



面向空天地一体化场景的 5G 卫星双模终端需求及应用探讨

王文哲¹, 安岗¹, 李忻², 张伟强³, 刘振华⁴, 郑念卿⁴, 陈盛伟⁵, 赵文东¹, 狄子翔¹, 顾照杰¹

(1. 中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100032;

2. 紫光展锐(上海)科技有限公司, 上海 201203;

3. 北京紫光展锐通信技术有限公司, 北京 100191;

4. 航天行云科技有限公司, 湖北 武汉 430027;

5. 中国移动通信集团有限公司成都产业研究院分公司, 四川 成都 610000)

摘要: 该研究主要从 5G 卫星融合的发展趋势出发, 对国内外空天地一体化的典型解决方案进行了研究浅析, 进而引出了对 5G+卫星融合发展方面的应用场景、业务需求以及 5G 卫星天地一体化双模终端的技术需求方面的研究探讨, 最后给出了 5G 卫星双模通信终端发展面临的挑战, 以期产业界提供 5G+卫星双模终端的标准化及预研发具有挑战性的方面的指引, 并为克服这些挑战提供些有益的思考和建议。

关键词: 5G; 卫星物联网/互联网; 双模终端; 空天地一体化

中图分类号: TN87

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022129

Discussion of 5G satellite dual-mode terminal requirement and application in the integration communication scenario of satellite and UTRAN

WANG Wenzhe¹, AN Gang¹, LI Xin², ZHANG Weiqiang³, LIU Zhenhua⁴, ZHENG Nianqin⁴,

CHEN Shengwei⁵, ZHAO Wendong¹, DI Zixiang¹, GU Zhaojie¹

1. Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100032, China

2. Unisoc (Shanghai) Technologies Co., Ltd., Shanghai 201203, China

3. Beijing Unisoc Technologies Co., Ltd., Beijing 100191, China

4. Space Clouds Technology Co., Ltd., Wuhan 430027, China

5. Chengdu Industrial Research Institute Branch of China Mobile Communication Group Co., Ltd., Chengdu 610000, China

Abstract: The research mainly starts from the development trend of 5G+ satellite integration, and conducts research and analysis on typical domestic and foreign satellite Internet of things/internet solutions, and then leads to application scenarios and services requirement for the development of 5G+ satellite integration, including research and discussion on the technical requirements of 5G satellite space-ground integrated dual-mode terminals, finally, the challenges faced by 5G satellite dual-mode communication terminals are given. With a view to providing industry with guidance on the challenging aspects of standardization and pre-development of 5G+ satellite dual-mode terminals,



and to provide useful suggestions and references for overcoming these challenges.

Key words: 5G, satellite IoT/Internet, dual-mode terminal, integration communication scenario of satellite and UTRAN

0 引言

本文旨在为产业界提供 5G+卫星双模终端的标准化及预研发具有挑战性的方面的探讨, 并为克服这些挑战提供有益的建议。

考虑 3GPP 5G 标准在 Release16 (Rel-16) 卫星网络架构、Rel-17 的卫星网络 IoT_over_NTN 等及未来 Rel-18+的天地一体化等均有演进方向, 本文以期构建“空天地一体化”物联网/互联网的万物互联在端侧的需求、应用、技术、发展等方面提供先导性的建议与参考。

1 “5G+卫星”融合发展趋势分析

从标准层面来看, 国际标准、非标准机构一直在关注陆域通信与非陆域通信的结合, 3GPP Rel-17 将包含面向非陆域通信部分, 其中卫星与 5G eMBB/mMTC 场景的融合将是重点研究内容, 而卫星与 5G NB-IoT 是讨论内容。卫星与 NB-IoT(未来的 5G mMTC)的互连互通将是地面网络与卫星通信融合的最早、最初始阶段。国际标准及团体组织“5G+卫星”融合研究动态如图 1 所示。

从发展趋势来看, 在当前全球卫星物联网/互联网建设的浪潮中, 卫星物联网/互联网与地面移动通信网络优势互补, 形成紧密融合、立体分层的融合网络系统, 实现信息在全球范围内的传输和交互。卫星通信系统与 5G 系统的融合可以分为两个阶段。其中, 第一阶段是实现卫星通信系统

