



中国移动
China Mobile

研究院
CMRI

6G 全息通信业务发展趋势白皮书 (2022)



中国移动通信有限公司研究院

前 言

未来 6G 技术的发展，将会提供更强的通信网络，这将逐步让全息通信业务的发展应用成为可能。白皮书对全息通信的技术衍进、应用场景及网络需求和产业发展方面进行了研究分析。在全息技术方面通过对现有技术的分析研究，提出了 2D、3D、理想全息三个发展阶段；构建了七大类未来 6G 网络下的全息通信业务典型场景并初步分析相应的网络需求；通过对行业市场的分析，梳理了全息通信产业链结构，并展望未来网络下全息通信业务的发展。

中国移动将联合产业界致力于推进全息通信技术发展、拓展新型应用场景、推动产业链成熟，同产业界共同推进全息通信业务的发展。

本白皮书的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本文之部分或全部内容。

目 录

1. 全息通信技术概述	1
1.1 全息技术背景.....	1
1.1.1 全息学术研究领域.....	1
1.1.2 全息技术衍生领域.....	1
1.1.3 全息成像技术.....	2
1.2 全息技术发展阶段.....	2
1.3 全息通信业务.....	3
2 全息通信应用场景及网络需求	3
2.1 多维度交互体验.....	4
2.1.1 全息游戏.....	5
2.2 沉浸式全息影像.....	5
2.2.1 全息新闻与舞美.....	6
2.2.2 全息影院.....	7
2.2.3 全息体育.....	8
2.2.4 沉浸式主题餐厅.....	8
2.2.5 全息服务与销售.....	8
2.2.6 楼盘、样板间展示.....	9
2.3 超智能信息网络.....	9
2.3.1 全息驾驶.....	10
2.3.2 全息测绘.....	10
2.4 高质量人像互动.....	11

2.4.1 医疗教学.....	11
2.5 新业态模型展示.....	11
2.5.1 全息文化.....	12
2.5.2 全息教育.....	12
2.5.3 科普教学.....	13
2.5.4 数字化互动体验餐厅.....	13
2.6 高带宽远程管理.....	13
2.6.1 农业远程管控.....	14
2.6.2 采矿业远程管控.....	14
2.7 低时延精密辅助.....	15
2.7.1 辅助手术显示.....	15
2.7.2 物业管理.....	15
2.8 全息通信网络需求.....	16
2.8.1 超高带宽.....	16
2.8.2 超低时延.....	16
2.8.3 网络算力.....	17
2.8.4 多维度信息同步性.....	17
2.8.5 网络安全.....	17
3 产业链.....	18
3.1 上游职能与结构.....	20
3.1.1 上游职能.....	20
3.1.2 产业成熟度.....	21
3.2 中游职能与结构.....	21

3.2.1 中游职能.....	21
3.2.2 产业成熟度.....	22
3.3. 下游应用与布局.....	23
3.3.1 空气成像市场.....	23
3.3.2 立体屏显市场.....	25
3.3.3 立体眼镜市场.....	27
总结与展望.....	29
编写单位及作者.....	30
参考文献.....	31

1. 全息通信技术概述

1.1 全息技术背景

“全息”（Holography）即“全部信息”，这一概念首次在1947年提出，由英国匈牙利裔物理学家 Dennis Gabor 发明，并因此获得了1971年的诺贝尔物理学奖。全息技术是一种利用干涉和衍射原理来记录物体的反射，透射光波中的振幅相位信息进而再现物体真实三维图像的技术。它与物理学，计算机科学，电子通信及人机交互等学科领域有着密切的联系。

1.1.1 全息学术研究领域

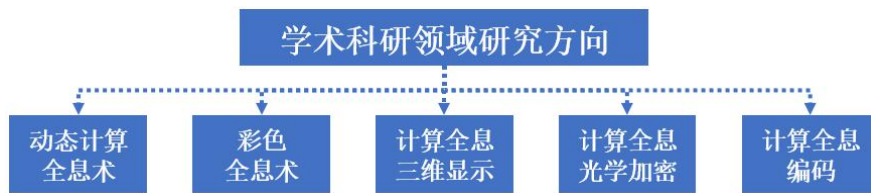


图 1：全息学术研究方向

随着计算机技术的成熟，人们拓展了动态计算全息术及其运算、彩色全息术、计算全息三维显示、计算全息光学加密、计算全息编码等领域，研究者们正在努力突破算力、设备和算法的制约，向着最为理想的全息三维显示发展。

1.1.2 全息技术衍生领域

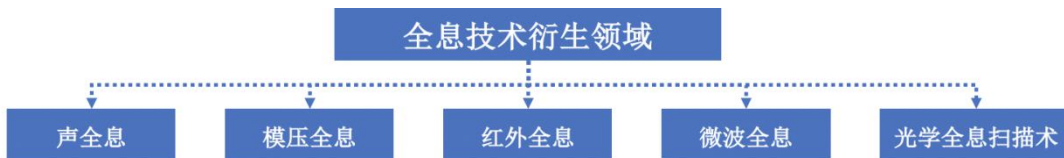


图 2：全息技术衍生领域

全息技术的提出，不仅是一种技术的发明，更是一种思路的提出，借由全息技术的原理，通过物波与参考波叠加干涉来记录物体信息的思路被应用到很多其他领域，进而衍生出了一些类似的领域，比较有代表性的有：声全息、模压全息、红外全息^[1]、微波全息、光学扫描全息术^[2]等。

1.1.3 全息成像技术

根据成像原理及呈现效果的不同，将全息成像技术分为三种类型：2D 全息、3D 全息、理想全息。2D 全息指利用较为简单的反射、折射原理或者视觉残留制造可视角度有限的裸眼三维效果。包括空气成像、旋转风扇屏、雾屏/雾幕以及立体光栅显示器。3D 全息是当前最接近于理想全息显示效果的全息显示技术，包含的技术主要有全息光场、点云、电离空气、光镊、声镊和体全息技术。理想全息是基于计算全息图真正意义上的狭义全息，通过计算全息图的制作与再现完成 3D 对象的全息显示。

1.2 全息技术发展阶段

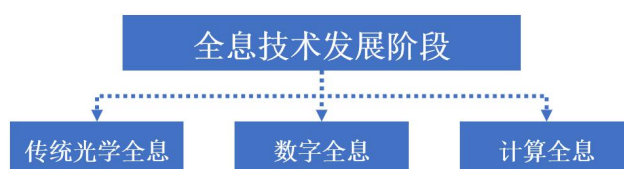


图 3：全息技术发展阶段

全息术的发展总共经历了三个主要阶段：传统光学全息，数字全息和计算全息。如图 4 所示，20 世纪 60 年代末期第一台激光器问世，此时全息技术启发了众多衍生领域，并在数字全息被提出时达到峰点。然而受制于 CCD 及计算设备的不成熟，数字全息的研究陷入了低谷。随着 21 世纪初期数码摄像机的普及及计算机技术的成熟，数字全息领域中产生了计算全息这一分支，由于其不依赖实物而是用计算机模拟物体光学分布制作全息图，迅速成为热门研究话题。

