



中国移动
China Mobile

5G⁺

2030+愿景与需求报告

中国移动研究院

2019年11月

目录 CONTENTS

1	前言.....	1
2	总体发展理念.....	2
3	2030+愿景与场景.....	4
3.1	愿景：数字孪生，智能泛在.....	4
3.2	应用场景.....	6
3.2.1	智享生活.....	6
3.2.2	智赋生产.....	9
3.2.3	智焕社会.....	10
4	2030+网络性能指标需求.....	14
5	2030+网络特征构想.....	15
5.1	按需服务的网络.....	16
5.2	至简网络.....	17
5.3	柔性网络.....	18
5.4	智慧内生.....	19
5.5	安全内生.....	19
6	结束语.....	21
	参考文献.....	22

1 前言

移动通信领域科技创新的步伐从未停歇，从第一代模拟通信系统（1G）到万物互联的第五代移动通信系统（5G），移动通信不仅深刻变革了人们的生活方式，更成为社会经济数字化和信息化水平加速提升的新引擎。5G 已经步入商用部署的快车道，它将开启一个万物互联的新时代，渗透到工业、交通、农业等各个行业，成为各行各业创新发展的使能者。

为了推动 5G 与经济社会各领域充分融合，中国移动已经开始全面实施“5G+”计划，包括 5G+4G 协同发展、5G+AICDE 和 5G+生态，最大程度释放 5G 对各领域放大、叠加、倍增效能。“5G+”将以 5G 为基础，衍生出一系列创新解决方案，覆盖人们生活、生产和社会治理多个方面，打造新体验、新动能和新模式，助力综合国力提升、经济高质量发展和社会转型升级。

按照移动通信产业“使用一代、建设一代、研发一代”的发展节奏，业界预期 2030 年左右商用 6G。芬兰政府在世界范围内率先启动 6G 大型研究计划，美国联邦通讯委员会已为 6G 研究开放太赫兹频谱，我国也于 2018 年开始着手研究 6G。以“创新、协调、绿色、开放、共享”为内涵的新发展理念，也应成为 5G 向 6G 演进的发展理念，成为推动移动通信网络可持续发展的思路、方向和着力点。

作为面向 2030+ 的移动通信系统，6G 将进一步通过全新架构、全新能力，并结合社会发展的新需求和新场景，打造 6G 全新技术生

态，推动社会走向虚拟与现实结合的“数字孪生”世界，实现“6G 创新世界”的宏伟目标。

报告对 2030 年后移动通信发展的总体愿景与新应用场景进行了预测和探讨。结合未来新业务和新应用的展望，报告提炼出 6G 网络性能指标的初步需求，并提出了未来 6G 网络五大特征构想，即按需服务、至简、柔性、智慧内生和安全内生。

6G 的研究在全球范围内还处于起步阶段，本报告旨在引发业界的讨论与思考，后续中国移动将联合学术界和工业界共同完善和更新 6G 愿景与需求，持续推进潜在使能技术的研究工作。

2 总体发展理念

可持续发展是社会经济发展的长期目标。以平衡方式实现社会公平、经济发展和环境保护，是一项伟大、复杂的工程。中国秉持“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念，为社会发展开出了良方。

