

# 頑丈な SFF プラットフォームで高度な信号処理を提供するための戦略

## 進化の必要性：

「SFF プラットフォームのテクノロジーと課題」  
最新のデータ取得および信号処理デバイスは、リアルタイムレーダー、電子対策、EW、および SIGINT システムの広帯域センサー信号をキャプチャして処理するために重要な要素です。これらには、新しいデータコンバータテクノロジーと、RFSoc（RF システムオンチップ）を含む高度な FPGA デザインが含まれます。



ミリタリおよび航空宇宙プラットフォームの戦

略的優位性を維持するには、組み込みシステムを絶えず進化させて最新のテクノロジーを採用し、新しい脅威に対抗し新しい制約に対処する必要があります。これらの目的を達成するには、システムエンジニアは効果的なソリューションを提供する新しいアーキテクチャを活用する必要があります。

筐体のサイズと重量を縮小しながら信号品質を維持し、遅延を最小限に抑える必要があります、システムをアンテナに近づけることが推進されています。その結果、これらの SFF（スモールフォームファクタ）システムは、多くの場合動作中に過酷な環境条件に耐えることが必要で、設計者はこれらの厳しい要件を克服するために新しいパッケージングおよび熱管理技術を開発する必要があります。

さまざまなアプリケーションとインストールプラットフォームがあるため、各 SFF エンクロージャーはアプリケーション固有の SWaP 制約に準拠する必要があります。その結果、SFF システムベンダーは現在、オープンスタンダードのシステムアーキテクチャと互換性がないことが多い筐体の広範な配列でこれらの要件に対応しています。

この記事ではそのような設計の課題と目標を示し、それらを満たすための戦略を示す製品例を提供します。

## 新しいテクノロジーが SFF 機能を強化：

従来のミリタリ組み込みシステムは、多くの場合、機器間で信号を伝送する同軸ケーブルを使用して信号を最適にキャプチャする場所に取り付けられたセンサー（アンテナなど）で構成されます。そこでは、共通のシャーシにデジタルシグナルプロセッサとセンサーインターフェイスの両方が収容されることが多く、最高レベルの信号忠実度とダイナミックレンジを維持するためにアナログ RF I/O 回路と高精度データコンバータが必要です。

これらのセクションを、隣接するデジタル信号処理ボード、グラフィックプロセッサ、および数百ワットで動作するス

イッチング電源からの伝導/放射エミッションからシールド/分離することは困難です。さらに悪いことに、リモートアンテナまたはセンサーから流れるアナログ信号は、ケーブル損失による信号劣化と、強力なアンテナ送信信号、チャンネル間クロストーク、および発電装置からの干渉を受けやすくなります。

最新のレーダ、通信、傍受、および電子対策システムは、現在、受信および送信信号ビームパターンを操作するためにフェーズドアレイアンテナに依存しています。これらのアンテナは通常、数十の素子を含む線形または2次元の平面アレイであり、それぞれが目的の指向性を達成するために位相を正確にシフトするために個別の信号処理を必要とします。

残念ながら、従来のアーキテクチャではこれを実現するために必要な同軸 RF ケーブルの数が劇的に増加します。

センサーインターフェイスをセンサーにできるだけ近づけて再配置することにより、機器室のシャーシからセンサーインターフェイスを削除するとシステムノイズの初期の問題が解決されます。新しいザイリンクス Zynq UltraScale+ RFSoc ファミリのような高度に統合されたモノリシックデバイスは、従来のアーキテクチャの概念を急速に変えています。8個または16個のRFデータコンバータ(ADCおよびDAC)、信号処理用のFPGAリソース、およびシステム管理用のマルチコアARMプロセッサが含まれているため、以前は大型のマルチボードシャーシを必要としていた高度な機能を実行することができます。

現在、アンテナ信号周波数をLバンドとの間で変換するRF回路を保持するコンパクトなSFFエンクロージャーと、データ変換および初期信号処理用のRFSocデバイスは、アンテナアレイの隣または後ろに取り付けるのに十分な小型サイズです。RFSocのFPGAリソースは、必要な位相シフトをすべての受信信号と送信信号の素子に個別に適用することができます。

アプリケーションに応じて、追加のフロントエンド処理タスクには、ターゲットの追跡と識別、変調/復調、または暗号化/復号化が含まれます。これらの処理は、低遅延のパフォーマンスを提供するだけでなくバックエンド処理タスクの負荷を大幅に軽減します。SFFエンクロージャー内の高感度RF回路とデータコンバータにより、メインシステムへのリンクがデジタル化されアナログRFケーブルが不要になります。



