

星地融合网络管控架构设计

韩湘^{1,2}, 董涛^{1,2}, 殷杰^{1,2}, 刘志慧^{1,2}

(1. 航天恒星科技有限公司天地一体化信息技术国家重点实验室, 北京 100095;

2. 北京卫星信息工程研究所, 北京 100095)

摘要: 星地融合网络的运行管控需要面向巨型星座和天地大尺度网络, 实现对异构基础设施、分层立体网络、跨域多维资源、定制化业务服务的综合调度管理, 管控对象多样, 关系错综复杂, 管控的协同性和高效性直接影响网络的服务能力。针对以上问题, 基于网络为本、星网协同的理念, 探索星座、网络、业务的协同管控机制, 提出星地融合网络运行管控的总体架构, 并详细设计管控中心功能, 规划典型运行管理流程, 分析其在巨型星座在轨管理和大尺度跨域网络管理等方面的适用性, 为星地融合网络运行管控系统建设和系统运行管理提供技术支撑。

关键词: 星地融合网络; 网络管理; 星座管理; 资源管理

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2024013

Design of Management Architecture for Satellite-Terrestrial Integrated Networks

HAN Xiang^{1,2}, DONG Tao^{1,2}, YIN Jie^{1,2}, LIU Zhihui^{1,2}

1. State Key Laboratory of Space-Ground Integrated Information Technology,
Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100095, China

2. Beijing Institute of Satellite Information Engineering, Beijing 100095, China

Abstract: The management of the satellite-terrestrial integrated network targeting giant constellations and large-scale networks, requires the comprehensive management of heterogeneous infrastructure, layered stereoscopic network, cross domain multi-dimensional resources, customized business services, the collaboration and efficiency of management directly affect the service capability of the network. Based on the concept of network as its essence and collaboration between satellites and networks, this paper explored the collaborative manage mechanism of constellation, network, and business, proposed the overall architecture of satellite-terrestrial integrated network management, designed the manage center function in detail, planed typical operational management processes, and analyzed its applicability in the management of giant constellations in orbit and large-scale cross domain network management. This paper provided technical support for the construction and operation management of the satellite-terrestrial integrated network.

Keywords: satellite-terrestrial integrated network, network management, constellation management, resource management

0 引言

为了满足未来“万物智联”和全时、全域通信的迫切需求, 卫星网络与地面网络相融合已被认为是未来网络的发展方向之一^[1]。近年来, 随着以星链、一网等星座为代表的低轨宽带星座逐步建成^[2], 我国卫星互联网技术试验

星成功发射^[3]等一系列重大事件的发生, 星地融合网络的论证、设计、建设和应用受到了越来越广泛的关注^[4-6]。

星地融合网络具有基础设施跨域异构、天地网络大尺度互联、虚实资源融合应用、业务服务灵活多样等特点。与传统卫星通信领域单星、单站、单网系的运行管理模式相比, 星地融合网络的运行管控涵盖巨型星座在轨管控、

收稿日期: 2024-01-22; 修回日期: 2024-05-04

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (No.2022YFB2902504)

Foundation Item: National Key Research and Development Program of China (No.2022YFB2902504)

天地大尺度网络管理、多类多等级服务综合保障等方面,在协同性、时效性、精细化等方面提出了更高的要求。如何实现网络的可靠运行和高效管控是制约星地融合网络应用服务的关键问题之一,业界已开展了广泛的研究。参考文献[7]面向高低轨混合卫星网络,提出了基于统一管控平面的管控架构。参考文献[8]针对超大规模卫星网络,提出了云边协同管控体系,设计了基于服务组合的管控系统。参考文献[9]从网络资源管理、业务流量管理和网络状态管理 3 个方面分析了人工智能技术在卫星网络运维与管理领域的研究现状。参考文献[10]面向天地一体化的天基传输网络,分别针对透明转发、固定多波束、星上处理等情况设计了运维管控系统的架构和功能。参考文献[11]针对 5G 网络,分析了网络运维的现状和趋势,设计了面向 5G 网络的智能化运维模式。参考文献[12]针对大规模低轨卫星网络,设计了基于软件定义网络 (Software Defined Network, SDN) 的时间敏感网络控制架构和循环优先转发 (Cyclic Priority Forward, CPF) 交换机制。参考文献[13]针对大规模卫星网络,提出了卫星网络路由管控的难点和解决方法。

本文基于网络为本、星网协同的管控理念,通过分析星地融合网络的运行管理对象,提出了运行管控的总体架构,详细设计了管控中心的功能组成,规划了典型业务的运行管理流程,并分析了其在巨型星座在轨管理和大尺度跨域网络管理等方面的适用性,为星地融合网络管控系统建设和运行管理提供了参考。

1 管控对象分析

星地融合网络在物理架构上由空间段的高轨和低轨卫星星座、地面段的各类地面站以及应用段的各类终端组成,在逻辑功能上由接入网、承载网与核心网构成^[14],如图 1 所示。

从星地融合网络的构成看,其本质是基于接入+承载+核心架构的天地融合移动通信网络,与地面移动通信网络的区别在于星地融合网络以卫星节点为主,大规模卫星节点组成巨型星座,节点间通过微波或激光方式实现天地大尺度互联,节点资源受限且中低轨卫星节点还具有较高的运动性,这些差异给网络的运行管控带来诸多挑战。首先,网络的运行管控需要针对大规模混合星座在轨管理的需求,具备星座构型保持、卫星平台管理、载荷配置以及轨道机动等能力^[15-18],实现巨型星座在轨稳定运行;其次,网络运行管控需要针对星地/星间节点相对运动的特点,动态构建网络传输和控制架构,规划路由交换机制^[19-22],实现天地网络拓扑高动态变化下的可靠互联;最后,网络运行管控需要针对用户时延敏感、大容量、高可靠等多样化业务需求,实现资源受限条件下的按需分配和定制化服务^[23-26]。星座、网络以及业务服务等各类管控需求相互影响,互相制约。为降低管控难度,可以采用分层解耦的思想,按照从低到高的层次关系,将管控对象分为基础设施、网络资源、业务服务 3 类,如图 2 所示。

