

## Application Note

**FPGA** を使用しない分散型アンテナ システムやリピータの設計を  
簡素化

Kang Hsia

## 概要

ワイヤレス通信システムは、サービス環境、カバレッジ要件、およびユーザ容量によって異なる目的を果たします。このレポートでは、一般的な分散型アンテナ システム (DAS) とリピータ システム、およびそれらに関連するサービス環境について詳細に説明します。さらに、これは、異なる通信システムにデジタル プリディストーション機能を内蔵したダイレクトレシーバからトランスミッタへのループバックに内蔵された統合無線周波数トランシーバの利点も強調しています。

## 目次

1 はじめに.....	2
1.1 本書で使用されている略語.....	2
2 分散型アンテナ システム.....	3
3 リピータ システム.....	5
4 DAS とリピータ設計の目標.....	6
5 FPGA/ASIC なしの RF リピータ システム.....	7
6 ケーブル分散とマルチパスからのバンドパス フィルタ効果の克服.....	9
7 まとめ.....	9

## 図の一覧

図 2-1. DAS セットアップの一般的な環境.....	3
図 2-2. 屋内のカバー率と容量を向上させる DAS 操作の原理.....	4
図 3-1. リピータ セットアップの標準的な環境.....	5
図 5-1. AFE7769D RX DDC から TX DUC へのループバック機能.....	7
図 5-2. AFE7769D TX、RX、FB チェーン.....	8

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

このアプリケーションレポートでは、4G または 5G の分散型アンテナ システム (DAS)、リピータ、またはベーストランシーバステーション (BTS) のセットアップに関する背景情報を説明し、AFE7769D に内蔵されている直接 RF ループバック機能、波高率低減 (CFR) およびデジタル プリディストーション (DPD) 処理機能を考慮した、簡素化された DAS またはリピータ モジュール設計の実際の例を紹介します。このリファレンス デザインは柔軟かつモジュール化されており、広い瞬時帯域幅、柔軟な RF 範囲、データ転送のボトルネックを解消するオプションの JESD204C インターフェイスを実現します。

全体の設計には、RF サンプリングトランシーバである AFE7769D ファミリが含まれており、トランスミッタとレシーバに対して複数のチャンネル数を持つモジュール型プラットフォーム設計や、さまざまな瞬時帯域幅対応能力を持つことができます。

以下のようなアプリケーションを挙げます。

- DAS
- [リピータ](#)
- [小規模セル](#)
- [マクロ - BTS](#)
- [大規模 MIMO \(AAS\)](#)

### 1.1 本書で使用されている略語

DAS: 配電アンテナ システム

BTS: ベーストランシーバステーション

RF: 無線周波数

DDC: 内蔵デジタル ダウン コンバータ

DUC: デジタル アップ コンバータ

FPGA: フィールド プログラマブル ゲートアレイ (FPGA)

