



5G 在能源互联网应用的 分析和思考

5G Application in Energy Internet

夏旭 /XIA Xu, 朱雪田 /ZHU Xuetian

(中国电信研究院, 北京 102209)
(China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China)

摘要: 能源互联网将是产业互联网的最重要应用领域之一。当前, 在能源的数字化和互联网化的生产、传输、分配和使用的全环节中, 5G 给能源互联网带来了创新的解决方案。能源行业正在经历着新一轮的变革, 在新一代信息通信技术的融合下, 能源行业不仅更加清洁、绿色, 而且将变得更加智能、高效。通过 5G 技术持续增强电网产业和关联企业活力, 可有效提升效率和降低成本, 促进智慧能源系统和电力领域数字经济跨越式发展, 极大拓宽电网生态圈内各方的发展空间, 并有望带来下一波智能电网功能和效率提高。

关键词: 5G; 能源互联网; 泛在电力物联网; 智能电网; 网络切片

Abstract: Energy Internet will be one of the most important application fields of industrial Internet. In the whole digital and internet process in the production, transmission, distribution and application, 5G can bring innovative solutions to the energy source Internet. At present, the energy industry is undergoing a new round of changes. With the integration of the new generation of information and communication technology, the energy industry will be cleaner and greener, more intelligent and efficient. By using 5G to enhance the vitality of power grid industry and associated enterprises, the efficiency can be effectively improved and costs can be reduced, which promote the leapfrog development of smart energy system and digital economy in the power field, and greatly expand the development space of all parties in the power grid ecosystem. And it is expected to bring the next wave of smart grid function and efficiency improvement.

Keywords: 5G; energy Internet; ubiquitous power Internet; smart power grid; network slicing

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906005

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20191219.1517.004.html>

网络出版日期: 2019-12-19

收稿时间: 2019-10-17

与 4G 技术等传统意义上的通信网络有所不同, 5G 技术是一个全面深入的融合网络技术, 代表着对现有技术的融合以及新技术集成接入后的总称。5G 融合网络通过移动通信技术的不断革

新发展和更高标准的制定达到无线网络系统的高级别新型网络质量目标, 满足人们对于移动通信网络更高层次的需求, 使人与人、人与物、物与物更加安全、快捷、高速地连接在一起。在以能源互联网为代表的产业互联网时代, 信息化正在开启以数据的深度挖掘和

融合应用为主要特征的智能化阶段, 这也与 5G 技术发展相契合。以 5G 为代表的先进信息通信技术在能源互联网具有广阔的应用前景。能源互联网与 5G 网络的深度结合, 尤其是电信运营商通信网络能力进行深度融合, 形成电网与电信的优劣势互补, 有效促进资源集

基金项目: 国家科技重大专项 (2017ZX03001013)

约化利用,将传统电网转变为能源信息枢纽,创建能源与信息共享互济、融合创新的新业态^[1]。

1 能源互联网的发展趋势和挑战

在能源互联网中,通信技术是能源合理调配的前提和实现保障,能够促进未来新应用和服务的产生。随着各领域新技术的快速发展,能源互联网在发展、建设过程中遇到了一些新趋势和新机遇,为能源互联网的建设带来了一些列全新的挑战^[2]。

(1) 新能源。为应对全球变暖,实现可持续发展,迫切需要发展可再生能源发电。可再生能源发电的大量并网将给电网运行、管理带来新的挑战:一方面,可再生能源发电的间歇性、随机性特点,给电网功率平衡、运行控制带来困难;另一方面,分布式能源(DER)的深度渗透使配电网由功率单向流动的无源网络变为功率双向流动的有源网络。

(2) 新用户。随着新能源汽车的快速发展,电动车充电容量需求十分客观,为更好地对需求侧进行管理(例如削峰填谷),用电管理可以采用新的模式。例如,充电车可以由传统的在设备接通时用电,转变为充电时间可选的互动式用电。

