

5G uRLLC 能力需求及应用研究

Research on 5G uRLLC Capability Requirement and Application

苗守野¹,李 静²,李福昌²(1. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;2. 中国联通研究院,北京 100048)
Miao Shouye¹,Li Jing²,Li Fuchang²(1. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China;2. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘 要:

为促进具备 5G uRLLC 特性的网络与终端设备产品的成熟,推动 5G 与行业应用的融合,梳理了 5G uRLLC 典型业务和需求,提出了 3 级 uRLLC 网络能力,研究并提出了通过能力提升集构建 uRLLC 网络能力。能力提升集包括构建低时延能力、高可靠能力、确定性能力、指标检测能力 4 个维度的端到端 uRLLC 关键技术,最后展示了 5G-A uRLLC 创新实践方案,以期为低延迟和高可靠性无线网络的设计提供一些演进思路。

关键词:

uRLLC;低时延;高可靠;确定性;指标监测

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.08.001

文章编号:1007-3043(2022)08-0001-05

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:

In order to promote the maturity of network and terminal equipment products with 5G uRLLC, and promote the integration of 5G and industry applications, it analyzes the typical services and requirements of 5G uRLLC, proposes three-level uRLLC network capabilities, studies and proposes the construction of uRLLC network capabilities through the capability enhancement set, which includes the construction of end-to-end uRLLC key technologies in four dimensions: low delay capability, high reliability capability, determination capability and KPI detection capability. Finally, the 5G-A uRLLC innovative application is shown, which provides a reference for some evolution ideas for the design of low latency and high reliability wireless networks.

Keywords:

uRLLC; Low latency; High reliability; Deterministic; KPI detection

引用格式:苗守野,李静,李福昌. 5G uRLLC能力需求及应用研究[J]. 邮电设计技术,2022(8): 1-5.

1 概述

随着 5G 新型基础设施建设政策的发布,我国 5G 网络加速普及,从人与人之间的连接,迈向万物互联的数字化新时代。5G 技术将应用于工业、农业、家居、医疗、物流、交通等各个领域,助力全球数字化转型。其中,uRLLC 场景是 5G 三大应用场景之一,在未来 2~5 年将成为 5G 网络演进的重要场景之一。

本文第 2 章将详细分析 uRLLC 的典型业务和需求,并提出 3 级 uRLLC 网络能力,可以面向个人消费、

行业用户、特定行业用户提供不同等级的 uRLLC 网络性能;第 3 章阐述了通过能力提升集构建 uRLLC 网络能力,能力提升集包括构建低时延能力、高可靠能力、确定性能力、指标检测能力 4 个维度的端到端 uRLLC 关键技术;第 4 章展示了 5G-A uRLLC 创新实践方案,以期这些成果为低延迟和高可靠性无线网络的设计提供一些演进思路。

2 uRLLC 业务需求

随着 5G 网络低时延高可靠通信保障能力的完善,普通消费者领域与垂直行业领域的部分业务都将是 uRLLC 网络未来的潜在承载对象^[1]。普通消费者领域

收稿日期:2022-06-16

的uRLLC业务发展相对滞后,“技术推动业务”的发展特征明显;垂直行业领域内,前期以通过5G uRLLC网络替代现有业务的有线、无线解决方案为目标,后期以5G uRLLC网络助推行业升级发展为目标。因此,运营商深度参与业务需求与业务发展研究,明确不同场景与不同业务对5G uRLLC网络部署的不同需求,是5G uRLLC网络呈现价值面临的重要挑战之一。

