

# 5G URLLC 技术在智能电网中的应用研究

李建元<sup>1</sup>, 张家铭<sup>2</sup>, 田经师<sup>1</sup>, 魏庆伟<sup>1</sup>, 王本利<sup>3</sup>, 马学菊<sup>1</sup>

(1.中国移动通信集团山东有限公司, 济南 250002; 2.中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司, 济南 250002; 3.山东中移通信技术有限公司, 济南 250002)

**摘要:** 第五代移动通信技术网络是工业 4.0 通信的主要选择之一, 新空口 (NR) 技术提供了对超高可靠低延迟 (URLLC) 服务的支持, 使 5G 网络具有毫秒级的端到端时延并能降低故障概率。智能电网对网络低延迟和高可靠性提出了更高要求, 5G 技术高可靠、低时延、广连接的技术特性, 与“新能源为主体的新型电力系统”性能需求高度匹配, 可以很好地满足智能电网多样性的需求, 该技术可促进安全、可靠、高效、环保的智能电网建设。

**关键词:** 智能电网; 5G URLLC; 低时延; 高可靠

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

## Research on the application of 5G URLLC technology in smart grid

LI JIANYUAN<sup>1</sup>, ZHANG JIAMING<sup>2</sup>, TIAN JINGSHI<sup>1</sup>, WEI QINGWEI<sup>1</sup>, WANG BENLI<sup>3</sup>, MA XUEJU<sup>1</sup>

(1. China Mobile Communications Group Shandong Co., Ltd., Jinan 250002;

2. Shandong Branch of China Mobile Communication Group Design Institute Co., Ltd., Jinan 250002; 3. Shandong Zhongyi Communication Technology Co., Ltd., Jinan 250002)

**ABSTRACT:** The fifth-generation mobile communication technology network is one of the main choices for industrial 4.0 communication. The new air port (NR) technology provides support for ultra-high reliability and low latency (URLLC) services, enabling 5G networks with millisecond end-to-end latency and reducing the probability of failure. Smart grid to network low latency and high reliability put forward higher requirements, 5G technology high reliability, low delay, wide connection technology characteristics, and "new energy as the main body of new power system" performance demand highly match, can well meet the needs of smart grid diversity, the technology can promote safe, reliable, efficient and environmental protection of smart grid construction.

**KEY WORDS:** Smart grid; 5G URLLC; Low Latency; High Reliability.

工业互联网是第四次工业革命的重要基石, 5G 的高速率、低时延和大连接三大新特性与工

业互联网无线网络需求十分契合,是工业互联网的关键技术<sup>[1]</sup>。5G 作为新一代信息通信技术,与电网融合创新有利于 5G 技术与电网需求的融合发展。

面对各类能源业务的快速增长和终端通信需求的爆发式增长,5G 技术高可靠、低时延、广连接的技术特性,与“新能源为主体的新型电力系统”性能需求高度匹配。基于 5G 的新型电力系统将充分支持分布式新能源、分布式储能、电动汽车、大功率电动智能机器等,为“碳达峰、碳中和”目标下的能源电力供应服务提供连接的桥梁。从“源随荷动”转向“源网荷储”,新型电力系统与 5G 高速率、低时延、高可靠、大连接的技术特性深度拥抱,铺平了电网通信的“最后一公里”。

本文聚焦双碳背景下能源转型变革需求,在山东电网建设 5G 虚拟专网,研究 5G URLLC 技术在智能电网中的应用,以 5G 技术赋能新型电力系统,进行 5G 规模化标杆应用探索,解决 5G 规模化应用的技术标准问题,助力新型电力系统发展。

## 1 5G 网络简介

5G 包括三大典型场景:增强型移动宽带(eMBB)、低延迟高可靠性(URLLC)、大规模机器通信(mMTC)。三个典型的场景能够助力工业制造、车联网、智能电网、无人机、AR/VR 等大量的应用技术需求。

