

基于低轨物联网星座的星地融合技术及窄带业务研究

刘善彬, 朱 斌, 邢楷初, 吴 琼, 王泽林

(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048)

摘要: 随着北斗短报文的推广应用, 基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络技术也在快速发展, 为窄带数据的泛在传输提供了通道。针对物联网传感数据、短消息数据两类窄带数据业务的泛在传输需求, 提出基于低轨物联网卫星系统的天地一体化网络结构、关键技术及通信流程, 该方案不仅可作为除北斗短报文外的第二条通信通道, 更能在B2B/B2C端带来更丰富的传输能力和业务体验。

关键词: 低轨物联网卫星; 星地融合; 窄带数据传输

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.tdyt2025063

Research on space-ground integration technology and narrowband services based on low orbit IoT constellations

Liu Shanbin, Zhu Bin, Xing Kaichu, Wu Qiong, Wang Zelin

China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China

Abstract: With the promotion and application of Beidou short message, the space-ground integrated network technology based on low orbit IoT satellite system is also developing rapidly, which provides a channel for ubiquitous transmission of narrowband data. To meet the ubiquitous transmission requirements of two types of narrowband data services, IoT sensor data and short message data, a space-ground integrated network architecture, key technology and communication process based on low orbit IoT satellite system are proposed, this solution can not only serve as a second communication channel besides Beidou short message, but also bring richer transmission capabilities and service experiences to both B2B and B2C ends.

Key words: low orbit IoT satellite, space-ground integration, narrowband data transmission

0 引言

近年来, 低轨物联网卫星通信快速发展, 为实现天地一体化提供了可能。低轨物联网卫星系统通过部署大量卫星, 可实现包括两极地区在内的全球无缝覆盖, 这弥补了地面移动通信系统在偏远地区覆盖不足的问题。相比高轨卫星, 低轨物联网卫星距离地面更近, 传输时延更低、终端功率更小。作为窄带数据的重要载体, 低轨物联网卫星能够为各类终端提供泛在接入服务。

3GPP也从R17开始引入对基于非地面网络的物联网(IoT over non-terrestrial network, IoT NTN)的研究, 并对

时间和频率同步增强技术、终端多普勒频移补偿、馈线链路切换等技术进行了深入分析; R18仍以透明转发模式增强技术研究为主, 对去使能混合自动重传请求(hybrid automatic repeat request, HARQ)、移动性增强等问题进行了研究; R19开始重点考虑对再生模式进行研究, 针对IoT终端能力提升、星上处理等关键问题, 对星上存储转发处理、上行容量增强、高功率终端等方面进行了重点研究; R20加入了对6G NTN的支持及许多其他功能增强和新特性的研究, 提出具有超高密度超低地球轨道(very low earth orbit, VLEO)星座的NTN将成为6G网络的一部分, 并在确保通信接入服务的高度灵活性方面发

收稿日期: 2025-12-29; 修回日期: 2026-05-16

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(No.2022YFB2902503)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFB2902503)

挥关键作用^[1-9]。

低轨物联网卫星系统作为地面蜂窝网络的延伸，具有全球覆盖、受天气和地理影响小、抗毁性强等特点，特别适用于农业、物流跟踪、海上运输、石油和天然气工业勘探、公用事业、建筑和政府等领域，与地面蜂窝系统协同后，可为泛在场景提供数据互联互通服务。目前，全球多个国家已部署了商业物联网卫星网络，并且正处于快速发展当中，物联网卫星用户规模也持续飙升^[10-12]。

