



6G愿景、需求与挑战

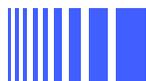
vivo 通信研究院

6G愿景、需求与挑战

V1.0

版权信息:

本白皮书版权专属维沃移动通信有限公司(以下简称“vivo”)所有,并受法律保护。如需基于非商业目的引用、转载、传播或以其他方式合理使用本白皮书的全部或部分内容,应完整注明来源。违反前述声明者,vivo将追究其法律和商业道德之责任。



第一章 6G 愿景	6
第二章 2030+ 的数字世界	8
第三章 物理与数字融合世界的自由连接	12
第四章 物理与数字融合世界的泛在服务	16
第五章 终端成为连接物理世界与数字世界的桥梁	20
5.1 终端是构建数字世界的神经末梢	21
5.2 终端是物理世界与数字世界相互作用的媒介	22
5.3 终端提供物理与数字世界融合服务	23
第六章：6G 关键能力需求和挑战	25
6.1 6G 系统关键能力	25
6.2 6G 终端挑战	28
参考文献	30

5G在全球开始大规模商用，业界对6G的研究和探索提上日程。全球各企业、研究机构、高校已经启动了6G愿景需求和潜在技术的研究，预期到2023年左右，行业将对6G的愿景和需求达成共识^{[1]~[5]}。在vivo 6G系列白皮书之一《数字生活2030+》中^[6]，vivo通信研究院对2030年及以后与人们生活息息相关的11个方面进行了发展趋势分析，并呈现了20多个鲜活的场景用例。本白皮书基于2030年及以后人们数字生活的场景，结合未来技术发展趋势，给出6G愿景需求的初步观点，并分析6G对网络和终端的挑战，为达成6G愿景需求的行业共识添砖加瓦。

6G愿景

自由连接的物理-数字一体化世界

数字生活2030+



面向2030年及以后，6G将构建泛在数字世界，并自由连接物理世界和数字世界，实现二者相互作用和高度融合^[4]，从而提供丰富的业务应用，促进社会高效可持续发展，提升人类幸福度。因此，6G愿景是自由连接的物理数字融合世界。

6G愿景建立在通信系统、网络、终端、计算、存储等硬件基础设施能力高度发达的基础上，所以广义6G将基于ICDT（信息，通信，数据技术）融合构建软硬件基础设施，支撑物理数字融合世界^{[7][8]}。

相比5G移动通信系统，6G移动通信系统将融合更多接入技术，覆盖更广的物理空间，提供更强的通信、计算、存储、数据等基础能力，支持更多的业务和服务^{[7][9]}。

6G终端功能和型态将更加丰富，在构建、连接与融合服务上发挥更加重要的作用，终端将成为连接物理世界与数字世界的桥梁。

2030年及以后，我们将构建什么样的数字世界？物理世界与数字世界实现多高的连接自由度？物理世界与数字世界高度融合，提供哪些新的业务和服务，为人们的生活带来什么改变？6G终端将在连接物理世界与数字世界中发挥什么作用？实现6G愿景对应什么样的终端和网络性能需求，因此带来哪些挑战？在白皮书的第2章到第6章，我们将回答这些问题，给出初步的6G需求指标，以及6G网络和终端的挑战。

面向2030年及以后, 我们将要构建一个什么样的数字世界? 信息与通信技术经历了近30年飞速发展, 各行各业都在加速数字化进程, 但当下的各种数字系统仍然是相对局部的、粗放的、静态的、孤立的, 没有形成跨领域、跨部门、全流程互通的完整系统, 所以尚不构成真正意义上的数字世界。面向2030年及以后, 6G将构建一个泛在的、精细的、实时的、融合的数字世界^{[4][9]}。2030年及以后数字世界特征描述如下表2-1。

表2-1: 2030+数字世界特征

数字化特征	2020年	2030+	需求原由	约束条件	主要挑战
数字化范围	部分的	泛在的	实现万物互联的物理数字融合世界	连接的综合收益(经济、社会、战略等方面)大于连接成本	通信连接数目和密度, 连接可达性和自由度
数字化程度	粗放的	精细的	实现精准控制、高效运作的物理数字融合世界	数据应用综合收益大于维护成本(采集、通信、存储)	通信连接的能力(带宽、时延), 系统传感与存储能力
数字化更新	静态的	动态实时的	实现实时更新、高效运作、安全可靠的物理数字融合世界	数据驱动收益大于数据更新和存储成本	通信带宽和时延, 系统存储能力
数字化融合	孤立的	融合的	实现互联互通、高效运作、持续发展的物理数字融合世界	数据分享的收益高于互通成本, 数据开放安全风险可控, 通过技术及法律法规打破数据壁垒	系统的AI能力, 以及信息安全与隐私保护、通信能力, 法律法规

2030年，一座城市，一个工厂，一座建筑物，一间教室，一个人，一棵树木，一只昆虫等都可数字化。下面以人的数字化为例，探讨2030年将构建什么样的“数字人”，如下表2-2。

