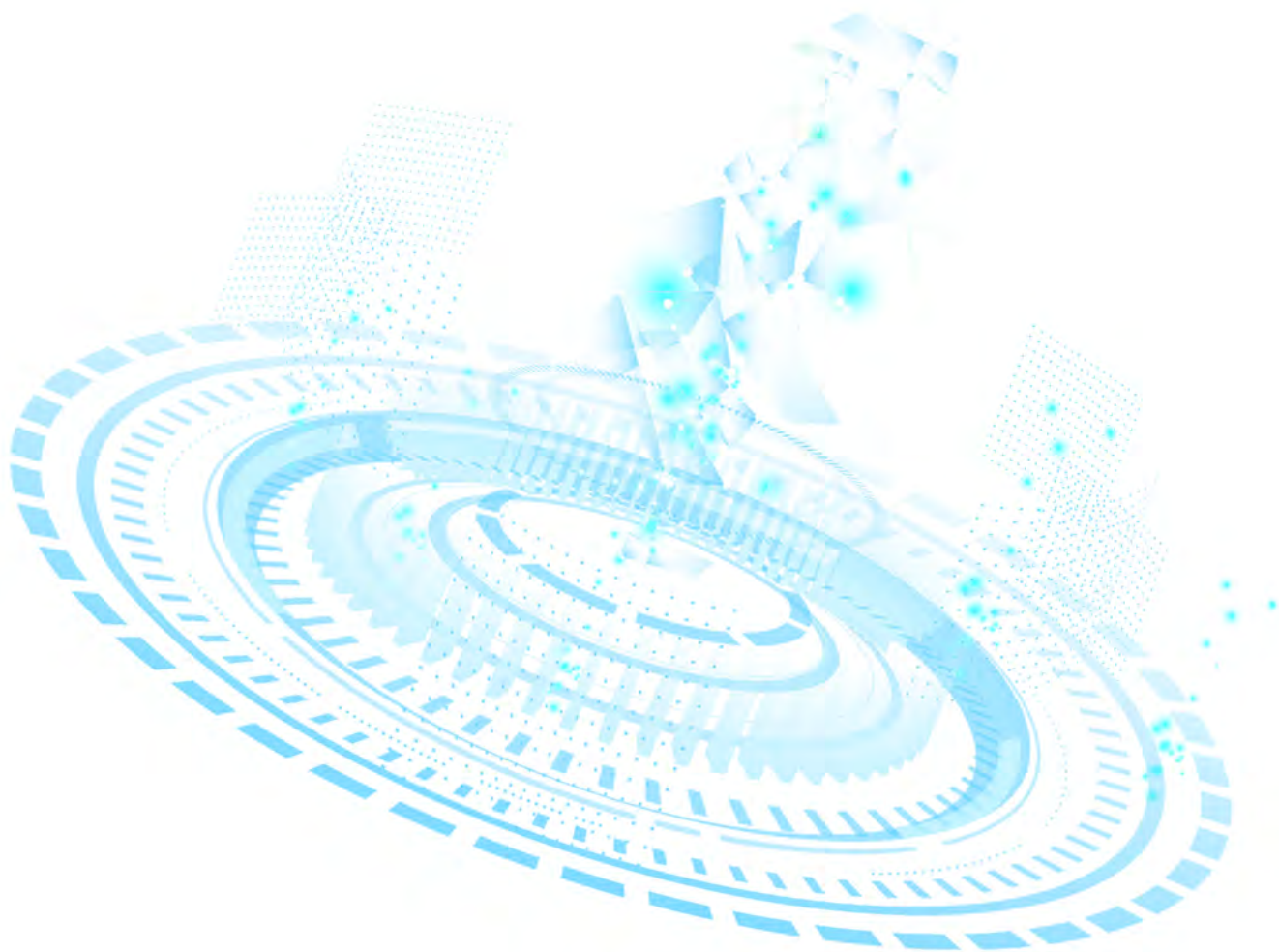




6G 分布式组网技术白皮书



2024 年 8 月

目录

前言	1
1. 6G 分布式组网愿景	3
2. 6G 分布式组网典型场景	5
2.1 矿业能源	5
2.2 无人机监管	6
2.3 卫星资源共享	8
2.4 用户边缘网络	9
2.5 网络容灾	11
3. 6G 分布式组网形态	12
3.1 6G 组网新设计	12
3.2 6G 组网新形态	13
4. 6G 分布式组网关键技术	16
4.1 分布式子网定制技术	16
4.2 用户边缘网络组网技术	17
4.3 分布式服务框架	18
4.4 分布式网络业务连续性	20
4.5 分布式智能服务框架	22
4.6 分布式算力机制	25
4.7 分布式网络的身份机制	27
4.8 分布式网络的安全	29
5. 总结和展望	32
6. 参考文献	33

前言

自 2018 年以来，全球各大研究机构、高校、设备厂商、芯片模组厂商、手机终端厂商和运营商相继投入 6G 研究，并发布多项 6G 研究报告及白皮书，介绍各自对 6G 的设想及研究进展^[1-4]。2023 年，国际电信联盟无线电通信部门 5D 工作组（ITU-R WP5D）发布《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》（以下简称“建议书”），标志着 6G 的研究从愿景正式走向架构和关键技术。2024 年 5 月，3GPP 首个 6G workshop 在荷兰鹿特丹召开，预示着全球的 6G 研究正由技术研究逐步转向技术收敛和标准制定阶段。

ITU-R 建议书指出，6G 将在 5G 的三大类场景基础上进一步增强，要求网络具备更高的性能，如更高的吞吐量、更低的时延、更高的可靠性和更多的连接数量等。除了对现有的三类 5G 场景进行增强外，6G 还将引入三类全新场景，要求网络具备感知、智能等新能力，并能够与传统的“连接”功能实现协同。

物理分散的组网设计。鉴于 6G 场景对低时延、高可靠性的极致需求，及其与感知、智能服务紧密相关的数据与算力天然分散特性，6G 网络需要采用物理上分散的组网设计。意味着网络基础设施和业务的分布将更加广泛，贴近最终用户。此举不仅能有效减少数据传输的延迟，还能通过多点协同提升连接的可靠性。

逻辑分散与有机协同。为了应对更加丰富的 6G 网络场景，6G 网络设计还需要具备逻辑上分散且有机协同的架构。针对不同的应用场景，每个网络逻辑可以独立运行，支持独立的系统升级和功能迭代。多样化的能力和资源可以通过共建共享的方式实现协作。这种架构能够使网络灵活适应不同的业务需求，提升网络资源利用率，减轻网络运营压力，并降低因单点故障引发的大面积业务中断风险。

综上，6G 需要构建一个支持物理和逻辑分散，同时能够协同工作的组网架构，以应对未来多样化、高要求的场景需求。通过物理分散减少时延，逻辑分散为特定场景提供定制化服务，网间协同确保高效运行，共建共享优化资源配置，最终为用户提供更加优质、可靠和灵活的连接体验。

6G 时代，服务集“连接”、“感知”与“智能”于一体，其多样化远超传统网络。因此，从设计之初，就必须原生融入跨运营商及运营商内部的分布式组网考量，以应对更为复杂的网络环境。这不仅能避免传统网络因组网需求未充分预见而导致的后期技术补救与运营压力，还能确保网络部署的标准化与灵活性

当前，业界对于 6G 分布式组网范式已有广泛共识，多份公开发表的白皮书和研究报告^[4-8]对 6G 分布式组网的应用场景及需求、组网框架、关键技术等关键领域进行了初步探讨。本白皮书延续了上述研究基础，对分布式组网进行更为系统性和全面性的梳理。

本白皮书基于对分布式组网背景及典型场景的分析，提出了 6G 分布式组网形态，并分析了 6G 分布式组网的多种关键技术。第一章通过背景分析，提出了 6G 分布式组网的愿景。第二章分析了 6G 分布式组网的典型场景。第三章，分析了 6G 网络涉及的新特点，并提出了 6G 分布式组网形态。第四章，基于场景需求及组网形态，分析了多种 6G 分布式组网关键技术。

1. 6G 分布式组网愿景

当前，业界对于 6G 分布式组网范式已有广泛共识。多份公开发表的白皮书和研究报告对 6G 分布式组网的应用场景及需求等进行了深入的探讨。《6G 分布式网络技术的应用场景及需求研究报告》^[5]、《6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书》^[6]和《未来移动核心网演进趋势白皮书》^[7]分析了 6G 网络进一步向分布式架构演进的驱动力。《6G 愿景与技术白皮书》^[4]对分布式网络框架的关键技术进行了初步探讨。《6G 网络架构展望白皮书》^[8]提出了一个 6G 分布式组网总体架构。上述研究为 6G 分布式网络的设计提供了方向。

本白皮书延续上述研究基础，对分布式组网进行更为系统性和全面性的梳理。本章从 5G 和 6G 两方面分析分布式组网的背景，相应地，提出 6G 分布式组网愿景。

5G：网络特性与当前挑战

5G 以其卓越的网络特性，极大地提升了用户体验，并引领了物联网、智能制造等领域的创新飞跃。它为经济社会发展注入了强劲动力，加速了数字化转型的进程。其中，5G 网络实现了控制面的 SBA 服务化架构，显著提高了网络差异化服务部署的灵活性和开放性，实现了网络的按需智能编排。同时，UPF 的按需下沉部署也满足了部分边缘业务场景的本地分离需求。

然而，从网络的整体组网上看，5G 网络仍采用相对集中式的组网形态，控制面网元集中部署在大区或省份的统一资源池。这种架构的容灾保障主要依赖网元层面，一旦出现故障，影响面较大且恢复时间长。此外，专网间的网络服务/能力尚未充分协同，按需定制能力仍需进一步增强。

6G 愿景与新特性

ITU-R 在《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》^[9]中，为 6G 描绘了宏伟的愿景，并提出了六大应用场景和 15 个网络能力指标。相较于 5G，6G 不仅在现有场景和指标上实现了显著增强，更突破性地引入了三大融合场景：AI 与通信的深度融合、感知与通信的融合，以及实现泛在连接的新模式。

6G 将全面整合 AI 技术、感知能力和天地一体化的通信技术，引领全新的通信时代。同时，6G 还引入了六大新增指标，如感知能力、AI 能力、可持续性等，这些指标将直接推动网络性能和服务质量的全面提升。

