

微波数字通信与卫星通信的融合发展策略

孙 超

锡林郭勒盟微波总站 内蒙古 锡林郭勒 026000

摘要: 微波数字通信与卫星通信融合发展, 需构建互补覆盖网络, 城市等区域以微波数字通信提供高速服务, 偏远地区等由卫星通信保障广域覆盖。业务上拓展智能交通、物联网等创新场景, 技术上相互借鉴, 如卫星通信引入波束成形等技术, 微波通信借鉴抗干扰技术。同时, 研发融合终端设备, 制定统一标准, 加强网络管理, 实现二者无缝协同, 推动通信行业迈向新阶段。

关键词: 微波数字通信; 卫星通信; 融合发展策略

引言: 在当今通信技术飞速发展的时代, 微波数字通信与卫星通信作为两大关键通信手段, 各自具备独特优势。微波数字通信凭借高速率、大容量, 在城市等人口密集区域应用广泛; 卫星通信则以覆盖广、不受地理限制著称, 在偏远地区和全球通信中作用重大。然而, 单一通信方式难以满足日益多样化的通信需求, 探索二者融合发展策略, 成为提升通信质量、拓展通信服务边界的关键所在。

1 微波数字通信与卫星通信的技术特性分析

1.1 微波数字通信技术特性

(1) 优势: 采用毫米波、太赫兹等高频段, 可支撑大带宽数据传输, 满足高清视频、云计算等大流量业务需求; 凭借独特的调制解调技术, 抗电磁干扰能力较强, 信号传输稳定性更优; 部署方式灵活多样, 无需大规模铺设线缆, 适用于5G基站回传、临时通信保障等场景, 建设周期短、成本可控。(2) 局限: 受限于视距传播特性, 信号覆盖范围有限, 易被建筑物、地形遮挡; 在雨雪天气下会出现明显雨衰现象, 大气吸收也会削弱信号强度, 影响传输稳定性; 长距离传输需搭建密集中继站, 增加了运维难度和成本, 难以适配偏远地区覆盖需求。

1.2 卫星通信技术特性

(1) 优势: 覆盖范围极具优势, 单颗地球静止轨道(GEO)卫星即可覆盖约1/3地球表面, 能实现全球广域无缝覆盖; 抗灾能力突出, 在地震、洪水等灾害导致地面通信网络瘫痪时, 卫星电话、卫星宽带可快速搭建应急通信链路; 适配性强, 能有效支撑航空、航海等移动场景通信, 解决偏远地区通信盲区问题。(2) 局限: 传输时延较高, GEO卫星通信时延约250-300ms, 难以满足实时交互类业务需求; 卫星通信频谱资源稀缺, 且受国际规则约束, 频谱规划难度大; 卫星研发、发射及地面

站建设成本高昂, 后期运维技术要求高, 制约了规模化推广。

1.3 技术互补性

(1) 覆盖互补: 卫星通信擅长广域、偏远地区覆盖, 可弥补地面网络盲区; 微波数字通信聚焦城市热点区域、密集用户场景, 能提升局部区域通信带宽和速率, 两者结合实现“广域覆盖+热点增强”的全域通信保障。(2) 时延互补: 低轨(LEO)卫星星座可将通信时延降至50ms以内, 接近地面网络水平; 微波数字通信支持超低时延传输, 两者协同可满足不同时延需求场景, 既保障实时交互业务, 也支撑广域移动通信。(3) 频谱协同: 两者可共享Ka、Q/V等高频段资源, 通过频谱动态分配、协同调度技术, 提高频谱利用效率, 有效缓解频谱资源紧张问题, 提升整体通信网络容量^[1]。

2 微波数字通信与卫星通信融合发展的核心挑战

2.1 技术层面

(1) 异构网络协议兼容难题: 卫星通信与地面微波网络采用的通信协议存在显著差异, 卫星通信领域广泛应用DVB-S2X等专用协议, 而地面微波通信多采用5G NR等协议标准。两种协议在帧结构、调制方式、接入机制等核心技术参数上不兼容, 导致异构网络间数据传输存在瓶颈, 难以实现无缝对接和业务平滑切换, 制约了融合网络的协同效能^[2]。(2) 动态资源调度复杂度高: 融合网络需统筹管理频谱、功率、带宽等多种核心资源, 且这些资源的需求会随用户分布、业务类型、环境变化而动态波动。如何建立精准的资源需求预测模型, 实现资源的实时动态分配与协同优化, 平衡卫星广域覆盖与微波局部高速传输的资源配比, 避免资源浪费或供需失衡, 成为技术融合的关键难点。(3) 终端设备兼容性不足: 融合通信模式要求用户终端具备同时接入卫星与微波双模的能力, 但当前终端设备受限于硬件设计和成本

