



专题：5G

5G 边缘计算和网络切片技术

项弘禹¹, 肖扬文², 张贤¹, 朴竹颖¹, 彭木根¹

(1. 北京邮电大学, 北京 100876; 2. 国家质量监督检验检疫总局信息中心, 北京 100088)

摘要: 由于能够以低成本提供 5G 无线网络中多样化的业务场景, 网络切片和边缘计算一直以来深受学术界和工业界的提倡。网络切片通过将网络实体划分成多个逻辑独立网络, 为不同业务场景提供所需服务, 而边缘计算利用网络中用户和边缘网络设备的计算和存储功能, 承载部分核心节点中的控制、管理、业务功能, 能够提升传统移动宽带业务能力和应对新兴的机器类业务。将网络切片和边缘计算融合, 提出了基于边缘计算的接入网络切片, 能够满足 5G 中广泛的用例和商业模型, 使得运营商能够根据第三方需求和网络状况以低成本为用户灵活提供个性化的网络服务。

关键词: 5G; 边缘计算; 网络切片

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017200

Edge computing and network slicing technology in 5G

XIANG Hongyu¹, XIAO Yangwen², ZHANG Xian¹, PIAO Zhuying¹, PENG Mugen¹

1. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

2. Information of General Administration of Quality Supervision
Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Beijing 100088, China

Abstract: As a cost-efficient way to meet the wide range of use cases that the fifth generation wireless network will provide, network slicing and edge computing have been advocated by both academia and industry. In the concept of network slicing, the network entities are sliced into several logical networks to provide the requested services for different use cases. The edge computing pushes the frontier of computing applications, data, and services away from centralized nodes to the logical extremes of a network and even the user equipments, which can improve the traditional mobile broadband service capability, and handle with the emerging machine type service. The edge computing based radio access network slicing was proposed as a combination of edge computing and network slicing. The radio access network slicing can meet the diverse use cases and business models in 5G, and enable operators to flexibly provide personalized network services based on third-party need and network situation in a cost-efficient way.

Key words: 5G, edge computing, network slicing

1 引言

随着 4G 网络的标准化和不断成熟, 5G 移动

通信系统的研究在国内外已经展开。为了应对终端接入数目、种类和业务量的爆炸式增长, 未来 5G 网络应当能够同时支持多样化的使用场景, 满

足差异化服务对网络吞吐量、时延、连接数目和可靠性等性能指标的不同需求。根据 ITU 对未来 5G 网络的研究规划^[1], 5G 网络需要承载对带宽要求较高的如虚拟现实、超高清视频等服务内容, 同时能够提供对连接数量和时延要求较高的如车联网、工业制造等物联网场景的业务体验。然而, 当前网络的构建和部署起初是为了满足传统移动通信用户和业务的需求, 对于物联网等新业务特性不能很好地兼容。据 IDC (Internet Data Center) 数据统计, 到 2020 年将有超过 500 亿的终端与设备联网, 机器类通信将在未来网络中成为移动通信行业的主流。特别在大规模机器类通信网络中, 设备终端所需要传输的数据很小, 大多数时候处于休眠状态以节省功耗, 同时设备安装位置固定, 且总数巨大, 这对于传统的蜂窝网络通信模式提出了巨大挑战。除此之外, 基站的利用率低下、难以扩展且耗资过高等问题都限制了蜂窝技术的发展。因此, 如何在低成本的高效途径下, 满足移动互联网和物联网中多样化的服务需求是通信领域目前研究的重点, 而边缘计算和网络切片技术可以很好地解决这个问题。

网络切片和边缘计算是 5G 网络中的关键技术。网络切片^[2]通过网络虚拟化技术, 将网络中的各类物理资源抽象成虚拟资源, 并基于指定的网络功能和特定的接入网技术, 按需构建端到端的逻辑网络, 提供一种或多种网络服务。通过对网络进行定制化裁剪以及实现灵活的网元组网, 网络切片能够提供最优化的网络资源分配方案。网络切片运行时, 能够根据业务和用户的动态需求, 进行资源的按需调整, 提升网络的灵活性。不同切片间的隔离和区分, 能够在保证当前业务质量的前提下, 增强整体网络的安全性和顽健性。网络切片可分为核心网中的网络切片和接入网中的网络切片, 核心网中的网络切片与虚拟化技术息息相关。NFV (network function virtualization, 网络功能虚拟化) 与 SDN (software defined net-

working, 软件定义网络) 作为实现核心网中的网络切片的主要技术支撑, 受到了广泛的关注和研究。

相较于核心网的网络切片, 接入网中的网络切片实现更具有挑战性。除了用于不同的商业模式之外, 针对业务的指标需求不同, 网络切片和接入网络还需同时提供低时延、大连接、高可靠等性能指标, 并保证网络切片之间的隔离。与此同时, 边缘计算^[3]由于部署在靠近物或数据源头的网络边缘侧, 具有融合的网络、计算、存储和应用核心能力。利用边缘计算提供的计算能力和服务, 能够满足低时延、海量连接业务需求和数据的聚合优化需求等, 缓解核心网和回程链路的负载压力。因此, 边缘计算和网络切片的结合变得尤为有意义。