表2-2: 人的数字化

数字化类型	主要内容	信息量大小与更新周期	典型应用举例	技术分析
基本信息	身份、Face ID、照片、“户口”类信息	约1 MB, 更新周期月级别	身份(户口)类, 如: 鉴权认证等	通信速率 ^{注1} (<1 Mbps), 高信息安全需求
健康信息	体检类、营养类、基因类信息	约MB × n(多个类型), 更新周期天级别	智能健康管理, 如: 智能饮食助理、健身助理	中低通信速率需求(1-10 Mbps), 计算存储需求中, 隐私需求高
个人画像	游戏、购物、饮食、阅读、视频等等各方面对人的兴趣爱好性格特征等综合画像	(100 Kbits - 100 Mbits) × n (很多方面的画像), 更新周期天级别	智能推荐, 衣食住行等方面的智慧化服务	中通信速率需求(10-100 Mbps), 计算存储需求中高, 安全隐私需求高
数字医疗	人体各个部位的CT, B超, X光片等数字医疗影像, 植入设备监控	GB × n (每个人体部位), 需要秒级别远程传输或者更新	远程诊疗服务, 智慧医疗管理。	中高通信速率需求(100-1000 Mbps), 高可靠性需求。
全息人像 <small>[8][10][11]</small>	肉眼视网膜精细度级别的等比例尺寸全息人像重现	30 Gbits每帧图像, 每秒30帧以上	身临其境全息交互类应用, 如: 远程办公, 远程教育等	极高通信速率需求(约Tbps), 计算和存储需求高。
认知与技能数字化	人的智力水平、学习能力、认知能力、知识水平、专业技能等建模与数字化	>10 GB/每年, 随着阅历丰富增加	用于未来教育评估, 工作技能提升, 职业推荐和评估等	中通信速率需求(10-100 Mbps), 认知模型研究, 计算和存储需求较高
人脑数字化 ^{注2}	人脑约1000亿个神经元, 总存储量10 ⁹ TB	约10 ⁹ TB, 天级别完成读取	脑机交互应用	超高通信速率需求(10 ⁵ Tbps), 超高存储需求, 超过6G范畴
纳米级数字化孪生 ^{注2}	一个成年人的体积约0.059立方米, 按照100 nm颗粒度对人体物理拆解, 每个颗粒假设用24 bits编码	约10 ⁹ TB, 天级别完成读取	精细化数字孪生管理应用, 吃穿住行, 医疗健康领域应用	超高通信速率需求(10 ⁵ Tbps), 超高存储需求, 超过6G范畴

注1: 区别于系统峰值速率, 上表中的速率需求为用户体验速率需求。

注2: 初步判断, 2030年存在较大挑战。

到2030年，对人的数字化将从当前基本个人信息和少量数字画像信息，逐步扩展完善并规范化管理。对人物理层面的数字化将包括更加丰富的基本信息，实时准确的人体健康数据信息、超高清数字医影像、全息人像等，以及潜在纳米级的人体特征等。精神层面则包括更加全面体系化的“个人画像”，个人认知和技能水平数字化，以及潜在的人脑记忆存储信息的数字化。个人数据隐私安全保护和规范化访问非常重要，除了更加安全的技术手段外，还需要政府主管部门建立更加完善的法制体系，确保个人数字化信息可合理的应用。

随着脑机接口、生物技术和纳米技术的不断发展，对人脑以及人体器官的数字化水平会不断提升，用于教育、医疗健康等领域。但是，对人脑记忆和存储精准数字化，以及对人体纳米级孪生，在脑机接口、纳米技术和生物技术上还存在诸多难题有待突破，典型通信速率的要求超过Tbps，将成为6G后系统持续追求的目标。

物理与数字融合世界的
自由连接

物理与数字融合世界的连接, 包括物理世界与数字世界, 物理世界与物理世界, 数字世界与数字世界之间的各类泛在的连接需求^{[4][7]}。连接的自由度越高, 系统间融合越紧密, 带来的相互作用效果越好。6G将实现如下6个方面连接自由度的提升:

- √ 空间自由度: 6G通信系统覆盖区域持续扩展, 以及无线环境下无缝的连接, 将提高连接空间自由度;
- √ 时间自由度: 6G通信系统速率持续提升, 延迟不断降低, 稳定可靠性进一步提高, 将提高连接时间自由度;
- √ 范围自由度: 6G通信终端功能和形态更加多样化, 成本体积功耗以及使用寿命的不断优化, 可以实现更多场景和物体的连

接, 将提高连接范围自由度;

- √ 感官自由度: 由于6G超高通信速率、算力和传感能力的支撑, 人的通信将进一步实现全感官自由度;
- √ 交互自由度: 6G通信能力提升, 加持人机接口、脑机接口技术的持续完善, 将进一步提高连接交互的自由度;
- √ 财务自由度: 6G通信持续不断的能效、谱效以及综合运营成本效率提升, 将确保上述各自由度的真正落地, 实现连接的“财务”自由度。

