

基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构仿真系统

杨峻一, 裴凡迪, 许兆龙, 肖振宇

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100191)

摘要: 空天地一体化是6G发展的必然趋势, 针对基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构, 搭建一套验证仿真系统; 提出一种4层的仿真系统架构, 包括接入用户层、RU-DU层、NFV案例管理层及微服务网元层, 实现网络拓扑建立、用户注册、会话建立以及通信案例仿真的整体流程, 体现服务化网元的功能; 设计用户间通信、切换管理以及会话管理3项基本仿真案例, 并通过切换管理案例验证新型网络架构可行性, 为网络架构的迭代演进奠定工程化基础。

关键词: 空天地一体化; 新型网络架构; 仿真系统

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2022036

Simulation System of Space-Air-Ground Integrated Micro-Service New Network Architecture in 6G

YANG Junyi, PEI Fandi, XU Zhaolong, XIAO Zhenyu

School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: The space-air-ground integrated network is the inevitable trend of 6G development in the future. A set of verification simulation system was designed and set up for the micro-service new network architecture of space-air-ground integrated network in 6G. A four-layer simulation system architecture was proposed, included access user layer, radio unit-distributed unit (RU-DU) layer, NFV case management layer and micro-service network element layer. The whole process of network topology establishment, user registration, session establishment and communication case simulation could be realized, which embodied the function of service-oriented network element. Three basic simulation communication cases, namely communication between users, handover management and session management, were designed, and the feasibility of the new network architecture was verified by the handover management case, which laid the engineering foundation for the iterative evolution of network architecture.

Keywords: space-air-ground integrated network, new network architecture, simulation system

0 引言

在信息技术飞速发展的当今社会, 人们对无处不在的高质量通信需求与日俱增^[1-2]。然而, 现有地面移动通信网络仅能覆盖地表不足6%的面积, 绝大部分沙漠、海洋、山川和立体空间都无法覆盖^[3-5]。因此, 5G非地面网络(Non-Terrestrial Network, NTN)系统在3GPP中被提出, 旨在利用卫星网络补充地面网络无法覆盖的地理区域, 并为其提供高速通信服务^[5-8]。不仅如此, 学术界和工业界也在不断推进6G网络的研究, 其中空天地一体

化网络普遍被认为是未来发展的必然趋势^[9-12]。空天地一体化网络是一个集成卫星基站、空中基站以及地面移动通信网络的多层协同通信网络。它不仅能够满足热点地区的通信覆盖, 同时还能对偏远地区、极地、沙漠、海洋和空域等实现随时随地的泛在覆盖, 以支持未来的大规模物联网、全息通信、生态遥感以及应急通信等应用^[12]。

然而, 由于5G核心网与接入网分离且位于地面, 接入网受制于物理基础设施, 无法完全虚拟化和软件化, 因此, 5G NTN架构面临着高时延和低灵活性的问题。为

收稿日期: 2022-03-06; **修回日期:** 2022-07-09

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(No. 2020YFB1806800); 北京市自然科学基金项目(No. L212003)

Foundation Items: National Key Research and Development Program(No. 2020YFB1806800), Beijing Natural Science Foundation(No. L212003)

此,参考文献[12]提出了一种基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构,巧妙地将核心网与接入网进行服务化,并进行有机融合,使得卫星基站上也可以部署核心网服务功能,大大降低了接入时延;同时利用软件定义网络(Software Defined Network, SDN)和网络功能虚拟化(Network Function Virtualization, NFV)技术将核心网和接入网部分功能进行软件化,使得网元功能可以灵活分配和动态部署。

不仅如此,搭建仿真系统对网络架构的适用性进行仿真验证是非常重要的环节。当前对于仿真系统的研究,大多关注于5G核心网、5G NTN以及简单的星地融合网络,几乎没有针对6G空天地一体化新型网络架构的仿真验证。参考文献[13]中搭建了一种基于SDN的终端用户到核心网络的灵活平台,以实现5G核心网络架构和资源分配。参考文献[14]中搭建了一套模拟5G关键功能的仿真系统,但他们的重点仍聚焦于传统地面核心网。随着卫星网络的快速发展和加入,仿真验证重点逐步转到卫星通信网络。参考文献[15]在5G NTN的背景下,提出一种端到端的切片模型,并在卫星5G试验台上进行了评估和验证。进一步的,参考文献[16]搭建了一套支持SDN的星地综合网络仿真平台,采用STK和Mininet对区域覆盖、端到端时延以及分组丢包率进行了验证分析,但卫星在其系统中的作用仅为交换机,只有处理流表转发的功能,没有实现基站甚至核心网的功能。

本文针对参考文献[12]提出的基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构,搭建一套验证仿真系统。在新型网络架构的理论基础上,从工程实现的需求和可行性出发,提出一种4层的仿真系统架构,分别包括接入用户层、无线电单元-分布式单元(Radio Unit and Distributed Unit, RU-DU)层、NFV案例管理层及微服务网元层^[3]。它们分别主要负责通信案例的发起、数据和信令的转发、通信案例的分流和网元配置以及网元功能的处理,通过各层的紧密相连和各司其职,来完成由用户发起的通信请求。在整个仿真过程中,本文旨在最大程度还原和体现各个网元的功能,尤其是在新型网络架构中重新定义的网元;同时通过用户进行不同的通信案例,来展现新型网络架构中的基本流程,包括移动性管理中的切换管理、会话管理以及两用户的端到端通信等;最后,本仿真系统提供开放的接口,可供实验者自行配置和调整卫星网络和通信案例,以适应更多样化的仿真场景和用例。

1 基于微服务的新型融合网络架构

1.1 未来网络架构的设计原则

5G NTN由于核心网的功能基本位于地面数据中

心,因此,从卫星基站到地面核心网的时延较高;同时核心组件还是采用专用硬件平台,部署和调整的灵活性不足。因此,为了克服5G NTN架构存在的问题,未来网络架构需遵循以下设计原则。

