

基于3GPP的 NTN解决方案和关键技术研究

Research on 3GPP Based NTN Solution and Key Technologies

陈孟尝¹,李文彬¹,许建新²,王宝俊²,许鸿辉¹(1. 中国联通广东分公司,广东 广州 510627;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司,广东 广州 510627)

Chen Mengchang¹, Li Wenbin¹, Xu Jianxin², Wang Baojun², Xu Honghui¹(1. China Unicom Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China)

摘要:

为了解决因自然条件不允许或者建网不经济区域的无线信号覆盖,或保障因自然灾害等导致的地面网络中断等应急、救灾场景的通信,以及大众终端直连卫星的问题,业界开始重视NTN网络的研究工作。以卫星直连为代表的NTN网络兼顾了5G网络的特点,其最大的贡献在于解决了大众终端直连卫星的问题,而不需要专门的终端。重点研究了NTN网络的应用场景、关键技术等,同时对NTN网络的发展进行展望。

关键词:

NTN;应用场景;关键技术;卫星直连

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.007

文章编号:1007-3043(2024)12-0041-07

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In order to solve the problem of wireless signal coverage in areas with poor natural conditions or sparse population, or to ensure communication in emergency and disaster relief scenarios where the ground network is interrupted caused by natural disasters, and to solve direct connection between public terminals and satellites, NTN networks are paid attention from the industry. NTN networks, represented by satellite direct connection, take into account the characteristics of 5G network, and the biggest contribution is to solve the problem of mass terminal direct connection to the satellite, without the need for special terminals. It focuses on the application scenarios and key technologies of NTN networks, and also discusses the development of NTN networks.

Keywords:

NTN; Application scenarios; Key technologies; Direct connection to satellite

引用格式:陈孟尝,李文彬,许建新,等. 基于3GPP的NTN解决方案和关键技术研究[J]. 邮电设计技术,2024(12):41-47.

1 概述

非地面网络(Non Terrestrial Network, NTN)是与传统地面网络相对的网络的总称,典型的代表就是卫星通信平台和无人驾驶航空系统(Uncrewed Aerial System, UAS)。

3GPP在聚焦5G地面移动技术的同时,也考虑将5G地面移动技术和卫星通信系统融合,开展NTN标准化研究工作,把卫星通信纳入5G网络解决5G空口支持NTN的关键问题。R15版本的3GPP TS 22.261将

卫星作为5G接入技术的一个分支,探讨了卫星在5G系统的应用,要求5G系统能够使用卫星接入提供服务。它还规定,5G系统应支持同一运营商或运营商之间达成协议让其所拥有的陆上5G接入和卫星接入网络之间的服务具有连续性。

3GPP在R15标准中定义了NTN网络的部署场景和信道模型,评估了卫星接入网协议和架构,并在SA2中定义了卫星接入5G网络的3类用例,分别是连续服务、泛在服务 and 扩展服务。在R16阶段,3GPP从终端、无线和核心网等多方面开展了系统性的技术研究和讨论。在终端方面,对基于S/Ka频段的卫星通信手机功率、能耗的影响等方面进行了研究;在无线接入方

收稿日期:2024-10-16

面,对不同场景的信道模型、多普勒频移、传输时延等进行了评估,研究NR支持非地面网络的解决方案。3GPP在R17版本发布了5G NTN第1个标准规范,制定基于新空口技术的终端与卫星直接通信技术,重点研究在透明转发网络架构下的终端直连技术;根据卫星通信传输距离远、相对移动速度快、覆盖半径大等特性带来的传播时延大、多普勒频移大、信号衰减大等问题,设计出了空口增强协议。在R18阶段,3GPP进一步对NTN增强技术进行研究,包括移动性和服务连续性增强、覆盖增强、UPF上星等。基站与核心网上天的星上处理、跳波束等技术将在R19中进一步研究。

3GPP对于NTN技术标准化的进展及计划如表1所示。在R15和R16阶段,5G NTN还处于研究阶段;从R17开始,5G通过NTN的接入技术已开始了标准化,并将在后续版本不断向前推进^[1-3]。

