

## デジタイザの新しい機能 - ボックスカーアベレージング (移動平均)

### はじめに :

アナログボックスカーアベレージング (移動平均) は、信号の不要なノイズを低減するために 50 年以上にわたってエンジニアや科学者によって使用されてきた手法です。最近では、高速の高分解能デジタイザ技術の開発により、デジタルボックスカーアベレージングが同様の結果を得るために使用されています。さらに、デジタルボックスカーアベレージングには、デジタイザ (A/D ボード) の全体的な分解能と動的パフォーマンスを改善できるという追加の利点があります。

このホワイトペーパーは、シングルショットイベントであっても、デジタルボックスカーアベレージングを使用して信号ノイズを低減する方法を示しています。また、この機能がデジタイザ (A/D ボード) の分解能と、有効ビット数 (ENOB)、信号対雑音比 (SNR)、スプリアスフリーダイナミックレンジ (SFDR) などの動的特性を改善する方法についても説明します。

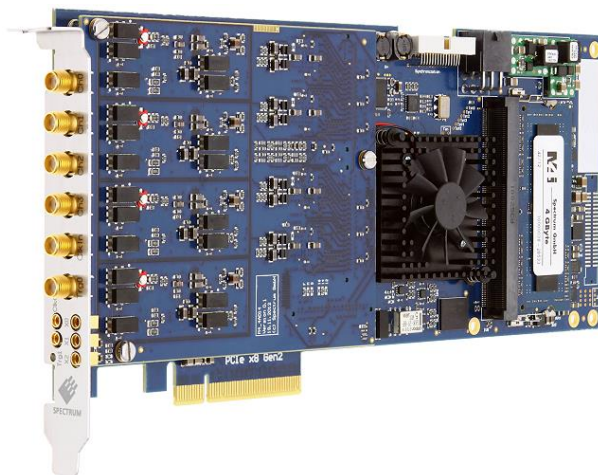


Figure 1 各チャンネル 500 MS/s のサンプリングレートと 14 ビットの分解能を備えた Spectrum M4i.4451-x8 4ch PCIe デジタイザ

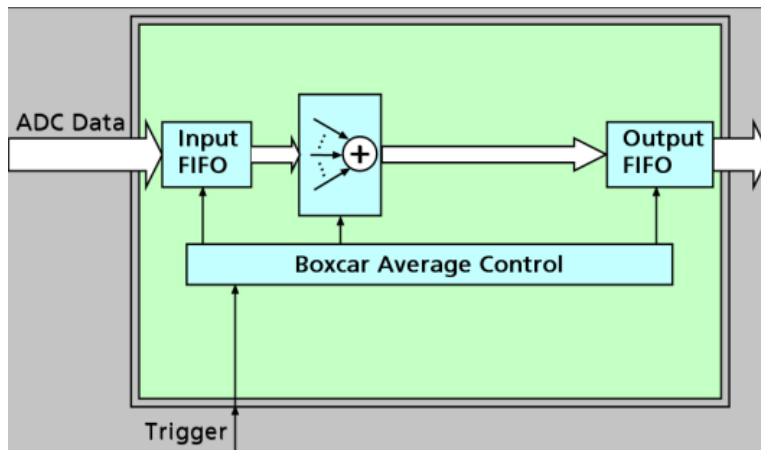
### Boxcar Average ファームウェア :

デジタルボックスカーアベレージングは、デジタイザ (A/D ボード) が分析対象の信号の最大周波数をはるかに超えるレートで波形をサンプリングしている状況で機能します。このプロセスは一般に「オーバーサンプリング」と呼ばれます。信号または波形がオーバーサンプリングされる場合、Boxcar 平均化機能を使用して、オーバーサンプリングされたデータポイントで利用可能な情報を活用できます。この方法は、選択した数の隣接ポイント (Boxcar のポイント、または Boxcar 平均化係数) を効果的に合計する数学プロセスを採用し、平均垂直値 (Boxcar のポイント数で合計した結果) を計算します。

次に、平均値を使用して、データの元の Boxcar 内のすべてのポイントを置き換えます。結果の操作は、スムージング関数を生のデジタル化データに適用することに似ています。ただし、スムージングとは異なり、最終結果はデータポイントが削減された波形になります。ユーザーが Boxcar 平均化機能を利用できるようにするため、Spectrum 社は、高分解能 M4i.44xx シリーズ、14 および 16 ビット、PCIe、PXIe および LXI デジタイザカード (A/D ボード) のオンボード FPGA テクノロジーを使用してルーチンを実行できる新しいファームウェアパッケージを作成しました。

すべてのテストに使用された PCIe デジタイザ M4i.4451-x8 の写真を Figure 1 に示します。Boxcar Average ファームウェアは、これらの製品の高いパフォーマンスを拡張し、より高い垂直分解能、より良い感度、改善された動的パ

