



未来卫星通信和 5G-NR 深度融合架构设计

Architecture Design for Tight Integration Between Future Satellite Communication and 5G-NR System

摘要: 卫星通信系统在技术和市场层面遇到发展瓶颈, 需要与地面蜂窝网络系统进行融合升级。系统分析了卫星通信系统和 5G 新空口 (5G-NR) 系统融合的架构设计, 包括单跳卫星融合架构、多跳卫星融合架构和卫星本地分流融合架构。认为未来卫星通信的无线电信号都将采取 5G-NR 规范方式, 同时卫星通信系统在架构和功能特征等方面也将逐渐向下一代无线接入网 (NG-RAN) 靠拢对齐和同步演进。

关键词: 卫星通信; 5G-NR; NG-RAN; 架构融合

Abstract: The satellite communication system has encountered development bottlenecks in terms of techniques and markets, and needs to be integrated and upgraded with the terrestrial cellular network system. The architecture design for the integration of satellite communication system and 5G new radio (5G-NR) system is systematically analyzed, including single-hop satellite integration architecture, multi-hop satellite integration architecture, and satellite local shunt integration architecture. It is considered that the radio signals of satellite communication will adopt 5G-NR specifications in the future, and the satellite communication system will gradually move towards next-generation radio access network (NG-RAN) in terms of architecture and functional characteristics.

Keywords: satellite communication; 5G new radio; next-generation radio access network; architecture integration

杨立 / YANG Li^{1,2},
窦建武 / DOU Jianwu^{1,2}

(1. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057;
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室,
中国 深圳 518057)
(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;
2. State Key Laboratory of Mobile Network
and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen
518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202105012
网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200708.1635.002.html>

网络出版日期: 2020-07-09
收稿日期: 2020-06-15

1 卫星通信系统发展现状和趋势

5G 新空口 (5G-NR) 属于陆基蜂窝网络, 已成为当前主要的陆地通信网络。虽然 5G-NR 能够通过特殊的射频手段实现对近海和低空的局部无线覆盖, 但却不能实现对远海和高空等区域的无线覆盖。在过去, 远海和高空等特殊区域的移动覆盖服务, 主要是由卫星通信系统来提供的^[1-2]。这是因为卫星通信系统具有三维广域覆盖的特点, 很适用于高空、远海、荒漠、极地等特殊区域。一些物联网终端 (如飞机、轮船) 具有特殊的广域大尺度和高速移动性。在这种场景中, 通过

卫星通信系统提供服务将更为便捷和经济^[3-4]。卫星通信系统虽然在增强移动宽带 (eMBB) 和超高可靠低时延通信 (URLLC) 应用方面逊色于 5G-NR 地面蜂窝网络, 但是在海量机器类通信 (mMTC) 应用场景中仍具有显著优势^[5]。此外, 卫星通信还能实现安全应急类通信、广域广播与多播, 并可灵活提供网络无线宽带回传等。卫星通信系统将是未来全球泛在移动通信不可缺少的一部分^[6]。

按照卫星轨道高度的不同, 卫星通信系统大概可分为低轨 (LEO) 卫星 (300 ~ 1 500 km)、中轨 (MEO) 卫星 (7 000 ~ 25 000 km)、地球同

步轨道 (GEO) 卫星 (35 786 km) 和高椭圆轨 (HEO) 卫星 4 类。其中, LEO 卫星和 GEO 卫星是当前部署最多且最具技术代表性的, 如铱星系统和国际海事卫星系统。卫星通信系统虽然能实现通信网络的全球覆盖, 也能提供常规语音和数字服务, 但是与地面蜂窝网络相比, 在产业链规模、业务服务形态、受众用户数量、通信资费等方面仍存在不足。在新一轮 5G-NR 技术、国家战略和相关商业资本的驱动下, 传统卫星厂家逐渐意识到: 如果继续走过去封闭式的技术和市场发展之路, 卫星的应用规模和市场价值将很难得到大幅提升, 卫星厂

家的盈利瓶颈也很难得到突破。因此，卫星厂家正在积极寻求卫星系统和地面蜂窝网络之间的融合，进而激发新的商业运营合作模式，以获得更多的商业利润。这种融合主要体现在以下 3 个方面：

(1) 技术方案。未来卫星通信系统的架构、协议栈、物理层空口技术等应尽量和 5G-NR 保持一致^[7]。针对卫星通信的特点，局部功能也需要做适当优化。这有助于推动卫星系统相关技术的发展，以快速提升卫星通信系统的整体能力。与此同时，未来主流商用卫星网络产品的规范协议将主要由第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 来制定。

(2) 产业资源。随着未来卫星通信系统的标准化，卫星产业力量将集中在最具市场潜力且最关键的卫星产品上。无论是卫星网络设备，还是用户终端，未来都会被高度关注。沿着同一方向拓展更有利于形成产业规模效应，进而有助于降低卫星制造和服务成本。

(3) 商业合作。在面向不同的应用场景和用户时，卫星网络和地面网络不仅各具优势，在某些领域还可以产生重叠和互操作。因此，卫星网络和地面网络应该取长补短，通过更紧密的互操作，形成深度天地一体化的泛在移动网络，进而推进天地通信产业链之间的合作，催生更前沿的商业合作模式。

