



研究与开发

全息通信对未来网络的需求与挑战

袁晓志, 彭莉, 张琳峰

(中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 随着 5G 全球化商用部署进程的加快, 以全息通信为代表的各种新兴沉浸式网络应用, 对现有网络体系的结构和能力都提出了重大需求和考验。介绍了全息通信类业务在众多领域的广泛应用, 分析了当前 5G 网络无法满足全息沉浸式应用快速发展需求的现状。从技术方面分析了全息通信类应用在带宽、时延、算力、同步性、服务质量、可靠性、安全性等方面对未来网络的性能需求。总结归纳了全息通信应用场景及其关键技术。通过对未来网络可能存在的演进路线进行调研和分析, 为未来网络的演进发展指明方向。

关键词: 全息通信; 未来网络; 需求分析; 系统架构

中图分类号: TN91

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020307

Requirement and challenge of holographic-type communication to the future network

YUAN Xiaozhi, PENG Li, ZHANG Linfeng

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

Abstract: With the acceleration of 5G global commercial deployment process, various emerging immersive network applications represented by holographic communication have put forward significant requirements and tests on the structure and capability of the existing network architecture. The wide application of holographic communication services in many fields was introduced, and the current situation was analyzed that 5G network can not meet the rapid development needs of holographic immersion applications. The performance requirements of holographic communication applications in bandwidth, delay, computing power, synchronization, quality of service, reliability, security and other aspects of the future network performance were analyzed. The application scenarios and key technologies of holographic communication were summarized. Through the investigation and analysis of the possible evolution routes of the future network, the direction of the future network evolution and development was pointed out.

Key words: holographic-type communication, future network, demand analysis, system architecture



1 引言

随着 5G 商用的到来,物联网、人工智能、AR/VR (augmented reality/virtual reality, 增强现实/虚拟现实)、触觉网络、全息多媒体等新型网络技术逐渐成为现实,并将在未来 30 年大规模普及应用。网络飞速发展的阶段,越来越多的新兴应用泉涌而出。与此同时,这些应用也给网络带来了更高的需求与挑战。例如,物联网的飞速发展和“工业 4.0”的提出,要求网络具备超大规模终端接入的能力;以远程手术为代表的触觉网络应用、机械人和无人机等人工智能的普及,对网络的安全性和可靠性提出了极高的要求;AR/VR 要求网络提供低时延以保证用户沉浸感体验^[1]。

2 全息通信

近年,随着全息技术的发展应用,全息通信正在逐步走向可能。全息显示技术利用干涉法记录物体表面散射光波的相位和振幅等信息,再利用衍射原理重建物体的三维图像。全息通信是利用全息显示技术,捕获处于远程位置的人和周围物体的图像,通过网络传输全息数据,在终端处使用激光束投射,以全息图的方式投影出实时的动态立体影像,并能够与之交互的新型通信方式。全息通信的信息媒体是全息图,在未来的网络应用中,全息图将成为应用最多的信息媒体。

全息通信类服务可以广泛地应用于远程通信、在线教育、医疗保健、游戏娱乐、商业广告等领域。例如,远程视频应用的全息临场感将远

程参与者作为全息图投射给房间中的本地会议参与者,远程排障应用程序将技术人员与位于远程位置的人工制品全息效果图进行交互,远程培训和在线教育可以为用户提供从远程位置与超现实全息物体进行动态交互的能力,以达到教学的目的。此外,用于远程手术的机器人以及沉浸式的娱乐、游戏、运动等也涉及全息技术。

2017 年 4 月,美国最大的电信运营商 Verizon 联合韩国电信(KT)分别通过 5G 网络接通了全球首个 5G 全息国际电话。2019 年 3 月 5 日,韩国电信在首尔世界梦广场(Nuri Dream Square)举办的 K-Live 全息图演唱会上,通过将 5G 网络与一个漂浮的全息图像系统连接起来,实现了首尔与洛杉矶之间的“全息通话”。2020 年 5 月,中兴通讯助力新华社实现了“全国两会”期间的 5G 全息异地同屏访谈。随着 XR (extended reality, 扩展现实)、数字孪生、人工智能等新技术的不断发展,全息通信日益膨胀的业务需求已不能得到满足,基于当前 5G 通信网络实现的沉浸式全息业务将变得越来越困难。未来网络需要提供更强大的连接能力,以确保人们可以在任何时间和地点都能享受完全沉浸式的全息交互体验,实现“全息连接”的通信愿景^[2]。