表1 NTN技术标准化进展

3GPP协议	NTN标准化进展
R15	5G接入卫星研究、问题梳理、信道模型等
R16	5G接入卫星业务需求、解决方案研究
R17	5G接入卫星架构研究,透明载荷结构标准化
R18	UPF上支持边缘计算和本地交换研究,5G接入卫星性能增强
R19及以后	新场景需求研究

基于以上背景,本文将对基于3GPP的非地面网络解决方案展开研究。

2 NTN典型应用场景

NTN网络的主要应用场景可以分为手机直连卫星、汽车直连卫星和卫星互联网等三大典型场景,其实质还是卫星通信^[4]。

2.1 手机直连卫星

2.1.1 应急救援

应急救援是最为典型的应用场景。2008年,汶川地震时,灾区所有地面通信系统瘫痪,抗震救灾现场只能租用国外卫星电话链路保持与外界的沟通。汶川地震以后,为了拥有自主移动卫星通信系统,国家启动了天通一号的研发工作。卫星通信因其独立的通信能力和抗毁能力,不依赖于地面通信网络和电力系统,具有独特的优越性,在应急救援场景具有不可替代的优势,这一点在抢险救灾工作中已被充分验证。

2.1.2 偏远野外无人区

卫星通信的初衷是为了覆盖沙漠、湖泊、岛屿、山脉和农村等偏远野外无人或人少地区,因为这些地区不易用地面网络覆盖,或者即使能覆盖但因为用户稀少而效益差。

2.2 汽车直连卫星

随着社会和科技水平的发展,除了手机直连卫星外,汽车直连卫星也成为一大热门。为了满足广大人民群众的生活体验,越来越多的汽车生产企业在新的车型上配备了卫星通信模块,让车主享受无处不在的通信和娱乐体验。根据汽车工业协会的统计和测算,预计在2024—2026年,每年汽车出货量在2600万台左右,其中高端车占比为2.5%左右。根据高端车预装卫星通信模块的渗透率,预计2024年预装卫星通信模块的汽车达到5万台,到2026年这一数字将达到50万台以上。预计2026年后卫星通信模块将逐步拓展到中低端车型上。

2.3 卫星互联网

2.3.1 海洋覆盖

随着国家提出的海洋经济相关规划,海洋覆盖场景将是未来一个很大的潜在发展市场。在海洋牧场、渔业、海洋监测、海上油井和风力发电场、海洋运输等领域,卫星互联网主要满足位置定位信息上报、视频监控和个人宽带上网、娱乐、电话和短信等需求。

2.3.2 交通运输

交通运输场景主要包括民航客机、远洋游轮、国际列车等。目的是为了给用户(无论在天上、海洋还是深山中)提供随时随地的通信服务,保证用户服务的连续性;随着手机直连卫星技术的不断发展,用户在舱内也有与地面一样的服务体验。相关统计数据显示,2023年底我国民航飞机架数达到4270架,国内注册无人机达126.7万架,预计到2026年支持NTN的机载卫星终端将达到7万以上。

3 NTN关键技术

3.1 网络架构

NTN要实现天地一体深度融合,首先要确定网络的架构。按卫星在网络中的作用不同,网络架构主要分为卫星中继和终端直连卫星2种典型模式。

3.1.1 卫星中继模式

卫星中继模式可以把整个系统大致分为天基网络、陆基网络(用户接入地面基站/Wi-Fi)、用户终端(UE)和特定场景设备等几个部分。用户通过专用的

卫星用户站连接卫星,卫星的主要作用是作为链路进行回传。该网络架构可以看做是传统卫星通信VSAT系统的延伸,目前有成熟的产品方案,适用于在用户很集中、运行路径明确的场景进行部署,卫星主要用来替代有线光纤回传,目前已被应用在特殊场景覆盖和应急通信等领域。其网络架构如图1所示。

