



5G 网络架构设计与标准化进展

朱浩¹, 项菲²

(1. 中国信息通信研究院, 北京 100191; 2. 国家计算机网络应急处理协调中心, 北京 100029)

摘要: 随着 5G 愿景和概念逐渐地清晰, 业界越发意识到网络技术发展对 5G 系统的重要价值。5G 网络旨在以高性能和高效能为目标重构全网架构和服务体系, 支撑 5G 指标和场景, 满足高效运营的要求。引入了“自顶向下”的设计方法, 从 5G 场景与需求与网络挑战映射分析入手, 梳理了 5G 架构发展方向, 描述 5G 概要级网络架构和基础设施框架, 并对不同功能平面的架构方案具体展开, 提出 5G 网络核心功能——网络切片, 在最后对 5G 网络标准化推进节奏进行了总结。提出的架构方案能匹配 5G 业务和运营需求, 对 5G 网络后续研究工作具有推动作用。

关键词: 5G; 网络架构; 功能重构; 网络切片; 标准化

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016127

Architecture design and standardization progress of 5G network

ZHU Hao¹, XIANG Fei²

1. China Academy of Information and Communication Technology, Beijing 100191, China

2. National Computer Network Emergency Response Coordination Center, Beijing 100029, China

Abstract: The industry has been more and more aware of the important value of network technologies to the 5G system since the vision and the concept of 5G has become clear and focused. Taking higher performance and efficiency as its objective, 5G network is about to reconstruct the entire architecture and service provision system to meet the demands of 5G KPIs, scenarios and operations. A top-down design method was introduced which firstly identified the relationships between 5G requirements and technology challenge on legacy network and deduced the development direction of 5G architecture, then the 5G high-level framework of network architecture and infrastructure were raised and the architecture solution for each network function plane and the key network service named as network slicing were proposed in detail. Finally, the standardization progress in main SDOs was summarized. The solution raised can match the 5G service and operational requirements and give an active impetus to the subsequent 5G network research.

Key words: 5G, network architecture, function reconstruction, network slicing, standardization

收稿日期: 2016-01-12; 修回日期: 2016-04-07

通信作者: 项菲, frey207@sina.com

基金项目: “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项基金资助项目 (No.2014ZX03002004)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project (No.2014ZX03002004)

1 引言

随着4G技术成熟并广泛商用,移动通信开始朝着面向2020年及未来的,5G的发展阶段迈进。最早于2012年,国际电信联盟(International Telecommunications Union, ITU)开始组织全球业界启动5G愿景^[1]、流量预测^[2]和未来技术趋势^[3]等前期研究,提出5G将在大幅提升“以人为中心”的移动互联网业务体验的同时,全面支持“以物为中心”的物联网业务,实现人与人、人与物以及物与物的智能互联的总体愿景。以ITU的5G前期研究成果为指引,来自全球移动通信产业不同领域的研发力量逐步聚集,全面启动5G关键技术研发工作。

METIS (Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society)是欧盟第7期框架计划下,由多家电信制造商、运营商、科研机构 and 高校共同启动的5G科研项目^[4],已初步完成了5G需求、应用场景和系统架构及关键技术方案梳理。2013年底,欧盟启动了规模更大的5G科研项目5G-PPP^[5] (5G public-private partnership)整合METIS工作,旨在加速欧盟5G研究和创新,项目大致包括需求研究、系统研发与优化以及大规模试验验证与标准化3个阶段。NGMN旨在凝聚网络运营商针对5G候选技术和评估方案的共识,通过下设的愿景、需求、技术及架构、频谱4个工作组,以全面分析5G的关键业务、应用场景和技术要求^[6]。为推动5G研发,中国成立IMT-2020(5G)推进组,集中国内产学研用优势单位,共同开展5G策略、需求、技术、频谱、标准、知识产权研究及国际合作。推进组指出5G系统内涵更加广泛,其概念扩展为“标志性能力指标”和“一组关键技术”^[7]。

