



工程与应用

5G-Advanced扩展现实增强技术研究

肖扬

(中国电信集团有限公司, 北京 100045)

摘要: 随着元宇宙的兴起, 扩展现实成为产业界重点关注的多媒体应用技术。为了逐步实现扩展现实, 需要增强现有无线网络技术。首先介绍了扩展现实业务特点和在3GPP中的标准进展, 探索了扩展现实业务对5G-Advanced网络提出的挑战, 为了满足扩展现实业务的低功耗和高容量需求, 研究了扩展现实业务感知技术、节能增强技术和容量增强技术, 通过引入分组数据单元集参数、业务抖动等辅助信息实现业务感知, 通过引入非整数周期、非连续接入播放器降低终端功耗, 通过支持新缓冲状态表格、增强配置授权提升系统容量, 通过仿真评估和性能分析, 展示了所提增强技术可以为扩展现实业务提供更好的无线网络支持。

关键词: 扩展现实; 业务感知; 节能增强; 容量增强

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2024093

Study on extended reality enhancement technology in 5G-Advanced

XIAO Yang

China Telecom Group Co., Ltd., Beijing 100045, China

Abstract: With the rise of the metauniverse, extended reality has become the multimedia application technology vigorously promoted by the industry. To realize extended reality, it is necessary to enhance the existing wireless network technology to meet the requirements of extended reality services. Firstly, the characteristics of extended reality technology and standard progress in 3GPP were analyzed. In addition, the challenges posed by extended reality services to the 5G-Advance network were explored. To meet the challenges posed by extended reality services, the XR-awareness mechanism, power saving enhancement mechanism, and capacity improvement technologies were investigated. Specifically, based on the packet data unit related parameters, jitter, etc. assistance information, the network can be aware of the XR traffic. In addition, the power consumption can be reduced by introducing the non-integer discontinuous reception mechanism and the playout buffer. And the capacity can be improved by introducing the new buffer status table and enhanced configured grant. Finally, the simulation results and performance analysis show that the proposed enhancement mechanisms can better support the extended reality services.

Key words: extended reality, XR-awareness, power saving enhancement, capacity improvement

收稿日期: 2023-12-27; 修回日期: 2024-04-10

通信作者: 肖扬, xiaoyang@chinatelecom.cn

0 引言

随着元宇宙概念的兴起,扩展现实(extended reality, XR)和云游戏(cloud gaming, CG)成为业界重点关注的5G媒体应用。一般来说, XR是广义术语,指各种类型增强、虚拟和混合环境,在手持和可穿戴终端设备的帮助下执行人机以及人人之间的通信。具体来说, XR涵盖多个异构用例和服务,包括虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)和混合现实(mixed reality, MR)用例等^[1-4]。具体来说, CG指一组用例,其中绝大多数与游戏相关的计算从UE卸载到边缘/远程服务器。由于XR和CG与传统移动通信的场景、业务和需求等方面存在一定的差异,因此支持XR和CG业务也对移动通信网络部署和优化提出了新的需求和挑战。

为了促进业务推广, XR和CG业务需要摆脱有线的束缚,而且随着5G技术的发展,消费者对于便携式XR业务的需求越来越迫切,其中包括基于智能手机和基于头戴式显示器(head mounted displays, HMD)的XR业务等。然而, XR和CG业务不同于5G NR支持的增强型移动宽带(enhanced mobile broadband, eMBB)、超高可靠低时延(ultra reliable low latency communications, URLLC)和大规模机器类通信(massive machine type communication, mMTC)三大业务场景,因此需要对5G无线网技术进行增强,以支持XR业务,为用户提供沉浸式体验。

本文首先介绍XR业务形态与XR技术在无线网中的标准进展,随后,介绍XR业务在无线网中的技术挑战,其中包括独特的XR业务特性、低功耗和高容量等需求,基于业务需求展开介绍XR关键技术,包括XR业务感知、节能增强、容量增强等关键技术,最后,仿真验证所提增强配置授权(configured grant, CG)机制可显著提升

