

空天地海一体化协同路由方案研究

Research on Cooperative Routing Scheme of Space-Ground-Sea Intergration

刘丹丹¹,朱 斌²,胡 悦²,林 琳²,王泽林²,王光全²(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;2. 中国联通研究院,北京 100048)

Liu Dandan¹,Zhu Bin²,Hu Yue²,Lin Lin²,Wang Zelin²,Wang Guangquan²(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China;2. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘 要:

随着 5G/6G 和卫星新技术的不断发展,以及国家卫星互联网战略布局,如何突破当前星地网络拓扑结构高动态、服务自成体系、平台异构互操作难等关键问题,将运营商网络资源与不同轨道和类型卫星资源有效结合,实现空天地一体化网络及业务融合的目标,成为空天地海一体化的关键。针对海洋典型场景覆盖需求以及不同轨道资源难以协同管控等问题,开展卫星中继模式下的技术方案研究,为提升运营商全时全域服务能力和空天地海协同发展提供参考建议。

关键词:

空天地海;网络融合;5G/6G;卫星

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.05.010

文章编号:1007-3043(2023)05-0056-08

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the rapid development of 5G/6G and new satellite technologies, and the strategic layout of the satellite-Internet, how to break through the key problems such as the current high dynamic topology of satellite-ground network, self-independent system, difficult interoperability of heterogeneous platforms, effectively combine the network resources of operators with satellite resources of different orbits and types, and achieve the goal of space-ground-sea network and service integration, has become the key to space-ground-sea integration. Aiming at the coverage needs of typical ocean scenarios and the difficulty of collaborative management of different orbital resources, it studies the technical solutions under satellite relay mode, and provides reference suggestions for improving operators' full-time and full area service capabilities and the collaborative development of the space-ground-sea intergration.

Keywords:

Space-ground-sea; Network convergence; 5G/6G; Satellite

引用格式:刘丹丹,朱斌,胡悦,等. 空天地海一体化协同路由方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(5):56-63.

0 前言

2020 年国家将 5G 网络和卫星互联网共同纳入“新基建”范畴,天地一体化成为未来信息基础设施发展的趋势。如何高效利用高中低轨卫星资源并充分发挥其广覆盖、高带宽和低时延等优势,解决星地融合网络拓扑结构高动态、服务自成体系、平台异构互操作难等关键问题是运营商面临的挑战。需重点开

展对于海上渔船、离岸海岛与地面网络的互联互通和有机联动的研究,以提升运营商覆盖范围以及全时全域服务能力,发挥中国海洋大国优势。

本文主要对星地融合网络关键技术进行研究,重点针对空天地海一体化场景下的网络架构、高低轨多维路由协同等关键问题开展技术攻关,将不同轨道类型卫星资源与运营商网络资源有效结合,以陆地应急车和海洋渔政船为代表场景,提出针对性解决方案,同时满足通信服务边界拓展需求和航天新业务应用诉求,加速推进 2 个行业深度融合,衍生多样态融合应用场景,充分发挥空天地海一体化网络优势。

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2900602)

收稿日期:2023-04-17

1 星地融合发展问题

1.1 星地融合发展趋势

国内外针对天地一体网络的研究重点关注 5G/6G+卫星网络融合层面,随着卫星技术快速发展,卫星通信在速率和时延等指标上可满足 5G 业务部分场景的基本需求,3GPP 非地面网络(Non-terrestrial networks, NTN)针对卫星通信场景距离远、移动快、覆盖广带来的问题进行空口协议增强,支持卫星中继和手机直连卫星等多种场景。2022 年 6 月 5G 标准 R17 版冻结,标志着基础版本阶段工作的完成,其中 R15 定义了 NTN 的信道模型和 12 种卫星通信潜在用例, R16 研究了 NTN 的网络架构和解决方案, R17 面向 GEO/MEO/LEO 等场景、短信/语音/窄带/宽带等多种业务、支持 L/S 等频段开展手机直连、透传模式、星地异频等进行研究, R18 面向更多频段、业务类型开展移动性、覆盖增强等技术研究。NTN 技术在一定程度上让地面蜂窝网络实现“通天”能力,能够与卫星网络融合打造立体式的广覆盖。

因此,卫星互联网与地面通信网络在技术层面已具备融合的基础条件,进一步可通过构建架构、功能、流程一体化的天地一体网络,分阶段实现覆盖融合、业务融合、体制融合和系统融合。在提高网络资源利用率的同时,为用户提供全球全域无缝连接、业务连续性和通信服务保障,使能丰富多样的通信业务和应用。

1.2 协同发展面临的问题

在卫星技术方面,国内占主导地位的仍然是高轨(地球同步轨道)卫星,其具备广覆盖特性,除高纬度地区外,已能满足绝大多数地区的覆盖需求,但由于其轨道高且数量有限,提供整体带宽有限,且时延相对较大(一般在 600 ms 以上)。近年来,大规模低轨卫星星座技术发展方兴未艾,低轨卫星有传播时延低(通常小于 50 ms)、系统容量大(单星容量约 10~20 Gbit/s)和全球覆盖广等特点,但在实际组网和实施层面存在一定难度,特别是我国目前在未规模化组成星座系统、星间链路和地面信关站未相应批量部署前,低轨卫星系统所覆盖区域范围、有效使用时间等都面临资源受限问题。当前阶段,高中低轨卫星都难以自行承担天地一体化网络中天基网络的重任。

