

Application Brief

将来のユーザー端末の設計上の検討事項と課題



Phil LaVerde

インターネットへの常時接続は、今日の世界ではほぼ必須のものとなっています。現代生活において、オンラインであり続けることが今やほぼ必要条件となっているため、アクセスできることへの期待は、家庭やオフィスをはるかに超えたものになっています。人々は、どこへ行っても接続された状態でいたいと考えています。例えば、航空会社やクルーズ会社は、シームレスな Wi-Fi を提供するために、機材を急速にアップグレードしています。場所を問わず接続する必要があるため、地上波ネットワークが届かない場所にもユーザー端末を展開する必要が生じています。これらのユーザー端末は、安全なデータチャネルを確立することで、地方の家庭、商用航空機、旅客船、遠隔地の産業インフラにおける重要なアプリケーションを支えています。また、これらの端末は軍や緊急対応要員によっても広く導入されており、自然災害の発生時には、安全な指令センターを設置したり、重要な通信回線を復旧したりするために利用されています。

ユーザー端末は、衛星通信 (Satcom) ネットワークの構成要素の一つです。Satcom は、図 1 に示すように、地球規模の接続性を確立するために、地上局、通信ペイロード、ユーザー端末または機器という 3 つの異なる構成要素を利用します。地上局は、データネットワークと直接接続し、衛星との間でデータを送受信するハブです。衛星ペイロードは軌道上で動作し、地上局とユーザー端末の間の媒体として機能することで、常時双方向通信を可能にしています。

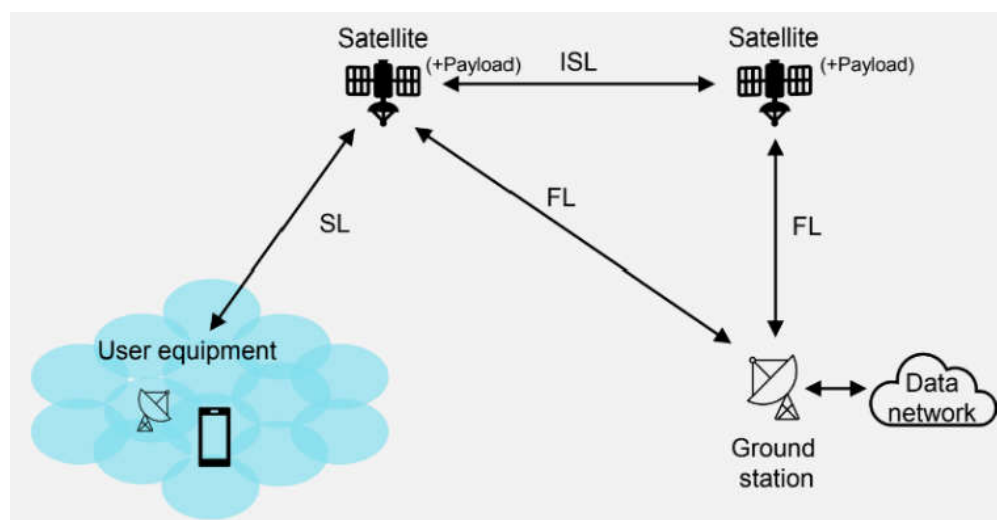


図 1. 衛星通信エコシステム

ユーザー端末は、衛星インフラと個々のエンド ユーザーとの間をつなぐインターフェイスとして機能するモデムです。ユーザー端末は、信頼性の高い接続性を維持するためにいくつかの機能を実行します。端末は、反射鏡アンテナを物理的に駆動するか、フェーズド アレイ アーキテクチャを使用してビームを電子的にステアリングすることで、見通し線の位置合わせを維持します。位置合わせが完了すると、ユーザー端末はユーザー デバイスからのデジタル データを無線周波数信号に変換し、その信号を十分な電力レベルに増幅して、信号を宇宙空間に送信します。同時に、端末は軌道から送られてくる微弱なユーザー側へのダウンリンク信号を受信し、低ノイズ アンプ (LNA) を介して信号を処理することで、周囲の RF ノイズをフィルタし、周波数を復調してデジタル データに戻します。表 1 は、3 つのユーザー端末のサブタイプと、それぞれを区別する要素について詳述したものです。

表 1. ユーザー端末のタイプ

	固定	モバイル	ポータブル
説明	建物または地上インフラに取り付けられた恒久的なハードウェア。	車両、船舶、航空機に搭載された端末。	インフラストラクチャを使用せずに一人で導入できるように設計された戦術用システムまたは緊急対応システム。
使用事例	- 商用ブロードバンド - 企業向け端末	- 機内接続 - 海上航行 - 車両	- 携行型端末 - 可搬型端末 - 衛星電話
一般的な帯域	- L バンド - S バンド - C バンド - Ku バンド / Ka バンド		