DFE: デジタル フロント エンド ロジック

## 2 分散型アンテナ システム

ここでは、DAS を使用する一般的なワイヤレス通信システム環境の例を示します。

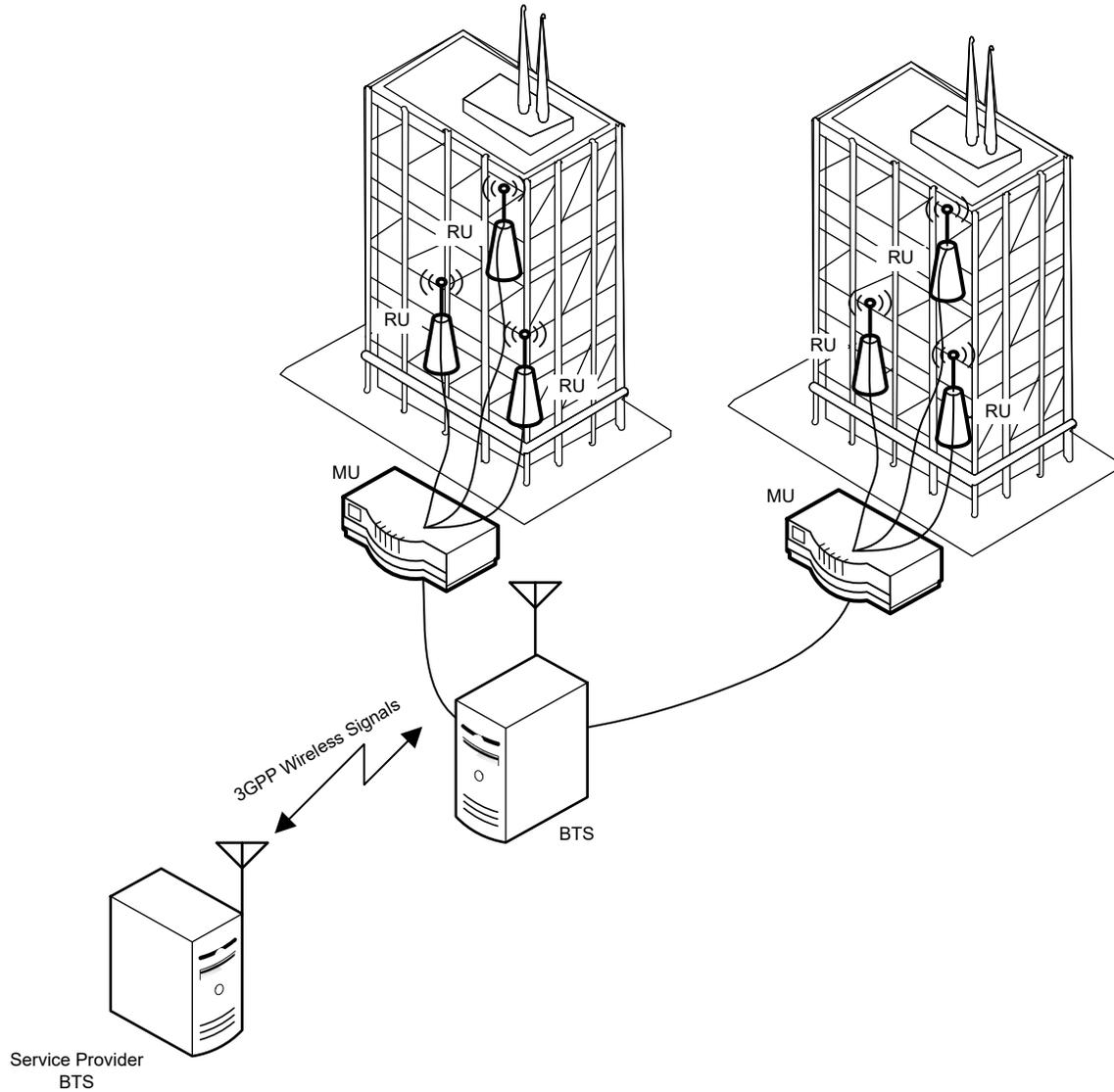


図 2-1. DAS セットアップの一般的な環境

図 2-1 に、DAS の一般的なサービス環境を示します。多くのプライベートオフィスビルや公共サービスビルは、混雑した密閉された環境で多くのモバイル ユーザーを抱えています。建物内の環境では、基地局 (BTS) からの外部無線信号が建物内に到達することはできません。したがって、ワイヤレス信号パスに追加の修正を加えることなく、これらの建物にはモバイル ユーザのカバレッジと容量の問題があります。