随着研究和交流的不断深入,业界对5G业务场景与关键指标的共识逐步收敛。ITU规划了5G所涵盖三大应用场景:增强移动宽带、海量机器类通信和超高可靠低时延通信,同时为适应业务场景的差异化要求,在关键能力指标方面,除了传统的峰值速率、移动性、时延和频谱效率之外,ITU还提出了用户体验速率、连接数密度、流量密度和能效4个新增关键能力指标。具体而言,5G用户体验速率高至1 Gbit/s,能够支持移动虚拟现实等极致业务体验;5G峰值速率可达10~20 Gbit/s,流量密度可达10 Mbit/(s·m²),能够支持未来千倍流量增长;5G连接数密度可达100万个/km²,支持海量物联网设备接入;5G传输时延将至毫秒量级,满足车联网和工业控制的严格要求;5G能够提供500 km/h的移

动速度(如高铁环境)下顺畅的用户体验。最后,为了保证对频谱和能源的有效利用,5G的频谱效率将比4G提高3~5倍,能效将比4G提升100倍。

与之前历代移动通信系统以多址接入技术革新为换代标志不同,5G内涵更加广泛,由空口多址技术向端到端网络延伸。网络基础设施将成为支撑关键能力指标、满足多场景部署要求和实现高效运营的关键环节,与新型无线空口技术共同推进5G发展。当前,相比于无线侧较清晰的5G空口系统框架和专题研究方向,面向网络的研究还处于概念澄清^[8]、需求收集^[9]和通用框架讨论^[10,11]的初始阶段,有待于与5G场景与能力指标进一步对应澄清,提出具体的架构设计思路和技术方向。

综上,本文采用“top-down(自顶向下)”的设计方法,从5G场景与关键KPI需求对现网的挑战分析入手,梳理5G网络发展方向,概要级架构和基于“云”的基础设施框架,进而针对框架内不同功能平面提出具体的架构方案。重点阐述了5G网络的核心服务功能——网络切片技术。最后,本文简要介绍了业界针对5G网络架构和切片技术标准化方面的推进情况。

2 5G网络概要级框架

2.1 5G需求与网络功能映射

5G愿景定义了更丰富的业务场景和全新的业务指标,5G系统不能囿于单纯的空口技术换代和峰值速率提升,需要将需求与能力指标要求向网络侧推演,明确现网挑战和发展方向,通过网络侧的创新提供支撑,见表1。

指标方面,首先,业务速率随用户移动和覆盖变化而改变是移动通信系统的基础常识,无法提供稳定的体验速率支持,需要改变传统的“终端—基站”一对一传输机制,引入联合多站点协同来平滑和保证速率。其次,毫秒级时延是另一个挑战,当前网关和业务服务器一般部署在网络中心,受限于光传输速率,网内传输时延大多是百毫秒量级,远超5G时延要求,需要尽可能将网关和业务服务器下沉到网络边缘,此外,4G定义的实时业务切换中断时间(<300 ms)也无法满足5G高实时性业务要求,这意味需要引入更高效的切换机制。最后,现网限于中心转发和单一控制的功能机制,在高吞吐量和大连接背景下会造成更大的拥塞和过载风险,这要求5G网络控制功能更灵活,流量分布更均衡。

运营能效方面,4G网络主要定位在互联网接入管道,



表 1 5G 愿景、现网挑战与架构演进方向映射

指标能力要求	现网挑战	5G 架构方向
1 Gbit/s 体验速率	<ul style="list-style-type: none">· 用户速率从小区中心向边缘下降· 网间切换不能保持速率稳定	<ul style="list-style-type: none">· 灵活的站间组网和资源调度方法· 高效的多接入协同
毫秒级时延	<ul style="list-style-type: none">· 网关中心部署,传输时延百毫秒级· 实时业务切换中断时间 300 ms	<ul style="list-style-type: none">· 业务边缘部署,用户面网关下沉· 更高效的移动性管理机制
高流量大连接	<ul style="list-style-type: none">· 流量重载降低转发传输效率· 海量连接导致信令风暴和封装开销	<ul style="list-style-type: none">· 分布式流量动态调度· 控制面功能按需重构
运营能效	<ul style="list-style-type: none">· 管道化运营· 刚性硬件平台	<ul style="list-style-type: none">· 面向差异化场景快速灵活的服务· 基于“云”的基础设施平台