基础设施类主要包括卫星星座(含高、中、低轨卫星)、地面站通信设备(含天线、射频、基带等信息传输和处理

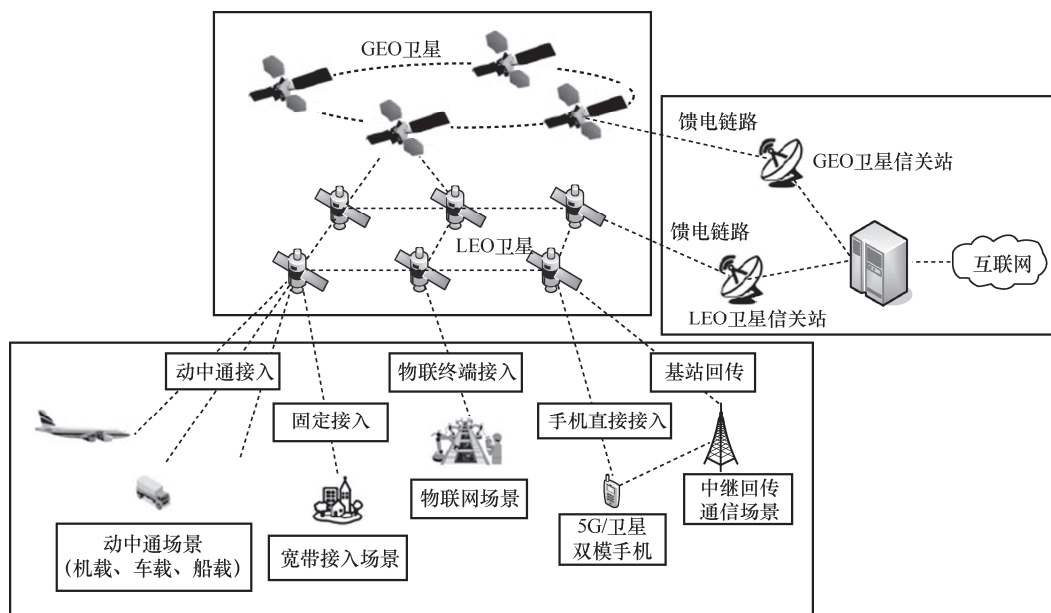


图 1 星地融合网络架构

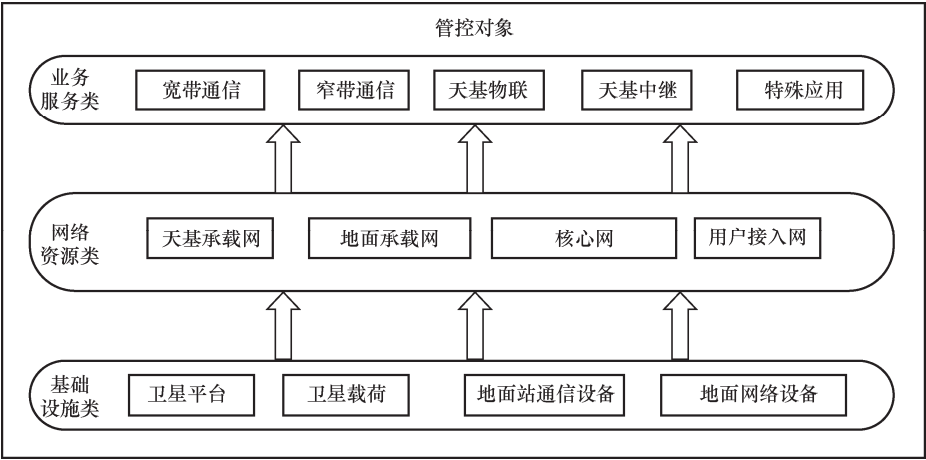


图 2 管控对象构成

设备，以及交换机、路由器等网络设备）等物理实体。对这类对象的管控以卫星的在轨管理、设备的运行监控和故障处置为主，基于星地位置关系调度卫星和地面站建立星间/星地物理传输链路，形成星地融合网络的底层基础。

网络资源类主要包括部署于卫星和地面站的网络设施，包括用户接入网、天地承载网和核心网的各类网元。对这类对象的管控以网元的配置管理、性能管理、故障管理，以及路由交换、频率、功率等方面的资源管理为主，形成星地融合网络的中层网络。

业务服务类主要包括面向用户的宽带通信、天基物

联、窄带通信、天基中继等各类服务。对这类对象的管控以实现高层应用管理、业务运行态势分析、终端运行监控为主，形成星地融合网络的高层应用。

2 管控总体架构

2.1 逻辑架构

星地融合网络的运行管控采用管理与控制分离的思想，分为管理层和控制层，如图 3 所示。管理层主要面向全系统，基于控制层上报的控制信息，形成对被管对象粗粒度、非实时的规划调度和管理策略，作为控制层实施控

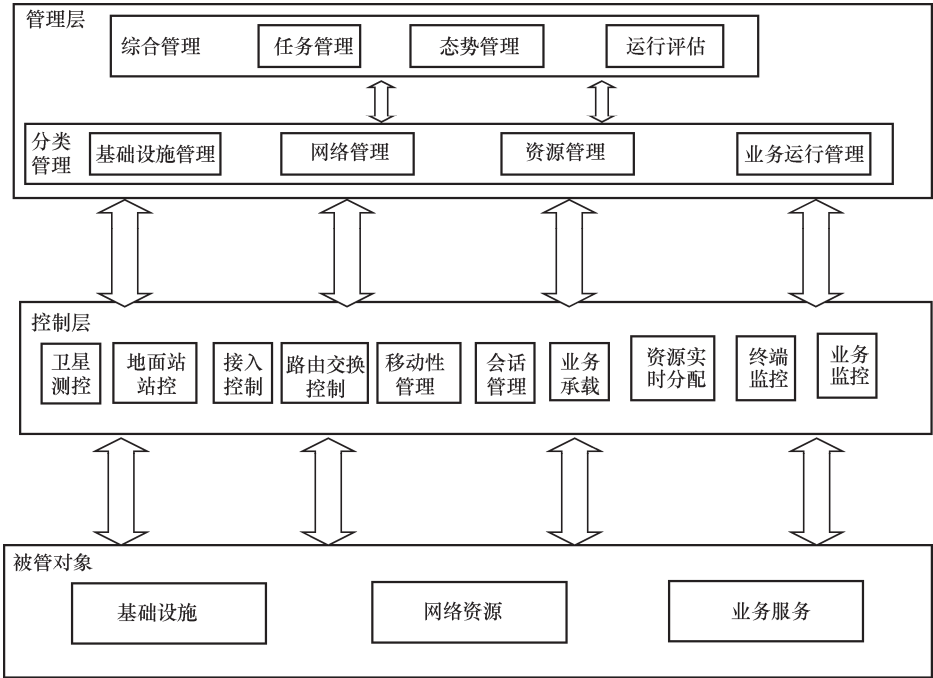


图 3 运行管控逻辑架构

制的依据,实现综合性、全局性的态势管理、任务管理、资源管理等功能。控制层依据管理层下发的规划和策略,对各类管控对象实施细粒度、实时的配置调度、资源分配与运行监控。管理层和控制层协同运行,共同实现星地融合网络的高效可靠运行。