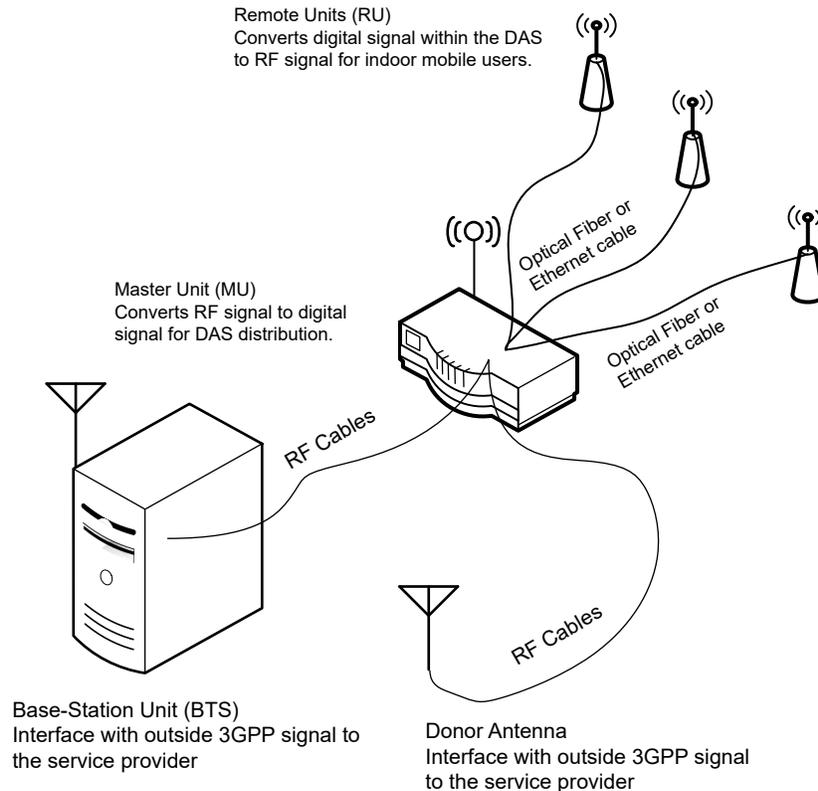


図 2-2. 屋内のカバー率と容量を向上させる DAS 操作の原理

建物の所有者や管理者は、建物の外部から建物の内部にワイヤレス信号経路を再配布するために、DAS を導入できます。図 2-2 によると、DAS は、通常、マスター ユニット (MU) と 1 つ以上のリモート ユニット (RU) の 2 つの基本要素で構成されます。簡易な動作原理は、外部 BTS または屋内のリモート ユニートを介して外部信号を屋内で再分配するドナー アンテナとのマスター ユニット インターフェイスに基づいています。屋内リモート ユニットは、サービスのカバレッジと容量を向上させるために、建物全体に配置できます。重要な制約は、DAS が信号を再分配するだけであるため、DAS はモバイル ユーザーと BTS に対して透過的であるということです。

次に、DAS の主要コンポーネントの機能をまとめます。

- **MU:**これは DAS のマスター ユニットです。MU は、主に外部 BTS またはドナー アンテナとインターフェイスし、外部信号を屋内 RU とブリッジします。
- **RU:**建物の所有者または管理者は、モバイル ユーザーとのインターフェイスのカバレッジと容量を増やすために、建物全体にさまざまな RU をインストールできます。RU は MU とインターフェイスして、モバイル ユーザーと MU をブリッジします。
- **BTS:**このユニットは、モバイル サービス プロバイダーとモバイル ユーザー間の無線インターフェイスを担当します。無線インターフェイスは建物を通るのが困難なため、モバイル ユーザーやサービス プロバイダーと BTS をブリッジするために DAS が設置されています。

- ドナー アンテナ: エア インターフェース信号が十分に強い場合、MU はドナー アンテナと直接インターフェイスして、ビルの外に BTS を設置するのではなく、よりリモートの BTS に到達することができます。MU と直接インターフェイスするために BTS を建物の外部に直接設置するには、他のセルへの潜在的な干渉を評価するために、サービス プロバイダーからの RF セル計画が必要です。ドナー アンテナを使用することで、BTS セルの計画と設置にかかるコストをビル マネージャに節約でき、DAS の設置時間も短縮できます。BTS が実際に建物の近くに設置されている場合、MU はドナー アンテナを使用せずにファイバ ケーブルで BTS に直接接続できます。

DAS 設計の新しい傾向には、イーサネットまたはファイバを介した配電が含まれます。このアプローチでは、MU と RU 全体をイーサネットまたはファイバライン経由で直接給電することができます。ケーブルを介した電力供給の考え方は、DAS システム全体を、主な建物の配電サービスから直接、かつ独立して電力供給できるようにすることです。電力会社の請求書は、DAS システムと建物の所有者との間で分離できます。

### 3 リピータ システム

リピータシステムは DAS システムに非常によく似ています。ただし、MU から RU に RF 信号を分配する光ファイバ ケーブルまたはイーサネット ケーブルではなく、[図 3-1](#) に示すように、MU と RU の両方に、無線で RF 信号を配信するための別のアップリンク アンテナとダウンリンク アンテナのセットがあります。