“五大发展理念”在信息通信领域，为移动通信网络可持续发展指明了方向，成为 5G 向未来网络（即 6G）演进与发展的思路和着力点。其中：

“创新”要求未来网络注重基础理论突破和源头技术创新，突破或扩展传统通信理论，构建通信计算一体化架构，引入量子计算、类脑计算、强 AI 等变革性技术；

“协调”要求未来网络在通信、信息、材料、能源和垂直产业等领域跨界融合协同突破，要求创新链与产业链的协同推进，要求技术

标准的国际协同制定，产业发展的全球协调推进；

“绿色”要求未来网络低能耗、低排放、与环境相容、能源供给可再生、器件材料可重构、设备可 4D 打印；

“开放”要求未来网络能力接口开放、软硬件开源、市场开放、生态开放，实现网络的“融合”、“融通”和“融智”新局面；

“共享”要求未来网络通用化，与交通、电力、城建等其他社会基础设施融合共享，实现基础设施集约化，提升基础设施效率。

6G 将在 5G 基础上为社会经济发展添加新动能，更深层次地促进“五大发展理念”落地。在“创新”方面，6G 为国家、企业和个人在科技创新、管理创新、商业创新和文化创新等多方面提供基础平台能力、信息服务能力、计算能力和 AI 能力；在“协调”方面，6G 打通国家和行业间信息孤岛，保障“一带一路”全球经济一体化协调发展，以新业态方式协调垂直产业发展，完善国家治理体系；在“绿色”方面，6G 基于全球立体覆盖能力提供强大的环境感知能力，形成全球合作环保方案，并推动传统产业转型升级，降低碳排放，实现绿色发展。在“开放”方面，6G 自含生态开放基因，促进全球经济开放、市场开放、文化开放、制度开放。在“共享”方面，6G 将构建共享的 AI 基础设施，实现大数据分析 with 人工智能的平民化，数据共享，保障数字红利和数字权益的公平性，进一步促进“共享经济”升级，助力“共享制造”和国际间产业间“共享基础设施”，形成共享新生态，实现成果共享。

坚持“五大发展理念”，6G 将重构网络空间，为 global 经济发展提

供一体化空间,助力形成全球发展共同体、安全共同体和利益共同体。

3 2030+愿景与场景

3.1 愿景：数字孪生，智能泛在

“马斯洛需求层次理论”将人的需求分成五个层次，受其启发，中国移动将其演化到通信需求层面，提出一种层次化的通信需求模型，分为五个等级：必要通信、普遍通信、信息消费、感官外延、解放自我，如图 1 所示。该模型中，通信需求和通信系统构成了螺旋上升的循环关系：需求的出现刺激了通信技术和通信系统的发展，而通信系统的完善将通信需求推向更高的层次，最终实现人类的解放，实现人类智能化的终极追求^[1]。

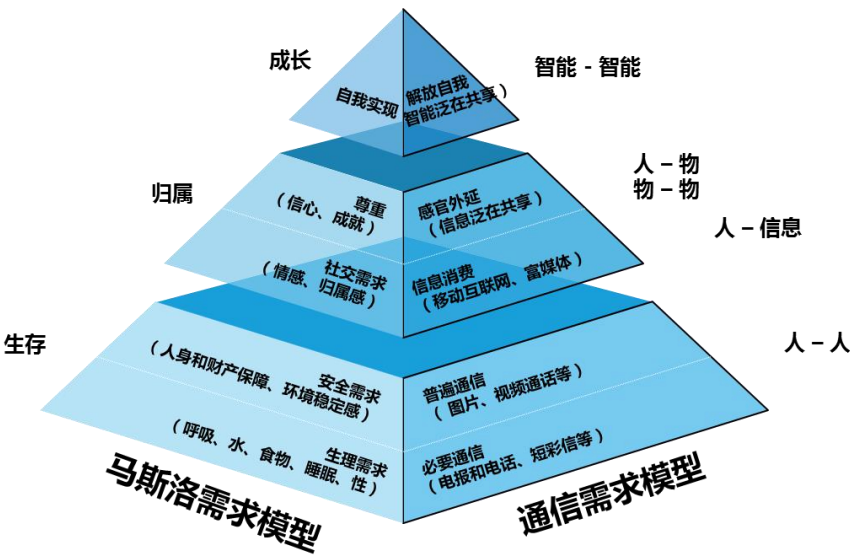


图 1. 新通信马斯洛需求模型

依据新通信马斯洛需求模型，低级需求被满足后，高级需求将自然出现。“4G 改变生活，5G 改变社会”印证了人们从未停止对更高

性能的移动通信能力和更美好生活的追求。4G 时代是数据业务爆发性增长的时代，随着智能手机的普及和消费互联网的发展，从衣食住行到医、教、娱乐，人类的日常生活实现了极大的便利。5G 将开启一个万物互联的新时代，它将实现人与人、人与物、物与物的全面互联，渗透各行各业，让整个社会焕发前所未有的活力。未来，随着 5G 应用的快速渗透、科学技术的新突破、新技术与通信技术的深度融合，必将衍生出更高层次的新需求，如果说 5G 时代可以实现信息的泛在可取，6G 应在 5G 基础上全面支持整个世界的数字化，并结合人工智能等技术的发展，实现智慧的泛在可取、全面赋能万事万物。

在未来 2030 年及以后的时代，整个世界将基于物理世界生成一个数字化的孪生虚拟世界，物理世界的人和人、人和物、物和物之间可通过数字化世界来传递信息与智能。孪生虚拟世界则是物理世界的模拟和预测，它精确地反映和预测物理世界的真实状态，帮助人类更进一步地解放自我，提升生命和生活的质量，提升整个社会生产和治理的效率，实现“数创世界新，智通万物灵”的美好愿景。

