



电力异构无线通信网络切片方案

甄岩, 余梦月, 赵海波

(北京智芯微电子科技有限公司, 北京 102299)

摘要: 针对电力通信网络, 介绍了垂直和水平网络切片的概念和切片实现的支撑技术; 接着阐述了在电力通信网络中实现网络切片的技术挑战; 最后提出了一种适用于电力异构无线通信网络的切片方案, 其中, 垂直切片用于保证网络中各类电力应用的服务质量, 水平切片用于提高网络实体和终端的效率和灵活性。

关键词: 网络切片; 移动边缘计算; 无线接入网; 核心网

中图分类号: TM78

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020028

Network slicing scheme for heterogeneous power wireless communication networks

ZHEN Yan, YU Mengyue, ZHAO Haibo

Beijing Smartchip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 102299, China

Abstract: Targeted at power communication networks, the concepts of vertical and horizontal slicing was introduced, the slicing enabler technologies, then explain the technical challenges of realizing network slicing in power communication networks, finally a slicing scheme for heterogeneous power wireless communication networks was proposed in which vertical slicing guarantees specific applications' quality and horizontal slicing improves efficiency and flexibility of system entities and terminal devices.

Key words: network slicing, mobile edge computing, radio access network, core network

1 引言

智能电网是传统电力网络和日新月异的信息通信技术的结合, 这种结合可以更有效地降低电力资源在传输、配送过程中的损耗, 实现分布式能源的部署和管理^[1]。从行业应用的角度来看, 电力系统已经构建了多个自动化生产控制系统, 如监测控制和数据获取系统 (supervisory control and data acquisition system, SCADA)、配电管理

系统 (distribution management system, DMS)、变压器控制和故障监测、智能电表等。然而, 这些相互间完全隔离的解决方案带来了电网二次设备 and 应用系统的碎片化, 导致后续技术升级改造的代价大, 缺乏协同效应, 也与国家电网公司提出的泛在电力物联网建设目标相距甚远。

从通信网络的角度看, 国家电网采用了多种有线和无线手段实现双向通信。有线通信手段包括: 电力线载波、线路租赁、自建光纤网络; 无

线通信手段包括：低功耗广域网接入、GPRS、LTE 和电力无线专网。无线通信的技术演进分为两个主要的方向，一个是通过向更高的频段迁移从而提高数据带宽，然而进一步提升空中接口侧的频谱效率变得越发困难，实用性也在不断下降；另一个是将整个网络分割成多个实际的或者虚拟的子网，每个子网服务于某个应用或者一个垂直行业，提升定制化的服务，优化网络整体的效率。在后 4G 和 5G 时代，无线网络的架构设计开始进行垂直切片，从而将巨大的、统一的移动通信网络切割成多个虚拟网络^[2-4]，每个虚拟网络以更高效的方式服务于一个垂直行业。电力无线通信网络也要适应这个技术趋势，革新其既有的通信和应用网络架构。

2 网络切片

网络切片利用虚拟化技术来分裂、重构、组织一个物理网络的计算和通信资源^[5]，从而灵活地支持各种不同的应用，一系列网络切片组成在逻辑上可以动态创建、配置和管理的端到端网络。

2.1 网络切片的概念

网络切片可以从两个维度进行阐述。在软件服务提供商看来，一个切片是属于不同终端用户的一组业务流，而且，一个终端用户可以参与多个切片^[6]。在这种方法中，流是一个最小的实体，它可以具有特定的服务质量（QoS）需求，并且是单个切片的成员。

从电信设备供应商和运营商的角度出发，网络切片被定义为自适应地分配给特定业务的网络资源子集，这些预留资源可以单独地配置和管理，运营商通过将一个物理网络分割成若干个逻辑网络。一个物理网络可以针对不同的应用场景提供按需定制的服务，并且可以根据相应的 QoS 要求动态高效地将网络资源分配给各个逻辑网络切片^[4]。

