

基于5G网络切片的电力物联技术

Research and Application of Power IoT Technology Based on 5G Network Slicing

研究与应用

李欢¹,薛大欢²,孟凡博³,杨鸿宾²,郝婧⁴(1. 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院,辽宁 沈阳 110006;2. 中国联通智能网络创新中心,北京 100048;3. 国网辽宁省电力有限公司,辽宁 沈阳 110004;4. 北京电信规划设计院有限公司,北京 100048)
Li Huan¹,Xue Dahuan²,Meng Fanbo³,Yang Hongbin²,Hao Jing⁴(1. Electric Power Research Institute of State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110006, China; 2. China Unicom Intelligence Network Innovation Center, Beijing 100048, China; 3. State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110004, China; 4. Beijing Telecom Planning & Designing Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

首先介绍了5G网络特点和电网行业发展对通信的新要求,其次结合电网特点,重点研究5G网络切片的架构设计、能力开放和安全隔离分区,开展了低时延高可靠的负荷控制、大带宽的视频监控、海量连接的智能电表等电力业务场景的试点测试与应用验证工作。最后,对5G在智慧电网的阶段性应用成果进行总结并展望其发展。

关键词:

5G;智慧电网;切片配置;安全分区;业务测试
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2020.07.006
文章编号:1007-3043(2020)07-0027-06
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Firstly, the characteristics of 5G network and the new requirements of the power grid industry for communications are introduced, secondly, combined with the characteristics of the power grid, it focuses on the architecture design of 5G network slice, open capacity and secure isolation partition, the pilot test and application verification of power business scenarios, such as low-time-delay and high-reliability load control, large-bandwidth video monitoring and smart meters of massive connections, etc. are carried out. Finally, the phased applications of 5G in smart power grid are summarized and its development is forecasted.

Keywords:

5G; Smart grid; Slicing configuration; Security zoning; Business testing

引用格式:李欢,薛大欢,孟凡博,等. 基于5G网络切片的电力物联技术研究与应用[J]. 邮电设计技术,2020(7):27-32.

0 引言

5G已成为全球新一轮科技革命和产业变革的核心技术之一,是实现国家数字化、智能化、“万物互联”的战略性通信基础设施。为满足5G垂直行业的三大需求,国际电联(ITU)提出了IMT-2020(即5G,也称为NR)愿景,确立了三大场景增强移动带宽(eMBB)、超可靠低时延通信(uRLLC)、大规模机器类通信(mMTC),在实现移动通信技术新跨越的同时,将移动

通信能力从消费级向工业级延伸,推动产业转型升级。2020年3月4日中央政治局常务委员会会议指出,加快5G网络、数据中心等新型基础设施建设进度,将信息技术、智能技术、新能源技术等各类新兴技术广泛渗透到各个领域,推动经济社会高质量发展,人类社会正在进入一个全面感知、高速传输、智能处理的万物智联的新时代。

智能电网将向海量连接、安全高效、末梢延伸发展,将面临更加复杂的严峻挑战。传统配网采用过流保护,停电影响范围大,无法精准排查,急需提升供电可靠性,实现配网故障精准定位。目前主网已实现光

收稿日期:2020-05-28

纤覆盖,但是电网末梢神经的配网^[1]处于“盲调”状态,因为数量大,光纤很难全覆盖,成本高时间长维护难。智能分布式配网差动保护、配电网同步相量测量PMU,对无线移动通信要求非常高,平均时延在15 ms以内,授时小于1 μs,可靠性99.999%,迫切需要构建经济灵活、双向实时、安全可靠、全方位覆盖的“泛在化、全覆盖”终端通信接入网。5G通信技术的eMBB、mMTC、uRLLC三大特征及其“网络切片”技术有望适配数字电网建设的需求,成为电力通信专网^[2]的补充,有效解决智能配电网及智能巡检等无线通信业务“卡脖子”问题。