2 卫星通信系统架构设计

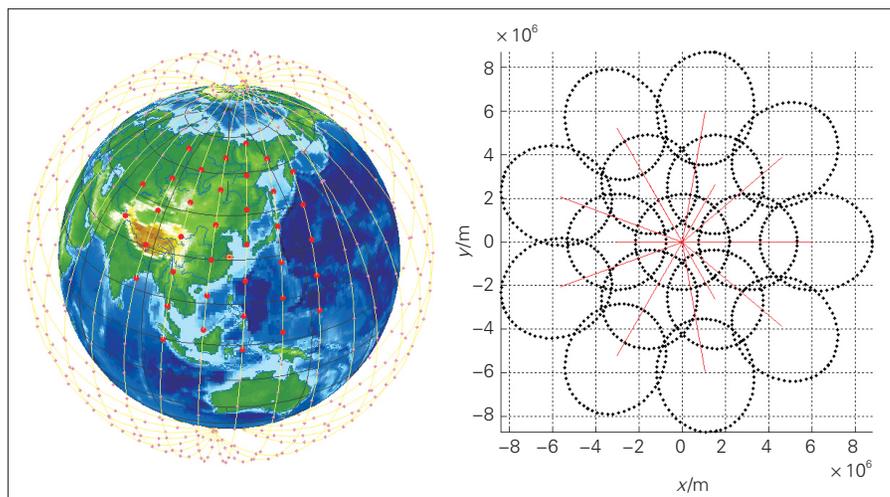
2.1 融合前传统卫星通信系统的特征和架构

截至 2018 年，全球在轨的通信卫星约有 800 颗，其中大部分是 GEO 和中低轨道卫星。通信卫星可提供语音、导航、天基互联网 / 物联网服务

等。2016 年，中国发射的“天通一号 01”卫星采用窄带单载波的制式，星上采取弯管透明转发。它可以提供 1.2 kbit/s 的速率语音和最大 384 kbit/s 的数据通信业务。2017 年，中国发射的“中星 16 号”卫星采取宽带传输制式，能提供 20 kbit/s 的高通量服务。由于中低轨道卫星组成的卫星星座能提供更大的通信容量和更短的端到端时延，因此它们成为未来商业应用发展的主要目标。对此，中国启动国家科技创新 2030 重大项目——天地一体化信息网络低轨接入网（轨道高度 800 ~ 1 100 km），包括鸿雁系列星座（轨道高度为 1 100 km，共 324 颗卫星）、虹云系列星座（轨道高度为 1 040 km，共 156 颗卫星）。图 1 左侧是一个有 16 个轨道面的低轨卫星星座分布图；图 1 右侧是一个具备 16 波束能力的卫星地面投射覆盖示意图，且椭圆长直径约为 400 km。

对于传统卫星通信系统，无论轨道高度和卫星类型如何，其系统架构都可用图 2 来表示。卫星用户终端 (UE) 可以是手持设备，也可是抛物面式的收发器等。UE 和卫星之间的无线链路称为服务链路。卫星和地面观测控制站（卫星网关 / 观口站 / 信关站等）之间的无线链路称为馈电链路。地面控制站可通过地面全互联网协议 (IP) 网络与核心网 (CN) 和数据网 (DN) 相连。

根据星上处理能力和配置，卫星可划分为两大类。第 1 类为弯管型（不支持星间链路）卫星，这类卫星以模拟信号变频放大和简单中继转发为主，同时星上处理复杂度和卫星成本都较低。第 2 类为再生型卫星，这类卫星有较强的数字信号处理能力（能支持星间链路），但星上处理复杂度和卫星成本都较高，对卫星的物理载荷能力要求也较高。



▲图 1 低轨卫星星座分布和地面信号覆盖示意图



▲图 2 传统卫星通信系统的基本架构

由于 GEO 卫星处于 35 786 km 的高度, 并且相对于地面静止, 因此 GEO 卫星波束所提供的覆盖也是相对静止的, 对应的地面容量/覆盖规划和链路控制都相对简单。非地球同步轨道 (NGEO) 卫星有着特定的轨道和运行速度, 因此这类卫星通常向地面提供移动式覆盖。此外, N GEO 的多普勒频移、动态变化时延/路损和对无线链路的性能要求都会增加, 对地面容量/覆盖的规划和卫星链路控制也会变得更加复杂。由于 N GEO 卫星有着不同的发射接收仰角和天线模式, 因此投射在地面的服务小区拓扑形状也会随着卫星的移动而不断发生变化。虽然 N GEO 卫星的部署比 GEO 卫星复杂, 但是一旦 N GEO 卫星入轨运行, 它的星历信息也就会确定, 即卫星地面站可准确判断任意时间卫星所在的具体位置, 同时卫星对地面的投射信号覆盖也将呈现出一定的周期性变化规律。因此, 卫星星历信息可用来高效辅助卫星和终端的移动性管理。LEO 卫星的轨道低, 它对应的无线链路环回时延 (2 ~ 13 ms) 和路损都相对较小, 更容易保证无线链路的质量和有利于宽带类数据业务的开展。而 GEO 卫星的无线链路环回时延 (约 560 ms) 和路损都相对较大, 对卫星终端的天线类型和发射功率都有更高的要求, 需要花更大的代价去保证无线链路的质量。