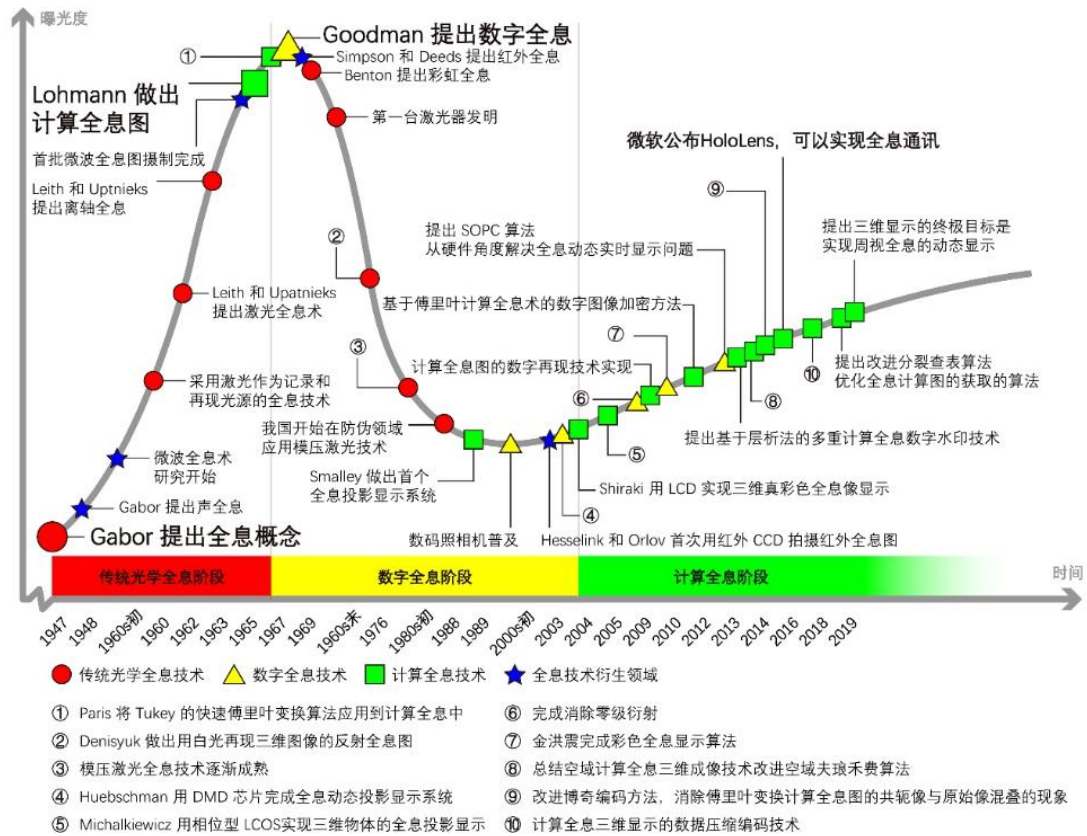


图 4：全息技术发展历程图

1.3 全息通信业务

我们认为，全息通信业务是基于裸眼全息技术的高沉浸、多维度交互应用场景数据的采集、编码、传输、渲染及显示的整体应用方案，包含了从数据采集到多维度感官数据还原的整个端到端过程，是一种高沉浸式、高自然度交互的业务形态。

2 全息通信应用场景及网络需求

6G 技术将支持人类对物理世界进行更深刻的理解与感知，帮助人类构建虚拟世界与虚实融合世界，从而扩展人类的活动空间；同时支持大量智能体互联，从而延伸人类的体能和智能水平。结合 6G 技术、全息通信愿景与未来通信技术发展趋势，以扩展活动空间与延伸体能智能为基线，进行扩展与挖掘可获得包括数字孪生、高质量全息、沉浸 XR、新型智慧城市、全域应急通信抢险、智能工

厂、网联机器人、自治系统等相关 6G 全息通信场景与业务形态，贴合 6G 的愿景，体现“人-机-物-境”的完美协作。

根据依赖技术及给予用户体验的不同，未来 6G 时代，全息通信的应用场景将有七大类，分别是：带宽远程管理，低时延精密辅助，超智能信息网络，多维度交互体验，高质量人像互动，临场态全息展示和沉浸式全息影像。如图 5 所示：

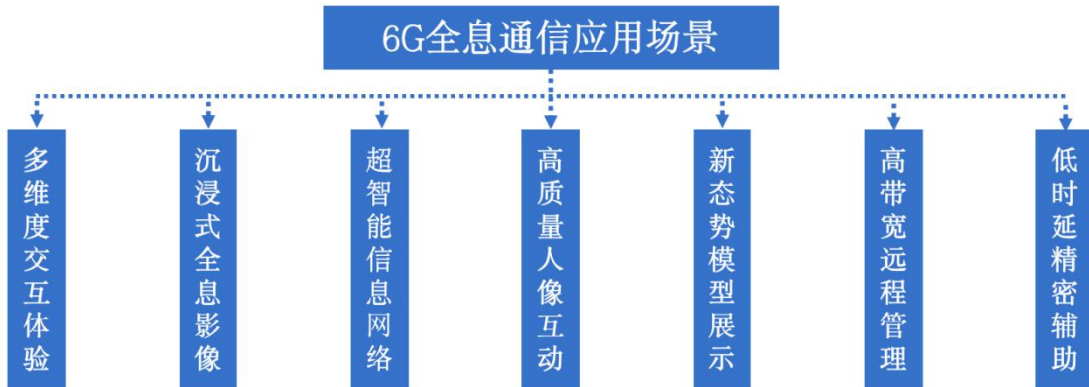


图 5：6G 全息通信应用场景总图

2.1 多维度交互体验

一直以来，人们都在追求实现真实度与参与感更强的显示技术与体验效果。未来 6g 时代下，通讯网络传输性能的极大提高让全息技术及多模态交互技术落地，在这些技术的赋能下，用户可以体验到更丰富的交互通道，交互效果更为真实。在多维度交互体验场景下，可以采集来自物体和环境全真数据，应用全息技术去构建可供用户深度参与交互的体验场景，丰富沉浸式的多通道交互手段，提供丰富新颖的交互体验。

多维度交互体验场景多用于体验增强型业务，要求能够将采集到的环境与物品数据高性能传输以构建沉浸化场景，因此要求通讯网络带宽及支持流量密度能力提出更高要求。

多维度交互体验场景下，显示端可以生成沉浸性更强、互动程度更高的成像效果，为用户带来更丰富的感官体验。因此，多维度交互体验场景可以广泛应用于泛娱乐，文化教育等领域，通过构建丰富多维的可交互显示效果，为用户提供全息娱乐，全息文化教育等服务。在 6G 多维度交互体验场景中，家庭 XR 娱乐借

助虚拟现实、通道交互等技术，建立高显示质、高交互程度的显示场景，让用户高沉浸性地进行家庭游戏，虚拟运动等娱乐项目。此外，6G 通讯网络还让全息观影成为可能，用户可以观看立体感和全真程度极高的全息画面，并通过多个通道与设备进行交互，收获更好的观影体验。

2.1.1 全息游戏

第四次游戏革命——全息游戏正在高速发展，引领真正的光学革命。虽然全息游戏使用场景最为广泛、发展时间最久，但尚未运用全息技术并实现交互。目前，市场上并没有真正意义上的全息游戏。游戏与全息技术结合必将使游戏环境的逼真度及玩家游戏体验达到顶峰。全息游戏的应用应用布局如图 6 所示：

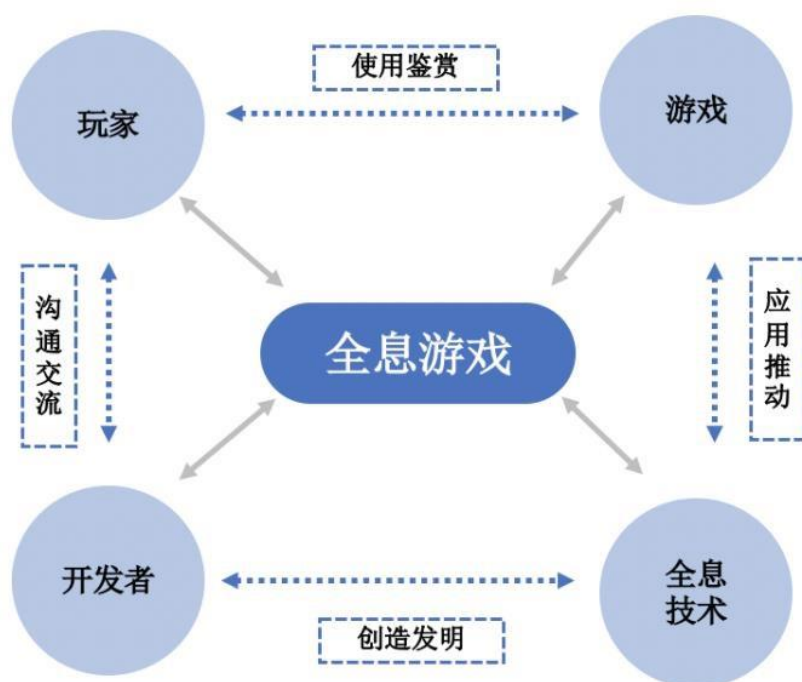


图 6：全息游戏应用布局图

2.2 沉浸式全息影像

现阶段沉浸式体验方式为虚拟现实或增强现实以及两种的组合版，且由于显示精度及场景数据下载速率等问题，增强现实体验还未能够达到商用的标准。在 6G 时代将打破桎梏，用户可以通过裸眼全息的方式营造全场景效果，提供用户

完全沉浸的体验。

沉浸式全息影像场景要在相对固定的系统环境下，以超低时延与超高带宽的通信才能为用户带来极致体验。因此对传输的要求较高，同时为了加强体验的沉浸感对交互的要求也更为苛刻。同时要在裸眼的情况下实现，对展示的载体及媒介将是前所未有的挑战，只有做到极致才能做到沉浸式体验。

通过发挥 6G 技术和裸眼 3D 显示技术，沉浸式全息影像将大大提高用户的体验感，广泛应用于生活娱乐场景。其中典型场景包括全息服务与销售、全息新闻与舞美、全息影院、全息体育、楼盘样板间展示及沉浸式主题餐厅，如图 7 所示：

