

卫星通信技术在现代网络通信中的运用分析

刘秋格 李毅英

西安信息职业大学, 陕西 西安 710125

摘要: 卫星通信技术作为现代网络通信体系的重要组成部分, 凭借其广域覆盖、不受地理条件限制等独特优势, 在弥补地面通信短板、构建全域通信网络中发挥着不可替代的作用。本研究立足卫星通信技术的发展演进与技术特征, 系统剖析其在现代网络通信中的核心运用场景, 包括偏远地区通信覆盖、应急通信保障、宽带接入服务、航空航海通信等领域。通过探讨当前卫星通信技术运用中的瓶颈问题, 并提出针对性的优化路径, 为推动卫星通信与地面通信的深度融合、完善现代通信网络体系提供理论参考与实践启示。

关键词: 卫星通信技术; 现代网络通信; 运用场景; 技术融合; 优化路径

0 引言

在数字化浪潮推动下, 现代网络通信已成为支撑社会运转、经济发展与民生服务的核心基础设施, 对通信覆盖的全域性、服务的连续性与可靠性提出了更高要求。地面通信网络虽在人口密集区域具备高效便捷的优势, 但在偏远山区、沙漠戈壁、海洋等地理条件复杂或人口稀疏地区, 存在建设成本高、维护难度大、覆盖盲区多等突出问题。卫星通信技术通过通信卫星作为中继站实现信号传输, 能够突破地理空间限制, 形成广域无缝覆盖的通信链路, 为破解地面通信局限提供了有效解决方案。随着高通量卫星、星地融合等技术的不断发展, 卫星通信已从传统的窄带话音服务向宽带数据传输升级, 与 5G、物联网等技术的融合日益深化, 成为现代网络通信体系的重要支撑。

1 卫星通信技术的核心特征与发展演进

1.1 核心技术特征

卫星通信技术依托空间段(卫星星座)、地面段(地球站、用户终端)与链路段(上行链路、下行链路)构成的通信系统实现信号传输, 其核心特征体现在三个方面。一是广域覆盖能力, 单颗地球同步轨道卫星可覆盖约 40% 的地球表面, 通过多颗卫星组成星座, 能够实现全球范围的通信覆盖, 尤其适用于地面通信难以触及的偏远区域^[1]。二是通信自主性强, 卫星通信系统无需依赖地面基础设施, 受地理灾害、战争冲突等外界因素影响较小, 具备较强的抗毁性与通信保障能力。三是通信灵活性高, 可根据用户需求快速调整通信覆盖区域与服务带宽, 支持固定终端、移动终端等多种接入方式, 适配不同场景的通信需求。

1.2 技术发展演进

卫星通信技术历经多代迭代, 实现从窄带到宽带、从固定到移动、从单一服务到综合应

用的升级。早期以地球同步轨道卫星为主, 仅提供话音、低速数据等窄带服务, 带宽多为数百 kbps 级, 通信时延高达 500-600ms, 应用局限显著。技术进步推动中低轨道卫星星座兴起, 中国星网整合“鸿雁”“虹云”项目打造的 GW 巨型星座, 轨道高度 500-1145 公里, 实测下行速率突破 500Mbps, 时延降至 20-50ms; 新疆戈壁测试中, 低轨卫星下行速率达 202.4Mbps, 平均时延 135ms, 较传统高轨卫星性能跃升明显。近年星地融合成热点, 中国电信通过中轨卫星为南极科考站搭建网络, 实现 100Mbps 以上速率与约 300ms 时延的 4/5G 服务; 西电科技团队研发的协同技术, 在油田、高原等场景实现星地无缝衔接, 保障数据连续传输, “天地一体”网络不断完善。

表 1 卫星通信技术发展演进阶段对比表

发展阶段	时间跨度	核心技术特征	关键性能指标	主流应用领域
初期探索阶段	20 世纪 50-60 年代	低轨设计、模拟传输	带宽仅支持数十路电话, 时延不稳定	军事通信实验、科研观测
技术成熟阶段	20 世纪 70-80 年代	高轨为主、数字传输、多波束天线	传输容量达千路电话级, 可靠性提升	电视广播、越洋通信、船舶通信
宽带化阶段	20 世纪 90-21 世纪初	Ku 频段应用、IP 协议融合	支持初期宽带, 实现全球漫游	卫星电视、个人移动通信
智能融合阶段	21 世纪初至今	低轨星座、Ka 频段、星地融合	下行速率 50-500Mbps, 时延 20-50ms	全球宽带、航空互联网、应急通信

