

XR网业协同技术



Network and Service Collaboration Technology Based on XR

李娜/LI Na^{1,2}, 张诗壮/ZHANG Shizhuang^{1,2},
程义超/CHENG Yichao^{1,2}

(1. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 中国 深圳 518055;
2. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(1. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China;
2. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1012

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20240724.1107.008.html>

网络出版日期: 2024-07-24

收稿日期: 2023-11-20

摘要: 分析扩展现实(XR)业务在业务网络双向感知、业务保障和业务评估方面面临的挑战, 根据XR业务特征和网络要求, 研究并提出面向XR业务的网业协同技术, 构建基于XR业务的低时延、大带宽和高可靠的广义确定性网络。

关键词: 扩展现实; 业务评估; 业务保障; 感知; 网业协同; 元宇宙

Abstract: The challenges of bidirectional perception of the network and service, service assurance and service evaluation for extended reality (XR) services are analyzed. Based on the characteristics of XR services and network requirements, the network service coordination technologies for XR services are proposed, and the XR service-based Detnet with low latency, large bandwidth and high reliability are constructed.

Keywords: XR; service evaluation; service assurance; perception; network service coordination; Metaverse

引用格式: 李娜, 张诗壮, 程义超. XR网业协同技术[J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(S1): 84-90. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1012

Citation: LI N, ZHANG S Z, CHENG Y C. Network and service collaboration technology based on XR [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(S1): 84-90. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1012

1 XR业务概述

扩展现实(XR)是不同类型现实的总称, 指的是计算机技术和可穿戴设备产生的真实和虚拟融合以及可人机交互的环境, 包含虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)以及其他沉浸式技术。

VR是以渲染的视觉和听觉为主导, 通过计算机模拟虚拟环境给人以环境沉浸感, 可让人完全沉浸在虚拟环境中, 通常需要佩戴视听设备。AR是实时根据现实世界的位置和角度, 并叠加相应的虚拟图像和三维技术, 即在真实空间叠加虚拟物体, 把虚拟信息映射在现实环境中, 但不能与真实环境交互。MR指增强型的AR, 是虚拟与现实的混合体, 可将现实世界数字化, 并与虚拟世界融合产生新世界, 虚拟物体和现实世界的对象在新世界共存并实时交互^[2]。

MR的终极形态是元宇宙(Metaverse), 元宇宙是下一代沉浸式互联网, 是超越虚拟与现实的终极愿景, 意在创造一个平行于现实世界的人造虚拟空间, 承载用户社交娱乐、创作展示、经济交易等一切活动。因其高沉浸感和完全的同步性, 逐步与现实世界融合、互相延伸拓展, 最终达成“超越”虚拟与现实的“元宇宙”, 为人类社会拓宽无限的生活空间。

XR在各种领域都有良好的发展前景, XR可穿戴设备作为下一代沉浸式个人智能计算终端, 将重构“人-物-场”的连接关系, 创造新的生态入口。表1列举了XR技术在不同领域、不同行业的部分应用场景。政策上, XR同样被寄予厚望, “十四五”规划将“虚拟现实和增强现实”产业列为数字经济发展的七大重点产业之一。中国信息通信研究院

▼表1 XR应用场景分类

应用领域	应用场景	场景方向
娱乐领域	云XR游戏、VR直播、VR电影	ToB、ToC
教育领域	虚拟实验、模拟训练	ToB、ToC
医学领域	远程医疗、VR医学成像、康复训练	ToB、ToC
文旅领域	VR博物馆、AR导览系统、春晚舞台	ToB、ToC
电商领域	MR试装、虚拟商店、商品展示	ToB、ToC
电视转播领域	AR体育赛事转播、虚拟角色	ToC
军事领域	VR模拟战斗、作战协同、心理适应性训练	ToB
建筑领域	MR建筑图、设计展示与沟通	ToB、ToC
生活领域	AR测距、VR社交	ToC
航天领域	VR虚拟训练、模拟维修、科普教育	ToB
工业领域	VR工程解决方案设计	ToB

AR: 增强现实
MR: 混合现实
ToB: 面向企业
ToC: 面向个人
VR: 虚拟现实
XR: 扩展现实

发布的《虚拟（增强）现实白皮书》预测^[3]：2022—2025年AR/VR设备总量增长较为缓慢，2026年后随终端成熟度提升，数量开始快速增长；AR终端前期增长较快，预计2024年设备数量超过VR终端；2030年蜂窝网络激活率约为60%，蜂窝网络AR/VR设备规模达到8 130万以上；预计2040年蜂窝网络激活率达到95%，蜂窝网络AR/VR设备规模达到6.57亿，普及率约为49.6%。

XR涉及终端、应用、网络、平台等，其中网络侧为平台侧和终端侧构建低时延、大带宽和高可靠的传输通道，XR的网络架构如图1所示^[1]。高清XR业务的分辨率达24K，全景传输带宽要求达8 Gbit/s，基于视场角(FoV)的传输带宽要求达3 Gbit/s，时延如动作到画面时延(MTP)要求在10ms以内，可靠性如分组丢失率控制在 10^{-7} 以内^[2]，这些都对网络的带宽、时延和可靠性提出了新的挑战。为了满足XR业务诉求，网业协同技术的研究刻不容缓。

