

面向6G的天地一体化信息网络架构研究

徐 晖, 孙韶辉

(无线移动通信国家重点实验室(电信科学技术研究院), 北京 100191)

摘 要: 通过分析6G网络愿景和天地一体化信息网络架构所面临的挑战, 提出面向6G的天地一体化信息网络架构的需求, 并在此基础上提出弹性可重构的天地一体化信息网络架构, 实现简洁、敏捷、韧性和集约的天地一体化信息网络, 可以按照业务和场景需求按需部署网络功能, 保证网络按需确定性服务能力。基于所提的网络架构提出天地一体化信息网络智能网络管理和控制架构、天地一体化信息网络虚拟化技术和异构跨域网络资源管理架构, 实现网络动态可重构特性, 形成高效能、无阻塞的多维多域互联能力, 实现按需组网、高效的多域多维度的网络管控。

关键词: 天地一体化信息网络; 网络架构; 网络管理和控制; 网络虚拟化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021037

Research on Network Architecture for the Space-Integrated-Ground Information Network in 6G

XU Hui, SUN Shaohui

State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications (China Academy of Telecommunications Technology),
Beijing 100191, China

Abstract: The requirements and the flexible and reconfigurable network architecture for the space-integrated-ground information network was proposed based on analyzed the 6G network vision and challenges faced by the space-integrated-ground information network. Based on the proposed network architecture, the intelligent network management and control architecture and the virtualization technology of the space-integrated-ground information network were proposed to realized the dynamic configurability of the network.

Keywords: space-integrated-ground information network, network architecture, network management and control, network virtualization

1 引言

由于空间网络在覆盖范围和移动接入等方面与地面网络具有极强的互补性, 随着地面互联网、移动通信网络和空间网络的业务逐渐融合, 构建统一的天地一体化信息网络成为6G网络的重要特征。6G网络将通过高轨卫星网络、中低轨卫星网络、临空网络和地面移动通信网络等共同组成立体覆盖的移动通信网络, 形成全球无缝立体覆盖, 实现无盲区宽带移动通信的发展目标^[1]。

2 天地一体化信息网络发展概述

2.1 6G网络架构愿景

随着5G大规模商用, 用户通信能力和服务质量得到了提升, 同时促进了垂直行业的数字化转型。面向2030年及未来, 智能化、绿色化和节能化将是社会发展的趋势。从移动互联, 到万物互联, 再到万物智联, 6G将实现从服务于人与物, 到支撑智能体高效联接的跃迁, 通过人机物智能互联、协同共生, 满足经济社会高质量发

收稿日期: 2021-09-27; 修回日期: 2021-11-06

基金项目: 国家重点研发计划 (No. 2020YFB1807901)

Foundation Item: National Key R&D Program of China (No. 2020YFB1807901)

展需求,服务智能化生产与生活,推动构建普惠智能的人类社会^[2]。

随着IT和CT的不断融合,6G将融合计算、大数据、人工智能、区块链等技术,实现通信与感知、计算和网络的耦合。6G将充分利用低中高全频谱资源,实现空天地一体化的全球无缝覆盖,随时随地满足安全可靠的“人人物”智能连接需求。

6G将构建万物智联、智能体高效互通的新型网络,具备智慧内生、数字孪生、安全内生等新功能。6G将实现物理世界人与人、人与物、物与物的高效智能互联,打造能够实时反映和预测物理世界真实状态的数字孪生世界,实现万物智联、数字世界与物理世界深度融合的6G时代,最终实现“万物智联、数字孪生”的美好愿景^[2]。

为实现6G美好愿景,6G网络需要从管理智能向智能内生、从多体制多协议向统一协议体系、从地面通信向天地一体化通信、从补丁式的外挂安全向内生安全等转变。6G网络架构应具备智慧内生、安全内生、空天地一体、通感一体、算网一体等特征^[3]。

空天地一体是6G网络的一个重要特征。天地一体化信息网络将在体制、协议、网络、业务、终端等方面一体化考虑,实现天基、空基网络与地面移动通信网络的深度融合,组成天地一体化信息网络,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,实现用户随时随地按需接入。6G网络通过天地一体化的多接入融合,提供更快、更好的服务质量(QoS)和更高的可靠性,为用户提供可靠、连续的通信服务^[4]。