在业务应用及体验方面,地基网络与天基网络互为补充,但 2 个系统真正融合还面临组网架构、协议一

致性、融合应用以及运营管理等多方面问题。

a) 地基和天基系统短期内难以实现融合。从固定、移动和卫星融合接入角度看,天基网络初期仍采用 DVB 等协议,与 3GPP 协议体系相对独立发展,未有效发挥融合优势。

b) 从覆盖角度卫星互联网与 5G 地面网络高度互补,但应用层面缺乏相应的优化方案。卫星网络覆盖范围广且容灾能力强,但受地面气候环境和建筑物影响较大,系统容量及速率低于地面网络;地面网络在海洋、山区、高空等偏远场景覆盖较差,存在业务连续性和泛在接入不足等问题。

c) 受卫星用户站、终端形态和频段制式等影响,2 个系统缺乏深度融合应用。卫星频段(Ku/Ka 等)、成本(低轨约是高轨的 1/5)不同,对卫星用户站影响较大,各制式在不同时间、地点所提供资费存在差异,同时连接不同系统存在一定困难。

因此,在 2 个系统真正融合前,应结合高中低轨道卫星不同特点和优势,先解决业务层面灵活可用问题。从实际应用角度出发,屏蔽部分不兼容问题,通过业务嵌套促进网络融合,使 5G 网络信令和媒体能够灵活地通过不同卫星网络传输,将卫星传输网络嵌套在 5G 核心网络内,结合卫星拓扑时变特点,依据时间段、业务类型、资费等条件,实现“5G/6G+卫星”协同的路由方案。

1.3 星地融合通信应用场景

空天地一体(星地融合)重点满足偏远地区和海洋等应用场景,用户可通过“手机直连卫星”或“卫星中继”方式进行通信。卫星通信作为覆盖补充和应急通信备份及特定场景,满足“线+点”覆盖、高低空、用户区域集中和随机分散接入等需求。星地融合通信应用场景如图 1 所示。

如图 2 所示,星地融合泛在接入场景依据连接方式可以分为两大类。

方式 1:手机直连卫星方案,即手机直接与卫星连接进行通信,并可进一步划分为双模方案(互通)和星地融合方案(3GPP NTN 方案等)。

方式 2:卫星中继方案,即手机间接通过 Wi-Fi 或 4G/5G 基站,采用卫星中继连接卫星进行通信。

从发展角度来看,卫星与地面网络融合可提高传统移动通信范围,增强覆盖能力,但是需注意的是任何覆盖能力都是建立在有容量要求的前提下,而且无论是固定/移动/卫星接入的覆盖,都应是有明确网络