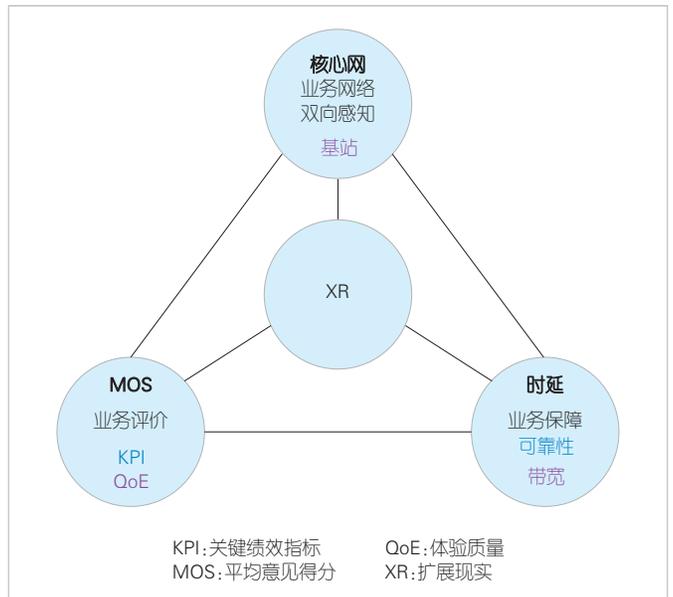
2 XR网业协同技术

XR业务具有准周期性（可能存在抖动）和实时交互的特征，对时延有更严苛的要求；具有超高清分辨率和高帧率的特征，对带宽有更大的诉求。为了满足用户极致流畅体验如无卡顿花屏等，XR对可靠性提出了更高的要求。

具有高可靠、低时延、大带宽特征的XR业务，在业务网络双向感知、业务保障、和业务评估等方面还有很大的改进空间，如图2所示。需要结合XR业务特征和网络要求，研究面向XR业务的网业协同技术，增强业务与网络的双向感知，实现网随业动、业由网生，构建基于XR业务的广义确定性网络。

2.1 业务网络双向感知

帧是音视频中非常重要的概念，包括I帧、P帧和B帧。

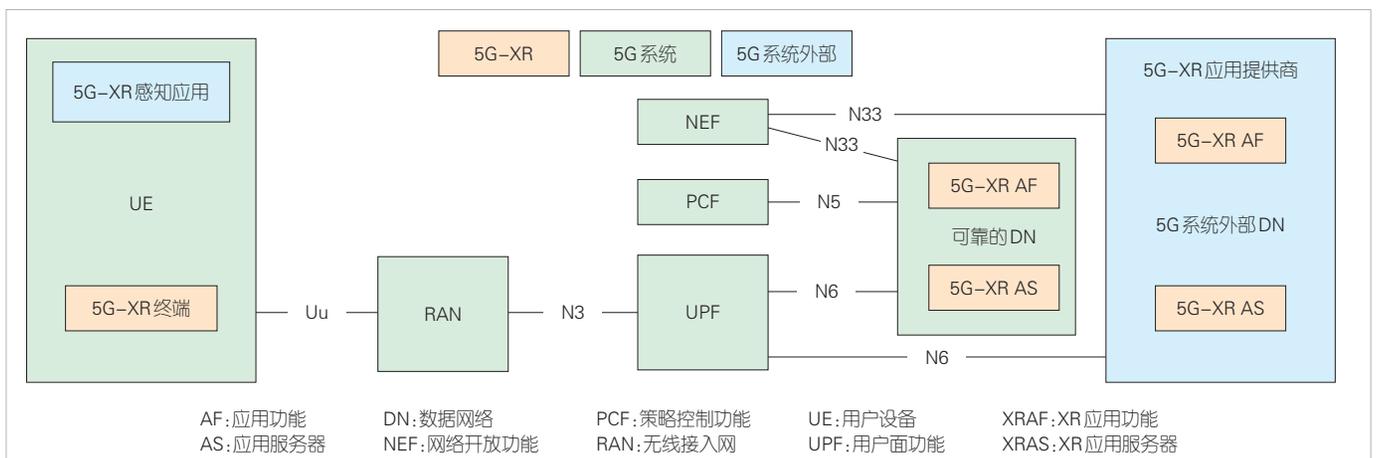


▲图2 XR业务面临的挑战

I帧包含一幅完整的图像信息，属于帧内编码图像，在解码时不需要参考其他帧图像。P帧是帧间编码帧，利用之前的I帧或P帧进行预测编码。B帧是双向预测编码图像帧，利用之前和（或）之后的I帧或P帧进行双向预测编码，B帧不作为参考帧。XR业务以协议数据单元集（PDU Set）为粒度承载数据，PDU Set等价于帧（如视频帧、音频帧等）。