3GPP关于uRLLC典型业务的关键需求指标^[2]如表1所示。对于电网和工业互联网类业务,除了表1内所列的需求指标外,其对数据包确定性、高精度时钟同步和时延抖动都有非常苛刻的要求。

a) 某些带宽要求较高的业务在时延和可靠性指标上没有严苛要求,可基于5G大网叠加增强技术来满足业务需求。

表1 典型业务需求指标

用例	可靠性/%	时延	数据包大小和流量模型	说明
配电	99.999 9	E2E:5 ms 空口:2~3 ms	DL & UL:间隔 100 ms、100 B、ftp 模型 3	配电、电网故障和停电管理(3GPP TR 22.804:5.6.4)
	99.999	E2E:15 ms 空口:6~7 ms	DL & UL:UE之间有 250 B 的周期和确定性,间隔为 0.833 ms 随机偏移	差动保护(3GPP TR 22.804:5.6.6)
工业自动化	99.999 9	E2E:2 ms;空口:1 ms	DL & UL:数据到达周期间隔为 2 ms,32 B 确定性流量模型	运动控制
R15用例 (如AR/VR)	99.999	空口:1 ms @ 32B;空口:1 ms 和 4 ms @ 200B	DL & UL:周期性的具有不同的到达率 32 和 200 B 的 FTP 模型 3	-
	99.9	空口 7 ms	DL & UL:周期性的具有不同的到达率的 4 096 B 和 10 KB 的 FTP 模型 3	-
运输业	99.999	E2E:5 ms;空口:5 ms	UL:2.5 Mbit/s;包大小 5 220 B;DL:1 Mbit/s;包大小 2 083 B 注:数据到达速率为每秒 60 个数据包的周期性流量模型	智能交通系统 ITS(3GPP TS 23.501,3GPP TS 22.261)
	99.999	E2E:10 ms;空口:7 ms	UL & DL:1.1 Mbit/s,包大小 1 370 B 注:数据到达速率为每秒 100 个数据包的周期性流量模型	智能交通系统 ITS(3GPP TS 23.501,3GPP TS 22.261)

b) 电网业务和部分工业互联网业务的指标要求近似,典型的面向行业的uRLLC类业务时延需求为端到端10~50 ms,可靠性需求为99.9%~99.999%。

c) 工业互联网业务的时延和可靠性指标要求最为严苛,可靠性需求达到99.999 9%,端到端时延需求达到ms级,而对带宽要求不高。

d) 运输行业业务对上行速率要求较高,对带宽要求较高。

为了匹配不同等级的uRLLC类业务需求,本文提出分级分阶段构建不同的uRLLC网络能力(见图1)。

如图1所示,5G网络能力分级从L0到L3,其对网络的覆盖区域要求逐级递减,对时延和可靠性的要求逐级递增,具体定义如下。

a) L0:5G广覆盖网络。从2019年开始,国内3家运营商开始进行5G规模试验和商用部署,建设5G广覆盖网络,面向个人消费者提供eMBB业务,中国联通和中国电信采用共建共享方式,依托3.5 GHz/2.1 GHz频段快速推进5G部署范围,打造5G品牌竞争力。

b) L1:uRLLC入门级网络。uRLLC入门级网络是指基于5G广覆盖网络,面向个人消费市场满足对时延、可靠性有进一步要求的业务需求,例如视频游戏、AR/VR等;uRLLC入门级网络可升级部分uRLLC技术

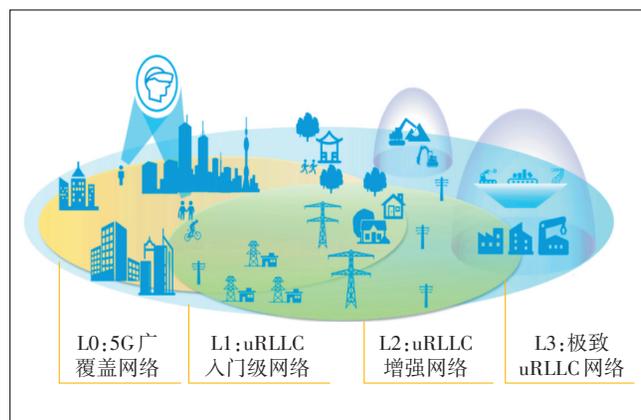


图1 5G uRLLC网络能力分级

方案,进一步增强网络性能。潜在的技术方案包括网络切片(软隔离)、QoS保障、空口时延增强方案、UPF按需下沉、MEC。L1级也可视为L0增强网络。uRLLC入门级网络对时延要求为:百毫秒量级,对可靠性要求为:99.9%。

c) L2:uRLLC增强网络。uRLLC增强网络主要面向行业用户,网络覆盖范围按行业用户需求建设,一般在区域范围内部署,如电力配电自动化以及差动保护、港口远控等业务,后期部署范围可扩展至全国。L2级网络承载的业务为典型的uRLLC业务,实现低时