长期形成了重建设、轻运维的定式,简单化的运营手段难以适应 5G 物联网和垂直行业高度差异化的要求。与此同时,基于专用硬件的刚性网络设备平台资源利用率低,不具备动态扩缩容能力。这要求网络侧需要引入互联网灵活快速的服务理念和更弹性的基础设施平台。

2.2 网络逻辑功能框架

5G 网络采用基于功能平面的框架设计,将传统与网元绑定的网络功能进行抽离和重组,重新划分为 3 个功能平面:接入平面、控制平面和数据平面(如图 1 所示)。网络功能在平面内聚合程度更高,平面间解耦更充分。其中,控制平面主要负责生成信令控制、网管指令和业务编排逻辑,接入平面和数据平面主要负责执行控制命令,实现对业务流在接入网的接入与核心网内的转发。各平面的功能概述如下。

(1)接入平面

涵盖各种类型的基站和无线接入设备,通过增强的异构基站间交互机制构建综合的站间拓扑,通过站间实时的信息交互与资源共享实现更高效的协同控制,满足不同业务场景的需求。

(2)控制平面

为 5G 新空口和传统空口(LTE、Wi-Fi 等)提供统一的网络接口。控制面功能分解成细粒度的网络功能(network function,NF)组件,按照业务场景特性定制专用的网络服务,并在此基础上实现精细化网络资源管控和能力开放。

(3)数据平面

核心网网关下沉到城域网汇聚层,采取分布式部署,整合分组转发、内容缓存和业务流加速能力,在控制平面的统一调度下,完成业务数据流转发和边缘处理。

2.3 基础设施平台

5G 网络将改变传统基于专用硬件的刚性基础设施平台,引入互联网中云计算、虚拟化和软件定义网络(software defined networking, SDN)等技术理念,构建跨功能平面统一资源管理架构和多业务承载资源平面,全面解决传输服务质量、资源可扩展性、组网灵活性等基础性问题。

网络虚拟化实现对底层资源的统一“池化管理”,向上提供相互隔离的有资源保证的多租户网络环境,是网络资源管理的核心技术。引入这一技术理念,底层基础设施能为上层租户提供一个充分自控的虚拟专用网络环境,允许

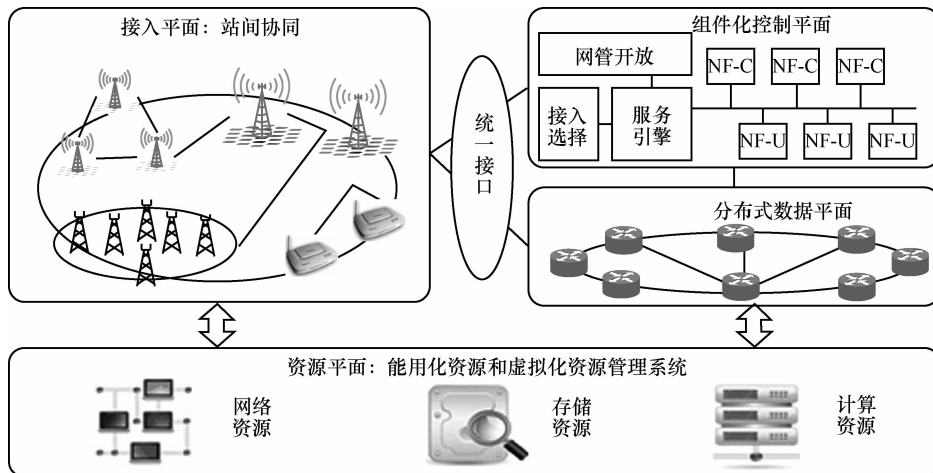


图 1 5G 网络概要级系统框架

用户自定义编址、自定义拓扑、自定义转发以及自定义协议,彻底打开基础网络能力。

引入软件定义网络的技术理念,在控制平面,通过对网络、计算和存储资源的统一软件编排和动态调配,在电信网中实现网络资源与编程能力的衔接;在数据平面,通过对网络的转发行为进行抽象,实现利用高级语言对多种转发平台进行灵活的转发协议和转发流程定制,实现面向上层应用和性能要求的资源优化配置。

