



life.augmented

STM32U5

MDF/ADF

マルチファンクション・デジタルフィルタ
オーディオ・デジタルフィルタ

Rev 1.0

STM32U5 シグマデルタモジュレータのデジタルフィルタのインタフェースのプレゼンテーションへようこそ。マルチファンクション・デジタルフィルタ（MDF）とオーディオ・デジタルフィルタ（ADF）の両方が対象となります。

アジェンダ

- 1 概要
- 2 ADF/MDF と DFSDM
- 3 ADF/MDF のプレゼンテーション



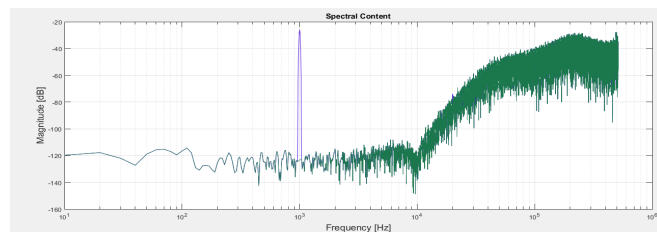
2

このプレゼンテーションは、次の3つのパートに分かれています。

- 最初に概要
- 次に、STM32U5にあるADF/MDF モジュールと STM32L5にあるDFSDM モジュールの比較。DFSDM は、Digital filter for Sigma-Delta modulators interface（シグマデルタモジュレータのデジタルフィルタインタフェース）の略です。
- 最後に、ADF および MDF モジュールの詳細説明

- MDF は **M**ulti-**f**unction **D**igital **F**ilter(マルチファンクション・デジタルフィルタ)の略です
- ADF は **A**udio **D**igital **F**ilter(オーディオ・デジタルフィルタ)の略です
- ADF は MDF のサブセットで、サウンドアクティビティ検出器を備えています
- ADF/MDF は、シグマデルタ A/D コンバータを使用した外部センサの接続専用です
- ADF/MDF の対象用途は次のとおりです
 - モータ制御
 - オーディオのキャプチャと検出
 - 計測

SDM4 量子化ノイズの例



マルチファンクション・デジタルフィルタ（MDF）とオーディオ・デジタルフィルタ（ADF）は、サンプル取得用の外部シグマデルタ（ $\Sigma\Delta$ ）モジュレータの接続専用の高性能モジュールです。

また、設定可能なフィルタ機能もサポートしています。

ADF は MDF のサブセットですが、サウンドアクティビティ検出器は ADF でのみサポートされています。

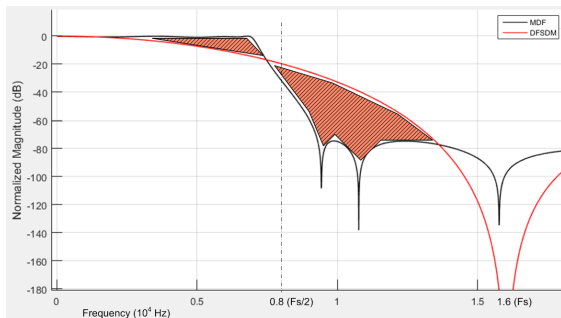
ADF と MDF の対象用途は次のとおりです。

オーディオのキャプチャと検出

計測

また、MDF はモータ制御用に使用できます。

右の図に示しているのは、4 次シングルビットシグマデルタ ADC によって変換された正弦波のスペクトルの例です。MDF と ADF の主な目的は、低周波数部分（ここでは最大 10 kHz の信号）を保ち、量子化ノイズを除去し、サンプリングレートを下げることです。



DFSDM ブロックから ADF/MDF へ

DFSDM と比較した場合の ADF/MDF の主な改良点:

- 自律モードをサポート
- 必要なカーネルクロックはビットストリームレートの 2 倍だけ
- $F_s/2 \sim F_s$ 帯域でのイメージ除去の向上
- 帯域内ドループの改善
- ハイパスフィルタの追加
- 約 3dB のゲイン/減衰ステップ
- 飽和ブロック
- ボイス/サウンドアクティビティ検出器

利点:

- 消費電力の削減
- 音声キャプチャの品質の向上
- より高度なトリガ検出



STM32L5 には、DFSDM と呼ばれるモジュールが搭載されています。DFSDM は、シグマデルタモジュレータのデジタルフィルタデジタルフィルタインタフェースの略です。

