

モジュラーデジタイザのトリガーと同期

はじめに：

デジタイザ (A/D ボード) は、電気信号を一連の測定値に変換し、振幅値と時間の数値配列として出力するために使用されます。この情報を有用にするために、時間情報は通常、最も一般的にはトリガー位置である特定の基準点に関連しています。トリガーポイントは、測定された信号内で発生するものでも、他の外部ソースからのものでもかまいません。トリガーの機能は、時間測定値を特定の既知の時点にリンクすることです。繰り返し信号の場合、1つの集録の測定値を他の集録と比較できるようにするには、トリガーが安定している必要があります。複数のデジタイザまたは関連する収集機器がマルチチャンネルシステムに統合されている場合、すべてのチャンネルが共通の時間軸を参照している場合にのみ意味のあるデータを取得できます。これには、システムのデータ収集要素と、通常は同じイベントによってトリガーされるすべてのデジタイザチャンネルの時間同期が必要です。このアプリケーションノートでは、トリガーと同期の関連トピックに焦点を当てます。

トリガー：

トリガーは、信号を集録してデジタル化する機器にとって不可欠な機能です。最も一般的なトリガー方法は、デジタイザチャンネルの1つに入力される信号を使用します。基本的な原理は、波形上の定義されたポイントが検出され、この「トリガーイベント」が取得データの既知の位置としてマークされることです。Figure 1 は、基本的なエッジトリガーの例を示しています。トリガー信号源は、波形が正の勾配で 500mV のレベルを超えるとトリガーイベントが発生する入力チャンネルです。これが発生すると、取得した信号上のその位置は、図のカーソル位置で示されるように、時間軸上のゼロの時点としてマークされます。