(3) 新要求。新设备新场景的出现对用电质量提出更高的要求。例如,一些高科技数字设备要求供电的“零中断”。另一方面,从电网运营角度对资产利用效率的

要求也在逐步提高,如提高设备利用率,减低容载比,减少线损等,需要对电网的负荷与供电进行更精确的调整。

(4) 新业务。在能源互联网中,随着分布式能源接入、电动汽车服务、用电信息采集、配电自动化、用户双向互动等业务快速发展,各类电网设备、电力终端、用电客户的通信需求爆发式增长,各种传感器组成的无线传感器网络需要服务无处不在的采集、传输,迫切需要实时、稳定、可靠、高效的新兴通信技术及系统支撑,新的电力服务和交易平台更需要优质网络保证。

2 5G 在能源互联网的应用分析

能源互联网作为典型的垂直行业的代表,对通信网络提出了新的业务需求。能源互联网业务的多样性决定了其通信网络需要支撑功能灵活、可编排、高可靠高隔离、毫秒级超低时延等拥有极致通信能力的网络。5G 由于具备“低时延、高可靠、大连接、高安全”等优势,有希望成为能源互联网的重要通信手段之一。5G 系统的增强移动宽带(eMBB)、高可靠低时延通信

(uRLLC)、海量机器类通信(mMTC)3大基础能力将有助于激发电力运行新型作业方式和用电服务模式,实现电网业务智能化升级,促进电力新兴业务发展。

从能源互联网业务特征和业务属性来看,能源互联网在5G典型应用场景主要分为以下2大类(具体如表1所示):

(1) uRLLC 工业控制类业务,具体可包括智能分布式配电自动化、毫秒级精准负荷控制。

(2) mMTC 信息采集类业务,具体可包括低压用电信息采集、智能分布式电源。

在这2大类最典型的5G能源互联网应用之外,还存在着eMBB和专网基础通信业务等5G需求^[3]。

2.1 5G 网络切片

5G 推出网络切片来应对垂直行业多样化网络连接需求。5G 网络切片能够为不同垂直行业提供差异化、相互隔离、功能可定制的网络服务,实现客户化定制的网络切片的设计、部署和运维,在功能场景和设计方案可进行独立裁剪。5G 网络切片是在一个通用硬件基础上虚拟出多个端到端的网络,每

▼ 表1 5G 网络切片匹配智能电网不同业务场景需求

业务场景和 5G 要求	通信时延	可靠性	带宽	终端量级	业务隔离	业务优先级	业务类型
智能分布式配电自动化	*****	*****	*	***	*****	*****	I
毫秒级精准负荷控制	*****	*****	**	***	*****	*****	I
低压用电信息采集	*	***	***	*****	*	***	II
智能分布式电源	****	*****	*	*****	***	**	II (上行) +I (下行)

mMTC: 海量机器类通信 uRLLC: 高可靠低时延通信
注: * 表示要求等级, I/II 分别针对 uRLLC 和 mMTC

个网络具有不同网络功能, 适配不同类型服务需求。5G 网络切片具备了“端到端网络保障服务等级协议 (SLA)、业务隔离、网络功能按需定制、自动化”的典型特征, 它能使通信服务运营商动态的分配网络资源、提供网络即服务 (NaaS), 同时也为行业客户带来更敏捷的服务、更强的安全隔离性和更灵活的商业模式^[4-6]。

5G 网络切片具体包括切片设计、部署使能、切片运行、闭环优化、运维、能力开放等。为了保证切片敏捷的特征和业务独特性, 切片可以实现定制化设计, 包括切片的模版设计 (GST) 和实例化设计。模版设计阶段通过通信服务管理功能 (CSMF)、切片管理功能 (NSMF) 和子切片管理功能 (NSSMF) 进行协同 (能力通报、能力分解和能力匹配)。如表 2 所示, 我们组装出一个端到端切片的模板, 在测试床对模板进行验证, 以保证其能够达到预想的网络能力。在切片实例化设计阶段, 需要根据具体订单需求触发: 当租户需要使用网络切片时, 可以选用预置的切片模板或进一步定制的模版, 并通过 CSMF、NSMF 和 NSSMF 逐

