



综述

6G 网络下的全息技术发展及业务趋势

侯文军¹, 白冰¹, 杨本植²

(1. 北京邮电大学, 北京 100876; 2. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 6G 的研究已经在全球范围内展开, 聚焦于 6G 网络下全息交互类业务, 通过研究全息交互类场景和业务, 分析了对未来网络性能的要求, 进而为 6G 网络的设计研究和技术演进提供业务需求方面的基础。研究了全息技术与应用现状、全息通信与全息交互类场景以及场景业务的技术指标和网络性能需求。定义了全息技术的发展阶段、发展成熟度、5G 下的全息产业链、全息技术应用领域分布。构建了全息类场景池、场景特征, 并基于特征形成六大类应用场景。通过技术指标测算, 提出了全息人像传输的带宽性能要求。

关键词: 6G; 全息交互; 全息通信; 场景挖掘; 业务趋势

中图分类号: TP39

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021254

Research on the development and business trend of holographic technology under 6G network

HOU Wenjun¹, BAI Bing¹, YANG Benzhi²

1. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

2. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Research on 6G has been carried out on a global scale. Focusing on holographic interactive services under 6G, the requirements for future network performance by studying holographic interactive scenarios and services were analyzed. A basis for business requirements for the design and research and technological evolution of 6G networks was provided. The holographic technology and application status, holographic communication and holographic interaction scenarios, as well as the technical indicators and network performance requirements of the scene business were studied. The holographic technology development stage, development maturity, holographic industry chain under 5G, and holographic technology application field distribution were defined. A holographic scene pool and scene characteristics were constructed, and six types of application scenes were formed based on the characteristics. Through the calculation of technical indicators, the bandwidth performance requirements of holographic portrait transmission were proposed.

Key words: 6G, holographic interaction, holographic communication, scene mining, business trends

收稿日期: 2021-09-08; 修回日期: 2021-11-16

基金项目: 北京邮电大学-中国移动研究院联合创新中心资助项目

Foundation Item: Funded by Beijing University of Posts and Telecommunications-China Mobile Research Institute Joint Innovation Center



1 引言

6G 的服务对象将从物理世界的人、机、物拓展至虚拟世界的“境”，满足人类精神和物质的全方位需求。全息交互将是实现“境”体验的一种典型方式，将是未来 6G 网络的核心应用之一。刘光毅等^[1]和中国信息通信研究院发布的《6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书》^[2]都提到，6G 将会是一个空天地海一体化的网络布局，在 6G 时代，通信业务模式、交互方式和体验都将有巨大的变化，许多现有业务也会在 6G 时代发生转变，如全息会议、全息智能制造、全息地图、全息手术等，6G 时代的业务形态如图 1 所示。同时也会诞生全新的业务，如全息车内演唱会，如图 2 所示。这些变化对未来网络有着新的要求，同时也会带来新的业务发展契机，可以说抓住了业务就是抓住了 6G。



图 1 6G 时代的业务形态



图 2 全息车内演唱会场景

2 研究路线

为研究 6G 网络下全息交互类业务需求，第一

步需要进行相关的技术跟踪研究，包含全息显示技术及其相关的智能技术、人机交互技术等方面，分析其主要应用领域，收集资料建立相关技术研究智库；同步进行文献分析，梳理生成发展脉络，进行发展成熟度评价，绘制技术发展路线图；开展全息技术市场、全息技术产品类型及应用领域分析，研究当下的技术热点并预测未来 10~20 年的全息技术及其他相关新技术发展趋势与应用趋势。第二步挖掘全息技术与相关新型交互技术的应用场景，研究用户需求，提出未来场景涉及的关键影响因素，定义用户画像，进行场景需求细分，建立技术与需求之间的映射关系，给出应用场景分类及对应类别特征。第三步针对上一步产出的场景池，选取全息交互的典型应用场景，设计用例，从技术推演功能和人机环拆分两个角度共同探索业务模型的建立，并设计全息显示及多模态交互剧本，完成业务仿真原型。最后一步以应用模型为基础，梳理分析典型业务的关键技术，提出全息技术和交互技术的核心技术指标，进而测算出业务的网络通信性能需求。整体研究路线如图 3 所示。

