



中国移动
China Mobile

面向 6G 的智能交互 技术白皮书

(2022 年)

中国移动通信集团有限公司

前 言

随着未来 6G 网络技术的发展，移动网络的性能进一步提高，虚拟现实技术及下一代沉浸式业务的研究也进入到一个新的阶段，智能交互技术提供的真实性和沉浸感以及应用于虚拟现实的前景将使其成为其中一个被广泛关注的领域。

白皮书介绍了智能交互技术的概念，技术发展历程与现状，技术类型；分析了智能交互产业链布局，潜在的应用场景等，最后展望了智能交互技术的发展前景。

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. 智能交互技术概述	1
1.1 智能交互技术简介	1
1.2 智能交互技术的发展历程与现状	1
1.3 智能交互技术的类型	4
1.3.1 语音交互	4
1.3.2 眼动交互	4
1.3.3 体感交互	5
1.3.4 触感交互	5
1.3.5 多模态交互	6
2 智能交互技术产业链	6
2.1 语音交互产业链概述	6
2.2 眼动交互产业链概述	8
2.3 体感交互产业链概述	10
2.4 触感交互产业链概述	11
2.5 多模态交互产业链概述	11
2.6 智能交互技术的不足与瓶颈	14
3 智能交互技术的应用场景	15
3.1 智能家居	15
3.2 智能手机	15
3.3 全息通信	16
3.4 元宇宙	17
3.5 数字孪生	19
4 智能交互技术未来展望	20
缩略语列表	22
参考文献	23
编写单位及作者	24

1. 智能交互技术概述

1.1 智能交互技术简介

随着大数据、云计算、人工智能等新兴科技的迅猛发展，信息技术更广泛地融入社会，人们与系统之间的交互形式变得更多样化，各种交互技术也日趋成熟。本章主要对用户与系统之间进行交流操作所使用一些智能交互技术进行了相关介绍。具体包括语音交互、眼动交互、体感交互、触感交互、多模态交互等人机交互技术，这些人机交互技术都统称为智能交互技术。智能交互技术是随着新技术的发展，突破传统交互技术应运而生的产物，对智能交互技术进行研究，可以增强硬件操作设备的良好体验、虚拟环境的沉浸感与舒适感，拓展新兴科技的应用场景，促进各类新技术的发展。

1.2 智能交互技术的发展历程与现状

通过对各种交互技术发展历程及现状的分析，提出了交互技术应用发展图谱，见图 1。上半部分为语音交互、眼动交互、体感交互和触感交互的应用发展曲线，下半部分为智能硬件的发展时间脉络。将产业发展分为初步探索期、市场启动期、高速发展期和应用成熟期四个阶段：

（a）初步探索阶段中市场刚刚起步，行业内存在少数厂商以及创新应用产品，但由于技术不够成熟以及市场同质化严重导致的竞争激烈，让行业在达到一个小峰值后逐渐冷却。

（b）市场启动阶段中由于成熟技术的广泛落地应用导致主流厂商逐步建立，成熟的商业模式开始出现。

（c）高速发展期阶段成熟产品被大规模力量生产，并得到市场认可，其余厂商纷纷入局，行业整体呈现爆发喷涌的状态。

（d）应用成熟阶段市场达到顶峰，厂商收入稳定，企业开始探索新的产品或应用。

从图中可以看出语音、眼动、体感、触感这些交互技术都在 20 世纪 80 年代末 90 年代初这个互联网开始流行起来的时代进入到初步探索的阶段，但是往后由于其技术的局限性呈现各自不同的发展趋势。

语音交互的初步探索期源于 1990 年声龙推出第一款消费级语音识别产品 Dragon Dictate，拉开了语音技术落地应用的序幕。在往后的 20 年中，由于没有新的算法模型，使得语音交互产品一直没有办法有很高的识别率和大规模生产能力。直到 2011 年苹果推出的语音助手 Siri 拉开了人机交互的新篇章，语音市场得以重新启动。各大厂商依托深度学习算法研发出各类语音产品，2014 年亚马逊推出的 Echo 智能音箱则让语音行业步入了高速发展阶段。现今，语音交互是唯一一个即将步入应用成熟阶段的交互技术。根据 Juniper Research 的数据显示，截止 2019 年全球语音助理已经达到 25 亿个。

