

空天地一体化网络地面 运营业务发展策略研究

Research on Development Strategy of Ground Operators in Integrated Air-Space-Ground Networks

刘威,刘亚楠(中国联通研究院,北京 100048)

Liu Wei, Liu Yanan (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

空天地一体化网络具有覆盖范围广、不受地理条件限制、高可靠性等优势,可以消除通信盲区,满足用户随时随地接入需求。在概述空天地一体化网络架构的基础上,分析了星地融合的主要应用场景,包括卫星回传和手机直连卫星。归纳总结了国内外空天地一体化网络建设布局和运营模式,探讨了地面运营商在一体化网络中的未来发展方向,为我国地面运营商布局一体化网络提供参考。

关键词:

空天地一体网络;星地融合;卫星运营

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.10.010

文章编号:1007-3043(2024)10-0049-05

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:

Integrated air-space-ground networks have the advantages of wide coverage, no geographical limitations, and high reliability, which can eliminate communication blind spots and meet the needs of users for anytime, anywhere access. Based on an overview of the architecture of integrated air-space-ground networks, it analyzes the main application scenarios of satellite-ground integration, including satellite backhaul and direct satellite connection for mobile phones. It summarizes the construction layout and operational models of integrated air-space-ground networks at home and abroad, and explores the future development direction of ground operators in integrated networks, which provides reference for the deployment of integrated networks by ground operators in China.

Keywords:

Integrated air-space-ground networks; Satellite-ground integration; Satellite operations

引用格式:刘威,刘亚楠.空天地一体化网络地面运营业务发展策略研究[J].邮电设计技术,2024(10):49-53.

1 概述

覆盖全球的空天地一体化网络具有全方位、多层次、全天候的优势^[1],对于解决偏远地区网络覆盖、应急通信、促进经济发展、维护国家安全具有重要意义。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出要打造全球覆盖、高效运行的通信、导航、遥感空间基础设施体系。《“十四五”信息通信行业发展规划》指出要推进卫星通信系统与地面通信系统深度融合,初步形成覆盖全球、

天地一体的信息网络,为陆海空天各类用户提供全球信息网络服务。近年来,手机直连卫星成为新热点,空天地一体化网络可作为地面蜂窝网络的补充,为地面运营商增加收入^[2];但卫星建设需要投入大量资金且后续需定期更新星座,同时卫星运营需要取得电信业务资质和无线电频率使用许可。因此地面运营商应在空天地一体化网络的建设浪潮下,抓住机遇,迎接挑战。

本文首先分析了空天地一体化网络,包括空基、天基、地基;然后分析了国内外运营商在空天地一体化网络中的商业模式和战略布局;最后探讨了地面运营商在未来空天地一体化网络中的发展方向。

收稿日期:2024-08-16

2 空天地一体化网络

2.1 空天地一体化网络架构

空天地一体化网络由空基、天基、地基网络组成,如图1所示。天基网络由地球静止轨道(GEO)卫星、中地球轨道(MEO)卫星、低地球轨道(LEO)卫星和地面信关站组成,端到端时延分别为500 ms、150 ms、25 ms左右,低轨卫星时延相对较小,可以满足各类业务需求,是融合组网主要考虑的对象,中高低轨卫星主要负责传统的卫星广播业务^[3]。空基网络由高空通信平台(High Altitude Platform Station, HAPS)(包括搭载活动基地的无人机、飞艇、热气球等)构成,HAPS部署在距地面20~50 km的高度上,与基站固定的地基网络相比,具有覆盖范围广、易部署、移动灵活的优势^[4]。地基网络由地面互联网、移动通信网等组成^[5],可以为用户提供高数据传输速率。

