

面向 6G 星地融合的云边协同网络架构和关键技术

宋雅琴¹, 徐晖¹, 刘险峰¹, 王亚鹏¹, 程志密¹, 王胡成¹, 陈山枝²

(1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 北京 100083;

2. 中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信全国重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 通过对 6G 星地融合网络的场景特征分析, 以及对星载边缘计算的研究现状和实现云边协同的需求分析, 提出一种结合算力网络技术实现星地融合网络的云边协同网络架构, 通过引入一个新的网络功能——云边协同功能实现星地融合网络的全局资源感知和协同调度。基于所提的网络架构, 提出星地融合的统一资源管理机制, 包括可以管理卫星和地面的算力资源与网络资源的全局资源感知技术, 以及可以协同星地融合网络中云计算和边缘计算能力的调度策略生成技术。最后, 通过自研的移动通信网络平台验证所提云边协同网络架构的合理性以及资源感知技术和策略调度技术的正确性。

关键词: 星地融合网络; 网络架构; 移动边缘计算; 云边协同机制; 算力网络; 资源管理

中图分类号: TN92

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2023025

Cloud-Edge Collaboration Architecture and Key Technologies for 6G Integrated Satellite and Terrestrial Network

SONG Yaqin¹, XU Hui¹, LIU Xianfeng¹, WANG Yapeng¹, CHENG Zhimi¹, WANG Hucheng¹, CHEN Shanzhi²

1. CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communication, China Information and Communication Technologies Group Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract: By analyzed the scenario characteristics of 6G integrated satellite and terrestrial network, the current state of research on edge computing capabilities on satellite, and the demand of cloud-edge collaboration, a network architecture that combines computing power network technology to achieve cloud-edge collaboration for integrated satellite and terrestrial networks was proposed, and global resource awareness and collaborative policy scheduling for integrated satellite and terrestrial networks by introducing a network function cloud-edge collaboration function was achieved. Based on this architecture, a unified resource management mechanism of the integrated satellite and terrestrial network was proposed, included a global resource awareness technology that could managed the computing and network resources of the integrated satellite and terrestrial network, and a policy generation technology that could collaborate with the computational capabilities of the cloud-edge and the integrated satellite and terrestrial network. Finally, the rationality of the cloud-edge collaborative architecture proposed in this article, as well as the correctness of resource awareness technology and policy scheduling technology, were verified through a self-developed mobile communication network platform.

Keywords: integrated satellite and terrestrial network, network architecture, mobile edge computing, cloud-edge collaboration mechanism, computing power network, resource management

0 引言

5G 通信已经从人-人连接模式向物-物、人-物连接模式扩展, 新的业务场景不断涌现, 抗灾救援、科学考察、

远洋货轮的宽带接入等场景对全球广域覆盖通信、随时随地的移动通信接入服务提出了明确的需求。然而, 偏远地区、无人区、远洋海域等面临部署地面通信网络代价大或无法部署的困难, 从而无法满足通信需求^[1-5]。星地融合网

收稿日期: 2023-05-11; 修回日期: 2023-09-01

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (No. 2020YFB1807901)

Foundation Item: National Key Research and Development Program of China (No. 2020YFB1807901)

络以地面网络为基础、以卫星网络为延伸,覆盖太空、空中、陆地、海洋等自然空间,为天基、空基、陆基等各类用户的活动提供信息保障。通过空天地海一体实现天地互联和广域全覆盖,已经成为 6G 网络的一个研究热点^[6-11]。随着新场景和新业务的不断出现,6G 星地融合网络需要边缘计算功能“上星”以支持新业务对数据处理响应的高需求^[6]。

1 星载边缘计算的研究进展

星载边缘计算指的是在星地融合网络中,将边缘计算功能部署于星上,通过在轨计算服务降低时延、提升卫星网络的资源利用率,并通过云边协同机制实现星地之间计算功能的柔性分割。

1.1 5G 边缘计算技术的概述

边缘计算技术^[12]具备可以降低时延、提高响应能力以及减少用户和中心网络之间的数据流量等优势,自提出后便被广泛研究和应用。5G 时代将边缘计算的概念引入移动通信网络并提出移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)技术^[13-14],MEC 通过将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移,尽可能避免将数据回传到云端,减少数据往返云端的等待时间和网络成本。

3GPP 在 TS 23.548^[13]中提出了基于 MEC 技术支持 5G 系统访问边缘应用服务器(Edge Application Server, EAS)的架构。为了支持将数据选择性地通过不同路径路由到数据网络(Data Network, DN),会话管理功能(Session Management Function, SMF)可以控制报文数据单元(Packet Data Unit, PDU)会话的数据路径,以保证 PDU 会话能够同时对应多个 N6 接口;可以使用上行数据分类器(Uplink Classifier, UL CL)功能^[15]或 IPv6 多归属功能分支点(Branching Point, BP)^[15]支持通过 PDU 会话的不同锚点提供到同一个 DN 的不同接入路径,从而实现本地分流。3GPP 提出的方案支持 5G 系统在边缘计算节点的选择过程中主要考虑用户与 EAS 之间的距离信息,缺乏对用户与 EAS 之间的网络状态和算力状态的综合考量。