1 面向电网业务应用场景

电力行业无线通信应用场景总体上可分为控制、采集两大类。其中,控制类包含智能分布式配电自动化、用电负荷需求侧响应、分布式能源调控等;采集类主要包括高级计量、视频监控、配网状态监测等^[3]。对于控制类业务场景,当前整体通信特点为采用子站/主站的连接模式^[4],星形连接拓扑,主站相对集中,一般控制的时延要求为秒级。未来随着智能分布式配网终端的广泛应用,连接模式将出现更多的分布式点到点连接,随着用电负荷需求侧响应、分布式能源调控等的应用,主站系统将逐步下沉,出现更多的本地就近控制,且与主网控制联动的需求,时延需求将达到毫秒级。

对于采集类业务场景,当前基本按照月、天、小时为单位采集,未来为满足负荷精确控制,用户实时定价等应用的发展,采集频次将趋于分钟级,达到准实时能力。另外,当前采集类业务主要以基础数据、图像为主,码率为100 kbit/s级。随着智能电网、物联网的迅速发展,采集对象将扩展至电力二次设备及各类环境、温湿度、物联网、多媒体场景,连接数量预计至少翻1倍;中远期若在产业驱动下,集抄方式下沉至用户,采集内容将深入到户内用电设备的信息,连接数预计翻50~100倍;另外,采集内容亦从原有的简单数据化趋于视频化、高清化,尤其在无人巡检、视频监控、应急现场自组网综合应用等场景将出现大量高清视频的回传需求,局部带宽需求在4~100 Mbit/s级。随着家庭能源管理应用的推广,通过智能电表实现家电用电信息采集;通过智能交互终端,以APP的方式,给用户实时电价和用电信息,实现对用户室内用电装置的负荷控制等各类互动服务与电力增值服务

功能,达到需求侧管理的目的,表1给出了5G技术三大特性在电网业务的典型应用场景^[5]。

表1 5G技术在电网业务的典型应用场景

业务场景	通信时延要求	带宽要求	可靠性要求	业务隔离要求	业务优先级要求	网络场景类型
智能分布式配电自动化	中高	中高	高	高	高	uRLLC
毫秒级精准负荷控制	中高	低	高	高	中高	uRLLC
低压用电信息采集	高	中高	高	中	中	mMTC
分布式电源	高	中低	中高	低	中低	上行:mMTC 下行:uRLLC
电力巡检机器人	低	高	中高	低	中	eMBB

2 5G切片赋能电网业务

2.1 电网5G切片架构设计

5G网络切片面向电力等特定行业业务需求,具备“端到端网络保障SLA、业务隔离、网络功能按需定制、自动化”的典型特征,动态分配网络资源,满足差异化SLA(Service Level Agreement)、自动化按需构建相互隔离的网络要求,实现多域之间的协同^[6]。采用基于服务化的架构设计,重构软件架构^[11],形成5G网络端到端可编排的能力,为不同的电力业务应用构建网络实体、逻辑上相互隔离的专用网络,确保不同的切片之间电力业务互不干扰。5G网络切片可向电网用户按需提供定制化的网络服务,可对网络进行一定的可视化操作管理。每类切片可按需构建多个网络切片实例,电网企业可根据切片运行的状态及业务需求,为所属各单位提供差异化的电力业务网络切片服务^[8]。基于电力行业的需求和网络切片技术,面向电力的端到端5G切片赋能电网架构如图1所示。

2.2 电网5G切片能力开放

电力业务网络切片由公网运营商向电网企业提供切片订制的可选菜单,运营商将电力的业务订购,转换成网络语言进行切片部署,切片部署的过程对电网企业是透明的,且公网运营商可把切片的实时运行状态(如基础资源运行状态、业务关键指标、异常告警信息等)开放给电网企业,电网企业可根据切片运行状态及不同分区的业务需求,进行高强度的安全隔离,定制化分配资源,提供差异化切片服务,从而形成电力行业切片运行闭环管理^[7]。运营商可向电力行业用户开放的切片管理能力包括切片按需定制、切片规

