



5G 网络中的移动 VR 应用

刘洁, 王庆扬, 林奕琳

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 首先介绍移动 VR/AR/MR 的应用场景、系统的基本原理, 分析其对网络的要求, 指出现有移动网络承载移动 VR/AR/MR 应用的问题; 结合 5G 网络中引入的新架构和新技术, 提出移动 VR 网络解决方案, 进一步分析该解决方案带来的对应用使能的增强效果, 旨在为 5G 网络中的移动 VR 应用提供参考, 起到推动 5G 生态圈应用发展的示范效果。

关键词: 5G; 虚拟现实; 控制面和用户面分离; 边缘计算; 渲染

中图分类号: TN925.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018246

Mobile VR application in 5G network

LIU Jie, WANG Qingyang, LIN Yilin

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: VR/AR/MR application scenarios were introduced, as well as the basic principle of VR system, the requirements for the bearer network and those problems concerning exiting mobile bearing were analyzed. With the introducing of 5G new architecture and new techniques, a solution was put forward and the application effect was analyzed, the application-enhanced enhancements brought by the solution was further analyzed, aiming at providing reference for VR application deployment in 5G network and setting up a demonstrative example for other innovative applications in 5G ecosystem.

Key words: 5G, virtual reality, control and user plane separation, edge computing, render

1 虚拟现实的应用特点和场景

维基百科给出的虚拟现实 (virtual reality, VR) 的定义为: 虚拟现实是利用计算机模拟产生一个三维空间的虚拟世界, 提供用户关于视觉等感官的模拟, 让用户感觉身临其境, 可以及时、没有限制地观察三维空间内的事物。该技术集成了计算机图形、计算机仿真、人工智能、感应、

显示及网络并行处理等技术的最新发展成果, 是一种由计算机技术辅助生成的高技术模拟系统。

3GPP (Third Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 从网络技术的角度出发, 把虚拟现实定义为: 一种把传输过来的视觉和听觉场景渲染出来的版本。所谓的渲染就是当用户在应用定义好的范围内移动时构建三维的呈现效果, 尽可能模拟现实世界的视觉和听觉



感官刺激。

产业界将虚拟现实定义为3类技术应用方式：VR（virtual reality，虚拟现实）、AR（augmented reality，增强现实）和MR（mixed reality，混合现实）。VR模拟的是完全独立于现实世界的虚拟世界，通过隔绝式的音视频内容带来沉浸感体验，对显示画质要求较高；AR在真实环境的基础上，叠加VR模拟的虚拟世界，通过交互提高感官体验，强调的是感知交互和场景的融合。混合现实灵活地结合了虚拟现实的沉浸感和增强现实的实用的特点，运用人工智能和生物工程等新技术，使得虚拟世界和真实世界的衔接更加无缝和自然。VR与AR在关键器件、终端形态上相似性较大，而在关键技术和应用领域上有所差异；VR侧重于游戏、视频、直播与社交等大众市场，AR侧重于工业、军事等垂直应用。随着技术的不断发展，AR和VR也在不断融合，最终造就MR为主导的应用生态。广义的VR包括了AR和MR，本文从网络需求的角度出发，采用广义的VR概念。

从应用的角度看，虚拟现实可用于各行各业，并主要聚焦于3类应用场景。

（1）技术演练

各种危险环境（如核设施、水下设施）、作业对象难以获得（如医疗手术、航天器维修）以及耗费巨大（如军事演练）的行业领域的技术业务训练和演练，提高各类训练的效率和效果。

