

5G低时延高可靠业务解决方案

黄志辉¹ 李航宇² 郑尚国³ 符永奋¹

(1.中国联合网络通信有限公司海南省分公司,海南 海口 570216;2.中国联通(海南)创新研究院,海南 海口 570208;3.中国联合网络通信有限公司贵州省分公司,贵州 贵阳 550000)

摘要: 5G目前包括三大典型场景:增强型移动宽带eMBB、低延迟高可靠性URLLC、大规模机器通信mMTC。在5G网络的加快建设背景下,城市内的各个垂直行业领域业务开展方式都将被改变。5G低时延高可靠业务(uRLLC)是ITU提出的5G三大应用场景之一,uRLLC在不同场景应用下有不同的业务模型。5G作为移动通信与垂直行业融合的突破口,有望通过自动驾驶、工厂自动化和智能电网等uRLLC业务带来对整个社会巨大的影响。当前的5G网络运营商可以根据业务发展需求,选择合适的更短周期帧结构以降低业务的空口时延,并考虑与工业界提出的TSN网络实现深度融合,保障业务端到端的低传输时延。本文从终端、网络等多个不同的维度分析了影响时延和可靠性的因素,多措并举,以期降低5G网络的端到端时延。

关键词: uRLLC; 低时延; 高可靠

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A

0 引言

当前工业制造、车联网和智能电网对5G的需求十分迫切,而uRLLC技术场景则非常适合应用于以上领域。当前的5G网络仍然以支持eMBB业务为主,但是未来的5G网络在时延和可靠性方面会得到进一步发展。运营商可以根据业务发展需求,选择多种手段以降低业务的空口时延,提升数据传输的可靠性。

1 uRLLC的应用场景

5G网络uRLLC场景最重要的性能指标为通信时延以及可靠性。ITU定义的5G网络URLLC场景下的时延与可靠性指标为:一是时延:用户终端与基站设备单向的用户面通信需要具备达到极限时延1ms的能力;二是可靠性:城区宏站场景下,32 bytes的层2 SDU数据包在覆盖边缘的信道质量下,1ms内成功传输的概率为99.999%。

uRLLC的应用场景主要包含了对网络时延以及可靠性有超常规需求的应用场景,典型业务主要分布于工厂、电力以及交通等垂直行业领域。而即使对单一的垂直行业分析,在每一行业内不同的应用也具有不相同的网络需求。因此,对uRLLC技术升级的同时,也需要运营商综合考虑运用MEC、网络切片等关键技术,制定多样化的网络部署方案,以适配不同的行业应用。

1.1 港口行业

港口行业对低时延高可靠诉求集中在远程控制及自动驾驶场景,典型的uRLLC应用有龙门吊远程操作场景(控制部分):要求网络时延<20毫秒,可靠性>99.999%;另一个典型的uRLLC应用为内集卡自动驾

驶:要求网络时延<30毫秒,可靠性>99.9%。

1.2 电力行业

电力行业的uRLLC应用基站集中在配电业务场景,其中差动保护环节:要求时延<15毫秒,可靠性在99.99%~99.999%之间;PMU(集中式,点到主站之间)环节:要求时延<50毫秒,可靠性在99.99%~99.999%之间;负荷控制(集中式,控制终端和子站之间)环节:要求时延<20毫秒,可靠性在99.99%~99.999%之间。

1.3 云游戏

云游戏对网络需求集中在时延上:上行指令时延越短,同等情况下越有机会击败对手或机器;下行帧时延越短,操作的终端和云端画面更逼近,体验更好且误操作更少。3A级的人机游戏推荐的时延为50~70毫秒;云网的人人游戏推荐的时延为30~50毫秒;FPS(强对战)游戏推荐时延不低于30毫秒。

2 uRLLC下的低时延和高可靠业务解决方案

2.1 低时延解决方案

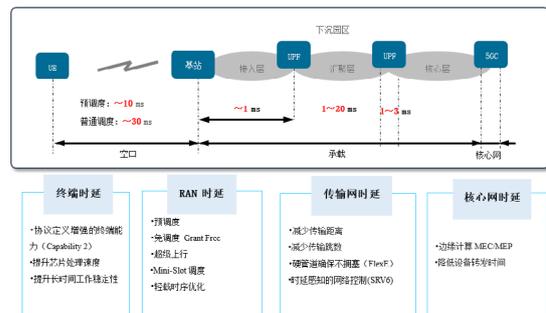


图1 从终端到网络多手段降低时延

端到端时延需要从架构、空口、设备、业务四方面进行考虑，架构和空口是关键，空口时延占比高、抖动大；端到端时延需要分段定义（见图1），协同保障；核心网UPF下沉显著降低时延，满足不同业务对时延的要求^[1]。