体感技术与眼动技术则是经过了很长一段初步探索期。1986 年由任天堂和 Hudson 合作推出了第一款现代意义上的家用电子游戏机——红白机，这被视为是体感游戏的雏形；1991 年第一家提供 3D 眼动追踪系统商业化制造商的 SMI 公司成立，标志着眼动行业的形成。但是概念与技术发展的不均衡导致到 2015 年左右都没有很成熟的体感或眼动产品得以应用。直到最近几年，在头部科技公司的带领下，体感与眼动市场才得以重新启动。比如 2016 年 Google 收购了专注研发眼动追踪的 Eyefluence 公司宣告其在眼动领域方面的布局，使得 2016 年眼动交互开始进入高速发展；以及 2017 年任天堂发布的家用机、掌机一体化设计，采用通过定位、红外相机和 HD 震动等技术的 Switch 游戏机，成为体感游戏低迷期中的一缕曙光。但是眼动与体感交互目前都仍然处于高速发展的时期，还未进入应用成熟的阶段。未来或许随着 6G 技术与全息技术的发展，眼动与体感交互可以得到更好的发展。

触感交互技术最初的起步是在游戏中模拟碰撞的效果开始起步，在 2007 年，三星首次推出了带触觉功能的手机，2008 年，Apple 合并“触觉控制板”设计，并将触觉反馈整合到跟踪表面中，从此触感技术搭载着智能手机的高速发展，进入一个快速发展期。2016 年，HeroSurg 手术机器人问世，它可以通过触觉反馈

机制，将触觉传递给主刀医生以及 3D 图像处理器，自此，触感技术进入到一个实用型新阶段，拓宽了行业应用领域，并且为虚实世界之间的联系创造了必要条件。随着未来元宇宙的飞速发展，触感技术也将得到更好的使用。