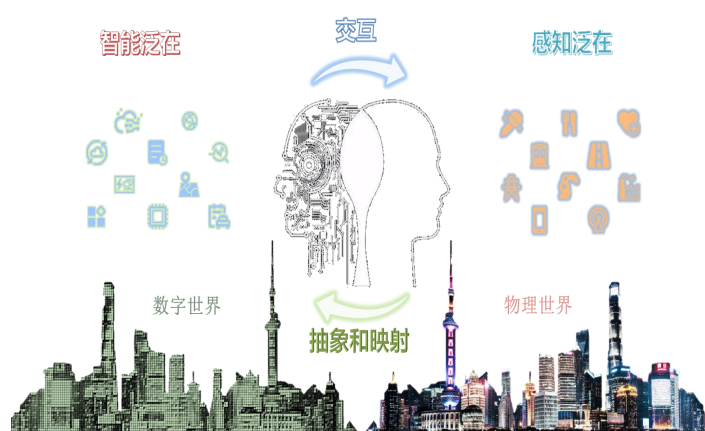


图 2. 数字孪生

3.2 应用场景

围绕总体愿景，未来移动通信网络将在智享生活、智赋生产、智焕社会三个方面催生全新的应用场景，如图 3 所示。



图 3. 2030+典型应用场景

3.2.1 智享生活

移动通信服务能力关乎人类福祉。在面向 2030+的移动通信系统中，通感互联网、孪生体域网、智能交互等将充分利用脑机交互、AI、全息通信、分子通信等新兴技术，塑造高效学习、便捷购物、协同办公、健康生命等生活新形态。

● 通感互联网

目前，移动通信网络实现信息交互的主要载体从简单的语音、图片，发展为能传递视听感受的视频、电子图书等，要想通过“感觉”的进一步延展更好地认识世界、解放自我，实现多维“感觉”互通与情感交流，必须依赖于移动通信的进一步发展。

通感互联网是一种联动多维感官实现感觉互通的体验传输网络。通过互联基础设施，人们可以充分调动视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉乃至情感并实现这些重要感觉的远程传输与交互。无论身处何处，都可以获得音乐弹奏、美术、运动等技能在真实环境的沉浸式体验，可以感受到真实、不消耗实物的美食、护肤试用体验，可以获得精准操控平台硬件设施的云端协同办公体验。



图 4. 通感互联网

● 孪生体域网

在体域网应用方面，5G 主要实现人体的健康监测以及疾病的初级预防等功能。随着分子通信理论和纳米材料、传感器等关键技术的突破性进展，面向 2030+ 的体域网将进一步实现人体的数字化和医疗的智能化。

孪生体域网应运而生，通过对现实世界人体的数字重构，孪生体域网将构造出虚拟世界个性化的“数字人”。通过对“数字人”的健康监测和管理，可实现人体生命体征全方位精准监测、靶向治疗、病理研究和重疾风险预测等，为人类健康生活提供保障。



图 5. 孪生体域网

● 智能交互

智能交互是智能体（包括人与物）之间产生的智慧交互。现有的智能体交互大多是被动的，依赖于需求的输入，比如人与智慧家居、的语音和视觉交互。

随着 AI 在各领域的全面渗透与深度融合，面向 2030+ 的智能体将被赋予更为智慧的情境感知、自主认知能力，实现情感判断及反馈智能，可产生主动的智慧交互行为，在学习能力共享、生活技能复制、儿童心智成长、老龄群体陪护等方面大有作为。



图 6. 智能交互

3.2.2 智赋生产

智赋生产是面向 2030+ 的生产概念，通过应用新兴信息技术为现有农业生产、工业生产深度赋能，可为生产的健康发展增添强劲动力，进而促进数字经济的迅猛发展。



图 7. 智赋生产

随着 5G 的应用，生产业通过信息化、网联化，将初步实现生产的智慧化。例如无人机等智能设备应用于农业生产，解放人类双手；机器人、VR 等设备也初步应用于制造业中，辅助人类工作，并提高信息获取率和制造效率。随着新技术的进一步发展，未来生产业必将与数字孪生等技术融合发展，走向智赋生产的美好愿景。