为了满足对不同应用场景和应用需求,5G 网络设计是基于弹性敏捷、灵活复用的设计理念,引入 SDN/NFV 技术<sup>[2]</sup>,将软硬件平台进行虚拟化和解耦,底层使用统一的 NFVI 基础设施,利用 SDN 控制器实现资源灵活调度。传统网元被划分为更细粒度的功能模块,网络功能之间采用轻量 API 接口通信,实现系统的高效化、灵活化、开放化。

## 2 5G URLLC 特性

URLLC 在 3GPP 标准化进程中包括低时延技术、高可靠技术以及 URLLC 与 eMBB 复用三个方面的研究。

### 2.1 低时延技术要求

3GPP 在 R15 阶段提出了实现低时延的解决方案,支持灵活的帧结构<sup>[3]</sup>、支持更小的调度周期、灵活的 PDCCH 配置<sup>[4]</sup>、URLLC 高优先级传输、采用边缘计算技术等。5G 网络可以将 UPF 用户面功能下沉到用户侧,边缘计算服务器与 UPF 共站部署,UPF 识别到业务流的目的地址是本地,分流到本地的边缘计算服务器进行业务处理,减少了业务的传输路径,降低时延。

在 R16 阶段,进一步提出低时延增强要求。(1)免授权配置:基站预先配置周期性资源,UE 不需向基站申请。(2) HARQ 反馈增强:在 R15 阶段,UE 在一个时隙中在 PUCCH 上只能传输一次 HARQ-ACK。在 R16 阶段,允许在一个时隙内部的多个 PUCCH 信道上反馈 HARQ-

ACK。(3)支持时间敏感网络 TSN 和 5G 网络融合,实现时间敏感传输,保证时钟同步。

## 2.2 高可靠技术要求

3GPP 在 R15 阶段为了实现高可靠性,提出再物理层面上优化了 MCS\CQI 表格, NR 在 CQI 表格中增加了两个更低的码率,相对应的基站增加了两个 MCS 低频选项, UE 和基站之间可以选择更低的码率保障可靠性。在数据包重复传输方面提出在 PDCP 层复制数据,在不同的 PDCP 信道上传输同样的数据提升可靠性。高聚合等级的 PDCCH,保障传输可靠性。

在 R16 阶段,3GPP 进一步提出高可靠性增强解决方案,首先是冗余传输方案,UE 之间建立冗余的 PDU 会话和 N3 接口的冗余传输基于 N3 接口的冗余传输。NG-RAN 复制上行数据包,通过两条冗余的链路(N3 接口)通道发送给 UPF,其中每条 N3 通道与一个 PDU 会话关联,建立两条独立的 N3 通道传输数据,基站、SMF 和 UPF 将会为两条链路提供不同的路由。进一步支持了迷你时隙级别的重传,重传次数最大可达到 16 次。

## 2.3 在 R17 阶段,3GPP 进一步增强对超可靠低时延通信的支持

R17 持续为工业物联网等严苛应用带来更好的支持,为 URLLC(超可靠低时延通信)引入全新增强特性,比如增强物理层反馈、提升免许可频谱兼容性、终端内复用和优先级排序等功能。

## 3 5G URLLC 在智能电网中配网差动保护的应用

由于 URLLC 业务将更多应用于垂直行业,而各行各业的应用场景和需求不尽相同。这要求服务提供商能根据行业特点进行精细化定制和设定灵活的策略及接口<sup>[5]</sup>,针对智能电网场景的应用研究还比较少,尤其是配电网中的配网差动保护场景,对传输时延及可靠性要求极高,因此能否采用 5G 技术满足要求非常值得研究。电力行业专用切片专网架构(如图 1 所示)。