パフォーマンスで結果を生成します。Boxcar Averaging ファームウェアは、すべての新しい M4i.44xx シリーズデジタイザ (A/D ボード) に標準で含まれており、すでにフィールドにある既存のユニットに後付けすることもできます。Figure 2 に、Spectrum 製デジタイザ (A/D ボード) 内の Boxcar Averaging 実装の基本ブロック図を示します。



## Boxcar Averaging はどのように機能するのか？

Figure 2 FPGA ファームウェアは、処理済みデータをデジタイザのオンボードメモリに保存するか、PCに直接転送する前に、生データの隣接ポイント (Boxcars) を合計して平均化する Boxcar Averaging を実行するために使用されます。

前述のように、Boxcar 平均化プロセスはス

ムージング操作に似ています。最も単純なアプリケーションでは、この関数を使用して、ローパスフィルタのように動作し、信号から高周波ノイズ成分を除去することにより、不要なノイズを低減できます。例として、Figure 3 に示す波形を参照してください。

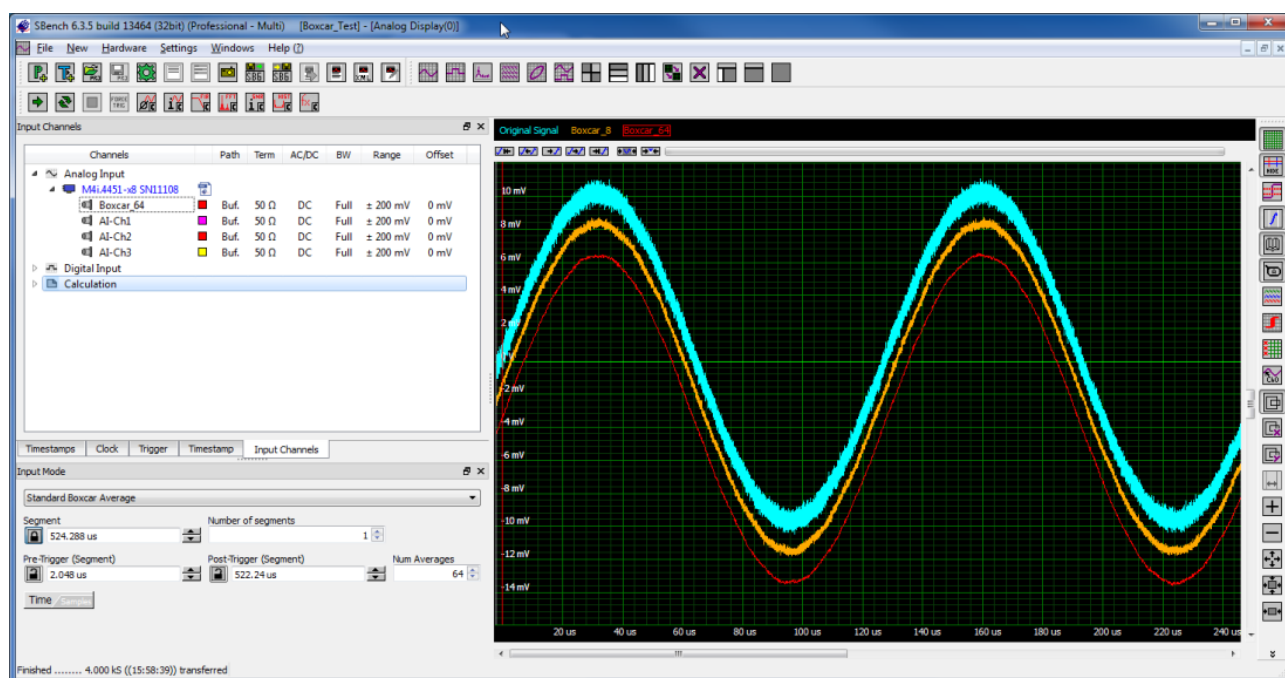


Figure 3 ノイズの多い正弦波 (上部トレース) は Boxcar Averaging ファームウェア (中間および下部トレース) で処理され、ノイズを減らし、全体的な SNR を大幅に改善します。

上のトレース (青) は、かなりのレベルのノイズを伴う比較的遅い正弦波を示しています。M4i.4451-x8 デジタイザ (A/D ボード) を使用して、14 ビットの分解能と 500 MS/s のサンプリングレートで波形をシングルショットで取得し、オーバーサンプリングしました。青いトレースは生データを示しています。中央のトレース (オレンジ色) と下側のトレース (赤) は、それぞれ 8 個と 64 個の隣接ポイントを使用して、Boxcar 平均関数を生データに適用した効果を示し