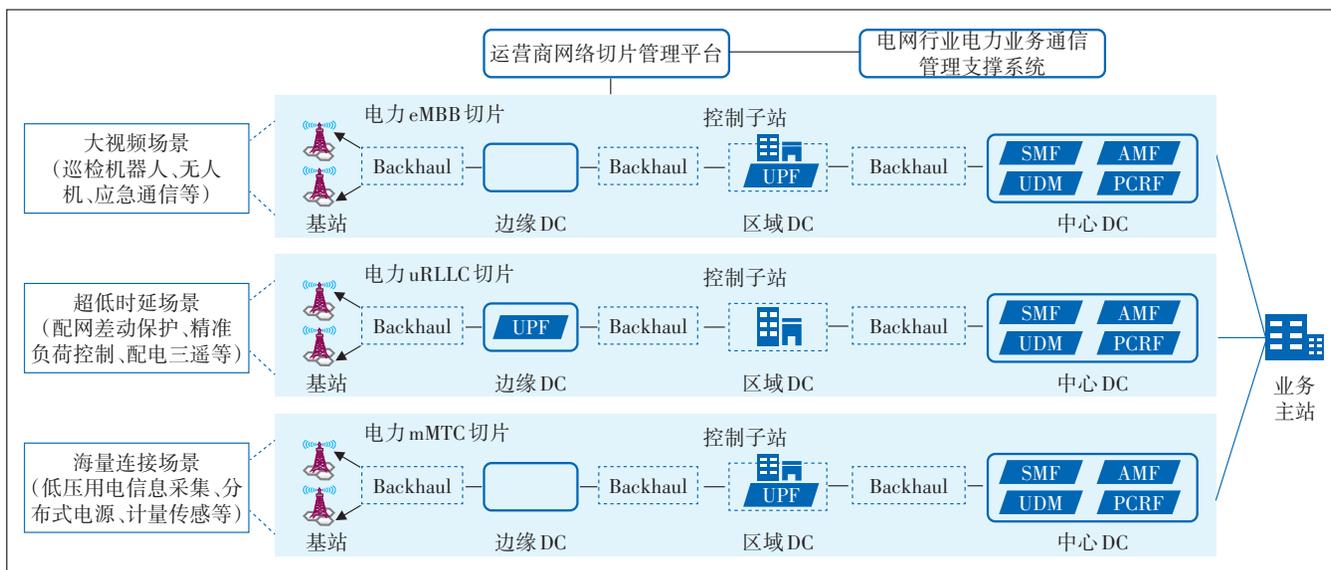


图1 5G切片赋能电网架构图

划部署和切片运行监控3个方面,电网企业可按需扩展自定义切片类型,以区分不同分区业务或有特殊管理需求的业务,通过切片5QI软隔离和硬隔离保证不同电力业务的高安全性^[9]。图2为电力业务5G网络切片能力开放架构图。

2.3 5G切片电力业务安全分区

电网行业有两大类典型的5G切片业务需求,以配电网自动化三遥、精准负荷控制为代表的工业控制类业务,对应超高可靠低时延通信(uRLLC)典型切片,属于生产控制大区切片。以用电信息采集、分布式电源、无人机远程巡检为代表的信息采集类业务,对应增强移动带宽(eMBB)、大规模机器类通信(mMTC)典型切片,属于管理信息大区切片^[12]。5G网络切片电力业务安全分区运行,可实现基于5G切片端到端物理隔离专

用网络,高电磁复杂环境“生产级”网络安全可靠连接,有效支持大规模配电网自动化、低压集抄、分布式接入等场景灵活部署要求,达到端到端网络时延 ≤ 15 ms,网络授时精度 $< 10 \mu\text{s}$ 的效果,图3为5G网络切片实现电力业务安全分区拓扑图。

