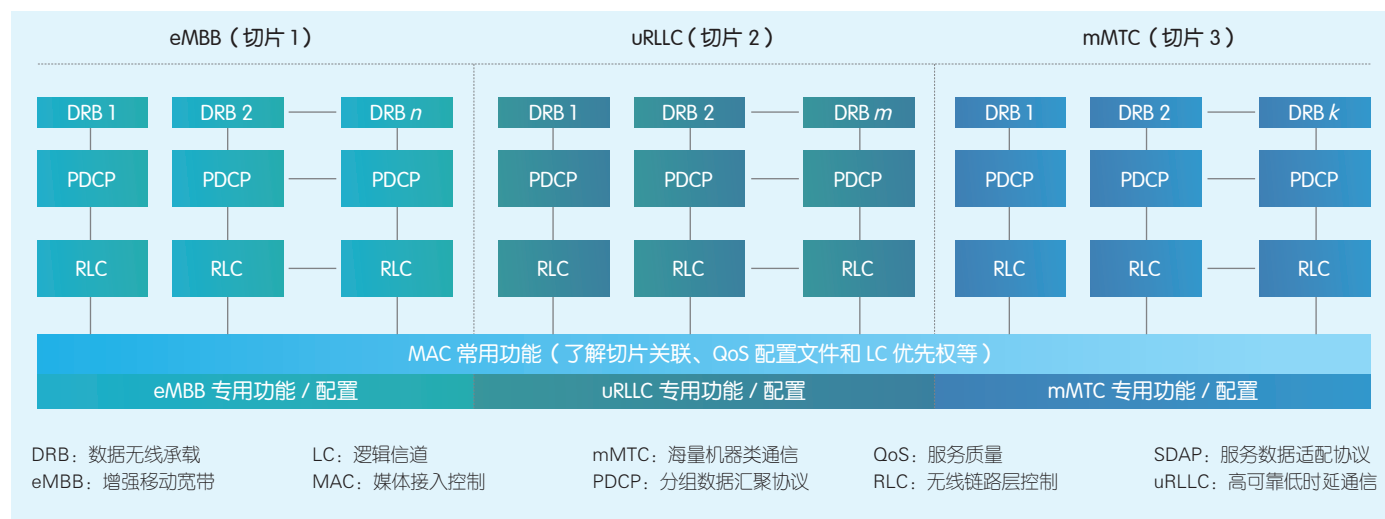
在 5G 部署组网阶段，运营商首先通过 OAM 和切片编排器系统

对 NG-RAN 进行切片化的功能编排和资源预配置。为了适配不同切片的各自需求，NG-RAN 需要能为各个切片配置独立的 RRM 策略、相关功能参数集；NG-RAN 基站内的每个协议实体，须有效及时地跟踪并锁定住待服务对象的切片关联标识，进行有针对性的资源动态分配和调度，同时能够保证不同切片间的隔离处理，从而 NG-RAN 对外呈现出网络切片化功能。

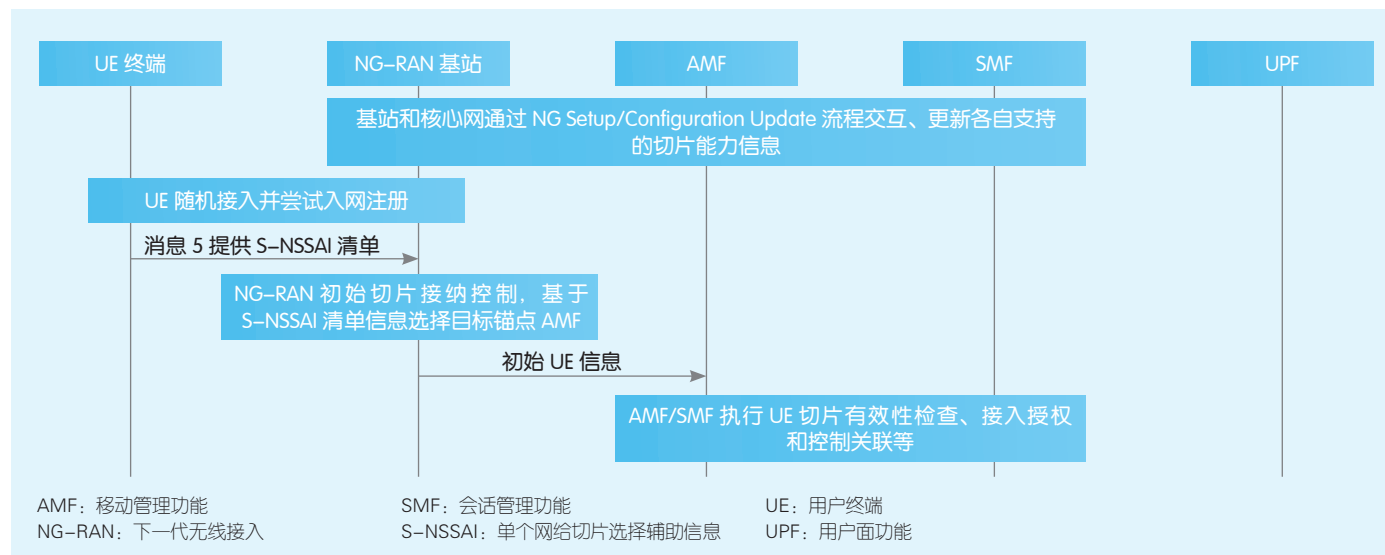
编排预配置完成后，网络节点

间通过接口公共流程交互和更新各自支持的切片能力信息。物理覆盖上以 TA 为最小粒度，TA 内的所有本地服务小区必须支持相同的切片能力集合。该原则同样适用于 NG、Xn 和 F1、E1 等网络侧接口，从而保证通信端到端所经历的所有网络节点都能为同一目标切片服务。

当 UE 初始驻留在某 NG-RAN 服务小区，并完成了随机接入流程的前消息 1—4 后，如图 8 所示，UE 通过消息 5 携带 S-NSSAI 清单



▲ 图 7 单 MAC 实体支持多切片业务并发的架构



▲ 图 8 网元之间切片能力协同和 UE 初始接入

信息。NG-RAN 基站完成 UE 的初始切片接纳控制，再基于 S-NSSAI 清单信息，路由选择到目标锚点 AMF 实体（如果选择失败，则选择默认 AMF 实体），然后再向上发送初始 UE 消息。AMF/SMF 进一步完成 UE 切片的有效性检查和接入鉴权和授权等操作。对于特定终端 UE，当它成功地入网注册即选定好了锚点 AMF 和服务基站后，在当前 TA 区域内所能进行的切片业务也就被限定了。

当 UE 成功完成 5G 系统入网注册之后，会被锚点 AMF 分配唯一的 5G 辅临时终端标识（5G-S-TMSI），进行 UE 非接入层（NAS 上下文）管理。如图 9 所示，如果 UE 请求发起某切片业务，将通过 NAS 业务请求消息向当前锚点 AMF 申请。如果锚点 AMF/SMF 能支持 UE 当前申请的切片业务，则向 NG-RAN 服务基站发起 PDU 会

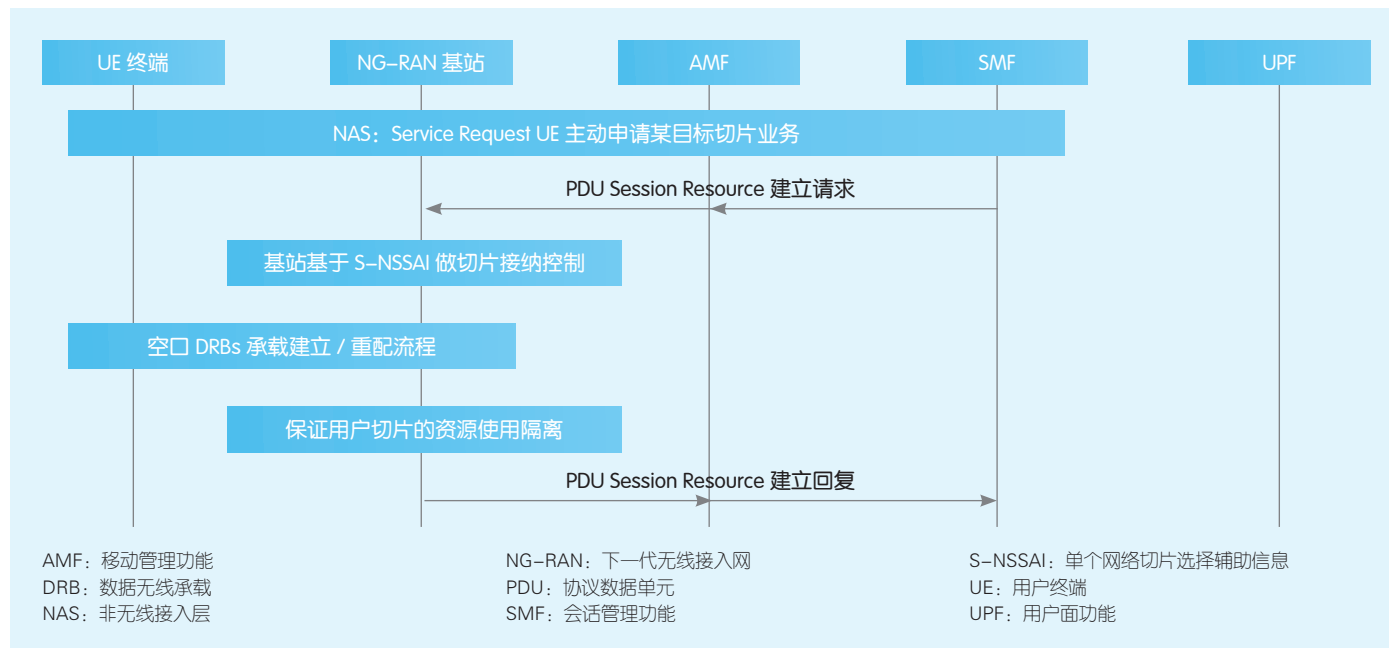
话建立流程；如果当前 NG-RAN 服务基站也能支持 UE 当前申请的切片业务，则进一步进行本地 RRM 配置、分配空口资源等。NG-RAN 服务基站需要保证该切片业务资源和其他切片的隔离。如果锚点 AMF/SMF 不能支持 UE 当前申请的切片业务，则可以执行 AMF 重定向（相当于 UE 重新注册）；如果当前 NG-RAN 服务基站不能支持 UE 当前申请的切片业务，则可拒绝失败 PDU 会话建立请求，或触发 UE 重定向或切换到能支持目标切片业务的 TA 中<sup>[7-9]</sup>。

### 3.4 切片业务移动性支持

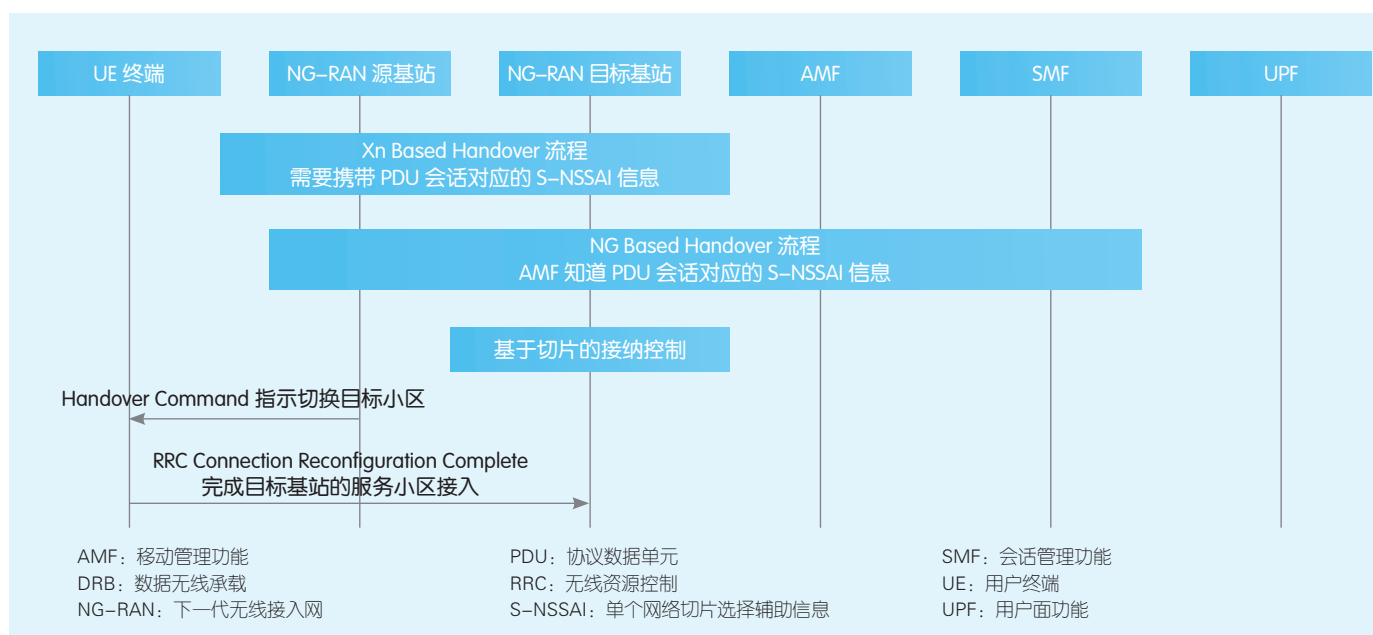
如图 10 所示，5G Rel-15 支持 NG 接口切换（类似于 LTE S1 切换）和 Xn 接口切换（类似于 LTE X2 切换）。随着 UE 移动或其他 RRM 策略而触发的切换，目标 NG-RAN 基站需要执行基于切

片的接纳控制和资源分配预留。在跨 TA 移动的情况下，当目标 NG-RAN 基站不支持源基站某 PDU 会话所对应的网络切片 S-NSSAI 之时，目标 NG-RAN 基站将直接丢弃该 PDU 会话内所有 QoS 业务流。Rel-15 规定在切换过程中，目标基站不能重匹配 Remapping 和变更源侧的 S-NSSAI 信息，只能继承前后保持一致<sup>[10]</sup>。

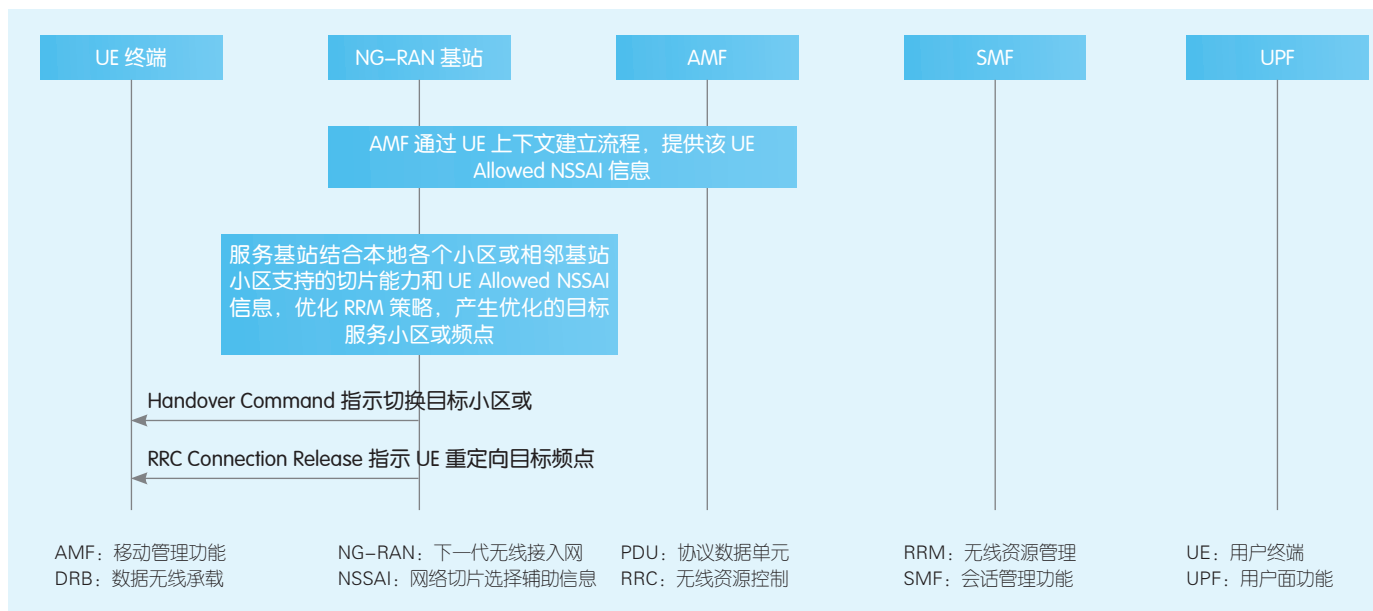
如图 11 所示，UE 在当前驻留 TA 所能发生进行的切片业务，由于受到当前服务基站和锚点 AMF 能力的限制，不等同于 UE 签约能允许申请的全部切片业务。因此，锚点 AMF 可在 UE 上下文建立流程中，发送给服务基站该 UE 允许的网络切片选择辅助信息。它表示除了当前 TA 所能提供的切片业务之外，UE 在其他 TA 环境下，还能被允许发起的切片业务。基于 UE 允许的网络切片选择辅助信息，



▲ 图 9 UE 切片业务的请求成功建立



▲ 图 10 UE 切片业务的连续性管理



▲ 图 11 UE 切片业务的可达性管理

服务基站可以更好地执行 RRM 移动选择策略，例如把 UE 迁移到更高优先级或更全的切片业务所属 TA 和频点之上。

#### 4 网络切片的增强发展趋势

随着 Rel-15 网络切片功能在 RAN 侧标准化的完成，5G 网络已

初步具备端到端的网络切片能力，为新商业模式的部署应用而开辟先河；但仍有一些技术方面需进一步发展和提升，这也是 Rel-16/17 网络切片功能潜在增强能做的方面。在当前 5G 不同网元节点之间，如相邻 NG-RAN 基站间，集中单元（CU）和分布单元（DU）网元节

点间并不能有效地交互各个 NG-RAN 侧切片的工作状态和负荷等信息；因此尚不能在标准层面，做到跨节点针对切片业务的 RRM 策略处理优化，从而导致切片资源的非优化利用。特别在多网元节点“异频垂直”重叠部署的场景下，需要进一步规范如何整体优化利用各个

网络切片层的资源。这种优化可以通过类似自组织网络 (SON) 的公共流程等来实现。

在 5G 超密集网络中, 网络切片能力的部署可通过多异构节点的方式来实现, 即并不需要每个基站节点支持所需的全部网络切片能力; 但它们的合集可包含所需支持的全部网络切片能力。终端和多个不同切片的服务, 也可通过双或多连接的方式来实现。未来异构部署需求, 一些运营商希望能够实现 UE 跨不同 TA 的不同基站间的双多连接操作, 因此核心网需能提前感知 UE 在双多连接操作下的基站侧切片能力环境。例如, 主基站支持 eMBB 类型的切片, 而运营商在某些楼宇内的辅基站, 仅仅部署了时延鲁棒性要求更强的 uRLLC 业务类型的切片。如果核心网无法感知到辅基站上的切片能力, 在为 UE 建立 PDU 会话时是无法使用那些辅基站上的 uRLLC 切片资源, 从而造成辅基站相关切片资源的闲置; 或者为了能使用辅基站上的切片资源, 必须把终端 UE 强行切换到辅基站之上, 进而触发切换和 TAU 流程。UE 在移动过程中, 只有进入到辅基站的覆盖范围内, 才可能使用 uRLLC 切片业务资源, 在辅基站的覆盖范围之外仍然是无法使用该切片业务的。因此在下一阶段工作中, 可考虑如何让核心网能实时地提前感知到辅基站和主基站上不同的切片能力组合, 进而更好地让 UE 利用网络不同 TA 下的

切片资源。

如前所述, NG-RAN 基站可利用 PDU 会话中 S-NSSAI 信息对用户业务数据做到隔离区分, 但 NG-RAN 控制面资源的隔离还需进一步增强。按照目前的设计, RAN 控制面并不要严格地区分切片。例如, 当大量用户业务请求达到基站时, 需要考虑如何解决高优先级的用户切片请求优先被服务的需求。因此这在空口 RACH 资源配置和使用优化、寻呼 Paging 资源配置和使用优化、逻辑信道优先级的使用中, 都可进一步增强基站控制面对 RAN 切片的差分处理和感知隔离能力。对于一些特殊的电信垂直行业, 如交通控制、安防救灾、油田矿山等, 某些应用切片对业务数据安全私密性和资源保障性有更强的要求。这需在共享网络基础设施和充分利用网络资源的前提下, 考虑对切片资源的专用隔离, 进一步提升 UE 对这些特殊切片能力的及早感知获取和接入尝试。例如, 专有切片 1, 2 均是对切片资源量和保护有更强要求的, 因此可给切片 1, 2 各自静态预留一部分专用资源, 同时再共享其他的公共资源。这样既能保证这些切片业务的特殊要求, 保障业务能力, 又能提升网络资源的利用率。其次, 在空口通过系统广播机制, 进一步提升 UE 及早感知特殊切片的业务能力, 可进一步降低 UE 接入和业务延时, 从而提升用户使用切片的效率和感受。

#### 参考文献

- [1] 3GPP. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers – Network Operation, Stage 1 (Release 14)[S]: 3GPP TR 22.864. 2018
- [2] 3GPP. Study on Architecture for Next Generation System (Release 14)[S]: 3GPP TR 23.799. 2018
- [3] 3GPP. Study on New Radio Access Technology Radio Interface Protocol Aspects (Release 14) [S]: 3GPP TR 38.804. 2017
- [4] NGMN Alliance. Description of Network Slicing Concept, Version 1.0[R]. 2016
- [5] 3GPP. System Architecture for the 5G System (5GS) (Release 15)[S]: 3GPP TS 23.501. 2018
- [6] 3GPP. NR; Overall Description; Stage-2 (Release 15)[S]: 3GPP TS 38.300. 2018
- [7] 3GPP. Clarification on Network Slicing in RAN[S]: 3GPP RAN3, R3-161106[S]. 2016
- [8] 3GPP. Key Principles for Support of Network Slicing in RAN: RAN3, R3-161751[S]. 2016
- [9] 3GPP. Principle of Network Slicing for 5G: RAN3, R3-161888[S]. 2016
- [10] 3GPP. Resource Management Between Slices: RAN3, R3-162463[S]. 2016

#### 作者简介



杨立, 高级工程师, 中兴通讯股份有限公司算法部技术预研资深专家, 担任 3GPP 5G 规范协议 TS38.414 主编; 长期从事 3GPP 标准 3G/4G/5G 网络高层技术的研究, 涉及 ICT 生态战略、移动网络架构演进、节点功能和接口流程标准化、网络大数据智能化、卫星通信和垂直行业应用等; 出版个人专著 1 部, 撰写 3GPP 国际标准会议文稿 1 000 余篇 (超过 300 篇被采纳), 拥有授权专利 40 余项。



李大鹏, 中兴通讯股份有限公司算法部技术预研高级系统工程师; 长期从事 3GPP 蜂窝产品开发及无线关键技术研究工作, 涉及移动网络架构演进和流程增强、SON 智能化和大数据利用、网络切片等; 撰写 3GPP 会议文稿 500 余篇, 拥有 20 余篇授权专利, 发表论文 2 篇。

# 5G-NR 基站软节能技术

## Soft Power Saving of 5G-NR Base Station



黄俊 /HUANG Jun, 田森 /TIAN Sen, 张诗壮 /ZHANG Shizhuang

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

**摘要:** NR 基站的节能是运营商关注的重要内容。软节能的主要技术为单小区节能技术和多小区联合节能技术。这些技术具体包含符号关断、时隙关断、通道关断、功放调压、载波关断和人工智能 (AI) 节能等功能。认为 5G-NR 基站节能有望在第三代合作伙伴计划 (3GPP) 的协议中设立统一标准。

**关键词:** 符号关断; 时隙关断; 通道关断; 功放调压; 载波关断

**Abstract:** Power saving technology for 5G-New Radio (NR) base station is an important consideration of the operator. Single cell power saving technology and multi-cell joint power saving technology are two main technologies of soft power saving. Six kinds of soft power saving technologies for 5G-NR base station are described, including symbol power off, slot power off, channel power off, power amplifier (PA) bias voltage adjustment, carrier power off and advanced power saving technology. The uniform standards in the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) agreement are expected to set on power saving of 5G-NR base station.

**Keywords:** symbol power off; slot power off; channel power off; PA bias voltage adjustment; carrier power off

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906003

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191221.1559.004.html>

网络出版日期: 2019-12-13

收稿日期: 2019-10-15

**据** 测算, 5G 新空口 (NR) 技术基站的功耗是 4G 长期演进 (LTE) 基站的 2 倍甚至更多, 这使得 NR 的运营成本大幅提升。从中国电信 2018 年年报可知, 2018 年中国电信的盈利为 212 亿元, 但电费开支高达 120 亿元, 电费消耗了很大一部分利润。所以, NR 基站的节能是运营商的一个重要考量内容。

NR 基站功耗高主要是由于其采用了大规模多输入多输出

(Massive MIMO, 简称为 MM) 架构。NR 每个天线通道的组成和传统的 LTE 通道类似, 都含有功放 (PA)、收发信机 (TRX)、数字预失真 (DPD)、数字基带处理。但是, 相比传统的 LTE 架构, NR MM 架构每个通道的 PA 功率是 LTE 单通道的 10% ~ 15%。PA 功耗在每个通道里的占比相对较低, 但 TRX、DPD 和数字处理部分功耗比重急剧提升。业界主要通过硬节能和软节能能达到降低功耗的目的。

硬节能是指通过采用更高级的芯片工艺、更高集成度的功能芯片或更高功放效率以降低功耗。例如, 中兴通讯具有硬节能技术的基带处理芯片: 它采用了 Intel 最新的加工工艺; DPD 功能由现场可编程门阵列 (FPGA) 改为高集成度芯片来实现; 功放采用最新的氮化镓 (GaN) Doherty 结构。这些措施都极大地降低了 5G-NR 基站功耗, 简化了硬件架构。

软节能模式指软件在满足一

定的无线性能基础上,根据小区负荷灵活关断部分器件或载波以便节能。现在采用的技术通常有针对单小区操作的符号关断、时隙关断、通道关断、PA 调压和针对多小区操作的载波关断、人工智能 (AI) 节能技术。

## 1 单小区节能技术

### 1.1 符号关断

NR 基站属于二维度调度,相对 LTE 基站,它更加灵活。调度信息包含时域和频域(如资源块(RB)、带宽部分(BWP)、服务小区)<sup>[1-5]</sup>,即包含调度符号数和 RB 数目。传统的 LTE 调度是一维调度,调度信息只包含频域。在该调度模式下,调度器可以采用调度一个时隙的部分符号但是满带宽的,这可以替代原来的调度一个时隙的所有符号但只分配部分 RB 的策略。在这种策略下,由于剩下符号没有业务数据可发,所以可以被关断。

PA 功耗分为静态功耗和动态功耗。静态功耗在 PA 开启后就一直存在,不随负荷而变化;动态功耗随着负荷增加而增加。符号关断节能的本质是降低 PA 静态功耗。符号节能的方法是在集中的符号上快速传完数据,然后关断剩下符号,这样节省了关断符号上的 PA 静态功耗及 TRX 的静态功耗。假设关断了  $X$  个符号,那么 PA 和 TRX 的静态功耗可减少  $X/14$ 。

符号关断的恢复时间在微秒级,关闭的器件为 PA 和部分

TRX。该功能对网络关键性能指标(KPI)没影响,在任何时候都可以开启。

### 1.2 时隙关断

NR 时隙关断主要指业务汇聚到某些时隙,剩下的时隙不调度以达到关闭器件节能目的。这些调度的时隙上的 RB 需要超过一定门限。如果没达到门限且没有广播信道需要调度,那么调度器会暂停下行调度直到业务服务质量(QoS)时延接近事先规定的最大值,或调度 RB 累积需求超过门限,才会开始调度。

相对 1.1 节描述的符号关断,时隙关断会增加业务时延,但是开销相比符号关断更少。这里的开销指在基于时隙的调度下,一个 slot 里面有一个符号用于物理下行控制信道(PDCCH),一个符号用于解调参考信号(DMRS)。这样一来,总共有 12 个符号用于业务数据传输。那么,业务数据占比为  $12/14$ ,开销为  $2/14$ 。在符号关断技术下,一个 slot 里面有一个符号用于 PDCCH,一个符号用于 DMRS,  $N$  个符号用于业务数据。那么,业务数据占比为  $N/(N+2)$ ,开销为  $2/(N+2)$ 。由于  $N < 12$ ,所以在传输同样比特数时,符号关断技术带来的开销相对较大。

这里的开销也指不用于用户的物理下行共享信道(PDSCH)数据传输的功率开销。从直观上来说,这种开销应越少越好。

时隙关断恢复时间在微秒级,关闭的器件为 PA 和部分 TRX。虽

然该功能对业务时延有一定影响,但调度器可灵活控制时隙关断时间,所以对 QoS 影响可控。

### 1.3 通道关断

通道关断是指小区在一定负荷下关闭部分通道以达到节能目的。这里的通道指 PA 以及与 PA 对应的 TRX 和 DPD。通道关断要求恢复时间在秒级,因此能够关闭较多器件,以节省电能。

通道关断可以上下行分别关断:下行通道关断,5G-NR 基站需要考虑广播、信道状态信息(CSI)等的权值及覆盖变化;上行关断则需要考虑上行业务覆盖变化。运营商通常会要求关断前后的覆盖接近相同,那么则有:

- 5G-NR 基站需要在剩余天线上提高 SSB/CSI-RS/PDCCH 的发送功率,以保持与关断前小区公共信道的覆盖相同的覆盖。

- 由于剩余天线单位 RB 发射功率增加,造成可以支持的 RB 数目减少,这会限制 RB 最大个数。

- 从通道关断到通道恢复,已校准的相位和幅度均有变化,这时需要触发相位校正和幅度校正。

- 如果上行覆盖有冗余,则上行部分通道可以关闭。

由于通道关断会影响调度 RB 数目及覆盖,需要较频繁触发校正,而且以前优化的切换参数可能也会随之改变,所以一般用于业务比较少的时段。

### 1.4 PA 调压

PA 调压指调整 PA 的偏置电

压。在不同偏置电压下,功放的静态功耗不同。减少静态功耗可降低能耗。在保证一定功放线性度及相同输出功率下,一般功放偏置电压越低,静态功耗越小。当 PA 的偏置电压设置成低电压时,其最大输出功率会变低。这需要 5G-NR 基站调度器限制调度 RB 个数或控制总的基带输出功率,以避免功放进入饱和区。PA 调压适用于小区负荷较低场景。图 1 是一张典型的功放输入基带功率、输出功率、功放偏置电压关系示意图。功放在低负荷时会使用低偏置电压的工作区间,即图 1 中的  $V_2$  曲线。

调整电源偏置电压的稳定时间一般为 1~400 ms,对于不同电压稳定时间,适用场景也不同。如果稳定时间为 1 ms,那么 PA 调压可以实时跟踪业务包络,节能效果好,且能满足 QoS,但是电源价格昂贵;如果稳定时间为 400 ms,PA 不能够实时跟踪业务包络,虽然达到节能效果,但是有时可能不满足低时延业务,比如高可靠低时延通信 (uRLLC) 业务。

网络整体功耗很大。为了节能方便,可以按照下面规则来标定载波 (即服务小区) 的关闭优先级:

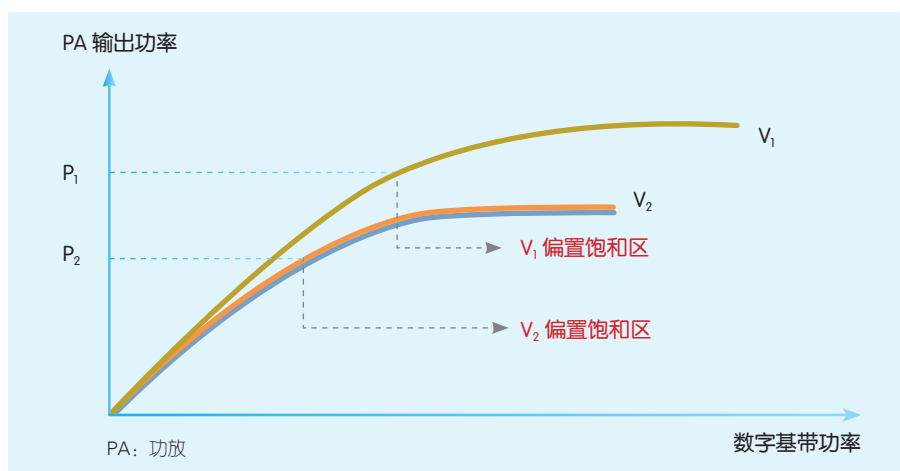
- 每个制式,具体包括 GSM、通用移动通信系统 (UMTS)、LTE、NR,可以在制式里分容量层和基础覆盖层。在容量层负荷低时,可以把业务负荷转移到基础覆盖层。

