

5G网络中XR业务介绍与容量分析

Introduction and Capacity Analysis of XR Services in 5G Network

王璐璐, 韩潇, 曹亘, 张涛, 李福昌(中国联通研究院, 北京 100048)

Wang Lulu, Han Xiao, Cao Gen, Zhang Tao, Li Fuchang (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

通过融合虚拟与现实, XR为用户创造了更丰富的沉浸式体验, 改变了人们与世界的互动方式。3GPP对于5G网络中XR的基本流量模型和评估方法已经达成一致, 在此基础上, 利用系统级仿真平台对XR业务流进行了仿真, 仿真结果给出了密集城区场景下小区支持的用户数量以及时延分析。

关键词:

XR; 业务模型; 容量; 5G

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.013

文章编号: 1007-3043(2024)07-0065-05

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:

By integrating virtual and reality, XR has created a richer immersive experience for users, changing the way people interact with the world. The basic traffic model and evaluation method for XR in 5G networks have been agreed upon by 3GPP. On this basis, the XR traffic flow is simulated in a system level simulation platform, and the simulation results provides an analysis of the number of users supported by the cell and the delay in Dense Urban scenarios.

Keywords:

XR; Traffic model; Capacity; 5G

引用格式: 王璐璐, 韩潇, 曹亘, 等. 5G网络中XR业务介绍与容量分析[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 65-69.

0 引言

扩展现实(Extended Reality, XR)是一种融合了虚拟现实(Virtual Reality, VR)和增强现实(Augmented Reality, AR)技术的创新型数字体验平台。通过利用计算机图形学、感知技术和人机交互技术, XR将虚拟信息与现实场景相融合, 使用户能够与虚拟世界进行实时互动。

随着5G网络的全面部署, XR成为极具潜力的媒体应用。2022年发布的《中国互联网发展报告》显示全球XR市场规模超过千亿元人民币, AR/VR终端出货量持续增长^[1]。其应用场景涵盖了虚拟工厂、远程办公、互动健身、沉浸式教育、全息生活助手等诸多领

域。

3GPP在R15/R16制定的增强型移动宽带(eMBB)和超高可靠低时延通信(uRLLC)技术标准, 可分别支持超高速率、超低时延、超高可靠的业务。XR类业务数据包以视频/图片和互动指令为主, 其对网络的要求兼具高吞吐量、低时延和高可靠性的特点。为了保障XR业务在5G网络中的传输性能, 有必要研究XR业务的特点, 通过仿真的方式, 对5G网络中XR业务的性能进行评估。针对评估结果不符合商用预期体验的部分, 通过技术增强的形式, 改善其性能。本文将重点介绍XR的应用场景及描述、流量模型、评价指标和5G网络下的容量评估。

1 XR应用场景

1.1 虚拟现实

收稿日期: 2024-05-18

VR是一种创新的数字体验技术,它通过计算机图形学、感知技术和人机交互技术,将用户带入一个仿真的虚拟环境。VR技术的目标是创造一种身临其境的体验,让用户可以与虚拟环境进行实时互动,感受前所未有的沉浸式数字体验。

VR技术的终端包含头戴式显示设备,也称为VR头盔。头戴式显示设备通常包含一个显示屏和传感器。用户将头戴式显示设备戴在头部,通过显示屏呈现虚拟画面,并通过传感器跟踪用户的头部运动,使虚拟画面随着用户的头部移动而改变。

相对于观察者位置的全向3D场景在空间上被划分为独立的子图片或图块。流媒体服务器通过存储不同质量的图块来提供同一图块的多种表示。XR内容的传输可以由用户动作以及对3D视频下一部分的需求触发。下载视场(Field of View, FOV)中的所有图块后,对其进行渲染,生成向用户显示的3D表示形式^[2]。

1.2 增强现实

AR是一种融合虚拟信息与现实场景的技术,通过计算机视觉、感知技术和人机交互技术,将虚拟内容叠加在真实世界中,使用户可以感知并与虚拟内容进行实时交互。AR技术的基本原理是通过计算机视觉技术对现实场景进行感知和理解,然后将虚拟信息与现实场景进行融合。