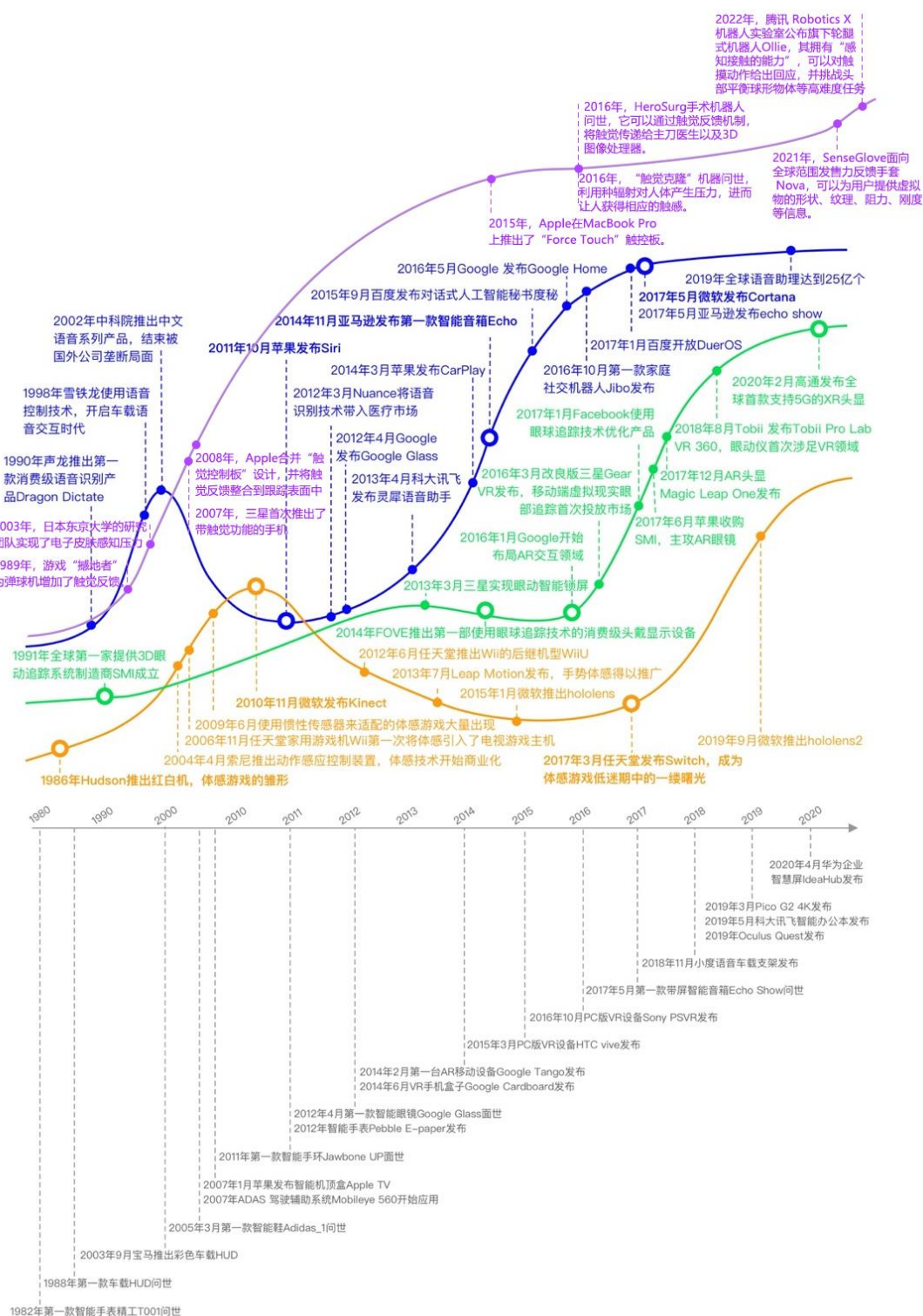


图 1 交互技术应用发展总图

1.3 智能交互技术的类型

智能交互技术包括语音交互、体感交互、眼动交互、触感交互以及多模态交互等人机交互技术。

1.3.1 语音交互

VUI（语音用户界面）相比起 GUI（图形用户界面）最大的交互特点在于输入的方式不同，语音交互是一种以语音输入为基础的新型交互模式。语音交互解放了用户的双手，让用户可以在眼睛和手处理其他事情时，可以通过最自然的语言与机器进行交互沟通。

语音交互过程如图 2 所示，包括了语音识别（ASR）、语义理解（NLU）和语音合成（TTS）三项主要技术。语音识别就是把人输入的语音信号转变为相应的文本或命令；语义理解就是使用算法模型让计算机理解语言包含的内容；语音合成就是将计算机理解的结果以语音的方式反馈给人类。

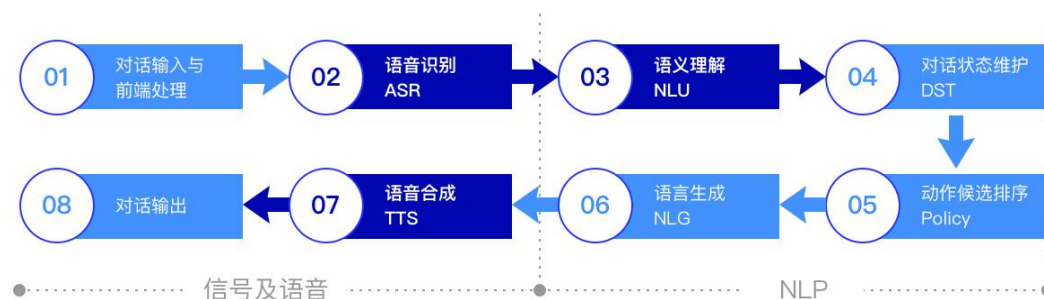


图 2 语音交互过程

1.3.2 眼动交互

眼动交互技术是利用视线信息来完成用户对计算机的控制或计算机对用户行为状态做出反馈的技术的统称，以视线跟踪技术为交互媒介。目前，眼动交互技术可分为视线反馈技术、视线点击技术和视线输入技术。^[1]



图 3 眼动交互技术分类

1.3.3 体感交互

体感交互技术是一种让人们直接使用自己的肢体动作，与机器或者环境进行不借助任何控制设备的互动，让人能够自然而然的进行交互。体感交互技术基本是通过三维拍摄、人物提取（骨架识别）以及动作识别来实现整个交互过程，如图 4 所示。其代表着一种全新的人机交互方式，人可以通过言语、肢体姿势和脸部表情等这些更加自然的方式实现与计算机的交互。