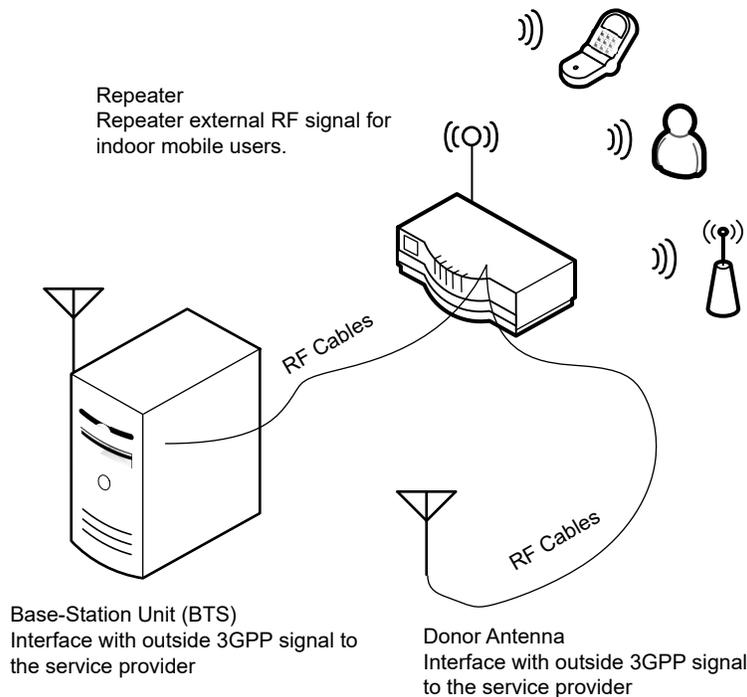


図 3-1. リピータ セットアップの標準的な環境

## 4 DAS とリピータ設計の目標

DAS またはリピータ システムの設計にかかわらず、システムの目標は次のことを達成することです。

- ユーザに対して透過的な直接 RF 信号の転送と再分配。既存の音声またはデータ転送に加えて、不要なノイズが発生することはありません。ベースステーションは、既存の信号に加えて不要なノイズを受信しません。
- 信号強度と信号カバレッジの向上。ユーザーが建物に移動しても、カバレッジの不足は発生しません。<sup>1</sup>
- RF 入力から RF 出力へのレイテンシをゼロにします。再配布プロセスでは、音声またはデータ転送の遅延が発生しません。

上記の設計目標を念頭に、システム設計者は AFE77xxD ファミリの内蔵トランシーバを確認することができます。<sup>2</sup>CFR および DPD は、次の機能を通じて要件を満たすように構築されています。

- 4G と 5G 両方のスペクトルから、複数の RF 動作帯域をサポート。たとえば、AFE77xxD ファミリのデバイスは、FDD RF バンド (B1、B3、B7 など) で動作する 2T2R1FB と、TDD RF バンド (N41、N77、N79) で動作する他の 2T2R1FB をサポートできます。
- 最大 4 個の RF PLL が複数の動作 RF 帯域をサポート。DDC および DUC 側の両方に柔軟なオンチップの低 IF NCO を備えたこのデバイスは、最大 3 つの RF 帯域をサポートできます。
- RF トランシーバに CFR と DPD ブロックを内蔵。これによって、FPGA またはデジタル ASIC からすべてのデジタルロジックリソースをオフロードできます。
- 300MHz サポートの瞬時帯域幅。RX DDC および TX DUC チェーンのインターフェイスレートは、最大 368.64MSPS のインターフェイスレートをサポートできます。これは、トランシーバからの最大出力および入力帯域幅の 300MHz に相当します。CFR と DPD レートは、300MHz 全体の帯域幅の線形化をサポートできます。
- 最大 4 個の SerDes トランスミッタ (STX) と、32.5Gbps の SerDes レートを達成する 4 個の SerDes レシーバ (SRX)。JESD204C サポートを内蔵した RF トランシーバは、高密度データ転送をサポートできます。
- 最大 50dBm の PA 定格出力電力のパワーアンプの線形化。設計者は、1 つの PCB ソリューションを使用して DAS、リピータ、およびマクロのリモート無線アプリケーションをサポートできます。
- DDC から DUC への直接ループバックモードにより、DAS およびリピータアプリケーションでデジタルレイテンシをさらに短縮できます。