ADF/MDF の改良点を DFSDM と比較して示します。

まず、ADF と MDF は低電力バックグラウンド自律モード (LPBAM) に対応しているため、ソフトウェアを実行していなくても、これらのペリフェラルは STOP モードでも機能し、自律的に動作することができます。

クロッキングの利点としては、DFSDM のカーネルクロックはビットストリームレートの 4 倍が必要なのにに対し、ADF/MDF では 2 倍で済みます。

サンプリング周波数の半分からサンプリング周波数までの周波数範囲で、ADF/MDF ではイメージ除去が向上します。左の図を参照してください。

ADF/MDF に実装されたカスケード接続積分器楕形 (CIC) フィルタでも、帯域内ドループが改善されています。

入力信号から低周波数ノイズを除去するためのハイパスフィルタが追加されています。

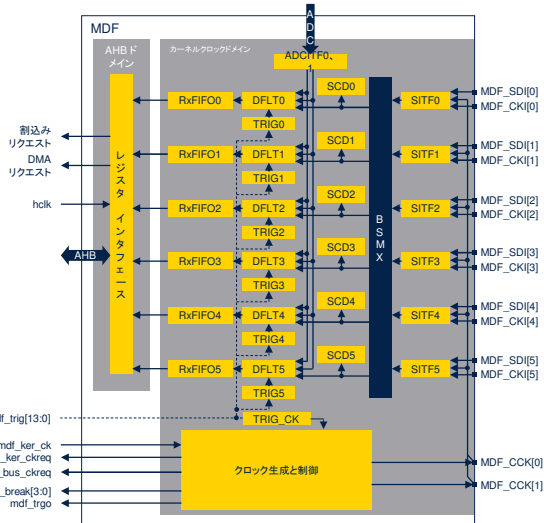
ゲインまたは減衰は、3 デシベルの精度で調整できます。

ADF/MDF には、コードが最大値または最小値を超えた場合にバイナリコードのラップアラウンドを防止する飽和ブロックも搭載されています。

最後に、ADF は、ボイス/サウンドアクティビティ検出器に対応しています。

これらすべての技術革新が、消費電力の低減とスピーチキャプチャの品質向上に貢献しています。

柔軟性の高いトリガインタフェースを使用して、変換の開始を制御できます。このタイミング制御により、同時変換をトリガしたり、変換の間にプログラム可能な遅延を挿入したりすることができます。



MDF は以下を備えています

- 外部センサ接続用の 2 つの共通クロック付きの 6 つのフレキシブルシリアルインターフェース (SITF)
- 任意のシリアルインターフェースから任意のデジタルフィルタへの接続が可能なフルマトリックス (BSMX)
- モータ制御、計測、オーディオキャプチャのために設定可能な 6 つのフレキシブルデジタルフィルタ (DFLTx)
- フィルタ取得を制御するための柔軟性の高い TRIGGER インターフェース
- その他の様々な機能: 短絡検出器 (SCD)、飽和、ゲイン制御、スナップショット、ADCITF...
- 柔軟性を向上させ、消費電力を低減するためのデュアルクロックドメイン

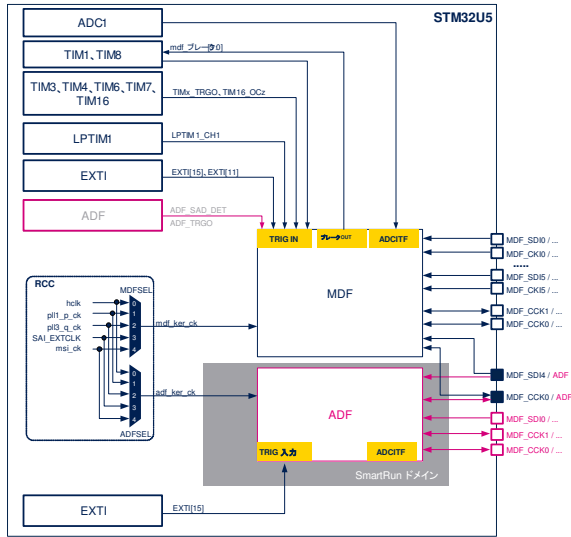
MDF にはいくつかの機能が組み込まれており、オーディオキャプチャ、モータ制御、計測アプリケーション用のシグマデルタモジュレータとのインターフェースに非常に適しています。