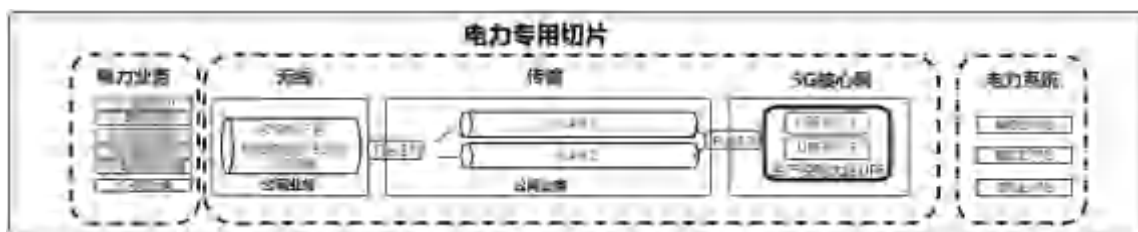


图 1 电力行业专用切片专网架构

### 3.1 网络解决方案

5G 配网差动保护为广域业务,需要通过切片专网方式,完成端到端的广域通信;同时,5G 配网差动保护业务属于电网生产控制大区,按照安全要求,需构建电力专用切片实现业务的物理隔离。因此,方案采用 5G SA 网络架构,依靠 5G 低时延、大带宽、高精度授时及切片能力搭建电力行业专用切片,实现 5G 配网差动保护终端之间的点对点的实时通信。

从以下三个方面介绍网络解决方案:

● 无线接入方面，室外利用公网基站，以宏基站为主，室内可利用公网基站或专用基站，以微基站为主。无线空口通过 RB 资源预留（专用资源+优先调度+共享资源），关闭 DRX 和 BWP 节电，开启预调度，保证终端接收电平  $RSRP \geq -93\text{dBm}$ ，目标 BLER 设置，CCE 聚合等级设置，以便满足业务端到端时延的要求。

● 核心网方面，部署新型工业智能网关工厂级设备，提供入驻式 UPF+MEC 或 UPF+AMF+SMF+MEC 部署，降低网络延时，同时业务数据不出场，进行本地化处理。

● 空口采用 RB 资源预留的方式隔离出生产大区，内部采用专用 DNN 实现不同业务的隔离，并按需配置 5QI，回传网络中采用 FlexE 硬隔离出生产大区，并用 VPN 或 FlexE 切片进行业务的隔离。

### 3.2 关键指标

5G 配网差动保护对网络指标要求（如表 1 所示）。

表 1 5G 配网差动保护对网络指标

业务类别	业务名称	通信需求					
		时延	带宽	可靠性（网络指标）	授时	安全隔离	连接数
控制类业务	配网差动保护	$\leq 15\text{ms}$	$\geq 2\text{Mbps}$	99.999%	10us	生产控制大区	$X \times 10$ 个/ $\text{km}^2$

### 3.3 测试结果

5G 配网差动保护业务网络测试包含业务指标测试、切片隔离测试两个层面。

#### （1）业务指标测试

5G 配网差动保护业务指标测试在现网基础上，以 100M 带宽为例，各项测试需求和测试内容（如表 2 所示）。

表 2 基础网络测试内容和测试结果

序号	测试需求	测试内容	测试结果
1	综合覆盖率	$RSRP > -93$ & $SINR > -3$ 采样点比例	$\geq 99\%$
2	5G 时长	5G 时长驻留比	$\geq 99\%$
3	连接建立成功率	连接建立成功率=成功完成连接建立次数/终端发起分组数据连接建立请求总次数	$> 99\%$
4	掉线率	掉线率=掉线次数/成功完成连接建立次数	$\leq 4\%$
5	切换成功率	切换成功率=切换成功次数/切换尝试次数	$\geq 99\%$
6	上行吞吐量	MAC 层平均吞吐量	平均上行速率 $\geq 5\text{Mbps}$ ，最小速率 $\geq 3\text{Mbps}$
7	下行吞吐量	MAC 层平均吞吐量	平均下行速率 $\geq 10\text{Mbps}$ 最小速率 $\geq 5\text{Mbps}$