为了满足 ITU 定义的 uRLLC 场景极限性能指标，对5G 网络的空口设计进行了充分的考虑：空口时延增强主要考虑了增大子载波间隔、缩小时域最小调度单元的底层设计；针对上行调度授权、上下行传输反馈等多种通信流程，面向低时延通信进行了优化；此外5G空口提供了上下行链路的资源抢占机制，以缩短uRLLC 业务在缓存区的等待时延。而可靠性增强，除调制编码方案的优化外，主要通过冗余传输实现可靠性的保障，其中包括了协议栈高层数据包的复制备份以及物理层重复传输等多种方案。除了无线侧的增强技术，在 uRLLC 场景下，还可以整体考虑端到端的 uRLLC 业务保障方案，其中包括核心网的 QoS 保障策略、链路冗余策略、网元下沉策略以及传输网的拥塞控制以及快速转发等技术方案，此外也可以与 MEC、网络切片等部署方案相结合，打造定制化的通信网络，按需满足 uRLLC 下的通信需求。

2.1.1 核心网MEC节点下沉能显著降低时延，设备引入硬件加速减少时延

基站到核心网UPF之间的传输时延，主要受到UPF网元部署位置的影响。目前UPF 可选的部署位置覆盖整个通信云，包括各级区域 DC与边缘DC。UPF 部署位置越高，其服务业务覆盖范围就越广，同时基站与UPF交互所需的时延 也越大。为了支持低时延通讯，应该尽可能地减少基站到 UPF 之间的转发跳数、传输光纤长度和汇聚网元的数目，以降低基站到核心网之间的传输时延。因此，需要将 UPF 尽量部署在靠近基站的位置，从物理位置上降低基站到 UPF 的传输距离，同时保证传输不上承载网，减少拥塞的可能性。以业务时延、资产归属等要求为基础共同确定MEC节点的部署位置；UPF引入转发硬件加速，提升转发能力，减少时延和抖动，对非低时延业务和低时延业务区分对待：针对低时延业务NP直接转走，不进入VM，不受软件处理影响，减少时延且时延确定，可到2ms左右。

2.1.2 承载多重手段降低传输时延

传输网时延由光纤传输时延和设备转发时延组成，其中光纤传输时延 5us/km，路由器时延计算以 15us/跳（不考虑拥塞）为单位。核心设备转发时延小于 30us，以城域网接入环 40KM，汇聚机房到核心机

房距离 400KM 的情况分析，其时延如下：接入层最大时延 0.32ms，端到端最大时延 2.38ms，传输网可以满足 eMBB 和部分 uRLLC 业务低时延的需求。传输时延主要由光纤传输引入（占比 90%以上），因此对于极限指标需求的uRLLC业务，核心网UPF结合MEC下沉部署是降低业务时延的关键。此外，需要结合路径优化方案降低传输设备处理时延，以实现整体降低传输网时延的目标。

2.1.3 无线侧多重手段优化数据调度时间，降低空口传输时延

上行预调度：可以降低上行调度时延，但是DCI开销更大，存在无用哑包，适用周期性突发业务场景（见图2）。



图2 上行预调度

免调度（Grant Free）：uRLLC业务资源已经预留，省去信令交互和基站处理过程，空口时延相比正常SR调度减少15ms左右。上行免调度机制采用了基于非动态授权的业务传输方案，基站发送 RRC 消息对上行传输的周期、时频域资源、MCS 等参数进行配置，通过激活相关授权，在业务数据到达后，终端即可以进行多次上行传输。5G 网络支持 Type 1 及 Type 2 两种免调度激活方案，其中，Type 1 方式下，终端在接收到 RRC 消息后，根据时域偏置进行授权配置的激活；Type 2 方式下，终端通过接收 DCI 消息激活配置授权（见图3）。

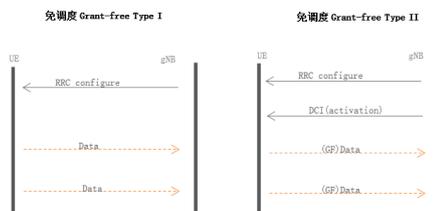


图3 免调度方案

Non-slot（符号级调度，mini-slot）：一个slot内有多次数传机会，最小每20s调度一次，用户面空口时延可平均节省1ms。4G 与 5G 网络均支持在时域采用连续的 14 个 OFDM 符号为粒度，进行业务数据传输。以 15 kHz 的子载波间隔为例，每次调度占用的时长为 1 ms，而即使在 30 kHz 的子载波间隔情况下，14 个 OFDM 符号的占用时长仍需 0.5 ms，对于有极低时延