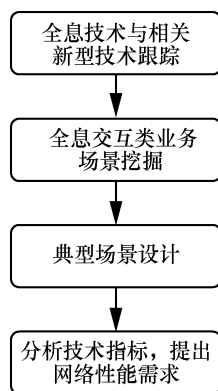


图 3 整体研究路线

3 全息技术发展及应用现状

3.1 全息技术发展阶段

全息显示的概念，受到科幻电影和媒体/商业报道的影响，逐渐偏离了物理上严谨定义的全息，相比于光学全息对物体物光波和参考光波叠加干涉记

录信息并重现的过程，现在的全息多指一种三维(3D)立体视觉的效果，其发展经历了以下 3 个阶段。

- 双目立体，根据人左、右眼看到的画面不同，在生理上进行立体视觉的拼合形成的效果。
- 运动视差，多视点的双目立体，人眼可以在不同的视点处观察，可以得到画面中内容的不同角度的图像，让人产生更加明显的立体视觉。
- 模糊聚焦，结合了光场技术，从更多的视点处，由相机阵列集中采集，并依据光路可逆性进行多角度重现。

以上 3 个阶段，双目立体与运动视差均完成的是 2D 呈现的立体视觉，而光场呈现的是 3D 的效果。全息技术发展阶段如图 4 所示。

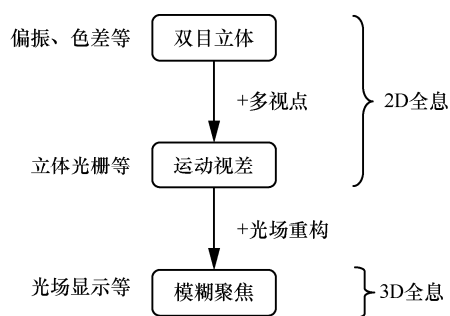


图 4 全息技术发展阶段

对于 2D 全息，实现的技术方法比较多，按照原理将其分为 3 类：第一类是作为立体空间中的承接屏幕，属于投影膜类型，常见的有旋转扇叶屏、雾屏、投影仪等；第二类是作为空间中成像的折射板，通常由半反半透的板子组成，比较代表性的是 ASKA3D 板；第三类是在 2D 显示器上添加立体光栅（狭缝光栅或柱透镜光栅）的光栅显示器，它能够完成多视点运动视差的立体呈现。3D 全息常见的技术手段有点云和光场两种，这两种技术区别于 2D 全息的地方在于真正采集并重现了物体的三维信息，相比于 2D 全息利用人眼的视差及大脑合成立体视觉，信息要丰富很多。从技术原理和视觉效果来评估，光场重构技术是最接近理想 3D 显示的技术。

3.2 全息技术发展成熟度

通过爬虫获取全息技术的文献与专利数据，由 CiteSpace 分析得出研究热点、演进路径及技术布局，并通过拟合 Gartner 曲线挖掘技术发展潜在规律、瓶颈。全息技术发展过程曲线如图 5 所示，理想全息（真全息）的发展历史比较长，从 1947 年 Garbo 发明全息术以来，经历了 3 个阶段——传统光学全息、数字全息和计算全息。文献记载和数据显示，全息术的概念被提出后，很快便达到了研究热度高峰，并在 Goodman 提出数字全息概念时达到顶峰，由于数字全息采用 CCD 等电荷耦合设备替代了传统的化学底板，它的提出实现了全息术由光学到电子技术的跨越。但是很快数字全息的发展限制便被发现了——算力、算法及设备的不支持，于是全息技术的研究热度发生了大幅下降。到达谷底之后，由于数码相机的普及和 21 世纪初期计算机技术的大发展，数字全息的思想与计算机模拟/建模的方法相结合，产生了计算全息的分支领域，它不仅完成对现实物体的光场建模，还可以完成虚拟模型的全息显示，因此全息技术的研究热度正在稳步上升，从科研成果数量和主题分布来看，现如今的计算全息研究热点集中在 5 个方面：计算全息实时显示技术^[3-4]、彩色全息术^[5-6]、计算全息编码技术^[7]、计算全息光学加密技术^[8-9]和动态计算全息图制作技术^[10]。

从以上的研究分析可以总结出：全息技术的发展是一个提出需求、解决算力算法条件、再提出新需求、再解决算力算法的交替上升的过程。现阶段，计算全息是前沿的技术阶段，它所面临的技术瓶颈在于计算全息图的制作需要庞大的算力支撑，并且计算全息图的算法效率也相对较低。从计算全息的研究主题来看，它正在从基础理论、基础设施向着算法、数据和应用场景演化。从技术形式上看，理想全息交互与 VR 的主要区别在于裸眼、不借助头戴设备^[11]，与 AR 的区别在于