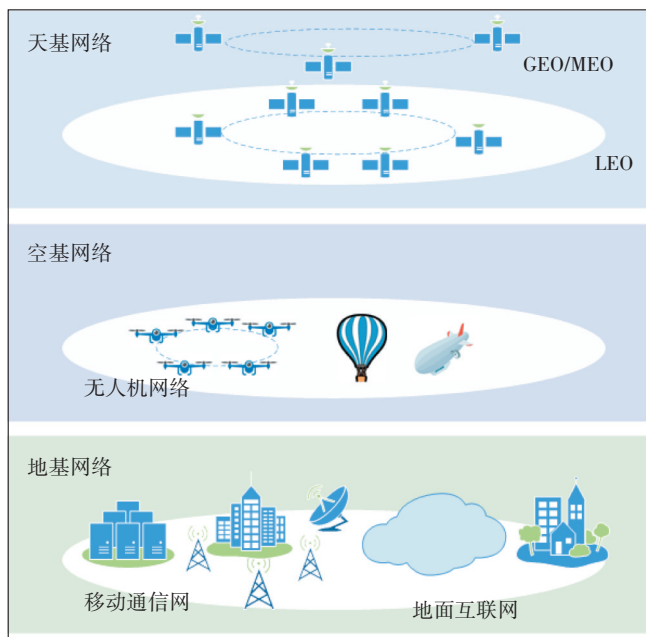


图1 空天地一体化网络架构

2.2 星地融合应用场景

未来,主要由低轨卫星构成的天基网络有望与地基网络有效融合^[6],即星地融合,作为地面网络覆盖补充和应急通信备份,从而满足用户集中和随机接入需求。星地融合应用场景按连接方式可分为2种:卫星回传和手机直连卫星。

2.2.1 卫星回传

采用4G/5G/Wi-Fi等接入形式,通过卫星用户站

间接连接卫星。用户终端接入地面基站,卫星网络将来自基站的数据流最终回传到核心网^[7],卫星网与地面网架构、体制、频率相互独立。其网络架构如图2所示。该连接方式适用于难以部署有线光纤网络的偏远地区或用户密集区域。

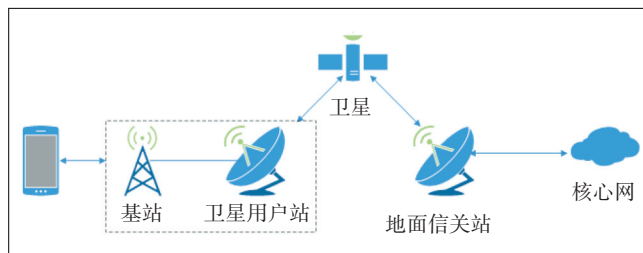


图2 卫星回传网络架构

2.2.2 手机直连卫星

3GPP开展了关于非地面网络(non-terrestrial network, NTN)与地面网络融合的标准化研究,可支持手机直连卫星,包括透明转发和可再生载荷2种模式^[8]。

a) 透明转发。卫星不改变来自手机终端的信号波形,通过馈电链路将其转发到地面信关站,继而接入地面蜂窝网。卫星网与地面网的空口体制和频率融合,其网络架构如图3所示。适用于信关站辐射范围内的偏远地区个人用户应急通信、无地面网络覆盖区域的补充覆盖。

b) 可再生载荷。可再生载荷模式下的卫星具有部分或全部基站功能,即“基站上星”,卫星可搭载星间链路。卫星对来自手机终端的信号做编码解码、解调调制等处理,可通过星间链路对其进行路由转发,最终通过馈电链路将其转发到地面信关站,继而接入地面核心网。卫星网与地面网的空口体制和频率融合,其网络架构如图4所示,这种模式适用于全球无缝覆盖和个人应急通信。

3 一体化网络建设与运营

3.1 低轨卫星星座建设

低轨卫星在空天地一体化网络中具有广阔应用潜力,且卫星频谱和轨道资源的获取采取先到先得原则^[9],因此各国纷纷开展低轨卫星星座建设工作,加速抢占轨道和频谱资源。我国已成立中国卫星网络集团有限公司,负责整合和统筹我国的低轨卫星星座计划,计划在590~1 145 km轨道高度上部署12 992颗卫星,提供卫星互联网服务。