相比当下通信系统, 6G在6个自由度的提升如下表3-1。

表3-1: 连接自由度

连接自由度	2020年	2030+	约束条件	主要挑战
空间自由度	覆盖人口活跃区域98%以上, 地面覆盖为主	覆盖人类活动可达空间98%以上, 空天地海全覆盖 ^{[8][12]}	覆盖综合价值(经济、社会、环境、战略等)大于覆盖成本	低成本广域覆盖技术、多接入网络融合设计、多频多制式终端复杂度挑战
时间自由度	端到端ms级时延, us级时间精准性	端到端<ms时延, ns级时间精准性 ^{[12][13]}	时延极限为通信距离/光速	通信带宽、通信时延、通信成本、通信可靠性的挑战
范围自由度	连接全球人口渗透率约80%, 物联网终端约100亿, 跨系统互通率较低	连接人口渗透率达到100%。物联节点数目提升100倍, 各系统安全互信互通 ^{[3][13]}	连接综合收益(经济、社会、战略等方面)大于连接成本	连接数目、连接可达性挑战; 通信能力和信息安全挑战
感官自由度	听觉和部分视觉(平面超高清、VR)通信	现场级听觉、全视觉通信; 触觉、嗅觉、味觉等全感官通信扩展 ^{[1][8][11]}	触觉、嗅觉和味觉的人机交互技术达到较好的体验	通信速率和时延挑战; 高体验人机接口的挑战
交互自由度	按键、触屏、语音识别、姿势识别、表情等交互方式逐渐丰富	形态方面: 扩展到可嵌入、可植入终端; 交互方面: 扩展实现自由触觉互联, 成熟体感交互, 初级脑机接口	电池、材料、工业设计支撑; 触觉传感、姿势识别、脑机接口等相关技术的成熟	体积成本功耗对电池、材料、工业设计挑战; 人机接口, 脑机接口, 仿生技术, AI能力挑战
“财务”自由度	我国为例: 人均移动通信开销相对人均GDP占比约1% ^{注1} , 每人月均流量超过8 GB	考虑通货膨胀的影响, 在人均通信开销不变的情况下, 预期100倍以上的流量提升	单位比特的价值大于比特价格	持续降低覆盖成本、网络运维成本, 提高频谱效率、网络及终端的能耗效率

注1: 根据中国移动2019年年报, 人均ARPU值58元/月, 根据国家统计局数据, 我国2019年人均GDP超过70000元/人·年。

图3-1为6G相对现有系统在连接自由度提升示意图。初步预计，6G在空间自由度、范围自由度和财务自由度有2个量级以上提升，在时间自由度、感官自由度以及交互自由度上约有1个量级的提升。