3 5G电网试点及应用验证

5G为电网行业提供按需定制、安全隔离、高可靠性的专用网络,5G网络切片将一张物理网络通过软硬件分离成多张虚拟逻辑网络,以满足5G电网不同业务的需求,实现电网用户网络切片的设计、部署和运维。基于同电网用户签订的SLA (Service level Agreement)业务服务协议,为电网行业不同业务提供相互隔离、功能可定制的网络服务。5G网络切片是由网络功

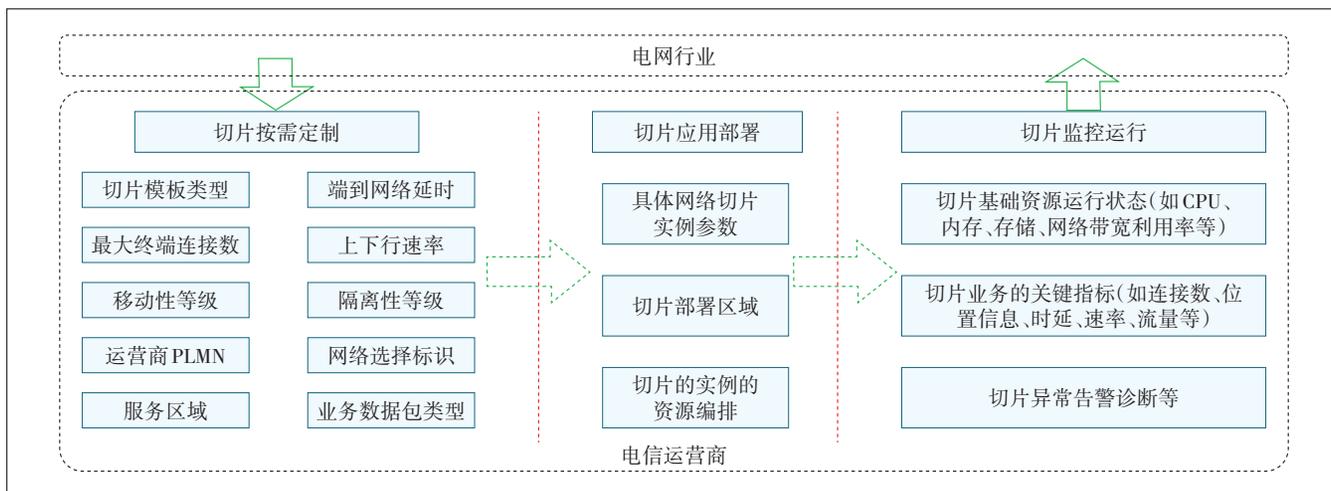


图2 电力业务5G网络切片能力开放架构图

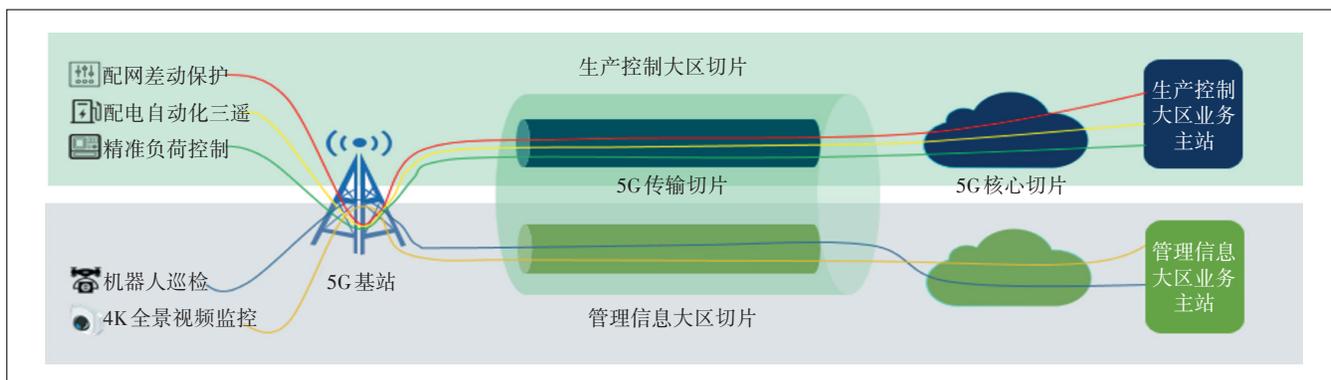


图3 5G网络切片实现电力业务安全分区拓扑图

能和所需的物理/虚拟资源的集合,需穿透接入网、承载网、核心网3层网络,5G网络切片端到端配置方案如图4所示。

3.1 5G基站无线侧切片配置

在PDP激活时核心网把QCI信息发送给eNB,eNB通过配置将QCI与DSCP/VLAN优先级映射,eNB根据nextHop打VLAN tag。

- eNB根据NextHop配置2个不同优先级的VLAN,分别到2个不同的DGW。
- 配置QCI到DSCP的映射。
- 配置DSCP到VLAN优先级的映射。
- 打开基于QCI的QoS控制算法。

3.2 5G承载网传输侧切片配置

a) 传送网侧不同的切片业务占用不同的L3 VPN通道:在ATN980B侧创建VLAN子接口用于基站接入;CX600-X8A侧创建VLAN子接口与数据中心网关互联,并创建到云核网元的静态路由。

b) 基站侧不同的切片业务根据NextHop配置2个不同优先级的VLAN,在接入侧进入到不同的L3

VPN。

c) 云核心网侧,2个UPF分属不同的VPC,分别在VPC-GW配置到基站的静态路由。

d) 传送网通过QoS优先级调度保障高优先级业务的带宽;承载网络受限于现网软硬件版本,只能采用上述软切片方案;升级现网设备后,可以支持Flex-Eth等硬切片方案。

