

6G 高可靠低时延通信的 候选技术研究

Research on Candidate Technologies for 6G Hyper Reliable and Low-Latency Communication

张小红,王森,朱悦,张斌(中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)
Zhang Xiaohong, Wang Sen, Zhu Yue, Zhang Bin (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

基于5G演进而来的6G超高可靠低时延通信场景,对可靠性和时延提出了更严格的要求。针对这些应用场景对网络性能提出的全新挑战,对现有5G低时延高可靠技术进行了分析,并结合对6G新兴技术的探索,提出了若干项具有潜力的候选技术研究方向,这些候选技术有望在未来成为6G网络的关键技术组成部分。

关键词:

6G; 5G; 低时延; 高可靠
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.02.002
文章编号: 1007-3043(2026)02-0005-06
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:

The 6G ultra-low latency and highly reliable communication scenarios based on the evolution of 5G impose more rigorous demands on reliability and latency. Aiming at the brand-new challenges presented by these application scenarios to network performance, it analyzes the existing 5G low-latency and highly reliable technologies, and in combination with the exploration of emerging 6G technologies, several potential candidate technological research directions are put forward. These candidate technologies are expected to become key components of 6G networks in the future.

Keywords:

6G; 5G; Low latency; Hyper reliable

引用格式:张小红,王森,朱悦,等. 6G高可靠低时延通信的候选技术研究[J]. 邮电设计技术, 2026(2): 5-10.

1 概述

随着5G的大规模商用,业界开始探索6G技术,旨在进一步增强网络性能,扩展应用场景,实现网络和服务能力的大幅提升。ITU定义了6G的六大愿景,包括沉浸式通信、超大规模连接、超高可靠低时延通信、泛在连接、通信感知一体化和通信人工智能(Artificial intelligence, AI)一体化。其中,超高可靠低时延(Hyper reliable and low-latency communication, HRLLC)是基于5G的低时延高可靠(Ultra-reliable and low la-

tency communications, uRLLC)应用场景演进而来,目标是实现0.1 ms的超低时延和99.999 99%的超高可靠性,以提供极致的用户体验和服务质量^[1]。

本文首先探讨了6G HRLLC的应用场景及其对网络性能提出的全新挑战,接着梳理了5G uRLLC的技术现状,尽管5G技术在降低时延和提高可靠性方面取得了显著进展,但其协议架构设计的局限性导致了网络性能提升存在瓶颈,无法满足6G HRLLC的网络需求。最后,通过分析现有技术和6G新技术,确定了2条6G HRLLC的研究路径,基于现有5G uRLLC技术的增强和结合6G新技术对6G空口技术进行研究设计,并提出了几项具有潜力的候选技术研究方向,以期推

收稿日期: 2025-12-26

动6G技术的进一步发展。

2 6G 超高可靠低时延应用场景及其网络需求

6G 超高可靠低时延通信在多个领域都具有广泛的应用场景,尤其是面向垂直行业,其典型应用场景涵盖了工业互联网领域的机器控制与协作,自动驾驶和无人机,以及智能电网等^[2]。通过分析这些典型应用场景,有助于理解这些应用对通信网络的具体需求,并据此提出切实可行的候选技术方案,以支持这些场景在6G网络中的实现。

2.1 机器控制与协作

未来协作式机器控制系统将基于对生产作业流程的深入理解,实现人、机器、物料以及环境之间的多维度协作。这种协作将从智慧工厂开始,逐步扩展到智慧农业和智慧医疗等多个领域,从封闭和局域向开放和广域场景扩展,助力提升行业工作效率和安全。此外,机器远程控制结合高清视频回传等先进技术,可以应用在远程医疗领域,以改善医疗资源分配不均,提升医疗服务的可及性和质量。医生通过穿戴扩展现实(Extended Reality, XR)头盔进入虚拟环境,实时监控手术过程,并操控机器臂进行远程手术^[3]。为了实现多设备间的协同工作和指令的实时传输,机器控制与协作对时延、可靠性和带宽都有极高的要求(见表1)^[2-4]。

表1 6G HRLLC 典型应用场景的网络需求指标

用例	速率	端到端时延/ms	可靠性/%	抖动
机器控制与协作	Gbit/s 量级	<0.5	99.999 99	μs 级
自动驾驶和无人机	Gbit/s 量级	<1	≤99.999 99	μs 级
智能电网	10~2 000 Mbit/s	1~10	>99.999	μs 级