2 网络切片和边缘计算技术简介

2.1 网络切片

网络切片对现有物理网络进行切分, 形成多个彼此独立的逻辑网络, 为差异化业务提供定制化服务。根据不同业务的 QoS (quality of service, 服务质量) 需求, 网络切片被分配相应的网络功能和网络资源, 实现 5G 架构的实例化。

作为网络切片的使能技术之一, SDN 技术帮助实现网络的控制/数据平面分离, 并在两者之间定义开放接口, 实现对网络切片中的网络功能的灵活定义。为满足该种业务的需求, 网络切片只包含支持特定业务的网络功能。例如, 为了满足增强现实对低时延性能的需求, 网络切片在设计时, 在网络边缘安排缓存和数据处理功能, 提升本地数据处理能力, 减少数据传输时延。对于其余非必要的网络功能, 切片应予以舍弃, 降低网络功能的冗余。例如, 大连接物联网场景中, 由于联网设备的位置固定, 网络切片省略控制面的移动管理控制功能。

除 SDN 技术以外, 网络切片借助 NFV 技术实现软硬件解耦, 将物理资源抽象成虚拟资源。



网络切片使用的虚拟资源分为两类，一类是仅特定切片使用的专属资源，另一类是多个切片都可以使用的共享资源。在网络切片的实例化过程中，网络中相关网元（如网络切片选择功能（network slice selection function）^[4]）首先为业务适配切片，再根据其业务需求和当前的网络资源情况为其配置专属资源，在不影响其他切片性能的前提下，为其配置共享资源。利用分配到的资源，实现网络切片中虚拟网络功能和接口的实例化与服务编排，完成切片创建。网络切片通过 SDN/NFV 完成部署，提供了多样化和个性化的网络服务。其中，切片间的隔离保证了网络间的安全性，而资源的按需分配和再分配过程实现了网络资源利用最优化，提高了切片间资源的共享和利用率^[5]。

各家电信标准组织关于网络切片的定义和研究重点不尽相同。NGMN 对网络切片的定义及用途出发，将网络切片分解成网络功能和特殊无线接入技术的组合。3GPP 的研究重点在于核心网网络切片的实现以及网络切片对网络功能的影响。进一步地，已有部分设备厂商将网络切片投入实验中。2016 年 2 月，华为联合德国电信演示了 5G 端到端网络切片技术。2016 年 10 月，爱立信在其上海办公室 5G Core Lab 完成了网络切片测试。

但是，距离网络切片的成熟商用仍存在许多挑战与工作，首先，目前核心网的网络切片工作中，都是基于统一的接入网架构假设，要求接入网络能够同时提供不同应用所需求的性能和 QoS，然而，当前的无线接入网络架构中，为支撑不同的 5G 应用（例如物联网或者车联网应用），设立了同应用和业务对应的独立的网络（如窄带物联网（NB-IoT）），具有独立的接入机制和协议栈，对于每种制式，NAS 接口、空口和地面接口之间是端到端耦合，并没有一个接入侧接口或模块能够对多种 5G 应用或者上层传输网络的信息进行交互、翻译以及统一处理。因此，需要一个灵活的接入网络架构，能够利用其灵活可定制的

接入机制与协议栈来支撑统一灵活的用户和业务接入，为 5G 应用和业务自适应的无线资源的灵活调配提供支持。

其次，现有网络中，网络构成复杂，灵活性差，运维成本高，新业务开发周期长，因此人们提出利用通用设备替代网络中的专用设备，提升网元扩展性，这点在核心网中通过 NFV/SDN 技术完成。在接入网中，也需要进一步打破传统业务和应用的“烟囱式”效应，实现接入网层面的业务透明和网络资源的虚拟化。利用网络切片技术，在接入网络中基于统一的逻辑架构，按需构建不同的逻辑网络的实例，即接入网切片实例，用于灵活支持不同业务和应用。不同的网络切片实现逻辑的隔离，每个切片的拥塞、过载、配置的调整不影响其他切片。在保证所需业务的 QoS 同时，提高网络资源的利用率。因此，接入网中网络切片的部署与资源管理也需要更多关注。