第一,为了解决高时延问题,核心网的功能应尽量靠近接入网来部署,对于卫星网络,需部署在卫星平台上;第二,考虑到卫星资源有限的特点,以5G微服务化思想为启发,应尽量细粒化接入网和核心网网元的功能,降低部署和维护的成本;第三,为了解决部署灵活性的问题,应避免使用专用的硬件组件,可采用SDN/NFV等技术来将网络功能软化处理,更有利于网元的调整和重新部署。

1.2 新型网络架构的重要设计

根据上述3个演进原则,参考文献[12]中所提新型网络架构的重要设计如下。

(1) 核心网控制面和接入网控制面进行有机融合。将传统接入网中集中式单元(Centralized Unit, CU)的功能进行细粒化拆分,负责控制面功能的无限资源控制(Radio Resource Control, RRC)协议和控制面分组数据汇聚协议(Packet Data Convergence Protocol of Control Plane, PDCP-CP)等被分离出来,定义为一个新的核心网网元,即无限资源承载管理控制功能(Radio Resource and Bear Management Control Function, RRBMCf)网元。

(2) 控制面 and 用户面全部进行微服务化处理,关键网元功能进行重新定义。在控制面中,把与接入控制相关的功能划分到接入和移动性管理功能(Access and Mobility Management Function, AMF)网元中,重新定义新的AMF网元,同时加入新网元RRBMCf构成新的微服务化控制面。在用户面中,将CU中负责的用户面功能如业务数据适配协议(Service Data Adaptation Protocol, SDAP)和用户面分组数据汇聚协议(Packet Data Convergence Protocol of User Plane, PDCP-UP)等拆分出来,定义为一个新的用户面网元,即分组数据单元和会话功能(Packet Data Unit and Session Function, PDUSF)网元,而传统接入网中的DU则被单独定义出来以实现无线链路控制(Radio Link Control, RLC)协议、多路访问控制(Multiple Access Control, MAC)协议以及物理层协议等低层协议功能。

(3) 控制面 and 用户面关键接口重新定义。新网元RRBMCf与DU之间的接口被定义为C1,主要传输用户的资源分配和承载管理信令;RRBMCf与PDUSF之间的接口被定义为C2,用于指示PDUSF进行相应的操作;为了兼容卫星网络中的无线接口,重新定义了新用户

与控制面的接口为NRS1, 通过该接口传输非接入信令 (Non-Access Signaling, NAS)。

(4) 基站底层功能通过SDN/NFV高度抽象以实现虚拟化和软化。利用NFV将有源天线单元 (Active Antenna Unit, AAU) 的底层功能进行虚拟化, 并重新定义为RU。

1.3 新型网络架构的优势

相比于5G NTN的网络架构, 参考文献[12]提出的基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构具有如下优势。

(1) 低时延。由于本文将接入网与核心网进行有机融合, 将网元进行服务化处理, 更加细粒化地划分网元功能, 把核心网功能部署在卫星基站上, 使得信令在通过核心网控制面时, 不需要再经历卫星到地面数据中心的往返, 大大降低了往返时延。

(2) 更加灵活。在5G NTN架构中, 接入网的全部功能和核心网的部分功能都是通过专用硬件进行制作的, 一旦制作完成就无法修改, 对网络的升级和演进带来了非常大的困难。本文提出的新型网络架构是基于服务化的, 接入网功能不必采用专用设备, 同时还进行了更加细粒化的拆分, 使得网元能够进行更加灵活的部署和调整。

(3) 可定制。在参考文献[12]提出的新型网络架构中, 不同网元的功能并不是一成不变的, 可根据用户所面临的具体场景来灵活设计划分网元的具体功能, 从而实现针对不同场景的定制化处理。不仅如此, 每个网元的功能甚至可以进行独立演进, 以适应或推动未来更多的应用场景。

关于新型网络架构更具体的内容请参见参考文献[12], 基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构如图1所示。

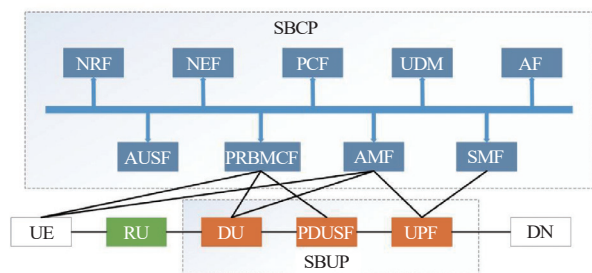


图1 基于微服务的6G空天地一体化新型网络架构

2 仿真系统设计

本文将基于学术界和工业界广泛认可的公开标准文档, 结合新型网络架构的新理论以及工程中软件实现的具体需求, 调整和改进行信令流程, 加入卫星网络场景, 重新设计和开发一套网络架构仿真验证系统。特别的, 本仿真系统旨在验证新型网络架构中新网元的高层协议功能。

2.1 软件选择与硬件配置

在仿真系统开发软件的选择上, 本文综合考量开发难度、可移植性和可读性等关键因素, 选择Mininet+Python+STK的组合。Mininet是一款基于SDN的轻量化进程虚拟化网络仿真平台, 由Python语言开发, 可以与Python软件无缝对接和联调, 主要负责主程序的运行。STK是一款为航天领域设计的商业分析软件, 主要模拟真实卫星星座的轨迹。本仿真系统将利用该功能, 以其模拟生成的低轨卫星网络为仿真场景, 既体现了设计新型网络架构的初衷, 又可以为6G空天地一体化场景奠定基础, 是本仿真系统的特色之一。

本仿真系统是一个单机版的仿真系统, 在一台电脑或服务器上即可完成实验, 但需要其具有计算能力较强的CPU以支持大规模的卫星网络。同时, 由于Mininet需要在虚拟机中运行, 因此实验者电脑需要安装Linux操作系统并配置好Ubuntu虚拟机。为了保证运行的流畅和后续的持续开发, 虚拟机内存至少需要4 GB, 硬盘至少50 GB。同时由于本文的架构极简了接口, 因此仿真系统中网元之间的接口均采用超文本传输协议 (Hyper Text Transfer Protocol, HTTP), 虚拟机中需要配置好相应的Python第三方库。

