

面向服务的5G网络架构—传承与创新

王海涛¹, 宋丽华², 王雪梅¹, 古孝红¹

(1. 南京审计大学金审学院, 江苏南京 210023;

2. 陆军工程大学指挥控制工程学院, 江苏南京 210007)

摘要:在4G网络仍大行其道的当下5G网络的大幕已正式拉开,2019年6月工信部正式颁发5G商用牌照,标志着中国正式进入5G元年。人们憧憬的5G网络不仅仅是一种高速、无所不在的移动网络,更是一种能满足多样化业务需求和全面提升服务体验质量(QoE)的无线网络。针对5G网络的服务特点和应用需求,重点探讨了面向服务的5G网络架构的技术特点和实现方式。首先,简要回顾了5G的发展沿革历程和目标任务使命。然后,从基本概念、组网模式、应用类型、关键技术和实现手段等多个方面阐述了5G的核心网络架构——网络切片架构。接下来,对5G空中接口架构的发展和演变进行了剖析,并给出了一种可能的面向服务的5G空中接口架构。最后,对全文进行了小结并展望了未来发展趋势。

关键词:5G;网络架构;网络切片;网络功能虚拟化;软件定义网络

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)11-0089-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.11.017

Service-oriented 5G Network Architecture—Inheritance and Innovation

WANG Hai-*tao*¹, SONG Li-*hua*², WANG Xue-*mei*¹, GU Xiao-*hong*¹

(1. Nanjing Audit University Jinshen College, Nanjing 210023, China;

2. School of Command Control Engineering, PLA AEU, Nanjing 210007, China)

Abstract: The curtains of 5G network has slowly opened up at the present time when 4G network is popular. With the issuance of 5G business license, China has officially entered the first year of 5G business since June 2019. The expected 5G network is not only a high-speed ubiquitous mobile network, but also a wireless network that can meet the diverse service needs and improve quality of experience (QoE). According to the service characteristics and application requirements of 5G, we focus on the technical characteristics and implementation of service-oriented 5G network architecture. Firstly, the development histories and missions of 5G are briefly reviewed. Then, from the basic concepts, networking modes, application types, key technologies and implementation means, the core network architecture of 5G, network slicing architecture, is elaborated. Next, the development and evolution of 5G air interface architecture are analyzed and a possible service-oriented 5G air interface architecture is given. Finally, a summary of the whole paper is given and its future is prospected.

Key words: 5G; network architecture; network slicing; network function virtualization; software defined network

0 引言

移动网络从早期仅提供语音通信的1G网络,历经了仅支持简单数据业务的2G和支持低速率多媒体业务的3G网络,一直发展到今天能提供宽带流媒体服务的4G网络,网络功能从单一化服务向多样化综合化业务扩展,网络结构也随着不断演进^[1]。2015年ITU-R WP5D工作组正式将第五代移动通信(5G)命名为IMT-Advanced,并描绘了5G的发展愿景和具体规划,标志着5G通信时代在全球的正式启动,极大推动了全球5G移动通信技术的发展势头^[2]。目前,5G

网络技术已经趋于成熟并即将投入规模化实际应用,5G网络不仅是一种高速的移动网络,更是一种需要满足多样化业务需求的无线网络,是提供泛在网络服务的重要基石。研究和构建适合5G业务模式开展和发展演化的网络架构是确保5G网络长期充满竞争力的关键要素之一。

早期的1G和2G时代,移动网络以话音业务为主,网络架构主要基于电路交换模式。到了3G时代,情况发生了巨变,数据业务开始展露锋芒并逐渐超过语音业务,成为推动移动网络发展的巨大驱动力,并开

收稿日期:2020-01-06

修回日期:2020-05-07

基金项目:国家自然科学基金(61871400)

作者简介:王海涛(1976-),男,博士,CCF高级会员(E202101064S),副教授,研究方向为网络体系结构、无线自组网、大数据和人工智能。

始试图提供多种具有不同特性的差异化业务,网络架构日益复杂,开始由电路交换模式(CS)过渡到电路模式和分组模式(PS)并存的模式^[3]。3G 在很长一段时间内可以满足人们基本的数据业务需求,但是其复杂的网络架构造成网络建设成本高、网络运营效率低和业务实现技术复杂,阻碍了移动通信网络的升级发展。在这种背景下,具有简单扁平化网络架构的 4G 网络应运而生,4G-LTE 网络结构简单,抛弃了电路交换模式,转而演变为一种单一的分组交换网络架构(EPC),并能够基于相对独立的虚拟承载通道(bearer)方便地提供区分不同服务等级的多样化通信业务,包括对带宽、时延和稳定性等业务性能的要求^[4]。