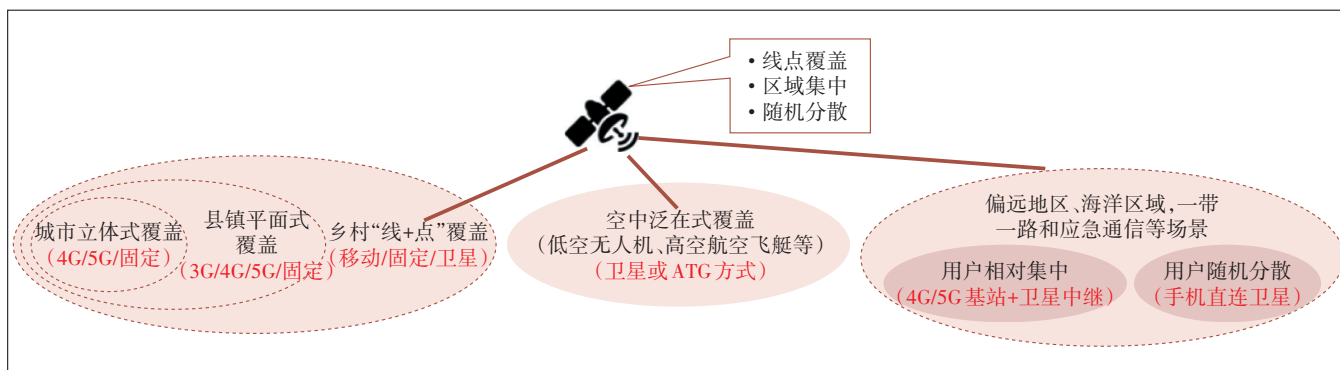


图1 星地融合通信应用场景图

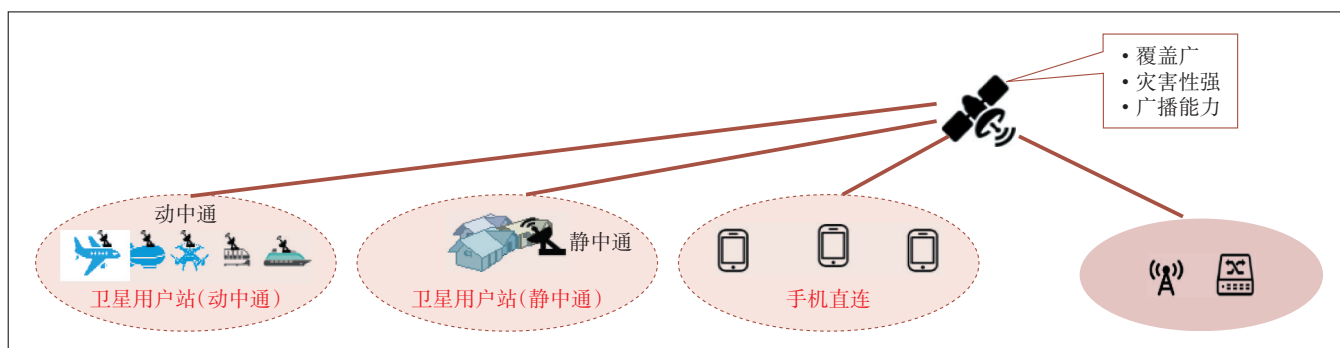


图2 星地融合泛在接入分类场景图

容量指标下的覆盖。从技术应用的角度来看,未来卫星的行业应用将成为主要市场,卫星中继方式相比手机直连方式提供业务种类更丰富,且更具有落地应用价值,但是该方式下还存在体制兼容、业务协同路由、媒体合流分流、控制与媒体分离、覆盖和非覆盖区域灵活平滑切换等问题。因此,本文后续重点探讨基站+卫星中继方式的方案、网元及功能要求和业务场景,为星地融合的应用落地提供技术参考。

2 空天地海协同方案

2.1 星地融合协同方案

布局空天地一体化网络,目前还存在不同层面的短板,亟需对网络和业务进行梳理,提炼出核心技术、业务发展模式及标杆产品,通过系统性的基础和应用研究攻克技术、应用模式、发展路径等领域难关。

针对协同发展面临的系列问题,当前阶段须利用好卫星资源与5G网络协同,以运营商业应用为触点,使用地理空间、服务时间以及可利用卫星带宽等资源,提升业务能力。通过新引入卫星协同网关和星地策略管理平台,根据业务需求,实现在特定场景下,

用户在运营商不同信号覆盖下的自由切换和不同轨道卫星的自由选择,达到按需合理分配的目标。

通过本地静态预设或远程动态实时设置方式完成业务选路等功能配置和优化,实现与不同轨道卫星协同选路。主要特点如下:

a) 信令媒体分离:用户的上行业务(用户)面与控制(信令)面数据自由分离能力。

b) 媒体合流分流:上行业务(用户)面数据传输多路分流并在地面合流的策略。

c) 业务协同路由:基于卫星定位的就近选路及远程控制策略。

d) 灵活平滑切换:可用高轨全时全域卫星资源传输信令数据,大带宽卫星(低轨或高通量)优先传输业务数据,当单个卫星资源不可用时,可检测并平滑切换至天基其他稳定卫星网络资源传输,保障应急通信等业务的稳定性和功能性。

基于5G协同策略应用的星地融合网络系统架构由用户侧、卫星侧、陆地侧构成,如图3所示。

a) 用户侧。部署在用户服务区域(如车辆、舰船、飞机等)部分,包括用户终端、用户基站(5G微/小基站)、卫星协同网关、高/中/低轨卫星用户站。其中:

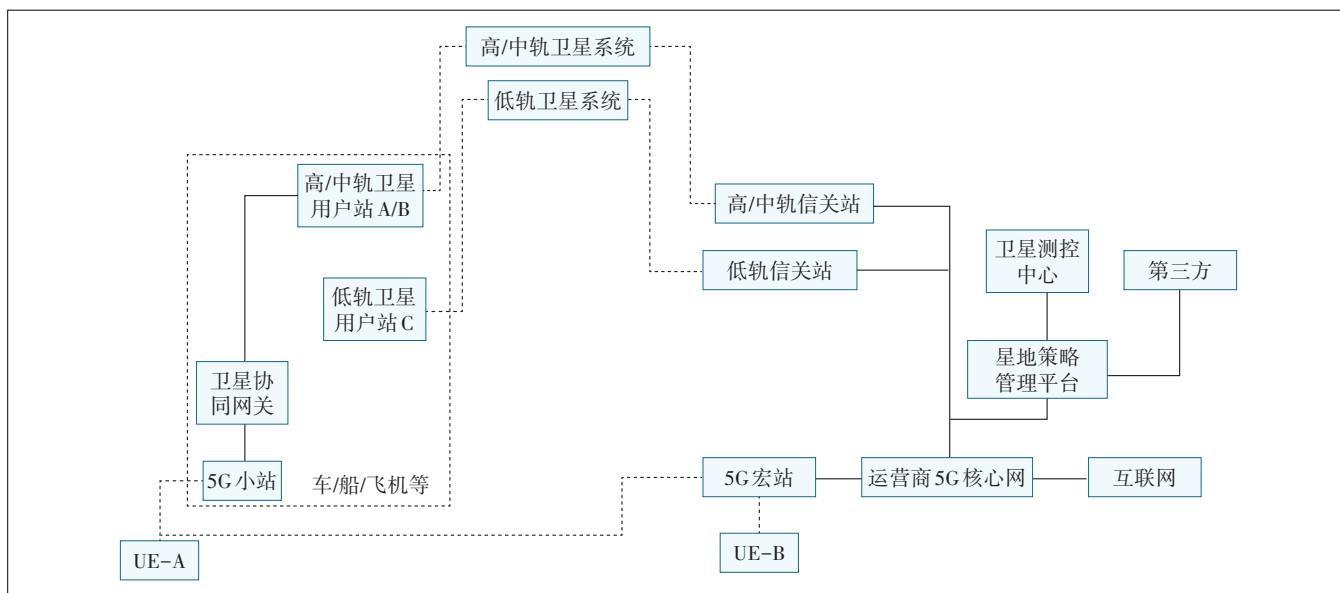


图3 基于5G协同策略应用融合系统架构

(a) 用户终端。用户使用业务的操作实体。

(b) 用户基站。5G微/小基站(行进式基站)用来发射5G移动信号并能够接收控制信息。

(c) 卫星协同网关。一方面可以直接或间接接收来自业务协同管理平台的信息,通过与5G小基站的接口控制小基站的发射功率;另一方面可以依据策略控制用户侧信令、媒体数据的路由指向。