1 基于低轨物联网卫星系统的星地融合通信

1.1 基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络架构

目前终端直连低轨卫星技术分为新无线非地面网络（new radio non-terrestrial network, NR NTN）和IoT NTN两种，基于3GPP NTN的手机终端直连卫星技术也在不断研究和完善中^[13-16]。在低轨物联网卫星领域，目前的现实情况是国内外有多个低轨物联网卫星星座，各物联网卫星公司均有自身的规划和目标，且其内部协议多使用私有协议，并未与国际标准接轨，在此情况下，如何实现低轨物联网卫星星座和地面运营商网络之间的互联互通是本文研究的重点。由于低轨物联网卫星网络系统和地面运营商网络系统是两套独立的通信网络体系，且低轨物联网卫星系统内的标准和协议体系与地面运营商网络的标准协议体系往往互不兼容，因此在现阶段，快速实现两张网络互联互通的一种方式是在两张网络之间增设天地一体互通节点，通过该互通节点实现双网的信令互通与媒体互通，基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络架构如图1所示。这种融合通信方式在现阶段是运营商和低轨物联网卫星公司共同研究和落地的方向，同时也能为双方带来更广阔的应用空间。

（1）低轨物联网卫星系统：由用户段、空间段、地面段

器、射频识别（radio frequency identification, RFID）、无线传感网络等能随时随地采集物联数据的设备，或是集成了卫星通信模组的多模手机终端。空间段（即低轨物联网星座）在若干轨道平面上部署多颗卫星，由通信链路将多个轨道平面上的卫星有序组网，形成物联网卫星星座，在地球表面形成蜂窝状服务小区，服务区内用户至少被一颗卫星覆盖，用户可随时接入系统。地面段主要由信关站、卫星核心网、应用支撑平台等组成，完成卫星数据的接入和分发、用户的接入鉴权、连接管理、移动性管理、卫星可见性预测、路由规划、路由调度、网元管理等功能，确保高效完成数据从接入到分发的各个关键业务流程，并具备对外通信接口预留能力。

（2）天地一体互通节点：实现物联网卫星网络和地面运营商网络的桥接，具备信令互通、媒体互通能力。可对物联网传感数据、短消息数据两类数据进行分类并存储，对超长短消息进行判别、拆分（合并）、编号和打包处理；可对物联网卫星网络和地面运营商网络双方的协议进行识别、转换和适配，完成数据解析及重新封装，适配不同场景下的数据融合需求，解决数据异构问题。

（3）地面运营商网络：提供外部网络接入和管理能力，对用户业务进行识别和鉴权，具备物联网传感数据的传输、汇聚及管理的能力，并能向第三方平台提供数据服务。此外，支持短消息的多种接入方式，可实现短消息的双向传输。

1.2 基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络通信业务及模式

目前低轨物联网卫星系统自成体系，物联网卫星终端多数也仅能适配低轨物联网卫星系统。当低轨物联网卫星系统与地面运营商网络融合为星地融合网络后，按照终端能否适配地面运营商网络，可将终端分为支持插入运营商SIM卡和不支持插入运营商SIM卡两类；而低轨物联网卫

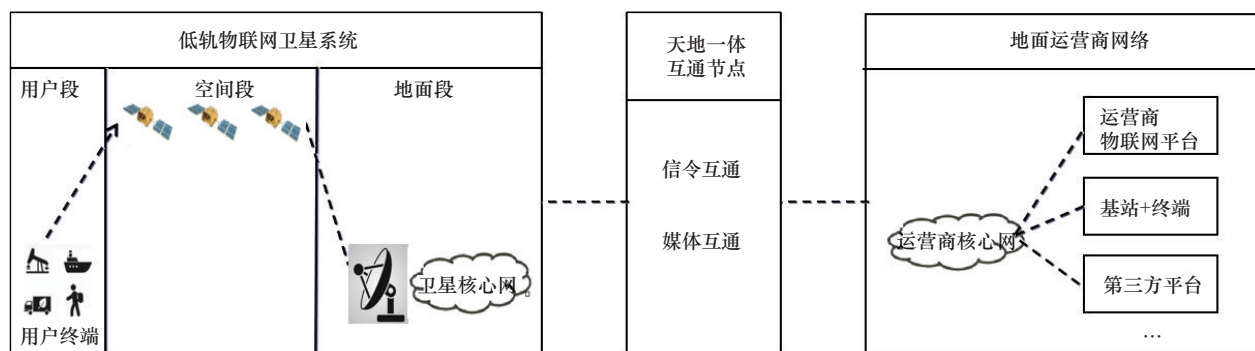


图1 基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络架构

星目前支持的低速窄带业务也可分为物联网传感数据、短消息数据两类,因此共形成以下4类通信业务模式。

(1) 支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输

支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输过程如图2所示,HLR表示归属位置寄存器(home location register)。