- 对于上述 4 个制式,又可以分为容量制式和基础覆盖制式。例如, NR 属于容量制式, GSM 属于基础覆盖制式。

- 在业务负荷较低时,关闭

顺序为:先关闭容量制式的容量层,再关闭基础覆盖制式的基础覆盖层,图 2 描述了载波的关闭顺序。

以 NR 的 NSA 方式组网时,可认为其中的 NR 是容量制式, LTE 是基础覆盖制式。如果 NR 业务量比较低,则可以智能地关闭 NR,同时把流量转移到 LTE 上。一旦 LTE 业务超过门限,再唤醒 NR 小区。这样一来,整个网络的功耗随着业务量变化而变化。载波关断恢复时间在分钟级,关闭的器件为 PA、TRX、DPD 芯片 (DPDIC) 和部分数字基带。载波关断适合跟



▲ 图 1 不同偏置电压下功放的输出功率示意图

## 2 多小区联合节能技术

### 2.1 载波关断

移动运营商经过不断发展,已拥有多个频段的频谱。中国移动至少拥有 1.8 GHz 频段的频分双工 (FDD) 制式的 LTE、1.9 G/2.6 GHz 频段的时分双工 (TDD) 制式的 LTE、2.6 G/4.9 GHz 频段的 NR 和 900 MHz 频段的全球移动通信系统 (GSM)。由于制式和频段众多,



▲ 图 2 载波 (服务小区) 的关闭优先级

踪网络流量的慢速变化包络。

## 2.2 人工智能节能

人工智能 (AI) [6-11] 技术也可以应用到基站节能上。AI 可以预测网络场景变化, 提前关断部分通道或者载波。例如, 高铁通过单个远端射频单元 (RRU) 时间只需要 1 s, 高铁来车间隔约为 3 min。所以, RRU 实际工作时间占比只有  $1/(3 \times 60) = 0.56\%$ 。通过 AI 可以获知高铁到达时间, 智能关断高铁场景的 RRU, 在列车到达前开启 RRU, 从而可以降低功耗。

图 3 是长沙大学校园 2 个站点的 LTE 用户数随时间变化的实景图。图 3 中逸夫楼在 23 点到凌晨 6 点间几乎没有用户。类似潮汐现象在网络里随处可见。AI 可以学习每个小区业务模型, 定时开启和关闭对应的 NR 小区。关闭后该场景下用户可以迁移至 LTE 或 3G 网络。

AI 还可以学习网络覆盖状况, 侦测并关闭冗余覆盖小区, 或根据

通道关断情况优化天线权值以保证覆盖 [12]。图 4 是网络拓扑在白天和晚上的变化示意图。晚上中间的小区由于业务少 (黑圈标注) 而被关闭, 其原有的覆盖由邻区改变权值后提供。图 4 的中间小区可以在适当时候关闭以节能。

综上所述, AI 节能可以在低负荷时调整权值, 增加重叠覆盖, 关闭冗余小区。AI 节能可以智能地打开或关闭潮汐小区, 也可以在宏微组网中关闭特定的小区。由于无线网络复杂, 需要考虑的因素很多, 人工优化特别困难; AI 则可以根据网络各时段特点及对 QoS 业务需求动态调整节能相关参数, 提高节能效率并满足一定的无线 KPI, 大大降低了网络维护的难度。

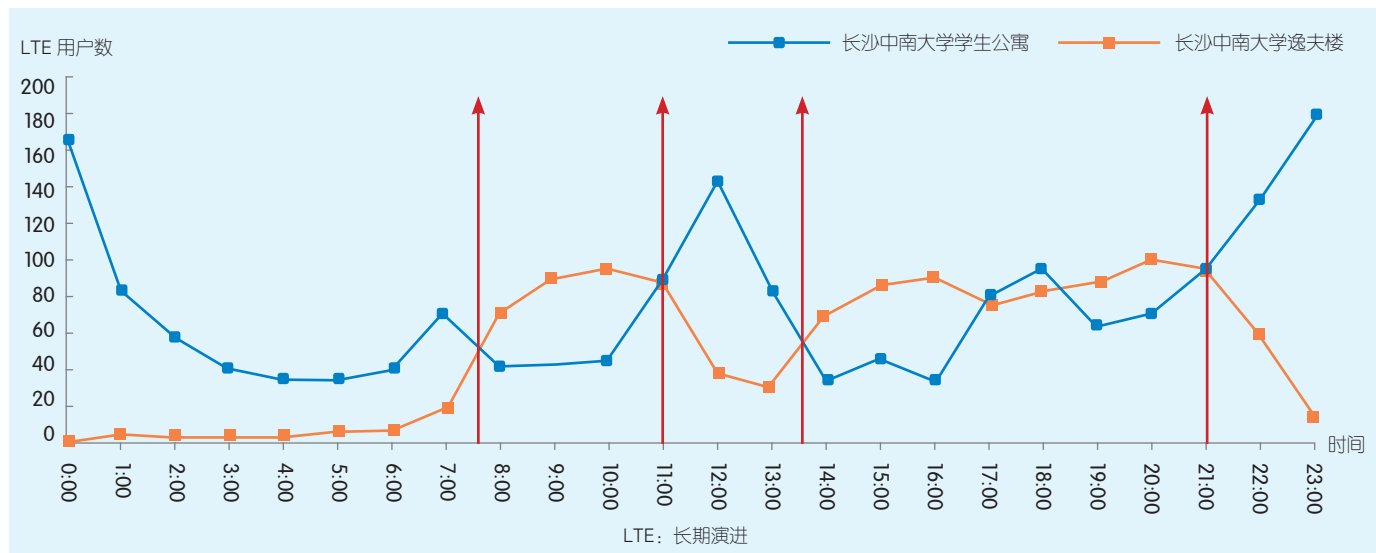
## 3 不同节能技术应用区别

在单小区节能技术中, 除了符号关断外, 其他节能技术对网络无线关键性能指标 (KPI) 都有一定的影响。符号关断和时隙关断对业

务影响忽略不计, 可以常开。如果 PA 调压稳定时间长, 需要在业务负荷低于一定门限, 且不包含时延敏感业务时才能开启; 如果 PA 调压稳定时间短, 跟踪业务包络不影响业务体验, 则可以常开。通道关断会影响小区覆盖及切换参数, 恢复时间较长。通道关断后, 要求小区用户较少, 业务对时延要求较低。

多小区联合节能技术里的载波关断由于恢复时间较长, 适用于小区业务负荷或用户数很低的场景。这时业务和用户可以负荷均衡到其他小区或其他无线制式; 而高级节能功能里的 AI 也是根据负荷预测, 利用小区某段时间负荷较低或网络重叠度高等特性关闭特定部分小区。图 5 是各个子节能功能在不同负荷开启时刻的示意图。

在实际网络中, 单小区节能技术一般用于小区负荷低 / 中 / 高场景, 而多小区联合节能一般用于更低负荷或重叠覆盖区比较严重的场景。例如, NR 网络初期用户少,



▲ 图 3 商用场景潮汐现象

大部分小区可以载波关断，其业务回落到 LTE，当 LTE 业务繁忙时才唤醒 NR。

#### 4 结束语

优化 5G-NR 基站节能性能时，软节能和硬节能都需要考虑。将来系统硬件和芯片架构可能会逐渐使用手机芯片的、以节能为主要考点的设计思路，并会考虑软件节能和软硬件的协同优化。在运营商的推动下，基站设计理念及架构将会有较大改变。

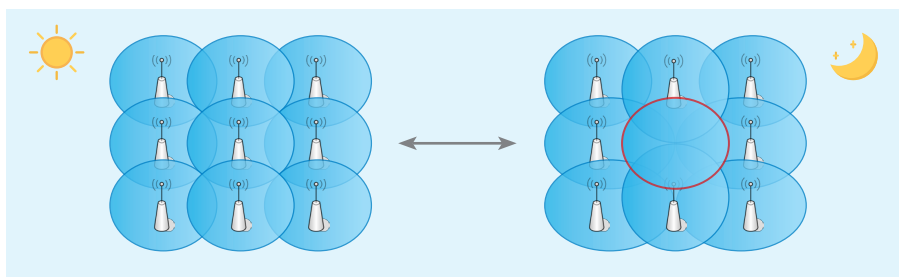
由于运营商网络的制式众多，节能参数变量有时域、通道域、载波域、无线制式、功放电压等，每项调整都会对网络无线 KPI 有影响。此时，人工调优几乎不可能。这使得将来的软件会逐渐采用 AI 技术来优化这些参数组合，并根据运营商需求在无线性能和节能 KPI 间达到平衡。

从标准化角度来看，5G-NR 基站节能有望在 3GPP 的协议中设立统一标准<sup>[13]</sup>。类似于 LTE 的微站打开/关闭功能有可能在 5G-NR 中得到增强。当然，协议规定的方法和实现的方法是相辅相成的，它们共同使得 5G-NR 基站能耗降低<sup>[14]</sup>。

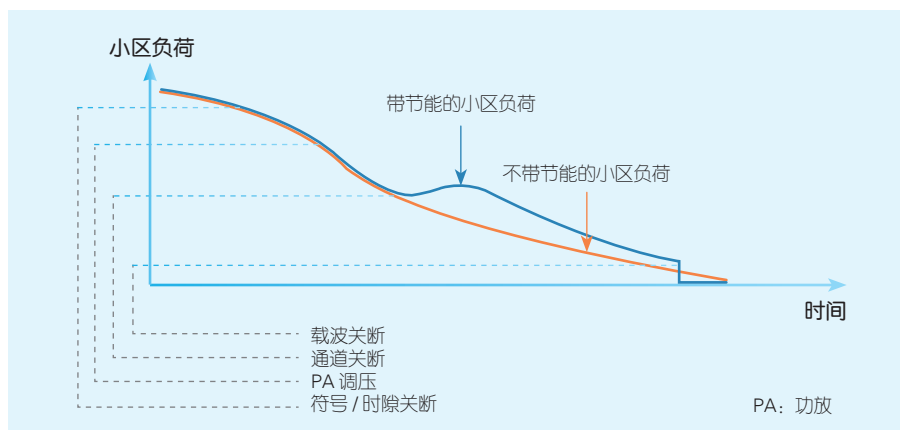
相信在不远的将来，绿色能源也将可以应用到基站中，例如，利用太阳能、风能就可正常工作，基站将更加“绿色”。

#### 参考文献

- [1] 3GPP. NR; Physical Channels and Modulation: 3GPP TS 38.211[S]. 2018
- [2] 3GPP. NR; Physical Layer Procedures for



▲ 图 4 网络拓扑在节能后的可能变化



▲ 图 5 各种软节能的应用场景

- Control: 3GPP TS 38.213[S]. 2018
- [3] 3GPP. NR; Physical Layer Procedures for Data: 3GPP TS 38.214[S]. 2018
- [4] 3GPP. NR; Medium Access Control (MAC) Protocol Specification: 3GPP TS 38.321[S]. 2018
- [5] 3GPP. NR; Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification: 3GPP TS 38.331[S]. 2018
- [6] 周志华. 机器学习 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016
- [7] 屠要峰, 吉峰, 文韬. 机器学习在大视频运维中的应用 [J]. 中兴通讯技术, 2018, 23(4): 2-8. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.04.001
- [8] 李航. 统计学习方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012
- [9] 李士勇, 陈永强, 李研. 蚁群算法及其应用 [M]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学出版社, 2004
- [10] 吴庆洪, 张纪会, 徐心和. 具有变异特征的蚁群算法 [J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(10): 1240-1245
- [11] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999
- [12] 陆平, 邓硕, 李伟华. 基于深度学习的多目标跟踪算法研究 [J]. 中兴通讯技术, 2018, 23(4): 14-19. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.04.003
- [13] raft\_MeetingReport\_RAN\_85190920[EB/OL]. [https://www.3gpp.org/ftp/tsg\\_ran/TSG\\_RAN/TSGR\\_85/Report/draft\\_MeetingReport\\_RAN\\_85190920\\_eom.zip](https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_85/Report/draft_MeetingReport_RAN_85190920_eom.zip)
- [14] YUAN Y F, WANG X H. 5G New Radio: Physical Layer Overview [J]. ZTE Communications, 2017, 15(S1): 3-10. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5188.2017.S1.001

#### 作者简介



**黄俊**, 中兴通讯股份有限公司资深架构师, 业界首个 LTE FMM 基站算法架构设计者; 现从事无线算法架构及系统节能架构的设计工作, 并重点从事无线数字信号处理、MAC 及 PHY 算法设计的工作。



**田森**, 中兴通讯股份有限公司高级工程师; 主要从事移动通信研发工作, 参与过 GSM/TDSCDMA/LTE/5G NR 基站产品研发, 目前重点研究 4G/5G 产品无线节能商用技术。



**张诗壮**, 中兴通讯股份有限公司高级工程师; 主要从事 CDMA/3G 平台/UMTS/WiMAX/TD-LTE 多个产品的研发和产品化工作, 目前聚焦于 5G 产品商用技术的研究。

# 端到端网络切片赋能 5G+超高清媒体行业

## End-to-End Network Slicing Enables 5G+Ultra HD Media Industry

孙晓文 / SUN Xiaowen , 陆璐 / LU Lu

(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)  
(China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)



**摘要:** 针对 5G 超高清媒体行业的高带宽等场景需求, 提出了一种端到端视频网络切片的解决方案。该方案通过打造一站式“5G 超高清行业移动网络切片”产品及服务, 解决了高清视频直播过程中传输成本高、传输稳定性低、部署周期长等媒体行业共性问题, 并基于现有网络环境进行了组网和性能测试, 精准匹配了媒体行业需求, 真正赋能泛在化富媒体应用场景。

**关键词:** 网络切片; 5G; 超高清媒体

**Abstract:** Aiming at the high-bandwidth and other scenes in the 5G ultra-high-definition media industry, a solution for end-to-end video network slicing is proposed in this paper. The media industry has common problems such as high transmission cost, low transmission stability, and long deployment period. Our end-to-end network solution solves the problems in the process of high-definition video live broadcast by creating a one-stop "5G ultra-HD industry mobile network slicing" product and service. Based on the existing network environment, the networking and performance tests are performed to accurately match the needs of the media industry, and truly enrich the rich media application scenarios.

**Keywords:** network slicing; 5G; ultra-high-definition media

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191220.1434.002.html>

网络出版日期: 2019-12-20

收稿日期: 2019-10-14

相比于 4G 以人为中心的移动宽带网络, 5G 网络将实现真正的“万物互联”, 并缔造出规模空前的新兴产业, 为移动通信带来无限生机。物联网扩展了移动通信的服务范围, 从人与人通信延伸到物与物、人与物智能互联, 使移动通信技术渗透至更加广阔的行业和领域<sup>[1]</sup>。智能家居、智能电网、环境监测、智能农业和智能抄表等业务, 需要网络支持海量设备连接和大量小数据包频发; 视频监控控制

和移动医疗等业务对传输速率提出了很高的要求; 车联网和工业控制等业务则要求毫秒级的时延和接近 100% 的可靠性。因此为了渗透到更多的物联网业务中, 5G 应具备更强的灵活性和可扩展性, 以适应海量的设备连接和多样化的用户需求, 在满足移动宽带的基础上, 以垂直行业需求为导向, 构建灵活、动态的网络, 满足不同行业需求<sup>[2]</sup>。垂直行业是 5G 时代重要的业务场景, 从传统以人为中心的服务拓展

至以物为中心的服务<sup>[3]</sup>。

以媒体行业为例, 信息传播最主要的特点是快速性。只有第一时间掌握舆论热点, 第一时间发布权威优质内容, 才能更好地引导舆论、引领思想。这对媒体行业的“采、编、发”各环节的效率提出了新的要求, 传统的采集、传输等方面能力亟待提升, 这主要体现在移动性、带宽、时延、可靠性和灵活性上, 转型升级已如箭在弦。媒体采集、传输环节中的典型场景包括: 新闻现场直

播（连线）、大型活动的场馆直播、大型活动的户外直播、灾害应急直播、节目素材回传。这几类场景代表了媒体采集的几种典型的传输和处理需求。本文中我们将重点讨论在这些场景中应用端到端网络切片技术以解决传输成本高、传输稳定性低、部署周期长等媒体行业共性问题，通过打造一站式“5G 超高清行业移动网络切片”产品及服务，精准匹配行业需求，真正赋能泛在化富媒体应用场景的普及，使能媒体行业采、编、播等全流程生产方式的产业升级。

## 1 端到端网络切片基本概念与架构

## 1.1 网络切片基本概念

网络切片是提供特定网络能力的、端到端的逻辑专用网络<sup>[4]</sup>。

网络切片从被提出至今，出现了网络切片、网络切片实例、网络切片类型等多个相关的概念，本节中我们将对这些关键概念的定义进行统一总结。

(1) 网络切片。网络切片是针对业务差异化、多租户需求提供的一类解决方案技术的统称,旨在通过功能、性能、隔离、运维等多方面的灵活设计,使得运营商能够基于垂直行业的需求创建定制化的专用网络。

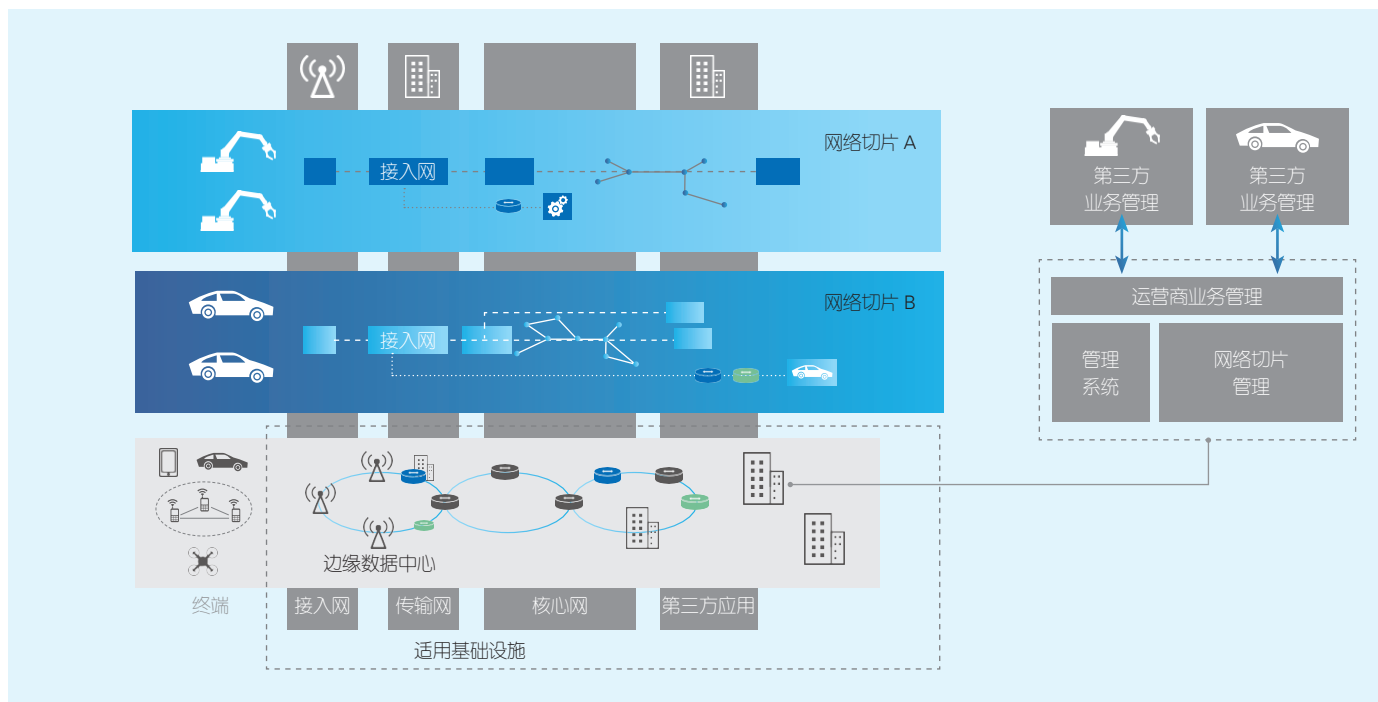
(2) 网络切片实例。网络切片实例是端到端的逻辑网络，由一组网络功能、资源及连接关系构成，具体包括接入网、核心网、承载传输网、第三方应用及公有云等多个技术领域。网络切片实例是网络运营意义上的逻辑概念。

(3) 网络切片类型。网络切片类型是用于区分网络技术的典型

差异化特征, 5G 网络定义了 4 种基础的网络切片类型, 分别是增强移动宽带 (eMBB)、海量机器类通信 (mMTC)、高可靠低时延通信 (uRLLC) 和车联网 (V2X) [4]。除此之外, 切片类型可以进行扩展, 适配于不同的业务需求。

## 1.2 端到端网络切片的整体架构

垂直行业提供各种类型的、可保证的网络连接服务，是端到端网络切片整体架构设计的目标。网络切片可基于传统的专有硬件构建，也可基于网络功能虚拟化（NFV）/软件定义网络（SDN）的通用基础设施构建。为了实现低成本、高效的运营，应尽可能采用统一基础架构。网络切片的整体架构由基础设施层、网络切片管理层及网络切片层（运行在基础设施之上的网络切片实例）3部分组成，具体如图1



▲图1 端到端网络切片整体架构

所示。

端到端网络切片整体有如下主要特点：

(1) 网络能力可按需编排，支持不同行业和场景的差异化需求。

(2) 切片间业务隔离，通过软、硬不同程度的切片，实现切片间业务的相互隔离、互不影响，满足行业对于高安全、高可靠、高隔离性的需求。

(3) 切片自动化独立运营，提供面向运营商和租户 2 个不同视角的切片管理器，实现切片端到端生命周期管理和关键性能指标（KPI）监测控制运维能力，使能行业像用水用电一样，做到简简单单购买，明明白白消费。

(4) 确定性网络服务等级协议（SLA）/服务质量（QoS）能力，面对不同行业的带宽、时延、抖动、丢包率等需求，进行差异化 +

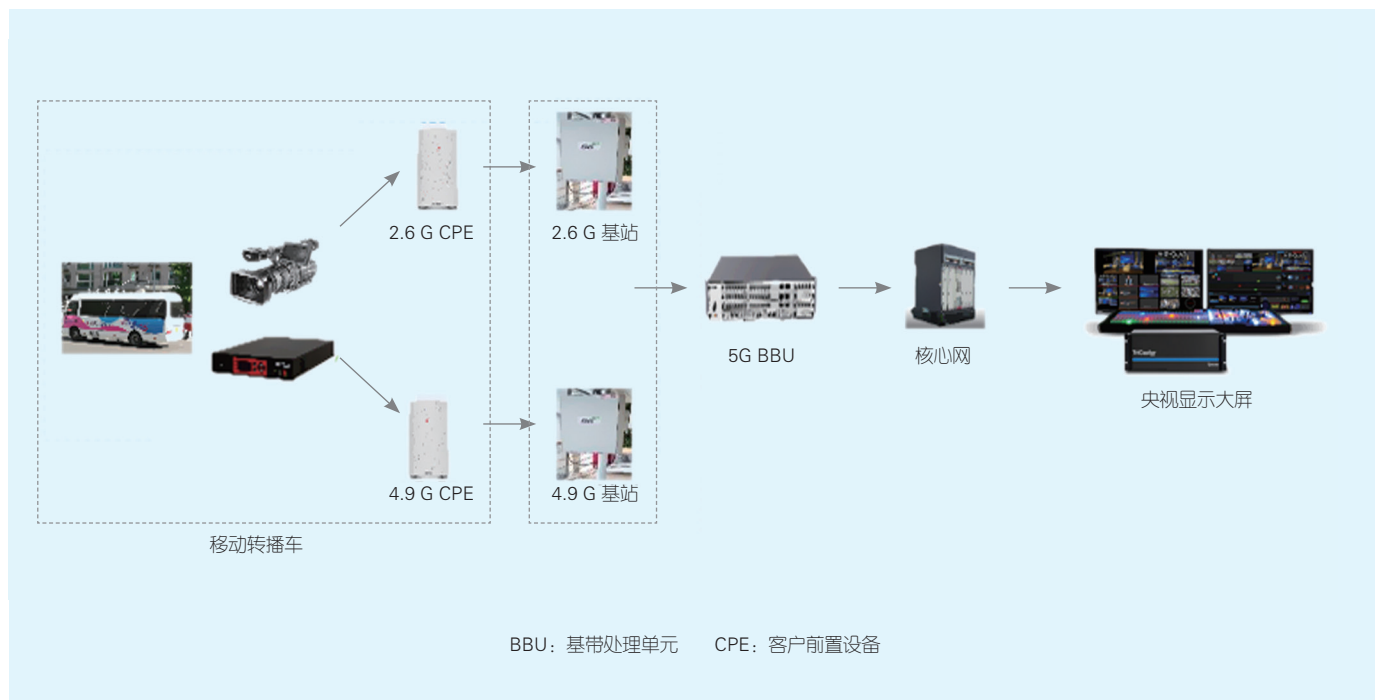
确定性的 SLA/QoS 保障，真正使得从 4G 时代的应用适应网络，转变为 5G 时代的网络适应应用。

## 2 端到端网络切片赋能 5G+ 超高清媒体行业的方案

### 2.1 端到端网络切片整体方案介绍

为了满足 5G+ 超高清媒体行业的场景需求，我们设计了整体端到端网络切片组网方案（如图 2 所示）。本方案通过引入 5G 网络切片技术，为新业务、新场景提供端到端质量可保证的网络通信连接，解决了超高清直播互动场景的网络通信痛点，为高体验的超高清直播业务开展提供技术支撑，后续可为基于直播的新型互动场景的研发提供技术可能。同时，网络切片可满足直播场景对网络质量的短周期、动态性要求。

在技术方案设计上，基于 5G 网络切片技术提供网络质量可保证、隔离、专用的端到端网络，并服务于此应用场景。直播录制设备的上行带宽要求多路，每路超过 50 Mbit/s 的高带宽。如果设计增加超高清直播互动，对网络下行时延的要求为 20~500 ms，现有网络带宽不足且不稳定，时延不稳定，难以满足业务场景需求。基于网络切片技术的专用网络，将构建接入网、传输网和核心网的逻辑专用网络，可保证此业务的通信质量要求，且不受其他业务的影响，有效解决了网络能力制约直播体验及业务发展的弊端。在进行端到端网络切片设计时，接入网支持 eMBB 类业务的差异化切片能力，例如，切片级优先级调度、切片级 QoS、切片级资源预留（硬隔离）、短时延切片等。未来还将根据标准进展定



▲ 图 2 端到端网络切片组网方案

义支持 mMTC 和 uRLLC 全业务切片, 进一步提升频谱效率。传输网可以提供丰富的软、硬切片类型, 包括 QoS 差异化保障、基于信道化子接口的软隔离、基于灵活以太网 (FlexE) 的硬隔离; 核心网基于服务化架构 (SBA), 灵活按需组合, 提供差异化的切片规格, 基于分布式用户面, 可以进一步使能短时延类业务。同时, 在端到端网络切片的解决方案中, 提供了移动边缘计算 (MEC) 的能力。通过边缘媒体云服务, 节目组和影视剧组可以利用 5G 的超大带宽能力将媒资上传到边缘媒资库中, 并利用超低空口时延获取边缘节点算力进行视频编辑。边缘节点也将与台内媒资库进行同步, 解决了媒体机构素材上传、存储、节目制作、备份等需求。导播系统部署在边缘节点上, 以达到充分利用空口的超低延时和超大带宽的目的, 信号制作团队可以在不影响制作质量的情况下灵活地选择其制作地点, 并且可以大幅度地降低其在导播车等设备上的投入。

在网络资源平台的搭建上, 基于电信云平台部署端到端网络切片网络与传统的光纤专网虚拟专用网络 (VPN) 相比有效降低了业务上线的周期, 达到“周”级的网络业务开通时长, 机动灵活, 可以随时随地满足各种直播场景、活动的需求。“动态切片”的实现使直播应用不再受限于专线开通的周期。另外, 直播活动时间短, 同样具有快速下线的要求, 且仅在高清直播活动举办期间申请质量可保证的网络切片, 活动结束后即可下线网络切

片并释放相关网络资源, 生命周期短, 订购灵活。

在网络信息采集侧, 5G 背包由于其便携性、强大的编码性能和网络聚合能力, 结合无线专线, 可在部分场景中替代传统的转播车方式, 实现媒体直播生产方式的跨越式升级。5G 背包可实现 4K 超高清信号的超低延时编码, 并通过 5G 网络将信号稳定传输至互动接收器并输出给台内系统, 从而代替新闻车实现外场的 4K 画面回传。同时, 背包上可接收互动接收器返送的实时音视频信号, 从而实现前方记者与后方演播厅的双向视频沟通。

本方案中, 5G 一体化背包可以支持广电级 4K 超高清编码, 将 12 Gbit/s 的 4K 原始信号进行 H.265 编码, 输出 40 Mbit/s 以上的码流, 支持 3 840 × 2 160 分辨率, 支持色度格式 4 : 2 : 2, 位深 10 bit, 帧率 60 P, 支持高动态范围图像 (HDR), 以及 BT.2020 与 BT.709 互转, 达到最高的 4K 电视信号回传标准。同时, 5G 背包采用多卡聚合传输技术, 即背包通过分流策略, 将待传输的码流分配到各个网卡上并做冗余传输和前向 / 后向纠错, 从而保障信号传输的稳定性。此外, 通过 5G 背包的双向互动功能, 一方面可以极大降低前方的压力, 让前方随时了解后方的情况, 从而做直播准备; 另一方面, 可实现问政、两地连线等视频交互类节目形式。

## 2.2 网络切片的生命周期

图 3 给出了端到端网络切片从

需求输入到最终部署实现的全生命周期流程。

(1) 准备阶段: 网络切片实例尚不存在, 运营商根据规划和需求进行准备工作。针对高清直播的业务特点, 通过 Portal 界面, 并通过多个维度 (SLA、时延、带宽、容量等) 定义高清直播业务需求, 同时根据业务特点进行网络原子化功能编排, 完成模板设计。

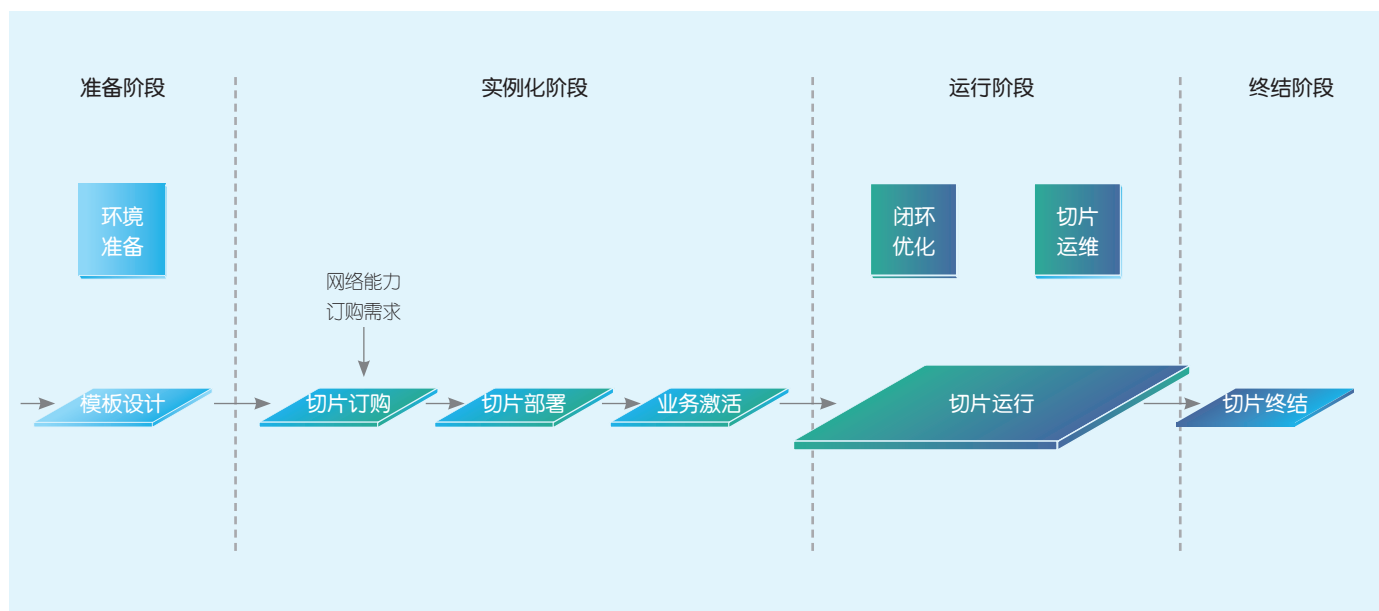
(2) 实例化阶段: 客户订购 5G 超高清直播网络切片, 选择所需服务和该网络切片所覆盖的区域, 然后根据需求选择基础设施的 SLA, 付费完成网络切片的订单, 切片管理中心启动切片实例化过程, 完成部署和数据配置。

(3) 运行阶段: 网络切片开始提供网络服务, 租户或运营商可以监测控制网络切片的实时运行状态; 基于超高清直播的网络切片是临时性的, 生命周期包含直播活动前调试阶段和整个赛事直播期间。

(4) 终结阶段: 当租户不再需要此网络切片时 (活动结束后), 可以发起停止流程, 删除网络切片并回收资源。直播业务结束后, 网络切片管理功能可以快速地终结高清切片回收资源, 以降低租户使用成本。

## 2.3 端到端网络切片业务保障

通过网络切片技术, 普通用户上网的业务流和视频直播业务流运行在不同的切片通道里面, 上网业务流出现拥塞时, 不会影响到超高清直播用户的业务体验。5G 核心网基于 NFV/ 容器技术实现高清直



▲ 图 3 网络切片生命周期

播数据转发面和其他业务的转发面隔离，也实现核心网转发的 QoS 保障；无线接入网基于切片化的资源管理和调度实现无线侧的超高清视频直播业务 QoS 保障；传输网当前可以切片分组网（SPN）构建硬隔离管道方式实现业务高速稳定传输的隔离保障。

## 2.4 应用测试结果

在外场试验测试中，真实试验环境采用了 2.6 G+4.9 G 双频组网，通过 4K 码流负载分担的方式实现高码率稳定上行，解决单频网络下基站切换期间速率下降导致的直播花屏问题。在平均上行速率 60 Mbit/s 的情况下，测试过程通过多次基站切换，验证切换过程中 4K 信号稳定、流畅。最终测试全程站间切换成功，期间无明显掉坑现象（但有抖动现象），总体满足 5G 超高清视频直播对上行速率的要求。

此次测试仅基于第三代合作伙伴计划（3GPP）R15 规范定义的端到端网络切片能力进行组网，验证了端到端网络切片的隔离性和 QoS 能力保障验证。后续的测试中，我们将在无线侧增强区别于 QoS 特性的资源调度机制，在端到端网络切片管理系统中也会提供网络服务质量保障增强的方案，以验证在移动场景下的多种直播场景和网络切片类型。

## 3 商业模式可行性探讨

5G 端到端网络切片在多媒体领域的部署为电信运营商创造了新的商业模式。运营商可以通过多种商对商（B2B）和商对客（B2C）商业模式将网络切片变现。

B2B 商业模式主要通过价值链上移来提供管理服务。在这种模式下，运营商不是简单地提供服务质量有保证的网络接入，而是在传送、托管和管理内容交付方面发挥更积

极的作用。这种网络即服务（NaaS）的业务会为内容公司提供更多的附加值。

B2C 商业模式则增强对传统网络服务以上的新兴优质服务的收费，运营商和内容公司都可以利用这种方式直接从 5G 网络切片支持的新兴多媒体业务中获取收入。在这种模式下，运营商可以利用 5G 网络切片支持的服务，提升 5G 网络的整体吸引力，从而吸引和留住用户。运营商和第三方之间合作也将在已有订阅的基础上增加优质多媒体服务，并通过更高层级的服务或增加整体订阅来获取收入。

在 5G 背包的使用上，其可以作为独立产品直接面向行业客户进行销售；对于成本敏感型客户，也可以采取独立产品租赁模式。此外，运营商也可以推出 5G 背包+5G 网络差异化服务+5G 网络定向流量套餐包的一揽子打包解决方案，按

下转第 33 页 ➡



# 5G 在能源互联网应用的 分析和思考

## 5G Application in Energy Internet

夏旭 /XIA Xu, 朱雪田 /ZHU Xuetian

(中国电信研究院, 北京 102209)  
(China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China)

**摘要:** 能源互联网将是产业互联网的最重要应用领域之一。当前, 在能源的数字化和互联网化的生产、传输、分配和使用的全环节中, 5G 给能源互联网带来了创新的解决方案。能源行业正在经历着新一轮的变革, 在新一代信息通信技术的融合下, 能源行业不仅更加清洁、绿色, 而且将变得更加智能、高效。通过 5G 技术持续增强电网产业和关联企业活力, 可有效提升效率和降低成本, 促进智慧能源系统和电力领域数字经济跨越式发展, 极大拓宽电网生态圈内各方的发展空间, 并有望带来下一波智能电网功能和效率提高。

**关键词:** 5G; 能源互联网; 泛在电力物联网; 智能电网; 网络切片

**Abstract:** Energy Internet will be one of the most important application fields of industrial Internet. In the whole digital and internet process in the production, transmission, distribution and application, 5G can bring innovative solutions to the energy source Internet. At present, the energy industry is undergoing a new round of changes. With the integration of the new generation of information and communication technology, the energy industry will be cleaner and greener, more intelligent and efficient. By using 5G to enhance the vitality of power grid industry and associated enterprises, the efficiency can be effectively improved and costs can be reduced, which promote the leapfrog development of smart energy system and digital economy in the power field, and greatly expand the development space of all parties in the power grid ecosystem. And it is expected to bring the next wave of smart grid function and efficiency improvement.