2.2 仿真场景与参数选择

本文设计的新型网络架构针对6G空天地一体化场景, 因此在仿真场景中, 卫星网络必不可少。铱星系统是最典型的低轨卫星系统, 66颗卫星分布在6个轨道上, 每个轨道均匀分布11颗卫星, 轨道高度780 km, 6个轨道均匀分布, 因此将被本文采纳作为仿真验证的主要星座系统。为了增加仿真系统的可操作性, 卫星网络场景为可修改项, 实验人员可根据需求来调整卫星网络场景以满足实验的需求。具体地, 链路带宽、时延均为可调整项。链路带宽初始默认值为10 Mbit/s; 时延作为系统性能指标较为重要, 其中星地单向传输时延值固定不变, 设为30 ms^[17]。通过调节上述参数, 实验者可按需灵活配置场景。

2.3 仿真系统整体架构设计

在Mininet中, 主要有3类网络节点, 分别是控制器 (Controller)、交换机 (Switch) 和主机 (Host)。为了能够搭建一个灵活的仿真系统, 首先要设计最基础的单元模块, 仿真系统则由这些基础的单元模块组合搭建而成。如图2所示, 本文设计了一种CSH (Controller Switch Host) 基础单元模块, 每个模块拥有一个Ryu控制器、至少一台交换机和至少一台主机。Ryu控制器主要负责管理与其相连的每个交换机的功能, 如路由规则、流量

控制、转发规则等；交换机负责接收控制器的指令来执行相应的操作，而且每个模块的交换机相互连接；主机主要作为服务器，负责实现网络连接、收发数据以及具体的网元功能。

下面将具体介绍仿真系统的整体架构设计。如图3所示，本仿真系统主要由4层组成：接入用户层、RU-DU层、NFV案例管理层和微服务网元层。除了接入用户层中每个接入用户仅用一台主机即可代表，其余3层的架构都由CSH基础单元模块搭建而成。

(1) 接入用户层

接入用户层主要由接入用户组成，在本仿真系统中，由主机来表示。初次接入系统的用户，需要进行随机接入操作；然后向AMF进行用户注册，注册完毕则可向SMF申请建立会话；会话建立成功后用户即可发起业务服务，

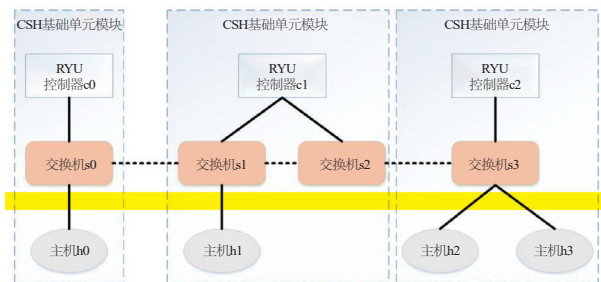


图2 CSH基础单元模块

既可以是向公共数据网络申请某些数据如检索文献、观看电影或者浏览网页等，也可以是与接入系统的另一个用户进行通信。当作为数据发送的一方时，用户可被视为客户端；当作为数据接收的一方时，用户可被视为服务器。

(2) RU-DU层

RU-DU层主要由RU和DU组成。RU由AAU演进而来，主要负责物理层低层的功能，DU主要负责RLC层、MAC层和物理层高层的功能，同时集成了一些虚拟化后的物理层低层功能。由于本文仿真系统的设计初衷和基本特性，基本不实现低层的功能，视为透明转发，因此RU-DU层在本仿真系统中，扮演着重要的转发与分流的作用，是数据流的枢纽和中转站。RU-DU层向后与接入用户层相连，作为用户进入系统的唯一入口，向前连接NFV案例管理层和微服务网元层，而且作为微服务网元层的入口，负责其中控制面和用户面的分流。当用户进行随机接入、用户注册以及建立会话的过程时，RU-DU层直接与微服务网元层中的控制面进行信令交互，不通过NFV案例管理层和微服务网元层用户面；当会话已建立，正式进入通信案例时，RU-DU层将控制信令通过NFV案例管理层传输到微服务网元层控制面，将发送或接收的数据包转发到微服务网元层用户面。