● 智赋农业

智赋生产将极大解放农业劳作，提高全要素生产率。融合陆基、空基、天基和海基的“泛在覆盖”网络将进一步解放生产场地，未来信息化的生产场地将不限于地面等常见区域，还可以进一步扩展到水下、太空等场地；数字孪生技术可预先进行农业生产过程模拟推演，对负面因素提前应对，进一步提高农业生产能力与利用效率；同时，

运用信息化手段紧密联接城市消费需求与农产品供给，可为农业产品流注入极大活力，推进智慧农业生态圈建设；大数据、物联网、云计算等技术将支撑更大规模的无人机、机器人、环境监测传感器等智能设备，实现人与物、物与物的全联接，在种植业、林业、畜牧业、渔业等领域大显身手。

● 智赋工业

对于工业生产而言，智赋生产意味着工业化与信息化深度融合。数字孪生技术与工业生产结合，不仅起到预测工业生产发展因素的作用，还可以使实验室中的生产研究借助数字域进行，进一步提高生产创新力。越来越多的智慧工厂将集成人、机、物协同的智慧制造模式，智慧机器人将代替人类和现有的机器人成为敏捷制造的主力军，工业制造更趋于自驱化、智能化。纳米技术的发展将为工业生产各环节的监测和检测过程提供全新方式，纳米机器人等可以成为产品的一部分，对产品进行全生命周期的监控。工业生产、储存和销售方案将得以基于市场数据的实时动态分析，有效保障工业生产利益最大化。

3.2.3 智焕社会

移动通信网络是构建智慧社会的重要基础设施。面向 2030+，移动通信网络是一个融合陆基、空基、天基和海基的“泛在覆盖”通信网络，不仅能极大提升网络性能以支撑基础设施智能化，更能极大延展公共服务覆盖面、缩小不同地区的数字鸿沟，切实提升社会治理精细化水平，从而为构建智慧泛在的美好社会打下坚实基础。

● “泛在覆盖”助力基础设施智能化：超能交通

在当前时代，5G 赋能交通运输业，使交通运输初步实现网联化，并开始走向智慧化，辅助驾驶、远程驾驶和自动驾驶将提升交通安全，提高出行效率。在 2030+时代，交通运输将不限于当前交通模式下的智慧演进，也将描绘出多模态互联交通运输的美好愿景。

在 2030+网络的助力下，无论身处都市、深山亦或高空，人们都将体验到优质网络性能及其带来的智慧服务。例如：超能交通将在交通体验、交通出行、交通环境等方面大放异彩。全自动无人驾驶将大行其道，进一步模糊移动办公、家庭互联、娱乐生活之间的差异，开启人类的互联美好生活。通过有序运作“海-陆-空-太空”多模态交通工具，人们将真正享受到按需定制的立体交通服务。新型特制基站同时覆盖各空间维度的用户、城市上空无人机等，使得无人机路况巡检、超高精度定位等多维合作护航成为可能，为人类塑造可信安全的交通环境。



图 8. 超能交通

● “泛在覆盖”促进公共服务普惠化：精准医疗、普智教育、
虚拟畅游

基于 5G 的高速率、大连接、高可靠、低时延等特性，5G 网络开始提供智慧医疗、远程教育等一系列公共服务，初步改善了城市与乡村医疗资源覆盖不均衡的现象，促进了优质教育资源的共享。然而，为全面实现 2030+公共服务的普惠化，达到“解放自我”的终极目标，需要利用“泛在覆盖”通信网络补盲和延伸地面网络特性，满足偏远地区或地理隔离区域（如海岛、民航客机、远洋船舶）的网络覆盖需求，全面推动教育、医疗、文化旅游等公共服务的发展。

在基于“泛在覆盖”的 6G 网络中，精准医疗将进一步延伸其应用区域，帮助更广域范围的人们构建起与之相应的个性化“数字人”，并在人类的重大疾病风险预测、早期筛查、靶向治疗等方面发挥重要作用，实现医疗健康服务由“以治疗为主”向“以预防为主”的转化。利用全息通信技术与网络中泛在的 AI 算力，6G 时代的普智教育不仅能够实现多人远距离实时交互授课，还可以实现一对一智能化因材施教；数字孪生技术将实现教育方式的个性化和教育手段的智慧化，它可以结合每个个体的特点和差异，实现教育的定制化。“泛在覆盖”通信网络还将结合文化旅游产业发力增效，通过全方位覆盖的全息信息交互，人们可以随时随地共同沉浸到虚拟世界，可入云端观险峰，可入五洋览湍流。