**Keywords:** 5G; energy Internet; ubiquitous power Internet; smart power grid; network slicing

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906005

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20191219.1517.004.html>

网络出版日期: 2019-12-19

收稿时间: 2019-10-17

与4G 技术等传统意义上的通信网络有所不同, 5G 技术是一个全面深入的融合网络技术, 代表着对现有技术的融合以及新技术集成接入后的总称。5G 融合网络通过移动通信技术的不断革

新发展和更高标准的制定达到无线网络系统的高级别新型网络质量目标, 满足人们对于移动通信网络更高层次的需求, 使人与人、人与物、物与物更加安全、快捷、高速地连接在一起。在以能源互联网为代表的产业互联网时代, 信息化正在开启以数据的深度挖掘和

融合应用为主要特征的智能化阶段, 这也与 5G 技术发展相契合。以 5G 为代表的先进信息通信技术在能源互联网具有广阔的应用前景。能源互联网与 5G 网络的深度结合, 尤其是电信运营商通信网络能力进行深度融合, 形成电网与电信的优劣势互补, 有效促进资源集

基金项目: 国家科技重大专项 (2017ZX03001013)

约化利用,将传统电网转变为能源信息枢纽,创建能源与信息共享互济、融合创新的新业态<sup>[1]</sup>。

## 1 能源互联网的发展趋势和挑战

在能源互联网中,通信技术是能源合理调配的前提和实现保障,能够促进未来新应用和服务的产生。随着各领域新技术的快速发展,能源互联网在发展、建设过程中遇到了一些新趋势和新机遇,为能源互联网的建设带来了一些列全新的挑战<sup>[2]</sup>。

(1) 新能源。为应对全球变暖,实现可持续发展,迫切需要发展可再生能源发电。可再生能源发电的大量并网将给电网运行、管理带来新的挑战:一方面,可再生能源发电的间歇性、随机性特点,给电网功率平衡、运行控制带来困难;另一方面,分布式能源(DER)的深度渗透使配电网由功率单向流动的无源网络变为功率双向流动的有源网络。

(2) 新用户。随着新能源汽车的快速发展,电动车充电容量需求十分客观,为更好地对需求侧进行管理(例如削峰填谷),用电管理可以采用新的模式。例如,充电车可以由传统的在设备接通时用电,转变为充电时间可选的互动式用电。

(3) 新要求。新设备新场景的出现对用电质量提出更高的要求。例如,一些高科技数字设备要求供电的“零中断”。另一方面,从电网运营角度对资产利用效率的

要求也在逐步提高,如提高设备利用率,减低容载比,减少线损等,需要对电网的负荷与供电进行更精确的调整。

(4) 新业务。在能源互联网中,随着分布式能源接入、电动汽车服务、用电信息采集、配电自动化、用户双向互动等业务快速发展,各类电网设备、电力终端、用电客户的通信需求爆发式增长,各种传感器组成的无线传感器网络需要服务无处不在的采集、传输,迫切需要实时、稳定、可靠、高效的新兴通信技术及系统支撑,新的电力服务和交易平台更需要优质网络保证。

## 2 5G 在能源互联网的应用分析

能源互联网作为典型的垂直行业的代表,对通信网络提出了新的业务需求。能源互联网业务的多样性决定了其通信网络需要支撑功能灵活、可编排、高可靠高隔离、毫秒级超低时延等拥有极致通信能力的网络。5G 由于具备“低时延、高可靠、大连接、高安全”等优势,有希望成为能源互联网的重要通信手段之一。5G 系统的增强移动宽带(eMBB)、高可靠低时延通信

(uRLLC)、海量机器类通信(mMTC)3大基础能力将有助于激发电力运行新型作业方式和用电服务模式,实现电网业务智能化升级,促进电力新兴业务发展。

从能源互联网业务特征和业务属性来看,能源互联网在5G典型应用场景主要分为以下2大类(具体如表1所示):

(1) uRLLC 工业控制类业务,具体可包括智能分布式配电自动化、毫秒级精准负荷控制。

(2) mMTC 信息采集类业务,具体可包括低压用电信息采集、智能分布式电源。

在这2大类最典型的5G能源互联网应用之外,还存在着eMBB和专网基础通信业务等5G需求<sup>[3]</sup>。

### 2.1 5G 网络切片

5G 推出网络切片来应对垂直行业多样化网络连接需求。5G 网络切片能够为不同垂直行业提供差异化、相互隔离、功能可定制的网络服务,实现客户化定制的网络切片的设计、部署和运维,在功能场景和设计方案可进行独立裁剪。5G 网络切片是在一个通用硬件基础上虚拟出多个端到端的网络,每

▼ 表1 5G 网络切片匹配智能电网不同业务场景需求

业务场景和 5G 要求	通信时延	可靠性	带宽	终端量级	业务隔离	业务优先级	业务类型
智能分布式配电自动化	*****	*****	*	***	*****	*****	I
毫秒级精准负荷控制	*****	*****	**	***	*****	*****	I
低压用电信息采集	*	***	***	*****	*	***	II
智能分布式电源	****	*****	*	*****	***	**	II (上行) +I (下行)

mMTC: 海量机器类通信 uRLLC: 高可靠低时延通信  
注: \* 表示要求等级, I/II 分别针对 uRLLC 和 mMTC

个网络具有不同网络功能, 适配不同类型服务需求。5G 网络切片具备了“端到端网络保障服务等级协议 (SLA)、业务隔离、网络功能按需定制、自动化”的典型特征, 它能使通信服务运营商动态的分配网络资源、提供网络即服务 (NaaS), 同时也为行业客户带来更敏捷的服务、更强的安全隔离性和更灵活的商业模式<sup>[4-6]</sup>。

5G 网络切片具体包括切片设计、部署使能、切片运行、闭环优化、运维、能力开放等。为了保证切片敏捷的特征和业务独特性, 切片可以实现定制化设计, 包括切片的模版设计 (GST) 和实例化设计。模版设计阶段通过通信服务管理功能 (CSMF)、切片管理功能 (NSMF) 和子切片管理功能 (NSSMF) 进行协同 (能力通报、能力分解和能力匹配)。如表 2 所示, 我们组装出一个端到端切片的模板, 在测试床对模板进行验证, 以保证其能够达到预想的网络能力。在切片实例化设计阶段, 需要根据具体订单需求触发: 当租户需要使用网络切片时, 可以选用预置的切片模板或进一步定制的模版, 并通过 CSMF、NSMF 和 NSSMF 逐

层确认部署信息, 如表 2 中进行的实例化部署, 则产生一个可用的切片网络<sup>[4-6]</sup>。

## 2.2 5G 及电力切片应用实践

基于泛在电力物联网的坚强智能数字电网, 选取配网差动保护、精准负荷控制、配电自动化、用电信息采集、配网状态监测、实物 ID、智能巡检、视频监控控制等典型业务, 并从网络带宽、时延、传输距离及终端密度、安全可靠、协议接口等维度分析业务需求, 提出高适配性的端到端网络切片方案和试验验证方案, 以更好地建设 5G 内、外场验证环境, 验证 5G 网络性能、网络切片、安全及业务承载性能, 并探索网络切片租赁、基站共建共享等创新商业模式, 从而为 5G 技术深入应用于能源、电力行业提供支撑。

(1) 中国移动在上海临港开展了基于 5G 网络的配网同步相量测量 (PMU) 应用研究与验证工作。配电网 PMU 的通信需求包括通信频次高、延时要求小、数据多样性等。实验室测试结果表明, 端到核心网通信回环时延在 10 ms 以内; 通过外场业务挂网测试, 初步验证

了 5G 网络满足配网 PMU 业务低时延、高可靠性要求。

(2) 中国电信在雄安新区开展基于 5G 网络的电力业务适配性试点验证工作, 选取配电自动化、用电信息采集业务进行了业务承载性能测试。在 3.5 GHz、4.9 GHz 2 个公网 5G 频段, 通信速率上行最大为 467.9 Mbit/s, 通信端到端平均时延为 13~27 ms, 配电自动化遥控响应时间为 23 ms, 用电信息采集召测响应时间 671 ms, 满足业务承载需求。

(3) 国家电网在河南官渡变电站建成中国首个 500 kV 高压变电站 5G 测试站, 通过 5G 网络成功实现了变电站与省电力公司的远程高清视频交互。这是中国 500 kV 级以上高压 / 特高压变电站首次使用 5G 技术, 验证了 5G 网络在高电磁复杂环境下的大带宽业务特性和高可靠性, 现场单用户实测速率达到 400 Mbit/s 以上。5G 还能用于电力无人机巡线、变电站设备运行状态监测控制、变电站机器人巡检、远程移动视频监控控制等新型运维业务, 支撑变电站监测控制、作业、安防等业务向智能化、可视化、高清化升级。

(4) 中国电信在南京完成了业界首个基于真实电网环境及最新第三代合作伙伴计划 (3GPP) 标准 5G 独立组网 (SA) 网络的电力切片测试, 利用 5G 网络的毫秒级低时延能力, 结合网络切片的 SLA 保障, 提升了在突发电网负荷超载情况下对末端小颗粒度负荷单元的精准管理能力。测试初步验证了核

▼ 表 2 5G 切片管理能力

网络切片管理功能	定义
CSMF	通信服务管理功能, 负责将通信业务相关需求转化为网络切片相关需求
NSMF	网络切片管理功能, 负责 NSI 的管理和编排, 以及从网络切片 E2E 需求中衍生出切片各子网相关需求
NSSMF	网络切片子网管理功能, 负责 NSSI 的管理和编排

CSMF: 通信服务管理功能  
E2E: 端到端

NSI: 网络切片实例  
NSMF: 网络切片管理功能

NSSI: 网络切片子网实例  
NSSMF: 网络切片子网管理功能

心网切片应用可行性,经实测端到端平均时延为 37 ms。5G 切片可以满足精准负荷控制 50 ms 的端到端平均时延要求。

在配电、用电环节,5G 网络切片能在现有的光纤专网的基础上形成低成本、高质量的补充解决方案,在智能分布式配电自动化、毫秒级电网负荷控制、低压用电信息采集等典型的应用场景下发挥重要作用。

### 3 5G 在能源互联网商业可行性思考

5G 电力切片的研究,从能源互联网的新型作业方式和服务模式出发,立足新型业务需求,寻求更加实时可靠、高效安全的通信网络支撑,从而使得能源通信运营更智能、能源企业更智慧、能源用户更便捷。马斯洛模式给出了不同的行业对于 5G 网络切片存在着 3 层不同的需求。具体以智能坚强电网客户的业务需求而言<sup>[2]</sup>。

(1) 第 1 层是针对服务质量 (QoS) 和 SLA 的保障需求。例如,电力行业的要求是希望哪怕在春节抢红包的流量高峰期也能保证电力业务百分之百地按照所承诺的 QoS 和 SLA 运作。为了匹配这个需求,就要求提供端到端跨接入、传输、核心网的端到端质量协同和保障方案。

(2) 第 2 层是业务隔离需求。电网对业务隔离要求非常高,在内部划分了一二区、三四区,横向要做到双向隔离。因此在接入侧,可以提供基于区域/时域/频域的隔

离方案;在传输侧,可以提供类似于灵活以太网 (FlexE)、软件定义分组传送网 (SPTN)、软硬交叉、专有通道等不同的隔离方式;在核心网侧,基于全虚拟化的架构,可以灵活地实现基于虚拟机容器等不同层级和颗粒的隔离体制。

(3) 第 3 层是独立运维管理的需求。这是电网作为一个大型的代表性行业所具有的典型差异化客户需求。电网客户认为购买了运营商对应的切片资源,能对所购买的切片资源做到可视化的透明管理,对运营商提供的切片资源能够依据所承诺的关键性能指标 (KPI) 核实和验证。

因此,运营商针对电网的需求,对切片模板进行了独特设计:一键式的网元实现和应用能够实现端到端网络业务质量 KPI 实时监测控制。在这 3 层需求之外,电网客户对 5G 安全和可靠也提出了等同于准军事级别的要求,在 5G 安全和可靠性方面进行了定制开发和增强。

未来,影响 5G 网络成功的因素,不仅有技术还有商业模式。根据案例,我们总结了未来 3 种潜在的商业模式。而未来到底哪一种模式可行,又或会不会产生新的商业模式,也将是后续持续探索的焦点<sup>[7]</sup>。

(1) 标准模式,即运营商统一建设端到端的 5G 网络,电力企业或其他垂直行业根据业务需求租用其中的一片或是多片,并由运营商提供管道和增值服务。

(2) 混合租赁模式,即公网

和专网结合的模式。电力企业会从成本考虑,选择租用最复杂、投入最大、维护最困难的运营商基础设施网络,包含基站和核心网。同时,为了满足对网络切片资源的可视化透明管理诉求,电力企业将自新建独立的管理面。电力企业已经具有了良好的光纤传输专网覆盖;因此从成本节约的角度,会考虑尽可能地利用现有的传输专网的资源,形成与运营商的 5G 切片混合组的网模式。

(3) 托管模式,即电力企业在拿到 5G 频谱资源的前提下,出资自建独立专用、资源专享的 5G 专网,同时为了节省运营成本 (OPEX),也充分利用运营商在网络运营方面的经验和优势,把 5G 专网切片托管给运营商进行运维管理。

当前,全球电信运营商正在加大试验 5G 赋能行业网络技术的力度。考虑到当前的商业模式以及现行的技术瓶颈,大型的公用设施企业常采用专有长期演进 (LTE) 网络,利用 5G 及网络切片来解决和满足大型的公用设施企业对于通信的急切需求;但是挑战在于 5G 切片只能在 5G 独立组网 (SA) 下才能支持。除能源互联网,5G 也可能彻底改革智慧城市、无人驾驶和工业自动化。5G 和垂直行业应用相结合后,将在运营商和不同的垂直行业间创造双赢的关系,产生巨大的商业价值。

### 4 结束语

在全球能源互联网发展的背

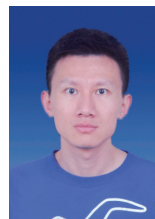
景下,从 5G 在能源互联网实践中的分析可见:各种场景的业务差异体现在不同的 5G 网络指标要求上。运营商和设备商应针对行业客户的特定指标要求,进一步量化 5G 网络的技术指标和架构设计,包括使用确定化的高质量 5G 行业网络解决方案来进一步增强 5G 网络切片,以满足安全性、业务隔离、端到端业务时延的严格要求,提供以能源电力行业为代表的完整 5G 网络解决方案。通过进行联合 5G 技术验证和示范,在可信的 5G 网络(切片)安全、行业模组、安全卡等实现关键技术突破,通过建设 5G 应用示范区共同探讨商业模式,充分释放 5G 及网络切片的盈利能

力,让运营商和诸多行业都能够从 5G 中受益。

#### 参考文献

- [1] 张蓓. 当能源互联网遇上 5G 技术 [J]. 上海节能, 2019(5): 342. DOI:10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2019.05.005
- [2] 夏旭,朱雪田,梅承力,等. 5G 切片在电力物联网中的研究和实践 [J]. 移动通信, 2019,43(1): 63-69
- [3] 杨德龙,孟萨出拉,丁慧霞,等. 5G 网络切片技术能源互联网应用分析 [J]. 无线通信, 2018,8(6): 252-257
- [4] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Enhancement of Network Slicing (Rel16):3GPP TR 23.740V0.5.0[S]. 2018
- [5] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Specification on System Architecture for the 5G System (5GS) (Rel16):3GPP TS 23.501V16.2.0[S]. 2019
- [6] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Specification on Procedures for the 5G System (5GS) (Rel16):3GPP TS 23.502V16.2.0[S]. 2019
- [7] 程琳琳. 中国电信夏旭:用比特驱动瓦特 电力切片成 5G 行业应用突破口 [J]. 通信世界, 2018,779(21): 36. DOI:10.13571/j.cnki.cww.2018.21.024

#### 作者简介



**夏旭**, 中国电信研究院标准副总监、3GPP SA1 副主席、中国 IMT-2020 5G 应用组组长、中国通信学会 TC5 移动核心网组组长;长期从事 4G/5G 移动通信技术标准、网络演进策略研究和业务创新工作;获中国通信学会科学技术奖二等奖、中国电信集团标准优秀奖、首届中国 5G 绽放杯应用大赛一等奖(5G 网络切片使能智能电网)等。



**朱雪田**, 教授级高级工程师, 中关村国家自主创新示范区高端领军人才, 北京邮电大学通信与信息工程专业工程硕士导师, 现任中国电信北京研究院网络技术与规划部主任;长期从事 4G/5G 移动通信和互联网技术创新与研发工作, 作为项目组长先后负责多个 4G/5G 领域的移动通信国家重大项目;发表论文 50 余篇, 专利 20 余篇, 出版个人专著 2 本。

← 上接第 28 页  
月/年租模式收费。

#### 4 结束语

4G 改变生活, 5G 改变社会。5G 发展的关键在于提供差异化和定制网络服务的能力。在 4G 时代, 所有的业务都部署运行在同一个通信大管道内, 网络只能提供“一条赛道、尽力而为”的业务体验。所有的业务都一视同仁地行驶在同一条道路上, 如果遇上网络拥塞, 即使是高优先级保障的服务也无法脱颖而出, 业务同样被迫受损。5G 时代, 得益于端到端网络切片在差异化组网、可保障 QoS/SLA、业务隔离以及独立运维等能力上的革命性提升, 使得我们真正能够从 4G 时代的“应用适配网络”, 演进到 5G

时代的“应用定义网络”, 为行业提供差异化+确定性的网络服务能力。基于本次 5G+ 超高清媒体行业应用的测试验证, 在 5G 时代移动运营商可以为媒体行业提供连接能力, 通过 5G 网络实现随时随地直播, 并实现视频流快速回传;使用 5G 网络切片功能, 确保视频传输质量;通过运营商边缘计算能力, 实现视频流在本地的快速渲染、处理。5G 除了可以帮助垂直行业帮助实现更多新业务场景外, 5G 网络切片在多媒体领域的部署方面为电信运营商创造了新的商业模式。

#### 参考文献

- [1] 魏军. 5G 通信技术推动物联网产业链发展 [J]. 集成电路应用, 2017(1):75-79. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2017.01.019

- [2] 侯建星, 李少盈, 祝宁. 网络切片在 5G 中应用分析 [C]// 中国通信学会信息通信网络技术委员会 2015 年年会论文集. 2015: 71-72
- [3] 陆平, 李建华, 赵维铎. 5G 在垂直行业中的应用 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(1):67-74. DOI: 10.12142/ZTETJ.201901011
- [4] 3GPP. System Architecture for the 5G system: TS 23.501[S]. 2018

#### 作者简介



**孙晓文**, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所项目经理;主要从事端到端网络切片标准化及关键技术研究、行业解决方案制定等。



**陆璐**, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所副所长;长期从事移动核心网策略、演进、标准和技术研究工作, 主要涉及未来网络架构、智能管道、NFV/SDN、网络能力开放等领域。

# 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<sup>[1]</sup>。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。

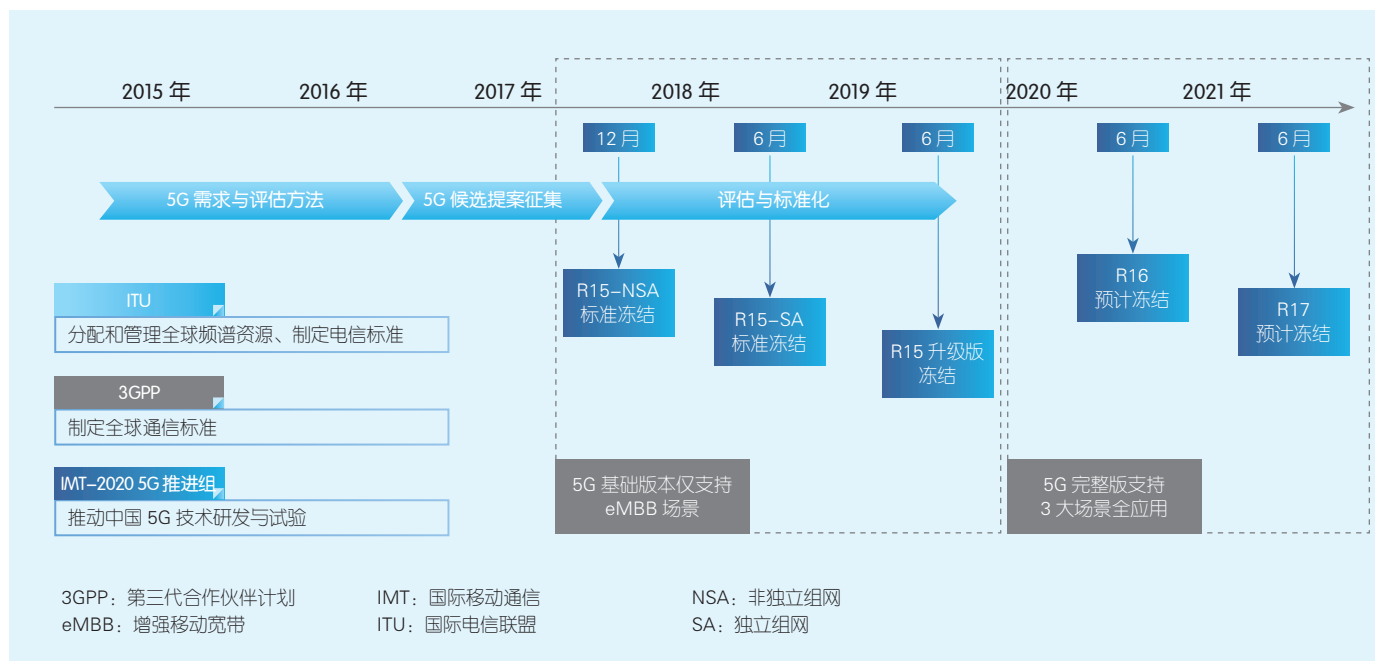
3GPP 作为制定 5G 标准的核心组织，已于 2018 年 6 月正式宣布 5G 新空口（NR）技术独立组网

（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<sup>[2-3]</sup>。

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<sup>[4]</sup>；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

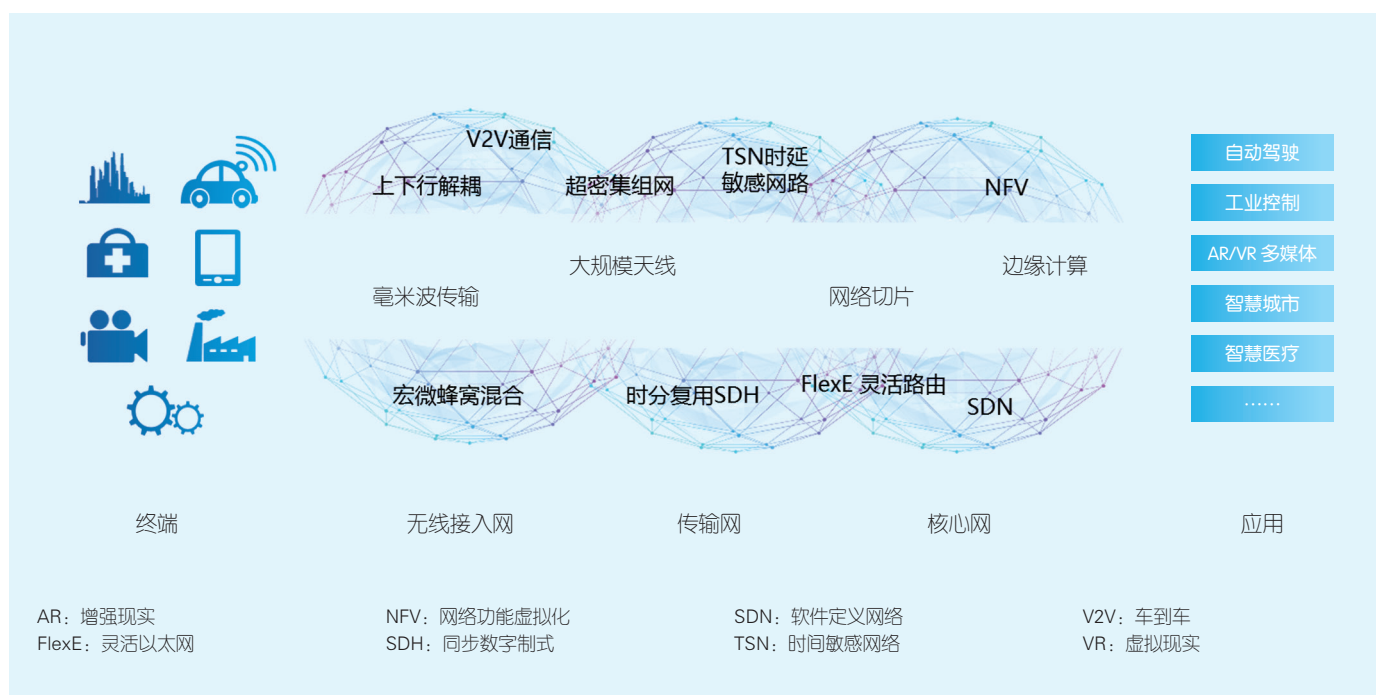
5G 在无线侧的关键技术以毫米波通信和大规模天线技术为代表，但目前中低频段的带宽已被广播和 2G/3G/4G 占用；因此 5G 将开拓高频段的毫米波进行无线网络部署。毫米波具体是指波长为 1~10 mm 的电磁波，对应频率为 30~300 GHz。相比而言，4G 长期演进（LTE）频段最高频率的载波在 2 GHz 左右，而可用频谱带宽只有 100 MHz；因此，如果使用毫米波频段，带宽宽度是 4G 的几十倍，传输速率也可得到巨大提升。

### 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<sup>[6]</sup>。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<sup>[6]</sup>。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<sup>[7]</sup>。

### 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<sup>[8]</sup>。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<sup>[9]</sup>。

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<sup>[10]</sup>。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

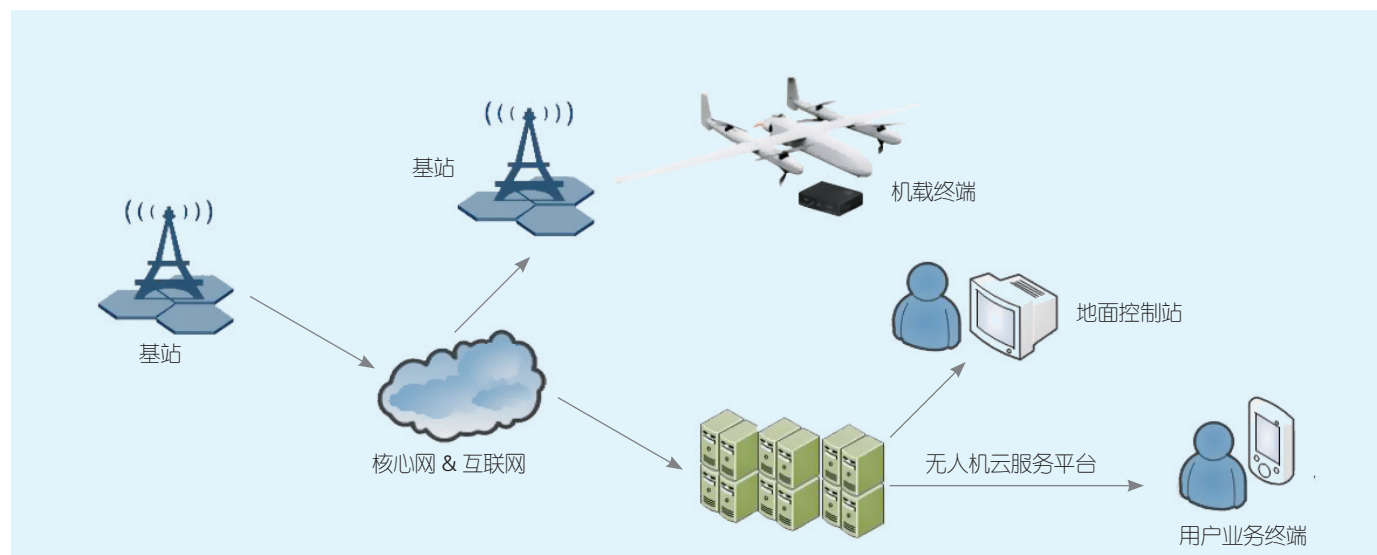
无人机不仅是一种交通方式,在各行业领域应用广泛,更是催生了“无人机+”的新兴产业模式。无人机农林植保、物流运输、管线巡检、江河巡视、公共安全将随处可见,对第一、二、三产业诸多领域产生深远影响,基础电信运营商都在积极拓展产业互联网市场。工业无人机应用市场作为产业互联网市场的重要组成部分,拥有巨大的

