

モジュール式高速デジタイザの新機能

モジュール式デジタイザなどの電子測定機器は、常に改良および更新されています。市場のニーズとアナログ-デジタルコンバーターなどのコンポーネントの改良により、この動きは性能向上に向けて推進されています。Spectrum Instrumentation には、より高い帯域幅、より長い取得メモリ、拡張されたチャネル数、より高速なデータ転送、内蔵パルス発生器など、複数の新機能が追加されました。この記事では、これらの新機能を確認し、それらを適用する方法を示します。

分析帯域幅の増加

Spectrum Instrumentation M5i シリーズの高速モジュラーデジタイザには、最近 2 つの新しいモデル、シングルチャネル M5i.3360-x16 とデュアルチャネル M5i.3367-x16 が追加され、4.7 GHz にアナログ帯域幅が向上しました。これは、12 ビット振幅分解能で 10 ギガサンプル/秒 (GS/s) の最大単一チャネル サンプリングレートによってサポートされます。この組み合わせにより、GHz 範囲の信号も正確に取得および分析できます。M5i シリーズデジタイザのフルスケール入力電圧範囲は ± 200 ミリボルトから ± 2.5 ボルトです。標準の収集メモリは 2 ギガサンプル (GS) ですが、オプションで 8 GS まで増やすことができます。最大 10 GS/秒のサンプリングレートでの 8 GS メモリは、800 ミリ秒のレコード長を提供します。これらのデジタイザにはすべて、Spectrum Instrumentation の 5 年間の製品保証が付いています。

2 つの新しいデジタイザにより、利用可能な M5i.33xx モジュールの総数は 7 つになります。各モデルは、最大サンプルレート 3.2、6.4、および 10 GS/s と帯域幅 1、2、3、および 4.7 GHz を提供します。この範囲の帯域幅とサンプリングレートにより、ユーザーは特定のニーズに合った最もコスト効率の高いデジタイザを選択できます。

帯域幅は、デジタイザが大幅な減衰なしに取得できる周波数の範囲を定義する重要な仕様です。帯域幅は、低周波数で振幅が電力点の半分の -3 デシベル (dB)、または振幅の 0.707 のゲインに低下する入力信号の周波数です。

一例として、広帯域デジタイザを使用して、高速シリアルデータストリームを取得および分析できま

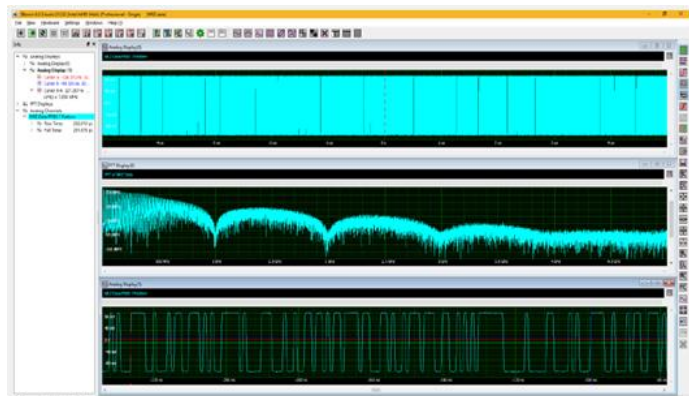


図 1 1 GHz でクロックされた 10us 期間の NRZ シリアルデータストリームの取得。ズームトレースはデータパターンの詳細を示し、高速フーリエ変換は信号の周波数応答を示す。

す。一般的な経験則として、特定の高速シリアルデータストリームに必要な帯域幅は、データストリームのクロックレートの 3 ~ 5 倍である必要があります。図 1 は、Spectrum Instrumentation の M5i.3360-x16 デジタイザを使用して 1 GHz でクロックされたノンリターン