系统容量,实现最优系统性能。

1 XR无线网增强技术标准进展

为了满足XR业务对于低时延高可靠、低功耗和多业务传输的需求, 5G/5G-Advanced标准对XR无线网增强技术进行了研究。其中, 3GPP在Release15阶段定义了5G网络支持XR业务的基础框架,研究了VR流媒体服务的客户端架构和关键指标。随后, 3GPP从Release16阶段开始重点研究XR技术,具体研究了XR业务应用场景,定义了与VR体验相关的体验质量(quality of experience, QoE)参数指标。此外,为了提升用户体验, 3GPP Release17在SA1定义了应用场景,在SA2定义了服务质量(quality of service, QoS)关键指标,在SA6研究了边缘计算对XR业务的影响。而且,在原有无线网时间敏感技术的基础上,研究了调度增强、资源分配增强等技术,促进了XR业务在无线网中的发展,推动了XR应用的普及。作为5G-Advanced阶段第一版本, 3GPP Release18研究了XR业务特点感知、能耗降低和容量增强等技术,旨在进一步提升无线网络能力,以更好地支持XR业务, 3GPP Release19将进一步增强无线网技术,以支持XR和多模态多感官等沉浸式业务,构建和提升沉浸通信保障的网络能力。

2 XR无线网技术挑战

2.1 XR业务特性

(1) 多业务流

类似于URLLC通信业务, XR业务同样需要高数据速率和低时延。有研究指出^[5], URLLC技术探索可以促进XR技术发展。然而,不同于URLLC业务中,每个终端只有单个数据流,支持XR业务的终端需要支持多条数据流的协同传输。XR业务数据流如图1所示,一些具有较高业务需求的XR业务或多媒体服务可以包括多种类



型的数据流,如视频流、音频流以及用于提供身临其境体验的触觉或传感器数据^[6]。一方面,不同类型数据的应用客户端可归属于同一终端;另一方面,可能存在多种类型设备,如VR眼镜、手套和其他支持触觉或动觉的设备,通过有线连接到终端,再通过无线连接到5G系统,进而获取无线网络资源。

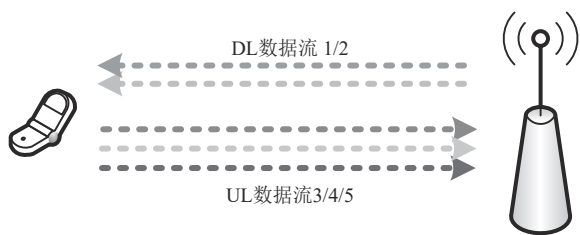


图1 XR业务数据流

(2) 非整数业务周期

为了计算XR数据帧的到达速率,需要将特定视频帧对应的IP数据包视为1个分组,该分组的大小可基于为特定应用分配的数据速率和帧速率计算。其中,数据包到达速率取决于帧生成速率,例如,如果数据帧以每秒60帧(f/s)的速率生成,则分组到达周期被定义为帧速率的倒数,即 $16.666\ 7\text{ ms}=1/60\text{ f/s}$ ^[7]。

(3) 业务抖动

一般来说,应用层服务器周期性生成XR视频帧,但由于后续数据帧编码时延、用户传输定时器波动和路由等过程,业务到达时间将存在一定的抖动。XR业务伪周期到达基站,即由于抖动的原因,业务到达时间具有随机性^[8],伪周期XR业务如图2所示。

(4) 协议数据单元(protocol data unit, PDU)集

在传统5G系统中,QoS流是PDU会话中QoS区分的最细粒度。具体而言,5G QoS特性由5G QoS标识符(5G QoS identifier, 5QI)确定,这意味着QoS流中的每个分组都被视为具有相同的QoS要求。然而,在XR或多媒体业务中,1组数据包用于传输1个PDU集负载(例如帧、视频切片)。因此,这些数据包最好作为1个整体解码或处理。例如,只有成功接收到1组图片(group of pictures, GOP)帧所依赖的所有数据包时,客户端才能对该帧进行解码。换句话说,PDU集内的分组在媒体层中具有彼此固有的依赖性。如果不考虑PDU集内这些分组之间的依赖性,可能会降低5G系统调度执行效率。例如,如果网络随机丢弃有用的分组,而试图传递相同PDU集的其他无用分组,则可能会造成资源浪费。因此,在一些场景中,如音频样本、触觉应用程序或远程控制操作,需要考虑PDU集特性,换句话说,属于同一PDU集的分组应该以集成的方式处理^[9]。

2.2 低功耗需求

5G NR旨在以更节能的方式支持XR应用程序。一般来说,用户既可以基于智能手机体验XR业务,也可以通过HMD获得XR业务体验,具体来说,AR眼镜可通过嵌入式5G调制解调器实现5G连接,也可将AR眼镜(USB、蓝牙或Wi-Fi)连接到智能手机以实现5G连接。在这两种情况下,5G连接都必须承载AR应用流量,而承载该流量的终端功耗对此类AR眼镜产品的可

