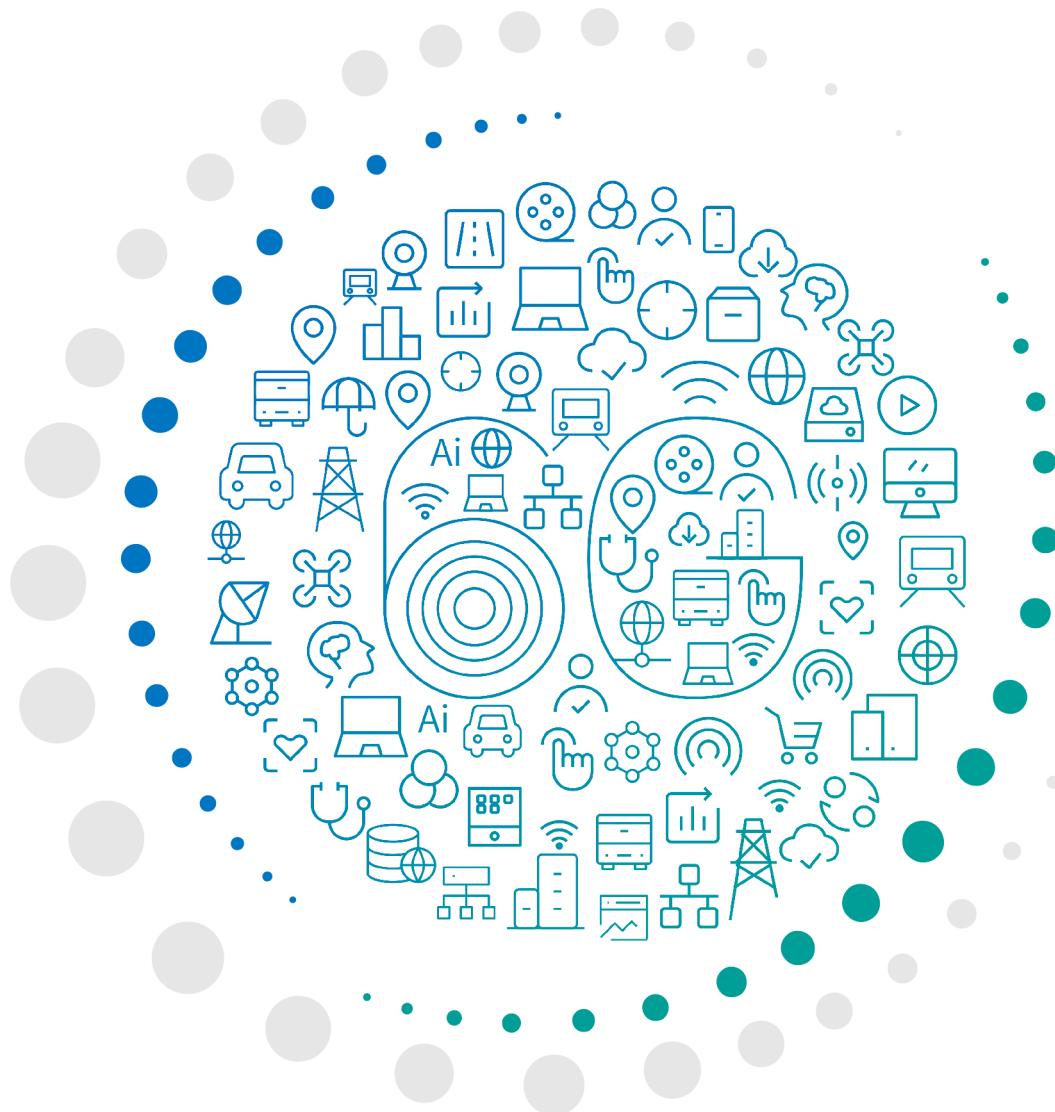


# 全域覆盖 场景智联

—6G场景、能力与技术引擎白皮书(V.2021)



中信科移动通信技术股份有限公司  
无线移动通信国家重点实验室(中国信科)

# 6G 场景、能力与技术引擎白皮书（V.2021）

本白皮书版权专属中信科移动通信技术股份有限公司（以下简称“中信科移动”）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，中信科移动将追究其法律和商业道德之责任。

# 目 录 CONTENTS

---

●○ 序 .....	01
●○ 6G研究的现状与进展 .....	02
· 5G 的延伸 .....	02
· 6G 发展现状 .....	03
●○ 6G愿景 .....	06
· 场景提炼 .....	06
· 能力要求 .....	07
· 网络智能能力 .....	10
· 可信安全能力 .....	10
· 可编程能力 .....	10
· 算网协同能力 .....	11
· 立体组网能力 .....	11
· 网络感知能力 .....	11
●○ 6G技术引擎 .....	12
· 空天地融合技术 .....	12
· 超维度天线技术 .....	14
· 高精度定位技术 .....	16
· 编码技术 .....	17
· 新型多址接入技术 .....	19
· 通信感知一体化技术 .....	20
· 灵活频谱共享技术 .....	21
· 太赫兹技术 .....	23
· 可编程网络 .....	25
· 网络智能 .....	26
· 6G 安全 .....	28
· 确定性网络 .....	29
· 算力网络 .....	31
· 智能网络架构 .....	32
●○ 结束语 .....	35
· 缩略语 .....	36



# 序

中信科移动通信技术股份有限公司（后简称中信科移动）、无线移动通信国家重点实验室（中国信科）于 2020 年底联合发布《全域覆盖·场景智联 - 6G 愿景与技术趋势白皮书》的一年以来，6G 愿景、需求、能力以及关键技术的研究，也成为通信学术界、产业界以及标准化组织中热烈讨论的焦点议题。在 6G 研究行业大潮的推动，以及国内各相关组织指导下，中信科移动、无线移动通信国家重点实验室（中国信科）的 6G 专家团队在 6G 的各个新领域中持续深入探索。2021 年的这本白皮书进一步深入地阐述了这一年来对 6G 研究当前阶段的现状与进展、6G 愿景的进一步认识以及多个具有市场潜力的具体 6G 技术浅析。

# 6G研究的现状与进展

## 5G的延伸

IMT-2020（5G）技术于2020年底在ITU正式发布成为全球5G核心标准，5G技术在全球范围大规模商用化，快速地进行产业化落地。截止2021年10月份，中国5G基站数量达到129万站，5G终端用户达到4.5亿户。

一方面在以产业公司为主的标准组织中，例如3GPP，对于5G技术进行了演进性的增强，在今年提出了5G-Advanced（简称“5G-A”）的标准发展阶段，其中也不乏为6G准备而开展的技术研究。

5G-A在3GPP中从Rel-18启动，目前在无线接入网和网络技术均进行了技术的持续演进和标准化。无线接入网（RAN）方面着重在性能、垂直行业创新应用和面向未来的新技术探索。性能方面将通过多天线和其它相关的物理层技术增强，继续全面提升上、下行频谱效率，并解决上行覆盖的短板，缩小上下行的性能差距；将包含全双工和动态TDD帧结构等增强，探索相应的干扰检测和管理方案，显著提升系统容量并降低传输时延；也将进一步研究网络能耗的科学评估方法以及网络节能机制，顺应低碳和绿色网络的趋势。为更好地支持垂直行业创新应用，3GPP继续推动非地面网络（NTN）、高精度定位、NR广播多播、Sidelink和无人机（UAV）等技术的演进。对于新型业务XR、cloud gaming，3GPP也展开了流量模型、QoS需求等业务特征，以及针对终端能耗及系统容量的建模和评

估方面的研究，进一步探索技术增强方案。人工智能和机器学习（AI&ML）应用于无线接入网的工作将会在5G-A的演进中不断深入，具体将探索AI&ML用于优化负载均衡、节能和移动性管理等场景，研究和标准化相应的网络接口、信令和流程，也将探索AI&ML在空中接口，特别是物理层优化中的应用场景，包含信道估计和反馈、波束管理，以及高精度定位以及合理的建模和评估方式。

网络技术方面，目前3GPP在网络人工智能、卫星网络等方向已经开展了标准化工作。在网络人工智能方向，3GPP SA2在Rel-15引入了网络数据分析功能（NWDAF），自动为网络提供特定的网络数据分析。在Rel-16中对5G系统架构进行了增强以支持网络数据分析服务，定义了标准化框架来实现数据收集并向消费者提供分析；在Rel-17主要研究通过网络数据分析支持网络自动化；并将在Rel-18继续对网络人工智能技术进行进一步的研究，以适应不断增长的网络人工智能需求。在卫星网络方向，3GPP SA2在Rel-17开始进行标准化工作，只是针对透明模式进行了架构上的一些增强。在Rel-18的立项中，除了网络人工智能和卫星方向外，也有关于通信与感知融合、算力网络等方向的研究立项提出。

另一方面随着5G商业化，业界也普遍发现了一些痛点和难点，例如难以寻求突破性的应用，难以寻求更高的增长点。

## 6G发展现状

ITU-R WP5D负责IMT无线通信研究和标准化，包含IMT-2000(3G)、IMT-Advanced(4G)、IMT-2020(5G)以及当前开展的IMT for 2030 and beyond(6G)。

面向新一轮启动的6G无线通信系统工作，除了在2020年2月启动的《未来技术趋势》报告(Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS])重点关注6G的无线技术外，在2021年分别启动了《IMT愿景》(ITU-R M.[IMT.VISION 2030 and Beyond])建议书和《100GHz以上频段的IMT技术可行性》报告(Report ITU-R M.[IMT.Above 100 GHz Technical feasibility of IMT in bands above 100 GHz])的相关工作。

对于6G的无线技术，未来技术趋势报告草案收到了超过十余个国家、技术与标准化组织以及联署公司的多轮输入，在当前阶段整理了AI、通信感知一体化等8个主要的新兴技术趋势和使能技术方向，极致MIMO、新型编码、定位等8个用于空口增强的技术方向，新型网络架构与卫星网络互通等9个用于无线网络增强的技术方向，以及2个面向终端的技术方向。虽然技术方向的具体内容仍然有待进一步讨论和收敛，但已为6G技术演进展开了幅全面丰富的整体画卷，该报告预计将在2022年完成。

6G的IMT愿景建议书在用例、应用趋势、使用场景以及彼此的关系展开广泛的讨论，并将逐步开展6G关键能力、演进目标等议题。这项6G的愿景研究将在2023年世界无线电通信大会(WRC-23)之前完成，届时由各国、业内组织、企业共同商讨的6G愿景建议书，将作为下一代移动通信工作开展的关键指南。

无论是未来技术趋势报告，还是愿景建议书，相比于5G时间线，规划节奏均有提前，各成员单位及外部组织输入空前踊跃积极。同时ITU-R WP5D对6G关键时间线及工作计划展开热烈的讨论，目前已明确将在2030年发布6G移动通信全球核心标准，面向2030年的6G标准时间规划也将于2022年公布。

同时在网络方面，ITU-T负责电信标准的SG13工作组在2022-2023年研究周期开展了多项IMT-2030网络架构及关键技术的标准化工作，包括确定性网络技术、天地融合网络技术、算力网络技术、基于意图的网络技术、网络人工智能技术、区块链安全技术等。ITU-T已经开始布局AI/ML、算力网络、云网协同、天地一体化等新兴技术方向，提前储备5G-A和6G关键使能技术。

除了标准组织，以政府为代表的区域性组织及各类国际性组织，均在从事6G的相关活动。

欧盟在Horizon 2020框架下成立了Hexa-X项目，提出“通过6G技术搭建的网络连接人、物理和数字世界”的愿景，关注的重点技术方向为太赫兹技术、高精度定位和无线成像、AI/ML驱动的无线接入网技术、未来网络架构等。

北美ATIS主导成立了面向6G的“Next G”联盟，着力开展支持AI的高级网络和服务、多接入网络服务技术、智能医疗保健网络服务、多感测应用、触觉互联网和超高分辨率3D影像等研究方向。此外，美国FCC及多个高校正在从事太赫兹技术的研究，Space-X、OneWeb、Amazon等纷纷推出卫星互联网计划，作为后续6G的潜在赋能技术。

日本成立了B5G推进联盟(B5GPC: Beyond

5G Promotion Consortium ),将太赫兹技术列为“国家支柱技术十大重点战略目标”之首,把“光半导体”作为支撑 6G 的信息处理技术,积极开展多项技术研发试验。

韩国的 5G Forum 发布了 6G 愿景 1.0 版本,积极推进卫星通信、量子密码和通信、6G 通信和自主导航业务、100GHz 以上超高频段无线器件等技术研发。

6G Flagship 依托芬兰 Oulu 大学开展了三届 6G 技术峰会,具有浓厚的学术色彩,推出了远程区域的连接、6G 网络、6G 无线通信网的机器学习、边缘智能、宽带连接、安全、高要求和大连接机器通信、定位和感知、频谱等多个方向的 6G 白皮书。

各个组织除外,6G 也是学术界的热门话题,自 2019 年 IEEE 的知名学术会议和研讨会均有 6G 相关的议题,并且议题数目和论文数目逐年增多。例如,2021 年 6 月,IEEE ICC 以“Connectivity - Security - Privacy”为主题,针对 6G 开展“6G 用例、需求、路标”、“6G 之路——关键技术及对 6G 架构的影响”的技术议题,以及 6 个 6G 主题的 Workshop,包括:6G 新兴主题,多址接入,OTFS 波形,面向 6G 连接的极端 URLLC,未来网络的超高速、低延迟和大规模通信,卫星巨型星座。2021 年 12 月,IEEE GLOBECOM 以“Connecting Cultures around the Globe”为主题,设立了 5 个 Workshop 来探讨 6G,包括通信系统网络管理、新兴话题、可信通信、联邦学习、网络人工智能。

中国也一直在积极开展 6G 研究,目前国内有多个组织在进行积极推进。

IMT-2030 ( 6G ) 推进组于 2021 年 6 月发布了

《6G 总体愿景与潜在关键技术》白皮书,提出沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智慧交互、通信感知、普惠智能、数字孪生、全域覆盖共八大应用场景,展望了内生智能的新型网络、增强型无线空口技术、新物理维度无线传输技术、太赫兹与可见光通信技术、通信感知一体化、分布式自治网络架构、确定性网络、算力感知网络、星地一体融合组网、支持多模信任的网络内生安全共十大关键技术方向。2021 年 9 月,IMT-2030 推进组进一步召开了以“6G 愿景展望”为主题的 6G 研讨会,围绕 6G 无线融合通信及新频段技术、6G 新物理维度及技术研究、6G 网络架构与技术等三个领域进行了 10 场技术主题研讨,并发布了《6G 网络架构愿景与关键技术展望》白皮书,以及《超大规模天线技术》等 6 份研究报告。

