

6G 无线通信中的 混合自动重传请求技术

Hybrid Automatic Repeat Request for 6G Wireless Communications

闫志宇, 刘晓峰 (中国信息通信研究院, 北京 100191)

Yan Zhiyu, Liu Xiaofeng (China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China)

摘要:

6G 沉浸式通信、扩展现实及天地一体化等业务对 HARQ 提出了极低时延、超大带宽、高可靠覆盖、能效可控及地面网络与非地面网络统一设计等新需求。5G NR 的 HARQ 框架存在 UCI 上报迭代复杂、调度紧耦合、时间线过度优化及层间协同不足等系统性缺陷。针对上述问题,分析业界关于 HARQ-ACK 信令设计、UCI 上报过程优化、调度协调、数据处理时间线简化、细粒度重传、跨层快速 ARQ 以及 HARQ 的 TN/NTN 统一架构等 6G HARQ 标准化设计方案,为构建 6G 系统性的技术路径提供参考。

关键词:

6G; HARQ; 上行控制信息; HARQ-ACK 码本; 快速 ARQ; 非地面网络

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.08.003

文章编号: 1007-3043(2026)08-0013-06

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:

6G immersive communications, extended reality, and integrated terrestrial and non-terrestrial networks and other services impose new demands on HARQ, including ultra low latency, ultra wide bandwidth, high reliability and coverage, controllable energy efficiency, and a unified TN/NTN design. The 5G NR HARQ framework suffers from systemic deficiencies: complex iterative UCI reporting, tight scheduling coupling, over optimized processing timelines, and insufficient cross layer coordination. To address these issues, industry proposals for 6G HARQ standardization are analyzed, including HARQ-ACK signaling design, UCI reporting procedure optimization, scheduling coordination, processing timeline simplification, fine-grained retransmission, cross-layer fast ARQ, and a unified TN/NTN HARQ framework, providing a reference for establishing a systematic technical roadmap for 6G.

Keywords:

6G; HARQ; UCI; HARQ-ACK codebook; Fast ARQ; Non-terrestrial networks

引用格式: 闫志宇, 刘晓峰. 6G 无线通信中的混合自动重传请求技术[J]. 邮电设计技术, 2026(8): 13-18.

1 概述

随着 3GPP 正式启动 6G 无线接入技术的研究,混合自动重传请求(HARQ)作为物理层可靠传输与链路自适应的核心机制,面临全新的性能要求与设计挑战。6G 需支撑沉浸式通信、触觉互联网、扩展现实及天地一体化等多样化业务,对空口往返时延、峰值速

率、频谱效率及连接可靠性提出了新的性能指标^[1]。本文旨在系统性分析 6G HARQ 技术的标准化技术路径,推动构建高效且可扩展的 HARQ 框架。

2 6G HARQ 设计需求

6G HARQ 设计需在极低时延、超大带宽、高可靠覆盖、能效复杂度以及天地一体化等方面实现性能以及可实施性方面的突破。

首先,6G HARQ 设计需满足极低时延需求。沉浸式通信、触觉互联网以及 XR 等业务对空口往返时延

基金项目: 国家重点研发计划(2024ZD1300500)

收稿日期: 2026-06-17

提出了亚毫秒级要求。在5G NR系统的设计中, HARQ往返时延受限于PDSCH处理时间、PUCCH准备时间、HARQ-ACK传输时长、基站侧调度处理时间等多个因素,通常在若干时隙量级^[2]。在6G设计中,需要大幅压缩这些因素带来的HARQ往返时延。

其次,6G HARQ设计在超大带宽与高谱效方面有新的需求。6G支持400 MHz的载波带宽和多流MIMO,传输块尺寸相较5G成倍增加,单个传输块可能包含更大数量的码块。TB级重传已难以适应6G的数据速率需求,大粒度的重传也造成严重的资源浪费。在6G设计中,需要以可控的反馈开销确保更高的重传效率,进而提升频谱利用率。

再者,6G HARQ设计需要满足高可靠与覆盖增强的需求。6G即将使用的7 GHz附近频段,上行链路预算紧张,其路径损耗和穿透损耗与Sub-6 GHz频段相比显著增大。HARQ-ACK反馈必须保证极低的NACK-to-ACK错误率。如果一个NACK被误检为ACK,将导致HARQ进程错误终结,触发RLC层ARQ重传,严重影响uRLLC和XR业务^[3]。同时,还需避免不必要的重传导致的效率损失。