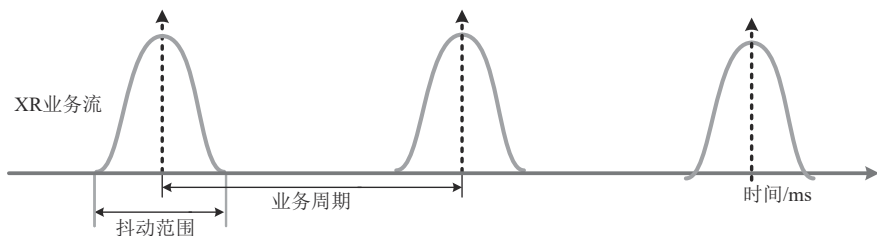


图2 伪周期XR业务

行性有着重要影响。因此,无论是智能手机还是HMD,设备的功耗和电池寿命依然是需要考虑的重要方面,降低终端设备功耗是实现XR业务的关键指标。

2.3 高容量需求

一般来说,XR和云游戏应用具有高吞吐量需求,而且,为了给用户提供更好的XR业务体验,一些XR业务终端需要支持多种数据流的协同传输,因此,需要研究针对XR业务的特定容量增强技术。

具体来说,XR业务的容量表示为在给定流量要求下,在具有一定5G小区密度的给定部署场景(如城市宏基站、室内热点)下可以同时进行该业务的用户数量。当XR业务的流量要求灵活可变时,可通过评估系统中用户数量增加时的时延和可靠性变化来衡量业务容量,即XR业务的时延和可靠性需求对XR业务容量具有很大影响。因此,为了提高XR业务容量,需要同时考虑XR业务的低时延高可靠需求。

3 XR无线网增强技术

3.1 XR业务感知技术

3.1.1 PDU集参数

如上所述,对于很多XR业务,例如音频样本、触觉应用程序或远程控制操作,属于同一PDU集的分组需要集中处理,即需要考虑PDU集特性。具体来说,PDU集定义为携带应用层1个信息单元有效载荷的1个或多个PDU,一般来说,这些PDU在应用层具有相同的重要性,为了获取信息单元的所有信息,应用层需要获取PDU集中的所有PDU。

为了给用户提供更好的XR业务体验,核心网可将部分半静态PDU集级QoS参数发送给无线网,具体包括如下^[10]。

- PDU集时延预算(PDU set delay budget, PSDB):即PDU集可在UE和UPF的N6

终止点之间延迟的时间的上限。

- PDU集错误率(PDU set error rate, PSER):指PDU集已由链路层协议的发送方处理,但接收方并未将所有PDU都传递到上层的概率。换句话说,PSER定义了非拥塞相关分组丢失率的上限。
- PDU集集成处理指示(PDU set integrated handling indication, PSIHI):指示接收器侧的应用层使用PDU集时是否需要所有PDU。

5G系统与XR应用程序的集成如图3所示^[11],其中5G-XR应用程序提供商将5G XR功能应用于扩展现实业务,为终端提供5G XR感知应用程序。该结构主要包含3个功能。

- 5G-XR应用程序(application function, AF):类似于文献[10]中定义的应用程序功能,专用于5G扩展现实业务。
- 5G-XR应用服务器(application server, AS):专用于5G扩展现实的应用服务器。
- 5G-XR客户端(client):专用于5G扩展现实的UE内部逻辑功能。

其中,5G-XR AF和5G-XR AS是数据网络(data network, DN)功能,通过N6接口与UE通信。为了优化5G系统中的XR业务传输,需要研究XR流量特性、QoS指标和应用层属性等XR感知增强技术。具体来说,除上述半静态PDU集参数外,核心网还需要通过如下集成系统向无线网提供动态PDU集特性,如PDU集序列号、PDU集的结束PDU指示、PDU集内的PDU序列号、以字节为单位的PDU集大小、PDU集重要性等。

3.1.2 PDU集重要性

在传统空口,优先级策略由QoS流的QoS参数决定。然而,在XR场景中,多个QoS流映射到1个单独的逻辑信道(logical channel, LCH)或逻辑信道组(logical channel group, LCG),若