FuTURE 论坛的 5G/6G SIG 探讨 6G 的潜在关键技术,包括 ICDT 融合的 6G 网络、感知通信计算融合、空天地融合通信系统、面向云网融合服务的 6G 网络技术、6G 新天线技术、面向 6G 的数字孪生技术、新型多址接入技术等,目前已发布了 10 余本 6G 关键技术白皮书。2020 年, FuTURE 论坛举办了全球 6G 技术大会。

中国通信标准化协会 ( CCSA ) 下属无线通信委员会前沿技术组 ( TC5WG6 ) 也发起了 10 余项 6G 相关的研究课题,并于 2020 年完成了《无线新技术》、《后 5G 愿景与需求》等课题的研究工作,目前正在进一步探讨无线网络架构、通信感知融合、智能超表面、内生智能、多频段融合组网等关键技术方向。

此外,新兴组织 6GAN 于 2021 年成立,聚焦 6G Network AI,从技术和生态角度,积极推动人工智能成为 6G 网络的内生能力和服务 ( AlaaS )。

在这一年中，国际和国内都持续开展了大量 6G 相关的研究工作。在权威标准化组织 ITU 开展的早期工作中，6G 愿景与未来技术趋势的研究相比于 5G 时期，不仅时间规划提前 2-3 年，各成员单位的参与研究与积极输入的程度也是空前高涨，几乎在各个学术界和工业界涉及的潜在方向上都可以观察到相应的思考和研究。同时我们也观察到国际上有更多面向 6G 研究的新成立组织加入，更好地支撑技术的演进和创新。业界对于 6G 研究的工作模式和方法上也在开展积极探讨，希望借鉴 5G 以及以往几代的经验，更好地探索 6G 之路。预计 ITU 还需要 2 年左右的时间确定 6G 愿景，主要包括场景和能力，之后的 3 年具体开展性能指标和评估指南的制定，3GPP 预期在 2025 年左右正式启动 6G 标准制定工作，满足 ITU 在 2030 年完成 6G 的全球标准发布需求。大规模的技术试验验证和产品研发工作，预期也将伴随着技术研究和标准制定工作逐步开展，确保在 2030 年左右 6G

网络能够正式投入商用。

在各个组织中，传统的通信技术仍在进一步增强和演进中，如 MIMO 技术、NTN、高精度定位等，未来也期待这些演进的技术在 6G 中有更深厚的开拓土壤。5G 后期进一步加快了 2C 和 2B 领域业务的发展，推动了 ICT 等领域融合，6G 可持续发展也离不开与 IT、DT 和 OT 领域技术融合的深化，而智能化也贯穿在各领域及其融合深化上，由此业界也提出了 ADOICT 的概念。未来的 6G 网络，更多的元素将进入系统研究的范畴，具体包括：AI 能力支撑内生智能，助力无线网络增效降本；感知功能通过通信系统获得新的实现方式，同时助力通信系统更为精准高效；云化和虚拟化的进一步深入应用，将成为未来通信架构的主流；数据安全和隐私保护技术将保障用户对数据的自主控制；安全内生的机制，解决分布式的网络架构导致的安全边界模糊的潜在问题；星地融合立体覆盖，将极大扩展移动通信网络的应用空间等。



# 6G 愿景

## 场景提炼

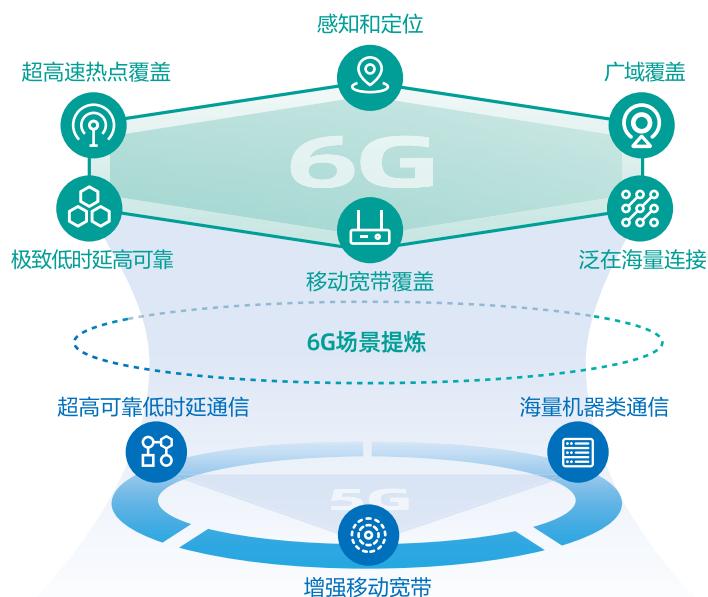


图 2-1 6G 场景提炼

图 2-1 呈现了 6G 场景提炼的方式。其中包含全网覆盖能力，代表移动宽带在空间、地面的服务能力，以及在热点区域提供的超高容量，同时也体现对 2B 业务、垂直行业与物联网连接特性等服务能力的拓展。扩展且具有业务针对性的覆盖能力可以有效地支撑新服务新业务所需覆盖，保障通信以及新功能，例如广域覆盖和移动宽带宏覆盖支持富场景的海量连接，而热点覆盖和移动宽带宏覆盖可支持低时延高可靠需要服务的场景。

### 6G 全网覆盖分为三种场景：

- 广域覆盖：强调未来支持超大覆盖半径、全球覆盖和立体覆盖为特征的移动覆盖，关注大覆盖范围与部署经济性间的平衡；
- 移动宽带覆盖：强调注重频谱效率，关注传输速率与覆盖范围平衡的移动宽带传输场景；
- 热点覆盖：强调以高速峰值传输、小范围覆盖为特征的场景。

## 6G 提供连接特性分为三种场景：

- 极致低时延高可靠：强调在 5G 低时延高可靠场景上，除了原有的指标进一步提高外，更是增加了传输时延确定性需求；
- 泛在海量连接：强调在 5G 海量连接基础上，除了连接数量提高以外，更是增加了传输速率要

求，要求支持中低传输速率，以支持更多场景下应用低功耗海量终端的场景；

• 感知与定位：强调在通信感知一体化上，提升感知分辨率与定位的精度。

## 能力要求

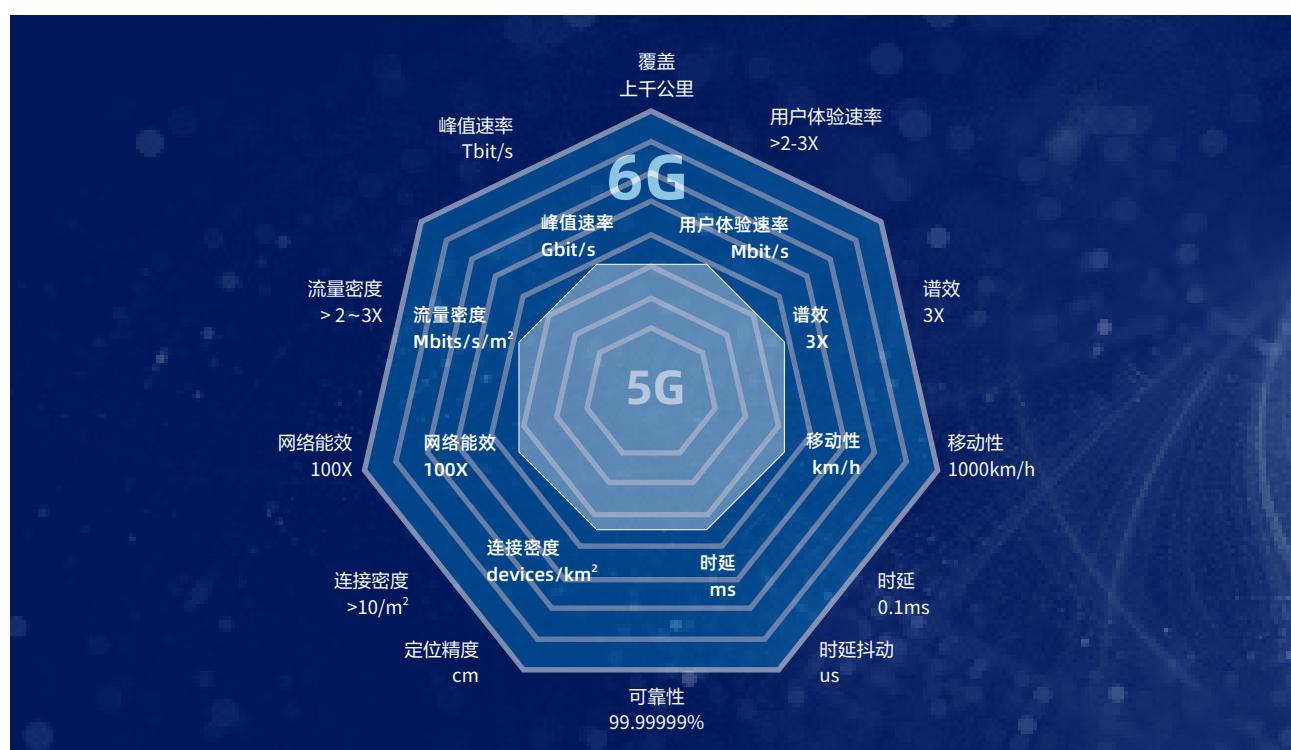


图 2-2 6G 关键能力

6G 的无线接入网性能指标不仅包含 5G 愿景 (Ref. ITU-R M.2083) 中已经涉及的八大关键性能指标——峰值速率、谱效、用户体验速率、区域流量密度、网络能效、移动性、连接密度以及时延的进一步提升，预计也将包含未来网络新的重要指标，如覆盖、可靠性、时延抖动和定位精度等，来支持更为宽广的场景和业务需求。在考虑这些指标时，也应同时考虑未来有哪些潜在的演进或者创新技术来进行支撑。

图 2-2 是 5G 和 6G 关键能力的对比图。其中 IMT-2020(5G) 的八大关键性能的参考取值来自于 2015 年 ITU 发布的 M.2083 ( 5G 愿景建议书 )，也最终用于评估 ITU 的 5G 空口技术。至 2020 年，对于 5G 的三大使用场景，5G 技术的不断演进已经一定程度超越 5 年前所制定的要求，但 6G 新兴业务带来的需求将大幅提升。在本图中，也展现了我们对于 6G 空口技术指标的期待。



## 峰值速率

单用户在理想条件下的最大可达数据速率，该指标与天线传输流数、编码码率、调制阶数与频谱带宽直接相关。相比于 5G 下行峰值速率要求 20Gbits/s，6G 中出现的新型应用与业务，例如 XR、全息呈现等，要求的峰值速率达到 Tbits/s 量级。6G 需要通过超维度天线技术、先进的编码和调制技术以及超高频点 (THz) 提供超高带宽来实现。



谱效包含峰值谱效、平均谱效和 5% 用户谱效，相比于 5G 增强的移动宽带场景，期待 6G 有 2~3 倍的提升，具体的谱效提升在不同的场景中会有差异。主要需要超维度天线技术、AI 技术、新型波形和双工等技术来实现。



## 网络能效

全球面对气候变化问题要努力达成节能减排的“双碳”目标。对于无线移动通信网络，随着带宽的增加和高频段的使用，现有网络能耗在不断增长。我们期待在网络容量和用户传输速率要求不断提高的同时，网络能效，即单位能耗单位面积下所能传输的数据量，也能随之提高，实现绿色节能。

## 移动性

移动性的性能要求在不同的环境下，满足不同移动速度用户的业务服务需求。在 5G 阶段，针对高铁等高速移动场景，最高速度要求 500 km/h；在 6G 阶段，为支持广域的移动覆盖，考虑飞机等高速运动场景，期待可以支持大于 1000 km/h 的移动速度。这需要更为先进的编码、信号处理、超维度天线和移动性管理等技术。



## 移动性

连接密度主要面向需要海量连接数的业务，表征单位区域内支持的满足特定服务质量的设备数量。5G 在相对稀疏的业务模型下要求每平方公里百万连接数，即每平米 1 个用户。6G 为满足智能家庭、智慧城市、医疗健康与农业、工业的发展，面向物联网的泛在连接将是主要应用场景，我们期待在更密集、数据量更高的海量连接业务中，可以通过更为先进的网络架构、无线接入技术以及多址技术等达到每平米 10 以上接入设备的水平。



## 连接密度

无论是强调呈现带给人类感官感受的新业务，例如 XR 和全息呈现，还是垂直行业中精密制造、远程驾驶、精准医疗带来的需求，业界对于时延都有进一步降低的追求。用户面空口传输时延期待从 5G 的 1ms 缩短到 0.1ms 的量级。



## 时延



### 可靠性

可靠性是在预定的时间内传输一定量业务包并达到高成功率的能力。在 6G 超高可靠和低时延的垂直行业应用，可以通过更为先进的物理层和高层技术叠加进一步提升该性能，成功率将实现  $1 \cdot 10^{-7}$ ，相对 5G 要求有百倍提升。



### 时延抖动

在确定性网络中为保障传输和中间节点环节不出现额外延时抖动，需要保证数据包到达的偏差时间范围。从目前工业界提出的要求来看，该指标至少达到 us 量级。

在 5G 阶段，对于普通的商业需求和工业物联网场景均出现了对于定位精度的性能目标，特别是对于卫星难于正常定位的室内环境。上述需求驱动了利用无线通信技术定位的增强及创新技术，这将在 6G 中结合感知技术进一步发展。6G 潜在的定位精度要求期待可以控制在厘米级，以提供更为精准的定位服务。



### 定位精度

传统移动通信网络覆盖半径有限，主要针对人口密集区域。6G 支持天地融合全域立体覆盖，可将小区覆盖大幅提升，通过星地融合通信，期待单小区覆盖最大半径至少达到上千公里。