终端接入时支持多种鉴权方式,一种是终端鉴权信息在卫星网络内透明传输,由地面运营商网络执行通用引导架构(generic bootstrapping architecture, GBA)鉴权;另一种是终端在物联网卫星网络系统内进行一次鉴权,再在地面运营商网络系统内通过运营商号卡信息完成二次鉴权。鉴权完成后,物联网数据由卫星网络发送至天地一体互通节点,并推送至地面运营商网络。

(2) 不支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输

不支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输过

程如图3所示。

低轨物联网卫星公司以网络服务提供者(service provider, SP)的身份接入地面运营商网络,通过自身的卫星终端ID识别终端;运营商为其分配物联网虚拟ID,并在天地一体互通节点建立运营商虚拟ID和卫星终端ID的映射对照表。在运营商系统的所有往返信令流程中,均包含物联网卫星网络SP号、运营商虚拟ID和卫星终端ID。

(3) 支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输

支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输过程如图4所示,UDM表示统一数据管理(unified data management)。

终端须支持短消息的收发与显示功能,并支持多种接入鉴权方式:一种方式是终端鉴权信息在卫星网络内透明传输,由地面运营商网络执行GBA鉴权;另一种方式是终端在物联网卫星网络系统内进行一次鉴权,再在

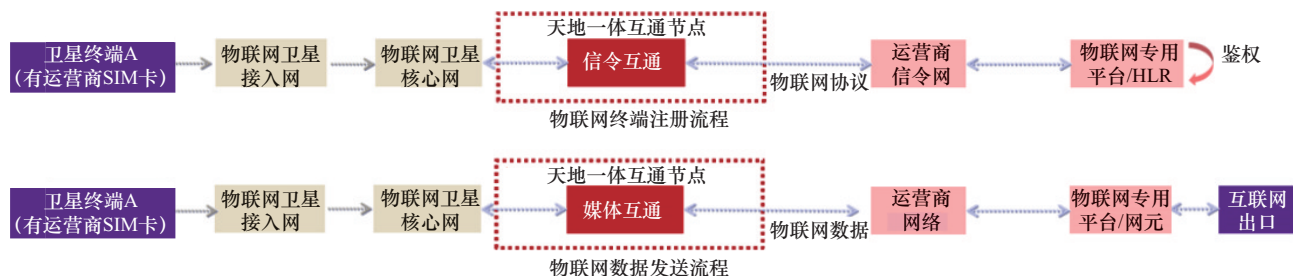


图2 支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输过程

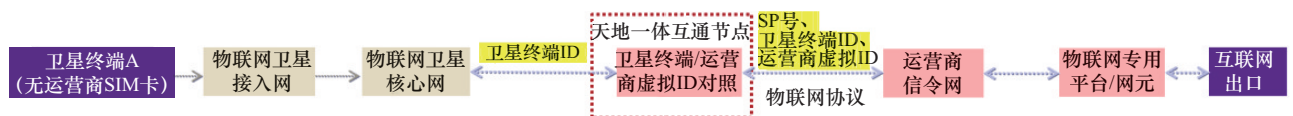


图3 不支持插入运营商SIM卡终端的物联网数据传输过程

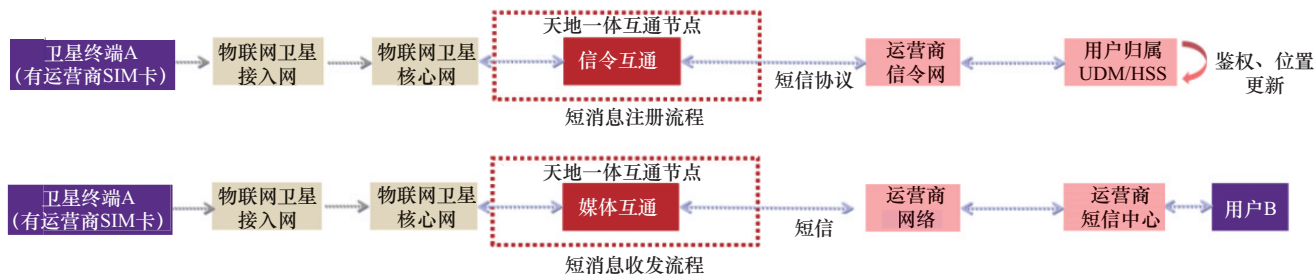


图4 支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输过程

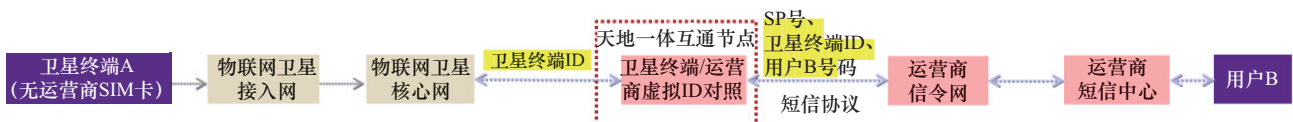


图5 不支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输过程

运营商网络系统内通过运营商号卡信息完成二次鉴权和位置更新。鉴权完成后,即可实现短消息数据的双向传输。

(4) 不支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输