此外,6G HARQ设计必须兼顾能效与复杂度控制。6G的终端设备种类将从低功耗传感器延伸至高端XR/VR设备。对于低端IoT设备,应允许更长的处理时间、更少的HARQ进程以及简化的软缓冲配置以降低芯片成本和功耗。对于高端XR设备,则需支持快速处理、多进程并行和细粒度重传。

最后,6G HARQ是非地面网络和地面网络共同设计的特性之一,适应不同轨道高度的NTN网络传播时延需求。通过统一的HARQ框架设计,NTN中成熟的HARQ方案也能反向优化地面网络中的覆盖受限场景,实现TN与NTN之间的平滑协同与资源共享。

3 5G系统HARQ框架分析

5G NR作为当前已广泛商用的移动通信系统,其HARQ框架在设计上追求极致的灵活性与性能,但在实际部署中也暴露出一系列系统性缺陷。本章将剖析5G HARQ设计的缺陷及其对系统性能的制约,旨在为6G HARQ设计提供明确的优化方向,避免重复类似的设计偏差,为技术选型和标准化决策提供依据^[4]。

3.1 UCI上报过程过度复杂

5G NR系统中的上行控制信息包括HARQ-ACK、调度请求和信道状态信息。为适应不同负载与时延

需求,协议定义了5种PUCCH格式^[5]。各种PUCCH格式的符号长度、复用能力与调制方式等用于适配不同上行控制信息的传输需求^[6]。按照标准规则,基站可以为UE预配置多个PUCCH资源集,在下行控制信息DCI中指示选定的PUCCH资源集中的一个作为反馈HARQ-ACK的资源。其中资源集的选择则需要根据当前需要反馈的UCI的长度确定。不同时刻的DCI可能为同一个上行时间单元指示不同的PUCCH资源。在UE侧,后获取到的PUCCH资源指示迭代更新先获取到的PUCCH资源指示。每一次迭代都需要UE重新计算HARQ-ACK码本大小,并在多个PUCCH资源集中确定最终使用的PUCCH资源^[7]。如图1所示,DCI-1调度的PDSCH-1与DCI-2调度的PDSCH-2各自的HARQ-ACK在同一个上行时间单元反馈,UE检测DCI-1后根据指示确定该上行时间单元反馈的HARQ-ACK码本大小以及PUCCH资源,在检测到DCI-2后需要根据指示重新确定该上行时间单元反馈的HARQ-ACK的码本大小和PUCCH资源,如此迭代进行。多个PUCCH之间或PUCCH与PUSCH在时域上发生部分或完全重叠时,UE也需要按照符号级别的时间粒度执行迭代式的UCI反馈内容和资源判断。

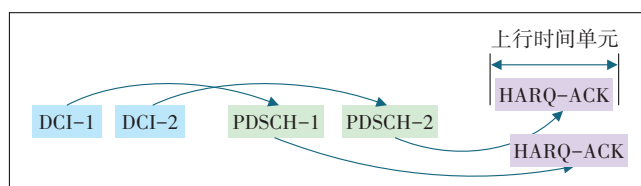


图1 UE迭代确定PUCCH资源示意

如上所述,精细化的UCI上报过程设计在实际部署中带来复杂的复用与优先级处理规则。迭代式的资源判断机制使UE的处理截止时间随新的下行控制信息到达而波动,UE难以进入低功耗的固定处理流水线。动态复用策略调整导致基带处理路径多次暂停、回溯与重算等,破坏了数据流的并行性。基站也需要相应地对多种假设进行盲检测,进一步增加了实现负担。虽然5G协议设计了复杂的UCI上报过程以满足上行控制信道的资源高效利用,但多数复杂场景在实际网络中几乎从不配置,使标准付出了高昂的规格复杂度代价,增加了终端与基站厂商的研发成本、测试复杂度及互操作风险。这些复杂性很少能转化为实际的性能增益,反而成为网络优化的障碍。