控制,难以兼顾两种通信方式的接入需求。双模终端需集成专用的射频模块、天线系统和协议处理单元,导致设备体积增大、功耗提升、成本上升,且相关技术成熟度不足,难以实现规模化普及。

2.2 政策与标准层面

(1) 频谱分配冲突凸显:卫星通信与地面微波通信在C、Ku、Ka等多个关键频段存在重叠,而频谱资源具有稀缺性和排他性,当前全球频谱分配体系尚未形成针对融合通信的专项规划。不同国家和地区的频谱管理政策存在差异,导致跨区域融合网络的频谱使用权限不明确,易引发频谱干扰和资源争夺,阻碍融合网络的全球化部署。(2) 监管框架存在缺失:融合网络涉及卫星运营商、地面通信企业、跨国家监管机构等多个主体,当前缺乏统一的跨国家、跨运营商融合网络管理机制。在网络互联互通、业务资质审批、数据安全监管、资费结算等方面,尚未形成标准化的监管规则,导致跨区域融合业务开展面临诸多政策障碍,监管协同难度较大。

2.3 成本与商业模式

(1) 卫星发射与维护成本高昂:卫星通信系统的研发、发射以及地面站建设和后期维护需要巨额资金投入,传统卫星模式成本回收周期长,制约了融合网络的规模化推进。当前需积极探索低成本卫星星座建设模式,如Starlink的低轨卫星集群模式,通过批量生产、简化设计降低单星成本,但相关技术的稳定性和商业化落地仍面临挑战。(2) 商业模式创新滞后:融合通信的服务场景和用户需求具有多样性,传统通信的收费模式难以适配融合业务的发展需求。需结合用户场景设计按需付费、资源共享、定制化服务等新型商业模式,平衡企业盈利与用户成本需求。但目前市场对融合通信的认知度不足,商业模式的可行性和可持续性仍需验证,尚未形成成熟的商业闭环。

3 微波数字通信与卫星通信融合发展策略与关键技术

3.1 网络架构融合策略

(1) 构建分层立体网络体系:采用“低轨卫星广域覆盖+中高轨卫星中继转发+地面微波热点增强”的分层架构,实现全域无缝通信覆盖。其中,低轨卫星(LEO)星座凭借近地轨道优势,提供低时延、广域的基础通信服务,覆盖偏远地区、海洋等地面网络盲区;中高轨卫星(GEO/MEO)承担长距离中继传输任务,衔接低轨卫星与地面网络,扩大信号传输范围;地面微波通信聚焦城市商圈、工业园区等热点区域,通过高频段大带宽特性,提升局部区域通信速率和容量,形成“空地一体化”的立体覆盖格局。(2) 引入软件定义网络

(SDN)技术:依托SDN的集中控制与灵活调度特性,构建融合网络的统一管控平台。通过将网络控制功能与转发功能分离,实现对低轨、中高轨卫星网络及地面微波网络的全局管控,实时感知网络状态、用户需求和业务类型,动态调整资源分配策略。同时,SDN支持跨层网络协同,打破卫星与地面网络的物理壁垒,实现数据转发路径的最优规划,提升融合网络的整体资源利用率和运维效率^[3]。(3) 应用网络切片技术:基于业务差异化需求,通过网络切片技术为不同类型业务构建专用虚拟网络。针对高清视频、云游戏等大带宽需求业务,分配高带宽、低丢包率的切片资源;为工业控制、远程医疗等实时性要求高的业务,规划超低时延、高可靠的专用切片;对普通语音、短信等基础业务,配置经济型切片资源。通过切片隔离与资源专属分配,保障各类业务的服务质量,提升融合网络的业务适配能力。

3.2 关键技术突破

(1) 波束成形与MIMO技术升级:针对卫星与微波通信的频谱效率瓶颈,升级波束成形与多输入多输出(MIMO)技术。在卫星端,采用自适应波束成形技术,精准聚焦用户区域,减少信号能量损耗,提升卫星通信的覆盖精度和抗干扰能力;在地面微波端,部署大规模MIMO系统,通过多天阵列实现多数据流并行传输,大幅提升频谱利用效率。两者协同可有效缓解高频段频谱资源紧张问题,提升融合网络的整体通信容量。(2) 智能编码与调制技术优化:研发自适应智能编码与调制算法,根据卫星与微波信道的实时状态动态调整传输参数。当遭遇雨衰、大气吸收、遮挡等信道恶化场景时,自动将高阶调制方式(如1024QAM)降至低阶调制(如QPSK),同时提升编码冗余度,保障信号传输的可靠性;当信道条件良好时,切换至高阶调制模式,最大化提升传输速率。通过动态适配信道变化,实现通信质量与传输效率的平衡,增强融合网络的环境适应性。(3) 边缘计算与缓存技术部署:在卫星载荷、地面微波基站及核心网边缘节点部署边缘计算与缓存服务器,构建分布式算力与存储体系。对高频访问的视频、应用程序等内容进行提前缓存,用户请求时可直接从边缘节点获取资源,减少数据向核心网的传输量,降低核心网负载;同时,边缘计算节点可就近处理实时性业务数据,缩短数据传输路径,进一步降低通信时延,为工业控制、车联网等低时延业务提供支撑^[4]。