(3) NFV案例管理层

NFV案例管理层的主要作用是管理通信案例，是

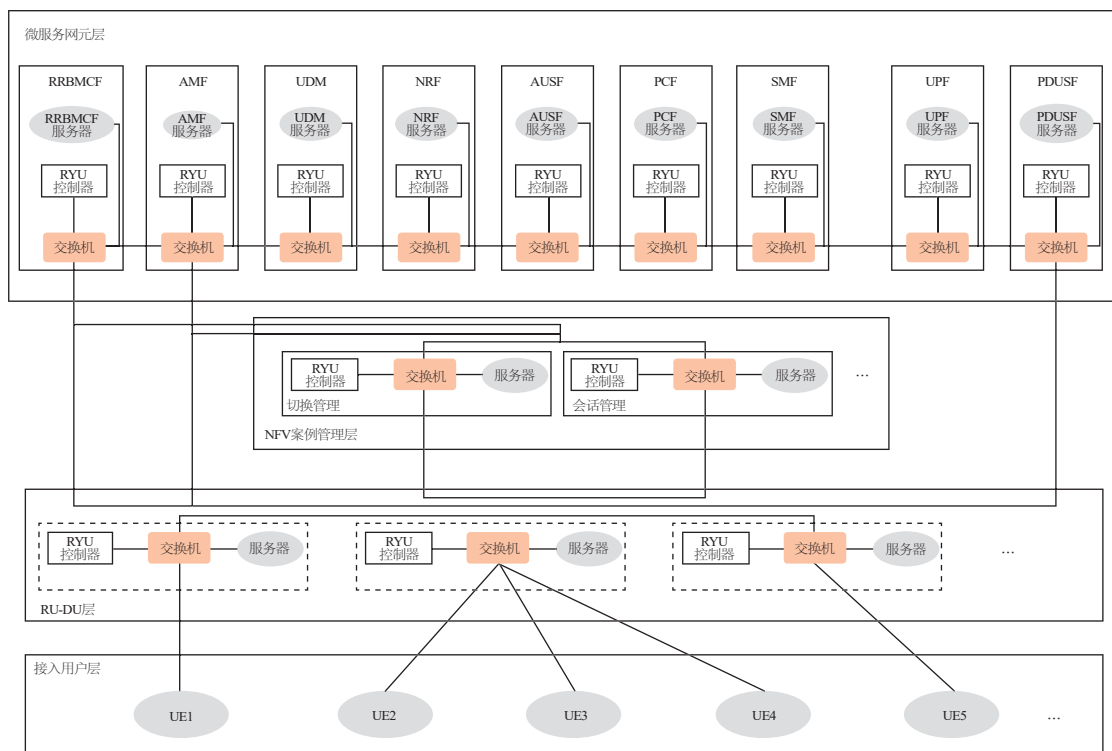


图3 仿真系统整体架构

一个灵活取用的设计。对比新型网络架构的理论阐述，NFV案例管理层属于仿真系统工程实际设计的产物，可以灵活使用，将本层去除并不影响仿真系统的验证，但之所以将其纳入设计方案，是因为该层能让每条通信案例通过分流享受独立的服务和操作。其仅在发生通信案例时起作用，是RU-DU层和微服务网元层控制面之间的桥梁。在本仿真系统中，本层由多个CSH基本单元模块组成，每一个通信案例对应一个CSH基本单元模块，专门负责相应通信案例的具体分流操作。NFV案例管理层所拥有的模块数取决于通信案例的数量。目前，本仿真系统可实现3类通信案例即切换管理、会话管理和用户间通信，实验者可根据实验需求继续迭代开发新的仿真案例。当进入NFV案例管理层之后，相应的服务器将根据案例的需求来配置网元列表；网元列表中记录着每个网元的优先级顺序、模式设定等；然后将信令转发到微服务网元层，并按照网元列表的顺序依次经过相应的网元来执行相应的操作。

(4) 微服务网元层

微服务网元层主要由控制面网元AMF、RRBMCF、SMF、UDM、PCF、NRF等以及用户面网元PDUSF和UPF组成，主要负责实现具体的网络功能。在本仿真系统中，微服务网元层由多个CSH基本单元模块组成，每一个网元对应一个CSH基本单元模块，因此模块的数量取决于网元的数量。在接收到从NFV案例管理层或RU-DU层转发的信令之后，相应的网元为用户分配网络资源如带宽、预期时延等。每个网元具备多种网络功能，但本仿真系统无法做到全部实现。下面将列出本仿真系统致力于实现的各网元的网络功能。

对于控制面网元。

AMF：接入控制、用户注册、移动性管理信令配置。

RRBMCF：RRC协议、PDCP-CP协议，切换决策，切换请求信令配置。

SMF：会话建立、会话管理信令配置。

UDM：统一数据管理，服务质量（QoS）列表配置。

PCF：策略管理、会话类型与QoS表的映射。

NRF：管理网元、存储各个网元的IP地址和功能。

一般来说，RRBMCF或者AMF会作为微服务网元层配置列表中的第一个网元，SMF通常会作为网元配置列表中的最后一个网元，是控制面的出口，并与UPF连接。

对于用户面网元。

PDUSF：SDAP协议、PDCP-UP协议，数据缓存。

UPF：用户面功能、数据转发和路由功能、连接数据网络。

特别的，UPF额外连接一个主机，即数据网络

（DN）服务器，任何和DN进行交互的信令和数据都需要经过UPF。

2.4 仿真系统的特点和优势

本仿真系统具有如下特点和优势。

（1）创新性。本仿真系统面向6G空天地一体化场景，验证了本团队所提出的基于微服务的新型网络架构，是对现有5G仿真系统的进一步升级和迭代。

（2）定制性强。本仿真系统可针对用户需求，通过设计星载服务化网元的功能和实验参数，实现网络级和仿真场景级的按需定制。卫星从仅转发数据发展到可存储、处理数据，拥有了承载服务化后的接入网、核心网网元的能力。通过编程实现网元功能、更改带宽时延等参数，可较为灵活地满足差异化的实验要求。

（3）拓展性强。本仿真系统采用模块化的设计思想，模块间的低耦合度使得实验者可根据自身需求，对仿真系统进行二次开发。

2.5 仿真流程

仿真流程主要分为以下几个步骤：卫星网络拓扑的搭建、用户向AMF进行注册、用户向SMF发起会话建立，在会话建立之后开始进行通信案例的仿真。

(1) 卫星网络拓扑的搭建

本仿真系统将铱星系统作为主要卫星网络场景。首先，本文将在STK中模拟生成一段时间内的铱星星座和地面用户的网络拓扑，并将其位置数据（星下点经纬度、海拔高度）按时隙导出存入csv文件中，时隙可根据实验需求进行修改；然后，利用Python软件计算出每一时隙卫星对于用户的覆盖关系以及星间链路之间的连接关系；最后，根据覆盖关系和连接关系，在Mininet中运行Python拓扑主程序来生成网络拓扑。每个卫星基站上都必须配备RU-DU层，因此每个RU-DU对应一个卫星基站，而NFV案例管理层和微服务网元层不一定部署在每个卫星基站上，会根据需求来灵活部署，保证接入每个卫星基站的用户都能享受到核心网的服务。

(2) AMF用户注册

在Mininet中建立网络拓扑时，在软件层面用户已经与相应的卫星基站建立了连接链路，因此认为已经完成随机接入的工作，所以本仿真系统不再模拟随机接入的流程。在随机接入之后，RRC连接建立完成，首次进入网络的用户需要进行注册。具体的注册流程如图4所示。

AMF用户注册主要需用到RU-DU层以及微服务网元层的AMF、PCF、AUSF和UDM。具体流程如下：首先，用户向AMF发出注册请求，并借助RU-DU层进行透明转

发；其次，AMF向AUSF发出鉴权请求，使后者向UDM发送请求进行统一数据管理，完成鉴权，鉴权完成后，AMF将连续与用户进行鉴权、安全模式以及身份识别等交互操作；再次，AMF将直接与UDM进行信令交互以生成用户上下文、数据管理等信息；最后，AMF向PCF申请注册接入管理策略，并通知用户完成注册流程。