2.2 边缘计算

边缘计算作为一种新的部署方案，通过把小型数据中心或带有缓存、计算处理能力的节点部署在网络边缘，与移动设备、传感器和用户紧密相连，减少核心网络负载，降低数据传输时延。例如，在车联网中，业务控制和数据传输实时性要求高，如果数据分析和控制逻辑全部集中在较远的云端完成，难以满足业务的实时性需求。另一方面，边缘计算可以提供流量卸载，移动终端可以根据应用对时延的容忍程度、自身处理能力以及能耗等因素判断是否需要流量卸载。通过流量卸载，计算密集型 and 时延敏感型应用可以在边缘计算平台上处理；在时延和回程链路负载允许的情况下，计算密集型应用可以进一步卸载到核心网以获得更充足和强大的计算资源。

鉴于边缘计算在未来网络中良好的应用前景，学术界和工业界对边缘计算已经展开研究并取得良好进展，其中，尤其以雾计算（fog computing）、MEC（mobile edge computing，移动边缘

表 1 3 种边缘计算的比较

边缘计算	提出者	典型特征	主要应用场景
雾计算	思科	<ul style="list-style-type: none"> • 分布式组网结构; • 任何具有边缘缓存的设备都可以是网络节点; • 计算、通信、控制协同 	IoT 等
MEC	ETSI MEC ISG	主要以 MEC 服务器/应用的方式部署在网络边缘提供存储、分析、计算和控制功能	<ul style="list-style-type: none"> • 智能移动视频加速; • 监控视频流分析; • 增强现实; • 密集计算辅助; • IoT 网关服务; • 车联网等
Cloudlet	CMU	<ul style="list-style-type: none"> • 基本不需要额外的管理; • 基于虚拟机实现; • 具有较强的计算能力, 能提供一定的数据安全机制; • 基于 OpenStack++ 云计算平台 	<ul style="list-style-type: none"> • 流量卸载 (比如语音人脸识别等); • 应急抢险等

计算) 和 Cloudlet 为主要代表^[6], 见表 1。

“雾计算”概念最初由思科提出。雾计算是指充分开发利用靠近用户的网络边缘设备的计算、存储、通信、控制和管理等功能, 将云计算模式扩展到网络边缘。通过将“雾计算”概念融入无线接入网架构中, F-RAN (fog radio access network, 雾无线接入网) 作为 5G 无线接入网解决方案也受到了广泛关注。2015 年 11 月, ARM、思科、戴尔、英特尔、微软和美国普林斯顿大学 Edge Laboratory 等物联网 (IoT) 领导者联合成立了开放雾联盟 (Open Fog Consortium), 旨在加快雾计算技术的部署, 实现用于物联网的端到端技术解决方案。

MEC 最初由诺基亚、华为等 6 个公司组成的 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) MEC ISG (Industry Specification Group) 联合提出的, 在无线网络边缘提供 IT 服务环境和云计算能力。通过将云计算和云存储部署到网络边缘, 提供一个具备高性能、低时延与高带宽的电信级服务环境, 加速网络中各项内容、服务及应用的分发和下载, 让消费者享有更高质量网络体验。自 2014 年以来, ETSI MEC ISG 对 MEC 的标准化上进行了很多工作, 包括 MEC 概念、需求、架构、用例和部署等^[7]。

Cloudlet 是由美国 CMU (Carnegie Mellon University, 卡内基梅隆大学) 的一个团队最先提出的。Cloudlet 是一个新的架构要素, 源于移动计算、IoT 和云计算的融合。Cloudlet 是三层结构 “mobile or IoT device-cloudlet-cloud” 的中间层, 一个 Cloudlet 可以看做一个位于网络边缘的小规模移动增强型云数据中心。通过为移动设备提供的计算资源, Cloudlet 可以支持计算密集型和交互式且具有严格时延要求的移动应用。

3 基于边缘计算的接入网络切片

在核心网切片中, 边缘计算服务器由于部署的位置距离用户较远, 不可避免地会产生较长的时延, 无法满足部分应用对低时延特性的需求。同时, 各类业务数据汇聚到核心网络中进行计算处理, 会造成数据流量的巨大增长, 给回程链路带来极大负担, 消耗过多回程链路带宽。除此之外, 相较于从核心网到终端的垂直结构切片, 部分业务如短距离的数据传输共享, 对计算能力要求较低, 用户分布范围小, 更适合终端到终端的水平结构切片。因此, 本文提出基于边缘计算的接入网络切片, 利用网络边缘的计算、存储和通信能力, 构建业务所在无线接入网络内的接入网切片, 实现业务的本地处理, 使得核心网和传输



