

M-ICT 时代下的 5G 技术及创新

5G Technologies and Innovation in M-ICT Era

朱龙明/ZHU Longming
朱清华/ZHU Qinghua
姚强/YAO Qiang

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

1 5G 的概念

1.1 5G 能做什么

2014年,中兴通讯提出构建一个以移动为核心特征的面向人与人、人与物、物与物全面互联的理念,5G正是实现中兴通讯M-ICT理念的一个重要基石。5G将渗透到未来M-ICT社会的各个领域,拉近人与人、人与物、物与物之间的距离,引发巨大的信息革命。

首先,5G将以公众用户为中心构建全方位的信息处理系统,突破时空限制,为用户带来极速的上网体验和极佳的交互体验,使信息沟通彻底突破时空的羁绊。

其次,5G还将以行业用户为中心构建全方位的信息生态系统,通过互联网与物联网深度融合的方式,拉近万物的距离,促进万物互联,便捷地实现人与物、物与物之间智能互联。

最后,5G还将推动网络架构发生变革,通过支持多样化的无线接入场景,驱动终端、无线、网络、业务深度融合,从而满足端到端的业务体验需求,实现灵活的网络部署和高效的网

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 03-0052-005

摘要: 提出5G面临的3种技术发展挑战:增强型移动宽带(eMBB)、高可靠低时延通信(URLLC)、大规模机器通信(mMTC)。围绕5G的发展,中兴通讯创新性地提出统一空口(UAI)和云感知软网络(CAS)的技术理念,并围绕该理念,研发出一系列创新技术用于实现5G新型空中接口,例如滤波器组-正交频分多址(OFDMA FB-OFDMA)、多用户共享接入(MUSA)、大规模多输入多输出(MIMO)、统一帧结构(UFS)、平滑的虚拟小区(SVC)等,并基于软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术构建出新型5G网络架构。这些技术和方案进一步地促进了5G的发展。

关键词: UAI; CAS; FB-OFDMA; MUSA; 大规模 MIMO

Abstract: In this paper, three technical development challenges faced by 5G are proposed, including enhanced mobile broadband (eMBB), ultra reliable and low latency communication (URLLC), massive MTC (mMTC). ZTE Corporation proposes the technology concept: unified air interface (UAI) and cloud aware soft-network (CAS), and it also develops a series of innovative technologies for the realization of new 5G air interface, such as filter bank-orthogonal frequency division multiple access (FB-OFDMA), multi-user shared access (MUSA), massive multi input multi output (MIMO), unified frame structure (UFS), smooth virtual cell (SVC), and built a new 5G network architecture based on soft-defined network (SDN)/network function virtualization(NFV) technology. These technologies and schemes further promote the development of 5G.

Keywords: UAI; CAS; FB-OFDMA; MUSA; massive MIMO

络运营^[1-3]。

1.2 5G 带来的挑战

5G将围绕人们居住、工作、休闲、交通以及垂直行业的需求,广泛部署在密集住宅区、办公室、体育场、地铁、高速公路、高速铁路以及环境监测等场景,这些场景分别具有超高流量、超高密度、超高连接数、超高移动性、超远覆盖、超低功耗等不同特点,其面临的技术挑战可以归纳为以下几种^[2]:

(1)增强型移动宽带(eMBB)场景。该场景指面向移动通信的基本覆盖环境,能够在保证移动性和业务

连续性的前提下,无论静止还是高速移动,覆盖中心还是覆盖边缘,都可以为用户随时随地提供100 Mbit/s以上的体验速率,在室内、外局部热点区域的覆盖环境,都可以为用户提供1 Gbit/s的用户体验速率和10 Gbit/s以上的峰值速率,满足10 Tbps/km²以上的流量密度需求。

(2)高可靠低时延通信(URLLC)场景。该场景能够面向车联网、工业控制等物联网的特殊应用需求,为用户提供毫秒级的端到端时延和接近100%的业务可靠性保证。

(3)大规模机器通信(mMTC)场景。该场景指面向环境监测、智能农

收稿时间: 2016-03-20
网络出版时间: 2016-05-03

业等以传感器和数据采集为目标的应用场景,该应用场景具有小数据包、低功耗、低成本、海量连接等特点,要求支持 $10^6/\text{km}^2$ 以上的连接数密度。