（2）设计验证

在城市规划、产品设计中应用VR系统模拟，可以预先评估成品的呈现效果，缩短设计周期，提高设计的合理性。

（3）增强观赏

主要用于娱乐类应用，通过将现实世界或目标场景数字化，提升观赏的逼真度和视觉效果；这类应用如虚拟景观、数字博物馆以及各种游戏、视频制作等。

2 VR系统网络要求

2.1 VR系统基本原理

VR系统本质是多个业务环节构成的计算机应用系统。它的业务流程通常包括图像、视频数据的采集，物体的建模，视频图像数据的投影、编码及存储，动作或位置信息的交付，视频图像数据的解码、显示重构/渲染以及最后的显示展现。通常认为采集、互动信息的生成、展现是在终端完成的，而设计建模和渲染等计算处理的工作在服务端完成。

实际应用中终端有摄像机等采集终端、手柄等感知终端以及头盔等显示终端，服务端功能的部署通常有远端和近端两种情况。远端部署是服务器功能单独设置，并由独立的计算或存储单元负责，而近端部署是将全部或部分处理要求，通常是对计算资源要求较高的渲染功能，放置在终端中实现，于是出现各种各样的终端，如一体化VR头盔、手机+VR眼镜、外置PC主机+VR头盔等，为获取较好体验，通常要求终端有较高配置，用户门槛高。VR系统是个音频和视频协同的应用，考虑到音频的处理相对简单，下面主要关注视频的处理流程，具体如图1所示。

近端部署之所以广泛存在，原因在于VR服务需要媲美人体的视觉感知，对服务端的最基本要求是业务反应快（时延低），而远程组网带来的时延往往不尽如人意。

2.2 VR系统的网络要求

人眼视网膜的分辨率大致为60PPD（pixel per degree，单位角度像素）。分辨率越接近人眼，VR的视觉体验越好；另外，VR视频的观赏过程中，普遍造成眩晕的不良体验，这种影响来自于多种因素，但MTP（motion to photons，头动到显示出相应画面的时间）时延长、视频图像的帧率低是很重要的影响因素。分辨率越高、帧率越大，图像信息量越大，传送带宽要求也越高。MTP时延

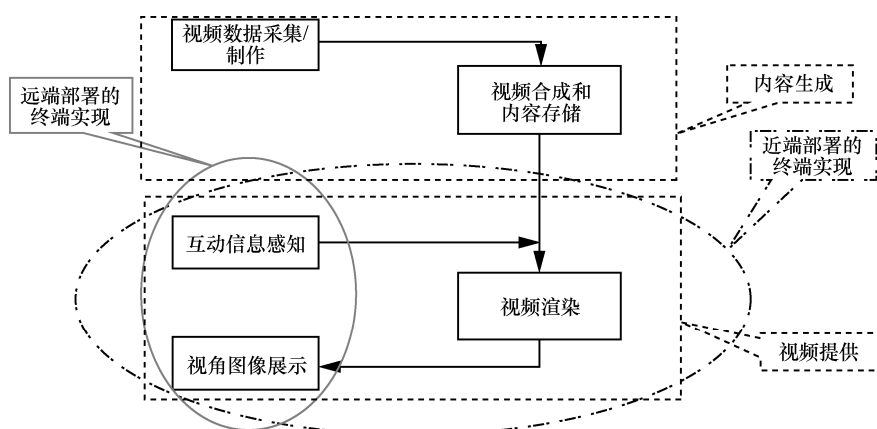


图1 VR系统的视频工作原理和流程示意图

的主要构成是网络的 RTT (round-trip time, 往返时延) 和终端、服务器端的接收、发送、处理时延。通过评估现有的终端和服务端实现技术, 当采用不同的显示实现、交互技术和图形处理器件、技术时, 处理时延有较大差异, 一般在 10~20 ms, 并有逐步降低的趋势。通常 MTP 时延要小于 30 ms, 体验好的情况下要求 MTP 时延小于 20 ms。综上所述, 为满足较好的体验需求, 要求 RTT<10 ms, 帧率高于 60 帧/s。