1.2 6G 星载边缘计算的研究现状和新挑战

面向 6G,可以在中心云化基础设施上构建 6G 核心网,在边缘云化基础设施上构建 6G 用户面和 6G MEC 节点,通过 6G MEC 节点提供的 MEC 应用平台实现对第三方应用的部署和管理能力,从而通过 MEC 应用为用户提供服务。考虑到空间环境恶劣、星上硬件资源有限、天基设备维修困难等因素,以及容器技术^[16]具有运行快捷、管理便利、标准化、网元微服务化改造等优势,面向 6G 的星地

融合网络系统将以基于容器的虚拟化技术为基础构建 6G 核心网和边缘计算平台。

3GPP 在 TR 23.700^[17]中讨论了非地面网络(Non-Terrestrial Network, NTN)^[18]的卫星边缘计算场景,其通过将用户面功能(User Plane Function, UPF)、gNB、6G MEC 节点部署于卫星以支持边缘计算功能上星。在 6G 星载边缘计算的场景下,需要实现位于云、边、端、网的网络资源和算力资源的全面感知和协同,以提高用户体验质量。为此,一方面,业界提出星地融合网络的边缘计算架构^[8],架构中包括卫星网络、地面网络和用户设备 3 部分,形成对应云计算、边缘计算和本地计算的云-边-端 3 层计算处理架构,在用户设备无法处理计算任务时将任务卸载至星地融合网络的边缘或云端;另一方面,针对需要在边缘计算、云计算以及网络之间实现资源利用最优化的问题,业界提出了实现云、网、边深度融合的算力网络^[19],并指出算力网络是一种根据业务需求在云、网、边之间按需分配和灵活调度计算资源、存储资源以及网络资源的新型信息基础设施。在算力网络中,算力网络管理中心根据网络状态和算力状态,为用户的业务需求匹配最佳的计算资源,并计算从用户到目标算力节点间的最优路径,确定业务的转发路径。

然而,现有工作对算力网络资源的感知和调度等方面仍然停留在较粗粒度的维度上,而且算力网络和移动通信网络的结合不够紧密,由于卫星网络与地面网络的巨大差异性以及卫星拓扑的高动态性导致网络状态频繁变化,使得现有工作在面向星地融合网络实现位于云端的网络资源和算力资源的协同调度方面存在新的挑战^[12]。

2 面向 6G 星地融合的云边协同网络架构

随着新业务的不断涌现,卫星网络仅作为远程地面数据中心的中继,无法继续提供高效的数据处理响应^[6,14]。例如,在物联网智联场景中,当位于偏远地区的传感器和摄像头等终端设备用于野外的地质或森林环境监测、珍稀动物无人机监控等情况下,海量异构的感知或监控数据如果直接通过卫星网络回传到地面中心网络,会对星地链路造成网络带宽压力;另外,当监控数据显示监测对象出现异常时,需要快速传输该时延敏感数据并做出相应的应急处理,对时延提出较高要求。因此,面向 6G 的星地融合网络需要将边缘计算功能上星,并通过云边协同实现星地之间计算功能的柔性分割以及资源的优化配置。针对多样化的业务需求,把全局性、复杂度高、时延要求不高的业务放在地面中心网络平台上处理;把实时性要求高、

计算复杂度不高的业务放在卫星网络平台上处理。通过在轨计算服务,降低时延并实现高效的业务分发。具体的,面向 6G 星地融合的云边协同机制,除了考虑用户和边缘应用服务器之间的距离,还要考虑由于卫星运动带来的包括网络拓扑在内的网络状态的复杂多变、星上有限算力资源的资源使用的动态变化,以及不同业务对资源类型的个性化和动态需求等,从而实现更加精准、灵活、高效的云边协同。面向 6G 星地融合的云边协同网络架构如图 1 所示,主要包括用户设备 (User Equipment, UE)、卫星网络和地面网络 3 部分。用户设备如手机、各类传感器、摄像头等,具备数据采集功能,具有任务产生能力和很弱的计算能力,负责环境的信息感知和本地处理,当任务超出自身处理能力时,通过发起算力请求将任务卸载至星地融合网络的边缘或云。卫星网络包括高效互联的多颗卫星、星上移动通信网络和星上本地数据网络。其中,星上移动通信网络包括星上基站功能 (S-gNB) 和星上核心网部分功能,即星上用户面功能 (Satellite-UPF, S-UPF); 星上本地数据网络是指部署于星上的数据网络,为接入该卫星的 UE 提供数据服务,实现用户任务卸载至边缘。地面网络包括完整的地面移动通信网络、地面本地数据网络、地面中心数据网络。

算力网络技术^[20]可以解决在边缘计算、云计算以及网络之间实现资源利用最优化的问题,可以用于解决星地融合网络中的云边协同问题,尤其是面对卫星网络复杂多变

的特殊情况。为了结合移动通信网络的会话路由和 QoS 控制等网络策略信息实现 6G 星地融合网络的云边协同,在核心网引入一个全新的网络功能,即云边协同功能 (Cloud-Edge Collaboration Function, CECF) 用于管理星地融合网络的全局资源,实现云计算资源与移动通信网络资源的全面感知和协同调度。