### 小区覆盖范围

以上预测的关键性能指标对于图 2-1 中的各个提炼场景的相关性以及要求程度是有所不同的。在广域覆盖场景中，单小区覆盖能力指标最为重要，而增强的谱效、移动性对于宽带移动场景，超高速率、较低时延对于热点覆盖高速率场景中更为关键。在泛在海量连接场景，在较低时延的前提下，支持更高数量的设备接入是迫切需要的，而且相对于 5G 只能支持低速率的海量传输，6G 支持的速率将进一步增强。在确定性低时延高可靠场景，低时延高可靠是基本要求，同时为了满足工业确定性传输要求，时延抖动、稳定性至关重要。而对于高分辨率感知和高精度定位场景，通过通信与感知融合，可以利用通信信号实现对物体的精细化感知与高精度定位，满足大量不同业务的需求，同时，通过对物体的感知与定位也可进一步提升通信性能。

在 6G 的研究中，系统和网络能力也尤为重要，这些能力支撑未来的通信系统更强大、智能和可信：



## 网络智能能力 >

网络智能内生目前已成为业界公认的 6G 网络关键能力和重要特征之一。6G 网络智能内生能力即为内生自主化的智能能力。在适应全行业和提供差异化服务方面，利用各行业的数据，推理并自构建适应各行业最佳的网络架构、功能和服务，最大化的满足各行业极致的差异化需求；在对外提供 AI 服务方面，借由泛在的 AI 能力，自主为第三方 AI 服务需求编排 AI 服务资源，提供精准的 AI 服务能力。

6G 智能内生网络将具备“一超多体智能化”的特征。“一超”即为网络中央的超能大脑，解决网络全局性的问题，协调层级间和域间的 AI 任务；“多体”即为分层分域、全行业具备的差异化智能能力，“多体”的“个体”可以本地化处理个体管理域内的 AI 任务，“个体”的智能环境和功能将根据需求差异化构建；“智能化”即为网络中各网元、信息处理单元、管理功能模块等都将原生具备可部署 AI 环境的能力，网络的每个组成部分都可部署 AI 能力。

## 可信安全能力 >

6G 的万物智联、感知通信等新一代的通信服务要求提供多方、跨域的安全可信体系；工业互联网、大数据服务、边缘计算、设施虚拟化等技术与信息通信技术的融合使得 6G 网络安全边界愈发模糊。因此，传统的安全信任模型不再能够满足 6G 网络安全需求，需要不仅能够支持中心化还能支持去中心化和分布式的多种信任模式共存。

安全可信的网络能力是构建一个多种网络技术共存、多运营主体协同运作、多层次异构的 6G 网络关键基础。通过灵活扩展的分布式架构可实现灵活、普适的组网，而安全可信也需要借鉴去中心化的管理控制理念，追求灵活的身份认证和可靠的数据保护机制，同时提升安全架构的可扩展性和灵活性。可信的网络能力要求在对网络和用户的行为可预期与可管理的基础上，同时能够满足人们对于个人信息和隐私保护的需求。可信网络应围绕移动网络中各方信任的维护和行为管理形成一个有机整体。

## 可编程能力 >

面向 2030 年“海量级、人机物、天地融合、安全、感知、智能”的 6G 网络愿景驱动了网络架构向分布式、可编程和标准化演进。为了应对业务动态变化以及网络灵活扩展的需求，6G 网络应具备按需部署网络功能或服务的能力，以及网络资源动态编排和按需调度的能力。因此，6G 网络将从以“控制面”为中心的可编程转变到了“控制面”和“用户面”的深度可编程。6G 网络端到端的可编程技术可以为用户提供更好的网络性能和业务编排能力，实现以用户为中心的网络架构。

可编程技术作为满足业务需求动态变化、网络灵活扩展、快速部署网络应用、灵活编排和资源调度的关键网络能力，各个网元均应支持控制面和数据面的可编程，构建灵活的端到端可编程网络，实现网络资源的智能管控。通过网络资源的动态调配、

智能的策略下发、服务的按需定制、业务的适配编排和快速部署、应用分布式部署等机制构建一个弹性自治、可重构柔性、自主可控、安全内生、虚拟共生、泛在融合、智简的可编程网络。

## 算网协同能力 >

随着 6G 新业务和新技术的不断涌现和发展，6G 网络将是集通信、计算和存储为一体的信息系统，6G 网络和计算融合已经成为 6G 的重要特性。随着信息化进程以及全球互联互通技术的发展，计算及存储的服务架构不断演进，从以集约化为主的中心云方式向到计算能力下沉的边缘计算发展，新兴应用驱动数据处理越来越向边端扩散，形成“云、边、端”三级异构计算部署模式，通过广泛分布在云、边、端的计算及存储能力的协同，来满足海量、分散的数据处理场景。

在网络和计算深度融合的趋势下，6G 网络需要提供算网协同能力，实现云、边、网高效协同。6G 网络通过网络和计算实时感知和高度协同，基于用户的业务需求、网络资源状况和计算资源状况，通过灵活动态的资源调度，快速将网络和算力资源匹配至最优，提高网络资源和计算资源利用效率，满足不同应用对计算能力的需求。6G 网络通过网络资源和计算资源的全面融合，实现计算能力通过网络内生，网络提供泛在协同的连接与计算服务。

## 立体组网能力 >

6G 网络为了实现全球立体覆盖，满足地表及立体空间的全域、全天候的泛在覆盖需求，通过星地融合通信的多接入融合体制，实现天基、空基网络与地面移动通信网络的深度融合，组成天地融合立体网络，实现用户随时随地按需接入。

为了应对卫星快速动态拓扑变化、发送功率受限、信息处理能力受限、传输时延大的特点，

面向 6G 的星地融合网络将卫星和地面移动通信网络在网络架构、网络功能和空中接口传输，以及无线资源管理和调度等方面进行深度融合，通过统一的用户管理和安全机制实现全网统一网络管理。

星地融合网络将利用分布式人工智能、SDN、NFV 等技术建立可按需调整、弹性伸缩、具有自组织、自演进能力的分布式网络，尽量减少网络层级、接入类型、数量和接口，降低运营和维护的复杂性和成本。星地融合网络应具备可编程能力，实现网络的灵活可控制、融合可演进、以及弹性可定制的特征，便于网络和业务的快速部署和保障，让网络更加智能和灵活，具有更高的适应性和灵活弹性。

## 网络感知能力 >

为了充分挖掘无线信号的潜力，5G 已经部分支持基于蜂窝无线信号的较高精度定位能力，6G 将进一步支持更广泛的无线感知能力，比如雷达、成像等，以获得目标、环境、物质等多维度多层次的感知信息，服务于产业升级、社会治理和智慧生活。

通信与感知可以在业务层面、服务层面、空口层面等多个层次进行融合，从而实现两者的互利互惠。利用多维度多层次的无线感知数据，6G 可以实现在用户终端、目标物体以及用户环境时变的情况下的服务场景实时多维刻画，从而可以更精确地进行动态调度、传输方案选择、波束管理、算法参数配置等，提升无线通信的能力。特别的，利用无线感知的主动数据获取能力，可以为人工智能技术的应用提供了更丰富的数据来源，从而提升 6G 网络的智能化能力。

除了对通信和网络能力的提升外，利用 6G 网络，可以对感知数据进行分布式的传递、汇总与融合，拓展感知的广度、深度，提高感知的准确性、时效性，从而提升无线感知的服务能力。

# — 三 —

## 6G 技术引擎

随着学术界以及产业界的不断探索和研究，一方面传统的通信技术进入了新的演进和增强的阶段，另一方面也涌现出众多的创新技术，将有效的支撑 6G 提出的诸多场景和能力需求，成为不可或缺的技术引擎。

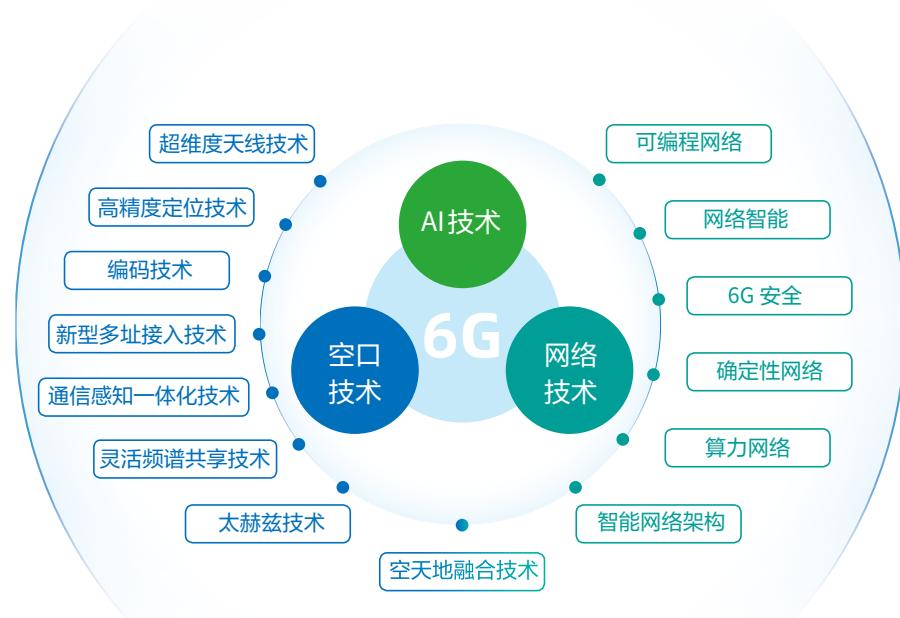


图 3-1 6G 技术引擎

### 空天地融合技术

在“万物互联、全球覆盖、泛在智能”等需求的多重驱动下，6G 网络应能在任何地点、任何时间、以任何方式为用户提供服务，实现全场景全域下各类用户的接入。由于卫星移动通信网络在覆盖范围和移动接入等方面与地面移动通信网络具有极强的

互补性，构建统一的空天地融合网络成为 6G 网络的重要特征。6G 网络将通过高轨卫星网络（GEO）、中低轨卫星网络（MEO/LEO）、临空网络和地面蜂窝网络等共同组成立体覆盖移动通信网络，实现全球无盲区宽带移动通信的发展目标。

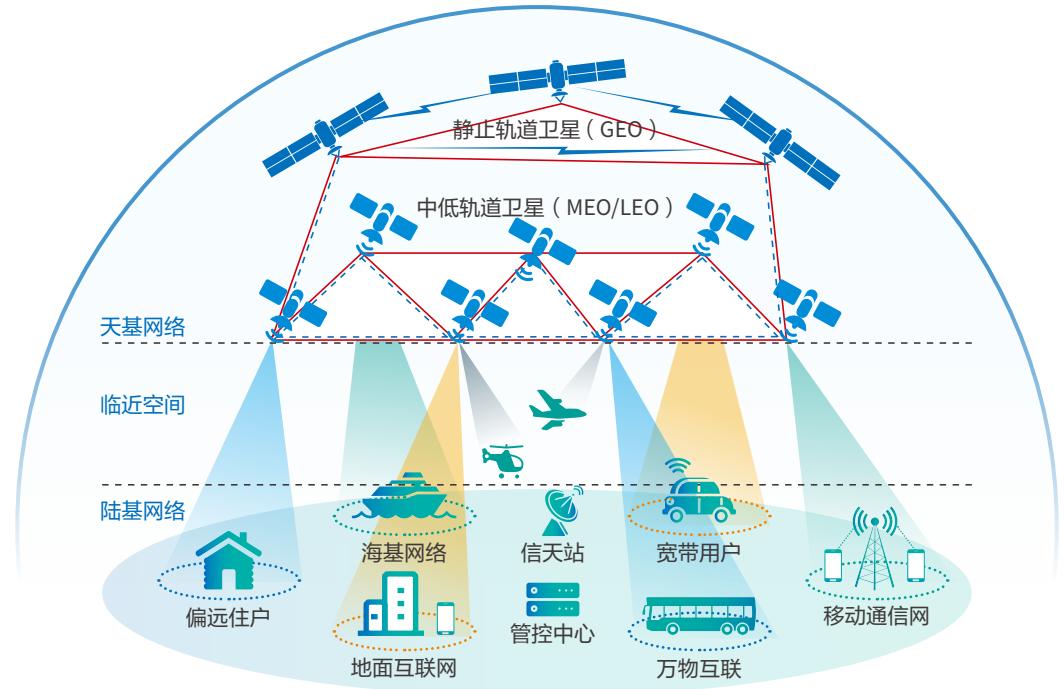


图 3-2 天地融合移动通信网络

前期，基于 5G 蜂窝系统，3GPP 标准化组织已经开展了 5G 应用于空间网络通信（Non-Terrestrial Network, NTN）的相关标准制定工作，其中 3GPP SA1 和 SA2 工作组从业务需求和网络架构入手在 5G 系统中支持卫星接入，3GPP RAN 针对 GEO 和 LEO 轨道类型分析研究 S 频段和 Ka 频段的空口接入技术。ITU 在 2016 年开始研究卫星通信与地面通信的融合，2021 年 ITU-R 4B 工作组通过了中国提出的制定 SRI for IMT-2020 建议，并形成了愿景与需求 PDNR，将持续推进 IMT-2020 卫星通信空口技术的研究和标准制定。相比于 5G 卫星通信的研究，未来 6G 将更加强调空间网络与地面网络融合发展的方向。

## ● 空天地融合网络架构

随着卫星处理能力的不断增强，卫星将具备星上信号再生处理和路由交换等功能，并通过星间链

路建立广泛的、全面的连接。面向 6G 大时空尺度多维异构天地融合网络，研究基于软件定义的弹性可重构的天地融合网络架构，实现星地、星间网络功能柔性分割和智能重构，网络功能与平台解耦，分布式网络部署，并通过智能化网络管理与控制，智能生成网络组网策略。同时，研究多维异构网络的网络管理架构，研究星地融合移动性管理架构、异构跨域网络资源管理架构等关键技术，实现高效网络资源管理架构设计。通过网络的柔性适配能力实现融合网络的灵活部署、优化和扩展，满足 6G 网络按需服务的网络需求。

## ● 空天地融合统一空口体制

空天地融合网络是具有大时空尺度的多维异构网络，针对空间网络与地面网络在无线链路距离、时延、传播特性、移动性等方面存在的差异性，为

了实现无感知无差异化的网络服务能力，空天地融合网络通过采用统一空口机制实现卫星地面体制一体化、接入与馈电一体化，形成统一、全面、覆盖空天地所有场景的空口体制。

同时，面向 6G 空天地融合通信背景下大规模高 / 中 / 低轨异构混合卫星组网、空间网络与地面网络异构共存融合的复杂通信场景，研究多星多波束高效协同传输技术、星地融合新波形与多址接入技术、面向星间和星地通信的极简接入与同步控制技术、星地融合异构网络的高效频谱共享技术，最