延和高可靠的网络能力,针对不同的行业用户,在网络安全性、高精度时间同步授时等方面也有相应的增强能力。潜在的技术方案^[3]包括网络切片(硬隔离)、针对 uRLLC 业务的 QoS 增强、空口低时延增强方案、空口高可靠方案、冗余传输、传输网 FlexE 方案、专用 UPF、MEC。uRLLC 增强网络对时延要求为:几十毫秒量级,对可靠性要求为:99.9%~99.999%

d) L3: 极致 uRLLC 网络。极致 uRLLC 网络面向特定行业用户,网络覆盖范围一般为园区或工厂级,例如工业现场实时控制、运动控制等业务。L3 级网络承载的业务复杂多样,对网络性能要求很高,在确定性通信、高精度时间同步、安全性、高精度定位等方面都有增强要求。L3 级的目标是为特定行业打造极致体验的 uRLLC 网络,潜在的技术方案^[4]包括针对 uRLLC 业务的 QoS 增强、空口低时延增强方案、空口高可靠方案、5G 和 TSN 融合、NPN、冗余传输、专用核心网等。极致 uRLLC 网络对时延要求为:几毫秒量级,对可靠性要求为:99.999%~99.999 9%

综上,本文提出 3 级 uRLLC 网络能力,包括 uRLLC 入门级网络、uRLLC 增强网络和极致 uRLLC 网络,结合产业现状和发展目标,随着 5G/5G-A uRLLC 标准演进和网络及终端产品的能力提升,针对不同的业务和场景^[5-6]构建差异化的 uRLLC 网络能力。

3 uRLLC 能力构建

5G uRLLC 网络的典型特征主要体现在低时延和高可靠 2 个方面,在保障低时延的基础上,进一步支持 TSN 功能,提供低时延抖动的能力是 uRLLC 演进的重要方向之一。为了构建 5G 网络的 uRLLC 能力,综合考虑 5G 网络的基础能力与能力提升是重中之重。

图 2 为 5G uRLLC 网络能力体系构建视图。5G uRLLC 网络将应用于多种垂直行业,适配差异化的部署场景。根据不同类型的业务,uRLLC 网络将提供定制化的时延和可靠性能力。因此,uRLLC 网络将基于 5G 技术,在空口频段、双工方式、帧结构、参数集等通用物理层技术上支持灵活配置,为 uRLLC 网络的差异化能力奠定了基础。再结合 uRLLC 专有的低时延、高可靠技术方案,打造出定制化的 uRLLC 网络^[7]。