3.3 5G SA核心网切片配置

a) 在AMF和SMF上分别配置I/II区业务和III/IV区业务QoS信息(或者使用签约数据)。

b) SMF1上配置I/II区业务DNN,用于SMF基于DNN选UPF、地址池绑定等。

c) SMF1上配置III/IV区业务DNN,用于SMF基于DNN选UPF、地址池绑定等。

d) UDM上配置CPE1和CPE2的DNN签约数据(含QoS信息)。

e) 配置UPF和eNB的N3接口的IP链路信息(传输基础配置)。

f) UPF1配置连接I/II区业务服务器的传输配置。

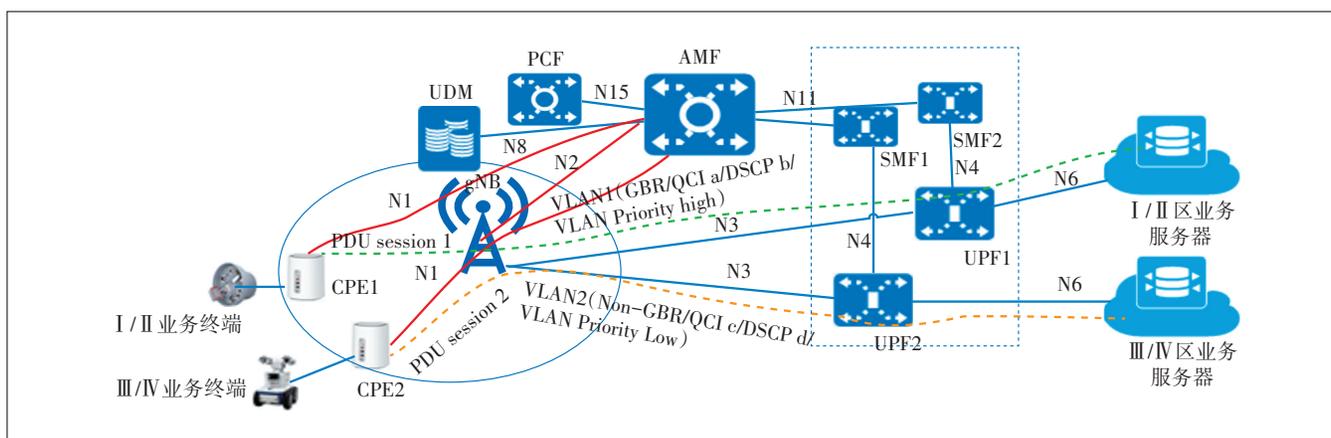


图4 支撑电力5G SA网络切片端到端配置方案

g) UPF2配置连接III/IV区业务服务器的传输配置。

根据5G网络R15标准进展,采取eMBB标准协议作为5G三大场景切片设计基础,选取低时延高可靠、广覆盖大连接、大容量高带宽的3类应用场景典型业务,从带宽、时延、安全可靠、接口等维度分析其通