终实现高效率、高鲁棒的星间 / 星地通信，解决星地融合网络下的卫星通信网高效传输问题。

## ● 空天地融合的组网技术

面对空天地融合通信中异构跨域多维资源、高时变网络拓扑、高速极频繁切换、大时空尺度协作、按需确定性服务等技术挑战，探究跨域异构统一资源管理、弹性高效动态路由与移动性管理、高动态拓扑环境下的按需确定性服务保障机制，实现融合网络高效资源智能管控，提升网络效率。

---

相比于 5G 系统，未来 6G 网络，将实现移动通信无处不在的全球立体组网。通过对网络架构及关键技术的研究，空天地融合网络将实现业务融合、体制融合、架构融合、空口融合、终端融合和系统融合，通过对天基网络和地面网络资源的统一管理和控制，解决由于卫星网络的特点带来的天地融合组网复杂问题，满足 6G 网络的智能、极简和按需定制的要求。

作为支撑 6G 全域覆盖的典型技术，空天地融合技术将在未来十年以及更长的时期内，成为扩展网络服务广度和深度、改变用户之间时空连接方式的重要技术。同时，作为新型的信息服务基础设施，空天地融合的 6G 网络，将全面提升其支撑公共安全、应急通信、社会治理、产业升级等方面的服务能力。

---

## 超维度天线技术

多种多样的新兴业务形态以及终端连接数和数据流量规模的爆炸式增长，给未来移动通信系统带来巨大挑战，因此对无线信道资源的拓展及对其的充分利用一直是无线传输链路设计中最为核心的两大问题。多天线（Multiple Input Multiple Output, MIMO）技术作为拓展信道资源、提升无线资源利用率的一种重要手段，在提升 4G、5G 的频谱效率和可靠性、扩展覆盖、抑制干扰等方面起到支撑性作用。

随着 5G 大规模天线商用化应用，多天线技术

维度不断扩大成为提升空口传输频谱效率的主要手段。但是，随着天线数量不断增长，天线的成本、重量以及耗电量都大幅度提升。目前 5G 大规模天线的天线规模在 Sub-6G 频段可达 64 通道上百根天线，成本约占整个基站成本 60% 以上，占整个基站耗电量的 80% 以上。如果未来网络采用更大规模，如数千根的超大规模天线，并采用现有的天线解决方案，将面临着无法实用的工程难题。

近年来，一些新的支撑技术为多天线技术的进

一步发展创造了新的条件，使得多天线技术能够向更多的维度去扩展并能够更加灵活地使用。未来 6G 系统，基站可以在三维空间形成具有高空间分辨能力的高增益波束，能够提供更灵活的空间复用能力，改善接收信号质量并更好地抑制用户间的干扰，实现更高的系统容量、频谱利用效率和传输可靠性。

## ○ 天线维度的扩展

面向下一代移动通信系统，对 MIMO 维度的有效扩展仍然将是多天线技术进一步演进和发展的重要方向。从性能角度出发，对 MIMO 维度的扩展不仅仅在于天线数量的增加，在数字域对天线阵列的灵活处理能力和信道信息获取能力也同等重要。这就要求在更大规模的天线阵列中能够支持更多的数字通道和更为强大的基带处理能力。

从系统设计的角度出发，当天线阵列的面积增加到一定程度后，终端位于近场区域的几率会大幅度提高，导致系统整体的设计思路可能都会发生改变。例如，随着天线数量的增加，系统在信道信息获取、参考信号设计、链路自适应、调度、干扰协调、预编码及检测算法等诸多基本技术方案的设计都将面临新的挑战，而功耗、复杂度、成本、部署方式等现实因素也将从根本上影响天线规模和技术方案的选择。

## ○ 新的支撑技术

随着业务类型与应用场景的日渐丰富，根据不同的场景、应用与需求构建更为灵活的系统方案，更好地实现性能与复杂度、成本、功耗之间的平衡

是 MIMO 技术更加广泛地应用于未来系统并发挥更基础性的支撑作用的重要条件。

分布式多天线系统可以有效地改善对边缘用户的服务质量，规避干扰，实现服务质量在服务区域内的均衡化分布。这很大程度上会影响到网络构架、资源分配、干扰管理的设计，也会对天线技术与部署形态提出新的需求。面向更大的协作规模以及更高的指标要求，如果需要采用多节点联合预编码 / 波束赋形传输的方式，则需要在更大规模的协作集合中保持更为严格的定时和同步，并需要在更多数量的分布式节点之间进行联合天线校准。

可重构智能表面（RIS）能够以较低的成本和功耗以轻量化的方式提升等效天线阵子的数量，实现天线维度的扩展，从而获得更好的赋形效果。此外，利用 RIS 还可以实现对传播环境的改造，延伸超大规模天线赋形系统的有效服务范围，提升信道的自由度，支持更多的并行数据流；还可以用于构建分布式超大规模多天线系统，与发射机联合进行超大规模的波束赋形 / 预编码。

另一种拓展 MIMO 维度的手段是全息 MIMO，通过连续孔径或近似连续孔径天线阵列实现超大规模天线阵列，获取高精度信道状态信息并精准调控电磁波的空间分布特性，进一步提升未来系统多天线技术的性能增益和传输效能。

人工智能技术的兴起也为多天线技术的未来发展提供了新的支点。使用 AI 技术解决多天线信号处理与检测、估计、资源调度等问题，将会给多天线系统设计带来全新的变化。

---

多天线技术将依旧在提升未来网络频谱效率方面发挥重要作用，其技术的演进也将成为 6G 网络不可或缺的一环。在大规模天线理论的支撑下，业界正朝着其实用化和产业化方向不懈努力，预期未来多天线技术的发展，将以更低的成本、功耗与复杂度实现。同时，挖掘多天线的全息维度增益，也存在技术突破的可能性。

---

## 高精度定位技术

随着移动互联网和物联网相关技术的快速发展，定位技术已经从军事、航空、航海等领域，逐渐进入普通人的生活。高精度定位服务可以提供更精确的时间信息和空间信息，提升用户体验，保障各行各业人员财产安全，提升企业生产运作效率，推进信息社会的发展。卫星定位技术已非常成功地用于各领域高精度定位，但目前卫星定位技术仅限于室外应用。而目前室内定位在智慧工厂、化工、电力、医疗、自动驾驶汽车等垂直行业均展现出广阔的市场前景。

典型的高精度定位技术包括基于 5G 蜂窝网络的定位技术和独立于 5G 蜂窝网络的定位技术。其中，基于 5G 蜂窝网络的定位技术包括：增强小区标识定位法、上下行到达时间差定位法、往返时间定位法、上下行到达角度定位法。独立于 5G 蜂窝网络的定位技术包括：辅助全球导航卫星系统定位（A-GNSS, network-Assisted GNSS methods）、基于蓝牙（Bluetooth）的定位、基于 UWB 的定位、基于 WiFi 的定位、基于定位传感器的惯性测量单元定位（IMU, Inertial Measurement Unit）。

3GPP 定义的基于 5G 蜂窝网络的定位技术的定位精度性能目标如下：针对普通的商业应用场景，90% 用户的水平和垂直定位精度分别小于 1 米和 3 米；针对工业物联网场景，90% 用户的水平和垂直定位精度分别小于 0.2 米和 1 米。

面向未来 6G 的垂直行业应用（例如：智慧工厂，以及 Sidelink 定位场景）提出了厘米级的高精度定位需求。以智慧工厂为例，该场景需要实时精确地确定员工、车辆、资产以及智能机器臂的位置，定位精度通常需要达到 1~5 厘米。

### ● 载波相位定位 (CPP, CarrierPhasePositioning)

该技术成功地应用在全球卫星导航系统 (GNSS) 的厘米级甚至毫米级定位，是一种具有厘米级高精度定位潜力重要技术，但蜂窝网络中尚未支持基于载波相位的高精度定位。面向 6G 的高精度定位，可研究基于蜂窝网络的载波相位技术，开展载波相位在都市和室内定位应用场景，以及定位方案、多径传播环境下的高性能结算算法研究。

同时，未来 6G 将采用更高频段的频谱作为通信用途，高频段通信通常具有更大带宽与更细的波束（如采用几 ~ 几十 GHz 带宽，1000 根以上的相控阵的传输），将可以极大提高终端定位能力，实现厘米级定位需求。

### ● 人工智能和机器学习 (AI/ML) 定位技术

对于蜂窝网络定位，尤其在室内场景，收发设备之间通常存在大量的非直射径，直射径淹没在噪声中难以被辨识出来，造成时延和角度测量误差，使得定位的精度、可靠性、可扩展性和适应性等均面临很大挑战。AI/ML 方法最近被广泛应用于克服这些挑战，并取得了一定的成功。如在 3GPP Rel-17 定义的 InF-DH 场景下，使用卷积神经网络 (CNN) 进行 NLOS 识别，选择出 3 个 LOS 小区的准确率可达 96% 以上。面向 6G 的蜂窝网络，可采用 AI/ML 定位技术来增强定位能力，研究基于 AI/ML 定位适应性、定位效率、AI/ML 建模、AI/ML 训练数据定位算法、AI/ML 定位训练流程、等关键技术和问题。

### ● 通信和定位融合技术

传统的蜂窝网络定位方案，通常采用大量的定

位参考符号来实现定位信号特征的测量，使得网络的通信效率受到较大影响。面向 2030 年的 6G 网络，研究基于通信与定位一体化技术，通过无线数据通信和定位共享资源（同一时间、频率和空间资源），以及信息（测量信息、信道状态信息、无线资源管

理信息等），利用两者之间的内在相互交织特性进行智能决策，将会给智能的集成数据通信和定位带来巨大的好处，包括提升通信和定位的网络效率，降低定位时延等。

---

高精度定位技术将成为 6G 赋能垂直行业的重要技术之一，随着 6G 的研究进一步深入，基于蜂窝网络的载波相位定位为特色的多源融合定位方案、AI 定位、定位和通信融合技术预期将会成为 6G 定位的重要技术方案，带来定位精度的显著提升和资源利用率的提高。

---

## 编码技术

编码与调制是 6G 通信系统中最重要的功能模块之一，其设计将直接影响到 6G 系统超高吞吐、超高可靠、极低时延、高移动性等 KPI 指标的达成。新型编码技术需要大幅提升译码器吞吐率、显著降低误码平台、有效降低 HARQ 时延，面向不同的应用场景，提高系统端到端的整体性能。

4G LTE 采用基于无竞争交织器的 Turbo 码和 TBCC 码作为数据信道和控制信道的主要纠错编码方案，针对性能与吞吐率提供了很好的平衡。5G NR 中定义了新的应用场景，对系统带宽、时延和可靠性的需求均有所提升。针对 eMBB 高吞吐量的需求，采用适用于并行译码且支持 IR-HARQ 的 QC-LDPC 码。同时为了提高控制信道的可靠性，采用了性能更好的 Polar 编码。相比于 5G，6G 对编码方案提出更高要求，在吞吐量方面支持最高 1Tbps 数据传输，在时延方面支持远低于 1ms 空口传输

时延，可靠性达到 99.99999% 或者更低，并要求更低复杂度、更低的处理功耗。此外，未来 6G 将出现大量机器、AI 智能体之间的通信，现有基于信源信道分离原则设计的编译码方案可能不再是最佳解决途径。

### ● 支持超低时延、超高可靠性的短码设计

未来 6G 系统会有大量垂直应用要求支持超低时延、超高可靠性传输。在此场景下，设计性能优异、具有高可靠、低功耗特征的短码具有重要的意义。此时，信道纠错码的码长不应设计过长，以满足超低时延需求。为克服短码长带来的可靠性降低，需要研究中短码长下性能非常优异且处理复杂度可以接受的信道编码技术。极化码理论上没有无误码平台，可靠性可以得到保证，并且在低码率、短码长下性能优异。极化码的增强方案将考虑优化极化

码的构造和外级联码使其在短码长下进一步逼近性能极限。

## ○ 支持极高吞吐量的低复杂度编码设计

为支持 1Tbps 的峰值吞吐，需要设计支持适于极高吞的信道编码，例如可考虑基于空间耦合 LDPC ( Spatial Coupled LPDC, SC-LDPC ) 的编码方案。得益于空间耦合结构，SC-LDPC 不仅具有卷积增益，其滑窗译码器译码时延更低、译码吞吐更高。除了上述新的编码方案，也可以进一步考虑基于 5G 增强的信道编码技术。为提高峰值吞吐，可独立设计特殊校验矩阵用于高码率、高吞吐，例如进一步提升 NR LDPC 的并行度，以及改进 LDPC 校验矩阵，加快迭代译码收敛速度。

另外，随着译码吞吐率的大幅提升，在译码器能量效率 ( pJ/bit ) 不变的条件下，译码器的功耗必然大幅上升。为了降低译码器的总功耗，译码器能量效率至少需要降低 1 到 2 个量级，这需要从算法设计、硬件实现多个维度联合优化信道编译码器才能实现。

## ○ AI 辅助的信道编译码设计

AI 通过离线学习方式也可以辅助信道编译码设计，提高通信系统性能。例如，对于 LDPC 码的 BP 近似译码算法，归一化最小和算法 ( Normalized Min Sum, NMS) 与有偏最小和 ( Offset Min Sum,

OMS) 算法，它们的归一化系数与偏置系数通常经过大量仿真或人工经验确定。通过将 BP 译码算法迭代展开，以训练方式优化归一化系数与偏置系数，可以提高译码器性能、加快译码收敛速度。这些系数的优化可以面向某一次迭代，Tanner 图上某一条边，不同的软比特量化阶数，不同的调制阶数，时变衰落信道等。基于 AI 辅助的信道译码设计方案有望解决传统编码方案由于不存在闭式解、无法建模、求解复杂而导致优化困难的问题。

## ○ 信源信道联合编码

目前，无线通信系统几乎都是基于信源信道分离原则设计的，信源编译码位于高层，信道编译码位于底层，彼此透明独立工作。不同于信源、信道独立编码的设计原则，信源信道联合编码考虑信源编 / 译码与信道编 / 译码的跨层交互或者一体化设计，从整体上优化系统的端到端性能。在时延、复杂度受限，多终端下，信源信道联合编码相较于信源信道独立编码表现出更优的性能，可以更加充分地利用信源冗余和信道统计特性。