市場動向とテクノロジーの推進要因

マルチ軌道のハイブリッド化: 前述の低軌道 (LEO) 衛星の増加に伴い、ハイブリッド設計が登場しています。ハイブリッド端末は、インタラクティブな通信には低レイテンシの LEO リンクに切り替え、大容量のデータ転送には大容量の GEO ビームに切り替えて、リアルタイムのネットワーク状況とサービス要件に基づいてパフォーマンスを最適化できます。

フラット パネル型 ESA: LEO 衛星の増加に伴い、フラット パネル型の電子走査式フェーズド アレイ (ESA) の人気が市場で人高まっています。フラット パネル システムは、可動部品を使わずに RF ビームを電子的に操作することができ、より薄型の構造で設置が容易になっており、複数のビームを使用することで、複数の LEO 衛星を同時に追跡することができます。Yole Group の Satcom 向け RF に関する市場レポートによると、現在では年間約 5,000 基の LEO 衛星が打ち上げられており、2021 年のわずか 1,600 基から増加しています。

非地上波ネットワーク (NTN): 3GPP Release 17 では、衛星と携帯電話網を直接接続するための初の正式な規格が導入され、NTN が大きなトレンドとなりました。衛星の機能を標準的な携帯電話システムに組み込むことで、この技術は地理的な通信範囲における従来の境界を事実上なくします。衛星からのサービスリンクは、ユーザー端末または携帯電話で受信できます。現在のモバイル技術は、主に緊急時の SOS テキスト メッセージ送信、位置情報の共有、地上ネットワークの通信範囲外にある遠隔地での限定的なデータ メッセージングをサポートしています。この統合された枠組みにより、海上のエネルギー プラットフォーム、海上輸送航路、孤立した農地など、極端な環境での重要な業務で生じるデータの分断という課題に対応できます。

マルチ バンドおよびマルチ軌道をサポート

マルチ バンドおよびマルチ軌道機能により、1 台の端末で異なる周波数帯域 (L、S、Ku、Ka など) と衛星軌道 (GEO、MEO、LEO) を介して通信できるようになります。この柔軟性により、利用可能な最適な通信範囲にアクセスするために、コンステレーション間をシームレスに切り替えることができます。また、個々の衛星やネットワークで障害や輻輳が発生した場合にも、通信の復元力を確保できます。こうした機能の必要性は、衛星の配備規模が拡大していることと要求の厳しいデータ アプリケーションによって生じています。各軌道には、レイテンシ、カバレッジ エリア、コストの面で明確な利点があります。複数の軌道にアクセスできる端末は、お客様に優れた柔軟性と復元力を提供します。

TI は、マルチ バンドとマルチ軌道の動作に対応できる AFE8128 や AFE7769D のようなトランシーバ設計を提供しています。AFE8128 は数値制御発振器 (NCO) ベースの RF サンプリング アーキテクチャを活用し、複数の RF チェーンや外部ミキシング段を必要とせずにマルチ バンド動作を実現します。4 つの独立した RF フェーズ ロック ループ (PLL) により、AFE7769D はマルチ バンド アーキテクチャに対応し、L/S/C バンド動作を 1 つのトランシーバに統合します。このような周波数の柔軟性により、端末はハードウェアを再構成することなく、衛星コンステレーションと周波数帯域を動的に切り替えることができます。

周波数ホッピング

周波数ホッピングとは、あらかじめ決められたパターンに従って、複数の周波数チャンネルにまたがる無線信号を高速に切り替えることです。この機能は、このアプリケーションの軍用バリエーションに不可欠です。これは、周波数ホッピングによって、ジャミング、傍受、干渉から通信を保護できるためです。一方、商用システムでは、輻射したスペクトラムを動的に回避し、輻射した電磁環境でも信頼性の高い接続を維持するために、周波数ホッピングが使用されています。TI は、高速周波数ホッピングを採用したトランシーバ設計を提供しています。AFE812x ファミリーにはこの技術が組み込まれており、信号が途切れない通信を実現します。RF 出力における周波数ホッピングの様子を図 2 に示します。