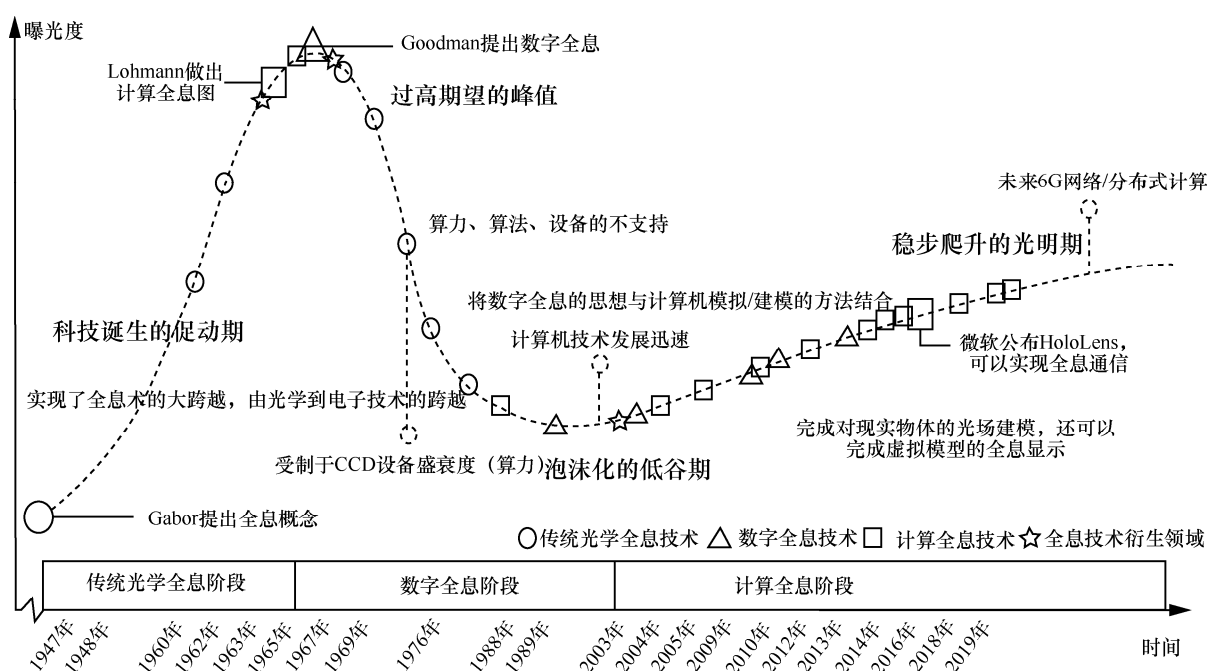


图5 全息技术发展过程曲线

成像为真实的3D空气成像，不是呈现在屏幕中的虚拟像。但是受限于技术水平与人们对全息概念的刻板印象，将VR/AR归到类全息范畴中。

3.3 全息产业链

全息技术的创新应用一直在加速渗透，本文结合相关行业报告数据，分析了全息行业市场格局、市场规模及市场走向，基于爬虫获取领域内企业信息并构建数据库，利用数据挖掘算法进行聚类，得出各类职能定位进而提出类全息技术在5G网络下的产业链，为6G网络下的全息业务提供基础骨架，并基于后续场景挖掘的研究对其进行重塑，为未来6G网络下新型业务趋势的研究和业务模型的提出做储备。对全息产业链的研究过程分为3个阶段，包括前期的市场分析、中期的数据收集以及后期的数据分析。产出了一个全息企业信息的数据库，基于该数据库最后得出了全息产业链研究架构，研究过程如图6所示。

最终形成的全息产业链研究架构如图7所示。产业链的上游部分包含零件商、材料商、服务器商、芯片商，上游的职能在于为中、下游企业提供

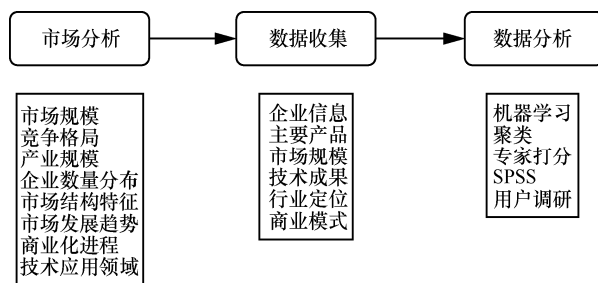


图6 全息产业链研究过程

需要的云计算、云服务器、硬件设备、芯片、电路元件、光学器材、有机材料、信号处理设备和专业仪器（镜头、投影幕等服务、材料、零件和设备）。中游的部分包含内容设计商、集成服务商和整机产品商，依据实际场景中的需求，在上游技术与服务的支持下，提供整机产品销售、全息全链路服务和全息产品内容设计、建模与呈现等多种类型的服务。下游包含空气成像类产品、立体眼镜类产品、3D屏显类产品等的产品层。