网的开销得到减小，同时减少业务传输时延，改善业务性能。

基于边缘计算的接入网络切片逻辑架构如图1所示，软件定义的接入网切片编排器负责网络切片的动态供应和切片间的资源管理。具体的，通过信息感知和数据挖掘，接入网切片编排器获得接入网中各请求业务的业务类型和可用的网络资源。接入网切片编排器根据场景特点和需求以及接入网络状态，编排生成相关的接入网切片，包括所需的网元（LTE eNode B、MEC等）、网元接口、网元所需的网络资源、定制化的空口技术（包括控制面和数据面的协议栈）以及组网结构。在切片实例确定后，编排器为所有的接入网切片实例分配网络资源，利用分配的资源实现切片的实例化。在切片运行过程中，切片将所需汇报的监测数据发送到接入网切片编排器，用于完成编排器对切片实例的监督和生命周期管理（包括网络资源分配和再分配，切片的扩容、缩容和动态调整等）。

根据应用场景中业务种类，网络切片可分为

三大类，如图2所示，包括大连接需求 mMTC（massive machine type communication，海量机器类通信）、超低时延需求 eMTC（enhanced machine type communication，超可靠低时延通信）和大容量需求 eMBB（enhanced mobile broadband，增强移动宽带）。

其中 eMBB 切片中，为满足其大容量的业务需求，切片编排器为其分配大带宽频谱，并提供支持干扰协调、多站协作与传输的空口协议配置。BBU（baseband unit，基带单元）池承载无线信号处理和资源管理功能，提供集中式大规模协同信号处理和资源管理增益，而分布式的 RRH（remote radio head，无线远端射频单元）被部署到靠近用户处，用于满足热点区域海量数据业务的高速传输需求。与 BBU 池通过回程链路相连的 HPN 负责全网的控制信息分发，为所有的 UE（user equipment，用户终端）提供控制信令和小区特定参考信号，并为高移动用户提供基本比特速率的无缝覆盖，从而降低不必要的切换并减轻同步限