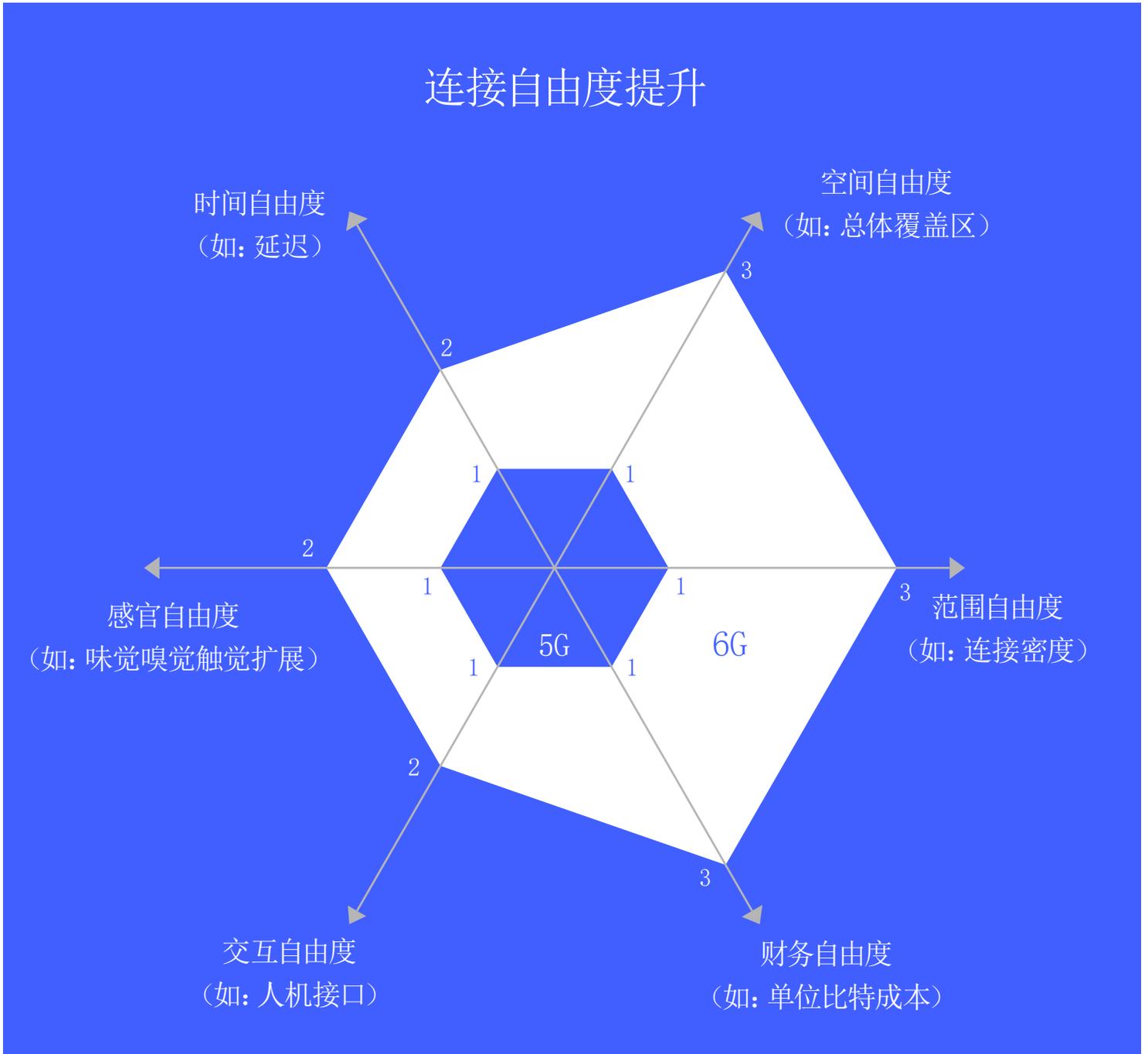


图3-1: 6G 相对5G在6个连接自由度的提升

2-- 代表相比 1, 约有 1 个数量级提升

3-- 代表相比 1, 约有 2 个数量级提升

物理与数字融合世界的
泛在服务

6G将构建数字世界，自由连接物理和数字世界，从而实现二者高度融合、相互作用，服务千行百业，促进社会高效健康可持续发展，提升人类幸福度。

vivo致力于为消费者提供极致体验的智能终端产品和智慧化连接服务，成为连接人与数字世界的桥梁。物理世界与数字世界高度融合，可提供那些新的业务和服务，为人们的生活带来什么改变？在《数字生活2030+》^[6]中，vivo通信研究院对2030年及以后与人们生活息息相关的11个方面，进行了趋势预测和场景用例畅想，总结如下表4-1。

表4-1: 2030年及以后的应用场景和挑战

场景方向	2020年	2030+趋势	典型案例 ^[6]	需求挑战
衣	舒适, 美观, 便捷	舒适且功能化, 美观且个性化, 低碳环保	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 游泳神器2030 ⊙ 私人定制 	泛在连接, 终端体积 功耗成本挑战, 超高速率通信, 敏捷制造, 信息安全
食	美味, 健康, 便捷	美味+, 数字化健康, 便捷+, 低碳环保+	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 未来食物工厂 ⊙ 量化健康饮食 ⊙ 恋爱味道 	AI + 数据, 人机接口, “0”功耗终端, 信息安全
住	舒适 智能家居	舒适+智能+低碳, 温馨家园, 和谐社区	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 智慧家居2.0 ⊙ 宾至如归 ⊙ 智慧社区2.0 	AI和算力服务, 超高速宽带, 泛在连接, 低成本通信, 精准定位
行	便捷 共享出行 安全辅助	便捷且自由 高效且低碳	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 智慧城市交通 ⊙ 千里一日游 	大带宽低时延高可靠通信, 精准定位, 数据共享和信息通信安全
学习	高效学习 在线学习	回归学习本源, 智能评估, 快乐学习, 人格塑造, 创造性和认知能力学习	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 快乐校园一天 ⊙ 昆虫侦探 ⊙ “我是演说家” 	大带宽通信, 全息技术发展, AR技术成熟, AI能力提升

场景方向	2020年	2030+趋势	典型案例 ^[6]	需求挑战
工作	公司为中心的签约式、集中办公	产品为中心的分布式动态办公, 知识与技能协作	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 自由工作模式 ⊙ 未来办公 ⊙ 千行百业的变化 	虚拟现实, 全息通信, 低时延通信, 时间精准通信
娱乐	游戏视频持续火爆; AR旅游, AI导游逐步导入	全沉浸式和强带入感的游戏和影视, 身临其境的旅游	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 火星探险 ⊙ 追星新时代 ⊙ 梦回唐朝 	XR/传感能力提升, 通信带宽和时延, 高算力需求
医疗	被动医疗 数字医疗	主动预防, 精准治疗, 远程诊疗, AI治疗	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 一站式在线诊疗 ⊙ 孪生诊疗 ⊙ 微型机器人手术 	确定性网络, 通信带宽和时延, 高算力需求, 信息通信安全
健康	被动应对流行病, 被动应对健康问题	主动身心健康管理 主动疾病预防	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 家庭健康管理 ⊙ 心灵伴侣 	数据安全, 传感能力, 通信带宽和时延
环境	破坏保护被动治理, 数字化检测	构建主动可持续环境承载系统	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 私家菜园 ⊙ 环保新生活 	连接能力, 通信可达性, 泛在终端, 感知能力
安全	被动应对自然灾害	主动应对自然灾害	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 火灾逃生 ⊙ 紧急避难 ⊙ 地震搜救 	低时延高可靠, 精准定位, 大容量通信, 卫星通信等多种接入方式

终端成为连接物理世界
与数字世界的桥梁

2030年及以后，终端将海量分布在物理世界中，成为物理与数字世界相互作用最直接的载体。终端的能力和水平影响其在物理世界触达的深度和广度，从而直接决定了数字化世界的水平和运作效率。vivo认为，终端将成为连接物理世界与数字世界的桥梁。



