

Application Brief

面向未来用户终端的设计注意事项和挑战



Phil LaVerde

在当今世界，与互联网保持持续连接已成为一种近乎必要的条件。由于保持在线可以说是现代生活的一项要求，人们对网络接入的期望已远远超出家庭或办公室的范围。人们希望无论身处何地都能保持连接；例如，航空公司和邮轮公司正迅速升级其机队和船队，以提供无缝 Wi-Fi 服务。无论身处何地均需保持连接的需求，催生了在地面网络无法覆盖的区域部署用户终端的需求。此类用户终端通过为农村家庭、商用飞机、客轮及偏远工业基础设施建立安全的数据通道，支撑关键应用的运行。军队和应急救援人员也大量部署此类终端，用于建立安全的指挥中心，并在自然灾害期间恢复关键通信线路。

用户终端是卫星通信 (Satcom) 网络的基本组成单元之一。如图 1 所示，卫星通信系统利用三个独立组件建立全球连接：地面站、通信有效载荷以及用户终端或设备。地面站是直接对接数据网络并与卫星进行双向数据传输的枢纽。卫星有效载荷在轨道上运行，作为地面站与用户终端之间的中继媒介，实现持续的双向通信。

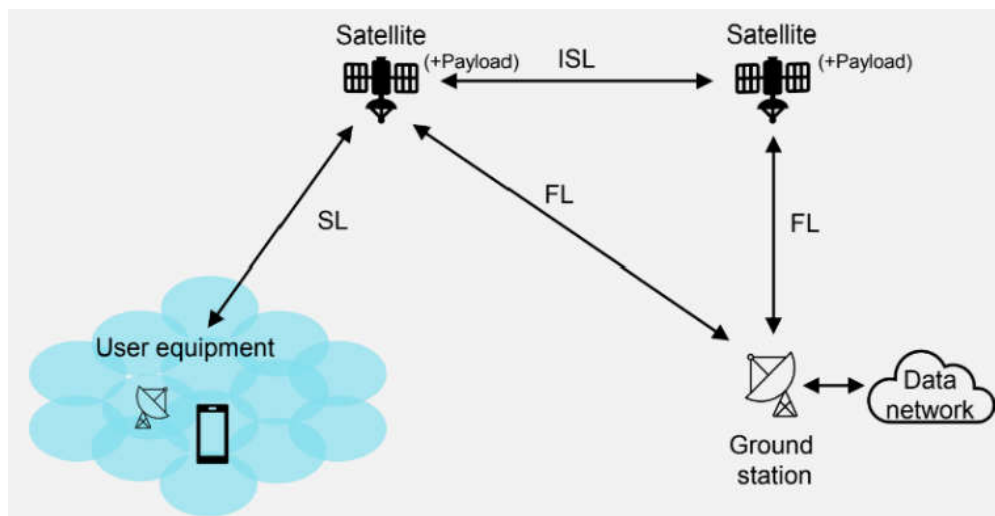


图 1. 卫星通信生态系统

用户终端是一种调制解调器，充当卫星基础设施与单个终端用户之间的接口链路。用户终端执行多项功能以维持可靠的连接。用户终端通过物理驱动反射面天线，或利用相控阵架构进行电子波束控制，来维持视距对准。完成对准后，用户终端将来自用户设备的数字数据转换为射频信号，将信号放大至足够的功率电平，并将信号发射至太空。同时，用户终端从轨道捕获微弱的下行链路信号，通过低噪声放大器 (LNA) 处理信号以滤除环境射频噪声，并将射频信号解调还原为数字数据。表 1 详细列出了三种用户终端类型及其区别特征。

表 1. 用户终端类型

	固定式	移动式	便携式
说明	安装在建筑物或地面基础设施上的永久性硬件。	安装在车辆、船舶或航空器上的终端。	专为单人部署且无需基础设施而设计的战术或应急系统。
用例	• 商用宽带 • 企业终端	• 机上互联 • 海上导航 • 车辆	• 单兵背负式终端 • 便携飞掠式终端 • 卫星电话
常用频段	• L 波段 • S 波段 • C 波段 • Ku 波段/Ka 波段		

市场趋势和技术驱动因素

多轨道混合应用：随着前述低地球轨道 (LEO) 卫星的大量涌入，混合式设计应运而生。混合终端可在用于交互式流量的低延迟 LEO 链路与用于批量数据传输的高容量 GEO 波束之间切换，从而根据实时网络状况和服务需求优化性能。