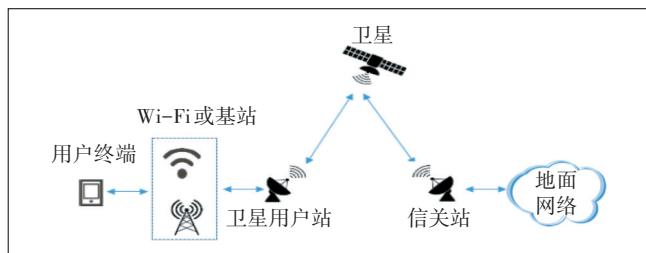


图1 中继模式网络架构示意

卫星中继方案的优点是产业相对成熟,卫星和配套设备商较多。地面网络运营商主要通过租用卫星资源来开展业务。该方案的缺点是前期成本较高,时延大和容量受限。但随着高通量卫星和低轨卫星的迅速发展以及用户的增加将成本逐渐摊薄,这些缺点将得到很大的改善。

3.1.2 终端直连卫星模式

终端直连卫星模式,顾名思义就是终端直接连接卫星,中间不需要卫星用户站来转换再将信号送到卫星,其网络架构如图2所示。终端直连模式在既有的卫星通信网络中已经得到了运用,卫星电话与卫星直接连接进行通信。卫星通信的设计初衷就是解决因自然条件不允许(比如没有电力,或者没有地方建设基站,或者无法铺设传输管线)或者覆盖不经济区域(比如山区、林地、草原、沙、戈壁海洋等地人稀地区用户少,从经济的角度看不值得投资建设)的信号覆盖和因自然灾害(比如地震、洪水)等导致的地面网络中断等应急、救灾场景的通信保障等问题。正是基于以上定位,传统的卫星直连模式下卫星通信产业的用户比较少,系统和终端成本都难以摊薄,导致卫星电

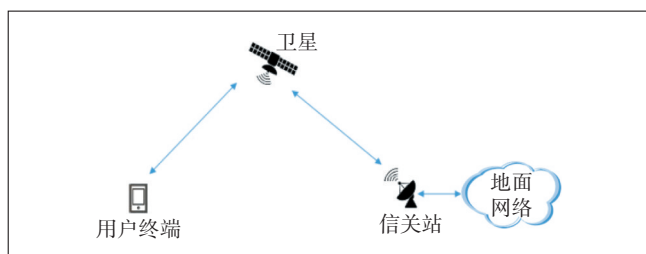


图2 直连网络架构示意

话价格昂贵。

3GPP NTN正是抓住了传统卫星电话终端昂贵的痛点,致力于实现大众手机能直连卫星,而不需要专用的卫星电话,这是3GPP NTN框架下的卫星直连与传统的卫星直连的主要区别。在目前的NTN相关协议中,定义了2种实现架构,分别是透明载荷和可再生载荷。

a) 透明载荷,又名透明转发,其实质是仅把卫星当作信号中继的链路。5G基站作为地面网络的一部分部署在信关站的后面。作为一个透明的通道,卫星上能够处理的只有射频部分,比如射频频率转换、滤波、放大和波束管理,但所负载的信号波形不发生变化。也就是说卫星只负责流畅地把手机和信关站连起来,不做任何其他处理,其网络架构如图3所示。透明载荷架构的优点是可以利用已有卫星,技术上实现起来较为容易,成本也低;缺点是卫星和基站之间的路径长,时延大,不支持星间协作,需部署大量信关站。

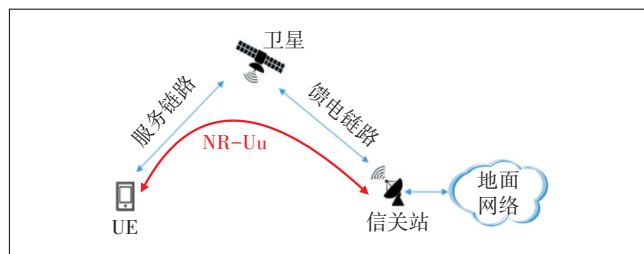


图3 透明载荷NTN网络架构示意

b) 可再生载荷,又名基站上星,相当于把5G基站部署到卫星上。卫星和卫星之间的星间链路就跟地面基站之间的Xn接口一样;卫星和信关站之间的馈电链路,实际就是基站跟核心网之间回传网络的一部分,其网络架构如图4所示。可再生载荷架构具有组网灵活、传输时延低等特点,由于有星间链路的存在,可以少部署一些信关站,但技术较复杂,卫星成本也较高。