**Figure 1.** RFSocベースのSFF高耐久性サブシステムの例。Quartz Model 6353は、8チャンネルのリモートデータ取得と生成、ローカルARMプロセッサシステムコントローラ、信号処理用FPGAファブリック、およびVITA-49データプロトコルを備えたデュアル100GbE光インターフェイスを提供します。

マルチギガビットイーサネットは、組み込みシステム要素間の最も一般的な相互接続規格の1つになっています。最新のVITAインターフェイスは、システムボード間の銅線バックプレーンリンク、およびシャーシ間の銅線ケーブルまた

は光ケーブル上で、10/40/100 ギガビットイーサネットを定義するようになりました。これらは、シングルトランシーバーレーンまたはx4レーンのいずれかを使用して実装され、それぞれが10または25Gbaudで動作してより高いチャネルレートを実現します。マルチモードファイバー光トランシーバーとケーブルは、100メートルの距離にわたってこれらのレートを提供できます。SFFシステムをバックエンドプロセッサに接続する各100GbEリンクは、最大12GB/sのデータレートで双方向のデジタル化された受信信号と送信信号を伝送します。この戦略は、長いRF同軸ケーブルによる信号劣化とEMI感受性を排除するだけでなく、航空機システムやUAVなどの小型プラットフォームに不可欠な重量を軽減します。また、光ケーブルは安価でメンテナンス負荷も少なく、セキュリティを強化するために盗聴に対する耐性が高くなります。

VITA 49 Radio Transport プロトコルは、チャンネル識別、信号パラメータ、時間と場所のスタンプ、およびペイロードデータの標準化されたフィールドを使用して、デジタル化されたRFおよびIF信号をイーサネット用にパケット化する方法を定義します。このように、デジタル化された共通の信号ストリームをネットワークリンク全体に分散し、さまざまなアプリケーションをサポートすることができます。最新のVITA 49.2は、受信機能と送信機能の両方に制御プロトコルとステータスプロトコルを追加し、標準化されたシステム管理とデータ接続の強力なレベルを提供しています。

### SFFシステムが新しい組み込みシステムのオープンスタンダードに影響を与える：

米国防総省の重要なシステムイニシアチブであるSOSA™ (Sensor Open Systems Architecture) は、将来のミルエアロ要件を定義します。2021年にリリースされる予定のSOSA技術スタンダードは、カード、バックプレーン、およびシステム相互接続を定義するためにOpenVPXを利用しています。しかし、SOSAコミュニティの多くの参加者は、3Uおよび6U OpenVPXシステムエンクロージャが多くの重要なアプリケーションのサイズ制約を超えていることを認識しています。

SOSAが登場する前の過去10年間で、多くの組み込みシステムSFFの提案は、VITAでの標準化プロセスをゆっくりと進めてきました。現在、SOSAはこれらのアーキテクチャを評価し、1つ以上のアーキテクチャを採用して小規模なSOSAシステムをサポートできるかどうかを判断しています。

主な候補の1つは、VNXとも呼ばれるVITA 74で、Figure 2に示すように、小さなボード(89 x 78 mm)で2種類の厚み(12.5 mmおよび19 mm)を提供します。高速・高密度のバックプレーンコネクタは、VITA 46 (VPX)と同じ信号を伝送します。VNXボードは、PICMGによって定義されたCom Express Mini および Mini PCIe メザニンを搭載できます。拡張機能で光およびRFバックプレーンI/Oをサポートします。



2 番目の主要な候補は ShortVPX です。これは、VPX ボードの長さを 160mm から 100mm に短縮することを除いて、3U および 6U の OpenVPX バックプレーンコネクタと信号を保持する新しい SFF イニシアチブです。ShortVPX は短すぎるため PMC または XMC メザニンモジュールをサポートできませんが FMC に対応できます。小さいボード領域を補うために、モジュールの間隔（ピッチ）を 1.2 インチに増やして、より高いメザニンコンポーネントを可能にします。光および RF バックプレーン I/O は、VITA 66 および VITA 67 の多くの新しい OpenVPX 規格から自動的に継承されます。ShortVPX への移行は、同じバックプレーンを使用するため、現在の OpenVPX および SOSA に準拠した製品ベンダーの VNX よりも簡単です。