图5-1: 神经末梢需求挑战

5.1 终端是构建数字世界的神经末梢

未来终端将成为物理世界的神经末梢，遍布于各个角落（如：城市、森林、山川海洋、基础设施和建筑体内、人体、候鸟以及昆虫身体等），实现对物理世界的敏捷感知和精准控制。类似人体感觉神经末梢和控制神经末梢，一方面，终端对物理世界的运行状态信息进行传感、采集，并通过网络传递到系统中，构建一个泛在的、精细的、动态的数字化世界；另一方面，“数字大脑”和“中枢神经系统”对数字世界进行分析、预测和推演形成的结果，将通过大量终端节点作用于物理世界，实现对物理世界的精细化管理和复杂控制^[1]。

终端在物理世界能够触达的广度和深度，决定了未来世界数字化的水平，实现2030+物理数字融合世界愿景，给未来网络和终端提出了如下需求和挑战：

① 超大连接需求：例如，对人的数字化需要手机和大量可穿戴终端，对特定区域环境精准监控可能需要1平米范围超过10个以上的终端节点。

② 丰富的终端形态：大千世界泛在连接，既需要先进的智能手机和AR/VR终端，也需要汽车、机器人、生产工厂大型设备中的终端模组，更需要大量能够安装到人体、衣物、建筑物、树木甚至是昆虫体内的微型终端。

③ 成本体积功耗的持续优化：持续的对终端的成本、体积和功耗进行优化，是提高终端在物理世界渗透能力的基础。在类似嵌入建筑物或者昆虫体内等极端场景下，“0”功耗极简终端^[4]是实现物理世界数字化的关键。

④ 泛在覆盖能力：构建泛在的数字化世界，必然需要泛在的网络覆盖能力，来支持地表以及空中的全面覆盖。覆盖的可达性既包括网络下行的无线电波的覆盖能力，也需要保障终端上行信号在网络侧的可达性。一方面要求对终端持续的成本体积功耗的优化，另一方面又要求上行覆盖能力提升，这一矛盾将是未来网络“万物互联”的最大挑战。

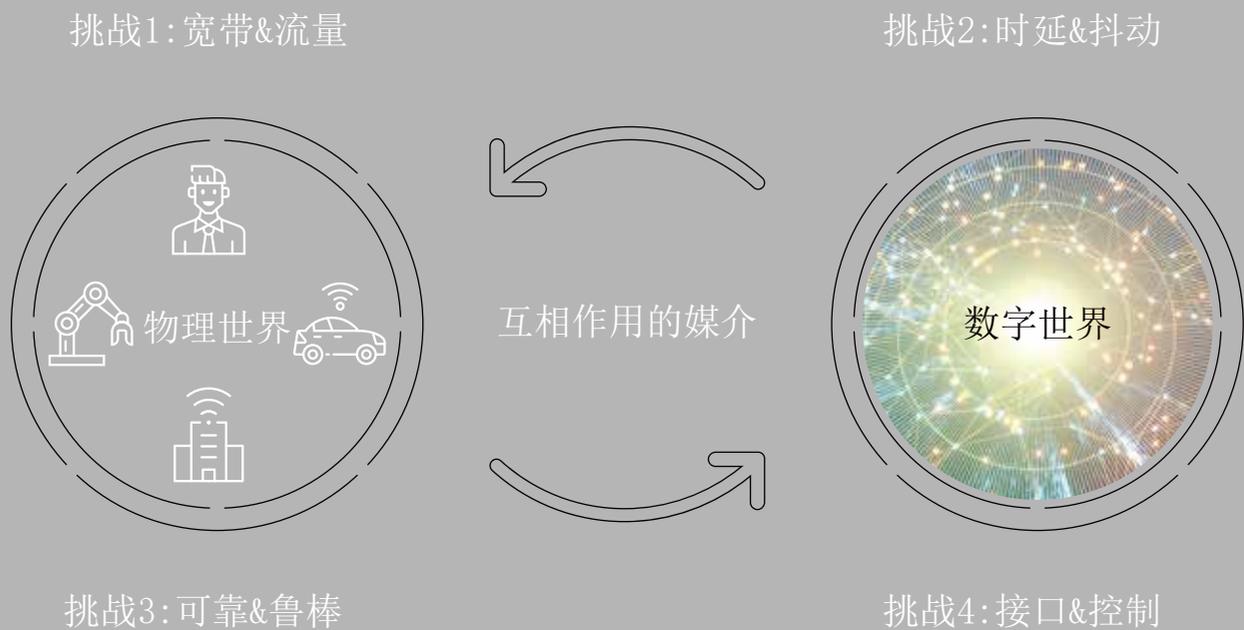


图5-2: 媒介与挑战

5.2 终端是物理世界与数字世界相互作用的媒介

物理世界和数字世界之间相互作用，需要通信终端作为媒介。媒介的带宽、算力和交互能力，决定了二者交互的自由度。未来，人们将以智能手机终端为入口透过数字世界去操控物理世界，例如，家长坐在办公室里通过手机远程控制汽车接孩子放学回家；医生带上AR眼镜终端操控远在异地微型机器人在患者体内进行微创手术。为了实现物理世界与数字世界的自由连接与相互作用，未来终端在通信和计算能力、人机接口技术、功能型态上需要很大的提升，同时对未来网络也提出了很高的要求：