在完成全息类业务应用领域研究后，可以发现全息产业链具有规模庞大、职能完整、结构多样、涉足领域广泛的特点。同时全息产业链也

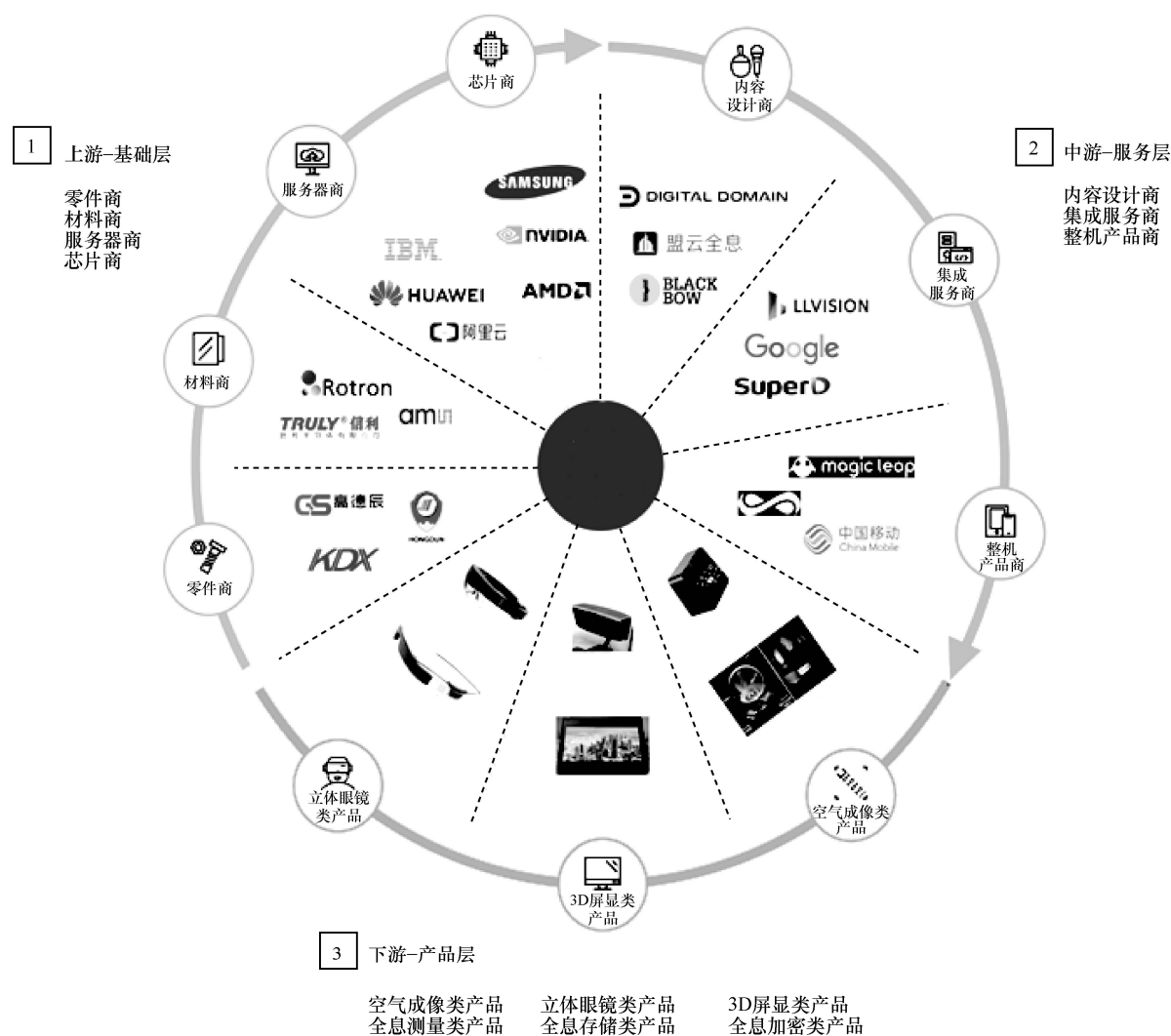


图7 全息产业链研究架构

存在诸多挑战，包括行业生态起步较晚、不够成熟、高精尖技术厂商较少、应用场景丰富度不足、平台迁移成本较高、消费水平居高不下。

3.4 全息技术应用领域

在产业链分析中，本文构建了全息类业务产品的数据库，采用层次分析法、灰度关联法及集对分析法建立应用成熟度分析指标体系，应用到基于国民经济分类表格的行业划分结构中，计算出全息技术在各领域的应用成熟度，研究发现，全息应用较为成熟的领域有服务与销售、游戏、影院、新闻与舞美、教育、驾驶、文化和体育。