<sup>1</sup> デジタルプリディストーションは、トランスミッタチェーン内で RF パワーアンプの境界を押し広げ、信号カバレッジを向上させる技術です。DPD を内蔵した AFE7769D ファミリのデバイスは、PA 出力電力を最大化するので、到達範囲を改善できます。

<sup>2</sup> AFE7769D ファミリのデバイスの詳細については、『AFE77xxD クラウドノデュアルチャネル RF トランシーバー、デュアルフィードバックパス、CFR/DPD 統合データシート』(SBASAG4) を参照してください。

## 5 FPGA/ASIC なしの RF リピータ システム

従来、統合型 RF トランシーバを介した RF 入力から RF 出力への標準的なループバックは、標準的なリピータ システムの信号チェーンに示すように、次の経路を通過する必要があります (図 5-1 を参照)。

RF 入力から RX DDC へのチェーンは、JESD204 TX チェーンを経由し、何らかの PCB 配線 (FPGA または直接 JESD204 TX から JESD204 RX トレースのいずれかを介して) JESD204 RX チェーンを経由して TX DUC チェーンに接続し、次に RF 出力へと変換します。

FPGA は、追加のデジタル フィルタリングや潜在的に ISI キャンセル (シンボル間キャンセルなど) など、DAS またはリピータ システムの信号処理を強化しますが、FPGA はシステムの主要なコストドライバーであり、システム全体の消費電力に影響を及ぼす可能性があります。さらに、RF トランシーバ間の業界標準インターフェイスは、シリアル化インターフェイス付きの JESD204 規格です。FPGA と RF トランシーバの間のインターフェイスにより、リピータ システムにレイテンシが追加されず。

図 5-1 に示すように、AFE7769D は内部 RX DDC から TX DUC への直接ループバックを備えています。RX DDC チェーンのダウン コンバージョン信号は TX DUC アップ コンバージョン チェーンに直接供給されるため、信号パス全体でレイテンシが短縮されます。