6G 分布式组网愿景

为解决 5G 发展挑战，满足 6G 的愿景和指标需求，网络组网形态将发生深刻变革。本白皮书提出的 6G 分布式组网，将从传统的集中式模式演进为灵活端到端的分布式模式。这种分布式组网形态将克服以往切片颗粒度粗放、逻辑功能相对统一的局限性，实现更为灵活的网络功能按需定制及分层部署，网络能力的按需协同。它将提供泛在的连接能力，实现就近网络服务、数据服务、AI 服务和计算服务等多元化服务，满足用户在各种应用场景下的服务需求。

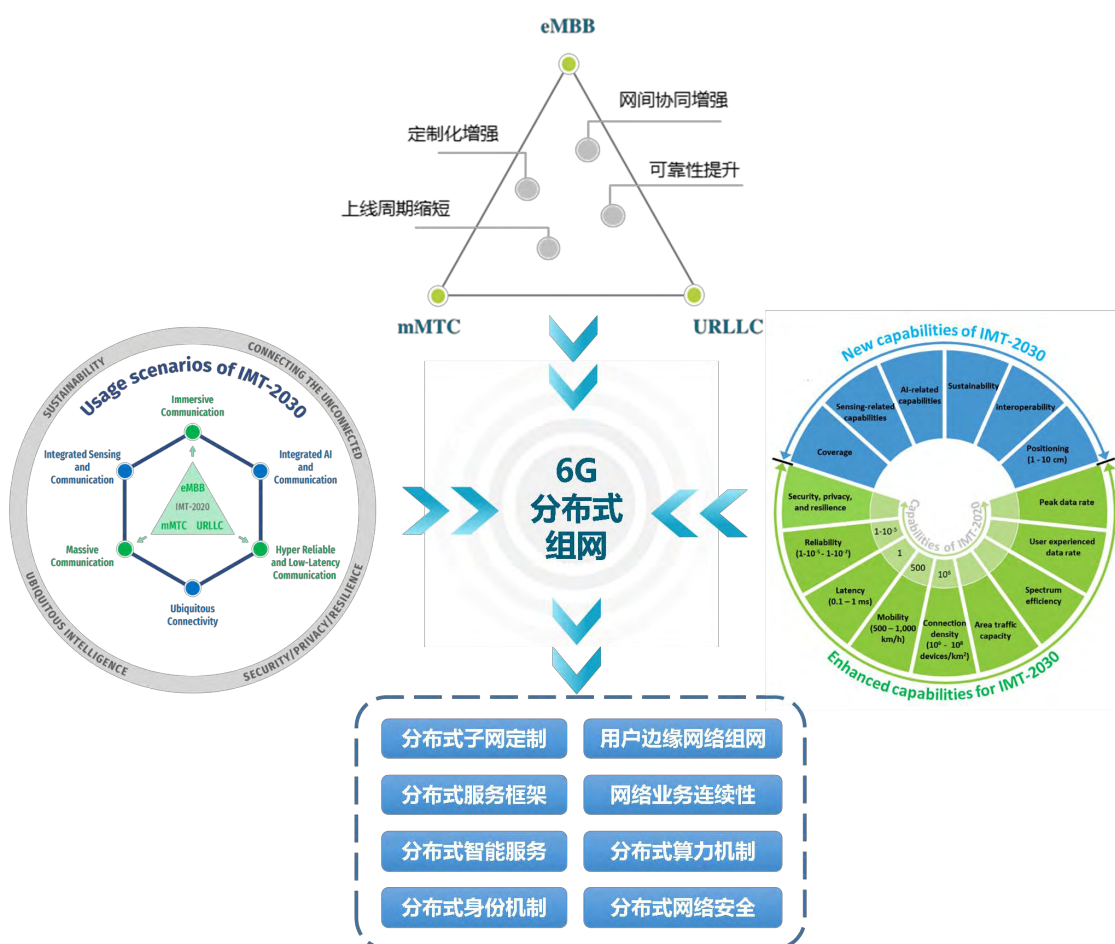


图 1-1 6G 的分布式组网愿景

2. 6G 分布式组网典型场景

基于 6G 分布式组网愿景，6G 网络将赋能生活、生产、社会等众多方面。本章给出 5 个分布式组网的典型场景，阐述 6G 分布式组网在这些场景中的具体应用。

2.1 矿业能源

随着经济和技术的飞速发展，能源在我国中的地位日益重要，它正在改变人类生活。此外，过去几年，能源市场发生动荡，一方面，新冠疫情对能源需求、价格和市场造成了巨大的冲击，如导致的石油和天然气需求减少、油价暴跌等^[10]；另一方面，俄乌冲突引发的全球能源危机也导致全球贸易重新洗牌^[11]。面对能源新格局，中国拥有十分丰富的矿业能源，可以持续发展矿业市场，提高矿产资源保障能力。

为了有效支撑矿产资源勘查开发，保障矿产资源安全开采，矿业的智能化建设进度不断加快，智能应用场景和设备越来越多，由于环境复杂恶劣和业务的特殊性，矿业场景对网络存在特殊需求。



图 2-1 矿业典型场景示意图

一些应用如视频监控、监控巡检、数据传输等，对上行传输的需求显著，需要网络支持高带宽通信。还有些智能采煤、智能运输等装备远程控制应用，需要实现实时

交互控制和存在高安全性需求，需要网络支持确定性、超低时延、高可靠通信。另外，人员-设备接近防护、无人化巡检、自动驾驶等场景存在对精确定位感知的需求，需要网络支持高精度定位感知。考虑到企业生产数据的私有性和重要性，相关数据需要做相应的安全隐私处理，需要网络支持在本地处理数据和安全地开放数据，以便与工业应用程序进行数据和信息交换，例如开放给外部 AI 进行数据或知识处理，可用于监控、诊断等。

针对矿业环境和业务的特性，企业希望矿业网络具备轻量、定制、自治、灵活扩展、网间协同等特性。一方面，矿业网络需要按需至简的网络功能，支持一体化设计，以及支持针对特定业务需求增强或定制网络功能、配置专有特性，从而降低网络复杂性、提高网络的适配性与可用性。另一方面，矿业网络需支持多个逻辑独立的通信域用于不同的业务线，以及支持根据使用场景需求的变化进行灵活扩展。再者，矿业网络需支持独立运行来提供本地业务，也能和运营商网络协同满足智能、计算等更多业务需求。此外，网络的管理能力可以开放给企业，并简化网络管理。

2.2 无人机监管

近年来，具有全天候、全空域执飞能力的无人机正逐渐在各类军事和商业场景中受到青睐。目前，无人机在垂直行业中已展现出极大应用潜力与价值，如抢险救灾、灾后应急通信、农业植保、电力巡检、地质及气象勘测等。未来，无人机的应用场景有望进一步拓展至工业巡检、交通及物流运输、城市管理等方面。预计到 2024 年，国内无人机市场规模有望到达 1600 亿元^[12]；预计 2030 年全球无人机硬件市场规模将达到 3900 亿元人民币左右^{[13][14]}。然而，无人机日益广泛的应用，一并带来了对其监管的难度和风险的大幅上升。一方面，无人机飞行过程中存在与各种障碍物、其他无人机碰撞的风险，需要管理、规划其飞行路径；另一方面，未受到有效管控的“黑飞”无人机对机场、高铁站等敏感区域形成了极大的安全隐患，亟需对其进行入侵监管。

针对以上无人机监管问题，结合当前无人机续航及飞行高度有限的特点，需要在重点区域部署无人机监管分布式子网。具体而言，无人机监管分布式子网需要下沉部署连接、感知功能，一方面，基站可以是专为无人机监管定制的感知功能基站，也可以基于通感一体化技术为现有通信基站叠加感知功能实现基站复用；另一方面，核心

网控制基站检测、识别无人机或采集其飞行路径等数据，该数据在子网或上传至中心网络进行处理、分析，得到最终入侵检测、识别或飞行路径规划等结果，由中心网络开放给无人机监管服务请求方。中心网络亦可协同不同区域的多个无人机监管分布式子网，形成覆盖更广域、能力更多样的无人机监管网络，以应对未来更具挑战、更加精细化的无人机监管需求。

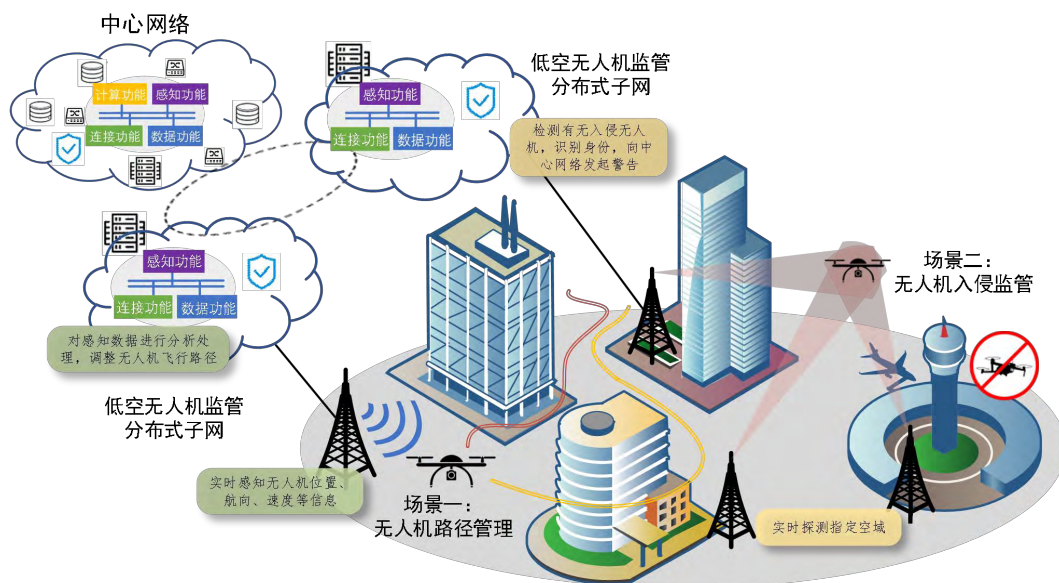


图 2-2 无人机监管典型场景示意图

针对无人机路径管理场景，要求无人机监管分布式子网具有对无人机位置、高度、航向、速度等信息实时感知采集的能力。基站需同时具有“连接+感知”功能，以保持与无人机的通信并实时感知其姿态、位置。结合环境三维地图，中心网络或子网的感知功能对采集数据进行滤波、预测等处理，实时控制无人机姿态并规划无人机飞行路线。若无人机靠近楼宇、其他无人机等障碍物，则需调整无人机姿态或飞行路线以避免障碍；若无人机偏离原定路线，则需引导其回归正确航迹。