平板 ESA：随着 LEO 卫星数量的增加，平板电子扫描相控阵 (ESA) 在市场上日益普及。平板系统无需机械运动部件即可通过电子方式控制射频波束，不仅外形更薄、便于安装，还能利用多波束同时跟踪多颗 LEO 卫星。根据 Yole Group 发布的卫星通信射频市场报告，LEO 卫星的年发射量已从 2021 年的仅 1,600 颗增至目前的约 5,000 颗。

非地面网络 (NTN)：3GPP Release 17 引入了首个卫星直连蜂窝网络的官方标准，使 NTN 成为一大主流趋势。通过将卫星通信能力嵌入标准蜂窝系统，此项技术有效打破了传统地理覆盖范围的限制。来自卫星的服务链路可由用户终端或手机接收。当前移动技术主要支持在无地面网络覆盖的偏远地区进行紧急 SOS 短信发送、位置共享及有限的消息传输。上述统一框架解决了极端环境下关键作业面临的数据孤岛问题，适用场景包括海上能源平台、海运航道及偏远农田。

多频段与多轨道支持

多频段和多轨道功能使单个终端能够在不同频段 (如 L、S、Ku、Ka) 和卫星轨道 (GEO、MEO、LEO) 之间进行通信。此种灵活性实现了星座间的无缝切换以获取最佳可用覆盖，同时在单颗卫星或网络出现故障或拥塞时提供冗余保障。对上述功能的需求源于卫星部署规模的扩大以及数据密集型应用要求的提高。不同轨道在时延、覆盖范围和成本方面各具独特优势。具备多轨道接入能力的终端可为客户提供更高的灵活性和韧性。

TI 提供支持多频段和多轨道运行的收发器设计方案，如 [AFE8128](#) 和 [AFE7769D](#)。AFE8128 采用基于数控振荡器 (NCO) 的射频采样架构，无需多条射频链路或外部混频级即可实现多频段运行。四个独立的射频锁相环 (PLL) 使 AFE7769D 能够支持多频段架构，将 L/S/C 波段操作集成于单个收发器中。凭借上述频率灵活性，终端可在卫星星座和频段之间动态切换，而无需重新配置硬件。

跳频技术

跳频是指按照预定模式在多个频率信道上快速切换无线信号的技术。此项功能对此类应用的军用型号至关重要，因为跳频可防止干扰、截获和侦听；商用系统则利用跳频动态避开拥挤频谱，在复杂的电磁环境中维持可靠连接。TI 提供具备快速跳频功能的收发器设计：AFE812x 系列集成了此项技术，可提供不间断的信号传输。射频输出端的跳频可视化效果如图 2 所示。