以上 3 个场景是 5G 将面临的技术挑战,具体见图 1。这些挑战反映到数字上就是:100 Mbit/s ~ 1 Gbit/s 的用户体验速率和 10 Gbit/s 的峰值速率,10 Tbps/ km^2 的流量密度, $10^6/\text{km}^2$ 的连接数密度,以及毫秒级的端到端时延,这些关键性能指标如图 2 所示。

1.3 5G 的演进过程

5G 空口技术演进由 4G 演进和 5G 新空口两部分组成,基于统一空口设计下的 5G 新空口既适用于低频也适用于 5G 高频,4G 演进及 5G 空口在高低频的应用共同满足 eMBB、URLLC、mMTC 3 种场景的用户体验,

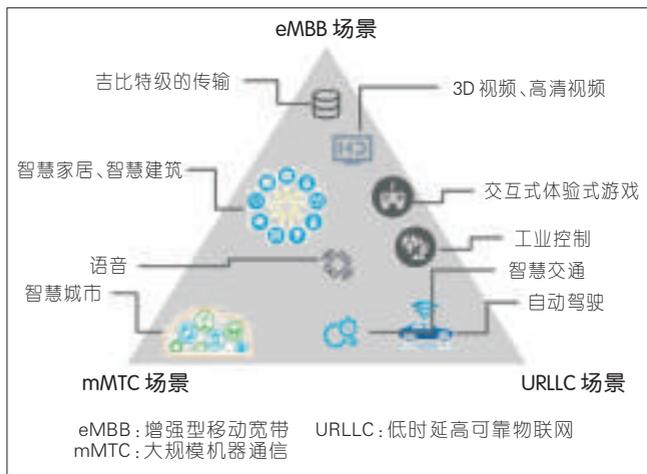


图 1 5G 面临的三个典型场景

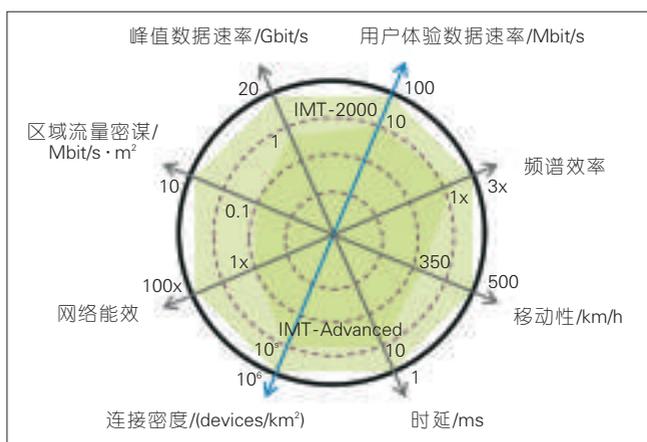


图 2 5G 关键性能指标

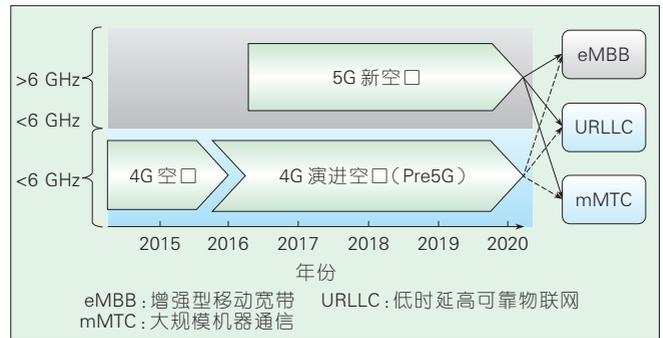


图 3 5G 空口演进路径

如图 3 所示。

长期演进(LTE)是目前在全球得以大规模部署的 4G 标准。从持续提升 4G 用户的体验及支持网络平滑演进的角度出发,5G 标准化阶段自然包括对 4G 技术的进一步增强。在保证后向兼容的前提下,4G 演进将以 LTE 技术框架为基础,在已有频段(主要是 6 GHz 以下的低频段)引入增强技术,包括部分与 5G 新空口共

用技术如大规模天线技术的引入,可以使 4G 演进系统达到 5G 的早期能力,也即 Pre5G。Pre5G 系统在速率、容量、连接数、时延等空口性能指标能达到 5G 早期水平^[4]。

5G 新空口将是 5G 演进的主要方向。新空口的设计将突破后向兼容的限制,被设计成一个全新的空口,通过挖掘各种先进技术的潜力,全面满足 5G 性能和效率指标为目标。5G 新空口需要同时适用于 6 GHz 以下的低频段和 6 GHz 以上的高频段,低频段主要满足大覆盖、高移动性场景下的用户体验和海量连接,高频段则满足热点区域极高的用户体验速率和系统容量^[5-6]。