2.2 自动驾驶和无人机

自动驾驶与无人机技术通过感知、决策和执行系统,实现车辆和飞行器的自主导航、避障和决策。其中,自动驾驶主要应用于地面交通工具,目标是实现在无人工操作的情况下,车辆依旧可以安全高效地行驶。而无人机技术则主要应用于空中领域,为实现规模化应用,其高度依赖低时延通信以及高可靠的协同工作机制。为保障自动驾驶与无人机在操作过程中能够实现实时数据传输与精准决策,进而确保安全运行,其网络性能要求如表1所示,端到端时延小于1 ms,可靠性达到99.999 99%,速率达到Gbit/s 量级^[2,5]。

2.3 智能电网

智能电网的典型应用场景包括电力配电网的差动保护和输电设备的监测,为提高电力系统的故障检测和处理效率,确保差动保护系统在故障发生时能够及时做出反应,避免进一步的损害^[2,5],这些场景对通信时延和可靠性的要求极为苛刻(见表1)。同时,通过利用超低时延和高可靠通信网络对输电系统中的设备进行实时监测,有助于确保其正常运行和发现早期故障,及时采取维护措施。

3 5G 低时延高可靠关键技术现状

5G NR的Rel-15版本初步支持uRLLC技术,能够提供毫秒级的空口时延和99.999%的高可靠性,以支持AR/VR和工业自动化等应用。为了拓展更多的应用场景,Rel-16和Rel-17版本又相继对uRLLC进行了增强,旨在提供0.5~1 ms的空口时延和99.999 9%的可靠性^[6]。

5G uRLLC技术实质上是基于5G eMBB的深度强化。它专注于满足低时延、高可靠的应用需求,通过对数据及控制信令需经过的物理层、媒体接入控制层、分组数据汇聚协议层、无线资源控制层等进行层层封装和优化,实现降低时延与提升可靠性的目标。5G uRLLC主要引入了如下关键技术。

a) 支持更小的调度和传输粒度,从而减少物理层信道的传输时延。在NR标准中,一个时隙包含14个(常规CP)或12个(扩展CP)OFDM符号。针对uRLLC业务,在数据信道方面,Rel-15引入了基于微时隙(mini-slot)的物理层上行共享信道(Physical Uplink Shared Channel, PUSCH)和物理层下行共享信道(Physical Downlink Shared Channel, PDSCH)的调度传输,其OFDM符号长度最小可配置为2。在控制信道方面,Rel-16支持基于子时隙(sub-slot)粒度的物理层上行控制信道(Physical Uplink Control Channel, PUCCH)传输,子时隙可配置为2或7个OFDM符号,从而实现承载混合自动重传请求确认(Hybrid Automatic Repeat request-ACKnowledgement, HARQ-ACK)信息的快速反馈^[7]。

b) 结合uRLLC业务的特性,简化调度传输流程,缩短传输时延。传统上行传输过程包括终端请求、基站调度、终端传输数据等步骤,过程复杂导致时延较大。针对周期性的uRLLC业务,Rel-15引入了上行免调度授权传输机制,通过基站预先为终端分配上行传输资源,允许终端能够根据自身的业务需求快速传输

数据。Rel-16进一步支持了多套上行免调度传输配置和对应的多套下行半持续调度(Semi-Persistent Scheduling, SPS)传输配置,这些配置可以独立设置传输周期、时频资源等参数,基站通过同时激活多个传输配置,可满足用户在多业务场景下的差异化时延需求和单一业务场景下的极致低时延追求^[8]。

c) 增强TDD模式下的HARQ-ACK传输机制,缩短PUCCH的传输时延。在载波聚合配置下,NR的早期版本仅允许PUCCH在主载波上传输。若主载波的帧结构配置的上行时隙较少,将导致传输HARQ反馈的时延增加。Rel-17引入了传输HARQ-ACK的PUCCH载波切换机制,基站可指示PUCCH切换到具有不同时隙配比的TDD载波上传输,从而降低时延。此外,对于TDD模式下承载SPS HARQ-ACK反馈信息的PUCCH可能因与下行符号发生碰撞而被取消传输的问题,Rel-17支持SPS HARQ-ACK延迟传输机制,允许终端在资源冲突时按照预设的规则将HARQ-ACK信息推迟到最早可用的上行符号上传输,从而减少不必要的SPS PDSCH调度重传^[9]。