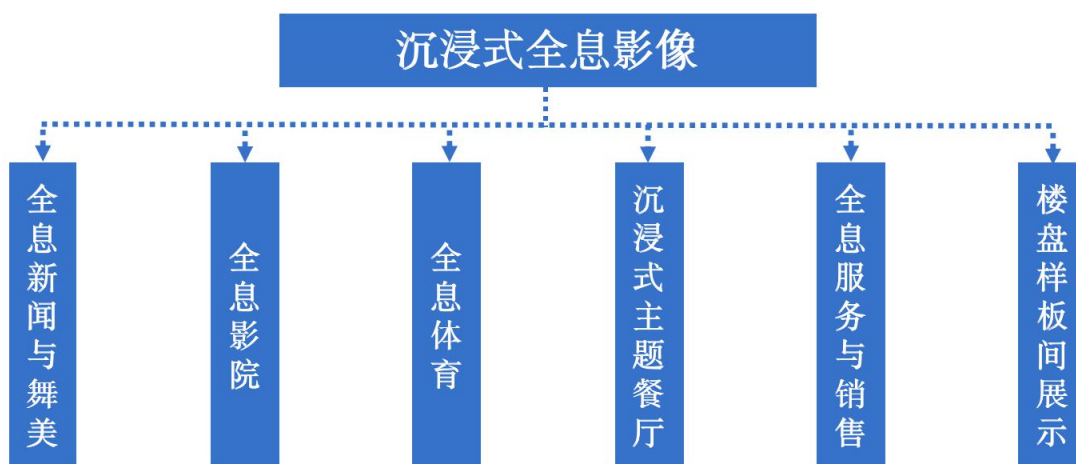


图 7：沉浸式全息影像场景总图

2.2.1 全息新闻与舞美

全息新闻与舞美目前主要应用在新闻转播、展览铺陈、舞台舞美设计中，为观众营造逼真、奇幻的传媒效果，给大众全新的传媒视觉体验，主要采取升降纱幕投影技术或 45 度幻影成像膜，其应用布局如图 8 所示：

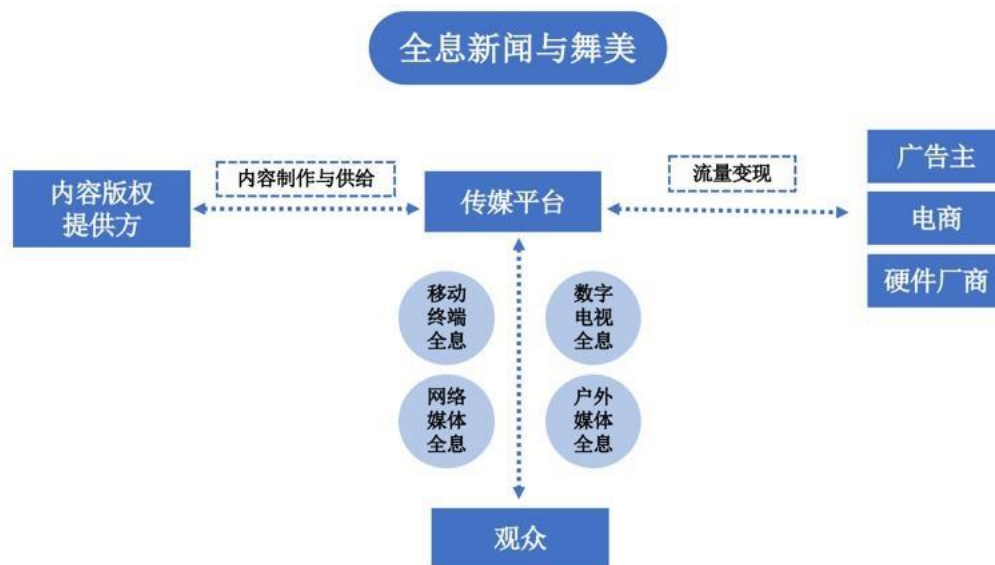


图 8：全息新闻与舞美应用布局图

2.2.2 全息影院

全息投影、VR 等显示技术的发展对观众“多屏”、“超广视角”、“沉浸式”的立体观影需求的增长提供了良好的支撑。目前，能够完全避免“晕 3D”现象的全息投影形式还未出现，最适合全息观影的投影形式也仍然需要进一步研究与调查。全息影院的应用布局如图 9 所示：

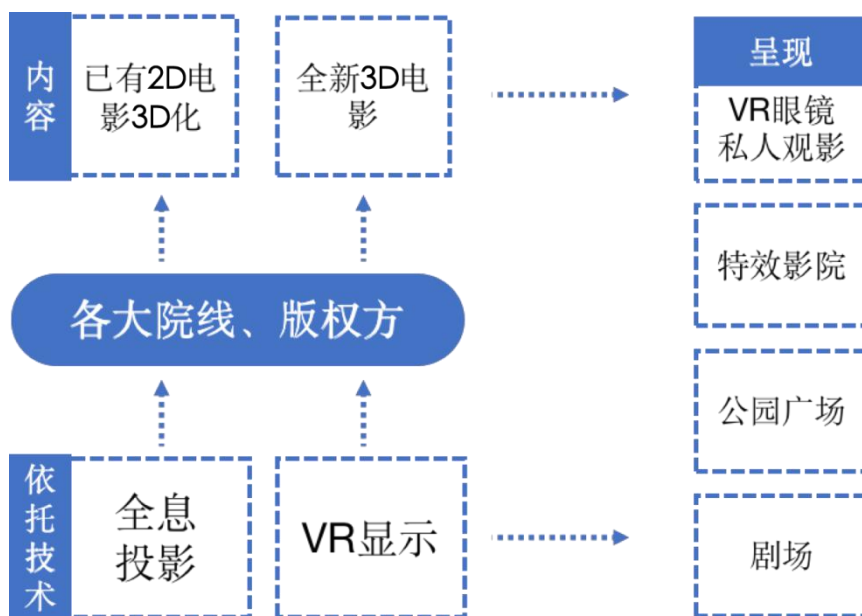


图 9：全息影院应用布局图

2.2.3 全息体育

全息投影技术摆脱了以往计算机编程模拟设计的繁琐步骤，克服了计算机平面 3D 模拟设计的缺陷，具有立体成像更真实、更接近实际演练的舞台效果，为大型赛事、开闭幕式的表演提供了更好的编排技术与创新。该项技术的关键点在于及时处理并投放投影内容、便捷的投影内容设计方式等。如图 10 所示的应用布局，全息投影技术的交互性会为体育训练和体育教学带来重大的变化，与全息投影技术产生的对手虚拟影像训练将成为可能。

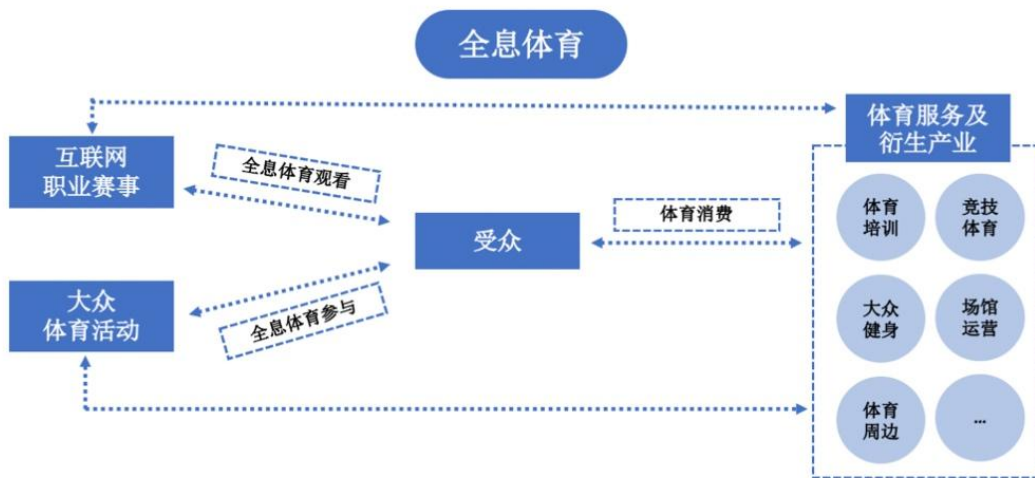


图 10：全息体育应用布局图

2.2.4 沉浸式主题餐厅

全息投影技术、裸眼 3D 环幕及灯光效果可共同打造全息影像餐厅，打造点餐、候餐及用餐全过程的沉浸式体验。并且可以根据用户的需求和偏好，定制个性化专属主题宴会厅，提升用户体验。

2.2.5 全息服务与销售

全息服务公司拥有自主研发的全息内容库，包含投影的场景、展示的模型、虚拟人物等全套内容，同时也支持个性化的定制服务，同时全息服务平台内部有相关技术支持，既可以维护各个场景的应用，又能够对平台内部的全息内容不断地升级改造。全息广告的应用布局如图 11 所示：