トウゼロ (NRZ) データストリームを取得し、同社の SBench6 取得および分析ソフトウェアで表示したものを示しています。

データは、シリアルデータテストで一般的に使用される、27 データパターン (PRBS 7) の擬似ランダムバイナリストリームで構成されます。図の上部のトレースは、10 GS/s で取得された 10 us の取得全体を示しています。一番下のトレースには、約 160 ns のセグメントを示す水平方向に拡大されたズームビューが含まれています。ズームトレースは、1 GHz クロックで 128 ns ごとに繰り返される PRBS 7 データパターンの詳細を示します。展開されたトレース内のカーソルは、完全なデータサイクルをマークします。SBench6 ソフトウェアは、信号の立ち上がり時間と立ち下がり時間を 290 ps 強で測定します。SBench6 は、中央のトレースに示すように、取得した信号の高速フーリエ変換 (FFT) も計算します。これは、5 GHz のスパンをカバーするデータ信号の周波数領域のビューまたはスペクトルです。これは、10 GS/s サンプリングレートのナイキスト周波数です。FFT は、クロック周波数 (この場合は 1 GHz) の倍数でヌルを持つデジタルデータストリームの予想される $\text{Sin}(x)/x$ 周波数スペクトルを示します。FFT 振幅は 4 GHz を超えるとベースラインに低下することに注意してください。これは、スペクトラム計測器 M5i.3360-x16 または M5i.3367-x16 デジタイザの 4.7 GHz 帯域幅が信号の周波数成分とよく一致していることを示しています。

ソフトウェアサポート

SBench6 の基本バージョンに加えて、M5i シリーズデジタイザには、Windows および Linux オペレーティングシステム用のソフトウェア開発キット (SDK) とドライバが付属しています。SDK には、詳細なドキュメントと、Visual C++、Delphi、Visual Basic、VB.NET、C#、Python、Java、Julia、IVI などの最も一般的なプログラミング言語を使用した実際のプログラミング例が含まれています。Spectrum は、LabVIEW や MATLAB などのサードパーティ システム ソフトウェア製品もサポートしています。

マルチチャネル取得

最大 8 台のモジュラーデジタイザを接続できる Spectrum instrumentation Star-Hub オプションにより、1 つまたは 2 つ以上のチャネルの高速データの収集が可能になります。接続されたカード間で共通のクロックとトリガ信号を共有することにより、最小限の位相遅延とタイミングスキューが保証されます。Star-Hu オプション

は、M5i シリーズデジタイザのいずれかにピギーバックモジュールとして取り付けられ、図 2



図 2 2 台の M5i シリーズデジタイザの典型的な Star-Hub ペアリング。ピギーバックされた Star-Hub ボードと、トリガ信号とクロック信号を接続する同軸ケーブルセットを示す。

に示すように、正確に整合されシールドされた同軸ケーブルで接続されます。

Star-Hub では、2 ~ 16 チャンルのデータ収集システムが可能です。デュアルチャンネルデジタイザを使用すると、最大サンプリングレート 5 GS/s の 16 チャンルシステムを作成できます。サンプリングを高速化するには、シングルチャンネルデジタイザを使用して、最大サンプリングレート 10 GS/s の 8 チャンル システムを構成できます。Star-Hub がインストールされると、システム内のすべてのカードのタイミングは、 ± 1 ppm の精度を持つ内部クロックによって駆動されます。あるいは、ユーザーはフロントパネルの SMA コネクタを介して独自のクロックを供給することもできます。

デジタイザカード間のタイミングスキューは、ユーザーが特定のセットアップでのタイミングの不一致を補正できるプログラム可能なスキュー調整を使用して対処されます。

Star-Hub オプションを備えた M5i シリーズ デジタイザの適用例の 1 つは、DDR メモリのタイミングの測定です。DDR メモリデバイスは、クロック、データストロブ、データ信号自体という 3 つのデータおよびタイミング信号を使用します。図 3 は、Star-Hub にリンクされた 3 つの M5i.3360-x16 シングル