d) 支持高优先级uRLLC业务优先传输机制,保障uRLLC业务的低时延要求。在eMBB和uRLLC业务共存的网络中,uRLLC因高时延要求而获得高优先级。为确保uRLLC业务被及时调度传输,Rel-15支持下行抢占技术,基站可利用已分配给eMBB的下行资源传输uRLLC数据,同时通知eMBB终端丢弃对应的传输。类似地,Rel-16支持了用户间上行资源复用,基站可将已分配给eMBB终端的上行时频资源重新分配给uRLLC终端,以降低其上行传输时延。此外,对于同时支持eMBB和uRLLC业务的终端,基站可能在已分配给eMBB资源上调度uRLLC上行传输,导致2个上行传输在时域上发生碰撞,Rel-16支持取消低优先级的eMBB传输,保障uRLLC传输来减小时延^[9-10]。

e) 通过降低码率提高传输的可靠性。Rel-15引入了专为uRLLC数据信道设计的信道状态指示和调制编码新表格,通过降低调制编码等级,配置低码率,提升恶劣信道和边缘区域中uRLLC传输的可靠性。为了提升下行控制信道(Physical Downlink Control Channel, PDCCH)的传输可靠性,Rel-16版本引入了压缩DCI格式,通过减少DCI负荷的比特位数实现低码率PDCCH的传输^[7]。

f) 支持冗余传输技术,提高传输可靠性。Rel-15支持基于载波聚合或双连接的分组数据汇聚协议

(Packet Data Convergence Protocol, PDCP)的数据复制技术,通过PDCP层复制数据包,原始及复制数据包通过不同载波传输使接收端获得分集增益,提高传输可靠性。此外,Rel-15还支持物理层的重复传输,包括基于时隙的PDSCH、PUSCH和PUCCH的重复传输。为了兼顾可靠性和低时延,后续的NR版本还引入了基于微时隙的PUSCH重复传输和基于子时隙的PUCCH重复传输^[8-9]。

4 6G 超高可靠低时延候选技术研究方向

4.1 6G 超高可靠低时延技术的必要性及研究路径

现有的5G uRLLC技术已经取得了显著进展,然而在面对诸如机器控制和自动驾驶等对时延和可靠性要求极为苛刻,且有高速率需求的应用场景时,仍难以满足其关键能力指标,这主要是5G整体协议层设计的局限性所致。uRLLC与eMBB业务在协议流程和端到端保障上相似,导致uRLLC技术在关键性能提升上存在瓶颈。此外,5G uRLLC虽然是在5G eMBB基础上进行的增强,但以牺牲速率和频谱效率等其他性能为代价,在追求更低时延与更高可靠性的同时,并未充分针对工业互联网、车联网等特定场景对eMBB的冗余设计进行必要的精简与优化,从而导致了不必要的复杂度与成本增加。这种试图同时兼顾多种业务场景的做法,最终顾此失彼,对任何一个行业都不能做到足够优化^[11]。

因此,对于6G HRLC而言,一个值得探索的方向是精准地定位其目标市场,并在技术特性上做出取舍。具体而言,6G HRLC应当更多地采用“针对性”而非“包容性”的设计思路,6G网络需要根据HRLC场景的需求,进行定制化的设计,如灵活的选择网络接入方式、网络功能模块集、部署位置等^[12]。基于上述思考,建议从以下2条研究路径探索6G超高可靠低时延技术:一是对现有的5G uRLLC技术进行精简和增强;二是结合6G新技术,如AI和通信感知,对6G空口技术进行研究和创新设计。通过这2条路径的并行探索与研究,提出更先进的低时延高可靠通信解决方案,为未来6G网络的实现提供坚实的技术基础。

4.2 6G 超高可靠低时延候选技术研究方向

4.2.1 简化低时延高可靠业务初始接入过程

为了满足多样化的部署需求,5G系统支持多种频段、时隙结构、子载波间隔和波束扫描,导致其初始接入模块设计复杂。相比之下,6G系统追求“极简多功

能”,采用定制化而非通用化设计。针对那些对低时延和高可靠性有严格要求的业务场景,建议设计一种确定性的初始接入模块。具体来说,可以采用有限的频点和简化后的同步信号块,以减少小区搜索和无线资源管理测量过程中的时延。同时,利用下行同步信号块隐含的携带上行随机接入相关的信息,如随机接入资源集等参数。此外,随机接入过程可以借鉴 5G 系统中的 2 步随机接入信道的设计思路,从而有效减少上行同步过程中的时延^[11]。