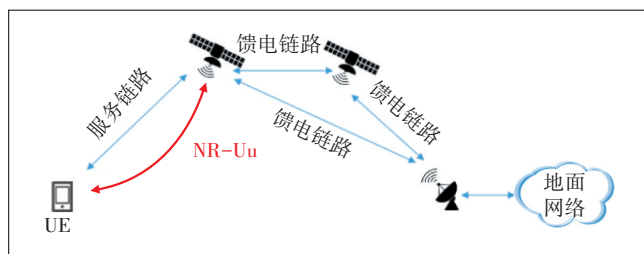


图4 可再生载荷NTN网络架构示意

不管是透明载荷还是可再生载荷架构,要实现5G NTN^[5],本质上是将卫星通信和地面蜂窝通信这两种原本泾渭分明的系统进行融合^[6-9]。然而,蜂窝通信的相关协议主要针对地面设备而设计,从2G、3G、4G,再到5G,均是面向地面网络场景发展演进而来,要和卫星通信相融合,其挑战是巨大的,协议上要进行大量的更新。

3.2 频率规划

卫星通信因其独有的特性,覆盖面积大,其频率资源属全世界共有,不能由一个国家单方面决定其使用权。世界各国须在国际电信联盟(ITU)的统一规划下合理使用,其主要遵循“先占先用”的原则竞争使用。由于各种无线通信系统的存在,实际可用于卫星移动通信的频率资源非常有限,既要兼顾带宽,又要避免对现有无线通信系统造成不良影响,因此需要对新增卫星移动通信系统的频谱方案进行研究。

要实现手机直连卫星,到底采用哪个或者哪些频段则需要先分析目前卫星通信系统的频率使用现状。目前,卫星通信使用到的频段涵盖L(1~2 GHz)、S(2~4 GHz)、C(4~8 GHz)、Ku(12~18 GHz)和Ka(27~40 GHz)等,而最常用的频段是C和Ku频段,而Ka频段是后起之秀。其中,C频段主要用于卫星固定业务,Ku频段主要用于卫星固定业务和卫星直播业务。对于移动通信业务,卫星主要使用L频段和S频段,代表性的卫星通信系统有铱星、全球星,海事卫星、天通等。海事卫星等系统使用1 525~1 559/1 626.5~1 660.5 MHz、1 610~1 626.5/2 483.5~2 500 MHz频段,铱星、全球星等系统使用1 610~1 626.5/2 483.5~2 500 MHz频段,天通系统使用1 980~2 010/2 170~2 200 MHz频段。由于受到频段带宽的限制,L和S频段主要用于窄带通信。

考虑到既要支持低轨道通信模式也要支持静止轨道通信模式,同时还要让普通大众的手持终端能直连卫星,目前3GPP NTN的技术方案将L和S频段作为主要的卫星通信频段,但卫星频率和地面网频率之间的干扰共存和资源协调面临较大的挑战。

频率规划最简单直接的思路就是新增卫星移动业务的频率资源或者借用地面蜂窝系统的频率资源,但新增卫星移动业务的频率资源需要世界无线电大会的研究与论证,借用地面蜂窝系统的频率资源方面则存在着合规性和不可避免的干扰问题。在R17阶段,3GPP规定了对L、S频段的支持,分别是n256(上行1 980~2 010 MHz,下行2 170~2 200 MHz,共2×30 MHz

带宽)和n255(上行1 626.5~1 660.5 MHz,下行1 525~1 559 MHz,共2×34 MHz带宽)。在R18阶段,3GPP RAN#98会议同意了一个新的频谱,以增加对一个新NTN的支持,UL部分在L频段(1 600 MHz),DL部分在S频段(2 500 MHz),具体为在上行频段对L频段(1 610~1 626.5,共16.5 MHz)、下行频段对S频段(2 483.5~2 500 MHz,共16.5 MHz)进行了扩展,并将该频段定义为n254。这样,卫星到手机之间在空口上下行各拥有超过80 MHz的频率资源,带宽得到了提升。NTN FR1频段规划情况如表2所示。