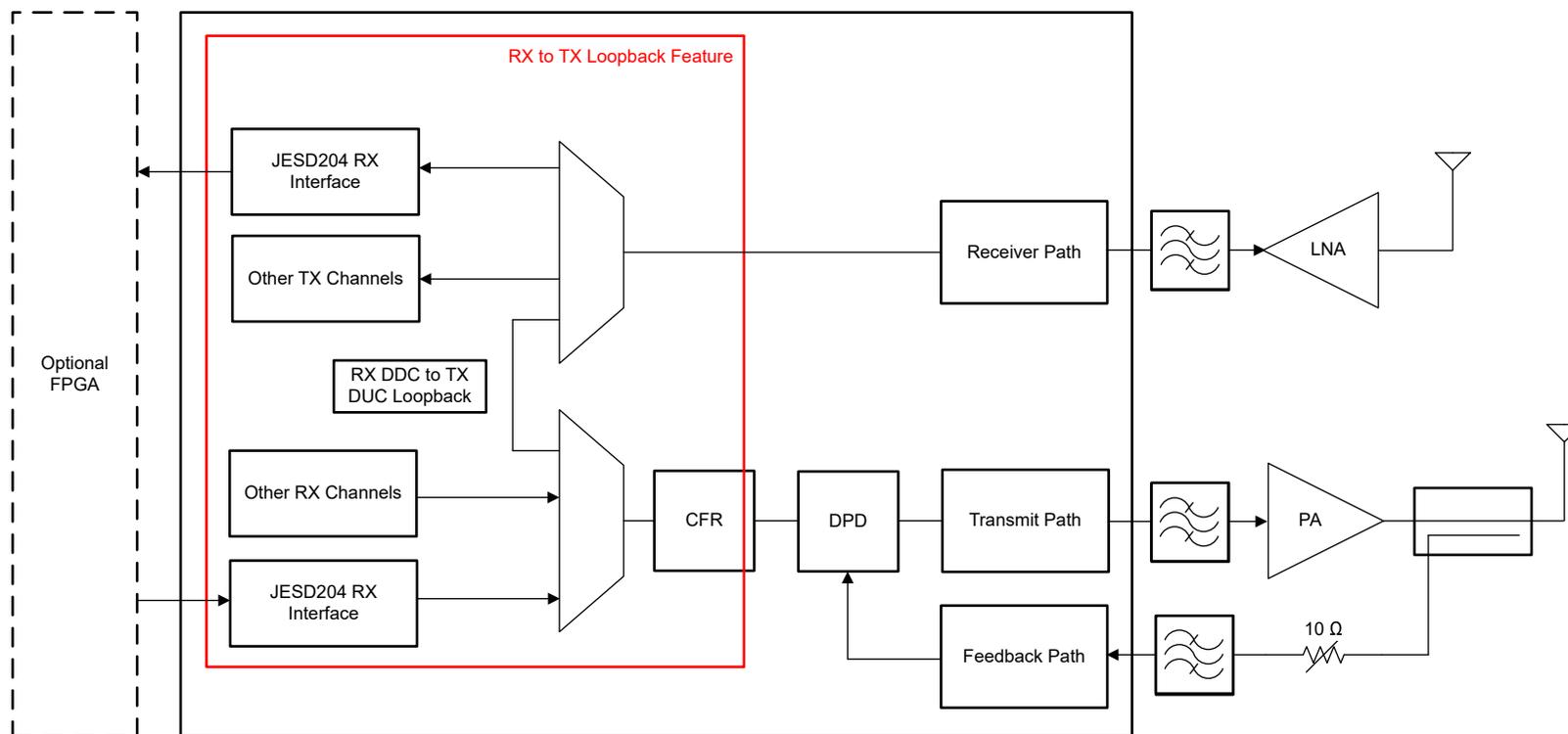


図 5-1. AFE7769D RX DDC から TX DUC へのループバック機能

図 5-2 に示すように、RX DDC から TX DUC への直接ループバックに加えて、AFE7769D の内蔵デジタル プリディストーション (DPD) 機能によって、トランスミッタシステム内のパワー アンプを線形化できます。DPD 処理ロジックを RF トランシーバに統合することで、システムのコストと消費電力をさらに削減できます。

