

# 星地融合多场景应用及解决方案

## Application Scenarios and Solutions of Satellite-terrestrial Integration

崔航,李静,李福昌(中国联通研究院,北京 100048)

Cui Hang, Li Jing, Li Fuchang (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

### 摘要:

星地网络天然存在较强的互补性,为实现广域无缝覆盖,星地网络融合是未来网络演进的必然趋势。目前,受限于星地网络在体制、架构以及应用场景的差异性,星地网络融合程度较低。为快速推进融合网络发展,迫切需要开展星地融合场景与解决方案的挖掘探索。为此,提出了非地面网络与地面蜂窝网络协同应用场景以及潜在的增强方案,以实现星地网络资源的统一协调,提升资源利用率与用户体验,并进一步展望了未来星地融合网络发展前景。

### 关键词:

星地融合;非地面网络;5G/6G

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.007

文章编号: 1007-3043(2024)07-0036-07

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:

Satellite network and terrestrial cellular network are complementary, and in order to achieve wide area seamless coverage, satellite-terrestrial integration network is the inevitable trend of network evolution. At present, due to the architecture, technology and application scenario, the two networks have not yet achieved integration. There is an urgent need to study scenarios and solutions in order to promote the development of satellite-terrestrial integration network. Therefore, a collaborative application scenario of non ground networks and ground cellular networks is proposed, as well as potential enhancement schemes, to achieve unified resources coordination of satellite-terrestrial integration network, improve resource utilization and user experience, and it further explores the future development prospects of satellite ground fusion networks.

### Keywords:

Satellite-terrestrial integration network(STIN); NTN; 5G/6G

引用格式: 崔航,李静,李福昌. 星地融合多场景应用及解决方案[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 36-42.

## 1 背景

### 1.1 地面蜂窝网现状

地面蜂窝网可提供高清通话、宽带数据等业务,以及超大连接、超低时延等极致的行业定制业务能力,被广泛用于通信容量需求高、用户连接数目多、流量密度大等公众通信场景和工业、能源、交通等行业领域,目前已成为全球用户的主要通信网络。

随地海空天应用场景的出现,单独的地面蜂窝网

在网络能力和网络成本角度,难以满足多样性的业务需求。一是难以在特殊场景应用,在机载通信方面,受限于地面蜂窝网的立体覆盖能力,难以解决高空立体覆盖问题;此外,蜂窝覆盖能力受地形限制较大,单独的地面蜂窝网难以满足海域等场景的超远覆盖需求。二是缺乏广域覆盖手段,地面蜂窝网单站覆盖能力有限,在低话务量的偏远地区,仍存在大范围覆盖盲区。三是易受到地震、洪水等灾害影响,造成通信中断,不能满足救援通信需求。因此,急需受环境影响小、低成本以及具备应急覆盖能力的覆盖方案成为地面蜂窝网补充,满足上述场景和应用需求。

收稿日期: 2024-05-22

## 1.2 卫星通信发展现状

卫星通信经过几十年的发展,目前主要有2个分支,一种是延续传统卫星通信路线,采用甚小天线口径终端(VSAT)与卫星连接提供通信服务,该方式近年来面向宽带通信演进;另一种是采用手持终端与卫星直连通信,该方式主要面向行业用户,提供语音、数据等业务能力,可保障蜂窝覆盖盲区的通信。

但卫星通信的大规模推广也面临应用场景和成本的挑战。一方面卫星通信场景受限,甚小天线口径终端的口径通常在30 cm以上,主要用于车载、船载等场景,缺乏便携性;而手持终端虽便携性好,但个人用户通信业务主要发生在室内,卫星通信由于距离远、空间损耗大,难以解决室内通信问题,故单一卫星通信无法满足个人用户通信需求。另一方面,卫星通信应用场景的限制导致其目标人群、产业规模有限,难以摊平卫星星座高昂的建设成本,推广难度大,制约了卫星通信的发展。

## 1.3 星地协同发展

卫星通信广覆盖能力与地面蜂窝网高性能宽带通信能力形成较强的互补。依托卫星通信可有效解决现阶段低话务区域广覆盖,以及海域、航空等特殊场景的覆盖需求;同时,地面蜂窝网也可作为卫星通信在室内或遮挡场景的有效补充,保障用户业务体验。近年来,手机直连卫星通信成为研究热点,国内外标准组织、研究机构以及设备厂家纷纷开展合作,推出星地融合解决方案,也利用规模化蜂窝产业的方式降低卫星通信成本<sup>[1]</sup>。