不支持插入运营商SIM卡终端的短消息数据传输过程如图5所示。

天地一体互通节点将物联网卫星网络SP号、卫星终端ID和用户B号码进行封装后,发送至地面运营商网络;地面运营商网络系统的所有往返信令流程均携带以上3类编号,用于主被叫信息识别。

1.3 基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络通信流程

基于以上4类业务通信模式,可将星地融合网络下面向物联网数据、短消息数据两类窄带业务的通信流程归纳如下。

(1) 支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程

支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程如图6所示。

1) 物联网卫星系统将含有“主叫设备ID+主叫号码+被叫号码”头部的消息体发送至天地一体互通节点,天地一体互通节点对消息进行解析后,根据载荷标志位区分消息类型(物联网传感数据或短消息数据)。

若物联网卫星侧发送的消息为物联网数据,则将含有“设备ID+号码A”头部的消息体发送至运营商信令网并传送至运营商物联网专用平台进行鉴权,而后完成物联网数据分发。

若物联网卫星侧发送的消息为短消息数据,则先判别消息体头部“主叫设备ID+号码A+号码B”的完整性,

再按照运营商的短消息长度要求对短消息进行拆分和编号,之后将短消息发送至运营商信令网,并根据主叫号码A进行鉴权,鉴权完成后将含有“主叫号码A+被叫号码B”头部的消息体发送至运营商短信中心,最终送达用户B。

2) 若收到运营商侧发送的消息,首先判定消息体头部信息“号码A+号码B”是否完整,再对消息体进行合并;将含有完整头部信息的消息体经协议格式与报文格式转换后发送至物联网卫星系统,物联网卫星系统收到信息后,根据号码A将消息发送至相应终端,至此完成短消息的双向传输。

(2) 不支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程

不支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程如图7所示。

1) 物联网卫星系统将消息体发送至天地一体互通节点,天地一体互通节点对消息进行解析后,根据载荷标志位区分消息类型(物联网传感数据或短消息数据)。

若物联网卫星侧发送的消息为物联网数据,则根据自身的物联网数据对照表,在消息体中增加运营商物联网虚拟ID,形成“补充SP号+设备ID+运营商虚拟ID”的消息头部,发送至运营商信令网完成数据分发。

若物联网卫星侧发送的消息为短消息数据,则根据“SP号+主叫设备A的ID+用户B”的格式要求补全消息体头部,发送至运营商信令网进行鉴权,鉴权完成后,将含有“SP号+主叫设备A的ID+用户B”头部的消息体按运营商短消息长度要求进行拆分和编号,随后发送至运营商行业短信网关和短信中心,最终送达用户B。