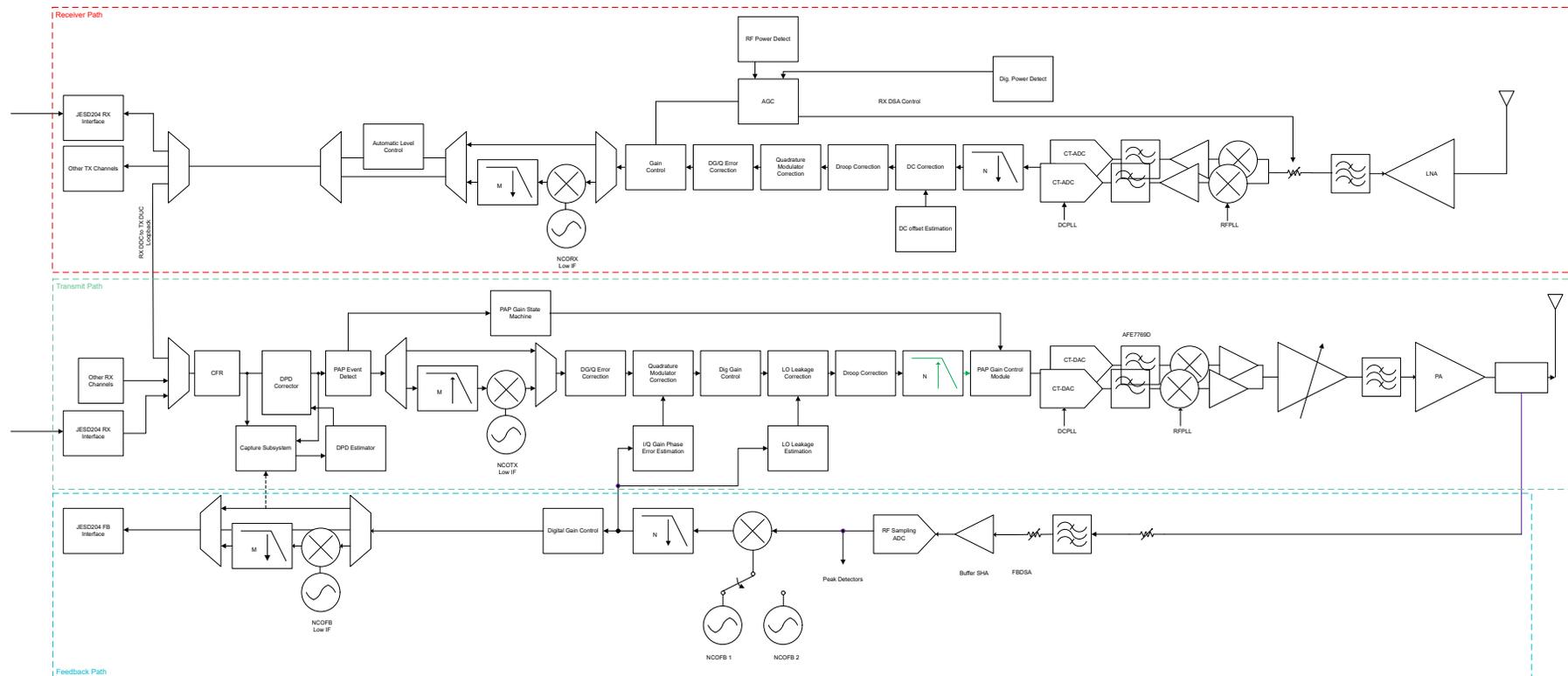


図 5-2. AFE7769D TX、RX、FB チェーン

内部 RX DDC から TX DUC への直接ループバックの利点には、次のものがあります。

- リピータシステム全体の消費電力低減:システム設計者は、FPGA と JESD204 の消費電力をシステムに含める必要はありません。また、設計者は必要に応じて電源回路のサイズを縮小することもできます。
- 全体的なシステムコストの削減:FPGA の排除、PCB サイズと電源回路の電力容量の縮小により、設計者は全体的なコストをさらに削減できます。

さらに、システム設計者は設計の柔軟性を高めることができます。これらのデバイスは、次の機能を使用して、AFE7769D RX DDC から TX DUC へのループバックを構成できます。

- どの信号チェーンにループバックパス機能を持つかを柔軟にイネーブル可能:たとえば、ユーザーは、DDC から DUC へのループバックを使用して RX1 から TX1、RX2 から TX2 へ、または RX3 から TX4 への FPGA 向けの従来の JESD204 インターフェイスを維持しながら、RX3 から TX3 へ、RX4 から TX4 へのインターフェイスを有効にすることができます。
- 内部信号多重化機能を有効にして、RX チャンネルを特定の TX チャンネルにループバックできるようにする柔軟性:たとえば、PCB レイアウトでそのような柔軟性が必要な場合、ユーザーは RX1 を TX2 に、RX2 を TX1 に配線できます。

## 6 ケーブル分散とマルチパスからのバンドパスフィルタ効果の克服

MU から RU への信号伝播の理想的な条件では、信号特性は、さまざまな領域のスペクトルマスク要件を満たす波形を維持するための適切なパルスフィルタを備えています。信号が一般的なイーサネットまたはファイバチャンネルを通過する場合、チャンネル特性は、信号の有効な形状を広げる可能性がある分散係数をもたらす可能性があります。リピータシステムの場合、信号はマルチパス効果を経由します。本質的に、ファイバー分散係数とリピータマルチパス効果はバンドパス動作を作成し、元のパルスシェーピングフィルタを歪めます。したがって、バンドパスの動作を克服するため、設計では以下のことが行われます。

- RX DDC:バンドパス動作による歪みが増大するために、AFE77xxD ファミリ内で適切な DDC フィルタを選択します。
- RX アナログフロントエンドフィルタリング:設計者はアナログ RF バンドパスフィルタを追加して、波形に生じた追加の歪みをフィルタリングします。

## 7 まとめ

DAS とリピータシステムにおける AFE7769D ファミリの利点:AFE7769D は、DAS とリピータの設計で多くの利点を実現します。FPGA または ASIC から統合型 RF トランシーバに処理ロジックをオフロードするための内蔵 CFR および DPD 機能のほかに、AFE7769D ファミリは DDC から DUC へのループバックモードも内蔵しているため、システム要件に基づいて追加の FPGA や ASIC をさらに不要にできます。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated