

星地融合网络架构及关键技术研究

Research on Architecture and Key Issues of Integrated Satellite-Terrestrial Systems

朱 斌¹,何建伟²,王光全¹,胡 悦¹(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 航天科工空间工程发展有限公司,湖北 武汉 431400)

Zhu Bin¹,He Jianwei²,Wang Guangquan¹,Hu Yue¹(1. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China;2. CASIC Space Engineering Development Co.,Ltd.,Wuhan 431400,China)

摘 要:

随着国内外低轨卫星通信的空间网络快速发展,天基网络与地面网络逐渐形成两大独立的通信信息网络,卫星与地面网络融合成为5G增强和6G研究重点,由于与国外业务规模、运作模式存在差异,需制定适合国内需求的“卫星+5G/6G网络”研究发展规划,从ITU/3GPP等标准、网络体系架构及演进规划角度展开研究工作,分析技术背景及需求、技术现状和趋势,问题及风险等,从而为运营商后续标准推进及网络发展规划提出策略建议。

关键词:

5G/6G; 卫星; 融合

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.07.011

文章编号: 1007-3043(2022)07-0056-05

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the rapid development of space communication network about leo-satellite in domestic and international market, satellite-based network and land-based network are gradually formed two independent communication information networks. The integration of leo-satellite and mobile network has become the focus of 5G enhancement and 6G research. Due to the differences with foreign business scale and operation mode, it is necessary to making a “satellite+5G/6G” network development plan which is suitable for domestic demand. It studies ITU/3GPP standards, network architecture and evolution plan, and analyzes the technical background and demand, technology present status and trends, problems and risks, so as to provide strategic suggestions for the subsequent standard promotion and network development planning of operators.

Keywords:

5G/6G; Satellite; Convergence

引用格式:朱斌,何建伟,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.

0 前言

近年来,随着互联网/物联网的普及发展,以及机载、船载、空间中继等通信需求的日益增加,卫星通信进入以高通量卫星(HTS)、中低轨星座(NGSO)等技术系统为平台,以互联网应用为服务对象的卫星互联网发展阶段,特别是2020年发改委将“卫星互联网”首次纳入“新基建”范畴,预计2023年左右虹云(航天科工集团)、鸿雁(航天科技集团)及银河航天等商业公司星座将完成阶段性部署建设,卫星网络与5G增强融合

发展、6G深度应用已成为通信网络界的关注焦点,卫星通信与地面网络相结合的星地一体化的融合网络集中了卫星网络和地面网络的优势,是实现全天候/全地域的“永远在线”信息通信目标的有效解决方案,由于国内与国外通信与航天领域的业务规模、运作模式存在差异,需研究并制定适合国内航天与通信领域需求的“卫星+5G/6G网络”发展规划及演进策略。

1 标准情况

1.1 ITU标准

国际电信联盟(ITU)作为联合国主管信息通信技术事务的专门机构,是电信行业最具权威的标准化组织,除了卫星技术标准化工作外,其掌握着卫星轨道

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2900602)

收稿日期:2022-05-10

与频率资源申请的规则要求和监管架构,特别是对于无线电频率资源中非规划的频率资源,实行“先登先占”原则,随着越来越多中低轨卫星投入使用,空间轨道和频率资源竞争越来越激烈,需要提前研究和布局。

2019年ITU的世界无线电通信大会(WRC-19)明确了利用地面和空间通信技术连接世界的创新方式,并在低轨星座卫星、短寿命卫星频率和轨道资源使用规则、非静止轨道(non-GSO)卫星技术要求、高空平台通信(HAPS)等重要方面进行集中讨论,特别是对中轨道(MEO)和低轨道(LEO)卫星星座相关规则进行梳理和完善,以便更合理、高效和经济地共同使用卫星频率和轨道资源,促进全球低轨卫星星座市场健康可持续发展。继太空探索公司(SpaceX)提交上万颗低轨卫星星座申请并发射一千多颗低轨卫星后,我国也在2020年12月正式向ITU提交了12 992颗星座(2个巨型卫星星座)计划的申请。

ITU组织下设有电信标准部门(ITU-T)、无线电通信部门(ITU-R)和电信发展部门(ITU-D),在卫星标准化工作方面,重点集中在ITU-T SG13和ITU-R SG4 2个研究组。