(3) 会话建立

会话建立需在用户完成注册的前提下进行，通过控制面的信令来通知数据传输隧道两端的UPF和用户数据传输的参数，包括QoS配置文件（QoSProfile）、聚合最大比特速率（Aggregate Maximum Bit Rate, AMBR）及隧道端点地址（Tunnel End Point Identifier, TE-ID）。在本仿真系统中，本文设计用户发起的会话建立流程如图5所示。

会话建立主要需用到RU-DU层以及微服务网元层的AMF、UPF、SMF和UDM。具体流程如下：第一，用户将会话建立发起请求经过RU-DU透传至AMF，使后者将用户的请求转发至负责会话管理的关键网元SMF，请求建立会话管理的上下文；第二，SMF将数据网络名称（Data Network Name, DNN）及切片/服务类型（Slice/Service Type, SST）转发至UDM，使后者根据SST与QoS配置文件的映射关系进行对应查找，将QoS配置文件及AMBR返回给SMF；第三，SMF根据QoS配置文件及AMBR进行会话决策，得到会话的规则，并将其转发至UPF；第四，UPF根据会话规则创建数据传输隧道并将隧道的编号TE-ID返回给SMF；第五，SMF将TE-ID，QoS

配置文件及AMBR等参数通过AMF和RU-DU层下发至用户，至此控制面流程结束，用户可根据以上参数经用户面进行数据传输。

2.6 通信案例仿真

在用户完成会话建立后，即可开始进行服务请求，在本仿真系统中统一命名为通信案例。接下来本文将对用户一些最为典型的通信案例进行分析，例如用户间通信、切换管理和会话管理。

(1) 用户间通信

用户间通信架构，如图6所示，可以描述为完成接入注册的用户1向同样完成接入注册的用户2发送一条信息，并且收到回复的过程。

首先，用户1将数据包发送到连接的RU-DU层，在RU-DU层直接进行转发和分流，数据包和包头信息被转发到用户面PDUSF进行上行的SDAP协议和PDCP协议处理，然后转发到UPF进行等待；另一路则将包头信息转发到NFV案例管理层进入专门管理用户间通信的NFV服务器中，配置网元列表，然后将信令按照列表顺序依次发送到相应的控制面网元。AMF和SMF是两个重要的网元节点，是网元列表的开头和结尾，中间将会依次经过NRF、AUSF以及UDM对数据进行管理。经过所有网元处理之后，SMF将控制面信令发送到UPF。当UPF收到控制面信令后，对其进行解析，并按照信令指示，将等待的数据包转发到下行UPF，经过PDUSF下行处理之

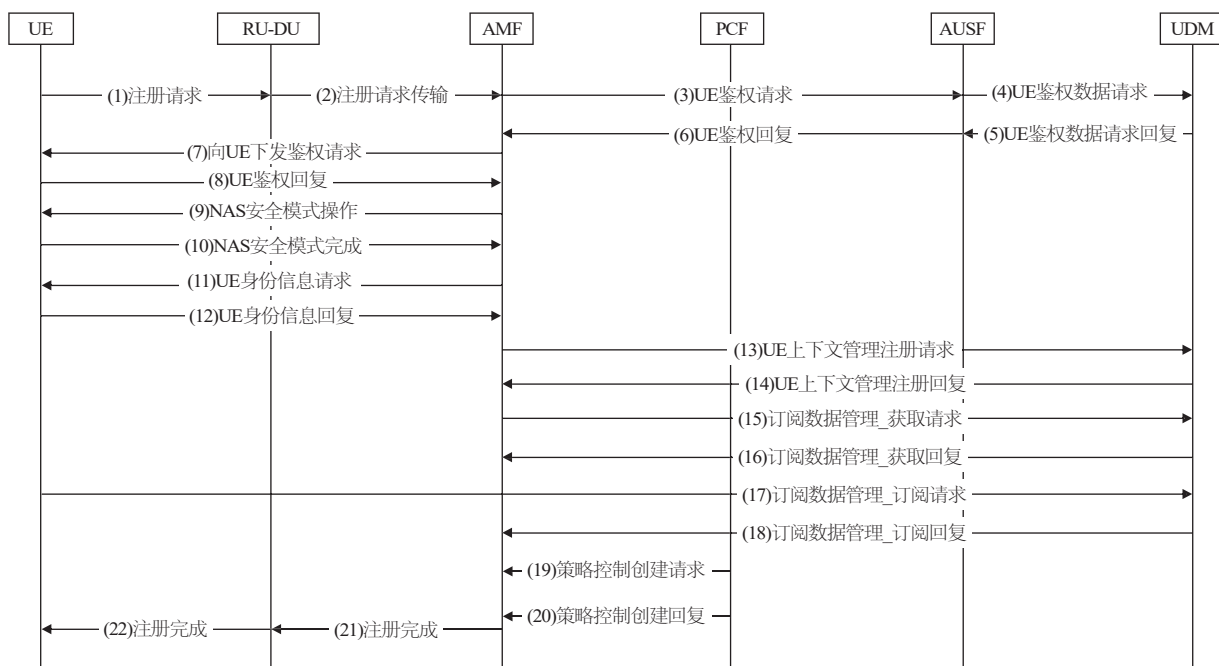


图4 AMF注册流程

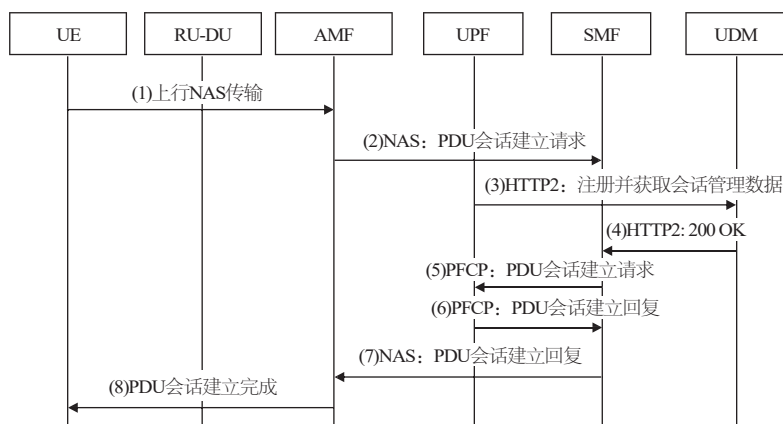


图5 会话建立流程

后，转发到目标RU-DU层，最终下发给用户2。当用户2收到来自用户1的信息之后予以回复，则经过与刚才相同但是反向的用户面路径将回复信息发送给用户1，回复时不再经历控制面，至此两用户通信案例执行完成。