表 1 在评估了 VR 产业链的发展趋势和 VR 服务的演进进程的基础上, 以 360 度视频为例, 给出了各类等级的 VR 业务的图像指标及对网络

的要求。

表 1 的终端属性的取值只是作为例子, 参考了某些一体化头盔厂商的终端设计, 实际上不同的终端模式和不同的特征值会造成计算结果的差异性; 另外表 1 中带宽的计算是基于全景图像传输的, 基于 FOV (field of view, 视场) 传输时带宽往往可以减少至原来的 1/6~1/3。

表 1 中的主要计算依据如下:

- 像素密度=单眼视角内像素/单眼视角;
- 单眼全景像素数=(单眼赤道像素数)²/π;
- 单眼赤道像素数=像素密度×360;
- 双眼全景总数据量= 2×单眼全景像素数×

表 1 VR 视频网络要求示例

体验等级或演进阶段	初级阶段 (2K)	高级阶段 (2K)	卓越体验 (16K)	极致体验 (64K)
单眼视角像素	960×1 080	1 920×1 920	3 840×3 840	7 680×7 680
单眼视角	90°×110°	120°×120°	120°×120°	120°×120°
像素密度 (PPD)	11	16	32	64
全景总像素 (M)	9.39	21.13	84.53	338.12
帧率/(帧/s ⁻¹)	60	60	90	120
色深	8	10	10	12
VR 视频投影格式 (×投影系数)	经纬图 (×1.57)	经纬图 (×1.57)	经纬图 (×1.57)	多面体 (×1.21)
原始无压缩码率/(Gbit·s ⁻¹)	7	20		
视频编码 (/压缩比)	H.265(/200)	H.265(/200)	H.265(/400)	H.265(/400)
带宽需求 (压缩码率×1.5)	53	149	448	2209
RTT/ms	16	12	10	8



帧率 \times 色深;

- 视频无压缩码率=双眼全景总数据量 \times 投影格式系数(经纬图为 1.57, 二十面体为 1.21);
- 视频压缩码率=视频无压缩码率/压缩比。

对网络的时延(RTT)要求: 需要考虑尽可能满足小于 20 ms 的端到端的 MTP 时延要求, 同时为终端和服务端的处理时延、收发数据的接口时延等预留必要的空间。除此之外, 视频传输多基于 TCP 的可靠传输, 但 TCP 滑动窗口机制往往带来附加时延; 目前针对 TCP 的传输, 出现众多优化方法。

VR 业务是典型的大流量业务。特别在极致体验的情况下, 一路 VR 的带宽需求已超过 2 Gbit/s, 即使现有的光纤到家的高带宽接入方式也遇到了挑战。

为了减少对带宽的压力, VR 视频图像的实时传送目前可采取如下两种方式。

(1) 全景传输方案

全景传输将 360 度的视频图像均传送给终端, 头部运动判断及图像计算均在终端侧完成。由于 VR 全景视频的数据量往往是相同条件下平面视频的 5 倍以上, 网络带宽往往成为了应用的严重瓶颈。

(2) FOV 传输方式

生物学的基本常识提示, 用户在欣赏视频时通常只关注有限的视场, 在视场发生较大变化(频道切换)时, 可以接受一定的附加时延; 因此, 为了提高传输效率, 同时减少对网络的压力, 业界提出了一种只传送当前视场频道图像的传送方式, 即 FOV 传输方式。高像素 VR 视频的传送往往采用 FOV 的传送方式, 但多个视场图像的数据总和往往是原始文件的 5~6 倍, 所以在服务端会占用比较大的存储空间, 是一种以存储换带宽的实现方式。

随着移动 VR 服务需求越来越迫切, 利用移动网络的承载实现移动 VR 提上了日程。4G 网络承载移动 VR 存在带宽和时延瓶颈; 随着 5G 技术的引入, 人们寄希望于采用 5G 解决 4G 的瓶颈问