ています。平均化された両方のトレースは、明らかに低いノイズレベルを表示しています。

### 改善された分解能と動的パフォーマンス：

最大の柔軟性を実現するために、Spectrum 社 Boxcar 平均化機能を使用すると、平均化する隣接ポイントの数を 2~256 の間で選択できます。平均化されたデータは、選択したポイントの数に比例する量だけ、より高い分解能で保存されます。たとえば、隣接する 2 つのポイントを選択すると、16 ビットデジタイザの分解能が 17 ビットに相当し、隣接する 4 つのポイントを選択すると 18 ビットになり、最大 256 ポイントを選択すると理論上の 24 ビットになります！実際には、実際の信号に対して実際にそのような高性能が達成されることはありません。ただし、測定的大幅な改善が可能です。

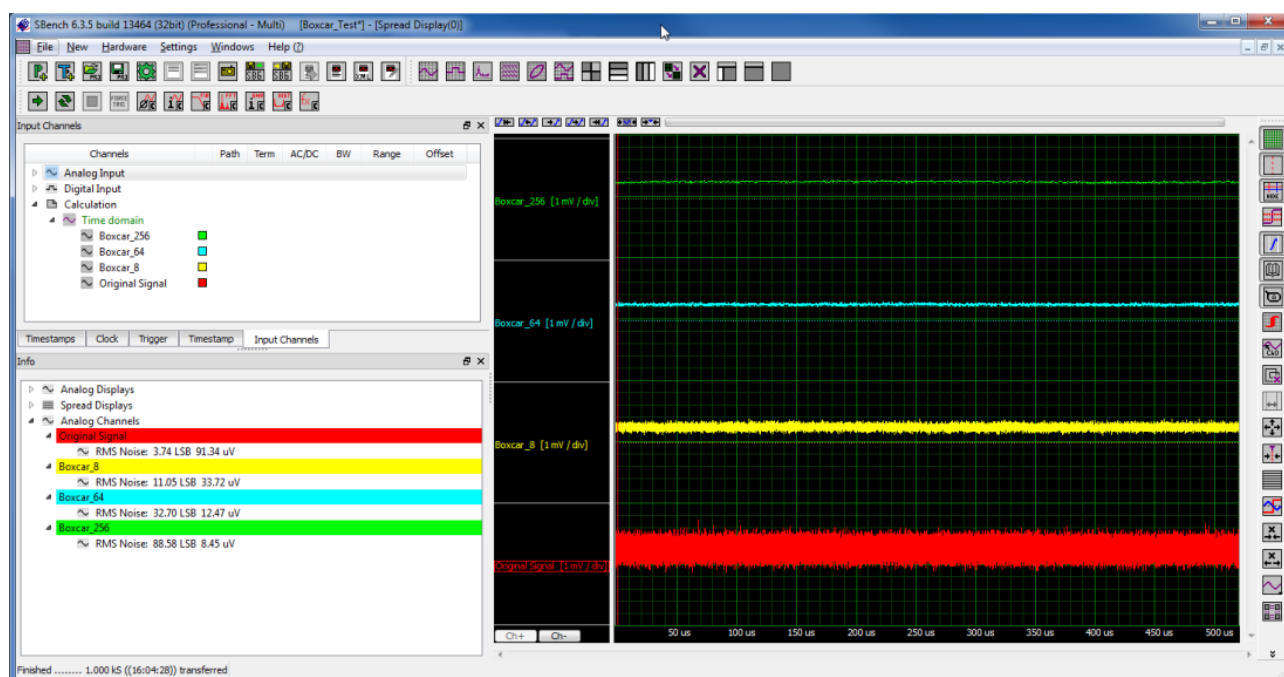


Figure 4 8、64、および 256 の係数によるボックスカー平均化をノイズのあるオープン入力信号（赤トレース）に適用して、RMS ノイズレベルへの影響を示します。

Figure 4 は、Boxcar Averaging が信号の絶対ノイズフロアを低減するためにどれだけ良好に機能するかを示しています。ここで、下のトレース（赤）は、M4i.4451-x8 デジタイザ（A/D ボード）によって取得された信号であり、500 MS/s で 14 ビットの分解能でサンプリングしています。トレースは、デジタイザ（A/D ボード）に信号が接続されていないときに観測される高いノイズフロアを示しています（事実上入力オープン）。RMS ノイズレベルは Spectrum 製 SBench6 分析ソフトウェアで測定され、「Info ボックス」（左下のウィンドウ）に 91.34  $\mu\text{V}$  と表示されます。8（黄色のトレース）、64（青のトレース）、および 256（緑のトレース）の係数で Boxcar 平均関数を適用すると、RMS ノイズが大幅に減少します。SBench6 は、それぞれ 33.72、12.47、8.45  $\mu\text{V}$  の減少を示しています。Boxcar Averaging は、信号に対する高ノイズレベルの影響を低減するだけでなく、重要なことに、低ノイズレベルの状況でも結果を改善します。たとえば、高精度の信号を使用する場合、Boxcar Averaging は ENOB で測定したデジタイザ（A/D ボード）のパフォーマンスを少なくとも 2 ビット改善できることをこのテストが示しています。SFDR や SNR 測