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。

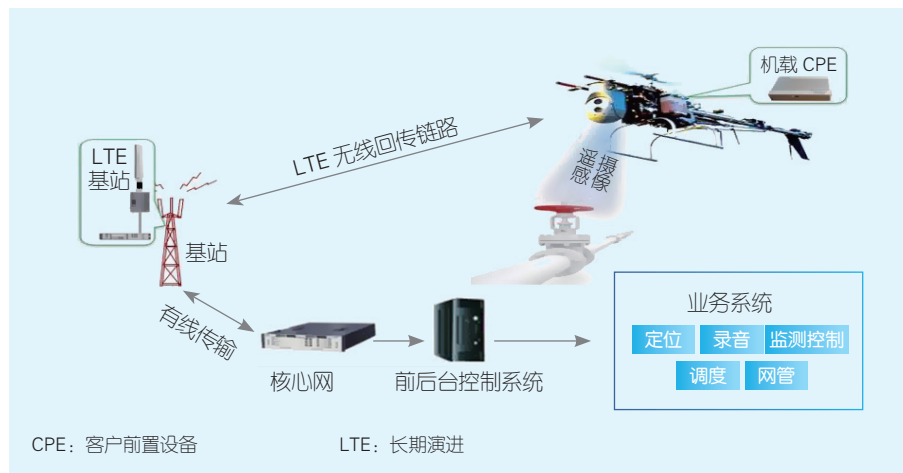
5G 空口时延相比于 4G 有了较大的降低，同时无人机平台的端到端时延也可以大幅度降低。如果加入移动边缘计算技术，无人机云平台时延会进一步降低。网联无人机对时延最低要求是 20 ms，对于遥控遥测延时一般建议 200 ms 以内。网联无人机对网络覆盖要求如图 7 所示。

### 3.2.4 网联无人机对 4G/5G 核心网的要求

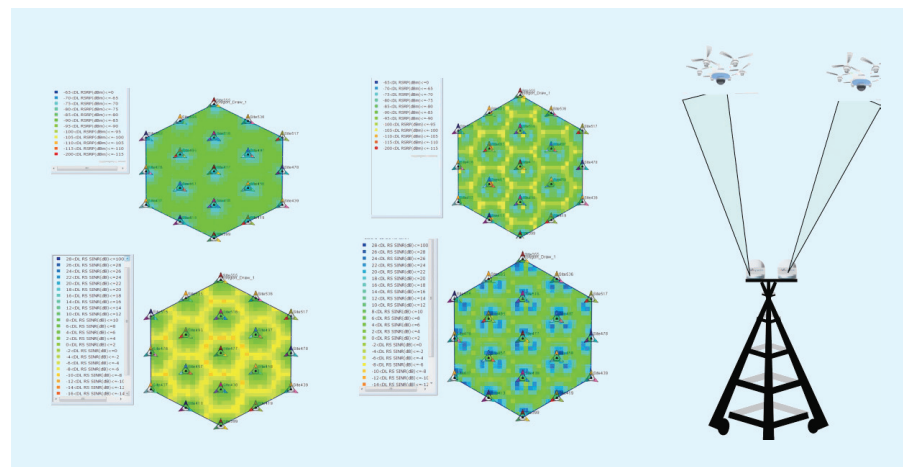
为便于对网联无人机终端管理，更加有效利用 5G 网络对无人机进行控制，也区别于普通地面终端的应用策略，需要为网联无人机建立专用的核心网。5G 核心网切片正适应了这一发展要求，通过建立专用的逻辑网络的网络切片技术，在逻辑上实现网联无人机与地面终端的业务和无线策略区分。进一步地，可以细化无人机网络切片，区分不同应用行业的无人机 UE，以及使用不同切片分别保障控制数据和业务数据业务。此外，5G 可以实现更细颗粒度的服务质量保障，保证网联无人机通信不同的数据类型得到相应的最佳承载，对于视频流和控制流的承载，设置不同的优先级，保证通信的可靠性。

### 3.2.5 网联无人机对无人机云平台的要求

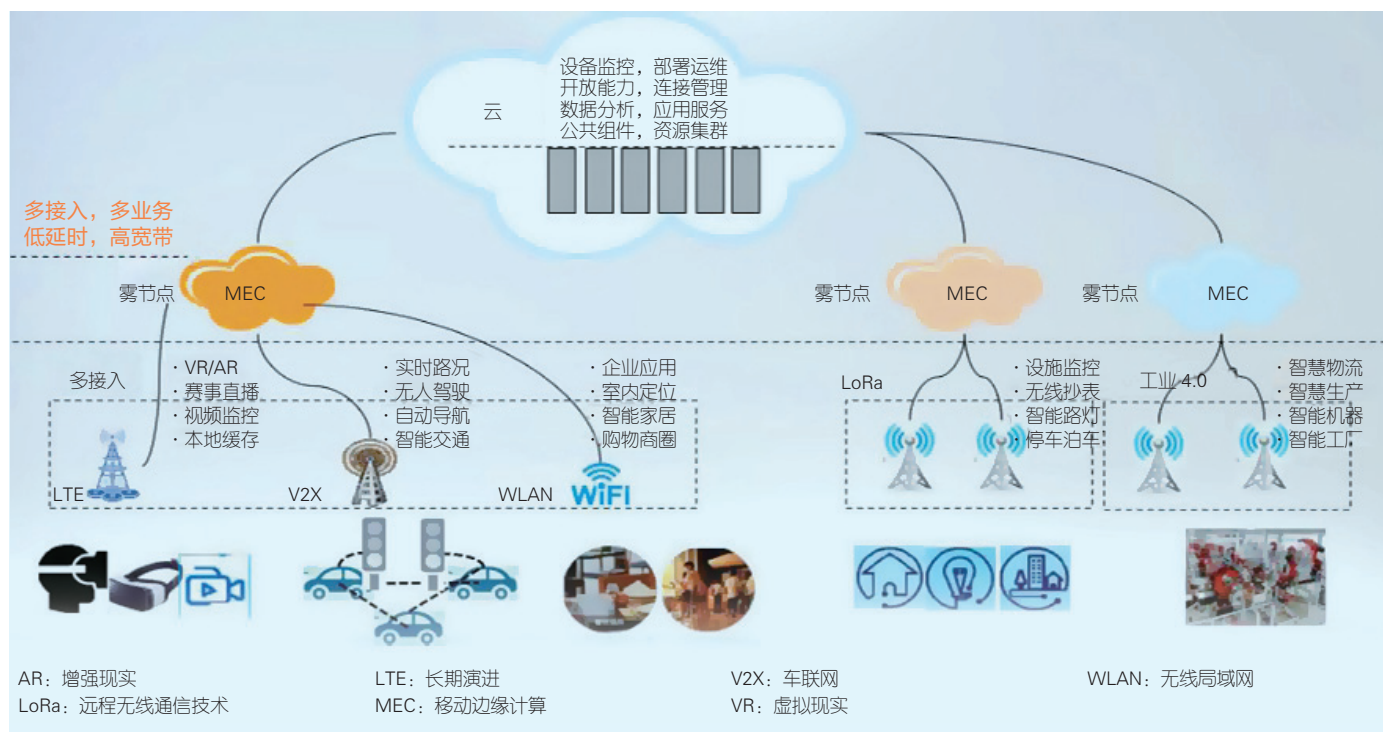
无人机飞行后会产生大量的飞行数据，包括遥测数据和载荷数据。行业应用的不同对数据的处理要求也有不同，有实时处理需求也有离线非实时处理需求，需要由统



▲ 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。

# 智能高铁中的 5G 技术及应用

## 5G Technologies and Applications in High-Speed Railway

艾渤 /AI Bo, 马国玉 /MA Guoyu, 钟章队 /ZHONG Zhangdui

(北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

(State Key Lab of Rail Traffic Control & Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)



**摘要:** 介绍了面向智能高铁的 5G 场景及业务需求, 并针对场景及业务分析了适用于智能高速铁路的大规模天线 (MIMO)、超可靠低时延、大规模接入等 5G 关键技术。同时给出了 3 种智能高铁中的 5G 应用案例: 5G 智慧车站应用、5G 物联网应用以及 5G 移动边缘计算 (MEC) 应用。认为 5G 多种关键技术将会为未来实现高速铁路的智能升级提供了有力的支撑。

**关键词:** 高速铁路; 智能系统; 5G

**Abstract:** Based on the overview of the intelligent high-speed railway, the scenarios and business requirements of 5G for the intelligent high-speed railway are introduced. The 5G key technologies such as massive multiple-input multiple-output (MIMO), ultra-reliable low-latency communications, and massive access are also analyzed. Meanwhile, three 5G intelligent high-speed railway application cases, including railway station, 5G Internet of things application and 5G Mobile Edge Computing (MEC) application are presented. It concludes that 5G key technologies will provide strong support for the intelligent upgrade of high-speed railways in the future.

**Keywords:** high speed railway; intelligent system; 5G

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906007

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191221.1302.002.html>

网络出版日期: 2019-12-23

收稿日期: 2019-10-28

### 1 智能高铁概述

作为最具可持续性的交通运输模式, 高速铁路已成为国民经济大动脉和大众化交通工具, 是国家关键基础设施和重要基础产业, 对中国经济社会发展、民生改

善和国家安全起着不可替代的全局性支撑作用。同时, 由于信息技术突飞猛进, 智能化技术取得突破性进展。人类社会在经历了工业化、信息化之后必将向智能化时代迈进。在此背景下, 高速铁路需要采用云计算、物联网、大数据、人工智能、移动互联网、建筑信息模型 (BIM) 等先进技术, 通过持续技术创新, 推动铁路现代化、智能化水平大幅提高, 促进中国铁路向智慧铁路转型升级, 总体技术水平达到世界领先<sup>[1]</sup>。

智能高速铁路由智能装备与运营、面向旅客的智能服务技术、智能建设 3 个方面构成。

(1) 智能装备与运营, 包括智能动车组、列车自动驾驶、智能供电系统、智能调度、智能防灾系统以及智能运营维护等。

(2) 面向旅客的智能服务技术: 包括智能服务设施、车站运营智能感知、车站设备智能监测控制与管理等。

(3) 智能建设: 包括智能高铁工程建设管理以及基础设施智能

**基金项目:** 国家重点研发—国家战略性国际合作重点专项项目 (2016YFE0200900)、国家重点研发计划重点专项子课题 (2016YFB1200102-04)、国家杰出青年科学基金项目 (61725101)、国家自然科学基金高铁联合基金重点项目 (U1834210)、北京海淀联合基金项目 (L172020)、北京市科委重点项目 (Z181100003218010)、牛顿高级研究学者基金 (61961130391)

检测监测等。

《综合轨道交通 5G 应用技术白皮书》指出,智能高速铁路是一个复杂的系统工程,以上 3 方面都离不开 5G 的泛在支持<sup>[2]</sup>。5G 网络通过提供人人通信、人机通信和机器之间通信的多种方式,支持移动因特网和物联网的多种应用场景。面向高速铁路的 5G 技术不仅为行业用户也为商业用户提供高性能需求业务,在车地之间建立同时满足支持高速移动、高速率、高可靠、高实时(四高)的通信链路。因此,高速铁路场景成为 5G 的一个典型场景,并受到越来越多来自国际学术界和工业界的关注<sup>[3-4]</sup>。

## 2 智能高铁的 5G 场景业务需求

随着中国铁路信息技术的发展,车地间通信的业务需求在不断拓展,移动视频监控控制、列车车况信息远程实时监测、优化控制和自动驾驶、智能列车、铁路物联网、旅客服务等各种新的业务需求不断涌现并日益迫切。此外,列车运行的环境有高架桥、山区、隧道、U 型槽等,场景的不同导致无线信道的特性有很大差异。因此,智能高速铁路通信具有业务类型和传输场景多样的特点,对 5G 的性能提出了很高的要求。

根据应用场景分类,智能高铁 5G 需求可分成 4 大类场景:铁路正线连续广域覆盖、铁路站场和枢纽等热点区域、铁路沿线地面基础设施监测、智能列车宽带应用。每种场景对通信的要求如表 1 所示。

根据业务类型分类,智能高铁

的 5G 需求可以分为 4 大业务属性:列控及运行相关业务、列车综合服务业务、铁路物联网业务以及旅客车载移动宽带接入业务。每种业务属性的业务名称如表 2 所示。

## 3 智能高铁中的 5G 关键技术

### 3.1 大规模天线技术

由于智能高铁场景中用户移动速度较快,传统蜂窝网络存在频繁小区切换问题,导致信号质量急剧下降乃至掉线,极大影响了用户体验。为了解决这一问题,分布式大规模天线技术有望成为较好的解决方案<sup>[5]</sup>。如图 1 所示,分布式大规模多输入多输出(MIMO)系统将大量安装有一根或多根天线的接入点分布在轨道两侧,通过回程链路将数据传输到中央处理单元(CPU),利用相同的时频资源为多用户服

务。分布式大规模 MIMO 系统具有 3 个优势:首先,用户与部分接入点(AP)之间距离较近,可以降低大尺度衰落影响,带来宏分集增益,可以在轨道区域提供均匀、稳定、可靠的用户服务质量(QoS);另外,AP 成本较低,能够灵活部署,且由于每个 AP 的天线数量有限,其尺寸可以做得很小,灵活部署于空间受限的地点,如轨边电线杆等;最后,分布式大规模 MIMO 系统能够避免频繁蜂窝小区切换,减少控制信令交互,从而能够节省宝贵的无线资源,提升用户体验。

### 3.2 高可靠低时延技术

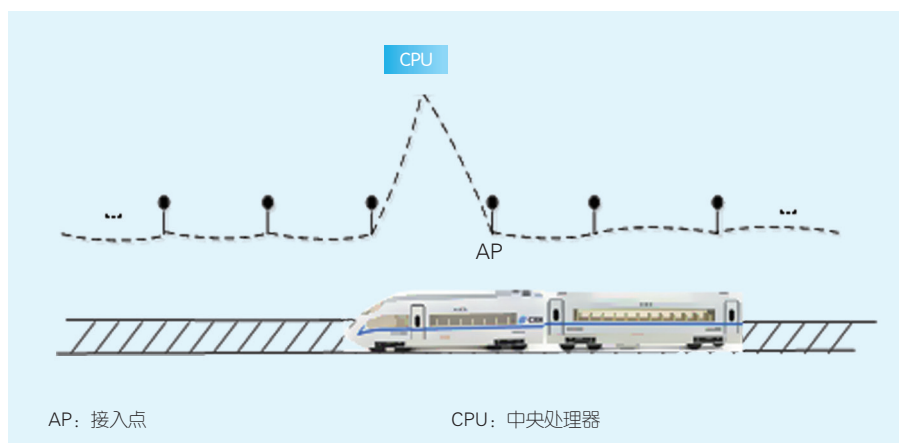
面向智能高铁的高可靠低时延通信(uRLLC)主要解决 3 个方面的无线通信业务传输需求,即服务于列控相关信号的车地无线信息传输、服务于旅客相关业务的车地

▼ 表 1 智能高铁 5G 应用场景分类

应用场景分类	特点
铁路正线连续广域覆盖	车地通信为主、广域、满足高速要求、优先级高
铁路站场和枢纽等热点地区	局域、速度低、业务类型丰富、业务量大
铁路沿线地面基础设施监测	静止、监测数据速率低、图像数据速率高
智能列车宽带应用	车区间为静止、数据量大;车地间为采用车站或出入库集中传输,速度低、数据量大

▼ 表 2 智能高铁 5G 业务属性

业务属性	业务名称
列控及运行相关业务	智能控制系统、车载高清视频监控控制系统、分布式应急通信、远程监测与故障诊断
列车综合服务业务	客运信息发布系统、定制化旅客服务系统、客运娱乐系统
铁路物联网业务	智能行车编组调度、乘务组动态调度、移动票务系统、旅客行李安防系统、货运管理信息系统、铁路集装箱联运系统
旅客车载移动宽带接入业务	商旅云办公、车载高清视频娱乐系统、车载即时通信系统、车载在线联机游戏、车内旅客社交网络、移动远程急救系统



▲ 图1 面向轨道交通场景的分布式大规模多输入多输出系统网络架构

无线信息传输和服务于设备小型化且分布式部署的设备间无线信息传输。支撑这3类业务的核心挑战来自于高速移动场景下信道环境的快速变化与传输可靠性、传输时延之间的矛盾，以及相对静止场景下高吞吐量、高可靠性与低时延的矛盾。

uRLLC的核心性能指标是信息传输可靠性，即误包率（PER）或分组错误率，以及端到端（E2E）的传输时延。目前无线通信系统设计的基础之一是香农信道容量，而香农信道容量刻画的是无穷长码长、渐进无误码传输的最大可达速率。从信息论的角度看，这一方面的工作仍需要投入大量深入的研究，包括不同基本通信模型下的传输可达速率、采用极化码或低密度对偶校验（LDPC）码等实际信道编码后的性能刻画；从信号处理和无线通信系统优化设计的角度看，需要基于有限码长编码的既有相关研究成果进行uRLLC系统的优化设计<sup>[6]</sup>。此外，针对状态反馈控制系统，控制端往往仅需要最新的系统状态。为此，信息年龄（AoI）

可以用于uRLLC业务端到端时延的有效度量<sup>[7]</sup>。目前，面向高速移动场景的uRLLC系统设计在基于有限码长编码、AoI 2个维度均开展了一系列研究，包括uRLLC数据包的联合调度与资源配置机制、空口端到端性能保障的上行与下行联合传输机制设计、面向信道估计误差的uRLLC鲁棒传输机制、基于混合自动重传请求（HARQ）传输机制的uRLLC传输包传输机制设计、uRLLC与增强移动宽带（eMBB）数据包的混合业务调度与传输机制设计等<sup>[8-11]</sup>。

### 3.3 大规模接入技术

智能高铁场景复杂、区域分散，包含较多的出入口和围栏，因此需要大量的传感器节点才能实现无盲区覆盖。高铁车站作为重要的综合交通枢纽，包含诸多的无线通信使用场景，在车载视频、乘客信息服务、人工智能识别、等方面，5G接入技术将发挥巨大作用。

不同于语音通信和传统数据通信，海量机器类通信（mMTC）

作为5G的研究重点之一，具有大规模的设备数量、小数据包传输、低移动性、低活跃度及功耗受限的特点，是一种具有稀疏性的通信场景。传统的基于授权的随机接入方法具有繁琐的信令交互流程，这不仅会造成过多的时延，还会造成频谱资源的浪费。同时，传统方案中有限的前导码资源使大规模设备的冲突明显加剧，使接入成功率大大降低，并不能有效应对海量接入的场景<sup>[12-13]</sup>。

基于压缩感知理论的免调度接入技术通过在媒体接入控制层设计新的接入协议，在物理层设计新的信号处理流程及帧结构，设计联合解决设备活跃度检测、信道估计及数据恢复的算法<sup>[14]</sup>。媒体接入控制层接入协议设计如图2所示，活跃设备同时发送其分配的导频序列及小包数据，基站侧利用压缩感知相关算法实现多用户检测。在基站侧利用前导码进行活跃用户检测及信道估计，进而实现数据恢复。协议相比于长期演进（LTE）中传统的基于授权的随机接入方案减少了接入的步骤，可大大降低接入时延；同时，面对机器类通信小数据包的特性，可减少传输中控制信息的占比，以提高系统的频谱效率。物理层设计如图3所示，为不同设备分配非正交的前导码及扩频码，在相同前导码及扩频码长度下，可支持更多的接入过载，提高支持设备数量。同时，本技术考虑在数据帧内置设备识别码，以实现用户活跃度检测及数据恢复的校验功能，进一步地在算法设计中构成反馈机制。

这样一来,可避免非正交多址中串行干扰消除的错误泛化问题,增强基站在进行多用户检测时的抗干扰能力并提高接入成功率。免调度接入技术在成本、电池寿命和计算能力等条件约束下,可从支持设备的数量、接入成功率、接入时延等指

标上增强接入性能。

## 4 智能高铁中的 5G 应用

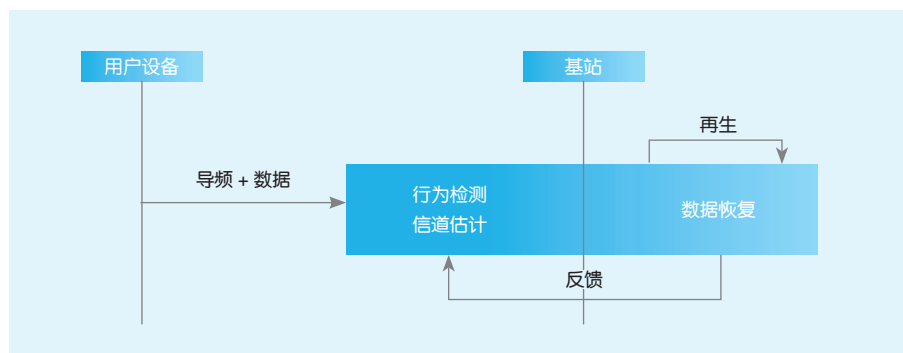
### 4.1 5G 智能高铁车站

高铁车站是 5G 智能高铁的一个重要室内应用场景,其移动通信

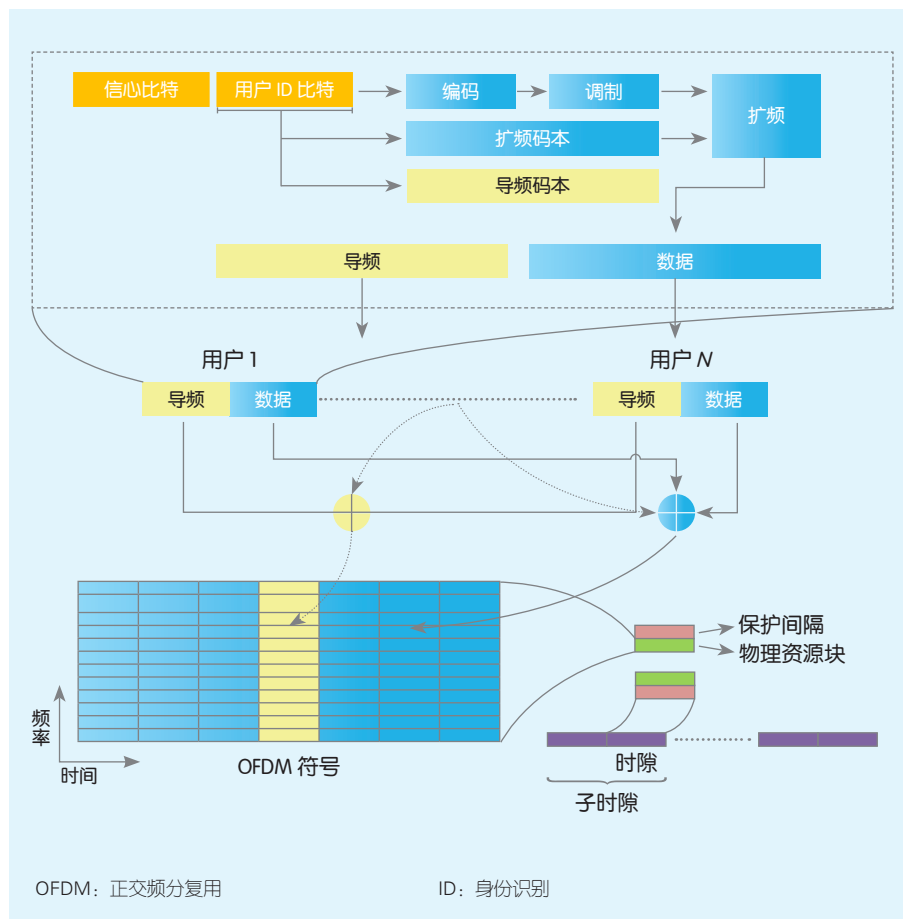
业务需求包含了室内导航、人员信息管理、视频通话、安全防范、站内运营、停车管理等。高铁车站大厅一般占地上万平方米,容纳多至上万人同时候车,数据流量密集;因而,需要考虑有效的室内覆盖及传输手段,保证终端在运行速度为静止状态或低速状态下的正常通信,使旅客享受到高速、便捷的 5G 网络服务<sup>[15-16]</sup>。

目前,5G 室内数字系统(DIS)已应用于高铁火车站的智能化建设中,具体如图 4 所示。2019 年 2 月 18 日,上海移动正式在虹桥火车站启动 5G 网络建设,为全球首个采用 5G DIS 建设的火车站<sup>[17]</sup>。

上海虹桥火车站是亚洲最大的交通枢纽之一,其每年的平均客流量超过 6 000 万人次,在旺季期间日客流超过 33 万人次。在 5G DIS 的支持下,虹桥火车站的峰值传输速率达到了 1.2 Gbit/s,实现了智能送餐机器人、导航问路、高清视频通话、云虚拟现实(VR)等多种新型应用。DIS 的典型特征包括有源天线、以太网光纤传输、可视化运维和服务多样化。其中,有源天线有助于在高低频实现大规模 MIMO 及 E2E 网络;以太网光纤传输相较于传统电缆传输不仅可以支持 5G 新频段,且占用空间较小,适合室内布置;可视化运维可以对海量的终端状态进行实时检测控制,从而实现自动化的网络资源分配、故障诊断及自我修复;服务多样化则可以满足室内移动终端提供多种通信服务需求。通过上述特征,DIS 可以完全满足服务增长、容量扩展、无缝覆



▲ 图 2 多媒体接入层接入协议



▲ 图 3 物理层信号处理流程

盖、可视化运维等 5G 网络的多维需求。

#### 4.2 5G 物联网应用

5G 物联网应用是智能高铁中 5G 应用的一个重要应用形式,利用物联网技术和设备监测控制技术可以加强对高速铁路系统的信息管理和服务。高铁内需要维护的设施众多,维护任务繁重,可利用物联网技术采集各类设备状态信息,后通过 5G 网络接入回传到物联网操作平台处理。这样就可以解决以往数据回传网络存在的带宽及传输速率的限制,从而让轨道交通由被动维护变为了智能监管,可以实现高铁运维实时监测控制、高清视频监控控制、远程维修维护、物流跟踪管理,大大提高了整个轨道交通系统的维护效率和强化系统的安全性。

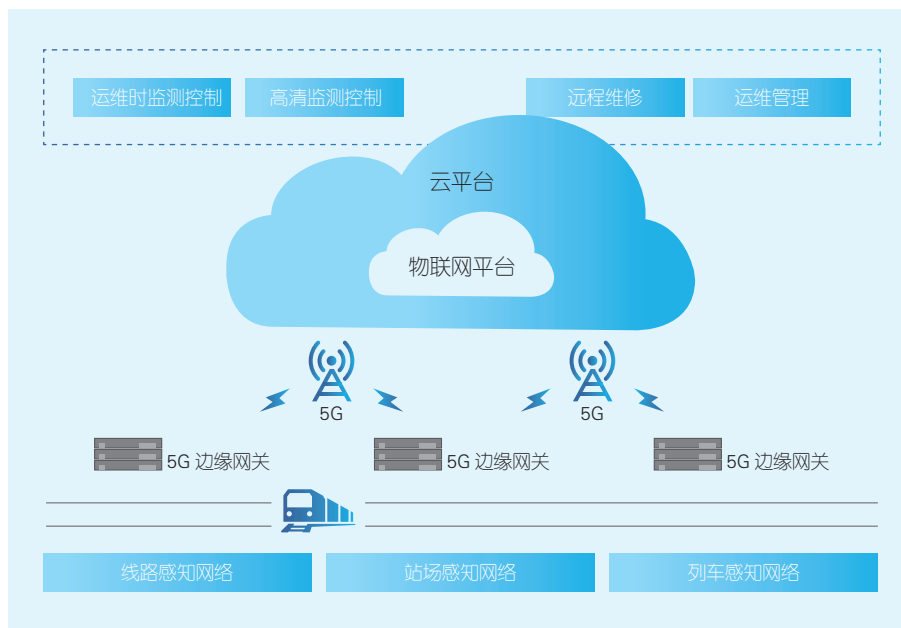
如图 5 所示,该应用技术方案为基于 5G+ 物联网技术的高铁智能运维技术架构,主要包括感知传感层、边缘接入层、基于云平台的物联网平台层、大数据及人工智能层和智能运维应用层 5 个层次。物联网感知层包括 3 个部分:基于人的监测检测信息感知、基于设备的监测检测信息感知以及基于环境的监测检测信息感知。边缘接入层是指通过 5G 边缘网关实现物联网各感知节点间的连接,从而实现云平台与边缘节点的协同,保障各种应用场景下感知信息通过 5G 网络回传的能力,具备关键业务本地处理的实时响应速度。物联网平台层提供的服务主要包括:连接管理、设备管理、统一接入网关、认证与鉴

权、消息管理、告警管理、规则引擎、安全审计、安全管理、报表统计、大数据对接和应用编程界面网关等。大数据云平台为物联网平台提供可以弹性扩展的数据存储、离线处理、流式在线处理能力,以及基本的分布式计算服务、流式计算

框架、分布式表格存储服务等,为系统应用提供高效、多维的数据支持。基于物联网技术的人、物、环的全面感知,通过 5G 网络实现感知信息的高效、稳定回传,利用基于云平台的物联网平台全面管理能力、大数据平台综合分析能力、人



▲ 图 4 基于 5G 的室内数字系统的智能高铁车站



▲ 图 5 5G 物联网技术在轨道交通智能运维的应用

工智能平台的智能处理能力,实现高铁的运维智能化。

### 4.3 5G 边缘 MEC 应用

在智能高铁中,视频业务、车辆网等应用场景对时延和带宽等传输质量具有很高的要求。现有网络架构中,终端到核心网之间传输距离过长会增大传输时延。尽管核心网侧能够提供较快的计算和较强的存储能力,但如果将大量业务数据全部上传至核心网侧进行处理,则会导致回传网络拥堵、资源竞争激烈,影响时延敏感性业务的传输质量。比起云计算,MEC 的传输时延更低,效率更高,数据管理成本更低,通过在本地为时延敏感性业务提供服务,以减少上传到核心网侧的数据量,缓解回传网通信压力。因此,通过在靠近终端侧位置部署 MEC 作为中心云的补充可以很好地解决上述问题,同时结合 5G 网络切片技术实现业务之间的安全隔离,就近为终端提供专用的网络和

应用资源。

轨道交通 MEC 应用如图 6 所示。通过部署 5G MEC 应用实现车路协同,可以实时获取列车周围的环境信息,将大部分的传输流量和计算负载整合到道路边缘层。例如,轨道实时视频监控控制,摄像可将其视频流就近上传至 MEC 做分析处理,识别轨道上的突发情况,并及时给列车下发合理的调度指令,以保障列车行驶安全。

在智能高铁的客运服务系统建设中,通过将部分客运服务系统功能部署到本地 MEC,为乘客提供云售票机或互联网取票机、智能客服机和云票务平台等新型的客运服务,满足乘客电子支付等新需求,提供更加便捷灵活的客运服务。类似地,可以在客运车站部署 MEC 来为乘客提供车站本地化服务。例如,车站智能安防可以通过视频监控控制分析关键区域人群,判断人员拥挤度。车站环境监测和控制可以通过物联网设备传感器采集环境

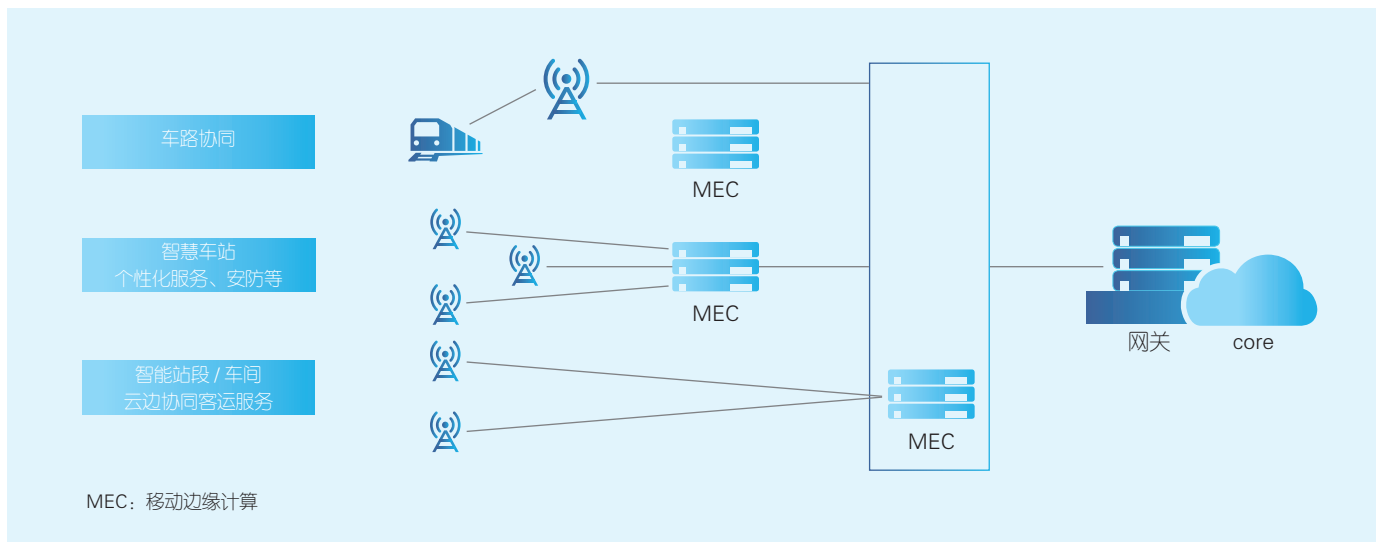
信息,然后根据环境信息进行设备自动控制、温湿度调节等。

在高铁轨道交通站段/车间,通过部署 MEC 应用可以实现区域化数据实时采集、存储和分析。例如,根据采集到的数据进行设备故障诊断,根据预先设定的报警机制,及时告警,并将故障信息反馈至本地车间。

## 5 结束语

本文中,我们介绍了面向智能高铁的 5G 场景及业务需求、适用于智能高速铁路的 5G 关键技术以及智能高铁 5G 应用案例。通过上述分析及介绍,可以看出 5G 关键技术在未来将会渗透到智能高铁的各个方面中,从而有力地支撑高铁智能化的实现。在未来的研究中,高速铁路的移动通信系统将继续考虑建立可信的通信网络,实现高移动速度下高数据速率的持续在线可靠传输以及实现网络、计算、存储

下转第 54 页 ➡



▲ 图 6 轨道交通 MEC 应用

# 传媒变革： 5G 对媒体的基本影响

## Media Revolution: Impact of 5G on Media



赵子忠 /ZHAO Zizhong, 张坤 /ZHANG Kun

(中国传媒大学新媒体研究院, 北京 100000)

(New Media Institute, Communication University of China, Beijing 100000, China)

**摘要:** 5G 新生态使得“万物互联, 人机共生”, 对信息形态和信息处理能力产生影响, 进而为传媒信息业态带来变动和新的可能性。信息采集有了“全媒体”的概念, 海量链接推动信息采集海量化, 人工智能促进信息采集智能化和自动化; 实时视频、虚拟现实、云视频等内容集成业务和平台得到大规模推动, 更多元的内容生产形式和内容形态将展现; 信息分发场景“移动化”和“集成化”趋势明显。除了个人移动媒体外, 车载媒体信息终端和家庭场景将成为未来应用商、设备商和运营商争夺的 2 大市场。

**关键词:** 5G; 万物互联; 全媒体; 云计算; 视频 +

**Abstract:** The 5G new ecology has produced two philosophical concepts: “Internet of Everything, Human-Machine Symbiosis”, which has an impact on information form and information processing capabilities, and it brings changes and new possibilities to the media information format. Information collection tends to “everything is media”. Massive links promote information collection and artificial intelligence promotes intelligent collection and automated collection. Content integration services and platforms such as real-time video, virtual reality, cloud video have been promoted on a large scale. More and more content forms will be displayed. The trend of “mobilization” and “integration” of information distribution is obvious. In addition to personal mobile media, in-vehicle media and home scenes will become popular.