题。业务是个端到端的概念, 要想实现好的 VR 用户体验, 不仅需要解决移动网络传输问题, 还需要各种技术协同提升予以配合, 解决目前 VR 应用中的众多其他领域的问题; 同时, 解决好了网络问题, 可以给其他技术的应用预留更加广阔的空间, 适当放松相关技术的应用条件, 降低应用部署的成本并扩展应用范围。例如: 如果网络可以将 RTT 降低到 5 ms 以下, 那么 MTP 时延小于 20 ms 的限制将可以大大放宽, 降低终端或服务端要求。

3 5G 新技术和新能力

5G 网络是多种新技术有机结合的全新网络架构。5G 无线侧引入了大规模天线、高频通信、新型多址接入、新型多载波、增强调制与编码等多种技术, 大大提升了空口性能。5G 核心网采用了全新的服务化架构, 彻底实现了 CUPS (control and user plane separation, 用户面与控制面分离), 使能了用户面的边缘化部署和灵活的策略路由, 大大降低了网络时延。5G 支持 3 类应用场景, 即 eMBB (enhanced mobile broadband, 移动宽带增强)、mMTC (massive machine type communication, 低功耗大连接)以及 uRLLC (ultra-reliable and low latency communication, 高可靠低时延)。为满足三大场景, 5G 网络引入八大关键性能指标, 其中与 VR 应用关系最密切的是速率和时延。5G 空口技术支持 20 Gbit/s 的峰值速率和 100 Mbit/s 的用户体验速率, 在 VR 所属的 eMBB 场景下支持空口双向环回时延小于 8 ms。从带宽方面看, 目前承载网络已普遍采用光纤, 光交换、波分等技术已比较成熟, 所以只要空口支持高带宽, 传输承载按需建设, 一般不会存在带宽瓶颈; 而时延是端到端概念, 按传统网络用户面相对集中、统一业务出口的建设思路, 是无法屏蔽距离带来的用户面时延的影响的。5G 阶段灵活的用户面部署架构支撑低时延业务的实现, 具体包括

CUPS 和 MEC (multi-access edge computing, 边缘计算)。

MEC 是一种服务环境,同时也是一种具体的网络实现。CUPS 使能了用户面下沉,MEC 在此基础上,在下沉的用户面邻近处提供云化的应用部署环境,使能了应用的边缘化部署,给用户一种面对面服务的体验。MEC 部署位置和组网示意图如图 2 所示。

边缘计算对于 VR 业务来说,把大流量圈限在网络边缘,大大减少了对骨干传输的压力;另外,通过用户面网关下沉、应用边缘化等方式大

大减少了网络时延,下面具体分析。

引入边缘计算前 (4G):

$RTT = 4G \text{ 空口时延} + \text{无线接入网时延} + \text{核心网时延} + \text{核心网出口到服务端的互联网时延}$ (1)

引入边缘计算后 (5G):

$RTT = 5G \text{ eMBB 空口时延} + 5G\text{-RAN 到 MEC 平台时延}$ (2)