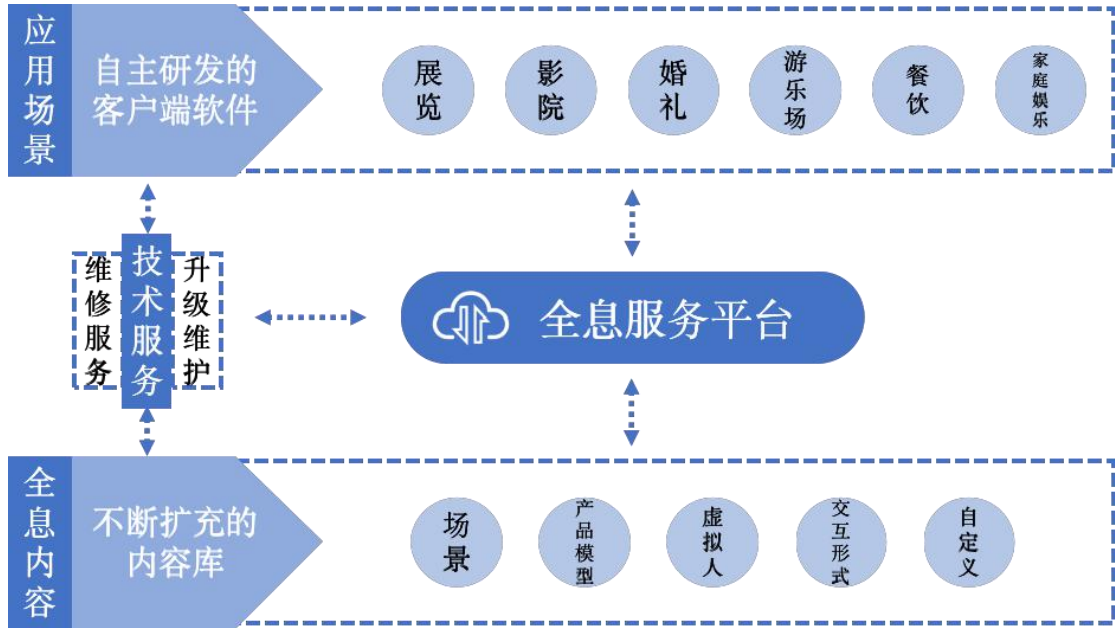


图 11：全息广告应用布局

2.2.6 楼盘、样板间展示

全息技术与实体沙盘相结合，可在沙盘区域上方呈现的全息 3D 影像，将住宅、广场、园林绿化等细节全部以全息方式呈现。现阶段较新颖的 3D 楼盘展示方式是在三面墙上通过与触摸屏的结合进行画面 3D 展示。3D 全息投影通过全息成像、声光融合、人像交互等方式提供直观、清晰明了的房地产数据展示与分析，为购买者提供更流畅的体验。

2.3 超智能信息网络

随着人工智能技术的研究与应用推进，智能化早已成为各个领域追求的目标。在超智能网络场景下，6G 通讯网络的大带宽低时延与广连接特性，让采集到的大规模数据能够上传后结合大数据、人工智能等技术进行综合处理分析，让 6G 为全域智能化赋能，实现 AI、数字孪生与 6G 网络的紧密结合。

超智能信息网络场景普遍需要采集环境与场景数据，且具备高网络适应性与情景感知能力，甚至深度应用人工智能技术，因此此类场景对通讯网络提出了高传输带宽，强网络态势感知与调节能力，高 AI 融智程度的要求。

随着 6G 与人工智能技术的融合落地，采集端产生的巨量数据和高性能数据传输将为人工智能处理与分析求解提供坚实数据层基础，人工智能将能够得以感知更多维更全面数据并提升数据传输处理速度与远程数据交互能力，因此超智能信息网络场景可以运用于自动驾驶、智能机器人等与人工智能紧密结合领域，让人工智能“思维敏捷”的同时也能“手眼通天”。超智能信息网络场景下可以提供自然环境和城市环境的数字化管理。通过采集城市内的交通，治安等多源多维数据，智能体将可以实现基于城市全面数据的智能化实时监测与分析，调配城市资源，进行异常状况告警。也可以通过采集车辆周边信息与其他车辆信息等获取海量数据，经过智能体分析决策后，提供自动驾驶服务。

2.3.1 全息驾驶

全息技术在汽车驾驶方面的应用主要是空中立体成像，将原有的实体按键投影在虚拟环境中，在观察信息的同时观察路面情况，减少注意力分配的压力，保障行车安全。该项技术应用的重点在于及时传达路况信息和设置科学便捷的交互方式。如图 12 所示的全息驾驶应用布局，结合语音交互、手势交互、5G 通信技术，融入更多的现代化移动功能，如车内办公等。

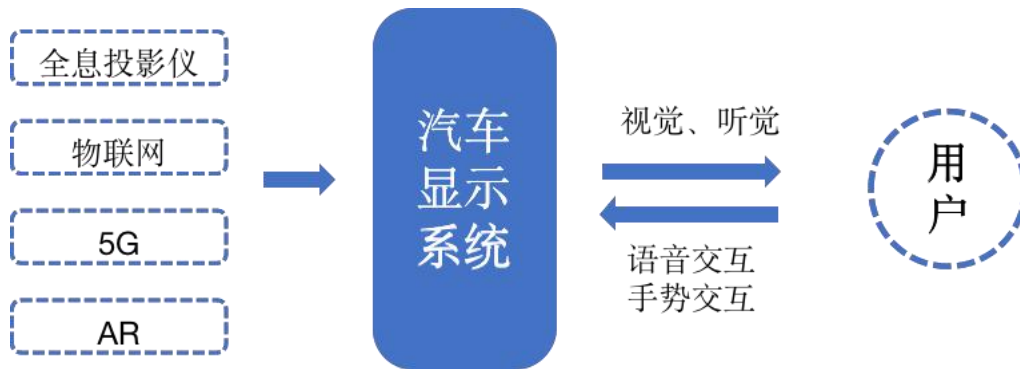


图 12：全息驾驶应用布局图

2.3.2 全息测绘

智慧矿山的建设是未来矿山建设理论和实践研究的重要课题，我国开展的基于“5G + 远程控制”的系统研发和产业应用探索是很好的应用案例。将矿山测绘信息管理系统与全息影像结合，能够提供更生动准确的可视化数据，便于用户

使用，提高用户的使用体验。

2.4 高质量人像互动

将带来新的沟通方式和体验，让交流更加真实零距离，跨越空间和时间。通过自然逼真的视觉还原，满足人、物及其周边环境的三维动态交互，将实现用户对于人与人、人与物、人与环境之间的沟通需求。

高质量人像互动场景对信息通信系统提出更高的要求，需要做到人、物和环境的高质量数据采集传输及三维下的多模态交互，因此数据采集传输方面需要高精度的采集设备及足够快的全息图像传输能力和强大的空间三维显示能力。同时，为了让用户享受到极致的沉浸式体验，对三维模式下的交互的方式将是一大挑战。

未来全息通信的广泛应用会使人与人之间的互相交流和会议将呈现多种丰富的形态，全息通信可用于远程培训和教育应用程序，为学生提供参与和交互能力，并具备更多的互动性，使人在该模式下更能好的去记忆及学习，实现真正意义上的跨越空间去实时沟通。还可以实现跨时空的互动，通过录入逝去亲人的身体数据，并且配合 AI 技术，实现跨时空的陪伴。

2.4.1 医疗教学

全息技术在医疗教学上的应用主要是通过虚拟的人体 3D 形象，让医生更加熟悉人体内部构造，同时医生也可以通过设备对虚拟影像模拟手术过程。

2.5 新态势模型展示

当前全息投影的场景相对固定且设备比较笨重，而且对环境灯光有一定的要求，所以场景相对有限。在 6G 技术背景下，可以实现小场景的光场全息，通过光场 3D 模型的展示能丰富我们日常的日常生活和提高我们工作的效率，从而降低操作成本的同时丰富交互体验。

新态势模型展示场景规模均较小，因此数据传输体量小，要求的数据质量无需很精密，但此场景着重用户与场景模型的交互操作，因为三维的数据信息承载

比二维更加丰富且有层次，用户在获取信息时能更加直观且精准。

新态势模型展示场景可以让现实与全息完美结合，场景不需要宏大，但是互动性或展示更加要真实，虽然三维的信息获取更加方便但是对内容的要求反而比现阶段更加严格，用户可借助物理传感器，通过手势交互或体感交互对模型进行交互操作。其中典型应用场景分别是全息文化、全息教育、科普教学及数字化互动体验餐厅，如图 13 所示：

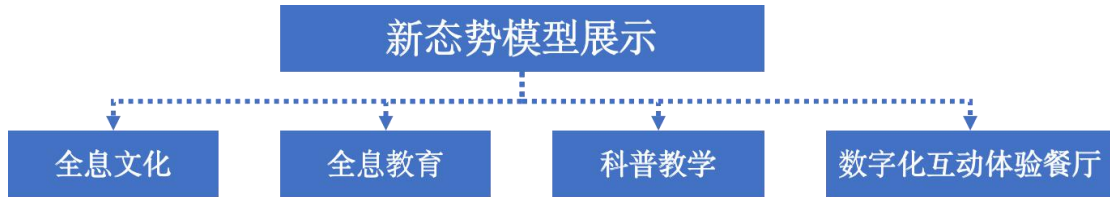


图 13：新态势模型展示场景总图

2.5.1 全息文化

将全息显示技术运用在很多的博物馆和科技馆的文化建设上，能够更加全面地展示收藏品的细节及其背后的文化，让参观的人们观察收藏品的细节，加深对收藏品意义的理解。其应用布局如图 14 所示。