① 带宽和流量：物理世界，特别是物理世界中的人，进入到数字世界，实现身临其境的实时交互，对通信系统的带宽和用户可获得流量提出了极高的需求，例如业界初步评估全息动态人像的传输大约需要1Tbps速率^[15]。预计2030年人均流量需求相比现在（2020年）将提升数百倍，单位面积吞吐量需求也将有近1000倍提升。

② 时延和抖动：类似远程手术、无人驾驶等场景，需要物理世界与数字世界之间精准的相互作用，敏捷及时信息交互，对端到端延迟以及延迟的抖动都提出了极高的要求，空口接入数据

包时延要求降低到1ms以下^{[1][13]}。工业生产中，一些精准的协同操作，需要时延抖动控制在ns级别^{[13][16]}。

③ 可靠性和鲁棒性：远程手术、高价值资产管理、智能电网、工业生产等涉及生命和重大财产安全，这些场景都需要信息的传递具有极高的可靠性，要求未来网络需要支持0.99999~0.9999999的可靠性^{[15][19]}。此外，信息在端到端通道上的每一个节点设备也需要具有极高的鲁棒性，确保系统长时间使用稳定可靠。

④ 接口和控制：作为物理和数字世界自由作用的媒介，人机接口、脑机接口的持续发展对连接和操控的便捷性非常重要。人机接口将突破传统的语音文字输入和触屏操作，逐步扩展姿势、表情、眼球识别输入，未来，脑机接口技术将带来全新的操控体验。呈现方式上，除了声音、文字、图片、视频外，AR/VR、全息正在逐渐成熟并提供身临其境的视听刺激。进一步的，如何实现全感官（视、听、嗅、味、触觉）联合呈现也是未来需要解决的问题。



图5-3: 融合服务与挑战

5.3 终端提供物理与数字世界融合服务

海量的终端通过6G网络构建了数字世界，基于超强能力的云服务系统，利用大数据和人工智能在数字世界进行模拟推演预测后，通过终端反作用于物理世界，从而实现物理与数字世界高度融合，相互作用。通过终端为入口，6G将提供更加丰富的创新应用，服务千行百业，极大提升社会运作效率，提高人类幸福度。

实现物理世界与数字世界的高度融合，服务千行百业，对终端和网络提出了如下需求和挑战：

① 按需服务：未来网络需要以用户为中心提供按需服务，满足大千世界不同用户群体，千行百业不同应用场景带来的千差万别的需求^{[1][6][9]}。

② 融合服务：物理世界与数字世界的高度融合，需要借助端、

边、云、网协同构建系统，类似“大脑”、“中枢神经系统”和“神经末梢系统”的有机整体，未来网络需要提供通信、感知、计算和AI、存储以及大数据融合服务能力^{[7][10]}。

③ 隐私安全：高度智慧化服务，一定是建立在数据能够在各行各业、各层网络、各级系统之间可信安全畅享的前提下。数据分享和互通为隐私保护和信息安全带来了巨大的挑战，这需要更加先进的隐私安全保护技术，同时需要更加健全的法律法规保障。

④ 感知定位：物理世界和数字的高度融合，需要建立在对物理世界的精准定位、业务感知和意图感知基础上。未来网络和终端需要进一步的提高定位精度，感知并传递业务意图，从而更好的实现物理世界与数字世界的智慧融合。

6.1 6G系统关键能力

6G通信系统将是一个融合通信、计算、存储和数据的高效率系统，其覆盖能力，连接能力，通信性能，通信效率，精确性和可靠性，以及综合服务能力将大幅提升。6G网络将以用户为中心，构建对终端更加友好的感知、通信、计算综合服务系统。6G系统关键能力和挑战初步分析如下表6-1。

表6-1：6G系统关键能力和挑战

需求分类	具体特征	5G ^{[20][21]}	6G	说明
覆盖能力	覆盖范围	覆盖人口活跃区域98%以上，地面覆盖为主	覆盖人类活动可达区域98%以上，空天地海全覆盖	高价值地区6G覆盖进一步提升覆盖能效和用户体验，低价值地区解决覆盖成本问题
	“终端友好”覆盖	典型终端最大功率23 dBm和26 dBm	支持‘0’功率终端；典型终端的最大降低6-10 dB	‘0’功率终端可连接；终端功率更低但维持通信性能体验
连接能力	连接密度	1 个/平方米	10-100个/平方米	6G立体覆盖场景下，连接密度指投影到1平方米范围内的终端数目
	移动速度	500公里/小时	1000公里/小时	飞机和空间飞行器场景