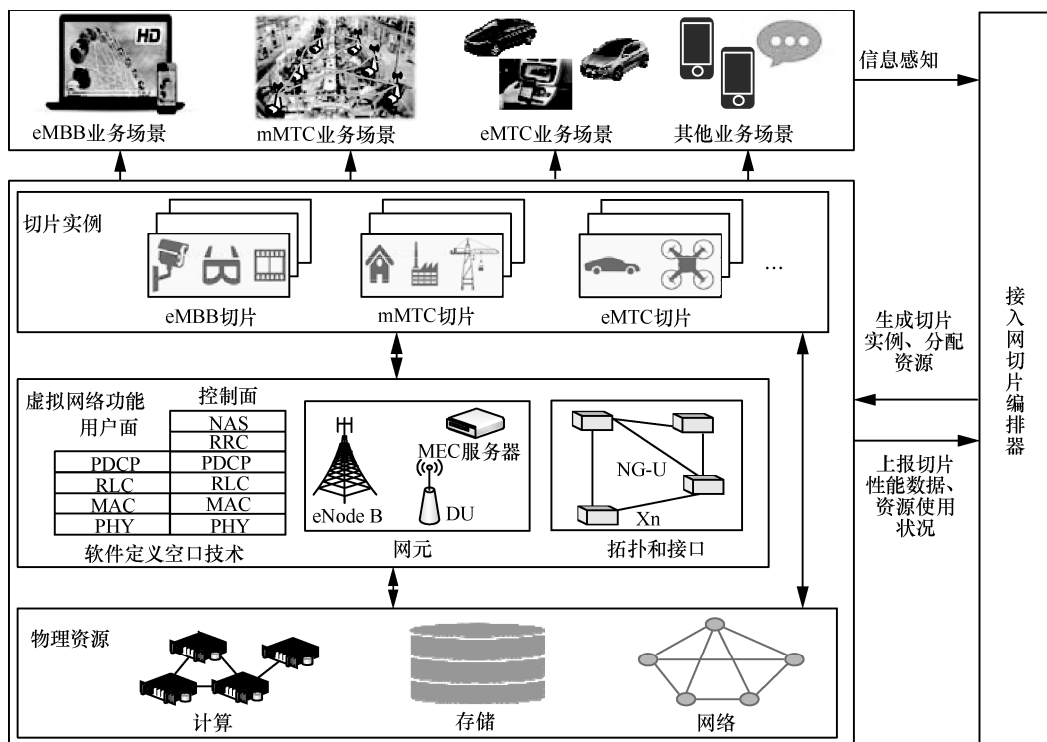


图1 接入网络切片逻辑架构

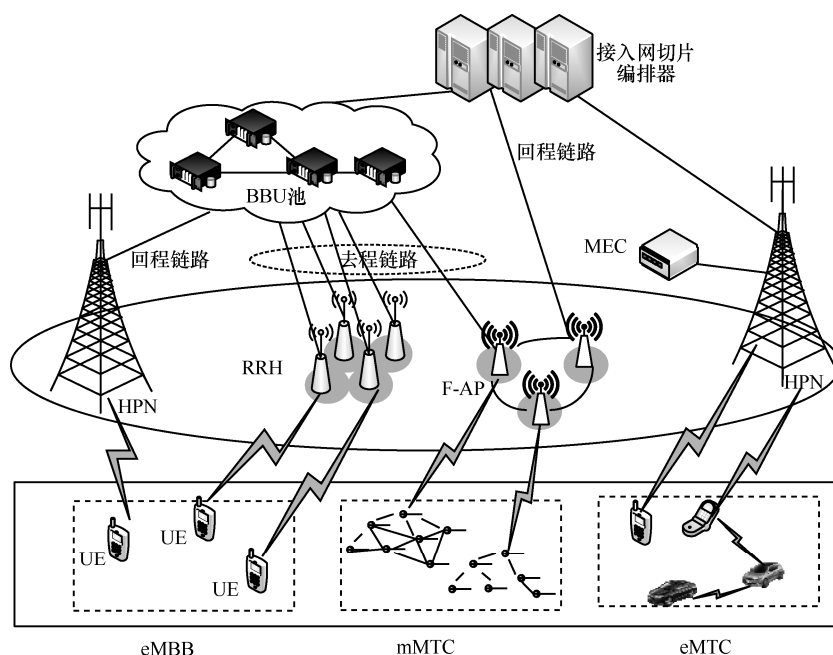


图2 基于边缘计算的接入网络切片示意（包括3种典型业务类型）

制。特别的，利用网络边缘节点的缓存能力，边缘计算可用于热点区域的容量吸收，例如，体育场中由于观众对相同内容的重复下载将使得连接RRH与BBU池的去程链路负载加剧，此时，通过预先缓存此类高流行度文件到体育场附近的边缘节点中，用户可直接获得数据业务而无需通过BBU池的集中式缓存，缓解了前传和BBU池的开销负担。

mMTC和eMTC作为机器类通信，对应的网络切片更多的依靠边缘计算。在mMTC切片中，编排器在mMTC切片编排生成时，通过在边缘节点F-AP（fog access point，雾计算接入点）中配置虚拟中继网关，分配虚拟无线回传资源，在F-AP的管控下，具有终端直通能力的UE进行自组网形成簇，簇内各节点产生的数据通过终端直通信汇聚到选取出来的簇头，簇头可以是UE，也可以是F-AP。在BBU池和F-AP的协助下，实现本地的协作无线信号处理和协同无线资源管理。同时，考虑到网络中连接节点数目大的特性，因此需要提供简化信令、多接入调度机制配置，由于mMTC中

各节点数据量小，时延要求不高，因此可以在mMTC切片的协议栈设计时配备低比特率、高时延容忍调制编码等虚拟空口资源配置。在eMTC切片中，为了满足业务的时延要求，可按需配置D2D（device to device）通信所需的时频资源，使得邻近UE可通过D2D模式或者中继模式直接通信。同时，考虑到UE受限的缓存和计算处理能力，可在业务分布区域内部署边缘节点F-AP或MEC，用于承载与eMTC相关的控制、管理和数据功能。通过配置下沉至本地接入网的用户面虚拟网关，配置具备部分核心网控制功能（如寻呼功能）的虚拟全功能基站，为UE降低了传输时延。

4 接入网络切片的关键技术

由于接入网络中无线信道的传播开放，发送端之间的相互干扰，使得接入网络中网络切片间的隔离保障同核心网络中的网络切片相比，所需要考虑的因素不同。以无线资源管理为例，完全正交的资源分配用于保证切片间的隔离但会带来资源利用率的降低，而在切片间



同频复用的假设下，为了保证切片间的隔离，调度算法难免过于复杂，带来额外的开销，因此合理的资源管理对接入网络切片性能具有很大影响，资源管理需要考虑网络中的切片实例的存在，合理安排资源分配、调度方法和粒度。相应的，切片实例的感知，则需要接入网切片编排器借助信息感知完成，此外，通过感知第三方需求和业务类型等信息，信息感知能够辅助接入网切片编排器确定需要实例化的网络切片，为各网络切片实例分配和管理资源时提供参考信息。因此，资源管理和信息感知对接入网络切片的实现尤为重要。

4.1 资源的联合管理

传统蜂窝网络中，资源管理的出发点是在网络负载不均衡，无线网络环境变化的情况下，灵活分配和动态调度可用资源，在保证网络 QoS 的前提下最大化资源利用率和系统性能。由于边缘计算的引入，蜂窝网络资源管理方法面临新的挑战，管理资源维度不仅包括无线资源，还包括边缘计算涉及的缓存资源和计算资源。同时考虑到各网络切片间的隔离需求，切片对资源管理的粒度需求，因此资源管理的目标不仅是网络 QoS 的保证和资源利用率的最大化，还需要兼顾网络切片间的隔离和定制化。