2.1.1 网络感知业务

网络侧需要感知帧信息，并对XR业务实施帧级保障。第三代合作伙伴计划（3GPP）定义了承载XR业务的5G服务质量标识（5QI），多个PDU Set可映射到同一个5QI，其中包括5QI80和5QI87-5QI90。5QI80业务类型为非保证比特率业务（NGBR），建议承载AR业务，包时延预算（PDB）



▲图1 XR在5G系统的基础网络架构

为 10 ms, 丢包率 (PER) 为 10^{-6} ; 5QI87-5QI90 业务类型为 保证比特率业务 (GBR), 建议承载交互和视觉渲染服务等, PDB 范围为 5~20 ms, PER 范围为 10^{-4} ~ 10^{-3} 。目前网络只支持基于 5QI 和网络切片 (可建立多个 5QI) 识别 XR 业务, 无法满足 XR 业务的帧级要求, 也无法区分帧进行差异化保障, 在相同的保障策略下, 优先级低的数据帧如 P 帧占据高优先级数据帧如 I 帧的调度机会和资源, 降低用户体验和容量。

未来, 基站需要基于标准接口与核心网进行信息交互, 这对核心网提出了新的挑战。核心网需要支持携带上下行 XR 业务特征、PDU Set 信息和部分应用层信息, 用于辅助基站对 XR 业务进行特定的保障。

核心网通过实时传送协议 (RTP) 报头扩展标记 PDU Set, 核心网可提供业务识别信息包括多 PDU Set 间同步感知信息和 PDU 结束信息、数据突发结束信息、PDU Set 重要性、PDU Set 序列号、PDU Set 中的 PDU 序列号、PDU Set 大小等 PDU Set 信息和 PDU Set 错误率 (PSER)、PDU Set 时延预算 (PSDB)、PDU Set 集成处理信息 (PSIHI) 等 PDU Set 服务质量 (QoS) 参数信息和 QoS 流上下行业务的周期、突发到达时间、存活时间、抖动等时间敏感通信辅助信息 (TSCAI)^[4], 以及应用层信息包括体验质量 (QoE) 测量信息, 如缓存信息、吞吐量等。网络侧根据感知的 PDU Set 标记等信息进行帧调度和保障, PDU 结束信息确定 PDU Set 边界, 网络侧根据边界进行基于 PSDB 的调度; 结合 TSCAI 信息和 PDU Set 大小, 网络侧进行调度授权; PDU Set 重要性表明帧的重要性, 网络侧以此确认优先级并结合 PSIHI 进行丢帧等。

2.1.2 业务感知网络

业务侧需要感知网络状态, 根据网络状态调整其清晰度/帧率和业务达到时间等。网络侧可将网络拥塞状态/推荐的业务速率和业务偏移时间等信息通知业务侧, 业务侧通过调整清晰度/帧率和业务达到时间进而调整业务突发速率, 减少拥塞。

例如: 在摄像头十分密集的港口多座岸桥场景中, I 帧携带视频画面全部信息, 数据量较大。当多个网络摄像机同时向网络平台发送 I 帧, 多个 I 帧在同一时刻传输, 发生 I 帧碰撞, 导致瞬时网络流量峰值超过网络传输能力, 网络传输链路拥塞, 视频出现延迟、卡顿以及丢包等问题。目前可通过网络侧适当延长空口处理时延, 错开 I 帧, 达到降低视频回传业务对空口峰值速率的要求。未来, 业务侧需要实时感知网络能力, 拥塞时调整业务特征, 错开 I 帧到达时间, 减少碰撞, 降低网络负担, 保障用户体验。