2.2 网络切片的实现

网络切片的实现取决于网络中的每个功能实

体，通常包含接入网切片和核心网切片，用户终端设备、接入网切片和核心网切片之间的映射关系可以一对一，也可以一对多。例如，用户设备可以接入多个接入网切片，接入网切片可以连接到多个核心网切片。5G 技术规范的定义中吸纳了网络切片的思想，已经定义了多个应用场景和系统架构^[2,4]，未来有望简化网络切片的实现。

在涉及的多个网络节点中，属于一个切片的应用实例可以看作是垂直切片，在某一个网络节点中，不同切片的实例划分可以看作水平切片^[7]。网络垂直和水平切片的示意如图 1 所示。网络的垂直切片和水平切片之间并没有明显的界限，两者共同支撑灵活的网络功能实现。

2.3 网络切片的支撑技术

软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）是近年来提出的构建虚拟化和云化移动通信系统的关键技术^[3,8-9]，此外，移动边缘计算（MEC）作为 5G 中的一项关键新兴技术，有望节省网络带宽、降低业务时延为低延迟数据通信服务^[3]。

（1）NFV 技术

NFV 主要由网络服务提供商推动，是未来 5G 基础设施的关键技术^[3,10]。NFV 将特定的网络功能从专用和昂贵的硬件平台剥离到通用的硬件之上，其目标是将网络功能虚拟化以便于在标准化的服务器上运行，或者是作为能够在这些服务器虚拟机上运行的软件应用程序，由此，网络运营商可以实现多种虚拟网络功能，并为未来的需求创建灵活可编程的网络^[11]。

（2）SDN 技术

SDN 主要由 IT 行业推动，用于数据中心和大型以太网的高效运行和管理。SDN 将网络的控制和数据转发功能相分离，网络控制功能可以作为应用程序独立运行在逻辑上的集中式控制器之中，其目标是通过软件 API 使控制平面可编程，以便为网络的部署、操作和管理带来灵活性^[9]。

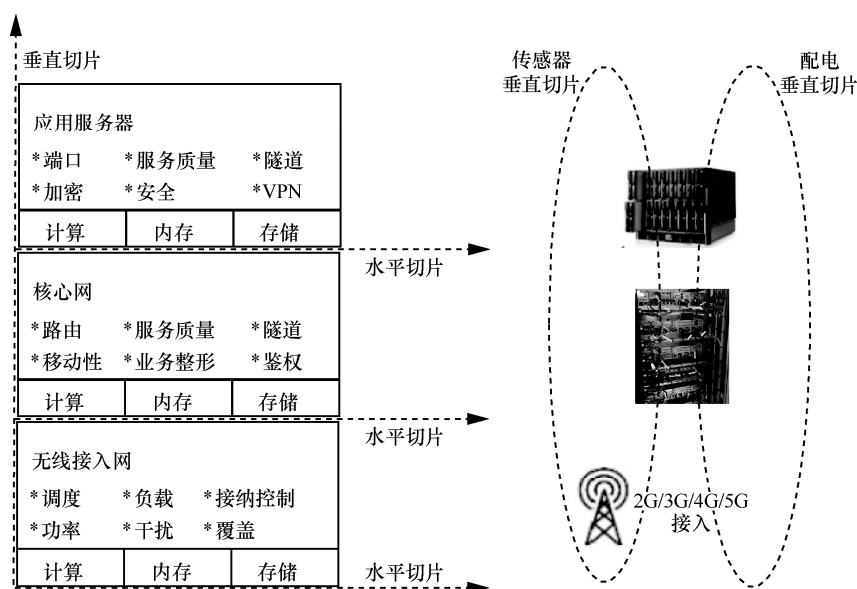


图1 网络垂直和水平切片示意

(3) MEC 技术

MEC 将计算、存储和网络资源从远程的公有云服务节点下沉到通信网络的边缘，由此移动客户端可以请求接入网内的虚拟资源，使得源地址和目的地址之间的通信链路变得更短，减少了网络中的信息传播量，降低了端到端的时延，最终提高了通信效率，为用户带来高质量的业务体验。边缘计算是通信和计算的融合，打破了传统的计算和通信技术间的界限。