与 5G 系统核心网侧的融合, 即利用 5G 核心网支持 3GPP 网络和 non-3GPP 网络接入的功能, 将卫星系统接入到 5G 核心网, 实现卫星通信系统与 5G 系统的互联互通。该阶段卫星通信系统和 5G 系统相互独立, 卫星通信系统的业务数据要经过地面信关站才能转发到 5G 系统中去; 第二阶段是实现卫星系统与 5G 系统空中接口的融合, 用户通过单一终端即可完成卫星系统与 5G 系统的无缝切换, 既能接受卫星系统提供的服务, 又能接入到地面 5G 系统中去, 实现卫星系统与 5G 系统的深度融合, 为用户提供透明、一致的泛在物联网服务。目前根据实验验证和标准方面的研究推动, 预计未来很快将会实现 5G 地面网与卫星网络的全面业务互通, 可以实现卫星对地面网络兼容 5G 技术, 做到星上透明转发; 预计未来 3~5 年可以成熟规模实现地面蜂窝协议功能上星, 实现太空卫星基站及其星间链路以及星地频率资源的协同复用, 做到 5G 基站、核心网功能在卫星及关口站间实现合理的分割等机制体制方面的深度融合。

另一方面, 依托于云计算、大数据、人工智能、移动边缘计算、网络切片、基于云原生的架构、SDR、SDN/NFV 网络功能虚拟化、区块链等 5G、新型 ICT 信息技术的深度成熟融合发展, 5G 网络包括与卫星网络的融合会迈向智能化网络, 采用智能化技术应对不断增加的系统复杂度, 实现网络功能的地面节点及卫星节点之间的虚拟化配置, 在组织与管理上实现空天地网络一体化智能化运营、管理与运维等。

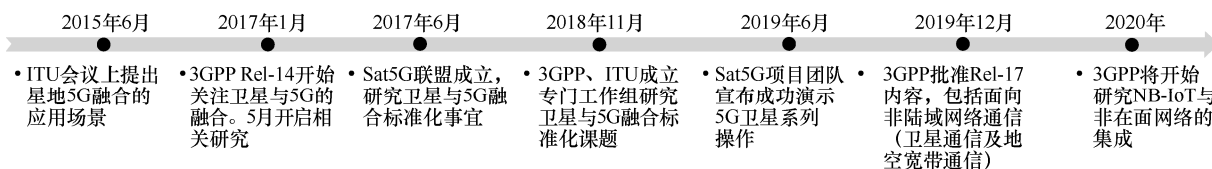


图1 国际标准及团体组织“5G+卫星”融合研究动态

2 国内外空天地一体化典型方案分析

目前,国内、国外主流较成熟或已开展试验的空天地一体化解决方案整体上可分为2大类4种细分技术方式。其中,综合考虑部署的技术成熟度、用户成本、难易、容量等方面差异,卫星作为管道的方式较适合移动通信运营商快速部署。4种技术方案分别如下。

- 方式1:利用卫星&地面双模/多模终端直接接入方式。
- 方式2:轻型小型化的如Hub形态网关转接接入方式。
- 方式3:基站改造为带卫星天线形态的转接接入方式,卫星作为管道(方式1)如图1所示。
- 方式4(卫星作为基站):将卫星改造为星上搭载地面通信协议平台的具备星上处理能力的卫星基站,地面终端直接接入。

卫星作为管道(方式1)如图2所示,技术方式1具有如下特点。

- 卫星角色:仅作为数据透明转发管道。
- 技术本质:对用户需付出成本,用户需购买双模/多模终端方可采集数据。终端在无蜂窝信号下可接入卫星网络,有蜂窝信号下也可接入蜂窝网络。
- 应用场景:移动性的物联网/互联网设备、有蜂窝网络的边缘区域、蜂窝与非地面网络互做备份确保持续的连接。

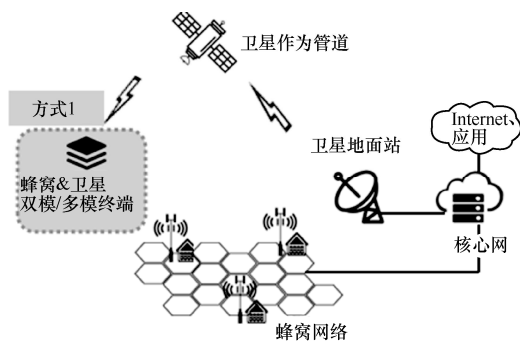


图2 卫星作为管道(方式1)

卫星作为管道(方式2或方式3)如图3所示,技术方式2和方式3具有以下特点。

- 卫星角色:仅作为数据透明转发管道。
- 技术本质:用户终端无需更换,用现有设备即可接入轻量化网关或5G改造基站。终端可通过地面网络,如Wi-Fi、蓝牙、LoRa或光纤等接入轻量化网关,或可直接由蜂窝无线方式接入改造后的5G基站。
- 应用场景:偏远等无地面骨干承载网络场景。