2.2 天地一体化信息网络发展现状

随着卫星通信快速发展,空间与地面网络形成了两大独立的通信网络。为了实现高效资源共享、互联互通,空间与地面相结合的天地一体化信息网络成为全球新一轮发展热潮。

从20世纪90年代开始,随着移动卫星通信的发展,卫星与地面移动通信相互融合成为研究热点。早期的北美卫星移动通信(MSAT)系统采用了类似(模拟)全球移动通信系统技术;低轨卫星星座“铱”卫星(Iridium)则以GSM作为蓝本。随着卫星技术和移动通信技术的不断发展,天地一体化信息网络的研究逐渐成为热点。

在天地一体化信息网络架构方向,吴曼青等^[5]在综合前期研究成果的基础上提出了天地一体化信息网络的总体架构设想,梳理了网络技术体系,并就天网地网架构、天地一体网络协议、天地融合移动接入、安全保密、运维管控等方面展开了重点论述;提出采用“天网

地网”的思路,由两张网络相互配合共同构成天地一体化信息网络。李贺武等^[6]对以卫星通信系统为代表的空间网络及其协议体系结构的研究现状及发展趋势进行分析,归纳了天地一体化信息网络的体系结构、组网结构以及路由、端到端传输、安全控制等关键技术的研究难点和发展趋势。参考文献[2]提出的组网结构中,空间网络主要包括由高轨卫星组成的天基主干网,由地面关口站组成的地基主干网,以及由各类卫星、星座和临近空间飞行器等设备组成的多种空间接入网;地面网络主要包括地面互联网、移动通信网组成的主干网络 and 用户接入网;通过设置天地一体化信息网络互联节点,将空间网络、地面互联网、移动通信网进行互联互通和有效融合。BERTAUX等^[7]提出将网络功能虚拟化(NFV)和软件定义网络(SDN)技术应用到卫星网络架构设计中,认为SDN带来灵活性、自动化和定制化,NFV的优势在于实现灵活的业务发布和缩短新业务的开发时间。

随着5G技术的日益成熟,ITU、3GPP等国际标准化组织开始研究星地融合的标准化问题。ITU提出了卫星融合通信的4种应用场景。3GPP在5G网络设计之初,就已经考虑支持卫星接入。3GPP SA1工作组在5G业务需求的标准TS22.261中明确指出5G系统需要支持卫星接入,且卫星无线接入网络可以支持3GPP体制,即作为5G接入技术之一^[8]。2017年,3GPP SA1进一步研究了卫星通信与5G系统融合的场景和需求,对卫星提供5G无线接入和回传服务的12个典型用例进行了研究,并提炼出潜在的业务需求和系统需求^[9]。基于SA1的需求,3GPP SA2工作组在R16中开始研究融合卫星通信的5G网络架构,通过分析在5G网络中支持卫星接入和卫星回传的关键技术问题,提供了相应的潜在方案^[10-11]。

3 面向6G的天地一体化信息网络架构需求

3.1 天地一体化信息网络架构面临的挑战

传统的天基卫星移动网络与陆地蜂窝网络各自独立发展、孤立组网,系统间互通性差,难以满足信息融合和综合利用的需求,无法实现6G天地一体化信息网络发展目标。这需要通过天基网络与地面移动通信网络深度融合、统一体制,形成统一高效的智能网络,实现多网融合,提升网络传输效率与性能,降低建网与维护成本,提高网络的部署灵活性与业务传输质量。

相对于原有的卫星或地面移动通信网络,由于网络结构(由平面发展到立体大时空跨度)和节点能力(传输、移动、路由、覆盖能力等)都发生了根本性变化,天地一体化信息网络面临着网络架构与组网方式、业务连续性、网络容量提升等方面的挑战。

(1) 网络架构挑战

面向6G的天地一体化信息网络包括由高轨卫星和中低轨卫星组成的卫星网络,为应对临时需求的升空气球、飞艇和无人机组成的临空网络以及陆地蜂窝网络。其网络节点具有立体多层次分布、高速运动、各节点功能及组网特性不均等特点。因此天地一体化信息网络具有网络组成结构差异大,网络资源难以统一整合,无法形成高效服务保障;通信协议差别明显,信息传输时的协议转换开销高;网络管理和控制功能分散,网络管理效率低、复杂度高;用户和业务分布不均匀,网络拓扑和架构动态变化的特点。如何将异构网络进行高效组织,构建包含统一空中接口协议和组网协议,功能模块化、智能化、以用户为中心的服务化网络架构,使之能够满足不同部署场景和多样化的业务需求成为实现天地一体化信息网络面临的重要挑战。