表2 NTN FR1频段规划

NTN卫星频段号	上行(UL)频率范围 (UE发射/卫星接收)/MHz	下行(DL)频率范围 (卫星发射/UE接收)/MHz	双工方式
n256	1 980~2 010	2 170~2 200	FDD
n255	1 626.5~1 660.5	1 525~1 559	FDD
n254	1 610~1 626.5	2 483.5~2 500	FDD

注:卫星波段从n256开始按降序排列。

同时,3GPP在Ka频段也规定了3个频段(n510~n512),上行17.7~20.2 GHz,下行27.5~30 GHz,共2×2.5 GHz的带宽。因为Ka频段频率高、衰减快,需要使用更高增益的天线,例如VSAT终端,它们通常被安装在建筑物或者车辆上。这样就形成了一套完整的频率规划体系,Ka频段主要面向固定(或车载)场景的用户,L和S频段面向手持设备用户。

3.3 无线技术

除以上提到的网络架构、频率规划外,无线方面还面临着一些具体的问题,主要包括以下几个方面。

3.3.1 高传输时延

地面移动系统的传播延迟通常小于1 ms,相比之下,NTN中的传播延迟要长得多,从几毫秒到几百毫秒不等,这取决于空载或空中平台的高度和NTN中的有效载荷类型。600 km高度的低轨道卫星(LEO)和地球静止轨道卫星(GEO)平台的时延如表3所示。

高时延对基站和手机间交互的时效性影响极大,尤其是在接入和切换等需要多次信令交互的时间段。在这么高的时延下,系统的定时器很可能已经超时重启,但信令还没送达。因此,需要对相关协议流程进行改进或者重新设计。以上行时间提前量(TA)调整为例^[10],LEO卫星快速移动时导致定时漂移可达到40 μs/s,若传播时延为15 ms,则TA命令到达UE时,偏离时长达到了0.6 μs,超过了CSC=120 kHz的循环前缀

表3 LEO和GEO平台时延

卫星轨道类型	GEO		LEO	
网络架构	透明载荷	再生载荷	透明载荷	再生载荷
卫星高度/km	35 786		600	
基站和UE之间往返最大传播时延/ms	541.46	270.73	25.77	12.89
基站和UE之间往返最小传播时延/ms	477.48	238.74	8	4

(CP)持续时间(0.59 μs), 所以必须对TA方案进行调整。按照UE补偿的链路不同, 有2种可选解决方案: 一种是补偿服务链路和馈电链路的时延, 另一种是只补偿服务链路的时延。这2种方案各有优缺点, 为了更广泛地应用, 在综合2种方案的基础上采取了一种折中的方案, 即引入上行时间同步参考点(简称参考点)的概念。gNB向UE提供一个公共TA(记为TA_c), 用于补偿参考点到卫星之间的传播延时。参考点在卫星上则TA_c为0; 参考点在馈电链路上(一般在NTN网关上)则TA_c>0; 这样大部分的TA由UE补偿, 残余的定时误差由gNB处理, 因为残余的定时误差足够小, PRACH接收机可以按照地面网络的方法补偿。

3.3.2 多普勒频移

对于任何卫星通信系统来说, 最根本的挑战是如何克服由于卫星相对于地球的运动而产生的往返时延和频率偏移, 也就是所谓的多普勒效应。由于非地球同步轨道卫星是相对地球高速运动的, 这会导致严重的多普勒频移。地面5G系统在一般场景下要处理的频偏是非常小的, 即使是在高铁场景, 频偏补偿仅需考虑数千赫兹。