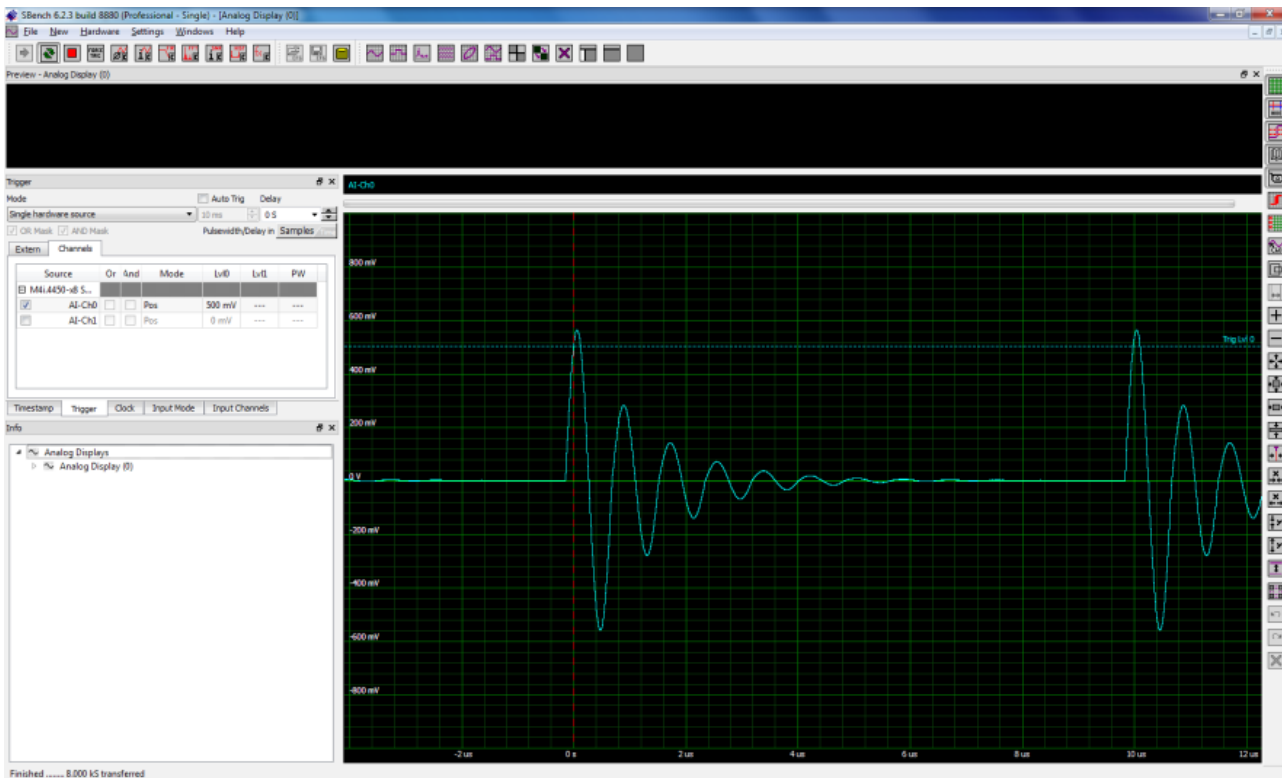


Figure 1 時間軸上のゼロ時間値を定義する基本的なエッジトリガーの例（垂直の破線でマーク）。波形がトリガーレベル（水平の破線）を正の勾配で横切るとき。

信号が繰り返し発生する場合、新しい集録が行われるたびに同じポイントでデジタイザがトリガーされ、安定した表示が得られます。可能な信号波形、レベル、およびタイミングの大幅な変化には、デジタイザのトリガー回路が非常に柔軟であることが必要です。Figure 2 は、Spectrum 製 M4i シリーズデジタイザのトリガーエンジンのブロック図を示しています。これは、最新のデジタイザでサポートされている幅広いトリガー条件の例を示しています。