2.2 业务保障

对具有高可靠、低时延、大带宽的 XR 业务, 从时延、带宽、可靠性、终端节能的维度采取相应的业务保障技术, 增强网络和业务的协同, 为用户提供沉浸式体验。

2.2.1 带宽保障

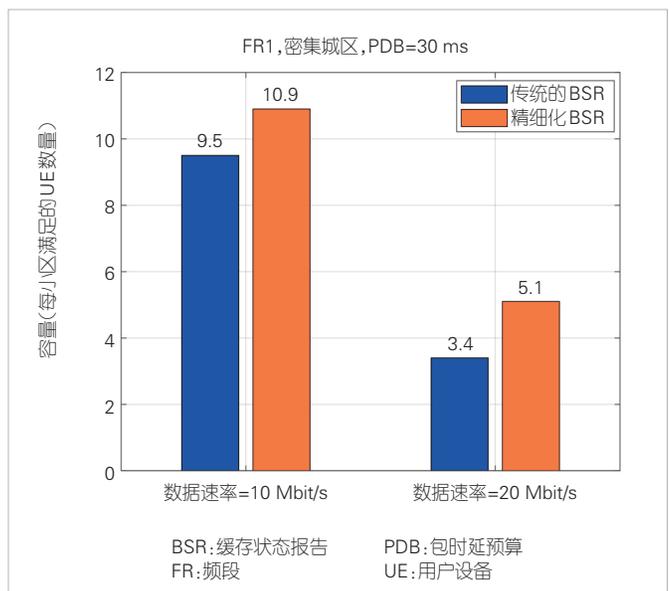
1) 缓存状态报告 (BSR) 增强

上行动态调度 BSR 增强包括对 BSR 上报的数据量精度的增强。我们最早在 Rel-17 标准讨论中提供相关的仿真分析^[5], 发现针对上行 XR 视频业务的数据量大小, 当前协议下的 BSR 上报的数量和真实数据量差距较大, 导致基站为数据包分配的资源冗余, 造成资源利用效率下降, 从而降低系统容量。对此, 我们在 Rel-18 标准讨论中提出了增强 BSR 上报精度的解决方案, 为 XR 业务的数据量范围专门设计了一个 BSR 的表格^[6], 通过线性插值/指数插值的方式, 使 BSR 上报精度提高, 从而提高系统容量。图 3 给出了 BSR 精度对系统容量的影响分析^[5]。

2) 载波聚合 (CA)

为满足 XR 业务的大带宽诉求, 网络通过 CA 技术将多个载波聚合在一起, 终端通过多个载波传输数据, 增加上下行传输带宽, 满足带宽保障。

100 M 带宽下, 2.5 ms 双周期帧结构与 2.5 ms 双周期帧结构带内 CA (intra-band CA), 上下行流量相对于 2.5 ms 双周期单载波增益为 100%; 5 ms 单周期帧结构和 2.5 ms 双周期帧结构 intra-band CA, 上下行流量相对于 5 ms 单周期帧结构单载波增益分别为 150% 和 83%。



▲图3 上行XR视频业务的BSR精度对系统容量的影响

3) 双链接 (DC)

终端使用两个及以上基站的无线资源, 同时发送和接收多个载波的数据, 提升用户吞吐量, 降低切换时延。

4) 1D3U 帧结构

为了应对具有上行大带宽特征的XR业务, 网络侧采用1D3U的帧结构, 保障上行带宽, 满足用户体验。在相同配置下, 1D3U帧结构上行极限流量可达766 Mbit/s, 是2.5 ms双周期帧结构上行极限流量的2倍, 是5 ms单周期帧结构上行极限流量的3倍。

5) 智能优先比特速率 (Smart PBR)

XR业务的速率是动态变化的, 同时XR业务的带宽保障要求比较高, 固定的PBR配置无法满足带宽要求。对此, 网络自适应学习XR业务速率, 并将其配置给XR业务专载, 满足带宽诉求。实测终端灌包, 开启Smart PBR功能的终端流量更接近实际XR业务流量, 避免对XR的过度保障, 节约了网络资源, 提升整体系统容量。

2.2.2 时延保障

1) 增强的上行免调度 (eCG)

针对XR上行视频业务的数据量大, 数据包大小随时间随机变化, 具有周期性、时延要求高等特点。我们在Rel-18标准讨论中最早提出了增强的上行免调度, 主要包括两个特征^[7]: 第一, 基站支持单周期内多个资源配置; 第二, 终端支持未使用资源的上报, 基站进行动态释放。对于第一个特征, eCG能够减少上行动态调度的信令交互所产生的时延, 极大地降低了上行调度的时延。对于第二个特征, 由于XR上行视频业务的数据包的数据量随时间变化, 预配置的传输资源可能存在浪费的情况, 对于这种情况, 中兴通讯提出了资源的回收和重调度, 即引入了未使用传输时机上行控制信息 (UTO-UCI), 使UE可以上报配置但未使用的资源给基站, 基站根据UE上报的资源使用情况, 对未使用资源进行回收并重新调度。中兴提案中的仿真结果最早证明^[7], 其提出的上行多传输时机调度, 在时延要求高的上行XR视频传输场景下, 容量有非常显著的提高。此方案得到各家公司仿真证明并认可, 已被5G标准采纳。图4为上行多传输时机免调度机制仿真结果^[8]。

2) CA 载波分流

基于CA场景, 网络根据业务特征对多个业务进行差异化分流, 当用户存在低时延, 大带宽业务的情况时, 引导低时延业务在低时延载波进行调度, 确保时延体验; 对于视频类大带宽业务, 引流到有利于大速率的载波上, 满足带宽诉求。