未来 6G 将出现大量机器、智能体之间的通信，人类感知度量可能不一定适用于机器之间，来自不同终端感知的数据也可能存在高度相关性。将 AI 与信源信道联合编 / 译码相结合，通过 AI 算法进一步挖掘数据冗余并用于信源信道联合编 / 译码，可以有效提高该场景下通信系统的性能。

---

随着 6G 编码研究的不断深入，支持更低时延、更高可靠的短码与支持极高吞吐的信道编 / 译码将成为 6G 重要的编码技术，AI 将赋能信道编译码的设计，并与信源信道联合编码相结合，给编码设计带来新的优化维度。

---

## 新型多址接入技术

传统上，多址接入技术作为移动通信系统更新换代的标志，后继的系统往往会比前代系统使用更为灵活高效的资源复用方式，在有限的时频资源上容纳更多的用户数满足服务要求。器件的进步使得非线性接收机越来越易于实现，非正交多址接入也成为了热点技术。业界预期利用它不仅仅提升用户数，还在谱效提升、时延降低等多个维度发挥重要作用。对于 6G，通过万物互联 / 智联真正全面实现数字化社会，要支持每平方米 10 个以上终端的巨量泛在连接场景，及空天地融合场景，迫切需要引入新型多址接入技术。

在 3GPP 5G NR 标准化初期，以非正交为特征的新型多址接入技术得到了业界的广泛讨论。从技术方案上，发送端涌现了以功率、编码、随机交织等特征来进行多用户区分的系列非正交多址技术，接收端也出现了以串行 / 并行干扰抵消、置信传播等为特征的多种非线性检测算法。其中，图样分割多址接入（PDMA）技术采用了收发端的联合设计，综合利用功率域、编码域、空域的多个特征来进行多用户的区分，基于用户的不等分集度使系统获得性能和复杂度的最佳平衡。

面向 6G 的新场景、新业务、新需求，新型多址接入的研究将会得到进一步拓展。由于网络中大量用户的通信需求，无论是随机接入还是数据传输，需要更为先进的多址接入技术来达到未来网络的要求。发送端考虑更多、更长的特征序列来区分更多的用户，由此需要定义序列搜索的准则，并降低序列搜索的复杂度；接收端考虑更为先进的非线性检测算法，提升检测性能，降低实现复杂度。

在 PDMA 的研究基础上，考虑随机接入过程和数据传输过程可以融合到一个过程并进行联合优化，形成非协调的随机接入和传输技术（Uncoordinated Random Access and Transmission, URAT），预期可以提升用户数量、提高接入和传输的成功率、降低通信的时延。需要研究的内容包括：有限块长编码域的非正交多址技术实现方案，设计能够逼近高斯随机接入码性能边界的可实现方案；竞争 coded slotted Aloha 的不等分集度实现方案，将不等分集度思想应用于 coded slotted Aloha 方案中；以及信道结构设计，确定前导序列信道、数据信道的资源，确定资源周期和每个周期内的资源数量，设计用于随机接入和部分信息多址传输的前导序列。

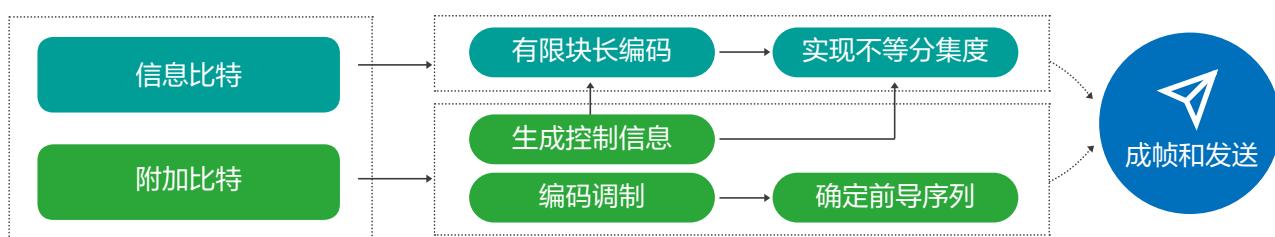


图 3-3 URAT 结构原理

随着新型多址接入技术研究的深入，非协调的随机接入和传输技术有望成为泛在海量连接场景下支撑大连接、低时延、高传输效率的关键技术。其编码方案、接入流程、检测方案需要深入的研究，特别的，通过在不同用户的信息比特编码过程中应用不等分集度，有望可以降低其实现复杂度。

## 通信感知一体化技术

为了使能移动通信系统在垂直行业的应用，5G 已经支持基于蜂窝网络的高精度定位技术以实现对目标终端的定位。6G 将利用雷达、成像等无线感知技术实现针对非目标终端等物体的位置、姿态以及环境信息的感知，从而可以获取多维度多层次感知数据，将移动通信系统的连接范围从目标终端扩展到物与环境，真正意义上实现万物智联。

通信与感知的融合最早起源于通信与雷达的融合，其主要目的是提高频谱的使用效率、通过网络辅助实现多雷达协同、降低通信设备和雷达设备的体积 / 能耗 / 成本、通过雷达辅助通信、以及为垂直行业提供更好的服务，比如车联网、无人机、军事应用等。J.A. Zhang 等人研究了基于无线蜂窝网络的感知功能与特性，定义了感知移动网络（Perceptive Mobile Network, PMN），提出了利用信道估计信号、非信道估计信号、数据负载信号等进行无线感知的方法。随着移动通信系统的发展，通信与感知一体化融合进入人们的视野，在 2018 年

GlobeCom 大会上，业界首次提出基于无线频谱（特别是高频段）的通信感知一体化技术研究方向，备受关注。

目前，通信与感知一体化已经成为 6G 研究的重点方向之一，同时也成为 5G-A 正在探讨的一个方向。

作为一项 6G 阶段出现的新兴技术，通感一体化研究方向还存在理论、应用、网络、空口、一体化硬件等各层面需要解决的问题，特别的，如下几个方向值得关注。

### ● 通感融合应用场景与架构

针对 6G 通感融合，业界已经普遍形成了通信辅助感知以及感知辅助通信，实现两者相互促进、协调共生的共识，但是面对具有商业化的应用场景，还处于初期的研究阶段。

众多通感融合的应用场景需要进一步深入探讨，并结合通感融合架构的研究与设计工作，形成不同层面的融合方案。

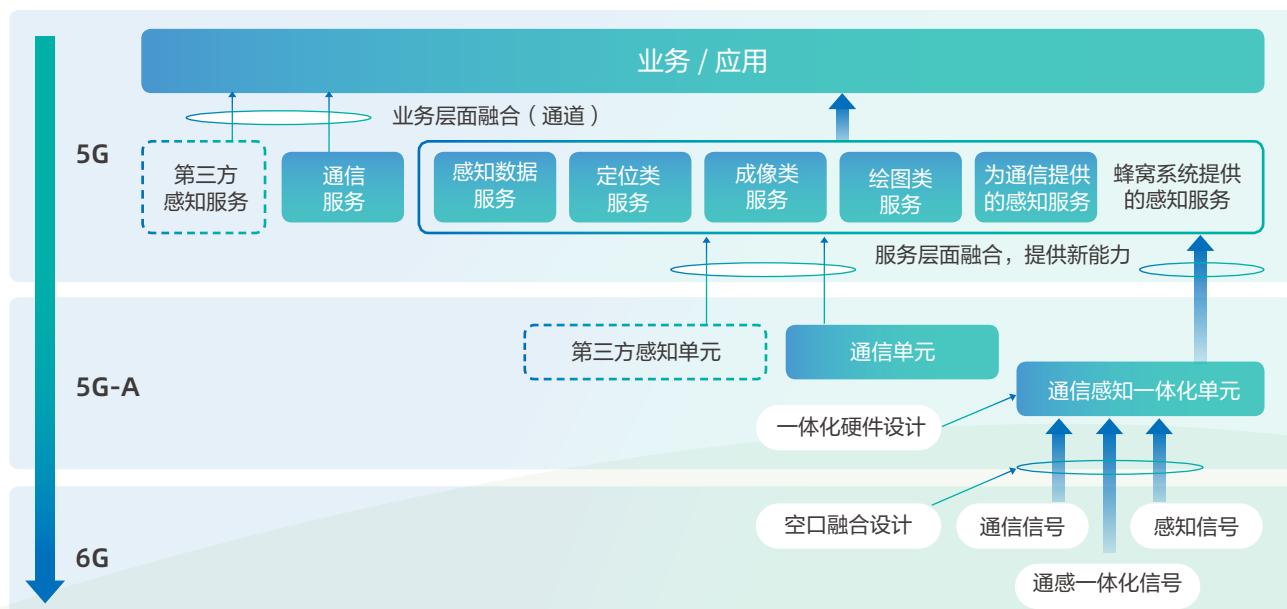


图 3-4 通信与感知的融合发展层级

## ● 环境感知与辅助通信关键技术

基于无线感知可以获取多维度多层次环境感知数据，进行场景识别与趋势预测，从而可以实现在用户终端、其他物体以及用户环境时变的情况下，服务场景实时多维刻画，进而可以进行更精确地动态调度、传输方案选择、波束管理、算法参数配置等。

进一步，利用所获得的丰富感知数据，还可以为人工智能 / 机器学习在通信系统中的应用提供更多维度的海量数据。特别是在通信链路所提供的数据基础上，研究和开展如何利用无线感知数据进行机器学习模型的构建和训练，可以为提升移动通信系统性能增加新的维度。

## ● 通感融合空口资源管理关键技术

为了降低无线感知的引入对通信性能的影响，可以考虑无线感知与无线通信叠加使用相同频谱的方式。

在进行无线感知与无线通信频谱叠加方案设计时，需要从系统层面考虑，即可能出现同一时频资源用于无线感知的情况下，其同时也在为多个用户提供通信服务，或者反之。

特别的，在研究通感融合空口资源管理关键技术时，还需要设计统一的频谱利用率指标，以对通信和感知两者进行公平的评价。

---

随着通信感知一体化技术研究的深入，通感一体化所面临的理论、应用、设计、实现等层面的问题将逐渐被解决，存在空口融合的可能性，并有望成为 6G 标准中的关键技术之一。利用无线感知技术获得的环境感知数据，可以有效用于通信场景的识别，辅助通信性能提升，支持人工智能技术与通信系统融合，形成真正意义上的场景智联。无线感知与无线通信在空口的融合方式也需要仔细设计，以充分利用无线通信频谱资源。

---

## 灵活频谱共享技术

面对不断更新的无线通信技术和持续增长的业务需求，传统静态的频谱管理方式造成了频谱供需矛盾。一方面，用于无线通信的 6GHz 以下低频段大部分已通过专用授权的方式分配殆尽，频谱资源稀缺性愈发明显，业界在推动着新频段的开发和研究，例如毫米波、太赫兹等；另一方面，大部分已分配频段的使用效率非常低，其使用情况在频率、时间、空间上也呈现出高度不均衡性。因此，除积极开发尚未使用的频段之外，更为重要和根本的是如何提高有限频谱资源的利用效率。

区别于传统静态独享分配的频谱管理模式，频谱共享是在不影响用户服务质量的基础上共享同一段空闲或未充分利用的频段进行数据的传输，从而实现不同权限用户和多种业务的共存。因此在 5G 及其增强系统中扮演着重要的支撑角色。近年来，业界一直在研究多种先进技术，例如：认知无线电、D2D、非授权频谱、非正交多址、带内全双工、多频段的灵活聚合等，以期实现频谱资源的多域( 时域、空域、码域等 ) 复用共享。

和 5G 相比，更高频段的引入将使得 6G 网络趋

于超密集化，部署成本将急剧上升。因此，动态频谱分配共享策略对提高网络频谱利用率以及优化网络的部署至关重要。针对 6G 的大带宽、Tbps 的传输速率以及空天地融合等更多场景的需求，可以通过 AI 与动态频谱分配共享策略相结合，达到频谱的智能化共享和管控的效果。

### ○ 利用 AI 进行频谱的精确预测

传统上，频谱共享借助于频谱占用数据库来实现，不同运营商网络之间的流量需求在时间和地理上高度相关。在最需要频谱的时间和地点，如果使用静态数据库，难以获得共享频谱的机会，除非运营商交互所有相关的频谱访问信息，而这在实践中是不可能做到的。AI 有助于建立动态、精确的频谱认知数据库。一方面，对于同一运营商，AI 能够协助运营商预测各个有效频段的占用情况，从而让运营商针对当前业务需求去使用最合适频段来通信。另一方面，AI 能够有效预测各运营商的频谱占用情

况，从而让多运营商做到随时随地的动态频谱共享。

### ○ 利用 AI 进行频谱的智能调度

AI 可以通过预测各个运营商的频谱使用情况，不需要或者只是少量需要运营商之间的信息交互，能够让运营商依据频谱预测信息以动态方式访问频谱，避免相互之间的使用冲突。

在同一运营商采用多制式共存时，网络流量的热点峰值变化难以预测。AI 能够根据实际流量需求，在多制式之间对系统容量进行重新调整，从而让混合组网的解决方案下所有的设备能够时时保持在最佳性能。

另外 6G 星地融合系统，面向针对卫星通信和地面通信都在看好的中高频段，频谱共享能够让卫星通信和地面通信从频率竞争关系转向频率协同关系，极大地提升频谱利用率。同时，因天基和地基在无线传输链路上存在空间分布的差异，通过 AI 辅助，终端依据信号方向能够更好地区分卫星通信信号和地面通信信号，实现空间复用和干扰规避。