对于低轨卫星系统, 多普勒偏移达到几十千赫兹甚至兆赫兹级别, 同时定时漂移有数十微秒。这些对5G NTN系统的设计是一个巨大的挑战。

3GPP解决这一挑战的方法是要求用户设备在接入网络之前补偿时延和服务链路的多普勒偏移。为此, 卫星会向用户设备广播自己的星历, 告知用户设备自己的位置和速度。用户设备需要配备全球导航卫星系统(GNSS)模块, 在接入网络之前用它来确定自己的位置。

用户设备根据自己的位置和卫星星历, 计算出与卫星的距离和相对速度, 并确定所需的预补偿值, 并应用一个大的频率偏移和时序提前量。这样, gNB(5G基站)就能够以其标称频率运行, 并使上行和下行时序对齐, 就像在地面网络中一样。

3.3.3 超大小区半径

如图5所示, 假设卫星与地面终端、地球球心三者在同一平面内。

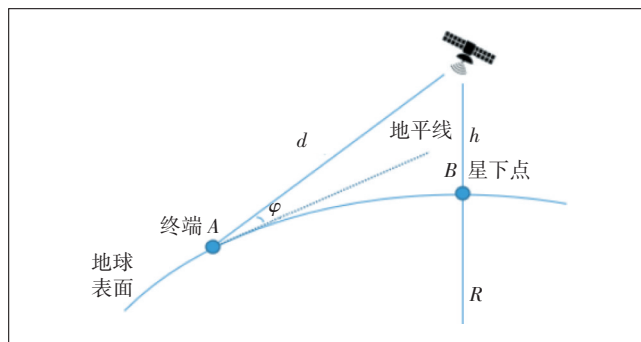


图5 单卫星覆盖示意

假设卫星高度为h, 终端所在位置的仰角为φ, 地球半径为R, 则终端与卫星的距离d可以表示为:

$$d = \sqrt{h^2 + 2hR + (R \sin \varphi)^2} - R \sin \varphi$$

地球半径R作为一个定值, 则终端与卫星的距离d随着卫星的高度和终端所在位置的仰角φ而变化(见表4)。

单卫星覆盖地表的半径为:

$$AB = R \times \left[\cos^{-1} \left(\frac{R \cos \varphi}{R + h} \right) - \varphi \right]$$

不同仰角和卫星高度单星覆盖半径如表5所示。

从表4和表5可以看出, 不同仰角和卫星高度下, 星地距离和单卫星覆盖半径差异很大。

地面蜂窝网络小区一般覆盖距离为几百米到几千米, 超远覆盖为一百多千米, 而NTN小区的覆盖范围要大得多, LEO波束宽度可达1 000 km以上, GEO波束宽度可达3 500 km以上。按照平台(星座)的高度不同, 典型波束直径尺寸如表6所示。

由表6可知, 随着波束直径的增加, 卫星小区中心和边缘的时延差异将变大, 这将对系统定时同步造成一定的影响。5G是同步通信系统, 为了避免用户间干扰, 需要增强同步机制, 建议如下。

a) 优化同步信号设计。设计具有更强穿透力和更广泛覆盖的同步信号, 以确保即使在小区边缘也能被用户可靠接收。此外, 同步信号的设计还应考虑减少时延差异, 以提高整个网络的同步性能。

b) 引入动态同步调整机制。由于NTN网络中的时延变化可能较为频繁, 因此有必要引入动态同步调整机制。这种机制可以根据网络状态和用户位置实

表4 不同仰角和卫星高度下的星地距离(单位:km)

h/km	$\varphi/^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
600	2 829	1 932	1 392	1 075	882	761	683	635	608	600
800	3 291	2 366	1 768	1 395	1 159	1 006	907	845	811	800
35 786	41 673	40 581	39 551	38 609	37 778	37 077	36 519	36 114	35 868	35 786

表5 不同仰角和卫星高度单星覆盖半径(单位:km)

h/km	$\varphi/^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
600	2 663	1 761	1 203	853	619	447	312	198	97	0
800	3 038	2 108	1 490	1 078	791	575	403	257	125	0
35 786	9 041	7 944	6 876	5 835	4 821	3 828	2 854	1 894	945	0