## 2 星地协同应用方案<sup>[2]</sup>

### 2.1 协同覆盖

星地协同覆盖可应用在多个方面,一是利用非地面网络(NTN)实现低话务量的偏远地区的连续覆盖,补充蜂窝覆盖的盲区;二是利用非地面网络满足海面等特殊场景的覆盖需求;三是利用非地面网络替代高铁沿线蜂窝设施,降低建设和维护成本<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.1 公网覆盖延伸

我国幅员辽阔、地形多样,导致用户东西部分布差异较大,东部区域用户密集,采用地面蜂窝网提供通信服务具有明显优势,而西部地区用户密度较低,依靠地面蜂窝网实现广覆盖成本极高,且偏远地区配套设施建设与维护难度大。

随手机直连卫星通信的逐渐成熟,公网用户终端

具备兼容地面蜂窝通信和地空通信的能力,利用非地面网络作为传统地面蜂窝网络的覆盖补充成为其重要应用,特别是在广域、低话务量区域,可有效降低蜂窝网络成本<sup>[4]</sup>(见图1)。

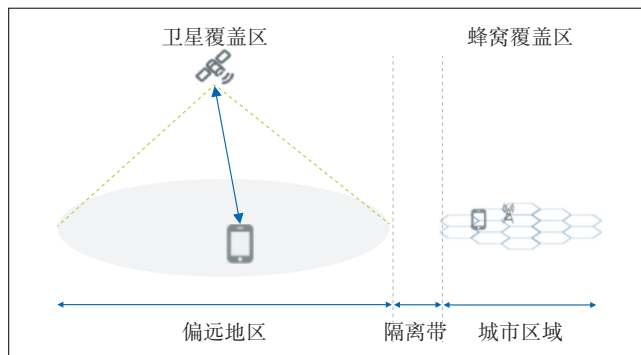


图1 蜂窝网覆盖补充示意

利用非地面网络解决偏远地区覆盖,使其成为地面蜂窝网的延伸,需解决2个问题,一是终端空口需支持非地面网络协议,二是解决地面网络与非地面网络交界区的干扰共存问题。此外,终端还需支持网间的移动性。

#### 2.1.2 海面覆盖延伸

海面覆盖是地面蜂窝网络难以解决的重要场景。由陆地面向海洋提供蜂窝覆盖时,覆盖能力与岸边地形密切相关,利用岸边较高地形可实现30~50 km海面覆盖能力,而针对更广泛的海面覆盖需求,则需依靠非地面网络覆盖。蜂窝网海面覆盖延伸如图2所示。

其中,针对小型船只,可采用手机直连卫星通信,但针对大型船只、海面作业平台等复杂场景,用户处于舱内环境,手机直连卫星难以通信,可采用VSAT中转配合室内覆盖系统实现深海大型船舶、平台环境的通信。

用户通过车载VSAT转发与卫星通信,在陆地蜂窝小区与非地面网络小区之间重选或切换,以保持业务连续性。为实现业务由近海到深海的不间断服务,需考虑用户在陆地蜂窝小区与车载小区间的移动性配置。

#### 2.1.3 高铁覆盖协同

国内现有高铁通信是采用在高铁沿线部署蜂窝基站以提供无缝覆盖的方式。因高铁沿线通常用户量较低,其网络话务量主要由列车旅客构成。采用非地面网络替换高铁沿线地面蜂窝覆盖为车厢内旅客提供通信<sup>[5]</sup>,可有效降低地面蜂窝网成本,解决高铁沿