3 网络架构技术方向

3.1 接入平面——异构站间协同组网

面向不同的应用场景,无线接入网由孤立管道转向支持异构基站多样(集中或分布式)的协作,灵活利用有线和无线连接实现回传,提升小区边缘协同处理效率,优化边缘用户体验速率。图2描绘了涉及的组网关键技术。

(1) C-RAN

集中式 C-RAN 组网是未来无线接入网演进的重要方向。在满足一定的前传和回传网络的条件下,可以有效提升移动性和干扰协调的能力,重点适用于热点高容量场景布网。面向 5G 的 C-RAN 部署架构中,远端无线处理单元(remote radio unit, RRU) 汇聚小范围内 RRU 信号经部分基带处理后进行前端数据传输,可支持小范围内物理层级别的协作化算法。池化的基带处理中心(BBU 池)集中部署移动性管理,多 RAT 管理,慢速干扰管理,基带用户面处理等功能,实现跨多个 RRU 间的大范围控制协调。利用 BBU/RRU 接口重构技术,可以平衡高实时性和传输网络性能要求。

(2) D-RAN

能适应多种回传条件的分布式 D-RAN 组网是 5G 接入网另一重要方向。在 D-RAN 组网架构中,每个站点都有完整的协议处理功能。站点间根据回传条件,灵活选择分布式多层次协作方式来适应性能要求。D-RAN 能对时延

及其抖动进行自适应,基站不必依赖对端站点的协作数据,也可正常工作。分布式组网适用于作为连续广域覆盖以及低时延等的场景组网。

(3) 无线 mesh 网络

作为有线组网的补充,无线 mesh 网络利用无线信道组织站间回传网络,提供接入能力的延伸。无线 mesh 网络能够聚合末端节点(基站和终端),构建高效、即插即用的基站间无线传输网络,提高基站间的协调能力和效率,降低中心化架构下数据传输与信令交互的时延,提供更加动态、灵活的回传选择,支撑高动态性要求场景,实现易部署、易维护的轻型网络。

3.2 数据平面——网关与业务下沉

如图3中(a)部分所示,通过现有网关设备内的控制功能和转发功能分离,实现网关设备的简化和下沉部署,支持“业务进管道”,提供更低的业务时延和更高的流量调度灵活性。

通过网关控制承载分离,将会话和连接控制功能从网关中抽离,简化后的网关下沉到汇聚层,专注于流量转发与业务流加速处理,更充分地利用管道资源,提升用户带宽,并逐步推进固定和移动网关功能和设备形态逐渐归一,形成面向多业务的统一承载平台。

IP 锚点下沉使移动网络具备层三组网的能力,因此应用服务器和数据库可以随着网关设备一同下沉到网络边缘,使互联网应用、云计算服务和媒体流缓存部署在高度分布的环境中,推动互联网应用与网络能力融合,更好地支持 5G 低时延和高带宽业务的要求。

3.3 控制平面——网络控制功能重构

网关转发功能下沉的同时,抽离的转发控制功能(NF-U)整合到控制平面中,并对原本与信令面网元绑定的控制功能(NF-C)进行组件化拆分,以基于服务调用的方式进行重构,实现可按业务场景构造专用架构的网络服务,满足 5G 差异化服务需求,如图3中(b)所示。控制功