需求分类	具体特征	5G ^{[20][21]}	6G	说明
通信性能	峰值速率	20 Gbps	>100 Gbps	峰值速率为理想条件下单小区单用户最大速率
	用户体验速率	0.1-1 Gbps	>1 Gbps	定义为：95%以上概率能够保障的用户速率最大值（当用户业务需要时）
	用户面时延	最小1-5 ms	最小0.1 ms	指空口接入部分时延最小值
精准可靠	端到端可靠性	0.99999	0.9999999	在差错控制机制下，满足某一延迟上限时，包成功接收的比例
	时间精度	时延抖动微秒(us)量级	时延抖动纳秒(ns)量级	对设备自身时钟精度需要同步提升到ns级
	定位精度	1-10 m级别	可达0.1-1 m级别	某些场景例如室内定位精度需要达到0.1-1m级别
综合服务	融合服务	数据传输和IMS为主，具备基于MEC/CDN/云网融合的计算存储服务	原生融合通信、计算、存储和数据服务	系统原生ICDT综合服务，而不是基于OTT(Over the Top)架构的服务
	按需服务	QoS、网络切片、NEF实现部分按需服务	以用户中心的原生按需服务能力	系统和协议原生按需服务能力
	隐私安全	被动安全，以防为主，算法级安全	主动安全，系统级的隐私和安全机制	需要技术与法律法规手段共同实现隐私和安全保护
通信效率	频谱效率	典型场景平均频谱效率5-8 bps/Hz/TxRP（密集城区）	单位面积的平均频谱效率2-3倍提升 ^{[2][3][13]}	频谱效率提升需要基于空口技术的持续创新和提升
	能耗效率	典型基站功率1-2千瓦，传输能力10 Gbps	每比特综合能耗提升100倍以上	系统总的吞吐能力提升1000倍，但是总能耗增加不超过10倍
	比特成本 / 价格	预计5G发展后期可达100 GB/用户/月，用户通信开销低于人均GDP的1%	10TB/用户/月，用户通信开销低，为人均GDP的1%	通过降低网络建设和综合运维成本，达成这一目标相对困难，需提升单位比特的价值，寻找新的盈利模式