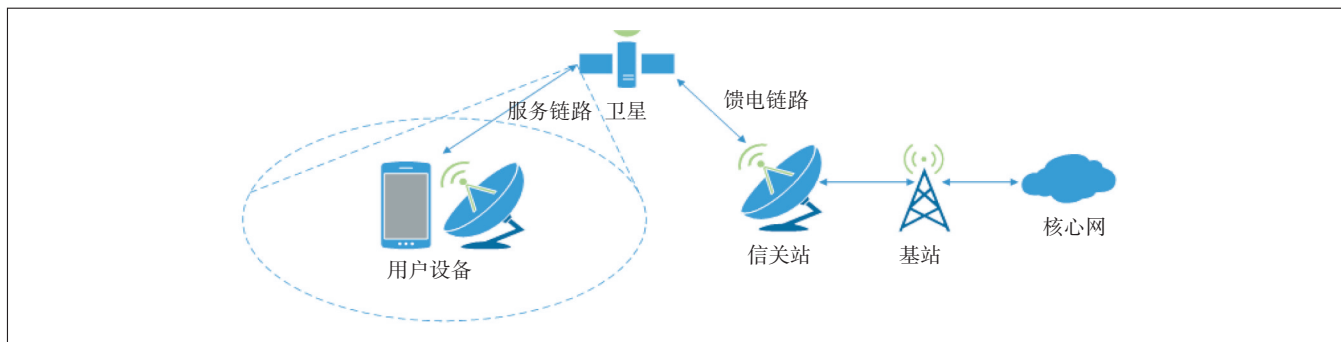


图3 透明转发网络架构

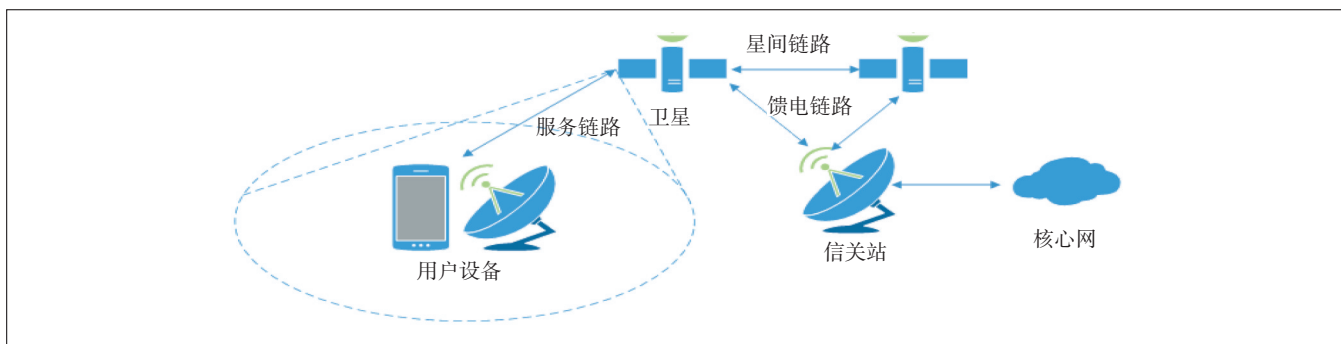


图4 可再生载荷网络架构

SpaceX 的 Starlink 星座计划将在 330 km、550 km、1 130 km 轨道高度上部署近 12 000 颗卫星^[10], 为全球范围内用户提供高速、低延迟宽带互联网服务。截至 2023 年 7 月, 星链已完成 95 批次 4 836 颗卫星的发射, 目前卫星基于透明转发模式提供服务, 正在开展激光星间链路测试, 使得卫星能够不依赖地面站传输数据, 真正实现全球覆盖。到 2023 年 5 月, 星链已进入 53 个国家, 服务用户数突破 150 万。星链系统总容量为 200~276 Tbit/s, 工作在 Ku、Ka、V 波段, 单个用户链路传输速率最高可达 1 Gbit/s, 每颗卫星可提供 17~23 Gbit/s 的下行容量, 链路传输时延为 20~25 ms。