以上时延同时含传输设备处理时延和传输媒体 (空口、光) 传输时延。

图 3 展示了引入 5G 边缘计算前后的网络 RTT。其中, n 、 n' 为传输跳数, 根据 4G 传送网

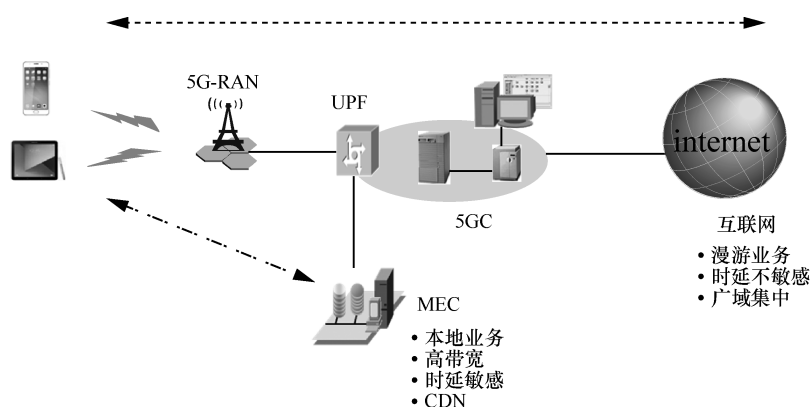


图2 MEC部署位置和组网示意图

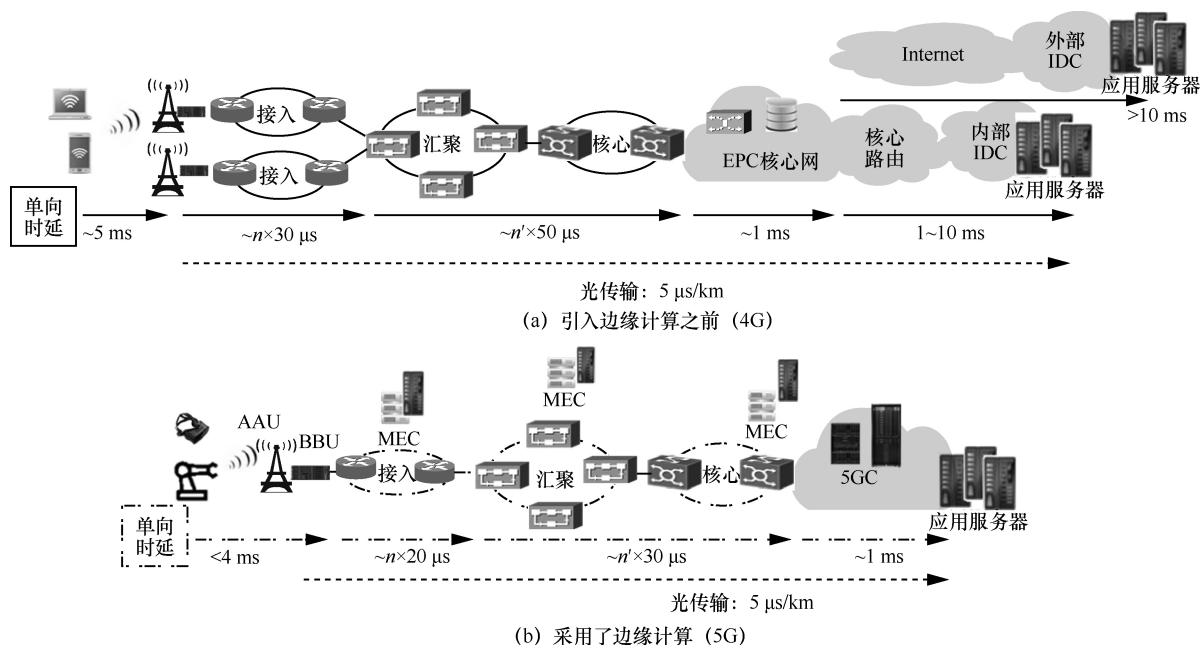


图3 移动网络 RTT 分析



现状, 每跳传输设备处理时延为 30~50 μs ; 随着传输新技术的应用, 预计每跳时延有所减少。

典型城域距离 100~200 km, 省内距离 500 km, 光传输时延 5 $\mu\text{s}/\text{km}$ 。以 4G 用户面集中部署为例, 典型传输跳数 10 跳, 传输设备单向时延约 0.4 ms ($4 \times 30 \mu\text{s} + 6 \times 50 \mu\text{s} \sim 0.4 \text{ ms}$); 光纤传输单向时延约 2.5 ms ($500 \text{ km} \times 5 \mu\text{s}/\text{km} = 2.5 \text{ ms}$); RTT 通常为 20~40 ms, 无法满足 VR 业务需求。