4.2.2 物理层上/下行共享信道重复传输增强

在 5G 系统中,仅支持在单一载波的连续时隙上进行 PUSCH 和 PDSCH 的重复传输。由于 TDD 帧结构的限制,当重复传输落在不可用的时隙上时,传输将被直接取消,或推迟到当前载波上最早可用的时隙上进行传输,这会导致数据传输无法兼顾时延和可靠性^[13]。在 6G 载波聚合系统中,如果不同的载波具有不同的 TDD 配置,对于动态调度传输业务,可以考虑支持 PDSCH 和 PUSCH 的重复传输在不同载波之间切换的机制,以实现 PDSCH 和 PUSCH 在时域上的连续重复传输,从而确保传输的可靠性和时延。如图 1 所示,与传统的 5G PUSCH 重复传输推迟到最早可用的上行时隙传输方法相比,允许基站在不同载波的连续可用时隙上调度 PUSCH 的重复传输,可以保障数据重复传输的次数,进而确保数据传输的可靠性。比如在该无线传输条件下,基站至少基于 3 次 PUSCH 重复传输才可以解码成功,则该方案与 5G 方案相比可以缩短 3 个时隙的时延。为了在 6G 中实现这一方案,需要对资源

调度、传输方案以及相关的控制信令和规则进行进一步的优化和设计。

4.2.3 基于全双工技术的低时延技术

在 5G 网络中,TDD 系统因其特有的双工特性和帧结构配置,引发了一系列时延问题,包括 HARQ-ACK 重传和物理层数据信道的重复传输等问题,需要采取有效措施来减轻这些问题的影响。针对 TDD 上下行配置引起的 HARQ-ACK 重传时延问题,5G NR Rel-17 提出了在载波聚合配置下支持传输 HARQ-ACK 的 PUCCH 载波切换机制,但这也增加了基站调度和终端处理的复杂度。

在 6G 网络中,可以深入发掘全双工技术的潜在应用优势,研究切实可行的干扰管理解决方案,从而实现基站在时域上更加灵活地分配上、下行传输资源,进一步优化数据传输的调度机制、HARQ 反馈机制及重传流程,从而显著降低数据传输的时延。例如,文献[14]研究了面向 uRLLC 场景的基于网络控制的全双工技术,其核心原理是通过解耦上下行传输链路,利用空间自由度实现时空资源的高效复用,进而减小数据传输时延。在该文献所给出的仿真结果中,当子载波间隔设定为 30 kHz、传输时间间隔为 2 个 OFDM 符号,且处于流量负载较低的情形时,对不同双工技术的用户面时延性能进行了对比。结果显示,该全双工技术与传统 TDD 技术相比,时延减小了 2 ms,验证了该全双工技术在降低时延方面具备优势。