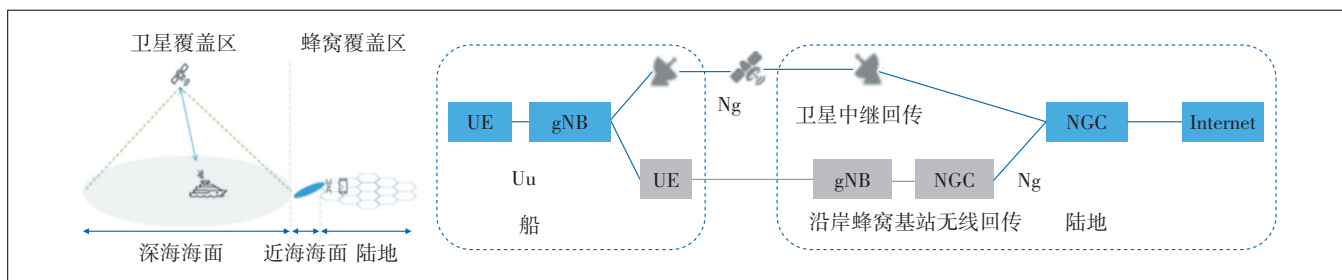


图2 蜂窝网海面覆盖延伸

线地面蜂窝基站资源利用率低的问题。但当高铁沿线网络靠近城区或车站时,存在较多遮挡,使用非地面网络提供通信服务难度较大,此时适合通过蜂窝网

提供接入服务,实现高铁场景的星地网络协同组网(见图3)。

为保证高铁旅客的业务连续性,需考虑用户在车

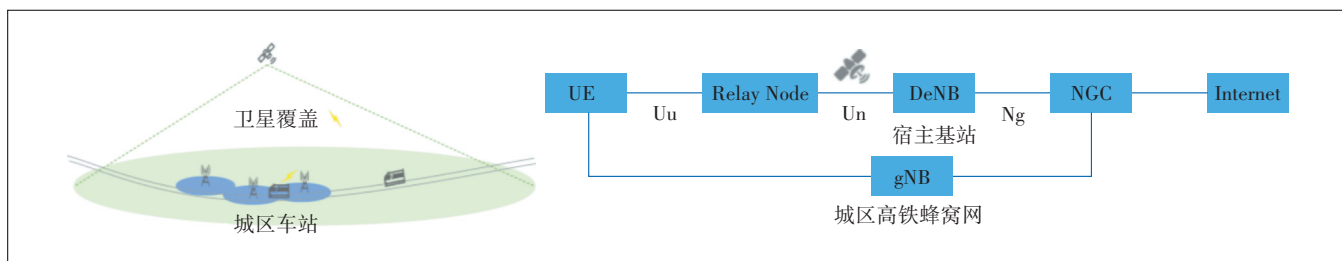


图3 蜂窝网高铁覆盖补充示意

厢内小区与城区地面蜂窝小区间的移动性配置。

## 2.2 容量补充

卫星网络作为地面临时性的突发容量补充,可利用卫星资源(波束、频率、功率等)灵活调配能力,对临时性热点区域进行按需补充,实现资源池按需调配。

### 2.2.1 热点区域负荷分担

地面蜂窝网络规划是基于区域特征、兼顾覆盖与容量需求的,但部分区域存在用户临时性突发增长,如演唱会、节日焰火等集会活动,导致蜂窝网络在一段时间内资源占用率较高,造成拥塞、低速率等较差的业务体验。针对公网临时性聚集场景,可利用星地融合方式,调度卫星资源分担蜂窝数据,缓解地面资源的临时性不足(见图4)。

卫星通信单位面积容量远低于地面蜂窝网络,但因卫星覆盖范围广,绝对容量与工作带宽及链路质量相关,宽带星可提供100 Gbit/s以上的通信能力,可作为局部区域负荷分担。

为实现卫星对地面补热,需要在该区域部署或灵活调配卫星波束,可参考地面蜂窝网方案,配置卫星基站与地面基站的Xn接口。对于透明转发模式的卫星,卫星基站部署在地面,网间负荷分担所需的Xn接

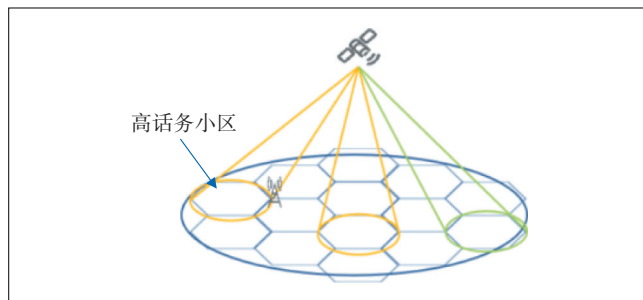


图4 热点区域补充示意

口配置可参考地面蜂窝网一对一配置,交互负荷信息,传递迁移用户信息等;对于在卫星上部署基站的再生模式,卫星基站的覆盖区域随时间变化,需解决卫星基站时变问题。

此外,因地面蜂窝链路和地空通信链路的链路性能、时延指标差异较大,对于用于负荷分担的用户和业务,也需区分对待。需综合考虑用户对非地面网络的支持能力、业务的QoS要求、用户等级等因素,选取适合迁移的用户,最小化对被迁移用户的业务影响。