(2) 业务连续性挑战

天地一体化信息网络面临天基和空基网络节点高速移动导致的网络拓扑高动态性,不同层网络传输时延差异大,网络通信链路性能变化大,以及星地、星间、空基链路稳健性差等多尺度异构网络组网难题。同时由于低轨卫星的快速移动,针对固定区域,将频繁出现服务卫星变化的现象。当区域内用户较多时,将出现群组用户的星间切换问题。天地一体化信息网络针对多类型、大容量、分布不均衡的业务,卫星之间存在着复杂、高效、可靠、安全的路由转发等难题,网络路由建立、维护等具有巨大复杂性。为了保障6G业务连续性服务质量,形成无缝覆盖的可靠连接,如何突破异构网络之间移动性管理的封闭性,保障天地协作高效业务的连续性将是天地一体化信息网络面临的挑战之一。

(3) 网络能力适配和服务保障挑战

天地一体化信息网络将提供全场景服务,网络则应根据不同的业务需求提供匹配的网络服务能力。例如在某些业务场景中终端需要同时接入多种卫星接入网络和/或地面接入网络。同时天地一体化信息网络面临链路时延抖动大、用户和馈电链路切换频繁、星间/星地网络拓扑动态变化等一系列不利于服务质量保障的因素。因此如何感知业务需求并提供相应的网络服务以及如何实现面向天地一体化信息网络的服务质量保障是天地一体化信息网络在业务支撑方面所面临的挑战。

3.2 天地一体化信息网络架构需求

6G网络架构将继续延续云化演进路线,使得网络更加简洁和高效,网络功能可以基于云原生进行快速和频繁地构建、发布及部署。在网络架构演进过程中,应遵

从控制和转发分离、按需无状态等服务化架构的基本要求。服务化的网络架构将不仅包括核心网控制平面,也包括核心网用户平面和基站。针对不同应用场景,网络功能将进一步解耦、简化和定制,以适应未来多种多样的业务需求。

卫星网络的快速动态拓扑变化、发送功率受限、信息处理能力受限、传输时延要远大于地面移动通信网络等特点,使得天地一体化组网复杂,简单的业务互通和体制融合不能满足6G网络智能、极简和按需定制的要求。因此面向6G的天地一体化信息网络将是系统融合的网络,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^[12]。

天地一体化信息网络应该具有以下特点。

简洁:天地一体化信息网络的层级、种类、类型、数量和接口应尽量减少,降低运营和维护的复杂性和成本,利用分布式人工智能、SDN、NFV等技术建立可按需调整,可弹性伸缩,具有自组织、自演进能力的分布式网络。

敏捷:天地一体化信息网络应具备可编程能力,网络资源具备弹性的可伸缩能力,实现网络的灵活可控、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。

韧性:天地一体化信息网络通过内生弹性可伸缩架构,以及通过软件定义网络、虚拟化等技术,构建随需取用、灵活高效的网络能力资源池,实现网络能力的按需定制、动态部署和弹性伸缩,适应天地一体化信息网络的可靠性和稳健性需求。

集约:天地一体化信息网络应具备在统一网络架构下按需部署网络功能或服务的能力和动态编排及按需资源调度的能力。网络资源应能够统一规划、部署,改变分散、分域情况下高成本、低效率的状况。

4 面向6G的天地一体化信息网络架构

4.1 天地一体化信息网络架构

面向6G的天地一体化信息网络将以业务/用户为中心,服务多种通信场景。为了在不同场景下提供高效的网络服务和确保用户体验,天地一体化信息网络架构应具备灵活应变能力,能够根据不同的场景和业务需求多尺度构建服务网络。天地一体化信息网络通过网络功能重构可以增强网络活力,降低运营成本,促进网络开放与业务创新,采用模块化功能设计模式,并通过“功能

组件”的组合，构建满足不同应用场景需求的网络。天地一体化信息网络架构如图1所示。

面向6G的天地一体化信息网络将由高中低轨卫星、地面通信系统共同组成大时空尺度多层异构网络。

(1) 地面通信系统

地面通信系统将由地面移动通信网络 and 智能网络管理与控制系统构成，是天地一体化信息网络的核心。天地一体化信息网络通过构建网络全局视图，统一管理地面通信系统和卫星通信系统。为了统一协调卫星和地面的网络资源以及按需构建天地一体化信息网络，地面通信系统中的智能化网络管控平台用于管理和控制卫星网络和地面蜂窝通信网络间的网络拓扑结构。

(2) 中低轨卫星网络

中低轨卫星不仅支持普通接入网功能，还可以根据业务需求部署定制的核心网功能，例如可以部署移动性管理、会话管理和用户面等网络功能。通过部署网络功能，每个卫星既可构成独立的服务网络和服务终端，也