由于这些行业与生活、娱乐方面息息相关，应用较为直接，因此发展迅猛且发展日趋成熟。全息技术在以上领域的用途主要有两点：一是辅助展示，例如通过全息技术展示商品广告，让消费者更加清晰地了解产品，激发购买欲；二是增强真实感，例如立体影院为观众营造身临其境的观影体验。全息技术在这些领域应用的同时，为了提升用户的沉浸感，也融合多种交互技术在内，例如语音、体感等交互方式，更凸显智能化效果。但是，在部分专业、科技要求高的领域，例如农林牧渔、采矿、医疗卫生等方面，全息技术应用



较少,还处在探索和发展期。全息应用领域成熟度分析如图8所示。

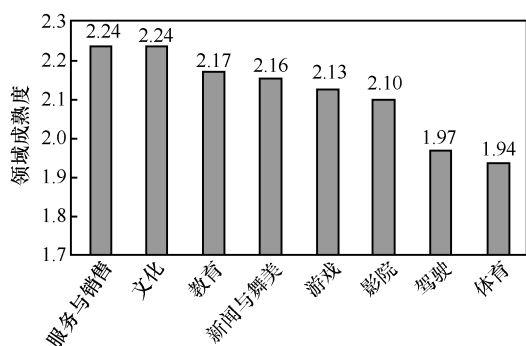


图8 全息应用领域成熟度分析

4 6G 全息通信与全息交互场景

基于对全息技术的发展和应用现状的研究结果,探索未来6G网络下全息通信与全息交互类业务的场景特征,结合6G的技术特征,如更大带宽、更低时延、更广连接、全面覆盖、AI组网等,从5G到6G场景拓展、用户调研、专家访谈、头脑风暴4个方面构建6G网络下全息交互类业务的场景池。在现阶段已经产出了300余个有效场景,覆盖文化、家居、广告、舞美、传媒、娱乐、教育、医疗、交通、体育、安防、工业、农业、旅行、宠物、游戏、艺术、渔业、儿童、设计、地质等多领域。

为了评估场景池中数据的合理性,判别其是否适合6G、适合全息交互,本文从全息技术适配度、6G技术适配度、用户价值、市场价值4个方向进行场景价值的综合评估。

首先,对场景进行特征描述的阶段定义了6个维度:时间、空间、交互、心理、内容以及感官。其中,空间包括狭小—宏大、封闭—开放、固定—移动;时间包括短暂—持久、耗散—永续;交互包括稳定—跃迁、个体—群体、人机单向—人机耦合、滞钝—融智;心理包括理智—情感、低荷—负荷、游离—聚焦;内容包括抽象—全真;感官包括:独感—交感、平缓—冲击。

其次,6G技术需求度将6G的技术指标按照时间自由度、空间自由度、网络稳定性和通信智能化4个方面划分,时间自由度包括实时性、带宽;空间自由度包括传输距离、移动性、传输高度/深度、连接数密度、定位精度;网络稳定性包括安全性、同步性、可靠性、抗干扰性;网络智能化包括网络算力规模、网络自适应性、网络切片、情景感知能力。在用户价值上,通过改良马斯洛判别模型,从自我实现需求、尊重需求、社交需求、安全需求、生理需求5个方面进行评估。

最后,在市场价值上,按照市场规模、生命周期、社会价值和可持续发展4个方面评估。最终建立评估体系,由用户/专家对场景打分,通过二次聚类法,将场景池中的场景进行聚类得到6G网络下全息交互的6类场景,如图9所示,快速响应远程监控系统、大容量数据管理平台、强算力无人智能服务、低时延精密辅助设备、沉浸式全息交互体验以及高质量全息影像显示。

5 全息技术指标测算

基于场景分析得到6G全息交互类业务的场景特征描述后,本文以远程全息人像传输功能为例,结合文献[12],测算了不同类型全息技术的核心技术指标及通信带宽需求。全息技术按照技术原理与显示效果分为2D全息、3D全息与狭义全息,其中,2D全息的技术手段包括全息板、投影膜、光栅显示器,3D全息的技术手段包括点云^[13-14]和光场^[15],而狭义全息的技术手段包括数字全息与计算全息^[16-20]。各类型全息技术的带宽计算方法如下(其中,投影板以4路金字塔全息为例)。