3 网络需求

全息通信网络模型如图 1 所示。其中,数据采集和全息再现由设备实现,包括各类穿戴式设备、投影设备、终端设备等。数据处理和压缩编码采用高效的压缩编码技术处理全息数据、处理

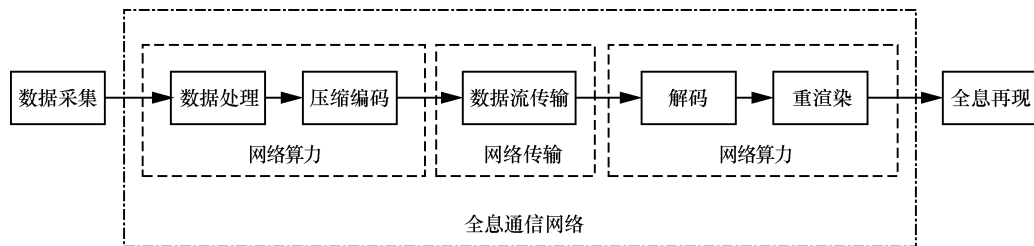


图 1 全息通信网络模型

多个数据流（如视频、音频、触觉、味觉、嗅觉等）的排序和封装，通过网络传输后，数据流被解封和解码，经过重渲染后生成全息图。

与传统的媒体通信不同，作为全息通信信息媒体的全息图，尤其是动态全息图，往往包含大量复杂的数据。这些数据有来自视频、音频、触觉的，有来自人物、实物、背景环境的。特别是在多用户、多数据流的场景中，全息通信所需的原始网络带宽将是巨大的，通常需要高效的编/解码技术对全息图的数据进行压缩处理。

全息通信通常涉及多维信息，特别是在动态全息图的产生和传输方面，容易受噪声、抖动和丢包等因素的干扰和扭曲；并且系统和设备必须实时感知用户的状态和运动，对接收的信息进行快速处理和响应；所有维度的信息必须严格同步，用户才能感受到交互的真实感和沉浸感。因此，全息通信对网络的时延要求比传统 AR/VR 交互式应用严格得多。

除此以外，全息通信对稳定性和连接数也有服务质量（quality of service, QoS）要求，能够识别关键的网络参数，并根据数据优先级和 QoS 选择不同的传输协议，甚至可以向网络表达 QoS 要求。由于全息通信类服务涉及大量的用户隐私数据（如人脸识别特征），如何在通信过程中保护用户的隐私数据也是一个亟待解决的问题。

3.1 超高带宽

与传统高清和 3D 虚拟视频相比，全息通信传输的流媒体对网络带宽的需求将达 Mbit/s 级。摄像头传感器（如微软 Kinect for Windows v2）输出的 1080P 图像，每个像素有 4 byte 的彩色数据，深度图像的分辨率为 512 dpi×424 dpi，每个像素有 2 byte 的深度数据，相当于每帧 70.4 MB 的原始数据^[3]。并且，随着传感器和视点数量的增加，在更高的分辨率和帧速率下，需要的网络带宽会更高。例如，对于 70 英寸显示屏，全息通信需要约 1 Tbit/s 的网络带宽。

根据投影物体和帧率的大小，全息通信需要 1 Gbit/s~1 Tbit/s 的网络带宽。而 5G 定义的三大应用场景中，eMBB（enhanced mobile broadband，增强移动宽带）提供的用户体验速率为 0.1~1 Gbit/s，峰值速率为数十 Gbit/s，对于高清及以上级别的全息通信，5G 网络显得有点“力不从心”。