新空口将采用全新的空口设计,引入大规模天线、新波形、新多址等先进技术,采用灵活的帧结构,精简的信令流程,灵活的双工方式,有效满足广覆盖、大连接、高速移动等场景下的体验速率、时延、连接数。新空口设计追求技术方案的统一性和可配置性,通过灵活配置参数的方式实现不同场景下的技术需求,高低频技术方案统一,通过参数的调整来适应信道的变化和射频器件的影响,在波形、调制编码、天线技术上进行适应性优化。在覆盖组网上,采用低频与高频联合使用,低频以构建有效的网络覆盖为主,并承担对用户的管理和控制功能;高频则在热点区域用户提供高数据传输。

在网络架构设计上,5G 将引入网络功能虚拟化(NFV)和软件定义网络(SDN)技术,整个网络将转变为一

种基于通用硬件的基础设施平台,并且其中的网络控制功能和转发功能彻底分离,通过网络功能模块化、组件化实现控制功能的可重构。网络运营者可以从全局的视角来调度网络资源,方便快捷地把网元功能部署在网络中的任意位置,实现网络连接的可编程。

5G 的标准化工作将在第 3 代合作伙伴项目(3GPP)内完成,如图 4 所示。2016 年开始的 Rel-14 版本周期将开启 5G 第 1 阶段工作的标准化,这一阶段的工作包括也即 5G 新空口的研究以及信道建模等工作;2018 年开始的 Rel-16 版本周期将是 5G 第 2 阶段的标准化,包括 5G 新空口在高频段的使用。随后 5G 将正式进入产业化阶段。

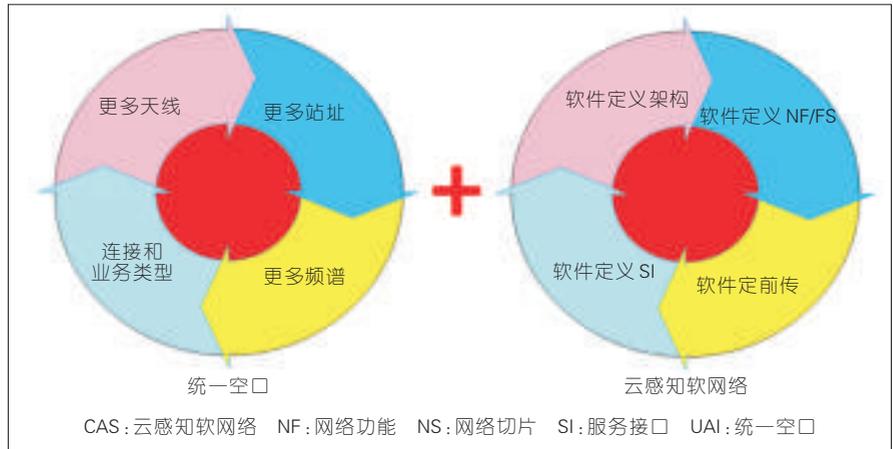
2 中兴通讯 5G 技术创新

2.1 技术理念

中兴通讯围绕 5G 的发展开展了一系列深入研究,针对 2020 年 M-ICT 社会的需求和未来无线技术及网络技术发展的需求,在总体设计理念上提出构建统一、灵活、可配置的 5G 统一空口(UAI)和基于云感知软网络(CAS)技术的网络架构,如图 5 所示。

