

低轨卫星与5G融合应用及关键技术

Application and Key Technology of LEO and 5G Fusion

解宁宇¹,汪进²,王慧东¹,张磊¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联通铜仁分公司,贵州 铜仁 554300)

Xie Ningyu¹, Wang Jin², Wang Huidong¹, Zhang Lei¹ (1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China Unicom Tongren Branch, Tongren 554300, China)

摘要:

与传统地球静止轨道卫星相比,低轨道卫星具有大带宽、高通量、数据传输时延低等显著特点,更加适用于通信领域。低轨卫星通信系统与5G相互融合,取长补短,共同构建全球无缝覆盖的海、陆、空一体化综合通信网,满足用户无处不在的多种业务需求,是未来通信发展的重要方向。重点讨论了低轨卫星与5G网络融合架构、融合场景及融合内容,并重点分析了低轨卫星与5G网络融合所涉及的关键技术。

关键词:

低轨卫星;5G;融合;应用

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.04.003

文章编号:1007-3043(2021)04-0010-05

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:

Compared with the traditional geostationary orbit satellite (GEO), low orbit satellite (LEO) is more suitable for application in the field of communication due to its significant characteristics such as large bandwidth, high throughput and low data transmission delay. LEO communication system and 5G will integrate with each other, learn from each other, and work together to build a seamless global integrated communication network covering sea, land and air, so as to meet users' ubiquitous multiple business needs, which is the important direction of future communication development. It focuses on discussing the fusion architecture, scene and content of LEO and 5G network and analyzing five key technologies involved in the fusion of LEO and 5G network.

Keywords:

LEO; 5G; Fusion; Application

引用格式:解宁宇,汪进,王慧东,等. 低轨卫星与5G融合应用及关键技术[J]. 邮电设计技术,2021(4):10-14.

1 概述

相比于地面移动通信,卫星通信利用高、中、低轨卫星可实现广域甚至全球覆盖,可为全球用户提供无差别的通信服务。商用移动卫星通信系统能够为海上、应急及个人移动通信等应用提供有效的解决方案;中低轨卫星星座将卫星通信服务与互联网业务相融合,为卫星通信产业注入新的活力。

与传统地球静止轨道卫星(GEO)相比,低轨道卫星(LEO)具有大带宽、高通量、数据传输时延低等显著

特点,更加适用于通信领域,因此近年来LEO领域的相关研究越来越多。OneWeb、SpaceX、LeoSat和Telesat等国外卫星通信公司均已发射数十颗甚至数百颗低轨通信卫星,展开了低轨道资源的激烈争夺。我国的2030重大项目“天地一体化信息网络低轨接入网”、航天科技集团的“鸿雁工程”、航天科工集团的“虹云工程”、东方红卫星移动通信公司的“天通系统”等项目也已在低轨卫星领域崭露头角。根据NSR的预测,从2020年到2030年LEO运营商利润率将以每年40%的速度飙升,LEO通信领域将是未来通信的一片新蓝海。

随着5G时代的到来以及国家发改委首次将卫星

收稿日期:2021-03-01

互联网列入“新基建”范畴,移动通信将具备完善的产业链、巨大的用户群体、灵活高效的应用服务模式等。卫星通信系统与5G相互融合,取长补短,共同构建全球无缝覆盖的海、陆、空一体化综合通信网,满足用户无处不在的多种业务需求,是未来通信发展的重要方向。卫星与5G的融合将充分发挥各自优势,为用户提供更全面优质的服务。

2 低轨卫星与5G融合架构

LEO与5G网络的融合旨在形成一张无缝衔接的通信网络,覆盖地球上除极地以外的绝大部分区域,实现空、天、地一体化通信,其融合网络架构如图1所示,系统包括:

- a) 终端(UE):以手机、pad为代表的传统用户终端(UE)和车载卫星、机载卫星等卫星终端。
- b) 用户链路(Service Link):UE和卫星、基站之间的链路。
- c) 空间平台(Space Platform):具备星上数据处理及数据透传能力的卫星。
- d) 星间链路(Inter-Satellite Links):具备星座内或星座间数据透传的激光或微波链路。
- e) 信关站(Gateway):负责地面网络与卫星网络通信的关口。
- f) 馈电链路(Feeder links):卫星与地面控制站相

互通信的链路。

LEO星座分为有星间链路星座和无星间链路星座,二者混合组网构成空间卫星网络。我国位于北纬 $4^{\circ}\sim 54^{\circ}$,为避免拱点漂移,实现对地面全覆盖,星座采用倾斜圆轨道设计。为使卫星具有最大的覆盖特性,同一轨道平面内的卫星应均匀分布。星间链路通信采用激光或微波等方式,星地链路采用Ka、C、Ku等频段通信,信关站与地面终端通信采用5G网络、互联网等方式。

为避免信关站与5G网络之间的频谱干扰,优化服务提供、频谱配置、用户切换管理等内容,可将信关站与5G网络虚拟化,将二者融合为同一云平台为终端提供服务。

在融合网络架构中,卫星通信系统采用有(无)星间链路LEO星座,通过高低频多波束天线,在地面形成蜂窝状覆盖,可实现移动数据传输和宽带传输服务功能。随着LEO的不断移动,相应的星下点覆盖区域也随之移动,地面用户终端在不同的波束之间完成切换。

5G网络融合LEO网络的三大应用分别是连续服务、泛在服务和扩展服务,基于IP承载业务和信令通过信关站转发给卫星,卫星完成空值接口后通过星间链路透传或直接转发给地面信关站,信关站再将数据传送至核心网。核心网可部署在信关站,完成资源调