针对无人机入侵监管场景，要求部署在敏感区域（如机场、政府、军事区域等）的分布式子网能够检测有无入侵无人机、识别无人机身份并向中心网络发起警告。此场景要求基站具有感知功能，以实现入侵者的实时探测。中心网络也需要能够协同多个无人机监管分布式子网进行无人机飞行数据采集，在中心网络通过数据融合处理实现高检测概率、低虚警率的无人机入侵监管。

2.3 卫星资源共享

卫星网络是实现天地一体无缝通信的基础，也是天地一体泛在连接的保障。卫星作为一种接入方式连接到天地一体化分布式子网，为 ToC 用户提供无差别化的基础通信业务和增值业务，也可为 ToB 行业客户提供卫星专网服务。卫星专网具备架构轻量化、高安全性、抗毁性、独立性等优势，可提供全球性不间断连续通信服务，可作为政府应急通讯、国防安全的重要通信能力。

由于“透明转发”卫星必须依赖地面信关站提供馈源，而地面站很难跨境建设，因此大量低轨通信卫星路过境外上空时由于缺少地面信关站而无法提供服务，利用率较低。为了解决这一问题，“星载基站”、“星载分布式子网”模式应运而生，卫星新增基带处理载荷、通用计算载荷、路由与交换载荷、馈电处理载荷、激光通信终端载荷等设备模块。

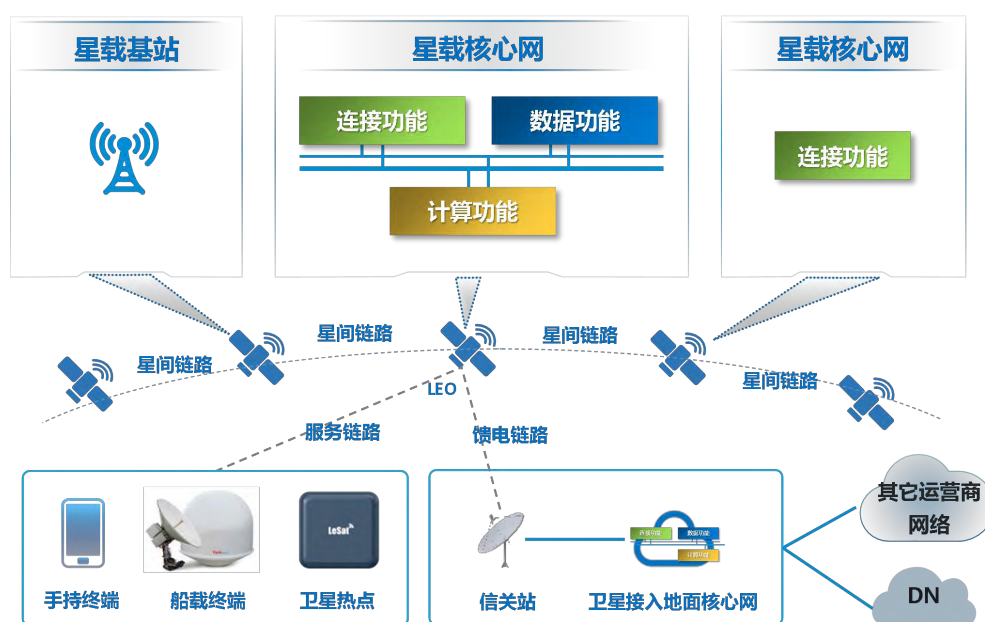


图 2-3 星载核心网典型组网架构

天地一体分布式网络功能可以在地基和天基上进行功能柔性分割。地基网络在信关站侧部署专用卫星接入核心网，由该核心网实现卫星接入差异化功能及信令层面的屏蔽；天基网络实现星载核心网功能定制，支持灵活路由与业务传输。天基核心网独立组网场景可以在星上仅部署连接功能，也可以按需部署连接功能、数据功能和计算功能。

卫星通信系统的频率和轨道资源稀缺且不可再生，是卫星运行的基础。频谱资源由国际电联统一分配管理，资源分配采用“先占先得”原则，率先抢占优质资源者将在未来竞争中占优势。当前，L、S、C 频段基本被分配完毕，新进入者的频率都拥挤在较高的 Ku、Ka 频段，难以满足巨大的频谱需求缺口，目前许多国家正在对频率更高的 Q 频段和 V 频段进行开发，高频段将成为下一代通信卫星的主要发展方向。中、低轨卫星系统重点在于全球覆盖，其商业闭环需要基于全球市场统筹考虑。为提升卫星投资效率，卫星运营商需重点解决卫星与地面运营商新型组网模式下的网络、频率、承载、信关站等共建共享策略和运营主体的权益等。卫星资源共享可以采取多种形式，如卫星资源共享、卫星运营商与地面运营商共享频率、卫星接入核心网共享等多种方式：

- 卫星资源共享：指多个行业用户或运营商共同使用卫星资源，比如通信带宽、数据存储等。这种方式可以显著降低单个行业用户或运营商的卫星接入使用成本，同时提高卫星的使用率。
- 频率共享：与地面服务提供商合作的卫星运营商获得 4G/5G/6G 频谱授权，将分配给地面使用的频谱灵活应用于卫星业务，来补充地面运营商在偏远地区、未服务或服务不足的地区覆盖，提供紧急服务。
- 卫星接入核心网共享：共享卫星接入核心网可以减少多个运营商卫星核心网的重复建设，降低整体的维护成本，同时提高数据处理的效率和可靠性。

2.4 用户边缘网络

6G 基于泛在连接描绘了一种万物智联愿景，即：所有的人、物和机器，都可以发起业务需求，不管是作为 UE 还是依赖于 UE，或者被 UE 所感知，例如：可穿戴设备、家居家具、公共设施、生产终端等；各类信息，都可以数字化后进行传递，例如：人体的嗅觉、味觉和触觉，都可以被数字化为通信信号。终端在功能形态上向泛在化、异构化发展，除了通信/接入能力，通常还具备计算、感知、业务、安全自保护等多种功能的一种或多种。在这样场景下，6G 网络将进一步向网络边缘延伸，覆盖终端之间的连接及各种异构终端；进一步地，围绕特定的归属或业务特性，如相同的个人、家庭、企业等，终端之间可自组网，独立提供通信、算力等服务，或形成网中网的接入

和服务形态，所有这些围绕用户的某种特性需求、特别是结合特定服务区域的终端组网形态，称之为用户边缘网络。典型的用户边缘网络如图 2-4 所示，具体的场景有如下几种：

- 个人物联网：人身上的传感设备可检测身体的异常，在手机上发出警告，或通过可上网设备（如手机）连接医疗系统的网络，触发医生进行诊断、开药或药物的订购和配送。
- 智慧家庭：通过家庭网关与网络的联合学习形成一套合适所属家庭特征和人员个性的家居环境参数，配置在家里的空调、洗衣机、洗碗机、电灯、电视等家居设备上，并能随着温度、湿度等外围环境自动进行调整，从而可营造温馨、舒适的家居环境和便利的生活起居配套；同时，所有家居设备，可以通过家庭网关和移动网络互联，按需获取信息或实现业务联动等。
- 临时现场网络：企业的员工，需要频繁地随时随地组织会议进行业务上的讨论，或者，聚集在一起的亲友，临时需要组成一个高速局域网开展 VR、XR 游戏，那么他们只要有一些支持 6G 等无线接入技术的便携式设备，如笔记本电脑、平板电脑、手机或 XR 终端等，就可以围到一起开会或完成协作任务。通过网络协助下的终端之间的发现，将各种便携式终端快速组织高速局域网络，并借助云端/边缘算力，完成高负荷计算任务，满足多样化的会议和游戏等业务需求。



图 2-4 用户边缘网络典型场景

终端之间只要存在某种协同工作关系，就可以组建用户边缘网络，用于特定环境、紧急情况等。用户边缘网络具备超大数据级、个性化配置、可传递多模态信息等特点，终端间可直接通信，又能和移动网络互通，借助网络完成数据处理、计算、AI 等任务，也可与特定的应用平台交互，使用互联网业务，或和其他的用户边缘网络通信等。这些用户边缘网络，将分散在网络边缘，成为 6G 分布式网络重要组成部分。

2.5 网络容灾

据 GSMA 报告《The Mobile Economy 2024》^[15]，截至 2023 年底，全球移动网络用户达到 56 亿，SIM 卡连接数达到 86 亿，授权的物联网连接数达到 35 亿，预计到 2030 年，全球移动用户数将达到 63 亿，SIM 卡连接数将达到 98 亿，授权的物联网连接数将达到 58 亿。随着网络连接数的快速增大，连接、感知、智能等网络服务类型的多样化，网络功能越来越复杂，相对集中式的网络组织形式，使得单点的网络故障，更容易引发大范围的严重通信网络事故。网络故障不仅造成大众用户的服务中断，新用户无法接入服务，还会导致商业和紧急服务等领域的长时间瘫痪，严重损害运营商及客户的经济利益和企业形象。强化网络容灾措施，分散网络风险，以确保持续稳定的运营和快速地从网络故障中恢复，一直是运营商关注的热点问题。



图 2-5 网络容灾典型场景示意图

面向 2030 年，6G 网络需要具备更强的容灾能力，实现更高的网络可靠性，不仅需要提升网元内、网元间的容灾能力，同时还需要进一步支持网络级的容灾能力。

一方面，通过核心网的分布式下沉部署，缩小网络故障影响范围，降低出现网络大面积异常的风险。另一方面，当出现网元、链路等故障时，通过网络节点间的协同，保障在网用户的业务体验，支持新用户的正常接入，并在故障排除时，通过节点间协同快速复原网络配置。

3. 6G 分布式组网形态

3.1 6G 组网新设计

相比 4G 网络，5G 网络性能指标有了质的飞跃，此外，网络组网部署的灵活性也有了极大的提升。如上文所述，5G 网络控制面使用了服务化架构，显著提高了网络差异化服务部署的灵活性和开放性，一定程度实现了网络的按需编排。同时，用户面 UPF 的按需下沉部署也满足边缘业务场景的流量本地分流的需求，一定程度上实现了网络的分层分布部署。而 6G 网络，由于其服务进一步扩展（从连接服务扩展到连接+感知+智能+数据+计算）、应用场景更丰富（从 3 大场景到 6 大场景）、技术指标要求更高（9 大增强指标+6 大全新指标），结合上述典型场景的需求分析，可以看出，6G 网络需要从一开始就考虑全新的组网设计：