层确认部署信息, 如表 2 中进行的实例化部署, 则产生一个可用的切片网络^[4-6]。

2.2 5G 及电力切片应用实践

基于泛在电力物联网的坚强智能数字电网, 选取配网差动保护、精准负荷控制、配电自动化、用电信息采集、配网状态监测、实物 ID、智能巡检、视频监控控制等典型业务, 并从网络带宽、时延、传输距离及终端密度、安全可靠、协议接口等维度分析业务需求, 提出高适配性的端到端网络切片方案和试验验证方案, 以更好地建设 5G 内、外场验证环境, 验证 5G 网络性能、网络切片、安全及业务承载性能, 并探索网络切片租赁、基站共建共享等创新商业模式, 从而为 5G 技术深入应用于能源、电力行业提供支撑。

(1) 中国移动在上海临港开展了基于 5G 网络的配网同步相量测量 (PMU) 应用研究与验证工作。配电网 PMU 的通信需求包括通信频次高、延时要求小、数据多样性等。实验室测试结果表明, 端到核心网通信回环时延在 10 ms 以内; 通过外场业务挂网测试, 初步验证

了 5G 网络满足配网 PMU 业务低时延、高可靠性要求。

(2) 中国电信在雄安新区开展基于 5G 网络的电力业务适配性试点验证工作, 选取配电自动化、用电信息采集业务进行了业务承载性能测试。在 3.5 GHz、4.9 GHz 2 个公网 5G 频段, 通信速率上行最大为 467.9 Mbit/s, 通信端到端平均时延为 13~27 ms, 配电自动化遥控响应时间为 23 ms, 用电信息采集召测响应时间 671 ms, 满足业务承载需求。

(3) 国家电网在河南官渡变电站建成中国首个 500 kV 高压变电站 5G 测试站, 通过 5G 网络成功实现了变电站与省电力公司的远程高清视频交互。这是中国 500 kV 级以上高压 / 特高压变电站首次使用 5G 技术, 验证了 5G 网络在高电磁复杂环境下的大带宽业务特性和高可靠性, 现场单用户实测速率达到 400 Mbit/s 以上。5G 还能用于电力无人机巡线、变电站设备运行状态监测控制、变电站机器人巡检、远程移动视频监控控制等新型运维业务, 支撑变电站监测控制、作业、安防等业务向智能化、可视化、高清化升级。

(4) 中国电信在南京完成了业界首个基于真实电网环境及最新第三代合作伙伴计划 (3GPP) 标准 5G 独立组网 (SA) 网络的电力切片测试, 利用 5G 网络的毫秒级低时延能力, 结合网络切片的 SLA 保障, 提升了在突发电网负荷超载情况下对末端小颗粒度负荷单元的精准管理能力。测试初步验证了核

▼ 表 2 5G 切片管理能力

网络切片管理功能	定义
CSMF	通信服务管理功能, 负责将通信业务相关需求转化为网络切片相关需求
NSMF	网络切片管理功能, 负责 NSI 的管理和编排, 以及从网络切片 E2E 需求中衍生出切片各子网相关需求
NSSMF	网络切片子网管理功能, 负责 NSSI 的管理和编排

CSMF: 通信服务管理功能
E2E: 端到端

NSI: 网络切片实例
NSMF: 网络切片管理功能

NSSI: 网络切片子网实例
NSSMF: 网络切片子网管理功能

心网切片应用可行性,经实测端到端平均时延为 37 ms。5G 切片可以满足精准负荷控制 50 ms 的端到端平均时延要求。

在配电、用电环节,5G 网络切片能在现有的光纤专网的基础上形成低成本、高质量的补充解决方案,在智能分布式配电自动化、毫秒级电网负荷控制、低压用电信息采集等典型的应用场景下发挥重要作用。

3 5G 在能源互联网商业可行性思考

5G 电力切片的研究,从能源互联网的新型作业方式和服务模式出发,立足新型业务需求,寻求更加实时可靠、高效安全的通信网络支撑,从而使得能源通信运营更智能、能源企业更智慧、能源用户更便捷。马斯洛模式给出了不同的行业对于 5G 网络切片存在着 3 层不同的需求。具体以智能坚强电网客户的业务需求而言^[2]。

(1) 第 1 层是针对服务质量(QoS)和 SLA 的保障需求。例如,电力行业的要求是希望哪怕在春节抢红包的流量高峰期也能保证电力业务百分之百地按照所承诺的 QoS 和 SLA 运作。为了匹配这个需求,就要求提供端到端跨接入、传输、核心网的端到端质量协同和保障方案。