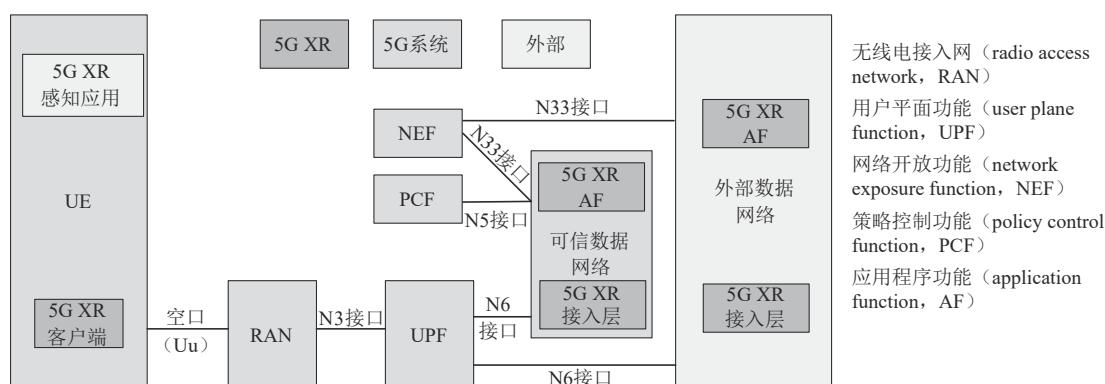


图3 5G系统与XR应用程序的集成

仅报告单个LCH或LCG的抖动和周期, 则所有PDU将采用相同的优先级进行处理, 无法满足多个XR业务需求。为了解决该问题, 引入了重要度参数, 该参数用于指示逻辑信道优先级(logical channel priority, LCP)中PDU集的特定优先级。PDU集重要性如图4所示, 该LCP优先级可以区分同一LCH中的低优先级PDU集和高优先级PDU集, 如在 t_1 时刻的LCH中区分高优先级PDU集2和低优先级PDU集1, 该PDU集重要性参数有助于在业务拥塞时, 选择性丢弃部分低优先级PDU集, 如丢弃LCH中的低优先级PDU集1, 从而保证其他PDU集的有序递送, 此外, 基于PDU集优先级还可以在 t_2 时刻保证高优先级PDU集2的有序递送^[12]。

3.1.3 业务抖动

在很多场景中，XR 设备与 UE 位于不同位置并且需要通过无线链路（如 Wi-Fi 或蓝牙）连接到 UE，因此，应用层的 PDU 到达服务数据自适应协议（service data adaptation protocol，SDAP）

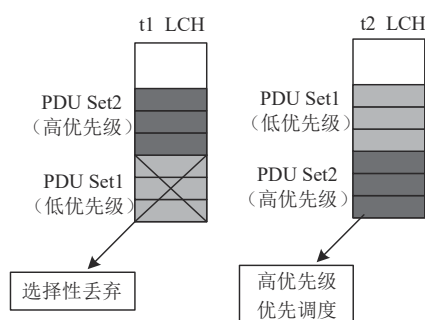


图4 PDU集重要性

层时可能具有不可忽略的抖动。此外，在实际传输场景中，数据帧编码时延和用户传输定时器的波动也会导致分组传输定时的抖动，因此，为了给 XR 业务提供更好服务，需要考虑抖动问题。

具体来说,抖动定义为第一分组的到达时间与突发到达时间的最大偏差,即XR业务的突发到达时间的变化,其值可以取正值或负值,抖动具体可表示为 $[-X, X]$ (单位: ms),XR业务抖动如图5所示。

由于抖动具有随机性,一般将抖动建模为周

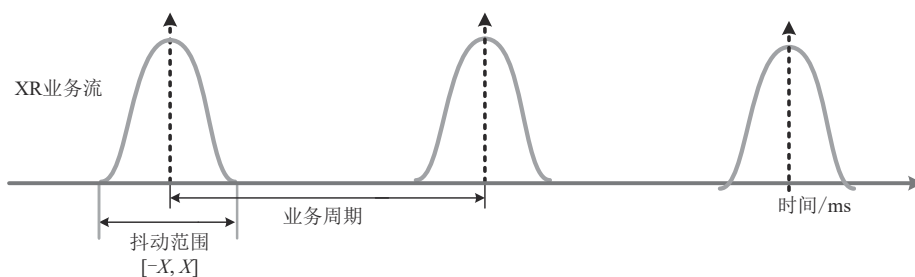


图5 XR业务抖动

期性到达的随机变量。抖动的统计参数见表1, 服从截断高斯分布^[7]。

表1 抖动的统计参数

参数	单位	基线	优化
平均	ms	0	—
标准偏差	ms	2	—
截断范围	ms	[-4, 4]	[-5, 5]

为了给XR业务提供更好服务, 无线网需要获取相关抖动信息, 其中, 对于下行业务而言, 核心网可以通过TSC辅助信息将XR下行业务抖动信息发送给网络; 另一方面, 考虑核心网无法获取上行业务抖动信息, 终端可通过UE辅助信息将上行业务抖动信息发送给网络。