**Keywords:** 5G; Internet of everything; omnimedia; cloud computing; video +

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906008

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191223.1117.004.html>

网络出版日期: 2019-12-23

收稿日期: 2019-10-28

### 1 5G 是信息高速公路

5G 是信息高速公路, 为整个社会提供信息传输服务。从 2019 年西班牙电信展上看, 以中国移动等为代表的企业推出的应用场景, 包括车联网、物联网、智慧家庭、5G 折叠屏手机、远程医疗、金融服务、虚拟现实 (VR) 和增强现实

(AR) 等, 基本覆盖了社会信息服务的主要领域。

5G 技术的 4 大技术指标具体为: 1~20 Gbit/s 的峰值速率、10~100 Gbit/s 的用户体验、1~10 ms 的端到端时延和 1~100 倍的网络能效提升。技术的大变革使得 5G 技术完全不同于 4G, 有了质的飞跃: 5G 网络 1~20 Gbit/s 的峰值

速率比 4G 网络最高 1 Gbit/s 的峰值速率高出近 20 倍, 1~10 ms 的延时也较 4G 网络 70 ms 的延时缩减 7 倍以上。这种吉比特每秒级接入速率和近 1 ms 的端到端延时完全超越了过去互联网应用及移动通信的基本速率和时间, 终端处用户能够拥有完全不同的网络连接体验和感受, 对移动互联网中信息的获取

依赖度更高。

信息化范围的扩大为 5G 网络提供了万物连接、万物皆媒的可能性。从人与人的相连到物与物的连接，各类型的数据都将信息化，如个人所携带的智能手机、智能手表、眼镜及 VR 等可穿戴设备的数据。这些可移动设备与家具设备、个人移动交通工具、公共交通工具、办公室设备、社区设施之间的互动联系数据，以及每个人所接受和传播的网络信息等，都有望实现数据连接，形成万物互联、人机共生的信息化网络。

信息网络覆盖面积加大、信息量爆炸也对云平台承载能力及信息算力提出了要求，一定程度上激发了信息化速度。信息化程度的加深在于各类信息从采集到传播再到利用的过程将极大缩短，信息流通更加便利，数据之间可以通过云平台、大数据管理以及机器学习在不同终端实现即时的共享和传播，达到各场景下的即插即慧。由此可见，5G 是万物连接的原生平台，是智慧生活的数据通路，是加速信息化建设的高速通道。

## 2 5G 商用正式启动，不是媒体专用赛道

2019 年可谓是 5G 商业元年。工业和信息化部部长苗圩表示，2019 年若干个城市发放 5G 临时牌照，运营商已经拥有 5G 牌照能力。这意味着 5G 正式进入商用，运营商、通信厂商、手机厂商都已拿到开启 5G 商业的钥匙。

4G 已不能满足互联网用户在

众多场景下对网络能力的需求，5G 则迎上人们的期待。自 2013 年中国成立 IMT-2020 推进组至今，5G 研发经过漫长的 3 个阶段及多次测试，已是第 7 个年头。在 2019 年 1 月在北京召开的 5G 技术研发试验第 3 阶段总结大会上，IMT-2020 (5G) 推进组发布了 5G 技术研发试验第 3 阶段测试结果，表明 5G 基站与核心网设备主要功能符合预期，达到预商用水平<sup>[1]</sup>。至此，5G 已经走向大规模商业化的发展道路。

嵌入式客户识别模块 (eSIM) 卡将与 5G 更好地结合，带来网络线路的随意接通和任意转换。作为安全芯片，eSIM 卡可直接嵌入到终端设备内，不再是“插拔”的、可移除部件的形式，应用在无人机、智能手表、智能家居、无人驾驶等多种应用场景中。5G 时代下，使用者的同一个 eSIM 卡号可以同时多个终端登录，共享流量，集中操控，不再受使用场景的限制。此外，eSIM 的最终形态包括网络线路的随意接通和任意转换。不同于之前 SIM 需要区分不同的运营商，现在使用 eSIM 卡的每个终端都可以无缝切换运营商网络，网络渠道将变成公用网络，网络属性发生极大改变。eSIM 仍处于商用初期，其跨运营商转换网络还并未实现，它对于运营商、终端商等产业链环节各影响较大，并且跨运营商切换网络是否是消费者的刚性需求也不能盖棺定论，一切还需等待其继续发展。

可以理解，5G 前期技术研发

和架构设计不是专门为传媒服务的，而是一个广义的信息服务，其目的是为了加速全社会各行业的信息化进程。传媒业从原来专用跑道上转型到一个开放公共跑道上，还是要有一个新的理念，特别是新竞争理念。我们需要思考 5G 网络中传媒空间在哪里，怎样在 5G 网络环境下联合产业链的上下游积极探索新的传媒形式，探索 4K/VR 的传播手段及万物互联的新终端信息触达。

## 3 5G 3 大应用场景赋能，媒体信息触达方式升级

4G 网络在提高移动设备访问网络的速率上较 3G 已经迈出了一大步，长期演进 (LTE) -Advanced 带宽达到 100 MHz，峰值速率为下行 1 Gbit/s、上行 500 Mbit/s。峰值速率的大幅提高，能有效支持新频段和大带宽应用。但用户使用过程中终端速度会受到通信系统容量的限制且基站带宽有限，在人员密集处、4G 信号连接设备过多时，同一基站的网络将超负荷，用户网络不稳定；因此，4G 网络很难达到其理论速度。由于宽带传输速度不够，云服务对于移动用户来说功能性、可靠性和便利性都将大幅度降低，大多数用户仅通过网络交互休闲、娱乐、资讯信息；海量信息的即时上传和下载并不现实，用户不能真正通过云平台实现终端操控和互联。此外，4G 套餐资费普遍较贵、网络传输时延较长等一些列问题也注定了 4G 网络下各终端实时接触海量信息存在较高的门槛，4G 网

络很难真正走入用户线下的生活场景中。

在国际电信联盟无线电通信部门（ITU-R）WP5D 第 22 次会议上，ITU 正式命名 5G 为 IMT-2020，并确定了 5G 的名称、愿景和时间表。目前，ITU 将 5G 通信网络业务的应用场景划分为 3 种：增强移动宽带（eMBB）、海量机器类通信（eMTC）及高可靠低时延通信（uRLLC）。其中，eMBB 代表着网络容量的提升，包括移动状态下网络传输速率的提升以及同一区域内大量设备接入后网络传输量和传输速率的稳定性，其主要应用场景为人员密集区域网络连接、高铁车厢等高速移动区域网络连接、实现虚拟现实、实现增强现实、超高清视频传输等，eMBB 场景对网络的要求不仅限于大的带宽，对时延也有所要求，如交互类操作应用虚拟现实沉浸体验时要求时延在 10 ms 量级<sup>[2]</sup>；eMTC 应用在网络连接密度较高的场景下，如智慧城市、智慧工业、智能交通、智能电网、智能家居等场景，同时要求网络传输成本低，终端形态多样，可以在大量物联网的场景中帮助人们实现工业信息化；uRLLC 则追求毫秒级端到端时延，聚焦在智慧医疗、无人驾驶等业务，安全性、高可靠性是其基本要求。

与 4G 并未走入线下生活不同，5G 这 3 种应用场景带来了信息触达方式的改变，深刻地影响了人们生活生产的方方面面。

（1）海量链接使媒体含义激变，“全媒体”环境下传媒生存也

需要有空间，要融合进新的信息技术生态中。

海量连接依赖于 5G 每平方公里 10 Tbit/s 的流量密度与 1 Gbit/s 的用户体验速率，任何物体都可植入芯片和传感器，成为“海量连接”中的一环，采集、分析并对外传输数字信号。彼时所有能够传输信息的终端都具有“信息传播能力”，都可以被称为“媒体”；媒体的定义被广泛延伸，媒体采集信息的结构和能力发生变化，由传统的互联变为了物联。这意味着万物皆媒，我们也将进入全媒体的信息传播环境中。

过去，人们把信息附着在媒体或介质上，通过媒体传播信息。人们在媒体上完成了信息的相互传递，媒体作为承载信息的工具、交流互动的中介而存在，承载了人类“互联”的愿望。而万物皆媒的时代里，很难再去定义媒体的存在形态究竟是什么。任何搭载着芯片的实体物都在承担着传递信息的任务，它们不再是人们利用的工具，而成为了自主地接收信息并对外发送信息的传播者。世界也由万物互联转变成万物相连，万物皆媒。

在生活场景中，用户的手机可以不受区域终端数量限制而拥有与往常一样的网络连接速率，随时随地与他人交互信息，看演唱会也不必担心网络信号崩溃，乘地铁也可随心播放视频。高流量密度足以保障连接终端数量极大时，用户接收信息也能够稳定；用户的手机还可以连接大部分的实体物或终端，如智慧家庭结合了自动控制技术，通

过 5G 网络的信息采集、大数据计算与信息传输，依靠家居场景下的物联网随心控制家中灯具、电视、热水器、窗帘，在海量连接的场景下获得更好的智慧体验。工业场景中的海量连接更多出现在 eMTC 和 uRLLC 应用场景中，大面积的物联网能够随时自动地采集到海量数据，工业场景下所有机器都可以在数据和算法的指挥下自行工作。信息的采集和触达变得更加开放、便捷、流程化，大量释放了人类生产力成本和时间成本。

需要注意全媒体的功能会发生相应变化，由传统媒体式的新闻、娱乐信息传播平台，变成了整个社会流通信息的整合平台，生产、交通、家庭、医疗、教育的信息传播会是全媒体的主要功能。在这样的全媒体环境中，传媒行业非常需要思考如何争取 5G 下的生存空间，以及怎样在万物互联的现实环境里增强传媒内容吸引力。借助于 5G 的“广链接”能力，移动场景下用户数据连接到手机或汽车，家庭场景连接到电视、冰箱、音箱。虽说车联网主要是为了解决自动驾驶的问题，但毫无疑问也对车载收音机有很强的冲击。随着 5G 发展，车载多媒体终端快速发展，像是每个汽车上都装了一个大手机，广播电台和喜马拉雅面对面竞争，喜马拉雅和抖音也面对面竞争。传媒平台面对这种“跨界连接”的概念，迫切需要选择媒体内容是综合还是垂直，那么新的传播媒体形态或许将要出现。

另外，5G 的低延时、高速率

意味着更智能的信息传输能力，随之推动更大规模的信息处理能力。我们看到人工智能、大数据、云计算是解决大规模信息处理的前沿技术。传媒机构中，商业传媒机构一直把新技术大规模应用到新闻资讯传播中，而传统媒体机构把它当成一个营销的概念。随着 5G 的发展，用云技术手段，依托大数据大规模处理传媒内容，就是传媒的本业。传统媒体在借助前沿技术手段，通过场景定制内容，精准触达用户的信息传播道路上依旧任重道远。未来面对海量的数据和信息，传媒必须要深度介入前沿技术的体系，立足不同的场景和消费者需求，全面调用和分析用户的画像和行为数据，并通过不同的平台和终端传输媒体信息，以最适配与用户终端的呈现形式和与用户关联性最强的媒体内容去吸引用户关注，在获得用户好感的同时逐步培养用户的媒体使用习惯和粘性。

可以想象未来人们在驾驶时，车载媒体会自主调用车主电子手表中的身体数据，在车主感到饥饿时智能地寻找附近街区的超市和餐厅，并通过智能语音识别系统与车主进行交互，在超高强度的云端信息处理能力的赋能下提供精准、智能、人性化、个性化的信息服务。除了智慧交通，这种车载媒体的信息服务也包括新闻、娱乐、电商等全面的服务系统。同理，除了行车场景，还会有更多的工作场景和家居场景，媒体需要针对不同场景下的用户状态和心理去思考传播方式。

## （2）云计算算力能力及大数

据价值进一步放大，云平台及应用增多，信息触达更加智能。

根据爱立信在 2018 年 11 月发布的《移动市场报告》看，到 2024 年，联网设备的数量预计将超过 220 亿台，5G 全覆盖下预计千亿量级的设备将接入网络。此时采样信息数据过于庞大和复杂，信息的分类和处理面临着更大的挑战，云计算需要更智能的网络架构和业务服务模式去解决海量信息的处理问题。具体来看，云计算的算力能力在大数据与人工智能的赋值下大幅提升，借助海量的底层大数据与人工智能（AI）的深入学习，更快更智能地对终端产生的新数据进行分析处理，并通过更优化的调度能力对信息进行合理储存、检索和挖掘。云计算将会解决更大规模的储存和计算能力，且这种基于 AI 辅助的、更加智能的云计算模式将不同于早期的服务器集群计算。

“即插即慧”是终端的跨越式进步，其突出贡献在于“慧”字。慧意味着自动调节、自行适配、自我更新，是更加智能的表现。所有终端都在接入网络的一瞬间联通云平台，并且通过 500 Mbit/s（最高）的速率上传使用者的个人信息，并以 20 Gbit/s（最高）的速率下载云平台中储存管理的各参数数据及信息。机器从启动到慧的状态只需要一瞬间，其信息数据的建设可以在任何地理位置以极快的速度完成，并能根据网络或现实情况的不同调节自身状态，使得信息的触达更智能。童文博士提出：到 2024 年，联网设备的数量预计将超过 220 亿

台，人们已经无法手动管理数量如此庞大的连接设备，因此网络自动化是必由之路<sup>[3]</sup>。正是基于 5G 万物互联的基本现实及数据加载的便利性条件，5G 时代的即插即慧成为智慧信息触达的最好证明。

此外，云平台应用会更加广泛。5G 推进后，极致的下载速率和用户体验使得网络信息传输成为终端运载数据的便捷途径，增强型移动带宽服务以及低时延的特点解放了终端硬件，终端用户可以实时下载网络数据，不再需要过大的硬盘内存。包括游戏、视频播放都可在吉比特级的网络速率下实现在线接入，玩家不再需要下载巨大的游戏数据包，更没有必要把一部电影下载到手机中占据内存，“云应用”“云游戏”在毫秒级延时的保障下变成现实。近几年，中国运营商都在大力布局云计算市场，包括阿里、腾讯也都积极布置云服务，云服务市场地位逐渐稳固。此时的云平台成为整个信息流通中重要的一块版图，终端智能化的实现更加依赖于通过 5G 连接到云服务。随着 5G 程度的加深，云平台服务的争夺可能会加剧，云平台应用预计会进一步爆发。

在 5G 可以代替本地储存功能的情况下，应用程序（APP）作为帮助用户连接更多场景的入口，必然面临着大的调整与转型，更多类似于云应用的轻量级入口可能出现。如微信小程序就是一种轻量级的云应用，用户无须下载应用实体，使用更高效。不仅腾讯把小程序作为拳头产品，包括阿里的支付宝也

在推进小程序的用户规模，未来会有更多这样的便捷入口出现。2019 年的世界移动通信大会（MWC）中，腾讯推出“腾讯即玩”云游戏平台，无须下载便可在任意平台直接享受大型游戏作品，时延不到 40 ms，不再受以往“游戏装备”的硬件制约。在未来大量设备物联网的智能化信息网络中，云平台应用联合 5G 网络为更多终端赋能，不仅是手机、汽车、家电，更多的设备上都能搭载云应用。云应用为不同的终端提供了多样的拓展功能，为人们的生活创造了更多的便捷性和可能性。

（3）信息接收的终端生态进一步扩大，媒体内容需要相应调整。

5G 增强了各终端联网能力，极大缩短了终端获取信息的链路，能够提供更智能化的信息服务。这也意味着用户接收和传播信息会有更多元的场景。除了使用智能手机和平板等移动媒体场景，未来的传播场景还包括家庭用户的全新信息传播体系和车载媒体的开放平台，这 3 大应用场景共同构建起信息接受的终端生态。基于新场景形成的全新信息平台，未来媒体在内容传播上需要考虑到场景及终端形态等复杂因素，以更优化的传媒内容与形式去打动消费者。

5G 带来的车联网能力为汽车提供了更强大的信息处理方式，车载媒体终端在高速信息处理速度和云平台大数据的能力下获得全面苏醒。由此可见，车载媒体会成为一一个庞大的信息处理和传输的平台，兼容不同应用，为用户提供更全面

的行车场景中的信息服务。车载终端以语音识别为主要的交互方式，借助 5G 网络在云平台中随时上传和下载实时信息，低时延和高速率能够保障用户体验的良好。车载媒体会成为未来出行场景中一大重要媒体。

家庭网关改变了传统电视媒体的生态，它是家庭中流量集约的平台，是智能家居大数据的入口。电视媒体能够通过智能网关搭载更多形式的服务——家庭影院、全景视频、VR 体验、实时直播、超高清视频、电话会议等。其内容来源也更加开放，除运营商提供的高清交互式网络电视（IPTV）业务外还可以接入更多的手机、平板和 PC 端，成为未来家庭娱乐体验的媒体平台支撑，为用户提供更流畅和随心的视频体验。3 大运营商及电子消费市场都在积极布置智能家庭网关，智能网关类产品市场已经兴起。中国电信智能家庭网关“天翼 3.0”是电信推出的“智慧家庭”业务中一部分，它将光猫与智能路由器合二为一，可实现除网络连接业务外的多种功能如智能感知、远程操控和本地下载等；中国移动智能家庭网关基于中国移动数字家庭 ANDLINK 业务，通过 ANDLINK 家庭开放平台——“和家亲”APP 体系帮助家居智能设备快速联网、智能化；中国联通“沃家总管”采用 ZIGBEE 通信协议，通过沃家生态的云服务 + 智能硬件 + 增值服务的模式实现家庭物联网无死角覆盖。除 3 大运营商外，海尔、小米等企业也在布局着智能家庭网关。由于

超高清和 VR 视频的大屏端体验相比于手机端要更具优势，家庭场景下 5G 可能会为电视大屏带来新的生机，成为智慧家庭的信息屏幕。媒体内容的设置上需要考虑大屏的媒介特性，结合家庭场景下休闲娱乐、生活起居、工作学习等一系列的需求制作更适应大屏媒介的传播内容。

#### 4 媒体信息形态升维，5G 为传媒预留空间

（1）视频成为社会信息的强有力载体，“视频 +”趋势明显。

5G 高接入速度和低时延是视频流覆盖的基础保障，高清智能终端设备的更新又为视频流增加一道保险。5G 的万物互联能力让视频成为社会信息传播的有力载体。不仅是媒体拥有视频传播的能力，社会各行各业信息都将在不同场景下与视频融合，如工业生产、电子商务、娱乐休闲、新闻传播等。视频 + 其他产业链将成为主流。

4G 催生了短视频和直播的爆发成长，5G 时代中全平台高品质实时视频通话、实时视频传播将成为必不可少的生活和工作助手，应用在在线教育授课、企业办公会议、远程医护治疗、前线新闻报道等场景下。实时视频基于“无线网络容量”的 eMBB 业务，投放载体由单一的手机、PC 终端等传统电子设备向外延伸，扩展到一切可联网的电子屏幕或玻璃屏幕等终端上，用户体验大大增强。我们可以想象在视频 + 的实时视频环境下，每个人都随时可以在面前的电子屏幕上

查看新闻或消息。例如，司机在车载终端的屏幕可以预览路况和堵车情况，医生在家中的电视大屏中可以指导病患的远程手术。在运动会现场，每个运动员身上都佩戴着体温、心跳等监测控制设备，甚至其运动过程中肌肉隆起的幅度都可被监测；胸前可能别着微粒摄像头，观众可以从所喜爱的运动员的第一视角体验整场比赛。还有运动场上各家媒体都布置了高清摄像头，各个角度的运动场实况都直接通过超高清摄像头传向 5G 基站，再由基站将视频直播传向云平台。任何受众都可以在无数的高清实时视频流中选择自己喜欢的视频去观看。媒体的信息传播能力将更加强大，受众可选择的接触信息的方式变得更多，难度更小。

除了实时视频，短视频、长视频和直播同样会在各行业的信息传播中成为主要载体。视频的移动化场景突出，一个人、一台设备，再加上 5G 网络便构成了视频传输的基本条件。在 2018 年世界杯期间，优酷与中央电视台签约合作，正式开启“手机看世界杯”的元年，用户可以直接在优酷手机端观看比赛的实时直播及短视频，进一步扩大了小屏的影响力。移动端视频趋势已经非常明显，毫无疑问 5G 会加强视频+的移动化趋势。此外，5G 为视频带来了 VR、AR 应用以及人脸识别等技术，为视频增强视觉特效和趣味性、真实性的同时也带来了多维的互动形式。这种技术的趋势在未来传媒、营销和工作的各个方面都可能成为热门，视频行

业发展空间得到巨幅提升。

(2) 高清视频不再是奢侈的小众服务，利用 5G 传播高清节目成标配。

4G 网络，带宽速率低、网络资费高等一系列问题使得高清视频依然只是小部分人的选择，并不能让受众随时随地享受到高清视频的细腻图像画质和饱和逼真色彩，播放时卡顿也是很多人观看节目时面临的问题。与 4G 相比，5G 网络传输速度峰值可达 10 Gbit/s，网络延时 1 ms，这能够充分保证信号传输的稳定性，实现 4K 超高清信号的多路直播回传，全面提升新闻和娱乐媒体 4K 超高清内容的生产能力与效率。

中国现已在 4K 高清视频新闻直播中进行多次尝试。中央电视台在 5G 环境下积极创新传播手段，走在 5G+4K+AI 传播的第一线：2018 年年底，中央广播电视台联合中国移动、中国联通、中国电信 3 大运营商及华为公司，合作建设了 5G 新媒体传播平台、5G 媒体应用实验室，全面测试 5G 环境下超高清视频的传输与应用。在 2019 年，中央电视台的春节联欢晚会的直播首次进行了 4K 传输，将深圳分会场的节目情况通过中国移动 5G 网络直接传回北京总台。2019 年的“两会”期间，中央电视台提供了 5G+VR、5G+ 高清视频直播等一些创新的新闻报道，用户可以通过歌华有线直接观看超高清的新闻直播。

(3) 虚拟现实增强内容表现力，VR、AR 风口起飞。

5G 更低时延和更快速度的特征可以大幅改善 VR 所面临的瓶颈，如 4G 网络传输时延带来的眩晕感及 VR 原生态内容不足等问题，能够传输数据量更大的沉浸式 VR、AR 影像，很大程度上可以解决数据线缆的限制，用户体验更加优化，成为用户日常线下接受信息的途径指日可待。

兰亭数字 CEO 孙文博在 2018 年举办的“中国首届 5G 云 VR 及云游戏产业论坛”中表示：VR 本质上是一种重度应用行为，只有给用户带来相比传统应用更有价值的场景体验，才能吸引和说服用户使用<sup>[4]</sup>。5G 能力为 VR 创作公司带来了精细化制作的可能性，承载精美的 8K 高清画面，加速 VR 云游戏发展。爱奇艺智能副总裁王西颖认为：在 5G 加持下的 Cloud VR 前景可期，大有可为。目前，爱奇艺推出的奇遇 VR 一体机和“IQUT 未来影院”，AI+VR 搭载 8K 全景视频，多角度图像无缝衔接，嵌入众多爱奇艺平台视频与 VR 内容。此外，不少的传媒巨头也早已开始布局 VR 内容创作，立足 4K 和 8K 高清视频制作 VR、AR 及 3D 的视频节目，如光线传媒、华策影视均在此领域有多家控股公司。除了游戏及巨幕影院，VR 云生态还包括教育、现场视频等多种场景。可以预见的是，5G 将带动整个 VR 产业链从运营商、芯片终端商到内容供应商的良性循环。

以新闻为例，VR、AR 在新闻报道中的应用能够有效加强新闻现场感和实时性，给大众带来更

真实、真切、及时的感受，信息接受的体验感及效果发生质的改变。配合与实时视频流，新闻信息多角度数据采集能力进一步强化，更大程度上增强了新闻现场的表现能力。如 2019 年两会现场，采用 5G+VR、5G+ 高清视频直播进行新闻报道，中国国际电视台（CGTN）在“一带一路”高峰论坛期间运用 AR 技术进行虚拟植入，打造沉浸式新闻现场体验；而其他国家的媒体，如谷歌、美国有线电视新闻网（CNN）、纽约时报都在自己的网

站上打造了 VR 平台，记者可以借助 VR 平台编辑和制作 VR 全景视频，用户也可以佩戴 VR 眼镜获得 360° 的全景新闻体验。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国科学技术部. 我国发布 5G 技术研发试验第三阶段测试结果[R]. 2019
- [2] 中国电信. 中国电信 5G 技术白皮书[R]. 2018
- [3] 董文. 谁无暴风劲雨时，守得云开见日出[J]. 通信世界, 2019, (3): 26
- [4] 中国首届云 VR 及云游戏产业论坛圆满召开 众咖热议：5G 加持，云 VR、云游戏大有可为[J]. 通信世界, 2019, (1): 34

## 上接第 47 页

资源的融合，推动智能高速铁路的进一步发展。

#### 参考文献

- [1] 陆东福. 在中国铁路总公司工作会议上的报告[R]. 北京, 2019: 1-6
- [2] 钟章队, 艾渤, 陆平, 等. 综合轨道交通 5G 应用技术白皮书[R]. 北京, 2019: 1-95
- [3] HWANG I, SONG B, SOLIMAN S S. A Holistic View on Hyper-Dense Heterogeneous and Small Cell Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(6): 20. DOI:10.1109/mcom.2013.6525591
- [4] AI B, GUAN K, RUPP M, et al. Future Railway Services-Oriented Mobile Communications Network[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(10): 78. DOI:10.1109/mcom.2015.7295467
- [5] ZHANG J Y, CHEN S F, LIN Y, et al. Cell-Free Massive MIMO: A New Next-Generation Paradigm[J]. IEEE Access, 2019, (7): 99878. DOI:10.1109/access.2019.2930208
- [6] POLYANSKIY Y, POOR H V, VERDU S. Channel Coding Rate in the Finite Blocklength Regime[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2010, 56(5): 2307. DOI:10.1109/tit.2010.2043769
- [7] KOSTA A, PAPPAS N, ANGELAKIS V. Age of Information: A New Concept, Metric, and Tool[J]. Foundations and Trends® in Networking, 2017, 12(3): 162. DOI:10.1561/13000000060
- [8] 成磊, 沈超, 夏树强. 上行-下行联合优化的 uRLLC 传输[J]. 中兴通讯技术, 2019 (1): 9
- [9] SUN X F, YAN S H, YANG N, et al. Short-Packet Downlink Transmission with Non-Orthogonal Multiple Access[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2018, 17(7): 4550. DOI:10.1109/twc.2018.2827368
- [10] XU S F, CHANG T H, LIN S C, et al. Energy-

Efficient Packet Scheduling with Finite Blocklength Codes: Convexity Analysis and Efficient Algorithms[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(8): 5527. DOI:10.1109/twc.2016.2561273

- [11] XU Y Q, CAI D H, FANG F, et al. Outage Analysis and Power Allocation for HARQ-CC Enabled NOMA Downlink Transmission[C]//2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). USA: IEEE, 2018. DOI:10.1109/glocom.2018.8647914
- [12] SHARMA S K, WANG X B. Towards Massive Machine Type Communications in Ultra-Dense Cellular IoT Networks: Current Issues and Machine Learning-Assisted Solutions[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019: 1. DOI:10.1109/comst.2019.2916177
- [13] MA G Y, AI B, WANG F G, et al. Coded Tandem Spreading Multiple Access for Massive Machine-Type Communications[J]. IEEE Wireless Communications, 2018, 25(2): 75. DOI:10.1109/mwc.2018.1700107
- [14] XIAO H, AI B, CHEN W. A Grant-Free Access and Data Recovery Method for Massive Machine-Type Communications[C]//ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC), May 20-24, 2019, Shanghai, China. New York, USA: IEEE, 2019. DOI:10.1109/icc.2019.8761393
- [15] AI B, BRISO-RODRIGUEZ C, CHENG X, et al. Challenges Toward Wireless Communications for High-Speed Railway[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(5): 2143. DOI:10.1109/tits.2014.2310771
- [16] AI B, GUAN K, HE R S, et al. On Indoor Millimeter Wave Massive MIMO Channels: Measurement and Simulation[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(7): 1678. DOI:10.1109/jsac.2017.2698780
- [17] First 5G Digital Indoor System in Shanghai's Hongqiao Railway Station[EB/OL]. (2019-04-17)[2019-10-28]. https://e.huawei.com/en/case-studies/global/2019/201904171449

#### 作者简介



**赵子忠**, 中国传媒大学新媒体研究院院长、教授、博士生导师, 新媒体学术领军人物; 主要致力于数字新媒体产业的研究, 包括数字内容产业、互联网产业、社会化媒体产业、广播电视产业、电信产业等。



**张坤**, 中国传媒大学新媒体研究院在读硕士研究生; 从事媒体融合和前沿媒体技术应用研究; 发表论文 2 篇。

#### 作者简介



**艾渤**, 北京交通大学教授、轨道交通控制与安全国家重点实验室常务副主任, 国家杰出青年基金获得者, 国家优秀青年基金获得者; 主要研究方向为宽带移动通信和轨道交通专用移动通信; 曾获得求是杰出青年奖、教育部新世纪人才、詹天佑铁道科学技术奖以及北京市科技新星等奖项; 发表论文 300 余篇, 授权专利 26 项。



**马国玉**, 北京交通大学副教授; 主要研究方向为大规模物联网物理层技术; 曾获得 IEEE ICC 最佳论文奖; 发表 IEEE 论文 10 余篇, 授权发明专利 5 项, 美国专利 2 项。



**钟章队**, 北京交通大学教授、轨道交通控制与安全国家重点实验室首席教授; 主要研究方向为宽带移动通信和轨道交通专用移动通信; 曾获得茅以升科学技术奖、詹天佑铁道科学技术奖以及中国高校十大科技进展成就奖等; 发表论文 200 余篇, 出版学术专著 7 部。



# 6G 愿景：统一网络赋能智慧城市群

## 6G Vision: Unified Network Enabling Intelligent Megalopolis

王海明 / WANG Haiming

(东南大学, 江苏 南京 210096)  
(Southeast University, Nanjing 210096, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906009

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191209.1331.002.html>

网络出版日期: 2019-12-09

收稿日期: 2019-10-15

**摘要:** 认为在研究和遴选具体的 6G 关键技术之前, 非常有必要首先讨论 6G 的愿景、应用需求和业务分类, 并力求达成一致。通信网络已经成为城市和国家第 5 大公共基础设施, 6G 的发展需要和未来 10 年乃至更长时间的社会和经济发展互相适应、互为依托。在 5G 已有的 3 类业务基础上, 6G 新增广覆盖高时延通信场景, 构建空天地海全覆盖全连接的统一网络。从未来智慧城市群的应用需求来思考移动通信发展, 提出了最重要的 6G 愿景是赋能智慧城市群。

**关键词:** 6G; 愿景; 统一网络; 智慧城市群

**Abstract:** Before developing and selecting specific 6G key technologies, it is necessary to study visions, requirements, and use cases and try to reach a consensus. The communication system has been the fifth main public infrastructure in modern cities and countries, therefore, the 6G development must be fitting in with the societies and economics in the next decade and even longer. A new use case family of broad-coverage high-latency communications is newly added for the 6G to expand the existed three 5G use cases. A full-coverage unified network which covers space, sky, land, and sea will be designed for the 6G. The development of future mobile communication systems are considered based on requirements of the intelligent megalopolis. We propose here that the most important 6G vision is the unified network enabling the development and maintaining of the intelligent megalopolis.