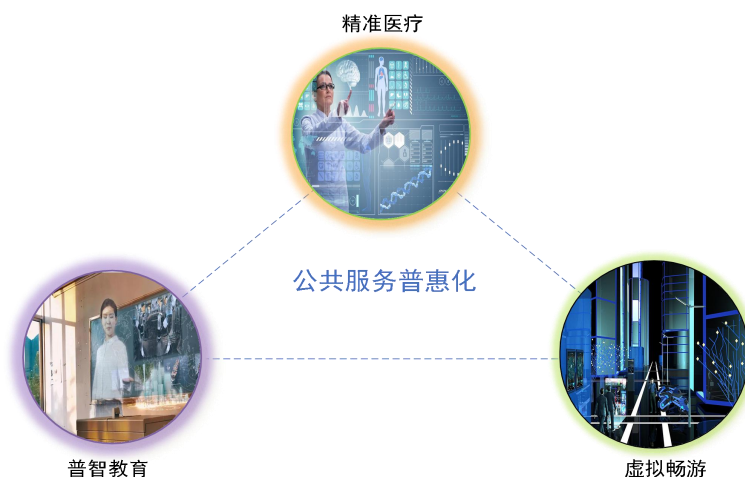


图 9. 公共服务普惠化

- “泛在覆盖”推动社会治理精细化：即时抢险、“无人区”探测

5G 与 IoT 技术的结合，可以支持诸如热点区域安全监控和智慧城市管理等服务。到 2030+，“泛在覆盖”将成为网络的主要形式，完成在深山、深海、沙漠等“无人区”的网络部署，实现空地海全域覆盖，推动社会治理便捷化、精细化与智能化。

依托其覆盖范围广、灵活部署、超低功耗、超高精度和不易受地面灾害影响等特点，“泛在覆盖”通信网络在即时抢险、“无人区”探测等社会治理领域应用前景广阔。例如通过“泛在覆盖”和“数字孪生”技术实现“虚拟数字大楼”的构建，可迅速制定出火灾等灾害发生时的最佳救灾和人员逃生方案；通过“无人区”的实时探测，可以实现诸如台风预警、洪水预警和沙尘暴预警等功能，提前为灾害防范预留时间。

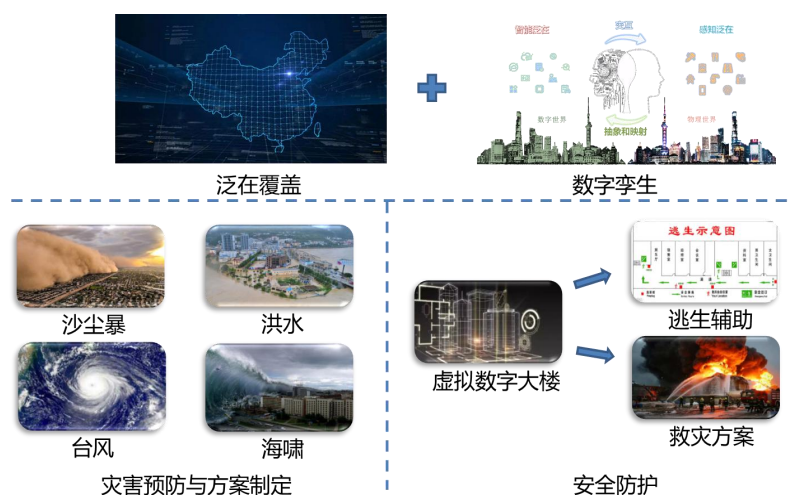


图 10. 社会治理精细化

4 2030+网络性能指标需求

结合上述面向 2030+ 的全新应用场景的预测和相应的业务模式的分析，可以推演出各个场景下的网络性能指标需求。例如，全息通信中，一张全息照片大小为 7~8GByte，折合 56~64Gbit，如果视频也是同样清晰度，考虑 30 帧/秒，折算速率需求为 1.68~1.92Tbps，达到 Tbps 量级^[2]；5G 定义的 ITU 指标仅支持下行 20Gbps，上行 10Gbps 的峰值速率。超能交通场景下，飞机等承载的终端移动速度将超过 1000km/h，需满足超高移速下的超高安全性和超高精度定位需求；5G 定义的 ITU 指标仅支持 500km/h 的移动速度，对安全和定位精度没有定义。诸如此类，对于 2030+ 的应用场景带来的指标需求，仅依靠 5G 现有的网络和技术是难以实现的。