3.2 调度协调的紧耦合问题

NR系统由基站集中协调下行数据调度和相应的

HARQ-ACK 反馈, 这给网络侧带来巨大的协调负担, 也对调度灵活性和云化部署造成了很大的限制。

HARQ-ACK 码本的生成方式对调度协调提出了内在需求。当多个下行传输块的反馈需要在同一上行时隙发送时, UE 会将多个 ACK/NACK 比特打包为一个 HARQ-ACK 码本。为适应不同部署场景与性能要求, NR 定义了多种码本生成方式^[7-8]。其中, Type-2 动态码本的大小等于 UE 检测到的、调度给该 UE 的 PDSCH 数量, 兼具最高的效率与灵活性, 因而成为当前商用网络中最广泛采用的方案。采用 Type-2 码本时, 基站在每个调度 PDSCH 的 DCI 中通过“计数 DAI”和“总 DAI”2 个字段, 对所有调度的小区及 PDCCH 检测时机进行连续编号, 用于确定 HARQ-ACK 码本的大小以及各比特位对应的下行传输。如图 2 所示, 针对 DCI-1~DCI-6 调度的 PDSCH 均在相同的上行时间单元反馈 HARQ-ACK, 这些调度发生在不同的成员载波上。为正确确定各 DCI 中 DAI 计数值, 避免 UE 与基站对 HARQ-ACK 的码本大小理解不一致, 要求所有参与载波聚合的服务小区在调度时刻必须实时共享调度状态, 即不同小区的调度器之间需要在微秒级别交换信息。传统网络设备采用集中式调度器, 所有小区共享同一个调度实体。在调度器内部可以快速完成控制信息中的调度分配索引和 PUCCH 资源指示的协调。然而, 随着网络向云化、分布式架构演进, 不同小区可能由不同的物理单元处理, 单元之间通过网络交换调度信息。微秒级的同步要求对于 IP 网络而言极为苛刻, 跨数据中心的延迟更是毫秒级。因此, 类型 2 的 HARQ-ACK 码本的紧耦合设计实际上限制了运营商在部署载波聚合时必须采用集中式调度架构, 无法灵活地将不同小区分布到边缘云节点, 从而限制了网络的可扩展性和成本优化空间^[9-10]。

HARQ-ACK 反馈所使用的 PUCCH 资源与 PDSCH 调度的时序关联进一步加剧了调度协调的复杂度。在每个调度 PDSCH 的 DCI 中, 网络还需同时指示承载

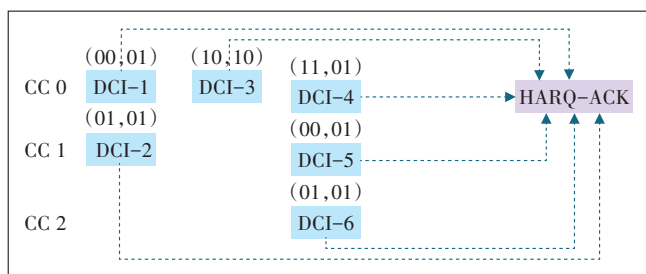


图2 载波聚合的服务小区间(计数DAI,总DAI)紧耦合示意

对应 HARQ-ACK 的 PUCCH 资源, 这要求下行与上行调度器之间的紧耦合(见图 3)。下行调度器在分配 PDSCH 资源时, 必须与上行调度器协同, 以确保所指示的 PUCCH 资源不会与该 UE 的其他上行传输发生冲突, 且该资源在对应的上行时隙中有效可用。

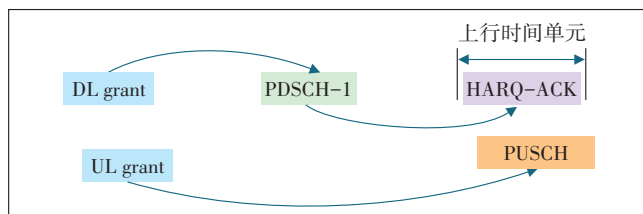


图3 上下行调度器紧耦合示意

3.3 处理时间线的过度优化

NR 系统定义了 2 种 PDSCH 处理能力, 分别对应从 PDSCH 接收到 HARQ-ACK 反馈的最小时间间隔(见图 4)。能力 1 适用于大多数终端; 能力 2 主要为 uRLLC 业务而设计, 具有更短的处理时间。然而, 受限于实现成本高、调度收益有限以及 uRLLC 业务尚未规模化部署, 支持能力 2 的商用终端极为罕见^[11]。