4.2.4 基于 AI 辅助的智能化调度

内生智能 AI 作为 6G 的新技术,能够助力基站实

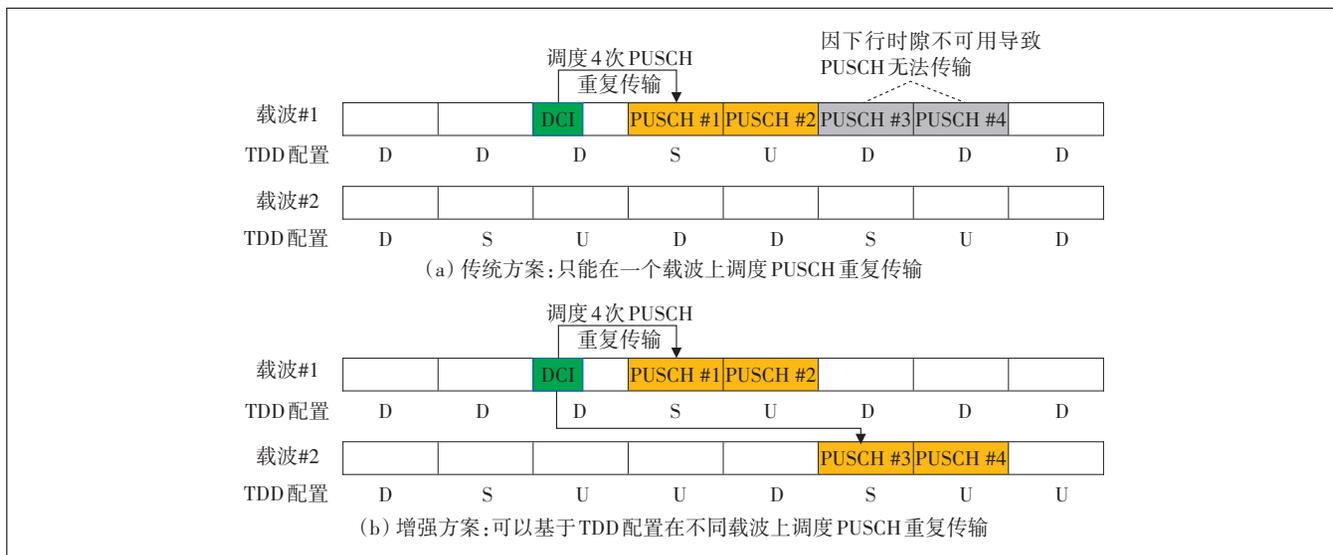


图 1 PUSCH 重复传输增强方案示例

现智能化调度,满足网络对低时延和高可靠的要求^[15]。具体而言,可以考虑以下几个研究方向。

a) 基于 AI 辅助的单 DCI 同时调度上下行传输机制。如图 2 所示,基站可借助 AI 的精准预测能力,前瞻性地识别并满足终端的调度需求,使得单个 DCI 能够灵活兼顾上行与下行数据传输调度的双重任务,与传统的调度机制相比,可以显著降低数据传输过程中的时延。然而,该方案对协议的影响较大,因此在 6G 中实现该方案需要对与 AI 辅助信息、资源分配、HARQ-ACK 反馈等过程相关的控制信令及规则进行进一步研究和设计。

b) 基于 AI 辅助的低 PDCCH 盲检复杂度机制。基站侧基于 AI 预测所提供的业务信息,能够进行智能化的预调度,为终端提供一些下行控制信息盲检相关的辅助信息,从而减少下行控制信道 PDCCH 盲检的复杂度,进一步降低时延和提高可靠性。如图 3 所示,基站为 UE 先下发一个 DCI 用于调度下行数据传输,接着再下发第 2 个 DCI 用于调度上行数据传输,且第 1 个 DCI 里包含了第 2 个 DCI 的一些信息,如 DCI 的大小, PDCCH 采用的聚合等级等信息,以便于 UE 能快速检测到第 2 个 DCI, UE 基于收到的第 1 个 DCI 和第 2 个 DCI,进行相应的下行数据接收和上行数据传输。