- **更精准的网络定制。**6G 应用场景呈现出多样化、个性化发展特征，在业务特征、网络部署需求、管理方案等方面有明显区别，对网络服务的按需、差异化提供提出了更高的要求。与架构和逻辑功能相对统一的 5G 定制化网络相比，未来 6G 网络需要支持从网络设计到运行等方面进行定制化设计。

- **更灵活的网络部署。**大量的新型 6G 应用场景有设备本地化部署需求，以及有灵活扩展、自主运维、数据隐私和保密性的要求。同时，由于算力、数据资源具有天然分布式的属性，6G 网络不仅需要支持用户面下沉部署，还需要支持灵活、层次化的部署连接、数据、感知、计算和智能等网络功能。

- **更多元的网络协同与管理。**未来 6G 网络可提供多样化的能力，从连接扩展到数据、智能、感知、计算等。因此 6G 的组网除了要考虑跨网协同实现传统面向“连接”服务的覆盖增强、漫游等需求外，还需要考虑数据、智能、感知和计算服务的跨网协同。同时还需要考虑到安全、可信、隐私和拓扑隐藏等需求带来的对网络协同带来的

额外要求，除了传统面向 NF 级的协同管理机制，未来 6G 网络还需要考虑网络级的协同管理机制。

3.2 6G 组网新形态

基于上文分析，为满足多样化场景需求，匹配数据、算力的分散特性，以及满足部分业务的极低时延要求，提供连接、感知和智能等差异化服务，6G 需要一个集中与分布式结合的智简分布式组网形态，如图 3-1 所示，该组网形态逻辑上包括一个逻辑上的中心网络和多个满足不同场景需求的智简分布式子网。

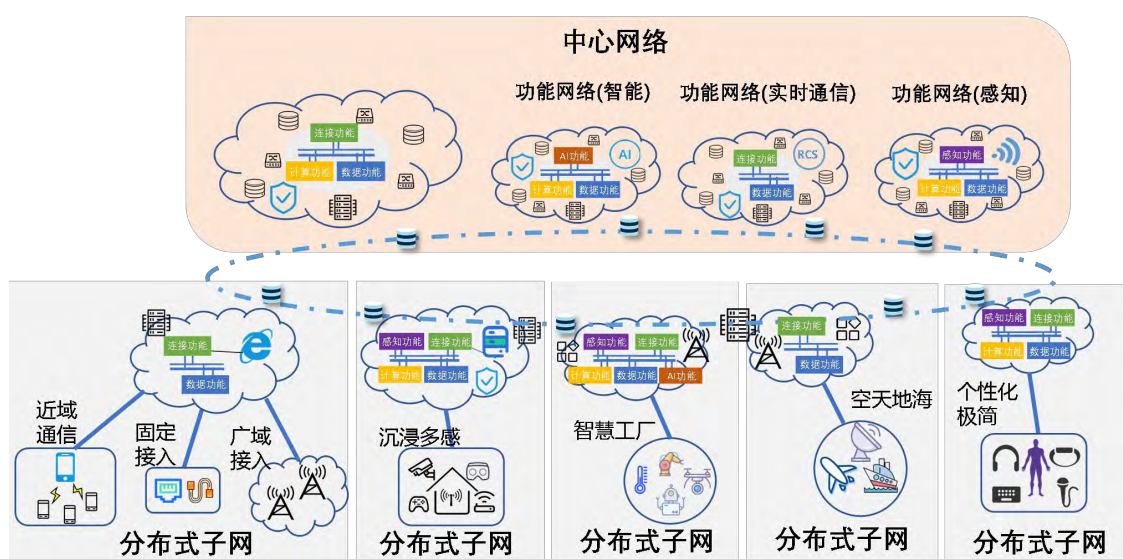


图 3-1 6G 分布式组网形态

中心网络可以理解为一个广域覆盖的基础网络，重点满足 ToC 的各种场景基础需求，兼顾 ToB 和 ToB-ToC 等需求，除了提供传统连接服务的增强外，还支持各种 6G 新服务，如智能、感知和实时通信等。中心网络其物理部属形式可以是传统的大区制或分省制部署。

分布式子网是一类满足特定场景需求的、功能最简的逻辑专网，可以是物理上独立的专网，也可以是与其它网络共享物理基础设施的云化专网。结合部署位置和场景特性，分布式子网可以是靠近用户的下沉的边缘网络（如面向工业场景的专网），可以是覆盖一定行政区域的 ToC 下沉网络（如地市分布式子网），也可以是位置相对集中的专用网络（如面向卫星接入的专用地面核心网）。此外，分布式子网可以是一个单一的

核心网，也可以是包含接入网和核心网的整体网络，在某些特定场景下，还可以是包含终端侧组网、接入网及核心网的端到端用户边缘网络。

6G 中心网络、各分布式子网间可以通过相互之间的协同满足完整服务的需求，例如，通过多个 ToC 下沉网络之间的协同实现用户的漫游与基础连接服务互通，通过中心网络与多个分布式子网之间的分布式 AI 模型训练向终端提供无人机路径规划和 AI 模型推理等服务。分布式子网和分布式子网之间可以直接互通，或者通过中心网络实现互联互通。

基于上述分析，6G 分布式组网形态需要具备以下两大特性要求：

(1) 网络定制

- **支持定制更丰富的能力。**为了满足 6G 场景多样化的能力需求，6G 网络可能包含连接、数据、AI、感知、计算等能力。考虑到 6G 场景对网络能力类型、同类能力性能的不同需求，6G 网络需要从各个能力维度对网络进行定制，从而满足场景对网络的特定需求。
- **支持逻辑层面的定制。**6G 网络支持在网络功能、网络服务、网络业务流程、网络协议、网络接入方式等方面进行定制化设计。例如，在网络功能方面，低移动性的场景不需要移动性管理服务相关的功能，通信与 AI 融合场景需要 AI 相关的功能以及可能不需要感知相关的功能；在网络策略方面，卫星具有高速移动切换的特点，需要定制特定的移动性管理机制，包括接入和切换策略；在网络协议方面，根据数据类型可能需要配置不同的协议。
- **支持部署位置层面的定制。**6G 网络将通过更多的 NF 支持更多的新场景和新业务，为了高效、灵活适配新业务新场景，6G 网络应对功能模块进行按需部署，可选择部署在客户域或运营商域。例如将存储鉴权数据和存储签约数据的 UDM 进行层次化分布式部署，鉴权数据库放在运营商域内，签约数据库分布式部署在客户专网，满足客户的信令面消息不出园区的需求；又如将数据采集相关功能部署在本地网络，更靠近数据源，智能控制相关功能部署在中心网络，便于全局统筹。

- **支持定制网络的即插即用。**分布式子网支持子网内网络功能和子网本身的即插即用，网络功能部署之后，能够与子网内的其他网络功能自动连接，对外提供服务；子网部署之后，能够与其他子网按需自动连接，协同实现业务。通过即插即用，可以减短网络部署时间，简化网络部署，使新功能快速上线。

(2) 网络协同

- **支持多类能力协同。**6G 网络提供包含连接、数据、AI、感知、计算在内的多种能力，业务也可能存在对多类能力的需求，6G 网络需要能够对多类能力进行协同，对多类能力资源进行一体化调度。例如，计算类业务对计算和连接能力存在需求，网络需要为计算业务选择计算节点，以及将业务流量转发到计算节点上。
- **支持网间能力协同。**分布式子网可能包含多样化的能力，从连接扩展到数据、AI、感知、计算等，各分布式子网具备的能力可能不同。将不同的分布式子网、分布式子网与中心网络协同，可以增强网络能力变现。一方面，可以实现服务扩展、互补增强，例如多个分布式子网协同实现智能任务；另一方面，可以扩大网络覆盖范围、远程访问业务和共享网络资源/能力，例如多个分布式子网协同实现 UE 移动或网络宕机时的业务连续性。
- **支持网络级服务管理和协同。**服务包括 NF 服务和网络级服务，网络支持根据本网络的 NF 服务、位置、标识信息等生成网络级服务信息，并对网络级服务信息进行管理更新。当需要网络协同提供业务时，支持通过网络级服务信息进行网络的发现、选择，然后由网络内部选择相应的 NF 来协同完成业务，实现不同分布式子网间的隔离和保护。

4. 6G 分布式组网关键技术

4.1 分布式子网定制技术

分布式子网的定制技术，主要考虑增强的服务化技术和编排技术。

为了能够灵活定制网络，需要增强的服务化能力作为基础底座。利用服务化技术，将网络功能划分并封装为相对独立的服务，借助 IT 领域的服务化能力设计思路，这些服务能力需要进一步原子化（在能构成完整服务的基础上尽可能小，使能更精细的定制），以及具备去关联性（服务间解耦，可单独提供，一个服务的变化不影响其他服务）等基本特性。5G 网络的服务化能力需要进一步增强，在原子化能力的设计时，考虑在具体业务流程中服务之间的逻辑关系，对于在业务流程中有固定逻辑关联的不同服务，可进行组合，以简化网络、减少接口交互。另外，服务化接口协议需要进一步优化，采用更加灵活、开放、高效、安全的协议。

在服务化基础上，网络通过编排技术实现网络的按需定制和生成。即：根据场景需求对网络功能进行灵活裁剪和重构，生成网络实例，完成配置并进行生命周期管理。分布式网络的编排有天然的优势，可利用网络智能，特别是边缘智能，通过结合算力、数据等分布式元素，运用分布式学习和训练、数字孪生等技术，实现外部的需求的解读、内部网络端到端多种资源的统一调度、定制化网络的自动化生成或配置。

对应于 6G 的整体架构，能力的服务化主要面向网络功能层的功能设计，而编排技术相关的实现与网络功能层、管理编排域均相关。例如：网络基础架构相关的编排，涉及网络功能和基础流程的设计，关系到连接、计算、数据、算法等多种基础资源的调配，且需要保证一定的稳定性，这部分编排功能可设置在网络的编排管理域中；而能力配置和任务调度相关的编排，和网络的业务执行紧密相关，具有一定的实时性和动态性，需要网络实时响应，这部分功能的编排调度，合适放置在网络功能层。