3 电力通信网络切片的挑战

网络切片提供了一种有效的思路——在一个网络中支持具有不同需求的业务应用，然而，由于通信和应用系统的复杂性以及利用既有系统投资的必要性，对于在不同时期已建成多种通信网络的全国范围的电网来说，网络切片的实现变得非常困难。

3.1 垂直网络切片的挑战

多种无线接入技术在电力行业得到了应用，如 PLC、远程 LoRa、数据传输电台、2G、公共和专用 4G 网络。在公众移动通信网络方面，2G

数据模组在全国范围内广泛应用于智能电表系统，由于 2G 网络的覆盖逐步缩减，数据传输性能低，2G 数据模组逐渐被 4G 数据模组替代。对于使用到的公众移动通信网络，电网通常要求移动运营商提供高度定制的接入服务，这给实现完全的垂直分层带来了巨大困难。下面列出了多个技术解决方法，实际方案可能是多种方法的组合。

- 小区无线资源租赁：运营商为某些地区的电力相关业务预留无线链路传输能力。
- 专用 PLMN 分配：运营商为电力用户预留射频和基带单元能力。
- 专用接入点名称：运营商为电力服务提供高度定制化的空中链路和核心网络传输通道，无线资源由所有移动用户共享，有线资源和应用服务器由电力用户专用。

此外，国家电网公司于 1991 年在 230 MHz 频段获得了 40 个信道合计 1 MHz 的频率资源，单个信道宽度为 25 kHz，部分省电力公司利用 230 MHz 频段的数据传输电台构建了电力系统负荷控制网络。然而，单个信道的带宽仅为 25 kHz，无法实现高的数据传输速率。为此，国家电网公司基于

LTE 空中接口技术和 4G 核心网络架构开发了 230 MHz 专用无线通信系统 (230 系统), 不同于 LTE 在媒体介质层所实现的载波聚合, 230 系统实现多个 25 kHz 载波在物理层的聚合, 以满足 230 MHz 频段信道使用的规定。此外, 有些省电力公司在 1.8 GHz 频段建设了电力专用 4G 网络, 这些专用的 4G 网络依据所承载的电力服务进行参数配置, 在效率、可靠性和安全性上有优势。然而, 上述这些相互隔离的无线接入方式大大降低了网络支持不同业务的灵活性^[12]。

接入技术的多样性使得在电力通信网络中进行无线接入网切片的难度很大, 因此, 核心网是电力通信网络中垂直切片实现的关键。核心网切片需要把传统的移动性管理、会话管理、鉴权授权等功能细分为多个功能相对独立的小实体, 每种功能实体依据业务需求的不同又可以分为不同的小组件^[13]。然而, 电力行业内的业务彼此的需求差异巨大, 例如, 电网中的电能表和各种传感器的数据采集需要高可靠性、中等带宽和传输时延; 视频监控需要高带宽、低时延和小抖动; 电力系统负载控制需要低于 50 ms 的时延和高于 99.99% 的可靠性要求。

3.2 水平网络切片的挑战

电力业务的传统实现方式是条块分割的, 即不同业务系统内的终端设备与服务器彼此之间完全隔离, 所有的终端和服务器都是针对单个业务来设计的。国家电网公司现有包括智能电表、电力系统负荷控制等近 20 种服务系统, 大多数电力服务不能中断, 出于安全考虑又要求与互联网进行物理上的隔离。由于牵扯到太多技术和管理上的因素, 目前应用服务器系统技术升级改造的难度很大。

在终端设备上水平切片设计, 有助于将硬件与软件相分离, 实现终端功能的可配置。随着泛在电力物联网战略的实施, 利用 NFV 和 SDN 等虚拟化技术全新架构的多用途的融合终端正在