可以作为接入网节点连接其他卫星/地面核心网。当单个卫星自成系统时，卫星之间的链路将只承载业务数据，这样既可以避免在控制平面使用到地面信关站的馈电路径，减少控制平面的时延，又可减少对星间接口协议的影响，使得星间链路可以采用统一的接口，提供星间路由的灵活性。

(3) 高轨卫星网络

高轨卫星作为天基网络的骨干节点，可以负责其管理区域内中低轨卫星的星间网络拓扑并构成卫星网络中的单个自治域，因此高轨卫星除了支持中低轨卫星的核心网功能外，还可以支持域内管理和控制功能。高轨卫星上的域内管理和控制平台主要负责接收其自治域内卫星节点或链路的异常状态通知，从而根据业务特性、网络拓扑、网络负载等动态调整网络结构。在紧急情况发生时，也可以根据地面控制中心的指令以及域内卫星网络节点的可用性、安全性、负载等进行网络重构。

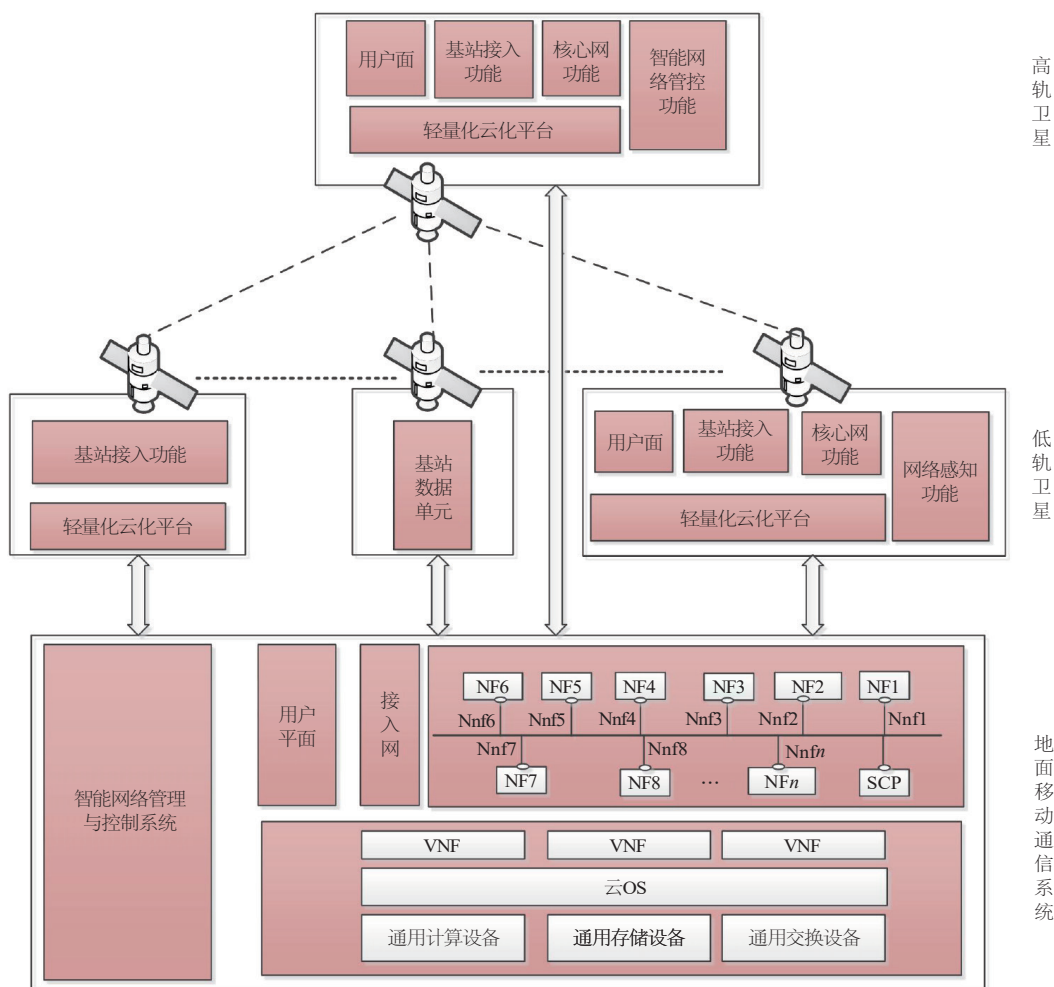


图1 天地一体化信息网络架构

天地一体化信息网络架构根据功能可以划分为管理平面、控制平面和数据转发平面,如图2所示。数据转发平面包括高轨卫星节点、中低轨卫星节点和地面数据平面,主要用来进行数据转发。控制平面包括网络路由控制和网络功能控制两部分。网络路由控制主要通过可编程的卫星网络分布式架构来实现天地一体化信息网络的路由动态规划和负载均衡。网络路由控制功能主要负责节点状态、网络拓扑及状态的实时采集,即实时采集网络链路流量情况;基于全局网络流量视图,面向关键业务进行端到端路径的集中计算和实时部署;实现控制器在故障情况下的快速恢复、关键功能的在线部署、升级;实现地面网络管理和控制平台与卫星网络管理和控制平台之间的状态数据同步性,保证相关配置数据、策略数据在设备意外冷启动后的快速恢复。