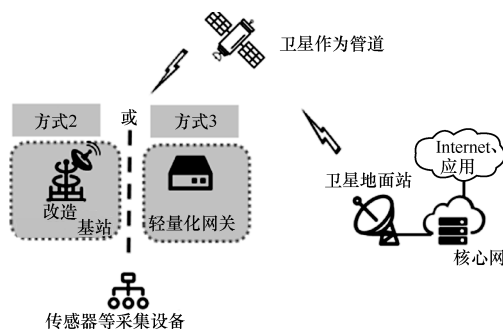


图3 卫星作为管道(方式2或方式3)

卫星作为基站(方式4)如图4所示,技术方式4是卫星与地面蜂窝通信融合的最终阶段的方案,具有以下特点。

- 卫星角色:具备基站功能,卫星阵营可取代地面通信运营商直接解析数据做业务运营,与运营商是竞争关系。
- 技术本质:卫星上搭载地面通信协议,现有地面物联网设备需升级射频功能后直接与卫星通信。
- 应用场景:除室内等无法搜星场景,可替代地面网络,覆盖绝大多数物联网设备及应用场景。



图4 卫星作为基站(方式4)



3 5G 卫星双模终端典型应用场景及业务需求

3.1 概述

5G 和卫星通信在应用场景层面为一种互补关系,5G 主要解决人口密集的城区覆盖,卫星通信优势在海洋、沙漠、铁路、航空及乡村等偏远地区的广域覆盖,我国地面通信系统已非常发达,约 30%的面积有地面基站信号,还有 70%的面积,如海洋、部分高原、无人区都没有信号,因此,卫星可与地面通信网络形成互补,提供空天地一体化的全域全覆盖服务。

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,主要体现在:

(1) 在地面 5G 网络无法覆盖的偏远地区、飞机上或者远洋舰艇上,卫星可以提供经济可靠的网络服务,将网络延伸到地面网络无法到达的地方;

(2) 卫星优越的广播/多播能力可以为网络边缘及用户终端提供高效的数据分发服务。

5G 与卫星融合充分利用地面网络和卫星网络,可以高效地满足不同的部署场景和多样化的业务需求。通过 5G 与卫星的融合,可以提供连续性服务、普遍性服务、可扩展性服务三大类服务,可实现地面与卫星网络之间的漫游,利用卫星覆盖提供广播或多播服务,可以构建基于卫星网络的物联网、互联网、应急通信及路线导航等,实现基于卫星的边界服务连续性;此外,通过融合可以实现基于 5G 卫星接入网的间接连接,实现 NR 与 5G 核心网之间的固定回传等。卫星通信场

景如图 5 所示。

3.2 集装箱等大型重卡运输车辆物流监控应用场景

目前,国内对物流运输类的集装箱陆运重型卡车缺乏车载高清视频监控、驾驶实时监测、动态地图、动态尾气排放等有效监管手段,而且像一些码头的运输车辆的车载进出口认证和采集数据终端模块较分散独立,各车载模块利用率较低,多终端数据无法融合形成有效的车辆用户画像。此外,存在集装箱货运重卡车辆的北斗模块安装覆盖不全面、且定位开启不全面、司机随意插拔卡关闭定位模块等问题带来的货车出港后点到点实时位置轨迹等数据无法有效监控。另外根据环保部印发的关于“柴油货车污染治理攻坚战行动计划”中加强柴油货车超标排放治理和监管要求,急需整合一款含尾气监测的多数据采集一体化的 5G 卫星双模车载终端,以实现以数据为关键要素和核心驱动的集装箱数字货运物流体系。利用卫星网络、5G 大带宽、高可靠超低时延、大规模物联网、边缘计算、eSIM 等技术基于 5G 卫星双模一体化车载模组/终端,实现高速视频数据、北斗等卫星点到点连续位置数据、尾气指标等海量数据的无缝、实时、连续性回传,实现通过大数据赋能物流行业各种业务应用。基于 5G 卫星双模终端的车队管理应用如图 6 所示。