3.1 低时延能力

对于低时延能力的构建,5G uRLLC 网络在无线接入网、核心网和传输网分别进行了技术设计^[8]。

从无线接入网的角度,uRLLC 空口时延包括信号

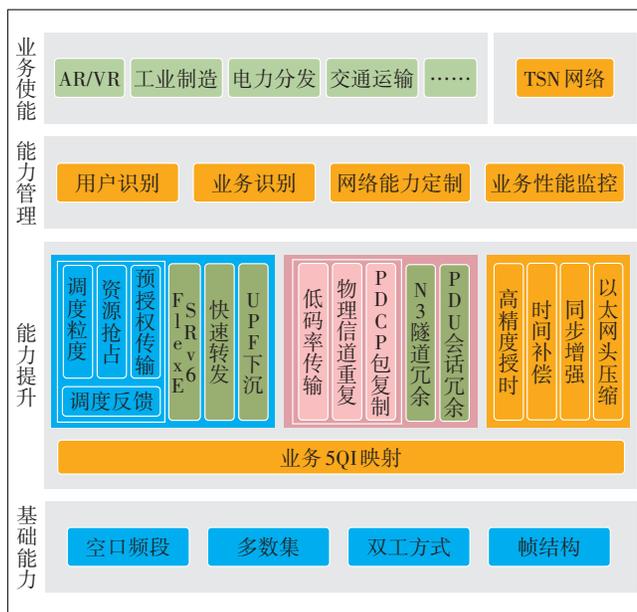


图 2 5G uRLLC 网络能力体系构建视图

传输时延、处理时延和信令交互时延。5G 新空口设计了基于 OFDM 符号的 mini-slot 调度粒度,基于高优先级业务“抢占”低优先级业务资源的资源复用技术和基于预授权、免调度的传输机制,为 uRLLC 业务“随到随传”创造了多种传输条件。同时将 HARQ 机制进行增强,形成了以子时隙为粒度的双码本 HRAQ 反馈机制,以实现 5G 网络物理层对 uRLLC 业务传输的快速响应,进而缩短 uRLLC 业务的空口时延。

在核心网的部署策略上,uRLLC 网络设计了用户面/控制面网元下沉的方案,将 UPF、SMF 和 AMF 等网元下沉部署在尽量靠近基站的位置,降低基站到核心网之间的传输时延。同时,3GPP 定义了新的 5QI 映射,加强对网络的端到端 QoS 监控方案以更好地辅助支持 uRLLC 业务的低时延传输。

从传输网的角度,基于 SRv6 + FlexE 的技术,一方面建立 uRLLC 业务最优路径,另一方面将不同切片带宽绝对独享,严格保证时延、抖动,可以避免网络拥塞,提升网络质量。

3.2 高可靠能力

对于网络的可靠性支持,uRLLC 无线接入网络主要通过采用更低的码率和重复传输的方案,而核心网采用冗余传输方案。这些方案均以降低网络资源利用率为代价,提升 uRLLC 网络的可靠性。

从无线接入网的角度,控制信道低码率传输通过更高聚合等级实现;数据信道低码率通过专用的低码率的 MCS 表格提升数据信道初传的可靠性;物理信道

通过重复传输可使接收端获得额外的分集与数据合并增益;PDCP层数据包复制,通过不同的空口资源来传输以获得分集增益^[9]。

从核心网的角度,有3种冗余传输方案。

a) PDU 会话冗余。建立2个端到端的PDU会话备份传输,相应的传输网络也实现了冗余备份。

b) N3隧道冗余。将2个独立的N3隧道部署在锚点UPF与RAN之间,2个隧道分布在基站和UPF间不同的传输网络上。

c) RAN和UPF之间的传输路径冗余。该方案不需要网络侧建立2个会话或隧道^[10]。

3.3 确定性能力

确定性通信是指最大时延有界,即保障业务包在给定时延内正确送达。在保障业务低时延与高可靠传输的同时,支持TSN功能,满足业务的确定性是5G uRLLC网络在部分工业场景下需要提供的重要能力。

网络同步是5G uRLLC网络支持TSN功能的基础,高精度授时与传播时延补偿方案可以进一步提升网络同步能力。高精度授时支持基站通过系统消息提供粒度为10 ns的精准参考授时,而传播时延补偿则支持利用5G网络的下行同步和上行同步机制,在终端同步过程中,根据定时提前量获取传播时延,实现对时钟的校准。

此外,考虑工业场景下部分工业应用以小数据包的工业控制消息传递为主,有效负载在数据帧中的占比较低。5G uRLLC网络通过支持以太网头压缩方案,在舍弃以太帧前导码、帧开始符以及帧校验码的基础上,进一步压缩以太帧的源/目的地址、Q-TAG域的开销,可以降低以太帧传输所用资源,减小网络开销。

通过对5G网络基础能力^[11]、低时延能力、高可靠能力以及TSN能力的整体构建,5G网络将具备保障uRLLC业务多样化通信需求^[12]的能力,而对网络uRLLC能力的管理将是提升网络商用价值重要因素。

