

VITA 49.0 : ソフトウェア無線の未来

はじめに :

ソフトウェア無線技術 (SDR) はこれまで 25 年の間、全ての無線周波数にわたって、商用、民間、政府、産業、および軍事プラットフォームに広く利用されています。データコンバーターテクノロジー、DSP デバイス、システム相互接続、プロセッサ、ソフトウェア、設計ツール、およびパッケージング技術の革新により、ソフトウェア無線システムのパフォーマンスレベルが向上し、サイズ、重量、消費電力 (SwaP) が削減されました。



しかし、ソフトウェア無線アプリケーションの急増により、これらのシステム要素間に独自のインタフェースが生まれていました。10 年以上前に、政府とミリタリ顧客はこのインタフェースの複雑さがソフトウェア無線の信頼性と保守性を損ない、機能のアップグレードと技術更新サイクルを妨げていることを認識しました。また、ベンダー間の互換性を改善し、将来さまざまな種類の信号や新しいアプリケーションにソフトウェア無線プラットフォームを再利用したいと考えました。そのため、これらの問題に対処すべく、VITA Radio Transport (VITA 49.0) の標準化作業を開始しました。

この記事では、従来のソフトウェア無線アーキテクチャに於ける固有の課題、VRT プロトコルがそれらの課題に対処する方法、および VRT の追加と改良がソフトウェア無線技術により多くの利点を提供する方法について解説します。

従来のソフトウェア無線アーキテクチャ :

ソフトウェア無線の本質は、アナログ無線機能をデジタル信号処理に置き換えることです。しかし、すべてのソフトウェア無線システムは最終的にアンテナへのアナログ RF 接続を必要とするため、アンテナとデジタイザの間に常にアナログ回路が含まれています。この重要な回路は、ゲイン、フィルタリング、周波数変換、その他の操作を提供し、エイリアシング、歪み、ノイズを最小限に抑えながら、デジタイザが目的の信号帯域を確実にキャプチャできるようにします。分解能の高い ADC の入力信号周波数は低いため、通常、高周波 RF 信号はデジタル化する前に低い IF 周波数に変換して、ダイナミックレンジを最大化します。これらのデジタル化された信号は、適切な DSP ハードウェアおよびソフトウェアによって活用されて手近なタスクに対応します。