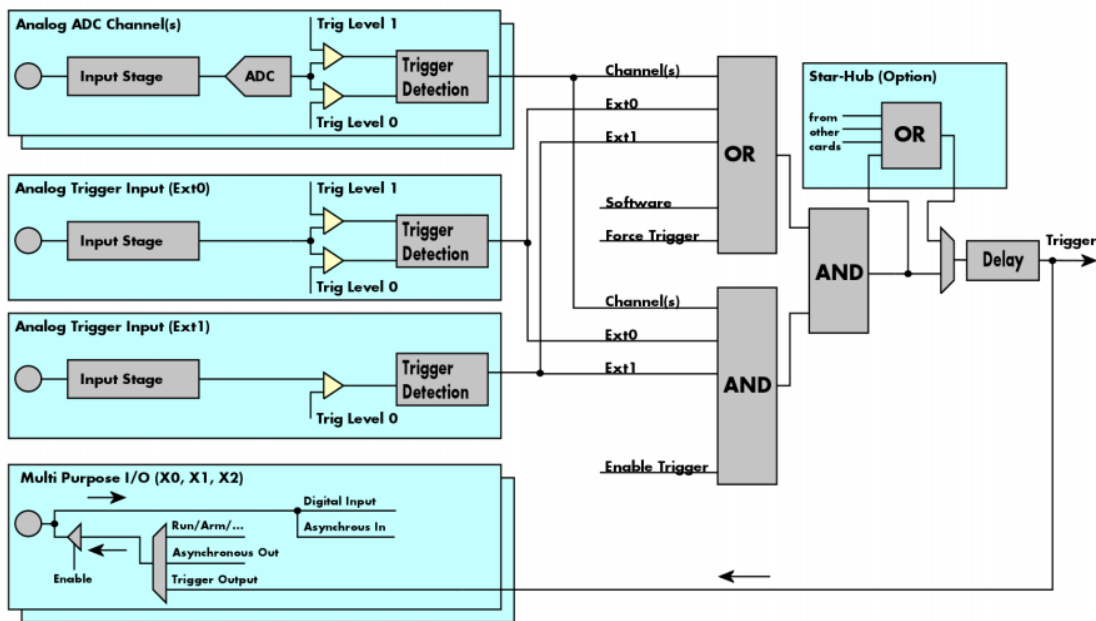


Figure 2 Spectrum M4i シリーズデジタイザのトリガーソースとトリガーロジックを示すトリガーエンジンブロック図

ハードウェアトリガーソースは、ブロック図の左側に表示されます。これらには、任意の入力チャンネルと2つの外部トリガー入力 (Ext0 または Ext1) のいずれかが含まれます。これらの各ソースは、複数のトリガータイプをサポートできます。Multi-Purpose I/O ラインを使用して、デジタイザ (A/D ボード) の Run/Arm 状態を報告したり、他の機能の中でもトリガー出力信号を提供したりできます。ハードウェアトリガーソースに加えて、プログラム制御下でトリガーできるソフトウェアトリガーもあります。このデジタイザ (A/D ボード) には、複数のソースからの入力を複雑なマルチエレメントトリガーに結合するために使用される強力なトリガーAND/OR ロジックエレメントも含まれています。この機能を使用して、明確に定義されたパターンが発生したときにのみデジタイザ (A/D ボード) がトリガーされるようにすることができます。さらに別の機能は、Star-Hub 同期オプションを介して、最大7つの他のデジタイザカード (A/D ボード) とのクロストリガー機能です。

トリガーモード：

主要なトリガーソースにはデュアルトリガーレベルコンパレータが含まれており、複数のトリガーモードをサポートしています。これらには、シングルおよびデュアルスロープエッジトリガー、リアーム (ヒステリシス) トリガー、ウィンドウトリガーが含まれ、マルチソーストリガーには、関連するトリガーゲートジェネレーターがあります。エッジトリガーは、最も基本的なトリガータイプです。ユーザはトリガーレベルを設定し、目的のトリガースロープを選択します。トリガーソースが選択したスロープでトリガーしきい値を超えると、デジタイザ (A/D ボード) がトリガーします。勾配の選択は、正、負、または両方です。エッジトリガーは、最も一般的に使用されるトリガーモードです。

リアームまたはヒステリシストリガーは2つのレベルを設定します。最初はアームレベルで、2番目はトリガーレベルです。エッジトリガーと同様に、ユーザはスロープも選択します。信号は、トリガーを作動させるために、最初に選択したスロープでアームレベルを通過する必要があります。デジタイザ (A/D ボード) は、その後、信号が同じスロープでトリガーレベルを横切るときにのみトリガーします。リアームトリガーモードを使用すると、ノイズの多い信号の間違ったエッジでデジタイザ (A/D ボード) がトリガーするのを防ぐことができます。

ウィンドウトリガーは、トリガーウィンドウごとに2つのトリガーしきい値を使用して、振幅ウィンドウを定義します。ウィンドウトリガーには2つの動作モードがあります。ウィンドウに入るとトリガーし、ウィンドウを出るとトリガーします。入力時のトリガーは、ソース信号がいずれかのしきい値レベルを超えてウィンドウに入るたびにトリガーされます。ソース信号が2つのトリガーしきい値の間にあるときにトリガーを終了するトリガーは、ウィンドウを離れます。ソース信号がいずれかの方向で状態を変更できる場合、ウィンドウトリガーが使用されます。

ビルトイントリガーロジックでマルチソーストリガーモードを使用する場合、1つのチャンネルを使用してゲート波形を作成し、別のチャンネルからのトリガーを有効にする必要があることがよくあります。これは、高レベル、低レベル、内部ウィンドウ、または外部ウィンドウの選択を使用して実行できます。これらのトリガーモードは、2番目のトリガーソースおよびANDロジックと一緒に使用してトリガーをゲートできる内部ゲート信号を生成します。