**Keywords:** 6G; vision; unified network; intelligent megalopolis

移动通信已经融入现代人的日常生活。移动通信的能力不断发展, 从刚开始专注于满足人与人的连接, 发展到满足人与物的连接, 再进一步发展到全面解决物与物的连接。自移动通信兴起以来, 每隔 10 年, 新一代移动通信开始大规模商业部署, 为用户提供更强大的连接能力和新的功能。根据历史经验和业界规划, 6G 将采用最新的技术, 满足 2030—2040 年乃至更长时间的应用需求。

国际电信联盟 (ITU) 为 5G 定义了 3 种业务场景: 增强移动宽带 (eMMB)、海量机器类通信

(mMTC) 和高可靠低时延通信 (uRLLC)<sup>[1]</sup>。5G 采用了大规模多输入多输出、新型多载波、全频谱接入、网络切片等新技术<sup>[2]</sup>。从 5G 开始, 移动业务从以个人业务 (2C) 为主转向个人业务和垂直行业 (2B) 并重<sup>[3]</sup>。2C 和 2B 对移动通信的需求和应用场景各不相同, 5G 有望推动移动通信首次 2B 大规模应用。

目前, 5G 已在各国陆续大规模部署应用, 同时 6G 技术研发正蓬勃兴起<sup>[4-5]</sup>。智慧城市群是世界各国未来发展的必由之路。为了满足 2030—2040 年乃至更长时间内

2B 和 2C 并重的应用需求, 6G 将提供全覆盖、高效率、高可靠、强安全、低成本、低功耗和易维护的统一网络。

### 1 城市群是必由之路

城市群是若干特大城市和大城市集聚而成的庞大的、多核心、多层次城市集团, 是大都市区的联合体。美国的城市群非常发达, 这些城市群的居住人口集中度高, 全美大致可分为 11 个城市群<sup>[6]</sup>。根据 2010 年的统计数字, 最大的 5 大湖区城市群人口接近 6 000 万, 第 2 大的东北部大西洋沿岸城市群人

口超过 5 000 万，第 3 大的南加州城市群人口接近 2 500 万。美国前 3 大城市群的人口总和占全美总人口的比例超过 40%；全部 11 个城市群的人口占全美总人口的比例为 77%。前几大城市群不仅是人口高度集聚的地方，也是美国经济和科教文卫等各项事业最发达的区域。

如图 1 所示，中国的长三角、珠三角、京津冀、成渝、长江中游等 19 个城市群以 25% 的土地集聚 75% 的人口（其中城镇人口占比为 78%），创造 88% 的国内生产总值（GDP）；但是，大部分城市群建设尚不成熟<sup>[7]</sup>。长三角城市群

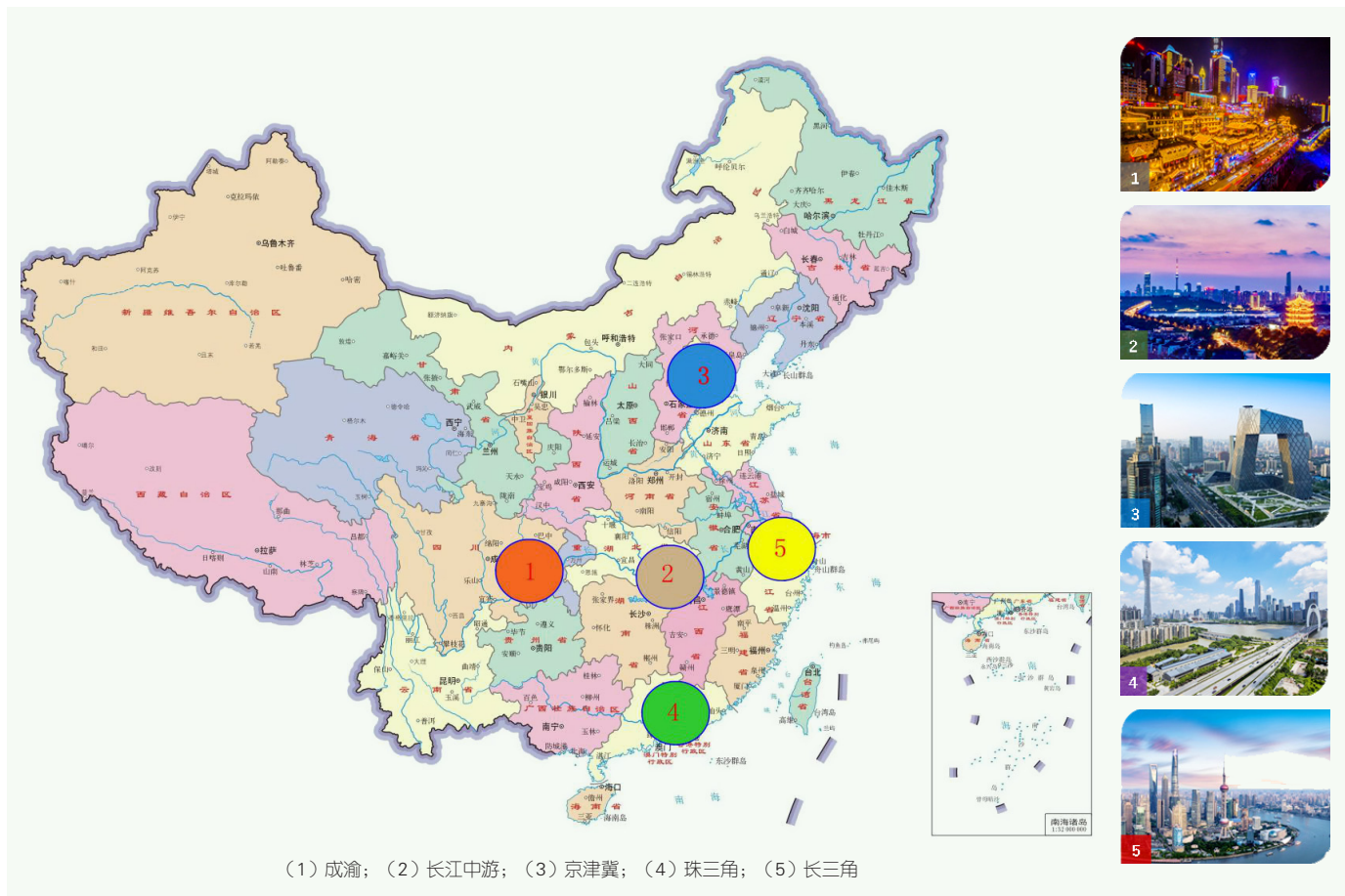
是国际公认的 6 大世界级城市群之一，但从全球维度来看，长三角人均 GDP、地均 GDP 等反映效率和效益的指标与其他世界级城市群相比仍存在明显差距；因此，城市群的发展质量和国际竞争力还有待进一步提升。

2010 年上海世博会的主题口号是：城市，让生活更美好。随着中国城市化进程的加快，许多城市正经历深刻变革。从长三角、珠三角到京津冀，城市群正在蓬勃发展。城市之间共享资源、互相开放市场，并进行优势互补，以实现共同繁荣和可持续发展。智慧城市群

是一个美好的愿景，可以让人们享受跨越城市的幸福生活，它需要智能基础设施的支持，这包括互联的交通网络、智能楼宇、可持续的能源以及数字化工厂。2016 年 12 月 15 日，中国国务院印发《“十三五”国家信息化规划》（简称《规划》），《规划》强调“支持特大型城市对标国际先进水平，打造世界级智慧城市群”<sup>[8]</sup>。

## 2 通信是公共基础设施

传统的城市公共基础设施主要包括自来水、电力、燃气和交通。随着信息化时代的到来，通信已成



▲ 图1 中国 5 大城市群

为人们日常生活的必需品。通信网络成为第 5 大公共基础设施，已走进千家万户。对城市管理部门而言，城市公共基础设施的建设和维护是重要职责。目前，由于不同的基础设施由不同的部门分别建设和管理，绝大部分城市公共基础设施的信息感知、传输、分析、控制仍处于各自为政现状，缺乏统一的平台。

对比单个城市，不管是在中国还是在其他国家，城市群的基础设施更加缺乏信息互联互通，难以实现资源共享，几乎无法形成协同效应。智慧城市群的建设和快速发展迫切需要建立有效的实时和准实时的信息共享机制。2019 年 3 月 11 日，中国移动通信广东公司提出，将积极落实粤港澳大湾区战略，应用大数据、云计算、人工智能、物联网等技术，加强信息和数字经济领域的科技创新，助力大湾

区智慧城市群建设<sup>[9]</sup>。这是运营商高层明确提出采用信息技术来促进智慧城市群发展。2019 年 6 月，中国移动发布《5G+ 智慧城市白皮书》<sup>[10]</sup>。该白皮书强调指出，5G 让智慧城市发展迎来了新契机。城市中的人、物、组织都将变成智慧体，5G 将为城市智慧体提供随时随地的连接能力；但该白皮书并没

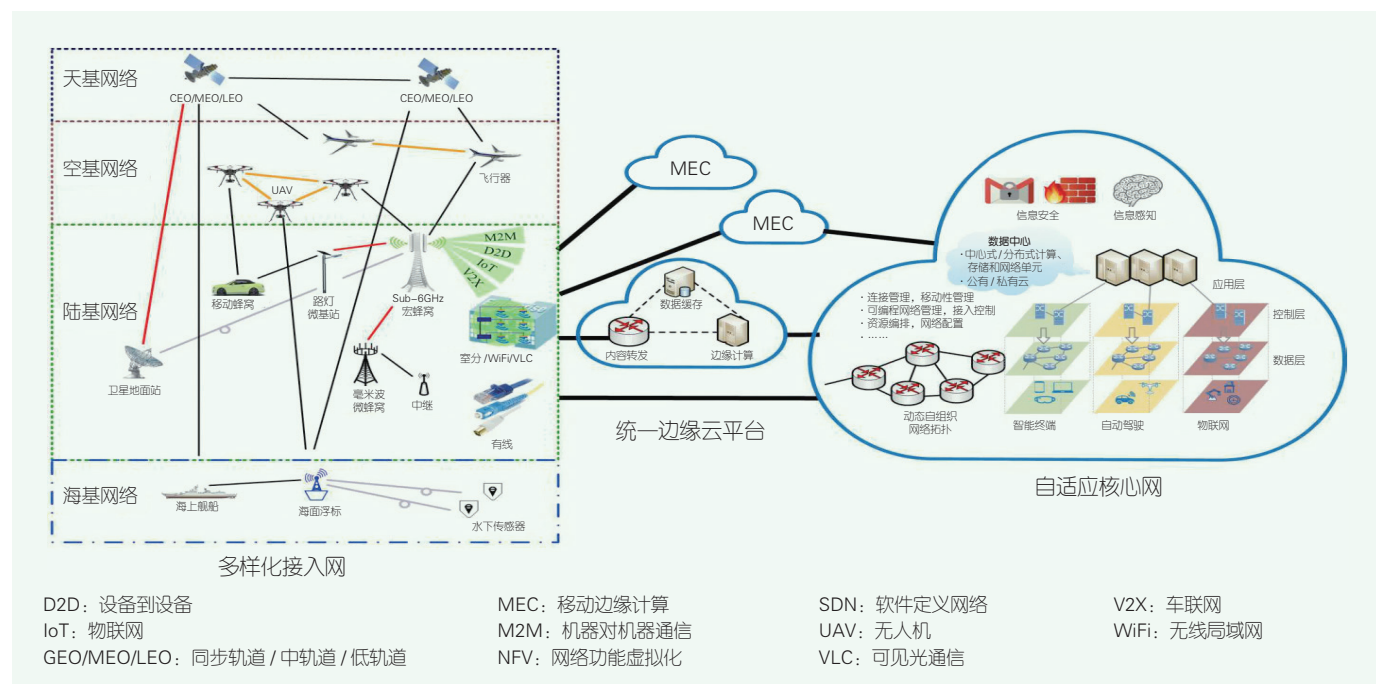
有阐述 5G 赋能智慧城市群的问题。

### 3 统一网络与业务场景

如图 2 所示，6G 需要具备满足未来智慧城市群的建设和绿色发展需求的能力。我们认为，赋能智慧城市群应该成为 6G 最重要的愿景。如图 3 所示，6G 以陆地移动通信网络为核心，深度融合以地球



▲ 图 2 6G 统一网络赋能智慧城市群建设和绿色发展



▲ 图 3 6G 统一网络架构

同步轨道和中低轨道卫星通信为主的天基网络、以飞机和无人机通信为主的空基网络、以水声通信为主的海基网络以及以光纤、双绞线、同轴线为主的有线接入等多种方式。6G 将无线和有线的多种媒介统一接入，使用户数据尽可能在底层实现交换，大幅缩短路由选择和交换所需的时间，从而减少不同接入网用户的端到端时延。

作为城市群的基础设施之一，6G 网络可由多家运营商投资共建，采用网络虚拟化技术、软件定义网络和网络切片等技术将物理网络和运营网络（或称逻辑网络）分离。人工智能（AI）深度融入 6G 系统，将在高效传输、无缝组网、内生安全、大规模部署、自动维护等多个层面得到实际应用。

如图 4 所示，在 5G 3 种业务

场景划分基础上，为实现全覆盖全连接并构建统一网络，6G 支持第 4 种业务场景：广覆盖高时延通信（BCHLC）业务。这种通信业务的特点是覆盖区域特别广但传输时延大，例如中低轨卫星移动通信和水声通信。通过采用新型的无线技术和网络技术有望进一步显著提升第四种业务的性能和效率，并能够大幅降低部署与运营成本。

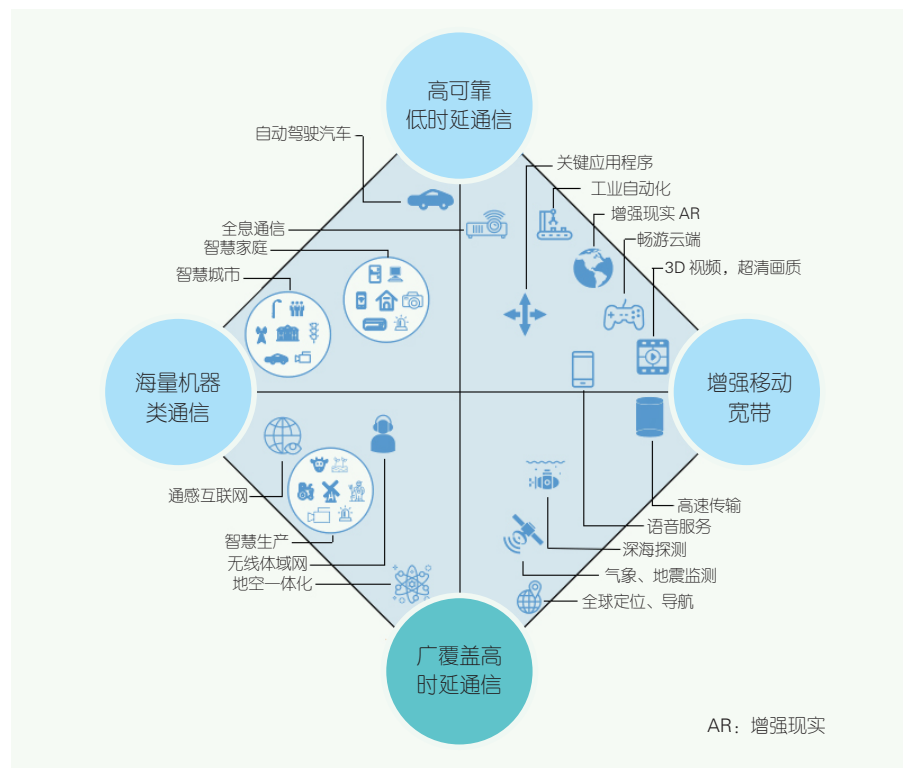
#### 4 结束语

通信持续快速发展进步，已经成为城市和国家的基础设施之一。6G 采用统一网络架构，引入新业务场景，构建更高效更完备的网络。智慧城市群的发展对 6G 设计提出新需求。采用新技术新架构的 6G 网络，将强有力地促进智慧城市群发展壮大和完善。6G 大规模部署

应用有望促使亿级的人员、千亿级的货物、万亿级的资金、万万亿级的资讯和数据在智慧城市群之内和之间的流动更顺畅更高效，促成用户的沉浸式体验。

#### 参考文献

- [1] Recommendation ITU-R M.2083. IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond[EB/OL]. (2015-09-01) [2019-12-03]. <https://www.itu.int/rec/r-rec-m.2083>
- [2] ZHANG C J, MA J L, LI G Y, et al. Key Technology for 5G New Radio[J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(3): 10-11. DOI: 10.1109/MCOM.2018.8316580
- [3] ITU. Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges[R]. Geneva, Switzerland, 2018
- [4] DAVID K, ELMIRGHANI J, HAAS H, et al. Defining 6G: Challenges and Opportunities [From the Guest Editors][J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2019, 14(3): 14-16. DOI: 10.1109/MVT.2019.2922512
- [5] ZHANG L, LIANG Y, NIYATO D. 6G Visions: Mobile Ultra-Broadband, Super Internet-of-Things, and Artificial Intelligence[J]. China Communications, 2019, 16(8): 1-14
- [6] Regional Plan Association. America 2050: An Infrastructure Vision for 21st Century America[R]. New York: Regional Plan Association, 2008
- [7] 任泽平, 熊柴, 白学松. 中国城市群发展潜力排名: 2019[EB/OL]. (2019-07-23) [2019-12-03]. <http://www.xcf.cn/article/b5bd1b2dad1b11e9bf6f7cd30ac30fda.html>
- [8] 国务院. “十三五”国家信息化规划[EB/OL]. (2016-12-15) [2019-12-03]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content\\_5153411.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm)
- [9] 魏明. 积极探索 5G 应用, 助力智慧城市群建设, 做客新华网 2019 两会特别报道[EB/OL]. (2019-03-11) [2019-12-03]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2019lh/2019-03/11/c\\_1124219956.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2019lh/2019-03/11/c_1124219956.htm)
- [10] 中国移动. 5G+ 智慧城市白皮书[R/OL]. [2019-12-03]. [http://www.sohu.com/a/330623440\\_472878](http://www.sohu.com/a/330623440_472878)



▲ 图 4 6G 业务场景

#### 作者简介



王海明，东南大学信息科学与工程学院教授、国家 6G 技术研发总体组专家、《ZTE COMMUNICATIONS》编委；目前研究方向为移动通信、天线与电波传播；曾获江苏省科技进步一等奖和 IEEE 802.11aj 标准杰出贡献奖；已发表学术论文 80 余篇，获授权发明专利 30 余项。



# 关于人工智能 对用户 QoE 提升的若干思考

## QoE Improvement Issues Based on Artificial Intelligence

高赞 /GAO Yun, 魏昕 /WEI Xin, 周亮 /ZHOU Liang

(南京邮电大学, 江苏 南京, 210003)

(Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing  
210003, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191224.1136.002.html>

网络出版日期: 2019-12-24

收稿日期: 2019-10-14

**摘要:** 认为网络视频供应商也开始更加关注用户体验质量 (QoE), 但数据量大、个性化提升用户 QoE 困难等问题仍存在。梳理了人工智能 (AI) 提升大数据时代下用户 QoE 的系统化解决方案。以视频业务中的流媒体码率自适应任务为例, 将基于用户行为分析的个性化 QoE 模型及时“反馈”到深度学习神经网络中, 通过模型自适应决策和码率调节, 实现用户 QoE 最大化。最后指出基于人工智能的 QoE 提升仍然存在一些挑战。

**关键词:** QoE; AI; 多媒体通信

**Abstract:** Online video providers are more concerned about users' Quality of Experience (QoE). However, there are still some problems in multimedia domain such as large amount of user data and user personalized experience improvement. A systematic solution for improving users' QoE by Artificial Intelligence (AI) technology in the era of big data is provided. In this paper, the adaptive streaming media rate of video services is taken as an example. In order to maximize the users' QoE, the personalized QoE model based on user behavior analysis timely provide feedback into the deep learning neural network, and then adjust media rate by making the model adaptively decision-making. Finally, we point out the challenges of QoE improvement under AI technology.

**Keywords:** QoE; AI; multimedia communication

### 1 “用户体验至上”已成趋势

随着多媒体通信技术的不断发展, 互联网视频业务方兴未艾, 其全球产业总值超过数千亿美元, 用户总量达到数十亿。在 YouTube 中, 每分钟有 300 h 的视频被上传, 其总产值超过 750 亿美元; 优酷视频覆盖的多屏终端总量达到 5.8 亿多, 日播放量达到 11.8 亿次; 腾讯视频日均活跃用户达到 1.37 亿。网络视频业务的迅速发展以及视频用户的快速增加<sup>[1]</sup>, 加速了视频服务商从关注服务质量 (QoS) 到重视用户体验质量 (QoE) 的转变<sup>[2]</sup>。

传统对视频流媒体业务质量的评估局限于对 QoS 的评估。实际上, QoS 只能反映网络层面的服务质量, 比如丢包率、带宽、时延、抖动等, 并不能全面地反映用户真实的需求和体验。如何面向用户体验更有效地评估端到端的视频业务质量成为近些年来迫切需要解决的问题。而用户 QoE 是从用户主观感知出发, 来直接衡量用户对服务的认可程度。在如今的网络视频领域, 视频服务商更是遵从“用户体验至上”的原则来发展各自的视频业务。例如, 爱奇艺公司坚持“悦享品质”的公司理念, 以“用户体验”为生命; 全球互联网巨头 Netflix 公

司通过取消视频广告等措施提高用户 QoE。由此可见, “用户体验至上”已经成为网络视频业务发展中的必然趋势。

在网络视频业务中, 从用户角度来看, 人们关心的指标主要有: 视频质量的清晰度、界面交互的友好便利性、视频播放的流畅度。而从视频服务商的角度来看, 用户关心的 3 个指标对应于: 网络流量的平均速率、网络视频的缓冲时间以及视频的码率波动。其中, 平均速率越大, 缓冲时间越短, 码率波动越小, 用户的 QoE 越好; 但是, 由于网络带宽、资源有限等原因, 就现有的技术而言, 想同时保持高

速率视频传输、短时间的视频缓冲以及低码率的波动是非常困难的。这 3 个指标相互牵制,无法同时实现最优的处理。如何在复杂网络环境和大数据背景下实现视频流的自适应是目前急需解决的一个难点。

另一方面,用户们观看视频兴趣的种类“众口难调”。例如,对于清晰度和流畅度这 2 个很难同时权衡的指标,喜欢体育运动的用户更加关注的是直播比赛的流畅程度,而观影用户更注重的是影片的清晰度;因此,在多媒体大数据通信的背景下,如何根据用户的不同喜好权衡不同指标的重要度和实现用户个性化 QoE 的建模也是目前提升用户 QoE 的一个难点。

## 2 人工智能为大数据时代带来机遇

### 2.1 人工智能与大数据:完美结合

中国的网络视频行业规模非常大,2018 年 1—8 月互联网企业业务收入同比增长 20.7%,中国规模以上互联网和相关服务企业完成业务收入 5 955 亿元。短视频发展迅猛,且将持续保持增长。庞大的用户规模使网络视频产业得到蓬勃发展,同时用户需求成为网络视频行业的发展标准,网络视频业务已经步入大数据时代<sup>[3]</sup>。关于大数据,IBM 公司指出大数据具有如下“5V”特点:

(1) 大量 (Volume), 即数据量大,包括采集、存储和计算的量都非常大。大数据的起始计量单位可以达到 PB、EB 甚至 ZB。

(2) 价值 (Value), 海量数据中,数据价值密度比较低,换言之,具有价值的数据非常少。

(3) 多样 (Variety), 即种类和来源多样化,包括结构化、半结构化和非结构化数据,多类型的数据对数据的处理有更高的要求。

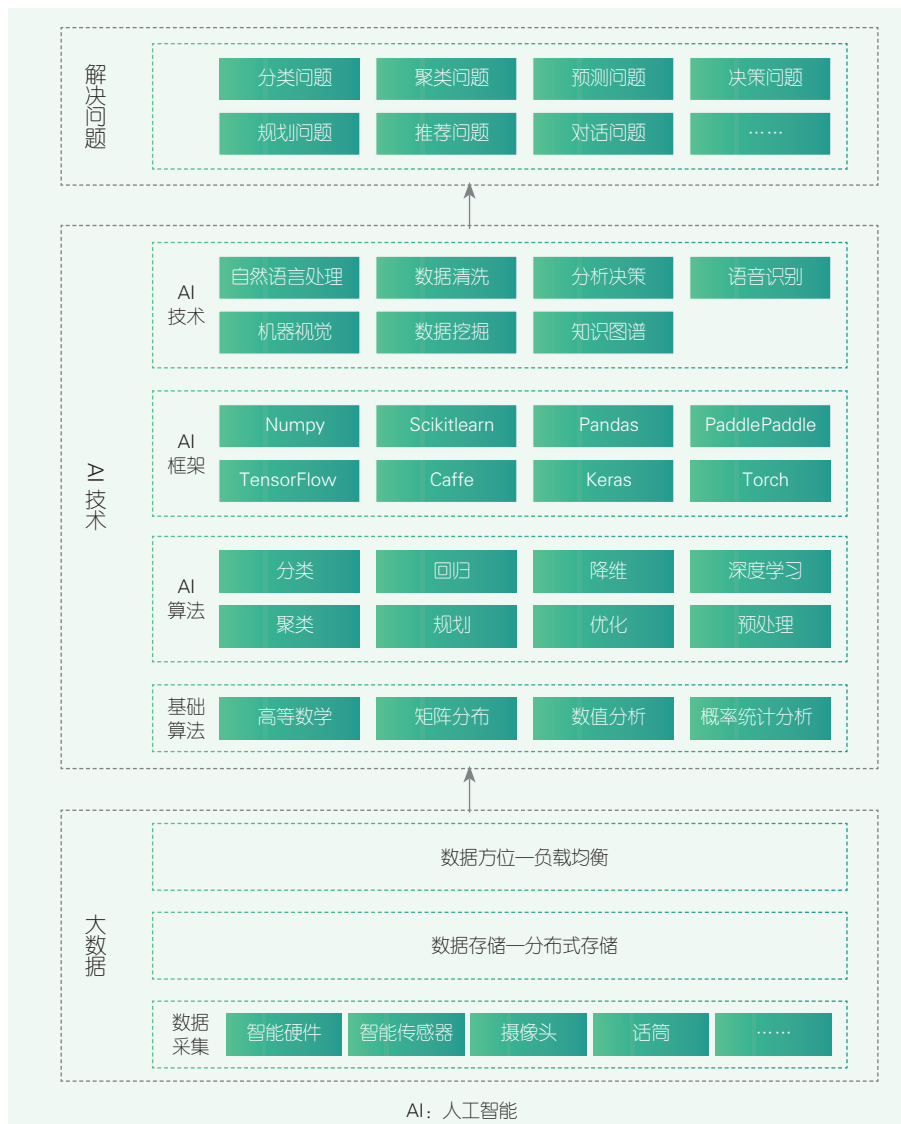
(4) 高速 (Velocity), 数据增长速度快,处理速度快,实时性要求高。

(5) 真实 (Veracity), 主要指数据的准确性和可信赖度,即数

据的质量。

从大数据的特征来看,如何从海量数据中挖掘出少量有用的信息是处理大数据的关键;而人工智能的出现,则是与大数据的完美结合。如图 1 所示,人工智能技术能够用传统人类无法处理的方式来分析、挖掘大数据所包含的有价值信息。

人工智能是指研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术以及应用系统的一门新的技术科学,是由人工制造出



▲ 图 1 大数据与人工智能框架

来的系统所表现智能。2006 年, Hinton 教授提出“深度学习”神经网络使得人工智能性能获得突破性进展, 进而促使人工智能产业又一次进入快速发展阶段。数据量的丰富程度决定了是否有充足数据对神经网络进行训练, 进而使人工智能系统经过深度学习训练后达到强人工智能水平; 因此, 能否有足够多的数据对人工神经网络进行深度训练和提升算法有效性是人工智能能否达到类人或超人水平的决定因素之一。

随着移动互联网的爆发, 数据量呈现出指数级的增长, 大数据的积累为人工智能提供了基础支撑<sup>[4]</sup>。同时受益于计算机技术在数据采集、存储、计算等环节的突破, 人工智能已从简单的算法+数据库发展演化到了机器学习+深度理解的状态; 因此, 当人工智能遇到大数据, 二者之间可望实现完美结合。

## 2.2 人工智能在多媒体大数据领域的应用

计算机处理能力的不断提高以及云存储领域的最新发展促使许多行业(多媒体通信领域也不例外)正在探索如何更好地利用人工智能。人工智能在多媒体大数据领域的应用主要分为以下 3 类:

(1) 网络设备的智能运维或故障检测。在多媒体大数据通信的背景下, 如何从海量数据中挖掘出设备故障的位置信息和原因信息, 是一直困扰运营商和设备商的难题。人工智能技术可以: 对网络告警和故障征兆进行预处理, 通过建

立类似人类大脑认知的过程模型, 借助高性能硬件和强大软件平台, 对数据进行关联分析, 从而能够提升准确率和处理效率; 针对海量告警数据和复杂网络结构, 自动选择最优方法和最优技术完成一系列告警操作, 并通过不断学习提升告警处理速度和效果, 保障和管理好整个通信网络。

(2) 网络优化。网络优化主要包括流量优化、能耗优化、无线网络覆盖和容量优化 3 个方面。通过在软件定义网络(SDN)控制器上引入人工智能技术, 实现网络流量的智能优化。针对无线网络环境下调节参数难的问题, 通过引入机器学习算法, 分析当前网络状态与覆盖和容量之间的关系模型, 再对网络进行分析, 指导调整无线参数配置。

(3) 智能安全。人工智能技术支持下的网络安全有着坚强的后盾, 把人工智能和网络安全管理紧密结合, 能够很大程度地提高网络的安全性能。例如人工智能垃圾邮件检查、智能防火墙安全技术、入侵检测和异常检测等。

## 3 用“数据+智能”来提升用户 QoE

### 3.1 QoE 研究中面临的主要难点和解决方案

视频业务中的 QoE 反映的是用户观看视频整个过程中的主观感受, 其中网络服务质量、用户的个性化喜好等因素都会影响到用户 QoE; 因此, 视频业务中用户的

QoE 评价是一个复杂的系统性工程。当前, 视频业务 QoE 的预测和提升仍面临着诸多挑战, 具体而言, 可以包含以下 3 个方面:

(1) 预测困难。视频业务中的 QoE 预测需要精准的当前网络流量作为重要参考指标, 而网络流量预测需要综合考虑多种因素, 往往很难做到精准预测。

(2) 通用性差。现有的方法通常针对特定的网络环境和特定的应用场景设计, 不具有一般性, 通用性差。

(3) 目标单一。现有的方法优化目标单一, 通常只针对速率的优化, 未考虑影响用户 QoE 的一系列其他因素, 而 QoE 又是一个多种因素相互作用的综合指标。

人工智能技术的出现, 使大数据背景下的用户 QoE 提升变成了可能: 针对预测困难的问题, 深度神经网络在足够多的网络数据中可以获得更为精准的网络流量预测精度; 根据用户的行为、喜好, 制定个性化 QoE 模型, 并将用户的主观感受及时反馈给正在训练的神经网络模型<sup>[5-6]</sup>, 达到实时更新的目的, 解决了通用性差、情景单一的问题; 深度神经网络的多特征输入(如带宽、速率、吞吐量等)可以有效地提高网络模型预测的准确度, 同时自适应地优化各输入特征, 从而解决了优化目标单一的问题。