同时可以看出, 相对于设备的时延(4G 为 0.4 ms, 5G 会更小), 距离对时延的影响更加明显(2.5 ms 和 0.4 ms), 得益于 5G 用户面可以灵活设置的技术特点, 距离带来的影响可以按需进行屏蔽。在用户面下沉到基站邻近, 同时 VR 服务部署在和用户面同机房的 MEC 上时, 基本可以只考虑空口时延, 即约 8 ms ($4 \text{ ms} \times 2$)。考虑城域范围内光传输时延带来的影响不大 ($< 1 \text{ ms}$), 因此 UPF 和 MEC 通常可设置在城域网的接入层或核心层。

边缘计算平台作为应用部署和管理平台, 同时提供了常用的业务引擎, 提供 PaaS(平台即服务)的业务生成环境, 其中定位、视频传输优化是常见的边缘计算业务引擎。VR 应用调用传输优化服务, 可对视频流作传输层的优化, 避免传统 TCP 重传的滑动窗口机制带来的大时延问题。除了边缘计算, 5G 的其他服务能力也可以应用于移动 VR 应用; 5G 网络切片是一种基于虚拟化的专网服务, 可利用对隔离性、专业性、安全性要求高的 VR 应用定制出特定功能和性能要求的网络服务切片, 满足业务对网络承载的性能要求。

4 移动 VR 的 5G 解决方案

针对移动 VR 的网络承载问题, 利用 5G 网络特点, 移动 VR 的 5G 网络承载解决方案的要点如下。

- 为 VR 类应用部署 5G 网络切片, 该切片采用下沉的用户面及边缘计算, 针对 VR 的

特点提供带宽、时延等 QoS 保障; 对终端侧部署了摄像头需要进行视频采集上传的场景, 切片同时保证上行带宽;

- 图像的预处理和特定视角的渲染输出(FOV 模式)处理部署于边缘计算的云化资源中, 实现云端渲染;
- 显示终端集成 5G 通信模块或通过 Wi-Fi 接入 5G CPE, 简化处理功能, 主要实现 VR 视频的显示和传感信号的上传; 用户侧部署摄像机的场景, 5G 接入同时承载实现图片上传;
- 边缘计算提供传输优化服务, 供边缘移动 VR 应用调用, 优化云端数据到显示终端的传输, 进一步减少时延。

具体到 VR 的不同业务, 对网络带宽、时延、计算能力的部署方式的要求是不一样的, 所以对以上解决思路的应用也不尽相同; 普通 360 度视频的主要瓶颈是带宽, 而 VR 联网游戏对时延的要求高; 如果是 VR 云端游戏、6DOF VR 视频, 则因对计算和存储的要求高, 适合在云端部署, 因而也对移动网络传输带宽和时延提出了更加苛刻的要求。鉴于密集区移动网络的用户平均带宽无法达到固定接入的水平, 5G 中的移动 VR 将主要聚焦于 4K(显示分辨率)及以下 VR 视频应用; 同时, 因 AR 类 VR 在很多场景下对带宽要求相对较低, 所以预计移动网络的发展对 AR 类移动 VR 的推动力会大一些。

作为例子, 图 4 展示了 6DOF VR 视频直播应用的 5G 移动组网。

图 4 中, 为 VR 设置专门的网络切片, 切片中同时通过实施 QoS 策略保障图像上传、视频下发的带宽和时延; 切片中部署下沉的用户面网关, 利用 MEC 平台承载云端应用, 保证应用所需要的计算和存储能力, 同时减少传输跳数和时延; MEC 平台开放传输优化服务, 用于进一步减少 RTT。