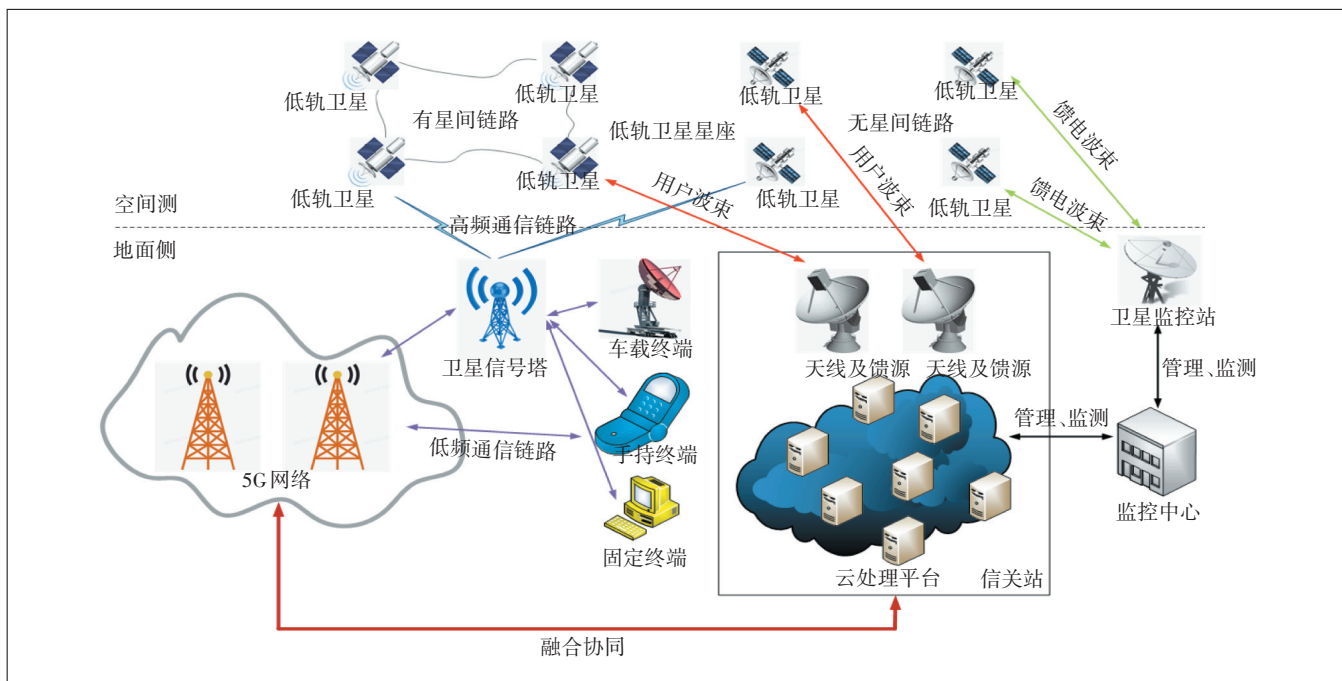


图1 低轨卫星与5G网络融合架构

度、数据处理;也可以部署在卫星处理器上,完成TtT业务或者空间多跳回传业务。

现阶段5G网络与LEO网络的融合大多是网络架构层面的融合,实现二者之间的网络互通、架构互联,可完成多种不同类型的终端之间数据互通,通过云平台的调度完成融合终端的无差别服务提供。在下一阶段的研究方向中,将重点实现5G网络与LEO网络之间在物理层解决方案、接口架构、核心网结构、鉴权管理解决方案、基于3GPP标准的协议和资源控制、通用地面无线接入体系结构和接口协议规范以及服务和系统方面的融合。

3 低轨卫星与5G融合场景及内容

3.1 低轨卫星与5G融合应用场景

3.1.1 海洋卫星宽带接入应用

海洋卫星宽带接入应用可为渔船、邮轮、远洋货轮等各类船舶,海上作业平台,岛礁等领域用户提供海洋卫星宽带接入服务及系统解决方案。可为用户提供高速互联网、音视频、数据回传、远程监控、调度管理、远程医疗等多种应用服务。

现阶段地面移动通信无法覆盖海洋区域,海洋卫星宽带服务适用于岛礁、集装箱船、渔船、游轮、海工船、科考船、油气运输船、海上作业平台、海洋牧场等领域,具备卫星网络宽带化、业务实时化、覆盖全球化、服务多样化、管理平台化等优势。

3.1.2 陆地卫星宽带接入应用

陆地卫星宽带接入应用可为应急保障、边防监控、抢险救灾、突发事件处置等领域用户提供多模式、安全、可靠、便捷的卫星应急专网通信服务以及卫星数据流量服务和系统解决方案产品服务。

该服务体系包含无人机、应急基站、应急指挥车、车载动中通、卫星固定站、全自动卫星便携站、超轻型卫星便携站以及卫星专网通信业务平台,可为用户提供高速卫星互联网、音视频、数据、监控、调度指挥等多种应用服务,实现了产品小型化、终端便捷化、应用灵活化和平台管理化。

3.1.3 空中卫星宽带接入应用

空中卫星宽带接入应用采用机载通信解决方案,结合LEO资源和可靠的机载卫星体系,以民航客机为载体,为航空公司和乘客提供高速、稳定、安全的宽带互联网接入服务。

2017年10月,中国民航允许机上使用便携式电子

设备(PED)后,机载卫星通信便展现出了强大的商业市场活力。该应用已通过国家安全中心和工信部的定级备案及安全防护审批,并完成了为多家航空公司提供的商务和服务测试。

3.1.4 遥感卫星影像资源应用

遥感卫星影像资源应用在国内属于新兴领域,通过高分辨遥感卫星资源为客户提供高精度卫星影像数据、地理信息数据,并以此为基础提供相应的遥感数据分析和应用服务,可为机场安全与交通执法领域提供优秀的系统解决方案,以及通过全景视频融合可视化平台,为客户提供定制化的天地一体化监测系统方案。