3.4 指标监测能力

为了满足业务的传输需求,保障业务体验的稳定性和5G uRLLC网络的鲁棒性,需要对网络性能关键指标的保障能力进行监测。相比eMBB网络,5G uRLLC网络需要额外关注时延、可靠性、时延抖动等网络性能关键指标的监测能力。

a) 时延。在不同应用场景下,具备小区级以及业务级分段的网络时延监测能力,支持毫秒级以下的时延监测精度。

b) 可靠性。在不同应用场景下,具备小区级以及业务级分段的网络可靠性监测能力,支持模拟业务状态的可靠性监测方案,可以确定误块、丢包等因素对业务可靠性的影响。

c) 抖动。在不同应用场景下,具备小区级以及业务级分段的网络时延抖动监测能力,支持微秒级的抖动监测精度。

5G网络由无线网、传输网和核心网3个部分组成,uRLLC网络性能关键指标需要支持端到端监测能力以及分段式的指标分析与问题定位方案。在多用户的应用场景下,5G uRLLC网络可以支持基于不同精度与不同粒度的网络性能指标监测。

通过设计不同的网络性能指标监测的触发方式以及监测流程,5G uRLLC网络可以支持基于GTP-U路径的关键指标监测方案与基于UE级QoS流的关键指标监测方案。其中,基于GTP-U路径的关键指标监测方案在混合业务的场景下,可以快速地完成uRLLC网络的业务性能指标监测,基于UE级QoS流的关键指标监测方案可以对指定的业务进行性能指标的监测。

通过在GTP-U的服务数据包的报头中添加时间戳的方式,在NG-RAN与PSA UPF时间同步的场景下,支持测量上行业务或下行业务单向的关键性能指标,在NG-RAN与PSA UPF时间不同步的场景下,支持通过上下行业务环回的关键性能指标监测方法,统计获取单向的业务时延与时延抖动性能。

5G uRLLC网络关键性能指标的监测可以为网络的业务能力验证、网络能力定制以及网络问题定位与恢复方面提供保障,未来通过采集多维的业务性能指标数据,结合大数据的网络性能分析方案,也可以助力网络的精细化运营。

4 5G-A uRLLC 技术演进与创新实践

当前以汽车制造为代表的工业制造产业向智能化转型过程中,遇到2个挑战。

a) 现有的OT现场网络^[13]以有线为主,无法满足智能升级过程中柔性要求;且IT和OT 2张网,OT内实时控制业务和非实时业务割裂。

b) OT现场网络包括PLC以及南向控制的I/O、阀岛等设备,大部分节点要求1~4 ms通信周期,单节点可靠性要求至少99.999%~99.999 9%。

面对挑战,可从以下4个层面推动5G-A uRLLC技术创新(见图3)。

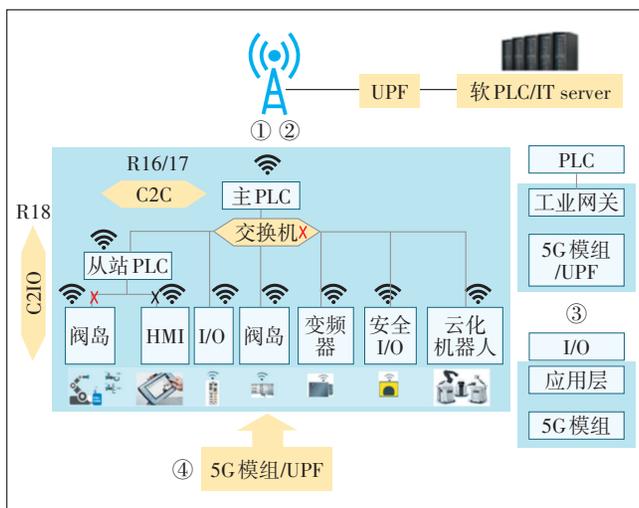


图3 5G-A uRLLC网络创新实践示意图

a) 低时延高可靠能力打造,实现E2E 4 ms的时延和5~6个9的可靠性目标。通过互补TDD方案减少子帧等待,实现4 ms时延^[14];通过1次HARQ,可靠性提升2~3个9;通过灵活帧配比,兼顾大上行/定位等综合能力提升。