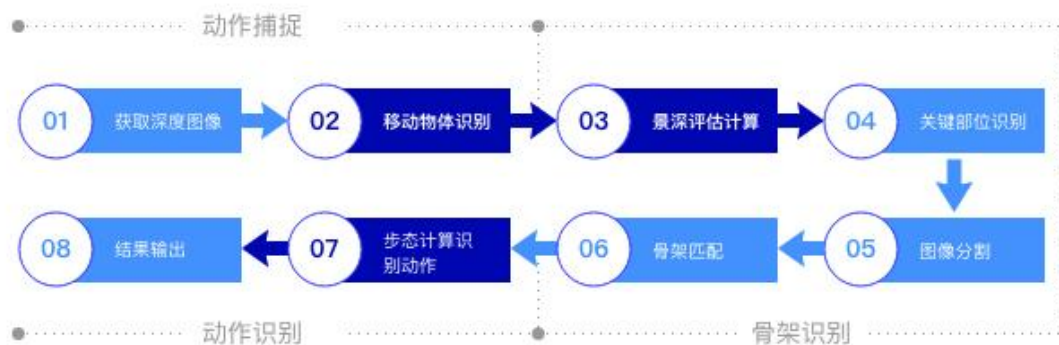


图 4 体感技术实现原理图

1.3.4 触感交互

触感又称触觉感知，指人与外界环境直接接触时的重要感知功能，也是智能机器人发展中的关键技术之一。机器人通过触觉传感器模仿人皮肤的感觉功能从而获取外界环境信息，如图 5 所示。触觉感知包含的信息量很大，它不仅反映了机器人与环境的交互情况，而且反映了所接触目标的各种物理属性，如位置、形状、刚度、柔软度、纹理、导热性、粘滞性等物理属性。

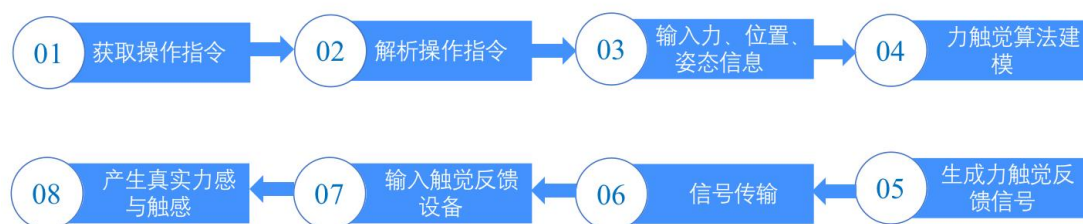


图 5 触感技术实现原理图

1.3.5 多模态交互

多模态交互又称多通道交互，指人机之间通过文本、声音、图像等多种形式的信息输出整合进行的一种智能交互方式。在交互的过程中，人的感觉通道、效应通道以及计算机的输入设备和输出设备相互对应，在进行各类模态的信息传递中形成一个人-机-环境为一体的交互系统，而这个系统中涵盖了语音识别、体感交互、眼动注视以及触感等多种不同类型的交互方式，而各交互技术也能在整个多模态的人机交互系统中互补互助，提供于人自然行为模式更为匹配的用户体验，为 NUI 的发展打下了良好的基础。多模态交互的核心流程如图 6 所示。



图 6 多模态交互的发展流程

2 智能交互技术产业链

2.1 语音交互产业链概述

根据中商产业研究院发布的数据显示，2018 年全球智能语音市场份额占比情况中，Nuance 全球市场占有率排名第一，市场占有率达到 31.6%；其次为谷歌，

市场占有率为 28.4%；排名第三的是的苹果，市场占有率为 15.4%。前三品牌市场份额占比高达 75.4%。其后为微软以及科大讯飞分别占有 8.1%以及 4.5%的市场份额。值得注意的是科大讯飞已经超越老牌计算机巨头 IBM 位列全球第五。

经过对语音交互产业的综合分析，提出如下产业链图谱，如图 7，分为上游基础层、中游技术层、下游应用层。智能语音产业链的上游参与者分为基础设备供应商、基础研究机构和数据提供商；中游参与者为将基础底层技术转化为软件或行业解决方案的机构；下游参与者为将智能语音设备提供给用户在不同应用场景下使用的服务商。



图 7 语音交互产业链

2.2 眼动交互产业链概述

目前眼动交互产业特点如下：

(a) 眼动交互技术目前主要应用于 VR 头显、智能眼镜、眼动系统或软件和

眼动仪。

(b) 国外大型企业在 VR 头显市场均有部署，且通过收购眼动交互科技公司以实现在该领域技术能力的迅速提升和市场份额的增长。比如 Google、Facebook 和苹果分别收购研发眼动追踪的技术公司 Eyefluence、The Eye Tribe 和 SMI。

(c) 为实现眼动交互技术的快速落地，眼动技术公司与硬件或综合型公司合作，以占据市场份额。

经过对眼动交互产业的综合分析，将目前的在眼动交互技术领域的公司按照硬件层、技术层、应用层进行划分，提出眼动交互技术的产业链图谱，如图 8 所示。上游硬件层指的是为 VR 头显、眼动仪等下游产品提供基础硬件设备的公司；中游技术层指的是为眼动设备提供技术支持或软件系统的技术研发公司或机构；下游应用层指的是应用眼动技术的实体产品。