网络功能控制主要通过虚拟化平台上实现移动通信的网络功能,实现接入控制、移动性管理、会话管理等核心网功能和接入网功能。智能网络管理和控制系统是天地一体化信息网络的管理平面,主要负责根据业务需求和网络资源情况进行网络路由的动态规划和网络功能的动态重构。例如智能网络管理和控制系统可以根据组网形态、业务需求和网络资源情况,在卫星节点部署不同的网元功能,

实现网络功能的定制和按需重构。通过智能网络管理和控制系统在天基和地基之间、不同卫星子网间、同层网络不同卫星节点间实现网元功能的柔性分割。例如:地面移动通信网络具有更强处理能力,可以实现完整的网络功能;在天基网络根据网络部署和业务需求,实现轻量化、可裁剪的网元功能,例如对于处理能力强的卫星节点,如高轨或部分低轨卫星,可以通过部署控制网元功能使其成为网络控制节点;而对部分处理能力弱的卫星节点,只部署数据转发平面功能进行数据处理和发送。

4.2 智能网络管理与控制系统

为了满足天地融合网络架构弹性可重构的需求,天地一体化信息网络智能网络管理与控制系统将基于人工智能技术,根据用户需求数据、网络运行数据、网络拓扑数据、星历数据等,智能分析与业务需求匹配的网络能力。智能网络管理和控制系统可以根据业务需求,按需、自动化地对网络资源进行管理和调度,结合天地一体化信息网络中增强的网络控制、分析和采集能力,形成动态跨域资源的实时自治闭环系统,实现网络的智能分析、编排,避免网络资源的浪费,快速调整网络服务能力,保障重点用户的业务需求。同时智能网络管理