根据管理的综合程度不同,管理层又可以进一步划分为综合管理和分类管理两个子功能层。综合管理子层面面向整个星地融合网络完成综合分析、统筹规划、系统优化;分类管理子层在顶层规划的框架下,完成面向基础设施、网络、资源、业务运行等各类管控对象的管理。

根据管控对象的类型不同,控制层也可以进一步分为基础设施、网络资源以及业务服务的运行控制。基础设施监控主要通过卫星星座测控、地面站站控等功能实现;网络资源控制主要通过星载/地面基站、核心网、天地承载网控制器等网元实现;业务服务管控主要通过终端管控代理等功能实现。

2.2 物理部署

星地融合网络的运行管控功能由部署于运行管控中心的管理功能和部署于各被管对象上(地面站、高低轨卫星、用户终端)的控制功能共同完成。

运行管控中心是星地融合网络的管控核心,主要完成基础设施管理(含卫星星座管理与地面设施管理)、网络管理、业务管理以及综合管理等管理层功能,从顶层角度分析、评估全网运行状态,制定各类规划、策略,实现各类被管对象的协同调度。同时具备与外部系统(运营支撑平台、气象、空间监视等)的互联能力和系统的运行维护保障能力。

地面站部署站控系统,完成站内所有设备运行状态监控和故障处置的控制功能。同时按需部署基站、核心网、承载网(路由交换、SDN 控制器等)等网络设备/网元,完成网络、资源和业务的控制层功能。

高低轨卫星配置测控系统,完成卫星平台和载荷控制功能,同时按需部署天基承载网(路由交换、SDN 控制器等)、星载基站、星载核心网等处理载荷/网元,完成处理载荷管控、网络和资源的实时控制等控制层功能。

用户终端部署管控软件和终端管控代理,完成终端设备管控和终端高层协议处理等控制层功能。

3 运行管控中心功能设计

运行管控中心是星地融合网络的“大脑”,具备服务承接、网络管控、运维支撑等能力。基于“功能域—功能

组—功能单元”的层次架构,可以将运行管控中心划分为运营支撑、管理控制和运行保障 3 个功能域,并进一步细化为各具体功能,如图 4 所示。其中,管理控制域为核心,运行保障域为辅助支撑,运营支撑域为服务接口,各域协同实现卫星星座测控、网络资源管理、用户业务服务等功能的集成与统一。

3.1 管理控制域

(1) 基础设施管理

基础设施管理主要实现卫星星座的全生命周期管理(包括发射入轨、在轨部署测试、在轨运行和离轨各阶段)和地面站设备的运行管控,可以分为任务规划管理、测控资源管理、星座控制、地面站控制以及综合监视 5 个功能。

任务规划管理面向大规模卫星星座和广域分布地面站完成星座测控任务规划。任务规划管理汇总中继数据传输、通信载荷调整等业务需求以及巨型星座在轨管理、地面站设备等运维需求,进行链路资源分析、冲突消解,形成任务规划并进一步制定卫星测控计划、地面站控制计划,调度卫星和地面站设备建立馈电和测控链路,同时构建任务库,对任务实施进行全过程管理,并具备应急任务调整能力。

测控资源管理面向巨型星座的馈电路径和测控链路资源,针对发射入轨、在轨部署测试、在轨运行以及离轨各阶段,依据低轨/高轨、常规/应急等不同类型测控需求,建立并维护链路资源池,为任务规划管理提供可用资源依据。

星座控制管理面向巨型星座,完成各卫星控制计算和指令上注。针对轨道位置保持、构型保持、轨道机动、碰撞规避、离轨控制等平台控制要求,完成控制策略生成、控制参数计算等控制计算。依据卫星控制计划,完成指令编制,注入数据生成,实施遥控指令上注,并判断指令执行情况。

地面站控制面向高低轨信关站、测控站等站型,基于地面站工作计划和测控计划生成设备控制参数和控制调度计划,实现对各类地面站通信设备的参数配置和远程控制,并对地面站设备故障进行分析和处置。

综合监视实现卫星星座和地面站设备的运行监视和态势分析。对卫星星座,综合监视接收处理卫星遥测数据,实时监视卫星状态,并分析卫星运行情况;对地面站,综合监视接收站控上报的设备运行数据,实时监视设备运行状态,分析评估设备运行情况;综合汇集处理各卫星星座和地面站监视数据形成星座及地面站综合运行态势。