为了降低星地融合网络的资源管控和调度开销,采用卫星和地面的分级管控机制,分别在地面和卫星部署地面 CECF 和星上 CECF (Satellite-CECF, S-CECF)。CECF 维护包括地面和卫星的星地融合网络的所有资源信息并生成云边协同的调度策略,S-CECF 用于维护星上资源并同步给地面 CECF; 同时,S-CECF 接收 CECF 对星上资源的调度策略并控制对应卫星的资源。针对不同的网络域,还可以进一步划分和设置对应的管控域。

边缘算力节点利用相对有限的算力资源和网络资源负责局部的算力任务,中心算力节点具有丰富的算力资源和网络资源,是终端和边缘的有力支撑,可以完成边缘无法完成的复杂算力任务。星地融合网络可以通过星上部署的边缘应用服务器 (EAS) 和地面部署的中心应用服务器 (Central-Application Server, CAS) 之间的云边协同实现全局资源感知和协同调度。为了实现云边协同,可以在非对地静止轨道卫星 (Non-Geostationary Orbit, NGSO) 上部署 S-gNB、S-UPF 和本地数据网络,在地球同步轨道 (Geostationary Orbit, GEO) 卫星上部

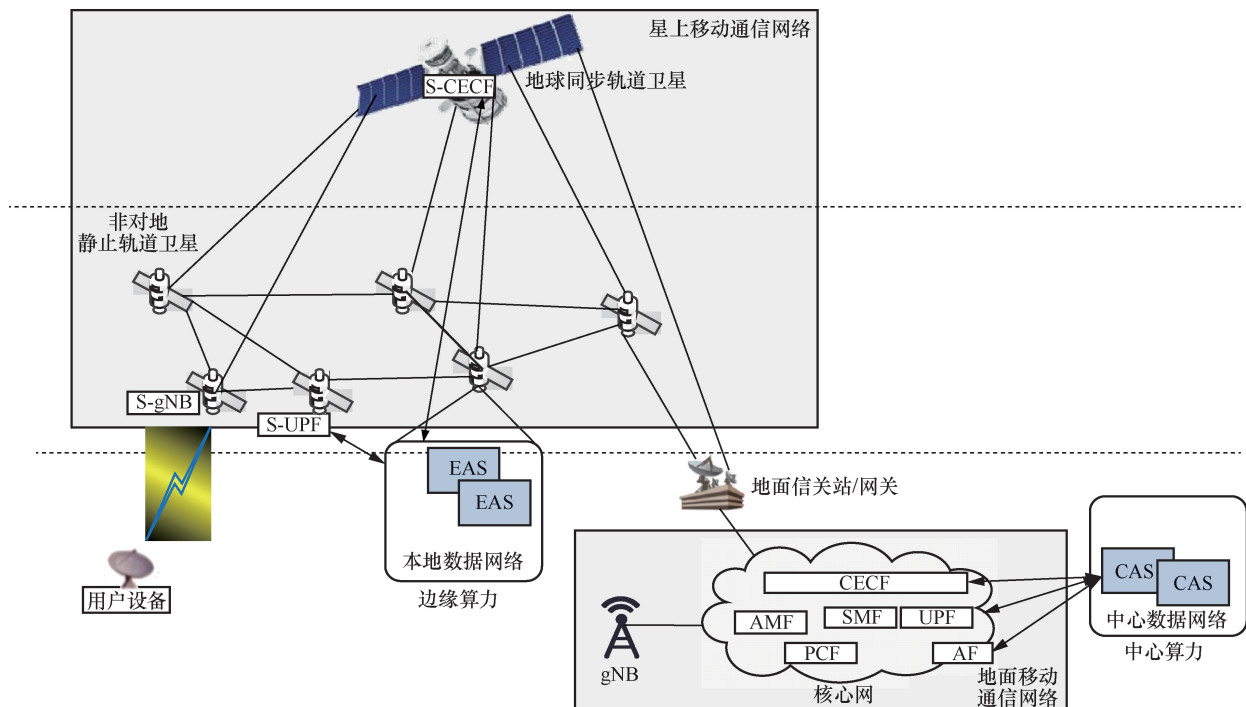


图 1 面向 6G 星地融合的云边协同网络架构

署 S-CECF 实现对卫星网络的管控, 包括对资源和状态的感知以及对策略的控制。

3 面向 6G 星地融合的云边协同关键技术

3.1 星地融合网络的云边资源感知技术

在图 1 所示的面向 6G 星地融合的云边协同网络架构中, CECF 为了实现云边协同的策略生成和资源调度, 需要感知包括算力资源和网络资源在内的云边的全局资源, 实现对算力资源和网络资源的数据采集、汇聚、分析和处理。如图 2 所示, 为了简化资源感知的流程设计并减少资源感知数据的传输量, S-CECF 和地面 CECF 分别负责星上资源和地面资源的感知。