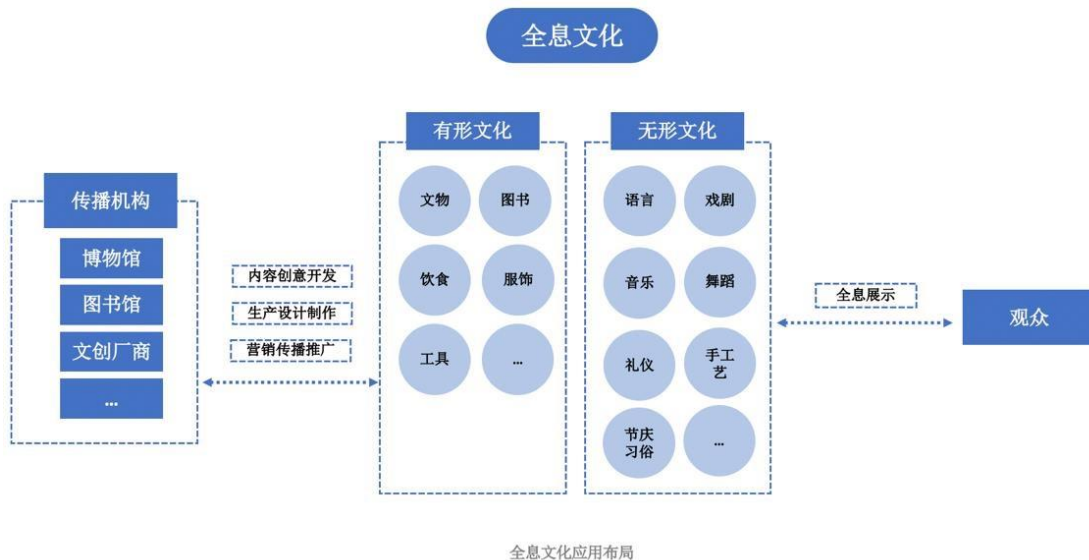


图 14：全息文化应用布局图

2.5.2 全息教育

全息教育综合应用全息显示、交互技术及云技术，集成全息、3D、AR 等多

种创新显示方式，为互动教学课件制作、使用、学习、考核、管理等教学环节提供多种功能和多种科技手段。如图 15 所示：

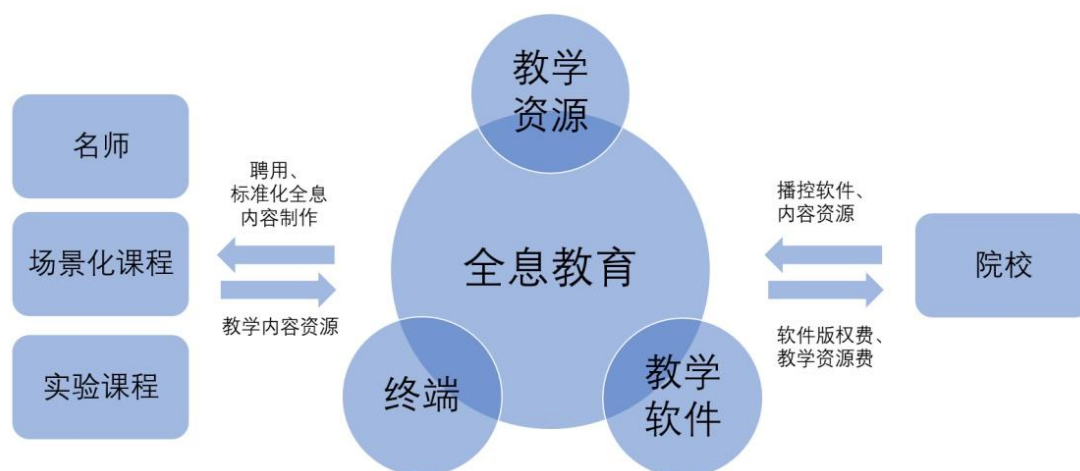


图 15：全息教育应用布局

2.5.3 科普教学

科普教学指利用全息技术向公众展示产业的运作过程，传递科学知识。由于虚拟成像技术的成像条件要求较高，需要借助投影机、LED 显示屏、球幕、环幕等多媒体设备，且对资金和场地都有一定要求，因此虚拟成像技术多用于植物园、自然博物馆等大型场馆。

2.5.4 数字化互动体验餐厅

互动投影系统做成的互动餐桌兼具娱乐与点餐的功能，使餐桌变成展示平台，通过有趣的动画的形式展示菜肴、饮料、甜点等食物的制作方式。该功能的实现主要依靠裸眼 3D 全息投影技术和手势交互。

2.6 高带宽远程管理

随着生产、生活信息化进程的不断推进，越来越多的现实物体将会映射入数字世界，实现多方位监控与感知。在高带宽远程管理场景下，诸如传感器等采集与监控设备将会产生海量的数据，供给远端业务方使用。届时 6G 将提供超大带宽的远距离数据传输业务，帮助用户获取远端实时数据，得到全息态势信息，进

行大规模的数据远程传输、处理及呈现。

高带宽远程管理场景的突出特点是数据传输体量大，需要远距离数据传输。因此高带宽远程管理场景的大规模数据传输特性，要求通讯网络具备大传输带宽，高吞吐量的能力，并且能够在超远距离传输下仍保持较好的稳定性。

将 6G 通讯网络应用于道路监控等态势采集作业后，6G 网络的大带宽，低时延等特性将会大幅提升态势监控的效率，让工作人员通过全息呈现等技术足不出户便能查看远程某物或场景的全方位信息，改善了工作体验。因此高带宽远程管理类场景在工农业业作业监控，特殊环境探查等行业有着较广泛分布。例如在采矿业，矿洞内采集端通过传感器多方位采集矿洞内多维环境信息后，就能将海量全真数据传输至远端中控室内呈现，辅助现场工作人员掌握矿下环境信息测、判别矿下环境异常状况，并对事故点进行全方位的细节检查。此外，在农作物种植业中，通过传感器采集到农作物的生长状态、周边环境等多源信息并进行远程传输，在中控室中处理呈现，让农业专家能全方位掌控农作物的态势信息，并针对作物问题给予远程指导。

2.6.1 农业远程管控

在农林牧渔行业中，农场、林场、牧场和鱼塘通常面积大，对工作人员的管理和作业带来不便。全息技术运用在农林牧渔行业进行远程的管理，将农作物、牲畜、森林、鱼群的情况远程展现，将能减少偏远地区农林牧渔的运作成本，提高效率。

2.6.2 采矿业远程管控

远程管控全息影像可以对矿场的实时情况进行 360° 的精准复制，工作人员可以根据传递过来的全息影像来实现对器械的远程操纵，这为矿工的人身安全提供了很大的保障，其操作过程也更加人性化。

2.7 低时延精密辅助

传统通讯网络存在的固有数据通信延迟问题，将会在 6G 网络中得到大幅度减少。6G 网络的极低延迟，将会让端到端之间的数据传输质量更高，联结更加紧密，因此在需要高实时性传输数据的低时延精密辅助场景下，6G 网络能实现远程数据高质量同步，促进沟通效率、资源分配效率的提升，让万物互联真正实现。

低时延精密辅助场景的突出特点是场景需求亟待性大，传输数据质量高，部分场景应用了高分辨率显示技术，要求端到端的数据传输的即时性更高且传输可靠性更强。因此，低时延精密辅助场景对 6G 网络提出了高数据传输上下行速率，低空口时延，强网络稳定性的要求。

通过发挥 6G 网络的低时延优势，通讯网络的安全性与稳定性将会大大提高，因此低时延精密辅助场景将能够在医疗，制造业等领域广泛应用。低时延精密辅助场景其中，6G 网络让远程医疗的实现成为可能。医院的专科医生在高性能通讯网络的赋能下，能在触觉，视觉等多维数据与病人端交互中，对病人远程实施远程问诊。此外，工作人员通过 6G 通讯网络，在安全场所传输手部移动数据，操纵实验室内机器人进行高危化学实验操作，提高了特殊场所下作业的安全性。

2.7.1 辅助手术显示

全息与实际手术的结合，主要是通过放射性物质看到患者身体内部结构，并生成虚拟的立体影像。这项技术能帮助医生更加直观地了解患者体内的情况，增加医生对解剖空间与组织血管关系分析的直觉性理解。根据从标准 CT 扫描和三维超声系统收到的数据，创建空间上准确的三维互动医疗全息图，使医生能够与病人真实解剖的动态全息图进行直接和精准的交互。

