

デジタイザデータ転送のボトルネックの解決

はじめに：

最新の PC ベースのデジタイザ (A/D ボード) とデータ収集システムでは、ADC 技術が PC バス技術よりも先行しているという事実によりデータ転送に問題が発生します。高速かつ高解像度のデジタイザ (A/D ボード) 製品では、ADC が PC 環境の転送レートよりもはるかに多くのデータをデジタル化できる為、ボトルネック効果が発生します。たとえば、USB ベースのデジタイザ (A/D ボード) は通常、100 メガサンプル/秒 (MS/s) を超える取得サンプリングレートを備えています。PC へのデータ転送速度は、USB バスによって数 MB/s に制限されることがあります。このボトルネックの影響に

より、デジタイザ (A/D ボード) はデータの取得を停止し、重要なイベントを失い、保存された情報を消去するまで待機する必要があります。さらに、転送速度が遅いため、システム全体の測定および分析速度が制限されます。これは、大量のデータを収集、保存、分析する必要があるアプリケーションで大きな懸念事項となります。



Figure 1 Spectrum の M4i. 22xx および M4i. 44xx シリーズの高速高分解能デジタイザは、最大 3.4 GB/s の転送速度が可能な PCIe x8 レーン Gen2 インターフェイスを利用します。

ボトルネック問題へのアプローチ：

ボトルネックの問題を解決する 1 つのアプローチは、エンドユーザがデータを処理し、バスを介して PC に送信する情報量を削減できるように、オンボードのフィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) にデータを送信することです。ただしこのアプローチは通常、高価な FPGA ファームウェア開発ツールと専門的なエンジニアリング知識を必要とするため非常に高価です。高度な FPGA ファームウェアの開発は簡単なタスクではなく、実装されているアルゴリズムによっては、ファームウェアの設計、デバッグ、および動作が完了するまでに長い期間がかかる場合があります。この種の投資は、非常に大規模なプロジェクトにのみ意味

Bus Type	Typical sustained data transfer rates
USB 2.0	< 35 MB/s
Gbit Ethernet/LXI	< 70 MB/s
PCI/PXI/cPCI	< 100 MB/s
PCI-X 66 MHz	< 240 MB/s
PCIe/PXIe x1 lane Gen1	< 170 MB/s
PXIe x4 Gen 1	< 700 MB/s
AXIe (PCIe based backplane)	< 1.5 GB/s
PCIe x8 lane Gen2	< 3.4 GB/s

Table 1 一般的なデジタイザバスタイプとその標準的なデータ転送速度。

があります。

Spectrum 社は、このプロセスを簡単にするために別のアプローチを採用しています。このソリューションは、最新の PC バス技術と工場設計された FPGA ルーチン、および多数のスマートなデータ収集・転送モードを組み合わせています。その結果、ユーザーはデータ転送プロセスを簡単に最適化し、PC 環境内で複雑な測定および分析ルーチンを実行できます。MathWorks の MATLAB、NI の LabVIEW、Spectrum の SBench 6 などの市販のソフトウェアツールを使用してデータを処理できます。このアプローチにより、ファームウェアの開発が不要になり、プロジェクト開発が簡素化され、エンジニアリングコストが大幅に削減されます。

Table 1 は、バスの違いによるデジタイザインターフェイスと、連続的に維持できる一般的なデータ転送速度を示しています。表から、オンボード ADC が 10-200 MS/s 又はそれ以上の範囲の適度な速度でデジタイズしている場合、USB や PCI などの低速または古いバスシステム上に構築されたデジタイザ (A/D ボード) がデータ転送のボトルネックに容易に遭遇することがわかります。デジタイザ (A/D ボード) に複数のチャンネルがある場合、取得するデータ量が乗算されるため、問題はさらに複雑になります。

PCIe、真の高速バス：

もちろん、データ転送速度はデジタイザ (A/D ボード) のバスに単純に依存しません。また、PC、そのセットアップ、転送プロセスの制御に使用されるソフトウェアなど、他の要因の影響も受けます。Figure 1 は、Spectrum 社の M4i.22xx および M4i.44xx シリーズデジタイザ (A/D ボード) を示しています。これらのデジタイザ (A/D ボード) は、8 ビット解像度で 5 GS/s、14 ビット分解能で 500 MS/s、または 16 ビット分解能で 250 MS/s のサンプリングレートを提供します。これらの M4i シリーズカードはすべて、最大 3.4 GB/s の速度でオンボードメモリから PC にデータを転送できるデジタイザ (A/D ボード) 用の最新の PC バステクノロジー、PCIe x8 レーン Gen2 インターフェイスを備えています。M4i シリーズカードには、Windows および LINUX 用の速度最適化ドライバーが付属し、複数のバスマスターDMA (ダイレクトメモリアクセス) エンジンを使用して、可能な限り高速なスループットレートを維持します。