信需求,验证电力业务场景下5G网络带宽、时延、容量等网络性能指标,基于电力业务切片方案,验证5G网络业务适配性和业务承载性能,实现各类终端设备的泛在接入、智能化应用,图5为电网业务5G端到端切片测试拓扑图。

3.4 应用验证

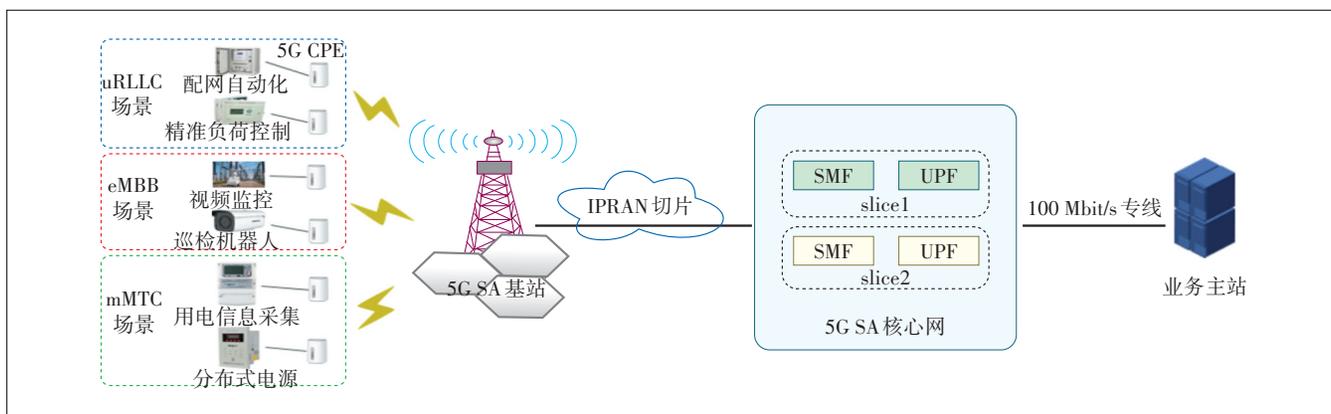


图5 电网业务5G端到端切片测试拓扑图

3.4.1 负荷控制等低时延高可靠场景应用

配电自动化业务主要实现配电网检测、控制和快速故障隔离,缩短断电恢复时间,提高电网可靠性^[13]。精准负荷控制业务主要用于在电网故障时,为保证电网系统中负荷平衡,优先切除可中断的用电负荷(例如暖通、室内照明),以保障不可中断负荷(如医院、工厂用电)的正常工作。针对5G低时延超高可靠(uRLLC)类应用场景,分别选取配网自动化、精准负荷控制2个典型业务,从上下行峰值速率、容忍最大时延和可靠性等维度分析业务需求,提出5G端到端uRLLC网络切片方案和试验验证方案,开展面向5G uRLLC场景下的业务验证研究。uRLLC场景下5G切片端到端测试结果如表2所示,结果表明,5G技术可以很好地满足负荷控制等低时延超高可靠场景的指标要求。