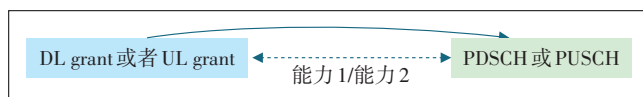


图4 处理时间线示意

能力 2 要求 UE 在极短时间内完成 LDPC 解码, 相比能力 1 需要更强的基带处理能力、更高的时钟频率和更复杂的内存架构, 导致芯片成本与功耗显著增加。为利用能力 2, 网络需配置很小的 PDSCH-to-HARQ-ACK 时间间隔, 但实际网络中受 TDD 时隙配比、多用户调度排队等因素制约, 该间隔很难达到能力 2 所需水平, 使得能力 2 的设计初衷难以实现。

此外, NR 系统为在复杂调度与 UE 处理之间建立确定性的边界, 协议规定: UE 在收到非周期 CSI 上报触发后, 在指定的处理时间结束前, 基站不得调度任何起始时间更早的新上行传输。该时段虽能保证 UE 集中处理 CSI 测量, 却也可能使其无法及时响应紧急的上行小包数据, 从而增加调度时延, 影响 uRLLC 调度。同时, 基站需维护复杂的状态机以追踪每个 UE 的 CSI 处理进度并规避阻塞窗口, 这显著增加了调度算法的实现难度。

3.4 HARQ 与 ARQ 的协同不足

3.4.1 层间协同不足导致的延迟与资源浪费

在 NR 系统中, HARQ 位于 MAC/PHY 层, 负责快

速的增量冗余重传与软合并。HARQ 进程的失败状态(如达到最大重传次数、发生 NACK-to-ACK 错误或信道持续恶化)并不会主动通知上层的 RLC AM 实体。RLC AM 的 ARQ 重传完全依赖接收端通过定时器或轮询触发的状态报告,该定时器需配置充足时长以确保 HARQ 重传完成,这样即使 HARQ 已彻底失败,RLC 仍需等待数十毫秒才能触发 ARQ 重传。与此同时,MAC 层在进行 HARQ 重传时也无法获知所承载 RLC SDU 的剩余时延预算,可能出现已超时数据仍被调度的情况^[12]。这种层间协调缺失使得两层重传机制无法根据对方状态或业务需求动态调整策略,从而造成端到端延迟恶化、重传资源浪费及接收端 L2 缓冲区膨胀,对 XR、沉浸式通信等时延敏感业务的影响尤为显著。

3.4.2 MAC/PHY 层的队头阻塞

在 MAC 与 PHY 层的交互过程中,队头阻塞表现为当一个 TB 中的某个 CB 或 CBG 解码失败时,该 TB 内其他已成功解码的 CB/CBG 所携带的数据无法被递交给 MAC 层及以上协议层处理。这一现象的原因有二:首先,NR 协议要求接收端必须通过完整的 TB 级 CRC 校验后才能将数据交付给 MAC,导致已成功解码的 CB/CBG 被迫等待失败部分完成重传。其次,MAC 子协议数据单元 subPDU 与 CB/CBG 之间的边界缺乏对齐,使得即使某些 CB 成功解码,因为子 PDU 可能起始于失败的 CB 中,接收端无法定位子头起始位置,从而无法解复用出完整的 MAC 服务数据单元或 MAC 控制元素^[13-14]。这种队头阻塞显著增加了成功数据的递交时延,并造成接收端处理负载呈现“空闲—突发”的不均衡模式,与 6G 低时延、高效能的设计目标相悖。

4 6G HARQ 解决方案分析

针对第 3 章所分析的 5G NR HARQ 框架在 UCI 上报、调度协调、处理时间线以及跨层协同等方面的系统性缺陷,业界在 3GPP 的 6G 讨论中提出了多项面向 6G 的增强方案。这些方案围绕 HARQ-ACK 信令设计、UCI 上报过程优化、调度协调、数据处理时间线简化、细粒度重传、跨层快速 ARQ 以及 HARQ 的 TN/NTN 统一架构等方向展开。本章将逐一阐述各技术方向的核心思路及初步共识,为 6G HARQ 的标准化研究提供参考^[15-16]。