2.7.2 物业管理

由疫情催生的无接触概念也影响了全息技术的应用方向。现在也诞生了基于

全息技术的无接触电梯按键，以及无接触智能门锁。无接触按键利用空气成像技术，将数字投屏于空中，实现便捷安全操作。但是目前的空气成像精度还有待提高，6G 技术的引入有望提升交互的灵敏度，达到毫秒级延迟，带来全新的使用体验。

2.8 全息通信网络需求

全息高精度展示及动态交互效果，对全息通信也提出了相应要求，分别是超高带宽、超低时延、网络算力、同步性及网络安全五个方面，如图 16 所示：

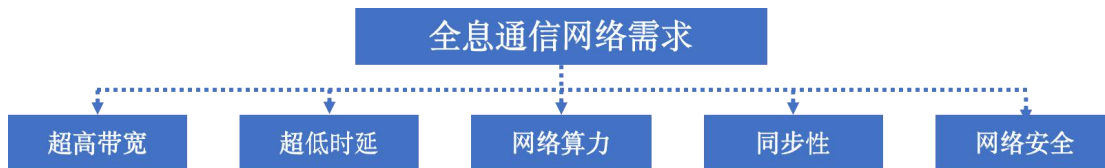


图 16: 全息通信网络需求图

2.8.1 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 KinectforWindowsv2）输出的 1080P 图像，每个像素有 4byte 的彩色数据，深度图像的分辨率为 512dpi×424dpi，每个像素有 2byte 的深度数据，相当于每帧 70.4MB 的原始数据。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。对于 70 英寸显示屏，全息通信需要约 1Tbit/s 的网络带宽。

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，未来网络可提供的用户体验速率能达到 100Gbit/s，峰值速度超过 1Tbit/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。

2.8.2 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 1ms 的端到端时延。

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。

2.8.3 网络算力

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 20ms 以内，对全息通信则要求 10ms 甚至更低。

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。

2.8.4 多维度信息同步性

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。如何智能化管理这些并发流对未来网络是个相当大的难题和考验。

2.8.5 网络安全

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。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。

3 产业链

目前，全息技术在军事、教育、展示、医学领域均取得了巨大的应用，我国从事全息投影领域的企业数量也从十几家发展到千余家，市场容量已上升至百亿级别。随着科技的进步和各项技术瓶颈的突破，全息将迎来新一轮的发展。在不久的将来，全息投影将会在工业、商业、医学、教育、国防等各个领域得到广泛运用，产生巨大的经济和社会效益，对人类文明的历史产生颠覆性的影响。

全息行业产业链分为上游、中游、下游三个部分，分别代表了全息行业的基础层、企业层和产品应用层。

（1）上游基础层

主要包括全息材料研发与制造商、全息设备零件商、全息技术服务器商和全息芯片商，上游各个行业根据产业链后端的不同需求提供如传感器、芯片和服务器等各方面的支持。

（2）中游企业层

作为全息产业链中服务覆盖流程最长、服务内容最多样的部分，其主要包括全息内容公司、设备制造公司和综合服务公司三大类别。其中全息内容公司提供全息游戏、全息剧场、全息广告等内容服务；设备制造公司负责生产制造全息投影产品、全息显示器等服务载体；综合服务公司提供从技术支持、内容配合到实际部署的全流程服务。

（3）下游应用层

涵盖了市场上绝大多数的全息技术实际应用场景，是整个产业链中用户感知最强的部分。其产品形态多种多样，主要包括眼镜类、3D 屏幕类、空气成像类、全息存储类和全息计算类产品等等。

全息行业产业链的层级结构如图 17 所示：



图 17: 全息行业产业链

3.1 上游职能与结构

3.1.1 上游职能

全息产业链的上游以服务器、半导体、材料和零件企业为主，为中下游企业提供基础硬件服务。主要包括云计算、云服务器、服务器硬件设备、芯片、电路元器件、光学器件、有机材料、信号处理设备以及专业仪器。

整个产业中的算力支持由云计算、云服务器和服务器硬件设备提供，包括图像的采集、处理、传输编码等；芯片或微型集成电路是所有设备的核心处理与控制逻辑单元；电路元器件与光学器件是完成全息业务的支撑；信号处理设备用于衔接不同部分，在整套业务逻辑中的各环节之间进行信号传递；全息图像的采集清晰度和呈现效果由专业仪器决定，例如镜头、投影纱幕、材料、零件等。

上游结构组成如图 18 所示：

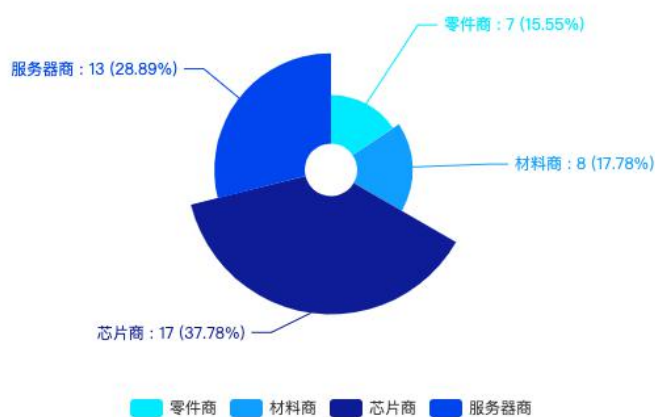


图 18：上游结构

(1) 头戴式显示领域

上游主要提供计算、存储、连接芯片，小型显示面板，包括头部追踪可见光传感器、眼动追踪红外传感器，深度传感器，IMU 传感器在内的各类传感器以及电池等。其中小型显示面板负责将头戴式的设备中的画面呈现在人眼前，各种传感器主要用于信息采集，将外界信号传入设备并转换为可处理的数字形式。

(2) 裸眼 3D 屏幕领域

上游提供 LED 中间体材料，全息膜，高速视觉传感器，全息光栅，以及显示芯片组，液晶面板，供电模组等，其中各种中间体材料和全息膜均属于材料范畴。裸眼对 3D 效果的显示要求更为严格，需要采用精度更高的传感器，例如液晶面板，全息光栅等。

（3）空气成像领域

上游主要提供等效负折射率平板透镜等光学器件。将光线在空间中会聚成像是空气成像领域与前两种领域最大的区别，其更侧重于对光线的处理，因此需要更多的折射反射等光学器件。

3.1.2 产业成熟度

全息产业链中除了微软、索尼这样的行业巨头，同时广泛存在着年轻的创新企业，靠着技术创新与发明，探索新的道路，使得整个产业链充满着朝气、活力与机遇。上游公司是产业链的源头，目前在基础材料、核心技术上已经可以提供必要的保障，尤其在头戴式显示领域，已经拥有了高精度的传感器和连接芯片，能够实现信号采集、输入和处理。但在裸眼 3D 和空气成像领域，由于对显示的 3D 效果要求过于严格，目前在材料和技术上仍有许多困难需要所有企业共同克服。

3.2. 中游职能与结构

3.2.1 中游职能

整机产品商、集成服务商和内容设计商处于全息产业链的中游。依据面向实际场景中的需求，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。

中游结构组成如图 19 所示：

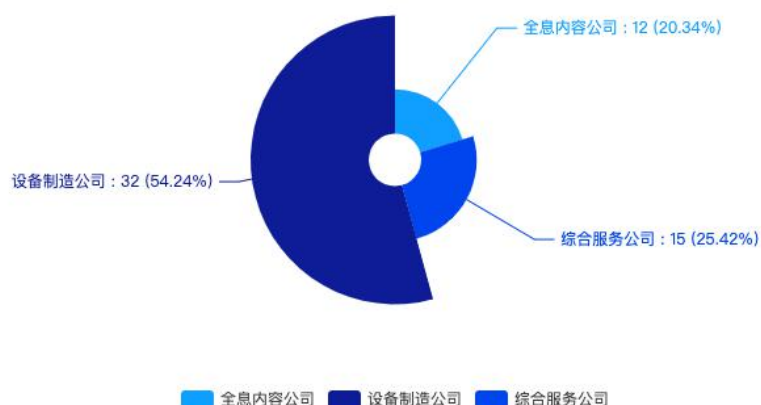


图 19：中游结构

（1）整机产品领域

中游各类公司主要提供全息投影产品、全息显示器产品、全息 AR 产品和全息激光产品等设备的销售和维护服务。

（2）集成服务领域

中游各类公司提供全息解决方案，覆盖休闲娱乐、购物体验、视频通话等众多场景，从全息应用的需求挖掘、场景研究到全息产品的部署与维护，集成服务领域的各个企业打通了全息应用的整个链路，面向企业、个人等多方用户群体提供完整的全息体验。

（3）全息内容设计领域

中游各类公司主要提供大众最直观感受的全息内容，由于终端用户与场景的差异众多，各个公司在内容设计的定位上也有较大差异，主要涉及全息广告、全息剧场、全息婚礼、全息游戏和全息偶像等几个常见的领域。