使用更高效的图像压缩技术和编解码方案（例如 H.266），在一定程度上可以缓和全息通信的带宽需求，然而未来网络仍需要超高的带宽。对毫米波、太赫兹、可见光等更高工作频段的研究表明^[4]，未来网络可提供的用户体验速率能达到 100 Gbit/s，峰值速度超过 1 Tbit/s。与此同时，开发这些新频谱对天线和射频技术亦提出了更大的挑战。

3.2 超低时延

与 AR/VR 等强交互沉浸式应用的要求相同，为了让用户获得身临其境的感觉，全息通信要求网络必须提供小于 1 ms 的端到端时延^[5]。5G uRLLC（ultra-reliable and low latency communications，超高可靠与低时延通信）应用场景提供的端到端时延为 ms 级，在理论上 5G 传输时延可达 1 ms，但在长距离通信中由于光速的物理限制，实现这一时延几乎是不可能的。传统网络所使用的传输协议（例如 TCP/IP、UDP 等）在时延和确定性之间的折中不能满足需要沉浸式交互的应用（例如全息通信）。

RDMA（remote direct memory access，远程直接数据存取）技术的出现，解决了网络传输中客户端与服务器端数据处理所产生的时延。它将数据直接从一台计算机的内存传输到另一台计算机，无须双方操作系统的介入。与传统的 TCP/IP 通信模式相比，RDMA 允许高吞吐、低时延的网络通信，该技术可以进一步降低网络传输时延，在未来网络的应用场景中具有巨大的发展潜力。



3.3 网络算力

借由图 1 的全息通信网络模型,实现全息通信的过程可描述为,首先通过采集端设备获取对象信息,计算生成全息图,经过编码压缩后进行网络传输,在终端解码后重建对象的全息图并显示出来。由于全息图包含的信息和数据量巨大,计算时间过长,除了会带来极大的带宽负担外,还会造成很大的 MTP (motion to photons,运动到成像)时延。为了满足用户沉浸式体验,对 AR/VR 等强交互应用而言,MTP 时延要求在 20 ms 以内,对全息通信则要求 10 ms 甚至更低。

在全息图压缩方面,由于全息图包含大量复杂的数据,需要高效的编码技术压缩全息数据。传统的视频编码技术并不完全适用于全息数据,目前,对高清视频主要采用的编码技术是 H.264,8K 以上的高清视频则需要升级为 H.265。在保证同等画质的前提下,HEVC/H.265 压缩比与 H.264 相比可提升 30%左右^[6],最高可达 600:1。MPEG 等标准组织的最新研究进展表明,对应的下一代编码技术 VVC/H.266 的压缩比能再提升 40%左右^[7]。

在全息图的生成方面,未来网络需要在采集端为实时采集数据传输提供大容量通道;在运算端省去现有设备中的计算模块、数据存储模块,将设备的算力需求转向云端;在传输端需要能通过无线方式获得高速、稳定的网络连接;在显示端保持终端、云端的稳定快速连接,使时延达 ms 级,保证用户的沉浸式体验感。

随着云计算和 MEC (mobile edge computing,移动边缘计算)技术的快速发展,未来网络可通过云端和边缘端的快速部署解决全息通信的算力需求。

3.4 同步性及 QoS

全息图的生成和传输包含了多个维度的信息,这些信息来源于视频、音频、触觉、嗅觉、味觉等。只有当各个维度的信息保持严格同步,才能给用户身临其境的感觉。因此,在传输过程

中,来自不同传感器、不同角度的物体生成全息图的各个并发媒体流之间需要保持相当严格的同步。

对于全息通信类服务,涉及多个通道,每个通道可映射具有严格及时要求的单流,具备不同的弹性要求,全息数据总量的聚合资源可以共享并在各个通道间重新分配,并且允许跨通道的等待时间不超过 7 ms。现有网络缺乏具备足够低的时延及足够的高带宽的基础服务能力,现有技术也不支持一组流之间共享和动态重新分配的聚合带宽的概念。

此外,网络需要支持并具备动态适应多个并发流的能力。根据云和图像阵列的大小,网络至少需要支持 1 000 个并发流,如何智能化管理这些并发流的 QoS 对未来网络是个相当大的难题和考验。