DMA データ転送速度の測定方法：

DMA 転送パフォーマンスは、関係するすべての異なるコンポーネントの結果です。デジタイザ (A/D ボード) のメーカーは、デジタイザ FPGA DMA コア、カーネルドライバー、ライブラリ、およびテストプログラムに影響を与えています。PC のマザーボードも全体的なパフォーマンスに影響します。一方で、接続された PCIe レーンの数、サポートされている PCIe Gen、CPU とスロット間のブリッジの数などのハードウェア要因があります。一方、システムで 사용되는他のコンポーネントに依存する可能性がある BIOS、BIOS 設定、ペイロードサイズなどのソフトウェア要素があります。

ここで、DMA パフォーマンスを測定するために、Spectrum 製品用のソフトウェアツールである Spectrum Control Center を使用して、メンテナンスとテストを可能にしました。Spectrum Control Center は、Windows および Linux オペレーティングシステムの両方で実行できる Qt ライブラリに基づく C++アプリケーションです。DMA 転送速度を

測定するために、特定のカードモデルの影響を避けるために、カードを特別な速度テストモードに切り替えます。たとえば、2チャンネル500 MS/sの14ビットカードは、フルサンプリングスピードで実行している場合に1953 MB/sのデータしか生成できません。これは、8レーン Gen2 PCIe バスが実際に転送できるパフォーマンスにも近くありません。

PCのマザーボードとBIOSの構造は異なるため、結果はDMA通知サイズにも依存します。これは、割り込みが発行された後に転送されるデータの量です。パフォーマンスを最大にするには、DMA転送に最適な通知サイズを選択する必要があります。Spectrum Control

Centerは、さまざまな通知サイズを繰り返して、最適なパフォーマンス設定を見つけます。これをFigure 2に示します。この例では、32 KB以上の通知サイズを使用すると、良好なパフォーマンスが得られます。最大転送速度は1 MByteの通知サイズです。これを使用すると、300 usごとに割り込みを処理することになります。このテストで使用したマザーボードの最大DMA転送パフォーマンスは3330 MB/sです。また、コントロールセンターの情報画面では、使用されているスロットのPCIeペイロードサイズが256バイトであり、最高の転送パフォーマンスが得られることがわかります。

Figure 3に示すコマンドラインツールは、ソースコードとしても利用できます。このツールを使用すると、ユーザーはDMA設定を簡単に調整し、ハードディスクアレイへの実際の設定でデータス