从系统角度看, LEO 卫星处于低轨空间环境, 会受到更多外界环境的干扰 (地球引力、大气尘埃、星际辐射等), 通常寿命会更短一些。由于 LEO 卫星轨道低, 通常投射的小区覆盖范围没有 GEO 卫星那么大。为了实现全球覆盖, 需要部署成百上千颗 LEO 卫星, 而这会使得发射和维护成本变得很高。相比之下, GEO 卫星的使用寿命通常更长一些, GEO 覆盖

服务小区较大, 只需要几十颗甚至几颗卫星就可实现全球覆盖, 因此发射和维护成本不高。总的来说, GEO 和 N GEO (主要是 LEO) 卫星各有优缺点。在实际部署时, 可考虑混合异构部署组网。相同类型或不同类型的卫星之间, 还可配置星间链路, 并利用微波或激光等进行信号的中继转发, 使卫星信号能沿最佳路径到达地面。

2.2 融合后未来卫星通信系统的特征和架构

卫星通信系统和地面蜂窝系统的差异主要表现在以下面几个方面:

(1) 卫星通信系统需要特定的卫星频段和专有的芯片终端, 才能进行卫星信号的收发, 特别是在终端的天线射频能力配置方面, 因此, 过去无法以低成本的方式实现像普通 UE 那样的小型化和一体化。

(2) 卫星通信系统的架构和协议栈完全取决于各个卫星厂家的内部设置。卫星通信系统没有公共的核心网来做统一的业务编排和策略安全管控。对于再生类型卫星, 有什么样的数字处理模块和多少处理资源配置, 都没有统一的标准。卫星通信设备大多基于专有的硬件模块实现, 而非基于日益流行的软件定义网络 (SDN) / 网络功能虚拟化 (NFV)。

(3) 卫星通信系统和地面蜂窝系统之间没有统一的服务质量 (QoS) 体系, 也不能进行复杂的跨系统操作, 例如跨系统切换、无线资源负载均衡、多连接操作等, 因此很难提供一致性的服务。

(4) 卫星通信系统对可靠性要求较高。卫星模块器件工作在极端的太空环境中, 需要考虑有害的高能粒子流和 180 ~ 120 °C 的温度变化。

在过去, 卫星通信系统和地面蜂窝系统是两套独立的无线系统。国际

电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) SG4-WP4B 工作组开展的天地系统融合方面的研究, 为其他相关标准的制定提供了重要参考。3GPP 在 Release 14—16 期间, 发起了一系列与卫星通信相关的项目。

Release 16 阶段:

- 业务与系统架构组 (SA) 1 研究项目实现卫星一体化的标准化;

- SA2 研究项目确定卫星 5G 系统架构;

- 无线接入网 (RAN) 1—3 研究项目制定新空口支持非地面网络解决方案^[8]。

Release 15 阶段:

- 完成 3GPP TR 22.822^[9]《5G 中使用卫星接入》研究报告, 确定融合卫星接入的 5G 系统的用户案例。

- 完成 3GPP TR 38.811^[10]《新空口支持非地面网络》研究报告。

Release 14: 完成 3GPP TS 22.261^[11]《下一代新业务和市场的业务需求》报告。

卫星通信系统和 5G-NR 之间的深度融合应至少包括无线接入网、核心网、终端和上层业务应用四大方面。本文主要探讨卫星与下一代无线接入网 (NG-RAN) 架构融合^[12-16]。

2.2.1 单跳卫星融合架构

单跳是指, UE 先经过 NR-Uu 空中接口接入单颗服务卫星, 再连接到卫星基站和核心网, 从而实现端到端的网络连接。这里, 我们用卫星射频单元 (Sat-RU) 来表示星上只有模拟信号处理能力或很弱的数字信号处理能力的卫星, 例如弯管型卫星或者基于厂家私有方案实现的星间链路和卫星无线接口 (SRI) 信号转发型卫星; 用卫星分布单元 (Sat-DU) 来表示星上有较强的数字信号处理能力, 但没有完整的 5G 基站 (gNB) 整机能力或

更上层的逻辑功能能力的卫星，例如具备 5G-NR L1 数字信号处理能力和 L2 数据包处理能力的卫星；用卫星完整单元 (Sat-FU) 来表示星上有完整的 gNB 整机能力和更上层的逻辑功能能力的卫星，例如具备 5G gNB 全部完整协议数字处理能力的卫星。需要说明的是，如果把下文中的 UE 换成地面蜂窝 NG-RAN 基站，那么卫星服务链路还能能为这些地面基站提供无线回程传输服务。