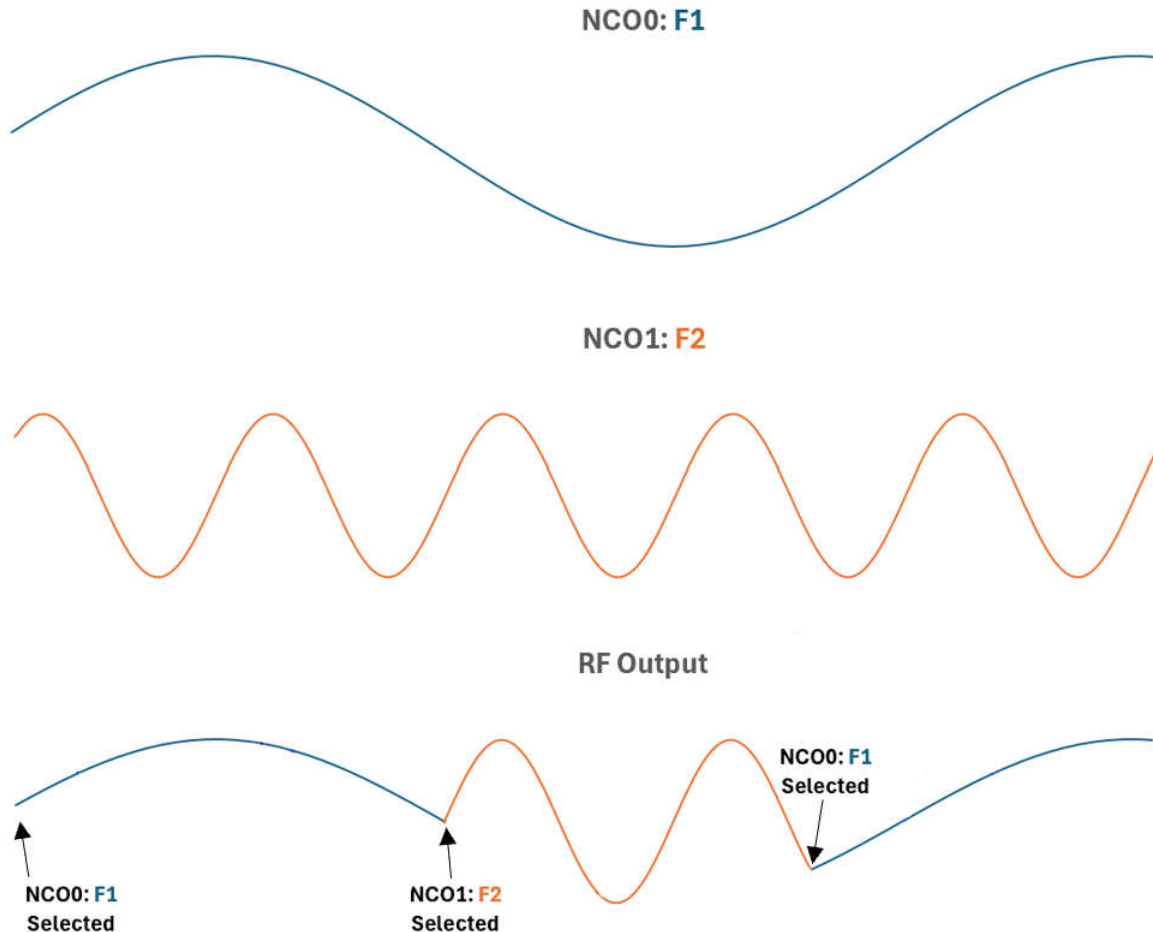


図 2. 位相連続周波数ホッピングの例

サイズ、重量、電力コスト (SWaP-C)

SWaP-C の最適化では、地上機器の物理的な設置面積、質量、エネルギー消費量を最小限に抑えると同時に、製造コストを削減することを重視しています。この効率性は、端末を制限されたプラットフォームに導入できるかどうかを直接左右します。小型車両や航空機への搭載を想定して設計された端末にとって、サイズの最適化は非常に重要です。建物の屋上や船舶に設置される大規模な企業向け端末は、主電力網に直接接続できますが、緊急対応用や戦術用の端末では、電力の最適化が重要になります。これらの携帯型設計では、エネルギー効率を高める必要があることに加えて、サイズと重量についても考慮する必要があります。TI の AFE7769D は、内蔵デジタル プリディストーション (DPD) 機能とパワーアンプ (PA) の線形化を特長としており、システム内での波高率低減 (CFR) 機能により信号ピークを低減して PA の飽和を防止します。これらの高度なシグナル コンディショニング手法を組み合わせることで、送信信号品質が向上し、パワーアンプの効率が最大化され、消費電力が直接低減されます。このデバイスは、システムレベルの部品表の統合に貢献し、ユーザー端末のサイズとコストの課題にも対応します。

まとめ

Satcom 市場の拡大に伴い、途切れることのないシームレスな接続への期待が、ユーザー端末の進化を促しています。LEO および MEO コンステレーションが既存の GEO ネットワークと並行して急速に拡大する中、ユーザー端末はもはや、固定的な単一の軌道アーキテクチャに依存することはできません。次世代の衛星端末は、航空宇宙、軍事、商用の各プラットフォームで実用性を維持するために、厳しいサイズ、重量、電力の要件を満たしながら、マルチ軌道動作に対応する必要があります。このようなレベルの適応性を実現するには、高度なハードウェア統合が必要です。最終的に、このようなチップ レベルでの進歩により、次世代の衛星ネットワークに電力を供給するのに必要な効率性、俊敏性、復元力が得られます。

参考資料

- Yole Group. (2026 年) *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>
- 国際電気通信連合. (2025 年 10 月 15 日). *Internet use*. <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2025/10/15/ff25-internet-use/>
- テキサス インスツルメンツ、『[AFE7769D](#) を用いた大規模フェーズド アレイ アンテナ システム向けマルチ AFE 同期』、アプリケーション ノート。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月