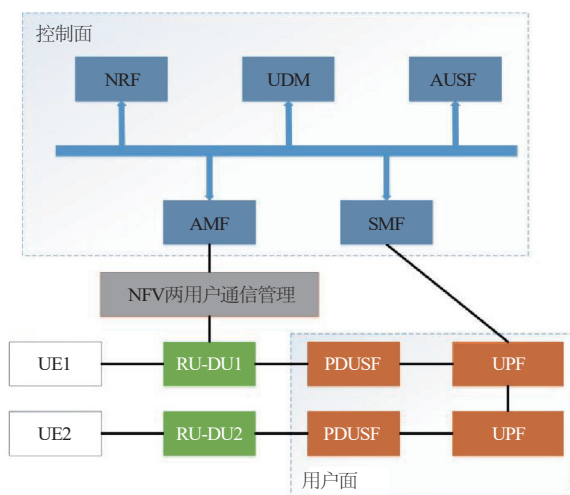


图6 用户间通信架构

(2) 切换管理

切换管理的通信案例可描述为用户向数据网络请求所需的下行数据。切换前，下行数据从原来的RU-DU层向用户下发数据；切换后，下行数据将从目标RU-DU层向用户下发数据。在切换的过程中，由于新的架构和新的网元，本文设计了新的X_n接口切换流程（X_n接口即用户与原基站/现RU-DU层的接口），采用TCP协议，是一种每一步信令都需要有回复的模式。具体流程如图7所示。

用户会经过用户面向数据网络发送请求，数据网络

会根据请求下发相关的数据，并且会在PDUSF进行缓存和等待。区别于传统5G网络中在基站中进行切换决策，新型网络架构将在RRBMCf中进行切换决策。同时由于接入网与核心网进行了有机融合，基站的部分功能已经归入核心网，因此省去了原基站和目标基站之间的切换请求信令交互，改为直接在RRBMCf中进行切换信令配置。根据切换信令的内容，原RU-DU层会向PDUSF请求将缓存的数据下发到目标RU-DU层，并通过目标RU-DU层下发到用户。在用户面完成数据的下传后，信令进入NFV案例管理层，进入专门管理切换的NFV服务器，配置所要经历的网元列表；然后发送数据路径修改请求的信令进入控制面，依次经过RRBMCf、AMF和SMF的处理之后，转发到UPF进行路径重新设定；最终通知原RU-DU层将用户信息释放，至此切换管理通信案例完成。

(3) 会话管理

在5G核心网中，会话指用户与数据网络间的数据传输隧道。本仿真系统承接其概念，指用户面传输模型。作为通信案例，定义会话管理特指会话修改，即对会话的类型或数据传输参数进行修改的过程，该过程需用户面及控制面网元参与，通过控制面网元的控制流程使用户面网元获取数据传输隧道的各参数，从而触发相应操作。本文基于新型网络架构设计了基于用户的新的会话修改流程，如图8所示。

首先，用户通过RU-DU层透传给AMF会话修改的请求，通过会话标识和DNN将要修改的会话唯一确定，并附带期望修改的QoS参数；其次，AMF将此信令转发给SMF进行QoS参数考察并予以授权，若合法则将授权的QoS参数通过AMF、RU-DU层下传至用户进行修改；最后，用户将修改后的QoS参数依次发送至AMF、SMF和UPF，会话修改之后，用户可通过新的会话参数进行数据传输。