序号	测试需求	测试内容	测试结果
8	网络时延	采用路测方法,通过生产控制 通道 ping 服务器;通过视频通道 ping 服务器;测试网络空载情况下的时延。	平均时延 $\leq 15\text{ms}$ , 最大时延 $\leq 25\text{ms}$
9	小区并发容量	1.在测试区域内任意选择一个小区覆盖下的 3 个不同地点; 2.3 个终端通过视频通道用 TCP 协议同时进行上行速率测试;	1.总的上行平均速率 $\geq 5\text{Mbps}$ 2.最小上行平均速率 $\geq 3\text{Mbps}$

### (2) 切片隔离测试

为了验证切片业务之间的隔离性,满足电力安全隔离的要求,对切片进行隔离测试。切片隔离测试的内容包括网络隔离测试和业务隔离测试,测试内容参考(表 3)。

表 3 切片隔离测试内容和测试结果

序号	测试需求	具体内容	测试结果
1	网络隔离测试	网络配置完成生产控制区切片 A 和管理区切片 B,验证不同终端分别通过生产控制切片和管理切片接入网络	网络可以有效隔离不同切片
2	业务隔离测试	不同终端分别通过切片 A 和切片 B 接入 5G 网络,分别建立和生产控制区主站和管理区主站的业务连接,验证生产控制区业务和管理区业务是否能够有效隔离。	生产控制区业务和管理区业务能够有效隔离

## 3.4 总结

通过对典型智能电网低时延应用场景的网络关键指标、测试标准等进行分析,得到配网差动保护对 5G 网络的要求(如表 4 所示)。

表 4 配网差动保护应用场景对网络的需求

应用场景	时延要求	带宽要求	可靠性要求	安全隔离要求
配网差动保护	高	低	高	高

配网差动保护,每一个保护终端都通过通信通道将本端的电气测量数据发送给对端,同时接收对端发送的数据并加以比较,判断故障位置是否在保护范围内,并决定是否启动将故障切除。差动保护终端对时延要求苛刻,需高精度网络授时。

差动保护业务通信要求高,现阶段通过专用光纤进行信号传输,建设成本高,不易部署;5G 低时延、高可靠特性可满足差动保护通信需求。

## 5 结语

本文介绍了智能电网中典型的低时延应用场景,并基于 5G 商用网络进行了多项测试。测试结果验证了电力场景下 5G 低时延方案的可用性,对电力领域 5G 低时延应用的规划和评价具有指导意义。关于 5G 网络低时延应用可靠性,需要进一步深入研究和分析,结合具体终端及应用系统的实际情况,给出更加精确的说明。

## 参考文献

- [1] 黄颖,于青民,李宗祥,等. 5G 在工业互联网领域的应用进展[J]. 移动通信, 2022,46(1): 41-45.
- [2] 聂衡, 赵慧玲, 毛聪杰. 5G 核心网关键技术研究[J]. 移动通信, 2019, 43(1):7.
- [3] 张轶,夏亮,徐晓东,等. 3GPP 中 URLLC 标准研究进展[J]. 移动通信, 2020,44(2): 2-7.
- [4] 闫志宇, 郝煜. 新空口超可靠,低时延演进系统研究[J]. 信息通信技术与政策, 2019(11):9.
- [5] 李静,董秋丽,廖敏. URLLC 应用场景及未来发展研究[J]. 移动通信, 2020,44(2): 20-24.

## 作者简介

**李建元:** 中国移动通信集团山东有限公司行业总监, 主要从事数字与信息技术等方面的研究工作。

**张家铭:** 中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司解决方案经理, 主要从事 IP 通信、大数据研发等方面的研究工作。

**田经师:** 中国移动通信集团山东有限公司政企部 DICT 中心副总经理, 主要从事信息系统集成等方面的研究工作。

**魏庆伟:** 中国移动通信集团山东有限公司解决方案室经理, 主要从事信息系统集成等方面的研究工作。

**王本利:** 山东中移通信技术有限公司工程师, 主要从事 5G 通信技术在新型电力系统中应用研究工作。

**马学菊:** 通讯作者 电话: 18866158101, 邮箱: 18866158101@139.com, 地址: 山东省济南市市中区七里山路 4 号, 邮编: 250002