图 8 眼动交互产业链

2.3 体感交互产业链概述

体感技术目前主要应用于游戏娱乐领域，索尼、任天堂、微软三大公司占据了该领域下绝大部分的市场份额。

经过对体感交互产业的综合分析，将目前的在体感技术领域的公司按照硬件层、技术层、应用层进行划分，提出体感交互技术的产业链图谱，如图 9 所示。硬件层是指对开发制作基础硬件设备的公司；技术层是指为智能设备提供技术解决方案的技术研发公司或者机构，以及提供体感应用的平台与应用软件商；应用层包括体感技术应用的各个领域进行商业化应用的公司，主要为游戏娱乐、医疗健康和教育信息领域。



图 9 体感技术产业链

2.4 触感交互产业链概述

触感技术目前主要应用于智能设备与遥操作机器人上，海外市场对触感技术的探索更超前，目前在触感技术领域的公司按硬件层、软件层和应用层进行划分，如图 10 所示。硬件层是指研发触觉传感器和触觉反馈设备的公司；软件层是指提供触感应用的平台与应用软件商包括系统软件和开发工具；应用层包括触感技术应用的各个领域进行商业化应用的公司，主要为现实产业和虚拟产业。



图 10 触感技术产业链

2.5 多模态交互产业链概述

多模态交互结构共分为四层，分别是：感知层、传输层、系统层及终端层，如图 11。

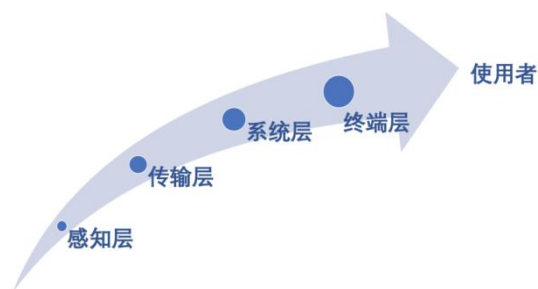


图 11 多模态交互产业结构

经过对多模态交互产业的综合分析，结合多模态交互结构分层，提出如下产业链图谱，如图 12。分为上游感知传输层、中游系统平台层、下游终端应用层。感知层是感知环境、采集信息的基础组成部分并通过感知元器件收集到的数据通过无线通信技术回传；系统层是指针对感知层回传的数据信息进行分析、处理、响应、发送指令的环节；终端层是最下游，也是与使用者直接交互的模块。



图 12 多模态交互产业链

2.6 智能交互技术的不足与瓶颈

智能交互的未来发展趋势，在于与全息器材、虚拟现实装置、增强现实设备等装置，在虚拟空间或者虚实结合的操作环境进行有机结合，形成混合多维用户界面，使用户能完成自然行为操作的目的，推进 NUI 的进一步发展。智能交互技术为解决未来业务的沉浸感、体验感提供了一条有效的途径，研究全息通信等虚实结合类的业务下的多模态交互信息融合和显示技术已逐渐成为未来 6G 背景下交互技术研究领域的重点之一。而其中的相关问题仍然需要进一步解决。

1. 使用眼动技术得到的测量数据无法做到对人意识完全准确的获取和分析，眼动进行的交互进程会出现一定的误差或用户的意识有偏差的问题。

2. 体感交互技术的发展仍处于初步探索阶段，很多技术实质上还存在运算复杂和受外界扰乱程度大的情况，技术水平有待进一步提高，数据库建立也不够完善。

3. 触感交互技术在触觉信息感知和触觉信息呈现上仍存在较多问题，其在于机器如何准确感知人的交互动作及模拟再现物体接触交互时的丰富力学属性需要高校及研究机构进行持续探索。

4. 多模态交互技术的综合处理能力有待提高。要将多模态交互对用户体验起到更为积极的作用，对于各模态在应用之中的综合调度与有机结合，需业界与我们共同做更优的解决方案。