开发中。此外, 目前在用的智能电表系统中, 集中器通过本地通信单元采用 PLC 或 LoRa 方式将大量电表的相关应用层数据汇聚起来, 再通过远程通信单元 (2G 或 4G 模组) 传送到业务服务器, 而且, 集中器与业务服务器在应用层有协议数据交互, 实现了简单的边缘计算思想。最初的设计初衷包含 3 点, 一是在智能电表技术标准化与设备推广的当时, 移动模组的价格相对较高, 一个电表连接一个移动模块的系统成本太高; 二是大多数建筑物内的移动传输效果不佳, 而且电表通常安装在金属材质的表箱内; 三是当时运营商可供分配的 IPv4 地址不足, 无法支持近 4 亿个电能表的接入。

4 电力异构无线通信网络的切片策略

电力通信网络是异构的, 因此, 构建一个跨越极其广泛的通信模式和设备、易于管理维护的网络体系结构是网络切片策略研究的可行方向。

围绕电力系统负荷控制单元、电力施工现场监控终端、智能配电终端、智能电表以及电力传感器 5 种电力业务, 图 2 给出了一种电力异构无线通信网络的切片方案, 该在接入网和核心网采用了不同的垂直切片方法, 在引入的应用边缘网关和边缘物联代理网关中进行水平切片。5 种电力业务的 QoS 要求见表 1。

表 1 不同业务的服务质量要求

QoS 指标	现场监控	负荷控制	电能表	传感器	配电终端
带宽	4 Mbit/s	50 kbit/s	1 kbit/s	1 kbit/s	9.6 kbit/s
时延	200 ms	50 ms	3 s	5 s	1 s
可靠性	99.00%	99.99%	99.00%	99.00%	99.90%

在应用域搭建 6 个连接到应用边缘网关的服务器, 其中, 4 个服务器的工作方式与以往保持一致, 尽最大可能利用既有的系统, 两个传感器数据相关的服务器用于实现创新的物联网服务, 如: 重要电力设备的状态监测和预见性维护、电力业务



相关的数据挖掘等。而且，在物联网和大数据相关的新兴业务中采用新的应用层协议，如：轻量级物联网协议（LwM2M）和受限应用协议（CoAP）。

在应用边缘网关，通过运行于 Linux 操作系统之上的 Docker 虚拟化技术构建可以承载 5 个应用程序的容器环境，一方面共享网关硬件平台的计算、内存、存储和通信资源，另一方面，通过 Docker 搭建的容器环境更加轻量级和可移植^[8]，从而可借助于 Kubernetes（K8S）容器集群管理系统，实现容器集群的自动化部署、自动扩缩容、维护等功能。如图 2 所示，边缘网关中的 4 个应

用与对应的应用服务器有一对一的关系，而不同传感器业务由于数据传输要求接近，且采用了同一种通信协议，在边缘网关内部由一个应用来处理。

核心网域共有 9 个按服务类型进行划分的切片，其中，4 个切片在专用通信网络中定义，5 个切片在公网中定义。5G 增强移动宽带（eMBB）和超可靠超低时延通信（uRLLC）切片分别用于电网内的大带宽业务和超低时延、超高可靠性要求的控制类业务^[13]。