### 2.2.2 潮汐效应协调

潮汐效应是蜂窝网的常见现象,表现为网络负荷会随时间变化,如用户在住宅区和工作区集中流动,



造成不同时段网络负荷变化大,网络闲时和忙时会有十倍甚至百倍的差异,导致地面蜂窝网络规划难度大,难以兼顾成本和用户体验。

利用卫星网络作为地面网的补充,可解决或缓解潮汐效应造成的网络负荷不均衡问题。单颗卫星覆盖区直径通常达百千米以上,网络资源可在覆盖区域内动态调配,按照资源需求调整波束覆盖,临时提升区域忙时网络容量(见图5)。

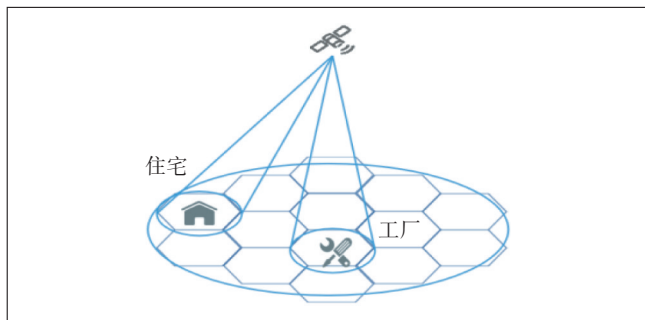


图5 缓解业务潮汐效应示意

为准确应对地面网的潮汐效应,需要卫星网与地面网联动,卫星网需及时获取地面区域的网络资源占用情况,可通过网管传递相关区域的资源需求。同时,可根据用户类型、业务 QoS 等指标进行用户迁移,缓解网络压力,提升用户体验。

### 2.3 性能增强

在星地协同的初级阶段,卫星与地面网络仍然是相互独立的,业务并不能在2个网络之间调度到合适的资源,难以满足用户的实际需求。星地协同是在技术体制统一的条件下,将卫星和地面网络作为同一网络的不同接入路径,因地制宜优化资源使用策略,提升用户体验。

#### 2.3.1 机载通信增强

传统航空机载通信主要是利用静止轨道卫星(GEO)以及飞机上部署的“动中通”天线建立飞机与卫星间的数据承载,机舱内目前主要经过信号转换面向航空旅客提供 Wi-Fi 接入。随着地面蜂窝网络的发展,目前机载通信也发展出了由沿航线建设的地面蜂窝基站对飞机覆盖,建立通信连接的 ATG (Air to Ground) 方式,该方法已被美国 GOGO 公司商用多年,欧洲、中国也在积极探索。星地协同机载通信示意如图6所示。

卫星机载通信方式具有覆盖范围大,可在跨洋航线提供服务等优点;而 ATG 方式采用地面蜂窝基站提

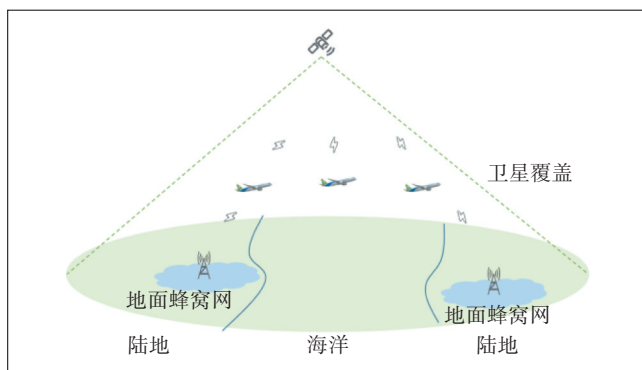


图6 星地协同机载通信示意

供通信服务,具有成本低、可用带宽大、链路性能好等优势,适用于境内陆地航线,两者各具优势。

未来星地网络技术深度融合,现有卫星机载通信与地面机载通信有望逐步合一,机载终端同时兼容地面蜂窝空口和卫星空口体制,实现协同覆盖。

卫星与蜂窝双连接方式<sup>[6]</sup>,以卫星网作为主节点,地面网络作为辅节点网络,可根据民航飞机航线位置按需组合,如在陆地可采用星地双连接方式,利用地面低成本、高性能的通信能力,在无地面覆盖的航线(如海洋)场景则利用卫星网的广覆盖能力保持通信连接,兼顾覆盖和性能。