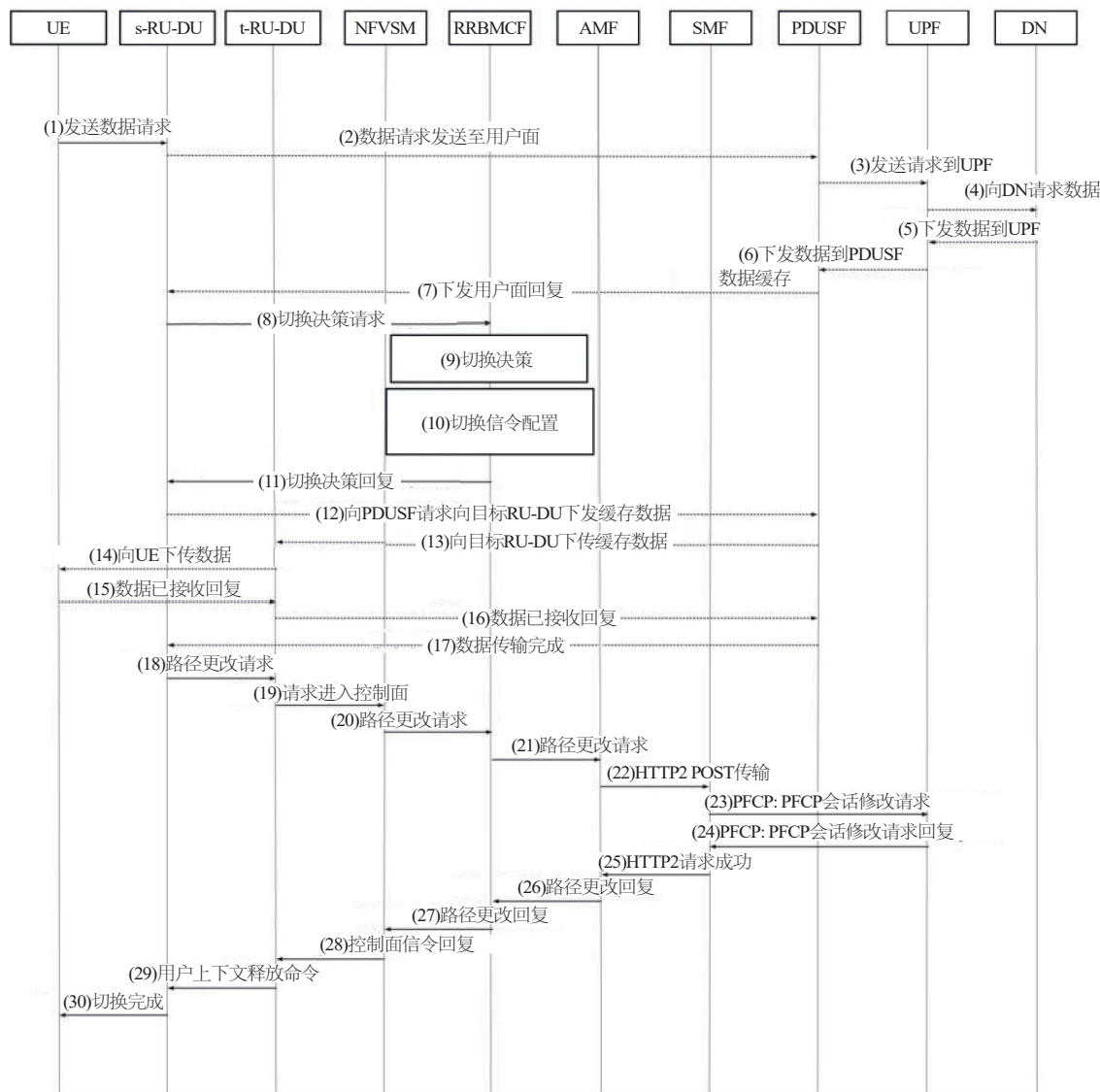


图7 Xn接口切换流程

2.7 仿真系统验证展示

本小节将主要展示仿真系统的关键实验结果,选取的验证案例为最典型的切换管理案例。在本场景中,本文假设微服务化后的各类网元在星上部署,如图9所示,用户可能连接的两颗卫星上均部署接入网、核心网相关网元。具体包括接入网RU-CU层,核心网控制面网元AMF、RRBMCF和SMF等,用户面网元PDUSF和UPF以及NFV案例管理层主管切换的NFV-HO网元。由于低轨卫星高速运动以及用户的运动,用户与所连卫星的相对位置发生变化,触发切换机制。