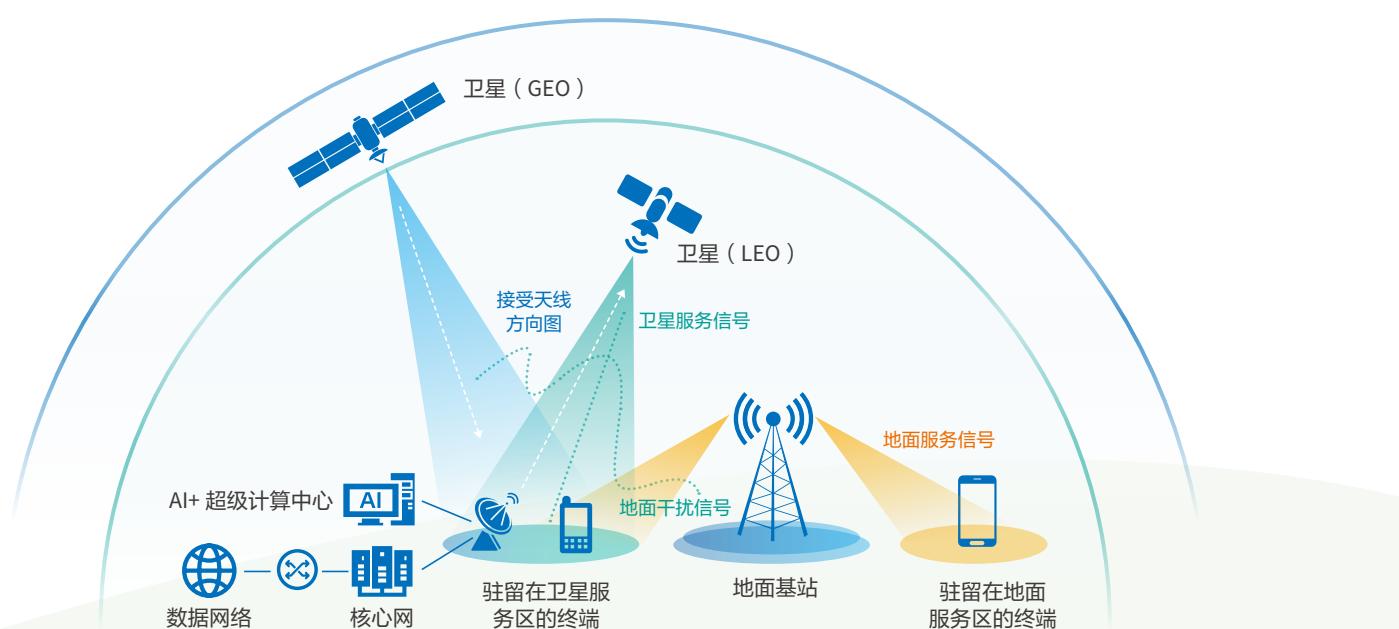


图 3-5 毫米波频段的星地频谱共享和干扰规避

针对日益紧张的频谱资源，灵活频谱共享是改善频谱资源紧缺最有效的手段之一，受到了业界越来越广泛的关注。与 AI 结合的频谱感知、频谱调度等更多新技术手段的使用，也让灵活频谱共享技术从早期的理论在逐步走向实用。在网络共建共享政策的支撑下，基于 AI 的灵活频谱共享技术将会在未来的 5G 建设和 6G 系统设计中发挥日益重要的作用。

## 太赫兹技术

挖掘新的频段以满足日益增长的带宽需求，是移动通信从业者不停的追求。5G 实现了从 Sub-6G 到毫米波的跨越，6G 正在寻求如何利用太赫兹频段进行通信。业界通常将频率范围是 0.1THz~10THz 的频段称为太赫兹频段，这个频段的电磁波具有带宽大、波长短、大气衰减快、可穿透的特点。在天气晴朗、视野开阔的空旷区域，利用太赫兹频段可以实现长距离的高速数据通信；在人群、车辆等遮挡物众多的常用通信场景，利用太赫兹频段仅能实现较短距离的通信。为了更有效地利用太赫兹频段，业界正在尝试将太赫兹频段的传统应用，比如成像、雷达、谱分析等无线感知技术与通信技术进行融合，以期形成高频感知、低频通信甚至通信与感知一体化的 6G 系统。

太赫兹技术应用主要包括太赫兹谱分析、太赫兹成像、太赫兹通信以及太赫兹雷达。目前，太赫兹谱分析和太赫兹成像已经出现商业用例，前者用于物体的材质分析和药品的质量检测，后者用于安全检查；太赫兹通信以及太赫兹雷达是处于发展初期的新型太赫兹技术，这也为实现太赫兹雷达与通信一体化设计提供了机会。

限制太赫兹应用主要因素是器件的发展，虽然经过近二十年的研究，太赫兹器件有了较大发展，但距离产业化还有一定的差距。目前国内太赫兹通信系统还主要停留在研究和技术验证阶段。同时，对太赫兹频段的特性进行熟悉、掌握以及利用，还需要一个渐进的过程，超大带宽、极窄波束、视距传输、穿透特性等因素为信道建模、多天线方案、信道编码、高速数据传输、通信感知一体化等系统设计带来了挑战。

### ● 太赫兹频段特性测量与建模

太赫兹频段横跨 0.1THz~10THz，整体带宽将近 10THz，各个子频段的特性相差较大，其低频部分的特性接近毫米波，而高频部分的特性接近可见光。为了更好地开发和利用太赫兹频段，需要开展太赫兹频段特性的测量与建模工作，并基于此寻找 6G 系统初期可用的太赫兹频段。特别的，针对太赫兹频段主要考虑无线通信与无线感知两方面的应用，两种应用方式对于信道特征的提取方式、建模方式的要求也有不同，需要研究过程中关注。

## ● 太赫兹频段的超大规模天线技术

为了克服太赫兹频段的大气衰减快的缺点，需要采用超大规模天线技术提升其覆盖范围，并利用其天然形成的更窄波束实现更多用户的波分复用。类似于毫米波频段，太赫兹频段的超大规模天线阵列将主要采用数模混合结构，更多天线、更高频段以及更大带宽带来的复杂度以及能耗问题需要在研究过程中被解决。更窄波束为提升用户复用度提供了便利，但同时也引入了波束管理的复杂度，需要研究更高效的波束管理技术。特别的，由于更多天线以及更大带宽引入的波束偏移问题，需要在研究过程中关注。

## ● “太赫兹热点”组网技术

结合太赫兹频段的特性以及太赫兹器件等相关技术的发展现状，目前太赫兹技术还不具备支撑 6G 全网覆盖的可行性。为了充分利用太赫兹频段大带宽、短波长的优点，在 6G 网络中，其可以在低频段广覆盖的基础上，以“热点”的方式形成补充，以实现 6G 系统局部的超高速率传输，并辅助超高精度定位与感知。如下图所示，特别的，“热点”不仅局限于地面，也可能分布在空间节点之间；“热点”也不仅限于数据热点，也可能包括无线感知功能，甚至通信感知一体化功能。

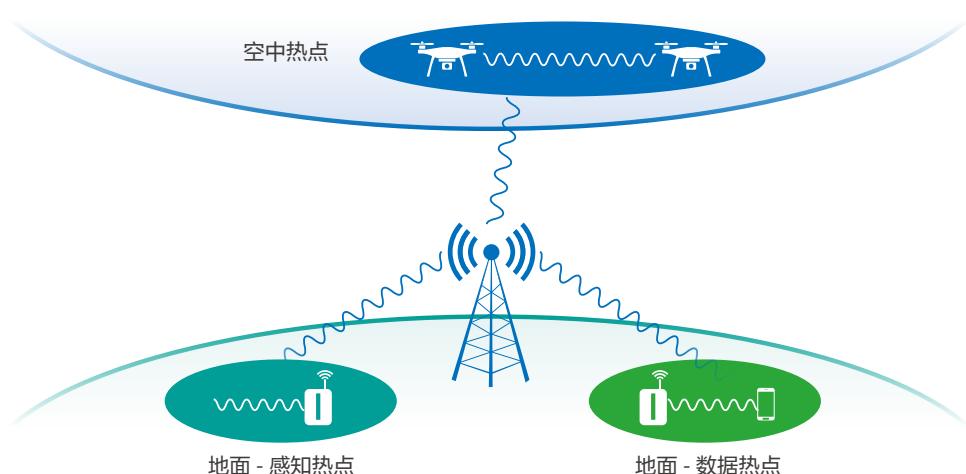


图 3-6 太赫兹热点

随着太赫兹技术研究的逐渐深入，太赫兹频段的特性将更为清晰，并形成以“太赫兹热点”的方式与低频网络形成补充，满足 6G 更高峰值速率和更高感知精度的需求。超大规模天线技术也将在太赫兹频段发挥重要的作用，包括提高覆盖范围、提供更多空分复用度等等。目前，太赫兹技术对射频 / 中频以及基带器件均提出了更高的要求，其器件成熟度还有待观察。

## 可编程网络

为满足 6G 不同的业务需求，6G 网络需要更加灵活、更加智能和更具弹性，能够按需定制、灵活扩展。可编程网络是实现 6G 网络的坚实技术底座，

通过在 6G 网络中应用可编程网络技术，可以极大地提升网络的灵活性和弹性，实现网络的按需定制和灵活部署，实现运维自动化智能化。

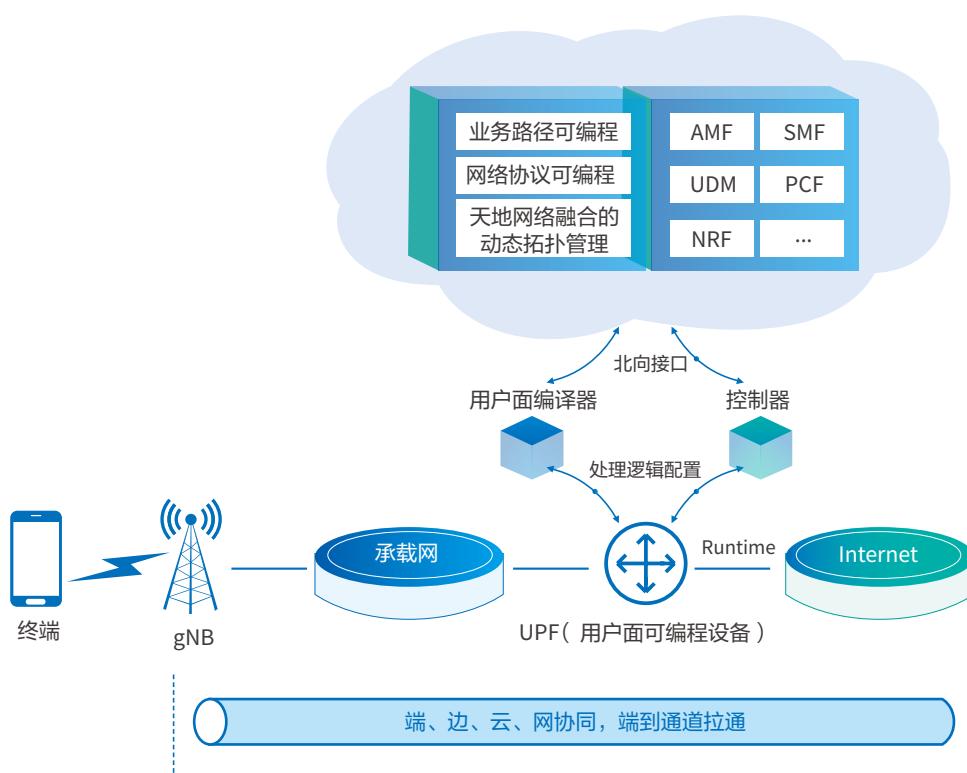


图 3-7 可编程技术

6G 网络中可编程技术逐渐向用户面可编程演进，控制面可编程和用户面可编程共同构成 6G 的深度可编程架构。可编程网络以其灵活性和可扩展性可以为用户提供更广泛、更优质的服务和更高质量的网络性能。通过可编程网络技术，6G 网络将实现：

- 统一承载，简化网络结构，实现端、边、云、网端到端通道拉通。
- 控制层协议精简，数量减少。
- 对业务路径进行编程，提供差异化 SLA 保障。
- 按需升级，平滑演进。
- 业务配置由逐段、逐设备变为仅业务端点。
- 网络动态监测，网络异常自动调整。

可编程网络涉及多项技术，其中基于 P4 (Programming Protocol-Independent Packet Processors) 协议的可编程通过自定义数据包的处理方式，添加新功能、新协议或者对原有协议栈进行优化来实现数据面的可编程。而 IETF 定义的 SRv6 可编程技术，通过将业务意图翻译成网络设备的转发指令来实现网络编程，满足业务的定制化需求。

## ● 6G 可编程网络架构

6G 网络的服务化控制面将支持基于云原生的部署方式，通过网络控制器将网络的配置下发到用户面。6G 网络的核心网和接入网网元功能将采用服务化架构进行灵活解耦，并通过与协议无关的用户面可编程技术灵活地定义用户面的处理逻辑。6G 网络将通过对可编程网元的编排实现网络功能的灵活定义和用户面的服务化部署。6G 网络将通过可编程的控制面和可编程的用户面实现端到端的可编程网络架构。

## ● 可编程网络编排技术

6G 网络的可编程编排技术根据不同的 QoS 指

标对业务路径编程，实现业务的快速部署，提供差异化服务和 SLA 保障，既满足了端到端的业务保障，又节省网络资源。通过对网络协议进行编程，可使网络协议更加灵活地适配、兼容不同协议，实现网络协议的融合及演进。通过对网络功能进行编程可以自上而下地定义不同协议类型数据的处理流程，添加新功能、新协议或对原有协议进行优化，使网络功能的定制化及持续平滑演进成为可能。

## ● 用户面可编程网络技术

6G 网络用户面的可编程技术将实现网络协议的可编程，通过灵活的适配、兼容不同协议，快速进行协议的迭代更新，在一定程度上简化协议，减少协议数量，灵活地应对不同的应用场景。

同时 6G 网络通过协议无关的可编程语言，灵活对用户面的处理逻辑进行定义、扩展和优化。通过网络的动态拓扑管理可实现对网络的完全可视化和可控化，通过对网络动态监测，快速检测网络异常并自动调整，保证业务的连续性，实现运维自动化和智能化，提高运维效率，增强网络的弹性自治和可重构柔性。

---

可编程网络技术提供的网络可控能力以及可扩展的网络编程能力能够使 6G 网络敏捷、灵活地为消费者提供有效的通信服务，支持业务的快速部署，将成为 6G 网络的重要技术方向。

---

## ◆ 网络智能

6G 不断涌现的新业务和新的应用场景对网络架构和关键技术提出了更高的要求，6G 网络的智能技术应具有自演进、自优化能力。智慧内生的 6G 网络智能除了能够解决网络自身的问题外，还应该给千行百业提供智能支持。

6G 网络将实现网络的内生智能，利用网络人工智能技术实现网络的自优化、自演进，提高网络的安全性和可靠性，大幅降低网络运维成本，降低网络能耗，增强用户体验，实现网络自动化。同时 6G 网络智能将从集中式的云化智能向分布式的网络智