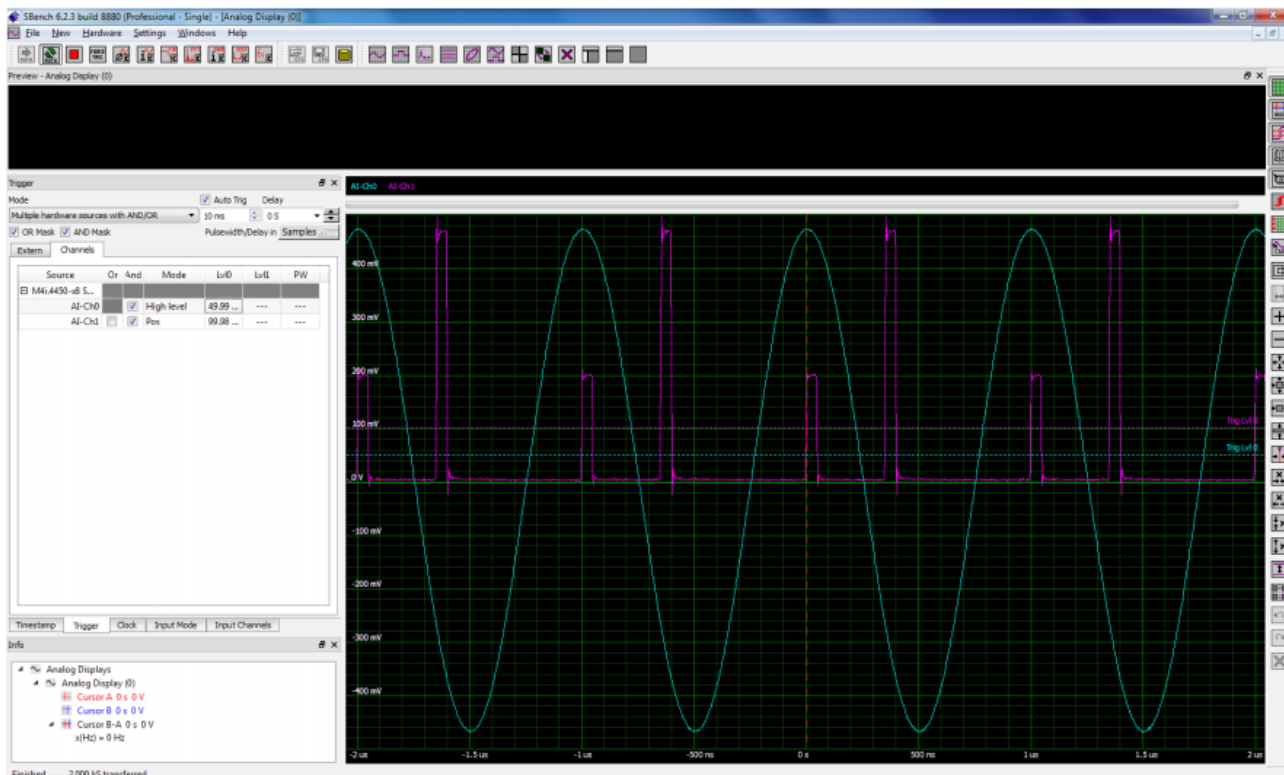


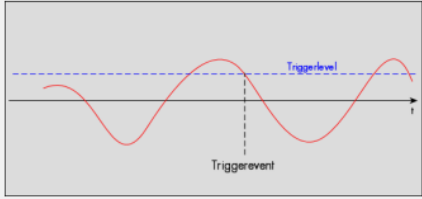
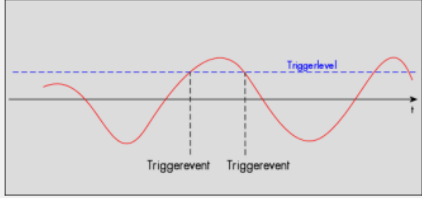
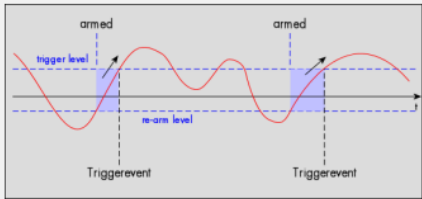
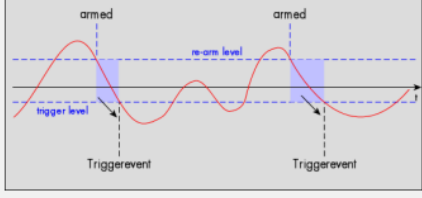
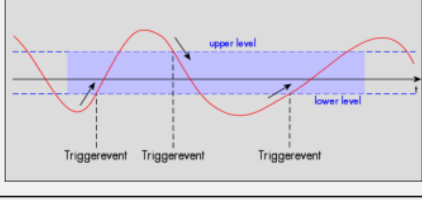
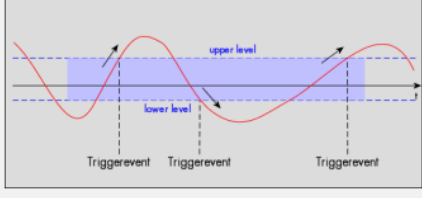
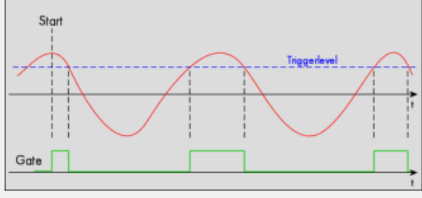
Figure 3 CH0 の High Level トリガーを使用してゲート信号を作成し、チャンネル CH1 の 2 つのパルスのうち低い方を選択します。Hi Level トリガーは、トリガースソースがトリガーレベル (Trig Lvl 0.) を超えている限り、ポジティブ状態のゲートを作成します。このゲートは、デジタイザが低振幅パルスでトリガーできるようにする CH1 パルス波形と AND されます。

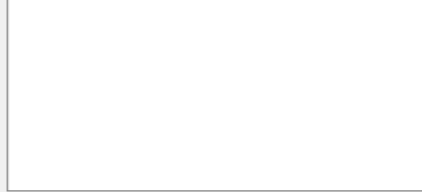
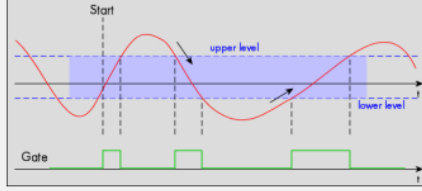
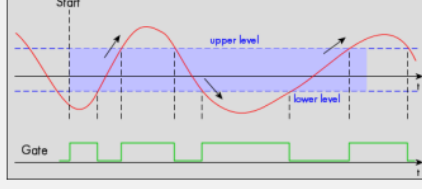
Figure 3 は、高レベルトリガーを使用して別のチャンネルのトリガースソースをゲートする例を示しています。チャンネル CH0 の正弦波がトリガーレベルを超えるたびに、信号がしきい値を超えている間、正のゲートが生成されます。このゲート信号は、チャンネル CH1 の信号と AND されます。低振幅パルスが CH1 に存在する間のみゲート信号が正であるため、パルス波形が図の水平の赤い破線で示されるトリガーレベルを超えると、デジタイザ (A/D ボード) がトリガーします。

M4i シリーズモジュラーデジタイザ (A/D ボード) トリガーモードの概要表 :

Table 1 に、Spectrum M4i デジタイザ (A/D ボード) で使用可能な各トリガーモードの概要を示します。

Mode Description	Diagram
<p>Positive Edge Trigger</p> <p>The trigger occurs if the trigger source signal goes from a lower value to higher values (positive slope or rising edge) crossing the predefined trigger level.</p>	