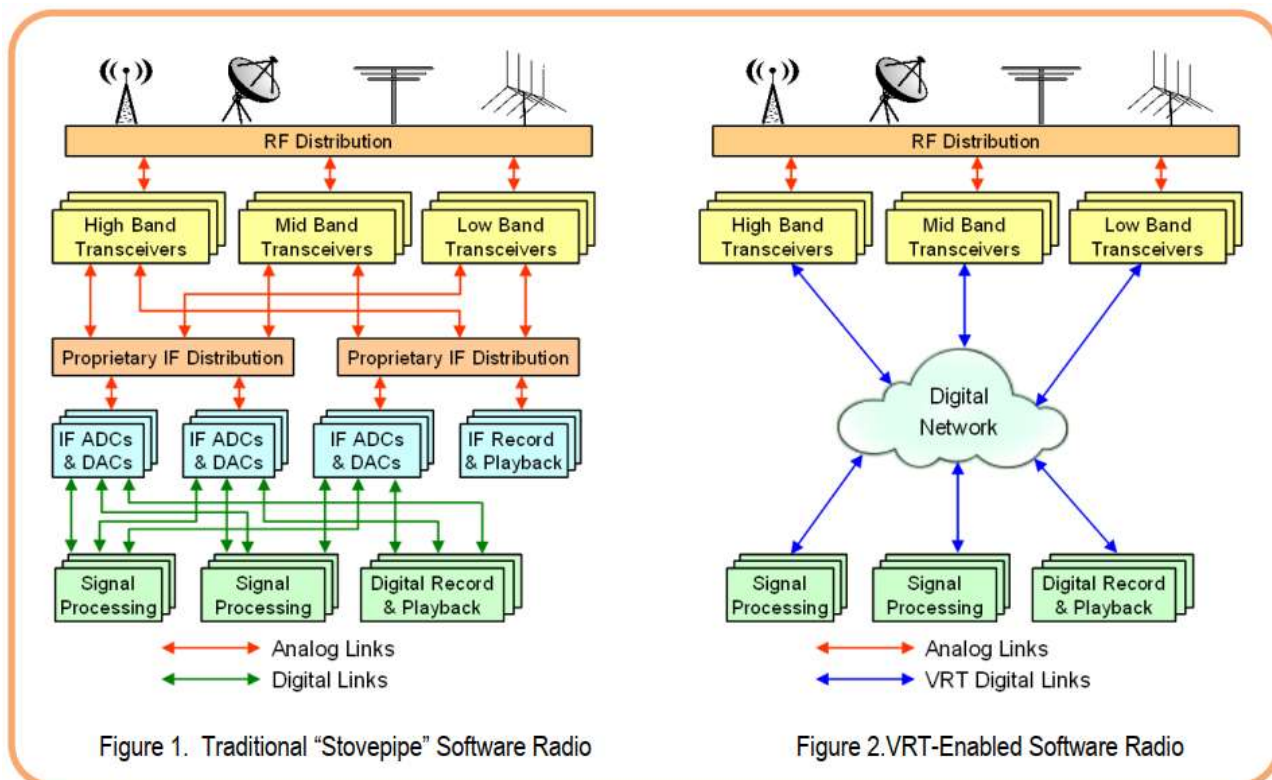


Figure 1. Traditional "Stovepipe" Software Radio

Figure 2. VRT-Enabled Software Radio

Figure 1 は、「ストーブパイプ」アーキテクチャと呼ばれる、従来のマルチバンドソフトウェア無線システムの典型的なトポロジを示しています。赤い矢印は、同軸ケーブル、コネクタ、分配増幅器、およびスイッチで構成されるアナログ信号経路を示しています。各パスは、ストーブと煙突の間に一連の異なるストーブパイプのセクションを取り付けることに似た、特定の信号ルーティング要件を満たします。

複数の ADC および DAC ブロックは、アナログ IF 信号とデジタル IF サンプル間のアナログ/デジタルインターフェイスを提供します。デジタル化した後も、緑矢印に示すように、さまざまな信号処理ブロックを接続するためデジタル IF 信号を分配するストーブパイピング技術が継続されます。また、これらの各デジタルリンクには、固有の信号レベル、データレート、ビット幅、プロトコルが必要になる場合があります。この複雑で固有の相互接続の迷路は、信頼性と保守性を損なうだけでなく機能のアップグレードと技術の更新サイクルも妨げます。

より良い方法：VRT 対応のソフトウェア無線：

Figure 2 は、VRT のシステムコンセプトを示しています。アンテナへの重要な RF アナログ接続は基本的に同じですが、トランシーバーにはアナログ RF 信号調整、IF への変換、ADC および DAC 機能が組み込まれています。これらのトランシーバーは、青矢印で VRT 対応デジタル IF リンクとして示されるデジタル化された IF 信号を送受信することになり、Figure 1 に示すアナログ信号部分のほとんどを置き換えます。これらの VRT リンクは、COTS ネットワークスイッチを介して適切な信号処理ブロックにルーティングされ、機能変更、アップグレード、および新技術の導入に容易に対応できる柔軟な相互接続を提供します。

VRT プロトコルは特定の物理層またはリンク層を指定しないため、パケットをサポートするほぼすべてのリンクで配信できます。このような接続は有益であり、VRT はこれらの信号ストリームをメタデータと呼ばれる情報に結合すること

により、これらの信号ストリームの重要性を高めます。Figure 3 は、ソフトウェア無線受信機の一般的なブロックを示しています。アンテナからの信号は、RF チューナー/トランスと ADC を通してデジタル IF サンプルに変換されます。オプションで DDC (Digital Down Converter) を使用してダウンコンバートし、IF サンプルの代わりにベースバンドサンプルを生成できます。レシーバーのすべてのセクションの操作パラメータは、システムコントローラーからさまざまな手段で提供されます。これまでのところ、このアーキテクチャは、従来のソフトウェア無線受信機の重要なブロックと完全に一致しています。これを VRT 受信機に変換するには、IF 出力データサンプルから構造化パケットを構成します。このパケットには、ストリーム ID とタイムスタンプのヘッダー情報も含まれ、VRT IF データパケットを形成します。さらに、各要素の動作パラメータを VRT コンテキストパケットの明確に定義されたフィールドに挿入します。VRT IF データパケットとコンテキストパケットは、VRT シグナルプロセッサによる処理の準備が整った VRT 情報ストリームを形成します。VRT シグナルプロセッサは、メタデータからコンテキストに従ってデータを抽出して処理する方法を正確に認識することができます。