Sat-RU 卫星的融合架构如图 3 所示。由于单颗 Sat-RU 卫星可通过 SRI (馈电链路也可基于 NR-Uu 新传输制式) 同时和多个地面 gNB 基站相连接，传输底层多路模拟信号，因此 gNB 前端需配置支持 SRI 的收发模块。Sat-RU 卫星之间可根据能力和部署的需要来配置星间链路 (仅用于底层模拟信号的中继转发)。在这种架构中，相比于地面蜂窝 NG-RAN，卫星 NG-RAN 并没有太大改变。这是因为 gNB 基站、Xn 接口、NG 接口等都还部署在地面网络中。由于 UE 能力有限，通常假设 UE 只能与单颗 Sat-RU 卫星、单个地面 gNB 进行通信。也就是说，这种架构通常不支持 UE 和多颗卫星之间的多连接操作。

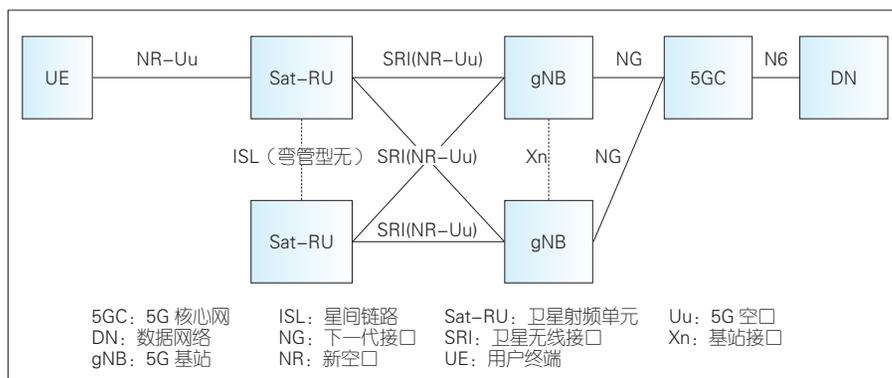
在 Sat-RU 卫星融合架构中，UE 和 gNB 之间需要分别经历服务和馈电两个无线链路，这会给 L1、L2 数据块传输带来更大的时延和链路自适应 / 功控等问题，使卫星链路性能降低。随着卫星自身物理载荷能力的提高和 SDN/NFV 技术的发展，提升卫星星上的数字处理能力并优化资源配置，已成为卫星产业界的主流趋势。未来 gNB 各个空口协议功能 / 数字处理模块会被设置在卫星上，从而降低 L1、L2 数据块 (重) 传输时延，增强对卫星链路的自适应性，提升链路级性能。

Sat-DU 卫星融合架构如图 4 所示。

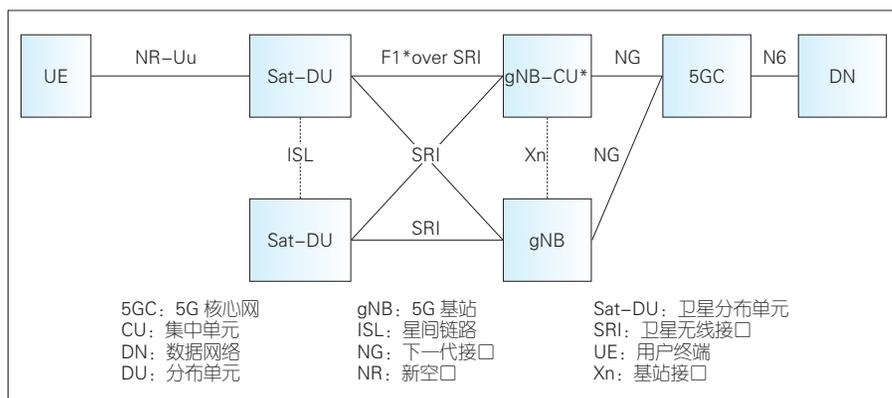
单颗 Sat-DU 卫星可通过 F1* 接口 (F1* 和 5G-NR 中的 F1 接口不同) 同时和多个地面 gNB 集中单元 * (gNB-CU*) 相连接 (gNB-CU* 和 5G-NR 中的 gNB-CU 实体不同)。gNB-CU* 前端同样需要配置支持 SRI 收发的模块。Sat-DU 卫星之间可根据能力和部署的需要来配置星间链路 (仅用于模拟信号的中继转发，暂不支持高层标准化的接口)。此种架构下，相比于地面蜂窝 NG-RAN，卫星 NG-RAN 也没有太大变化。这是因为 gNB-CU* 基站、Xn 接口、NG 接口等仍然全部部署在地面。由于 UE 能力有限，通常假设 UE 只能和单颗 Sat-DU 卫星、单个地面 gNB-CU* 进行通信，即这种架构通常不支持 UE 和多颗卫星之间的多连接操作。由于 Sat-DU 卫星至少配置了 NR 物理层 (PHY) / 媒体接入控制 (MAC) / 无线链路控制 (RLC) 等协

议功能模块，因此链路自适应 / 功控、数据包重传操作只需要经历一段服务链路。只有当 Sat-DU 最大重传失败或需要执行更高层重传和连接重配置 (RRC) 操作时，管控操作才会再次回到地面 gNB-CU* 基站。