(2) 第 2 层是业务隔离需求。电网对业务隔离要求非常高,在内部划分了一二区、三四区,横向要做到双向隔离。因此在接入侧,可以提供基于区域/时域/频域的隔

离方案;在传输侧,可以提供类似于灵活以太网(FlexE)、软件定义分组传送网(SPTN)、软硬交叉、专有通道等不同的隔离方式;在核心网侧,基于全虚拟化的架构,可以灵活地实现基于虚拟机容器等不同层级和颗粒的隔离体制。

(3) 第 3 层是独立运维管理的需求。这是电网作为一个大型的代表性行业所具有的典型差异化客户需求。电网客户认为购买了运营商对应的切片资源,能对所购买的切片资源做到可视化的透明管理,对运营商提供的切片资源能够依据所承诺的关键性能指标(KPI)核实和验证。

因此,运营商针对电网的需求,对切片模板进行了独特设计:一键式的网元实现和应用能够实现端到端网络业务质量 KPI 实时监测控制。在这 3 层需求之外,电网客户对 5G 安全和可靠也提出了等同于准军事级别的要求,在 5G 安全和可靠性方面进行了定制开发和增强。

未来,影响 5G 网络成功的因素,不仅有技术还有商业模式。根据案例,我们总结了未来 3 种潜在的商业模式。而未来到底哪一种模式可行,又或会不会产生新的商业模式,也将是后续持续探索的焦点^[7]。

(1) 标准模式,即运营商统一建设端到端的 5G 网络,电力企业或其他垂直行业根据业务需求租用其中的一片或是多片,并由运营商提供管道和增值服务。

(2) 混合租赁模式,即公网

和专网结合的模式。电力企业会从成本考虑,选择租用最复杂、投入最大、维护最困难的运营商基础设施网络,包含基站和核心网。同时,为了满足对网络切片资源的可视化透明管理诉求,电力企业将自新建独立的管理面。电力企业已经具有了良好的光纤传输专网覆盖;因此从成本节约的角度,会考虑尽可能地利用现有的传输专网的资源,形成与运营商的 5G 切片混合组的网模式。

(3) 托管模式,即电力企业在拿到 5G 频谱资源的前提下,出资自建独立专用、资源专享的 5G 专网,同时为了节省运营成本(OPEX),也充分利用运营商在网络运营方面的经验和优势,把 5G 专网切片托管给运营商进行运维管理。

当前,全球电信运营商正在加大试验 5G 赋能行业网络技术的力度。考虑到当前的商业模式以及现行的技术瓶颈,大型的公用设施企业常采用专有长期演进(LTE)网络,利用 5G 及网络切片来解决和满足大型的公用设施企业对于通信的急切需求;但是挑战在于 5G 切片只能在 5G 独立组网(SA)下才能支持。除能源互联网,5G 也可能彻底改革智慧城市、无人驾驶和工业自动化。5G 和垂直行业应用相结合后,将在运营商和不同的垂直行业间创造双赢的关系,产生巨大的商业价值。

4 结束语

在全球能源互联网发展的背

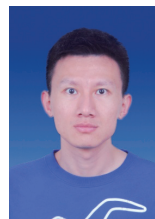
景下,从 5G 在能源互联网实践中的分析可见:各种场景的业务差异体现在不同的 5G 网络指标要求上。运营商和设备商应针对行业客户的特定指标要求,进一步量化 5G 网络的技术指标和架构设计,包括使用确定化的高质量 5G 行业网络解决方案来进一步增强 5G 网络切片,以满足安全性、业务隔离、端到端业务时延的严格要求,提供以能源电力行业为代表的完整 5G 网络解决方案。通过进行联合 5G 技术验证和示范,在可信的 5G 网络(切片)安全、行业模组、安全卡等实现关键技术突破,通过建设 5G 应用示范区共同探讨商业模式,充分释放 5G 及网络切片的盈利能