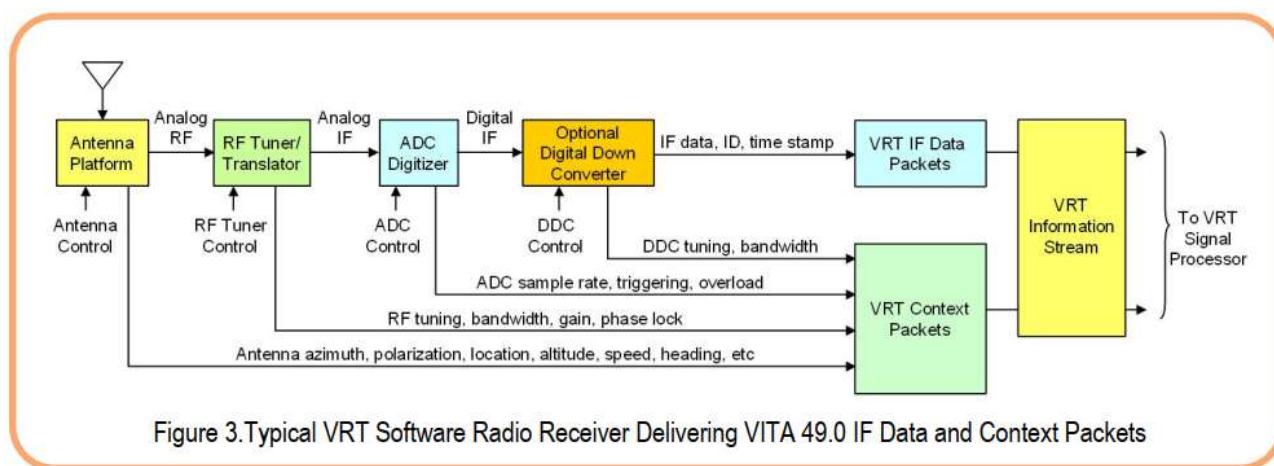


Figure 3. Typical VRT Software Radio Receiver Delivering VITA 49.0 IF Data and Context Packets

VRT の利点・主な用途：

広範囲の無線周波数から未知の信号を見つけ、識別・監視するソフトウェア無線「SIGINT」および「COMINT」システムは、VRT 情報ストリームから多くの有益な情報を抽出できます。これらには、指向性アンテナの方位角と仰角、RF 信号の基準電力レベル、RF チューナーと DDC の帯域幅とチューニング周波数、ADC サンプルレート、周波数精度 RF チューナーとサンプルクロック、シグナル ID タグ、およびタイムスタンプなどがあります。タイムスタンプの正確さには特に重点が置かれています。VRT タイムスタンプにより、ビームフォーミングアプリケーションは、複数のアンテナから受信した信号間の絶対時間と位相差を比較して、送信機の距離・位置・速度・方向を計算できます。同様に、マルチエレメント・ダイバーシティ・レシーバーは、VRT タイムスタンプを利用して各アンテナ信号パスに遅延と位相シフトを作成し、特定の方向の受信性を最大化できます。

絶対時間は GPS 受信機から取得できるため、長距離で隔てられたソフトウェア無線受信機を同期させて同時に信号をキャプチャすることができます。これは、衛星や深宇宙のソースからの信号を追跡するのに非常に役立ちます。レーダーシステムは、通常はレンジゲートとして定義される発信レーダーパルスに関連する正確な時間間隔で反射パルスをキャプチャする必要があります。受信したデータがキャプチャされると、VRT はタイムスタンプをレーダ処理エンジンに配信し、リターン信号の正確な到着時間を示します。VRT が標準化される前は、システムはレシーバーとプロセッサ

間の複雑なローカルインターフェイスに依存して、特定のタスクの一貫性を確保していました。VRT は、パラメータとタイミング情報をデータと共にカプセル化することにより、エレガントなソリューションを提供します。ここでの主な利点は、重要なメタデータとタイムスタンプを完全に保持しながら、VRT 情報ストリームを任意の数のリモート処理施設に配信できることです。

VRT は VITA 49.2 により進化・改善する :

2007 年に ANSI 規格として承認された

VITA 49.0 は、VRT の最初の公式規格でしたが、Figure 4 に示すように、VRT IF データおよびコンテキストパケットを使用してレシーバー機能のみを定義しました。初期の採用者がその有用性を実証した後、システム設計者はソフトウェア無線のさらに多くの要素を包含するようにその範囲を拡大したいと考えました。元の VITA 49.0 規格では、トランスミッター、制御、ステータス機能、および