3.3 典型应用场景

(1) 应急通信场景:在地震、洪水、台风等自然灾害发生后,地面通信网络易受损毁而瘫痪。此时,卫

星通信可快速搭建应急通信链路,保障救援指令传输、受灾群众定位与求救信息上报;针对救援现场大容量数据传输需求(如高清现场画面回传、无人机勘测数据传输),通过临时部署微波通信设备补充局部带宽,形成“卫星广域保障+微波局部增强”的应急通信模式,提升救援效率。(2)智能交通场景:在全域智能交通体系中,卫星与微波通信实现协同赋能。卫星通信为远洋航运、高空飞行等场景提供全球定位、导航与轨迹监控服务,保障跨区域交通调度;在城市道路、高速公路等地面场景,微波通信支持车联网(V2X)通信,实现车辆与车辆、车辆与路侧设备的超低时延数据交互,支撑自动驾驶、实时交通疏导等功能。两者结合可构建“空天地一体化”智能交通通信网络,提升交通运行效率与安全水平。(3)偏远地区覆盖场景:针对农村、山区、矿山等地面网络难以覆盖的偏远区域,卫星通信提供基础语音、数据通信服务,解决“通得了”的问题;对于矿区作业区、乡村聚居点等局部密集用户区域,通过部署微波通信设备延伸网络覆盖,提升局部通信带宽,满足偏远地区居民日常上网、企业生产数据传输等需求。这种融合模式可有效缩小数字鸿沟,推动通信服务均等化,支撑偏远地区经济发展。

4 微波数字通信与卫星通信融合发展的未来展望与政策建议

4.1 技术趋势

(1)深度融入6G体系:未来,太赫兹通信、量子通信将与卫星-微波融合网络深度协同,构建6G空天地一体化核心架构。太赫兹通信凭借超宽频谱特性,进一步提升卫星与微波通信的传输速率,支撑全息通信、元宇宙等新型业务;量子通信技术的引入,可实现融合网络的绝对安全传输,破解卫星与地面数据交互的安全瓶颈,推动融合网络向高速率、高安全方向升级。(2)AI全流程驱动优化:人工智能技术将全面赋能融合网络全生命周期管理。通过AI算法精准预测网络流量变化、信道衰减规律,实现资源分配的动态最优调度;基于机器学习构建故障预测模型,提前识别卫星载荷、微波设备的潜在故障并预警;借助智能自愈算法,实现网络故障的自动定位与修复,大幅

提升融合网络的运维效率和可靠性。

4.2 政策建议

(1)推进频谱协同管理:牵头推动建立国际统一的卫星与地面频谱共享规则,明确Ka、Q/V等高频段的协同使用方案,规范频谱划分、干扰规避标准。搭建跨国频谱协调平台,统筹全球频谱资源配置,缓解频谱分配冲突,为融合网络的全球化部署提供频谱保障。(2)加快融合标准制定:推动国际电信联盟(ITU)、第三代合作伙伴计划(3GPP)等权威机构,牵头制定融合网络的技术标准、接口规范和测试认证体系。统一卫星与地面网络的协议架构、资源调度机制,实现不同厂商设备、不同运营商网络的互联互通,降低产业发展成本。(3)强化产业协同合作:出台专项政策鼓励运营商、设备商、科研机构组建产业联盟,联合开展关键技术攻关。设立专项扶持资金,支持融合通信技术研发、示范项目建设和产业链完善,推动产学研用深度融合,加速融合技术的商业化落地进程。

结束语

微波数字通信与卫星通信的融合发展,是通信领域顺应时代需求的必然选择。通过深度融合,二者优势互补,既能实现广域无缝覆盖,又能提供高速稳定的通信服务,满足不同场景下多样化的通信需求。未来,随着技术的持续创新与突破,融合发展之路将越走越宽,不仅会推动通信行业迈向新高度,更将为全球信息化进程注入强大动力,助力构建更加智能、便捷、高效的信息社会。

参考文献

- [1]舒杰.数字微波通信与卫星数字通信技术在广播传输中的应用[J].中国新通信,2021,23(08):25-27.
- [2]师永胜.基于数字微波通信与卫星数字通信技术在广播传输中的运用分析[J].电视指南,2020,(07):215-216.
- [3]胡媛媛,李佳.论述数字微波通信与卫星数字通信技术在广播传输中的运用[J].通讯世界,2021,(10):135-136.
- [4]杨帆.浅析数字微波通信与卫星数字通信技术在广播传输中的运用[J].中国新通信,2020,18(08):45-46.