5. 各单一模态交互技术的发展水平也与多模态交互技术息息相关，包括眼动、体感、语音等技术的成熟度也是在面向未来全息场景下的多模态交互系统中的重要影响因素。

6. 如何在现已有成熟应用的基础上，开拓其他模态产品的应用前景，将影响多模态系统的未来潜力。

7. 建立一套怎样的可用性测试方式，能对于多模态交互的系统产品进行更为合理客观的评估。

3 智能交互技术的应用场景

3.1 智能家居

在以多个不同通道构建成的多模态交互系统产品中，智能家具无疑是其中最具有代表性的一类。首先，是形成系统的子系统之多，可以包含温度计、灯具、电扇、空调乃至各类的大型家电，而和用户形成各种不同类型模态的交互方式，如利用语音音箱控制床头灯的色暖，利用检测人体与环境的温度传感器开启空调、暖气片或是电风扇，使用行动检测仪来实现用户起夜小灯的自动亮熄等等，或直接利用接入家庭智能系统的手机、平板的 GUI 界面进行触控点按完成对于各类不同家具的综合控制。依靠用户各种不同通道的信息源输入，系统智能调度并按照用户的需求进行交互管理，将当前需求的反馈结果又以不同设备进行不同方式的输出，完成整个多模态交互系统多类输入到多类输出的全过程。如图 13 所示，为小米智能家居系列多模态产品案例，其家居系统中包含旗下各类不同领域不同通道的相关产品，组合形成其智能家居多模态人机交互系统。



图 13 小米智能家居产品系统图

3.2 智能手机

如今的大部分个人电子设备按照定义，都可以属于单机型多模态交互产品的

范畴，例如电脑除基本的处理单元外，话筒、音箱、指纹、手写触控板都有配备，而这正体现了多模态交互产品普遍化应用的发展趋势。在智能手机中，集成了包括高清显示屏、降噪麦克风、摄像头等多模态的元器件。例如 iPhone X 手机，在与用户进行交互时，不仅仅是通过触控感应和屏幕显示对于用户的操作进行反馈，还可以 Taptic Engine 进行模拟表盘滚动或者进行节奏伴随的振动反馈，或是用前置的深度感知传感器对面部进行模型匹配的识别构成 face id 的安全检索。或者类似华为利用摄像头捕捉用户的运动行为，再通过内部的语音助手，实现隔空手势操作与远程指令控制，实现对于手机的远距离交互控制。如图 14 与图 15 所示，为苹果和华为相关的多模态交互场景。



图 14 苹果 face id 概念图

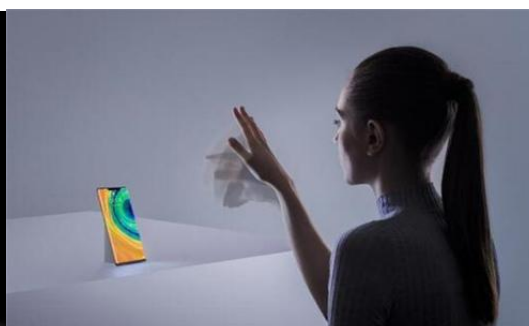


图 15 华为手机隔空操作示意图

3.3 全息通信

目前全息在各领域的应用都不能让用户真正体验到裸眼 3D 的效果，交互过程依赖了大量的、与人直接接触的繁重设备，交互过程需要用户主观发起，距离自然交互还有一段路要走。除此之外，3D 显示效果也不尽人意。全息技术的发展应用很大程度上依赖于硬件的发展，如何让用户真正脱离外接设备，达到轻松、高效、沉浸式的全息裸眼 3D 体验，是整个全息应用的发展方向。也就是说，目前的全息技术达到的仅仅是在 3D 显示方面，而如何让人与显示物体图像进行精准交互，是整个全息应用在未来应着重提高的方向。

全息应用在未来应达到成像效果不受外界环境所影响，空中成像集成供用户操作，满足用户日常通勤需求，视觉效果立体真实，成像显示更加符合人体工学，

满足个性化可定制，实现高实用化、情感个性化的全息生态。通过全息在各领域的应用现状和具体案例，现对全息应用的未来趋势进行预测：未来将延续现在的产业布局进行技术改进，在技术发展的基础上，探索发挥全息技术在其他领域的应用价值。

根据对全息领域未来商用发展进行阶段研究，全息会议、全息医疗、全息教育等领域将会是全息通信的早期主要应用。如图 16 所示。



图 16 全息应用场景

3.4 元宇宙

元宇宙是新一代信息技术的深度融合。虚拟现实技术（VR）、增强现实技术（AR）、混合现实技术（MR）、五感交互、全息影像技术、脑机交互技术等多维交互技术，如图 17 所示，这些能够为元宇宙用户带来沉浸式交互体验，进一步打破物理边界与组织边界，是对现有技术的跨界融合与呈现，进一步集成创新新业务形态。