3.2.2 产业成熟度

中游企业分别面向不同的细分领域，如内容生产商、全息集成服务提供商、全息激光厂商、全息采集厂商、以及全息显示设备制造商。整体而言，中游企业在整机产品和服务提供上已经比较完整，结合上下游企业，使得整个全息产业链结构更加丰富。但是由于全息并未真正走入大众生活，因此在内容设计和互动体验等方面还有所欠缺，这也是全息在未来发展过程中最需要重点挖掘的方向。

3.3. 下游应用与布局

3.3.1 空气成像市场

空气成像是利用光学原理，将影像在空中立体呈现的显示技术。空气成像正在从早期通过营造雾幕等承接介质进行立体内容的空间展示，逐渐向着通过电离空气、声镊、光镊等技术改变空气性质的方向发展。空气成像类产品可分为两类：

第一类是需要承接屏幕的空气成像：如雾幕成像、旋转风扇空气成像等。

第二类是不需要承接屏幕的空气成像：此类全息产品技术实现比较困难，实用性相对较差，大多停留在概念阶段，未实现量产。如电离空气成像技术代表公司 Aerial Burton，光镊全息显示技术代表团队 Arthur Ashkin，声镊全息显示技术代表团队英国撒赛克斯大学。以 Asukanet 公司的 ASKA3D Plate 和东超科技为代表的负折射平半透镜面板等。这些产品通过光场重构技术，在医疗、电梯虚拟按键、展览展示等领域有一定应用。配合成熟的体感设备，可以实现可交互式的空气全息。

(1) 雾幕投影设备

雾幕立体成像系统技术也被称为空气成像、雾屏成像。其原理是空气屏幕系统可以制造出由水蒸气形成的雾墙，投影机将画面投射在上面，由于空气与雾墙分子震动不均衡，可以形成层次和立体感很强的图像。

雾幕投影设备包括专有的投影机和基本零件，该系统形成图像的主要利用空气以及一个小型机柜，不使用特殊的化学物质。

(2) 旋转 LED 风扇投影设备

旋转 LED 风扇投影是利用了人眼的视觉暂留现象，采用旋转 LED 灯条进行空气成像。旋转 LED 风扇投影被广泛应用于展示展览、广告传媒、舞美表演等场景，其优点是价格便宜、易于实现。

(3) 360° 全息投影系统

360° 全息投影系统也被称作 360 度全息和 360 度全息成像，360 度全息投影。它是由透明材料制成的四面锥体，投影机与全息膜呈 45° 投射，观众的视线能从任何一面穿透它。通过表面镜射和反射，四个视频发射器将光信号发射到

这个锥体中的特殊棱镜上，汇集到一起后形成具有真实维度空间的立体影像。

(4) 全息显示立体屏

全息显示立体屏主要应用了激光旋转投影技术。激光旋转投影技术由于噪音和不安全性，并未被广泛使用。

(5) 可交互式全息空气成像面板

可交互式全息空气成像面板通过改变玻璃或树脂的微观结构，利用光场重构原理，让光线在这种微观结构里多次振荡、反射、折射，将发散的光线在空中重新汇聚成实像。这种空气成像技术投影在空中的影像和物体均为实像，因此可以称之为真正的全息影像。

(6) 电离气体成像

日本 Scienceand Technology 公司利用氮气和氧气在空气中散开时，混合成的气体变成灼热的浆状物质在空气中形成一个短暂的 3D 图像。这种方法主要是不断在空气中进行小型爆破来实现。

Aerial Burton 公司通过电离空气成像方法，使用 1KHz 的脉冲激光，通过 3D 扫描仪将激光反射并聚焦到上方空气的某一确切位置来传播激光。激光电离该位置空气分子，通过各点组成的光的闪烁图显示整个全息图。

Holovect 3D 全息图投影仪根据光的反射、折射与漫射等现象，使用自行研发的技术，控制立体方形范围中空气的折射率，让激光能在特定的位置产生反射与折射。介由调整激光以及不同区块的空气折射率，Holovect 可以根据光线的空间信息来绘制出画 3D 立体图形。

(7) 光镊/声镊空气成像

光镊成像相比于电离空气成像技术有更好的安全性，该应用的一大亮点是支持触感反馈与触觉交互，缺点是分辨率低，需要稳定的环境及亮度低。2018 年 Arthur Ashkin 团队采用光镊技术，利用一束会聚激光在三维方向上控制微粒。

英国萨塞克斯大学团队采用“多模式声镊显示”装置，通过扬声器阵列释放的超声波引起空气震荡，在三维空间中产生随时间快速变化的空气压强，空气压强的变化会产生声辐射力，从而推动粒子的快速运动。

(8) 产业成熟度

全息雾幕，LED 风扇全息投影，360° 全息投影技术实现难度较低，目前已投入量产，应用在广告，传媒等领域，总体成熟度较高。全息空气成像面板，光镊/声镊空气成像，电离空气成像目前限于技术实现，成本等问题还未实现量产，因此成熟度相对较低。

从全息产业发展方向与需求市场来看，目前成熟度较低的不需承接屏幕的空气全息技术更加具有前景，是目前各厂商的主要目标发展方向。

3.3.2 立体屏显市场

全息空间投影影屏是新一代的显示设备，具有高清晰、耐强光、超轻薄、抗老化等众多优势。由分子级别的纳米光学组件，全像彩色滤光板晶体为核心材料，融合纳米技术，材料学、光学、高分子等多学科成果和制备加工技术，以有机材料、无机纳米粉体和精细金属粉体为原料，生产而成。3D 立体显示屏幕包括基于双目视差效应的立体显示技术、基于多视点立体显示技术和基于人眼追踪的光场全息显示技术。其中裸眼 3D 立体显示，大多采用柱透镜光栅 3D 技术成像原理、光指向 3D 技术成像原理、狭缝光栅 3D 技术成像原理。

- 柱透镜光栅立体显示器

基于柱透镜光栅 3D 技术成像原理的立体显示器，亮度无损失，可柱状透镜、梯形透镜、三角透镜等多种形式，消除摩尔纹，适合任何尺寸，然而对 3D 设计及加工精度要求较高，工序比较复杂，需单独开模。

- 光指向立体显示器

基于光指向 3D 技术成像原理的立体显示屏幕，通过 120Hz 背光灯结合特殊 3D 膜实现 3D 显示，图像分辨率高。缺点是光源需 120Hz，屏幕一般较厚，只适合用于中小尺寸。

- 狭缝光栅立体显示器

基于狭缝光栅 3D 技术成像原理的立体显示器，优点是技术简单，一般用于技术验证；缺点是透光度最高只有 50%，背光需加亮，能耗高。市面上常见 24、28、32、46、50、65、85 寸屏幕型号的产品。

(1) 偏光式 3D 显示屏-需要佩戴眼镜

被动偏振眼镜式，在屏上有一层偏振导向膜，交错将每一行的光线偏振方向做方向扭转。偏光式 3D 是利用光线有振动方向的原理来分解原始图像，先通过把图像分为垂直向偏振光和水平向偏振光两组画面，然后 3D 眼镜左右分别采用不同偏振方向的偏光镜片，这样人的左右眼就能接收两组画面，再经过大脑合成立体影像。偏光式 3D 技术的缺点是需要两个视频输出设备分别对应左右眼。

(2) 基于柱透镜光栅技术的立体显示器-裸眼

柱透镜光栅是由许多结构相同的柱面透镜平行排列组成，光栅一面是平面，另一面是周期性排布的柱面透镜。由显示面板与柱透镜光栅两部分组成，利用柱透镜阵列对光线的折射作用，将不同视差图的光线折射到不同方向形成视点，并分别提供给观看者的左、右眼，经过大脑融合后产生具有纵深感的立体图像。在 3D 显示中，柱透镜的作用是将平面像素所呈现的二维信息转化为包含方向信息的三维信息，并形成具有特定强度、色彩和方向角的视点光线。

柱透镜光栅拥有高的透光率与光能利用率，可以实现高亮度的 3D 显示。但是，柱透镜光栅基于折射原理的控光方式会产生像差，并且造价也会远高于狭缝光栅。缺点：像差影响显示质量，制作成本较高。亮度无损失，可柱状透镜、梯形透镜、三角透镜等多种形式，消除摩尔纹，适合任何尺寸，然而对 3D 设计及加工精度要求较高，工序比较复杂。

(3) 基于指向背光的 3D 技术立体显示屏幕-裸眼

通过 120Hz 背光灯结合特殊 3D 膜实现 3D 显示，图像分辨率高。缺点是光源需 120Hz，屏幕一般较厚，只适合用于中小尺寸。代表企业有弥德科技，在 2017 年自主研发的 3D 显示器 FD2410。