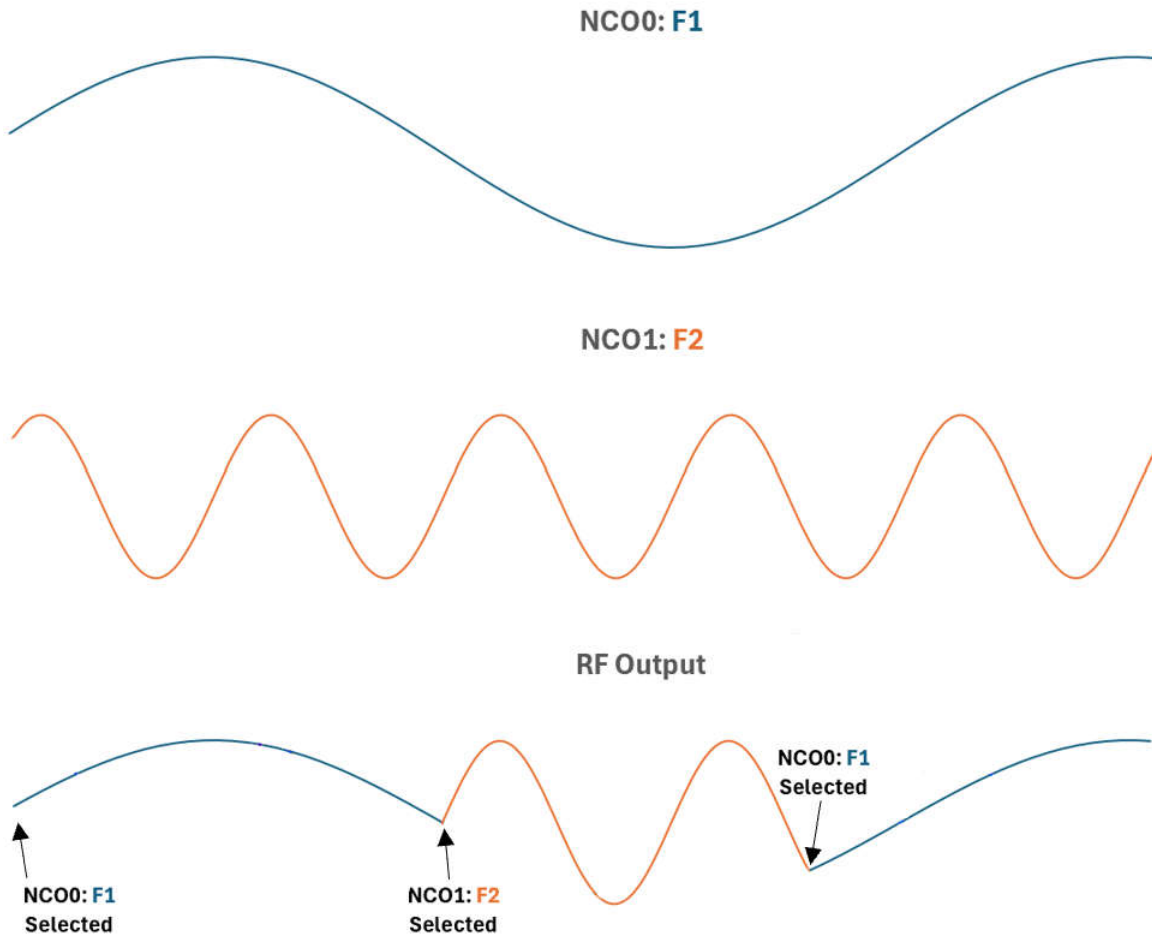


图 2. 相位连续跳频示例

尺寸、重量和功耗成本 (SWaP-C)

SWaP-C 优化旨在最大限度缩减地面硬件的物理尺寸、质量和能耗，同时降低制造成本。这种优化效率直接决定了终端能否部署在空间受限的平台上。对于专为小型车辆或航空平台设计的终端而言，尺寸优化至关重要。虽然安装在建筑屋顶或船舶上的大型企业级终端可直接接入主电网，但电源优化对于应急和战术终端至关重要。除能效需求外，此类便携式设计还需兼顾尺寸和重量。TI 的 AFE7769D 集成了数字预失真 (DPD) 功能，可对系统中的功率放大器 (PA) 进行线性化处理；同时，波峰因数降低 (CFR) 功能可降低信号峰值，防止 PA 饱和。上述先进信号调理技术协同工作，可提升发射信号质量，最大化功率放大器效率，并直接降低功耗。该器件有助于精简系统级物料清单，进一步解决用户终端面临的尺寸和成本挑战。

结语

随着卫星通信市场的扩张，对无缝、不间断连接的期望推动了用户终端的演进。随着 LEO 和 MEO 星座技术与现有 GEO 网络同步快速扩展，用户终端不能再依赖僵化的单轨道架构。下一代卫星终端必须支持多轨道运行，同时满足严格的尺寸、重量和功耗要求，方能在航空航天、军事及商业平台上保持适用性。实现此种程度的适应性需要先进的硬件集成技术。归根结底，芯片层面的技术进步为卫星网络新时代提供了所需的效率、敏捷性和韧性。

参考资料

- Yole Group. (2026). *RF for SatCom 2026*. https://admin.yolegroup.com/static/sample/yintr26564-rf_for_satcom_2026-product_brochure.pdf
- 3GPP. (2025 年 7 月 4 日)。 *Non-Terrestrial Networks (NTN)*. <https://www.3gpp.org/technologies/ntn-overview>
- 国际电信联盟。 (2025 年 10 月 15 日)。 *Internet use*. <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2025/10/15/ff25-internet-use/>
- 德州仪器 (TI)， [使用 AFE7769D 的大型相控阵天线系统](#)多 [AFE 同步](#)，应用手册

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月