投影板带宽 = 分辨率 × 色深 × 帧率 × 传输压缩率 × 4

投影膜带宽 = 分辨率 × 色深 × 帧率 × 传输压缩率

立体光栅带宽 = 分辨率 × 色深 × 帧率 × 传输压缩率

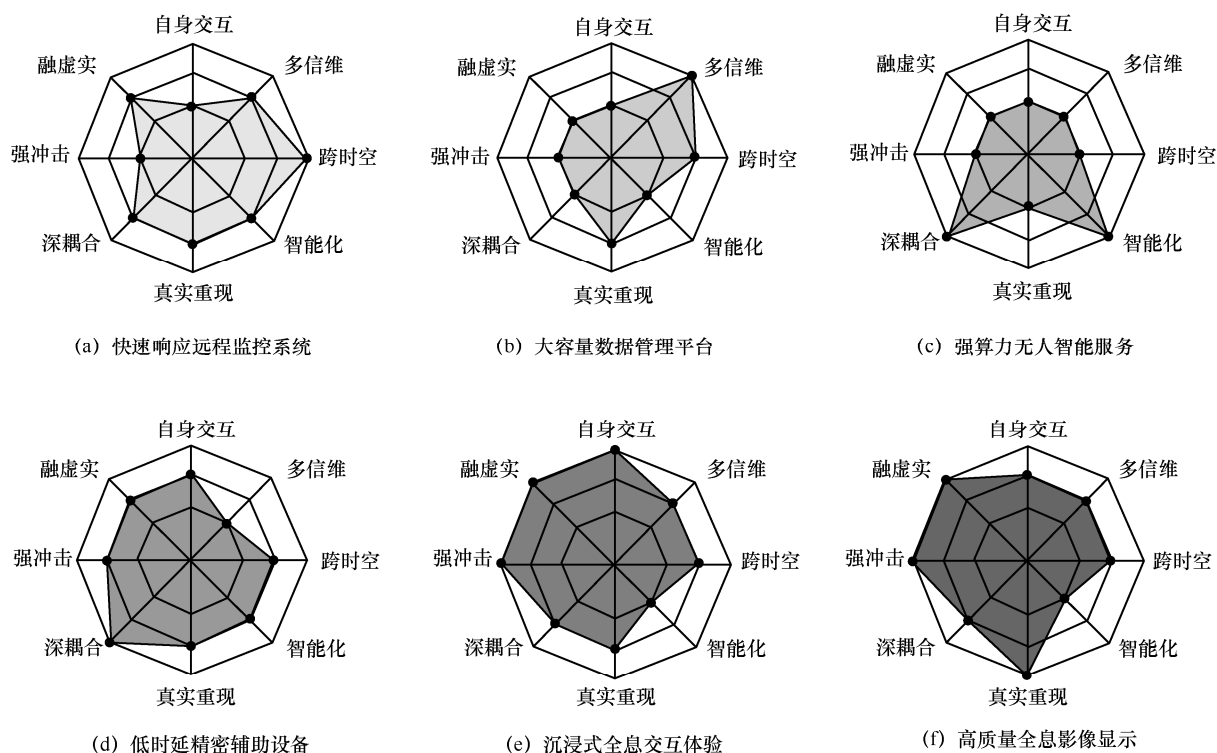


图9 6G网络下全息交互的6类场景

点云带宽=单帧点数×(单点数据量+头文件存储量)×传输压缩率

光场的相机阵列带宽=单路相机分辨率×色深×帧率×相机阵列数×密集相机阵列压缩率×传输压缩率

光场的全光相机带宽 = 全光相机图像分辨率×色深×帧率×密集相机阵列压缩率×传输压缩率

数字全息带宽 = 通道数×每通道位数×像素数×帧率×传输压缩率

计算全息的带宽 = 通道数×每通道位数×像素数×帧率×传输压缩率

全息技术指标与不同体验测算下相关的技术指标见表1。

最终产出的全息单人图像传输在各类全息技术上的带宽需求见表2。

在2D全息测算时,虽然技术种类不同,但本质都是传输2D视频,ASKA3D投影板以4路全息金字塔的形式作为代表,它的视频数据量

为普通视频的4倍,投影膜是普通的2D视频单路,立体光栅涉及多视点以及显示器分辨率限制,单一视点的分辨率会有所下降,但是传输的数据与单路视频区别不大,主要在于传输单路视频加其他路视频与该视点的差别数据。