为了进一步提升卫星链路的性能，增强卫星本地无线资源管控能力，降低控制面的信令传输时延，卫星也应具备 gNB 功能。Sat-FU 卫星融合架构如图 5 所示。单颗 Sat-FU 卫星可通过 NG 接口同时和多个地面卫星网关 (Sat-GW) 相连接。Sat-GW 前端同样需要配置支持 SRI 的收发模块。Sat-FU 卫星之间可根据能力和部署的需要来配置星间链路，以支持空中 Xn 接口，实现相邻卫星间的资源协调。例如，同一轨道上的相邻 LEO 卫星之间比较容易实现稳定的 Xn 连接，以辅助 UE 移动性管理。相比于 Sat-RU 和 Sat-



▲图 3 Sat-RU 卫星融合架构



▲图 4 Sat-DU 卫星融合架构

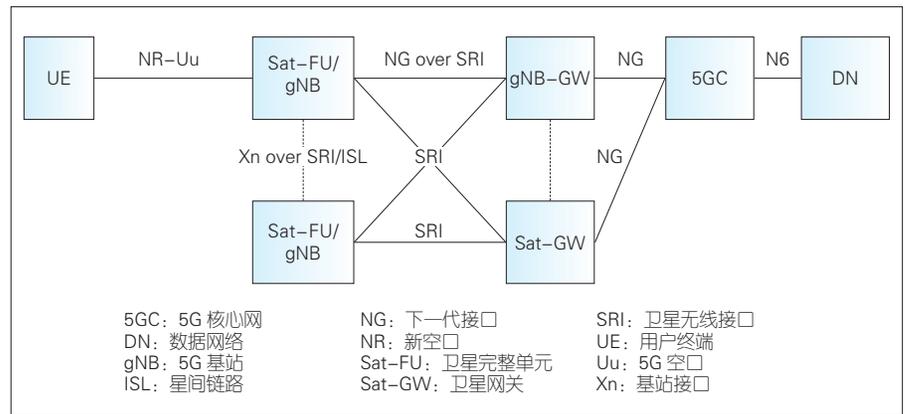
DU, 此种架构下的卫星 NG-RAN 部署有了很大改变。此时卫星 gNB 基站、Xn 接口、NG 接口都部署在天上, 并处于相对移动状态。这会给卫星网络拓扑和接口管理带来较大影响。同理, 由于 UE 能力有限, 通常也假设 UE 只能和单颗 Sat-FU 卫星进行通信, 即该架构通常不支持 UE 和多颗卫星之间的多连接操作。Sat-FU 卫星配置了 gNB 全部的协议功能模块, 除了具备 Sat-DU 卫星的所有数字处理能力外, 还能进行分组数据汇聚协议 (PDCP) 重传恢复、RRC 重配置、移动性管理, 以及空口和其他接口资源管理等操作。那些原本在地面蜂窝基站上的操作都可以放在 Sat-FU 卫星上执行。在图 5 的架构中, 相邻的 Sat-FU 卫星既可以属于同一运营商, 也可以属于不同的运营商 (有漫游的情况下)。因此, 该架构可以应用在 UE 空中漫游的场景中。

为减少 Sat-FU 卫星对 5G 核心网 (5GC) 的影响, 通常在 Sat-FU 卫星和 5GC 之间会部署一个独立的 Sat-GW 实体。该实体具有类似于地面控制站的功能, 可监测 Sat-FU 卫星的运行状态和相关参数配置。此外, 该实体还能在网络传输层 (TNL) 保证 Sat-FU 卫星和 5GC 之间 NG 标准化接口连接畅通。在上述 Sat-RU 和 Sat-DU 卫星场景下, Sat-GW 实体既可以独立部署, 也可以被整合在地面 gNB/gNB-CU* 基站内部。3GPP 认为, Sat-GW 实体不会产生新的标准化接口, 它仅具有 TNL 传输功能和对卫星的管控功能。因此, Sat-GW 不需要实现标准化。