2) 若收到运营商侧发送的消息,首先判定消息体头

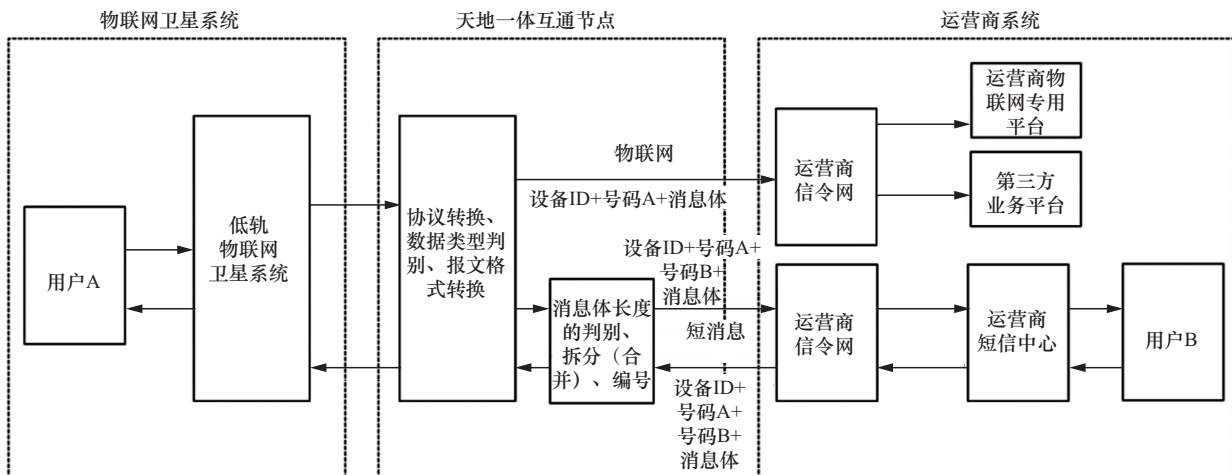


图6 支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程

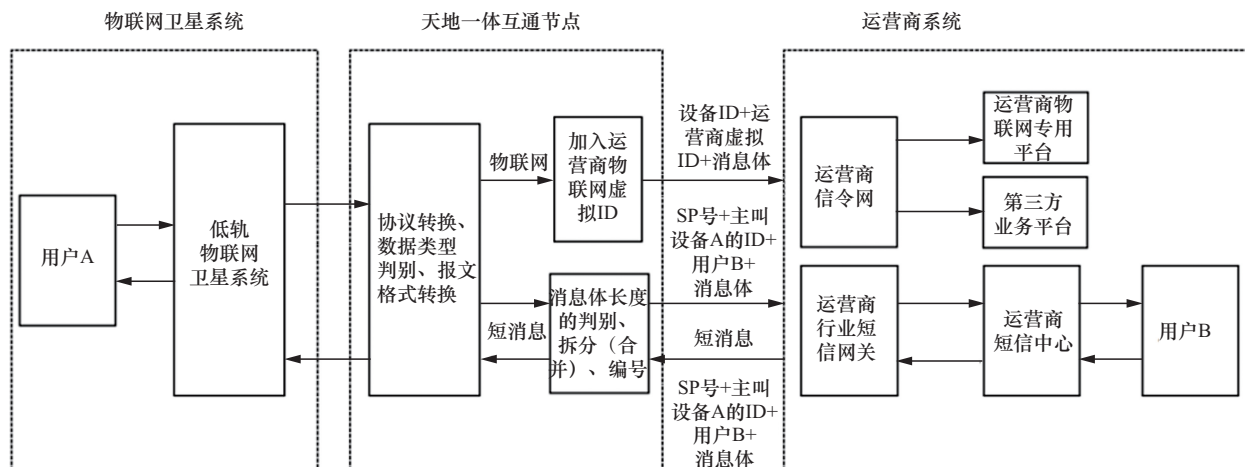


图7 不支持插入运营商SIM卡终端的窄带业务流程

部信息“SP号+主叫设备A的ID+用户B”是否完整；将含有完整头部信息的信息体进行合并，再经协议格式、报文格式转换后发送至物联网卫星系统，物联网卫星系统收到信息后，根据主叫设备A的ID信息将消息发送至相应的终端，至此完成短消息的双向传输。