在3D全息的测算时,采用光场和点云两种数据形式,点云的点数直接映射为像素数,光场中相机阵列的数量决定了视频路数,全光相机的构造为微透镜阵列模拟多路相机阵列,分辨率比单路相机下降很多,但单幅分辨率累加高很多。

真全息(狭义全息)按照公式计算,由波长和视场角决定像素密度,再由显示尺寸和像素密度得出像素数量,进而计算带宽。

从带宽的计算结果来分析,真全息的传输需要的带宽非常庞大,算力要求也很高,超出了5G乃至6G的承受范围,因此6G是可以支撑点云/光场全息的,但是无法支撑狭义全息。



表 1 全息技术指标与不同体验测算下相关的技术指标

技术指标	入门级体验值	优良体验值
分辨率	1080P	8K
色深	24	24
单帧数据量	1080P×24	8K×24
单点数据量（点云）	1080P×24	8K×24
帧数	30	60
相机阵列数（光场）	100	200
密集相机阵列压缩率（光场）	72% ^[21]	72% ^[21]
显示器尺寸（计算全息）	100 mm×100 mm	100 mm×100 mm
视场角 FOV（计算全息）	36°	36°
显示像素间距（计算全息）	R: 1 073 nm, G: 861 nm B: 728 nm	R: 1 073 nm, G: 861 nm B: 728 nm
传输压缩倍率	0.01 ^[22]	0.01 ^[22]

表 2 各类全息技术带宽需求

全息技术	2D 全息			3D 全息		真全息			
	投影板	投影膜	立体光栅	点云	光场		数字全息	计算全息	
					相机阵列	全光相机		传输模型	传全息图
初级体验	29.2~ 65.6 Mbit/s	10.0~ 22.5 Mbit/s	12.8~ 28.9 Mbit/s	105.6~ 237.6 Mbit/s	255.7~ 575.4 Mbit/s	47.7~ 105.0 Mbit/s	379.6~ 854.0 Gbit/s	105.6~ 237.6 Mbit/s	379.6~ 854.0 Gbit/s
优良体验	238.0~ 535.5 Mbit/s	79.3~ 178.5 Mbit/s	106.2~ 238.9 Mbit/s	3.4~ 7.7 Gbit/s	15.9~ 35.7 Gbit/s	1.4~ 3.2 Gbit/s	17.2~ 38.7 Tbit/s	3.4~ 7.7 Gbit/s	17.2~ 38.7 Tbit/s

6 结束语

全息交互类业务是 6G 下的典型业务，未来的全息信息传递将通过“境”的形式体现，实现人、物及其环境的三维动态交互。在研究的过程中发现，现有的场景业务研究方式不能完全适配于未来 6G 业务内容的研究，因此对全息交互类技术的发展现状做分析，以此为基础开展未来 6G 下全息通信与全息交互类业务的场景挖掘，产出了初步的场景池架构，并基于多个角度综合建立的场景价值评估体系，得出以场景特征为基础的上层分类。最后以全息单人人像传输为例，分析并提出了各类全息技术的核

心技术指标，给出了两种体验等级的带宽估算结果。在后续的工作中将继续丰富场景池内容，对典型场景进行设计用例，从技术支撑和设计发散两个方面综合产出业务原型，并完成其他核心通信技术指标（如时延、吞吐率、稳定性等的测算）。

参考文献：

- [1] 刘光毅, 金婧, 王启星, 等. 6G 愿景与需求: 数字孪生、智能泛在[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 3-9.
LIU G Y, JIN J, WANG Q X, et al. Vision and requirements of 6G: digital twin and ubiquitous intelligence[J]. Mobile Communications, 2020, 44(6): 3-9.
- [2] 中国信息通信研究院. 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R].