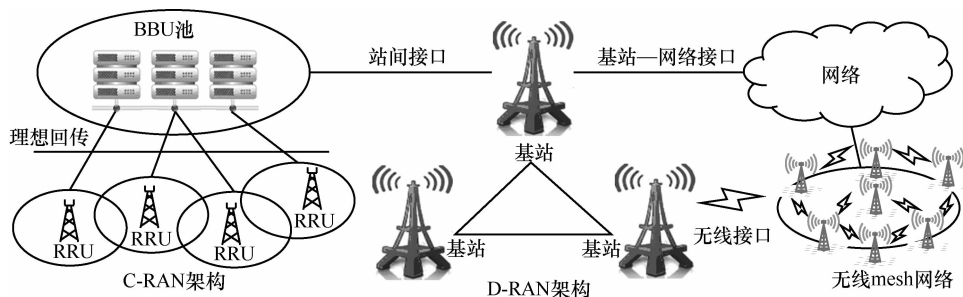


图2 异构站间组网关键技术

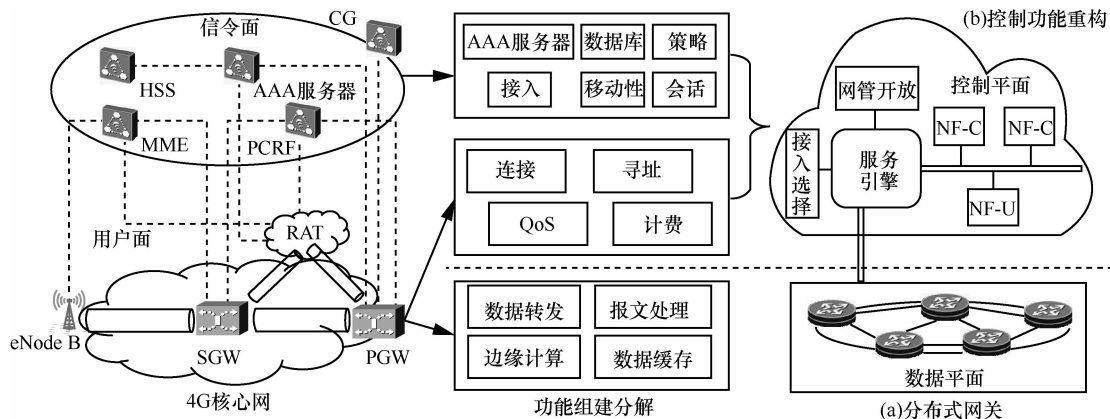


图3 核心网功能重构

能重构的关键技术主要包括以下方面。

- 控制面功能模块化:梳理控制面信令流程,形成有限数量的高度内聚的功能模块作为重构组件基础,并按应用场景标记必选和可选的组件。
- 状态与逻辑处理分离:对用户移动性、会话和签约等状态信息的存储和逻辑进行解耦,定义统一数据库功能组件,实现统一调用,提高系统的顽健性和数据完整性。
- 基于服务的组件调用:按照接入终端类型和对应的业务场景,采用服务聚合的设计思路,服务引擎选择所需的功能组件和协议(如针对物联网的低移动性功能),组合业务流程,构建场景专用的网络,服务引擎能支持局部架构更新和组件共享,并向第三方开放组网能力。

立按照业务场景的需要和话务模型进行网络功能的定制剪裁和相应网络资源的编排管理,是5G网络架构的实例化。

网络切片打通了业务场景、网络功能和基础设施平台间的适配接口。通过网络功能和协议定制,网络切片为不同业务场景提供所匹配的网络功能。例如,热点高容量场景下的C-RAN架构,物联网场景下的轻量化移动性管理和非IP承载功能等。同时,网络切片使网络资源与部署位置解耦,支持切片资源动态扩容缩容调整,提高网络服务的灵活性和资源利用率。切片的资源隔离特性增强整体网络健壮性和可靠性。

一个切片的生命周期包括创建、管理和撤销3个部分。如图4所示,运营商首先根据业务场景需求匹配网络切片模板,切片模板包含对所需的网络功能组件,组件交互接口以及所需网络资源的描述;上线时由服务引擎导入并解析模板,向资源平面申请网络资源,并在申请到的资源上实现虚拟网络功能和接口的实例化与服务编排,将切片迁移到运行态。网络切片可以实现运行态中快速功能升级和资源调整,在业务下线时及时撤销和回收资源。

4 5G 网络服务——端到端网络切片

网络切片利用虚拟化技术将通用的网络基础设施资源根据场景需求虚拟化为多个专用虚拟网络。每个切片都可独

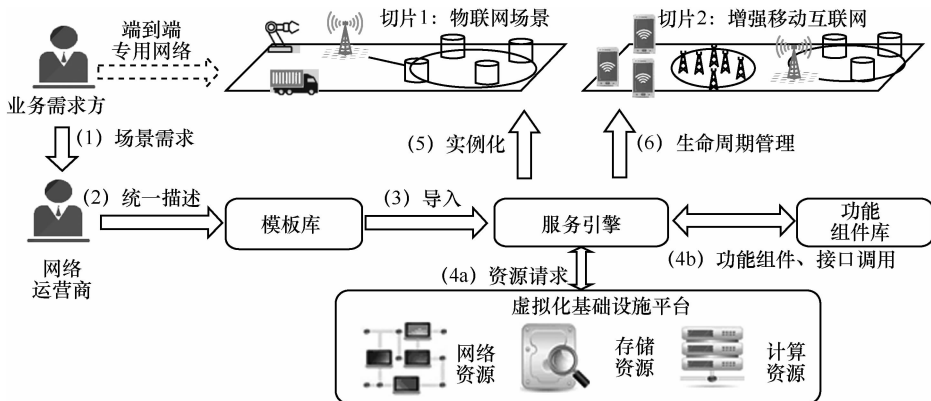


图4 网络切片创建过程

针对网络切片的研究主要在 3GPP (3rd Generation Partnership Project)和 ETSI NFV(European Telecommunications Standards Institute Network Functions Virtualization) 产业推进组进行,3GPP 重点研究网络切片对网络功能(如接入选择、移动性、连接和计费等)的影响,ETSI NFV 产业推进组则主要研究虚拟化网络资源的生命周期管理。当前,通用硬件的性能和虚拟化平台的稳定性仍是网络切片技术全面商用的瓶颈,运营商也正通过概念验证和小范围部署的方法稳步推进技术成熟。

5 5G 网络标准化进展

(1)ITU

ITU 于 2015 年启动 5G 国际标准制定的准备工作,首先开展 5G 技术性能需求和评估方法研究,明确候选技术的具体性能需求和评估指标,形成提交模板;2017 年 ITU-R 发出征集 IMT-2020 技术方案的正式通知及邀请函,并启动 5G 候选技术征集;2018 年底启动 5G 技术评估及标准化;计划在 2020 年底形成商用能力。

(2)IEEE

作为 IEEE 3G/4G 标准的制定机构,IEEE 802 标准委员会结合自身优势,积极推进下一代无线局域网标准(IEEE 802.11ax)研制,并希望将其整合至 5G 技术体系。

IEEE 通信学会也在积极探索 5G 标准化工作思路,目前计划成立信道建模、下一代前传接口、基于云的移动核心网和无线分析 4 个研究组,深入开展 5G 技术研究。

(3)3GPP

全球业界普遍认可将在 3GPP 制定统一的 5G 标准。从 2015 年初开始,3GPP 已启动 5G 相关议题讨论,初步确定了 5G 工作时间表。

3GPP 5G 研究预计将包含 3 个版本:R14、R15、R16。具体而言,R14 主要开展 5G 系统框架和关键技术研究;R15 作为第一个版本的 5G 标准,满足部分 5G 需求,例如 5G 增强移动宽带业务的标准;R16 完成全部标准化工作,于 2020 年初向 ITU 提交候选方案。3GPP 无线接入网工作组(RAN)计划在 2016 年 3 月启动 5G 技术研究工作。

3GPP 业务需求工作组(SA1)最早于 2015 年启动“Smarter”研究课题,该课题将于 2016 一季度前完成标准化,目前已形成 4 个业务场景继续后续工作,见表 2。

3GPP 系统架构工作组(SA2)于 2015 年底正式启动 5G

网络架构的研究课题“NextGen”^[12]立项书明确了 5G 架构的基本功能愿景,包括:

- 有能力处理移动流量、设备数快速增长;
- 允许核心网和接入网各自演进;
- 支持如 NFV、SDN 等技术,降低网络成本,提高运维效率、能效,灵活支持新业务。

SA2 计划在 2018 年输出第一版的 5G 网络架构标准,并于 2019 年中完成面向商用的完备规范版本。目前,SA2 正在进行 5G 网络架构需求和关键特性的梳理,筛选出第一阶段重点研究的关键功能和使能技术(见表 2)。R14 阶段后续工作将聚焦这些关键特性,开展架构设计、技术方案和标准化评估工作。