OneWeb 公司的 OneWeb 星座计划将在 1 200 km 轨道高度上部署 6 372 颗卫星^[11], 第 1 阶段计划发射 648 颗卫星, 旨在为传统地面基础设施无法覆盖的偏远地区和航空、航海、物联网等领域提供广泛的通信服务。截至 2023 年 5 月, OneWeb 已完成 19 批次 634 颗卫星的发射, 这些卫星不搭载星间链路, 基于透明转发模式工作, 因此需要在地面设置足够多的信关站才能实现全球覆盖^[12]。卫星和信关站之间的链路采用 Ka 波段, 卫星和用户终端之间的链路采用 Ku 波段。OneWeb 单星上行接入速度约为 50 Mbit/s, 下行接入速

度约为 200 Mbit/s, 吞吐量约为 7.5 Gbit/s, 整个系统总吞吐量约为 6~7 Tbit/s, 链路传输时延约为 30 ms。

铱星计划最初由摩托罗拉公司研发和部署, 在 780 km 轨道高度上部署 66 颗卫星, 构建一个覆盖全球的卫星通信系统, 使人们能够在任何地方使用卫星电话进行通信。卫星与卫星间可通过星间链路使用 Ka 波段进行通信, 使用 L 频段和终端用户进行交互。每颗卫星最大传输速度可达到 128 kbit/s。铱星系统于 1998 年 11 月投入运营, 后盈亏失衡, 于 1999 年宣告破产, 后经过投资重组获得重生, 于 2017 年开始下一代卫星发射计划。目前已完成对第 1 代卫星的全面升级, 轨道高度不变, 卫星间通过星间链路互联。L 频段卫星通信传输速度最高可达到 1.5 Mbit/s, 用户链路增加 Ka 频段通信, 最高可实现 8 Mbit/s 的信息传输。第 2 代卫星配置软件定义可再生载荷, 支持对地成像、航空监视、导航增强、气象监视等功能^[13]。

3.2 运营模式及布局

广义的卫星运营可以划分为 4 个子环节: 卫星运营、地面系统运营、网络运营与服务提供, 依据参与环节的不同形成差异化的商业模式, 包括垂直一体化、分销合作、虚拟运营、独立运营 4 种模式^[14]。

3.2.1 垂直一体化

垂直一体化运营指卫星运营商自主运营卫星或租赁卫星容量,负责管理和运营地面网络/网关基础设施,直接向终端用户提供卫星服务,并从用户那里收取费用。垂直一体化可以被看作是一种面向消费者的商业模式,即B2C(Business-to-Customer)模式,在这种模式下,卫星运营商直接拥有最终用户,并且需要建立一个完善的业务支撑系统(Business Support System, BSS)来支持运营。

如Space X公司的垂直一体化运营模式。Space X集卫星制造、火箭发射、地面设备建设、业务运营于一体^[15],通过其建立的Starlink星座面向不同场景用户提供4种产品服务,分别为星链住户版、星链商业版、星链旅行版和星链海事版。用户需要支付相应的配套硬件设备费用和月租费用,从而享受对应的服务。

3.2.2 分销合作

分销合作运营是指一家公司拥有卫星和网络设施,但并不直接向用户提供服务,而是通过本地的分销商进行批发,利用它们的市场渠道和营销网络向用户提供本地化的服务。这种模式主要面向企业用户(Business-to-Business, B2B)。

国外地面运营商纷纷入局天地一体化,普遍与卫星运营商采用分销合作模式开展终端直连业务,进行偏远地区网络补盲。其中T-mobile、AT&T均使用自有频段与卫星公司合作开展了终端直连业务。