b) 10倍容量提升,实现1 000个/5 000 m²目标。通过5G+工业协议跨层协同,平滑I/O并发峰值,实现uRLLC容量提升2倍以上;通过HARQ和MU MIMO,提升频谱效率,实现uRLLC容量提升5倍以上。

c) 产业适配能力打造,通过UPF对接PLC的业务感知能力打造,实现5G和工业协议跨层适配的目标;通过time offset实现UE和I/O之间的业务编排。

d) 终端模组研发,推动UE CAP2能力,提升UE处理能力;打造open CPU开放能力,加载工业协议;支持实时/非实时并发,支持uRLLC和非实时业务流1~10M的目标。

通过本次创新方案,初步验证了5G-A uRLLC对汽车制造产线柔性提升的价值。

5 总结

5G及5G-A的超可靠、低延迟通信(uRLLC)已经从标准逐步走向现实,产业及行业伙伴都给予了极大的关注。未来应根据技术标准进展和产业成熟度^[15],逐步完善uRLLC网络能力分级体系,明确潜在的能力细分方案,搭建能力分级和能力构建集之间的映射关系,设计面向实际部署和运营的网络能力管理体系,从而推动形成一个综合考虑延迟、可靠性、数据包大小、网络架构和拓扑(接入、边缘和核心)以及不确定

性的可扩展的框架。

参考文献:

- [1] 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):20-24,29.
- [2] 3GPP. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains: 3GPP TS 22.104[S/OL]. [2022-04-20]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
- [3] 梁辉,韩潇,李福昌. 5G uRLLC端到端关键技术分析[J]. 移动通信,2020,44(8):12-16.
- [4] CHEN H, ABBAS R, CHENG P, et al. Ultra-reliable low latency cellular networks: use cases, challenges and approaches[J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(12): 119-125.
- [5] 5GPPP Association. 5G and e-health [EB/OL]. [2022-04-20]. https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/5G-PPP-White-Paper-on-eHealth-Vertical-Sector.pdf.
- [6] 5GPPP Association. 5G automotive vision [EB/OL]. [2022-04-20]. https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Automotive-Vertical-Sectors.pdf.
- [7] 中国联通. 中国联通5G uRLLC技术白皮书 V3.0[EB/OL]. [2022-04-20]. https://www.sgpjbg.com/baogao/72982.html.
- [8] ALI R, ZIKRIA Y B, BASHIR A K, et al. uRLLC for 5G and beyond: requirements, enabling incumbent technologies and network intelligence[J]. IEEE Access, 2021, 9: 67064-67095.
- [9] 3GPP. Study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case (uRLLC): 3GPP TS 38.824[S/OL]. [2020-04-20]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G System(5GS): 3GPP TS 23.501[S/OL]. [2022-04-20]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
- [11] 3GPP. NR; physical channels and modulation: 3GPP TS 38.211[S/OL]. [2022-04-20]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
- [12] ETSI. Study on uRLLC use case of vertical industries for DECT evolution and DECT-2020[R]. Sophia Antipolis: ETSI, 2018.
- [13] NEUMANN A, WISNIEWSKI L, ROST P. About integrating 5G into PROFINET as a switch function[C]//Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation(Komma2019). 2019:117.
- [14] FORD R, ZHANG M, MEZZAVILLA M, et al. Achieving ultra-low latency in 5G millimeter wave cellular networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(3): 196-203.
- [15] 李福昌. 2021年5G发展六大趋势预测[J]. 通信世界, 2021(1): 20-21.

作者简介:

苗守野,中国联通5G共建共享工作组组长,高级工程师,主要从事移动通信网络建设维护优化等工作;李静,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络标准和解决方案研究等工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,国家知识产权局中国专利审查技术专家,主要从事移动通信及固网移动融合等专业的标准制定、测试验证、课题研究等工作。