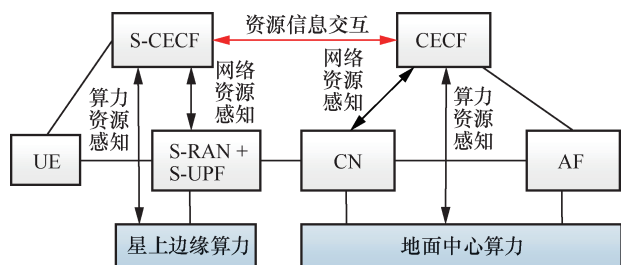


图 2 星地融合网络的云边资源感知和管理

具体的, S-CECF 负责 S-gNB、星上承载网、S-UPF 等星上核心网、星上边缘算力以及用户到边缘算力节点之间的转发路径等相关的网络资源和算力资源的感知。CECF 负责地面基站、地面核心网 (Core Network, CN)、地面承载网、地面中心算力以及用户到中心算力节点之间的转发路径相关的网络资源和算力资源的感知。同时, 地面 CECF 还负责星地融合网络的全局资源管理, S-CECF 将感知的星上算力网络资源经过一定的本地数据处理 (如特征抽取和信息融合) 和数据汇聚后再通过卫星互联网向地面 CECF 发送。地面 CECF 基于维护的全局的网络资源信息和算力资源信息执行用户请求对应的算力服务编排的算力调度策略和网络策略的生成。

下面分别介绍网络资源感知技术和算力资源感知技术。

(1) 网络资源感知技术

网络资源感知是对网络性能指标 (时延、抖动、丢包率等)、网络设备状态 (拓扑、配置等)、网络流量信息 (带宽、优先级、速率等) 等关键指标的变化情况的感知。在移动通信网络系统中, 网络资源信息主要包括核心网的网络功能拓扑、网络功能相关数据、UPF 网络状态数据、UE 位置信息等, 接入网的小区标识、小区负载、空中接口时延、核心网和基站的下行分组时延等, 承载网的路由器标识、路由器连接关系和链路状态等。

网络资源感知技术是通过网络控制面实时或周期性地获取网络信息, 包括通过集中式控制器获取、通过网络流量监控获取、基于订阅/通知机制获取、通过数据存储库查询获取等方式。

- 通过集中式控制器获取: 例如软件定义网络的集中式控制器可以通过南向接口获得网络连接信息, 实现对网络拓扑的感知。
- 通过网络流量监控获取: 网络流量监控可以对端口流量监控, 实现对流量信息的周期性感知。
- 基于订阅/通知机制获取: 例如通过网络数据分析功能 (Network Data Analysis Function, NWDAF) [21] 的消息请求/事件订阅/事件通知等机制与核心网的网络功能交互完成对核心网网络功能相关数据的采集, 或通过 CECF 直接与 NF 或操作、管理和维护 (Operations, Administration and Maintenance, OAM) 等交互完成对相关数据的采集。
- 通过数据存储库查询获取: 可以通过从数据存储库中检索网络数据信息实现对网络资源的感知。

通过多种方式组合实时或周期性感知的网络资源信息汇聚到 CECF 进行统一维护和管理, 从而为用户发起的算力请求执行算力调度和流量路由提供数据支撑。

(2) 算力资源感知技术

算力资源感知是对算力节点的算力资源类型、算力资源状态、算力服务类型、算力服务状态等算力信息的感知。

算力资源的感知方法是算力节点通过主动发起算力注册过程实现 CECF 对云边算力节点基本信息的感知, CECF 负责对算力节点进行认证并为算力节点分配和维护全局唯一的算力标识, 维护全局算力资源池, 管理全局算力节点资源。同时, 对于已注册的算力节点, CECF 通过监控算力节点的算力资源状况实现对算力信息的更新感知, CECF 实时或周期性感知算力节点的算力信息。

其中, 周期性感知算力节点的算力信息时, 针对不同的算力节点, CECF 可灵活设置算力感知周期, 对于时变较快的算力节点, 设置较小的算力感知周期, 以保证该算力资源状态的实时更新; 对于算力资源变化较慢或变化较小的算力节点, 设置较大的算力感知周期, 以减小数据回传的网络开销。

3.2 星地融合网络的云边协同策略生成技术

面向 6G 星地融合的云边协同主要包括对卫星网络和地面网络的算力编排调度和 PDU 会话相关网络资源的控制, 要求 CECF 可以基于维护的包括算力资源和网络资源的全局资源信息, 根据网络状态和算力状态, 通过算法和调度模型为用户的业务需求匹配最佳的算力资源和网络

资源,并计算从算力需求方到目标算力节点间的最优算力转发路径,以及实现对用户业务流的PDU会话控制策略管理。其中,PDU会话控制策略管理包括流量路由管理、差异化QoS管理和移动性控制策略管理等。

(1) 流量路由和QoS管理的策略生成技术

如图3所示,当UE访问应用并触发初始算力请求时,云边协同策略生成的流程如下。

步骤1:应用触发UE将算力请求发送到位于卫星的S-CECF,请求中携带算力网络需求,包括算力需求(算力资源类型、算力资源大小、算力服务类型等)和网络需求(时延、带宽等)。