图 17 多模态终端

未来将是一个智慧泛在的虚实融合世界，在虚实融合的进程中，沉浸化是未来业务的主要特征，是业务体验升级的外在表现，智能交互作为一项重要的通用型业务技术，他的发展将加快沉浸化的进程，提升沉浸式体验。智能交互在元宇宙中是不可或缺的重要技术，是通往元宇宙的实现路径。

在这些技术的依托下，游戏被认为是元宇宙中重要的呈现方式，游戏的交互形式多样又灵活、又具备丰富的场景和人物信息，他能为元宇宙提供创作平台、交互内容和社交场景并实现流量聚合。如图 18 所示。



图 18 元宇宙-游戏

元宇宙在当前的发展阶段，还可以广泛的被应用在现实世界和虚拟世界的社交中，真实世界的使用者通过硬件设备可以在元宇宙世界中实现心中所想，装扮不同的虚拟人物并借助智能交互与其他真实或虚拟的人或物产生互动、协作，为用户的生产和生活都提供了极大便利。除此之外，元宇宙还被应用于工业生产，教育，医疗健康等场景中，在这些应用场景中，用户感知到虚拟的世界都离不开智能交互的支撑。如图 19 所示。



社交

工业生产

教育

医疗健康

图 19 元宇宙应用场景

3.5 数字孪生

数字孪生是将真实物理世界用数字重建的方式，在虚拟空间中建造了一套仿真模型，如图 20 所示，并通过传感器在真实的物理世界和虚拟空间中搭建了沟通的桥梁。数字孪生可以基于真实世界的物理定位汇聚真实世界的元素，依托计算机实时渲染技术与智能交互技术重建三维数字化仿真场景，以达到真实世界与数字虚拟世界真实互动的目的。在数字化的虚拟世界里，智能交互也占据重要的位置，他可以为三维数字化仿真场景营造真实的沉浸感；他也可以通过传感器，在虚拟世界中接收到物理世界的信息，从而在仿真场景中操控真实物理世界。



图 20 数字世界与物理世界

虚实融合的数字孪生世界将带来社会形态和生活方式的变革，数字城市、数字农业、数字工厂、数字孪生人如图 21 所示，这些新的变化将改变我们生活、生产的方式。这些智能交互技术的发展融合也将推动数字孪生的成熟与应用，进一步打破物理边界与组织边界，成为未来虚实融合世界的主要应用形式。

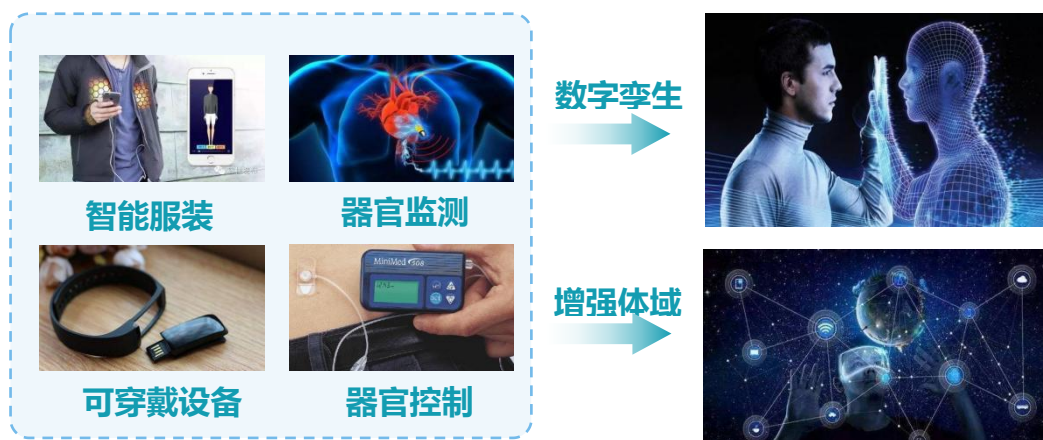


图 21 数字孪生世界的搭建

4 智能交互技术未来展望

综上所述，智能交互技术在语音、眼动、体感、触感各自的技术领域中目前都存在着待解决与优化完善的关键技术问题；同时，在多模态交互技术的应用中如何更好的综合调度、进行信息融合以及成熟的关联处理，如何让不同模态的产品能进行有机结合，都是智能交互在亟需攻关的方向。虽然还有很多技术问题需解决，但智能交互整体已经趋于成熟，将是未来新业务应用的使能技术。