ITU-R SG4研究组(卫星业务研究组)负责制定卫星业务关键技术定义和分析建议,涵盖固定/移动业务、广播业务和无线电测定业务,ITU-R M.[NGAT-SAT]标准提出星地融合的4种应用场景:中继到站、小区回传、动中通及混合多播等场景,并指出未来卫星网络需解决若干关键技术和问题,如多播支持、智能路由支持、动态缓存管理及自适应流支持、延时分析、一致的服务质量、与NFV/SDN兼容和商业模式的灵活性等十大方面;ITU-T SG13研究组(未来网络研究组)关注IMT-2020、云计算和可信网络基础设施,在卫星研究方面主要集中在固定、移动和卫星网络融合的需求、框架、移动性和连接管理、边缘计算接入等方面。

1.2 3GPP 标准

3GPP标准组织最早在R14阶段开始了卫星相关研究工作,与卫星相关的标准工作组有SA1工作项目(卫星一体化的标准)、SA2研究项目(卫星5G系统架构)、RAN1/2/3研究项目(支持非地面网络(NTN)的NR解决方案)。

3GPP目前研究卫星与5G网络的关系,关注的重点是卫星如何接入5G网络,采用非地面网络(Non-

terrestrial networks, NTN)框架来定义卫星等非3GPP的接入方式,涉及从R14到R17等版本,各版本的研究重点如下。

a) Rel-14版本是5G的研究项目,其重点讨论卫星在5G中的角色作用,其中在3GPP TS 22.261规范中对卫星在5G系统中角色、优势及应用场景做了探讨。

b) Rel-15版本是5G第一版标准,定义了卫星在5G中的三大服务用例(连续、泛在、扩展)和初步融合架构模型,其中RAN1对与卫星相关接入网协议和架构进行评估,SA2定义了卫星接入5G网络的3类用例:连续服务、泛在服务 and 扩展服务。

c) Rel-16版本是5G的完整版标准,完成一体化标准研究,形成架构标准,其中在RAN1/RAN2/RAN3 3GPP TR 38.811《NR支持非地面网络》研究项目,定义了包括卫星网络在内的NTN的10个部署场景,包括8个eMBB场景和2个mMTC场景,并提出了星地融合的4种网络架构初步模型。

d) Rel-17版本是5G增强版本,加强NTN研究被列为重点方向,开展多层研究,其中在RAN1/RAN2/RAN3和SA2都已将卫星融合技术规范纳入工作内容。

卫星业务需求主要在3GPP TS 22.261规范中体现,规范对卫星在5G系统中的角色和优势做了探讨,提出了天地融合的应用场景和5G卫星接入网络的概念,终端可以通过卫星接入网络接入,其中卫星接入网至少由1个卫星组成,卫星可以是高中低轨卫星。规范中要求5G系统能够支持终端在5G卫星网络与5G地面网络之间漫游,并定义了KPI时延指标要求,具体如表1所示。

表1 终端到卫星传播时延指标

卫星类型	终端到卫星时延/ms		单向最大传播时延/ms
	最小值	最大值	
低轨卫星	3	15	30
中轨卫星	27	43	90
高轨卫星	120	140	280

卫星如何接入5G网络主要在3GPP TR 22.822规范中研究,规范明确5G使用卫星接入的连续服务、泛在服务 and 扩展服务的三大类服务,并提出包括星地网络间的漫游、卫星的多播/广播、卫星物联网、卫星组件临时使用、最优路由或控制、卫星跨境连续服务、卫星

全球覆盖、通过5G卫星接入网的直接连接、NR和5G核心网间的固定回传链路、5G移动平台回传、5G到楼宇、远端服务中心与离岸风场间的卫星连接等12个应用场景,并讨论了新的及现有服务的需求、卫星终端特性的建立、配置与维护以及在卫星网络与地面网络