2.2 UAI 技术创新

UAI 是针对不同场景的技术需求,通过关键技术和参数的灵活配置形成相应的优化技术方案,UAI 的目标是追求统一的波形设计、统一的帧



▲图 5 5G 技术理念

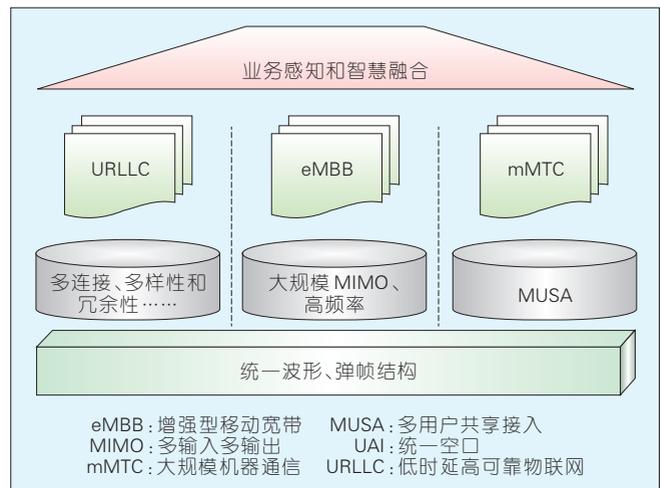


图 6 统一空口 UAI 架构

结构和统一的控制。

UAI 包含 3 层结构(如图 6 所示),底层引入抽象物理层,采用统一框架设计的波形和帧结构,灵活适配多种业务和全频段部署的要求,对不同的业务和频段完全透明;中间层可按照业务类型实现灵活的网络切片

和弹性的资源分配;顶层则引入业务感知的功能,并实现动态、智能的业务聚合。

UAI 基于统一的无线网络基础设施和灵活的软件设置满足 5G 时代多样化的行业应用,并兼容从低频段到高频段的部署需求。为实现 UAI 的统一波形、统一帧结构和统一控制的目标,中兴通讯在其基础关键技术如波形、帧结构、多址、调制编码、天线、小区虚拟化等领域提出了一系列创新方案。

(1) 滤波器组 OFDM (FB-OFDM)



▲图 4 5G 标准化工作阶段划分

技术。中兴通讯采用基于优化滤波器设计的 FB-OFDM 技术用于 5G 的新波形设计,其机理就是在 4G 的发射和接收基础上增加一组多相滤波器模块。FB-OFDM 具有极低的带外泄露,有效利用零散频段,并与其他波形技术进行共存,同时支持 eMBB、URLLC 和 mMTC 3 种场景的应用,在提升频谱使用率的基础上,有效降低终端对时域和频域同步要求。

(2) 多用户共享接入 (MUSA) 技术。面向 5G “海量连接” 和 “移动宽带” 两个典型场景的新型多址技术,中兴通讯提出 MUSA 技术作为未来 5G 多址接入技术。MUSA 上行接入通过创新设计的复数域多元码以及基于串行干扰消除 (SIC) 的先进多用户检测,让系统在相同时频资源下支持数倍用户的接入,并且可以支持真正的免调度接入,免除资源调度过程,简化同步、功控等过程,从极大简化终端的实现、降低终端的能耗,因此 MUSA 特别适合作为未来 5G 海量接入的解决方案。MUSA 下行则通过新型叠加编码技术,可提供比 4G 正交多址及功率域非正交多址 (NOMA) 更高容量的下行传输,并且能简化终端的实现,降低终端的能耗,可应用于 5G 移动宽带高容量的场景。

(3) 大规模多输入多输出 (MIMO) 技术。5G 基站天线数及端口数将有大幅度增长,中兴通讯采用可支持上百根天线和数十个天线端口的大规模天线方案,并通过大规模 MIMO 技术,来支持更多用户的空间复用传输,达到数倍提升系统频谱效率的目的。大规模 MIMO 适用于高低频段以及集中和分布方式部署,在高频段通过高增益自适应波束赋形技术以补偿高传播损耗,在低频段重点解决了频分双工 (FDD) 系统中的导频开销和反馈开销问题,时分双工 (TDD) 系统中的上行导频污染问题以及信道状态信息反馈增强的问题,并采用空口校准加终端辅助校准的

方式解决分布式天线之间存在的校准问题,大规模天线技术的应用得到了拓展。

(4) 统一帧结构 (UFS) 方案。5G 由于引入低时延高可靠业务,传输时间间隔 (TTI) 可以由 4G 的 5 ms 缩短到 1 ms,循环前缀 (CP)、参考信号、控制信令等帧结构设计中的常规参数面临着开销大幅压缩的挑战。中兴通讯针对帧结构进行了优化改进,采用参数可灵活配置的统一帧结构 UFS,一方面通过减少 TTI 长度,降低 CP 长度,增加子载波间隔,改进调度流程,降低调度时延应对低时延高可靠业务;另一方面又可以针对不同频段、场景和信道环境,选择不同的参数进行配置,如带宽、子载波间隔、循环前缀、传输时间间隔和上下行配比。同时参考信号和控制信道也可以进行灵活配置,以适应大规模天线技术和 MUSA 多址技术的应用。