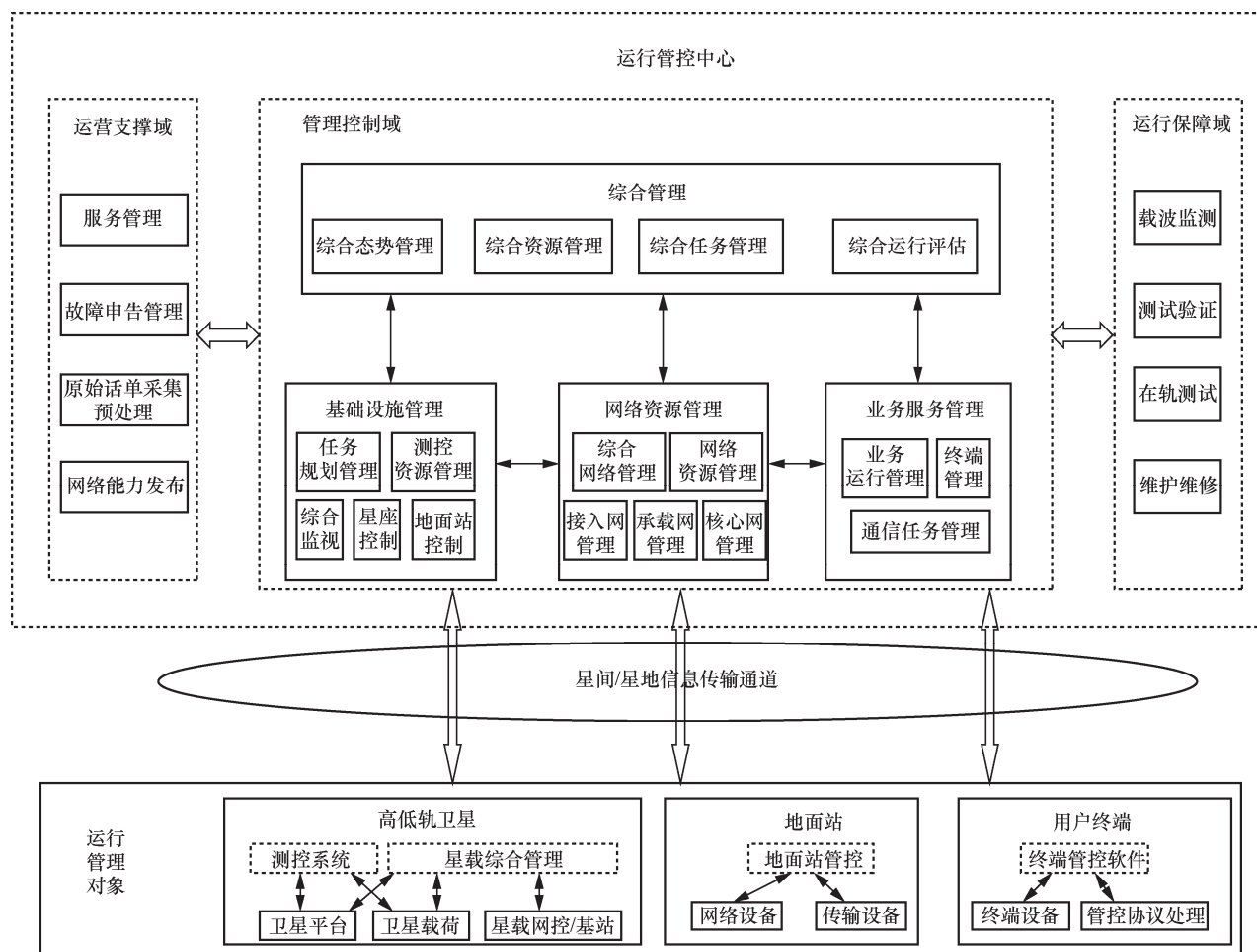


图4 星地融合网络管控功能物理部署

(2) 网络资源管理

网络资源管理面向接入+承载+核心的天地大尺度网络架构,实现网络运行管理和资源规划配置,可以分为核心网管理、接入网管理、承载网管理、综合网络管理、综合资源管理5个功能。

核心网管理面向部署于星载/地面的核心网网元,完成网元配置、拓扑管理、性能分析、告警汇聚关联与处置、权限安全等统一管理,实现配置下发、性能统计分析、故障处置等功能。

接入网管理面向星载或地面基站,完成用户侧无线资源配置与运行状态监视、性能监控、告警监视与故障处置等功能,实现多体制接入网的统一管理。

承载网管理面向天地一体承载网,完成一体化的星间和星地拓扑管理、路由规划与配置、网络功能部署、网络运行状态监视等功能,实现星间激光、微波、地面光纤等多种承载方式的统一管理。

综合网络管理实现网络整体的运行管理和业务配置,

从核心网、接入网、承载网各网管采集告警、资源、性能、业务等数据,完成运行综合监控、性能关联分析、综合故障处置等功能,通过与核心网、接入网、承载网的网管交互,实现业务的自动化处理。

综合资源管理面向用户链路的无线资源、天地承载网的网络资源,建立并维护无线资源和网络资源的资源池,结合通信任务需求、通信体制、服务质量需求等约束条件,完成无线资源和网络资源的顶层规划,实现各类资源的统一规划调度和维护管理。

(3) 业务服务管理

业务服务管理面向网络中的各类用户终端、各项通信任务完成综合管理和运行分析,可以划分为业务运行管理、通信任务管理、终端管理3个功能。

业务运行管理面向宽带传输、移动通信、物联采集等各类业务,完成业务量统计、业务运行状态分析、业务综合评估等功能,实现对所有业务的综合管理。

通信任务管理面向专网通信、抢险救灾、应急保障等

组网通信任务,对任务进行分级分类,完成任务从创建、规划、执行、评估的全周期管理。

终端管理面向手持、车载、便携等多类用户终端,完成终端的入退网控制和运行状态监视,综合显示各类终端的在网情况、通信情况、故障情况,并对终端使用情况进行统计分析。

(4) 综合管理

综合管理功能从顶层和全局的角度,实现任务、资源的全局管理和全网态势的综合显示,并对网络整体运行情况进行分析评估。综合管理功能可以分为综合态势管理、综合任务管理、综合资源管理、综合运行评估 4 个功能。

综合态势管理汇集基础设施管理、网络资源管理和业务服务管理的各类运行信息,从星座运行、天地网络拓扑、业务服务、资源使用等多个视角展示全网的运行状态。

综合任务管理面向运营支撑域派发的各类任务需求,构建任务数据库,完成任务分解、分类派发、过程管理、执行效果管理等功能,对任务进行全过程统一管控。

综合资源管理面向卫星测控资源、无线通信资源、天地网络资源,构建资源池,统计分析各类资源的使用情况,基于任务需求和网络运行状态,对资源进行顶层的规划和调配,实现全网资源的优化配置。

综合运行评估包括基础设施的健康状态评估和网络业务的运行状态评估两方面。基础设施的健康状态评估主要用于完成卫星星座、地面站设备运行状态的健康监测、故障告警、趋势预测以及寿命预测等任务,并给出运维建议;网络业务的运行状态评估主要用于建立网络和业务评估的指标体系和业务模型,对业务运行和网络运行趋势及资源使用情况进行预测,并给出优化建议。

3.2 运营支撑域

运营支撑域作为运营系统和运行管控中心之间的桥梁,为星地融合网络的业务运营提供数据支撑。运营支撑域接收运营系统的业务服务订单、客户投诉建议,下发运行管控中心管理控制域进行业务开通、投诉处置。同时,采集资源数据、业务运行数据、运行评估数据等各类数据,提供 BOSS 系统进行运营策略制定和服务能力展示。运营支撑域可以分为服务管理、故障申告管理、原始话单采集预处理、网络能力发布等功能。

服务管理以用户需求服务为管理对象,完成需求管理和业务开通两方面职能。需求管理对来自 BOSS 系统的业务需求进行分类、拆解和合并,将业务需求转化为通信任务,下发到管理控制域进行任务执行/业务开通;业务开通通过采集管理控制域的任务管理信息,对业务进展和服务

质量进行跟踪反馈。

故障申告管理完成用户投诉建议的申告处置和系统运行故障影响反馈功能。故障申告管理将用户服务申告信息派发给管理控制域,并跟踪申告处置情况,反馈申告处置结果;故障影响反馈接收管理控制域反馈的故障任务,分析受影响的业务用户并向 BOSS 系统反馈。

原始话单采集预处理通过采集处理核心网数据,向 BOSS 系统提供计费基础数据,支撑 BOSS 系统融合计费。

网络能力发布采集系统状态数据、资源数据、运行评估数据等信息,通过加工处理和关联分析,向 BOSS 系统提供全网运行状态、资源使用情况、用户终端在网状态等统计分析信息,用于支撑运营策略的制定和服务能力展示。