边缘计算引入接入网络中后，边缘设备具备缓存与计算能力，可为 UE 提供快捷内容访问与检索功能，有效缓解云服务器的负担，降低内容

传递时延和网络传输负载，通过面向对象与内容认知技术提高性能增益和用户体验。参考文献[8]调研了基于雾计算的接入网（F-RAN）中最近关于资源分配和性能分析的成果，分析了在引入雾计算后，接入网络中资源分配对频谱效率、能效效率和时延的影响和优化性能时需要考虑的影响因素。在优化频谱效率时，UE 对接入节点的选择不仅需要考虑接收信号强度，还需要将接入节点中缓存内容对 UE 的影响纳入考核指标中；类似地，能效优化时，除了考虑发送功耗外，还需要考虑本地缓存带来的功耗和回程链路功耗的节省；传输时延的优化问题则由于 F-RAN 中多种传输模式的共存而变得更为复杂，BBU 池中虽然能够提供大容量存储，但传输时延受到去程链路影响，只能提供时延可容忍的服务，而边缘设备虽然离 UE 距离近，通信状况好，但受限于缓存容量和计算能力，不能满足所有的低时延业务需求。

同缓存和计算资源的管理不同，无线资源管理对网络切片的影响包括切片间的隔离水平高低、切片时/空/频域的管理粒度。参考文献[9]将切片的隔离分为两类：无线电隔离和业务隔离，分别用不同切片发送端之间的干扰水平和切片间服务质量的影响水平来衡量。根据 LTE 中无线资源管理层次，分别从频谱规划、小区间干扰协调、分组调度和接入控制 4 个方面分析无线资源管理对网络切片的影响。4 种水平的切片策略比较见表 2，

表 2 3 种水平的切片策略比较

	频谱规划	小区间干扰（ICIC）	分组调度（PS）	接入控制（AC）
频域粒度	单载波（在 LTE 中最低限度 1.4 MHz）	1RB（在 LTE 中 180 kHz）	1RB（在 LTE 中 180 kHz）	无
时域粒度	相对长期（几分钟）	每 ICIC 间隔（在 LTE 中数百毫秒）	每传输时间间隔（在 LTE 中 1 ms）	与无线接入承载建立请求率相关（秒级别）
空域粒度	整个场景（如果识别非干扰小区集可能更少）	整个场景（如果识别非干扰小区集可能更少）	单小区	单小区
定制程度	频谱规划、ICIC、PS 和 AC	ICIC、PS 和 AC	PS 和 AC	AC
无线电隔离	高	高	中	中
业务隔离	高	高	高	中

频谱规划级别的接入网络切片下,各切片被分配到正交的载波,切片内的小区利用分配到的载波承载 UE 服务,由于切片间载波的正交,因此无线电隔离和业务隔离程度较其他更高。但是,由于切片间采用正交的载波分配方法,因此无线资源管理粒度相较于其他的 3 种策略较大。在小区间干扰协调水平级别的接入网络切片下,各切片可复用相同频谱资源,切片间干扰通过资源块 RB 的正交得到控制,因此保证了高无线电隔离和高业务隔离的同时,频域粒度更细,值得指出的是,资源里的增加以相应的管理开销为代价。类似地,分组调度级别和接纳控制级别的切片,在资源粒度的更精细化的同时,牺牲了定制化程度和管理开销,使得切片间管理和隔离更复杂。

4.2 多维度信息感知

传统网络中,通常假设 UE 在满足特定物理条件时(例如与其他 UE 距离较近,信道条件良好),即能够与其他 UE 建立连接进行通信。然而与此假设相违背的是,在实际场景中,用户通常会基于安全性的考虑不会授权其 UE 同不熟悉的 UE 建立连接。在将边缘计算引入接入网络中后,这种假设与实际之间的冲突变得更为明显,例如,用户携带的 UE 作为边缘设备缓存了不同的媒体文件,然而用户并不会同其他陌生用户的 UE 共享该文件,即便 UE 间信道条件良好,陌生用户的 UE 仍只能从网络中下载该媒体文件。因此,需要考虑用户个人在社会关系网络的参与程度,根据不同的地理位置、兴趣和背景,用户个人或者 UE 被分为不同的社会群体。同一社会群体内的 UE 可以交换信息,不同群体间的 UE 则很少建立连接。