3.2 节能增强技术

3.2.1 DRX增强技术

根据XR业务特性描述可知, XR业务具有非整数周期, 如16.666 7 ms。然而, 根据当前标准, 仅支持将非连续接收(discontinuous reception, DRX)周期配置为整数以降低终端功耗, 因此XR业务周期和DRX周期将存在时间偏移, 从而造成资源浪费无法有效降低耗电量^[13]。XR业务和DRX周期不匹配如图6所示。

为了解决DRX周期和XR周期不匹配问题, 引入了非整数DRX周期。为了以更低功耗支持不同类型XR业务流, 同时引入了非整数DRX长周期和非整数DRX短周期, 具体来说, 当XR业务被调度后, 网络为终端配置非整数DRX短周

期, 当一段时间内没有XR业务调度时, 网络为终端配置非整数DRX长周期, 减少PDCCH监测, 以降低网络功耗。

为了更好地降低终端能耗, UE可以根据网络配置, 将XR业务周期、抖动等信息发送给网络, 网络获取XR业务特性信息后, 可为终端配置更合理的DRX参数, 从而更好地适配XR业务, 降低终端能耗。

3.2.2 播放缓冲器

考虑XR数据包传输将引入时延抖动, 加之XR数据包传输无法满足严格周期性, 为了降低功耗、保持XR业务传输质量和连续性, 还可以考虑为终端配置播放缓冲器。基于播放缓冲区, 可以获取更长的终端业务预算, 基站可以在XR业务的时延预算内, 以更集中的方式调度下行数据, 从而缩短连接态非连续接收(connected discontinuous reception, C-DRX)激活期, 延长休眠期, 降低终端功耗; 基于播放缓冲区, 基站还可以为终端下发更高效的物理下行控制信道(physical downlink control channel, PDCCH)跳过指示, 通过将数据集中传输, 指示终端跳过相关PDCCH检测, 从而降低功耗; 另外, 为了进一步降低终端功耗, 还可以同时为终端配置播放缓冲区、C-DRX和PDCCH跳过指示方案。

为终端配置播放缓冲器后各节能方案的性能对比如图7所示。其中, 通过引入播放缓冲器, 可以为终端配置更高效的C-DRX, 从而节省约

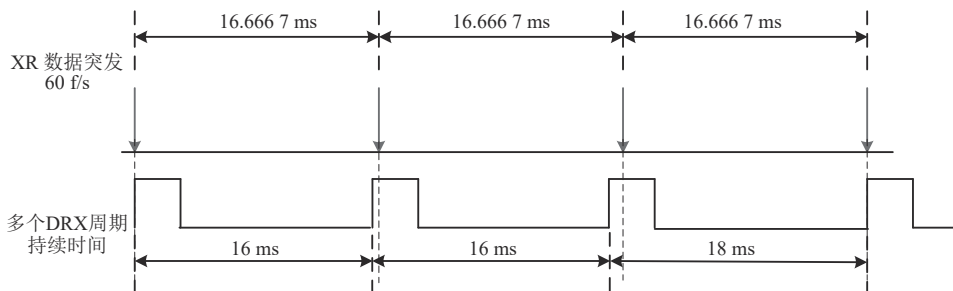


图6 XR业务和DRX周期不匹配



26%的终端功耗；通过引入播放缓冲器，还可以为终端配置更高效的PDCCH跳过指示，从而降低约30%的终端功耗；另外，通过结合播放缓冲器、C-DRX和PDCCH跳过指示节能方案，最多可节省约35%的终端功耗^[14]。

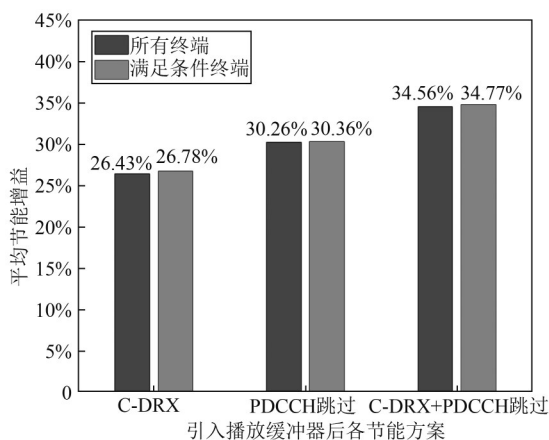


图7 为终端配置播放缓冲器后各节能方案的性能对比

3.3 容量增强技术

3.3.1 高层增强技术

根据现有标准，当终端有上行数据传输时，需要进行状态缓存上报（buffer status report, BSR）以告知网络缓存的数据量，请求网络分配上行资源。其中，终端通过BS表格上报1个能量化缓冲区大小的索引，该索引指示终端缓冲区大小介于2个值，即1个最大值和1个最小值之间。现有标准中存在短BS和长BS两种表格，其中每个BS表格，随着索引变大，数据量步长和缓存状态（buffer status, BS）误差也逐渐变大（即索引所代表最小值和最大值之间的差值变大）^[15]。