从实验结果可知,首先,通过Python主程序,系统成功在Mininet里生成了包括控制器、交换机和服务器在

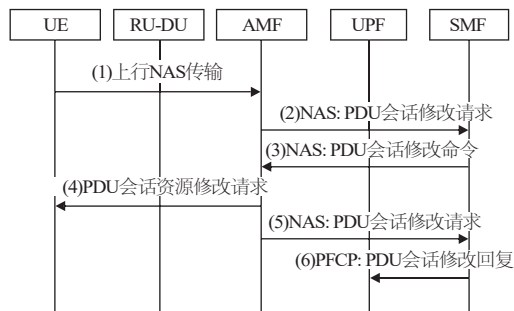


图8 会话修改流程

内的虚拟网络节点,并顺利完成切换相应流程。图9中同样展示了关键网元的服务器信令信息,如RRBMCF网元进行切换决策、信令配置并完成路径更改,PDUSF网元

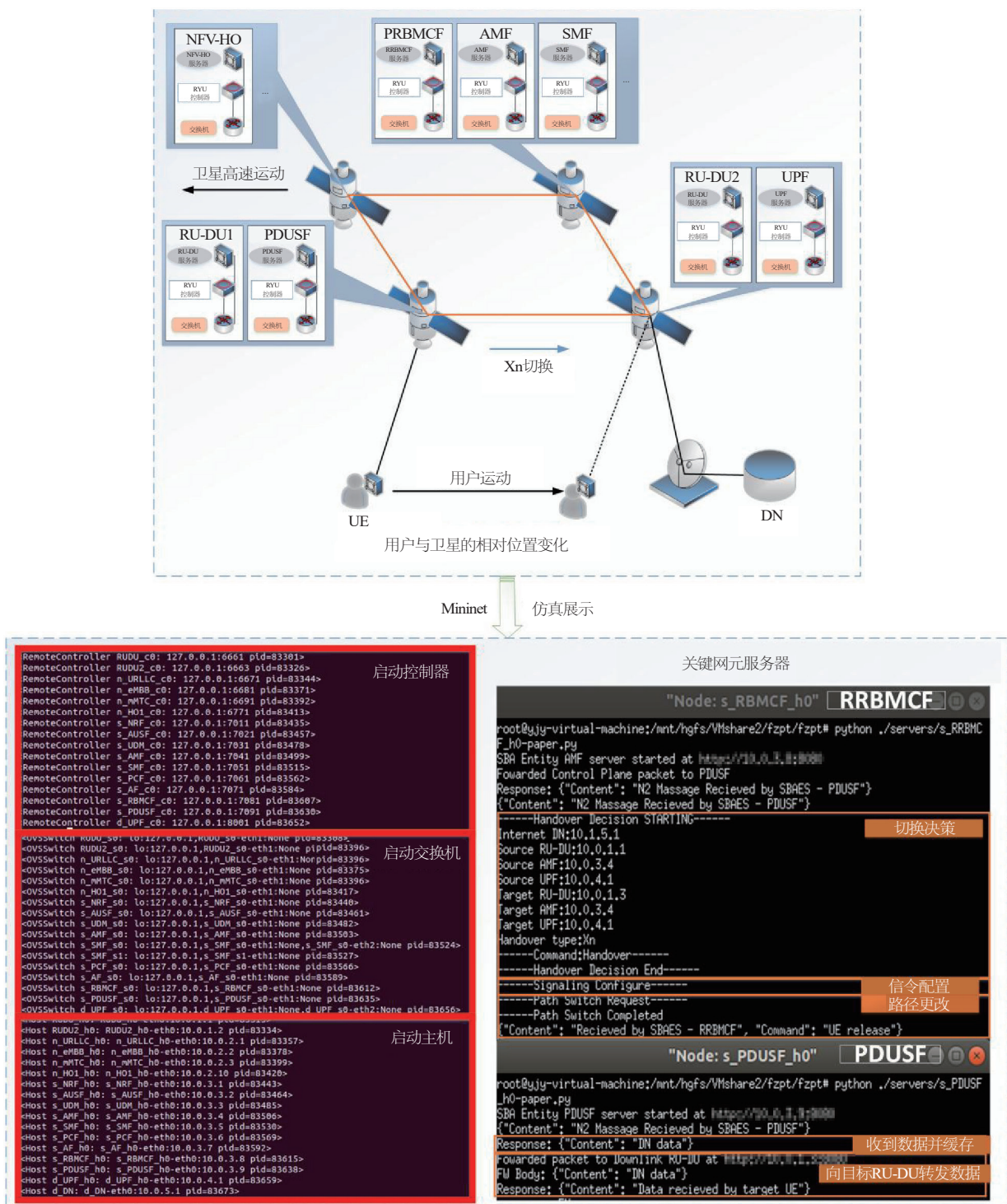


图9 仿真系统验证展示

获得数据后缓存并向目标RU-DU层转发下行数据等。

以上的流程仿真验证实验,有力地证明了参考文献[12]提出的基于微服务的新型融合网络架构的连通性和适用性,同时展示了潜在的拓展性和泛化性。拓展性表现为本系统采用统一规范搭建架构的同时,将各部分程序,如网元部署策

略、切换决策策略和信令配置等模块化,使各个功能易于迭代更新。泛化性表现为本系统在适配6G空天地一体化网络新型架构的同时,兼容于地面乃至异构网络。通过按需设计网元功能,设定带宽、时延和丢包率等关键参数,本系统可模拟多种类型的网络,具有一定的通用性。

特别说明, 由于本仿真系统仍处于开发、搭建阶段, 以上仿真结果为阶段性成果, 后续将会持续对系统进行完善与开发。

参考文献:

- [1] VANELLI-CORALLI A, GUIDOTTI A, FOGGI T, et al. 5G and Beyond 5G Non-Terrestrial Networks: trends and research challenges[C]//Proceedings of 2020 IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF). Piscataway: IEEE Press, 2020: 163-169.
- [2] SAAD W, BENNIS M, CHEN M Z. A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems[J]. IEEE Network, 2020, 34(3): 134-142.
- [3] MA L, WEN X M, WANG L H, et al. An SDN/NFV based framework for management and deployment of service based 5G core network[J]. China Communications, 2018, 15(10): 86-98.
- [4] SHI Y P, CAO Y R, LIU J J, et al. A cross-domain SDN architecture for multi-layered space-terrestrial integrated networks[J]. IEEE Network, 2019, 33(1): 29-35.
- [5] RINALDI F, MAATTANEN H L, TORSNER J, et al. Non-terrestrial networks in 5G & beyond: a survey[J]. IEEE Access, 2020, 8: 165178-165200.
- [6] HOSSEINIAN M, CHOI J P, CHANG S H, et al. Review of 5G NTN standards development and technical challenges for satellite integration with the 5G network[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2021, 36(8): 22-31.
- [7] BACCO M, DAVOLI F, GIAMBENE G, et al. Networking challenges for non-terrestrial networks exploitation in 5G[C]//Proceedings of 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF). Piscataway: IEEE Press, 2019: 623-628.
- [8] JUAN E, LAURIDSEN M, WIGARD J, et al. 5G new radio mobility performance in LEO-based non-terrestrial networks[C]//Proceedings of 2020 IEEE Globecom Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2020: 1-6.
- [9] ZHANG L, LIANG Y C, NIYATO D. 6G Visions: mobile ultra-broadband, super Internet-of-things, and artificial intelligence[J]. China Communications, 2019, 16(8): 1-14.
- [10] LIU G Y, HUANG Y H, LI N, et al. Vision, requirements and network architecture of 6G mobile network beyond 2030[J]. China Communications, 2020, 17(9): 92-104.
- [11] YAACOUB E, ALOUINI M S. A key 6G challenge and opportunity—connecting the base of the pyramid: a survey on rural connectivity[J]. Proceedings of the IEEE, 2020, 108(4): 533-582.
- [12] CUI H X, ZHANG J, GENG Y H, et al. Space-air-ground integrated network (SAGIN) for 6G: Requirements, architecture and challenges[J]. China Communications, 2022, 19(2): 90-108.
- [13] JANG H C, HSU Y C, LIN H H. Using SDN to construct network slicing like platform for 5G service[C]//Proceedings of 2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). Piscataway: IEEE Press, 2020: 118-121.
- [14] DELGADO O, JAUMARD B, DING Z Y, et al. Demo: a network simulator for 5G virtualized networks[C]//Proceedings of 2022 IEEE 8th International Conference on Network Softwarization (NetSoft). Piscataway: IEEE Press, 2022: 237-239.
- [15] DRIF Y, LAVINAL E, CHAPUT E, et al. Slice aware non terrestrial networks[C]//Proceedings of 2021 IEEE 46th Conference on Local Computer Networks. Piscataway: IEEE Press, 2021: 24-31.
- [16] LI K X, GUO B L, HUANG S G, et al. A simulation platform for software defined integrated space ground network[C]//Proceedings of 2019 IEEE 11th International Conference on Advanced Infocomm Technology. Piscataway: IEEE Press, 2019: 118-123.
- [17] 邹明, 赵子骏, 魏凡. 新兴低轨卫星通信星座发展前景研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(12): 1155-1162.
- ZOU M, ZHAO Z J, WEI F. Research on the development prospect of emerging low earth orbit satellite communication constellations[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2020, 15(12): 1155-1162.

作者简介



杨峻一 (1999—), 北京航空航天大学电子信息工程学院硕士生, 主要研究方向为空天地一体化网络、移动性管理以及网络架构。



裴凡迪 (1999—), 北京航空航天大学电子信息工程学院硕士生, 主要研究方向为空天地一体化。



许兆龙 (1998—), 北京航空航天大学电子信息工程学院硕士生, 主要研究方向为空天地一体化通信。



肖振宇 (1983—), 博士, 北京航空航天大学电子信息工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为宽带通信系统的通信信号处理和实际系统实现。