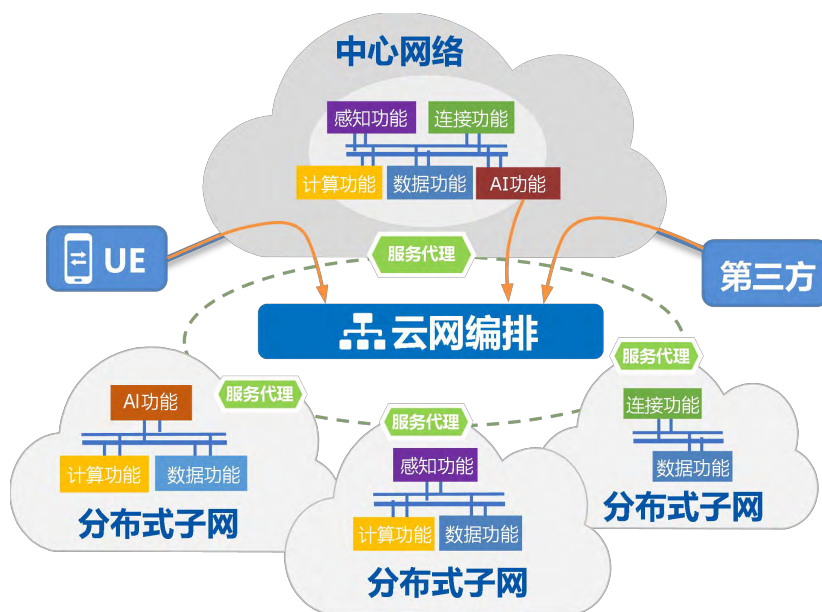


图 4-1 6G 分布式组网编排定制

4.2 用户边缘网络组网技术

终端组网技术用于组建第二章所述的用户边缘网络，通常有自组织组网和控制中心组网两种模式。

自组织组网可以事先在终端联网的情况下获取网络发现的授权、配置及身份标识等信息。在需要的时候，触发终端发射信号，通过特定的发现算法，实现终端之间的相互通信，提供终端之间的相互通信。终端具备中继功能，即使距离较远的两个终端也可以借助于其它终端进行通信，这样可以通过无线连接构成任意的网络拓扑，实施任何时间、任何地点快速构建终端间的服务连接。

控制中心组网是联网过程依赖于特定的承担控制中心角色的用户侧设备实施接入控制。控制中心通常承担注册中心的角色，即：用户边缘网络的其他终端设备，均需要将能力和其他信息注册到其中；基于注册信息、特定的组网协议和与运营商网络之间的控制信令交互，控制中心可以控制用户边缘网络的连接建立和业务执行，如当家庭网络作为智能家居组网的控制中心时，可以提供信息采集、输入、输出、集中控制、远程控制、联动控制、上网网关等功能。

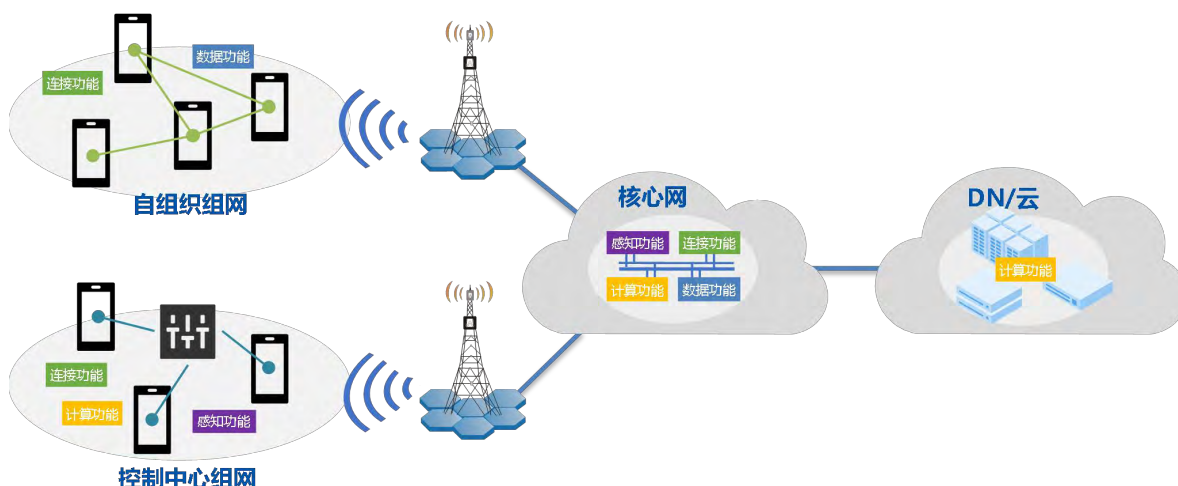


图 4-2 用户边缘网络的两种基本组网模式

用户边缘网络作为末端子网，可以以任何连接方式连接运营商网络。除了基于 NR 的接入方式，3GPP 已定义的几种非 3GPP 接入方式，均可视为用户边缘网络和移动网络协同的实现方式，但目前主要针对有线组网接入和 WLAN 接入，尚未覆盖其他的异构网络；另外非 3GPP 接入的 IPsec 协议，封装复杂效率低，需要有更高效更灵活的协议，以减少协议开销，保证高效、安全的接入。

作为网络向边缘的延伸，用户边缘网络已构成 6G 架构的重要部分。6G 网络架构的各个层面，具备对其感知、配置、资源调度、业务控制等按需的控制。6G 视用户边缘网络为分布式子网，基于统一的网间协同的基础设施支持用户边缘网络和运营商网络，或用户边缘网络之间的协同，支持边缘网络以各种接入方式接入运营商网络，以及更高效安全的协作机制。在服务构建方面，用户边缘网络的终端，可视为网络节点，参与数据、AI、通感、算力等能力的编排和执行，从而实现基于泛在连接的通感智算分布式协同。

4.3 分布式服务框架

在 6G 分层分布式网络架构中，分布式服务管理、发现和路由是未来重要的关键技术之一。如图 4-3 所示，本文提出服务代理实现分布式子网内和分布式子网间服务的注册发现。各个分布式子网间的服务代理可以组成联盟，服务代理之间通信可以基于 SBI 接口或者区块链实现交互，关键实现技术如下：

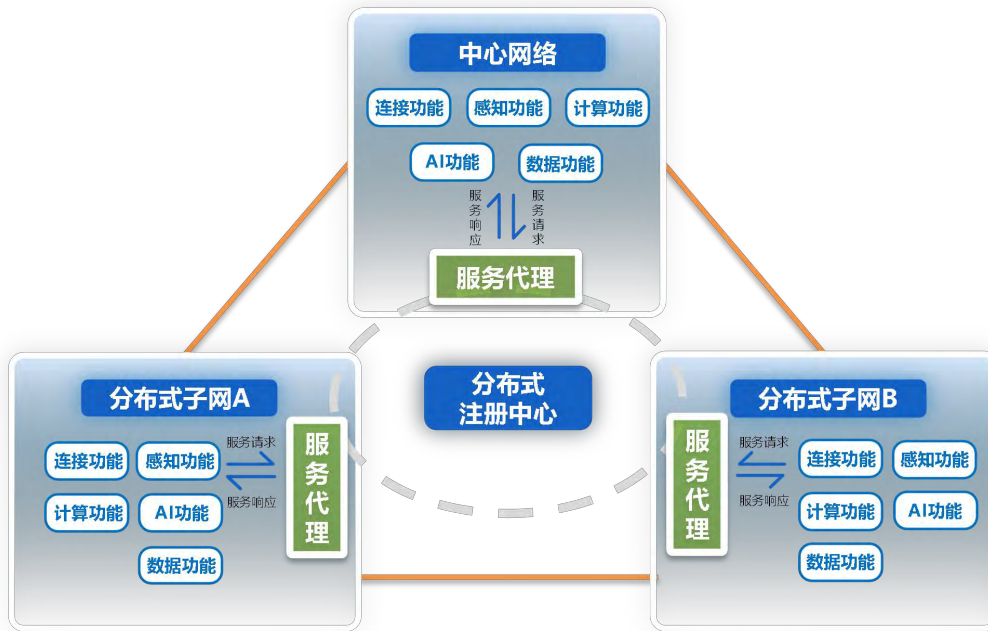


图 4-3 分布式服务框架示意图

服务注册与拓扑隐藏:

- 1) 服务注册: 分布式子网内的服务向子网内的服务代理进行服务注册, 如果该服务需要向其它分布式子网提供服务, 则通过服务代理对外进行发布。如果不需要对外提供服务, 则隐藏相关服务。
- 2) 拓扑隐藏: 服务代理具备拓扑隐藏的能力。当在网间进行服务发现的时候, 只能通过服务代理之间的协作进行服务发现和调用, 不能够直接访问对端分布式子网的服务实例。

双通道高速协同:

- 1) SBI 协同: 各分布式子网之间的服务请求, 例如获取签约数据、会话建立, 通过服务代理之间的 SBI 接口进行协同, 对应的响应消息通过原路返回。如果需要传递大块数据, 则返回 DCI 传递方式。
- 2) DCI 协同: 根据 SBI 获取的传递方式, 例如 FTP、RDMA 等, 两个分布式子网之间可以直接传递相关的大块数据, 不再通过服务代理, 以实现更高效的数据传输。

4.4 分布式网络业务连续性

与以往的移动网络相同，6G 网络需要提供业务连续性保障，以便在终端移动过程中提供无缝的业务切换能力、在网络故障时提供业务无中断的跨网容灾能力、在多网络连接时提供业务高可靠保障能力，从而使得 6G 网络能够始终提供连续不断、不受影响的“无中断”、“零丢包”的业务质量。

(1) 基于网业协同的智能无缝切换

在未来 6G 网络的场景中，XR、车联网等业务对网络的时延、丢包等比较敏感，因此大都采用就近的分布式子网来提供端到端服务。因此在终端移动过程中，可能会出现跨网络切换的场景，此时可能出现由于新网络的服务还未成功启动而导致的业务中断。

因此，需要 6G 分布式子网间、分布式子网和业务网络之间的增强协同机制，优化跨网络的应用切换过程，以满足高速移动、跨网络切换场景下，时延敏感类业务的服务连续性需求。