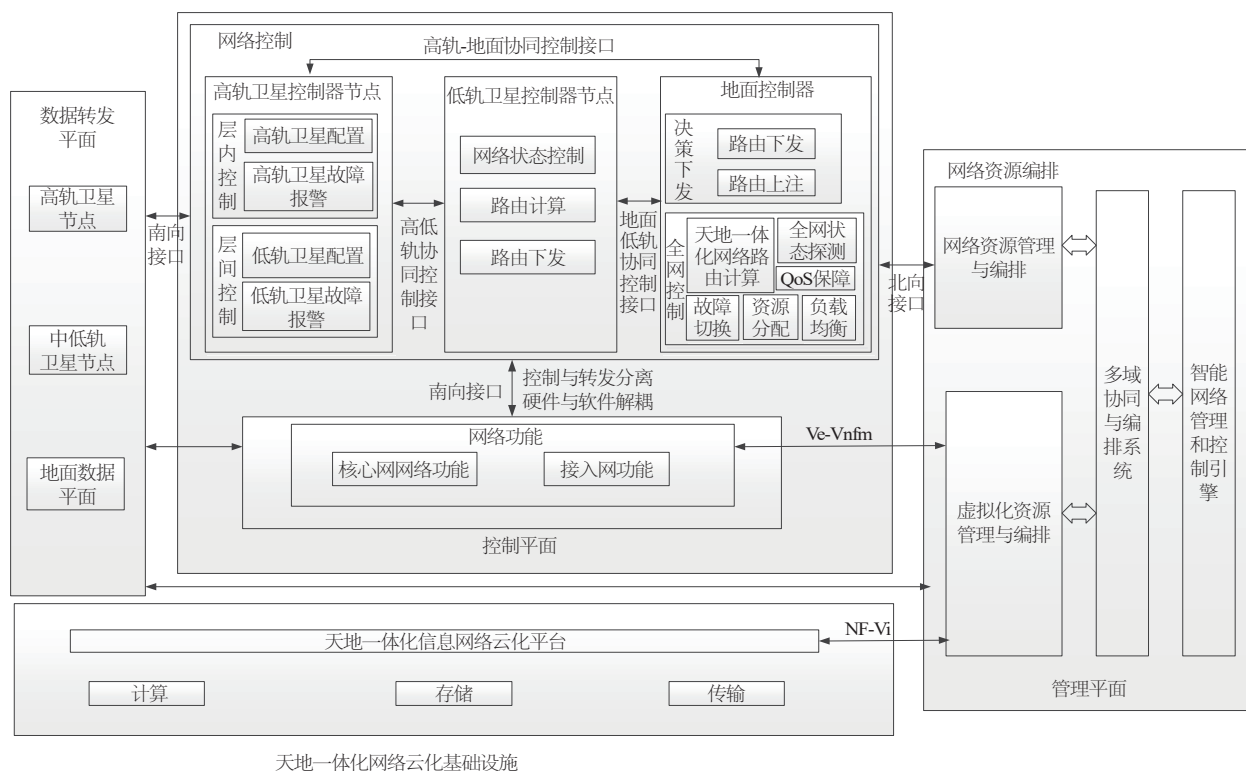


图2 天地一体化信息网络架构根据功能划分

与控制系统还应具备端到端的网络策略管理能力，结合用户的业务需求、网络状态和资源现状，进行智能决策与策略下发。

智能网络管理与控制系统架构如图3所示。智能网络管理与控制系统包括智能管理和控制引擎和异构跨域网络资源管理和编排系统。智能网络管理与控制系统可以是部署在地面的智能网络管理和控制平台以及部署在卫星上的域内网络管理和控制平台。智能网络管理与控制系统通过网络资源协同和编排系统进行天地一体化信息网络的资源协调和调度，完成端到端网络和业务的管理。

智能网络管理与控制引擎通过多维智能感知数据模型和多方协商/共享机制，支持计算、数据、算法与网络的深度融合；通过分布式人工智能算法，实现对天基和地面网络的态势分析，建立包括天基和地面网络在内的全局网络视图；通过智能化管理和控制，实现零接触组网，根据网络状态、业务需求等动态选择不同层次的网络，自动配置网络资源，智能生成网络组网策略。例如针对优先级高的用户，可以为其业务配置高QoS等级的网络连接，当低轨卫星连接拥塞时，通过自动化配置，

为其配置网络资源，优先保证该用户的网络连接。针对对时延不敏感的业务或者优先级低的用户，可以选择通过高轨卫星进行传输。智能网络管理与控制系统可以跨越物理和虚拟两网，支持真正端到端的业务管理，有助于现有烟囱式网络和网管系统向6G智能管理和数字孪生系统的平滑演进。通过智能网络管理和控制引擎可以实现网络架构的自动化管理，节省运营成本，减少业务开通时间。智能网络管理和控制引擎支持灵活的信息模型，可以利用对产品、服务、资源的抽象化屏蔽网络的复杂性，快速实现数据源整合、业务虚拟化、业务保障和分析、业务流程管理等功能。

为了实现不同场景和业务的网络资源的智能管理和编排，需要解决天地一体化信息网络的异构网络资源管理和调度问题。网络资源协同与编排系统通过多域协同编排实现了天基网络和地面网络跨域的网络资源统一编排，可以根据网络情况和业务需求在中低轨卫星和高轨卫星配置不同的网元功能；同时根据智能网络管理和控制引擎的网络资源部署策略和业务策略实现天基和地基网络的计算资源、安全策略、应用管理、业务管理等方