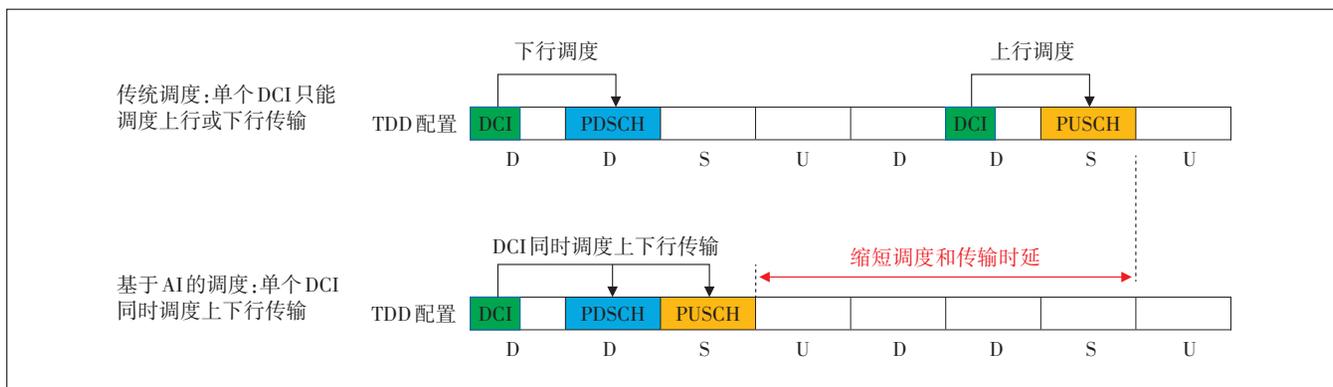


图 2 基于 AI 的智能化调度示例

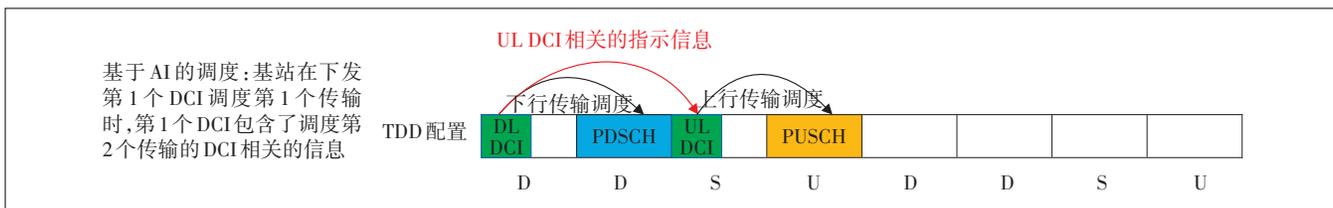


图 3 基于 AI 辅助的低 PDCCH 盲检复杂度方法示例

c) 基于 AI 预测的预调度传输机制。基站可通过 AI 预测业务的数据到达时间及数据量,为用户进行预调度,分配与数据量匹配的时频资源,减少动态控制信令的频繁传输,来降低传输时延。与传统的免调度传输配置相比,基于 AI 预测的预调度传输方案可以减少冗余资源的配置,提高资源利用效率。

d) 基于 AI 算法对 UCI 信息进行压缩的机制。基于 AI 算法对 CSI 和 HARQ-ACK 等上行控制信息进行压缩,减少上行控制信息的传输,从而提高 UCI 传输的可靠性。例如,可以支持基于 AI 预测的 HARQ-ACK 使能机制或压缩机制,若 AI 预测到下行数据传输的可靠性足够高,基站可以让终端取消 HARQ-ACK 反馈传输,或者把多个 PDSCH 的 HARQ-ACK 信息进行压

缩处理,如 HARQ-ACK 比特值的 bundling 操作,从而减少 UCI 信息的传输。

e) 基于 AI 预测的资源冲突缓解机制。在 5G uRLLC 中,为了解决不同业务优先级的资源冲突问题,引入了复杂的下行抢占和上行复用等方案来保障 uRLLC 业务的传输。借助 6G 中的 AI 技术,基站可利用 AI 技术精准预测不同用户的数据需求,基于不同用户业务的优先级,直接采取更为精细化和优化的调度策略和算法,从而有效减少用户间及用户内部潜在的冲突,并提升数据传输的可靠性与稳定性。

4.2.5 基于感知辅助的高可靠低时延技术

通信感知一体化作为 6G 技术的核心支柱,为传统移动通信网络注入了“多功能一体化”的能力,能提升

网络性能,并契合智慧交通、智慧医疗等低时延高可靠应用场景的需求。5G-A 阶段主要利用现有通信设施提供感知服务,构成通信网络中的感知业务保障。进入 6G 时代,感知能力将与通信能力深度融合,成为网络的内生属性,有助于推动未来网络达成“全域智联、感知泛在”的愿景^[16]。在此阶段,感知精度的提升将助力感知辅助的通信业务,利用网络外部感知获取的物理通信环境的信息(如通信距离、信道状态、干扰情况等)和网络内部感知获取的业务信息(如速率、时延和可靠性等指标要求),网络可以针对高可靠低时延业务智能地调整调度策略,如采取合适的无线资源分配方案、调制编码方案和数据传输配置等,来降低传输时延,提高传输可靠性,从而满足高可靠低时延业务的网络需求。文献[17]的研究表明,通过对比分析基于感知的信道估计技术与传统信道估计技术的性能,可以证明利用通感一体化信号中提取的感知信息作为先验信息,能够有效提高信道估计的性能,增强数据传输的可靠性。因此,为了更好地利用感知功能辅助基站在多样化业务场景下进行波束管理、调度传输、资源分配等方面的优化,可以进一步研究 6G 通信感知的物理层设计和资源管理等问题,从而提升网络性能。