从 1G 到 4G,移动网络主要的服务对象是人,满足人与人之间不断增长的通信需求,而 5G 不再局限于满足人与人之间的通信,更要服务于全球万物互联^[5]。不同于 4G 单纯强调峰值传输速率,5G 需要综合考虑多个技术指标,包括峰值速率、用户体验度、频谱效率、移动性、时延、连接密度、网络能量效率和流量密度^[6]。作为 4G 的革命性演变,5G 网络必须支持多样化的业务类型,包括高带宽、低延迟和海量设备间通信等,需要崭新的网络架构和空中接口协议。

1 5G 网络切片架构

1.1 基本概念和应用模式

目前,随着泛在网络时代的到来,互联网+应用如火如荼,对移动网络的数据传输速率和多样化业务提供提出了更高的要求。4G 移动网络采用三层网络架构,自顶向下依次是应用服务层、中间环境层和物理网络层^[7]。其中,应用服务层主要提供语音、数据和多媒体应用服务,中间环境层主要负责 QoS 映射、地址变换和完全性管理,物理网络层提供接入和路由选择功能。上述三层之间采用开放标准化的,可以很方便地扩展网络和引入的新服务。但是,4G 网络在构建之初是针对单一服务模式设计的集中式架构,这就导致 EPC 架构下物理组件之间的功能划分紧耦合,功能的

耦合也带来部署的难度,同时功能的实现严重依赖于物理硬件,很多功能的实现必须建立在昂贵的专有设备基础之上。用户平面和控制平面严重耦合,从而限制了 EPC 的开放性和灵活性。另一方面,在这种架构下,很多网络元素必须运行于配备专用硬件的多个刀片式服务器上,这对于运营商来说是极大的开销。

网络切片(network slicing)是 5G 网络新引入的一项值得期待的功能架构,也是 5G 网络最鲜明的特征之一^[8]。网络切片作为实现 5G 网络业务多样化的一项重要技术,可以将单个物理网络划分为多个相对独立的逻辑网络(这也是网络切片名称的由来),进而实现满足不同业务需求的虚实一体化网络(如移动社交网络、车联网和物联网等),对于未来 5G 网络的多类型业务的管理和运营都很有必要。此外,基于网络切片的网络功能虚拟化和软件定义网络理念,可以方便地集成更多虚拟运营商和加入更多垂直行业,便于将 5G 网络的数据处理和运营管理变得更为软件化,这也是未来移动网络发展的一大趋势。

与之前的 3G 和 4G-LTE 网络相比,网络切片赋予 5G 网络完全不同的网络组织、部署和运营模式。其实,网络切片并不是 5G 网络提出的新概念,其理念源自分层体系架构原理和覆盖网络思想,同时融入了软件定义网络(software defined network, SDN)和网络功能虚拟化(network function virtualization, NFV)^[9]。5G 中的网络切片其实就是一种分类网络管理,其本质是将实际的物理网络在逻辑上切分成多个履行不同网络/业务功能的虚拟网络,提供满足不同用户业务需求的网络服务性能,如时延高低、带宽大小、可靠性强弱等,从而应对复杂多样的应用场景,特别是三大 5G 典型应用场景,即增强型移动宽带(EMBB)、海量机器间通信(MMTC)、超高可靠低延迟通信(URLLC)业务^[10],如表 1 所示。网络切片架构中每个切分的虚拟网络在逻辑上是功能特点相对独立的网络,每个虚拟网络针对不同的业务需求和应用服务,任何虚拟网络发生故障都不会影响到其他虚拟网络。

表 1 5G 网络的三类典型应用

应用分类	典型应用场景	网络需求
增强型移动宽带	超高清视频、全息成像、增强现实、虚拟现实	广域覆盖和热点覆盖 大容量数据传输和存储
海量感知应用	智慧交通、智慧农业、智慧城市、智慧家居	大规模高密度部署 海量低功耗连接
任务关键性应用	无人驾驶、自动工厂、智能电网、作战指挥	高可靠、高安全、低时延