4.1 设计 HARQ-ACK 信令

6G HARQ-ACK 信令设计有 2 种承载方式:一种是通过物理层信道 PUCCH 或 PUSCH 承载,另一种是

通过 MAC 层承载。

物理层信令的主要优势在于:低处理与传输时延、高可靠性、更好的上行覆盖以及小负载下更高的资源效率。但其存在 2 个固有局限:在小负载无 CRC 保护时存在 NACK-to-ACK 误判风险,以及在多载波聚合场景下 Type-2 码本需紧耦合的调度协调。相比之下,采用 MAC CE 承载 HARQ-ACK 的核心优点是完全解耦反馈与下行调度,有利于云化与分布式基站架构。同时,由于天然携带 TB 级 CRC,可避免 NACK-to-ACK 错误,并能灵活支持超大负载。然而,MAC 层的方案也存在显著缺陷:额外的 MAC 处理与 PUSCH 调度延迟严重制约时延敏感业务;在小负载场景下,MAC 子头、LCID、CRC 等开销导致资源效率极低;上行覆盖能力较差;当无上行数据时,还需额外 UL grant 触发反馈,徒增 PDCCH 开销。

因此,6G DL HARQ-ACK 设计以物理层信令为基线,通过设计克服其协调复杂性。MAC 层的 HARQ-ACK 信令则可作为补充方案用于大负载、非时延敏感或调度器高度解耦的特殊场景。

4.2 优化 UCI 上报过程

首先,可以简化 PUCCH 格式与资源集配置,将现有的 5 种 PUCCH 格式缩减至 2~3 种。另外可以简化 PUCCH 资源配置,例如仅保留 1 种 PUCCH 资源集,避免 UE 因 UCI 负载大小变化而需要在多个资源集之间动态选择,从而降低处理复杂度。

其次,应消除 5G NR 中 UE 端因 DCI 先后到达而反复重算的迭代过程。例如,将 PUCCH 资源与内容的符号级迭代决策替换为基于固定参考点的一次性确定机制,或以上行时隙的起始边界为基准,向前偏移一个固定处理时间窗口。该参考点定义了 UCI 内容确定的截止时刻。所有在参考点之前到达的 DCI 及其调度的 PDSCH 的反馈信息均被纳入当前上行时隙的 HARQ-ACK 码本。任何在参考点之后到达的 DCI,其对应的 HARQ-ACK 信息将被推迟到后续的上行时隙发送。在此机制下,UE 无需在收到每个 DCI 后立即进行资源判断,而是等待参考点到达后,执行一次 UCI 内容汇总、码本生成和 PUCCH/PUSCH 资源选择。基站也需遵守相同的规则,确保所有需要在该上行时隙反馈 HARQ-ACK 的 DCI 均在参考点之前发送完毕,参考点之后不再发送指向该上行时隙的调度 DCI。如图 5 所示,UE 获取 DCI-3 的时间在参考时间点之后,其所调度的数据对应的 HARQ-ACK 反馈不纳入该上行时

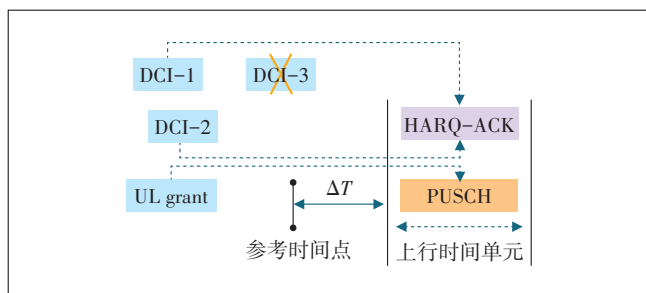


图5 基于参考时间点确定UCI传输过程

间单元。这种设计消除了因DCI先后顺序导致的迭代重算,使UCI处理流程变为确定性的单次操作,降低了UE的处理复杂度和功耗,同时为网络调度提供了确定的时间边界。

4.3 调度协调

针对5G NR中HARQ-ACK反馈与下行调度紧耦合的问题,6G设计应考虑解耦HARQ-ACK的触发与资源分配。具体而言,调度PDSCH的DCI不再同时携带PUCCH资源指示和PDSCH-to-HARQ反馈时序指示。取而代之的是,基站可在后续通过单独的上行调度、专用DCI,甚至一个不调度任何数据信道的DCI来触发HARQ-ACK反馈^[12]。这一解耦设计使得下行调度器与上行调度器无须为每一个PDSCH进行高实时性协调,从而显著降低调度复杂度。