3.4.2 视频监控等大带宽场景应用

巡检机器人主要用于对变电站、配电房等关键电力设备的巡视工作,实现无人值守^[15]。视频监控主要针对配电网重要节点(开闭站)的运行状态、资源情况进行监视,减少人工巡检的任务量。针对5G大容量高带宽(eMBB)类应用场景,分别选取智能巡检、视频监控2个典型业务,从网络带宽、时延、视频流畅度、画面清晰度等维度分析需求,提出5G端到端网络切片方案和试验验证方案,开展面向5G eMBB场景下的业务验证工作。eMBB场景下5G切片端到端测试结果如

表2 uRLLC场景下5G切片端到端测试结果

电力业务	要求指标	测试结果
配网自动化	<ul style="list-style-type: none"> 可靠性要求:遥控成功率≥98%,遥信动作正确率≥95% 上下行峰值速率要求:单终端(光纤专网)≥19.2 kbit/s,其他方式≥2.4 kbit/s 容忍最大时延要求:遥控<2 s,遥信<60 s,遥测<30 s 	<ul style="list-style-type: none"> 可靠性测试:遥控成功率100%(100次),遥信动作正确率100%(100次) 上下行速率测试:下行速率测试(光纤专网)≥19.2 Mbit/s,上行速率69.7 Mbit/s 集中式配网业务时延测试:遥控时延15.3 ms,遥信时延530.7 ms,遥测时延4.6 s
精准负荷控制	<ul style="list-style-type: none"> 可靠性要求:99.999% 时延要求:通信端到端时延小于50 ms(单向) 	<ul style="list-style-type: none"> 可靠性测试:100%(100次) 业务端到端时延测试:遥控时延23.8 ms,遥信时延10.8 ms,遥测时延11.3 ms

表3所示。结果表明,5G技术可以很好地满足视频监控等大带宽传输场景的指标要求。

3.4.3 智能表计等海量连接场景应用

用电信息采集是对居民、专变、台区等用电信息的采集、处理和管理,分布式电源主要包括风电、光伏、电动汽车充电站、储能设备等^[14]。针对5G广覆盖大连接(mMTC)类应用场景,分别选取用电信息采集、分布式电源接入2个典型业务,从上下行峰值速率、容忍最大时延和可靠性等维度分析业务需求,提出5G端到端mMTC网络切片方案和试验验证方案,开展面向5G mMTC场景下的业务验证研究。mMTC场景下5G切片端到端测试结果如表4所示。结果表明,5G技术

表3 eMBB场景下5G切片端到端测试结果表

电力业务	要求指标	测试结果
巡检机器人	巡检图像传输速率2 Mbit/s以上,遥控操作速率100 kbit/s以内,实时性、可靠性要求较高,一般时延小于300 ms,可靠性99.99%	<ul style="list-style-type: none"> •巡检机器人测试:服务器下发指令和执行动作正常,可见光和热成像视频流畅、画面清晰、时延小、无卡顿,可靠性100% •VR远程巡检测试:分辨率4K,码流20 Mbit/s,上传视频流畅、清晰度高 •AR现场巡检测试:时延在100 ms以内,音视频(720P)交互音质好、画面流畅,可以实现实时截图、标记等功能
视频监控	每路普清视频传输速率要求大于2M,每路高清视频传输速率要求大于4M,下行云台控制信息传输速率一般小于10 kbit/s	摄像头分辨率1080P,带宽最大8M,4路并发32M上传,下发指令正常,视频清晰,不卡顿

表4 mMTC场景下5G切片端到端测试结果表

电力业务	要求指标	测试结果
用电信息采集	<ul style="list-style-type: none"> •可靠性要求:遥控正确率≥99.99%;一次采集成功率≥97% •上下行峰值速率要求:用电数据采集业务约1.05 kbit/s,负荷控制业务约2.5 kbit/s •容忍最大时延要求:系统控制操作响应时间≤5 s 	<ul style="list-style-type: none"> •可靠性测试:遥控正确率100%(100次),一次采集成功率100%(100次) •上下行速率测试:下行速率563.8 Mbit/s,上行速率65.2 Mbit/s •时延测试:费控操作响应平均时延114.1 ms
分布式电源接入	<ul style="list-style-type: none"> •可靠性要求:三遥正确率≥99.999%,在线率100% •上下行峰值速率要求:用电数据采集业务约2 Mbit/s,远程控制业务约50 kbit/s •低时延要求:上行数据采集≤5 s,下行控制流≤1 s 	<ul style="list-style-type: none"> •可靠性测试:三遥正确率100%(100次),在线率100%(72 h内) •上下行峰值速率测试:上行用电数据采集≥80 Mbit/s,下行远程控制速率≥500 Mbit/s •时延测试:上行数据采集达到秒级,下行控制流毫秒级