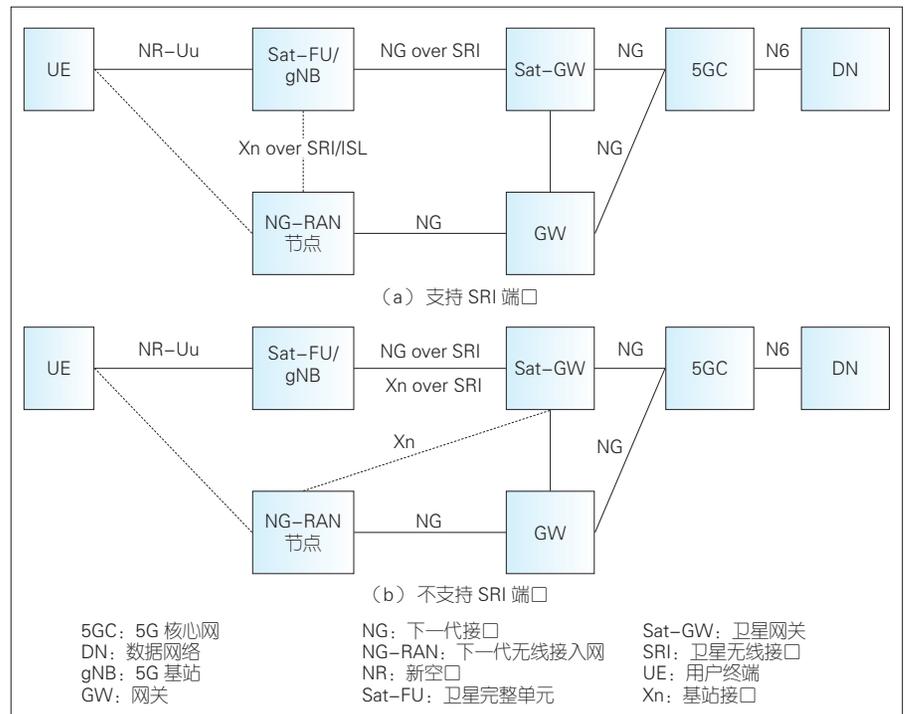
Sat-RU 和 Sat-DU 卫星的 NG-RAN 与传统地面蜂窝 NG-RAN 相比, 没有本质变化。Sat-FU 卫星在理论上支持 SRI 端口的地面蜂窝 NG-RAN 节点, 并通过 Xn 建立标准化接口, 如图

6 (a) 所示。如果地面蜂窝 NG-RAN 基站不支持 SRI 端口, 如图 6 (b) 所示, 那么 Sat-FU 卫星可通过地面 Sat-GW 间接地与地面蜂窝 NG-RAN 基站建立 Xn 标准化接口连接。Sat-GW 和地面普通网关在 TNL 也是相连接的。卫星基站和地面蜂窝基站可同时被同一个 5GC 网元所管辖, 并可执行天地基站间的无缝移动性操作。这有利于天地一体化资源的统一协调管理。建立 UE 和卫星服务链路需要一套独立的射频 (RF) 和天线模块。因此, 在

UE 和地面蜂窝基站之间的链路模块不被占用的前提下, 理论上该架构也可支持天地基站之间的多连接配置操作, 即 UE 同时和地面蜂窝基站、卫星基站建立独立的无线链路, 从而使不同数据业务可被不同的无线链路承载。在图 6 (a) 和图 6 (b) 的架构中, 天地相邻的 Sat-FU 卫星和地面蜂窝 NG-RAN 基站, 可属于同一运营商, 也可属于不同运营商 (有漫游的情况下)。因此, 这两种架构支持 UE 在天地基站之间的漫游移动。



▲图 5 Sat-FU 卫星融合架构



▲图 6 Sat-FU 卫星和地面 NG-RAN 节点互操作架构

2.2.2 多跳卫星融合架构

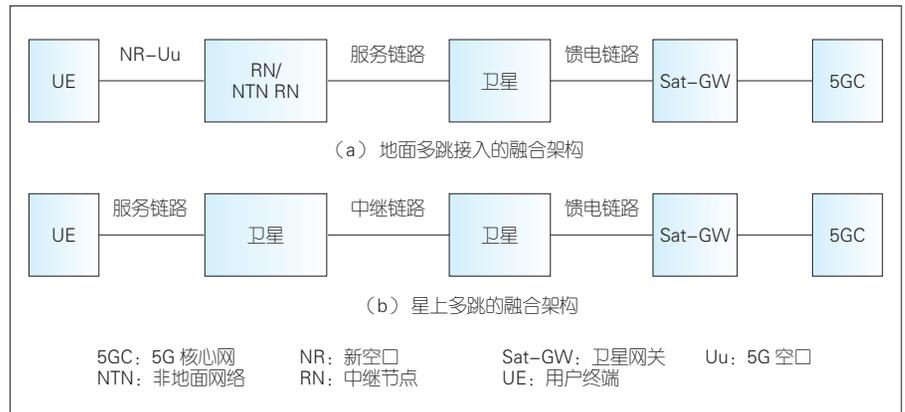
传统卫星通信系统一般支持多跳服务^[17]。例如，飞机或游轮上的 UE 通过 Wi-Fi 先连接一个集中的中继转发节点，然后这个中继转发节点再和通信卫星建立服务链路，以服务所有汇聚的 UE。未来地面 gNB 基站和 UE 将支持中继多跳。对于卫星通信系统来说，在多跳服务场景下的多跳技术架构也可能和地面蜂窝 gNB 一样。这种架构包括地面多跳接入和先星间链路多跳再中继转发两大类。地面多跳接入的融合架构如图 7 (a) 所示。UE 首先通过 NR-Uu 空口接入最近的服务中继节点 (RN)，再经过若干跳之后通过非地面网络 (NTN) RN 来转发卫星信号。这种服务架构对于聚合成本相对低的物联网终端意义很大。低端的物联网终端不太可能和卫星直接建立服务链路。即使能和卫星直接连接，物联网天然的小微数据包^[18]、超大连接数也会给卫星带来严重的资源负荷冲击。因此，先汇聚地面数据流量再将数据上传至卫星的做法将更加高效。星上多跳的融合架构如图 7 (b) 所示，UE 在卫星上的数据流信号还可继续在星间链路之间以标准化的方式多跳传输。例如，基于集成接入回传 (IAB) 技术，不同厂家的卫星设备可提供多跳中继传输服务，并可进行路由优化等操作。地面多跳和星间多跳可同时部署，此时需要要考虑端到端的时延问题。另外，卫星间的多跳传输场景可能会给未来 6G 天地一体化传输承载方式和相关协议带来影响^[19]。