2 基于低轨物联网卫星系统的星地融合通信关键技术

目前，基于低轨物联网卫星系统的星地融合通信正处于不断试验和完善的阶段，其首要前提是要通过发射数十颗甚至数百颗小型低轨物联网卫星，构建覆盖全球的物联网卫星网络。此外，星地融合过程中涉及的关键技术也不胜枚举^[17-21]，在此列举几个主要的关键技术方向。

2.1 协议兼容

由于低轨物联网卫星系统内部的私有协议及接口协议存在不确定性，需要对低轨物联网卫星系统、地面运营商网络系统的接口协议进行识别，完成异构协议的转换和适配，实现数据解析及重新打包，适配不同场景下的数据融合需求，解决数据异构问题。后续还须设计适配天地一体化网络的协议体系以满足业务及网络的通信要求。

2.2 切换技术

卫星或终端移动带来的切换主要分为2类。

(1) 卫星系统内的切换。对于低轨物联网卫星系统，其相对地面位置快速变化，终端被同一颗卫星连续覆盖的时间仅为十几分钟；对于采用多波束的低轨物联网卫星，同一波束连续覆盖终端的时间仅为几分钟，因此，卫星间或波束间的切换必须快速执行，并避免切换过程

中数据丢失。

(2) 卫星系统和运营商系统间的切换。一种场景是当终端进入单一网络覆盖区域（如沙漠仅存卫星信号、城市仅地面基站覆盖）时，系统自动执行网络强制切换；另一种场景是终端处于混合覆盖区域，即终端同时处于地面与卫星双重覆盖时，通过服务质量（quality of service, QoS）评估算法实时选择最优链路^[22]。

2.3 可靠及安全技术

需要整合低轨卫星星座（覆盖广、低时延）、地面核心网（高处理能力）与物联网终端（传感器、控制器等），通过模块化设计实现灵活组网与快速部署。在极端环境（如灾害场景）下，须采用多种技术确保网络抗毁性与服务连续性，例如星间链路冗余技术，即利用多条独立通信路径构建备份通道，通过星间激光/微波链路互联形成网状拓扑结构，使任意两颗卫星存在大于等于2条传输路径，当单链路故障时可瞬时切换至备用路径维持通信。

同时，通过实时监测卫星链路状态与地面设备运行情况，结合星地协同流量重定向等自适应修复机制，应对节点失效或恶意攻击导致的网络中断。

3 基于低轨物联网卫星系统的星地融合应用

基于低轨物联网卫星系统的星地融合网络为窄带业务的泛在通信及应用创造了条件，其主要应用场景覆盖陆海空天等领域，可分为大众消费和行业应用两大类，并广泛应用于海洋通信、电力、金融、农业、物流以及偏远地区通信等场景。

(1) 大众消费

探险旅游：双网融合系统能够提供全球覆盖的通信

服务,在探险旅游场景下,用户可通过物联网卫星获得连续的通信支持,无须更换SIM卡、手机号即可进行卫星通信,为徒步旅行、休闲户外等轻度探险旅游运动,以及登山、攀岩、滑翔、航海等重度探险旅游活动提供通信保障。

应急通信:在地震、洪水、台风等灾害场景下,双网融合系统可以构建立体式、多平面、广覆盖的应急保障体系,提升保障能力,扩大应急覆盖范围,使受灾人员快速获得营救。

(2) 行业应用

农业监测:在无地面通信覆盖的区域,土壤湿度、温度、作物生长状况等各类监测数据可以汇聚至物联网卫星终端并通过星地融合网络进行数据回传,帮助提高农业生产效率和可持续性。双网融合系统可在耕地保护动态监测、粮食作物监测、土地利用规划、病虫害监测、气象自然灾害监测等农业领域发挥重要技术支撑作用。