デジタル IF 以外の信号のサポートが省略されています。これらの欠点に対処するため、VITA 49.2 と呼ばれる新しい規格の策定が進行中であり、新しいパケットクラスを追加しています (Figure 5)。元の IF データパケットは、デジタル化された IF 信号だけでなく、ベースバンド信号、ブロードバンド RF 信号、さらにはスペクトルデータもサポートする信号データパケットに置き換えられます。信号データパケットは、IF データパケットと下位互換性があり、新しい識別子ビットがデータタイプを指定します。

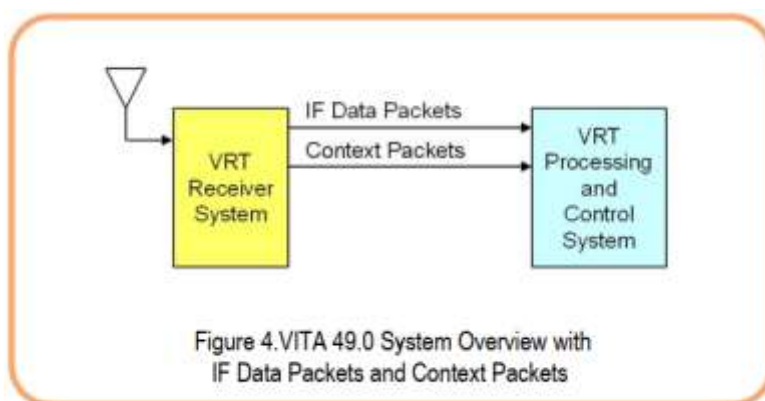


Figure 4. VITA 49.0 System Overview with IF Data Packets and Context Packets

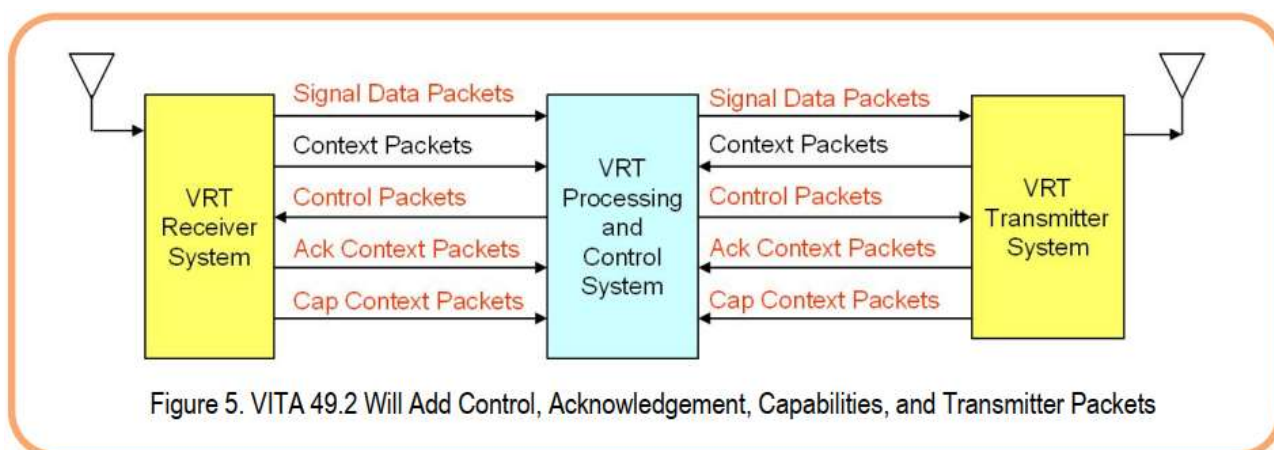


Figure 5. VITA 49.2 Will Add Control, Acknowledgement, Capabilities, and Transmitter Packets

無線の受信と送信をサポートするために、ベースバンド、IF、および RF 信号をサポートするデータの送信に信号データパケットを使用できるようになりました。ここでは、タイムスタンプが送信時間を決定します。これは、正確なタイミングのレーダーパルスを生成するのに特に役立ちます。マルチスタティックレーダーシステムでは、1つのアンテナを使用してパルスを送信し、他のアンテナを使用して反射パルスをキャプチャします。GPS 同期により、VRT を使用して各サイトで送受信信号を調整できます。スペクトル解析システムは、対象の信号を検出および記録するために広く使