3.3 运行保障域

运行保障域作为管理控制域的支撑,用于提供监测测试、设备维护等辅助手段,可以分为载波监测、在轨测试、测试验证和维护维修等功能。

载波监测功能主要完成高低轨卫星馈电链路的下行载波监测,及时发现干扰信号,并对链路信号质量进行统计分析,为系统任务规划、运行评估等功能提供支撑。

在轨测试功能面向高低轨卫星完成卫星入轨后的平台和载荷测试,采用自动化、智能化测试手段,完成卫星入轨后的平台和载荷测试,确认卫星经历发射过程后的在轨技术状态。

测试验证功能构建独立的测试运行环境,为软件升级迭代提供测试验证条件。

维护维修功能完成故障设备的维修管理和备品备件的统一管理。设备维修管理具备从维修派单至维修效果反馈的全过程管理,以及对故障设备的返厂维修管理功能。备品备件管理具备对备品备件的统一配置调度和使用情况管理功能。

4 典型管控流程设计

星地融合网络的运行管控涵盖卫星测控、网络管理、业务通信等多个方面,各方面的管控操作互相关联、互相制约,管控流程设计的合理性直接影响网络的高效可靠运行。管控流程设计采用对象主导的思想,以任务为驱动,由管控对象对应的功能组牵引调度相关功能,依照先底层后高层开通、先高层后底层调整的管控顺序,协同实现网络运行管理。

4.1 卫星测控流程

卫星测控主要针对卫星故障失效、构型保持、碰撞规避离轨、载荷控制等卫星控制任务,由基础设施管理功

能组主导，调度其他功能组协同完成网络层和业务层的相关管控操作。下面以卫星碰撞规避机动为例，分析管控工作流程，如图 5 所示。

从整体看，管控过程可分为任务规划、策略生成、控制实施和任务反馈 4 个阶段。

在任务规划阶段，由综合管理统筹来自星座在轨管理、地面站运维、网络运行、用户业务以及外部系统的多种业务需求，完成顶层规划，并将卫星碰撞规避任务下发至基础设施管理，明确由该功能主导碰撞规避任务的管控过程。

在策略生成阶段，由基础设施管理功能组对碰撞规避任务进行具体分析，自底层向高层提供调整信息，调度其他功能组依次完成调整规划。具体来说，基础设施管理功能组制定卫星和地面站控制计划，并向网络资源管理提供

星地/星间网络拓扑预报；网络资源管理根据星地/星间网络拓扑预报，形成网络调整策略，并向业务服务管理提供网络能力变化预报；业务服务管理根据网络能力调整预报，进行业务服务、通信任务和终端运行影响分析，通过综合管理实现综合任务管理，通过运营支撑向 BOSS 系统提供业务影响预报。

在控制实施阶段，由基础设施管理功能组启动控制实施，调度其他功能组自高层向底层依次完成控制任务。具体来说，基础设施管理功能组通知网络资源管理启动网络调整；网络资源管理依据调整策略，对星载基站和星载路由交换进行配置更新，并将调整结果反馈给业务服务；业务服务分析业务和终端影响情况，反馈给综合管理和运营支撑；网络资源管理向基础设施管理通告网络