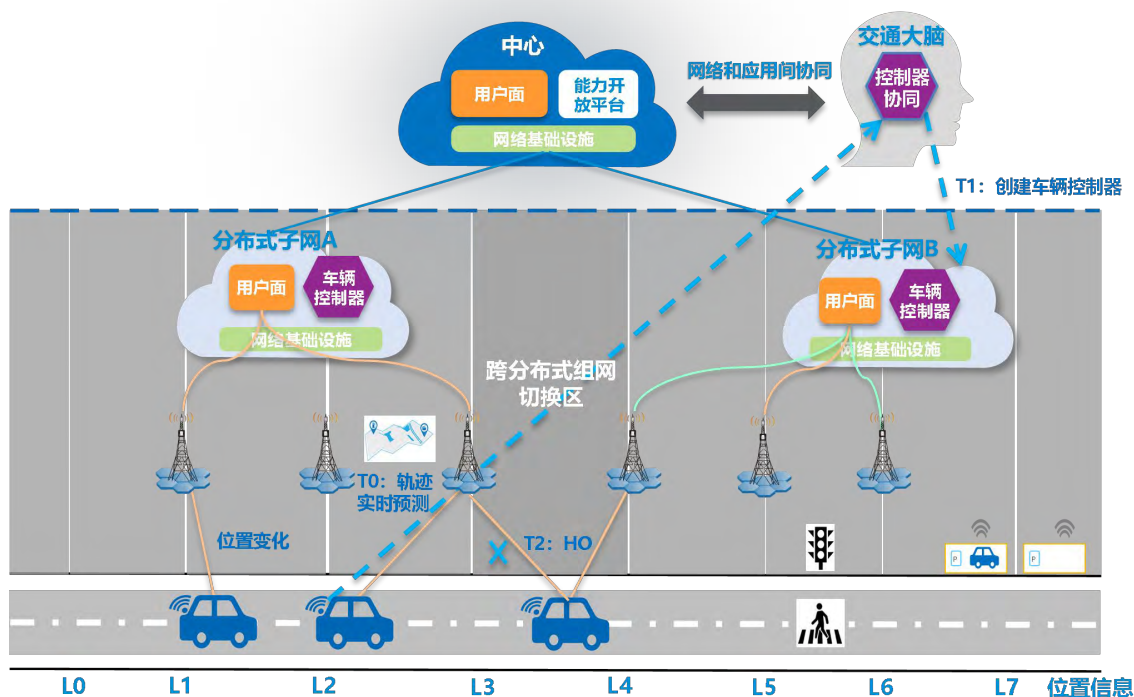


图 4-4 基于网业协同的智能无缝切换

当高速移动的终端访问时延敏感业务时，6G 网络实时感知并预测终端的位置和移动轨迹，当检测到终端即将发生跨网络切换时，根据终端的未来位置、业务场景、周边算力资源和网络时延等多种维度，提前预选择最适合的分布式子网为终端提供接入服务，并立刻通知业务网络实现网络和业务联动，以便业务网络能够及时为该用户分配资源并创建业务服务实例，从而减少业务跨网络切换的准备时间，加速切换过程。

（2）结合惯性运行的跨网容灾

当网络单元或网络节点突发故障时，需要通过容灾系统保障业务连续性。当控制面网络单元故障时，用户面单元可以提供惯性运行能力，实现在线用户的业务转发不受影响。同样的，网间容灾也需要支持惯性运行能力，以提高跨业务的连续性。为了达到跨网的业务容灾能力，6G 网络需要提供如下特性：

- **控制和数据分离：**网络控制单元和数据存储单元分开独立部署和管理，可以实现网络控制单元故障时，在线业务上下文不受影响，由新接管的网络控制单元从数据存储单元获取数据并提供服务，提高业务连续性。
- **分布式数据存储：**独立的分布式数据存储可以通过跨网络的数据冗余和数据备份机制来提高数据的容错能力，当部分存储节点发生故障时，仍然可以通过其他节点获取数据，保障业务的连续性。

当终端所在的网络节点 A 故障时，通过容灾机制可以给终端分配网络节点 B 来给用户继续提供服务，此时网络节点 B 可以从分布式存储中获取用户数据，实现无缝的业务连续性容灾保障。

此外，本地网络的惯性运行能力也非常重要，可以进一步保障故障场景下的业务不中断。当终端所在的网络节点与中心节点或归属的网络节点之间连接中断时，本地网络节点可以继续提供服务。

（3）基于多网络连接的业务高可靠保障

以 PLC 为代表的工业控制场景下，往往对业务连续性要求非常高，单靠网络容灾不足以满足无中断、无丢包的业务连续性要求，因此，需要网络具备多个网络通道的链路冗余机制，实现无缝的业务连续性。

终端可以建立多个网络连接通道来实现冗余传输，例如：采用双频点建立 2 个无线连接，或者建立 WLAN、5G/6G 异构网络连接，在网络的两端将业务数据复制为多份在不同的链路中传输，从而提供超高的业务可靠性，既保障了容灾场景下的业务连续性，还保障了低时延低丢包率的优质业务服务质量。

4.5 分布式智能服务框架

6G 时代沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智能交互、通信感知、数字孪生、全域覆盖等新业务新需求将不断涌现，这些新的应用场景将促使计算资源和数据存储更加靠近网络的边缘部分，这一演变旨在满足对数据本地化隐私保护的需求、实现极低的时延性能，并且与低碳环保的发展趋势相吻合。在这种架构模式中，数据处理的位置变得极为关键，要求数据处理能力与数据的存储位置相匹配。

分布式智能将成为 6G 分布式组网架构下的一个核心要素之一，它通过将人工智能技术与分布式网络基础设施深度融合，促使网络自身具备智能化处理的能力，要求网络能够根据实际情况自动调整和优化性能，提高资源的使用效率，并实现更加智能、自动化的网络管理、运维和业务保障。

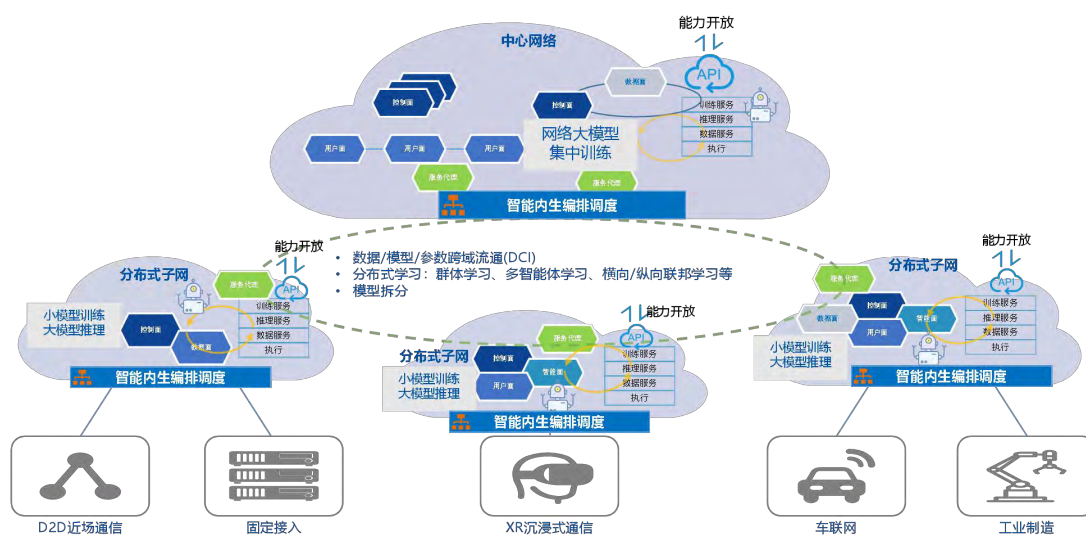


图 4-5 分布式智能

(1) 关键技术

分布式数据采集、预处理、分布式存储和分布式训练是分布式智能至关重要的技术环节。

1) 分布式数据采集

分布式数据采集涉及到在不同的地理位置分散的多个数据源之间收集和聚合数据。这一过程通常需要感知数据、网络数据、传感器、IoT 设备等多种数据源，并通过数据服务总线实现数据的传输。关键技术特征包括数据的异构性、实时性和准确性。由于数据源的分散性，采集系统需要具备良好的伸缩性和鲁棒性，以及面对不同数据源和数据格式的处理能力。

2) 分布式预处理

分布式预处理是在采集到的原始数据基础上进行的一系列转换和处理工作，如数据清洗、格式转换、数据整合、数据增强等。例如为了提高模型的泛化能力，可以使用 GANs 生成对抗网络来生成与原始数据分布相似的增强数据，这些增强数据可以用来扩充原始数据集，增加训练样本的数量和多样性。分布式预处理技术特征主要体现在将复杂的预处理任务分散到多个节点上并行处理，提高数据处理效率。同时，分布式预处理还需要考虑数据的一致性和准确性，确保在分布式环境下处理结果的正确性。

3) 分布式存储

分布式存储系统通过将数据分散存储在多个物理位置的存储设备上，可以有效地管理和处理大规模数据集。分布式存储系统的高可用性和容错性确保了即使在存储节点发生故障的情况下，数据仍然可以被访问和处理。随着训练数据的增加，存储系统需要能够适应这种增长，而不会导致性能下降。分布式存储系统通过添加更多的存储节点来扩展其容量，从而支持 AI 应用处理不断增长的数据集。分布式存储系统通过数据的分片和副本机制，实现了数据的快速读写和故障恢复。同时，副本机制确保了在数据损坏或丢失时，可以从其他节点上的副本恢复数据，从而保证了数据的安全性和可靠性。

4) 分布式训练

分布式训练通过将训练任务分散到多个计算节点上来提高训练的速度和效率。关

键技术特征包括任务调度、模型同步、数据并行和模型参数服务。任务调度是分布式训练中的核心环节，它负责合理地分配和调度训练任务到各个计算节点。

任务调度：可以实现训练任务的负载均衡，避免某些节点过载而其他节点空闲的情况，从而提高训练的整体效率。

模型同步：由于训练任务被分散到多个节点上，各个节点上的模型参数可能会有所不同。为了保证模型的一致性，需要定期将各个节点的模型参数进行同步，以确保模型在所有节点上保持一致。

数据并行：通过将数据集分散到多个节点上，可以在多个节点上同时进行数据处理和模型训练，从而大大提高训练速度。数据并行要求数据能够在节点之间高效传输，并且需要合适的算法来处理数据在节点间的划分和合并。