一般来说，XR业务突发数据量更大，如具有上行视频业务的AR，其中XR视频编码和目标速率见表2，帧速率（f/s）值通常为24、25、30、50、60、90、120、144和240^[16]。量化误差随着BS索引的增大而增大，为了降低XR业务BS索引量化误差，考虑引入1个新BS表，见表2。

表2 视频编码和目标速率

编码	目标速率	
AVC	4k:	8k:
	Statmux: 20~25 Mbit/s	CBR: 80~100 Mbit/s
	CBR: 35~50 Mbit/s	高质量: 100~150 Mbit/s
HEVC	4k:	8k:
	Statmux: 10~13 Mbit/s	CBR: 40~56 Mbit/s
	CBR: 18~25 Mbit/s	高质量: 80~90 Mbit/s

根据表2和TS 38.838所述，XR视频业务服从截断高斯分布，因此，当XR速率取最小值10 Mbit/s，帧速率值最大值240 f/s时，获得XR视频最小值为2 642 byte；同理，当XR速率取最大值150 Mbit/s，帧速率取最小值24 f/s时，获得XR视频最大值为1 171 875 byte。其中，每个码点的最大量化误差计算方法如式（1）所示^[17]。

$$QE_{\max n} \% = \left(\frac{BS_{n+1} - BS_n}{BS_n} \right) \times 100\%, n \in [0, 254] \quad (1)$$

为了降低量化误差，新BS索引计算方式包含线性函数和指数函数两种选择，其中，当取线性函数时，步长表示为（最大值-最小值）/256，此时量化误差为0.39%~173%，且BS值越小，步长占比越大，误差越大；当取指数函数时，步长为 $p = (B_{\max}/B_{\min})^{1/(N-1)} - 1$ ，经计算，量化误差为2.42%，远小于线性函数误差^[18]。因此，新BS索引应采用指数函数表达，但考虑到XR业务范围更大，为了降低BS上报精确度，新BS表格数值范围要远大于传统BS表格，从而降低BS步长带来的误差。

3.3.2 物理层增强技术

一般来说，在基于动态授权（dynamic grant, DG）的调度中，当有上行数据需要传输时，终端首先向网络发送调度请求（scheduling request, SR）消息请求上行资源，在收到上行资源后，如果资源较大，终端可将状态缓存报告与上行数据同时发送给网络，否则，终端只上报BSR给网络，网络根据BSR获知待传数据量，为终端调度

更多资源。

考虑DG中SR、BSR等资源请求过程将引入时延,为了降低时延开销,网络可提前为终端下发配置授权(configured grant, CG)资源,当有上行数据到达时,终端可直接采用该预配置资源传输数据,而无须再次发起调度请求,从而降低时延。在传统CG机制中,针对于1个CG PUSCH周期,终端只能进行1次数据传输。在3GPP Release18扩展现实课题研究中,每个终端可能需要传输多条不同大小的XR业务流,为了满足多条XR业务流需求,提出了配置授权增强(enhanced configured grant, eCG)技术。1个CG PUSCH周期中配置多个PUSCH传输时机如图8所示,终端可在同一CG PUSCH周期中进行多次数据传输。

为了进一步提升频谱效率和系统容量,当XR业务大小与1个CG PUSCH配置资源大小时,UE可利用所有CG PUSCH传输时机传输数据;当XR业务大小小于1个CG PUSCH配置资源大小时,UE可仅利用一部分CG PUSCH传输时机传输数据^[19],终端将未使用的CG PUSCH传输时机指示给网络,辅助网络将未使用的PUSCH传输时机再次分配给其他终端的业务传

输,从而提升资源利用和系统容量,同时,还能减少网络盲检,节省网络能耗。

根据上述分析,下面将以上行AR视频业务模型为基础,验证CG PUSCH增强技术的性能,其中每个PUSCH传输周期包含多个CG PUSCH传输时机,终端可将未使用的CG PUSCH传输时机指示给网络,辅助网络进行资源再调度。