#### 2.3.2 低空覆盖增强

依托地面蜂窝网,无人机已具备非视距飞行控制和宽带业务传输能力。但地面蜂窝网主要面向地面用户设计,无人机的空域信号依靠基站天线的旁瓣或背瓣进行覆盖,随飞行高度的提升,链路质量不稳定,无人机控制可靠性和业务质量难以得到有效保障。

星地协同网络可赋能网联无人机,利用非地面网络泛在覆盖配合地面蜂窝网络,其中控制面和高可靠要求的控制指令由非地面网络承载,图像、视频等宽带数据业务通过地面蜂窝网络传输,在兼顾宽带业务性能的同时增强网联无人机的控制连续性、可靠性。星地协同无人机通信示意如图7所示。

利用星地协同网络保障无人机通信,需无人机通信模组具有双连接能力,能够根据无人机业务 QoS 要求和链路能力按需分配承载链路。此外,还可设计卫星网络接纳规则和切片,以保障无人机控制链路调度资源<sup>[7]</sup>。

### 2.4 其他

星地网络紧密配合,潜在应用领域较多,如自动应急通信保障以及地面网络节能等。

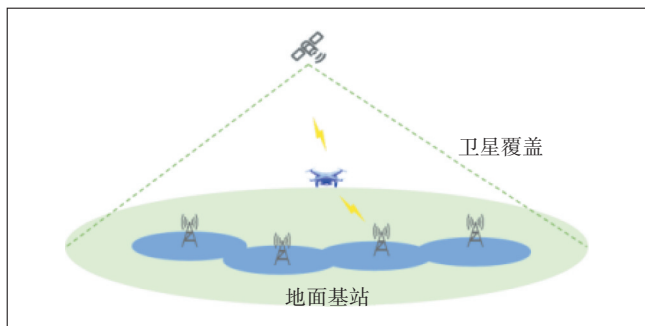


图7 星地协同无人机通信示意

#### 2.4.1 应急补盲

地面蜂窝基础设施容易受到地震、洪水等灾害影响。突发性灾害往往会造成大面积的蜂窝基站退服,造成区域通信盲区,影响救援指挥,而非地面网络不受地震、洪水等灾害的影响,可作为地面蜂窝网的应急备份。星地协同方式应急通信,可在地面发生灾害导致网络退服时自动协调卫星资源应急补充覆盖,实现基站受灾退服区的应急通信。星地协同应急通信示意如图8所示。

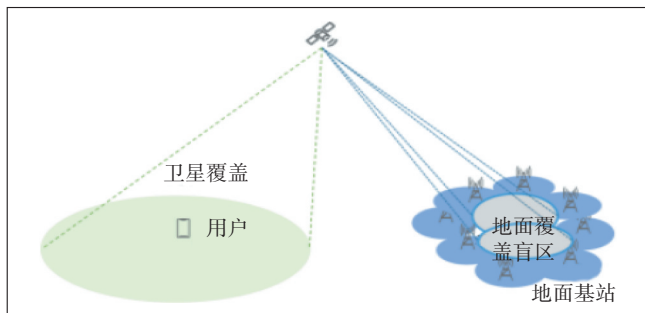


图8 星地协同应急通信示意

为兼顾受灾区域不同类型用户的应急通信,可在星座部署多种通信载荷(如面向R17 NTN协议体制和地面蜂窝网络体制)提供地空通信服务。在卫星带宽资源有限的条件下,根据用户比例分配小区资源,按需提供支持非地面网络用户和普通蜂窝用户的应急通信。

建立蜂窝无线网管与卫星网的接口,利用蜂窝网管管定时监控,根据基站工作状态判断受灾区域位置及范围,通知非地面网络调配资源实现应急补充。

#### 2.4.2 网络节能

偏远地区蜂窝网络的建设以村镇、重要道路为主,呈现非连续、小范围点状、线状覆盖特征,主要解决了用户经常性活动区域及重要道路的通信覆盖,区

域整体覆盖率较低。

除村庄场景需提供不间断的通信服务外,其他如景区、公路等已部署蜂窝网的场景的覆盖需求与时间有关。因此,可利用星地协同方式实现上述场景的地面蜂窝网节能。

采用星地协同部署时,设置低话务量的蜂窝基站休眠,从而节约电能。卫星网络具有广域覆盖的特征,在星地协同部署时优先接纳用户并提供通信服务,当用户接近休眠基站的的服务区域时,唤醒休眠基站并提供高性能的通信服务。星地协同节能应用示意如图9所示。