## SFF 製品とモジュラーアーキテクチャ：

これらの規格ベースの SFF エンクロージャーは、利用可能ですが多くのアプリケーションの SWaP またはコストの制約を超えます。モジュール式の分散システムアーキテクチャへの高まる傾向を満たすために、SFF 製品は多くの場合、単一の明確に定義されたアプリケーションを満たす独自のサブシステムです。簡単に接続するために、これらの製品は、組み込みシステム内および組み込みシステム間のギガビットイーサネット接続への移行の高まりを最大限に活用します。このため、分散アーキテクチャは非常に拡張性が高く小型の UAV から大型の海軍艦艇まで幅広いプラットフォームをサポートします。

その他モジュラーシステムの具体的な利点には、アップグレードの容易さと新しいテクノロジーの挿入が含まれます。たとえば、両方がホストへの共通のイーサネットおよび VITA 49 プロトコル接続を共有している場合、古い SFF サブシステム周辺機器をより高度なものに置き換える方がはるかに簡単な場合があります。同じ議論がホストレーダーシステムへの大規模なアップグレードにも当てはまります。ホストレーダーシステムでは、コストを節約するために高価なアンテナシステムが保持されることがよくあります。このようにして、防衛組み込みプラットフォームは、新しい脅威により迅速に適応できます。

## SFF システムの中身は？：

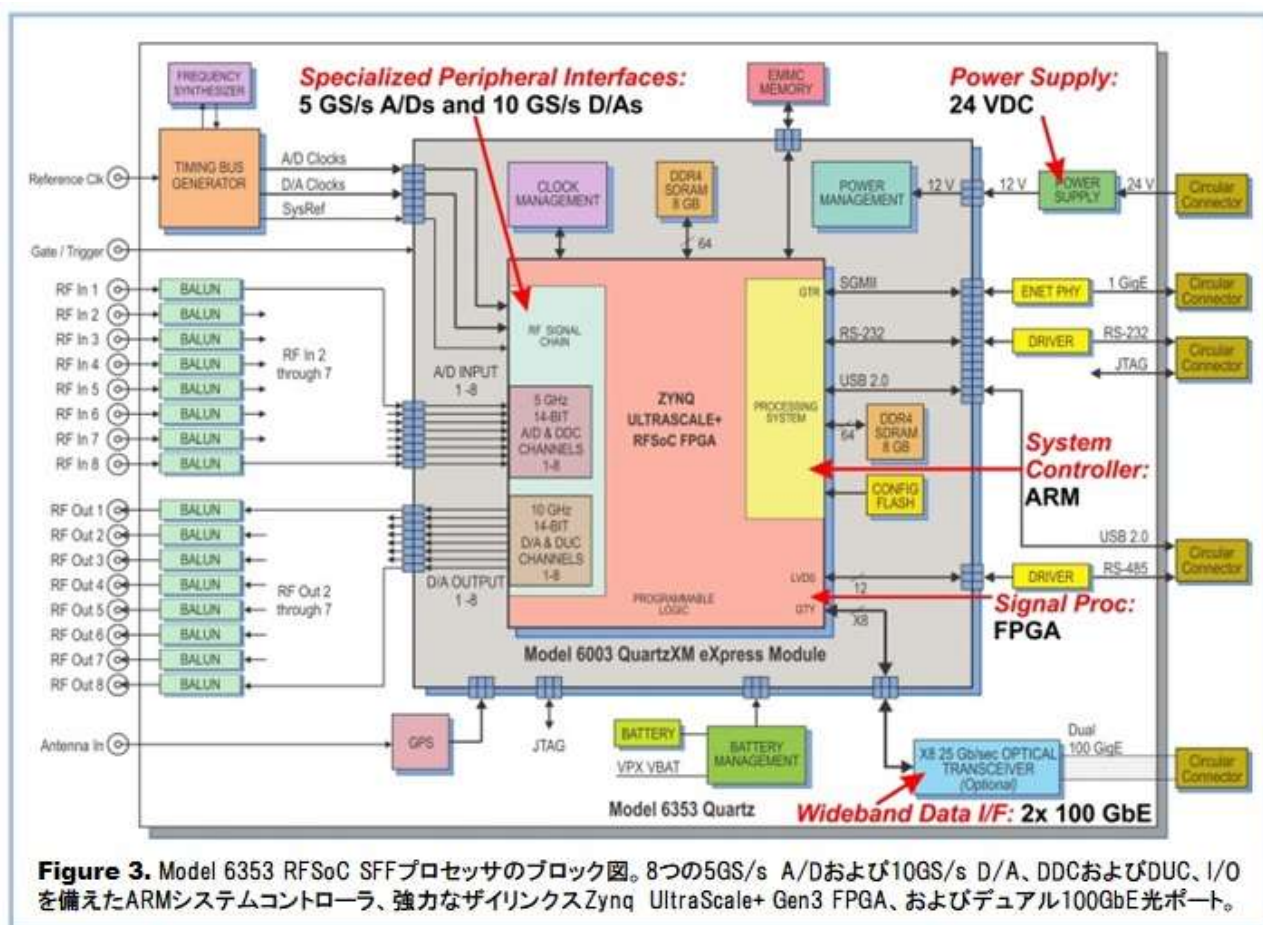
フォームファクタに関係なく、SFF 組み込みシステムは最新のシリコンデバイス、システムリンクとインターフェイス、業界標準のソフトウェアツールとプロトコルを利用し、すべて実績のあるパッケージングと熱管理戦略と統合されています。高性能組み込みシステム SFF に通常見られるリソースを以下に示します：