表6 典型波束直径尺寸

平台类型	高度/km	轨道	典型波束直径尺寸/km
LEO 星座	300~1500	环绕地球的圆形	100~1 000
MEO 星座	700~25 000		100~1 000
GEO 星座	35 786	相对地球保持静止,对于地面上的某个点,具有固定的高度和方向角	200~3 500
UAS平台(含HAPS)	8~50 (HAPS是20)		5~200
HEO 星座	400~50 000	环绕地球的椭圆形	200~3 500

时调整同步参数,以减少用户间的干扰。

c) 增强终端处理能力。通过提升终端的处理能力,使其能够更好地适应时延差异较大的网络环境。例如,终端可以采用更先进的信号处理技术来减少时延对同步性能的影响。

d) 优化网络规划和部署。在网络规划和部署阶段,应充分考虑小区半径和时延差异的影响。通过合理设置波束宽度等方式,可以优化网络覆盖和减少用户间的干扰。

e) 应用同频干扰消除技术。在小区中心和边缘用户之间,可能存在同频干扰的问题。通过应用同频干扰消除技术,如频率选择性接收和干扰消除技术,可以提高接收机的抗干扰性能,减少用户间的干扰。

f) 采用时间提前量(TA)调整。如前文所述,在NTN网络中,由于卫星与用户之间的距离较远,信号传输时延较大。通过采用时间提前量(TA)调整技术,可以补偿这种时延差异,提高网络的同步性能。

通过实施以上这些措施可以有效减少用户间的干扰,解决NTN覆盖小区半径大、时延差异大导致的同步问题,从而提高NTN网络的性能和可靠性。

3.3.4 移动性管理

由于非地球同步轨道卫星相对用户是高速运动的,这会导致频繁的小区切换和重选等移动性问题。

在移动性方面,非地面网络与地面网络有着显著差异。这种差异在低地球轨道卫星网络中最为明显,即使是静止的用户设备也会因为卫星的轨道运动而经历频繁的小区切换。在地面网络中,用户设备根据与基站之间的距离,会感受到明显不同的信号强度;而在非地面网络中,所有用户设备到卫星的距离大致相同,单元中心和单元边缘之间只有很小的信号强度差异。在传统的地面网络中,可以将因为距离而产生的信号强度差异应用到移动性管理的过程中,如基于接收到的下行信号强度进行小区选择。但在非地面网络中,连接模式下的移动性解决方案主要是有条件切换(CHO)。有条件切换包含了一个基于时间的触发条件和一个基于用户设备位置的触发条件。前者允许用户设备在一定的时间段内执行切换,而后者则考虑了设备相对于目标小区和源小区的位置,并以此决策是否切换。

在NTN网络移动性管理的决策过程中,为了避免不必要的切换或重选,需要将小区的移动状态信息等纳入考量,同时,也可利用小区的移动状态信息,预先进行小区或波束切换,从而减少信令交互开销。

3.3.5 混合自动重传请求(HARQ)

HARQ是蜂窝通信中的一个重要功能,提升了链路自适应工作模式下的可靠性。地面蜂窝网HARQ往返时间通常低于10 ms,而地空通信环境因距离远带来的传播时延较大(甚至高达上百毫秒),所以地空通信时的HARQ过程时间较长,影响链路性能。可以考虑用以下2种解决方案来解决该问题:一种是增加

HARQ进程,补充HARQ往返时间过长造成的等待,该方案主要用于时延相对较短的低轨卫星通信;另一种是当与GEO卫星通信时有百毫秒以上的超长往返时延时,可以采用禁用HARQ反馈流程方案避免停等,依赖更高层重传提升可靠性。其具体原理说明如下。

HARQ是一种“停止-等待”协议,只有在收到相应的反馈后,HARQ进程ID才能重用。在传统的新空口中,有16个HARQ进程ID,而在非地面网络中,这将导致由于没有可用的空闲HARQ进程ID而无法传输新的数据。为了避免这种“HARQ停滞”的结果,将HARQ进程的数量增加到了32个。但对于具有数百毫秒的极长往返时延的地球静止轨道场景,所需的HARQ进程ID数量是无法满足的。因此,R17还增加了禁用HARQ反馈(在每个HARQ进程ID中)的选项。在这种情况下,重传由无线链路控制层支持的较慢的反馈环路处理。