海事应用:在光纤难以覆盖的海洋领域,远洋大型船只、近海工作船只、浮标/航标、码头、渔场、跨海大桥、航道、锚地等多类目标的监测数据,可通过物联网卫星终端作为数据回传入口,并经星地融合网络回传至指挥中心,保障海洋安全。

能源管理:在油气田、风力发电场等能源设施中,物联网卫星可以对各类能源传感设备的数据进行回传,在双网融合的地面中心实现对各类数据的远程监控和统一纳管,保障能源设施的安全和运行效率,同时缩短事故发生后的应急响应时间。

4 结束语

随着低轨物联网星座的不断完善,物联网卫星系统和地面网络系统将在覆盖、业务、用户、体制、系统等层面持续深化融合。基于低轨物联网星座的星地融合网络架构和关键技术也将随着场景需求的增多而逐步推广应用,形成更多网络参与、更大范围覆盖的物联通信网络^[23-25]。

本文聚焦基于低轨物联网卫星系统的星地融合组网技术和应用需求,围绕星地融合的融合组网场景需求、网络架构和关键技术提出了一种双网快速融合的实现方案,并针对物联网传感数据、短消息两类窄带数据业务,描述了其在融合网络中的通信方式和通信流程,为后续星地融合网络的发展提供了技术路径。该融合通信方式是现阶段运营商和低轨物联网卫星公司共同研发和落地的方向,同时可为双方开拓更广阔的应用空间。

参考文献

- [1] IMT-2030(6G)推进组. 6G总体愿景及潜在关键技术白皮书[Z]. 2021.
IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G white paper on overall vision and potential key technologies[Z]. 2021.
- [2] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks(NTN): TR38.821 v16.2.0[S].2023.
- [3] 3GPP. System architecture for the 5G System(5GS): TS23.501 v18.1.0[S].2023.
- [4] 3GPP. NR and NG-RAN overall description; Stage-2: TR38.300 v17.5.0[S]. 2023.
- [5] 3GPP. E-UTRA; User equipment (UE) procedures in idle mode (Release 18): TS 36.304 V18.2.0[S].2024.
- [6] 3GPP. E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2 (Release 18): TS 36.300 V18.4.0[S]. 2024.
- [7] 3GPP. RP-233261: Summary for Rel-18 IoT NTN enhancements[R]. 2023.
- [8] ZTE, Sanechips. 3GPP R2-2404884: Consideration on enhanced early data transmission in IoT NTN[R].2024.
- [9] Offline Session Moderator. 3GPP RP-232621: Moderator's summary for REL-19 RAN2 topic NTN for IoT[R]. 2023.
- [10] 蒋长林, 李清, 王羽, 等. 天地一体化网络关键技术研究综述[J]. 软件学报, 2024, 35(1): 266-287.
Jiang C L, Li Q, Wang Y, et al. Survey on key technologies in space-ground integrated network[J]. Journal of Software, 2024, 35 (1): 266-287.
- [11] 黄韬, 刘江, 汪硕, 等. 未来网络技术与发展趋势综述[J]. 通信学报, 2021, 42(1): 130-150.
Huang T, Liu J, Wang S, et al. Survey of the future network technology and trend[J]. Journal on Communications, 2021, 42(1): 130-150.
- [12] 王朝宇. 天地一体化物联网接入与传输关键技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2022.
Wang C Y. Research on key technologies of Internet of things access and transmission with space-ground integration[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2022.
- [13] 张更新, 廖磊瑶, 何元智. 面向空天地海一体化的卫星通信关键技术研究[J]. 电信科学, 2024, 40(6): 11-24.
Zhang G X, Liao L Y, He Y Z. Study on the key technologies of satellite communication for space-air-ground-sea integration[J]. Telecommunications Science, 2024, 40(6): 11-24.
- [14] IMT-2030(6G)推进组. IMT-2030(6G)推进组正式发布《6G总体愿景与潜在关键技术》白皮书[J]. 互联网天地, 2021(6): 8-9.
IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G overall vision and potential key technologies white paper released[J]. China Internet, 2021(6): 8-9.
- [15] 孙耀华, 许宏涛, 彭木根. 手机直连低轨卫星通信: 架构、关键技