トリーミングをテストできます。Figure 3に示す

ように、グラフィカルユーザーインターフェイスが含まれていないため、パフォーマンスはわずかに向上しています

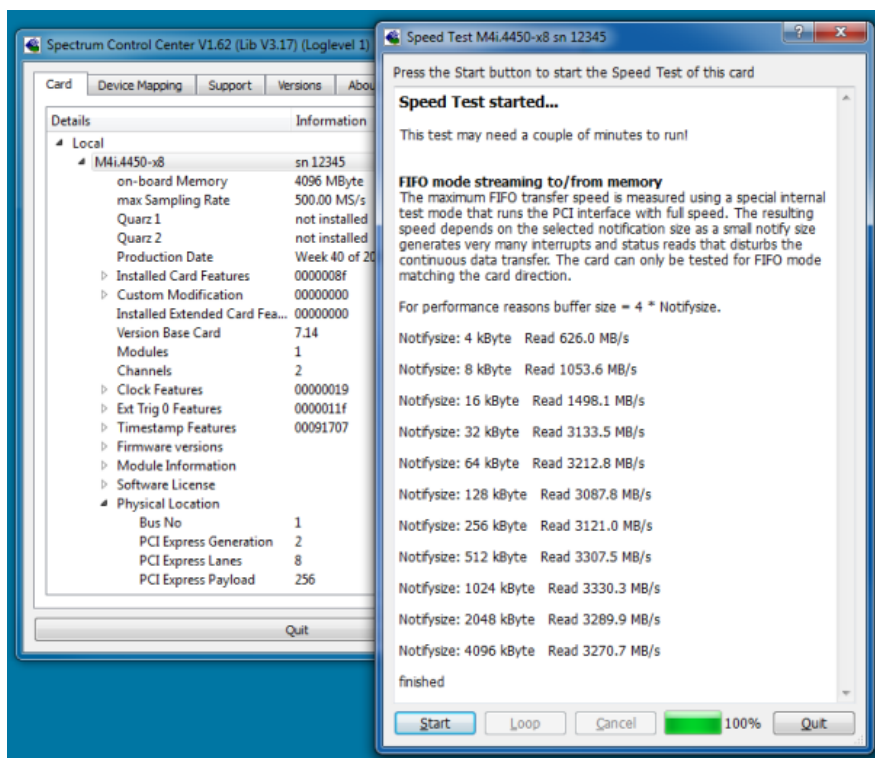


Figure 2 Spectrum Control Center プログラムは、データ転送速度のテストを可能にし、転送サイズとバスおよびカード情報を示します。

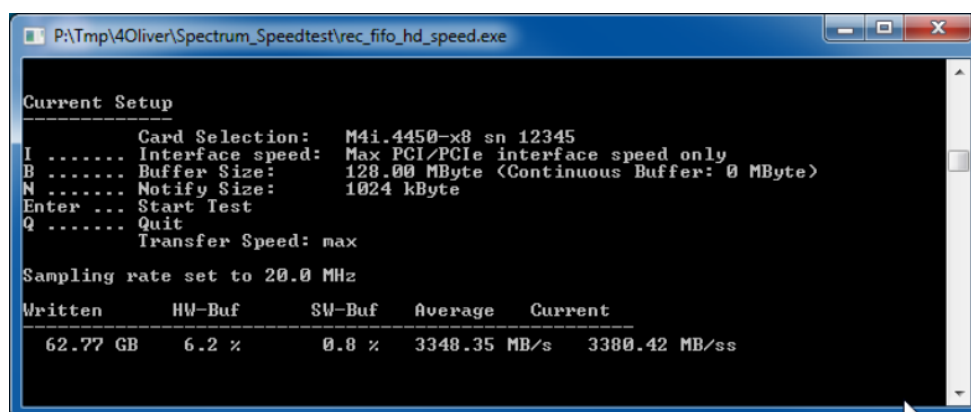


Figure 3 無料のコマンドラインツールにより、DMA設定の調整とデータストリーミングレートの測定が可能になります。

(平均 3348 MB/s)。このツールは、パラレルマザーボードの複数のカードの DMA パフォーマンスを測定するためにも使用でき、PCIe レーンの接続が不十分であるという点でボトルネックを明らかにします。

さまざまなマザーボードとペイロード設定の影響：

Table 2 は、M4i シリーズデジタイザ (A/D ボード) をさまざまな PC マザーボードとの構成で使用したベンチマークテスト結果を示しています。256 バイトの PCIe ペイロードサイズを使用すると、最高のパフォーマンスが得られます。すべての機械的 8 レーンスロットがすべてのレーンをチップセットに接続するわけではないため、マザーボードのマニュアルでは、スロットの電気的な接続方法について説明しています。

Motherboard Type	Slot Connection	Payload Size	Measured Transfer Speed
Supermicro X9SLR	PCIe x8 Gen3	256	3375 MByte/s
Gigabyte H77-D3H	PCIe x16 Gen3	256	3360 MByte/s
ASRock Z97 Extreme 4	PCIe x8 Gen3	128	3030 MByte/s
Asus Z8PE-D12X	PCIe x8 Gen2	256	3288 MByte/s
Supermicro X9SLR	PCIe x4 Gen3 (electrically)	256	1697 MByte/s

Table 2 一般的なデジタイザバスの種類とその標準的なデータ転送速度

スマート読み出しモード：

高速 PCIe バスに加えて、M4i デジタイザカード (A/D ボード) にはさまざまな収集モードが装備されています。標準の収集モードでは、オシロスコープのようにオンボード収集メモリをリングバッファとして使用します。データは、トリガーイベントが発生するまでデジタイザ (A/D ボード) のリングメモリに書き込まれます。トリガーの後、ポストトリガーの値が記録されます。これにより、プリトリガー値とポストトリガー値の両方が記録データに含まれます。他の収集モードは FIFO (先入れ先出し) です。これは、デジタイザ (A/D ボード) と外部ホストコンピュータ間の連続データ転送用に設計されたストリーミングモードです。データストリームの制御は、割り込み要求に基づいて、ドライバーによって自動的に処理されます。

標準モードと FIFO モードの主な違いは、標準モードがオンボードメモリの使用に制限されていることです。こ



Figure 4 Spectrum のストリーミングシステム SPcB8-E6 には、最大 3 GB/s のさまざまなストリーミングオプションを備えた最大 6 枚の Spectrum カードを 8 TB のストレージに含めることができます。