3.2.3 虚拟运营

虚拟运营是指卫星运营商将物理带宽出售给服务提供商,并将自有信关站的运营责任交给服务提供商;服务提供商需要自己开发业务支撑系统,组建网络,并通过分销渠道或直接销售将带宽提供给最终用户。在这种模式下,卫星运营商可以专注于卫星运营,服务提供商则负责管理地面设备系统以及根据自己的需求和目标来定制服务,因此服务提供商也被称为虚拟运营商。如联通航美与中国卫通合作建立了Ka链路运营平台,作为中国卫通的虚拟卫星运营商,开展近海和陆地卫星业务。

3.2.4 独立运营

独立运营是指卫星运营商将物理带宽出售给服务提供商,由服务提供商自己建设信关站及其他地面设备系统,卫星运营商只负责卫星运营,服务提供商提供除卫星运营外所有的服务。如中国交通通信信息中心完全代理Inmarsat在中国的运营。

4 地面运营商未来发展方向

卫星网络可以提供全球覆盖,但传输延迟较高、网络容量有限,在空中海洋等地面网络无法覆盖的偏远地区将以卫星通信为主;地面网络延迟较低且容量高,在城市和人口密集地区,以地面蜂窝网络为主为用户提供高速、稳定的通信服务。二者互为补充,可以满足不同地区和场景的通信需求。地面运营商发展空天地一体化网络具有如下益处。

a) 增加收入来源。空天地一体化网络可以为地面运营商提供新的增长点,增加收入来源,例如提供高速、稳定的互联网接入和增值服务等。

b) 拓展用户群体。天地一体化网络可以帮助地面运营商拓展用户群体,尤其是为偏远地区和发展中国家提供更广泛的互联网服务,增加用户数量和黏性。

c) 提高服务质量。空天地一体化网络可以提高地面运营商的服务质量,满足用户对高速、稳定互联网的需求,提高用户满意度。相比于卫星运营商,地面运营商参与天地一体化网络运营具有如下优势。

(a) 拥有丰富的传输、基带处理、数据计算和存储资源,并具备完善的网络配套设施。

(b) 具备广泛的用户基础,可以从现有用户中发展“卫星体验用户”,扩大卫星用户群体。

(c) 积累了多年的网络运营经验,拥有成熟的地面接入、传输网络、大数据处理和用户运营能力。

(d) 多年共用共享产业链的优势,有助于降低网络建设成本,推动技术演进。而卫星运营商不具备这种优势。

但地面运营商通常无法独立获取卫星频谱资源,需要政策和法规的支持;且卫星制造、发射和组网等过程需要大量技术和资金投入,面临技术挑战和成本压力,回报周期长且风险较高。

因此,地面运营商可以充分发挥其优势,与卫星运营商合作,将非地面网络作为地面网络的补充,有效扩展其业务和市场,为用户提供更广阔的覆盖服务和更强大的网络能力支持,具体可从以下2个方面开展合作。

a) 频率合作。地面运营商可以与卫星公司合作,利用自有频段开展终端直连业务,为用户提供随时随地的高速互联网接入服务。地面运营商应基于自有频谱资源与技术,加快卫星通信布局,积极探索合作,

确定卫星合作伙伴,开展相关实验,与卫星公司共同推动融合终端设备演进,优化网络架构和数据传输协议,实现终端直连业务的高效运行。卫星公司AST与沃达丰、乐天等多家移动网络运营商合作,目标是把每部智能手机变成一部卫星电话,在世界任何地方都可以上网。AST提供卫星网络服务,利用地面运营商频谱,基于地面运营商2C市场发展用户,与地面运营商进行收入分成,实现双赢。规划的收费模式包括日租、个人月租、商业月租、独立卫星套餐和紧急使用。据AST估计,其服务的全球市场机会达1.1万亿美元。AT&T已经与卫星公司AST合作,将在700~960 MHz和1 600~2 100 MHz频段上采用卫星网络作为地面网络的补充覆盖向用户提供连接服务,能兼容存量手机,用户需要为此项服务支付附加费用。在推出初期,这项服务将仅限于应急响应。Mobile与SpaceX星链合作,将在1.9 GHz频段上采用Starlink V2.0卫星向现网存量终端提供连接服务,用户不需要更换手机,也不需要额外付费,现有的T-Mobile部分套餐即可支持。前期将提供短信和部分短信类应用服务,后期提供通话和数据服务。