チャンネルデジタイザを使用してこれらのタイミング信号を取得する様子を示しています。各サンプリング速度は 10 GS/s です。

収集の継続時間は 100 us で、10 GS/s でオンボード収集メモリの 100 万サンプルを使用します。各信号の下のズーム

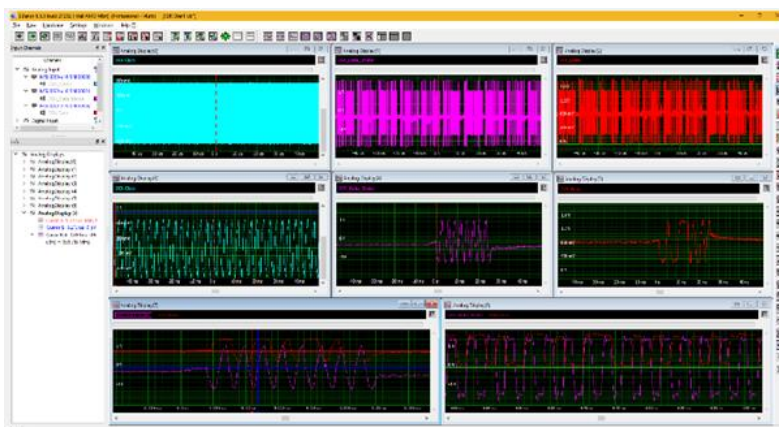


図 3 DDR クロック、データストロブ、およびデータ信号の 3 チャンル取得。信号のズーム ビューとともに SBench6 に表示されます。

トレースでは、各信号が水平方向に拡大され、100 ns の間隔にわたる信号の詳細が表示されます。データ (DQ) 信号とデータストロブ (DQS) 信号の間の位相関係は、メモリ内で実行されている操作のタイプを示します。DQ 信号と DQS 信号は、読み取り動作中は同相です。書き込み動作中、DQ 信号と DQS 信号の位相は異なります。

下の 2 つのグリッドは、データストロブ(紫色のトレース)信号とデータ(赤のトレース)信号間の位相関係を示しています。左下のグリッド(アナログディスプレイ 7)は書き込み操作を示し、アナログディスプレイ 6 は読み取り操作を示します。書き込み動作における DQ 信号と DQS 信号の間の時間スキューは、1.064 ns のカーソルを使用して測定されます。

パソコンへのデータ転送

Spectrum Instrumentation M5i デジタイザシリーズの強力な機能は、驚異的な転送速度でデジ

タイザからコンピュータにデータをストリーミングできる機能です。ストリーミングにより、無制限の信号処理のためのグラフィカル プロセッシングユニット (GPU) やソリッドステートデータ (SSD) アレイなどの商用オフザシェルフ (COTS) PC テクノロジーでデジタイザを使用して、何時間もの取得したデータを保存できるストリーミングシステムを形成できます。

M5i デジタイザは、最大 12.8 GB/秒の速度でデータを転送できる 16 レーン Gen3 PCIe バスを利用します。この並外れた速度により、6.4 GS/s のサンプリングレートで取得されたシングルチャネルデータ、または 3.2 GS/s で取得されたデュアルチャネルデータを、FIFO プロセスでデータ損失なく PC に直接ストリーミングできます。

新しい8ビット転送モードを使用することで、データを損失することなく、

さらに高速なサンプリングレートをストリーミングできます。このモードは、単一チャネルで最大 10 GS/秒、または 2つのチャネルで最大 5 GS/秒の取得レートでのデータストリーミングをサポートします。

既製のグラフィカルプロセッシングユニット (GPU) にデータを直接ストリーミングするために、M5i デジタイザは Spectrum CUDA Access for Parallel Processing (SCAPP) ソフトウェアを使用します。SCAPP では、Nvidia の Compute Unified Device Architecture (CUDA) 標準を使用して、リモートダイレクトメモリアクセス (RDMA) 経由で取得したデータを GPU に転送できます。そこに到達すると、ユーザーは GPU の非常に高い処理能力を活用できるようになります。SCAPP ソフトウェアには、デジタイザと GPU の間の相互作用を制御するために必要なルーチンがすべて含まれています。また、デジタルダウンコンバージョン、フィルタリング、平均化、FFT、データ逆多重化、データ変換などの複雑な処理機能のルーチン例も含まれています。SCAPP ソフトウェアも C/C++ および Python に基づいており、通常のコーディングスキルを使用して簡単に実装およびカスタマイズできます。