3.3 航空互联网应用场景

飞机这个空中高速移动的交通工具,无异是卫星互联网重要的卫星应用场景。卫星已成为解

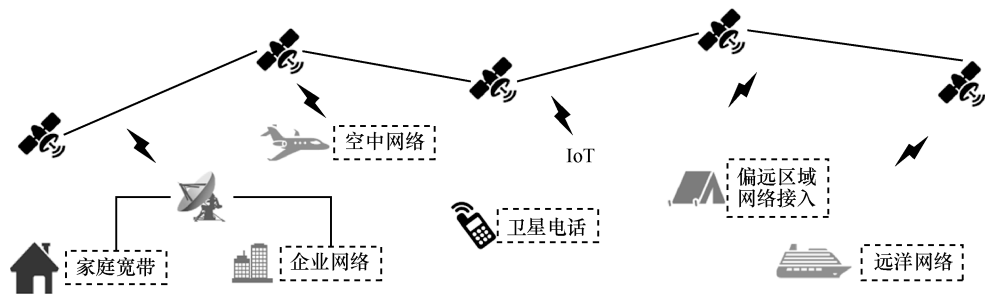


图 5 卫星通信场景

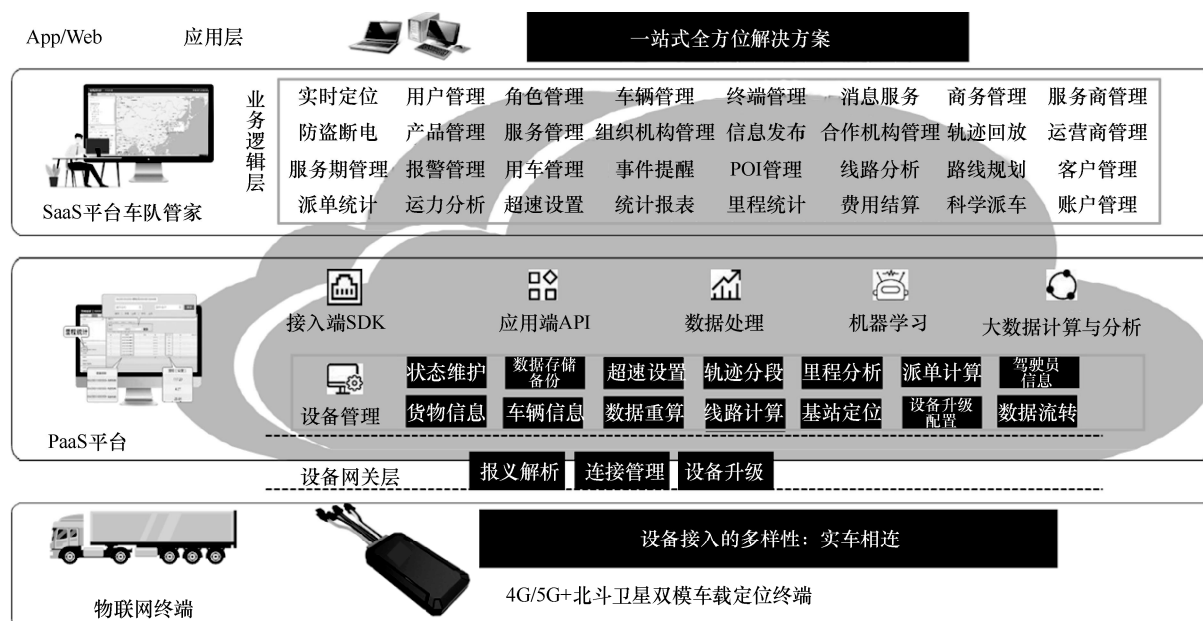


图6 基于5G卫星双模终端的车队管理应用

决飞机空中上网的重要技术手段,国外大多数的飞机都是通过Ku卫星、Ka卫星等同步轨道卫星解决方案实现飞机的空中上网,由于卫星资源和资费原因,空中上网业务发展并不尽如人意,但高通量卫星和卫星互联网技术的发展,将逐步解决飞机卫星上网资源不足和资费太贵的问题,未来人们就能享受天上和地上一样的上网业务体验。

飞机空中上网需求明确,卫星技术以其良好的广域覆盖能力成为飞机上网的优选技术方案,随着高通量卫星和低轨宽带卫星互联网的发展,制约商业模式的卫星容量和资费问题将得到有效缓解。航空互联网作为卫星互联网的重要应用场景大有可为。当飞机处于地面时由5G网络满足业务需求,实现空天地一体化的应用需求。

3.4 无人机应用场景

目前,在中国乃至世界各地,诸多领域已显现出“无人机+行业应用”的蓬勃发展势头。无人机在农林植保、遥感测绘、电力及石油管线巡查、应急通信、气象监视、农林作业、海洋水文监测、矿产勘探等领域应用的技术效果和经济效益非常显著。此外,无人机在物流、直播、高层消防、

灾害评估、生化探测及污染、缉毒缉私、边境巡逻、治安反恐、野生动物保护等方面也有着广阔的应用前景。而无人机的通信链路是当前制约无人机技术发展的主要原因。

蜂窝通信的优点是速度快(4G/5G),最高可达1 Gbit/s,时延小5~50 ms。但是蜂窝通信覆盖主要是在300 m以下低空,且在人口相对较多的地方,对300 m以上空间的覆盖能力很弱,对森林、山地、广阔的水域等覆盖能力也很弱。

卫星通信覆盖范围广,空间覆盖能力强,但是通信速率较低,单链路一般在5 Mbit/s以内,而且时延较大,单向时延500 ms左右。

卫星通信系统与5G相互融合,取长补短,共同构成全球无缝覆盖的海、陆、空、天一体化综合通信网,5G卫星融合一体化综合通信网如图7所示,能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。

5G卫星双模终端可运用在直升机、大型无人机和民航飞机上,实现空天地内数据业务不间断。5G卫星双模终端能根据信号覆盖情况自动切换,在蜂窝信号覆盖较好的地方切换至蜂窝通信,速

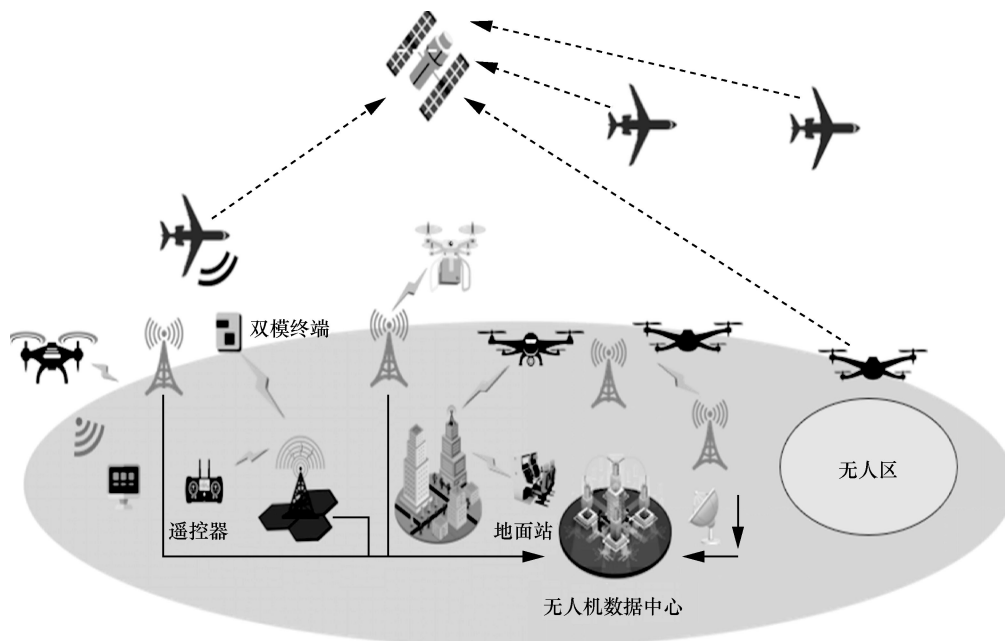


图7 5G 卫星融合一体化综合通信网

率高时延低；在蜂窝信号较差或无覆盖的地方（森林、山地、广阔水域等）自动切换到卫星通信，保证基本通信能力。

5G 卫星双模终端在无人机领域典型的应用场景包括海上巡逻、军事情报侦察、林业侦察、渔业保护、电力巡逻、森林防火等。使用 5G 卫星双模终端的无人机优势体现在：能快速飞赴目标区域、作业范围大、可及时获得第一手信息。

对于业务需求，5G 卫星双模终端应用在无人机场场景需具备的功能如下：

①接收蜂窝和卫星通信子系统的检测信号，对检测信号进行判决，决策使用蜂窝还是卫星进行通信，并输出判决结果给蜂窝和卫星通信子系统；

②负责机载通信设备和终端的接入；

③给蜂窝和卫星通信子系统供电；

④具有基本 QoS 功能，能够对流向卫星通信子系统的流量做流量控制。

对于轻小型无人机对载荷的尺寸及重量有严格的要求，故 5G 双模终端的重量应小于 20 kg，为满足终端具备更好的适配性，故尺寸应尽可能设计为小型化。

4 5G 卫星双模终端技术需求

4.1 多模多频段

5G 卫星双模终端中，为了提供 5G 服务，需支持 5G/4G 双模，5G 需支持 NSA/SA，使用频段应符合国家无线电管理部门的相关规定。5G 工作频段见表 1。

表 1 5G 工作频段

工作频段	上行工作频段	下行工作频段	双工方式	等级
n41	2 496~2 690 MHz	2 496~2 690 MHz	TDD	必选
n78	3 300~3 800 MHz	3 300~3 800 MHz	TDD	必选
n79	4 400~5 000 MHz	4 400~5 000 MHz	TDD	必选
n1	1 920~1 980 MHz	2 110~2 170 MHz	FDD	可选

对于 NSA，应支持 EN-DC 工作频段组合，EN-DC 工作频段组合见表 2。

表 2 EN-DC 工作频段组合

EN-DC 组合	等级
DC_1A_n78A	必选
DC_3A_n78A	必选
DC_5A_n78A	必选
DC_8A_n78A	必选
DC_3A_n41A	必选
DC_39A_n41A	必选
DC_40A_n41A	必选
DC_3A_n79A	必选
DC_39A_n79A	必选
DC_8A_n41A	可选
DC_8A_n79A	可选