<p>egative Edge Trigger</p> <p>The trigger occurs if the trigger source signal goes from a higher value to lower values (negative slope or falling edge) crossing the predefined trigger level.</p>	
<p>Dual Edge Trigger</p> <p>The trigger occurs if the programmed trigger level is crossed by the trigger source signal with either a rising or falling edge.</p>	
<p>Re-arm (Hysteresis) trigger on positive edge</p> <p>The trigger circuit is armed when the source signal crosses the re-arm level with a positive slope. After arming, if the programmed trigger level is then crossed by the source signal with a rising edge, the trigger is generated and the trigger circuit will be disarmed. A new trigger event is only detected if the trigger engine is armed again.</p>	
<p>Re-arm trigger (Hysteresis) on negative edge</p> <p>The trigger circuit is armed when the source signal crosses the re-arm level with a negative slope. After arming, if the programmed trigger level is then crossed by the source signal with a falling edge, the trigger is generated and the trigger circuit will be disarmed. A new trigger event is only detected if the trigger engine is armed again.</p>	
<p>Channel window trigger for entering signals</p> <p>The upper and the lower level define an amplitude window. Every time the source signal enters the window from the outside, a trigger is generated.</p>	
<p>Channel window trigger for exiting signals</p> <p>The upper and the lower level define an amplitude window. Every time the signal leaves the window from the inside, a trigger is generated.</p>	
<p>High level trigger</p> <p>This mode generates an internal gate signal that can be used together with a second trigger mode to gate the trigger. If using this mode with a single trigger source then the card only triggers when the source signal exceeds the trigger level (acting like positive edge trigger).</p>	

<p>Low level trigger</p> <p>This mode generates an internal gate signal that can be used together with a second trigger mode to gate the trigger. If using this mode with a single trigger source then the card only triggers when the source signal is below the trigger level (acting like negative edge trigger).</p>	
<p>Inside window trigger</p> <p>This trigger mode will generate an internal gate signal that can be used together with a second trigger mode to gate the trigger. If using this mode as a single trigger source then the card will only trigger when entering the window defined by the two trigger levels (acting like window enter trigger).</p>	
<p>Outside window trigger</p> <p>This trigger mode will generate an internal gate signal that can be used together with a second trigger mode to gate the trigger. If using this mode as a single trigger source then the card will only trigger when leaving the window defined by the two trigger levels (acting like window exit trigger)</p>	

トリガーロジック：

Figure 3 の例は、複数のトリガーソースを扱う場合に利用可能なトリガーロジックの 1 つの使用法を示しています。AND と OR の両方の論理要素がサポートされています。OR への入力機能には、チャンネル、外部トリガー入力、ソフトウェアトリガー、および強制トリガー機能のいずれかが含まれます。論理 OR 関数は、これらのトリガーソースのいずれかがデジタイザ (A/D ボード) をトリガーすることを許可します。

AND 論理関数への入力には、すべてのチャンネル、外部トリガー入力、トリガー有効化機能が含まれます。AND 関数では、デジタイザトリガーを開始するために、選択したすべてのトリガー入力を同時にアサートする必要があります。

高レベルや低レベルなどのゲーティングトリガーモードは、NAND や NOR などの他のロジックを実現できる入力を論理的に反転する機能を提供することに留意してください。