SCAPP アプリケーションの例は、デジタルダウンコンバーター (DDC) の作成です。この場合、702 MHz の入力信号は、M5i.3337-x16 デジタイザカードのサンプリングを 6.4 GS/s のレートで使用して取得されました。取得されたデータは、最大転送速度 12.8 GB/秒で Nvidia RTX A4000 GPU に直接連続的にストリーミングされました。SCAPP ソフトウェアは、一連の処理ブロックを使用して DDC 機能を実装します。これには、ダイレクトデジタルシンセサイザー (DDS)、ローパスフィルター、ダウンサンプリングが含まれます。すべての処理ブロックは GPU で実行されます。

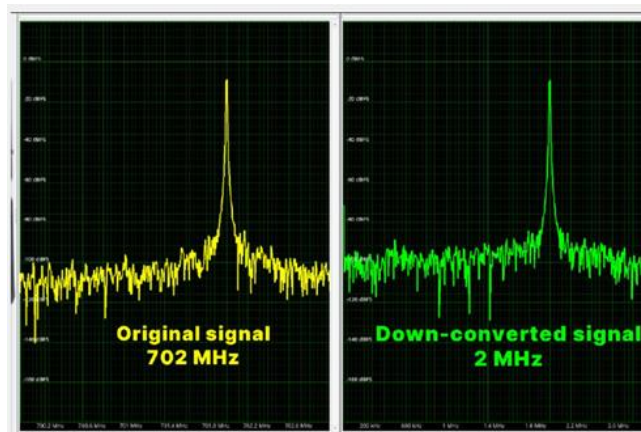


図4 元の信号のスペクトルと、SCAPP 実装のデジタルダウンコンバーターで処理された後のダウンコンバートされたバージョンのスペクトル。

ダウンコンバートプロセスでは、DDSによって生成された複素正弦波とデータを混合し、移動平均を適用して結果を間引き（この場合は512倍）、間引いたデータを有限インパルス応答（FIR）に渡します。フィルタリングし、再スケーリングし、処理されたデータを保存または追加処理のためにPCメモリに転送します。図4は、元の信号のスペクトルと処理されたダウンコンバート信号のスペクトルの2つの周波数領域のスクリーンショットを示しています。

信号を702MHzから2MHzにダウンコンバートすることに加え、フィルタリングにより平均化とフィルタリングによりS/N比が向上し、デシメーション処理によりレコード長が短縮され、PCでの保存と処理がより便利になりました。

長期間にわたって信号を取得する必要があるアプリケーション向けに、Spectrum Instrumentationは、AMD EPYCプロセッサを搭載したSupermicroサーバーと、最大240テラバイトのストレージを備えたU.2 SSDを使用したRAIDストレージをベースとしたストリーミングシステムも提供します。このシステムは、取得後の分析のために10GS/sのサンプリングレートで6時間以上連続したギャップのないデータをストリーミングできます。より長い期間を実現するには、低いサンプリングレートで実行するか、データストレージにギャップをなくす必要がない場合は、デジタイザの複数記録モードを使用します。複数の記録により、再準備時間が非常に短い場合でも、多数のトリガイイベントの取得と転送が可能になります。