AR系统使用各种传感器来感知现实世界的信息。常用的传感器包括摄像头、深度传感器、陀螺仪、加速度计等。这些传感器可以捕捉用户的环境和动作信息,为AR系统提供实时数据支持。AR引擎负责感知和理解现实场景,将虚拟内容与现实场景进行融合。AR引擎利用传感器数据进行环境识别、跟踪和姿态估计,以及实时渲染虚拟内容,并将其准确地叠加在现实场景中。

AR系统中的虚拟内容可以是图像、视频、3D模型、文本等虚拟元素。虚拟内容可以用来增强用户的感知和交互体验,例如在现实场景中显示导航信息、游戏角色或者实时的传感器数据等^[5-6]。

1.3 云游戏

云游戏(Cloud Gaming, CG)将游戏内容和计算资源从用户的本地设备转移到远程的云服务器中,通过网络将游戏画面实时传输到用户的XR设备上,实现实时互动和沉浸式游戏体验。云游戏为用户提供了无需下载和安装游戏的便捷性,同时也为设备性能较

弱的用户提供了高质量游戏体验的可能^[3]。

云游戏的核心是远程的云服务器,这些服务器拥有强大的计算和图形处理能力。游戏内容和运算任务在云服务器上进行,然后云服务器将游戏画面实时编码为视频流,并通过网络传输到用户的XR设备上。用户的操作指令也被传输回云服务器,实现实时互动。在云游戏中,低时延是至关重要的因素。由于游戏需要实时响应用户的操作指令,较高的时延会导致游戏体验的不流畅。

2 XR业务模型

XR应用对通信网络带宽和时延要求较高,因此需要合理的流量模型来满足这些需求。总体而言,XR业务模型可分为单流和多流2种方案。其中单流是指每个用户接收到的下行视频流仅包含一种数据流。由于单流把分辨率很高的视频编码为单一的视频流,降低了数据处理的灵活性,并且对网络资源和客户端处理都提出了较高的挑战,因此可以采用多流的解决方案,将视频数据分别编码为多个视频流,每个视频流对应单独的接收器。接收器对相应的整个视频进行解码,从而产生不同的质量区域。3GPP针对XR业务制定了单流业务模型和双流业务模型的参数指标,以便于仿真评估。

2.1 单流业务模型

单个用户的单个下行视频流模型如图1所示,这里的一个数据包表示与单个视频帧对应的多个IP数据包。通过平均数据速率、帧率、抖动、数据包时延预算(Packet Delay Budget, PDB)构建XR的业务模型及传输要求。

a) 帧率。即单个用户每秒传输的帧数,视频流的帧率通常配置为60或120(fps)。

b) 平均数据速率。对于VR/AR,在60fps下,平均数据速率可以配置为30Mbit/s或45Mbit/s;对于CG,在60fps下,平均数据速率可以配置为8Mbit/s或

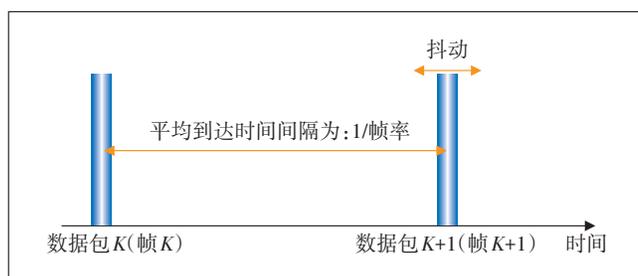


图1 单流业务模型

30 Mbit/s。

c) 数据包大小分布。数据包大小服从截断高斯分布,其平均值可表示为 $\frac{R}{FPS} / 8$ (B),其中 R 是平均数据速率;FPS表示视频流的帧率。数据包大小的标准差是平均数据包大小的 10.5%,最大数据包大小为平均数据包大小的 1.5 倍,最小数据包大小是平均数据包大小的 0.5 倍。

d) 抖动。第 k 个数据包的到达时间为 $\frac{k}{FPS} \times 1000 + J$ (ms)。其中, J 服从平均值为 0 ms、标准差为 2 ms、抖动范围为 $[-4 \text{ ms}, 4 \text{ ms}]$ 的截断高斯分布。

e) PDB。空口时延预算的定义为从数据包到达基站到成功传递给用户所能容忍的最大时延,是一个时间限制,对于 AR/VR 业务,其 PDB 要求为 10 ms。对 CG 业务,其 PDB 要求为 15 ms。