需求的 uRLLC 业务，该调度粒度仍然有优化的必要。实现业务的“随到随传”在部分 uRLLC 场景下是至关重要的，5G 网络在业务的调度机制中制定了基于 slot 以及 mini-slot 的调度方案，两种调度方案的主要区别在于一次调度中包含的 OFDM 符号数以及调度的起始位置。基于 mini-slot 的业务调度可以实现在上下行链路中采用较少的 OFDM 数这种更小的调度粒度完成业务数据的传输，而且调度起始位置不需要与时隙起始位置对齐，可以灵活配置调度起始位置，降低业务传输所占用的时间。

FDD 上行辅助（超级上行）：可实现最大时延下降 30%（见图4）。

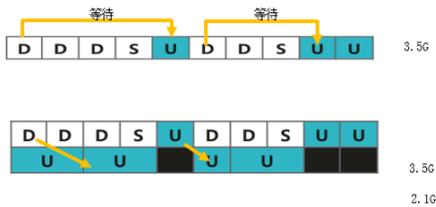


图 4 FDD 上行辅助

2.2 高可靠性解决方案

可靠性定义：在一定时延要求下正确传输数据包的概率。可靠性提升主要依靠降低 MAC 层误块和重传的概率。可靠性提升主要依靠降低 MAC 层误块和重传时延（见图5）。可靠性主要受误块、分片和切换影响。

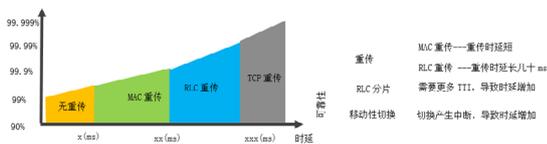


图 5 可靠性的相关影响因素

2.2.1 下行控制消息增强

在业务调度与发送的过程中，灵活与适配的 DCI 设计是数据传输的基础。对于 uRLLC 业务，针对其业务调度特性的 DCI 设计也是保障 uRLLC 的业务特性重要手段。uRLLC 场景下，考虑了专有的上下行 uRLLC 业务调度的 DCI 设计方案。首先从可靠性方面，减少 uRLLC 业务调度所使用的 DCI 的最小比特数，可以降低对物理层资源的需求，且在相同聚合等级下可以支持更低的码率，进一步增加了传输的可靠性并降低控制消息调度阻塞的概率。而且在灵活性方面，设计了更多可配置的 DCI 域，使得 uRLLC 业务调度在不同场景下都可得到适配^[2]。

2.2.2 物理层重复传输

数据采用不同冗余版本进行重传是 HARQ 过程中的典型特征。5G 网络在 uRLLC 场景下，在无传输反馈的前提下，可以将不同冗余版本的数据在物理层

不同时隙重复传输。而通过该物理层重复传输机制，接收端可以获取额外的分集与数据合并增益，从而实现对传输数据可靠性的提升。为了支持对极限时延需求业务的可靠性增强，还可以考虑进一步在 mini-slot 机制下应用物理层的重复传输机制。

2.2.3 减少或限制重传次数，降低重传时延，提升低时延可靠性

通过对 HARQ 的重传次数进行限制，超过 HARQ 重传次数后将丢弃该数据包，避免额外开销以及阻塞其他数据包收发情况。同时降低上下行 IBLER 目标值，减少重传次数，IBLER 目标值设置越小，则有更多的调度低阶 MCS，以降低通信有效性的代价来换取通信可靠性，降低误块率，减少重传次数^[3]。

2.2.4 PDCP 复制以提升数据传输可靠性

PDCP 复制的目的是重复传输，提高数据包传输的可靠性；同时降低重复发送的时延，满足 uRLLC（高可靠低时延）要求。PDCP 复制的应用场景：PDCP 复制主要应用于 uRLLC 下较小的数据包传输，因为数据包太大的话会导致资源消耗过大（见图6）。

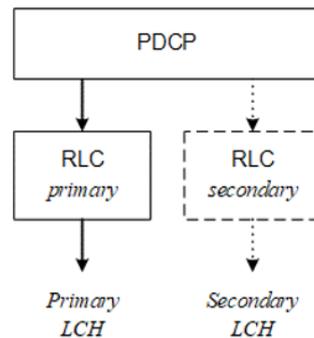


图 6 PDCP 复制示意图

PDCP 数据复制是 5G 网络高层基于载波聚合或双连接提升可靠性的传输方式。该传输方式下，相同的数据包将会被复制为多份，经不同的无线空口资源进行传输，从而在接收端可获取相应的分集增益以提升传输可靠性。PDCP 数据复制，会在 PDCP 层将同一份数据包复制多份，映射到不同的逻辑信道，对应不同的 RLC 实体，原始的 PDCP 数据包和复制的 PDCP 数据包将会在不同的载波上进行传输。当在载波聚合的场景下，不同的逻辑信道属于相同 MAC 实体，而在双连接的场景下，不同的逻辑信道属于不同的 MAC 实体。