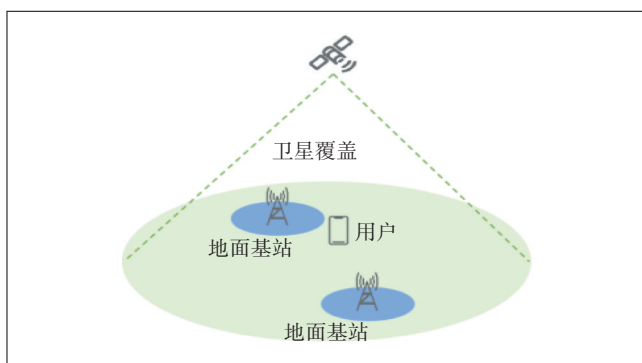


图9 星地协同节能应用示意

此外,如非地面网络可满足用户通信业务需求,也可保持地面蜂窝设备休眠状态以降低蜂窝网能耗。该方案涉及用户在卫星网络与地面网之间的迁移,同样需要标准支持用户在星地网间的移动性以及网间必要的接口,设计基站开启/休眠方案等。

## 3 星地协同关键技术

### 3.1 星地协同共存<sup>[8]</sup>

利用手机直连卫星通信实现星地协同覆盖,需解决星地网络的共存问题。手机直连卫星通信需使用Sub6GHz频段,而该频段也是地面蜂窝网络广域覆盖的主要频率。星地网络协同可能面临同频或邻频部署问题,存在相互干扰的风险。当用于卫星通信的终端距离同频地面蜂窝网络较近时,蜂窝网多个基站下行集总信号可能会干扰卫星通信下行信号;蜂窝用户终端天线全向发射,海量终端也会对卫星接收造成集总干扰,潜在影响了卫星通信上行信号质量。反之,卫星对地覆盖也存在影响蜂窝用户下行链路质量的风险;手机卫星通信时发射功率基本会达到最大功率,也可能存在影响附近蜂窝用户上行信号的问题。

图 10 给出了卫星通信与地面蜂窝网潜在干扰示意。

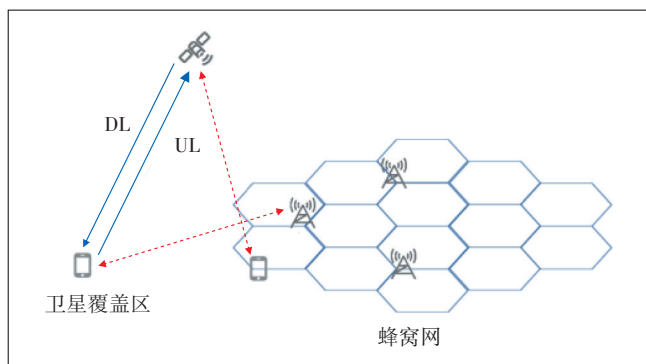


图 10 卫星通信与地面蜂窝网潜在干扰示意

网络交界处可能出现干扰导致的性能下降或链路中断问题,可通过空间隔离、波束控制以及资源调度控制等方式实现网间干扰协同共存。

a) 空间隔离。针对地域独立性较强的区域,如岛屿、偏远地区以及海上平台等特殊场景,该区域天然与地面公网存在空间隔离,可通过设计隔离带实现网间共存,隔离带宽度设计与部署场景传播特征、工作频率等相关。

b) 波束控制。卫星通信场景具备覆盖广、用户分布稀疏等特点,可考虑采用窄波束结合功率控制实现干扰协同。基于蜂窝网和卫星网内用户位置,调整波束功率,控制传播方向干扰信号强度,降低影响。卫星通信与地面通信干扰抑制示意如图 11 所示。

c) 资源调度控制。该方式参考了地面蜂窝网络干扰协同技术,建立卫星基站与地面蜂窝基站间的通信接口,交互工作频段内各子带上的业务负荷,共同决策相关小区范围内用户资源调度范围,实现两网带内的异频资源调度,规避干扰。