无线接入网域共有 8 个切片，其中，5 个切片

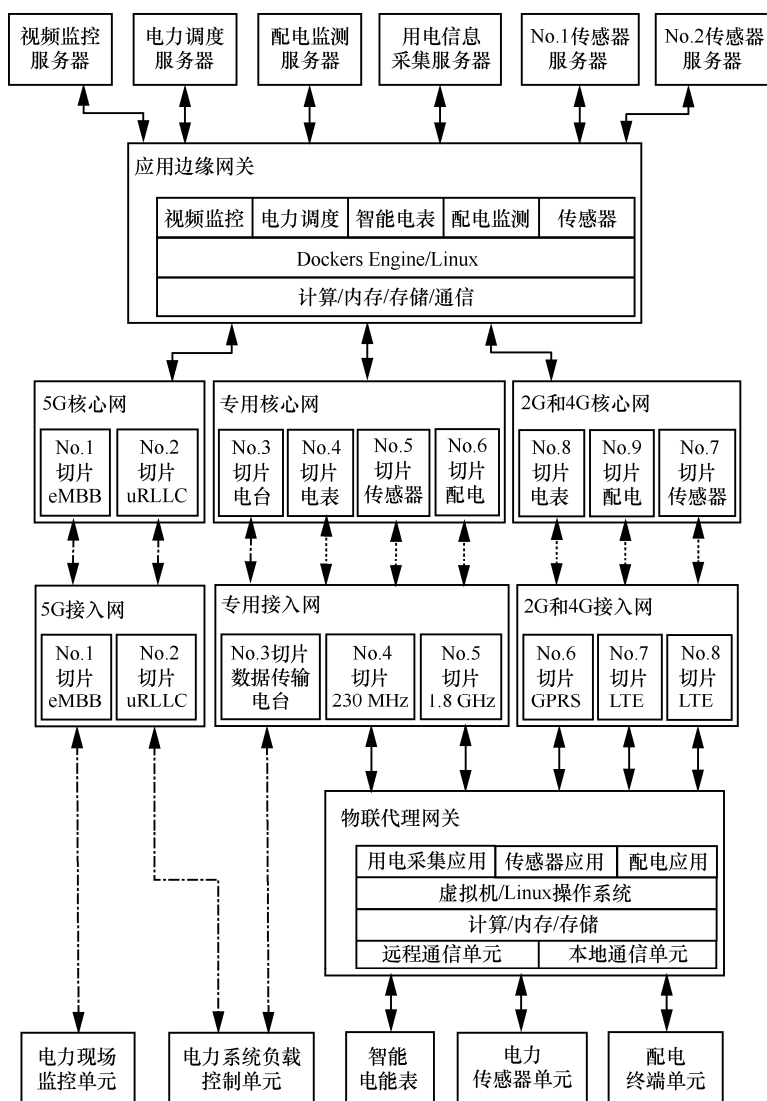


图 2 电力异构无线通信网络的切片策略

在公网中定义, 3 个切片在专网中定义。为了利用既有的系统, 数传电台的运行方式保持不变, 1.8 GHz 频段的 4G 专网或 230 MHz 系统承载 3 个业务, 不做进一步的区分。由于配电监测控制业务的相对重要性, 在公众 LTE 无线接入网络中设计了两个切片, 分别用于承载配电监测控制业务和传感器类采集业务; 电力现场监控业务需要高数据传输速率和稳定的低时延、低抖动来保证视频流的质量, 设计采用 5G eMBB 切片来承载; 电力系统负荷控制业务具有较高的可靠性和超低时延的要求, 设计采用 5G uRLLC 切片来承载。

边缘物联代理网关通过 Linux 操作系统上运行的虚拟机来实现 3 个业务应用程序的逻辑隔离, 每个业务实现各自的应用层协议, 即: 智能用电信息采集服务的 Q/GDW 1376.2, 用于配电自动化终端服务的 IEC 60870-5-104 和用于传感器终端的 LwM2M。智能电能表、电力传感器单元、配电终端单元 3 种设备通过物联代理网关的“本地通信单元”将数据传输到网关, 电网特有的本地通信环节选用 PLC 和 LoRa, PLC 可以避免开墙打洞的电缆敷设施工, 但需要应对电力线路上存在的大噪声, 因此, 选用 LoRa 作为 PLC 方式的补充。远程通信支持两种专网通信以及 2G 和 4G 移动数据通信, 具体采用哪种通信方式取决于代理网关的部署环境, 优先选用 230 MHz/1.8 GHz 的电力专网, 在专网没覆盖到的区域, 选用 4G 或者 2G 移动数据接入。边缘物联代理网关的本地和远程通信能力在不同的终端应用之间实现共享。