2.2.5 支持多 TRP 传输方式

Rel-16 在 Rel-15 的基础上提出，可以基于空分、频分、时隙内时分和时隙间时分的方式重复发送传输块，为了提高分集增益，还支持上述模式的组合以及不同

模式（包括组合模式）间的动态切换^[4]。

2.2.6 低时延高可靠性的开销

更低时延、更高可靠性是有代价的，会消耗更多的频谱等资源。以预调度特性为例：即使没有数据发送，也需要调度频谱资源，导致频谱资源消耗。更小的SR周期，也会导致单小区的在线用户数规格降低。此外降低上下行IBLER目标值也会使数据信道的码率更低了，以 10^{-5} 次方的可靠性为例：将导致频谱效率降低50%~90%^[5]。

3 结论

在5G频谱资源充分的情况下，在部署多载波的基础上，通过引入PDCP层和更高层的数据复制传输技术能实现可靠性的进一步提升。与此同时，在低时延高可靠性方案的设计中，需要摸清业务合理需求，准确地规划网络性能。因此，需要准确获取E2E对时延及

可靠性诉求，分解出网络侧的时延可靠性诉求，分析网络能力是否满足业务诉求及相关条件。并在实际部署时，充分考虑现网不同场景对低时延&高可靠的影响，最终合理规划既不过度投资又能满足uRLLC相关业务需求的5G网络应用场景。

参考文献

- [1] 许森, 信金灿. 面向低时延高可靠的5G uRLLC增强技术研究[J]. 移动通信, 2019(9): 62-67.
- [2] 董磊. 5G条件下金融服务数字化转型研究[J]. 新金融世界, 2020(9): 62-63.
- [3] 孙志勇. 5G移动业务OTN承载解决方案[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 13-16.
- [4] 于洋, 王同文, 谢民, 等. 基于5G组网的智能分布式配电网保护研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(8): 16-23.
- [5] 苏艳涛, 甄仲强, 区林波. 基于5G SA的智慧钢厂解决方案[J]. 电脑与电信, 2021(8): 40-43.

（上接第17页）

4.2 运用于光场相机

现在光场相机在平时用的极多，大部分的人在拍照时都会选择光场相机，因为光场相机可以不用对焦处理，在拍照时只需要进行构图处理，操作过程以及步骤简单，极大地方便了人们进行拍照。但是光场相机有一个缺点就是拍照后照片的储存量大，传输速度慢，所以需要更快的传输速度，来将光场相机推广。而5G通信技术有一特点就是传输速度快且保密性强，对于光场相机来说是极其合适的，既能够提升传输速度，还可以保证相片的安全性，对光场相机应用的优化可以说是极其有利的。

4.3 运用于监控防护

在监控防护中，5G通信技术也可以起到很好的作用，监控视频储存量大，且储存时间长，所以一般的通信设施无法满足这一要求，只能按时删除一部分监控视频，这对于监控防护来说很不利，5G通信技术融合了AI智能技术，该项技术可以长期储存视频，并且容量很大，对于监控防护来说很有利。同时，由于5G

通信设施的兼容性强，可以利用移动终端进行远程操纵，远距离地检查监控设施的运行是否正常，对于监控防护无疑是有利的。

5 结语

随着信息化的不断发展，5G通信技术也应运而生，5G通信技术更加先进，更有利于人们生活，5G通信技术的传输速度快且保密性强，有利于保护人们的隐私，5G通信技术的兼容性相对于4G更强了，可以兼容多种设备。设计理念与以往有所差别，以往是服务于个人，现在是对一个区域，性能更加优越，5G通信技术使用的科技也是最前沿的，使得5G通信技术更加先进，但是5G通信技术发展的道路还很长，要稳定地向前迈进。

参考文献

- [1] 刘丛. 5G无线通信技术概念及其应用[J]. 中国新通信, 2019, 21(20): 21.
- [2] 马千军. 基于5G无线通信技术的应用前景分析[J]. 通讯世界, 2020, 27(06): 85-86.
- [3] 汪洋. 室内分布系统现状分析及5G室分建设方式探讨[J]. 数字通信世界, 2020(5): 67.