4 NTN发展面临的挑战和展望

基于3GPP的NTN解决方案,无论采用哪种架构,其主要优势是与大众市场智能手机的即时兼容性。与非3GPP的传统移动卫星业务系统使用笨重昂贵的终端相比,3GPP解决方案使得普通大小的智能手机也能享受全球数据和语音连接。地面运营商可以扩大其地理覆盖范围,填补人口稀少地区(包括农村)的覆盖空白,如海上覆盖等。

基于3GPP的NTN系统考虑了卫星系统固有的多普勒偏移和时延问题,而且不依赖于专有的解决方案。它是一个具有前瞻性的解决方案,并随3GPP版本的演进而演进,且向后兼容4G LTE物联网非地面网络,向前兼容6G非地面网络。它还具有很强的灵活性,能够根据低地球轨道、中地球轨道和地球静止轨道卫星网络的不同运行阶段,提供适合连接方案。

基于3GPP的NTN解决方案可以实现一个由地面和非地面组件组成的单一网络,包含了全球最大的信息通信技术生态系统^[11]。这种演进将使卫星运营商能够提供价格合理的卫星通信,并且由于有规定的增强功能(包括改进的HARQ机制)而能够实现更好的性能。另外,由于基于3GPP的非地面网络解决方案提供的服务将部署于非地面网络专用的频谱,因此被干扰的风险很小。

基于开放的3GPP规范的卫星连接,为创建一个大型的非地面网络生态系统提供了很好的机会,实现

了同一移动平台上地面系统和卫星系统之间的连接。由于卫星系统不具备与地面系统相同的容量,因此它们应该被视为互补而不是竞争的系统。预计未来几年将有更多的卫星运营商和地面通信运营商合作,在这一领域实现互利共赢。

5 结束语

NTN作为地面通信的一种补充,能很好地解决地面网络不能覆盖或者地面网络遇到自然灾害导致不可用的特殊情况下的通信问题。同时,基于3GPP的非地面网络解决方案可以实现星地一体协同发展,用大众手机实现卫星直连^[12]。通过不断的技术演进和完善,NTN网络将与地面网络实现完美的协同发展。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38. 811[S/OL]. [2024-09-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G: 3GPP TR 23. 737[S/OL]. [2024-09-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 3GPP. Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN): 3GPP TR 38. 821[S/OL]. [2024-09-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] 郭庆,王振永,顾学迈. 卫星通信系统[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [5] 黄宇红,王晓云,刘光毅. 5G移动通信系统概述[J]. 电子技术应用,2017,43(8):3-7.
- [6] 汪春霆,张俊祥,潘申富,等. 现代电信网络技术:卫星通信系统[M]. 北京:国防工业出版社,2012:12-14.
- [7] 汪春霆,卢宁宁,翟立君,等. 卫星通信与地面5G融合技术初探(三)[J]. 卫星与网络,2019(3):30-35.
- [8] 王悦,王权,张德鹏,等. 低轨卫星通信系统与5G通信融合的应用设想[J]. 卫星应用,2019(1):54-59.
- [9] 缪德山,柴丽,孙建成,等. 5G NTN关键技术与演进展望[J]. 电信科学,2022,38(3):10-21.
- [10] 叶向阳,单单,韩春娜,等. 5G NTN定时提前调整策略分析[J]. 邮电设计技术,2023(9):58-62.
- [11] 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.
- [12] 王达,童建飞,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.

作者简介:

陈孟尝,中国联通广东分公司副总经理,高级工程师,主要从事通信网络研究及管理工作;李文彬,高级工程师,学士,主要从事通信网络技术研究工作;许建新,高级工程师,学士,主要从事无线网络规划和设计工作;王宝俊,高级工程师,学士,主要从事网络规划和设计工作;许鸿辉,工程师,硕士,主要从事无线网络技术研发、产品创新、网络规划优化等工作。