3.2 低轨卫星与5G融合内容

LEO网络与地面5G网络融合包括以下方面,从最低程度覆盖融合向最高程度系统融合递进。

a) 覆盖融合:LEO网络作为地面移动网络的补充,用于覆盖地面移动网难以覆盖的高山、荒漠、海洋等区域,仍是相互独立的网络。

b) 业务融合:独立组网为用户提供相似的服务内容及服务质量,能达到相当水平的服务标准。

c) 用户融合:用户使用同一ID可接入2种网络,依据网络场景及网络质量选择通信网络,可自动完成网络切换。

d) 体制融合:二者之具有相同的网络架构、传输和交换协议,终端、地面基站、信关站、卫星可使用相同的技术机制。

e) 系统融合:LEO通信网与5G网络完全融合,形成一张网络,实现空天地一体化无缝衔接,采用相同的资源调度、计费、漫游方式。

4 低轨卫星与5G融合关键技术

4.1 融合空中接口技术

为满足LEO网络与5G网络融合,卫星网络空中接口结构设计参照3GPP-R4/R6架构及其空中分层方法,在保留NAS层协议设计基础上,在MAC层以下以及RRC协议上针对卫星特点进行适应性设计,其空中接口设计结构如图2所示。

信道波形是空中接口技术的重要内容之一,5G下行采用CP-OFDM技术,上行采用DFT-S-OFDM和CP-OFDM技术,对应子载波带宽可选15 kHz、30 kHz、60 kHz、120 kHz、240 kHz。在卫星系统中,波形设计除满足信道特性的适配之外,还需要考虑峰均比PA-

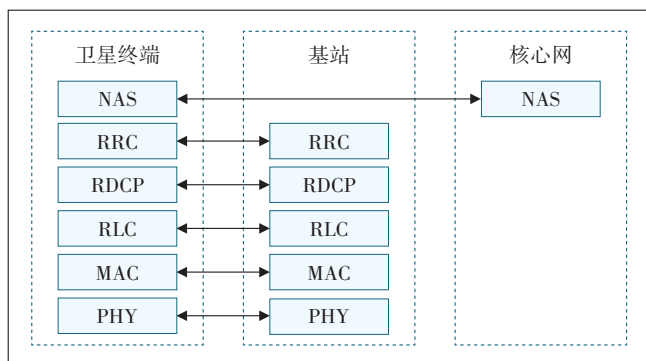


图2 空中接口设计结构

PR。DFT-S-OFDM在峰均比性能上优于CP-OFDM,但CP-OFDM在抗多径衰落、宽带传输性能上具有较大优势,因此通常将2种技术在高低频段上组合使用。LEO通信网络中的高低频参考5G的资源划分,包括时域、频域、空域资源等,其逻辑结构如图3所示。

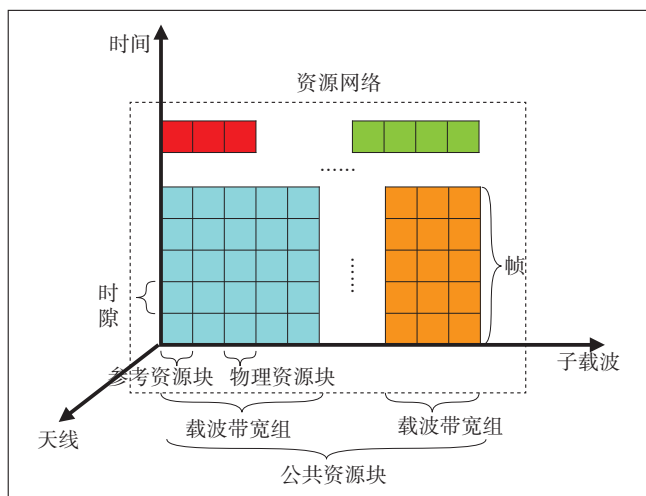


图3 低轨卫星无线资源多维组织结构

LEO相对地面终端在不断运动,导致卫星与终端的距离变化率和时延变化率持续变化。当LEO出现在地面终端追踪的范围内以及离开追踪范围内的临界点时,具有最大的距离变化率和时延变化率。当LEO和地面终端连线经过地心时,卫星具有最大径向速度。在LEO通信网络中,循环前缀的持续时间须达到最大往返时延差和最大时延扩展之和,才能保障星上处理器在观察间隔内接收到地面终端发送的完整数据流。