步骤2:S-CECF基于UE信息将该算力请求转发给一个地面CECF。

步骤3:CECF基于请求中携带的需求信息以及管理的星地融合网络的全局算力资源信息和网络资源信息,采用资源调度算法生成算力调度策略完成云边的协同调度,算力调度策略包括算力服务调度策略(使用哪一个算力节点的哪一个算力服务应用)、算力路由策略(算力请求方到算力服务节点的最优转发路径)以及会话控制策略(SMF和UPF选择结果、用户面转发路径对应的流量路由策略、流级别的QoS控制策略等)。

其中,流量路由策略可以包括UE标识、应用标识、应用描述、目标算力节点地址信息、用户面路径等;流级别的QoS控制策略可以包括UE标识、应用标识、应用描述、目标算力节点地址信息、最大上行比特率、最大下行比特率、保证上行比特率、保证下行比特率、分配和保留优先级、调度优先级、平均窗口等。

步骤4:CECF将策略相关信息发送给PCF,PCF配置策略信息并完成响应。

步骤5:CECF将算力编排结果响应给S-CECF。

步骤6:S-CECF将接收到的算力编排结果返回UE;同时,CECF根据算力路由策略对应的最优转发路径,结合用户面的隧道信息,推导卫星承载网的路由配置,完成路由配置。

步骤7:UE基于接收到的算力编排结果,发起PDU会话建立请求,请求中包括算力服务应用所在数据网络名称(Data Network Name,DNN)。

AMF接收到UE发起的会话建立请求后,基于步骤4中PCF接收到的策略信息执行SMF的选择。PCF根据流量路由策略和流级别的QoS控制策略生成相应的政策和收费控制(Policy and Charging Control,PCC)规则发送给SMF。SMF基于PCC规则执行UPF的选择和后续的用户面路径建立流程,从而完成整个会话建立流程。

在本场景中,假设星上算力资源可以满足该应用的算力需求,因此选择星上边缘算力节点为用户提供服务。当初始的会话建立流程完成后,作为算力请求方的UE与作为算力服务方的S-EAS通过图3所示的红色线完成数据的流转。

(2) 移动性管理技术

UE在访问应用期间,如果UE位置发生变化,或者UE接入的卫星发生变化,可能会导致UE到上述目标应用服务器对应的资源不再满足应用的算力需求和/或网络需求,CECF可以根据业务需求生成移动性控制策略发给PCF,向核心网订阅例如UE位置变化、UE接入卫星标识变化等事件。

当UE位置或UE接入卫星标识发生变化时,核心网

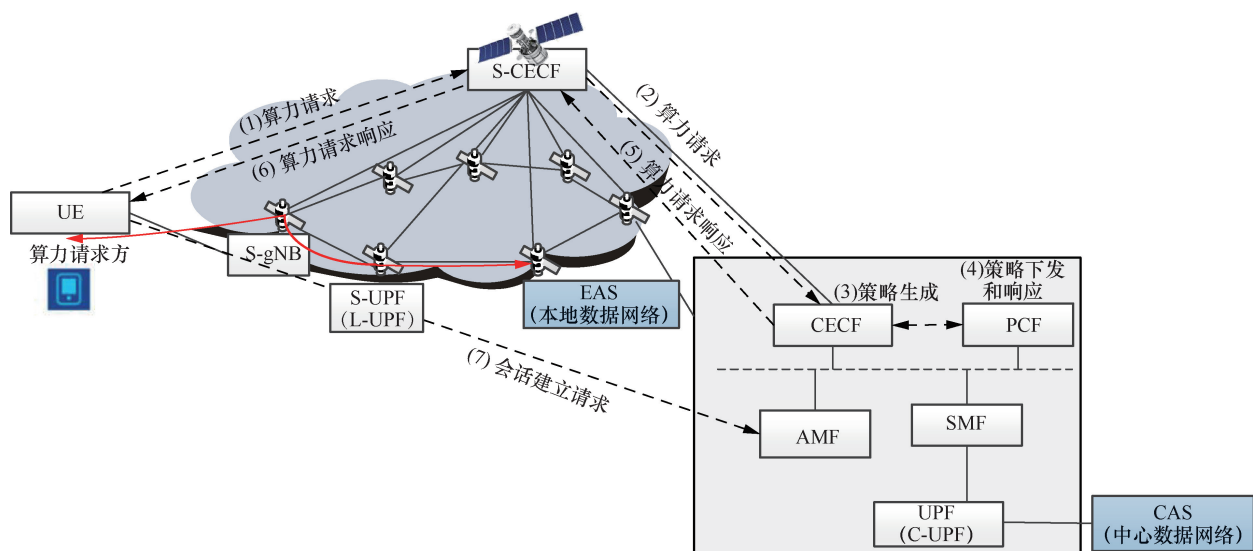


图3 星地融合网络的云边协同策略生成流程

及时将事件通知给 CECF，并由 CECF 调整算力调度策略（包括算力服务调度策略、算力路由策略、会话控制策略）；CECF 基于更新的算力调度策略完成路由重新配置并通过 PCF 修改 PDU 会话和/或触发 UE 移动性管理过程（如小区切换），从而实现对 UE 的移动性管理。针对不同的场景将采用不同的移动性管理技术，主要包括以下几种。