间的切换问题,其中典型业务为通过5G卫星接入网的直连,分为透明转发与星上处理2类。

卫星网络架构主要在3GPP TR 38.811规范中体现,如图1所示,卫星网络系统主要包括以下几个部分。



图1 卫星接入网典型系统组织架构图

a) NTN终端(User Equipment):3GPP用户终端和非3GPP用户终端(卫星终端)。

b) 用户链路(Service Link):终端和卫星之间的链路。

c) 卫星(Space Platform):搭载弯管或者具备星上处理能力的卫星。

d) 星间链路(Inter-Satellite Link):具备星上处理能力卫星间的链路。

e) 信关站(Gateway):连接卫星和地面核心网/公共数据网络的网元。

f) 馈电链路(Feeder link):信关站与卫星之间的链路。

1.3 CCSA标准

CCSA标准化组织研究主要集中在TC5和TC12工作组,卫星技术集中在TC12航天通信技术组的WG1、WG2和WG3工作组,其中WG1的研究重点是航天通信系统,WG2的研究重点是航天通信应用,WG3的研究重点在协同组网通信技术方面,目前正在研究的总体架构及要求方面涉及《天地一体5G网络总体技术要求》《天地一体5G网络场景及需求》《空天地一体化协同组网系统架构及场景研究》等相关项目,具体技术方面有《卫星网络与边缘计算网络融合组网技术研究》《基于星地融合的网络切片技术研究》《基于光交换的空间组网技术研究》等,主要成员涉及航天科工集团公司、中国信通院、中国电信/中国移动/中国联通三大运营商以及卫通、大唐电信等。

2 星地一体化网络体系

2.1 卫星与5G网络关系

卫星网络覆盖范围广且容灾安全能力强,但是网络性能受环境地面气候和建筑物影响较大,系统容量

及速率目前远低于地面5G网络;地面5G网络虽然性能和容量大、服务质量高,但是无法应用在海洋、山区/郊区、高空等偏远场景,面临业务连续性和泛在服务等问题。

卫星与5G网络呈现融合发展的趋势,卫星和5G技术的发展为融合打下基础,卫星通信作为补充延伸,增强了5G网络能力,卫星延伸了地面网络的空间维度,卫星可实现高可靠性和高安全性的全球覆盖通信。因此,卫星通信与地面5G通信的互补大于竞争,两者融合是未来发展趋势,行业组织需要对星地融合架构及关键技术展开深入研究。

2.2 星地融合网络架构及演进

目前国内外天地一体5G网络架构及关键技术的相关标准与技术要求均在研究阶段,尚无完整体系的标准发布及应用化案例,在星地融合网络架构方面,标准方面可从逻辑和网络组织不同层面来考虑其融合架构。

从固定、移动和卫星融合接入角度发展来看,天基网络初期采用以DVB等非3GPP协议组网,地基网络主要采用3GPP为主的协议,同时也支持非3GPP接入方式,天基网络和地基网络初期各自发展,从终端到接入网络层面支持互联互通,具体如图2所示。

更具体的层面,卫星接入5G核心网互通架构中引入非3GPP互联功能(Non-3GPP InterWorking Function,N3IWF),如图3所示,与地面5G核心网架构相同,支持和UE之间的IP安全加密链路的建立,转发UE和AMF之间的上下行控制平面的NAS信号,转发UE和UPF之间的上下行用户平面数据包,执行QoS对应的N3分组标记、非3GPP接入的本地移动锚定的功能。