(d) 卫星用户站。实现用户侧卫星网络信号发射与接收的设备。

(b) 卫星侧。卫星资源的空间段部分,即太空中接收和转发数据的高中低轨卫星。

(c) 地面侧。星地融合网络业务控制、实现以及与其他网络互通的核心部分,包括高/中/低轨卫星信关站、星地策略管理平台、运营商5G核心网和互联网等。

(a) 卫星信关站。实现对卫星信号发射和接收。

(b) 运营商网络。实现5G业务的管理和控制。

(c) 星地策略管理平台。统筹管理,配置不同链路(高中低轨不同接入方式)资费等信息,通过测控中心获取用户站(基带)接入质量、定位位置等信息,与用户侧联动便于卫星协同网关判断决策。

2.2 网元及功能要求

空天地海一体化协同路由方案,“基站+卫星中继”方式下为支持终端在有无信号覆盖区域自由切换,实现基于业务策略的高中轨不同轨道卫星路由选择,要求如下:

a) 依据地理位置和信号强弱等多种方式支持终

端在宏网与无宏网信号覆盖区域自由切换,并能够主动控制信号强弱;可设置灵活5G地理位置围栏,控制弱或无覆盖区域位置信息等获取频次。

b) 具备在高中轨等不同轨道卫星内部及之间自由选择和切换的能力。

c) 支持信令和媒体分离的多通路传输,以及信令、媒体单或多通路传输数据的完整性。

从网元功能角度,对基站、卫星协同网关和星地策略管理平台有如下相应功能要求。

a) 用户基站。具备增强功能,接收外部设备(卫星协同网关)控制自身的信号发射功率(增强、减弱或关闭信号)。

b) 卫星协同网关。新增功能模块,独立设置与其他网元合设(如UPF等)。

(a) 通过与平台接口直接或间接获取星地策略管理平台相关信息,包括卫星类型、可用时段、静态/实时、通信质量及资费等。

(b) 通过与基站接口直接或间接控制基站信号功率,依据条件包括地理位置(定位)或业务等条件(业务选择)控制基站信号(打开、关闭、增强或减弱等操作)。

(c) 依据控制策略配置用户侧信令、媒体数据路由指向,支持信令和媒体分离的多通路传输,以及信令、媒体单或多通路传输数据完整性(支持自适应分/聚合功能),控制策略根据卫星类型、可用时段、静态/实时、通信质量及资费等颗粒度设置。

c) 星地策略管理平台。新增功能模块。

(a) 通过卫星管理或测控中心直接或间接获取卫星资源相关信息,包括高中低轨对应应用户站的接入质量、位置等信息。

(b) 通过卫星协同网关直接或间接传送相关策略信息,统筹管理卫星协同网关上的静态或动态路由策略。

(c) 与协同网关配合,实现多通路传输数据完整性(支持自适应分流/聚合功能)。

2.3 关键业务场景

2.3.1 宏网覆盖与无覆盖区域的切换

实现宏网覆盖区域至无覆盖区域(卫星覆盖范围)的自由切换关键业务流程的核心思路:依据地理位置或业务策略控制基站发射功率,实现终端从宏网与无宏网信号覆盖区域自由切换。宏网覆盖与卫星覆盖自由切换如图4所示。