模型参数服务：在分布式训练中，模型参数需要被高效地存储、管理和更新。模型参数服务技术可以提供模型参数的存储、检索和更新功能，以便于各个节点能够方便地访问和更新模型参数。

（2）智能内生的编排调度

为支持分布式智能、并对内对外提供 AI 服务，网络基础设施要从单纯的连接服务发展为连接服务+计算服务的异构资源设施，包括网络、算力、存储等，并构建完善的编排机制来提供训练和推理服务，主要包括以下 3 个基本的能力：

1) AI 异构资源编排

负责为 AI 任务提供必要的计算资源。这些资源可能包括基站、核心网、终端等 worker 节点，它们是 AI 计算任务执行的基础设施。资源编排的职责不仅限于提供计算资源，还包括确保有足够的传输带宽和存储空间来支持 AI 任务。在实际操作中，这意味着要管理一个分布式的、混合多样的资源池，以适应不同类型和需求的异构计算。这就需要智能化的资源调度算法，以确保每项任务都能在最适合的节点上以最高效的方式运行。

2) AI workflow编排

workflow编排的目的是确保 AI 任务在正确的节点上按照正确的顺序执行，以优化整

个系统的性能和效率。这不仅包括任务的执行顺序，还包括对资源利用的优化，以减少任务的执行时间和成本。AI 工作流编排的另一个重要方面是支持训练和推理过程的自动化，这可以显著提高 AI 应用的效率和准确性。

3) AI 数据编排

AI 数据编排可以被看作是 AI 异构资源编排和 AI 工作流编排的支持系统，它通过提供数据处理、存储和管理的服务，确保了人工智能应用能够在异构的计算环境中高效、安全地运行。AI 数据编排的目标是通过优化数据的生命周期，从而提高 AI 应用的整体性能和效率，同时确保数据的使用符合法律法规和隐私保护的要求。

4.6 分布式算力机制

在 6G 分布式网络中，算力资源分布在不同的位置，包括终端、基站、边缘计算节点、云计算数据中心。分布式算力更接近于数据，可以减少数据传输的延迟，提高计算的效率。6G 分布式网络将分布在网络不同规模的算力资源以服务的形式提供给用户，允许用户通过网络随时随地获取所需的计算资源，实现算力的服务化。

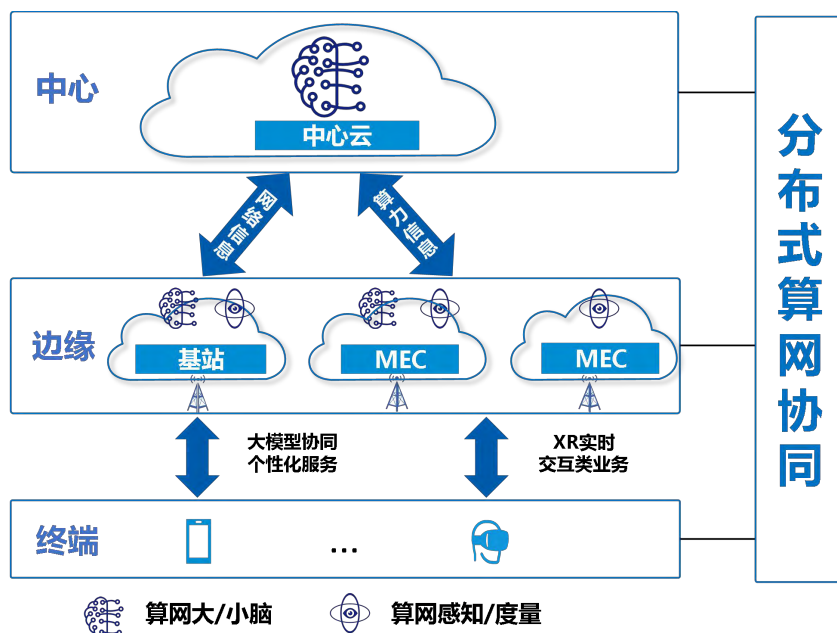


图 4-6 分布式算网协同

(1) 分布式通算联合编排

6G 将实现通信和计算的深度融合，以及移动网资源和分布式算力资源的一体化调度，达到泛在计算目的，以满足未来多元化的业务能够将工作负载在 UE、基站、边缘和数据中心之间进行灵活卸载，有效减少数据的传输，节省通信链路的带宽资源，并能针对特定的业务提供专门的计算能力来提高性能，在满足用户体验的情况下，达到整体移动网络系统的最优。通过构建端到端的编排管理，引入算网资源管理功能实体来负责分布式连接、算力资源的全局管理，实现通信和计算的联合编排，使通信功能、计算功能能够在移动网络域内的分布式算力资源进行灵活动态加载和部署，提供弹性和可扩展的计算资源，匹配不同场景下用户的快速定制需求。

随着移动端侧算力、数量快速增长，以及移动业务发展，算力资源将持续下沉，呈现多级算力。6G 分布式网络通过算网融合增强网络能力，在分布式用户面和泛在算力基础设施的基础上，对终端算力、基站算力、用户面内生算力、边缘算力等计算资源进行统一纳管与编排，通过构建层次化的通算一体化编排管理，实现通信与分布式云的协同，满足通信功能云化动态部署的同时，具备将复杂任务灵活卸载到云边端的计算资源进行处理，以达到整体系统的优化。

通算一体化编排技术面对高复杂度的算网环境，通过构建“算网大脑”实现资源的一体化编排和管理，提高系统的灵活性和效率。通过人工智能和机器学习算法等智能编排技术来优化资源分配、任务调度和流程管理，能够根据实时数据和预测分析来自动调整系统行为，以提高效率和响应速度。

（2）分布式算力度量和感知

算力服务的能力度量涉及到如何评估和比较不同算力服务的性能和效率，包括了对算力资源的性能指标进行测量和分析，如计算速度、内存容量、存储性能等。现有的度量方法相对单一，难以全面反映算力资源的利用率和匹配准确率。6G 分布式网络采用多指标混合度量方法，综合考虑算力节点基础性能和工作状态动态变化，通过统一的算力度量体系以及能力模板，为算力感知和通告、算力开放应用模型（OAM）和算力运维管理等功能提供标准度量准则，通过全面能力度量来评价和提升算力资源的利用率和匹配准确率。

分布式算网资源状态的实时感知是合理均衡地使用计算和网络资源、动态高效地

处理调度计算任务的基础，而移动网络精准感知从 UE 侧请求的业务类型和算网指标需求是实现高效调度的关键。通过算力感知技术，实时感知业务服务质量（QoS）要求及分布式算网资源状态。通过算网资源协同调度平台，动态高效地进行多维度的智能选路，将业务调度到合适的算力节点，实现多区域、多层级的算力资源的统一管理和调度，通过云、边、端算力资源的合理分配和负载均衡，满足差异化的业务需求。

4.7 分布式网络的身份机制

为满足 6G 网络愿景目标中多样化的应用场景需求和差异化的能力需求，6G 分布式网络在组网形态上呈分层分布式部署趋势，支持子网的高度可定义和快速定制，因此逻辑上将存在数量众多的、归属于不同参与方的、独立自主运行的子网，并且跨子网的交互将会更加频繁，因此需要一种统一的可信身份和高效简洁的身份认证机制，确定网络中行为主体身份的惟一性、真实性和合法性，实现交互过程的认证和授权，保护网络中其它各种主体的安全利益。

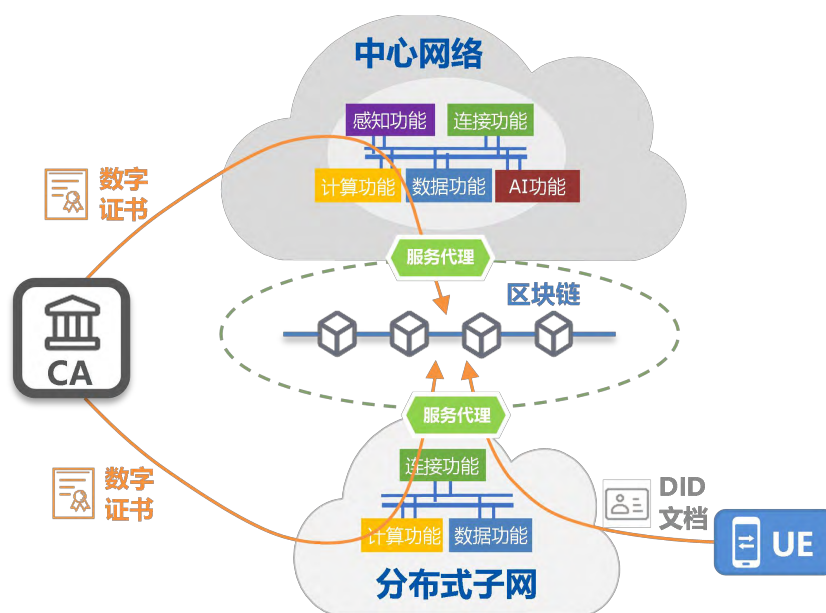


图 4-7 分布式网络的身份机制示意

(1) 分布式的网络身份

对于网络设备的身份认证，在当前移动通信网络中肩负起重要责任的是数字证书和 PKI 体系构成的网络安全基础设施，包括网络内的 NRF 对 NF 的认证以及授权令牌

的验证；不同运营商网络的 SEPP 之间建立信任关系，以实现运营商间的安全互联互通；以及设备厂商的设备在运营商局点中开局时的通信认证等场景^[16]。然而，这一技术体系的核心设施——证书颁发机构（Certificate Authority, CA）——都是中心化节点，易受单点失效风险的影响。近年来，针对目前 PKI 建设面临的上述问题，业界围绕分布式数字身份这一技术方向，引入区块链技术，提出了多种解决方案，构建分布式信任平台，实现数字身份的透明审计和跨域验证，提升可信性和可监督性。

在 6G 分布式网络中，网络设备之间的身份认证应当基于现有的技术体系和研究方向演进，可借助 PKI 体系来建立一个提供分布式设备身份安全服务的基础设施，所不同的是，应当为 6G 分布式网络提供一个内置的私有的 CA 组件，为不同归属方的行为主体构建统一的信任体系，统一为分布式网络中的不同行为主体提供数字身份，确保这些数字身份可以被验证，以避免信任域孤立、证书交叉认证等问题。同时，为了避免单点失效风险，提升证书透明度，应当利用区块链的公开透明、多方共识、不可篡改的特性，构建由不同子网共同参与的 CA 联盟，实现基于区块链的数字身份管理系统。在此基础上，还可以考虑引入基于零知识证明的加密协议套件，在提供身份验证功能的同时，实现类似匿名的隐私保护特性。