针对当前算力节点不适用的场景（例如算力节点负载过大），由于 UE 位置变化或 CECF 感知到当前算力节点不适用，因而需要重选算力节点，CECF 确定移动性控制策略，触发用户面路径的重配置，以及由核心网或 UE 发起算力节点的重定位或重新发现。算力节点的重定位可以通过插入中间 SMF（I-SMF）或上行分类器（Uplink Classifier, UL CL）建立 UE 到新算力节点的用户面路径。

针对当前小区不适用的场景（例如卫星移动到小区范围外），可以基于信号测量报告或 CECF 感知到当前小区不适用，需要重选小区和算力节点，CECF 确定移动性控制策略后发送至 AMF，AMF 发送至 SMF 和源 NG-RAN，源 NG-RAN 选择目标 NG-RAN，触发小区切换过程。也可以基于信号测量报告或 CECF 感知到当前小区不适用，需要重选小区和算力节点，CECF 确定移动性控制策略并发送至 AMF，AMF 通过 UE policy 将策略发送至 UE，UE 选择目标 NG-RAN，建立到目标算力节点的新 PDU 会话。

4 实验验证

本文使用在实验室自研搭建的移动通信网络验证平

台完成实验验证工作。该验证平台使用基于开源 OSM（Open Street Map）的管理和编排^[22]实现系统资源的高效管理和编排；基于网络功能虚拟化（Network Function Virtualization, NFV）^[23]实现控制面网络功能软件与硬件实体的资源分离，支持网络功能的动态灵活部署；基于软件定义网络（Soft Defined Network, SDN）^[24]技术实现用户面的控制与转发分离。具体的，本文使用基于 OpenStack^[25,26]的开源云计算管理平台在 x86 通用服务器上搭建虚拟化平台，将传统运行在专用硬件上的核心网的网络功能进行虚拟化，生成虚拟网络功能（Virtualized Network Function, VNF），并将 VNF 部署在虚拟机（Virtual Machine, VM）上。同时，搭建管理平台读取系统信息并在浏览器前端展示，或者通过前端修改网络参数和属性从而改变网络功能，实现验证平台的可视化便捷管理。

实验组网拓扑如图 4 所示，假设将 1 台通用服务器搭载在卫星上并在该服务器上部署 S-RAN、S-UPFC、S-CECF 和 S-EAS，以及在卫星上部署具备 UL CL 功能的 S-UPF 和具备用户面锚点功能即 PSA 的 S-UPF；在地面上，使用 3 台通用服务器分别部署地面核心网和管理平台以及 2 台应用服务器。

S-CECF 和 CECF 分别用于感知星上和地面的算网资源，感知结果见表 1、表 2。本实验中，算力资源信息为 CPU、内存和硬盘，网络资源为用户面路径时延。可以看到，3 个算力节点 Node01、Node03、Node04 的可用内存容量分别为 26 GB、2 GB、10 GB，从 UE 到 3 个算力节