进一步地,除了感知用户之间的社会关系,在移动网络中还存在网络、终端、业务等多种维度的数据,这些数据分布在网络的多个网元中。通过网络信息感知技术,可以将位于多个

网元中的多维度数据提取出来。基于感知技术获得的多维度网络数据,通过网络特征的分析与识别,可以获得体现网络场景特征的数据库;通过用户行为的分析与预测,可以获得体现用户行为特征的数据库。根据网络场景特征和用户行为特征,可以有针对性地优化网络参数配置和制定网络控制策略,并作用于网络。而网络优化和网络控制策略的效果,也可以再次通过对网络中多维度数据的感知和分析来跟踪并验证。

为探究信息感知对网络性能优化的影响,参考文献[10]以 eMBB 中广域覆盖和热点高容量的两个场景为对象进行了讨论。广域覆盖场景中,由于基站分布稀疏,部署位置间距大,当基站需要广播重要信息给所有 UE 时,部分 UE 由于移动到基站覆盖范围外不能完成接收,此时可通过感知移动 UE 间的机会接触(opportunistic contact),在 UE 间建立机会通信(opportunistic communication),便于重要信息在 UE 间的传递;热点高容量场景中,UE 密集分布在固定区域内并请求相同信息的下载,重复信息的传输使得基站负载过大,此时通过对 UE 间共享信息的研究,基站首先将共享信息广播给部分 UE,该部分 UE 作为初始共享信息接收者,与其他 UE 建立机会通信完成信息传递,减轻基站流量负载。借助机会通信,广域覆盖场景中的重要信息传输成功率随着网络中终端数目的增加而增加,如图 3 所示,这是由于终端数目的增加,该区域内终端密度提升,UE 彼此相遇概率更高,用于重要信息传递的机会通信建立概率更高。相同终端密度下,重要信息的生命周期 T 越长,成功传输率更高。热点高容量场景下,进行机会通信的用户数目越多,流量卸载越多,基站负载越小,如图 4 所示,不同初始共享信息接收者选取策略下,机会通信最大用户数目不同,对基站的流量卸载帮助不同。

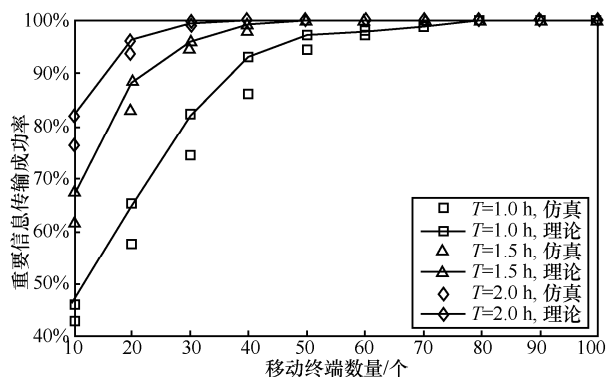


图3 广域覆盖场景中,不同生命周期下的重要信息传输成功率

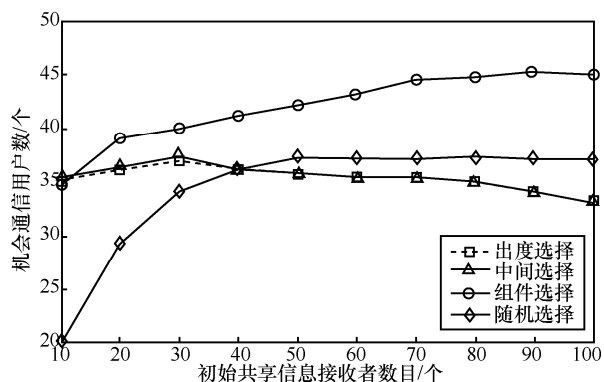


图4 热点高容量场景中,在不同初始共享信息接收者选取策略下的机会通信用户数

5 边缘计算与网络切片的挑战

尽管边缘计算和网络切片的应用前景良好,相关工作取得了可喜的进展,但依旧存在许多技术挑战亟需解决。

5.1 边缘计算

尽管边缘计算由于其特性受到广泛的关注,但在其完成商业应用前依旧存在许多挑战。首先,边缘计算中的计算和缓存资源与无线资源不同,资源的部署和管理对边缘计算的性能影响和优化方法需要进行研究。以热点高容量场景中的边缘节点为例,边缘节点一般选择性的缓存部分流行度高的文件,例如热门视频,考虑到相同视频内容存在多种格式,因此利用边缘节点的有限缓存空间存储单一视频的多种格式往往不可取,此时可选择性的缓存视频的部分格式,在 UE 请求传输相同内容的其他格式时,可利用节点中计算能

力换取缓存能力,将缓存的视频格式转换成所需格式并下发。

其次,边缘计算虽然具有靠近终端,处理时延低的优点,但计算和缓存资源有限,因此,边缘计算中的卸载决策很重要,面对 UE 的业务请求,边缘计算中的卸载决策将直接影响业务的处理是在本地、云端或混合模式下完成。而决策的依据也依据具体场景的不同而不同,包括但不限于 UE 能耗和业务 QoS、边缘节点功耗等。