针对载波聚合CA场景,可按子载波间隔对服务小区进行分组,在各组内独立进行DAI计数,或直接采用增强Type-3等按需请求的码本类型,从而避免跨所有小区的DAI同步需求。此外,采用MAC CE承载HARQ-ACK时,其反馈内容中显式携带HARQ进程ID与小区ID,基站可以完全依据内容解析HARQ-ACK,与反馈的发送时刻无关。这种方式从根本上消除了5G NR方案中因时序与资源捆绑而产生的所有调度协调需求,尤其适合调度器物理分离的云化部署场景。

4.4 简化数据处理时间线

为解决5G NR中处理时间线过度优化导致的调度限制和资源浪费问题,可以考虑为一种设备类型定义单一的PDSCH/PUSCH处理能力,取消为uRLLC边缘场景设计的复杂能力。另外,与UCI上报过程优化类似,基于固定参考点确定UCI的内容与资源选择不仅可以消除UE侧因DCI先后到达而反复重算的迭代过程,也可以避免因非周期CSI上报等长处理时延操作阻塞后续上行调度的问题,为6G的数据处理时间线确立确定、简洁和可预测的框架。

此外,MAC层的HARQ-ACK反馈的异步特性也可以为简化数据处理时间线提供互补路径。MAC CE中可以显式携带HARQ进程ID与小区ID,基站依据内容解析反馈信息,与反馈的具体发送时刻无关。这一设计从根本上解耦了反馈与下行调度之间的时序依赖,使得系统无须再遵守5G NR中严格的数据处理时间线。基站可以根据自身调度策略和上行资源可用性,在任何必要的时间调度PUSCH来获取HARQ-ACK反馈,而无须为每个PDSCH预留固定的反馈时隙。这种异步机制尤其适用于调度器物理分离的云化部署、非理想回传的载波聚合以及NTN等场景。

4.5 小于TB级的反馈与重传

针对6G超大TB尺寸下细粒度HARQ反馈的需求,须权衡反馈开销与重传效率之间的平衡。5G NR中CBG级反馈虽能减少不必要的重传,但其反馈开销随CBG数量呈线性增长,且MAC subPDU跨CBG分割导致的队头阻塞问题进一步制约了性能。为此,6G设计方案需要以有限的反馈比特数为代价,尽可能精准地定位错误代码块CB。同时,通过优化MAC与PHY层的数据边界对齐,消除成功解码数据对失败部分的依赖。

6G设计中小于TB级的反馈与重传方案可归纳为两大方向。一种是反馈开销压缩。通过XOR重传、二维格栅编码、2个阶段反馈或AI/ML辅助的压缩码本等技术,以少量反馈比特编码最常见的错误图样,使平均重传数据量接近CB级理论下限^[17]。另一种是边界对齐与队头阻塞消除。通过在CBG边界插入独立子头或调整MAC subPDU与CBG的对齐方式,确保即使前序CBG解码失败,后续成功CBG中的数据仍能被接收端解析并递交给上层。

4.6 快速ARQ

针对NR中HARQ与ARQ的层间隔离导致的ARQ重传延迟大、L2缓冲区膨胀问题,6G考虑用快速ARQ方式,以显式、低延迟的信令替代隐式、定时器驱动的反馈机制,从而为6G时延敏感业务提供更可靠的底层重传支撑。

上行方面,基站通过DCI显式指示HARQ进程失败或成功,UE收到后立即触发ARQ重传或释放L2缓冲区。在具体实现方式上,一种可能的方式是在调度PUSCH的DCI中增加1 bit与NDI联合编码;另一种是采用专用非调度DCI指示HARQ进程的状态。

下行方面的核心在于对NACK-to-ACK错误的检

测与上报。当UE发送NACK后却收到NDI翻转的新TB时,可判定发生了NACK-to-ACK错误。NACK-to-ACK的发生概率较低但比较严重,6G设计需要考虑是在规范层面增加显式信令以换取性能增益,还是依赖现有机制和实现的优化来简化标准。最终在性能提升、实现复杂度和信令开销之间取得平衡。