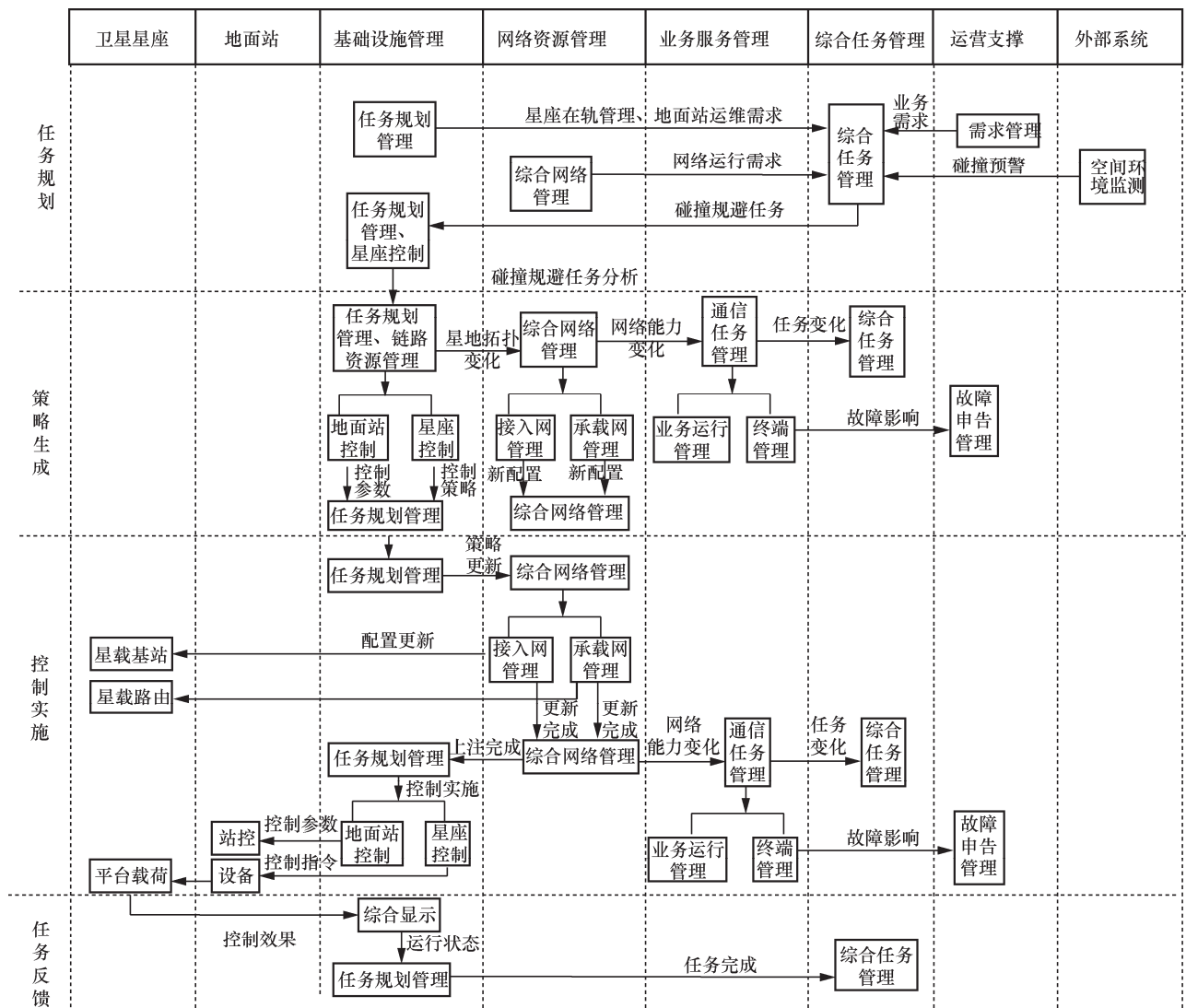


图 5 卫星碰撞规避管控工作流程

调整完成,由基础设施管理调度测控系统和地面站实施卫星控制。

在任务反馈阶段,由基础设施管理功能组获取任务实施情况,向综合任务管理反馈任务完成效果。

4.2 网络管理流程

网络管理流程主要针对网络开通、路由策略更新、无线资源配置调整等网络建立和资源调整任务。这类任务由网络资源管理功能组主导,调度其他功能组协同完成基础设施和业务服务相关管控操作,图 6 为网络资源调整的管控流程。网络管控流程的特点在于,基础设施管理作为下层功能,提供星间/星地网络拓扑;业务服务管理作为上层功能,完成网络调整前的影响域分析和调整后的影响程度通报;网络资源管理作为核心功能,主导从调整策略制定、实施更新至运行评估的全过程。

4.3 业务服务流程

业务服务流程主要针对公网业务、专网建立、特殊用户服务等服务保障类任务。这类任务由业务服务管理功能

组主导,调度其他功能组协同完成基础设施和网络资源相关管控操作,图 7 为专网开通的管控流程。

业务服务流程的特点在于,业务服务管理作为核心功能,主导从保障任务分析、资源调整、业务开通至运行监视的全过程;网络资源作为下层功能,根据业务服务保障任务需要,规划并实施网络资源调整;基础设施管理作为底层功能,根据网络资源调整需要,提供星地、星间拓扑,实施基础设施运行状态控制。

5 管控能力分析

随着星座规模不断扩大,高中低轨多层星座大尺度混合组网,星地融合网络的管控将面临更大难度。一是大规模卫星对地形成多重覆盖,星地、星间连接关系复杂,卫星测控需求增加,业务服务灵活多样,资源管理难度显著增大;二是大规模卫星在轨运行,在网、离网、异常等多种状态并存,卫星状态直接影响所承载网络和业务稳定性;三是多层星座与地面设施融合组网,网络服务能力由