因此，一方面需要推动 5G 技术的演进发展，在现有 5G 能力指标基础上，尽可能提升关键性能指标需求；另一方面需要未来的 6G 网络提供比 5G 更全面的性能指标，如超低时延抖动、超高安全、立

体覆盖、超高定位精度等。

未来网络的需求必将带来新技术的突破，潜在使能技术的研究迫在眉睫，如全频段接入、新型编码技术、超大规模天线、太赫兹和可见光通信、电磁波新维度以及空天地一体化网络^[3-9]等。依赖于上述及其他潜在使能技术，未来的网络能力将得到极大提升，从而可以为用户提供更加丰富的业务和应用。图 11 列出了不同应用场景下的网络性能指标需求和潜在使能技术。

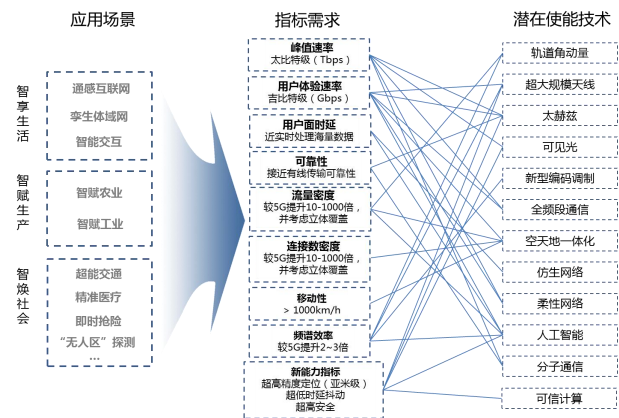


图 11. 2030+网络性能指标需求及潜在技术

5 2030+网络特征构想

结合未来愿景和技术发展趋势，面向 2030+的网络在提升空口能力的基础上，还将具备如下特征：一是按需服务的网络，可以使用户按需获得网络服务和极致网络性能体验；二是支持即插即用的至简网络；三是按需扩展、自治、自演进的柔性网络；四是智慧内生；五是安全内生。智慧内生保障了网络的极简、柔性、感知能力，安全内生则让网络有更强大的免疫能力。基于这些特征，6G 网络将能满足 2030+社会发展的全新需求，并实现“6G 创新世界”的宏伟目标。

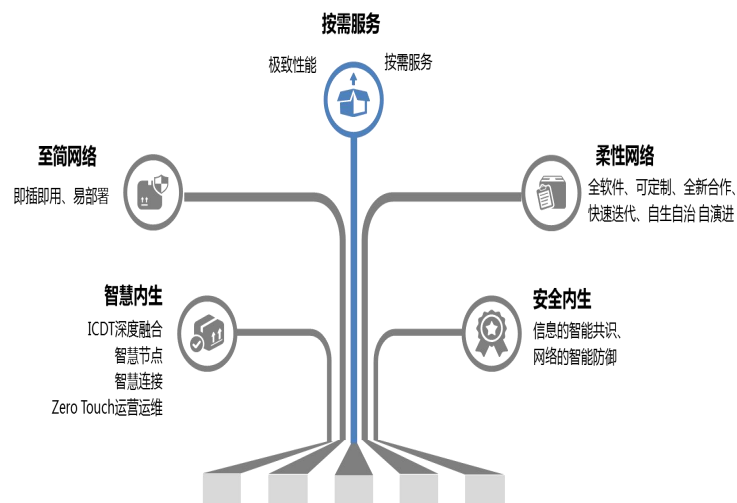


图 12. 2030+网络特征构想

5.1 按需服务的网络

面向未来 2030+的应用，网络除提供极致的性能体验之外，还需构建按需服务的网络。按需服务网络旨在满足用户个性化需求，为用户提供极致性能服务。随着新技术的不断突破与发展，“数字孪生”世界将催生更多新业务、新场景，用户需求趋于多元化和个性化。在面向 2030+的移动通信系统中，按需服务网络将提供动态的、极细粒度的服务能力供给，用户可根据自身需求获得相应的服务种类、服务等级以及不同服务的自由组合等。此外，当用户需求发生改变时，按需服务网络可无缝切换服务方式和内容，实现网络服务能力与用户需求的实时精准匹配，为用户带来极致无差异化的性能体验。