### 3.2 星地网间移动性

星地网间的移动性技术是协同组网的关键,包括空闲态的用户重选和连接态的用户网间切换等。其中,重选保障用户在不同场景下的网络可用和用户寻呼可达;切换保障用户连接态通信体验。需要注意的是

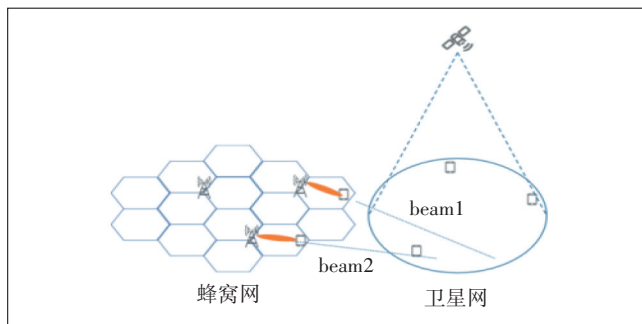


图 11 卫星通信与地面通信干扰抑制示意

在再生模式时,卫星基站和地面基站之间相对位置快速变化,邻区和Xn接口无法采用类似地面蜂窝网的静态配置,需新方案配置<sup>[9]</sup>。星地用户移动性示意如图 12 所示。

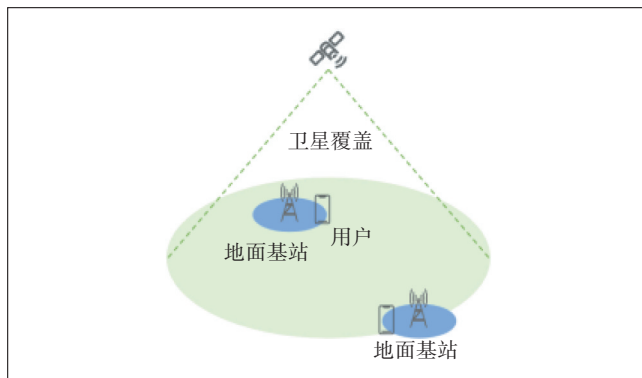


图 12 星地用户移动性示意

针对不同应用场景,连接态切换包括:基于信号质量测量的移动性,保障用户在网络覆盖交界的业务连续性;基于网络负荷的移动性,通过网络负荷触发用户筛选与迁移,提升协同覆盖时网络负荷高时的用户体验;还可以设计基于业务 QoS 的移动性,满足星地融合新应用需求等<sup>[10]</sup>。

### 3.3 星地双连接<sup>[11]</sup>

星地协同网络中的多连接技术有助于兼顾非地面网络广覆盖与地面蜂窝大容量、高性能能力。星地双连接示意如图 13 所示。

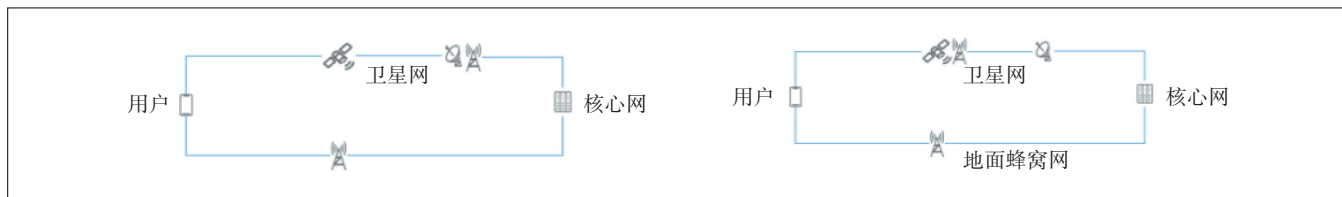


图 13 星地双连接示意



非地面网络采用透明转发模式时,服务于用户的主节点小区和辅节点小区基站均在地面,基站间可配置稳定的Xn接口,用于传递主辅节点间控制面和用户面信息,星地多连接模式相对简单;但如非地面网络采用基站上星模式的非静止轨道卫星时,星地多连接需解决通过馈电链路承载主辅节点基站间Xn口连接问题。此外如双连接的主节点小区和辅节点小区之间需建立Xn接口交互数据,还需考虑卫星小区不间断变换时基站间的Xn口转换问题。