定などの他の動的パラメータも 12 dB 以上増加させることができます。

Table 1 は、高精度 1 MHz 正弦波を取得した際に Spectrum 製 M4i.4451-x8 デジタイザ (A/D ボード) の動的パフォーマンスパラメータを測定した結果を示しています。

	Standard Mode	Boxcar 8x	Boxcar 64x
SNR	68.1 dB	76.8 dB	80.5 dB
THD	-80.1 dB	-80.2 dB	-82.0 dB
SFDR excl.	74.7 dB	87.8 dB	88.0 dB
ENOB (SINAD)	11.0 LSB	12.2 LSB	12.7 LSB
ENOB (SNR)	11.0 LSB	12.5 LSB	13.1 LSB

Table 1 Spectrum M4i.4450-x8 デジタイザを使用して行われた動的パラメータ測定は、標準収集モードで使用され、Boxcar Averaging を使用し、高純度の 1 MHz 正弦波でテストしました。

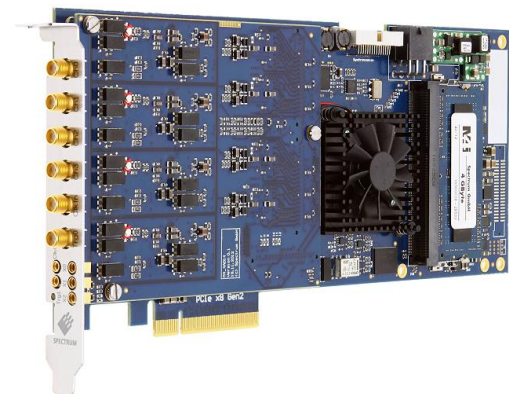
### キャッチとは何か：

Boxcar 平均化の欠点は、結果の波形が効果的にフィルタリングされるため、高周波信号の内容が失われる可能性があることです。有効なサンプリングレートは、Boxcar 平均化係数によって減少します。係数が高いほど、サンプリングレートは低くなり、結果のナイキスト周波数制限は低くなります。ただし、これでも利点になる場合があります。

Boxcar 平均化波形は平均化係数によって間引かれるため、保存された波形も同様です。その結果、オンボードメモリが少なくても済む波形が得られ、その後 PC に転送してより高速に処理できます。さらに、結果の波形が間引かれたとしても、Spectrum 社の実装により、平均信号とトリガー位置の間に常に非常に正確なタイミング関係が存在するように、トリガー検出が元の集録の最大サンプリング速度で実行されていることが確認されます。

### 簡単なソフトウェア統合：

Boxcar 平均化モードは FPGA ファームウェアで実装されますが、Spectrum 標準ドライバーキット (SDK) を使用して完全にプログラム可能です。SDK を使用すると、C ++、Visual Basic、VB.NET、C#、J#、Delphi、Java など、ほとんどすべての一般的な言語でプログラミングできます。LabVIEW、LabWindows、MATLAB 用のサードパーティ製ソフトウェアのサポートとサンプルも無料で利用できます。独自のプログラムを作成したくないユーザー向けに、Spectrum は、使いやすいグラフィカルユーザーインターフェイスである SBench 6-Pro を提供しています。SBench 6 は、デジタイザ (A/D ボード) のすべての動作モードと設定を制御します。波形表示、保存、処理、結果の文書化にも使用できます。



独自のプログラムを作成したくないユーザー向けに、Spectrum は、使いやすいグラフィカルユーザーインターフェイスである SBench 6-Pro を提供しています。SBench 6 は、デジタイザ (A/D ボード) のすべての動作モードと設定を制御します。波形表示、保存、処理、結果の文書化にも使用できます。

### まとめ：

対象の信号がデジタイザ (A/D ボード) のサンプリングレートを大幅に下回る周波数にある場合、Boxcar Averaging テクニックには多くの利点があります。従来の平均化方法とは異なり、Boxcar Averaging はシングルショットの取得に対して機能します。複数のトリガーイベントや繰り返し可能な信号は必要ありません。さらに、信号がオーバーサンプリングされると、Boxcar Averaging により、より高い分解能で振幅測定を行うことができ、デジタイザ (A/D ボー

ド) 全体の ENOB、SNR、および SFDR が改善されます。ボックスカー平均化波形も平均化係数によって間引きされます。そのため、保存された波形はサイズが小さくなり、より高速に転送および処理できます。



## 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](http://www.spectrum-instrumentation.com) を参照してください。