3.5 可靠性

抖动和分组丢失会导致全息图的数据失真,引起串扰,从而影响用户的体验感。对于沉浸式应用(例如 AR/VR、全息通信等),网络环境不稳定造成的抖动会大大降低这些应用的沉浸感,因此网络传输过程中的每一层都要保证确定性时延和极低的分组错误率。5G 网络能提供的最大分组错误率在 10^{-5} 量级,AR/VR 强交互应用要求的分组错误率在 10^{-6} 量级,而全息通信对要求分组错误率至少达到 10^{-7} 量级。

3.6 安全性

通过全息通信传输的全息图中含有大量的信息数据,包括人脸特征、声音等敏感信息,需要网络提供绝对安全的保障,而现有安全技术的使用会增加端到端时延。为了能够以极低的时延提供安全传输,一个方案是将针对窃听者和攻击者的通信安全性嵌入物理传输中,确保只有合法的接收器才能处理控制和反馈消息,并针对新型的触觉消息开发新的、安全的编解码方案。对时延和安全性的折中考虑是未来网络需要面对的难题之一。

4 全息通信场景及关键技术

根据以上网络需求的分析,对全息通信场景大致可分为以下 4 类。

(1) 具有高传输数据密度和低时延的全息通信服务,要求网络提供超高的带宽和超低传输时延,以实现高速数据传输和用户实时交互性为目的,适用于运营商各类通信业务场景。

(2) 具有快速计算及响应的全息通信服务,要求网络提供强大的算力和低传输时延,适用于游戏娱乐、远程手术、远程排障等场景。

(3) 具有多个并发流和连接数的全息通信服务,能够感知网络状态,根据 QoS 选择合适的传输协议,根据连接数、应用优先级等调整全息图的传输策略,同时保证多个并发流之间的同步性,适用于远程视频会议、在线教育、广告等各类 OTT (over the top, 互联网向用户提供应用服务) 应用场景。

(4) 具有高可靠性和安全性的全息通信服务,以极低丢包率和数据安全为主,适用于卫星通信等场景。

全息通信的关键技术,综合对网络需求的分析,可归纳为以下 5 种。

(1) 全息显示技术: 目前发展迅速并广泛应用于 AR/VR 等领域。

(2) 高带宽频谱技术: 例如业界高度关注的太赫兹通信和可见光通信。

(3) 全息编码技术: 处理全息图阵列中的大量并发图像需要巨大的计算机存储和网络传输带宽,而压缩和解压缩带来额外的计算会严重影响时延。因此,使用高效的全息编码技术是未来全息通信发展需要解决的技术难题。

(4) 低时延/确定性时延: 新 IP 及确定性网络的提出,在将来或许可以解决全息通信的低时延、同步性和 QoS 需求。

(5) 算力网络: 计算与网络融合是未来网络

发展的趋势,算网融合能有效降低网络时延,对全息通信的发展产生了积极重要的影响。

5 机遇与挑战

网络的高速发展给科技、生活都带来了巨大的便利,在众多交互式应用中,全息通信提供全息视频通话、沉浸式购物、远程全息手术等服务,满足人们享受完全沉浸式的全息交互体验,实现虚拟场景和真实场景的深度融合。然而全息通信所需要的超高带宽、超低时延、网络算力、同步性、QoS、可靠性和安全性指标,以目前的网络架构和技术还不能实现。未来网络需要在系统架构和网络技术上获得突破,才能支撑这些不断出现并且需求旺盛的未来应用。

在网络架构方面,为了解决当前 TCP/IP 架构日益暴露的各种问题,世界各国已实施了多项关于未来网络相关的研究,并提出了“演进型”和“革命型”两种技术路线^[8]。其中,“演进型”技术路线主张在现有的 TCP/IP 网络体系架构下进行补丁式修补,提出新的组网技术,改变现有网络形态,对网络设备或拓扑进行改造,对已有的网络通信协议进行升级,并将人工智能、区块链、大数据等新技术手段应用到现网中,从而使现有网络架构适应新的发展需求。“革命型”技术路线则主张从头再来,即在不受现有网络约束的基础上探讨新的网络体系结构,重新设计网络通信协议,并将其定义为未来网络体系架构,从而克服传统网络体系结构在可扩展性、安全性、可管可控与 QoS 保障、移动性、服务分发以及绿色节能等方面的问题,更好地适应未来发展需要,实现网络的可持续发展。