- **システムコントローラ**：CPU は、ホスト通信、制御、ステータス、およびヘルスマonitoring のローカル管理を処理します。これは通常、SDRAM およびフラッシュメモリを備えた Intel、ARM、または AMD プロセッサであり、PCIe、USB、イーサネット、SATA、パラレル、およびシリアルポートを含む標準の周辺機器インターフェイスを限定的に実装しています。一部の SFF コントローラは、組み込み ARM プロセッサまたは FPGA ファブリックから構築されたソフトプロセッサ IP コアを備えた FPGA を使用します。Linux は、特に小型でシンプルな製品において主要なオペレーティングシステムです。
- **特殊な周辺機器インタフェース**：これらは、ADC と DAC、RF チューナーとアップコンバーター、パワーアンプ、



GPS レシーバー、加速度計、パワーメーター、ビデオアダプター、RAID コントローラー、ワイヤレスネットワークアダプターなどのアプリケーション固有のセンサーインターフェースです。これらの一部は、システムコントローラの CPU または FPGA によって提供されます。

- **シグナルプロセッサ**：システムコントローラとは異なり、このセクションでは、デジタル化されたセンサー信号に必要なリアルタイム DSP タスクを処理します。これらのタスクは、多くの場合ホストシステムからのコマンドに応答して、システムコントローラによってローカルで制御および監視されます。
- **ワイドバンドデータインターフェイス**：マルチギガビットシリアルインターフェイスは、リアルタイムのペイロードデータを SFF エンクロージャーとの間で移動し、多くの場合光トランシーバーを使用して長距離の信号品質を保証します。
- **筐体と電源**：SFF システムの締めくくりは、電源、筐体、取り付け条件、冷却構造、および適切なコネクタであり、これらはすべて、運用環境に適合するように設計されています。



例として、PentekのModel 6353 RFSoc SFFプロセッサは、Figure 3に示す完全な8チャンネルRF/IF信号取得/生成サブシステムであり、各SFFリソースを強調表示しています。これは、モジュラー組み込みレーダ、SIGINT、通信、および電子戦システムを明確に対象としています。小型で頑丈な密閉型（Figure 1を参照）により、アンテナの近くに取付けることができ、複数の信号チャンネルがフェーズドアレイアプリケーションをサポートします。

## 今後：

分散システムアーキテクチャを有効にすることにより、SFF システムとサブシステムは組み込みシステム設計者が直面する最も困難な問題の多くを解決します。システム間のイーサネット接続への強力なシフトは、特定のアプリケーションを最適化するためにシステムのセクションを再パーティション化するとき、ソフトウェアとファームウェアの開発を維持するのに役立ちます。さらに、このモジュラーアプローチは、特にローカルセンサーインターフェイス、データコンバータ、プリプロセッサ、およびリモートホストへの高速イーサネットリンクを備えた SFF の場合、パフォーマンスを向上させることがよくあります。

SFF 製品は、SOSA の多くの目的と一致して、ハードウェアとソフトウェアの再利用性の向上、新技術の導入の促進、イノベーションとマルチベンダー競争の促進、システム開発サイクルの短縮、および導入コストの削減に役立ちます。

SFF 製品は、将来のミリタリ組み込みシステムでますます重要な役割を果たし続けるでしょう。



## Pentek 社について

Pentek 社は、ISO 9001 : 2015 認定企業として、デジタル信号処理・ソフトウェア無線・データ収集用の組み込みコンピュータボードおよびレコーディングシステムを設計・製造しています。製品には、商用環境と耐環境の両方に対応した AMC、XMC、FMC、PMC、cPCI、PCIe、VPX のフォームファクタで準備されており、レーダ、無線通信、SIGINT、ビームフォーミング等の用途に幅広く利用されています。Pentek 社の詳細については、[www.pentek.com](http://www.pentek.com) をご参照ください。