2.2 双流业务模型

在传输过程中,XR 数据被分为交互流(I 流)和感知流(P 流)。I 流包含用户交互数据,如头部运动、手势等。这些数据对于 XR 应用的实时性至关重要,要求低时延和高带宽。每个 I 流都有自己的编码、传输和解码过程,它们之间相互独立,不受其他流影响。P 流包含感知数据,如视频帧、音频等。这些数据用于提供虚拟场景和内容,对于用户体验的感知质量至关重要。P 流是一种播放流,它表示根据特定规则进行时间同步的音频或视频流。

基于图像组(Group-Of-Picture, GOP)双流业务模型如图 2 所示。若一个 GOP 内包含 K 个帧,则该 GOP 内包含的 I 帧数量是 1, P 帧的数量是 $K-1$ 。在传输过程中, I 帧通常作为一个 GOP 的开头,用于进行视频解码的起点,其解码不需要参照其他的任何帧,因此若其他帧发生错误, I 帧的解码不会受到影响。在传输过程中, P 帧通常需要依赖前面的 I 帧或 P 帧进行解码, P 帧是否正确解码会影响到其后续 P 帧的解码正

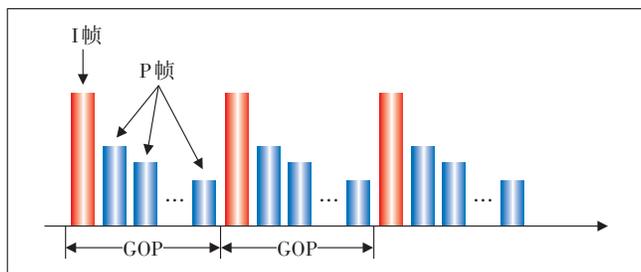


图2 GOP双流模型

确性。

在基于 GOP 的多流模型中,视频数据由一组 GOP 组成,每个 GOP 包含多个视频帧,多个 GOP 被同时传输和播放。在接收端,可以根据需要对多个 GOP 进行解码和播放,以实现连续的视频播放。

基于 GOP 双流模型有一个整体的速率,业务包到达服从高斯分布。假设 R 代表该双流的平均数据速率, K 代表 GOP 的帧数, α 代表 I 帧平均包大小和 P 帧平均包大小的比率,则 I 帧的数据速率表示为 $R_I = R \times \frac{\alpha}{K-1+\alpha}$, P 帧数据速率表示为 $R_P = R \times \frac{K-1}{K-1+\alpha}$ 。

3 仿真评估与分析

3.1 评价指标

本文主要采用如下 2 个评价指标。

a) 满意用户。高丢包率会影响数据的完整性和感知质量,为了判断用户的 XR 体验是否满足要求,将满足 PDB 和数据包传输成功率(Packet Success Rate, PSR)要求的用户定义为满意用户。即在时延要求内,若某一用户超过 $X\%$ 的数据包被成功接收,则认为该用户为满意用户。其中用户包成功率 X 的取值可以为 99 或 95。

b) 系统容量。在给定数据量、帧率和时延预算的条件下,5G 系统保证 $Y\%$ 的用户为满意用户时,每小区可服务的最大用户数。其中, Y 一般设置为 90。

3.2 仿真参数配置

通过系统级仿真平台,在其他参数不变的情况下不断调整每小区服务的用户数,统计每次仿真中各个用户的数据包的传输情况,统计每个用户的包成功率,进而得到满意用户的比例。随着用户数逐渐增加,满意用户的占比将越来越低,从而得出该小区内 XR 业务的系统容量。仿真参数如表 1 所示。在该系统级仿真参数配置基础上, XR 单流仿真假设 PSR、PDB 的值分别是 99、10。双流业务模型下, I 帧和 P 帧的 $[\text{PER}_I, \text{PER}_P, \text{PDB}_I, \text{PDB}_P]$ 配置为 $[1\%, 1\%, 10 \text{ ms}, 10 \text{ ms}]$, 双流所有仿真的数据包传输速率均配置为 30 Mbit/s, 仿真考虑了 α 为 1.5 和 2 的情况。

3.3 仿真结果分析

3.3.1 单流仿真结果分析

图 3 所示为密集城区场景下 5G 系统内满意用户的占比,并使用“应用场景—平均业务速率”参数来区分不同的参数配置。由图 3 可知,随着蜂窝网络中用

表1 系统级仿真参数

参数	配置
场景	密集城区
信道模型	UMa
载波频率/GHz	3.5
带宽/MHz	100
子载波间隔/kHz	30
帧结构	[DDDSU DDDSU], 其中S时隙配置为 10D:2F:2U
站间距/m	200
基站天线配置	64 TxRU, (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (8, 8, 2, 1, 1; 4, 8)
基站发射功率/(dBm/20 MHz)	44
UE最大功率/dBm	23

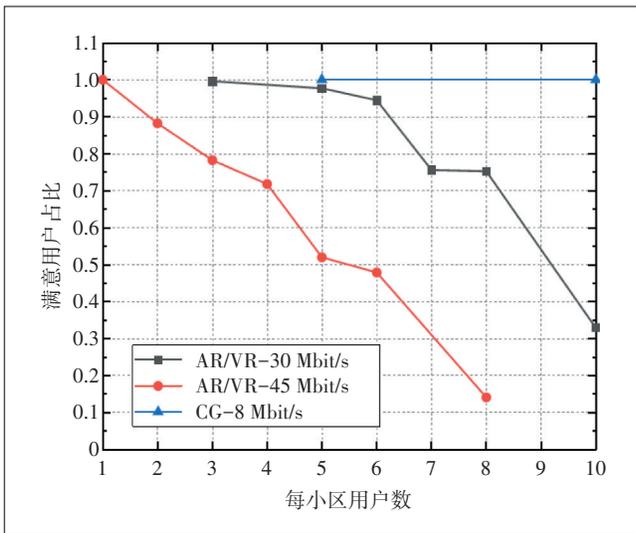


图3 单流密集城区场景下的容量

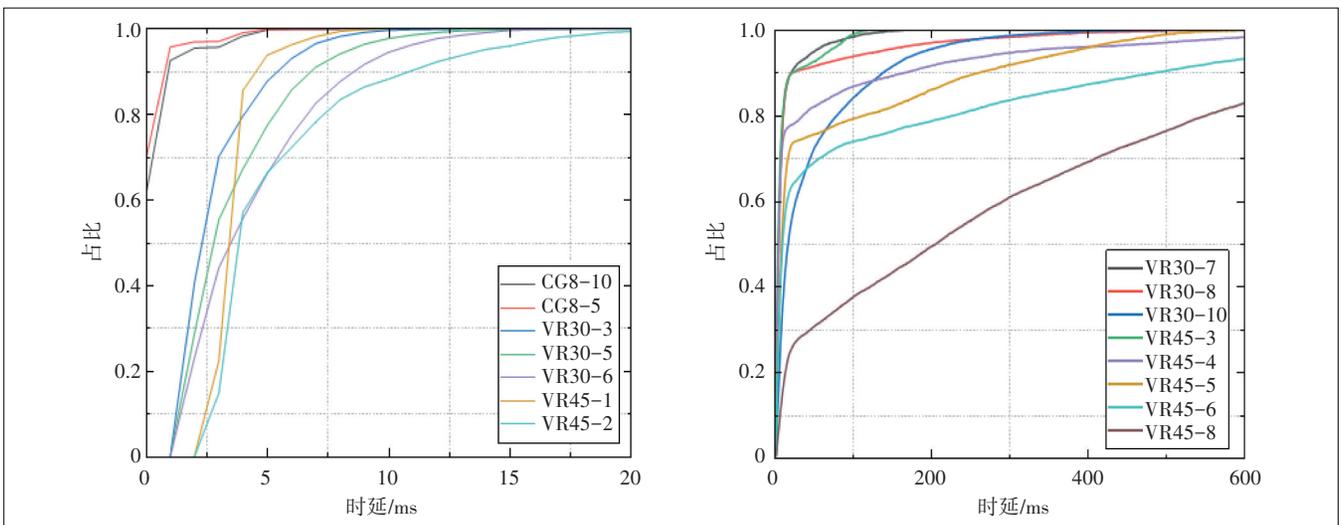


图4 单流密集城区场景下的CDF

户数量的增加,AR/VR等应用场景的满意用户百分比逐渐下降,而CG变化不明显,且XR要求的速率越高,网络能容纳的用户数越少。