图 13. 按需服务网络

5.2 至简网络

至简网络是未来网络架构演进的重要方向。随着网络规模的不断扩展和复杂度的与日俱增，须对蜂窝网络架构进行革新和极简易化，实现“能力至强，结构至简”。自然界中蚂蚁窝的体积相对单只蚂蚁的比例极大，他们却能够在不断构建扩展蚁窝规模时保障蚁群的高效分工和蚁窝的连通，由此启发我们从仿生学角度去思考未来 6G 网络的结构如何设计。移动通信在网络覆盖上启发自蜂窝，在未来架构演进上或许可以从蚁巢等获得灵感，进一步实现网络的四通八达，信息的快速传递，还可以按照用户需要自然生长、自动演进。

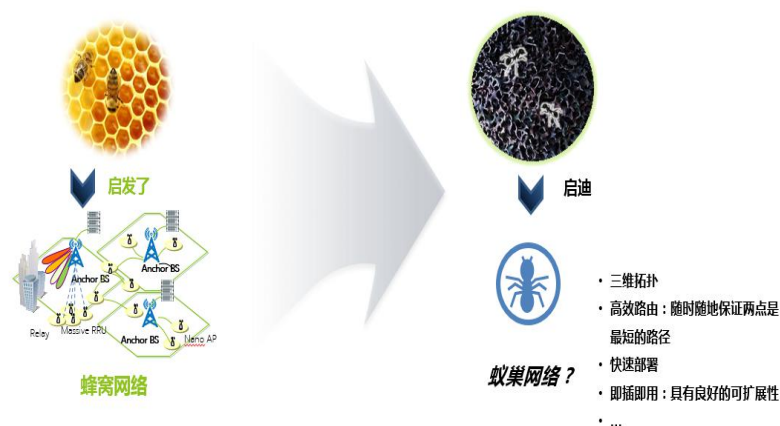


图 14. 至简网络

5.3 柔性网络

柔性网络将使能网络按需扩展并实现网络功能的自我演进，实现“按需伸缩，自主进化”。传统网络是按照所支持的最大容量进行设计和规划，而用户需求和网络负荷则由于用户移动带来的潮汐效应而动态变化。因此，网络性能无法适应业务需求和负荷的变化。面向 2030 的网络需要考虑几个设计手段：全软件定义的端到端网络、网络协议的前向兼容性设计、去小区的网络结构，以用户为中心实现网络自治与自演进。



图 15. 柔性网络

5.4 智慧内生

智慧内生将实现 AI 能力的全网渗透，实现“网络无所不达，算力无处不在，智能无处不及”。通过网络与计算深度融合形成的基础设施，为 AI 提供无处不在的算力，从而实现无所不及的泛在智能^[10]。基于智慧内生的网络结合网络自动化、AI 及大数据能力，实现 Zero Touch 运营运维。智慧内生网络还可以通过自聚焦的方式，有效满足不断出现的新需求，使能资源管理的智慧决策，降低成本并提高效率，实现数字转型^[11]。

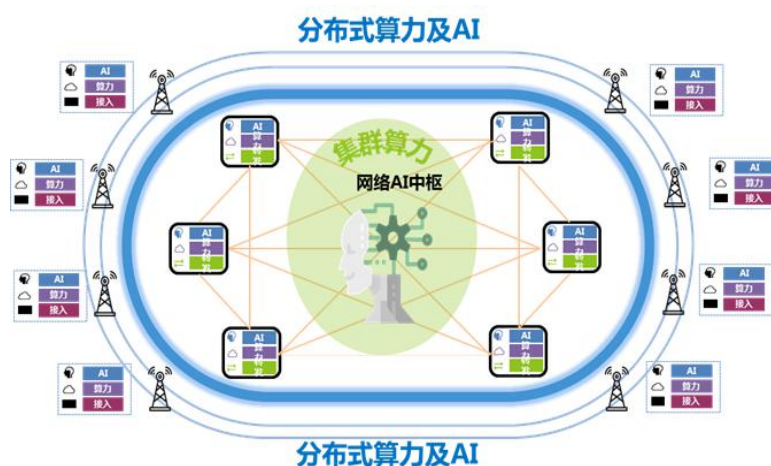


图 16. 智慧内生

5.5 安全内生

安全内生的网络实时监控安全状态并预判潜在风险，抵御攻击与预测危险相结合，从而实现智能化的内生安全，即“风险预判，主动免疫”。智能共识，通过联网的智能主体间的交互和协同形成共识，并基于共识来排除干扰，为信息和数据提供高安全等级。智能防御，基于 AI 和大数据技术，精准部署安全功能并优化安全策略，实现主