可以很好地满足智能电表等海量终端连接的指标要求。

4 发展展望

5G切片在智能电网的应用探索,从技术到业务等方面取得了应用成果。5G为电网提供了一张灵活调度的专用网络,提供高强度安全隔离和定制化资源保障。相比于以往移动通信技术,5G有望解决电网末端海量终端接入的通信“卡脖子”问题,能更好地满足电网业务的安全性、可靠性和灵活性需求,为电力行业提供了新的无线接入方式,同时为运营商开启了2B业务探索。5G时代有助于电网数据收集更快,异步处理更加便捷,为电网AI技术大规模应用提供海量数据分析和小样本处理成为了可能。目前5G智能电网应用仍处于起步阶段,后续将开展5G内嵌式模块和

外置式终端与电力业务终端的适配工作,继续研究5G基站直接向电力设备终端授时技术和配网差动保护低时延无抖动的网络技术,打造电力物联网业务管理支撑平台,实现电网差异化的网络切片服务,提升对通信业务的可管可控能力,加快推进电网数字化建设和转型。

参考文献:

- [1] 李勋,龚庆武,乔卉,等. 物联网在电力系统的应用展望[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(22):232-236.
- [2] 郭昊坤. 电力系统通信技术发展现状综述与展望[J]. 电子元件与信息技术,2017,1(6):5-10.
- [3] 华为技术有限公司. 5G时代十大应用场景白皮书[EB/OL]. [2020-04-13]. <https://www.huawei.com/cn/industry-insights/outlook/mobile-broadband/insights-reports/5g-unlocks-a-world-of-opportunities>.
- [4] 陈天超. 物联网技术基本架构综述[J]. 林区教学,2013(3):64-65.
- [5] 王毅,陈启鑫,张宁,等. 5G通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望[J]. 电网技术,2019,43(5):1575-1585.
- [6] Policy and charging control framework for the 5G System (5GS): 3GPP TS 23.503[S/OL]. [2020-04-13]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [7] SHAFI M, MOLISCH A F, SMITH P J, et al. 5G: a tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(6): 1201-1221.
- [8] 夏旭,朱雪田,邢燕霞,等. 网络切片让5G多场景应用成为可能[J]. 通信世界,2017(27):48-49.
- [9] 张平,陶运铮,张治. 5G若干关键技术评述[J]. 通信学报,2016,37(7):15-29.
- [10] 项弘禹,肖扬文,张贤,等. 5G边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学,2017,33(6):54-63.
- [11] 毛斌宏. 5G网络切片管理架构设计探讨[J]. 移动通信,2018,42(10):13-18.
- [12] 中国电信,国家电网,华为. 5G网络切片赋能智能电网[R]. 2018.
- [13] 曹津平,刘建明,李祥珍. 面向智能配电网的电力无线专网技术方案[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):76-80,133.
- [14] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等. 从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化,2014,38(15):1-11.
- [15] 王坤. 5G时代物联网技术在电力系统中的应用[J]. 通信电源技术,2018,35(5):187-188.

作者简介:

李欢,工程师,硕士,主要从事电力通信研究工作;薛大欢,工程师,硕士,主要从事5G技术、电网产品研发工作;孟凡博,高级工程师,博士,主要从事电力通信研究工作;杨鸿宾,高级工程师,博士,主要从事新一代移动通信新技术研究工作;郝婧,工程师,硕士,主要从事移动信息化咨询、设计等研究工作。