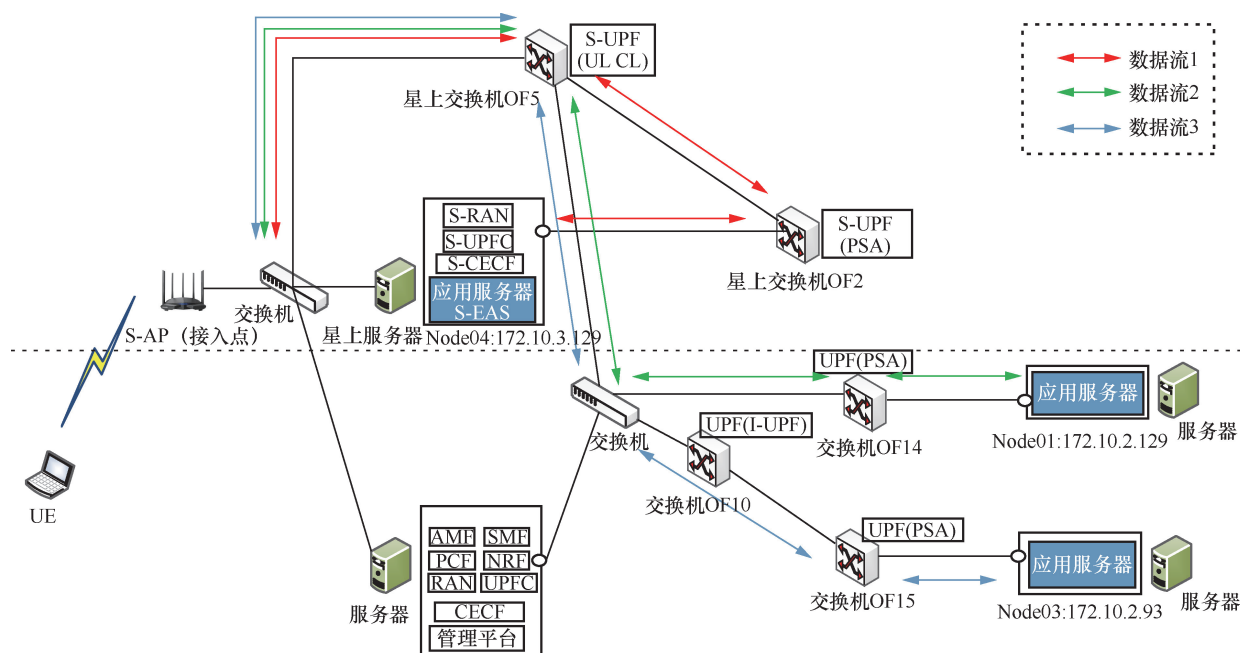


图 4 实验组网拓扑

表 1 算力资源信息

设备标识符	资源类型	资源状态	CPU 总容量	CPU 空闲率	CPU 使用率	内存总容量	可用内存容量	内存已分配容量	硬盘总容量	硬盘可用容量	硬盘已分配容量	CPU 型号	CPU 核	CPU 频率/MHz	CPU 线程	应用类型
Node04	VM	正常	100%	100%	0	15 GB	10 GB	4 GB	39 GB	33 GB	6 GB	Xeon	8	2 095	8	IoT
Node03	VM	正常	100%	100%	0	15 GB	2 GB	28 GB	39 GB	34 GB	5 GB	Xeon	16	3 092	16	IoT
Node01	VM	正常	100%	100%	0	15 GB	26 GB	4 GB	0 GB	0 GB	0 GB	Xeon	16	3 092	16	IoT

表 2 网络资源信息

ID	开始节点	结束节点	路径	时延
209	OF5	OF2	OF5-OF2	15 ms
210	OF5	OF14	OF5-OF14	49 ms
211	OF5	OF15	OF5-OF10-OF15	56 ms

点的用户面路径 OF5-OF14、OF5-OF10-OF15、OF5-OF2 时延分别为 49 ms、56 ms、15 ms。

UE 发起一个业务请求，请求中包括的算力需求为 CPU：2 核，内存：4G；网络需求为空。CECF 根据维护的算力网络资源，判断 Node03 可用内存容量 2 GB 不满足业务需求，返回符合用户算力需求的算力节点为 Node01 和 Node04。接下来，结合网络的时延信息，由于业务需求中包含的网络需求信息为空，则 CECF 选择时延较小的用户面路径，即 OF5-OF2 对应的 15 ms。因此，网络最终为 UE 返回的编排响应包括为用户提供服务的算力节点 IP，如图 5 所示，返回的算力节点 IP 为 Node04 对应的 172.10.3.129。因此，通过该实验过程成功验证了本文提出的架构的合理性以及星地融合网络的云边协同策略生成流程的正确性。



图 5 UE 接收到业务请求响应

5 结束语

随着新业务的不断涌现，星地融合以及边缘计算功能上星已成为发展趋势。星载边缘计算场景下，如何通过云边协同实现星地之间计算功能的柔性分割，合理利用有限的在轨计算服务，提高用户体验，成为一个关键问题。目前面向 6G 星地融合网络实现云边协同的网络架构和关键技术的研究仍然处于早期阶段。面向未来，还需要深入研究并设计基于人工智能的资源调度算法，进而在本文所述的架构、方法、实验平台的基础之上完成算法验证和性能测试。

参考文献：

[1] 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 technologies outlook white paper[Z]. 2021.

[2] 中兴移动移动通信技术股份有限公司. 全域覆盖•场景智联-6G 网络体系架构白皮书[R]. 2023.
CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd. Global coverage scenarios Zhilian -6G network architecture white paper[R]. 2023.

[3] 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.

[4] 徐晖, 孙韶辉. 面向 6G 的天地一体化信息网络架构研究[J]. 天地一体化信息网络, 2021, 2(4): 1-9.
XU H, SUN S H. Research on network architecture for the space-integrated-ground information network in 6G[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2021, 2(4): 1-9.

[5] CHEN S Z, SUN S H, KANG S L. System integration of terrestrial mobile communication and satellite communication—the trends,