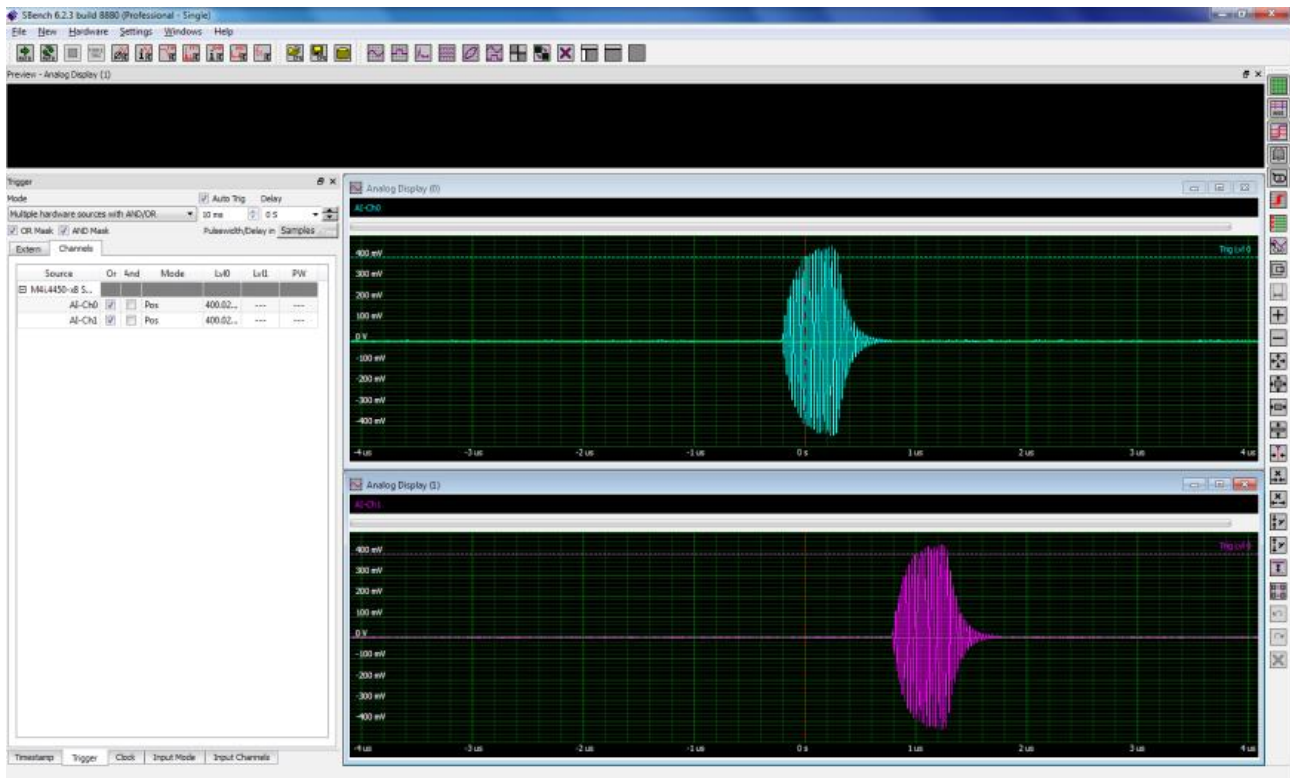


Figure 4 ORトリガーロジックを使用して、最も早いRFパルスが発生するチャンネルでトリガーします。

Figure 4は、ORトリガーロジックを使用する無線ロケーションアプリケーションの例です。各入力チャンネルはセンサーに接続されています。ソースへの方向は、各センサーで放出されたパルスの到着時間によって決まります。ソースの場所によって、どのチャンネルを最初に見るかが決まります。



Figure 5 ANDトリガー機能を逆論理要素（Ch0の低レベルモード）で使用する別の例。これは、Ch1のパルス列と比較してCh0で欠落パルスが発生したときにトリガーされます。

ORトリガーロジックにより、最も早いバーストのチャンネルがデジタイザ（A/Dボード）をトリガーし、両方のセンサー出力がキャプチャされることを保証します。マルチソーストリガーの別の例をFigure 5に示します。

ここでは、2つのクロック信号を比較しています。低レベルトリガーはチャンネルCh0でセットアップされ、チャンネルの振幅がトリガーレベルを下回ったときにゲート正信号を生成します。チャンネルCh1は、ポジティブエッジでトリガーします。両方のトリガーソースはANDされており、Ch0に欠落パルスがあるとトリガーイベントが発生します。

Figure 5の欠落パルスは、トリガーポイント（time = 0）に現れます。

その他のトリガー関連機能：

その他2つの追加のトリガー関数があります。最初はトリガー遅延です。これは、Figure 2のトリガーブロック図の最後の要素です。この関数は33ビットカウンタを使用し、ユーザはこの記事で使用した14ビットおよび16ビットM4iシリーズデジタイザ（A/Dボード）の16サンプルのステップでトリガーイベントを最大8-16サンプルまで遅延させることができます。遅延がデフォルトのゼロ設定から変更された場合、水平軸のトリガーポイントはゼロから入力された遅延値に変更されます。