### 3.4 星地网络网管

网管是网络中的重要单元,除担负传统网管对网络设备操控、版本升级、状态监控,以及流量监测外,在协同组网时,网管具有潜在的新能力,从架构角度看,星地网管构建了一个完备的网络管理框架,通过统一管理和调配卫星网与地面网上的资源,实现资源的精细化分配和协同利用<sup>[12]</sup>。这种统一的网络架构不仅提升了资源利用效率,还有助于规避网间干扰,保障网络运行的稳定性和可靠性。从监控方面看,它能感知卫星网络和地面蜂窝网设备的健康状态,通过网间信息交互应对突发性事件导致的网络退服问题,如灾害导致的地面通信中断,可通过网管完成检测并自动触发信息传递,通知卫星网络快速补充覆盖,提升突发事件应对及时性。从配置方面看,网管可以对网络设备进行灵活配置,支撑星地网络精细化用频及按区域调整等需求。即通过对资源在卫星网与地面网上的统一管理、统一调配,提升资源利用率,同时规避网间干扰。星地网络交互管理平台如图14所示。



图14 星地网络交互管理平台

此外,利用网管对星地网络设备信息采集,可进一步挖掘网间协同能力,如基于网管数据实现确定位置的应急补盲,偏远地区地面网络设备的休眠与唤醒控制等。

## 4 总结与展望<sup>[13]</sup>

卫星网络与地面蜂窝网络互补大于竞争,星地融合是未来网络演进的必然趋势,当前天地一体发展以网络融合和业务融合为主,随着技术的发展和需求的深化,未来将向网络、业务、终端、资源、管理等全面深

度融合,地海空天全域覆盖的天地一体融合通信网络演进,广泛满足多种陆海应用和空间应用需求。卫星产业也应与地面蜂窝通信产业紧密合作,共同推动天地一体发展,体系化开展融合场景挖掘、技术研究、标准推进、技术验证、国产化引领等方向布局,构建立体全域覆盖的天地一体网络,为用户提供天基地基网络共享、随时随地任意接入的一体化通信体验,实现天地一体全面深入融合的远景目标。

### 参考文献:

- [1] 中国联通. 中国联通天地一体融合通信愿景白皮书[R/OL]. [2024-01-24]. <http://221.179.172.81/images/20231025/82391698197775890.pdf>.
- [2] 林琳,朱斌,王泽林,等. 5G星地融合标准演进与趋势[J]. 移动通信,2023,47(7):92-97.
- [3] 周德山,王燕,钟颖,等. 卫星与5G融合通信组网探索[J]. 邮电设计技术,2020(9):49-52.
- [4] 王达,董建飞,穆飞宇. 手机直连卫星通信:发展现状、应用场景和标准演进[J]. 无线电通信技术,2023,49(5):795-802.
- [5] 3GPP. Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38.811[S/OL]. [2024-01-24]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [6] 3GPP. Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN): 3GPP TR 38.821[S/OL]. [2024-01-24]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [7] 陈东,张千,秦兆涛,等. 面向手机直连的卫星移动通信系统架构与特性[J]. 天地一体化信息网络,2023,4(4):11-18.
- [8] 牛德莹,周瑶,刘吉凤,等. 面向5G与低轨卫星网络融合的频谱共用研究[C]//5G网络创新研讨会(2022)论文集. 北京:中国电子科技集团公司第7研究所《移动通信》杂志社,2022:436-441.
- [9] 朱斌,何建炜,王光全,等. 星地融合网络架构及关键技术研究[J]. 邮电设计技术,2022(7):56-60.
- [10] 邓伟,赵琳,翁玮文,等. 面向星地协同的接入网架构与关键技术[J]. 天地一体化信息网络,2023,4(3):12-22.
- [11] 肖永伟,卢山,宋艳军. “手机直连卫星”发展及关键技术[J]. 国际太空,2024(1):20-27.
- [12] 李静,崔航,贺琳. 面向NTN的网络管理标准进展和研究[J]. 邮电设计技术,2023(11):14-17.
- [13] 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.

### 作者简介:

崔航,工程师,主要从事空天地一体化网络架构、无线技术研究等相关工作;李静,高级工程师,主要从事移动通信无线技术研究、工业互联网技术研究等相关工作;李福昌,教授级高级工程师,中国联通研究院无线技术研究中心总监、国家知识产权局中国专利审查技术专家,毫米波太赫兹产业发展联盟副理事长,主要从事移动通信及固网移动融合等专业的标准制定、测试验证、课题研究等工作。