- 术和未来展望[J]. 移动通信, 2024, 48(1): 103-110.
- Sun Y H, Xu H T, Peng M G. Direct-to-mobile low earth orbit satellite communication: architecture, key technologies, and future perspective[J]. Mobile Communications, 2024, 48(1): 103-110.
- [16] 孙耀华, 彭木根. 面向手机直连的低轨卫星通信: 关键技术、发展现状与未来展望[J]. 电信科学, 2023, 39(2): 25-36.
- Sun Y H, Peng M G. Low earth orbit satellite communication supporting direct connection with mobile phones: key technologies, recent progress and future directions[J]. Telecommunications Science, 2023, 39(2): 25-36.
- [17] 吴炆, 胡谷雨, 金凤林, 等. 卫星网络组网关键技术[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(2): 88-100.
- Wu Y, Hu G Y, Jin F L, et al. Key technologies of satellite networks[J]. Command Control & Simulation, 2022, 44(2): 88-100.
- [18] 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.
- [19] 黄思奇, 曾德泽, 李跃鹏, 等. 天空地融合网络架构与传输优化技术[J]. 天地一体化信息网络, 2023, 4(2): 62-70.
- Huang S Q, Zeng D Z, Li Y P, et al. Space-air-ground integrated network architecture and transmission optimization technology[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2023, 4(2): 62-70.
- [20] 朱沁雨, 曹延华, 陶海成, 等. 低轨星座网络拓扑的抗毁性研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(17): 1-12.
- Zhu Q Y, Cao Y H, Tao H C, et al. Research progress on survivability of low-orbit constellation network topology[J]. Computer Engineering and Applications, 2022, 58(17): 1-12.
- [21] 李蕊. 基于SDN的卫星物联网接入与路由技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- Li R. Research on satellite Internet of things access and routing technology based on SDN[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2020.
- [22] 戴翠琴, 秦杰鹏, 许涛, 等. 基于QoS保障的低轨卫星星座设计[J]. 中国空间科学技术, 2023, 43(3): 105-115.
- Dai C Q, Qin J P, Xu T, et al. LEO satellite constellation design based on QoS[J]. Chinese Space Science and Technology, 2023, 43(3): 105-115.
- [23] 李锐, 林宝军, 刘迎春, 等. 激光星间链路发展综述: 现状、趋势、展望[J]. 红外与激光工程, 2023, 52(3): 125-139.
- Li R, Lin B J, Liu Y C, et al. Review on laser intersatellite link: Current status, trends, and prospects[J]. Infrared and Laser Engineering, 2023, 52(3): 125-139.
- [24] 周兵, 刘红军. 国外新兴商业低轨卫星通信星座发展述评[J]. 电讯技术, 2018, 58(9): 1108-1114.
- Zhou B, Liu H J. Development review of foreign emerging com-

mercial LEO satellite communication constellations[J]. Telecommunication Engineering, 2018, 58(9): 1108-1114.

- [25] 杨冠男, 李文峰, 张兴敢. 天地一体化信息网络协议体系与传输性能简析[J]. 中兴通讯技术, 2016, 22(4): 39-45.

Yang G N, Li W F, Zhang X G. Network protocol system and transmission performance of integrated space and terrestrial information network[J]. ZTE Technology Journal, 2016, 22(4): 39-45.

[作者简介]



刘善彬 (1982-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络能力开放、天地一体化新技术跟踪研究及产品创新。



朱斌 (1980-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要研究方向为5G网络能力开放、天地一体化新技术跟踪及创新业务产品研究。



邢楷初 (1994-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为天地融合网络、异网漫游等。



吴琼 (1983-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为6G、空天地一体化关键技术及创新业务。



王泽林 (1983-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要研究方向为空地一体化关键技术、激光通信及创新业务。