从2张网络长期融合发展角度来看,星地融合网

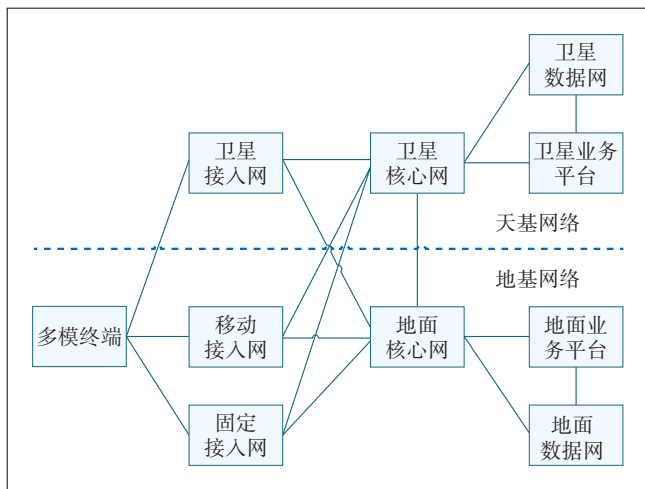


图2 固定、移动和卫星接入融合架构图

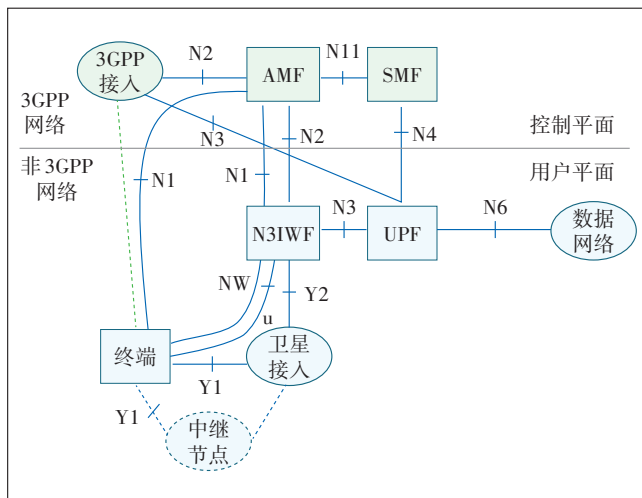


图3 非3GPP互通功能(N3IWF)组网架构图

网将由天基网络和地基网络组成,具体如图4所示。天基网络主要包括天基接入网和天基核心网,地基网络主要包括地面接入网和地面核心网。其中地面核

心网又可细分为公众核心网、卫星核心网,初期建议公众核心网和卫星核心网独立组网,后期协同组网或者天基与地基核心网融合。

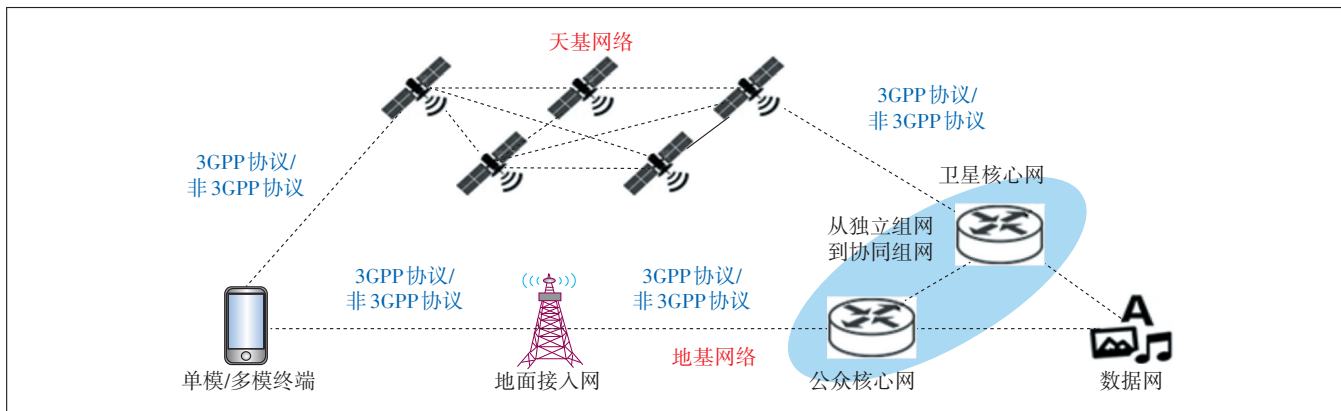


图4 天地一体化架构图

2张网络具体融合方式按照演进的不同阶段分为以下3种层次。

a) 互连互通阶段:业务融合。该阶段通过互通网关方式,实现2张网络互通,终端从各自网络接入。

b) 混合接入阶段:体制融合。该阶段允许不同类型单模/多模终端分别或者同时通过天基/地基接入网接入,从用户角度实现2张网络体制上的融合。

c) 统一组网阶段:系统融合。该阶段统一天基和地基网络协议,完成系统真正意义上的融合。

3 星地融合关键技术点

星地融合关键技术主要涉及星上/地面技术、多模融合终端、业务及应用技术多个方面,研究机构通过关键技术研究突破,发挥卫星与地面网络协同优势,

提升覆盖率、接入连续性和连接数量。

a) 星上技术:主要涉及无线空口一体化技术(包括波束及频度等)及天基功能切割(基站上星及核心网部分功能上星等)。

b) 地面技术:主要包括智能接入管理,频繁切换下的移动性管理,虚拟信关站与核心网元融合等技术研究。

c) 多模融合终端技术:主要解决单模/多模终端如何接入不同网络及漫游等。

d) 业务及应用技术:主要研究如何结合地面网络能力和业务形态,引入业务协同应用管理平台,实现星地融合的一卡多号、一号多终端、流量共享等星地终端创新业务。

从星地融合一体化角度出发,关键技术点的研究

重点建议集中在以下4个方面。

a) 星地融合多维网络架构:融合应用场景及需求、星座卫星和地面网络功能重新梳理及分割(重构星地接入网络、星地融合核心网),包括星地融合总体方案、卫星互通网关、星上体制协议、卫星核心网等,按照融合的层次由浅至深,形成泛在接入互联互通以及协同核心网控制的融合网络架构。