(4) 基于狭缝光栅 3D 技术的立体显示器-裸眼

优点是技术简单，一般用于技术验证；缺点是透光度最高只有 50%，背光需加亮，能耗高。市面上常见 24、28、32、46、50、65、85 寸屏幕型号的产品。

(5) 单目立体显示器-深 3D

单目深度信息与每个镜头的焦距有关，可以通过模糊程度来观看到深度信息

的不同。双目视差可以看作是基本 3D 或浅 3D，而单目深度信息显示则可以是深 3D。光场全息显示器不同于上述立体显示器，可以在任何角度、甚至只用单眼，聚焦于任何图像深度，在一定程度上实现了自然真实的三维显示。真实全息显示器可显示出光学场景的全部方向的光线。

(6) 其他需佩戴眼镜的立体显示系统

除了上述裸眼 3D 显示屏外，早期市场上还存在着色差式 3D 眼镜、偏光式 3D 眼镜和快门式 3D 眼镜等 3D 立体显示眼镜及配套显示器产品。色差式 3D 眼镜基于颜色的分光原理，通过佩戴分光眼镜观看，但红蓝配色会使用户不适，立体效果一般。偏光式 3D 眼镜，需要结合支持相应技术的显示器和投影仪使用，内容通过偏振光转换器加以转换，也无需画面校正，既适合影院，又宜在家庭使用。快门式 3D 显示是指通过显示屏上显示时序交替的左右视差图像，观看者佩戴同步的时序快门眼镜便能看到 3D 图像，具有比较出色的景深效果，但由于容易产生画面中断、亮度大幅度降低、闪烁等等问题，也使得观看体验受限。

(7) 产业成熟度

依托于的技术不同导致显示方式也是不同，其中激光显示器的发展从上世纪 60 年代进入概念到如今受限于发展，进展缓慢。而偏光式 3D 显示屏虽然已投入商用，但是需要佩戴特定的眼镜，且未来发展空间受限。柱透镜光栅技术、指向背光的 3D 技术和狭缝光栅技术更符合未来用户的需求，是通过裸眼直接观看的，虽然展示方式极佳，但是受限于折射原理导致的控光方式会产生像差，同时内容制作以及硬件开模等方面也是造价会比非常高，在未来可以针对控光方式进行着重研究，毕竟展示内容是依附于展示效果的。

3.3.3 立体眼镜市场

全息眼镜的发展经历了实验室 AR、移动 AR、可穿戴式 AR 和混合现实 MR 四个发展阶段。1966 年，计算机图形学之父和增强现实之父、图灵奖得主萨瑟兰（Ivan Sutherland）开发出了第一套增强现实系统，是人类实现的第一个 AR 设备，被命名为达摩克利斯之剑（Sword of Damocles），同时也是第一套虚拟现实系统。这套系统使用一个光学透视头戴式显示器，同时配有两个 6 度追踪仪，一个

是机械式，另一个是超声波式，头戴式显示器由其中之一进行追踪。受制于当时计算机的处理能力，这套系统将显示设备放置在用户头顶的天花板，并通过连接杆和头戴设备相连，能够将简单线框图转换为 3D 效果的图像。自此开启了人类在虚拟现实、增强现实、混合现实方向的探索。

（1）浅 3D 眼镜类

HMD（helmetmounteddisplay，头盔显示器）利用两个相对独立的显示屏向观看者提供左右图像，使观看者完全沉浸在显示的场景中，具有极强的临场感。HMD 一般由微显示屏、光学成像系统、电路控制系统及配重装置组成，一些专业级的 HMD 还需配备头位跟踪系统。各个部分紧凑精确地固定在一个类似头盔的装置上。HMD 由哈佛大学的 Sutherland 在 1968 年首先提出，并设计出利用 CRT 作为微显示屏的名为达摩克利斯之剑的 HMD，它的原理是将小型微显示屏所产生的图像由光学系统放大后成像供观看者观看。HMD 要固定在观看者的头部，所以要求质量轻，体积小。随着小型的轻质的高分辨率微显示屏的出现，HMD 才得到快速发展，并进入各个应用领域。

近几十年，双目视差/浅 3D 没有得到很好发展的三大因素，首先是带宽和内容匮乏，包括设备编码解码能力和网络传输能力。其次是图像显示表现一般，关键因素在于很多 3D 显示设备是 2D 显示技术的衍生产品。

（2）深 3D 眼镜

不同于利用双目立体技术原理实现的助视立体眼镜，基于单目立体技术的全息眼镜，又被称作深全息眼镜。双目视差可以看作是基本 3D 或浅 3D。单目深度信息与每个镜头的焦距有关，可以通过模糊程度来观看到深度信息的不同。单目立体可以理解为视点密度特别高得运动视差立体显示。为了实现人眼晶状体的调节，需要同时进入人眼的视点数目超过两个，即相邻视点间距小于人眼瞳孔直径就可以实现单目立体。深全息眼镜的优点在于更加解决真实视觉，效果真实，缺点是视点密度太高，难以实现。

（3）成熟度

立体眼镜从上世纪 60 年代概念被提出，而后在 2000 年左右步入移动体验阶

段。立体眼镜中分为浅 3D 眼镜和深 3D 眼镜，其中因为带宽和内容匮乏以及图像显示一般浅 3D 眼镜没有得到很好的发展。作为对比深 3D 眼镜体验上更好，但是技术上更加难以获得突破，在内容匮乏和网络条件不足的前提下，需要识别人单目晶状体的调节。所以未来深 3D 眼镜是行业着重获取突破的点，但是目前来看还需要很长的路要走。

总结与展望

随着 5G 技术的大规模商用与 6G 通信技术研究的深入，全息产品将得到更可靠的技术支持。在未来 6G 时代，全息将向着“数字孪生+AI+全息”的方向发展。

全息场景将虚拟影像与用户真实影像进行高度融合，带来极富冲击性的体验。同时依赖全息技术与通信技术的紧密结合，用户之间可以跨越时间和空间，进行实时的沟通与交互，打破物理时空的限制。信息的传输与展示不再是单一的视觉或听觉，而是可以融合三维立体的影像与视听触嗅味五感的多维度信息，在重现真实影像的同时，给用户带来身临其境的具身交互体验感。

在 6G 时代，全息结合人工智能、大数据等技术，构建多元智能体，实现物理世界与数字世界的有机整合与多向互动。全息产品所建立的场景利用精密的显示设备及精湛的画面内容，给予用户一定视觉冲击感的同时，提供虚拟与真实相交融的全真生活体验。全息不仅仅是单纯的展示工具，将更多的融合人工智能及多种交互方式，在视觉听觉触觉等更多维度信息上给予用户双向多次循环的耦合化体验，并跨越时空的物理限制，实现人事物境的跃迁式交互，打造内容工具与人工智能共融共通的系统，打造“虚实融合、延伸时空、具身交互，面面交流”的美好愿景。

伴随元宇宙概念的涌现与普及，全息作为重要的底层技术将影响元宇宙的发展进程，并实现更深度的应用体验。元宇宙终极形态是搭建一个平行于真实人类社会的虚拟世界，具备开放的空间、去中心化的运行、接近真人水平的人机交互、统一的身份以及完整的数字经济体系等特征。“数字孪生+AI+全息”的技术融合，

将在体验层与人机交互层为元宇宙提供深层次沉浸式交互体验，是通往元宇宙的重要实现路径，也是助力元宇宙实现的核心技术，以达成人类对数字生活的展望与想象。

人们对全息通信的期待逐渐提高，白皮书希望能为未来网络下全息通信的发展奠定基础，为全息技术更迭，产业升级，场景业务丰富做出贡献，让全息通信更好地服务生活，提升生活质量，助力发展。中国移动致力于拓展全息技术应用边界，搭建全景技术应用平台，也期望同产业界一起共同推动全息技术及应用的发展，打造未来网络下的新型应用。

编写单位及作者

本白皮书由中国移动通信有限公司研究院同北京邮电大学数字媒体与设计艺术学院如下人员共同编写：

中国移动通信有限公司研究院业务所：杨本植、郭漫雪、刘婧雯、刘堃、赵璐、李征、喻炜

北京邮电大学数字媒体与设计艺术学院：侯文军、白冰、吕林锴、郭芻欣、张萌、冉亚鑫、王昱静

本白皮书得到了北京邮电大学合作团队的支持，感谢北京邮电大学孙炜、由振伟、谭剑、盛卿、于迅博老师对本白皮书的贡献与帮助。

参考文献

- [1] 刘万里. 红外全息检测技术的研究[D]. 昆明理工大学, 2019.
- [2] 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(011): 843-847.
- [3] 石炳川, 朱竹青, 王晓雷, 等. 像面数字全息的重建相位误差分析和改善 [J]. 物理学报, 2014(24): 207-214.
- [4] 《立体光栅知识教材》——三阳立体光栅材料厂
- [5] YUAN Xiaozhi. Requirement and challenge of holographic-type communication to the future network. Telecommunications Science [J], 2020, 36(12): 59-64 doi:10.11959/j.issn.1000-0801.2020307



数字孪生 智慧泛在