2.2.3 卫星本地分流融合架构

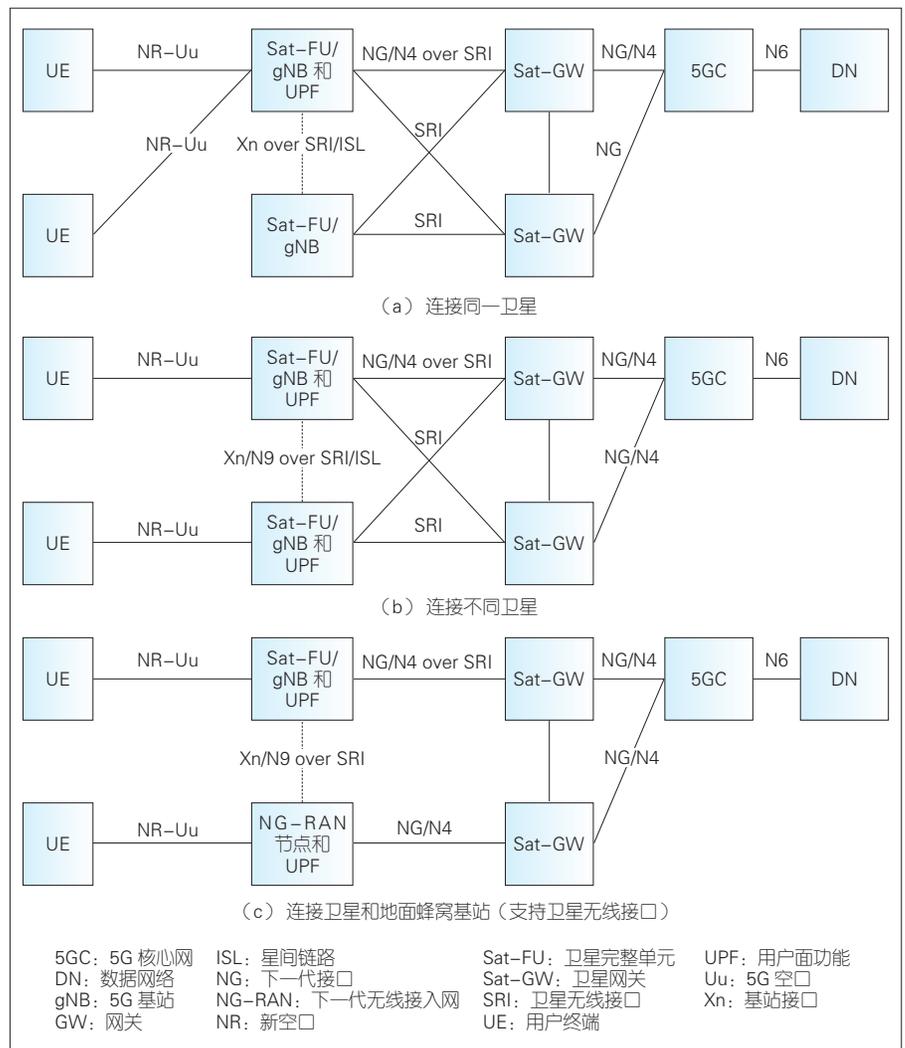
由于卫星链路的时延较大，因此在卫星物理载荷能力允许的前提下，为 Sat-FU 卫星增配 UPF 和 MEC 功能，有助于形成用户内容和资源复用优势。如果发生通信的两个节点都是 UE，那

么可通过卫星本地分流的服务架构来缩短端到端时延。在这种架构中，UE 之间可直接通过服务链路完成数据包传输。如图 8 (a) 所示，两个 UE 都

连接同一颗配备有本地 UPF 的 Sat-FU 卫星。当控制面完成建链后，两个 UE 可直接在卫星内进行数据包转发。如图 8 (b) 所示，两个 UE 各自连接不



▲图 7 多跳卫星融合架构



▲图 8 卫星本地分流融合架构

同的配备有本地 UPF 的 Sat-FU 卫星。当控制面完成建链后,两个 UE 可直接在两颗卫星之间进行数据包转发。此时,星间 N9/N4 接口可用来支持星间传输。配备有本地 UPF 的不同 Sat-FU 卫星,既可属于同一运营商,也可属于不同的运营商,即能够支持不同 UE 的跨运营商通信。