4.2 多载波传输技术

LEO通信系统中,卫星轨道高度、轨道倾角、经纬度、星下点轨迹的实时变化会产生较大的多普勒频移,这将对LEO通信网络与5G网络的融合造成非常

不利的影 响。LEO通信网络与5G网络融合采用多载波传输技术,传输体制采用正交频分复用(OFDM)技术。较小的频率偏移就会对OFDM系统带来非常大的变化,甚至影响子载波间的正交性,进而产生载波间干扰(ICI)并造成系统性能的严重下降。为避免多普勒频移,在LEO通信网络与5G融合通信系统中多采用可变子载波带宽技术和星历预先补偿技术。

LEO通信系统常用频段范围为C频段(4~8 GHz)至V(50~75 GHz)频段,在此范围内归一化残余频偏的大小随着子载波带宽的变化而变化,采用可变子载波带宽技术能够有效降低抗残余频偏对通信系统性能的干扰。由于C频段可用带宽较窄,且需要支持码率低至2.4 kbit/s的语音业务,通常采用15 kHz带宽或者更窄的子载波设计。C频段天线要求最小通信仰角为10°,这样在C频段形成的最大多普勒频移将超过15 kHz,只采用载波同步技术不能解决这种情况下的多普勒问题,需要引入星历预先补偿技术。在V频段,经常采用大带宽通信,其子载波带宽也较大,同时V频段天线要求最小通信仰角为50°,这些因素都利于对抗多普勒效应。对于传输带宽超过2.4 MHz的子载波,30 GHz载频、1 200 km轨道卫星运动造成的多普勒可以小于载频的5%,满足归一化残余频偏不超过子载波带宽5%的性能指标。

在星历预先补偿技术中,卫星通过广播控制信道BCCH将包含有卫星当前所处轨道经纬度、运行速度、轨道根数及其变化规律等参数的信息发送给地面终端,终端通过计算可以预测出卫星未来的变化趋势并预先进行补偿,这样就可以最大程度的避免多普勒频移造成的频偏。

4.3 短突发传输技术

物联网是卫星与5G融合的重要应用之一,当前的物联网通信带宽远低于卫星通信系统带宽,200 kHz的传输带宽即可满足物联网通信基本需求,但目前卫星通信链路较长的传输时延无法满足物联网的低时延要求。对于LEO,由于相对地面某点的距离变化较大及传输功率受限等,其时延变化较为明显,为使其能够满足物联网的低时延需求,可通过降低空中接口最小资源颗粒度,形成窄带的广域接入以减少时延;同时,可通过发送可配置、可拉伸的短突发信号波形,使得在长时延卫星信道下提高接入成功率。

卫星通信网络是典型的功率受限系统,其通信链路性能受功放设备的影响非常严重,功放能力的不足

会导致传输链路处于非平稳噪声干扰中,甚至导致通信中断。因此卫星物联网需要在短突发包长基础上实现比传统移动通信更低信噪比的接收处理能力。

4.4 波束切换技术

卫星利用多波束天线技术在地面形成一个个小区,其覆盖方式包括卫星固定覆盖和地面固定覆盖,2种覆盖方式分别对应异步切换和同步切换。异步切换时卫星波束在地球上形成的覆盖面以恒定的速度运动,该方式下的星上载荷设计简单,技术复杂度较低,但终端在小区间的切换较为频繁,移动性管理较难,Indium系统采用的是异步切换技术。同步切换时卫星波束在地球上形成的覆盖面在一段时间内是恒定的,其星地链路保持不变,该方式下通信质量较好、便于实现分集技术和无损切换,但技术实现较为复杂、要求全网时钟同步且波束成型难度较大,Teledesic系统采用的是同步切换技术。