由仿真数据可以得出,若要求小区内满意用户的百分比超过90%,CG-8 Mbit/s的曲线在用户数为10之前均保持着95%以上的满意率,因此可以推测出CG-8 Mbit/s在密集城区场景下的业务容量高于10用户。对于平均业务速率为45 Mbit/s的下行单流AR/VR业务,5G小区可容纳的满意用户数小于2;对于平均业务速率为30 Mbit/s的下行单流AR/VR业务,5G小区可容纳的满意用户数为6.3。

图4所示为所有业务包传输时延的CDF分布,通过“应用场景—平均业务速率—用户数”来区分不同的变量配置。由图4可知,当应用场景为CG且数据传输速率为8 Mbit/s时,用户时延集中在5 ms以内;在同样的应用场景和数据速率下,随着用户数量的增长,用户时延逐渐变大。当AR/VR数据包传输速率为30 Mbit/s时,用户数低于6的情况下,超过90%数据包时延可以控制在10 ms以内。当AR/VR数据包传输速率为45 Mbit/s时,若用户数高于2,则将有超过10%的数据包时延达到几十甚至几百毫秒。

3.3.2 双流仿真结果分析

双流仿真给出了基于GOP的多流模型评估结果,图5所示为多流密集城区场景下的5G容量,图6所示为多流密集城区场景下的CDF。从图5可以看出,在相同的PER、PDB和数据速率配置下, α 为1.5的情况下,小区容量为6.3,当 α 为2时,小区容量略有下降,仅有6.1个用户满足要求。可以看出当I帧占比变大时,