类似地,如图 8(c)所示,两个 UE 分别连接配备本地 UPF 的 Sat-FU 卫星基站和地面蜂窝基站。当控制面完成建链后,两个 UE 也可直接在天地基站链路之间进行本地数据包的转发传输。为了支持天地间本地分流操作,地面蜂窝基站也应具备 UPF,这可通过天地基站链路间 N9/N4 over SRI 的标准化接口来实现。天地基站之间配备本地 UPF 的 Sat-FU 卫星基站和地面蜂窝 NG-RAN 基站^[20],既可属于同一运营商,也可属于不同的运营商,即支持不同 UE 的跨运营商通信。

3 结束语

随着全球化的发展,卫星通信系统的应用将越来越广泛,5G-NR、6G 等通信技术也将被逐渐运用在卫星通信系统中。虽然在网络部署和工作方式上有较大差异,但是在系统架构/协议栈层方面,未来卫星 NTN 系统将会和地面蜂窝 NG-RAN 彼此深度融合。在某些地面蜂窝 NG-RAN 无线信号无法覆盖的地方,卫星 NG-RAN 可提供多种灵活的接入方式。不同类型卫星的组合有助于提升业务性能,降低综合成本。虽然卫星基站能够更好地服务用户,但是单颗卫星的成本和系统

复杂度也在增加。因此,必须综合多方面因素来选择最优的服务架构。在某些天地 NG-RAN 无线信号同时覆盖的地方,天地 NG-RAN 基站之间可紧密协作,以实现数据包的无损跨节点移动性管理、资源负荷均衡和多连接操作等。未来卫星通信系统和 5G-NR 之间的深度融合,不仅有利于传统卫星厂商提升卫星整体性能,开发和部署新卫星,开辟新业务市场,还有利于 5G-NR 移动业务市场和巨量的终端用户数被更好地共享。在未来,普通终端用户将以更低的资费享受到质量更好、内容更丰富的卫星通信服务。

参考文献

- [1] 朱立东,吴廷勇,卓永宇.卫星通信导论:第4版[M].北京:中国工信出版社,2015
- [2] 张洪太,王敏,崔万照.卫星通信技术[M].北京:人民邮电出版社,2018
- [3] 张军.天基移动通信网络[M].北京:国防工业出版社,2018
- [4] 潘申富,王赛宇,张静,等.宽带卫星通信技术[M].北京:国防工业出版社,2018
- [5] 杨立,赵亚军,方球藏.从容量和覆盖升级到连接和品质——论未来无线技术的盈利拓展[J].信息通信技术,2020,14(6):57-62
- [6] 宗鹏.卫星地球站设备与网络系统[M].北京:国防工业出版社,2018
- [7] 杨立.5G-NR 蜂窝系统功能演进趋势分析[J].无线电通信技术,2020,46(3):310-314
- [8] 3GPP. Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN) (Release 16): 3GPP TR 38.821[S].2019
- [9] 3GPP. Study on using satellite access in 5G, stage 1 (Release 15): 3GPP TR 22.822[S].2017
- [10] 3GPP. Study on New Radio (NR) to support Non-Terrestrial Networks (Release 15): 3GPP TR 38.811[S].2018
- [11] 3GPP. Service requirements for the 5G system (Release 14): 3GPP TS 22.261[S].2017
- [12] 3GPP. Architecture options for NTN: 3GPP R3-185406[S].2018

- [13] 3GPP. Further discussion on NTN architecture issues: 3GPP R3-185409[S].2018
- [14] 3GPP. NTN architecture options: 3GPP R3-185699[S].2018
- [15] 3GPP. Further discussion on NTN architecture: 3GPP R3-185704[S].2018
- [16] 3GPP. Considerations on NG-RAN architectures for non-terrestrial networks: 3GPP R3-186043[S].2018
- [17] 3GPP. Further considerations on multi-hop scenarios in NTN: 3GPP R3-185411[S].2018
- [18] 杨立,黄河,张梦洁,等.小微数据包高效无线传输技术的发展和趋势[J].移动通信,2021,45(1):90-95
- [19] 牟林,杨立,李志军,等.6G无线侧相关新承载和新传输的愿景需求分析[J].信息技术,2021,15(3):62-68
- [20] 杨立,李大鹏.网络切片在5G无线接入侧的动态实现和发展趋势[J].中兴通讯技术,2019,25(6):8-18. DOI: 10.12142/ZTETJ.201906002

作者简介



杨立,中兴通讯股份有限公司技术资深预研专家、高级工程师,曾常年担任 3GPP 规范协议资深主编;长期从事 3GPP 移动网络技术的标准化研究,包括 ODICT 生态战略、网络系统功能演进、卫星通信等;获江苏省科学技术奖二等奖 1 项;有 400 余篇标准提案被 3GPP 组织采纳,发表论文 10 余篇,出版专著 1 部,拥有授权专利 50 余项。



窦建武,中兴通讯股份有限公司高级工程师、中国电子学会电波传播分会委员会委员;主要研究方向为 5G/6G 无线信道建模、无人机通信、卫星通信等;参与 3GPP 5GCM、UAV、NTN 等标准化工作,所主导的 Map-based Hybrid 信道模型被 3GPP 及 ITU 国际标准化组织采纳,主持国家重大科技专项 1 项;获中国专利金奖、中国通信学会科学技术奖一等奖等奖项。