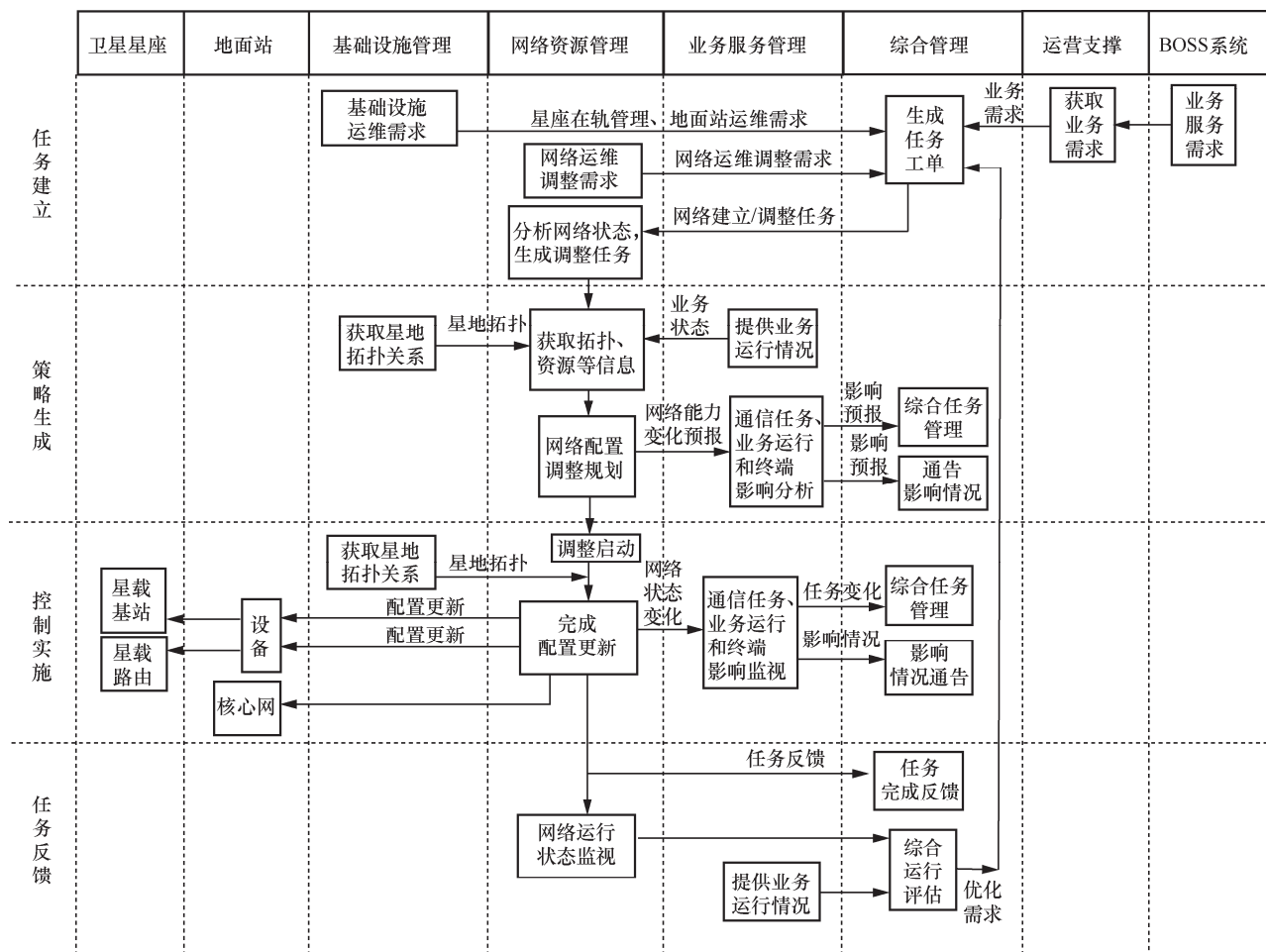


图 6 网络资源调整的管控流程

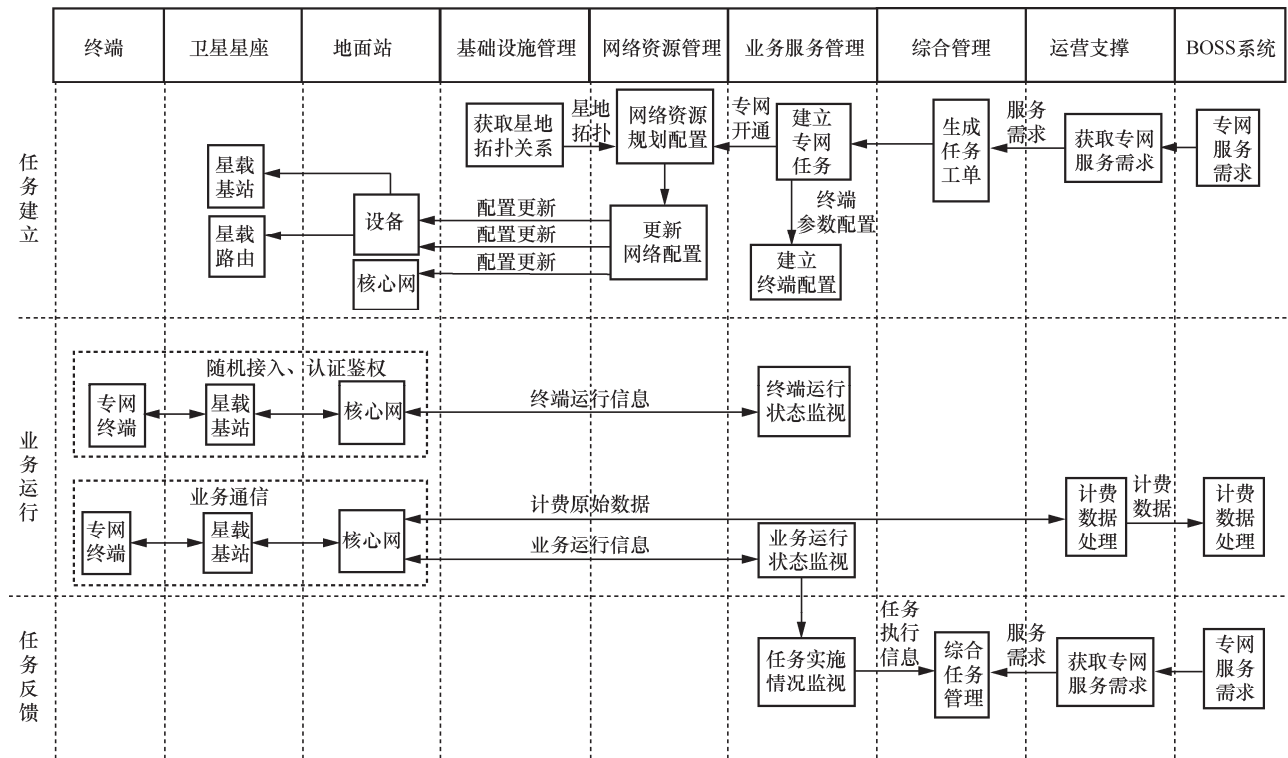


图7 专网开通的管控流程

原来的单星、单网络提升为系统级综合能力，服务保障难度增加。

针对这些管控难点，星地融合网络管控架构采用了基础设施、网络、业务分层管理的理念，对错综复杂的资源关系按照物理资源和网络资源进行解耦。物理资源由基础设施管理功能组负责规划，主要用于星座测控。网络资源由网络资源管理功能组负责规划，主要用于业务服务，降低了资源管理的复杂度。在管控流程中设计了星座与网络的协同模式，根据任务类型设置主导角色：对于星座测控任务由基础设施管理功能组主导；对于网络业务由网络资源管理功能组主导，其他功能组在主导的调度下协同工作，确保星座、网络、业务管控的一致性。在管控功能中设计了综合管控，在基础设施、网络、业务分层管理的基础上，具备从全局角度进行任务、资源、态势和评估等方面综合管理能力。

6 结束语

星地融合网络的运行管理是一个复杂巨系统的综合管理问题。本文基于网络为本、星网协同的理念，提出了星地融合网络的运行管控架构，设计了管控中心功能，规划了典型管控流程，为实现星地融合网络的协同运行管理提供了技术参考。随着星地融合网络的大规模在轨部署应

用，网络管控需快速提升自动化协同能力、智能化决策能力和精细化控制能力，从而适应网络规模不断扩大，业务服务按需定制的需求。

参考文献：

- [1] 王胡成, 徐晖, 孙韶辉. 星地融合 5G 网络架构增强技术研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 1-4.
WANG H C, XU H, SUN S H. Research on architectural enhancements for integrating satellite into 5G networks[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 1-4.
- [2] 庞江成, 徐小涛, 李超. 卫星移动通信系统发展现状分析[J]. 数字通信世界, 2020(1): 144-147.
PANG J C, XU X T, LI C. Analysis on the development status of satellite mobile communication system[J]. Digital Communication World, 2020(1): 144-147.
- [3] 智综合. 我国卫星互联网技术试验卫星成功发射[J]. 智慧中国, 2023(7): 8-9.
ZHI Z H. Chinese satellite Internet technology test satellite was successfully launched[J]. Wisdom China, 2023(7): 8-9.
- [4] 刘哲铭, 吴云飞, 魏肖, 等. 6G 星地融合网络应用场景、架构与关键技术挑战[J]. 无线电通信技术, 2022, 48(6): 1058-1064.
LIU Z M, WU Y F, WEI X, et al. 6G satellite-terrestrial conver-