业界关于两种技术路线的争议很大,“演进型”技术路线会使得原本简洁的网络结构变得日益复杂和臃肿,而“革命型”技术路线会减慢实际部署的步伐。

随着 NFV (network functions virtualization,



网络功能虚拟化)、SDN (software defined networking, 软件定义网络)、SR (segment routing, 分段路由)、ADN (address driven network, 地址驱动网络)、SCN (service customized network, 服务定制网络)、MEC、人工智能、IPv6、区块链等新型网络技术的研究, 对未来网络应该采取怎样的架构和标准仍是当前业界激烈争论的焦点^[9]。

如今, 网络应用的发展已逐渐成为网络技术发展的需求来源, 对新型网络技术和系统架构的研究是为了更好地支撑未来的网络应用, 而明确未来网络应用的性能需求反过来会给网络体系结构的研究提供更清晰的方向, 这些都为科学技术、系统架构、新兴服务应用的发展提供机遇和挑战。

6 结束语

本文从现有网络的带宽、时延、算力、同步性和 QoS、可靠性及安全性等无法满足实现全息通信类服务应用所需要的性能指标出发, 通过对未来网络的系统演进路线和新型网络技术调研, 为未来网络的发展指出了更加清晰明确的方向。

参考文献:

- [1] 李玉宏, 张朋, 金帝, 等. 应用对未来网络的需求与挑战[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 49-64.
LI Y H, ZHANG P, JIN D, et al. Application's needs and challenges for future networks[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 49-64.
- [2] 赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G 移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2019(8).
ZHAO Y J, YU G H, XU H Q. 6G mobile communication network: vision, challenges and key technologies[J]. Scientia Sinica(Informationis), 2019(8).
- [3] ALEXANDER C, MARI T V, HEMANTH K R, et al. Toward truly immersive holographic-type communication: challenges and solutions[J]. IEEE Communications Magazine, 2020, 58(1): 93-99.
- [4] ANASTASIA Y, RUSLAN K, YEVGENI K, et al. Future networks 2030 architecture & requirements[C]//Proceedings of 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecom-

munications and Control Systems and Workshops (ICUMT). [S.n.:s.l.], 2018.

- [5] 王凌豪, 王淼, 张亚文, 等. 未来网络应用场景与网络能力需求[J]. 电信科学, 2019, 35(10): 2-12.
WANG L H, WANG M, ZHANG Y W, et al. Future network application scenarios and network capability requirements[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(10): 2-12.
- [6] ELBAMBY M S, PERFECTO C, BENNIS M, et al. Toward low-latency and ultra-reliable virtual reality[J]. IEEE Network, 2018, 32(2): 78-84.
- [7] MPEG. The 122nd ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 (MPEG) meeting[EB]. 2018.
- [8] 第三届未来网络发展大会组委会未来网络发展白皮书 (2019 年) [R]. 2019.
Organizing committee of the third conference on future internet development white paper on future internet development (2019)[R]. 2019.
- [9] 刘韵洁, 黄韬, 张晨, 等. 未来网络的发展趋势与机遇[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(1): 1-5.
LIU Y J, HUANG T, ZHANG C, et al. Challenges and opportunities of future Network[J]. Radio Communications Technology, 2020, 46(1): 1-5.

[作者简介]



袁晓志 (1989-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司研究院, 主要研究方向为未来网络架构需求及演进、异构网络国际漫游技术。



彭莉 (1973-), 女, 现就职于中国电信股份有限公司研究院, 主要研究方向为电信网络和网络发展战略研究工作。



张琳峰 (1972-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司研究院, 主要研究方向为移动通信网络和业务。