2 卫星通信技术在现代网络通信中的核心运用场景

2.1 偏远地区通信覆盖

在地面通信基础设施薄弱的偏远山区、高原牧区、海岛等区域,卫星通信成为实现通信覆盖的主要手段。这些区域因人口稀疏、地形复杂,建设光纤、基站等地面通信设施成本极高且维护困难,卫星通信凭借其广域覆盖优势,可快速实现通信网络部署。例如,在我国青藏高原、西北沙漠等地区,通信运营商通过部署卫星直连终端,为当地牧民、边防哨所提供语音通话、短信及低速数据服务;在南太平洋、印度洋的偏远海岛,卫星通信系统为岛民提供互联网接入服务,助力其融入数字社会。此外,在发展中国家的农村地区,卫星通信也成为弥合数字鸿沟的重要工具,通过低成本的卫星终端实现基础教育、远程医疗等公共服务的通信保障。

2.2 应急通信保障

在地震、洪水、台风等自然灾害发生时,地面通信基础设施往往易受损毁,导致通信中断,而卫星通信因具备抗毁性强的特点,成为应急通信保障的核心力量。灾害发生后,救援队伍可快速携带便携式卫星终端赶赴现场,搭建临时通信链路,实现救援指挥指令的传递、灾情信息上报与受困人员的求救信号接收。例如,在地震灾害中,卫星电话是救援人员与外界联系的重要工具,能够确保救援指挥的顺畅;通过卫星宽带终端可搭建临时互联网接入点,支持灾情图像、视频等多媒体信息的实时传输,为救援决策提供数据支撑。除自然灾害外,在重大公共卫生事件、大型突发事件等场景中,卫星通信也可快速补充地面通信容量,保障应急指挥与民生服务的通信需求。

2.3 宽带接入服务

随着高通量卫星技术的成熟,卫星通信已成为宽带互联网接入的重要补充手段,尤其适用于地面宽带覆盖不足的区域。在人口分散的农村地区,卫星宽带可替代光纤宽带,为用户提供满足日常上网、视频通话等需求的互联网服务;在远洋船舶、民航客机移动场景中,卫星宽带实现了“空中上网”“海上上网”,乘客可通过卫星链路接入互联网,享受刷视频、办公、社交等服务。例如,多家航空公司已推出机上卫星宽带服务,通过安装在飞机上的卫星接收设备,实现飞行过程中的稳定互联网接入;远洋航运公司通过部署船载卫星终端,为船员提供通信服务的同时,实现船舶航行数据的实时传输与远程监控。

2.4 航空航海通信

卫星通信是保障航空、航海领域安全运行与高效管理的核心技术支撑。在航空领域,卫星通信系统为飞机提供空地通信服务,实现飞行状态数据、航班调度指令的实时传输,同时支持机组与地面管制中心的语音通信,保障飞

行安全。随着航空运输的发展,卫星宽带技术进一步满足了乘客的机上互联网需求,提升了航空服务品质。在航海领域,全球海上遇险与安全系统(GMDSS)将卫星通信作为核心通信手段,为船舶提供遇险报警、紧急通信与常规通信服务,确保船舶在远洋航行中的安全^[2]。此外,卫星通信还支持船舶交通管理系统的运行,实现对船舶航行轨迹的实时监控与调度,提升海上交通的安全性及效率。

2.5 物联网通信拓展

卫星通信技术为物联网的全域覆盖提供了可能,尤其适用于野外作业、环境监测等地面物联网难以覆盖的场景。在生态环境监测中,部署在偏远地区的传感器可通过卫星通信将监测数据(如空气质量、水文数据、植被状况等)传输至数据中心,实现对生态环境的实时监控;在农业领域,卫星通信支撑的物联网系统可实现对偏远农田的土壤墒情、作物长势等数据的采集与分析,为精准农业提供通信保障。在能源领域,油气管道、输电线路等野外基础设施的监测设备通过卫星通信实现数据回传,助力设备故障预警与运维管理,提升能源供应的安全性。

3 卫星通信技术运用中的现存问题

3.1 技术层面局限

当前卫星通信技术在运用中仍存在明显的技术局限。一是通信时延差异较大,地球同步轨道卫星的通信时延可达数百毫秒,虽能满足话音、普通数据传输需求,但难以适配自动驾驶、远程医疗等对时延要求极高的场景;中低轨道卫星星座虽能降低时延,但受限于卫星数量与轨道资源,全球覆盖能力仍需完善。二是带宽成本偏高,相较于地面光纤通信,卫星通信的带宽单位成本更高,制约了其在大众消费市场的普及应用,目前更多局限于特定场景的专业服务。

3.2 系统融合不足

卫星通信与地面通信网络的融合程度不足,导致通信服务的连续性与协同性欠佳。一方面,两者在技术标准、协议体系上存在差异,难以实现无缝切换,用户在地面通信覆盖区与卫星通信覆盖区之间移动时,易出现通信中断现象。另一方面,资源调度缺乏协同,卫星通信的带宽资源与地面通信的网络资源未能形成统一调度机制,在通信流量高峰期难以实现资源的优化配置,导致部分区域出现服务拥堵问题。此外,两者在业务应用上的融合深度不够,卫星通信多作为地面通信的补充,未能充分发挥“天地一体”的协同优势,限制了通信服务品质的提升。