- gence network on application scenarios, architecture and key technical challenges[J]. *Radio Communications Technology*, 2022, 48(6): 1058-1064.
- [5] 徐晖, 陈山枝, 艾明. 面向 6G 的星地融合网络架构[J]. *中兴通讯技术*, 2023, 29(5): 9-15.
- XU H, CHEN S Z, AI M. Integrated satellite and terrestrial network architecture for 6G[J]. *ZTE Technology Journal*, 2023, 29(5): 9-15.
- [6] 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.
- [7] 陆洲, 田建召, 赵晶, 等. 高低轨混合卫星网络管控架构设计[J]. *中国电子科学研究院学报*, 2020, 15(1): 15-19.
- LU Z, TIAN J Z, ZHAO J, et al. A high and low orbit satellite network management architecture[J]. *Journal of China Academy of Electronics and Information Technology*, 2020, 15(1): 15-19.
- [8] 田建召, 赵晶, 刘言, 等. 超大规模卫星网络化管控技术研究[J]. *中国电子科学研究院学报*, 2021, 16(2): 105-110.
- TIAN J Z, ZHAO J, LIU Y, et al. Research on management technology of super-large scale satellite networks[J]. *Journal of China Academy of Electronics and Information Technology*, 2021, 16(2): 105-110.
- [9] 唐斯琪, 潘志松, 胡谷雨, 等. 智能化卫星互联网运维与管理: 现状与机遇[J]. *天地一体化信息网络*, 2021, 2(4): 75-83.
- TANG S Q, PAN Z S, HU G Y, et al. Intelligent satellite Internet maintenance and management: progress and opportunities[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2021, 2(4): 75-83.
- [10] 孙晨华, 李斌成, 林宇生, 等. 天地一体化的天基传输网络运维管控系统[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- SUN C H, LI B C, LIN Y S, et al. Operation and management system for space-ground integrated space-based transmission network[M]. Beijing: Posts&Telecom Press, 2021.
- [11] 亚信科技(中国)有限公司. 5G 时代的网络智能化运维详解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
- AsiaInfo Technologies (China). Intelligent network operation and maintenance in 5G Era[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
- [12] WANG F, WU D, HE W J, et al. CPF: bridging time-sensitive networks into large-scale LEO satellite networks[C]//Proceedings of the 2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). Piscataway: IEEE Press, 2023: 1-6.
- [13] 廖新悦, 张然, 黄正璇, 等. 空间卫星网络组网与管控技术综述[J]. *天地一体化信息网络*, 2023, 4(3): 48-58.
- LIAO X Y, ZHANG R, HUANG Z X, et al. Review on networking and control technologies of space satellite network[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2023, 4(3): 48-58.
- [14] 丁睿, 房天昊, 王闻今, 等. 星地融合通信系统: 网络架构、使能技术及原型验证[J]. *天地一体化信息网络*, 2023, 4(3): 79-87.
- DING R, FANG T H, WANG W J, et al. Integrated satellite-terrestrial communication systems: architectures, enabling technologies and prototype verification[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2023, 4(3): 79-87.
- [15] 伍国华, 王天宇. 基于自适应模拟退火的大规模星座测控资源调度算法[J]. *航空学报*, 2023, 44(12): 265-286.
- WU G H, WANG T Y. Large-scale constellation TT & C resource scheduling algorithm based on adaptive simulated annealing[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2023, 44(12): 265-286.
- [16] 李宗凌, 宋桂萍, 汪路元, 等. 巨型星座高效管理及智能应用关键技术研究[J]. *航天器工程*, 2023, 32(1): 1-7.
- LI Z L, SONG G P, WANG L Y, et al. Research on key technologies of high efficiency management and intelligent application for mega-constellation[J]. *Spacecraft Engineering*, 2023, 32(1): 1-7.
- [17] 席超, 杨博, 王记荣, 等. 基于 DRL 的巨型星座星地测控链路规划算法[J]. *中国空间科学技术*, 2023, 43(5): 65-70.
- XI C, YANG B, WANG J R, et al. DRL-based link planning algorithm for mega constellation satellite and TT & C[J]. *Chinese Space Science and Technology*, 2023, 43(5): 65-70.
- [18] 刘阳, 周笛, 盛敏, 等. 面向巨型星座系统的多地面站协同测控技术[J]. *天地一体化信息网络*, 2023, 4(1): 2-11.
- LIU Y, ZHOU D, SHENG M, et al. Multi-ground station collaborative measurement and control technology for giant constellation system[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2023, 4(1): 2-11.
- [19] 汪伊婕, 赵伟, 成飞, 等. 基于负载均衡的大规模低轨卫星互联网路由算法[J]. *天地一体化信息网络*, 2022, 3(1): 27-34.
- WANG Y J, ZHAO W, CHENG F, et al. Large scale LEO satellite Internet routing algorithm based on load balancing[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2022, 3(1): 27-34.
- [20] 朱立东, 张勇, 贾高一. 卫星互联网路由技术现状及展望[J]. *通信学报*, 2021, 42(8): 33-42.
- ZHU L D, ZHANG Y, JIA G Y. Current status and future prospects of routing technologies for satellite Internet[J]. *Journal on Communications*, 2021, 42(8): 33-42.
- [21] 曹素芝, 孙雪, 王厚鹏, 等. 星地融合网络智能路由技术综述[J]. *天地一体化信息网络*, 2021, 2(2): 11-19.
- CAO S Z, SUN X, WANG H P, et al. Review of intelligent routing technology in integrated satellite-ground network[J]. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, 2021, 2(2): 11-19.

- [22] 孙士然, 陈龙, 孙泽坤, 等. 低轨卫星网络服务质量保障路由方法综述[J]. 移动通信, 2024, 48(1): 65-70.
SUN S R, CHEN L, SUN Z K, et al. Survey of routing methods for quality of service in low earth orbit satellite networks[J]. Mobile Communications, 2024, 48(1): 65-70.
- [23] 徐媚琳, 贾敏, 郭庆. 基于 SDN/NFV 的卫星互联网服务功能资源分配研究[J]. 天地一体化信息网络, 2022, 3(1): 44-49.
XU M L, JIA M, GUO Q. Research on resource allocation of satellite Internet service function based on SDN/NFV[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2022, 3(1): 44-49.
- [24] 魏强, 廖瑛, 徐潇审, 等. 面向天地融合网络的无线资源智能分配方法[J]. 航天器工程, 2023, 32(5): 1-8.
WEI Q, LIAO Y, XU X S, et al. Intelligent allocation method of radio resource for integrated space-ground network[J]. Spacecraft Engineering, 2023, 32(5): 1-8.
- [25] 赵晶, 黄照祥, 陆洲, 等. 基于天地融合网络的服务管理与智能交付技术[J]. 中国电子科学研究院学报, 2023, 18(8): 724-729.
ZHAO J, HUANG Z X, LU Z, et al. Service management and intelligent delivery in space-ground integrated network[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2023, 18(8): 724-729.
- [26] 张美蓉, 镐梦婷, 王闯, 等. 高低轨卫星异构网络资源管控策略与技术研究[J]. 天地一体化信息网络, 2021, 2(4): 67-74.
ZHANG M R, HAO M T, WANG C, et al. Research on strategies and technologies for resource management and control of heterogeneous network of high and low orbit satellites[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2021, 2(4): 67-74.

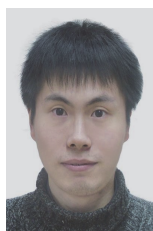
[作者简介]



韩湘 (1975—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星通信。



董涛 (1975—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为空间通信与网络。



殷杰 (1983—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为空间宽带网络。



刘志慧 (1989—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为空间网络资源管控。