5G 通信终端对 4G 工作频段需求见表 3。

5G 卫星双模终端除了需要支持原有的地面蜂窝多模，还增加支持卫星模式及相应的工作频段。现阶段卫星通信根据 ITU 的划分，商用卫星移动业务较多使用 L（1~2 GHz）、Ku（12~18 GHz）、K（18~27 GHz）以及 Ka（26.5~40 GHz）频段进行移动数据的收发。引入卫星通信后，双模终端为了满足自身的运营需求外，至少需要支持集成卫星通信模块的频段来确保业务的连续性。

4.2 网络接入能力

5G 卫星双模终端处于 5G+卫星通信异构的网络环境中，为了向用户提供最佳的使用体验，

终端应当具有感知场景变化的能力，并以此为基础，通过优化判决，为用户选择最佳的服务通道。采用“有 5G 用 5G，无 5G 用卫星，5G 和卫星协同，无缝切换”的策略，保证终端的网络接入能力要求。

当双模终端在 5G 模式下时需要支持具备在 SA/NSA 组网模式下的接入及业务能力，网络接入能力要求见表 4。

表 4 网络接入能力要求

组网模式	描述	等级
SA	Option 2	必选
NSA	Option 3x	必选

在 SA 模式下应支持 Option 2，在该模式下，终端通过 NR 空口接入到与 5G 核心网连接的 5G 基站（gNB），Option 2 组网架构如图 8 所示。

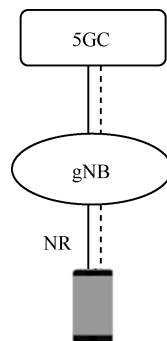


图 8 Option2 组网架构

在 NSA 模式下应支持 Option 3x，在该模式下，终端通过 LTE 空口和 NR 空口双连接方式接

表 3 5G 通信终端对 4G 工作频段需求

网络模式	工作频段	上行工作频段	下行工作频段	等级
TD-LTE	Band 34	2 010~2 025 MHz	2 010~2 025 MHz	必选
	Band 39	1 880~1 920 MHz	1 880~1 920 MHz	必选
	Band 40	2 300~2 400 MHz	2 300~2 400 MHz	必选
	Band 41	2 496~2 690 MHz	2 496~2 690 MHz	必选
LTE FDD	Band 1	1 920~1 980 MHz	2 110~2 170 MHz	必选
	Band 3	1 710~1 785 MHz	1 805~1 880 MHz	必选
	Band 5	824~849 MHz	869~894 MHz	必选
	Band 8	880~915 MHz	925~960 MHz	必选



入连接 4G 核心网的 4G 基站 (eNB) 和 5G 基站 (gNB), 其中 4G 基站为主站 (MN), 5G 基站为辅站, Option 3x 组网架构如图 9 所示。

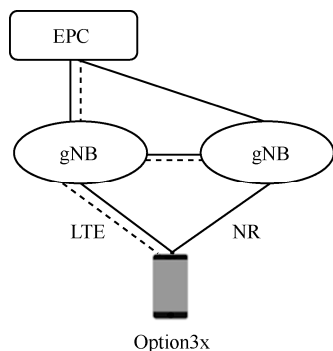


图 9 Option 3x 组网架构

4.3 典型基础功能

数据采集功能: 5G 卫星双模终端具备能通过终端集成或外接的传感器、AD 采集器、录入设备的数据录入的能力。

数据传输功能: 5G 卫星双模终端在不同应用场景, 对应用场景的数据采集、数据录入、数据传输的信息通过 5G 或卫星通道进行传输, 并满足终端对传输信息的管理要求。

数据控制功能: 5G 卫星双模终端能够根据功能要求, 具备自动或远程配置调整数据处理和传输功能能力。

数据存储功能: 对于无网络或者网络通信不顺畅时而不能上传的数据, 终端应具有存储功能, 待网络恢复时将存储数据上传。

数据处理功能: 终端具备能根据功能应用场景的要求, 能自动对数据符合功能要求的处理能力。

4.4 双模终端设计需求

双模终端小型化设计: 卫星双模终端在有限终端的内部空间包络下, 需要集成卫星通信模组、地面 5G 通信模组、主控单元、卫星天线、GPS 天线、5G 天线, 部分终端含有大容量电池。在终端小型化设计的要求下, 需保证终端的安全可靠的安装使用。

双模终端结构设计: 5G 卫星双模终端集成多

款天线、电池、PCB 板, 除每个组件有特定的安装方向、散热、固定等使用要求外, 部件间也存在结构关联要求, 尤其是满足天线方向角、防止天线相互干扰、减少部件相互散热对工作稳定性的影响等等。同时整个终端需要满足整体的固定、三防、安全要求, 整体结构上需要考虑诸多因素进行设计。