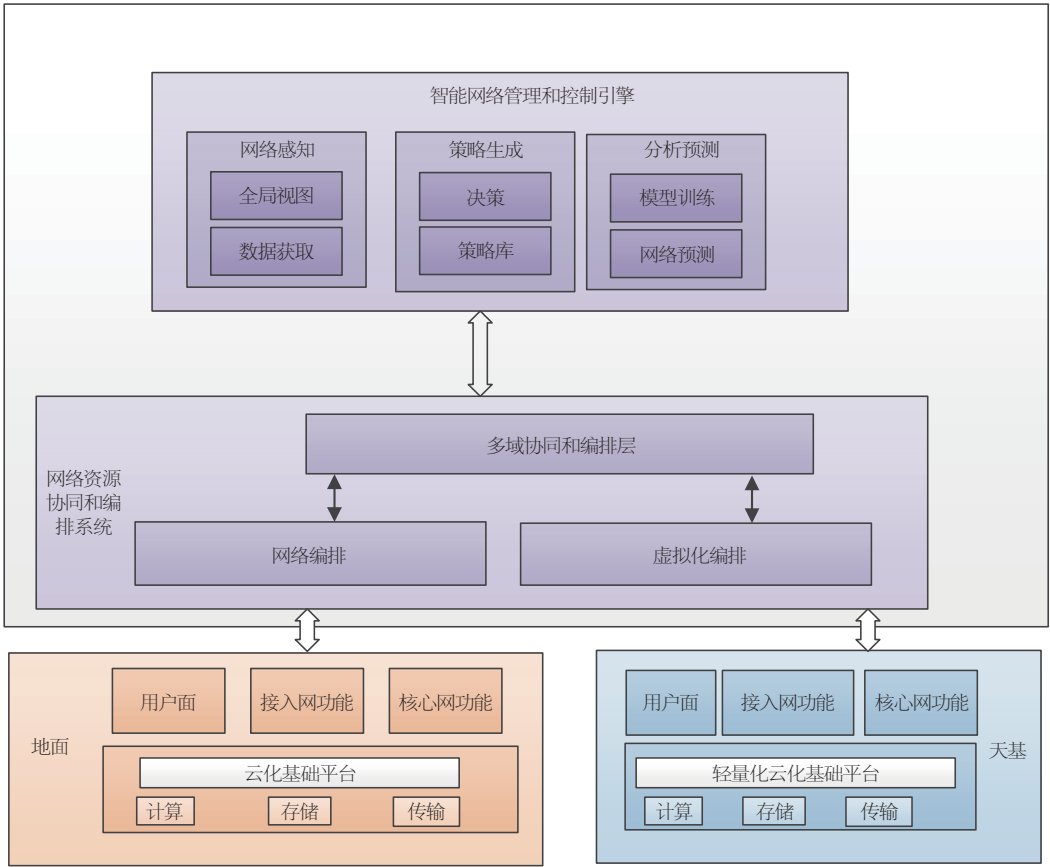


图3 智能网络管理与控制系统架构

面的协同，完成按需端到端网络资源配置和编排，实现异构网络资源的高效利用。

4.3 天地一体化信息网络虚拟化技术

6G网络架构将继续朝着云化方向发展，基于云原生的软件设计，网络功能可以快速和频繁地构建、发布及部署。服务化的网络架构将不仅包括核心网控制面，也包括核心网用户面和基站。对不同应用场景，网络功能将进一步解耦、简化和定制，以适应未来多种多样的业务需求。天地一体化信息网络云化基础平台架构如图4所示。

天地一体化的多样化应用将传输海量的数据，需要强大的计算、存储、传输等处理能力支撑，而这些能力必须以尽可能低的载荷和功耗来实现。天基网络除了适应太空恶劣环境这一基本要求外，天基设备难以维修、难以实施软硬件更替，即使部分设备发生异常、故障或损毁，仍需保证提供正常信息处理服务的能力。因此天基网络中轻量级、高可靠和高故障隔离度的虚拟化技术是天地一体化信息网络朝着云化发展的关键技术。

容器是一种操作系统级别的虚拟化技术，通过操作系统隔离技术将不同的进程隔离开。与NFV相比，容器更轻，更方便管理。同时容器作为一种应用打包的技术，定义了标准化的应用发布格式，极大方便了应用的开发、部署和移植。容器可以通过分层镜像、集中式镜像仓库等技术，促进网元的微服务化改造，可加快软件开发部署。

因此天地一体化信息网络的虚拟化技术以容器为基础，通过云原生技术构建和运行可弹性扩展的网络功能，采用容器化封装形成虚拟化组件重用，简化虚拟化平台的维护。在容器中运行相应的网元功能，并作为独立部署的单元实现高水平资源隔离。通过集中式的编排

调度系统来动态管理和调度虚拟化资源。

基于云原生的虚拟网络功能（VNF）可以采用高度可扩展的架构，支持分布式状态和异步消息处理，利用高效的轻量级容器，在需要时提供按需容量和故障切换。与高度自动化的智能网络编排系统协同工作提高了整体服务的敏捷性。

在天基网络中使用微服务的方式构建并部署在容器环境中的基于云原生的虚拟网络功能，可以实现网络功能快速启动。此外，还可以根据需要添加微服务来处理增加的容量或备份需求，实现网络的灵活部署和高可靠性。

天地一体化信息网络的网元需要实现微服务解耦，先做垂直解耦也就是控制平面和数据平面剥离，实现无状态化，再做水平解耦将单体结构拆分为分布式松耦合的多个微服务。微服务间可以独立开发，独立升级，有利于业务快速迭代。