2番目の機能は、外部トリガー出力とトリガーステータスラインです。これらの機能は、複数の機器の同期に役立ちます。Figure 2に示した通り、トリガー出力、ARMおよびRUNステータスは、Multi-Purpose I/Oチャンネルを介して利用できます。

同期：

理論的には、機器を同期する際に2つの問題があります。1つは、共通のトリガーを準備することです。2つ目は、両方の機器を同期クロックで動作させることです。これは単純なように思えますが、複数のデジタイザ (A/D ボード) を同期しようとすると問題が発生します。クロックは、目的のクロックレートで外部クロックを使用して同期できます。2番目の方法は、10 MHz などの外部基準を供給することです。これは、基準クロックの周波数を目的のクロックレートに乘算するために使用される位相ロックループ (PLL) に適用されます。この記事で使用する Spectrum 製 M4i シリーズデジタイザ (A/D ボード) は、共通の外部クロック入力を介して両方のタイプの外部クロックを処理します。外部クロック入力は内部 PLL に接続され、これはユーザが基準クロックを逡倍するか、外部クロックに位相ロックして周波数を変更せずに通過させるように設定されます。これにより、クロックの正しい周波数が保証されますが、各デジタイザ (A/D ボード) のクロックの位相が同じであることは保証されません。

同期プロセスのトリガー側では、各デジタイザ (A/D ボード) の外部トリガー入力が個別のコンパレータを使用してトリガーレベルの交差を検出することを考慮する必要があります。基準レベルのわずかな違いとセットアップおよびホールドタイムの違いは、トリガージッターの一形態であるトリガーポイントの時間的な位置の離散的な変化になります。複数のデジタイザ (A/D ボード) の正確な同期を保証する唯一の方法は、クロックを各モジュールに分配し、トリガーイベントをシステムクロックに同期することです。Spectrum デジタイザ (A/D ボード) では、オプションの Star Hub モジュールを使用してこれを行うことができます。



Figure 6 オプションのスターハブモジュールは、4枚のデジタイザの同期を示しています。モジュールは、クロックおよびトリガー信号のスター接続ハブとして機能します。

複数のデジタイザ (A/D ボード) の同期：

この記事の例で使用されている Spectrum M4i シリーズデジタイザ (A/D ボード) には、スターハブと呼ばれるオプションの同期アクセサリもあります。スターハブモジュールを使用すると、同じファミリーの最大8枚のカードを同期できます。スターハブの写真 Figure 6 に示します。モジュールは、クロックおよびトリガー信号のスター接続ハブとして機能します。モジュールを備えたデジタイザ (A/D ボード) はクロックマスターとして機能し、そのカードまたは他のカードがトリガーマスターになることができます。スターハブモジュールが使用されている場合、マスターカードで利用可能なすべてのトリガーモードも利用できます。また、AND/OR トリガーロジックを拡張して、接続されているデジタイザ (A/D ボード) からの入力に対応します。また、スターハブは、デジタイザ (A/D ボード) からの ARM 信

号を同期することで、デジタイザ (A/D ボード) 間で異なるプリトリガー、メモリセグメントサイズ、およびポストトリガー設定を同期します。Star-Hub は、複数のデジタイザ (A/D ボード) を同期するために推奨される方法です。

まとめ：

デジタイザ (A/D ボード) では、取得を既知の時点に関連付けるためにトリガーが必要です。複数のトリガーソースとモードにより、目的のトリガーポイントを簡単に選択できます。さらに、Star-Hub を介してタイムベースを同期する機能により、複数のカードを結合して多数の取得チャンネルを提供できます。スマートトリガーエンジンを備えたデジタイザ (A/D ボード) を使用すると、さまざまな複雑な信号をトリガーしてキャプチャすることができます。この機能は、リングバッファ、FIFO、メモリセグメンテーション、トリガーイベントをマークするタイムスタンプ付きのゲートサンプリングなどの革新的な収集モードと組み合わせることでさらに強化されます。



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。