4.7 NTN HARQ相关设计

3GPP明确将HARQ作为TN/NTN共同设计的特性之一。通过统一的HARQ框架,6G可实现TN与NTN之间的平滑协同,使NTN中的成熟技术反向优化TN的性能,同时TN中的动态调度和链路自适应经验也可赋能NTN。

NTN中超长往返时延远超TN场景的时序假设。5G NR中HARQ进程数量的最大值是32个。以GEO卫星约540 ms的传播时延为例,理论最大链路利用率仅为 $32/540 \approx 5.9\%$,意味着超过94%的信道容量被闲置。在HARQ进程数量不作限制的情况下,UE也需要为数百个并发进程维护巨大的软缓冲,使成本急剧攀升。因此在6G中可以考虑支持每HARQ进程可配置的HARQ-ACK反馈启用/禁用机制^[18]。当HARQ-ACK反馈被禁用时,UE不再发送ACK/NACK,基站也不进行HARQ重传,转而依赖重复传输、时隙聚合等开环可靠性方案。当HARQ-ACK反馈被禁用时,基站无法直接获知下行传输是否成功,传统依赖ACK/NACK的链路自适应机制失效。为弥补这一信息缺口,可以考虑采用UE上报辅助信息的方式来协助基站进行调制编码方案选择。

5 结束语

本文首先从极低时延、超大带宽、高可靠覆盖、能效与复杂度可控及地面与非地面网络统一设计5个维度,梳理了6G HARQ需满足的关键需求。然后剖析了5G NR HARQ框架在实际部署中暴露的4类系统性缺陷:UCI上报的符号级迭代与资源覆盖导致处理峰值高、调度协调的跨小区同步限制云化部署、处理时间线的过度优化造成调度死锁以及HARQ与ARQ层间隔离引发重传延迟与队头阻塞。针对上述问题,本文系统论述了业界提出的演进方案:以物理层信令为基线、MAC层信令为补充的分层反馈框架;通过固定参考点实现UCI确定、解耦反馈触发与资源分配以消除调度紧耦合;小于TB级的反馈与重传方案等细粒度方案,在有限开销内趋近码块级重传效率;通过显式DCI

指示与跨层上报压缩ARQ重传延迟;面向非地面网络构建支持反馈禁用与辅助信息上报的统一HARQ框架。这些技术路径为6G HARQ的标准化研究提供了系统性参考。

参考文献:

- [1] 3GPP TR 38.914 V0.4.0 Study on 6G Scenarios and Requirements [S].
- [2] 3GPP TR 38.838 V17.0.0 Study on XR (Extended Reality) evaluations for NR [S].
- [3] 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.
- [4] 3GPP R1-2604829 FL summary for AI 10.5.4.3 [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [5] 3GPP TS 38.211 V19.3.0 NR; Physical channels and modulation [S].
- [6] 3GPP TS 38.212 V19.3.0 NR; Multiplexing and channel coding [S].
- [7] 3GPP TS 38.214 V19.3.0 NR; Physical layer procedures for data [S].
- [8] 3GPP TS 38.213 V19.3.0 NR; Physical layer procedures for control [S].
- [9] 3GPP R1-2604541 Discussion on HARQ related aspects for 6GR [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [10] 3GPP R1-2604021 Discussion on 6GR HARQ design [EB/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [11] 3GPP R1-2604302 Discussion on HARQ related aspects [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [12] 3GPP R1-2604271 HARQ related aspects for 6GR [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [13] 3GPP R1-2604379 Discussion on HARQ related aspects [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [14] 3GPP R1-2603918 Discussion on HARQ related aspects for 6GR [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [15] 3GPP RP-253876 Study on 6G Radio [R/OL]. <https://www.3gpp.org/>.
- [16] 刘军,张宏莉. 3GPP 6G场景与需求研究报告解析:系统架构、KPI与演进路径[J]. 电信快报, 2026(4): 36-39.
- [17] 杜坦隆,梁子鉴,牛凯. 面向6G的信源信道联合编码传输技术[J]. 移动通信, 2026, 50(5): 44-50.
- [18] 陈山枝,孙韶辉,康绍莉,等. 6G星地融合移动通信关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2024, 54(5): 1177-1214.

作者简介:

闫志宇,高级工程师,硕士,主要从事无线通信国际标准和新技术研究工作;刘晓峰,正高级工程师,博士,主要从事5G与6G国际标准化和移动通信与AI融合研究工作。