5 结束语

为实现6G的美好愿景，6G网络需要从管理智能向智能内生、从多体制多协议向统一协议体系、从地面通信向天地一体化通信、从补丁式的外挂安全向内生安全转变。在6G时代移动通信网络应该在任何地点、任何时间，以任何方式为用户提供服务。为了满足6G业务和部署场景不断扩展的需求，构建融合的天地一体化信息网络成为6G网络重要的特征。天地一体化信息网络架构应具备动态可重构特性，形成高效能、无阻塞的多维多域互联能力，实现按需组网、高效的多域多维度的网络管控。目前天地一体化信息网络的研究还处于起步阶段，通过开展天地一体化信息网络体系架构、组网协议、路由交换、网络管理的研究，实现天地一体化信息网络分阶段的、有序的推进和部署。

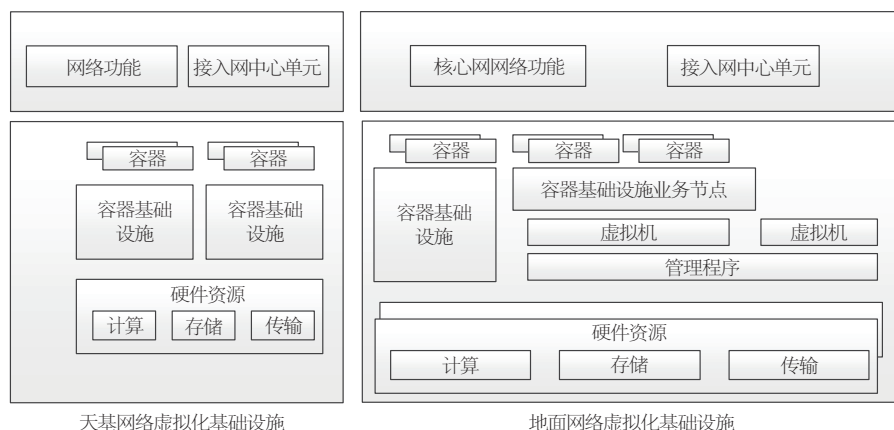


图4 天地一体化信息网络云化基础平台架构

参考文献：

- [1] 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[J]. IEEE Wireless Communications, 2020, 27(2): 218-228.
- [2] IMT-2030 (6G) 推进组. 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书[Z]. 2021.
- IMT-2030 (6G) Promotion Group. 6G overall vision and potential key technology white paper[Z]. 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[Z]. 2021.
- IMT-2030 (6G) Promotion Group. 6G Network architecture vision and key technology outlook white paper[Z]. 2021.
- [4] 陈山枝. 关于低轨卫星通信的分析及我国的发展建议[J]. 电信科学, 2020, 36(6): 1-13.
- CHEN S Z. Analysis of LEO satellite communication and suggestions for its development strategy in China[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(6): 1-13.
- [5] 吴曼青, 吴巍, 周彬, 等. 天地一体化信息网络总体架构设想[J]. 卫星与网络, 2016(3): 30-36.
- WU M Q, WU W, ZHOU B, et al. System architecture of integration of Terrestrial mobile communication and Satellite communication[J]. Satellite & Network, 2016(3): 30-36.
- [6] 李贺武, 吴茜, 徐恪, 等. 天地一体化网络研究进展与趋势[J]. 科技导报, 2016, 34(14): 95-106.
- LI H W, WU Q, XU K, et al. Progress and tendency of space and earth integrated network[J]. Science & Technology Review, 2016, 34(14): 95-106.
- [7] BERTAUX L, MEDJIAH S, BERTHOU P, et al. Software defined networking and virtualization for broadband satellite networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(3): 54-60.
- [8] 王胡成, 徐晖, 孙韶辉. 融合卫星通信的5G网络技术研究[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(5): 535-542.
- WANG H C, XU H, SUN S H. Research of network technologies of 5G integrating satellite communication[J]. Radio Communications Technology, 2021, 47(5): 535-542.
- [9] 3GPP. Study on Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16) : TR 22.822[S]. 2018.
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2 (Release 17): TS 23.501[S]. 2021.
- [11] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G: TR 23.737[R]. 2020.
- [12] 徐晖, 缪德山, 康绍莉, 等. 面向天地融合的卫星网络架构和传输关键技术[J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(2): 2-10.
- XU H, MIAO D S, KANG S L, et al. Network architecture and key technologies for the integrated satellite and terrestrial mobile communication system[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2020, 1(2): 2-10.

[作者简介]



徐晖 (1969-), 博士, 大唐移动通信设备有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为移动通信核心网、天地融合网络技术和移动通信安全等, 目前主要从事6G及卫星通信等方向的技术研究和标准化推进工作。



孙韶辉 (1972-), 博士, 大唐移动通信设备有限公司副总经理, 长期从事移动通信新技术研究与标准制定工作, 主要研究方向包括移动通信系统设计及多天线技术、卫星通信、定位等关键技术。