在网络视频业务中, 通过人工智能学习来提升 QoE, 其主要训练流程如图 2 所示。将网络参数作为多维特征输入到深度神经网络模型中, 在训练过程中, 模型根据不同

用户的个性化 QoE 将其主观感受及时反馈到深度神经网络当中,实时地更新网络的输入,从而做到用户个性化 QoE 的提升。

### 3.2 基于用户行为分析的 QoE 个性化模型

在多媒体通信的大数据时代里,网络视频用户数量呈现爆炸式增长。对每个用户都制定个性化的 QoE 模型,并根据模型中的用户主观感受反馈给深度神经网络的训练是不现实的;但是,将具有相似视频观看行为或兴趣的用户分为有限

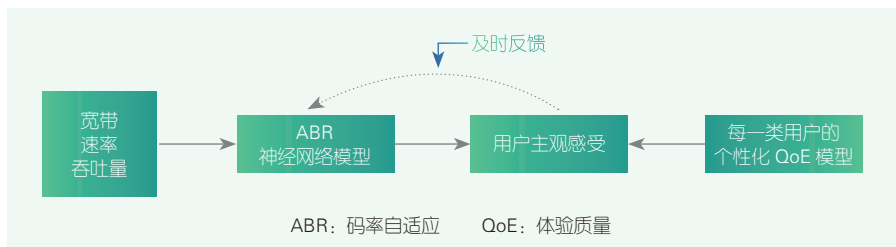
的类别,并对每一类的用户进行个性化的 QoE 建模是可以实现的。人工智能技术的出现,让大规模用户的分类以及个性化 QoE 建模的准确度得到了保障。

用户在某一时段的观看行为(如暂停视频、拖拽进度条、更换节目等)反映着用户在特定时段对该视频节目质量的满意度。通过对用户行为信息进行深度挖掘,寻找到具有相似行为的用户,并将其归为一类,最终对每一类用户进行 QoE 建模,从而建立个性化的 QoE 模型。在网络视频业务中,常见的

视频网站所提供的视频参数以及用户行为如表 1 所示。用户行为通常可以分为显性行为 and 隐性行为。其中,显性用户行为主要是指用户对视频节目的评价,如对视频进行打分或者评价;隐性用户行为是指不能直接看出用户对视频内容的主观评价,而是通过用户的一些行为表现分析用户对视频质量的满意程度,如观看视频内容的时间长短、次数、以及清晰度的调整等。对隐性用户行为进行无感知挖掘是近几年用户行为分析的趋势,具有很大的挖掘潜力。

基于用户行为分析的 QoE 个性化模型如图 3 所示。运用大数据处理技术分析不同用户对同一个或同一类视频的行为特征,找出其共性所在,将对这一类视频节目具有相同观影行为的用户归为一类。例如,把体育节目经常有“切换至高清”“一直在观看”的用户归类到喜欢体育运动的人群当中。不同类别之间,寻找各个类别中的个性特征。例如不同类别之间可能喜欢的视频种类不同。利用相同类别中的共性特征来达到同一类 QoE 模型的普适性,同样,利用不同类别之间的个性特征来实现不同类别 QoE 模型的个性化。通过用户行为分析得出的“共性+个性”特征来得到不同类别的 QoE 个性化模型。

目前更多的 QoE 个性化模型是基于用户行为进行分析的。通过对用户行为分析进行兴趣挖掘,进而推荐合适的视频节目来提升用户的 QoE。针对用户 QoE 主观性强、量化难的问题,我们提出用客观指



▲ 图 2 人工智能下的体验质量提升方案

▼ 表 1 各视频网站的用户的观看行为记录

用户动作	优酷 APP	网页优酷	土豆	爱奇艺	腾讯
打开视频		√			
观看时长	√	√			
电脑 ID	√	√			
手机端系统	√				
视频开始	√	√			
视频结束	√				
视频总长度	√	√			
视频帧速率		√			
视频链接		√			
点击	√				
暂停		√	√	√	√
播放		√	√	√	√
快进		√	√	√	√
后退		√	√	√	√
切换至高清		√	√	√	√
切换至标清		√	√	√	√
分辨率之间的切换			√	√	√

(√表示该视频网站有对该项动作进行记录)

APP: 应用程序

ID: 身份标识

标来表示用户的主观感受,即通过用户观看某个视频的时长占视频总时长的比例来描述用户对该视频的主观感受<sup>[7]</sup>。其次,相比于传统的主题模型如隐含狄利克雷函数分布(LDA),我们对用户所观看的视频节目进行兴趣挖掘,将每位用户的兴趣通过概率分布的方式给出,并结合用户的兴趣分布与视频观看比等重要客观性指标实现用户个性化 QoE 主观模型的建立<sup>[8]</sup>。具体来说,将用户视频观看比非常低的节目视为不感兴趣的节目并随之进行清洗;将处于一定阈值<sup>[9]</sup>内的视频节目视为用户潜在感兴趣的节目,推测出未来用户的兴趣分布情况;将用户视频观看比较大的相关节目再进行主题模型的建模,使建模得出的用户现有的兴趣更加准确。这样可以有效地过滤掉大量无用数据,使用户 QoE 个性化模型更加准确。同时,用户未来的可能兴趣分布也将得到一定的估计和预测。

### 3.3 深度学习训练下的用户 QoE 提升方案

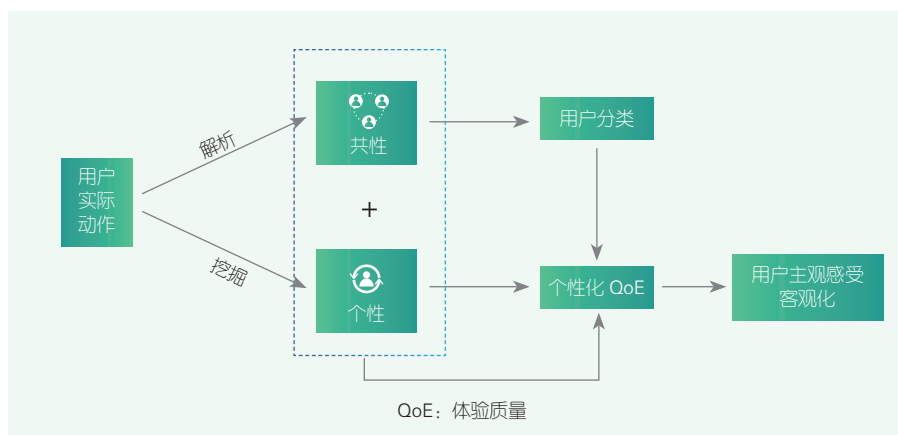
视频参数的多维度输入经常会给机器学习模型带来“维度灾难”,直接导致模型运行时间变长、承载海量用户数据难等问题。深度神经网络的出现和计算能力的提高使这一系列难题得到了解决。充分多的维度特征输入和海量充足的训练数据使得深度神经网络的训练更加完备,从而避免陷入模型过拟合当中。

如果说深度神经网络的训练在大数据和多维度输入的背景下

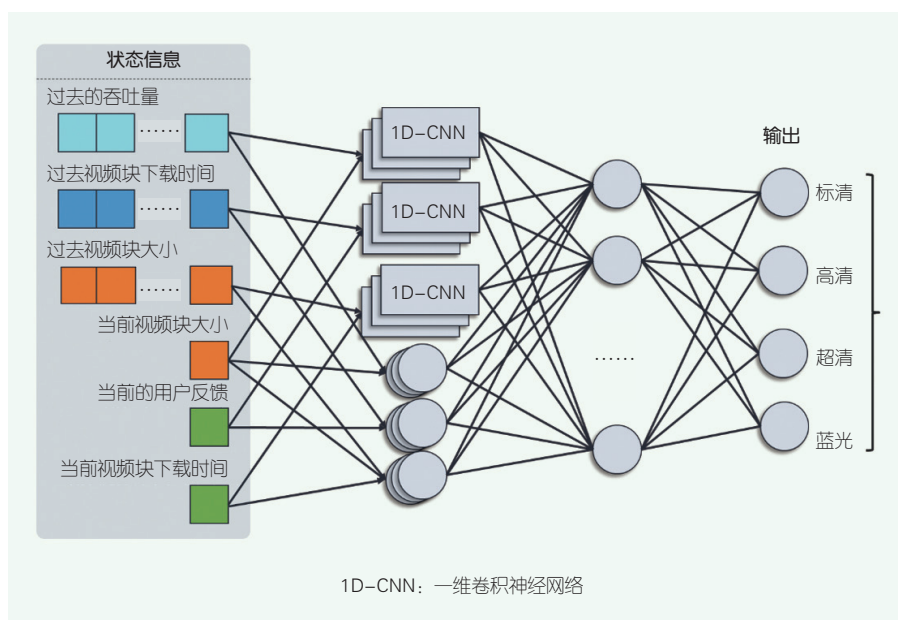
带来模型泛化能力提高,那么 QoE 个性化模型则作为对神经网络模型的一种实时“反馈”。通过对当前训练模型的“奖励”或“惩罚”,可以达到用户 QoE 的最大化。这正是强化学习(RL)的核心思想。强化学习不同于一般的机器学习方法中的监督学习和无监督学习,它是在尝试的过程中学习在特定的情境下选择哪种行动可以得到最大的回报。

以视频流媒体的码率自适应

技术为例,如今视频用户对不同类型节目的清晰度和流畅程度的要求不尽相同,视频服务商希望根据用户对不同视频节目的喜好或者满意度来自适应地调整视频码率(标清、高清、超清、蓝光)。深度学习和强化学习机制很好地实现了不同用户 QoE 的最大化,具体模型训练如图 4 所示。多维度的视频参数作为输入特征对多层神经网络进行训练,模型的输出对应于不同用户对视频码率的需求。在强化学习



▲ 图 3 基于用户分类的个性化体验质量模型



▲ 图 4 基于深度神经网络的流媒体码率自适应模型

过程中,用来描述用户主观感受的用户个性化 QoE 被作为奖励信号实时反馈到码率自适应算法模型中。神经网络模型根据每位用户的个性化 QoE 模型(即个性化需求)来自适应调整码率,使其选择令用户最满意的码率,最终达到用户 QoE 最佳的目的。需要特别注意的是,在网络训练的过程中,网络模型利用上一时刻用户行为以及网络状态参数为用户所观看节目的码率做出一个初始的决策;用户在观看节目后,将自己当前的主观感受反馈给正在训练的深层网络;网络模型根据当前时刻的反馈来调整当前的码率决策,很好地达到了每一时刻用户 QoE 的最大化。这正是码率调整实现“自适应”的关键所在。

## 4 结束语

人工智能技术的迅速发展为众多行业的发展带来机遇以及契机,多媒体通信领域也不例外。其中,网络视频业务发展更加迅猛,用户的增长也使得网络服务商更加注重用户 QoE。深度神经网络的成熟发展和计算能力的增强有效地解决了数据量大、多维度输入造成模型训练时间长的问题。基于增强学习用户个性化行为分析的“反馈”机制大大提升了每一类用户的 QoE 预测的准确度,从而实现每个用户 QoE 的最大化。当然,在人工智能技术背景下,用户 QoE 提升仍然有许多问题需要解决,比如:

(1) 数据采集时对用户隐私安全的保护。目前对用户的数据收集通常未考虑到用户是否允许服务

商采集这些数据,而越来越多的用户注重隐私的保护;因此,如何做到无感知的数据采集也是目前数据采集的难点所在。

(2) 隐性用户行为分析有更大的挖掘空间。用户对视频的满意度评价大多是由用户对视频观测行为表现出来,而通过用户行为去界定用户对视频的满意度需要考量更多的因素,如用户心情、所在位置、所使用终端等。

(3) 人工智能需要“高效”的学习方式。尽管计算能力的增强为深度学习带来迅速的发展,但是如何在有限的资源里“高效”完成学习仍是目前优化的关键。

## 致谢

本文得到南京邮电大学通信与信息工程学院周亮教授团队中胡正莹、陈铭子 2 位在读硕士生的帮助,谨致谢意!

## 参考文献

- [1] 李璐. 视频将占移动流量 NO. 1 运营商待转变资费模式[J]. 通信世界, 2012, (33): 40. DOI: CNKI:SUN:JSTX.0.2012-33-040
- [2] ZHOU L, WU D, WEI X, et al. Seeing Isn't Believing: QoE Evaluation for Privacy-Aware Users[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2019, 37(7): 1656-1665. DOI: 10.1109/JSAC.2019.2916452
- [3] 戚玲. 基于大数据的网络视频业务特性的分析与应用[D]. 北京: 北京邮电大学, 2017
- [4] 姜胜建. 人工智能与大数据信息时代的技术文明[J]. 浙江经济, 2017, (2): 62-63. DOI: 10.3969/j.issn.1005-1635.2017.02.029
- [5] ZHOU L, YANG Z, WEN Y, et al. Distributed Wireless Video Scheduling With Delayed Control Information[J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 2014, 24(5): 889-901. DOI: 10.1109/TCSVT.2013.2291311
- [6] ZHOU L. QoE-Driven Delay Announcement for Cloud Mobile Media[J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology,

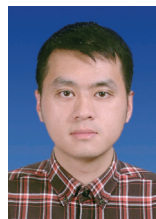
2017, 27(1): 84-94. DOI: 10.1109/TCSVT.2016.2539698

- [7] GAO Y, WEI X, ZHUANG W, et al. QoE Prediction for IPTV Based on BP\_Adaboost Neural Networks[C]// Wireless Communications and Mobile Computing Conference. USA: IEEE, 2017: 32-37. DOI: 10.1109/IWCMC.2017.7986258
- [8] GAO Y, WEI X, ZHANG X, et al. A Combinational LDA-Based Topic Model for User Interest Inference of Energy Efficient IPTV Service[J]. IEEE Access, 2018, 6(1): 48921-48933. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2868163
- [9] CHEN L, ZHOU Y, CUIU D M. Video Browsing - A Study of User Behavior in Online VoD Services[C]// International Conference on Computer Communications and Networks. USA: IEEE, 2013: 1-7. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.01.009

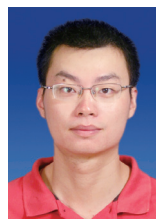
## 作者简介



高赞, 南京邮电大学通信与信息工程学院在读博士生; 主要研究方向为多媒体信息处理、多媒体大数据安全。



魏昕, 南京邮电大学通信与信息工程学院副教授、硕士生导师; 主要研究方向为多媒体信息处理、机器学习。



周亮, 南京邮电大学通信与信息工程学院教授、博士生导师, 通信与信息工程学院副院长, 通信与网络技术国家工程研究中心常务副主任; 主要研究方向为多媒体通信、多媒体信息处理、无线通信与资源分配; 入选国家中组部“青年千人计划”, 获得“国家自然科学基金优秀青年基金”; 发表 IEEE/ACM Transactions 论文 30 篇, 出版专著 2 本, 提交多媒体通信标准提案 6 份, 获得授权国家发明专利 24 项。



# 移动边缘计算规模部署的技术制约因素和对策

## Technique Constraints and Countermeasures in Large-Scale MEC Deployment Progress

熊先奎 /XIONG Xiankui  
段向阳 /DUAN Xiangyang  
王卫斌 /WANG Weibin

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12132/ZTETJ.201906011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191129.1550.002.html>

网络出版日期: 2019-11-29

收稿日期: 2019-10-15

**摘要:** 指出了边缘计算规模落地的制约因素, 具体包括计算、连接、部署位置和设备形态。认为移动边缘计算需要平衡“计算”和“连接”。通过对边缘计算的针对性研究, 中兴通讯给出了相应的软硬件解决方案, 并提出与整个业界紧密合作、共同推进边缘计算产业发展的愿望。

**关键词:** 边缘计算; 异构加速; 智能网卡; 边缘定制化服务器

**Abstract:** In this paper, the technique constraints in large-scale edging computing deployment progress are pointed, including computing, connectivity, deployment location and device configuration. We believe that mobile edge computing (MEC) need to balance computation and connection. Targeted research of edge computing and current hardware and software solutions provided by ZTE Corporation are also introduced, as well as the hope of working closely with the entire industry to promote the development of edge computing industry.

**Keywords:** edge computing; heterogeneous acceleration; intelligent network adapter; edge customization server

从2016年欧洲电信标准化协会移动边缘计算行业规范小组(ETSI MEC ISG)发布边缘计算7大业务场景定义开始, 移动边缘计算(MEC)概念逐渐受到通信运营商、互联网业务提供商和行业用户的高度关注<sup>[1-3]</sup>。

MEC的成功需要5G切片网络大带宽、广连接、高可靠低延迟等新型管道能力提供增值价值, 也需要5G网元接口的开放性、基于服务架构(SBA)导向的5G核心网(5GC)落地实现平台贯通, 更需要发挥边缘计算商用价值的生态系统的建立; 然而, 各种技术因素和

商业因素交织在一起, 将给边缘计算带来较大的落地风险。

本文中, 我们对边缘计算的现状和规模落地的相关制约因素进行分析, 以尝试建立一些技术共识, 为5G批量部署后的边缘计算业务场景集中部署做好技术储备。

### 1 MEC需要平衡“计算”和“连接”

MEC最早定义是移动边缘计算; 后来被修改为多址边缘计算<sup>[4]</sup>, 这体现了固移融合和多接入的趋势。由此可见, MEC从一开始不仅关注在合适的物理位置提供算力,

还注重在合适的物理位置为不同类型的设备提供对应的连接方式。

传统通信运营商和设备商更关注和擅长提供“连接”, 而互联网服务提供商(ISP)和信息技术(IT)制造商则更关注和擅长提供“计算”。双方在业务认知和价值定位上有一定分歧。比如部分ISP仍然视5G网络为透明管道, 更认同扁平化的MEC网络, 即Far-Edge边缘盒子自备计算和存储能力, 通过通信网络直达ISP分布式云化数据中心, 开启“云+端”一体化模式。而一些运营商对OTT业务(OTT业务是指互联网公司越

过运营商发展基于开放互联网的各种视频及数据服务业务)心存顾虑,在构建 MEC 网络时,过于强调自建平台即服务(PaaS)基础设施和移动边缘平台(MEP)能力平台,希望 OTT 业务能直接运行在电信运营商提供的 MEC 平台上。

客观上看,5G 网络和 4G 网络有了很大不同。5G 的控制面和用户面分离(CUPS)是在边缘部署用户面功能(UPF)的保证。而 UPF 的下沉使 5G 网络可依据签约信息和鉴权接入,基于移动性管理,在保证会话连续性和业务连续性前提下,根据服务质量(QoS)为用户选择最优的用户面功能并记录计费 and 账单。在可管、可控的前提下,提升体验质量(QoE)和支持高可靠低时延通信(uRLLC)等关键业务。

对于内容分发网络(CDN)时

延敏感的直播类业务、云游戏,特别是随着增强现实(AR)/虚拟现实(VR)显示材料技术发展将要产生的一些交互式视频业务,如果仍然将通信网络视为透明管道,将不能通过应用程序接口(API)管理 UPF 的分流规则把此类业务路由到最优边缘数据中心处理,这会导致很多业务机会的损失。

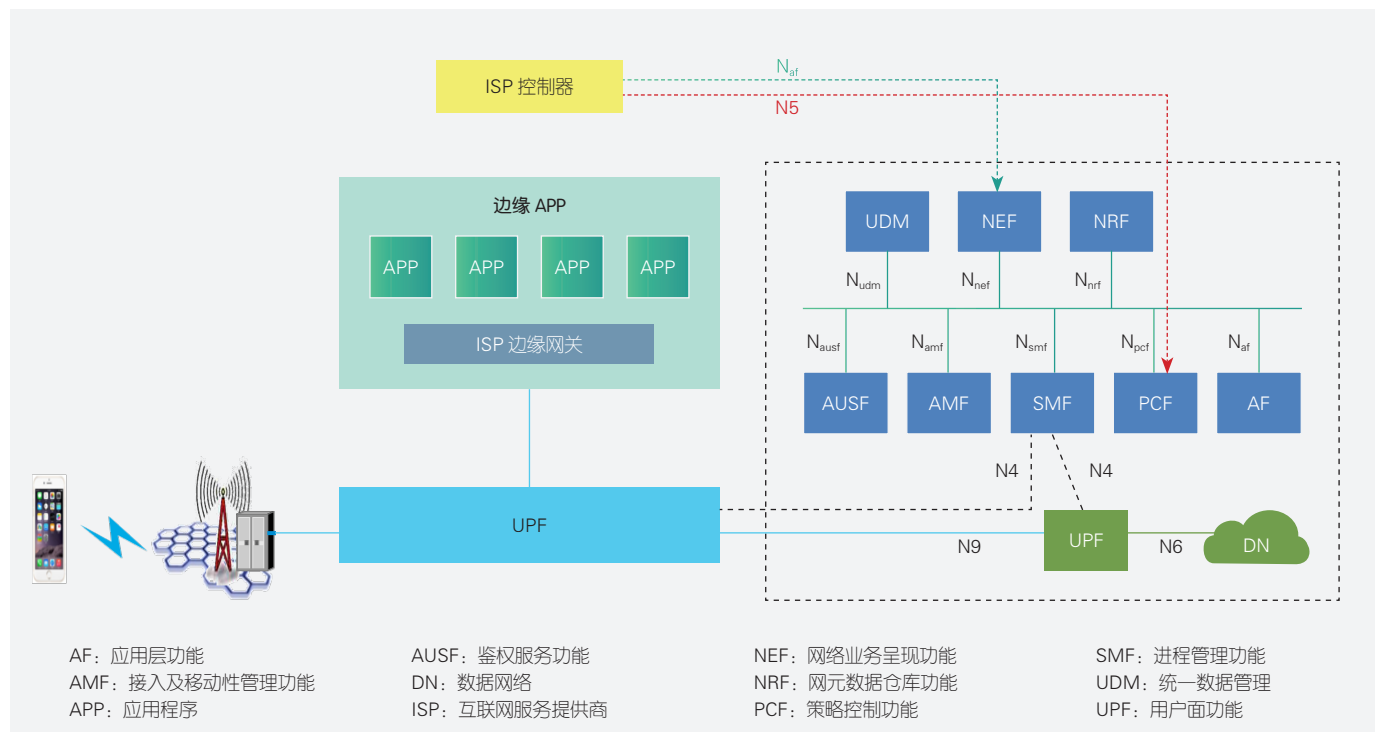
如图 1 所示,UPF 锚点与 MEC 结合,实现“计算”和“连接”平衡,具有如下优势:充分发挥运营商对网络连接的感知优势;可对网络连接实现精细化管理如端到端 QoS;有利于快速引入 ISP 应用程序(APP);通过对 UPF 分流后业务第一跳入口处的联动和闭环处理,更快、更好地上线新业务;真正构建“云-边-端”协同业务模式,而不是简单的“云+端”

模式。

## 2 MEC 连接能力需求分析

通过标准的管理接口在网络业务呈现功能(NEF)接口实现 UPF 路由规则的可配置性后,用户面数据流到达边缘计算网关设备。该网关将成为一个转发集中点,特别是当承载高清视频等业务时,该网关的转发面性能就成为关键点。即使某些流量不是特别巨大的应用,如车联网(V2X)网络的控制信息,由于交互报文小而频繁密集,对转发面的包转发率(PPS)要求也很高。

在云数据中心里面,网络集中点的软件转发技术多采用基于用户态的轮询机制的驱动(PMD)和数据平面开发套件(DPDK)环形队列支撑底层高效收发,配合



▲ 图 1 5G 典型场景下移动边缘计算部署组网

vSwitch 技术实现虚拟机之间的 L2 交换。当需要使用网络报文的高层次解析时,一般会采用快速数据项目(FD.io)矢量包处理器(VPP)快路径开源软件通过对报文向量化和充分利用处理器最后一级缓存(CPU LLC)缓存命中之类相关技术,将报文分发到开源用户态协议栈处理。进一步地,当需要配合业务规则如 URL 解析、DNS 解析实现业务负载均衡时,需要通过用户态 Linux 虚拟服务器(LVS)、Nginx 反向代理等开源软件技术支持高性能 L4-L7 转发。

软件转发面加速技术基于 X86 平台,充分利用单指令多数据流(SIMD)操作如高级向量扩展(AVX)指令集和 CPU 提供的锁等硬件原子操作指令,也可以达到较高的性能。当前,一般在支持较为简单的 L7 解析规则时,单台 2 路 Intel 高配置 SKU XEON 可达到 10 Gbit/s+ throughputs、5 M+PPS 的包转发率。

5G MEC 面对的转发场景能力很有可能是 100 Gbit/s+、50 M+PPS 入口 L4 负载均衡(LB)的需求。仅仅为解决入口网关的分发而在边缘机房中放置 5 ~ 10 台服务器显然是比较浪费的,为此,需要更高性价比和性能比 MEC 高性能转发面解决方案来解决这一问题。

此外,针对特殊的数据流如视频流传输,也需要对传统传输控制协议(TCP)滑窗机制进行连接优化,以降低延迟、减少重传流量开销,如 Google 提出的新型拥塞控制算法(Google BBR)等。可

见,这部分技术因素也需要一并予以考虑。

### 3 MEC 计算力需求分析

经过 L4-L7 LB 后的报文到达 APP Server 资源池后进行业务场景的处理,而 MEC 计算力需求与业务场景紧密相关。业务场景决定了该 APP 是应该放在云中心抑或是放在边缘中心处理。传统上认为,以下几种业务场景是比较适合放在 MEC 的。

(1) 流量大且需要就近分发以减少流量迂回的应用场景,如 CDN 网络。

(2) 终端处理功耗高影响续航能力的场景,如需要图形处理器(GPU)渲染的云游戏或者直播类业务。

(3) 需要人工智能(AI)感知类的场景,如非结构化视频数据的信息本地提取结构化处理过程。

(4) 视频、雷达点云等流式数据压缩/解压缩进一步本地处理的场景。

(5) 安全相关的场景,如出入口数据流的加解密/防火墙处理过程。

(6) 有关通用计算存储能力的场景,如高性能非易失材料存储介质的本地数据存取、预处理、清洗过程。

除了这些计算需求外,还有一部分新技术需求。如在物联网(IoT)系统中引入区块链和分布式记账(DLT)等技术解决用户接入认证、设备资产管理、隐私数据保护等授信问题。还有针对用户数

据孤岛,采用联邦学习等分布式机制支持 AI 模型在线增量训练、迁移学习过程等。这些都是通过计算代价换取可信性的业务场景。

总的来说,当前主要存在如下相关算力要求:

(1) AI 深度学习计算。目前深度学习以卷积计算为核心,辅助以非线性变换(如 Relu、Sigmoid 函数)、池化、归一化等计算操作(部分可以转化为卷积操作与累加和操作)。此外,还包括在输出层通常需要做对数据带宽要求很高的全连接操作。其中,卷积操作计算量非常大,这是由于:目前深度学习层数普遍较深,多达百层以上的神经网络屡见不鲜;虽然卷积核普遍在缩小,但是按照 Strip=1 或者 2 的步长从左至右、从上至下迭代点乘累加下来的计算量却非常巨大。以目前作为 Benchmark 比较简单的 AlexNet 8 层卷积神经网络(CNN)为例,单张图片计算力就达到了 1.5 GFlops,而当前主流的 CNN 普遍在 5~10 GFlops 之间。主流的神经网络模型尺寸普遍较大,几百兆尺寸的模型也不在少数,依靠片内静态随机存取控制器(SRAM)一次性载入显然不现实,而使用动态随机存取存储器(DRAM)存放又不满足数据带宽需求。

(2) GPU 渲染。GPU 渲染包括边缘计算云游戏、交互式视频、虚拟/增强/混合现实业务等基本计算力需求。其本质是对渲染方程求近似解的过程。计算架构从最早的固定 Pipeline 发展到目前可编程

的 Pipeline, 并通过多数据 ( 矢量化并发 ) 、多指令 ( 空间分区 ) 、高主频超标量体系 ( 时分和硬件调度 ) +Wrap 多线程 ( 数据流并发优化 ) 实现了具有高性能、灵活性和通用性的主流通用图形处理器 ( GPGPU ) 。

(3) 视频编解码。通过实时编解码技术可以对音视频内容进行有效的信息无损压缩。数据容量压缩比可达到数百比一, 这在节省传输带宽实现高效率传输方面有重要意义。视频编解码算力要求要比 AI 深度学习计算更为复杂: 一方面, 对视频帧数据宏块 / 子块划分和 I/B/P 帧间预测编码都需要高效的数据流调度机制以节省数据带宽; 另一方面, 涉及到空间数据冗余消除 ( 帧内预测 ) 、时间数据冗余消除 ( 帧间预测 ) 时, 需要进行移位、累加等操作, 这对残差数据还有离散余弦变换 ( DCT ) 相关性消除、游程 / 字母类编码无损压缩等都有较高的算力要求。由于存在通用格式标准可遵循, 以及编解码算法便于专用集成电路 ( ASIC ) 化, 目前高性能高密度视频编解码大部分以固化形态存在。当然也可以通过 CPU/GPU/ 数字信号处理 ( DSP ) 进行软处理, 只是效率相对较低。

(4) 其他相关算力要求。比如, 在 V2X 应用中, 还存在 LiDAR 激光雷达的点云数据压缩和信息结构化处理的需求。随着显示材料技术的发展, AR/VR/ 混合现实 ( MR ) 等前瞻性业务有可能会被作为杀手级应用进行开展, 这将产生新的算力需求。对于混合现

实业务, 相关算力要求主要是解法拉第光场方程实现光场技术和卡尔曼滤波 ( KF ) 获取深度信息。虽然目前可以使用 GPGPU 完成相关计算过程, 但这并不是性价比和性能最优的解决方案。

这些算力都是不以分支跳转判断为主处理路径, 而是基于数据流驱动的迭代型计算。在进行超标量体系处理时, 会存在分支预测失败率高、Cache 命中率低、Von-Neumann 架构取指令、译码执行代价大等问题, 需要通过 SIMD 矢量指令来支持软加速。

这里以 Intel Skylake 微架构 ( 2.3 GHz 主频 /12 核心 /105 W 散热设计功耗 ( TDP ) ) 支持 AVX-512, 单核、单时钟周期 64 浮点 ( FP ) 32/85 整数 ( INT ) 8 每秒操作数 ( OPS ) 为例, 总算力为 2.3 TOPS, 性能功耗比仅仅为 0.023 T/W ( 假设 OpenVino 调度和数学函数库 - 深度神经网络 ( MKL-DNN ) 计算库最优化状况 ) 。以目前常见神经网络模型如 Inception/ 暂态混沌神经网络 ( MTCNN ) /Yolo/ResNet50 等做图片推理 ( 检测或分类 ) , 按照平均 5 GFlops 的计算量计算, 一颗 XEON 大约能处理 460 帧 / 秒的图像深度学习, 参照 H.264 Main Profile 24 帧 / 秒, 处理能力不到 20 路视频。即 5 台服务器处理不了 200 路视频深度学习 ( 不包含视频编解码 ) 。

因此, 目前主流做法普遍是采用优化脉动阵列, 使用基于数据流驱动的新型计算架构, 并通过超标量主处理器实现异构计算来支持

相关算力需求。针对 AI 深度学习的深度学习加速器 ( DLA ) , 在采用 16 nm 以下的工艺时, 可以达到 1~2 T Flops/W ( FP16 ) 以上的计算效率。

数据流驱动的计算方式需要对算力抽象并进行调度, 以支持新出现的算法、算子和多实例运行。因此, 在神经网络模型和实际物理算力之间需要采用软件开发工具包 ( SDK ) 软件进行封装, 将模型转译成中间表达式, 并通过量化压缩、稀疏化等处理手段来降低模型尺寸和算力要求。由此可见, 通过调度算子、算力来完成层内计算优化和层间计算融合可以实现算法建模与真实硬件的适配。

视频编解码在边缘计算应用中还存在一个较大的问题, 即引入了较大的群延迟。在 5G 的诸多应用中, 比如 V2X 的摄像头视频数据结构化感知公共环境信息、基于 5G uRLLC 的远程操作都依赖低延迟和确定性的端到端传输。即使 5G 空口 +MEC 实现了端到端 10 ms 的延迟, 经典视频编解码算法引入的延迟却是数量级的: 如果不做任何优化, H.264 典型延迟将达到 400 ~ 500 ms。通过对传输协议和帧缓冲的优化, 一般可以将延迟降低到 200 ms 内。但如果要实现 50 ms 内的延迟, 从摄像头快门定制到 ISP 处理器端到端都需要进行优化。

## 4 MEC 异构计算和虚拟化、资源池的矛盾分析

从 MEC 算力需求分析可以看出, 异构计算加速是边缘机房无

法回避的选择。而构建“云-边-端”一体的协同业务模式,需要考虑开发运营(DevOps)快速部署、软件组件的平滑移植和第3方应用的开发成本;因此,这将会不可避免地异构计算资源产生虚拟化和资源池化的需求。