2021.
China Academy of Information and Communications Technology. 6G overall vision and potential key technology white paper[R]. 2021.
- [3] 贾甲, 王涌天, 刘娟, 等. 计算全息三维实时显示的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(5): 050002.
JIA J, WANG Y T, LIU J, et al. Progress of dynamic 3D display of the computer-generated hologram[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(5): 050002.
- [4] 郑德香, 张岩, 沈京玲, 等. 数字全息技术的原理和应用[J]. 物理, 2004, 33(11): 843-847.
ZHENG D X, ZHANG Y, SHEN J L, et al. Principle and applications of digital holography[J]. Physics, 2004, 33(11): 843-847.
- [5] 沈川, 韦穗, 刘凯峰, 等. 彩色全息显示方法与系统概述[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(3): 37-49.
SHEN C, WEI S, LIU K F, et al. Survey on methods and systems of color holographic display[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(3): 37-49.
- [6] 胡杰康, 王辉, 李勇, 等. 基于数字全息和计算全息的动态三色全息三维显示[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2019, 42(2): 135-142.
HU J K, WANG H, LI Y, et al. Dynamic three-color holographic 3D display based on digital holography and computer generated holography[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2019, 42(2): 135-142.
- [7] 张海庆. 计算全息编码技术的研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2011.
ZHANG H Q. Computer generated hologram encoding technique[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2011.
- [8] 沈玉真. 基于计算全息图的图像加密技术研究[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2019.
SHEN Y Z. Research on image encryption technology based on the computer-generated holography[D]. Wuhu: Anhui Polytechnic University, 2019.
- [9] 林国强. 计算全息技术在加密领域的应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
LIN G Q. The application of computer-generated hologram in encryption[D]. Xiamen: Xiamen University, 2018.
- [10] 王媛媛. 动态计算全息显示的研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2006.
WANG Y Y. Research for the computer-generated dynamic hologram[D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2006.
- [11] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2016, 46(12): 1711-1736.
ZHANG F J, DAI G Z, PENG X L. A survey on human-computer interaction in virtual reality[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2016, 46(12): 1711-1736.
- [12] 陈亮, 余少华. 三维显示业务对后 5G/6G 网络承载能力研究[J]. 光通信研究, 2020(3): 1-7.
CHEN L, YU S H. Research on the impact of holographic 3D display on the capacity of the post-5G/6G network[J]. Study on Optical Communications, 2020(3): 1-7.
- [13] 李明, 陈怡霖, 潘晓英. 远程医疗中 Kinect 点云数据的实时传输[J]. 西安邮电大学学报, 2016, 21(1): 33-37.
LI M, CHEN Y L, PAN X Y. Real-time Kinect point cloud data transmission in telemedicine applications[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2016, 21(1): 33-37.
- [14] 徐琳, 宋国明. 基于最优交换协议的医疗 Kinect 点云数据远程传输系统[J]. 现代电子技术, 2019, 42(14): 100-103.
XU L, SONG G M. A medical Kinect point cloud data remote transmission system based on optimal exchange protocol[J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(14): 100-103.
- [15] 刘宇洋, 朱策, 郭红伟. 光场数据压缩研究综述[J]. 中国图象图形学报, 2019, 24(11): 1842-1859.
LIU Y Y, ZHU C, GUO H W. Survey of light field data compression[J]. Journal of Image and Graphics, 2019, 24(11): 1842-1859.
- [16] CHEN J S, CHU D P. Realization of real-time interactive 3D image holographic display[J]. Applied Optics, 2016, 55(3): A127-A134.
- [17] TREJOS S, GÓMEZ M, VELEZ-ZEA A, et al. Compression of 3D dynamic holographic scenes in the Fresnel domain[J]. Applied Optics, 2020, 59(13): D230-D238.
- [18] NAUGHTON T J, FRAUEL Y, JAVIDI B, et al. Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition[J]. Applied Optics, 2002, 41(20): 4124-4132.
- [19] TREJOS S, RAMIREZ J F B, ZEA A V, et al. Compression of multiple 3D color scenes with experimental recording and reconstruction[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2018(110): 18-23.
- [20] KIZHAKKUMKARA MUHAMAD R, BLINDER D, SY-MEONIDOU A, et al. Exact global motion compensation for holographic video compression[J]. Applied Optics, 2019, 58(34): G204.
- [21] HUANG X P, AN P, SHEN L Q, et al. Efficient light field images compression method based on depth estimation and opti-



mization[J]. IEEE Access, 2018(6): 48984-48993.

[22] 李萌, 高旭麟. H.265 引领全新 4K 时代[J]. 中国公共安全, 2018(8): 173-174.

LI M, GAO X L. H.265 leads the new 4K era[J]. China Public Security, 2018(8): 173-174.

[作者简介]



侯文军（1964—），女，北京邮电大学教授、博士生导师，主要研究方向为人机交互与智能设计。



白冰（1996—），男，北京邮电大学博士生，主要研究方向为人机交互与智能设计。



杨本植（1984—），男，中国移动通信有限公司研究院研究员，主要研究方向为未来网络的业务趋势、业务技术、全息通信业务模式及网络需求、未来网络下的智能交互技术。