2.3.2 卫星轨道路由资源的灵活选择

实现无宏网信号覆盖区域高中低轨卫星资源的策略选择与自由切换关键流程如图5所示。不同轨道卫星承载5G网络内外部的信令和媒体时,需要注意如下几点。

a) 信令数据流。选择质量较好、能够提供7×24 h

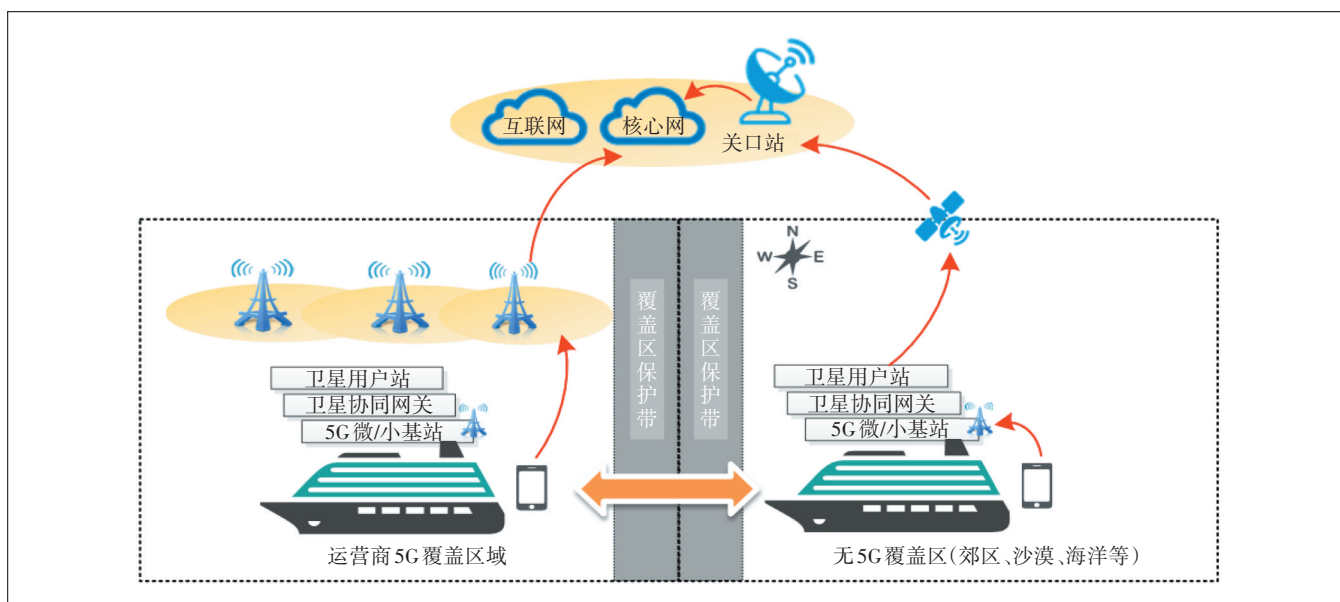


图4 宏网覆盖与卫星覆盖自由切换示意

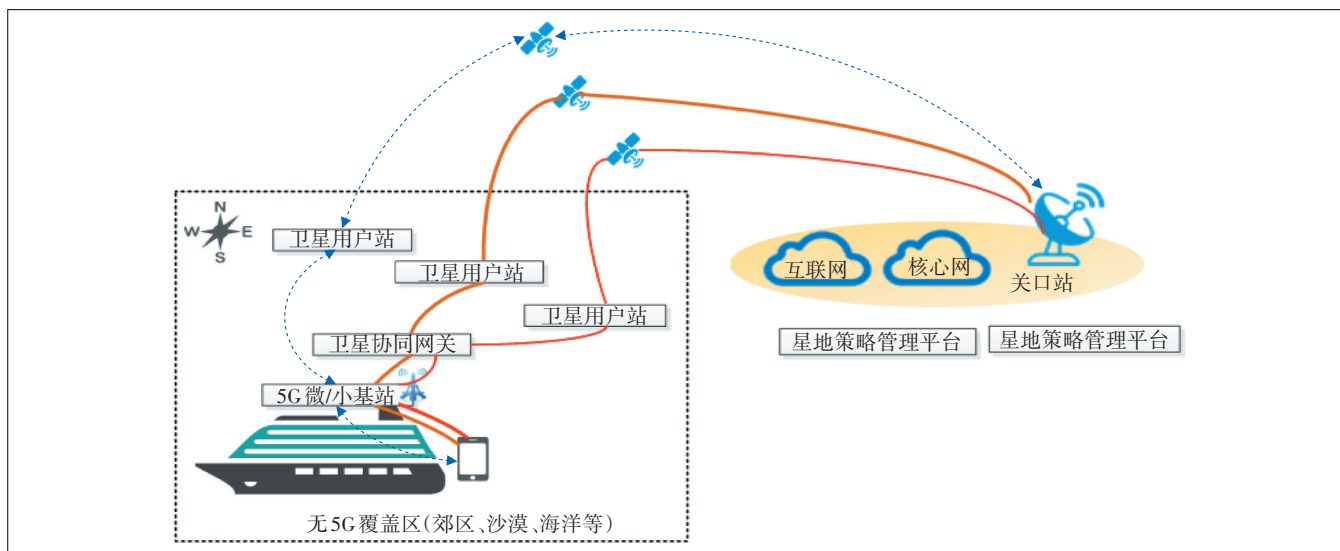


图5 卫星覆盖区域利用不同轨道传输链路组网示意

消息服务的卫星系统。

b) 媒体数据流。依据不同卫星资源的可用时间段、业务类型、资费条件、信号质量等参数,灵活选择不同路由方式、不同卫星接入方式以及媒体出口。

可提供的资源配置表格举例如表1所示。

表1 资源配置表格举例

卫星标识	类型	可用时段	质量(静态签约/实时数据)/(MB/s)	资费(元/月)
资源A	高轨	7×24 h	上行:1,下行:10	M
资源B	高轨	5×24 h	上行:5,下行:15	N
资源C	中轨	7×24 h	上行:5,下行:20	X
资源D	低轨	10 min/d	上行:10,下行:100	Y
资源E	低轨	8 h/d	上行:30,下行:100	Z

场景1:初始注册场景。

通常情况下,某个卫星资源稳定,满足7×24 h实时在线需求,则配置为信令链路常用卫星资源,若存在多个稳定的卫星资源,可以通过卫星协同网关灵活调整。

信令数据链路路由为用户手机→5G微(小)基站→卫星用户站→卫星(星座)→信关站→5G核心网。

场景2:单业务切换场景。

完成信令注册后,用户可正常使用业务。业务数据流(用户通常发起语音、视频或上网类业务)通过单条卫星链路(例如卫星用户站B→卫星B系统→信关站B)访问5G核心网或互联网。如图6所示,若卫星链路存在多条链路可选时,用户可随时切换至新选卫星链路(例如链路C)开展后续业务。

场景3:业务多通路场景。

业务数据流(用户通常发起语音、视频或上网类业务)的不同业务可以通过不同路径的卫星链路访问5G核心网/互联网,如图7所示,例如语音通话业务需要低时延链路(例如链路D),上网进行视频点播业务需高带宽低资费情况下(例如链路E)访问5G核心网/互联网。用户存在同时访问多条链路(例如链路D和E)开展后续业务的需求。同时由于传输效率或带宽的考虑,单类型业务可以选择多条卫星链路通道进行