（2）分布式的用户身份

对于终端设备的身份认证，当前移动通信网络中主要使用的是基于 AKA 的认证授权机制，在终端设备上的 USIM 和网络中存放两方通信的基础信息和密钥，为用户接入通信网络提供了基础的准入保障。在此基础上，各类网络应用服务商分散独立建立数字身份，并由服务提供商和运营商共同控制这些身份，这种用户持有众多数字身份的现状使得用户面临个人数据的滥用和数据泄露等风险。当前，业界对于如何更有效地为用户提供数字身份已开展了诸多研究，如标准和协议方面，W3C 推动了去中心化身份（Decentralized ID, DID）和可验证凭证（Verifiable Credential, VC）的规范；应用方面也推出了 Microsoft DID、Sovrin 等诸多项目。

在 6G 分布式网络中，终端设备的身份认证可采取传统移动通信认证授权机制和新型去中心化数字身份机制并存的方式实现。一方面，6G 分布式网络将会是 5G 网络的演进，考虑到前向兼容的需求，不应对终端设备的基础认证授权体系有颠覆性的改变。

另一方面，考虑到分布式组网的部分典型场景的物联网终端的量级和终端业务的多样性，为避免用户维护大量的身份信息，可以考虑引入基于区块链的去中心化身份（如：Decentralized ID, DID），使得用户可以维护自主的身份，确保用户在非基础业务场景下的灵活接入和互通。基于区块链的去中心化身份通过 DID 标识符和 DID 文档对个体的数字身份提供全局唯一描述，并将其以键值对的方式上链，全网广播声明权属。中心网络、分布式子网间协同，完成用户去中心化标识的生成及存储，并可基于去中心化标识，实现面向该标识对应用户的跨分布式子网服务协同。用户的敏感信息由智能合约控制可查看权限，并利用零知识证明等技术进行身份验证。用户利用可验证凭证结合区块链上存储的 DID 证明自己身份，并以此身份进行登录、验证、授权、注销等操作，可在不透露原始信息的情况下实现面向应用程序的身份证明。

4.8 分布式网络的安全

如图 4-8 所示，相对于 6G 网络整体安全，在分布式组网时要统筹考虑单点网络的安全和分布式协同的安全风险，其中，重点关注以下安全技术的运用。

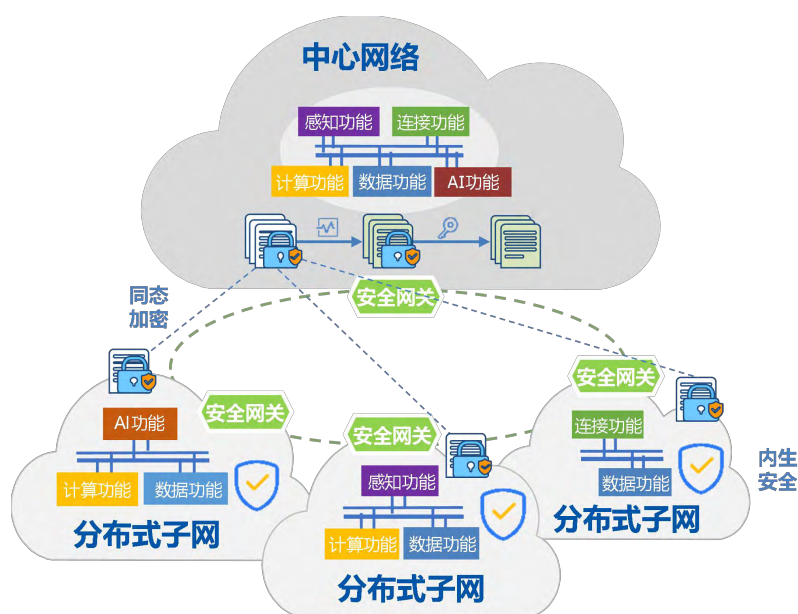


图 4-8 分布式网络间的安全示意

(1) 子网安全

分布式子网视为独立网络，其安全要求可基本对标传统相对集中的网络。

考虑到子网的构建可能涉及网络基础设施的共建共享，服务能力也会从基础的连接能力扩展到包括感知、数据、智能等更为丰富的能力集，安全域的划分和相互之间的访问控制就显得更为重要，例如：管理、业务、存储不同类型的能力实现分别占用独立物理网口，实施物理隔离，连接、智能等不同网络业务能力的提供采用逻辑隔离的方式进行隔离，并进一步实施安全检测和防护。对于来自子网外（如第三方应用）的访问，重点是执行安全访问控制。

安全也是子网定制的需求和内容。基于软件定义网络和软件定义安全技术，可构建可定义、灵活的 6G 网络安全架构，对安全资源和安全能力进行定制，实现安全能力、业务环节、客户需求之间的高效联动与协同效应。

进一步地，对于资源严重受限的分布式子网，一方面可考虑借助物理层安全技术的快速、轻量化实现等特征保证子网内安全接入；另一方面，内生设计子网安全，将安全流程嵌入网络管理和控制流程，减少网元之间的安全信令交互，简化安全实现带来的资源消耗。

（2）跨网协同的隐私安全

对于分布式子网协同过程的安全，主要考虑交互数据的隐私保护和传递安全。针对隐私保护，可考虑安全多方计算和同态加密。安全多方计算利用了密码学领域的隐私保护分布式计算技术，在保证多个参与方获得正确计算结果的同时，保证不泄露计算结果之外的任何信息，从而保证各方数据的安全性和私密性。同态加密是一种密码学技术；对经过同态加密的数据进行处理得到一个输出，将这一输出进行解密，其结果与用同一方法处理未加密的原始数据得到的输出结果是一样的。通过运用安全多方计算和同态加密，在数据使用过程中隐藏用户、网络隐私信息，及时发现异常流转行为，实现用户、网络隐私数据全生命周期安全保障。对于传递安全，考虑到子网间互通的动态性，首先在子网间运用安全隔离技术，不仅是物理资源的隔离，还需要设置有效的访问控制策略，对跨网的用户访问行为进行有效管控、实现对敏感资源的合规合法访问；另外，可基于共识机制构建去中心化的多边互信体系，实现协同过程的有效治理，保证网间交互可计量可溯源。

针对分布式子网，设置交互网关作为安全锚点，在跨网协同的过程中实现子网内

的拓扑隐藏、路由聚合和流量清洗等。在跨网络进行能力和业务的协同时，考虑将多种能力联合编排调度，如选取具备原始数据资源的节点进行联邦学习建模和训练，保证数据源地处理，减少数据传递，保护隐私和数据安全。

5. 总结和展望

随着移动通信网络历经数代演进，我们已经见证了众多网络功能的逐步实现与落地应用。然而，对于即将到来的 6G 时代，若继续沿用传统的集中式和统一逻辑架构来支撑愈发复杂和多样的网络功能与服务，将会面临网络运维复杂性增加、故障影响面扩大、部署上线周期延长等挑战。因此，本白皮书提出 6G 分布式组网的思路，旨在构建一个按需定制、协同工作的分布式网络架构。

这种分布式架构的设计将充分考虑到各种实际应用场景的需求，实现功能定制、灵活部署，有效降低网络运维的复杂性，并减少故障对网络整体运行的影响。此外，网络节点间的协同工作将促进网络能力的灵活扩展，进而提升网络响应速度和适应性。

目前，ITU-R 已完成 6G 愿景目标、应用场景和技术指标的分析，为业界 6G 研究指明了方向，并即将进入标准制定阶段。分布式组网作为 6G 网络架构的关键特征及关键技术，是 6G 网络架构研究的一个重点方向。本白皮书专注于 6G 分布式组网技术，通过创新的组网形态设计，旨在满足不同垂直行业业务和个人用户的多样化需求。强调对业务需求的灵活、快速响应，并根据实际业务需求构建网络服务能力，以应对 6G 时代多样化的业务场景和网络挑战。

为推动 6G 分布式组网技术的进一步发展，白皮书呼吁从多个维度出发，开展进一步深入研究。一方面从 6G 分布式组网形态的特性出发：如网络定制、网络协同等特性；另一方面从关键技术出发，如分布式子网定制技术、用户边缘网络组网技术、分布式服务框架、分布式网络业务连续性、分布式智能服务框架、分布式算力机制、分布式网络的身份机制、分布式网络的隐私安全等关键技术。通过两方面的研究，提出对 6G 网络逻辑功能架构的需求，为后续 6G 系统架构的研究及标准制定提供有价值的输入。

同时，为了尽快在业界形成对 6G 分布式组网的共识，建议基于关键技术需求进行原型测试，对 6G 分布式网络的关键特性进行验证，可为 6G 候选架构和技术选择提供可靠的依据。

6. 参考文献

- [1] You X, Wang C, Huang J, et al. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts[J]. Science China, Information Sciences, 2020, 64(1): 1-74.
- [2] IMT-2030(6G)推进组. 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R]. 2021.
- [3] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[R]. 2021.
- [4] 中国电信. 6G 愿景与技术白皮书[R]. 2022.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G 分布式网络技术的应用场景及需求研究报告[R]. 2022.
- [6] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[R]. 2021.
- [7] 中国电信. 未来移动核心网演进趋势白皮书[R]. 2023.
- [8] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构展望白皮书[R]. 2023.
- [9] ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R]. 2023.
- [10] 澎湃新闻·澎湃号·媒体. 《世界能源发展报告 2021》：全球疫情防控导致 70 年内最大程度的能源需求衰退[EB/OL].
https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_15376203, 2021.
- [11] 马瑾瑾. 国际能源署：未来数年全球石油需求增长将放缓[EB/OL].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1768683261980492537&wfr=spider&for=pc>, 2023.
- [12] IMT-2030(6G)推进组. 6G 感知的需求和应用场景研究[R]. 2023.
- [13] 中国电信. 通感一体低空网络白皮书[R]. 2024.
- [14] Drone Industry Insights. Global Drone Market Report 2023-2030[R/OL]. 2023.
- [15] GSMA. The Mobile Economy 2024[R]. 2024.
- [16] IMT-2030(6G)推进组. 6G 区块链架构与关键技术[R]. 2023.