3.3 行业监管与资源约束

卫星通信面临监管与空间资源双重约束。

监管上,各国政策差异大,跨国服务审批复杂,如中国“千帆星座”拓展泰国市场需适配两国频谱规则,影响应用灵活性。资源竞争白热化:C波段全球分配饱和度超85%,Ku波段在低轨星座使用率达72%,热门频段协调需等3年以上;近地轨道“黄金轨道”饱和度50%-70%,最优轨道被SpaceX“星链”主导。全球在轨卫星约1.38万颗,美国占超60%，“星链”达8275颗且日均增6颗,计划部署4.2万颗;中国在轨906颗,规划超4万颗,2025年“千帆”拟交付200颗。密集部署致近地轨道超10厘米太空垃圾达3.4万个,较2010年增67%。

4 卫星通信技术运用的优化路径

4.1 技术创新突破瓶颈

针对卫星通信技术的现存局限,需通过持续技术创新实现突破。在星座设计方面,优化中低轨道卫星星座布局,通过星间链路技术实现卫星之间的协同通信,进一步降低通信时延,提升全球覆盖的连续性;在载荷技术方面,研发更高性能的卫星通信载荷,提高频谱利用效率,降低单位带宽成本,增强卫星通信的性价比优势。此外,通过人工智能、大数据技术优化卫星通信的资源调度与链路管理,提升通信系统的抗干扰能力与服务稳定性。

4.2 深化星地融合发展

深化星地融合发展是构建“天地一体”通信网络体系的核心路径,需从技术标准、资源调度、业务应用三个关键层面协同发力,实现卫星通信与地面通信的深度协同。技术标准层面,需聚焦协议与接口的统一性,通过制定适配星地场景的融合通信标准,消除两类网络间的技术壁垒,确保用户终端在卫星网络与地面网络间无缝切换,避免因标准差异导致的通信中断,保障服务连续性。资源调度层面,要搭建一体化网络资源管理平台,将卫星带宽资源与地面网络资源纳入统一调度体系,依据用户分布密度与业务实时需求动态分配资源,在通信高峰时段实现资源优化配置,提升整体利用率。业务应用层面,重点开发融合型服务,

例如将卫星通信作为地面5G网络的延伸,填补偏远地区的信号覆盖空白^[4];在物联网领域,借助星地融合网络实现全域设备接入与数据传输,充分释放“天地一体”的协同价值。

4.3 完善行业监管与资源配置

完善行业监管与资源配置是破解卫星通信发展约束的关键抓手,需构建跨区域协同监管与高效资源配置体系,兼顾技术发展与可持续性需求。国际层面,应深化卫星通信领域的跨国合作,推动建立统一的轨道与频率资源分配规则,减少资源争夺矛盾;同时简化跨国通信服务的审批流程,打破区域壁垒,为卫星通信技术的全球化应用扫清障碍。国内层面,需细化行业监管政策,明确市场准入标准与服务规范,在鼓励技术创新的同时强化安全管理,实现创新活力与监管秩序的平衡。空间资源与环境治理方面,要建立卫星报废与空间碎片清除机制,降低太空环境风险,保障产业可持续发展^[5]。在资源优化层面,技术创新成为关键突破口。可依托动态频率分配等技术,根据通信需求实时调整频谱资源使用,避免资源闲置与浪费,大幅提升频谱利用率。这类技术手段能有效缓解轨道与频谱资源紧张的突出压力,为卫星通信产业可持续发展提供支撑。

5 结论与展望

卫星通信以广域覆盖、自主可靠、灵活适配的特征,成为弥补地面通信不足、构建全域网络的关键支撑,在偏远地区覆盖、应急保障等多场景展现独特价值。但仍面临技术瓶颈、融合不足、监管与资源约束等问题,需从技术创新(星座优化等)、星地融合(标准统一等)、行业监管(国际合作等)维度破解,推动深度融合。未来将呈现三大趋势:智能化水平提升,实现系统自主化运维;空天地一体化加速,紧密融合5G/6G;产业化规模扩大,向大众消费领域渗透。其发展关乎行业转型与数字经济发展,需加强研发与协同,为构建全域通信网络提供支撑。

参考文献:

- [1] 刘昊昱. 卫星通信与5G融合的网络架构设计与优化[J]. 无线互联科技, 2024, 21(01): 21-23.
- [2] 刘锦超. 海上卫星通信技术应用发展研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(13): 3-5+12.
- [3] 出剑峰. 卫星接收抗5G干扰技术的研究与应用[J]. 中国宽带, 2023, 19(12): 10-12.
- [4] 周剑明, 黄杉. 基于5G技术的卫星通信上行信道自动估计系统[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(03): 85-90.
- [5] 窦骄, 韩孟飞, 宁金枝, 等. 小卫星测控通信技术的发展与趋势[J]. 航天器工程, 2021, 30(06): 113-119.

作者简介: 刘秋格, (1985, 05-), 女, 汉族, 河南省台前县, 西安信息职业大学, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 卫星通信。