# 6G天地一体分布式自治网络

# 白皮书

发布单位：中移智库
编制单位：中国移动通信研究院

2024



中移智库

中国移动 研究院
China Mobile CMRI

# 目录

1. 发展趋势 ..... 3
1.1 天地一体网络发展趋势 ..... 3
1.2 分布式自治网络发展趋势 ..... 4
2.典型场景 ..... 6
2.1 泛在覆盖场景 ..... 6
2.2 可靠连接场景 ..... 6
2.2.1 高可用卫星广域物联网 ..... 6
2.2.1 分布式星载专网业务 ..... 7
2.3 融合创新场景 ..... 7
2.3.1 分布式边缘计算 ..... 7
2.3.2 内容分发 ..... 8
3.网络架构 ..... 9
4.关键技术发展趋势 ..... 11
4.1 无线预补偿接入 ..... 11
4.2 服务化框架 ..... 11
4.3 原子化部署 ..... 12
4.4 数据存储和同步 ..... 12
4.5 业务连续性 ..... 13
4.6 星地融合网络切片 ..... 13
5.原型验证 ..... 15
6.总结与展望 ..... 17
缩略语列表 ..... 18

# 1. 发展趋势

## 1.1 天地一体网络发展趋势

当前，空天地一体化网络的研究在如火如荼的开展中，通过开展组网架构、空口传输、路由交换、协议栈等天地融合设计与研究，将解决信息服务、资源管理以及网络运维的智能化问题。天地一体网络的发展趋势将是天基和地基网络从互联到协同再到一体，拉通协议、网络、业务、用户，构建全覆盖的泛在网络连接。因此，我们认为空天地一体化网络的演进可以分为以下三个阶段：天地互联、天地协同、天地一体。空天地一体化是路由与控制层的关键使能技术，是分布式功能层的载体，采用天地互联、天地协同、天地一体三步走构建空天地一体化网络，最终实现6G网络架构的泛在连接设计原则。

我国在2019年成立了6G推进组，系统推进需求、技术、标准及国际合作等各项工作，并启动6G技术试验。依据地面移动网络与卫星网络极强互补性的特点，推动地面网络和卫星网络的一体化融合，正成为6G通信网络的重要发展趋势。为此，3GPP、ITU、以及CCSA等组织和机构已经启动地面移动网络和卫星网络的融合研究。

2023年12月的SA全会通过了3GPP SA2 R19卫星网络阶段3研究项目，将进一步研究如下关键技术：支持基于再生的卫星接入，研究在卫星上部署eNB或gNB以用于接入基于再生的LEO/MEO；支持存储转发业务，针对时延不敏感物联网场景，即使卫星和地面站无法通信时，卫星仍可接收和缓存用户终端发送的数据，当卫星移动到地面站可见范围内和地面站建立通信后，卫星将缓存的数据发送到地面网络；支持UE-卫星-UE通信，在一个或多个服务卫星的覆盖下，通过卫星用户平面实现UE之间的通信。此外，2023年12月的SA全会还通过了一项支持卫星接入的5G服务的应用使能层及时研究，主要研究支持卫星接入对应用使能层的影响，包括：利用卫星接入特性优化应用使能层行为；研究支持不连续卫星覆盖，支持基于内容缓存应用程序传递内容；研究关键任务服务（Mission Critical）增强。

我国积极推动卫星通信和6G地面蜂窝通信融合，密集发布相关政策。2022年6月《国家减灾委员会关于印发<“十四五”国家综合防灾减灾规划>的通知》指出：应急卫星是综合监测预警网络体系构建的科技性战略资源。需推动形成区域凝视卫星、连续监测卫星、动态普查卫星序

列，构建全灾种、全要素、全过程应急卫星立体观测体系，加强应急卫星星座应用系统建设。2022 年 11 月《关于数字经济发展情况的报告》指出：要适度超前部署数字基础设施建设，筑牢数字经济发展根基。加快建设空间信息基础设施，系统推进北斗产业化重大工程，推进构建民商统筹、集约高效的卫星遥感系统，推动卫星互联网加快发展。2024 年 1 月 24 日，北京市人民政府网站发布北京市人民政府办公厅关于印发《北京市加快商业航天创新发展行动方案（2024-2028 年）》的通知。《通知》中明确，加快卫星星座建设，完善空间基础设施。以大规模星座建设为牵引，夯实整星研制、地面终端、星座运营管理等基础能力，加快巨型星座组网运营，构建天地一体化的空间基础设施。