从技术上看,异构计算属于一种领域定制架构。在硬件虚拟化层面仍存在着较大的技术问题。

目前异构计算主要以GPU、现场可编程门阵列(FPGA)和网络处理器(NP)以及部分内置DSP的ASIC为主。考虑到虚拟化基础设施的优势,主流方案采用:主处理以通用X86作为主平台,通过串行总线(PCI)Express总线外挂异构计算协处理器,对迭代类型、数据流驱动类型等强计算 workload 进行Look-Aside方式的卸载。该方案的主处理器是X86平台,保证了第三方应用在云和边的平滑移植,有利于实现APP与基础设施的三层解耦。此外,也可以通过异构计算实现性价比和功耗比的兼顾。

但是,针对外设部件互连标准(PCIe)输入输出(IO)的虚拟化方案仍然存在一些问题。目前主要采用单根IO虚拟化(SR-IOV)虚拟化方案,通过PCIe总线枚举过程中对虚拟功能(VF)的功能发现并分配IO、Memory空间和中断路由资源,将其视为虚拟设备的同时Bypass掉主机操作系统内核,通过客户操作系统来直接控制设备。这就带来了虚拟机热迁移和安全机制的一些问题。针对GPU设备,由于

其具有多指令多数据(MIMD)特性,当实现VF功能时,还会存在任务调度核心互联网协议地址(IP)暴露等问题;因此,目前2家主流GPU厂商都只针对基于Windows DirectX的系统提供闭源或部分开源的收费软件。由此可见,当边缘需要实现视频渲染类业务时,这样的虚拟化方案是存在问题的。因此,一些方案采用基于物理GPU功能,通过远程直接内存访问(RDMA)这类低延迟网络来实现客户-服务器资源池拉远,加载基于开源的任务调度软件以替代GPU虚拟化。

针对异构协同的Look-Aside架构,也有一些基于半虚拟化IO(VirtIO)的虚拟IO技术。VirtIO本质是一种Share Memory通信技术,通过“连接”在Backend上的前、后端驱动实现硬件设备的抽象和隔离,解决了单根IO虚拟化(SR-IOV)的安全性和“热插拔”缺陷。但是VirtIO机制本身是一种软件处理方式,在没有硬件加速辅助的条件下,其性能与SRIOV存在明显差距。此外,VirtIO支持的驱动类型也需要生态链的广泛支撑。也有一些厂家将虚拟操作系统模拟器(QEMU)和VirtIO的大部分功能下沉进入FPGA等加速硬件中,通过将Hypervisor定制化做薄,实现无宿主机的裸金属虚拟化硬件方案(注意与寄居型虚拟化方案中的裸金属资源调度区分),在安全性和性能上都能取得良好效果。值得一提的是,VirtIO当前主线版本由于对硬件加速考虑不足,数据结构存在3套队列,并不利于硬件的实现;

因此,后续版本仍需要再继续优化。

FPGA是一种细粒度可编程异构计算芯片。完成编程固化的FPGA可以等效ASIC性能。针对虚拟化管理要求,2大厂家都提供了静态分区和可编程分区的动态重构技术路线。通过将异构接口、双倍速率数据传输存储器(DDR)、直接存储器存取引擎(DMA Engine)等必需的数据通道固化到静态分区,同时动态分区On-Fly在线重构,可以加载加速应用。针对资源发现和管理,2家都提供了OpenStack下Cyborg异构管理组件的相关插件对FPGA裸设备发现、枚举支撑Nova资源分配;然而,FPGA存在加速架构对外部Memory带宽和内部数据流的要求存在太多定制化设计的问题。比如,AI DLA往往需要2组72 bit(8 bit 纠错码(ECC))DDR4支持64 Gbit/s+的预取带宽,更有一些大吞吐设计需外部支持多组第六版图形用双倍数据传输率存储器(GDDR6)颗粒提供大带宽。而在网络加速如智能网卡应用时,又往往需要支持精确匹配表(如基于三态内容寻址存储器(TCAM)的访问控制列表(ACL)查找算法)和支持多级Hash模糊匹配表相结合。这需要大位宽外存总线的同时,也需要多组小位宽总线甚至外置4倍数据倍率(QDR)SRAM配合片内算法来实现。从这个角度来讲,能够满足特定应用的加速卡都是定制化的。另外,FPGA的综合、布线资源对内部逻辑单元和外部IO引脚都有苛刻的时序级配合需求;因此,很难在A

厂家的 FPGA 卡上, 静态把 B 厂家的固件综合进去, 也很难把 A 厂家自己的固件使用动态分区与其他固件动态重构。

针对上述难题, 业内提出了资源池的解决方案。针对 FPGA 异构资源池, 微软有过并不成功的实践, 最终还是选择分布式同构服务器形态<sup>[5]</sup>。从技术上看, 在边缘将 FPGA 异构服务器单独做成资源池, 会存在网络流量迂回、单点故障和维护困难等工程问题。

## 5 MEC 设备部署位置和硬件形态

MEC 部署位置区包括“边缘”“超边缘”和“现场级边缘”,

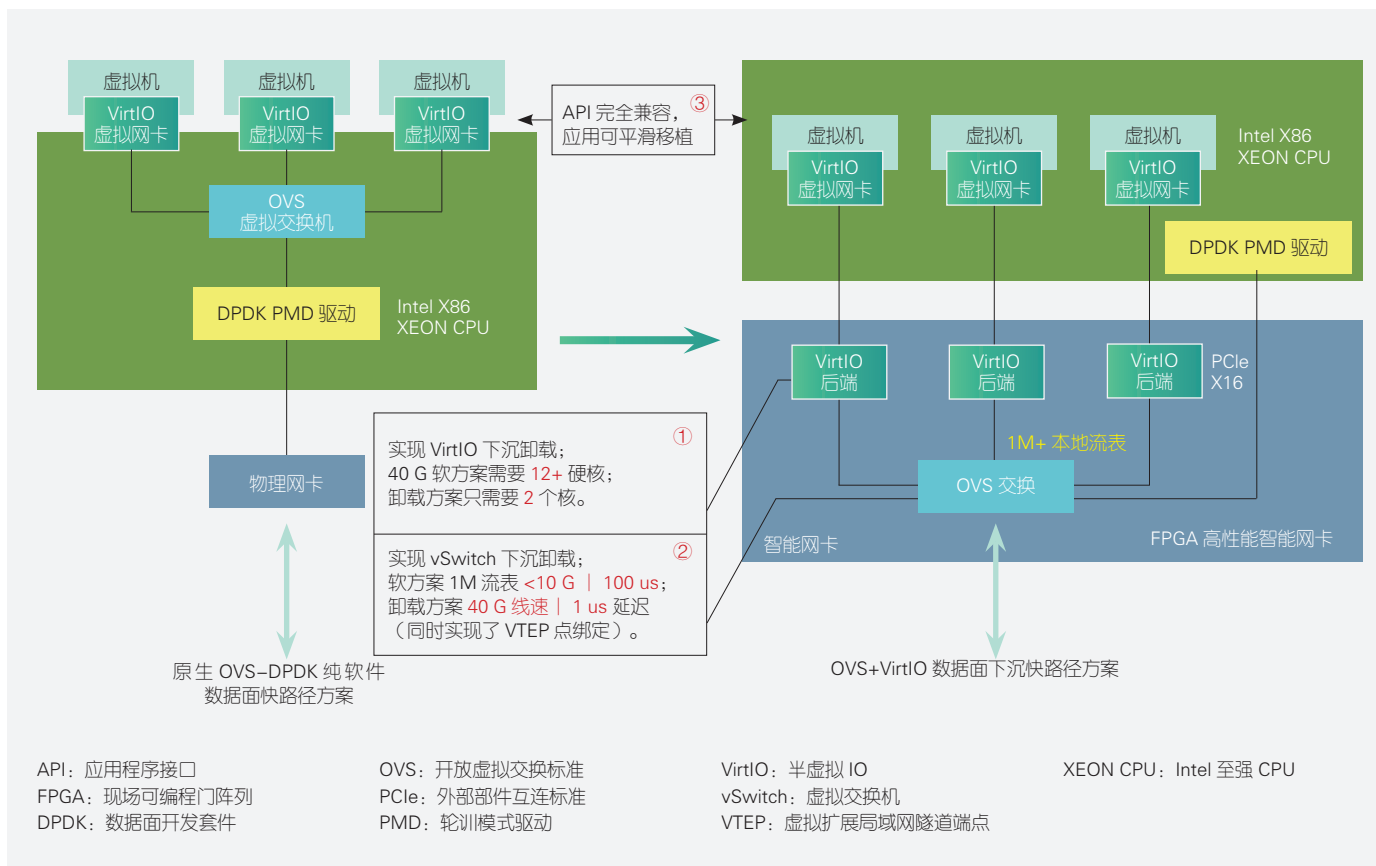
并与“边缘云”“边缘网关”和“边缘设备”相对应。边缘硬件的形态千差万别: 从通用机架式服务器、定制化服务器等上架设备形态, 到挂墙机箱、“盒子”, 再到手持式现场终端。在软件部署上形态也很多样: 从虚机/容器“双核”虚拟化云计算架构+微服务, 到嵌入式 OS 和极简协议栈。

众所周知, 边缘计算得益于 QoE 提升与高效率网络传输相结合的理念。通过提供用户低延迟的业务感受和可控的网络传输成本, 来支撑以人为中心的如沉浸式/交互式视频类新型业务, 以及以物为中心的如车联网等万物互联应用。这充分发挥了 5G 网络大带宽、低延

迟、广连接的优势; 因此, 边缘计算不仅要距离用户足够近, 使之处在网络较低位置, 还要实现一定的收敛汇聚, 具备较强的本地处理能力。从这个方面来说, 边缘计算最理想的位置是大量无线和有线接入之后的位置, 如中心单元 (CU) / 分布单元 (DU) 分离后的 CU, 甚至是 DU, 或者有线传输中的光线路终端 (OLT) 等接入点。位置既不宜太高, 也不宜太低。太高或太低都将会使 MEC 失去价值。

位于县区、接入/站点级的众多边缘接入机房是运营商的宝贵财富, 但边缘接入机房不同于云数据中心, 存在如下限制条件:

(1) 面积受限, 通常可用剩



▲ 图 2 中兴通讯 OVS+VirtIO 加速方案

余面积小于 100 m<sup>2</sup>, 缺乏腾挪空间。

(2) 机房承重普遍偏低, 多为 4~6 kN/m<sup>2</sup> 标准, 达不到数据中心 8 kN/m<sup>2</sup> 的要求。

(3) 机柜深度多是 600 mm 或者 300 mm 并柜, 不支持 700 mm 以上深度的通用服务器。

(4) 机柜功率预算受限 (散热限制), 单机柜为 1~3 kW, 平均 2 kW。

(5) 机房空调和制冷受限, 需要满足电信级环境温度要求 (网络设备构建系统标准 3 (NEBS L3))。

经过充分调研, 目前大家都意识到: 对存量接入机房的改造耗费巨大, 而且缺乏可实施的工程方案; 同时, 边缘机房需要定制化硬件形

态予以支撑。为此, 开放数据中心委员会 (ODCC) 组织制订开放电信 IT 基础设施 (OTII) 电信服务器白皮书以促进边缘定制化服务器硬件形态的建设。

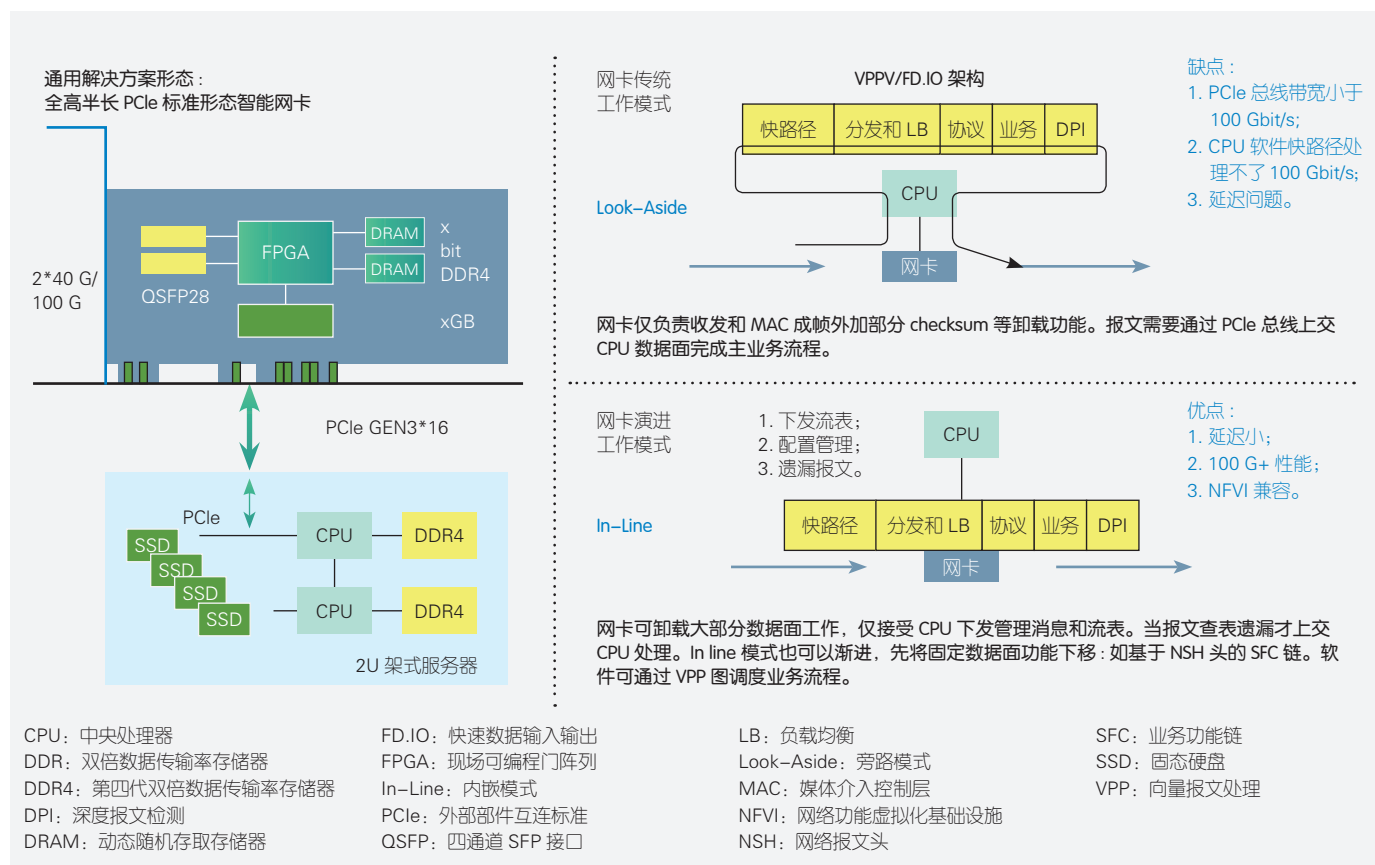
## 6 中兴通讯对 MEC 开展的针对性研究工作

中兴通讯充分认识到边缘规模部署的相关制约因素, 已经开展了针对性的研究工作, 并建立了开放边缘平台 (OEP)。OEP 是一个开放的软硬件平台, 专为异构计算加速定义, 支持多种定制化硬件形态。该平台不仅很好地解决了 UPF 用户面下沉和 MEC 共同部署的问题, 还支持多种计算加速方案, 同

时还可以结合 ZTE 基础设施即服务 (IaaS) /PaaS 基础设施平台, 提供 MEP 能力封装, 为第三方应用平滑移植和业务创新提供高性价比、高性耗比、易于集成和部署的基础平台服务。

智能网卡提供的 VirtIO 网络隔离方案 (参见图 2), 可达到与 SRIOV 同样性能, 不仅同时支持虚拟机热迁移, 还同时支持开放虚拟交换标准 (OVS) 加速和软件定义网络叠加 (SDN overlay) 组网虚拟扩展局域网 (Vxlan) 加速。

如图 3 所示, 智能网卡通过 In-Line 加速对 UPF 下沉提供加速能力。2 路 XEON 与 2 块智能网卡可实现近 200 Gbit/s 的报文转发处



▲ 图 3 网络加速模式

理能力。单块加速卡功耗仅 60 W，并且延迟低于 10  $\mu\text{m}$ 。这对 uRLLC 业务价值尤高。

中兴通讯视频结构化方案（参见图 4）通过视频编解码加速卡、AI 加速卡支持 2 路 XEON 服务器系统对 200 路 H.264 1080P 24 帧/秒的视频进行实时结构化。同时还支持人脸识别、人形识别、车型识别、车辆监测等 AI 业务。

中兴通讯 OEP 系列边缘定制化服务器（参见图 5）功能丰富、风格统一：3U 高度，450 mm 深度；支持宽温工作（0 ~ 45  $^{\circ}\text{C}$ ）；支持前走线维护（含前置多模电源）；散热风扇三冗余设置，支持不开箱热插拔维护。

此外，针对边缘计算应用，中兴通讯还研发了网络加解密、防火墙、边缘高性能 L4-L7 LB 等加速智能网卡方案、边缘用户态高性能固态存储方案、裸金属 GPU 虚拟化方案以及超低延迟视频传输方案等多种异构计算和网络加速方案，以更好地服务各类边缘计算应用。

中兴通讯秉持开放、合作、共赢的态度，与整个生态链上的合作伙伴共同努力，为实现边缘计算的规模部署、落地和产业繁荣，积极贡献力量。

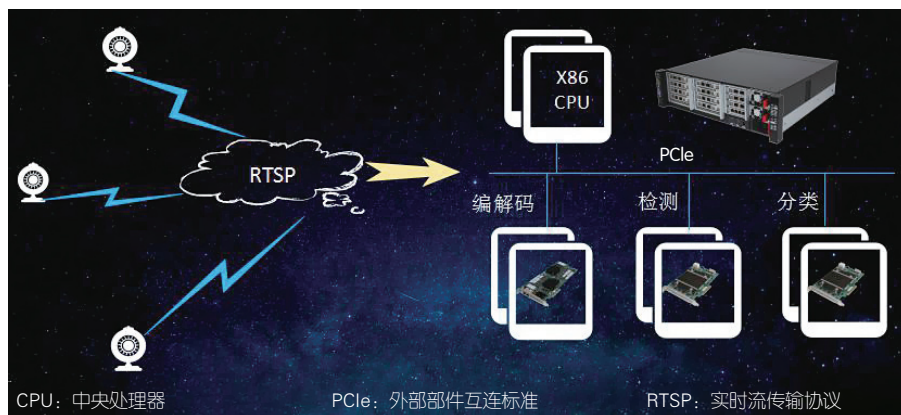
## 致谢

本文得到了中兴通讯股份有限公司无线产品经营部唐雄、钱健

忠、强鹏辉、张启明、徐东和张景涛的鼎力帮助，谨致谢意。

## 参考文献

- [1] 丁春涛, 曹建农, 杨磊, 等. 边缘计算综述: 应用、现状及挑战[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(3): 2-7. DOI: 10.12142/ZTETJ.201903001
- [2] 秦永彬, 韩蒙, 杨清亮. 边缘计算中数据驱动的智能应用: 前景与挑战[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(3): 68-76. DOI: 10.12142/ZTETJ.201903010
- [3] 马洪源. 面向 5G 的边缘计算及部署思考[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(3): 77-81. DOI: 10.12142/ZTETJ.201903011
- [4] ETSI. MEC Specifications: Multi-Access Edge Computing [EB/OL]. [2019-11-18]. <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing>
- [5] 李博杰. 如何评价微软在数据中心使用 FPGA 代替传统 CPU 的做法? [EB/OL]. [2019-11-18]. <https://www.zhihu.com/question/24174597?sort=created>



▲ 图 4 中兴通讯视频结构化加速方案



▲ 图 5 中兴通讯开放边缘平台系列边缘定制化服务器

## 作者简介



**熊先奎**，中兴通讯股份有限公司无线首席架构师、计算存储技术专家委员会主任；从事 ICT 融合研究；主导开发过 ATCA 电信计算平台和服务器存储平台。



**段向阳**，中兴通讯股份有限公司无线架构总经理、国家重大专项专家组成员、未来移动通信论坛副理事长、中国通信学会边缘计算分会（筹）副主任委员；负责中兴通讯无线系统关键技术创新，拥有超过 20 年的移动通信关键技术和产品研发经验；获得中国电子学会科技进步一等奖 1 次、深圳市科技进步一等奖 2 次；发表 IEEE 专题文章 1 篇，获得国家发明专利 15 项。



**王卫斌**，中兴通讯股份有限公司电信云及核心网总工；负责中兴通讯电信云及核心网关键技术创新，拥有 20 多年移动通信产品规划及研发经验；规划和研发的相关产品和解决方案荣获 5G 论坛、SDN/NFV 世界大会、边缘计算世界论坛、中国通信学会等多项大奖；申请专利 20 余项。

# 《中兴通讯技术》第 25 卷总目次

卷·期·次

## 卷首特稿

对网络体系变革的思考 ..... 邬贺铨 25-1-02

## 专题

### 专题：5G 商用支撑理论及关键技术

降低 SCL 译码错误的级联极化码 ..... 王涛, 屈代明, 江涛 25-1-05  
高频通信技术 ..... 李萍, 魏浩, 黄静月 25-1-12  
“太极混一”——极化码原理及 5G 应用 ..... 牛凯 25-1-19  
未来无线网络下的空中计算技术 ..... 陈力, 卫国 25-1-29  
免调度非正交多址接入技术及其系统性能 .....  
..... 李卫敏, 唐红, 李剑, 胡宇洲 25-1-35  
智慧标识网络动态防御机制与应用 .....  
..... 于成晓, 刘刚, 张宏科 25-1-42  
上行-下行联合优化的 uRLLC 传输 .....  
..... 成晶, 沈超, 夏树强 25-1-47

### 专题：云网一体化技术

面向云网一体的新型城域网演进探讨 .....  
..... 陈运清, 雷波, 解云鹏 25-2-02  
云网一体使能网络即服务 ..... 朱海东 25-2-09  
SD-WAN 关键技术 ..... 柴瑶琳, 穆域博, 马军锋 25-2-15  
EBoD: 打造开放 SD-WAN 网络服务平台 .....  
..... 周文辉, 刘永伟 25-2-20  
运营商 SDN 云网协同架构和关键技术研究 .....  
..... 鲁子奕, 杨文斌 25-2-28  
面向云网协同的新型城域网 ..... 马季春, 孟丽珠 25-2-37  
基于安全保障的边缘计算卸载方案 .....  
..... 廉晓飞, 谢人超, 黄韬 25-2-41

### 专题：边缘计算技术及其应用

边缘计算综述：应用、现状及挑战 .....  
..... 丁春涛, 曹建农, 杨磊, 王尚广 25-3-02  
边缘计算开源平台现状分析 ..... 梁家越, 刘斌, 刘芳 25-3-08

卷·期·次

边缘存储的发展现状与挑战 ..... 刘铎, 杨涓, 谭玉娟 25-3-15  
移动边缘计算：架构、应用和挑战 .....  
..... 高志鹏, 尧聪聪, 肖楷乐 25-3-23  
基于边缘计算的物端系统挑战与愿景 ..... 彭晓晖, 徐志伟 25-3-31  
万物互联背景下的边缘计算安全需求与挑战 .....  
..... 马立川, 裴庆祺, 肖慧子 25-3-37  
自然环境下基于异构多源的边缘计算公共安全系统 .....  
..... 孙辉, 余莹 25-3-43  
工业互联网智能制造边缘计算：现状与挑战 .....  
..... 宋纯贺, 曾鹏, 于海斌 25-3-50  
面向无人驾驶的边缘高精地图服务 ..... 唐洁, 刘少山 25-3-58  
边缘计算中数据驱动的智能应用：前景与挑战 .....  
..... 秦永彬, 韩蒙, 杨清亮 25-3-68

### 专题：5G 通信安全技术

5G 安全风险分析及标准进展 ..... 杨红梅, 赵勇 25-4-02  
5G 典型应用场景安全需求及安全防护对策 .....  
..... 闫新成, 毛玉欣, 赵红勋 25-4-06  
5G 网络的认证体系 ..... 齐旻鹏, 彭晋 25-4-14  
5G 网络的设备及其接入安全 ..... 陆海涛, 李刚, 高旭昇 25-4-19  
基于软件定义的 5G 网络安全能力架构 .....  
..... 张鉴, 唐洪玉, 侯云晓 25-4-25  
软件定义 5G 通信网络的虚拟化与切片安全 .....  
..... 罗珂榕, 曹进, 李晖 25-4-30  
5G 时代大容量光接入网的安全技术 ..... 张宏熙 25-4-36  
5G 物理层安全技术——以通信促安全 .....  
..... 黄开枝, 金梁, 钟州 25-4-43  
基于 5G 的垂直行业安全新特征与对策 ..... 汤凯 25-4-50

### 专题：新型光互连与光接入技术

数据中心高速光互连技术 ..... 余建军 25-5-02  
光接入网高灵敏度低成本相干通信技术 .....  
..... 唐明, 李伟昊, 冯振华 25-5-09

面向数据中心光互连的高速光传输技术	张帆, 朱逸萧	25-5-17
数据中心中光交换技术研究的现状与挑战	郭秉礼, 黄善国	25-5-25
面向移动前传的大容量光接入网技术	李隆胜, 胡卫生	25-5-31
新型消费类电子光互连应用	黄君彬	25-5-38
面向多场景应用的新型光纤同轴混合接入技术	赵辉, 刘跃, 张诚	25-5-44
下一代光接入网的核心光电芯片技术	陈雷	25-5-51

## 专题: 5G 通信系统示范应用

5G 商用起步, 融合应用蓬勃兴起	李珊, 张春明, 汪卫国	25-6-02
网络切片在 5G 无线接入侧的动态实现和发展趋势	杨立, 李大鹏	25-6-08
5G-NR 基站软节能技术	黄俊, 田森, 张诗壮	25-6-19
端到端网络切片赋能 5G+ 超高清媒体行业	孙晓文, 陆璐	25-6-24
5G 在能源互联网应用的分析和思考	夏旭, 朱雪田	25-6-29
5G 技术发展与行业应用探讨	严斌峰, 袁晓静, 胡博	25-6-34
智能高铁中的 5G 技术及应用	艾渤, 马国玉, 钟章队	25-6-42
传媒变革: 5G 对媒体的基本影响	赵子忠, 张坤	25-6-48

## 专家论坛

B5G: 泛在融合信息网络	张平	25-1-55
---------------	----	---------

基于非完备大数据的业务预测	李建东, 盛敏, 文娟	25-1-63
智能是怎样生成的	钟义信	25-2-47
网络人工智能发展分析与建议	王海宁	25-2-52
基于人工智能的网络智能化发展探讨	张嗣宏, 左罗	25-2-57
面向 5G 的边缘计算及部署思考	马洪源	25-3-77
网络安全——5G 的基石	苏洲	25-4-56
高速可见光通信技术的挑战与展望	迟楠, 胡昉辰, 周盈君	25-5-56
6G 愿景: 统一网络赋能智慧城市群	王海明	25-6-55
关于人工智能对用户 QoE 提升的若干思考	高赞, 魏昕, 周亮	25-6-59

## 企业视界

5G 在垂直行业中的应用	陆平, 李建华, 赵维铎	25-1-67
网络智能, 以“智”赋“动”	杜永生, 蒋新建, 巫江涛	25-2-63
B5G 毫米波和太赫兹技术的背景、应用和挑战	彭琳, 段亚娟, 别业楠	25-3-82
5G 网络设计与规划优化探讨	韩玮, 江海, 李晓彤	25-4-59
5G 确定性网络的应用和传送技术	赵福川, 刘爱华, 周华东	25-5-62
移动边缘计算规模部署的技术制约因素和对策	熊先奎, 段向阳, 王卫斌	25-6-65

## 技术广角

新型硅基集成光隔离器的研究进展	李明轩, 于丽娟, 刘建国	25-5-68
-----------------	---------------	---------

## 《中兴通讯技术》2020 年专题计划

期次	专题名称	策划人
1	C-V2X 与智能车联网技术	中国移动研究院首席科学家 易芝玲 中国移动研究院高级工程师 潘成康
2	智能化通信应用芯片技术	中国科学院半导体研究所副所长 祝宁华
3	5G 核心网技术与挑战	工业和信息化部科技委信息网络专家组组长 赵慧玲
4	无线网络空中计算	中国科学技术大学教授 卫国
5	网络人工智能技术	电子科技大学教授 虞红芳
6	工业互联网技术与应用	中国信息通信研究院副总工 续合元

# 《中兴通讯技术》杂志（双月刊）投稿须知

## 一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊。通过介绍、探讨通信热点技术，以展现通信技术最新发展动态，并促进产学研合作，发掘和培养优秀人才，为振兴民族通信产业做贡献。

## 二、稿件基本要求

### 1. 投稿约定

- （1）作者需登录《中兴通讯技术》投稿平台：[tech.zte.com.cn/submission](http://tech.zte.com.cn/submission)，并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- （2）编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿，并根据审稿意见，公平、公正地录用稿件。审稿过程需要 1 个月左右。

### 2. 内容和格式要求

- （1）稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- （2）稿件需采用 WORD 文档格式。
- （3）稿件篇幅一般不超过 6 000 字（包括文、图），内容包括：中、英文题名，作者姓名及汉语拼音，作者中、英文单位，中文摘要、关键词（3 ~ 8 个），英文摘要、关键词，正文，参考文献，作者简介。
- （4）中文题名一般不超过 20 个汉字，中、英文题名含义应一致。
- （5）摘要尽量写成报道性摘要，包括研究的目的、方法、结果 / 结论，以 150 ~ 200 字为宜。摘要应具有独立性和自明性。中英文摘要应一致。
- （6）文稿中的量和单位应符合国家标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚，上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- （7）图、表力求少而精（以 8 幅为上限），应随文出现，切忌与文字重复。图、表应保持自明性，图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表，表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- （8）所有文献必须在正文中引用，文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为：
  - 期刊 [序号] 作者. 题名 [J]. 刊名, 出版年, 卷号 (期号): 引文页码. 数字对象唯一标识符
  - 书籍 [序号] 作者. 书名 [M]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. 数字对象唯一标识符
  - 论文集中析出文献 [序号] 作者. 题名 [C] // 论文集编者. 论文集名 (会议名). 出版地: 出版者, 出版年 (开会年): 引文页码. 数字对象唯一标识符
  - 学位论文 [序号] 作者. 题名 [D]. 学位授予单位所在城市名: 学位授予单位, 授予年份. 数字对象唯一标识符
  - 专利 [序号] 专利所有者. 专利题名: 专利号 [P]. 出版日期. 数字对象唯一标识符
  - 国际、国家标准 [序号] 标准名称: 标准编号 [S]. 出版地: 出版者, 出版年. 数字对象唯一标识符
- （9）作者超过 3 人时，可以感谢形式在文中提及。作者简介包括：姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- （10）提供正面、免冠、彩色标准照片一张，最好采用 JPG 格式（文件大小超过 100 kB）。
- （11）应标注出研究课题的资助基金或资助项目名称及编号。
- （12）提供联系方式，如：通讯地址、电话（含手机）、Email 等。

### 3. 其他事项

- （1）请勿一稿两投。凡在 2 个月（自来稿之日算起）以内未接到录用通知者，可致电编辑部询问。
- （2）为了促进信息传播，加强学术交流，在论文发表后，本刊享有文章的转摘权（包括英文版、电子版、网络版）。作者获得的稿费包括转摘酬金。如作者不同意转摘，请在投稿时说明。

编辑部地址：安徽省合肥市金寨路 329 号凯旋大厦 1201 室，邮政编码：230061

联系电话：0551-65533356，联系邮箱：[magazine@zte.com.cn](mailto:magazine@zte.com.cn)

本刊只接受在线投稿，欢迎访问本刊投稿平台：[tech.zte.com.cn/submission](http://tech.zte.com.cn/submission)

办刊宗旨：

以人为本，荟萃通信技术领域精英  
迎接挑战，把握世界通信技术动态  
立即行动，求解通信发展疑难课题  
励精图治，促进民族信息产业崛起

---

双月刊 1995 年创刊 总第 149 期  
2019 年 12 月 第 25 卷 第 6 期（卷终）

主管：安徽出版集团有限责任公司  
主办：时代出版传媒股份有限公司  
深圳航天广宇工业有限公司  
出版：安徽科学技术出版社  
编辑、发行：中兴通讯技术杂志社

总编：王喜瑜  
主编：蒋贤骏  
执行主编：黄新明  
责任编辑：徐烨  
编辑：杨广西、卢丹、朱莉、任溪溪  
设计排版：徐莹  
发行：王萍萍  
外联：卢丹  
编务：王坤

---

《中兴通讯技术》编辑部  
地址：合肥市金寨路 329 号凯旋大厦 1201 室  
邮编：230061  
网址：tech.zte.com.cn  
投稿平台：tech.zte.com.cn/submission  
电子信箱：magazine@zte.com.cn  
电话：(0551)65533356

传真：(0551)65850139  
发行范围：公开发行  
印刷：合肥添彩包装有限公司  
出版日期：2019 年 12 月 20 日  
中国标准连续出版物号：ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN  
定价：每册 20.00 元