これは、M4i シリーズでは 4 ギガバイトです。FIFO モードは、バスを介して PC メモリまたはハードディスクにデータを連続的に転送するように設計されているため、はるかに長い取得時間で実行できます。取り付けられた完全な収集メモリはバッファとして使用され、信頼性の高いデータストリーミングを提供します。完全なストリーミングパフォーマンスには、専用の RAID コントローラー、高スループットの SSD アレイ、最適化されたドライバー、正しいシステムとソフトウェアのセットアップ、オペレーティングシステムのボトルネックを回避できるストリーミングソフトウェアが必要です。Spectrum 社は、Figure 4 に示すようなターンキーソリューションを提供しており、3 ギガバイト/秒以上の転送速度で SSD アレイに数 T バイトのデータを連続的にストリーミングできます。

低デューティサイクル測定用のメモリセグメンテーションモード：

標準モードと FIFO モードは、3 つの異なる複数の記録方法でも使用できます。複数の記録は、デジタル化される信号がバーストで、またはシーケンシャルに到着するたびに使用できます。複数の記録により、特に低デューティサイクルの測定アプリケーションで、オンボード取得メモリをより効率的に使用できます。低デューティサイクルアプリケーションには、短い期間のイベントに続いて長い休止期間があるアプリケーションが含まれます。このタイプの信号のキャプチャに最適化された取得方法は、マルチプルレコーディング（セグメント）モード、ゲートモード、および ABA（デュアルタイムベース）取得です。これらのモードはすべてメモリをセグメント化し、メモリ内で複数の収集を行います。デュアルタイムベース ABA モードは、トリガー間のサンプリングレートを減らしてメモリスペースを節約しますが、トリガー間のデッドタイムで何が起きているかを表示します。

オンボード分析：

データのボトルネックの問題を解決するために M4i シリーズデジタイザ (A/D ボード) で使用できる最後の方法は、オンボード処理とデータ削減を使用することです。M4i シリーズカードの設計には、メモリ制御、トリガーモード、PCIe バス制御、信号処理などのさまざまな機能に使用される FPGA が組み込まれています。Figure 5 は、M4i シリーズ

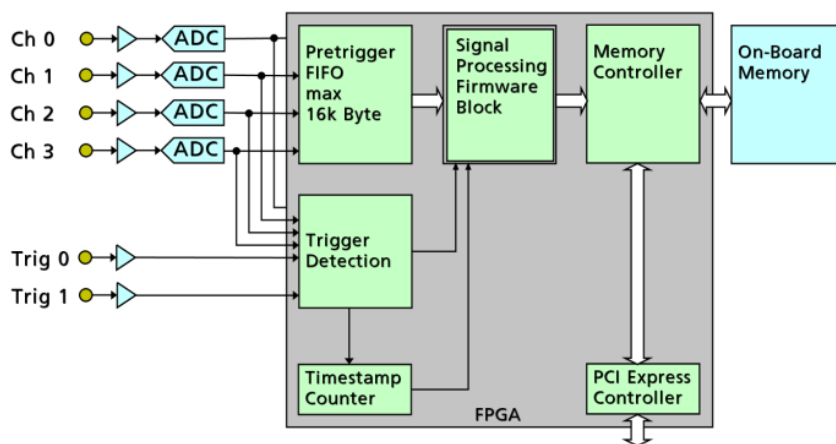


Figure 5 FPGA の信号処理パスを示す M4i デジタイザシリーズのブロック図

デジタイザ (A/D ボード) のブロック図と基本アーキテクチャを示しています。FPGA の内部には、信号の平均化、ピーク検出、統計などの機能のために工場が開発されたファームウェアをロードできるように予約されています。オンボードの信号処理により、PC に転送するデータ量を大幅に削減できます。たとえば、繰り返し信号を処理する場合、平均化ファームウェアは、それぞれ最大 128 k ポイントの長さの 65,000 を超える個別の波形を蓄積できます。この関数は、個々のすべての波形のデータを 1 つの平均化された波形に効果的に削減します。同様に、ピーク検出ファーム

ウェアは、信号内の最大イベントと最小イベントを特定し、それらの値を対応するタイミング情報とともに保存できます。このようにして、以前は数千または数百万のデータポイントを含んでいた波形を、おそらく 6-8 個の基本的な数字の単純なセットに減らすことができます。

まとめ：

最新のデジタイザ (A/D ボード) に実装されている ADC テクノロジーがより高い分解能でより高速な取得レートに達すると、取得、保存、および PC へのデータ転送量は増加し続けます。表示、保存、分析のためにデータを PC にシフトするには、適切なバス (同等のデータ転送速度を維持できる)、柔軟な集録および転送モード、適切に構成された PC および適切なソフトウェアを備えたデジタイザ設計が必要です。データの削減が極端に必要な場合には、FPGA テクノロジーを使用できます。



Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。最も一般的な業界標準 (PCIe、LXI、PXIe) で 500 を超えるデジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト & メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、www.spectrum-instrumentation.com を参照してください。