5 结束语

6G 超高可靠低时延应用场景,如机器控制与协作、自动驾驶和无人机以及智能电网等,对网络性能提出了新的要求,然而现有的 5G 低时延高可靠技术受限于 5G 协议架构,在网络性能提升方面存在瓶颈,不能直接满足这些应用场景的网络需求。本文在分析当前 5G uRLLC 技术的基础上,进一步探索了 6G 新技术在降低时延和提高可靠性方面的应用,并提出了若干具有潜力的 6G HRLLC 候选技术研究方向,以支持超高可靠低时延场景在 6G 网络中的实现。该研究旨在为 6G 网络性能的提升提供参考,推动 6G 技术向更高水平发展。

参考文献:

- [1] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond: M.2160[EB/OL]. [2025-01-11]. <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2160-0-202311-1/en>.
- [2] IMT-2030(6G)推进组. 6G 用例研究[EB/OL]. [2025-02-11]. <https://www.docin.com/p-4787937043.html>.
- [3] 李静,李福昌,张涛. 基于场景需求的 6G 低时延高可靠性能指标

体系研究[J]. 邮电设计技术,2024(7):13-17.

- [4] KUZOVKOVA T A, SHARAVOVA O I, TIKHVINSKIY V O, et al. Matching of 6G network capabilities to digital services requirements [C]//2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). Arkhangelsk: IEEE, 2022:1-5.
- [5] 赵军辉,任瑞星,刘聪聪,等. 面向 6G 的超可靠低延迟通信关键技术:研究进展与展望[J]. 移动通信,2024,48(10):49-57.
- [6] YANG X M, ZHO Z Y, HUANG B Y. uRLLC key technologies and standardization for 6G power Internet of things[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2021, 5(2):52-59.
- [7] 中国联通. 中国联通 5G uRLLC 技术白皮书 v3.0[R/OL]. [2025-02-11]. <https://13115299.s21i.faiusr.com/61/1/ABUIABA9GAA-gyY6MlAYo7tS72AE.pdf>.
- [8] OPPO 研究院. 5G 技术核心与增强:从 R15 到 R16[M]. 北京:清华大学出版社,2021.
- [9] 3GPP. NR; Physical layer procedures for control; 3GPP TS 38.213[S/OL]. [2025-02-11]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 3GPP. NR; NR and NG-RAN overall description; stage-2; 3GPP TS 38.300[S/OL]. [2025-02-11]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [11] OPPO. 6G: AI 化+极简多能,成为普惠智能与元宇宙的基础设施[R/OL]. [2025-02-11]. <https://wenku.so.com/d/e4964b4b129d6a4537b0542e28e8f90a>.
- [12] IMT-2030(6G)推进组. 场景定制化的 6G 分布式网络架构及技术研究[R/OL]. [2025-01-15]. <https://max.book118.com/html/2024/1123/8004143135007001.shtml>.
- [13] 3GPP. NR; Physical layer procedures for data; 3GPP TS 38.214[S/OL]. [2025-01-15]. <https://itecspec.com/archive/3gpp-specification-ts-38-214/>.
- [14] 朱悦. 基于网络辅助全双工的超可靠低延迟通信问题研究[D]. 南京:东南大学,2023.
- [15] TAO T, WANG Y, LI D, et al. 6G hyper reliable and low-latency communication - requirement analysis and proof of concept [C]//2023 IEEE 98th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Fall). Hong Kong:IEEE, 2023:1-5.
- [16] 中国联通研究院. 中国联通 6G 通感智算一体化无线网络白皮书[R/OL]. [2025-01-15]. https://it.sohu.com/a/802319931_121955005.
- [17] IMT-2030(6G)推进组. 6G 通信感知一体化空口关键技术研究报告[R/OL]. [2025-01-15]. <https://www.waitang.com/report/99285991.html>.

作者简介:

张小红,工程师,主要从事无线新技术研究、标准跟踪等工作;王森,高级工程师,主要从事无线网络规划、新技术部署应用等工作;朱悦,高级工程师,主要从事无线网络规划、咨询设计等工作;张斌,高级工程师,主要从事无线新技术研究、无线网络规划设计工作。