用されています。VITA 49.2 では、Signal Data パケットは、スキャンレーサーからデジタル化されたスペクトル情報を伝送し、世界中のアナリストにパケットを配信できます。これらのパケットは、場所、状況、条件、および正確なタイムスタンプに関する完全なコンテキスト情報を保持しています。

制御の導入：

VITA 49.0 のもう 1 つの欠点は、ソフトウェア無線リソースの制御の欠如です。Figure 3 は、各無線要素に必要な多くの共通パラメータと、コンテキストパケットを介してそれらを報告することの重要性を強調しています。VITA 49.2 は、コントロールパケットと呼ばれる新しいパケットクラスを追加します。これにより、VRT システムプロセッサは、標準化されたフィールドと形式を使用して各要素に動作パラメータを配信できます。これにより、アンテナ・ポジショニング・システムから送信パワーアンプに至るまで、ハードウェア全体で一貫した制御インタフェースがサポートされます。

元のコンテキストパケットも VITA 49.2 で大幅に強化されています。信号データに関する新しい詳細と豊富な情報のために、さらに多くの種類のメタデータがサポートされています。VRT 制御パケットを追加することで、コンテキストパケットは、制御コマンドが正常に完了したことを確認するために、新しい応答コンテキストパケットを追加することが拡張されました。各制御パケットに応答して、現在の動作パラメータを報告するだけでなく、新しいコマンドの実行における矛盾や問題を強調します。VRT のこの包括的で補完的な制御/ステータスプロトコルは、コグニティブ無線、適応スペクトル管理、電子防衛、その他クリティカルなアプリケーションに不可欠な機能を提供します。

機能コンテキストパケット：

各ソフトウェア無線リソースは一意であるため、VITA 49.2 は Capabilities Context Packet と呼ばれる別のタイプのコンテキストパケットを追加しました。これにより、VRT リソースは、各プログラム可能なパラメータの最小および最大制限を含む、その動作仕様の完全なセットでシステムに応答できます。これには、周波数調整範囲、帯域幅設定、プログラムブルゲインの範囲、アンテナの方位角の制限、および送信電力レベルの範囲が含まれる場合があります。機能コンテキストパケットは、次のような追加の特性も提供します。

- ・チューニング周波数、帯域幅、またはゲインを切り替えるときの整定時間
- ・可動ディッシュアンテナの角度スルーレート
- ・周波数の精度と安定性
- ・タイムスタンプとエフェメリスの精度
- ・動作温度範囲
- ・衝撃と振動の許容限界
- ・温度ドリフトと経年劣化の影響

理論的に、VITA 49.2 のシステムプロセッサは新しい未知のソフトウェア無線リソースに接続し、その動作を制御および監視する方法、受信信号と送信信号を正常に交換する方法を自動的に検出できます。実際、Capabilities Context

Packets は、既存のプラットフォームで新しいアプリケーションを開発する場合、運用中に新しい脅威や状況に責任を持って対応する場合に最も役立ちます。

VRT を機能させる：

現在、多くのベンダーが VITA 49.0 準拠の製品を提供しています。幸いなことに、FPGA を使用している場合、VRT 機能を旧ソフトウェア無線製品に追加することが可能です。顧客の要求に応じて、Pentek 社は最もポピュラーなソフトウェア無線 XMC モジュールを利用して、正確なタイムスタンプ、ストリーム識別、ベースバンド信号データサンプルを含む VITA 49.0 を実装しました。基本機能ブロックはすべて Virtex-6 FPGA に既に実装されているため、変更の殆どはデータサンプル、タイミングカウンター、およびストリーム ID パラメータのフォーマットなどです。次に、適切なパラメーターフィールドに入力して VRT IF データパケットを形成する VITA 49.0 ステートマシンを作成しました。ソフトウェアスイッチにより、プロトコルを選択することができます。

将来の動向：

その範囲の拡大と有望な利点のため、VITA 49.2 は VSO ワーキンググループでまだ開発中であり、近い将来 3 つの主要な利益団体を代表するアクティブメンバーによって投票が予定されています。

- ・防衛部門および諜報機関用のソフトウェア無線システムを使用および指定する政府および軍事組織。
- ・新しい変復調、検出アルゴリズム、信号活用技術、スペクトル管理戦略、電子的対策、暗号化とセキュリティの新しい方法を開発することにより、ソフトウェア無線技術の限界を押し上げる政府助成金を通じて資金提供されることが多い大学および研究所。
- ・エンジニアリングスキル、パッケージング技術、プロジェクト管理能力、組み込みソフトウェア無線システムのオープンアーキテクチャ標準に精通した機器ベンダーおよびシステムインテグレーター。