动的纵深安全防御。可信增强，使用可信计算技术，为网络基础设施、软件等提供主动免疫功能，增强基础平台的安全水平。泛在协同，通过端、边、管、云的泛在协同，准确感知整个系统安全态势、敏捷处置安全风险。网络将实现由互联网安全向网络空间安全的全面升级。

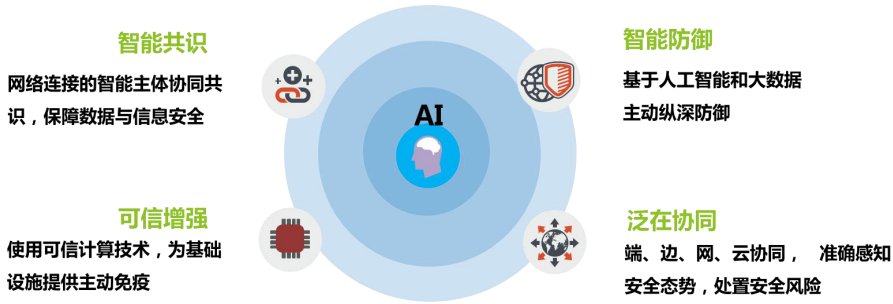


图 17.安全内生

6 结束语

信息通信技术的快速发展加速了整个社会的信息化和数字化，推动着人类社会走向虚拟与现实相结合的数字孪生世界。“创新、协调、绿色、开放、共享”是整个信息通信行业发展的必由之路。面向 2030+ 的社会发展，新的应用场景将层出不穷，如孪生体域网、超能交通、智能交互、通感互联网等，它们对未来移动通信网络的性能指标提出了更高的要求，包括超高峰值速率、超低时延抖动、三维覆盖、超精定位等，同时对网络的服务形式、部署与发展等都提出更高的要求，按需服务网络、至简网络、柔性网络、智慧内生、安全内生等将成为未来网络的基本特征，通过智享生活、智赋生产和智焕社会，共同实现“数字孪生”的美好世界。

目前，面向 2030+ 的移动通信系统的愿景与发展需求还处于探索阶段，业界并未得到统一的定义。预计未来几年，世界各国将在技术路线和发展愿景上逐渐达成共识。中国移动践行“创新驱动发展”的理念，将持续加大基础研发投入，从新材料、新需求、新理论、新技术等维度出发，构建产、学、研协同创新平台，共谋移动通信行业的可持续发展，共同实现“6G 创新世界”的伟大梦想！

参考文献

- [1] 李正茂. 通信 4.0: 重新发明通信网[M]. 中信出版社: 北京, 2016: 36-48.
- [2] E. C. Strinati et al., "6G: The Next Frontier: From Holographic Messaging to Artificial Intelligence Using Subterahertz and Visible Light Communication," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 14, no. 3, pp. 42-50, Sept. 2019.
- [3] M. Mozaffari, A. T. Z. Kasgari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Beyond 5G With UAVs: Foundations of a 3D Wireless Cellular Network," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 1, pp. 357-372, Jan. 2019.
- [4] D. Li, "Overlapped Multiplexing Principle and an Improved Capacity on Additive White Gaussian Noise Channel," IEEE Access, vol. 6, pp. 6840-6848, 2017.
- [5] E. Björnson, L. Sanguinetti, H. Wymeersch, J. Hoydis, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO is a reality—What is next? Five promising research directions for antenna arrays," Digital Signal Processing, vol. 94, pp. 3-20, Nov. 2019.
- [6] W. Cheng, W. Zhang, H. Jing, S. Gao, and H. Zhang, "Orbital Angular Momentum for Wireless Communications," IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2019.
- [7] H. Yao, L. Wang, X. Wang, Z. Lu, and Y. Liu, "The Space-Terrestrial Integrated Network: An Overview," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 9, pp. 178–185, Sept. 2018.
- [8] A. Boulogeorgos et al., "Terahertz Technologies to Deliver Optical Network Quality of Experience in Wireless Systems Beyond 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 6, pp. 144–151, Jun. 2018.
- [9] P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, "Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, 4th Quart. 2015.
- [10] M. Elsayed and M. Erol-Kantarci, "AI-Enabled Future Wireless Networks: Challenges, Opportunities, and Open Issues," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 14, no. 3, pp. 70-77, Sept. 2019.
- [11] Z. Zhang et al. "6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol.14, no. 3, pp. 28-41, Sept. 2019.

