

本期专家论坛 栏目策划人



续合元

中国信息通信研究院技术与标准研究所总工程师, 教授级高级工程师, 曾任国际电信联盟-电信部门 (ITU-T) 物联网全球标准化行动的技术策略协调人、M2M 焦点组主席, 现任 ITU-T 第 13 研究组 (SG13) 的副主席、中国通信标准化协会 (CCSA) 泛在网技术委员会 (TC10) 主席, 担任电信研究院的硕士研究生指导教师; 长期从事电信网络与交换方面的研究和标准制订工作, 对于信令和网络协议有深入的研究, 目前致力于未来网络、泛在/物联网、车联网、工业互联网的研究。

5G 新需求下无线网络 重构的若干思考

Wireless Network Reconstruction for 5G

冯建元/FENG Jianyuan, 冯志勇/FENG Zhiyong, 张奇勋/ZHANG Qixun

(北京邮电大学, 北京 100876)

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0041-004

摘要: 认为无线网络重构技术是满足日益增长的数据业务需求的关键, 虚拟化是实现无线网络重构的有效手段。通过无线网络架构的逻辑抽象和资源的池化虚拟, 能够满足 5G 多种类型业务广泛连接的需求, 并提供超高性能的数据传输体验。此外, 还指出了无线网络虚拟化面临的挑战, 认为未来的无线虚拟化网络将与大数据、人工智能等技术相融合, 变得更加智能、灵活和高效。

关键词: 5G; 无线网络虚拟化; 架构

Abstract: In this paper, we propose that wireless network reconstruction is the key to meet the growing demand of data service, and virtualization is an effective means of realizing wireless network reconstruction. Based on the abstract logical network architecture and the pooled virtual resources, diverse data services of 5G and super high performance of wireless data transmission can be realized. Moreover, the challenges of virtualization wireless network are pointed out, and it is believed that wireless network virtualization will be more intelligent, more flexible, and more efficient by the fusion of big data and artificial intelligence.

Key words: 5G; wireless network virtualization; architecture

1 虚拟化实现 5G 无线网络的重构

无线通信的飞速发展正在深刻改变社会生产和生活方式。推动无线通信技术发展可以抢占新一轮科技革命和产业变革制高点, 重塑全球竞争力优势。在这种需求背景下, 5G 的研发和演进成为了重中之重,

然而发展无线通信技术面临着许多新数据业务形势下的艰巨挑战。

首先, 移动数据量仍然急速增长。无线网络提供了诸如多媒体数据服务、电子商务、电子政务、物联网等种类丰富的无线数据业务, 一方面满足了公众多样的数据需求, 另一方面其带来的数据量的压力也是巨大的。根据国际电信联盟报告及工信部统计数据等资料预计, 同 2010 年相比, 2030 年全球移动数据流量 (仅移动业务数据) 将增长近 2 万倍, 而中

收稿日期: 2017-03-02

网络出版日期: 2017-03-02

国的移动数据流量增速高于平均水平,其增长将高达4.2万倍^[1]。如何保障如此庞大的需求将会是严峻挑战。

第二,移动终端数量将迅猛增长。5G网络的目标之一是实现万物互联的物联网,这不仅将移动通信设备,也将工业设备、家具电器等电子终端融入了无线网络,网络中的设备数量将成倍增长。根据思科等的资料预测:到2020年,全球联网移动设备数量将达到250亿,并继续加速增长;物联网连接数到2020年达到72亿,2030年将接近1000亿^[1]。

第三,数据业务种类多样化,高可靠和低时延要求的数据业务增加。随着移动互联网提供的业务种类多样化,数据业务对网络的需求不再仅仅是传输容量的增加,一些新型的业务类型,如:高速铁路通信、虚拟现实、云协作、车联网等,均要求得到高可靠性和低时延的通信服务。如何在满足传输容量的基础上,满足差异化的数据业务需求,也将是5G面临的巨大挑战。

数据流量的快速增长,业务流量的不均匀分布和数据业务类型多样要求网络具备灵活的链路调配能力和对不同数据业务的适配能力,换言之,网络的重构技术是满足新形势下数据业务需求的关键。然而,要实现网络的重构,技术上还面临严峻挑战。首先,当前无线网络中设备数量庞大且种类多样,对应的无线资源也丰富多样,这些无线资源难以统一调度;第二,现有无线网络中的设备体系是垂直化的,网络缺乏弹性,扩展性不佳;第三,当前无线网络中很多业务服务形式仍然是紧耦合的,不利于网络的重构。

面对这些挑战,解决的关键是如何实现无线资源和网络基础设施的共享调度,建立面向业务服务的逻辑网络架构。无线网络虚拟化给出了解决的办法,通过网络的虚拟化、软件化,使网络可以在通用的平台上进行重构,具有良好的扩展性;同时,无

线网络虚拟化将无线网络中多种多样的无线资源进行池化和划分,可以以构件的形式对不同颗粒度的无线网络资源进行剪裁和组合,实现了网络中多种资源的统一灵活调度;此外,无线网络虚拟化对网络功能的抽象也为网络业务的解耦合,进而实现网络的重构提供了解决方案。

无线虚拟化网络能够打破网络间的壁垒,使资源利用更有效率,网络管控更加灵活,网络的可重构性使网络升级更加便捷,成本更低,在保障用户体验的同时,降低运营商的投资成本和运行成本。因此,虚拟化是实现无线网络重构,满足5G新形势下业务需求的有效手段。

2 无线网络虚拟化的内涵与挑战

无线网络虚拟化,就是借用有线网络中软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)的思想,将无线资源如频率、时间、编码、功率等虚拟为一个统一的资源池,对资源池的无线资源进行按需整合,从而使不同类型、不同需求的无线数据业务形成各自针对性的逻辑网络,这种逻辑功能上的网络相对于传统物理上的网络,是虚拟化和相互独立的。根据国际电信联盟电信标准局的定义,无线网络虚拟化包含了如下两个关键技术特征^[2]:

(1)将各种网络资源整合并抽象的能力,例如资源池化和网络切片;

(2)网络间灵活管控的能力,例如:控制与业务平面安全隔离等。

无线网络虚拟化技术能够通过整个网络的协作与共享实现网络资源的最优配置。它能够超越网络物理层面的界限,实现整个网络的负载均衡和无缝覆盖。网络资源利用率可以得到提升,同时,灵活的网络管理能够简化网络功能和控制流程,大大降低网络的投资成本和运行成本。

网络虚拟化技术在有线网络领域已应用于虚拟局域网(VLAN)^[3]、虚

拟专用网络(VPN)^[4]和主动可编程网络(APN),前两者将网络进行逻辑上的划分,APN则通过网络应用编程接口(NAPI)开放网络的物理资源。2009年,Nick McKeown等人提出了软件定义网络(SDN)^[5-7],更是助推了网络虚拟化研究在有线网络的展开。然而,无线网络与有线IP网有着巨大的不同:首先,无线网络具有地理特征的小区概念;第二,无线网络具有IP网络没有的信令;第三,无线资源是多种类多维度的。这些不同造成有线网络虚拟化技术并不能直接应用于无线网络。

无线虚拟化研究的任务和挑战主要分为以下几方面。首先,要设计出能够支持无线资源池化和无线网络重构的无线虚拟化网络架构。当前无线网络架构的静态、封闭,造成无线资源利用率低下,无线网络架构不能灵活重构,无法为用户提供广泛接入,也使得无线网络的升级换代周期漫长,且成本高昂。第二,要实现无线网络的控制与业务分离和无线网络协议的虚拟划分方法。虚拟划分无线网络协议能够实现虚拟逻辑网络的重构;而分离控制平面和业务平面能够有效降低无线网络重构带来的信令开销,提高信道资源的有效传输效率。第三,要研究多域无线资源的虚拟化方法,包括:虚拟资源的动态资源映射、分配以及迁移的方法和机理,对处理资源的基站进行水平共享,动态部署,按需分配。第四,要研究无线融合网络中通信、计算和存储多域资源的认知协同优化技术。无线资源是多维多域的,充分挖掘不同维度资源相互协作的潜力,如:计算换容量、存储换容量,是提升无线通信网络性能的新思路。

3 基于无线虚拟化的网络架构演进

无线通信技术发展到4G,传输技术已得到极大地提升,我们通过各种技术已经逼近了香农公式给出的信

道容量极限,如果没有新的开创性理论被发现,那么寄希望于通过传输技术大幅度提高链路传输速率和频谱效率已经非常困难,而网络技术将会是继续提升通信性能的突破点。从1G到4G,通信网络的架构并没有很大改变,然而现有的蜂窝控制的无线网络架构,已经无法满足网络向虚拟化发展的要求,因此,对无线网络架构重新设计,使之能够支撑无线网络虚拟化成为关键。

不同于现有网络以设备单元划分的网络结构,无线虚拟化网络的架构按照功能的不同,划分为3个功能平面:认知平面、虚拟化控制平面、数据平面。我们借助图1对无线虚拟化网络架构的组成和各功能平面间的关系进行说明。

这个架构的新颖之处是在原有无线网络架构中加入了认知平面、控制平面,与数据平面共同存在,各平面可以实现如下所述的功能。

认知平面。网络虚拟化需要实现对资源的灵活管控和共享,这需要捕获网络的状态,包括:业务类型,可用接入网和其位置、无线资源、用户要求等。认知平面可以从核心网和接入网获取网络状态信息,并将所获得的网络中业务类型和可用的无线资源信息提供给控制平面,为控制平

面划分网络切片,实现资源共享提供参考。另一方面,认知平面收集接入网资源和位置的信息,根据业务特征相似度,将相似度高的小区划分为群落,减少控制平面进行资源管理时的复杂度。

虚拟化控制平面。控制平面收到认知平面提供的网络业务状态和接入网信息后,根据可用资源和用户业务将网络资源切片。每个切片是网络资源共享的单位,其构成可能是多种资源,如图1右侧所示。用户分到网络切片,代表着可以使用对应的基础设施和无线资源。例如用户分到的切片由无线局域网(WLAN)和长期演进网络(LTE)资源组成,表示用户可以使用对应WLAN和LTE接入点及其资源来传输数据。

数据平面。数据平面包括了所有的接入网和其无线资源。在异构网络中,它由LTE、3G、WLAN、D2D网络等以及对应无线资源构成。数据平面承载了网络中数据的传输。在无线虚拟化网络中,数据平面的资源,如频谱和基础设施,被控制平面切片并分配给用户。

这3个平面协作实现了无线网络虚拟化。认知平面利用认知无线网络技术,对网络环境进行感知,将网络信息(如业务需求类型、地理位置、

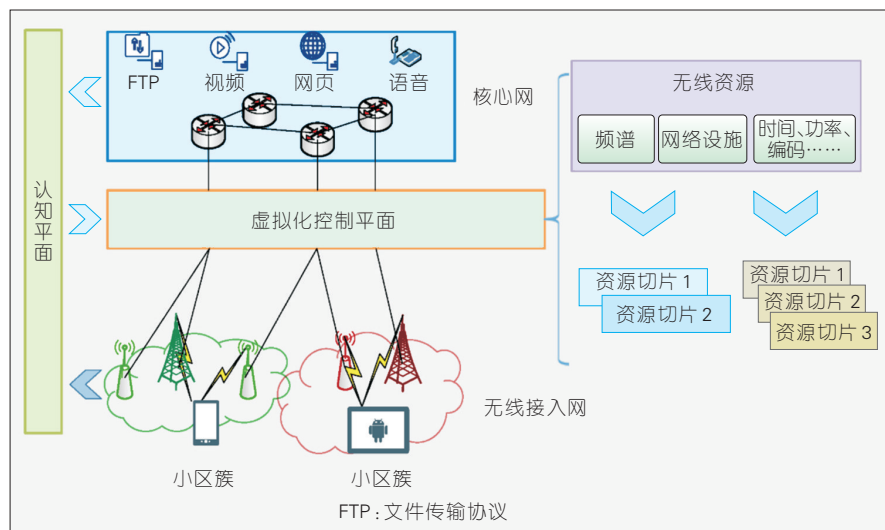
流量大小、用户种类等)反馈给虚拟化控制平面。虚拟化控制平面采用“联邦管控”的集中加分布的方式管理网络,即根据认知平面反馈的网络信息,按照地理位置和业务特征相似度集中地将无线网络设施(如基站、热点)划分为小区簇;而在每一个小区簇里,各种设施的无线资源抽象为一个资源池,再在簇内按照本簇业务特征对簇内资源池的资源进行切片划分,每一个资源切片中包含的无线资源则映射到数据平面对应的物理资源上,在数据平面中传输数据。

需要指出的是对网络设施(如基站和热点)进行分簇,以联邦群落的方式进行管控,能够在相似业务特征的小区内,把资源切片的复杂度大大降低,这使超密集5G异构网络的资源灵活分配成为可能。此外,群落式分布管理也利于无线虚拟化网络简化信令流程。

4 虚拟化中灵活的资源管控技术

无线虚拟化网络为无线网络的重构提供了架构基础,在此之上,如何进行无线资源的灵活管控,关系到虚拟化网络的重构效果。无线虚拟化网络中资源的管控技术包含多流传输技术和授权/非授权频谱的聚合技术。

多流传输技术是指数据业务能通过多条无线链路同时进行上、下行传输。我们回想无线虚拟化架构中控制平面将无线资源切分成资源切片,每一个资源切片中包含两方面资源:一是无线资源,如频谱的分配;二是接入网络,如Wi-Fi接入点和LTE接入点的分配。利用资源切片中的多种资源进行数据传输,是多流技术的主要目的。我们以一个简单的例子进行说明,假设某一用户被分配到的资源切片中包含LTE和WLAN资源,表明该用户可以使用对应的网络资源进行数据传输。根据切片里WiFi资源和LTE资源的比例和计划



▲ 图1 无线虚拟化网络架构

传输的数据业务的特征(如服务质量(QoS)需求、数据大小等),控制器将业务数据按比例拆分成合适大小的数据包并编好序列,分别经由 Wi-Fi 网络和 LTE 网络传输数据。当数据到达终端时,各链路数据包按照包序列重构为原始业务流。

多流传输技术整合了不同的接入网资源,但另一方面,频谱资源也需要我们相应地整合利用。由于现有的频谱分配政策,导致频谱离散化与碎片化现象特别严重,这些频谱碎片带宽窄,无法支撑 5G 超高速率数据传输。因此,将碎片化的零星频谱资源重构为一段虚拟的大带宽频谱有着极为现实的意义,这用到了授权/非授权频段的载波聚合技术。

在 5G 移动通信系统中,需要传输的业务种类十分丰富,如实时控制数据、实时视频数据和高速下载数据等,不同业务的传输性能要求不同,需要将业务与多个离散频段上的时频资源进行聚合,统一调度来提高资源利用效率。授权频谱的载波聚合基于信道质量的反馈,主要涉及终端的成员载波分配与每个成员载波上的时频资源的调度。离散成员载波所处的频段、覆盖范围与负载条件不同,并且不同终端在同一个成员载波上的信道条件差异很大,需要采取有效的调度方法来利用多频段载波差异性、载波对终端的差异性与终端业务间的差异性,为终端分配频谱资源,提升网络对业务的服务质量。可以通过在最小负载(LL)成员载波选择方案中加入用户在成员载波上的信道条件,并利用成员载波上数据缓存的大小来衡量载波负载,以达到充分利用多个成员载波的频率分集特性和实现成员载波间的负载均衡的目的。

非授权频谱的载波聚合则是考虑频谱质量与业务需求匹配性。由于非授权频段存在多个通信系统,需要考虑载波聚合系统在非授权频段与已有通信系统的共存,故非授权频

段的频谱资源对于载波聚合系统并不是持续可用的,也使得载波聚合系统的可用带宽是动态变化的。相比授权频段载波聚合,非授权频段的可用带宽大,传输速率高,适合非实时数据量大的业务传输,如文件下载类业务。但是其接入的不稳定性,无法保证数据包低时延传输。为了定量评估授权频段载波与非授权频段载波接入质量的差异性,可以采用载波聚合系统在各频段上的接入时延作为衡量指标。在授权频段可以持续接入;在非授权频段,可以根据采用的退避机制与频段的占用情况计算出其接入等待时延,同时采用业务数据包所能容忍的等待时延与所需的传输速率来定量评估业务对服务质量的需求。然后进一步可以根据成员载波的带宽与接入时延来计算与不同业务的匹配度,使授权载波尽量传输时延要求高的业务数据包,非授权载波尽量传输时延要求低和总传输数据量高的业务,从而有效地利用授权频段与非授权频段的差异性和用户业务的差异性,提高无线网络的服务质量。

5 结束语

面对无线数据业务需求不断扩大、种类日益繁多的新形势,5G 无线网络需要实现虚拟化,以根据不同业务需求灵活管控和重构网络,提高无线资源的使用效率,满足各种业务用户的数据传输体验。无线虚拟化网络从架构上满足了 5G 网络“一个逻辑架构,多种组网”的架构要求,适应了网络演进与变革的趋势,为网络的长期演进提供了支撑。然而,我们也应该看到,随着通信技术迈向 5G,通信的智能化时代也将来临,在无线虚拟化网络基础上,如果将大数据科学、人工智能技术融入到网络的管控中来,网络的虚拟化将更加适应和匹配无线网络多种多样的数据业务需求。可以预见,未来的虚拟化无线网络也将变得更加智能、更加灵活、更

加高效。

参考文献

- [1] IMT-2020 需求组阶段报告[R]. 北京: IMT-2020 (5G)需求组, 2014
- [2] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, Report ITU-T Y.3011: Framework of Network Virtualization for Future Networks [S]. ITU-T, 2012
- [3] ZHANG Z, HUANG X, KEUNE B, et al. Modeling and Simulation of Data Flow for VLAN-Based Communication in Substations [J]. IEEE Systems Journal, 2015, PP(99):1-12. DOI: 10.1109/JSYST.2015.2428058
- [4] ALSHALAN A, PISHARODY S, HUANG D. A Survey of Mobile VPN Technologies[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(2): 1177-1196. DOI:10.1109/COMST.2015.2496624
- [5] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. Openflow: Enabling Innovation in Campus Networks[J]. Computer Communication Review, 2008, 38 (2):69-74. DOI: 10.1145/1355734.1355746
- [6] SEZER S, SCOTT-HAYWARD S, CHOUHAN P K, et al. Are We Ready for SDN? Implementation Challenges for Software-defined Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(7): 36-43. DOI: 10.1109/MCOM.2013.6553676
- [7] KREUTZ D, RAMOS F M, VERISSIMO P E, et al. Software-defined Networking: A Comprehensive Survey[J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 103(1):14-76. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2371999

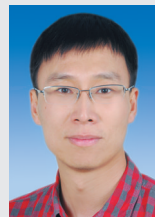
作者简介



冯建元,北京邮电大学信息与通信工程学院博士研究生;主要研究方向为多层异构网络协同优化、异构网络融合和无线虚拟化网络技术。



冯志勇,北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室主任、教授、博士生导师,北斗系统频率组专家;主要研究方向为认知无线网络频谱感知与动态频谱资源管理、异构网络融合及跨层设计、无线网络虚拟化网络架构与关键技术等;曾获国家杰出青年科学基金;已提交国际标准化提案 30 余篇,发表学术论文 100 余篇,出版著作 2 部。



张奇勋,北京邮电大学信息与通信工程学院副教授;主要研究方向为认知无线网络体系架构、异构网络融合、无线网络虚拟化关键技术等。