如同任何新兴技术一样,网络切片的驱动力也来自于技术和市场两方面。从技术方面来说,网络切片架构有助于降低网络建设部署成本和提高网络运营效

率。从市场来说,5G 时代主要为万物互联而生,海量的各种功能的设备接入网络并且这些设备分属不同的行业领域(包括工业互联网、智能交通、新型智慧城市

等),它们对网络的覆盖度、可靠性、吞吐量、移动性、安全性、时延乃至计费的要求各不相同。因此,5G 网络架构必须足够灵活,能方便地支持多功能性业务。网络切片恰好满足了这种网络服务需求,为不同的应用需求提供相对独立的逻辑网络切片,已成为包括中国移动、日本 NTT、韩国 KT 以及德国爱立信等国内外主流移动设备运营商公认的最佳网络构架。

1.2 网络切片实现方式

软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)是实现网络切面的两大关键技术。软件定义网络就是将网络中的专用设备的软硬件功能以可用资源的形式转移到标准化的虚拟主机(virtual machines, VMs)上。这些虚拟主机通常是商用成熟的标准服务器、存储设备和网络设备,它们成本相对低廉且安装简便,可以取代网络中专用的网元设备^[11]。NFV 技术是一种将网络功能整合到行业标准的服务器、交换机和存储硬件上,并且提供优化的虚拟化数据平面,从而使网络的演进可以摆脱对专用硬件的依赖。SDN 是将网络的控制功能与转发功能解耦,并将控制面集中实现的新型可编程的网络架构,可以灵活对移动网络的数据传输和交换进行操控^[12]。对于实施网络功能虚拟化的传统移动网络,其无线接入网可视为边缘云(edge cloud),核心网部分则可看作核心云(core cloud),并且通过 SDN 控制器灵活互联和整合边缘云和核心云的功能组件。SDN 通过有效分离用户平面和控制平面,可以更加灵活方便地部署用户平面及附属功能,如将用户平面功能部署在距离用户更近的边缘云,显著提升了用户服务体验。NFV 克服了 EPC 中硬件与软件紧耦合带来的诸多问题,从而使运营商可以在通用低廉的网络计算、交换和存储设备上部署网络功能,大大节省了网络构建时间和投入成本。

不难看出,通过采用 NFV 和 SDN,可以较为容易地将物理网络“切分”成面向不同服务的多个虚拟子网。例如,为了支持增强移动宽带业务,可以进一步虚拟化传统 4G 移动网络中的数字单元(DU)和部分核心网功能,配备合适的存储服务器,统一部署到边缘云,从而提供低时延的高清视频服务。为了支持海量感知应用,考虑到物联网应用中绝大部分传感器是固定部署的,只需要在网络核心云中部署足够的存储、计算和处理资源,并且平衡边缘云的处理负载。为了支持任务关键性业务,考虑到降低端到端时延和提高系统可靠性,可以将大部分核心网功能和相关服务器迁移至边缘云,即采用所谓的移动边缘计算(MEC)。MEC 有助于降低数据传输时延,减轻云端压力,提高数据处理时效性。此外,对于海量的信息机器间通信场景,可以通过边缘云进行数据初步过滤处理后再上

传到云端,从而减少传输开销和提高处理效率,进而显著提升用户服务体验。除了上述 3 类典型应用模式,网络切片允许运营商可以灵活地根据应用场景定制自己的虚拟网络。

网络切片的实现模式并不复杂,对于不同类型的业务流量,只需要在网络接入侧和核心网进行合理的功能划分和不同的处理即可。在 4G 网络中,对于不同服务要求的业务流量需要不同的承载网络和不同的网络配置/调度策略,并根据应用信息流进行相应等级的服务区分处理^[13]。与此不同,5G 中的网络切片虽然将物理网络切分成多个虚拟逻辑网络,每个网络切片(slice)都有唯一的虚拟网络标识,但网络对外仍是一个整体,只是所有物理网络资源根据应用需求在不同的逻辑网络上进行相应的配置和部署,并且需要通过网络接入侧和核心侧的联合处理,以达到对不同业务流的差异化处理(资源分配/调度)。每一个网络切片对应的服务类型由服务级别协定(service level agreement, SLA)定义,同一核心网可以支持多个网络切片,多个网络切片之间的无线资源管理(RRM)则由各个厂商自行实现。RRM 涉及到 QOS 管理机制,会话管理机制,可以选择共享动态资源 RRM,也可以选择独立固定资源 RRM,甚至可以做硬件上的隔离来实现网络切片。