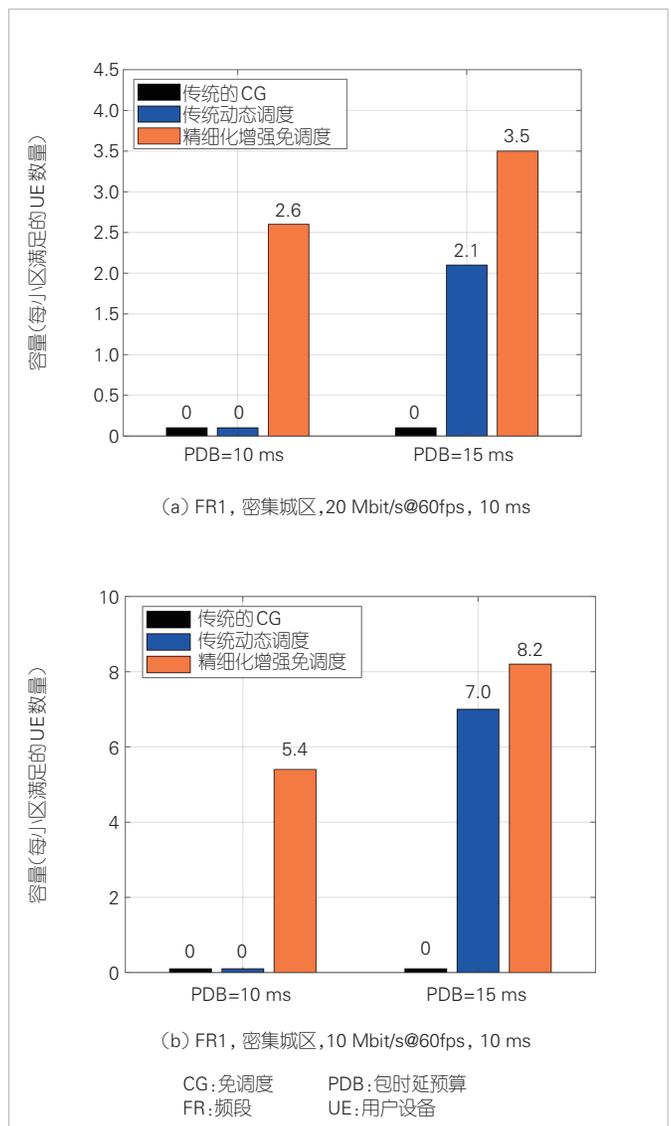
3) 时分双工 (TDD) CA 互补帧结构

网络侧根据业务的低时延和大带宽诉求, 在两个TDD载波上配置互补的上下行时隙配比, 通过跨载波调度, 使得终端在任何时刻都有上行传输机会和下行传输机会, 为XR业务提供带宽能力提升和极致的空口时延。根据实测结果, CA互补帧结构场景下, 端到端最小时延为3.4 ms, 平均时延为4.3 ms, 相比中移单载波降低30%。

4) 双活动协议栈切换 (DAPS HO)

在DAPS HO中, UE在收到切换命令后同时保持同源基站以及目标基站的连接, 直到收到来自网络侧的指示释放和源基站的连接^[9]。由于在切换时UE依然可以和源基站通信, 减少切换中断时延, 极致可达0 ms切换中断时延, 满足XR业务对移动性的要求。

5) PSDB 调度



▲图4 上行多传输时机免调度机制仿真结果

XR 业务以 PDU Set 为单位，时延要求需要在 PSDB 范围之内。网络侧以业务的时延要求 PSDB 和 PDU Set 的时延余量为权重进行资源分配，提升 XR 业务时延满足度。

6) DS 帧结构

网络侧采用时域分割的方式，将时域划分为多个时隙，每个时隙包含多个符号，通过灵活配置时隙和符号，选择合适的传输模式，为 XR 业务提供低时延和高可靠的通信。

7) 能力开放

能力开放是网络感知业务需求和特征，基于相对确定性的业务特征，提升无线空口时延、带宽、可靠性的确定性保障能力。同时，网络抽象成能力服务开放给业务，通过智能和闭环化运作，达到 XR 行业客户要求的服务水平协议 (SLA) 保障，促进网络和服务的跨层协同优化^[10]。通过能力开放，在 DS 帧结构下，可达到端到端时延 10 ms 和可靠性 99.999% 的 SLA 保障。

8) 动态分离渲染

根据业务需求、服务器算力和负荷等信息，系统动态选择渲染节点，如通过 5.5G 的高带宽低时延，将终端的渲染能力放到边缘云，实现了高效快速的渲染服务，通过云网边缘协同支持 XR 业务，如图 5 所示。

9) 异步时间扭曲 (ATW)

ATW 是一种生成中间帧的技术，当 XR 业务不能保持足够帧率的时候，终端通过 ATW 产生中间帧，弥补 XR 运行中因为渲染延时而丢失的大部分帧，从而有效减少画面时延和抖动，在消耗很少的计算资源前提下大幅提升图像的连贯性，通过端网业协同，提升用户体验。

10) 低延迟、低丢包、可扩展吞吐量 (L4S)

XR 应用服务器根据网络情况实时调整业务速率以适应网络条件，确保用户的期望体验^[11]。当网络发生拥塞时，使用显示拥塞通知 (ECN) 比特位来标记数据流，并通过 ECN 比特位标记与应用层交互，应用层基于 ECN 比特位的反馈触