4.5 频率管理技术

频率资源受限是影响LEO网络与5G网络融合的重要因素,为应对频率资源受限的困境,现阶段大多采用LEO网络和5G网络频率复用技术,通过合理的频谱协同规划,实现二者之间的频谱共享进而提升融合网络的系统容量。

在L、S等低频段,LEO网络和5G网络使用不同载频,卫星波束覆盖小区边缘用户,5G基站覆盖小区中心用户,可以显著提高蜂窝网的频率复用效率;在Ka、Q/V等高频段,由于天线波束角较窄,可以利用波束的自身空间分割降低系统间频谱干扰。除此之外,可利用协同频谱感知技术实现频谱共享,多个用户使用同一频段通信,提升用户容量及频谱利用率。

5 结论

综上所述,LEO与5G的融合涉及到诸多技术方面内容,当前处于融合技术研究的初期阶段,实现了LEO与5G网络之间的架构融合,可满足二者之间的数据互通、波束切换、频率复用、业务兼容。在此基础上,本文涉及到的LEO与5G融合架构、融合层次、融合内容及融合关键技术等方面,提供了LEO与5G融合的可行性方案,为后续工程提供参考。

下一阶段的研究方向将是实现技术体制的融合,研究LEO与5G网络融合技术体制,采用统一的空口技术体制,进行统一的资源管理和动态资源共享,实现统一的业务调度与编排,最终打造高效的空天地一

体化网络,为用户提供无感知、无缝、极简接入的优质服务。

参考文献:

- [1] NSR. SATELLITE CONSTELLATIONS: A CRITICAL ASSESSMENT [EB/OL]. [2021-02-05]. <https://www.nsr.com/research/hts-satellite-constellations-a-critical-assessment-3rd-edition/>.
- [2] Henry C. LEO and MEO broadband constellations mega source of consternation [EB/OL]. [2021-02-05]. <https://spacenews.com/divining-what-the-stars-hold-in-store-for-broadband-megaconstellations/>, 2018.
- [3] BRODKIN J. SpaceX cuts broadband-satellite altitude in half to prevent space debris [EB/OL]. [2021-02-05]. <https://arstechnica.com/tech-policy/2019/04/spacex-changes-broadband-satellite-plan-to-limit-debris-and-lower-latency/>, 2019.
- [4] Laser Light HALO Global Network System Overview [EB/OL]. [2021-02-05]. <https://www.laserlightcomms.com/>.
- [5] LaserFleet. About Us - LaserFleet [EB/OL]. [2021-02-05]. <http://www.lf.link/about-us>, 2020.
- [6] 张奇,严钧,许闹伟. 4G/5G混合场景下SPN组网关键问题探讨[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(6): 10-13.
- [7] 吕云辉,王克信. SPN传输网络架构分析[J]. 通讯世界, 2019, 26(8): 162-163.
- [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] 汪春霆,卢宁宇,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.
- [10] 张平,陶运铮,张治. 5G若干关键技术评估[J]. 通信学报, 2016(37): 15-29.
- [11] 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.
- [12] PULTAROVA T. News: Space tycoons go head to head over mega satellite network[J]. Engineering & Technology, 2015(10).
- [13] 刘旭,李侠宇,朱浩. 5G中的SDN/NFV和云计算[J]. 电信网技术, 2015(5): 1-5.
- [14] 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.
- [15] 李辉. Ka频段宽带卫星之路有多宽[J]. 国际太空, 2017(1): 56-62.
- [16] 李芄芃,郑娜,仇沛川,等. 全球5G频谱研究概述及启迪[J]. 电讯技术, 2017, 57(6): 734-740.
- [17] 苑超,谭东,张晓宁,等. EHF卫星通信的特点与现状[J]. 数字通信世界, 2013(5): 54-58.

作者简介:

解宁宇,工程师,硕士,主要从事卫星通信相关咨询设计工作;汪进,工程师,硕士,主要从事无线通信网络规划、维护、优化、管理工作;王慧东,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络规划设计方面的研究工作;张磊,高级工程师,学士,主要从事无线通信网络设计研究工作。