信通院 2021 年发布的《6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书》提出，在超级无线宽带，超大规模连接，通信感知融合，极其可靠通信等技术的支撑下，6G 将助力情感交互和脑机交互，以及通信感知等全新研究方向。^[2]在此基础上，智能交互技术与虚拟现实技术的结合将毫无疑问将成为未来应用的热点。

在未来 6G 网络技术的加持下，智能交互+虚拟现实所能带来业务体验上极大的提升：

1、更好的满足用户需求：

基于全息显示技术的智能交互技术正在改善用户对于信息显示、互动的需求，新型科技产品的落地使用户交互经验不断提升，使其在工作、娱乐、生活中能够发挥的市场空间也越来越大。

2、更自然的人机交互体验：

全息显示技术将交互信息在任何平面/空间上进行投影，通过手势识别、位置识别，可以让任何平面/空间都成触控区域，实现与机器设备的便捷交流，同时辅助以语音交互的自然交互形式，以更符合真实世界信息交换的形式完成虚拟信息的映射。中国移动希望有更多致力于智能交互技术的业界伙伴来共同探讨，一起推进智能化人机交互流畅度的进程。

3、满足典型场景下的多维交互需求：

（1）双手被占用、需要信息显示与交互的情景：

当做饭时需要查阅食谱等资料时，通过视觉进行指导操作更加直接、在接收信息时的画面感更足，更容易吸收相关知识，由于双手可能会被占用，无法操作

屏幕。通过全息显示技术实现三维立体的将相关画面进行立体成像，通过手势识别、语音识别等实现对投影内容的自动切换，实现交互舒适性和便捷性。

（2）在多方处在同一时空、不同空间的情景：

如异地授课、异地会议、异地会诊等场景，需要交互双方以真实的数字形象参与到场景中并能够与其中的其他用户发生互动，全息技术解决了这类场景下的显示问题，而交互技术解决了其中的操作问题，二者结合才能保证场景适用性。

（3）沉浸体验场景：

全息技术营造的显示环境能给用户提供真实的感受，从而增强用户沉浸感，保证用户的注意力专一；如工作场景或教学场景，交互技术能够实现对投影内容进行控制，将提升用户对投影内容的操作感，受众的互动性将会得到增强。

智能交互技术能有效的对文本、图像、音频、视讯信息进行多模态数据综合处理，从视觉、听觉、触觉等各种通道进行全方位的人机交互，建设基于人-机-环境三位一体的虚实结合交互场景。

未来业务最主要的特征就是沉浸感，沉浸感的产生条件则是汇集了视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉这些人类自然的体验方式，目前全息通信、元宇宙等虚实融合类的未来业务正快速发展，人们对虚拟体验的多样化需求的也逐步增多，智能交互技术将作为未来业务的使能型技术推进业务的发展。

中国移动已逐步开展面向沉浸式业务的触感交互、多模态五感交互技术及相关的应用研究，愿同产业界共同探索未来智能交互，攻关关键技术，拓展应用场景，支撑应用落地，推进产业发展，在社会层面得到广泛应用。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
VUI	Voice User Interface	语音用户界面
GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
NUI	Natural user interface	自然用户界面
ASR	Automatic Speech Recognition	自动语音识别技术
NLU	Natural Language Understanding	自然语言理解
TTS	Text To Speech	从文本到语音
VR	Virtual Reality	虚拟现实技术
AR	Augmented Reality	增强现实技术
MR	Mixed Reality	混合现实技术

参考文献

- [1] 吴凤山,葛贤亮,王丽,葛列众.眼动人机交互技术的类别与特点[J].人类工效学,2017,23(04):80-86.
- [2] IMT-2030（6G）推进组.6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R]中国信息通信研究院,2021.
- [3] 图 13 来源：小米公司官网 www.mi.com
- [4] 图 14 来源：苹果公司官网 www.apple.com
- [5] 图 15 来源：华为公司官网 www.huawei.com

编写单位及作者

（排名不分先后）

中国移动通信集团公司研究院：刘堃、杨本植、郭漫雪、杨晓伟、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，苗秀，白冰，闫相元，王昱静，郭哿欣，
蔡菲菲，吕劲松，冉亚鑫

东南大学：宋爱国、祝佳航



面向 6G 的智能交互技术发展 白皮书