表 2 3GPP R14 5G 网络架构关键功能和使能技术

业务场景	网络功能特性	网络架构使能技术
大规模物联网	QoS	最小化接入相关性
关键通信	计费	网络场景共享
增强移动互联网	策略	控制面和用户面分离
网络运营维护	鉴权	接入网与核心网分离
	移动性框架	网络切片
	会话连续性	迁移、共存和互操作机制
	会话管理	网络功能组件粒度和交互机制

6 结束语

随着 5G 路线图的逐渐清晰,5G 网络一方面需要支撑新型空口或 LTE 空口技术的演进,另一方面也提供对端到端网络体系架构重新设计的契机。随着移动终端代替固定设备成为主流,移动性支持将成为网络的原生属性加以“端到端”考量。

新型 5G 网络架构不再仅仅作为互联网的一种接入网选项,而是以移动性为基础来推动电信网络的接入、连接能力与业务网络的计算、存储能力全面融合。5G 时代网络运营不仅要继续高质量的满足传统移动互联网应用发展要求,同时还要向新的业务领域应用渗透,快速、持续、高质量地为不同垂直行业的用户交付信息的网络服务。5G 网络发展不必拘泥于革命或演进的选择,而是由两种设计思想共同作用的合力来推动。

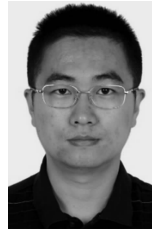
参考文献:

[1] IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond: ITU-R M.2083-0[R]. [S.l.:s.n.], 2015.



- [2] ITU-R. ITU towards “IMT for 2020 and beyond”[R]. [S.l.:s.n.], 2015.
- [3] Future technology trends of terrestrial IMT systems: report ITU-R M.2320-0[R]. [S.l.:s.n.], 2014.
- [4] OSSEIRAN A, BOCCARDI F, BRAUN V, et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(5): 26-35.
- [5] The 5G Infrastructure Public Private Partnership(5G-PPP). 5G vision: the next generation of communication networks and services[R]. [S.l.:s.n.], 2014.
- [6] NGMN Alliance. 5G white paper[R]. [S.l.:s.n.], 2015.
- [7] IMT-2020(5G)推进组. 5G 概念白皮书[R]. [S.l.:s.n.], 2015. IMT-2020(5G) Program. White paper on 5G concept[R]. [S.l.:s.n.], 2015.
- [8] 杨峰义, 张建敏, 谢伟亮, 等. 5G 蜂窝网络架构分析[J]. 电信科学, 2015, 31(5):46-56.
YANG F Y, ZHANG J M, XIE W L, et al. Analysis of 5G cellular network architecture [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5):46-56.
- [9] 王胡成, 徐晖, 程志密, 等. 5G 网络技术研究现状和发展趋势[J]. 电信科学, 2015, 31(9):149-155.
WANG H C, XU H, CHENG Z M, et al. Current research and development trend of 5G network technologies [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9):149-155.
- [10] 雷艳秋, 张治中, 程方, 等. 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 106-115.
LEI Y Q, ZHANG Z Z, CHENG F, et al. 5G Radio access network architecture based on C-RAN [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(1): 106-115.
- [11] 曲桦, 栾智荣, 赵季红, 等. 基于软件定义的以用户为中心的 5G 无线网络架构[J]. 电信科学, 2015(1).
QU Y, LUAN Z R, ZHAO J H, et al. Software defined user centric 5G wireless network framework [J]. Telecommunications Science, 2015(1).
- [12] SID S2-153703: proposal for study on a next generation system architecture, 3GPP SA2 meeting#111 [EB/OL]. [2016-01-12]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/WG2_Arch/TSGS2_111_Chengdu/Docs/S2-153703.zip.

[作者简介]



朱浩(1982-),男,中国信息通信研究院技术与标准研究所工程师,主要从事无线移动通信和网络技术领域的新技术研究和国际标准化工作,主要负责 5G 网络总体架构研究和标准化等方面的工作。



项菲(1982-),女,博士,国家计算机网络应急技术处理协调中心工程师,主要研究方向为大数据、云计算等,发表多篇技术论文。