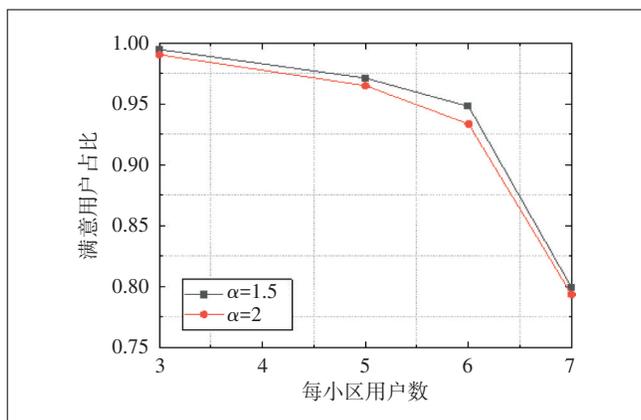


图5 多流密集城区场景下的容量

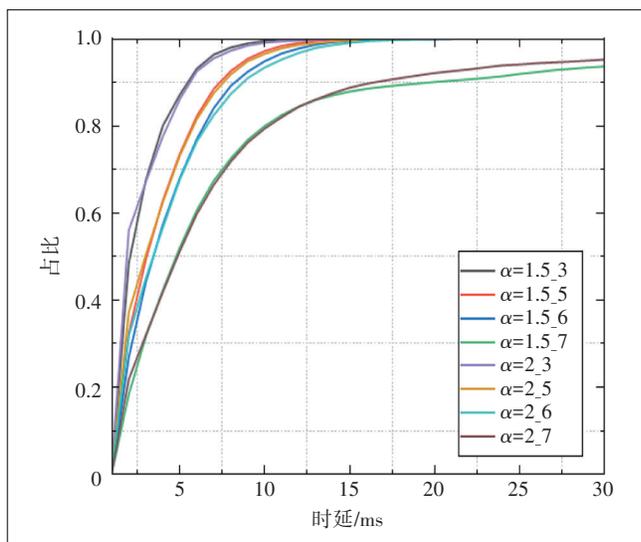


图6 多流密集城区场景下的CDF

支持的满意用户数略有降低。从图6可知,随着用户数量的增长,用户时延逐渐变大,且 α 对时延的影响较小。

4 结束语

XR是基于计算机技术和可穿戴设备,使真实环境和虚拟世界相融合,可实现人机交互的5G媒体应用技术。随着5G系统的全面部署,XR成为极具潜力的媒体应用。本文主要介绍了XR的业务特征,阐述了单流以及多流的流量模型,并重点仿真评估了密集城区场景下,5G蜂窝网络对XR业务的系统容量。仿真结果表明,在R17之前版本的5G网络中,若要支持30/45 Mbit/s的AR/VR业务,单小区里能容纳的满意用户数较少。若不进行网络技术升级,直接在5G网络中引入大量XR终端,一方面难以保障XR终端的用户体验,

另一方面,大量的XR业务将有可能带来网络资源的拥塞。因此,目前3GPP R18正针对添加XR业务感知能力、降低功耗和提升容量等方面开展技术研究。在新的技术支持下,5G网络将能更好地支持XR业务。

参考文献:

- [1] 中国互联网协会.《中国互联网发展报告(2022)》正式发布[J]. 互联网天地,2022(9):4-5.
- [2] 高杨. 面向XR的5G关键技术研究[J]. 广播与电视技术,2022,49(9):146-151.
- [3] 武娟,刘晓军,徐晓青. 扩展现实(XR)关键技术研究[J]. 广东通信技术,2020,40(10):34-39.
- [4] 史晓楠,熊春山,倪慧,等. 5G XR及多媒体增强技术分析[J]. 电信科学,2022,38(3):57-64.
- [5] 王新台,袁知贵. 5G XR关键技术挑战和方案研究[J]. 中兴通讯技术,2023,29(3):64-72.
- [6] PETROV V, GAPEYENKO M, PARIS S, et al. Extended reality (XR) over 5G and 5G-advanced new Radio: Standardization, applications, and trends [EB/OL]. [2024-04-10]. <https://arxiv.org/abs/2203.02242v1>.
- [7] DOOLANI S, WESSELS C, KANAL V, et al. A review of extended reality (XR) technologies for manufacturing training[J]. Technologies, 2020, 8(4): 77.
- [8] 3GPP. Extended Reality (XR) in 5G: 3GPP TR 26.928 [S/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [9] 3GPP. Virtual Reality (VR) media services over 3GPP: 3GPP TR 26.918[S/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 3GPP. Typical traffic characteristics of media services on 3GPP networks: 3GPP TR 26.925 [S/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [11] 3GPP. RAN1104-e Chairman's Notes. February 2021 [EB/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [12] 3GPP. Study on XR (Extended Reality) Evaluations for NR (Release 17): 3GPP TR 38.838 [S/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [13] 3GPP. R1-2108100 Initial evaluation results for XR [EB/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [14] 3GPP. R1-2112079: Evaluation results for XR[EB/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [15] 3GPP. Study on XR enhancements for NR (Release 18):3GPP TR 38.835[S/OL]. [2024-04-10]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

王璐璐,工程师,硕士,主要从事无线移动通信前沿技术与试验验证工作;韩潇,高级工程师,硕士,主要从事无线移动通信技术标准制定与技术验证相关的工作;曹亘,正高级工程师,博士,主要从事无线新技术研究,国际标准/行业标准制定工作;张涛,正高级工程师,硕士,主要从事移动通信无线新技术和组网方案研究工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,主要从事无线新技术研究及管理工作。