2 5G 空中接口架构

2.1 演化历程

从 1G 到 2G,是通信模式从模拟到数字方式的飞跃,从 2G 到 3G 再到 4G,既是交换方式从电路交换到分组交换的逐步演变,也是多址接入方式从 TDMA 到 CDMA 再到 OFDMA 的更迭过程。但是从 4G 到 5G 的演变,在交换方式和多址接入方式上都没有本质变化,只是在空口的具体实现上更加精细、灵活和可定制。4G 网络通常称为演进分组系统(evolved packet system, EPS),并将其空中接口(简称空口)命名为 long-term evolution(LTE),5G 网络也称为 5G System(5GS),其空口亦称新空口(new radio, NR)^[14]。

5G 空口是在 4G 基础上优化而来的,整体网络结构仍沿用 4G 的“扁平化”结构。即基站之间彼此相连接构成网状结构,每个基站又单独与核心网直接相连,构成一个星形网络结构。沿用这种网络架构的一个重要原因是便于从 4G 网络首先过渡到 4G~5G 混合网络,再逐步平滑过渡到独立组网的 5G 结构。所谓非独立组网是指 5G 网络要与 4G 网络共存共生,考虑到巨大的投资和运营成本,这种组网方式在今后相当长的一段时间内是一种主流形式。随着 5G 技术的成熟和部署成本的降低,今后将会采用 5G 独立组网方式,从而

更好地实现5G网络服务于多样化业务类型的设计目标。在非独立组网架构中,5G网络实际上跟4G网络本质上并没有太大区别,其网元与4G网络中的网元基本上保持对应的关系,如表2所示。

表2 5G和4G中网元之间的对应关系

4G网元	5G网元	功能描述
UE	UE	用户终端
eNB	Gnb	无线基站
MME	AMF	接入和移动性管理
	SMF	会话管理
SGW	PGW-U	用户面网关
PGW	PGW-C	控制面网关

2.2 面向服务的空口架构

从协议栈结构来看,5G和4G的协议栈也没有太大变化。首先,两者都采用用户面和控制面分离的结构,并且在控制面结构上完全相同。在用户面结构上,5G协议栈仅是新增了一层SDAP协议,以便更好地

分不同服务等级的业务流。因此,从某种程度而言,5G网络空口架构比4G网络略显复杂。实际上,4G网络结构的简单化并不代表网络功能的简单化。实际上单一化的网络结构中每个网元需要实现之前多个网元才能实现的功能,比如eNodeB需要实现2/3G中基站、BSC、MSC等等的全部或部分功能^[15]。但是,简化的4G网络并不能很好地支持多种类型的不同需求的业务。为此,5G必须在传承4G网络扁平化结构的基础上通过采用NFV和SDN等先进技术来实现网络自身的灵活配置和组合,尽量在保持网络简单化的同时满足多样化的业务需求。5G空口不再单纯追求简单的扁平化网络架构,而采用面向服务的网络架构,即服务化结构(service-based architecture, SBA)。

5G空口架构应尽可能减少网络实体,取消了服务网关和PDN网关的概念,而将其抽象成为控制平面网关和用户平面网关,并且提议控制平面网关和用户平面网关以软件的形式运行于运营商的云系统中,而非使用专用的硬件设备,如图1所示。

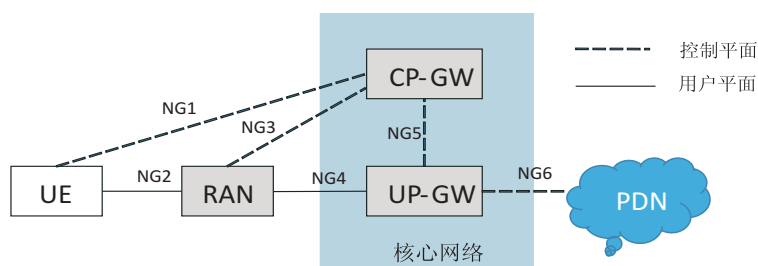


图1 一种可能的5G空口网络架构

作为一种变革化的网络架构,5G服务化网络架构与传统4G扁平化架构的不同之处是:网络控制平面抛弃传统点对点通信方式,而选用统一的服务化网络架构和接口;分离控制面与传输面;解耦移动性管理与会话管理;网络接入方式对核心网透明,并且各接入方式统一接受上层管理,例如,非3gpp也可通过统一的N2/N3接口接入5G核心网^[16]。具体而言,5G核心网服务化架构具有以下典型特征:

(1) 灵活组合的网络功能服务。

5G网络架构将网元称之为网络功能(network function, NF)。5G服务架构又将一个网络功能细分成若干自包含、自管理、可重用的网络功能服务单元(NF service)。类似于Web微服务架构,网络功能服务单元具备独立升级的能力并具有很好的弹性,能通过标准接口与其他网络功能服务互通,并可根据不同应用需求进行功能的动态编排和自动化部署,从而实现灵活可定制的网络构建、部署和运营。

(2) 自动管理的网络功能服务。

网络功能细分为多个相对独立的网络功能服务后,可以以自动化方式实现网络的管理和维护,例如,

可以自动注册、更新或注销网络功能服务;能够自动发现和主动选择适宜的网络功能服务;可以自动检测网络功能服务的状态;能够主动认证和授权网络功能服务。

(3) 网络功能服务间的交互解耦。

传统4G中,核心网网元之间采用一种基于请求和响应的点对点通信模式。而5G核心网服务化架构下网络功能服务间的通信进一步解耦为发布-订阅模式,服务提供者发布相关服务能力,而消费者订阅需要的服务能力,从而实现高效的服务发现和提供能力。

3 结束语

2019年6月6日中国工信部打破常规,跳过5G临时牌照,直接向中国移动、中国电信、中国联通、中国广电颁发5G商用牌照,代表着“5G商用元年”的正式到来,这也是引发全球瞩目的重要移动通信历史事件——中国5G时代正式开启。该文从网络架构的角度阐述了5G网络的发展和变革,重点介绍了5G网络切片架构和空中接口架构,并对5G的两大关键技术(NFV和SDN)进行了简要说明。

继4G之后,5G网络将成为泛在网络化社会的重要基础设施。随着技术的成熟和政策的落地,5G将在市场得到规模化应用。5G是一种革命性技术,更是一种赋能,带来了超越光纤的传输能力、超越工业总线的实时能力、全空间的连接能力以及打通海量数据的能力。5G将和云计算、大数据、人工智能等技术紧密融合,构成新一代泛在移动智能信息网络,迎来信息化的黄金时代。可以预见,今后以5G为代表的新一代通信网络将更好地服务于人类社会的发展和进步。但是,5G也将要面对新的安全挑战,并要考虑电磁辐射对自然和人类的影响。

参考文献:

- [1] 刘毅,刘红梅,张阳.深入浅出5G移动通信[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [2] FOUKAS X, PATOUNAS G, ELMOKASHFI A, et al. Network slicing in 5G: survey and challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(5): 94-100.
- [3] AKYILDIZ I F, WANG P, LIN S. SoftAir: a software defined networking architecture for 5G wireless systems[J]. Computer Networks, 2016, 85(C): 1-18.
- [4] 任驰.4G与5G融合组网及互操作技术研究[J].移动通信, 2018, 42(1): 87-90.
- [5] ROST P, BANCHS A, BERBERANA I, et al. Mobile network architecture evolution toward 5G[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(5): 84-91.
- [6] 路遥,许碧洲,孙道禹.浅析面向未来5G移动通信核心网络参数及发展趋势[J].通讯世界, 2017(18): 52-53.
- [7] 3GPP TR 38.913. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies[R]. Euro:3GPP, 2016.
- [8] 王睿,张克落.5G网络切片综述[J].南京邮电大学学报:自然科学版, 2018, 38(5): 19-27.
- [9] ZHOU X, LI R, CHEN T, et al. Network slicing as a service: enabling enterprises' own software-defined cellular networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(7): 146-153.
- [10] 沈旗旗.探究5G网络新技术及核心网架构[J].数字通信世界, 2018(11): 49.
- [11] BALDEMAIR R, DAHLMAN E, FODOR G, et al. Evolving wireless communications: addressing the challenges and expectations of the future[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2013, 8(1): 24-30.
- [12] 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.
- [13] 张传福,赵立英,张宇.5G移动通信系统及关键技术[M].北京:电子工业出版社, 2018.
- [14] MARSCH P, SILVA I D, BULAKCI Ö, et al. 5G radio access network architecture: design guidelines and key considerations[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 15(11): 24-32.
- [15] 赵远,肖子玉,韩研,等.5G融合用户数据架构演进方案[J].电信科学, 2019, 35(6): 124-131.
- [16] 王芮.5G网络结构设计与标准化进展[J].通讯世界, 2019, 26(4): 91-92.