b) 租用带宽。地面运营商可以通过向卫星公司租赁卫星带宽资源,利用卫星通信作为回传方式,向偏远地区和海上等传统网络难以覆盖的区域提供数据上网服务,实现空天地海一体化的网络连接。中国联通买断欧洲卫星公司E172B部分资源和中国卫通Ku网络资源,成立联通航美子公司,经营卫星固定通信业务,打造沃星海、沃星空、沃星陆产品面向海洋、空中、陆地提供互联网接入服务。中国移动积极进行卫星通信部署,购买卫星资源,建设中国移动卫星通信网,在北京、西安、深圳自建信关站,经营卫星固定通信业务,主要用于偏远地区基站接入、应急通信、2B业务等。

5 总结

空天地一体化网络包括天基、地基、空基网络,其中天基网络中的低轨卫星传输时延低,有望与地基网络融合,通过卫星回传或手机直连卫星的方式,满足用户随时随地接入需求。地面运营商有着完善的网络配套资源与宝贵的用户运营经验,可以通过以下方式参与空天地一体化网络布局,推进国家一体化网络建设与运营。

a) 采用分销合作的商业模式,利用自有频段与卫

星运营商合作开展手机直连业务。

b) 采用虚拟运营或独立运营模式,向卫星公司租用卫星带宽,为偏远地区、航空、航海等提供上网服务。

参考文献:

- [1] 吴巍. 天地一体化信息网络发展综述[J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(1): 1-16.
- [2] 裴郁杉, 苗守野, 张忠皓, 等. 空天地一体化通信网络中地面运营商的挑战与机遇[J]. 移动通信, 2020, 44(9): 7-13.
- [3] 崔新雨, 伍杰, 周一青, 等. 空天地一体化融合组网的挑战与关键技术[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2023, 50(1): 1-11.
- [4] 安建平, 李建国, 于季弘, 等. 空天通信网络关键技术综述[J]. 电子学报, 2022, 50(2): 470-479.
- [5] 沈学民, 承楠, 周海波, 等. 空天地一体化网络技术: 探索与展望[J]. 物联网学报, 2020, 4(3): 3-19.
- [6] 李新, 贝斐峰, 王强. 天地一体化关键技术和组网架构探讨[J]. 通信与信息技术, 2023(1): 91-93, 120.
- [7] 戴翠琴, 李时鹏. 星地融合通信中的卫星回传技术[J]. 移动通信, 2020, 44(9): 27-33, 39.
- [8] RINALDI F, MAATTANEN H L, TORSNER J, et al. Non-Terrestrial networks in 5G & beyond: a survey [J]. IEEE Access, 2020 (8): 165178-165200.
- [9] 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.
- [10] 方芳, 吴明阁. “星链”低轨星座的主要发展动向及分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2021, 16(9): 933-936.
- [11] 王学宇, 武坦然. OneWeb低轨道卫星系统及其军事应用分析[J]. 航天电子对抗, 2022, 38(4): 59-64.
- [12] 崔潇潇, 王琦, 范青松. 从“一网”(OneWeb)卫星探究卫星互联网面临的风险与挑战[J]. 国防科技工业, 2022(6): 56-58.
- [13] 刘法龙. 低轨卫星通信业务发展分析及思考[J]. 卫星应用, 2021(11): 43-49.
- [14] 王文跃, 万屹, 卢海萌. Ka宽带卫星通信商业运营模式研究[J]. 电信网技术, 2017(10): 41-44.
- [15] 章罗娜, 李心蕊, 赵书阁, 等. “星链”星座建设成本及运营分析[J]. 国际太空, 2020(11): 23-27.

作者简介:

刘威, 研究员, 硕士, 主要从事移动网络相关规划设计工作; 刘亚楠, 主任研究员, 硕士, 主要从事移动网络相关规划设计工作。