国际上天地一体网络发展已经呈现出卫星低轨化、星座巨型化的趋势。最具代表性的是美国太空探索技术公司（SpaceX）的星链（Starlink）星座计划。截止 2024 年 1 月 24 日，SpaceX 已累计发射 135 批、5761 颗星链卫星。星链卫星宽带服务已经覆盖全球 65 个国家和地区，用户数量近 300 万个；在更长远的计划中，星链将发射 4.2 万颗卫星。英国、俄罗斯、加拿大、韩国、印度等国也纷纷进场，积极抢占低轨卫星通信发展的主动权。

我国也正在规划建设大型互联网卫星星座，2022 年银河航天 02 批卫星发射升空，组成中国首个低轨宽带通信试验星座，验证了我国具备建设天地一体网络巨型星座所必需的卫星低成本、批量研制以及组网运营能力。

## 1.2 分布式自治网络发展趋势

随着互联网应用的不断发展，用户量爆发式增长，传统的集中式系统的性能瓶颈、系统可维护性、服务高可用性等问题逐渐凸显，分布式系统架构应运而生。分布式用于解决大流量和高并发问题，然而 6G 时代将提供更丰富人-人、人-机、机-机交互业务。由于当前网络缺乏自动化，网络管理和运营效率将面临空前的挑战。目前业界普遍关注 AI、语义通信、大数据等技术，提出基于意图的网络，通过解析用户意图，自主制定最有方案并自动执行任务，实现自规划、自部署、自优化和自演进。

分布式、AI、大数据等技术在 IT 领域的迅速发展，也加速通信领域的发展。基于服务化、云原生的理念，5G 网络架构提出了基于总线的服务化架构，突破传统固化的网络功能组织模式。然而，随着新业务的不断涌现，垂直行业数字化需求，如何深度融合服务化、AI、分布式技术将成为下一代网络架构重点关注的发展方向。

目前业界针对分布式自治网络的标准化布局已经展开。2022 年初，IMT-2030(6G)推进组发布了《6G 典型场景和关键能力》白皮书，明确提出超级无线宽带、超大规模连接、极其可靠通

信、普惠智能服务等场景都存在分布式组网或者分布式计算的需求。在 2022 年底完成的《6G 分布式网络技术的应用场景及需求》报告中，提出了敏捷按需定制的行业子网等 12 大场景。ITU-T SG13 已构建了面向 IMT-2020 及未来的网络标准体系，包括轻量核心网、自组织核心网、专网能力分级等标准，开展了 Y.FMSC-DCN 立项，提出了固定移动卫星网络中分布式核心网的概念；2023 年，ITU-R WP5D 发布了《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》，在 5G 三大典型场景上增强和扩展，提出了包括极高可靠低时延等在内的六大场景，这些场景大多需要分布式自治网络的支持。

目前国内外已逐步开展关于 6G 分布式自治网络的研究。国内中兴通讯提出移动通信网络从自动化逐步向全自治网络的演进，意图网络将成为自治网络的一个重要里程碑，中兴通讯将在标准化和商用落地方面持续探索。华为公司提出将 AI 引入电信网络，以自治网络为理念，打造“永不故障”的网络自动驾驶模式。美国 RTI 公司推出大规模分布式自治系统设计的软件架构，为构建高可靠和高实时的本地、广域、公用和专用网络奠定基础。此外，6G 将出现各种非手机形式的消费者终端、ToB 行业终端、可穿戴设备等物联网终端，集中式模式将面临单点支持海量连接服务的挑战，一旦出现故障影响的终端用户数量巨大，对网络可靠性的压力随之加大，整体 TCO 成本非最优。

同时，常规 eMBB 将终端应用统一接入到互联网和公有云获取服务的模式越来越不能满足新兴的沉浸式、多模态交互应用以及工业控制，物联网等应用形式的多方面业务诉求，应用部署分布式下沉，端边协同、端网协同，就近计算越来越成为趋势，应用部署的分布式推动着移动网络架构向分布式演进。