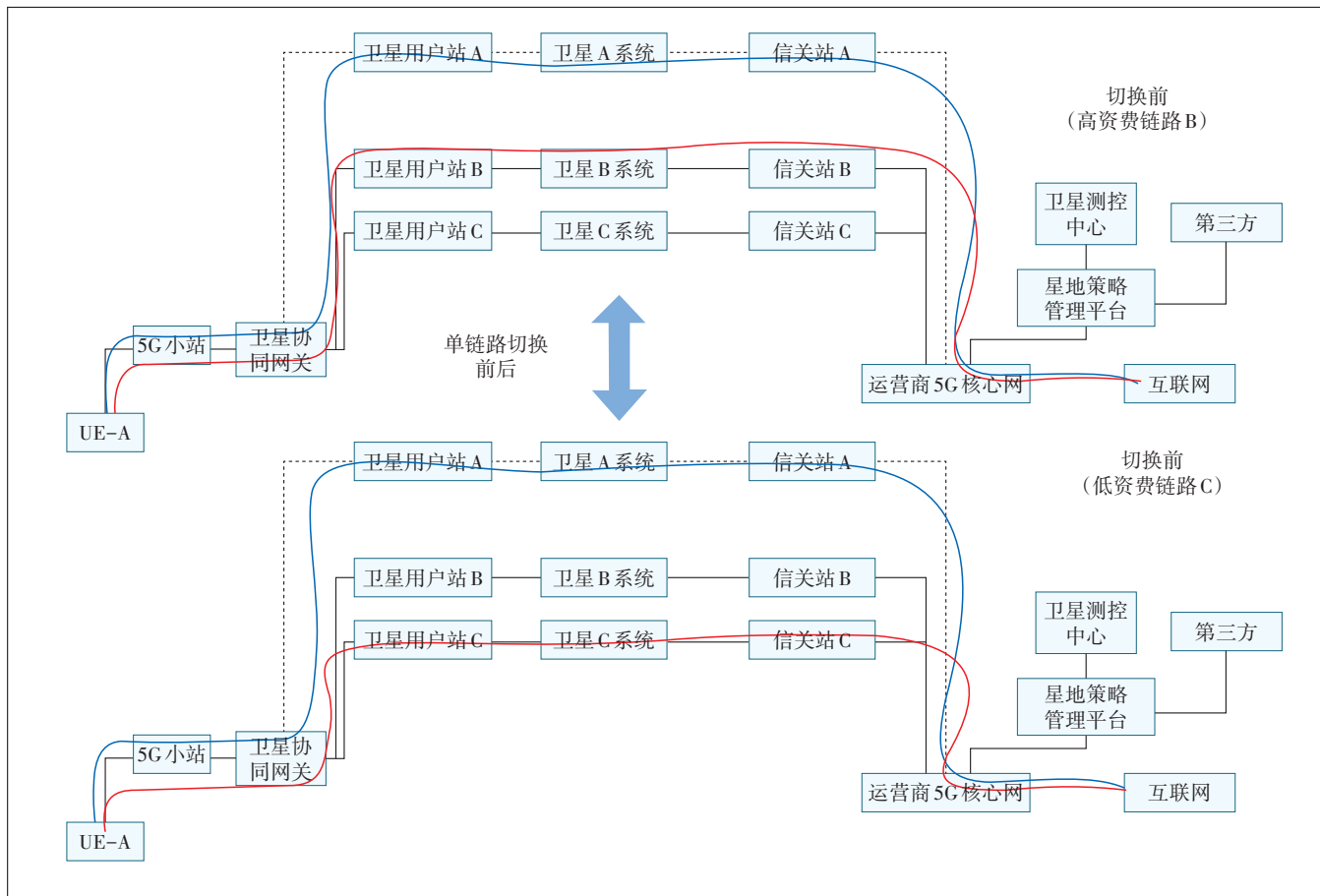


图6 单卫星链路依据资费路由切换示意

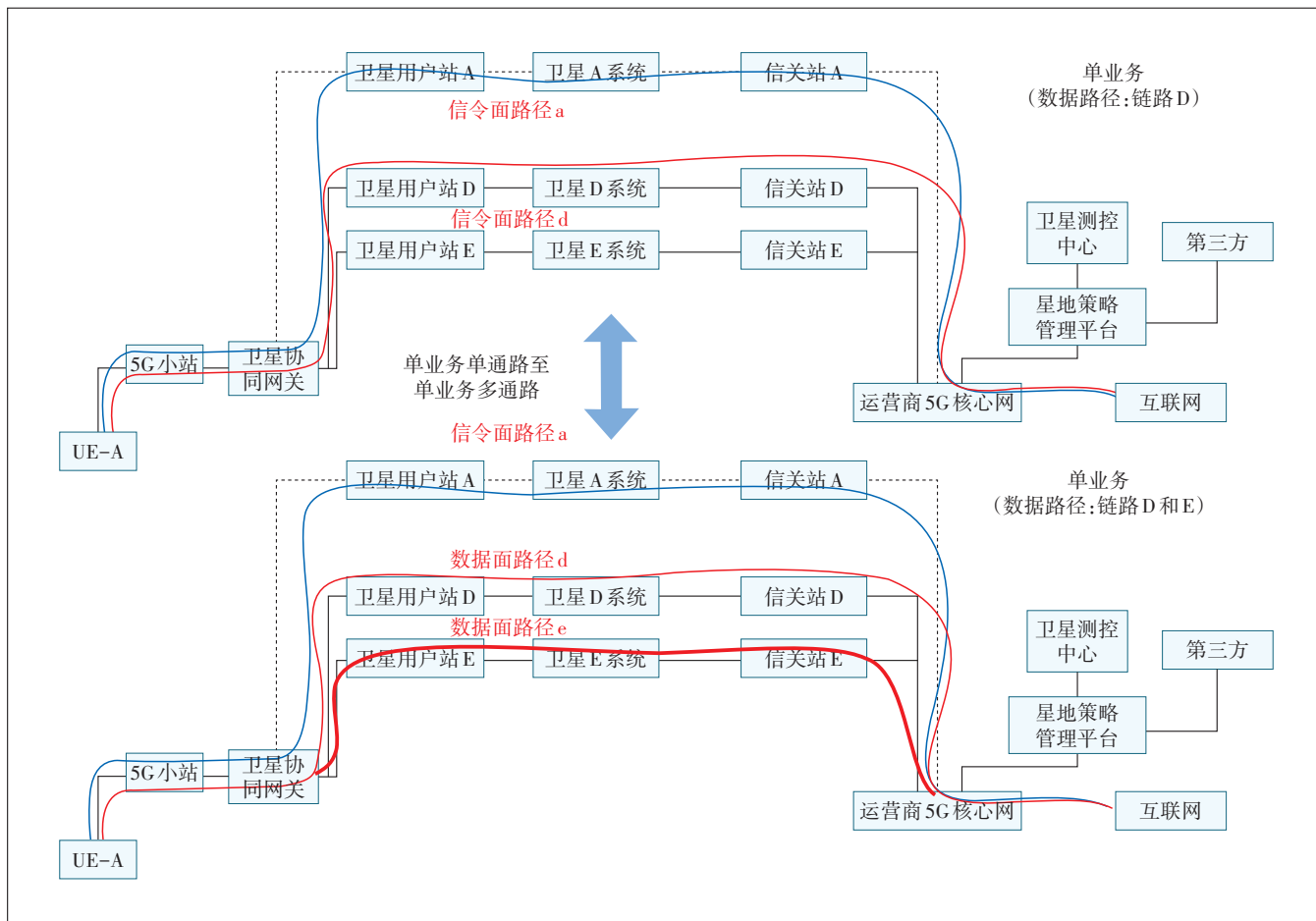


图7 单卫星链路至多卫星链路切换示意

业务传输,即同一数据业务可拆分通过多条链路传输(链路D和E等)并在地面侧通过星地策略管理平台协助重新聚合,如图8所示。

3 总结及展望

在需求的推动下,卫星通信系统与地面通信系统深度融合,地面移动网络+卫星通信融合应用成为未来通信业务的重要发展方向。本文主要介绍当前阶段“基站+卫星中继”方式下充分利用高低轨不同卫星链路作为传输通路,嵌入5G网络内深度融合,满足广覆盖等需求。后续针对星地融合,还应该开展如下研究。

a) 网络架构突破。构建“业务精准匹配、海陆泛在机动接入、高低空多维协同”的高质量融合应急保障架构,结合卫星资源验证。

b) 标准体系演进。完善“5G+卫星”融合架构中手机直连卫星方案、自由空间光通信协同应用、空口资源管理等方案,面向6G推进行业标准化。

c) 灵活解决方案。结合以陆地应急车和海洋渔政船为代表的应急场景,形成针对性方案,发挥星地结合定位和边缘计算 MEC 等优势,解决融合应用痛点问题。

d) 研发周边产品。研发匹配的应急通信专用融合站、协同管理网关及平台、协同泛接入产品等。

总之,对我国而言,加速空天地融合应用产业布局,利用5G等地面网络已有产业链成果及网络建设资源,融合卫星互联场景,为广域范围内用户随时、随地、无缝漫游提供地面移动网络及卫星通信网络融合业务,将地面移动业务从陆地通信服务全面向“海、陆、空”通信服务领域与市场拓展,真正实现“广域万物智联”和“全球随遇接入”的空天地海一体化网络功能。

参考文献:

- [1] 3GPP. Service requirements for the 5G system: 3GPP TS 22.261 [S/OL]. [2023-01-05]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs>.