内蔵パルス発生器

自動化されたテストおよび測定プロセスには信号源が必要になることがよくあります。Spectrum Instrumentationは、より高度なテスト要件に対応する任意波形発生器（AWG）とデジタル入出力計測器モデルを提供します。さらに、M5iシリーズ高速デジタイザを含む、デジタイザおよびAWG用のデジタルパルスジェネレータ（DPG）オプションを導入したばかりです。DPGオプションにより、4つのデジタルパルスまたはパルスストリームを生成し、それらをフロントパネルのモジュラー機器の多目的入出力コネクタを通じて出力する機能が追加されます。これらのパルスはデジタイザクロックと同期しています。DPGは、単一パルス、パルスバースト、または連続パルスストリームを出力できます。パルスのタイミングは、フリーランニング、ゲートされ、またはすべての機器の内部および外部トリガソースを使用してトリガできます。周波数、デューティサイクル、遅延などの基本的なパルス設定パラメータは、トリガモードやトリガソースと同様に簡単にプログラムできます。パルス振幅は、高インピーダンス負荷と互換性のある固定

の 3.3 ボルトの低電圧 TTL 出力レベルです。

DPG オプションを使用すると、M5i シリーズデジタイザなどの機器が、自動テスト機器のトリガと同期、実験用の制御ライン、RF ソースのキーイング用のゲート信号用のパルス信号を出力できるようになります。ゲート付き RF ソースは、レーダーからキーレスエントリー

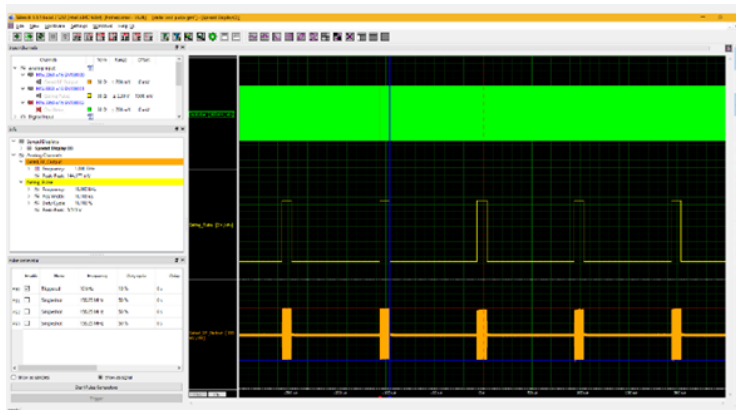


図 5 DPG オプションをゲートソースとして使用し、外部 RF スイッチを使用して 1 GHz 発振器出力からパルスレーダー信号を生成します。

システムに至るまで、幅広い RF デバイスで使用されています。テスト中のレーダーの RF キャリアをゲートするパルス源の必要性を考えてみましょう。

DPG は理想的なソースであり、デジタイザに統合されているため、追加の機器を必要としません。図 5 は、レーダーテスト用の 1 GHz 連続波源のゲート信号源として DPG を使用する例を示しています。

DPG パルスはゲート信号(中央のトレース)として使用され、外部 RF スイッチ回路で 1 GHz RF 搬送波(上部のトレース)をオン/オフし、パルスレーダー信号(下部のトレース)を生成します。これにより、10 kHz のパルス繰り返し周波数と 10%のデューティサイクルが生成されます。このゲート信号に対する SBench6 のパルスジェネレーターの設定は、ディスプレイの左下の Pulse Generator ウィンドウに表示されます。周波数、デューティサイクル、遅延、トリガモード、およびループカウントの設定により、生成されるパルスが定義されます。DPG 出力とゲート RF パルスの両方の測定値が、情報ウィンドウ(パルスジェネレーターウィンドウの上)に表示されます。パルスのピークツーピーク振幅、周波数、幅、デューティサイクルが、ゲートパルス出力の振幅と RF 搬送波の周波数とともに表示されます。信号は、視覚的に比較できるように、スプレッド表示タイプの共通グリッドに表示されます。

DPG オプションは、デジタイザの価値を高め、多くの場合、別個の信号発生器の必要性を排除することでシステムコストを削減する便利なツールです。

結論

Spectrum Instrumentation は、より広い帯域幅、リアルタイム処理による高速データストリーミング、マルチチャネル機能、さらにはクワッド内蔵パルスジェネレーターを備えた新しいデジタイザを提供するようになりました。これらすべての改善は、自動テストをこれまでよりも簡単、正確、高速にすることを目的としています。