选取其中8个可量化能力指标：峰值速率、用户体验速率、时延、连接密度、可靠性、定位精度、时延抖动、移动速度，6G相对5G关键能力提升如图6-1。

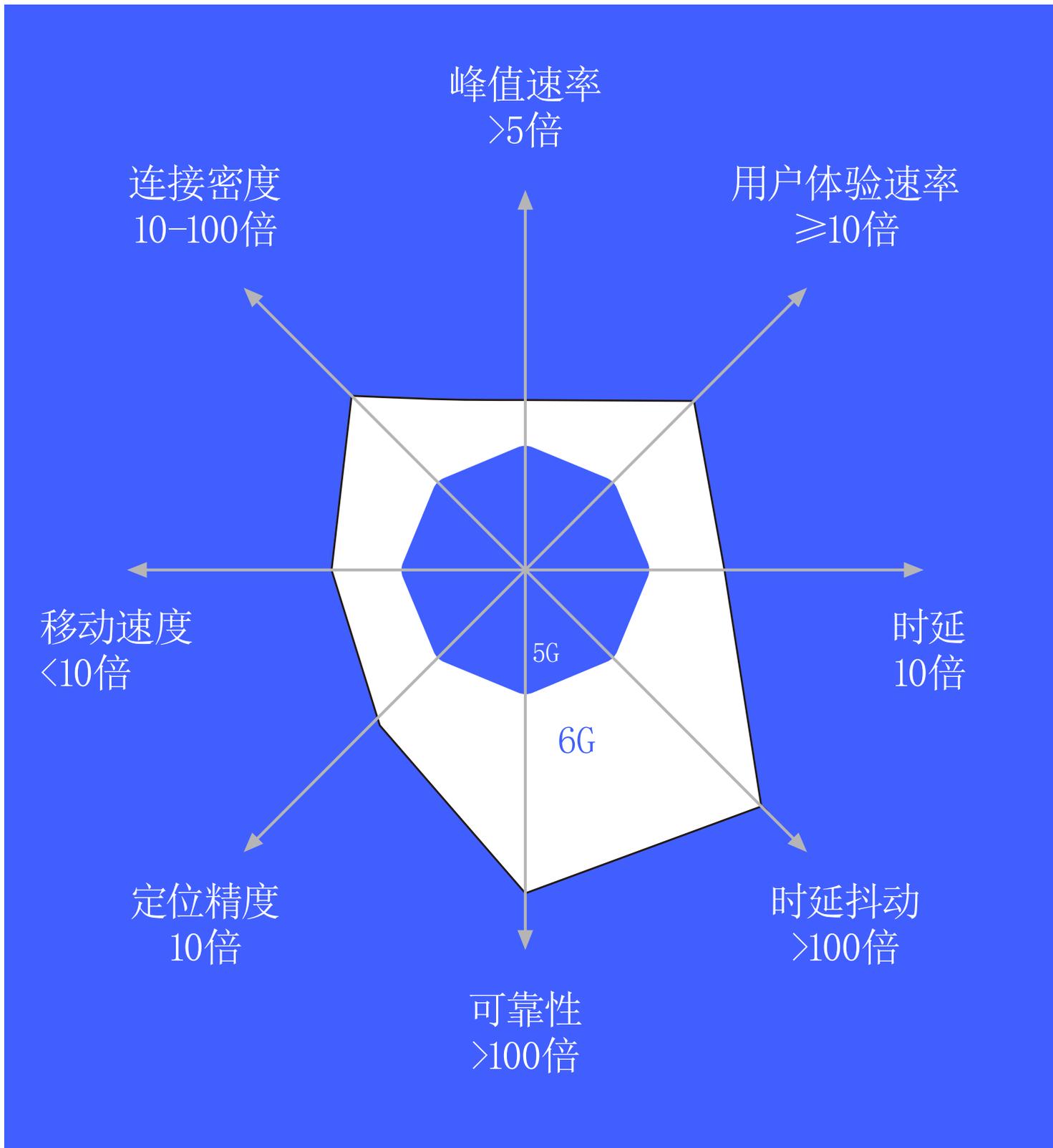


图6-1: 6G系统关键能力提升示意图

6.2 6G终端挑战

6G终端将成为连接物理世界与数字世界的桥梁，未来终端发展将呈现泛在化、智能化、轻量化、多样化等特征^[14]，对应的问题和挑战包括：

- √ 泛在覆盖需求与上行覆盖受限的矛盾；
- √ 泛在连接场景带来的部分场景下对终端成本体积功耗的苛刻需求；
- √ 全频段多制式高吞吐量对终端成本体积功耗的挑战；
- √ 用户多终端协同体验提升问题；
- √ 小型化终端的 AI 能力受限问题；
- √ 个人隐私安全与数据共享红利的矛盾；
- √ 电池和供电技术有待突破；
- √ 传感、存储以及显示能力的技术瓶颈；
- √ 人机接口和脑机接口有待突破；
- √ 健康和安全管理问题。

面向6G，终端需要解决的4个关键难题包括：上行覆盖问题，成本体积功耗问题，泛在智能问题，几乎“0”功耗通信问题。

vivo将携手行业伙伴，丰富未来应用场景，结合技术发展趋势，形成行业共识的6G需求指标，并持续开展6G关键技术的探索和研发。

缩略语

AI	Artificial Intelligence	人工智能
AR	Augmented Reality	增强现实
ARPU	Average Revenue Per User	每用户平均收入
CAPEX	capital expenditures	资本性支出（基建费用）
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
ICDT	Information, Communication and Data Technology	信息，通信和数据技术
IMS	Internet protocol Multimedia Subsystem	互联网协议多媒体子系统
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
NEF	Network Exposure Function	网络开放功能
OPEX	Operating Expense	营运资本
QoS	Quality of Service	服务质量
TxRP	Transmission Reception Point	发射接收点
VR	Virtual Reality	虚拟现实

参考文献

- [1] “2030+ 愿景与需求报告”. 中国移动研究院. 2019
- [2] 5G evolution and 6G. NTT DOCOMO, INC. January 2020
- [3] The Next Hyper- Connected Experience for All. Samsung Research, 2020
- [4] Beyond 5G Promotion Strategy, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan, June 2020
- [5] 6G R&D Strategy, MSIT of Korea, August 2020
https://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=_policycom2&artId=3015098
- [6] 2030+ 数字生活, vivo 通信研究院, Oct. 2020
- [7] 多视角点绘 6G 蓝图 (White Paper), Future Forum, 2019
- [8] Key Drivers And Research Challenges For 6G Ubiquitous Wireless Intelligence (White Paper). Oulu, 2019.
- [9] 刘光毅等. “6G 愿景与需求: 数字孪生、智能泛在”. 移动通信, 2020
- [10] Focus Group NET-2030. Network 2030: A Blueprint of Technology, Applications And Market Drivers Towards The Year 2030 And Beyond. ITU-T, 2020
- [11] Focus Group NET-2030. Representative use cases and key network requirements for Network 2030. ITU-T 2020
- [12] Chen S Z, Liang Y C, Sun S H, et al. Vision, requirements, and technology trend of 6G: How to tackle the challenges of system coverage, capacity, user data-rate and movement speed. IEEE Trans Wireless Communication, 2020
- [13] 毕奇. 移动通信的主要挑战及 6G 的研究方向. 移动通信, 2020
- [14] Preliminary peek at B5G & 6G Terminals (White Paper), Future Forum, 2019
- [15] Xiaohu You, et al. “Towards 6G wireless communication networks: Vision, enabling technologies, and new paradigm shifts”, Science China- Information Sciences, 2020
- [16] Baiqing Zong, et al. “6G Technologies, Key drivers, Core requirements, System Architectures, and Enabling Technologies”, IEEE Veh Technol Mag, Sep. 2019
- [17] Zhang Z Q, Xiao Y, Ma Z, et al. 6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies. IEEE Veh Technol Mag, 2019
- [18] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, “A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems,” IEEE Network, Oct. 2020.
- [19] Harish Viswanathan, Preben Mogensen, “Communications in the 6G Era”, IEEE ACCESS, 2020
- [20] 3GPP TR 37.910, “Study on self evaluation towards IMT-2020 submission,” Jun. 2019
- [21] Recommendation ITU-R M.2083, “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”, Sep. 2015