5.2 网络切片

核心网的网络切片实现通过 NFV/SDN 完成,旨在通过对软硬件解耦及网络功能的抽象化,使网络切片的实例化更加便捷,资源能够灵活共享,实现低成本下的新业务快速开发和部署。接入网切片架构中的边缘计算可为 NFV 提供虚拟网络功能(virtual network function, VNF)间的可编程连接,这些连接通过 VNF 的协调器进行管理。软件定义的切片编排器,能够对整个网络中的网元和空口等切片组成元素实现独立于硬件的重新设计和重新配置,保证了网络架构的灵活性与可重构性,实现了“一个接入网络,多种网络切片”。然而,由于安全、计算性能、与传统 RAN 的兼容运营和管理等众多难题的存在,接入网络切片中的 NFV 和软件定义的实现依然面临着挑战。类似地,在接入网络中,无线信道的随机和时变特性,使得切片间的隔离保证也面临挑战,如何设计统一的机制保证切片间的隔离依旧是未来工作的重点。此外,不同接入制式下,空口、频谱划分和协议等配置不尽相同,在对网络切片生成不同接入制式的接入网切片后,资源管理机制如何避免接入制式对其影响,完成接入网的性能优化也是为了研究方向之一。

6 结束语

通过对目前网络切片和边缘计算的研究以及存在问题的分析,本文提出了一种基于边缘计算

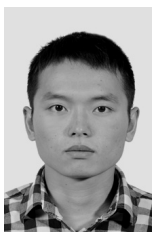
的接入网络切片架构。为满足第三方需求,提供多样化和个性化的接入网络切片实例,网络切片架构中的接入网切片编排器通过信息感知确定需要实例化的网络切片,利用边缘计算提供的缓存和计算能力,编排生成网络切片实例,并分配和管理各网络切片实例的资源,实现网络资源的共享与隔离。虽然当前的网络切片研究和工作取得诸多成果,但是,无论是在边缘计算还是网络切片方面,接入网络切片的实现仍然面临着诸多挑战,还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] ITU-R M. [IMT.VISION]: IMT-vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond: M.2083-0 [S]. 2015.
- [2] NGMN Alliance. 5G white paper[R]. 2015.
- [3] ECC. 边缘计算产业联盟白皮书[R]. 2016.
ECC. White paper of edge computing consortium[R]. 2016.
- [4] 3GPP. Study on architecture for next generation system: TR23.799[S]. 2016.
- [5] 安琪, 刘艳萍, 孙茜, 等. 基于 SDN 与 NFV 的网络切片架构[J]. 电信科学, 2016, 32(11): 119-126.
AN Q, LIU Y P, SUN Q, et al. Network slicing architecture based on SDN and NFV[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(11): 119-126.
- [6] KLAS G I. Fog computing and mobile edge cloud gain momentum open fog consortium, ETSI MEC and Cloudlets[EB/OL]. (2015-11-22)[2017-05-01]. <http://yucianga.info/?p=938>.
- [7] ETSI MEC ISG. Mobile-edge computing introductory technical white paper[R/OL]. (2014-09-18) [2017-05-01]. https://portal.etsi.org/portals/0/tbpages/mec/docs/mobile-edge_computing_-_introductory_technical_white_paper_v1%2018-09-14.pdf. 2015.
- [8] PENG M G, ZHANG K C. Recent advances in fog radio access networks: performance analysis and radio resource allocation[J]. IEEE Access, 2016(4): 5003-5009.
- [9] ORIOL S, JORDI R, RAMON F, et al. On radio access network slicing from a radio resource management perspective[J]. IEEE Wireless Communications, 2017(99): 2-10.
- [10] HU J, YANG L L, POOR H V, et al. Bridging the social and

wireless networking divide: Information dissemination in integrated cellular and opportunistic networks[J]. IEEE Access, 2015(3): 1809-1848.

[作者简介]



项弘禹(1993-), 男, 北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室博士生, 主要研究方向为雾无线接入网中切片架构及理论性能。



肖扬文(1973-), 男, 国家质量监督检验检疫总局信息中心综合规划处副处长、工程师, 主要研究方向为信息技术与网络管理、新一代信息和网络技术。



张贤(1992-), 男, 北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室硕士生, 主要研究方向为雾无线接入网中多维度资源管理和优化。



朴竹颖(1994-), 女, 北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室硕士生, 主要研究方向为无线接入网中的边缘缓存管理和优化。



彭木根(1978-), 男, 北京邮电大学教师发展中心主任、教授, 主要研究方向为未来无线网络、雾计算网络和协同通信理论。