- challenges and key technologies in B5G and 6G[J]. China Communications, 2020, 17(12): 156-171.
- [6] 中信科移动通信技术股份有限公司. 全域覆盖·场景智联-星地融合通信白皮书[R]. 2023.
CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd. Global coverage scene Zhilian-Xingdi unified communication white paper[R]. 2023.
- [7] 汪春霆等. 天地一体化信息网络架构与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
WANG C T et al. Architecture and technologies of space-integrated-ground information network [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2021.
- [8] CHEN S Z, SUN S H, XU G X, et al. Beam-space multiplexing: practice, theory, and trends, from 4G TD-LTE, 5G, to 6G and beyond[J]. IEEE Wireless Communications, 2020, 27(2): 162-172.
- [9] 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.
- [10] 缪德山, 柴丽, 孙建成, 等. 5G NTN 关键技术与演进展望[J]. 电信科学, 2022, 38(3): 10-21.
MIAO D S, CHAI L, SUN J C, et al. Key technologies and evolution of 5G non-terrestrial network[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(3): 10-21.
- [11] CHEN S Z, SUN S H, MIAO D S, et al. The trends, challenges and key technologies of beam-space multiplexing in the integrated terrestrial-satellite communication for B5G and 6G[J]. IEEE Wireless Communications, 2022(99): 1-10.
- [12] 高媛, 方海, 赵扬, 等. 星地协同网络中的边缘计算技术综述[J]. 空间电子技术, 2023, 20(2): 15-21.
GAO Y, FANG H, ZHAO Y, et al. A survey on edge computing in satellite-terrestrial networks[J]. Space Electronic Technology, 2023, 20(2): 15-21.
- [13] 3GPP. 5G system enhancements for edge computing; Stage 2 (Release 17): TS 23.548[S]. 2022.
- [14] 曾志宇. 关于 MEC 系统关键技术在 5G 通信中的应用研究[J]. 信息记录材料, 2023, 24(6): 92-94.
ZENG Z Y. Research on the application of key technologies of MEC system in 5G communication[J]. Information Recording Materials, 2023, 24(6): 92-94.
- [15] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS); Stage 2 (Release 16): TS 23.501[S]. 2021.
- [16] 吴逸文, 张洋, 王涛, 等. 从 Docker 容器看容器技术的发展: 一种系统文献综述的视角[J]. 软件学报, 2023.
WU Y W, ZHANG Y, WANG T, et al. Looking at the development of container technology from Docker container: a perspective of systematic literature review [J]. Journal of Software, 2023.
- [17] 3GPP. Study on 5G system with satellite backhaul; (Release 18): TR 23.700-27[S]. 2022.
- [18] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G; (Release 17): TR 23.737[S]. 2021.
- [19] 刘超, 陆璐, 王硕, 等. 面向空天地一体多接入的融合 6G 网络架构展望[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 116-120.
LIU C, LU L, WANG S, et al. Prospects for a multi-access air-space-terrestrial integrated 6G network architecture[J]. Mobile Communications, 2020, 44(6): 116-120.
- [20] 雷波, 刘增义, 王旭亮, 等. 基于云、网、边融合的边缘计算新方案: 算力网络[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 44-51.
LEI B, LIU Z Y, WANG X L, et al. Computing network: a new multi-access edge computing[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(9): 44-51.
- [21] 3GPP. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services; (Release 17): TS 23.288[S]. 2020.
- [22] 聂炜玲, 王丽秋. 下一代网络中 MANO 资源调度及部署关键策略[J]. 电信技术, 2017(5): 67-70.
NIE W L, WANG L Q. Key strategies of MANO resource scheduling and deployment in next generation network[J]. Telecommunications Technology, 2017(5): 67-70.
- [23] 蔡卫红, 郭旭静, 李聪. 基于 NFV 的 5G 核心网络切片研究[J]. 长沙大学学报, 2023, 37(2): 6-11.
CAI W H, GUO X J, LI C. A research on 5G core network slicing based on NFV[J]. Journal of Changsha University, 2023, 37(2): 6-11.
- [24] 沈家屹, 张丽秋, 何璐茜. 基于 SDN 的网络虚拟化技术的设计与系统测试[J]. 科学技术创新, 2022(31): 86-89.
SHEN J Y, ZHANG L Q, HE L Q. Design and system test of network virtualization technology based on SDN[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(31): 86-89.
- [25] 张喆. 基于开源 OpenStack 软件实现云平台系统的构建[J]. 通信与信息技术, 2022(S1): 52-56.
ZHANG Z. Building cloud platform system based on OpenStack software[J]. Communication & Information Technology, 2022(S1): 52-56.
- [26] 曹海平. 基于 OpenStack 的云计算平台设计与实现[J]. 信息记录材料, 2023, 24(4): 237-239.
CAO H P. Design and implementation of cloud computing platform based on OpenStack[J]. Information Recording Materials, 2023, 24(4): 237-239.

[作者简介]



宋雅琴 (1993—), 女, 博士, 中信科移动通信技术股份有限公司中级工程师, 主要研究方向为移动通信核心网, 主要从事 6G、网络架构和协议、数据服务、星地融合等的技术研究工作。



徐 晖（1969—），女，博士，中信科移动通信技术股份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、星地融合网络技术和移动通信安全等，主要从事 6G 及卫星通信等的技术研究和标准化推进工作。



程志密（1980—），女，博士，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为移动通信核心网、星地融合网络技术、确定性网络技术等，主要从事 6G、确定性网络、卫星通信等的技术研究和政府项目研究工作。



刘险峰（1982—），女，硕士，中信科移动通信技术股份有限公司中级工程师，主要研究方向为移动通信核心网、星地融合网络技术、网络切片技术等，主要从事 6G、网络切片、卫星通信等的技术研究工作。



王胡成（1982—），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为移动通信网络架构、组网以及协议等，主要从事 4G/5G/6G 网络技术的研究与标准化工作。



王亚鹏（1985—），女，硕士，中信科移动通信技术股份有限公司中级工程师，主要研究方向为算力网络、移动通信核心网等，主要从事 6G 及算力网络等的技术研究工作。



陈山枝（1968—），中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信全国重点实验室主任，负责 4G 和 5G 移动通信、C-V2X 车联网技术与标准研究及产业化工作，主要研究方向为 B5G 和 6G、车联网、卫星移动通信等。