(5) 平滑的虚拟小区 (SVC) 方案。为了达到 5G 系统要求的热点地区高流量,5G 需要采用超密集组网方式,半规划/无规划部署的要求,无理想回程链路。为此,中兴通讯开发出一种 SVC 方案来解决超密集组网带来的 5G 移动性、干扰、高频链路的传输质量问题。通过采用数据同步技术支撑虚拟小区内传输节点间的联合信号处理和传输节点的快速转换,通过接入链路与自回程链路进行联合资源分配等多种方式灵活动态地组建回程链路,更好地支撑半规划/无规划部署和虚拟小区内各节点的快速协作。

(6) 多种编码技术创新。中兴通讯开发出包编码、短循环冗余码校验码 (CRC) 和低密度奇偶校验码 (LDPC) 3 种调制编码技术应对 5G 多场景下的信道编码。包编码是在传统数据包的基础上添加一个包编码,即在所有纠错编码块之间添加一个异或 (奇偶校验) 包,这样操作的目的在于将所有的码块建立异或关系,有利于在接收端译码时提高整个数据

包传输可靠性;短 CRC 码是通过减小 CRC 的长度并结合码空间检错的一种方案,该方案可以降低开销并保持通信系统的数据传输性能,满足短数据实时通讯和在线通讯;LDPC 采用并行译码技术,译码速度快,特别适用于吞吐量高的系统,可以提升链路的频谱效率以支持高速率业务,满足低频新空口和低频新空口中的高速率业务。

2.3 CAS 技术创新

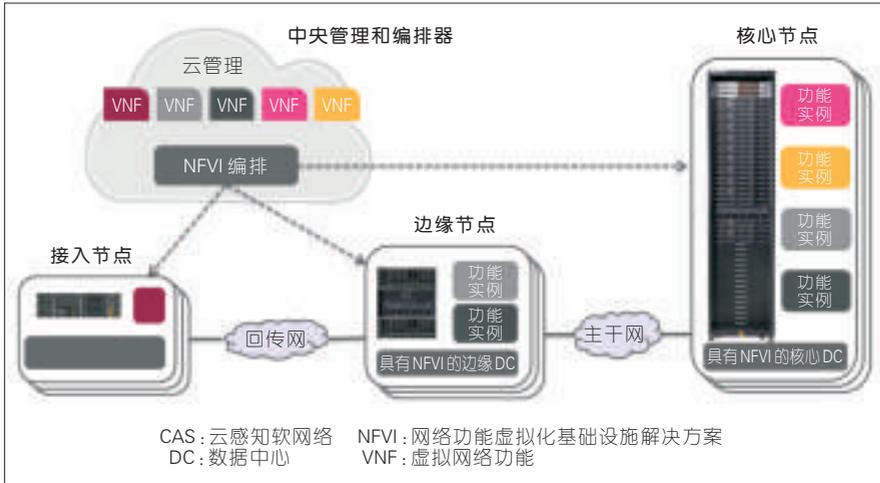
未来 5G 网络需要融合各种无线频段和制式,满足更多差异化的应用场景需求,提供多样化的网络服务能力,使得 5G 网络架构需要比现有网络更加灵活、可扩展性更好。SDN/NFV 作为网络架构创新的核心技术,将成为 5G 网络架构的基础技术;但仅有 SDN/NFV 技术仍然无法满足 5G 网络架构需求,网络还需要在架构层面上进行变革,提供功能组件化动态编排、切片化管理以及按需云部署等关键能力。

中兴通讯利用 SDN/NFV 技术,设计了基于 CAS 的网络架构,如图 7 所示。CAS 将 5G 网络各网元功能进行了重构,提供功能组件化动态编排、切片化管理以及按需云部署等关键能力。