发速率自适应，如图 6 所示。应用层业务和网络之间进行信息交互，达到降低时延、减少拥塞和保证用户体验的效果。

2.2.3 可靠性保障

1) CA PDCP Duplication

CA PDCP Duplication 采取冗余传输的方式，在两个载波上传输同一份数据，提高无线传输的可靠性、降低无线传输的时延，从而提升用户体验。经过实测，相对于普通承载，CA PDCP Duplication 承载达到可靠性提升 70%，端到端时延提升 17% 的效果。

2) 基于 PSIHI 的帧传输

PDU Set 集成处理信息 (PSIHI) 指示接收侧的应用层是否需要 PDU Set 的所有 PDU 来使用 PDU Set，当 PSIHI 指示为 True，网络侧需要保障 PDU Set 的完整传输，通过丢帧，避免 XR 业务错误传播，保障 PDU Set 传输的可靠性。

当 PSIHI 指示为 False，如果关键帧 I 帧传输错误，丢弃 I 帧剩余报文及其后的所有 P 帧，直到下一个 I 帧，如图 7 (a) 所示。若 P 帧编码不是参考帧，P 帧传输错误，丢弃 P 帧剩余报文；若 P 帧是参考帧，则 P 帧传输错误时，丢弃当前 P 帧剩余报文及其后的所有 P 帧，直至下一个 I 帧，如图 7 (b) 所示。

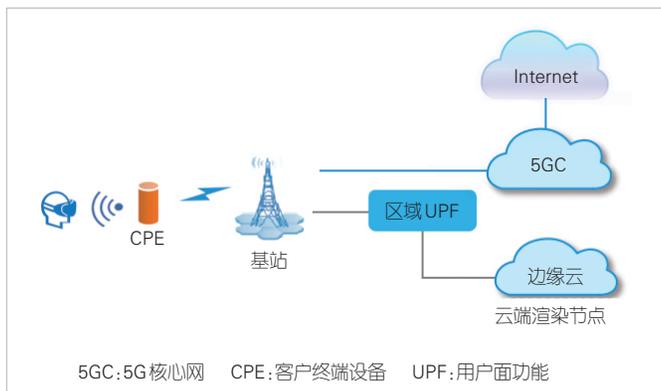
当 PSIHI 指示为 True，如果关键帧 I 帧传输错误，丢弃当前 I 帧及其后的所有 P 帧，直到下一个 I 帧。若 P 帧编码不是参考帧，P 帧传输错误，丢弃当前 P 帧；若 P 帧是参考帧，则 P 帧传输错误时，丢弃当前 P 帧及其后的所有 P 帧，直至下一个 I 帧。

3) 拥塞丢帧

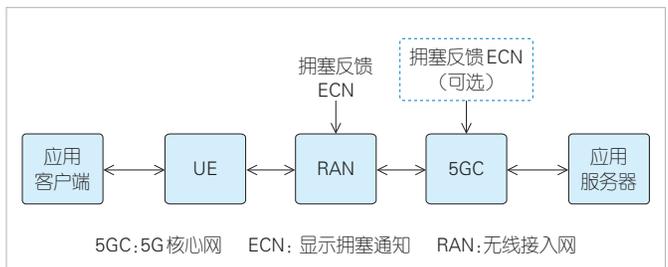
网络侧识别到拥塞时根据 PDU Set Importance 进行丢帧操作，丢弃不重要的帧，减少拥塞，降低时延、提高可靠性。

2.2.4 终端节能

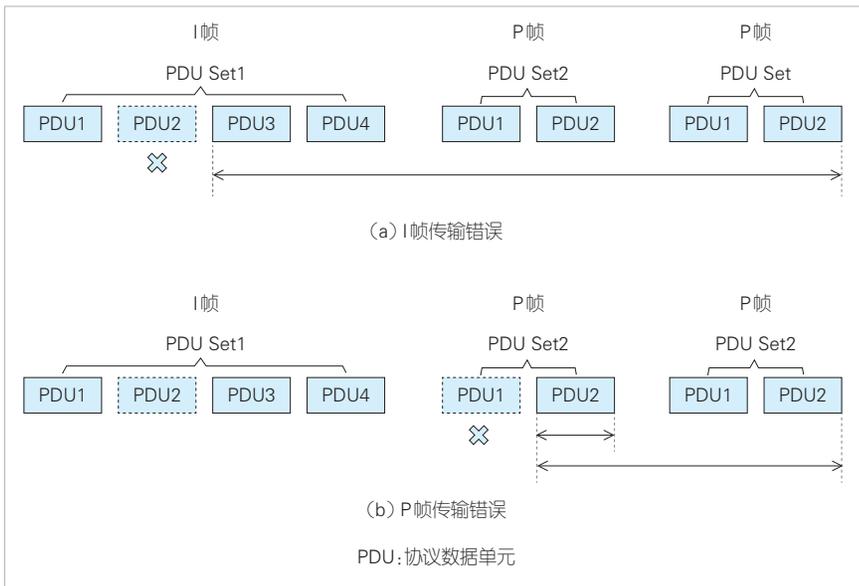
3GPP 考虑了在保障业务传输的前提下实现终端节能的方案。其终端节能方案主要根据 XR 业务的特点进行设计。