能转变，数据处理从核心向边缘转变，边缘智能的不断发展将带来基站与终端之间更为频繁的数据交互。

因此 6G 网络技术和无线技术应该以 AI 为基础，通过将人工智能技术与 6G 网络技术和无线技术进行深度融合，实现 6G 网络无处不在的智能。

在 5G 中 3GPP 已经开展了网络智能化研究，3GPP SA2 在 NWDAF 网元功能方面持续进行增强，包括逻辑功能拆分、多实例协作、数据采集效率提升等；3GPP SA5 在 MDA 方向，通过采集网络数据和使用特定 AI 算法，生成分析结果报告用于网络管理的智能化和自动化。

在 6G 智能内生网络架构研究方面，IMT-2030（6G）推进组和 6GANA 等组织已经开展了 6G 智能内生架构的研究。

## ○ 网络智能的管理和编排技术

为了应对 6G 网络的大规模分布式资源的智能管理和调度，6G 网络应设计适应于 6G 网络的人工智能框架，在考虑模型的计算和迁移需求的基础上自生成网络智能用例描述，并通过智能的资源调度进行网络资源的编排和管控。

6G 网络还应研究云 - 边智能的协同管理和编排技术，研究集中式网络智能和分布式网络智能的协同技术，以及和网络中其他的网络功能的协同管理技术。云端可以为边缘网络智能提供计算资源，管

理和分发数据模型，指导边缘网络智能功能进行离线训练，并根据从网络收集到的信息制定智能策略。

## ○ 基于 AI 的网络自治技术

6G 网络将是自治和自演进的网络，通过网络智能、意图驱动等技术实现网络自动化和智能之间的深度融合，实现 6G 网络的感知和自适应特征，形成自治和自演进系统、自治和自演进网络。

6G 智能网络将基于数据推理，按需、灵活、自适应地智能自构建网络架构、能力和服务。6G 网络通过智能编排技术和网络感知分析，通过基于网络智能的数据驱动决策实现闭环控制，最终达到跨服务、域和生命周期的闭环自我设计实施和优化演进，实现智能自治网络。

## ○ 无线网络智能技术

6G 网络通过人工智能技术提高无线通信系统和网络的性能，降低 AI 模型训练与推演的复杂度，减少 AI 给无线通信带来的负担，提高 AI 模型的泛化性，增强 AI 对无线信道环境的适应性。

在无线技术中网络智能技术可以用于信道估计来降低信道估计的复杂度，并进一步降低信道估计所需的导频开销。可以用于波束预测，通过测量较少的波束，估计所有波束的质量，以降低所需测量波束的数目，从而降低测量时间。通过网络智能预测网络的能效和负载状况，生成节能策略，降低能耗。

随着人工智能与网络的深度融合，6G 网络将具备内生智能能力，通过连接智能、服务智能和运维智能，实现 6G 网络云 - 边 - 网 - 端协同，智能适配频谱、计算、存储等多维资源，实现 6G 网络的万物智联。

## 6G安全

6G 网络的多域融合导致安全边界模糊，6G 的云、边、网、算的深度融合，改变了网络功能服务模式，关联网络功能和网络域之间的边界更加的模糊化，传统的安全防护机制已经不能满足 6G 的安全需求。AI、区块链、天地融合网络等新技术的应用以及网络攻击能力的不断提升，将使 6G 网络面临前所未有的安全挑战。

同时 6G 网络承载的众多业务将依赖于实体间共享和处理大量的数据，6G 网络将涉及众多的垂直行业应用，不同系统、不同服务、不同应用间数据交互频繁，数据跨系统、跨域流转将成为 6G 网络数据共享的趋势。6G 网络新的服务模式将导致隐私信息在多种网络、服务、应用及设备中存储使用，数据生命周期的各个环节将实现无缝衔接。

目前 IMT-2030 ( 6G ) 推进组已经发布了《6G 网络安全愿景报告》，指出 6G 网络安全内生应具备主动免疫、弹性自治、虚拟共生和安全泛在的特征。同时零信任安全、隐私保护技术、区块链技术、新型密码算法等也是 6G 网络安全的研究热点。

同时 IMT-2030 ( 6G ) 推进组已经开始研究 6G 中使用区块链技术的场景和需求，通过场景和需求的研究为后续的区块链技术在 6G 中的研究奠定了基础。

### ○ 6G 网络安全架构

6G 网络的自适应安全框架从预测、防御、检测、响应四个维度，强调安全防护是一个持续处理的、循环的过程，细粒度、多角度、持续化地对安全威胁进行实时动态分析，自动适应不断变化的网络和威胁环境，并不断优化自身的安全防御机制。

6G 网络安全架构将实现身份可信，通过现实空间中人、设备、应用服务等实体向网络空间的身份可信映射，实现网络空间与现实空间身份的可信映射；网络可信，提供所需即所得的安全通信和应用服务，满足多样化应用场景需求，具有智能场景感知和按策略服务的能力；实体可信，通过内建可信免疫机制，采用主动方式保证网络和服务正常运行，实现主动防御。构建从运算环境、基础软件到应用及服务的信任链，依托逐级的完整性检查和判断，实现实体软硬件环境的安全保护。

### ○ 区块链技术

区块链技术是利用区块链式数据结构存储数据、利用分布式节点共识算法来验证和更新数据、利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全、利用自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构。

拥有分布式特性、安全防篡改特性以及自动化的区块链技术可以构建 6G 可信网络，在 6G 网络安全中引入区块链技术，可以增强网络扩展能力、协作能力、安全和隐私保护能力。区块链技术的数据存证服务可以实现数据的安全可信和透明可追溯。同时区块链技术还可以应用在网络切片动态管理和泛在接入管理中，利用区块链的分布式存储，无需第三方信任节点以及不可篡改性，提升管理的安全和更细粒度的动态访问控制。

### ○ 数据隐私保护技术

数据共享是 6G 网络的重要特征，当涉及到多个参与方使用数据时，由于缺乏跨域信任机制，难

以实现数据共享。数据作为 6G 时代重要的资产，在保护隐私的前提下，有效地利用数据赋能于网络是 6G 网络安全急需解决的问题之一。虽然隐私计算可以通过多方协作保证输入数据的隐私保护，但

是原始数据及计算结果仍面临着可验证性的问题，区块链与联邦学习结合，使得交易过程在可信的链上进行，减少了隐私泄露。

---

6G 网络通过内生的安全能力，基于分布式技术手段，利用密码学原理构建了 6G 网络安全可信架构，解决了 6G 去中心化网络架构面临的安全可信问题。区块链技术通过跨域信任和多运营主体协同运作，为 6G 网络的安全可信能力提供基础保障。通过联邦学习与差分隐私保护技术为数据提供了隐私保护，两者结合构建了可信的网络环境。

---

## 确定性网络

6G 的沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智慧交互、通信感知等全新业务，对网络传输时延、抖动、可靠性等提出了更高的通信要求。为了满足垂直行业应用对 6G 网络的差异化需求，6G 网络需要提供端到端的确定性服务。

6G 中的确定性网络需要终端、基站、承载网、核心网到应用均具备差异化和确定性的能力。6G 网络根据应用和业务的时延、抖动等确定性需求，通过在网络设备和链路上预留资源，保证数据传输的确定性。6G 确定性网络将具备广域高精度时钟同步，端到端确定性时延，零拥塞丢包，超高可靠的数据交付，资源弹性共享，以及与“尽力而为”的网络共存等。

IEEE 和 IETF 均成立了相应的工作组进行以太网和 IP 网的确定性网络的标准工作，包括应用场景、网络架构、数据面架构、流与服务信息模型、确定性 IP 数据平面以及安全等内容。

3GPP 在 R16 引入 TSN 机制，包括在 5G 网络中

引入时钟同步机制、确定性服务保障和最基本的 5 个 IEEE TSN 协议。R17 阶段在 R16 的基础上做了进一步增强，包括时钟同步机制和确定性服务保障的增强。

### ● 确定性网络架构

确定性网络需要端到端的提供确定性服务，由应用层、管控层和转发层构成。其中确定性网络应用层负责针对应用和业务的通信特征和要求进行输入和建模，计算出网络传输的确定性要求；确定性网络的管控层通过获取应用层的确定性要求信息，收集和维护底层的拓扑与资源信息，制定合理的管控机制，如服务保护、资源管控、路径选择等，实现对数据流的管控策略，以满足应用的确定性需求；确定性网络的转发层由支持确定性转发能力的用户面设备组成，执行确定性管控层下发的网络策略。

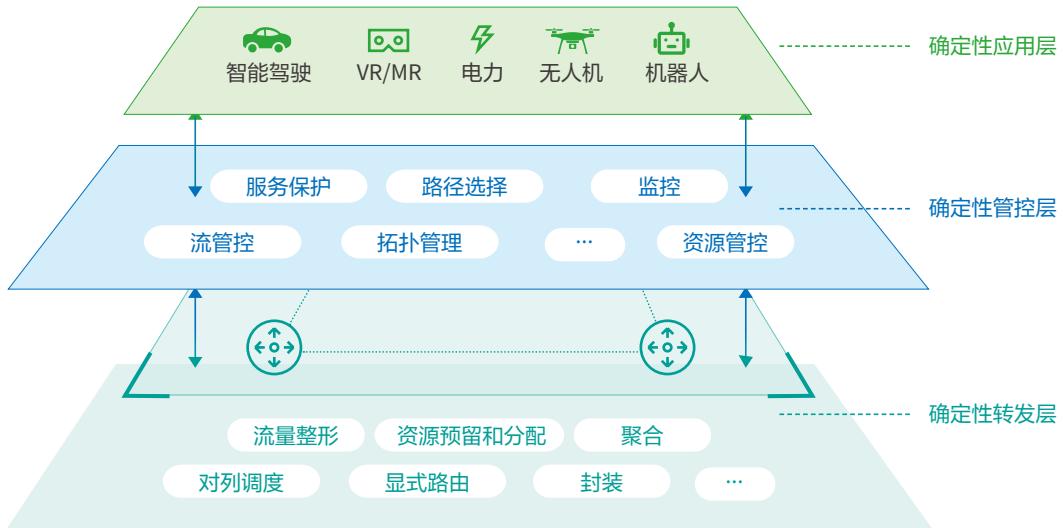


图 3-8 确定性网络架构

## ● 确定性网络智能控制技术

确定性网络是集中管控的。确定性网络管控层根据确定性应用层计算的确定性要求，智能决策网络传输策略。确定性管控层通过与转发层的接口，实时精确地感知和测量用户面设备能力、工作状态等信息，并根据这些信息生成或更新网络拓扑信息，同时通过转发设备上报和监控收集的可用资源来更新可用物理资源，并根据业务需求进行资源的分配。为了提供确定性服务，管控层还需要制定流量整形、队列调度、流聚合、封装等流控规则。确定性网络管控层将基于业务需求、网络拓扑和用户面设备可用资源等综合信息，为确定性业务选择一条路径或

者多条路径，以确保传输时延、抖动、低丢包等需求。

## ● 确定性网络转发技术

确定性网络转发技术将根据管控层制定的传输策略，利用流量整形机制对网络中的业务流整形合成符合一定规律分布的流进行处理，通过队列调度机制对接收到的数据流调整其在网络中的处理时间，实现对其的可控。通过资源预留和分配机制，预留与业务需求适配的资源，以减少因拥塞造成的丢包。建立确定性网络的 QoS 体系，增加适用于确定性网络的 QoS 参数，确保能满足每个数据流的确定性服务需求。

---

6G 网络将构建多层次、多维度的确定性网络架构，为不同的应用提供差异化确定性的需求。确定性网络技术通过智能控制数据传输的端到端转发行为，实现可预期、可规划的“准时、准确”数据传输服务，将成为 6G 网络的关键技术之一。

---

## 算力网络

6G 网络将是数据技术 DT、运营技术 OT、信息技术 IT 和通信技术 CT(DOICT) 融合的网络，面向万物智联、通感算一体化的 6G 需求，存在算力需求多样化、算力供需不平衡、单节点算力不足、算力资源利用不均、服务质量要求提升等挑战。通过算力网络技术改善云、边、端资源调度问题，协同分布式的计算资源、存储资源，实现算力、存储、网络等多维资源动态调度，提升计算资源的利用率，提供一致的用户网络服务体验，进一步促进算网融合、走向算网一体。算力网络作为新一代数字基础设施是 6G 网络的关键技术之一，算力网络可以根据 6G 业务需求，综合考虑实时的网络、算力、存储等多维度资源状态，灵活匹配调度最佳的资源节点，从而实现全网资源的最优化配置，提高资源利用率。

ITU-T 已经制定了多项算力网络的标准，包括算力网络框架与架构、算力感知网络等。IETF 已经开始研究算力网络需求和架构等标准化内容。在 CCSA 已开展多项算力网络相关研究课题和行业标准，包括算力网络总体技术要求、算力网络标识解析技术

要求、算力网络路由协议要求、算力网络控制器技术要求、算力网络交易平台技术要求等系列标准。

### ○ 算力网络架构

6G 算力网络将实现泛在计算和服务感知新能力，通过扩展现有的网络体系架构，实现各类计算、存储资源的按需传递和流动。算力网络可以包括算力服务层、算力管控层和算力资源层。

算力服务层将承载各类服务及应用，实现算力网络与用户服务（如 VR/AR, V2X, AI 等）的信息交互以及对服务或业务的算力需求感知，实现实时准确的算力发现。

算力管控层将实现算网资源的管理及控制，包括算力资源的感知与统一管控、度量及监控、提供算力运营、结合感知的业务需求和算网资源状态，进行算力编排调度，实现算力路由控制等，实现服务的灵活调度。