双模终端低功耗设计: 5G 卫星双模终端在不便于更换电池, 电池容量有限情况下, 需要增加单位电池能量的利用率。一方面需要对各个组件进行低功耗的功能设计, 另一方面需要保证单位电池能量下的工作效率。

双模终端传输策略设计: 5G 卫星双模终端采用双通信通道, 解决如何有效的根据终端所处的无线网络环境进行通信通道的选择, 如何在无线环境变化后, 双通道的有效切换, 既能有效的保证数据传输的可靠性、稳定性, 也能减少终端使用功耗。采用“有地用地、无地用天”的传输策略, 规划智能切换策略, 满足不同网络的平滑无缝切换, 以适应不同的应用场景对终端信息通道的要求。增加软件对 2 个通道的网络环境的监测, 覆盖各种场景的切换模式, 保证数据传输的可靠性。

多频段、多模式电磁兼容设计: 基于应用需求, 对于不同的卫星和 5G 的通信天线技术的设计, 实现高增益的多模天线技术的要求。除 5G 和卫星通信的电磁兼容要求外, 终端还需要满足行业对终端整体的电磁兼容设计要求。

双模终端低成本化设计: 5G 卫星双模终端在满足终端功能的基础上, 需要尽可能压缩终端成本。

其他设计: 5G 卫星双模终端根据应用的不同行业应用场景的要求, 满足该行业的国际标准、国标、部标、行业标准、团体标准对应用终端的软硬件能力、接口、可靠性要求、环境适应性要求、防护等级、数据格式要求、数据保密性要求等方面的约束。

在数据格式要求方面, 采用卫星通信时, 应

采用符合要求的最简数据格式, 保证卫星通信传输效率。建议终端采用统一的数据格式, 方便云端平台进行大数据分析及管理。

在数据保密性要求方面, 除采用 5G、卫星通信、行业标准外, 建议终端采用硬件加密, 或软件数据加密的方式, 对数据进行加密处理。

5 5G 卫星双模通信终端发展面临的挑战

5.1 5G 卫星双模终端产业成熟度及商业程度有待提高

目前, 整个 5G 卫星双模终端产业链上, 从芯片、模组、终端等都在加速推进中, 在高轨商业卫星方面, 已经推出了价格将近 1.5 万元的天通一号 5G 卫星双模移动终端商用产品, 但由于 5G 卫星双模通信终端刚进入商用, 市场受众量有限, 出货量不足 1 万, 主要原因为终端成本过高和网络性能不足。在低轨卫星方面, 处于商用的也主要是 NB IoT/4G+低轨窄带卫星双模模组/终端, 近期旷通科技推出了首个 5G+低轨物联网卫星一体化工业无线终端, 在 5G+卫星物联网双模终端方面往前迈出了一大步, 而受限于网络、芯片等方面的相对成熟, 5G+低轨宽带卫星双模终端仍然处于萌芽阶段, 有待于产业各方的共同合作、发力与推动。

5.2 5G 通信终端企业与卫星终端企业交流不足

目前, 因为卫星互联网和地面通信系统还处于初级阶段, 这两个通信系统采用不同的技术机制, 是异构系统, 因此 5G 通信终端和卫星终端企业对于各自擅长的通信系统和终端的特点都很熟悉, 但对于 5G 和卫星双模终端该如何研发, 5G 终端企业和卫星终端企业有自己的理解和策略, 还需要加强交流, 以制定切实可行的双模终端实现方案。

5.3 5G 卫星双模通信终端成本高企

当前 5G 终端被人诟病的一点就是成本过高, 如果再加上支持卫星通信带来成本, 将进一步推

高双模终端的价格, 会对 5G+卫星的双模终端的推广带来一定的困难, 因此, 如何降低 5G 双模通信终端的成本是业界需要考虑的问题。

5.4 5G 卫星双模通信终端生态还亟待建立

5G 卫星双模终端是一个全新的终端形态, 要推进 5G 卫星双模终端的落地还需要 5G 和卫星领域芯片、模组以及终端等各方面的产业链伙伴的参与, 除此以外, 最重要的因素是否有足够的市场需求和盈利模式来支撑 5G 卫星双模终端的发展, 因此建立起 5G 卫星终端的生态是非常重要的。

6 结束语

随着 5G 的商用成熟, 商业低轨通信卫星的蓬勃发展, 未来 5G 与卫星的融合发展会逐步走向成熟。本文对未来 5G 与卫星融合的趋势、场景、融合模组/终端技术需求以及融合终端面临的挑战等方面进行了浅显的分析与展望, 以期提供一些先导性的建议。