为了验证增强CG(eCG)性能,分别对比了传统CG(legacy CG)、DG和eCG方案性能。具体来说,在legacy CG中,为了降低干扰,网络需要为不同终端分配相互正交的CG资源;在DG机制中,分别考虑了在SR之后,利用动态上行授权资源传输BSR和UL数据,以及仅传输BSR的场景;在eCG机制中,网络在每个CG PUSCH周期中配置多个CG PUSCH传输时机,提升上行传输机会,对于未使用CG PUSCH传输时机,终端指示给网络以进行资源再调度。

一般来说,XR业务的容量表示为在给定流量要求下,在具有一定5G小区密度的给定部署场景下可以同时进行该业务的用户数量。本文将XR业务容量定义为每个小区中90%用户能够得到满足的用户数量。因此,业务模型1如图9所示,业务模型2如图10所示,业务模型3如图11

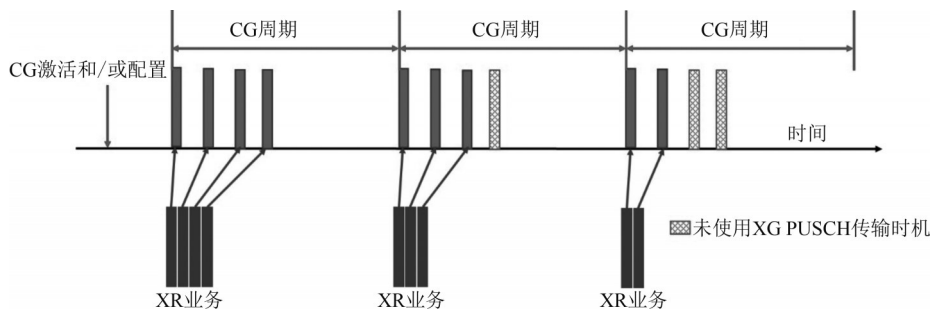


图8 1个CG PUSCH周期中配置多个CG PUSCH传输时机

表3 3种业务模型

业务模型	比特率/($\text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$)	帧速率/($\text{f} \cdot \text{s}^{-1}$)	平均数据包/byte	PDB/ms
业务模型1	20	60	41 667	30
业务模型2	20	60	41 667	15
业务模型3	20	60	41 667	10

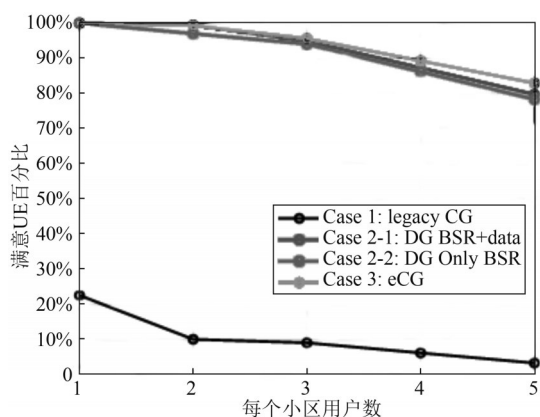


图9 业务模型 1

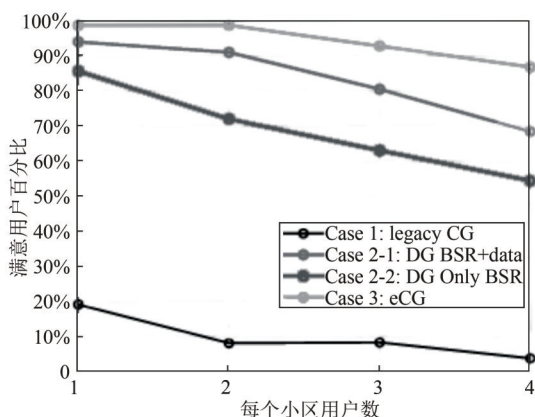


图10 业务模型 2

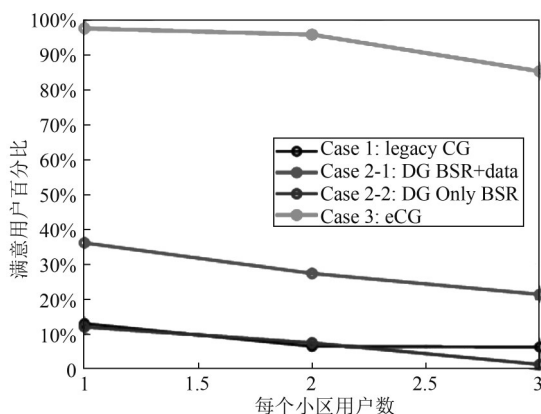


图11 业务模型 3

所示, 3种业务模式下, 增强CG传输时机机制的系统容量分别为3.9个用户、3.5个用户和2.6个用户, 上行DG机制且在SR后可以同时传输BSR和PUSCH数据的系统容量为3.6个用户、2.1个