これら 3 つのグループの参加者は、彼らの努力から得られる多くの具体的な利益に動機付けられます。他の成功した標準規格と同様に、VITA 49.0 は、新しいテクノロジーの出現とともに、実世界の展開からのフィードバックを通じて進化し続けています。非常に多くの明確な利点と比較的小さな追加の複雑さを備えた VRT は、新規および将来のソフトウェア無線システムの道を示すものと期待されています。

Pentek は FPGA ボードに VITA 49.0 プロトコルエンジンを追加します：

Pentek 社は、人気の高い Cobalt ファミリの高速データコンバーター XMC FPGA モジュールの新製品を発表しました。Model71664、Xilinx Virtex-6 FPGA に基づくプログラマブル・デジタル・ダウンコンバータ付き 200 MHz 16 ビット 4ch A/D です。Model71664 は、VITA 49.0 Radio Transport (VRT) プロトコル用の IP エンジンを含む最初の Pentek 製品です。



「VRT はソフトウェア無線の未来です。」と、Pentek 社の技術担当副社長 Paul Mesibov 氏は述べています。「VRT で定義されているプロトコルは、無線から信号処理機器への情報の転送方法を標準化するデータおよびコンテキストパケットを提供します。Pentek 社は VRT の定義をサポートするために多額の投資を行っています。Pentek 社は、VITA 49.0 標準開発の取り組みの共同スポンサーであり重要な貢献者です。」

A/D コンバーターステージ :

Model71664 のフロントエンド A/D コンバーターステージは、フロントパネル SSMC コネクタで 4 つのアナログ HF または IF 入力を受け入れ、各トランスは Texas Instruments ADS5485 200 MHz、16 ビット A/D コンバーターに接続されています。200 MHz のサンプリングレートは、さまざまな信号処理アプリケーションに必要な帯域幅を処理します。

パフォーマンス IP コア :

Model71664 には、デジタルダウンコンバージョン、データキャプチャ、同期、タイムタギング、およびフォーマット用の一連の組み込み機能が予め設定されており、レーダ、通信、または一般的なデータ収集アプリケーションに最適なトランシーバモジュールになっています。A/D 取得、DDC、DDR3、または QDRII +メモリ用の IP モジュール、プログラマブルビームフォーミング、データクロッキングと同期用のコントローラー、および VRT プロトコルエンジンがすべて含まれています。

開発ツールとソフトウェアのサポート :

Pentek は PC 用と VPX 用の両方の開発システム「SPARK」を提供しているため、設計者はアプリケーションプラットフォームですぐに開発を始めることができます。SPARK は、システムの構築とテストに関連する時間と費用を節約するために提供されているもので、Pentek ボードの最適なパフォーマンスを保証します。Pentek 「ReadyFlow」ボードサポートパッケージは、Windows および Linux オペレーティングシステムで利用可能です。ReadyFlow は、C 呼び出し可能なライブラリとして提供されます。初期化、制御、およびステータス関数ライブラリ、およびプリコンパイルされたすぐに実行できる豊富なサンプルプログラムは、アプリケーション開発を加速します。

VITA 49.0 をサポートする拡張機能が BSP に含まれています。カスタム機能を必要とするシステムの場合、Pentek 「GateFlow」FPGA デザインキットを使用して IP を開発し、工場ですべてインストールされた機能を拡張または置き換えることもできます。ソフトウェアサポートパッケージは、Linux および Windows オペレーティングシステムで利用できます。

フォームファクタ：

Model71664 は、耐環境とラボ環境向けに設計されており、CompactPCI (Model 73664(3U)、Model74664(6U))、AMC (Model56664)、PCIe (Model78664)、および VPX (Model 52664 /Model 53664(3U)、Model 58664(6U)) など各種フォームファクタで使用できます。

Pentek 社は現在、オールド・クロウ協会のメンバーです。国際的に 13,000 人以上の会員を持つ Association of Old Crows は、電子戦 (EW)、電磁スペクトル管理オペレーション、サイバー電磁活動 (CEMA)、情報オペレーション (IO)、およびその他の情報関連機能のための組織です。Association of Old Crows は、政府、防衛、産業界、学界のメンバーおよび組織を国内外で結び付けて、アイデアや情報の交換を促進する手段を提供し、これらの分野の進歩と貢献を認識するプラットフォームを提供します。



PENTEK
Now Part of Mercury

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 をご参照ください。