4.2 实验结果对比

为验证切片方案的可行性, 选用负荷控制、

电能表和配电终端各 5 个终端, 进行既有方案与切片新方案的传输效果统计分析。在新方案中, 负荷控制业务走 5G 传输通道, 通过应用边缘网关接入业务服务器, 电能表和配电终端在物联代理网关的远程通信单元走 230 MHz 专网传输通道, 本地通信单元走 PLC 通道, 分别统计 3 类业务各 20 万个数据分组的传输数据, 最终得出的时延和可靠性性能对比结果见表 2。统计结果表明, 两个方案下 3 类业务的传输性能都满足各自的 QoS 要求, 新方案下实现的 3 类业务的性能都略优于原有方案下的性能, 受益于 5G 的大带宽、高速率传输, 新方案下的负荷控制业务时延统计值大幅低于原有方案下的数值。上述实验结果对比表明本文提出的异构无线通信网络下的切片方案在技术上是可行的, 能够满足业务 QoS 需求。

5 结束语

本文通过对电力通信网络长期发展技术路线的尝试性探讨, 支撑国家电网公司提出的枢纽型、平台型、共享型的坚强智能电网和泛在电力物联网的建设目标。

参考文献:

- [1] KARNOUSKOS S. The cooperative internet of things enabled smart grid[R]. SAP Research, 2010.
- [2] 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.
WANG R, ZHANG K L. Survey of 5G network slicing[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2018, 38(5): 19-27.
- [3] 王庆扬, 谢沛荣, 熊尚坤, 等. 5G 关键技术与标准综述[J].

表 2 新旧方案下 3 种业务的服务质量统计结果

QoS 指标	负荷控制		电能表		配电终端	
	原方案	新方案	原方案	新方案	原方案	新方案
时延	49.8 ms	20.8 ms	2.947 s	2.896 s	0.989 s	0.979 s
可靠性	99.994%	99.995%	99.100%	99.200%	99.961%	99.981%



- 电信科学, 2017, 33(11): 112-122.
- WANG Q Y, XIE P R, XIONG S K, et al. Key technology and standardization progress for 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(11): 112-122.
- [4] ZHANG S L. An overview of network slicing for 5G[J]. IEEE Wireless Communications, 2019, 26(3): 111-117.
- [5] ICHART M, BALIOSIAN J, SERRAT J, et al. Resource slicing in virtual wireless networks: a survey[J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2016, 13(3): 462-476.
- [6] MINAMI Y, TANIGUCHI A, KAWABATA T, et al. An architecture and implementation of automatic network slicing for microservices[C]//IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium, April 23-27, 2018, Taipei, China. Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-4.
- [7] LI X, SAMAKA M, DEVAL B, et al. Network slicing for 5G: challenges and opportunities[J]. IEEE Internet Computing, 2017, 21(5): 20-27.
- [8] JOSE O L, PABLO A, JESS F. Network slicing for 5G with SDN/NFV: concepts, architectures and challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(5): 80-87.
- [9] WANG S Q, LIU B, FENG Y. Design of multi-service network slicing scheme based on SDN/NFV[C]//IEEE Conference on Sensor Networks and Signal Processing, April 11-13, 2018, Porto, Portugal. Piscataway: IEEE Press, 2018: 344-351.
- [10] WEN R H, FENG G, TANG J H, et al. On robustness of network slicing for next-generation mobile networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2019, 67(1): 430-444.
- [11] 徐一凡, 孟旭东. 5G 网络切片中的虚拟网络功能管理器映射算法[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(3): 41-46.
- XU Y F, MENG X D. Virtual network function manager mapping algorithm in 5G network slice[J]. Computer Technology and Development, 2019, 29(3): 41-46.
- [12] KSENTINI A, NIKAEIN N. Toward enforcing network slicing on RAN: flexibility and resources abstraction[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(6): 102-108.
- [13] CHOI Y, PARK N. Slice architecture for 5G core network[C]//IEEE Conference on Ubiquitous and Future Networks, July 4-7, 2017, Milan, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2017: 571-575.

[作者简介]



甄岩 (1982-), 男, 博士, 北京智芯微电子科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网、电力自动化设备设计。



余梦月 (1972-), 女, 北京智芯微电子科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为电力自动化设备设计。



赵海波 (1978-), 男, 博士, 北京智芯微电子科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为移动通信、电力终端设计。