# 2.典型场景

## 2.1 泛在覆盖场景

未来分布式自治网络将成为 6G 核心网的重要趋势。基于分布式自治的网络框架，新的网络可以方便快捷地组建，自动接入到正在运行的 6G 整体网络中。对于地球上 70%以上的海洋等无网络覆盖地区及陆地 80%以上基础设施薄弱地区，可采用卫星互联网移动宽带技术，为远洋船舶数据监测与跟踪、集装箱监测与跟踪、远程视频医疗以及海上应急救援等应用场景。要求通信网络提供稳定不间断、高速率和低时延的网络连接能力，实现海上船舶与陆地、海上船舶之间的互联互通。相比传统的海事卫星，大型低轨通信网络由于卫星数量众多和运行轨道较低，能够提供更高带宽和更低时延。通过星上部署分布式用户面、数据面、控制面等功能，船舶之间通信可以直接在星上转发，避免数据包经过远端地面网络绕行，降低卫星对地面的依赖，减少端到端传输时延，满足实时业务的 QoS 要求。

由于全球互联网接入水平存在巨大鸿沟，超过 30 亿人没有固定或者移动网络覆盖，无法使用互联网。这些未覆盖区域大多地处偏远，受限于技术和成本等因素很难通过地面网络进行普及覆盖。卫星系统由于其全球无缝覆盖的独特优势，成为弥合数字鸿沟的重要手段，可以为农村和偏远地区提供整体经济性最佳的接入解决方案，使得各地的人们能够享受到稳定、高带宽、低时延和低资费的互联网服务。

## 2.2 可靠连接场景

### 2.2.1 高可用卫星广域物联网

大规模的、高度智能化的广域物联网是满足当前社会生产力发展的需求的重要发展方向。在物联网 mMTC 场景下，终端物理传感设备种类较为丰富，数量也较为庞大。尤其是物联网设备可能零星分布在更偏远地理位置，基站信号更难全面覆盖。

利用卫星平台能够地面蜂窝网络优势互补、深度融合，利用天地一体化技术为物联网设备提供通信服务，可以较低的成本，实现物联网设备广域覆盖以及物联通信数据包快速回传，弥补地面蜂窝网络在覆盖范围等方面的不足。

然而海量的物联网设备会产生大量的传感数据，对网络传输资源提出极大的挑战，分布式自治的卫星广域物联网可以更好的支撑物联网智慧生态场景，实现数据共享、分析和处理，并通过人工智能做出决策，实现分布式的数据处理、分发，节省传输资源、降低传输时延，极大提高社会生产力发展。

### 2.2.1 分布式星载专网业务

随着大量中资企业和机构跨国、跨地区分部的增多，跨地区业务管理困难，同时部分国家基础设施普遍落后，导致通信成本过高，影响到经济建设速度和社会发展水平。分布式星载专网可以实现区域分布式自治的同时，实现内部网络的统一管理和数据传输。他们的业务需求主要包括：

- 高 SLA 保障需求，例如金融行业要求卫星提供类似地面专网业务；
- 高安全、高可靠和高保密需求，例如政府机构；
- 成本效益，在实现网络连接的同时，降低成本。

天地一体网络原生的分布式特征，结合 3GPP 原生多接入、多连接、网络切片等特性为用户提供多路径传输能力，用户数据可以在多个低中高轨卫星和地面网络中并行传输，发挥带宽聚合、负载均衡和可靠传输的独特优势，实现不依靠地面网络的泛在广域可靠连接，以及资源的高效利用，适应不同规模和业务的网络需求变化，满足跨境企业机构高 SLA、高安全、高可靠和高保密业务需求。此外，将关键业务上星备份，形成分层、稳定和可靠的通信网络体系，可以满足应急通信等重点保障业务的发展需求，实现空天地资源优势互补，提升国家应急通信保障能力。

## 2.3 融合创新场景

### 2.3.1 分布式边缘计算

随着天地一体化网络的兴起，将算力与天地一体网络结合，构建天地一体分布式网络，可以有效应对未来空间互联网爆炸式的数据增长和卫星业务的多样性需求。通过在天地一体化中提供网络、通信、计算等云原生基础算力，以及云边、边边协同能力，完成天地感知计算、遥感推理、服务计算等应用场景的部署、管控与协同。同时，针对卫星网络通、感、算一体化发展趋势，分布式网络中分布式智能将是重要一环。对内，将通过分布式智能进行智能协作，实现跨层、跨域、跨行业的智慧融合和数智共享。对外，可利用天地一体化网络提供的分布式 AI 技术提供在轨图像处理能力，提高图像的识别准确率。未来，基于空天地一体化网络，在太空中形成协同计算网络，未来有望更好地服务于应急救灾、生态监测和城市建设等应用领域。此外从终端、无线接入