参考文献:

- [1] 李庆安. 宽带卫星通信系统和终端的发展趋势[EB]. 2019.
LI Q A. Trends in broadband satellite communication systems and terminals[EB]. 2019.
- [2] 罗常青, 程宇新, 吴建军, 等. 关于卫星/地面蜂窝双模手持终端的几点思考[J]. 卫星与网络, 2009(6): 70-72.
LUO C Q, CHENG Y X, WU J J, et al. Thoughts on satellite/terrestrial honeycomb dual-mode handheld terminals[J]. Satellite & Network, 2009(6): 70-72.
- [3] 徐志伟. 卫星地面一体化终端集成技术[C]//第 21 届中国卫星应用大会报告集, 2019.
XU Z W. Satellite ground integration terminal integration technology[C]//Proceedings of the 21st China Satellite Application Conference, 2019.
- [4] 王文军. 小型卫星通信终端发展及关键技术[C]//中国卫星应用大会, 2009.
WANG W J. Development and key technologies of small satellite communication terminals[C]//Proceedings of China Satellite Application Conference, 2009.
- [5] FUNG T, HOPPE J, AKBAR S, et al. Distributed SATCOM



- on-the-move (SOTM) terminal open standard architecture[C]//Proceedings of MILCOM 2016 - 2016 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2016: 624-629.
- [6] HOPPE J, FUNG T, AKBAR S, et al. Distributed SATCOM On-The-Move Terminal Open Standard Architecture architectural details[C]//Proceedings of MILCOM 2016 - 2016 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2016: 630-635.
- [7] RODRIGUES L, VARUM T, MATOS J N. The application of reconfigurable filtennas in mobile satellite terminals[J]. IEEE Access, 2020, 8: 77179-77187.
- [8] JARROLD M. The SOTM environment: developments in satellite land, sea & air mobile terminals[C]//Proceedings of Milsatcoms 2015. IET2015: 1-37.
- [9] TONG Y P, GUI Z W, CHEN B, et al. Low power design of handheld terminal of independent and controllable satellite mobile communication[C]//Proceedings of 2018 IEEE 18th International Conference on Communication Technology. Piscataway: IEEE Press, 2018: 736-740.
- [10] DI B Y, ZHANG H L, SONG L Y, et al. Ultra-dense LEO: integrating terrestrial-satellite networks into 5G and beyond for data offloading[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2019, 18(1): 47-62.
- [11] RITTENBACH T, VINCENT J K, KRAUSE-AIGUIER R, et al. Complex terminal systems design: minimizing time to deployment[C]//Proceedings of 2010 - MILCOM 2010 MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE. Piscataway: IEEE Press, 2010: 656-661.
- [12] RITTENBACH T, SATAKE H, SCHOONMAKER D, et al. A government reference architecture test bed using a virtual private network[C]//Proceedings of MILCOM 2013 - 2013 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2013: 1768-1773.
- [13] 郝才勇, 张琪, 刘元媛. 新一代卫星通信终端平板天线[J]. 中国无线电, 2018(9): 41-45, 53.
HAO C Y, ZHANG Q, LIU Y Y. New generation of satellite communication terminal flat antenna[J]. China Radio, 2018(9): 41-45, 53.
- [14] 张光义. 相控阵雷达原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
ZHANG G Y. Principles of phased array radar[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009.

[作者简介]



王文哲(1987-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院融合创新研究中心工程师, 主要研究方向为 5G 工业互联网等。

安岗(1979-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院融合创新研究中心高级工程师、总监, 主要从事与 5G 工业互联网技术、标准、产品研发等相关的管理工作。

李忻(1978-), 女, 现就职于紫光展锐(上海)科技有限公司, 主要从事与 5G/6G 移动通信和天地一体化技术、标准相关的研究工作。

张伟强(1976-), 男, 现就职于北京紫光展锐通信技术有限公司, 主要从事与 5G/6G 移动通信技术、标准等相关的研发工作。

刘振华(1982-), 男, 现就职于航天行云科技有限公司, 主要从事与卫星物联网相关的研发工作。

郑念卿(1986-), 男, 现就职于航天行云科技有限公司, 主要从事与卫星物联网相关的研发工作。

陈盛伟(1980-), 男, 现就职于中国移动通信集团有限公司成都产业研究院分公司, 主要从事与网联无人机相关的研发工作。

赵文东(1982-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院融合创新研究中心室主任, 主要从事与 5G 工业互联网技术、标准、产品研发等相关的工作。

狄子翔(1989-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院网络智能运营研究中心工程师, 主要从事与 5G 网络智能化运营等相关的研发工作。

顾照杰(1990-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院数字经济研究中心工程师, 主要从事智慧城市、数字政府等方向的研发工作。