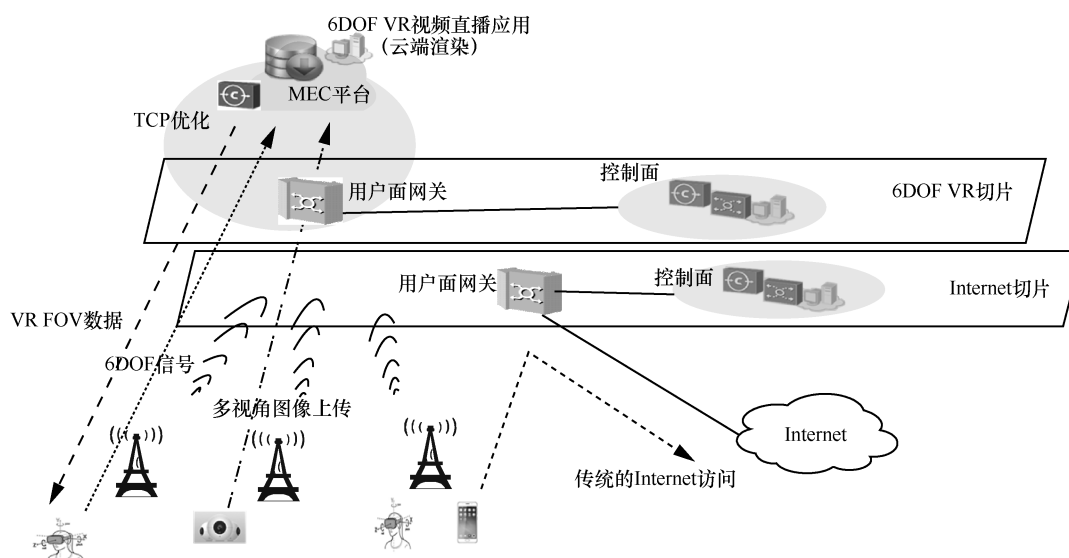


图4 5G网络中的6DOF VR视频直播应用

5 结束语

5G 网络新型的架构和灵活的服务能力使能了高带宽低时延业务,VR 这类受限于传统移动网络传输瓶颈的业务,在 5G 网络中得到了很好的发展契机;同时,5G 打造的多种针对行业的服务能力,为 VR 在各行各业的集成应用做了很好的铺垫,5G 网络中的移动 VR 应用将成为社会信息化、工业智能化的有力杠杆。

参考文献:

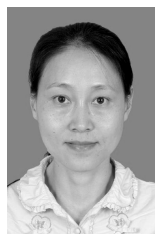
- [1] 3GPP. Virtual reality (VR) media services over 3GPP (Release 15): TS TR 26.918 V15.1.0[S]. 2017.
- [2] CCSA. TC11 AR/VR 工作组研究报告: 虚拟现实总体研究[R]. 2017.
CCSA. TC11 AR/VR WG: general research of virtual reality[R]. 2017.
- [3] ETSI. Multi-access edge computing (MEC) terminology: GS MEC 001 V1.2.1[S]. 2017.
- [4] ETSI. Multi-access edge computing (MEC) technical requirements: GS MEC 002 V1.4.2[S]. 2017.
- [5] ETSI. Mobile edge computing (MEC) framework and reference architecture: GS MEC 003 V1.1.1[S]. 2016.
- [6] ETSI. Mobile edge computing (MEC) service scenarios: GS MEC-IEG 004 V1.1.1[S]. 2015.
- [7] 3GPP. System architecture for the 5G system (Release 15):

TS23.501 VF.0.0[S]. 2017.

- [8] 中国信息通信研究院, 华为技术有限公司. 虚拟(增强)现实白皮书(2017年)[R]. 2017.

CAICT, Huawei Technologies Co., Ltd. Virtual(augmented) reality white paper(2017)[R]. 2107.

[作者简介]



刘洁(1971-), 女, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要从事移动网络核心网和业务的技术研究工作, 目前从事5G核心网和边缘计算的研究工作。



王庆扬(1973-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司广州研究院移动通信研究所所长、高级工程师, 主要研究方向为移动通信系统的关键技术及应用、移动网络规划和优化。



林奕琳(1978-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要从事移动通信新技术及应用研究与试验工作。