▲图5 动态分离渲染



▲图6 低延迟、低丢包、可扩展吞吐量(L4S)机制



▲图7 PDU Set集成处理信息指示为False时,I帧传输错误和P帧传输错误的情况

XR业务有准周期性(可能存在抖动)特性,且XR业务主要为视频业务,其周期与每秒发送的帧数有关,因此多数视频业务的周期为非整数。在终端节能方案中,非连续接收(DRX)是常用的,节能效果较好的一个方案。但是DRX的周期在Release 17以及之前的版本中都是整数值,这与XR业务的非整数周期特性不匹配,这种不匹配会造成XR业务与DRX激活时间窗的错位,导致XR业务的调度时延增加,影响业务传输。这个问题最早由我们提出^[12],在后续的XR标准讨论中,各公司针对所述问题考虑对DRX进行增强,最终确定了配置非整数周期的DRX增强方案。非整数周期的DRX可以和XR业务配置相同的周期,使得XR业务的到达时间可以和DRX激活时间窗对齐,从而保障XR业务的有效传输。

2.3 业务评估

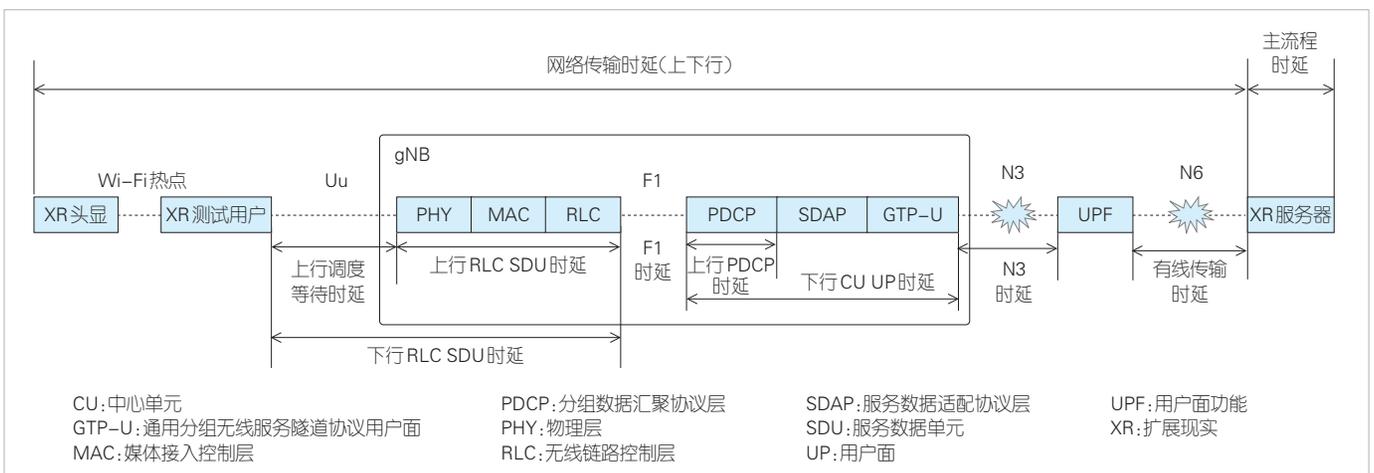
3GPP定义了影响XR业务QoE的测量量,包括码率、帧率、FoV、自由度(DoF)、分辨率、刷新率、解码能力等^[13],但是这些测量量主要分布于终端和服务端,网络侧大多无法获取。现有评价标准方法适合基于渐进式下载流和基于可靠传输的自适应流媒体,对于拆分计算和渲染的XR业务,沉浸度要求更高,需要新的评估方式以指导保障策略的选择和优化。

XR业务质量包含卡顿、花屏、黑边、音视频不同步等^[14]。影响XR业务质量的主要是从用户操作经过终端传感器获取到姿势动作信息到下一帧画面清晰地显示在头显期间的端到端交互响应时延、丢包、抖动和速率。由于端到端部分指标无法获取,

网络侧目前可通过分解全流程中各段时延、丢包、抖动等指标,配合针对性测试,研究网络侧指标与业务质量存在的关系,通过网络侧指标间接评价业务质量。

针对XR业务提出基于无参考(NR)的业务体验客观评估方法,该方法以XR系统的测量量和网络关键绩效指标(KPI)等参数作为入参,通过AI学习和数学拟合,获得XR业务体验评分。网络KPI指标包含帧级网络传输时延、帧级网络传输时延分布、帧级抖动、帧级速率和帧级丢包等;其中,网络传输时延包含多段,如图8所示。帧级指标的统计强依赖核心网对PDU Set级QoS参数的支持和网络侧对业务帧级特征的识别。