b) 天基计算及卫星组网仿真:研究星上云技术涉及的通用模块服务技术及平台架构,研究卫星不同轨道及星链建立前后用户及网络资源需求,通过搭建面向星地一体的融合组网软件仿真平台及建模技术,规划信关站/地面站传输承载带宽及协同需求,指导天基和地基网络协同建设。

c) 星地协同虚拟化组网研究:研究信关站虚拟化技术、网络拓扑预计算技术、星地一体化边缘计算及端到端切片编排技术、网络运行态势感知技术等,满足按需融合组网需求。

d) 融合应用落地方案:结合运营商网络优质资源及合作卫星产业资源积极试验,从泛在接入和协同网络2方面切入攻关,针对卫星通信时延长、丢包率高等问题,结合语音、消息、5G数据业务的特点,解决用户接入认证和连接管理等问题,满足星地融合业务应用需求。

4 结束语

从国内外标准组织研究进展可以看出,卫星通信与5G乃至6G通信密不可分,卫星和5G网络的融合还在规范制定的阶段,如何最大程度复用地面的5G关键技术和标准,是通信行业主要诉求,但目前卫星与通信存在2套标准体系,协议融合还有一段路要走。在真正融合之前,业务融合及网络互通更容易实现,站在通信行业角度,5G/6G网络的覆盖和组网需要卫星进行有效补充,而站在航天业角度来看,5G/6G地面网络系统能够给卫星网络带来落地接入的便利,卫星网络与地面网络的融合将是一个双赢的结果。

卫星与地面网络融合是5G增强和6G研究重点,由于与国外业务规模、运作模式存在差异,需制定适合国内需求的“卫星+5G/6G网络”研究发展规划,积极布局空间网络研究及建设方案,实现空间与地面设施互联互通,探索中国联通5G/6G一体化网络业务,推动相关产业发展。

首先需要布局空间网络研究及建设方案,建议结

合运营商独有资源加大与卫星公司的合作,逐步发挥在网络承载、网络运营和业务发展等领域的优势。

a) 开展关键技术研究,将成果推动至ITU及3GPP标准中去,积极引导国内外标准趋势。

b) 加强并尽早布局星地融合网络研究,聚焦核心通信技术和应用场景等方面,深度融入产业链。

其次需要开展联合技术攻关和测试验证,形成和输出满足运营商需求的星地融合网络技术体系,并对卫星设计制造方等卫星产业链产生积极影响。

a) 构建产学研业联盟,联合开展星上/地面技术、多模融合终端、业务及应用技术攻关,重点从以下几方面开展工作:设计泛在接入网和统一核心网,实现融合网络架构;星地融合网络的网元功能划分,如网元功能在地面、星上部署时的功能分割;星间路由、资源调度;网络协同、信息同步、多模融合终端等。

b) 随着5G网络演进及低轨卫星的全面覆盖,开展网验证性测试工作,进行业务创新,形成商用落地方案,并将方案用于钻井平台、远洋船舶、海外基地及勘察车辆等场景,探索一条产学研应用落地道路。

总之,运营商需要与卫星产业链深入合作,构筑适合国内现状的空天地一体化网络生态圈,结合卫星通信网与地面通信网各自优势,将通信网络边界拓展至无人区、海洋、天空,实现通信网络在任意时间、任意空间的全覆盖,真正实现全球用户无缝通信连接的愿景目标。

参考文献:

- [1] 3GPP. Service requirements for the 5G system: 3GPP TS 22.261 [S/OL]. [2021-12-14]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] 3GPP. Study on using satellite access in 5G: 3GPP TR 22.822 [S/OL]. [2021-12-14]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 3GPP. Study on 5G New Radio to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38.811 [S/OL]. [2021-12-14]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] ITU. Key elements for integration of satellite systems into next generation access technologies [R/OL]. [2021-12-14]. https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2460-2019-PDF-E.pdf.
- [5] 3GPP. Common API Framework for 3GPP Northbound APIs: 3GPP TS 29.222 [S/OL]. [2021-12-14]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

朱斌,高级工程师,硕士,主要从事5G网络及能力开放研究、天地一体化新技术跟踪及创新业务产品研究工作;何建炜,高级工程师,硕士,主要从事卫星通信与地面5G融合技术研究、卫星应用创新产品研发、空间工程产业化论证实施等工作;王光全,教授级高级工程师,硕士,主要从事光通信、量子加密通信等领域研究工作;胡悦,工程师,硕士,主要从事核心网技术及星地网络融合、5G消息相关领域的研究工作。