算力资源层将涵盖分布式异构计算、存储等算力基础设施以及提供信息传输的网络基础设施。

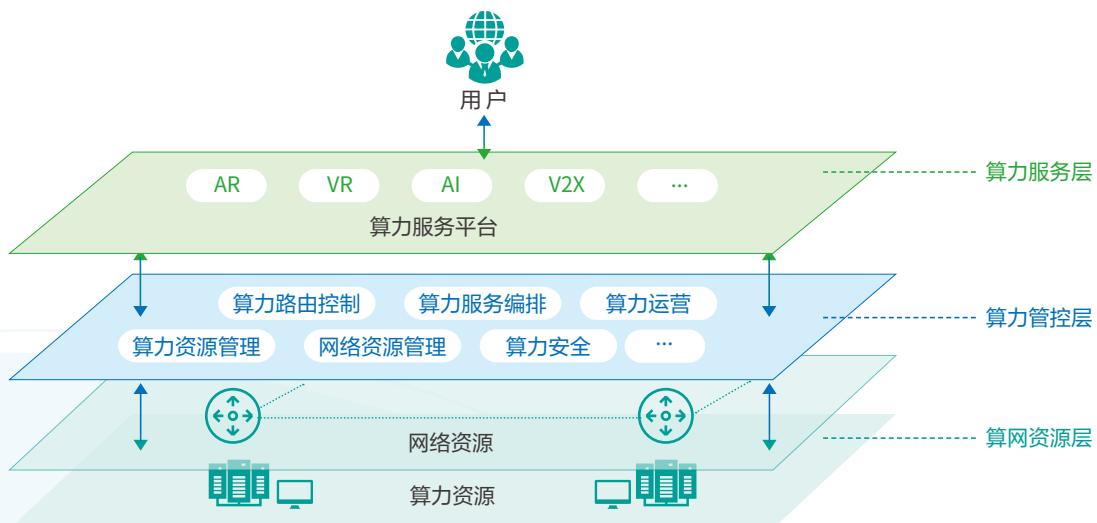


图 3-9 算力网络架构

## ● 算力资源管理和编排技术

6G 网络将研究算力资源、网络资源和算力服务的管理技术，包括异构算力资源的抽象、建模及度量、算力注册、算力节点信息采集及性能监控等 OAM 管理，形成统一、全面的算网资源管理体系，实现网络和算力的统一管理和监测，进一步支撑算力运营和算力业务调度。

6G 网络将通过算力网络编排系统，对满足 6G 业务需求的算力服务进行编排、调度及全生命周期管理。针对算力节点的异构算力资源和网络资源，进行预留、分配及释放。基于全网计算、存储等多维资源的部署情况，根据业务需求生成

业务调度策略，通过智能化编排，调度算力服务到适合的算力节点上进行处理，实现动态的业务部署与编排。

## ● 算力路由控制技术

算力网络的灵活调度的算力路由控制技术，主要通过网络控制平面实现计算和网络多维资源融合的路由，计算、网络资源信息感知及节点间信息通告，根据感知到的算力信息生成算力拓扑，生成算力路由信息表，将感知到的用户业务需求与资源进行映射，制定资源分配策略并根据资源分配策略获取网络连接需求，建立网络连接。

---

算力网络可实现 6G 网络分布式泛在计算、存储资源的灵活动态调度与高效协同，为 6G 网络功能的灵活部署、快速协同提供基础资源保障。通过研究算力网络关键技术，通过网络和计算的协同调度，实现算力的高效共享。

---

## 智能网络架构

6G 新业务和新场景带来了新的网络需求，新兴技术如 AI 技术、算力网络、通感一体化、云原生技术的发展，为 6G 网络架构引入了新的元素，智慧内生、算力、云化网络等，已成为 6G 网络架构设计中不可或缺的要素。6G 网络架构应具有智慧内生、以用户为中心、以服务为中心的特点。6G 接入网将引入服务化的设计理念，在日趋复杂的环境中构建最便捷高效的极简网络架构，通过接入网功能的柔性分割机制，提供按需的接入能力，满足各种接入需求和用户业务需求。6G 核心网将从以用户为中心，实现分布式的去中心化的网络架构，降低网络复杂度实现灵活、智能的组网。

同时 6G 网络的可编程化和虚拟化，具备了智

能化基础。分布式 AI 技术发展，为网络与 AI 融合提供了支撑。两者的结合产生了网络人工智能技术，并在移动通信网络中广泛应用。

对于 6G 网络而言，为了实现高效的网络治理、满足差异细致的全场景用户需求、以及向随网络应用和 AI 技术发展而爆发的新业态提供服务，采用分布式 AI 的智能内生技术和网络架构已成为业界共识，并将成为 6G 网络重要特征之一。

目前 IMT2030 ( 6G ) 推进组发布了《 6G 网络架构愿景及关键技术展望 》白皮书，白皮书指出 6G 网络架构应遵循兼容和创新并举的设计理念，具备智慧内生、安全内生、多域融合、算网一体等四大特征。

同时IMT-2030推进组下属网络组已经开始进行6G智能内生网络架构的研究，从智能内生的场景和能力入手，研究6G智能内生的内涵和特征，并在此基础上研究智能内生的架构设计要求和关键技术，为后续的6G智能内生网络架构奠定基础。

## ● 6G智能内生网络架构

6G将采用分层分域的分布式AI技术构建6G智

能内生网络架构，具备“一超多体智能化”特征的智能内生网络架构将主要研究中央超脑和“多体”个性化智能能力的服务范围和用例，中央超脑与“多体”之间协调的需求、功能、接口和方式，使得中央超脑与“多体”AI服务界定清晰，具备高效协同的能力。智能化AI能力中，将实现网络各网元、信息处理单元、管理功能模块原生具备可部署AI环境能力的方式，使得网络具备无处不在的AI能力。如下图所示：

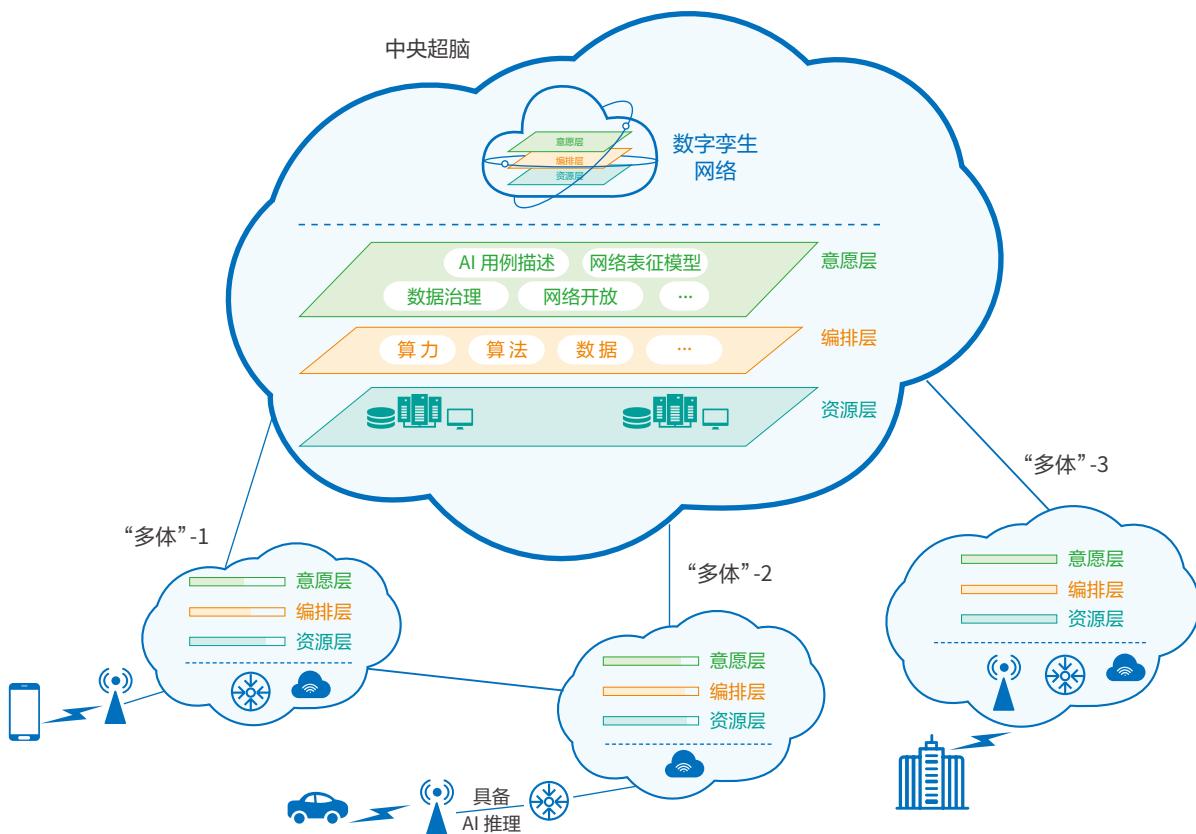


图3-10 “一超多体智能化”特征智能内生网络架构

## ● 服务化的接入网架构

6G接入网将是面向服务的网络架构，可以实现灵活网络切片、集中式和分布式灵活网络控制。服务化的接入网网络将接入网功能柔性分割为多个网元功能，模块间可以通过服务化接口进行交互。

针对不同的接入网需求，如针对AI内生业务、通感一体化、定位等新能力的需求或针对不同终端类型的需求，可以通过接入网网元功能的重构，形成个性化的接入网拓扑和协议栈部署，实现自组织的虚拟化无线接入网。

## ● 分布式网络架构

6G 网络为了支持天地融合网络的立体组网以及多种异构网络的融合共存，需要更加扁平化的网络架构，由集中向分布式演进，实现 6G 网络的云、边、端协同。6G 分布式网络存在着大量的具有差异化特征和能力的通信节点（如宏基站、小基站、终端等），为了实现节点的高度自治，6G 网络需要支持分布式网络资源互补和按需组网。

在无线空口侧，分布式的通信设计可以有效地改善对边缘用户的服务质量，实现服务质量在服务

区域内的均衡化分布，使得用户始终能够感受到处于网络“中心”的服务体系。从用户的服体验角度出发，以用户为中心的去蜂窝小区式（De-cellular）的分布式通信设计也是无线接入网络发展的一个重要方向。

6G 网络将利用分布式人工智能技术、区块链技术、可编程网络技术等建立可按需重构、弹性伸缩、自主站、自演进的分布式网络，提升 6G 网络的可靠性，满足不同的组网需求和场景。

---

6G 网络架构具备内生智能特征，支持网络服务的定制化，通过分布式的网络架构实现信息、通信和数据技术的全面深度融合，实现云、边、网、算的高效协同。

---

## 结束语

当前 6G 正处于学术界、产业界积极研究和探讨，各方机构、组织逐步参与的阶段。在十年一代的进程中，6G 的研究和技术框架确定仍属于初步发展阶段，需要时间的积累和沉淀，分阶段地达到稳定和收敛。我们期待着在业界的共同努力下，6G 将获得深入进展和潜在突破。

## 缩略语

英文缩写	英文全称	中文全称
3GPP	The third generation partnership Project	第3代合作伙伴计划
4G	The fourth generation mobile communication	第4代移动通信
5G	The fifth generation mobile communication	第5代移动通信
5G-A	5G-Advanced	5G增强
6G	The sixth generation mobile communication	第6代移动通信
6GANA	6G Alliance of Network AI	6G网络人工智能联盟
A-GNSS	network-Assisted GNSS methods	辅助全球导航卫星系统定位
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AR	Augmented Reality	增强现实技术
ATIS	The Alliance for Telecommunications Industry Solution	电信行业解决方案联盟
B5G	Beyond 5G	后5G
B5GPC	Beyond 5G Promotion Consortium	B5G推进联盟
BP	Back Propagation	反向传播
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
CNN	Convolutional Neural Networks	卷积神经网络
CPP	Carrier Phase Positioning	载波相位定位
D2D	Device-to-Device	设备到设备通信
DT	Data Technology	数据技术
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
FCC	Federal Communications Commission	美国联邦通信委员会
GEO	GeosynchronousEarth Orbit	地球同步轨道卫星
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GW	GateWay	地面网关
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动重传请求
ICDT	Information Communication Data Technology	信息、通信、数据技术
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气与电子工程师协会
IETF	The Internet Engineering Task Force	国际互联网工程任务组
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
IPv6	Internet Protocol Version 6	互联网协议第6版
IR-HARQ	Incremental Redundancy HARQ	增量冗余混合自动重传请求
IT	Information Technology	信息技术
ITU	The International Telecommunication Union	国际电信联盟
ITU-R	The ITU Radiocommunication Sector	国际电联无线电通信部门
ITU-T	The ITU Telecommunication Standardization Sector	国际电信联盟电信标准化部门
LDPC	Low Density Parity Check	低密度奇偶校验码
LEO	Low Earth Orbit	低地球轨道
LOS	Line of Sight	视距
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
MDA	Management Data Analytic	管理数据分析

## 缩略语

英文缩写	英文全称	中文全称
MEO	Middle Earth Orbit	中地球轨道
ML	Machine Learning	机器学习
NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
NLOS	Non Line of Sight	非视距
NMS	Normalized Min Sum	归一化最小和
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access	非正交多址接入
NR	New Radio	新空口
NTN	Non-Terrestrial Networks	非地面网络
NWDAF	Network Data Analytics Function	网络数据分析功能
OMS	Offset Min Sum	有偏最小和算法
OT	Operational Technology	运营技术
OTFS	Orthogonal Time Frequency Space	正交时频空间
P4	Programming Protocol-Independent Packet Processors	可编程通过自定义数据包的处理
PDMA	Pattern Division Multiple Access	图样分割多址接入
PDNR	Preliminary Document of New Report	新报告的初始文档
PMN	Perceptive Mobile Network	感知移动网络
QC-LDPC	Quasi-Cyclic LPDC	准循环 LDPC
QoS	Quality of Service	服务质量
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RIS	Reconfigurable Intelligent Surface	可重构智能表面
SA	System Architecture	系统架构
SC-LDPC	Spatial Coupled LPDC	空间耦合 LDPC
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
SIG	Study Item Group	研究项目组
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
SRI	Satellite Radio Interface	卫星无线接口
SRv6	Segment Routing IPv6	分段路由 IPv6
SUL	Supplementary Uplink	补充上行链路
TBCC	Tail BitingConvolutional Coding	咬尾卷积码
TDD	Time Division Dual	时分双工
TSN	Time-Sensitive Networking	时间敏感型网络
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人机
URAT	Uncoordinated Random Access and Transmission	非协调的随机接入和传输技术
URLLC	Ultra Reliable and Low Latency Communications	超可靠低延迟通信
UWB	Ultra Wide Band	超宽带技术
V2X	vehicle to everything	车联网
VR	Virtual Reality	虚拟现实技术
WRC	World Radiocommunication Conferences	世界无线电通信大会
XR	Extended Range	扩展现实



网址: <http://www.cictmobile.com/>



中国信科



中信科移动