用户和0个用户, 若仅能在SR后传输BSR, 则系统容量为3.5个用户、0个用户和0个用户, 而采用传统CG机制的系统容量最差, 均为0个用户。

由此可知, 采用传统配置授权机制时, 系统容量最差, 通过引入动态授权, 系统容量最多可以提升2.1个用户, 而通过增加CG传输时机, 可实现2倍于动态授权机制的系统容量。根据仿真评估, 所提增强CG传输时机机制可显著提升系统容量, 实现最优系统性能。

4 结束语

扩展现实技术是当前产业界正在积极推动的多媒体应用技术, 通过引入XR业务感知、节能增强和容量增强等无线网增强技术, 可以实现跨广域通信和端到端的极致扩展现实业务体验。为了逐步实现扩展现实业务, 优先介绍了XR涵盖了VR、AR和MR技术, 随后介绍了XR无线网增强技术标准进展, 基于XR业务对无线网技术提出的挑战, 本文重点介绍了XR业务感知技术、节能增强技术和容量增强技术, 通过引入这些增强方案, 提升了扩展现实业务体验, 降低了支持扩展现实业务的终端功耗, 提高了无线资源利用率和吞吐量。未来, 随着技术的发展, 可以考虑将扩展现实技术与移动边缘服务器进行融合, 通过将计算卸载到移动边缘服务器进一步降低业务时延和终端功耗, 改善扩展现实业务体验。

参考文献:

- [1] ALRIKSSON F, KANG D H, PHILLIPS C, et al. XR and 5G: extended reality at scale with time-critical communication[J]. Ericsson Technology Review, 2021(8): 2-13.
- [2] 3GPP. New SID on XR Enhancements for NR: RP-212711[S]. 2021.
- [3] 张帆. 基于虚拟现实技术的家居产品数字化设计研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2022.
ZHANG F. Research on the digital design of home products based on virtual reality technology[D]. Nanjing: Nanjing Uni-

- versity of Posts and Telecommunications, 2022.
- [4] 3GPP. Extended reality (XR) in 5G (Release 17): TR26.928 V17.0.0[S]. 2022.
- [5] BOJKOVIC Z, MILOVANOVIC D, FOWDUR T P, et al. 6G ultra-low latency communication in future mobile XR applications[C]//THAMPI SM, KRISHNAN S, HEGDE RM, et al. International Symposium on Signal Processing and Intelligent Recognition Systems. Singapore: Springer, 2020: 302-312.
- [6] XIN J C, LI Y, LIU T J, et al. Efficient resource allocation and scheduling mechanism of XR traffic[C]//Proceedings of the Proceedings of the 7th International Conference on Control Engineering and Artificial Intelligence. New York: ACM Press, 2023: 132-136.
- [7] 3GPP. Study on XR (extended reality) evaluations for NR: TR 38.838 v17.0.0[S].2021.
- [8] 3GPP. Discussion on XR awareness: R2-2303578[S]. 2023.
- [9] 3GPP. Study on XR (extended reality) and media services (Release 18): TR 23.700-60 v18.0.0[S]. 2022.
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS): TS 23.501[S]. 2023.
- [11] 3GPP. 5G media streaming (5GMS) general description and architecture: TS 26.501 v17.1.0[S]. 2022.
- [12] 3GPP. PDU set and data burst information: R2-2300222[S]. 2023.
- [13] 3GPP. Discussing on XR-specific C-DRX enhancement: R2-2300423[S]. 2023.
- [14] XIN J C, XU S, XU H, et al. Joint resource allocation and scheduling optimization for XR traffic[C]//Proceedings of the 2023 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). Piscataway: IEEE Press, 2023: 1-6.
- [15] 3GPP. Discussion on XR-specific capacity improvements: R2-2300423[S]. 2023.
- [16] 3GPP. BSR enhancements for XR, Qualcomm Incorporated: R2-2309487[S]. 2023.
- [17] 3GPP. Dynamic BSR formulation and reporting for XR: R2-2300256[S]. 2023.
- [18] 3GPP. BSR enhancements for XR: R2-2310687[S]. 2023.
- [19] 3GPP. XR-specific capacity enhancements: R1-2302317[S]. 2023.

[作者简介]



肖扬 (1988-), 男, 中国电信集团有限公司工程师, 主要研究方向为 5G 及多媒体、云网融合、SDN/NFV、物联网、云计算等。