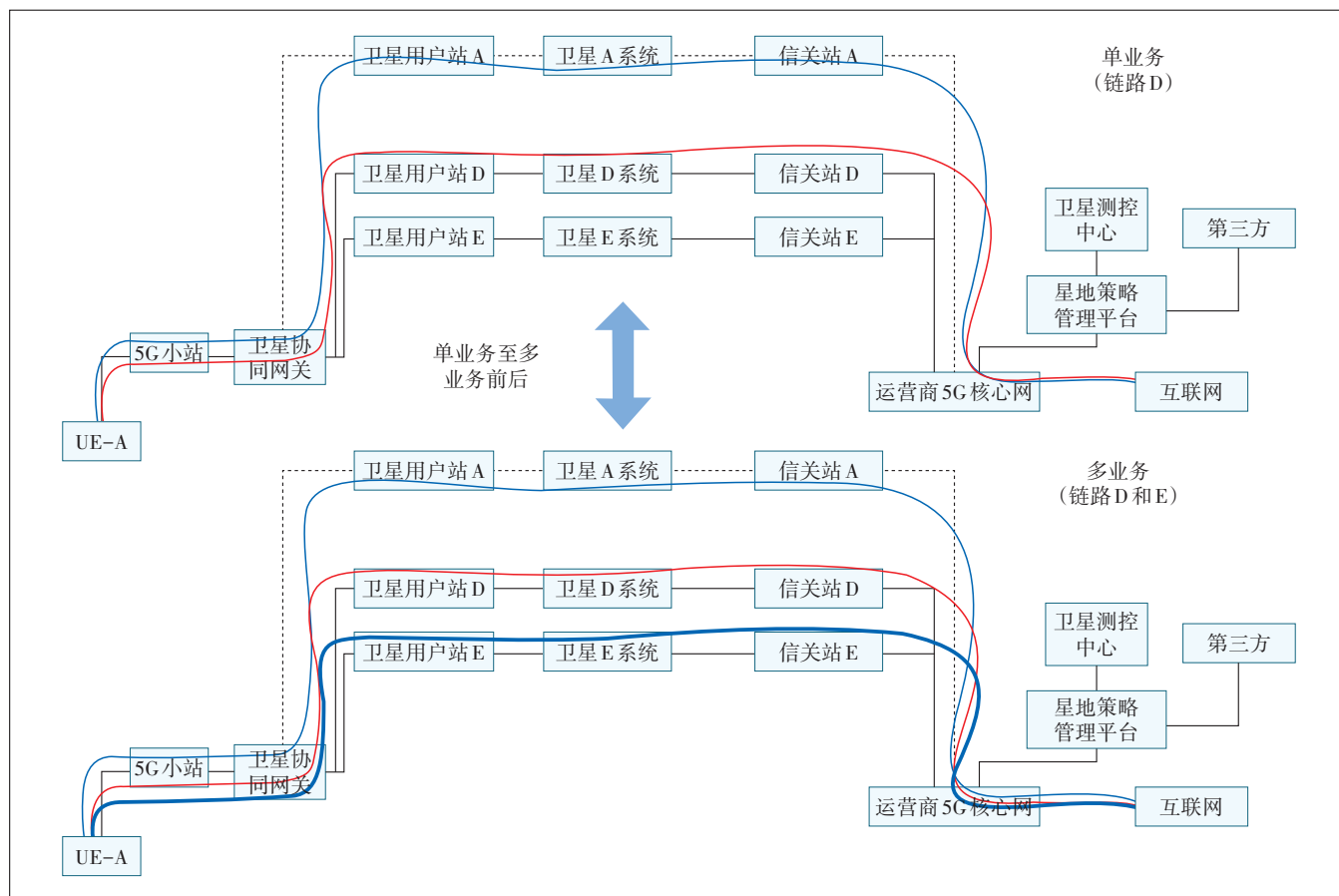


图8 单业务至多业务卫星链路切换前后示意

- [2] 3GPP. Study on using satellite access in 5G: 3GPP TR 22.822 [S/OL]. [2023-01-05]. [ftp://ftp.3gpp.org/Specs](http://ftp.3gpp.org/Specs).
- [3] ITU. Key elements for integration of satellite systems into next generation access technologies[R]. Geneva:ITU, 2019.
- [4] IMT-2030(6G)推进组. 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R/OL]. [2023-01-05]. https://www.xdyanbao.com/doc/gde13jnbhh?bd_vid=7215432984726359981.
- [5] 中国联通. 中国联通空天地一体化通信网络白皮书[R/OL]. [2023-01-05]. <https://www.docin.com/p-2472026005.html>.
- [6] 王光全,朱斌,李红五,等. 5G 网络能力开放关键技术与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2021.
- [7] LIN L,ZHU B,WAMH Q Q,et al. A novel 5G core network capability exposure method for telecom operator[C]//2020 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom). Exeter, United Kingdom:IEEE, 2020: 1450-1454.
- [8] 朱斌,胡悦,王光全. 空天地海协同应用综述[J]. 移动通信, 2021, 45(5):47-52.
- [9] 郑重,缪中宇,郑寒雨,等. 卫星通信与地面 5G 融合发展路线探讨[J]. 航天器工程, 2021, 30(5): 115-124.
- [10] 汪春霆,翟立君,卢宁宁,等. 卫星通信与 5G 融合 关键技术与应用[J]. 国际太空, 2018(6):11-16.
- [11] 王柏岩,韩笑冬,刘治军,等. 低轨卫星接入网与 5G 系统融合网络架构及关键技术分析[C]//第十六届卫星通信学术年会论文集. 北京:中国通信学会, 2020:5-12.
- [12] 黄海. 卫星通信与 5G 融合关键技术与应用的研究[J]. 中国军转民, 2020(15):63-64.
- [13] 林彬,张治强,韩晓玲,等.“空天地海”一体化的海上应急通信网络技术综述[J]. 移动通信, 2020, 44(9): 19-26.
- [14] 唐飞龙,徐明伟,李克秋,等. 软件定义的天地一体化信息网络[J]. 中国计算机学会通讯, 2018, 14(3):63-67.

作者简介:

刘丹丹,毕业于中国人民大学,高级工程师、高级人力资源师,硕士,主要从事网络规划、技术经济研究、人力资源管理等工作;朱斌,毕业于北京邮电大学,教授级高级工程师,主要从事5G网络能力开放、天地一体化新技术及创新业务研究工作;胡悦,毕业于西安电子科技大学,工程师,主要从事核心网及星地网络融合、5G 消息相关领域研究工作;林琳,毕业于北京邮电大学,高级工程师,主要从事5G网络能力开放、天地一体化新技术及创新业务产品研究工作;王泽林,高级工程师,硕士,主要从事IP技术研究、IP网络与设备研究及应用工作;王光全,毕业于南京邮电大学,教授级高级工程师,主要从事光通信、量子加密通信等领域研究工作。