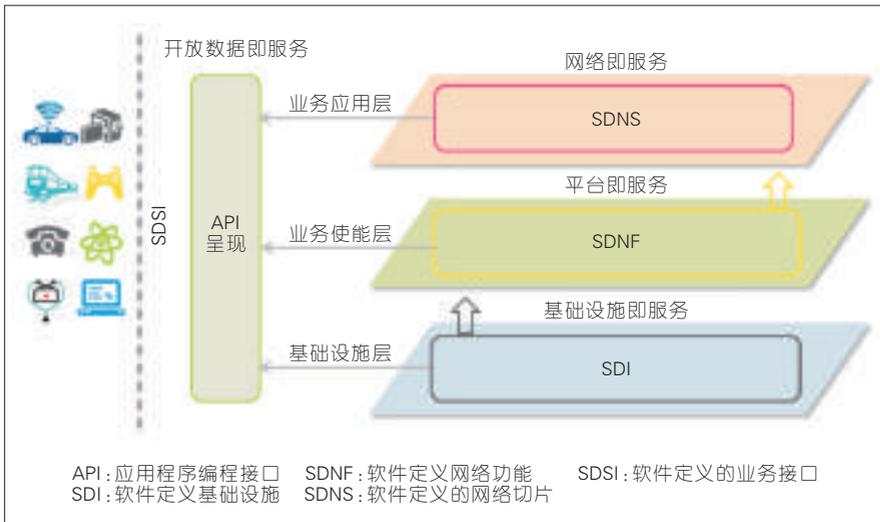
CAS 具有 3 个主要特性:开放性 (3 层通用架构)、灵活性 (软件定义组件和切片) 和可扩展性 (以 DC 为中心的组网部署) 的网络架构。

CAS 是一个开放的、有灵活性的和扩展性的平台网络,通过虚拟化实现软硬件的分离,通过组件化实现功能的灵活编排,通过云管理实现资源的统一管理和部署。

(1) 分层网络。如图 8 所示,CAS 采用开放性的分层网络架构,从底到上分别是:基础设施层、业务使能层、业务应用层。分别提供基础设施即服务 (IaaS)、平台即服务 (PaaS)、网络即服务 (NaaS) 以及开放数据即服务 (DaaS)。分层网络提供的层间解



▲ 图 7 基于云感知的软网络 CAS 架构



▲ 图 8 CAS 的分层网络架构

耦合以及可替换性带来了更加开放的可能。

(2) 软件定义的网络。软件定义的特征使得 5G 网络具有灵活性: 基础设施层提供物理设备虚拟化(即图 8 中的软件定义基础设施(SDI)), 业务使能层提供各种虚拟网络功能(VNF)(即软件定义网络功能(SDNF)), 业务应用层编排各个 VNF, 并提供软件定义的网络切片(SDNS)。各层通过适配可提供开放式服务接口(即软件定义的业务接口(SDSI)), 使得各种软件定义的组件和编排可全局调度资源, 部署网络功能, 给网络带来了灵活性。

(3) 硬件 IT 化。以数据中心为中心的组网, 使网络具备可扩展性。接入数据中心(DC)除基带功能之外, Intel inside 支持 Open Stack, 可部署新业务; 边缘数据中心是业界第一个采用 Intel 机柜式架构(RSA)的基带池, 可部署移动宽带(MBB)、移动边缘计算(MEC)等网络功能; 核心网数据中心则是高集成度的 Intel RSA 的电信级优化的数据中心。

目前为止, 中兴通讯已投入 2 亿元用于 5G 领域的研究和开发, 在未来 3 年当中, 还将陆续投入 3 亿元用于 5G 研发。中兴通讯分布在全球十几个研究所超过 2 000 余位专家同步

从事 5G 研发。

3 结束语

5G 的发展过程也是一个技术创新的过程, 中兴通讯创新地提出的 UAI+CAS 的架构理念, 形成了以 FB-OFDMA、MUSA、UFS 等一批新技术并应用在 5G 系统中, 从而推动 5G 的全面发展。

参考文献

- [1] 中兴通讯. 5G 技术白皮书[R/OL]. [2016-04-22]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/424379>
- [2] IMT-2020(5G)推进组. 5G 愿景与需求白皮书[R/OL]. [2016-04-22]. <http://www.imt-2020.org.cn>
- [3] 向际鹰. 从 4G 到 5G 的演进[EB/OL]. [2016-04-22]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/434877>
- [4] 徐俊. 5G 链路增强技术进展[EB/OL]. [2016-04-25]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/434874>
- [5] 中兴通讯. 大规模多天线技术现状研究热点[R/OL]. [2016-04-22]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/434874>
- [6] 中兴通讯. 空口降低时延关键技术[R/OL]. [2016-04-22]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/434872>

作者简介



朱龙明, 中兴通讯股份有限公司标准总工; 负责标准预研规划等工作, 同时参与新一代移动通信网国家科技重大专项总体推进工作。



朱清华, 中兴通讯股份有限公司 5G 产品总工; 负责 5G 新技术、新产品的规划推进工作。



姚强, 中兴通讯股份有限公司产品规划总工; 负责 5G 网络架构设计与规划。