网、边缘计算甚至业务网络，都可以按需向服务化方式演进，网络功能可以按需进行重构，同时支持在特定需求场景对非必要的网络功能进行裁剪，提升边缘计算的灵活性与柔性。

### 2.3.2 内容分发

广播业务是卫星通信的重要应用场景，例如卫星广播电视，卫星广播可以充分发挥出广覆盖的独特优势，通过天地一体分布式组网分发，效率比地面网络更高。CDN 和边缘计算是构建在互联网基础上的内容分发网络，它将热点内容发布至分布式边缘节点，使用户就近获取所需内容，降低网络拥塞，提高用户访问响应速度和命中率。相比地面内容分发网络，星载分布式网络内容分发网络架构更简单，分发效率更高。

星载分布式网络优势和 CDN/MEC 的技术融合如何实现互联网内容快速和高效分发，值得大力研究和挖掘。首先，将 CDN/MEC 部署到天地一体分布式网络边缘，例如地面信关站附近，站点内容发布到这些 CDN/MEC 节点上，用户就近获取所需内容。其次，所有用户数据请求仍需通过星地馈电链路回到地面边缘节点，可以在星上引入 CDN/MEC 功能，将站点内容进一步下沉到卫星节点上，将明显减轻星地馈电链路传输压力，同时大幅提高用户访问响应速度。

## 3.网络架构

面向网络平台化、服务多样化的发展趋势，6G 架构演进的关键方向在于拓展服务领域和增强自身管控能力。6G 网络将全面迈入泛在覆盖、分布式网络的阶段，通过空天地一体化深度融合组网，实现全球全域低成本“立体泛在覆盖”。然而空天地异构接入和立体组网环境下，高动态、异体制、多要素网络资源与传统移动通信的规划式、集中式、单一式网络架构难以高效匹配。面向 6G 的泛在连接和服务需求，网络架构设计需要突破传统一体式架构，适配分布式、时变性、异构式网络形态，解决空天环境受限网络资源与多样化、强保障、可编排、可调度需求的矛盾，解决动态性、按需式、差异化、弹性化服务颗粒度与融合、智能、高效、可靠网络功能组织的矛盾，在架构层面实现面向空天地异构网络的端到端服务供给，从集中式网络向分布式自治网络演进，灵活部署、本地闭环，适配多样化场景需求。

天地一体分布式自治网络是未来 6G 网络的重要愿景之一，是实现移动网络泛在连接和分布式组网愿景的重要实现手段。天地一体分布式自治网络不是卫星与地面网络的简单互联，而是在系统层面实现地面网络与卫星构成的天地网络的全面一体化，在业务、空口、网络和终端等方面实现深度融合。在分布式服务的统一网络框架下，形成多轨道、多星座、多体制、多接入融合的天地一体分布式自治网络架构，通过对卫星和地面网元统一设计，网络功能柔性分割、动态协作，实现天地一体的泛在服务提供及覆盖全球的服务质量可保障。

本白皮书提出 6G 天地一体分布式自治网络架构，通过控制面、用户面、数据面、计算面、安全面构建分布式服务框架，并通过五面协同使能天地一体、分布式自治，在架构层面实现对新型信息服务全场景、全流程的支持。

**分布式服务框架：**通过集中+分布的协同组网，扩展 5G 以 NRF、SCP 为核心的服务化框架，为广域、分布式、全服务化网络提供基础，实现资源、路由、功能、业务层面的分布式管理，并实现自生长、自优化、自演进的网络自治，从而在大规模复杂组网环境下实现网络资源和网络能力的优化调度打破。传统地面网络的集中式网络部署方式，结合高轨、中轨、低轨、高空、移动、固定不同区位的资源和通信特征，构建分布式单元，每个分布式单元具备完整的控制和数据转发功能。基于网元功能轻量化、原子化及网络功能灵活编排，支持多轨、多层异构网络高效协同组网，实现天地一体网络信息安全可信共享和互联互通。