扩展现实平均意见得分标识(XRMI)为XR业务的平均意见得分(MOS)值,反映了小区中XR业务质量综合体验。



▲图8 网络传输时延示意图

基于呈现质量（如卡顿、花屏、黑边等）、交互质量（如交互响应、抖动、音视频同步等）、图像质量（如码率、帧率、分辨率等）维度构建 XR 评估模型。不同业务场景的 XRMI 关联指标不同，如 XR 全景视频、影院等弱交互场景和 XR 实时游戏等强交互场景对交互指标的关注度存在差异，需要根据不同的业务场景进行 XRMI 评估，XRMI 与主观感受的映射关系见表 2。

3 总结与展望

本文介绍了沉浸式 XR 和元宇宙的含义、网元结构、应用场景，着重分析 XR 业务在业务网络双向感知、业务保障和业务评估方面的挑战，研究和提出了满足 XR 业务大带宽、低时延和高可靠诉求的网络业务双向感知协同技术。

未来期望进一步研究网络和业务的深度融合技术，包括 XR 业务的多流协同、多模态同步、核心网/应用层与基站的交互机制等；结合体验满足度的定量研究和测试结果，形成 XR 业务体验质量评估的分档标准，推动沉浸式 XR 的发展，促进元宇宙从概念走向现实。

随着 XR、5G、网业深度融合、云计算等技术成熟度的提升，元宇宙的正向循环将逐步打通，底层技术推动应用迭代，市场需求提升反哺底层技术持续进步。元宇宙将真正改变我们与时空互动的方式，对社会和个人带来广阔价值空间。

▼表 2 XRMI 与主观感受的映射关系

级别	XRMI 分值	评价标准
优	5	音视频互动体验流畅，音视频以及交互操作不存在任何可感知的卡顿、花屏、黑屏、声音不连续等，存在感、沉浸感极强，达到了类似于真实世界的效果，无晕眩现象，不可察觉
良	4	音视频互动体验尚可，偶尔存在很轻微的卡顿、花屏、或声音不连续等，存在感、沉浸感尚可，达到逼近真实世界的效果，偶尔存在轻微晕眩现象，可感知但不令人讨厌
中	3	音视频互动体验一般，存在少量可感知的卡顿、花屏、声音不连续等，其余时间正常，存在感、沉浸感一般，少量时间无法达到真实世界的效果或存在晕眩现象，无大量连续卡顿花屏现象，有点讨厌
差	2	音视频互动体验差，存在大量连续卡顿、花屏、声音不连续等，其余时间正常，存在感、沉浸感差，大量时间无法达到真实世界的效果或存在晕眩现象，很讨厌
劣	1	音视频体验非常差，绝大部分时间存在可感知的卡顿、花屏、声音不连续等，存在感、沉浸感非常差，体验完全背离真实世界，大部分时间存在晕眩现象，非常讨厌，不想继续体验，也不推荐其他人体验

XRMI: 扩展现实平均意见得分标识

致谢

感谢中兴通讯股份有限公司黄俊、王美英、徐俊、沙秀斌、王新台、戴博等专家对本研究的帮助！

参考文献

- [1] 3GPP. Extended reality (XR) in 5G: TR 26.928 version 16.1.0 [S]. 2021
- [2] 唐宏. 5G XR 技术与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021
- [3] 中国信息通信研究院. 虚拟(增强)显示白皮书 [R]. 2019
- [4] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS): TR 23.501 [S]. 2020
- [5] ZTE. Performance evaluation results for XR [Z]. 2021
- [6] ZTE. BSR enhancements for XR [Z]. 2023
- [7] ZTE. Discussion on XR specific capacity enhancements techniques [Z]. 2022
- [8] ZTE. XR specific capacity enhancements [Z]. 2022
- [9] 3GPP. NR and NG-RAN overall description: TR 38.300 [S]. 2018
- [10] 中国移动通信有限公司研究院. 无线云网融合智慧服务白皮书 2.0 [R]. 2021
- [11] 3GPP. Study on XR (extended reality) and media services: TR 23.700 [S]. 2016
- [12] ZTE. Considerations on XR specific enhancements [Z]. 2021
- [13] 3GPP. QoE parameters and metrics relevant to the virtual reality (VR) user experience: TR 26.929 [S]. 2020
- [14] 中国移动. XR 网络技术体系白皮书 [R]. 2023

作者简介



李娜，中兴通讯股份有限公司无线算法工程师、移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室研究员；研究方向为移动网络和沉浸式 XR。



张诗壮，中兴通讯股份有限公司首席专家、移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室未来无线和边缘网络架构方向学术带头人；主持完成信源编码、统一移动网络硬件平台、5G 大容量基带池等重大项目，为中国移动通信系统关键技术创新做出了重要贡献；获得国家科学技术进步奖特等奖 1 项。



程义超，中兴通讯股份有限公司技术规划部副部长、移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室办公室主任、移动网络高级项目经理、资深研发总工；主要从事 5G、6G 无线通信系统的技术预研工作，拥有 15 年以上移动网络研发经验。