力,让运营商和诸多行业都能够从 5G 中受益。

参考文献

- [1] 张蓓. 当能源互联网遇上 5G 技术[J]. 上海节能, 2019(5): 342. DOI:10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2019.05.005
- [2] 夏旭,朱雪田,梅承力,等. 5G 切片在电力物联网中的研究和实践[J]. 移动通信, 2019,43(1): 63-69
- [3] 杨德龙,孟萨出拉,丁慧霞,等. 5G 网络切片技术能源互联网应用分析[J]. 无线通信, 2018,8(6): 252-257
- [4] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Enhancement of Network Slicing (Rel16):3GPP TR 23.740V0.5.0[S]. 2018
- [5] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Specification on System Architecture for the 5G System (5GS) (Rel16):3GPP TS 23.501V16.2.0[S]. 2019
- [6] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Specification on Procedures for the 5G System (5GS) (Rel16):3GPP TS 23.502V16.2.0[S]. 2019
- [7] 程琳琳. 中国电信夏旭:用比特驱动瓦特 电力切片成 5G 行业应用突破口[J]. 通信世界, 2018,779(21): 36. DOI:10.13571/j.cnki.cww.2018.21.024

作者简介



夏旭, 中国电信研究院标准副总监、3GPP SA1 副主席、中国 IMT-2020 5G 应用组组长、中国通信学会 TC5 移动核心网组组长;长期从事 4G/5G 移动通信技术标准、网络演进策略研究和业务创新工作;获中国通信学会科学技术奖二等奖、中国电信集团标准优秀奖、首届中国 5G 绽放杯应用大赛一等奖(5G 网络切片使能智能电网)等。



朱雪田, 教授级高级工程师, 中关村国家自主创新示范区高端领军人才, 北京邮电大学通信与信息工程专业工程硕士导师, 现任中国电信北京研究院网络技术与规划部主任;长期从事 4G/5G 移动通信和互联网技术创新与研发工作, 作为项目组长先后负责多个 4G/5G 领域的移动通信国家重大项目;发表论文 50 余篇, 专利 20 余篇, 出版个人专著 2 本。

← 上接第 28 页
月/年租模式收费。

4 结束语

4G 改变生活, 5G 改变社会。5G 发展的关键在于提供差异化和定制网络服务的能力。在 4G 时代, 所有的业务都部署运行在同一个通信大管道内, 网络只能提供“一条赛道、尽力而为”的业务体验。所有的业务都一视同仁地行驶在同一条道路上, 如果遇上网络拥塞, 即使是高优先级保障的服务也无法脱颖而出, 业务同样被迫受损。5G 时代, 得益于端到端网络切片在差异化组网、可保障 QoS/SLA、业务隔离以及独立运维等能力上的革命性提升, 使得我们真正能够从 4G 时代的“应用适配网络”, 演进到 5G

时代的“应用定义网络”, 为行业提供差异化+确定性的网络服务能力。基于本次 5G+ 超高清媒体行业应用的测试验证, 在 5G 时代移动运营商可以为媒体行业提供连接能力, 通过 5G 网络实现随时随地直播, 并实现视频流快速回传;使用 5G 网络切片功能, 确保视频传输质量;通过运营商边缘计算能力, 实现视频流在本地的快速渲染、处理。5G 除了可以帮助垂直行业帮助实现更多新业务场景外, 5G 网络切片在多媒体领域的部署方面为电信运营商创造了新的商业模式。

参考文献

- [1] 魏军. 5G 通信技术推动物联网产业链发展[J]. 集成电路应用, 2017(1):75-79. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2017.01.019

- [2] 侯建星, 李少盈, 祝宁. 网络切片在 5G 中应用分析[C]//中国通信学会信息通信网络技术委员会 2015 年年会论文集. 2015: 71-72
- [3] 陆平, 李建华, 赵维铎. 5G 在垂直行业中的应用[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(1):67-74. DOI: 10.12142/ZTETJ.201901011
- [4] 3GPP. System Architecture for the 5G system: TS 23.501[S]. 2018

作者简介



孙晓文, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所项目经理;主要从事端到端网络切片标准化及关键技术研究、行业解决方案制定等。



陆璐, 中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所副所长;长期从事移动核心网策略、演进、标准和技术研究工作, 主要涉及未来网络架构、智能管道、NFV/SDN、网络能力开放等领域。