**控制面：**面向 6G 天地一体广域覆盖新场景新需求，网络需要增加对天基计算、存储、安全，以及天地一体感知、节能等能力的支持。增强已有 NF、增加天基控制 NF、增加各面顶层控制 NF，实现更强的移动性管理等传统控制，并提供新型控制能力，以及对新增各面的总体控制。

**用户面：**继续深化传统 UPF 服务化水平，并针对天地一体分布式节点，提供策略管理、数据传输、信息开放、服务管理等服务化接口，增强天基地基用户面协议栈，实现更高效和多样化的空间数据传输。

**数据面：**以数据的高效可靠存储读写为核心，结合天基地基网路数据服务编排等控制，设计新增独立数据面，通过定义标准化的数据服务功能，实现数据服务解耦。基于控制面增强以支持数据服务、移动性管理等协同的全局控制，以及数据面的服务控制和执行，实现对天地一体网络数据、天空地用户数据、AI 等新型数据的全流程处理。

**计算面：**以高性能计算以及分布式边缘计算为核心，新增天地一体计算资源管理、天地一体计算任务编排、天地一体计算任务执行等服务，并增强传统控制面支持天地一体计算会话、卫星移动性管理、天地算网协同等全局控制，实现天地一体计算服务的按需高效供给。

**安全面：**以信任+安全为核心理念，从能力、控制、决策三个方面设计 6G 天地一体安全面。从外挂到内生，提升天地一体自免疫能力；从被动到主动，提升天地一体风险感知能力；从静态到动态，提升空间防护精细化；从孤立到协同，提升空间安全智能化，全面构建内生、主动、动态、协同的可信安全体系。

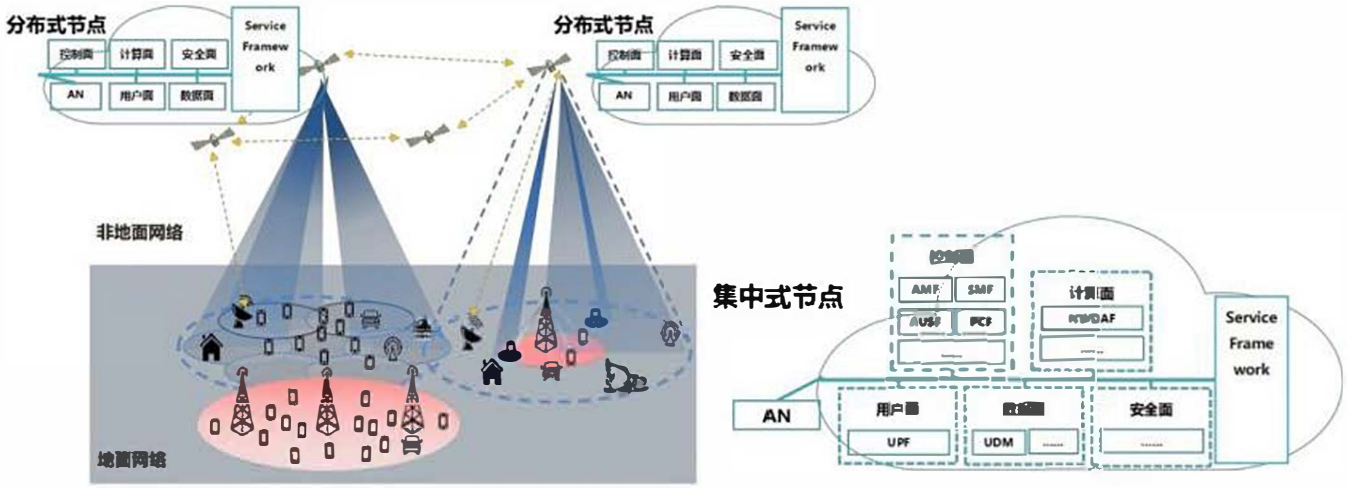


图 1　天地一体分布式自治网络结构参考

**五面协同：**通过增强传统控制面和用户面，新增独立数据面、计算面和安全面，形成解耦的“五面”功能，并通过新型控制面对其他各面的总体控制，实现“五面”协同，使能天地一体、分布式自治新场景新需求，为空天地用户提供灵活按需的移动信息服务。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/888126131137006044