MDF は以下を備えています。

- 6 つのフレキシブルシリアルインターフェース (SITF) と、外部センサ接続用の 2 つの共通クロック (入力/出力)
- 任意のシリアルインターフェースから任意のデジタルフィルタへの接続が可能なフルデジタルマトリックス (BSMX)
- モータ制御、計測、オーディオキャプチャのために設定可能な 6 つのフレキシブルデジタルフィルタ (DFLT)
- 内部 ADC 用の 2 つの平行インターフェース。STM32U5 では ADC1 と MDF との相互接続のために 1 つだけを使用
- フィルタ取得を制御するための柔軟性の高い TRIGGER インターフェース
- その他の様々な機能: 短絡検出器 (SCD)、境界外検出器、クロック無検出回路、飽和、ゲイン制御、スナップショット

MDF では 2 つのクロックドメインにより、柔軟性を高めて消費電力を低減します。

MDF と ADF の実装



- MDF はメインドメインにあります
- ADF は SmartRun ドメインにあります
- MDF と ADF は同じ I/O を共有し、必要に応じて同じマイクロフォンを共有します
- MDF ではいくつかのトリガが発生する可能性があります
- ADF では、音声を検出されたとき、または取得が開始されたときに MDF をトリガできます



7

このスライドは、STM32U5 での MDF と ADF の実装を示しています。

MDF はメインドメインにあり、ADF は低消費電力アプリケーション向けに SmartRun ドメインにあります。そのため、STOP 2 では ADF は自律的に動作します。興味深いユースケースは、ボイス検出の場合の ADF からのウェイクアップリクエストです。

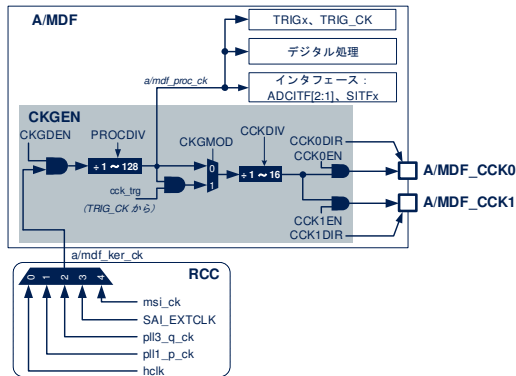
必要に応じて同じマイクロフォンを共有できるように、一部のピンは MDF と ADF で共有されます。

MDF は、タイマ、EXTI などのいくつかのペリフェラルによってトリガできます。

サウンドが検出されたとき、または取得が開始されたときに、ADF は MDF をトリガできます。

トリガの詳細については、このプレゼンテーションの後半で説明します。

クロックジェネレータ(CKGEN)



- RCC には、A/MDF カーネルクロック用に豊富なクロックソースの選択肢が用意されています
- ほとんどの処理は、カーネルクロックを PROCDIV で除算して実行されます (a/mdf_proc_ck)
- A/MDF_CCK[1:0] ピンは、CCK[1:0]DIR に応じて出力にも入力にもできます
- A/MDF_CCK[1:0] は、a/mdf_proc_ck を CCKDIV で除算して導かれます



Life augmented

8

RCC には、MDF および ADF カーネルクロック用に豊富なクロックソースの選択肢が用意されています。

SAI_EXTCLK と pll1_p_ck ソースは、SAI カーネルクロックに共通です。

MSIK のクロック周波数は、16 種類の周波数から選択できます。

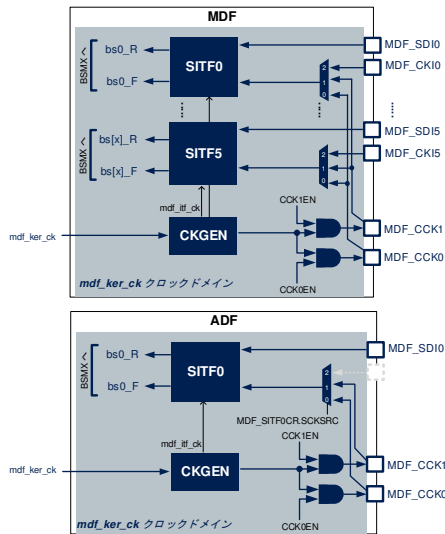
内部処理については、MDF および ADF では、カーネルクロックを PROCDIV プリスケーラで除算して得られる処理クロックを使用します。

この処理クロックは、シリアルインタフェース、ADC インタフェース、トリガ機能、デジタルフィルタ、短絡検出器、境界外検出器に使用されます。

MDF_CCK および ADF_CCK ピンは、CCKDIR に応じて出力にも入力にもできます。

MDF_CCK クロックが ADF または MDF によって生成される場合、それらはカーネルクロックを CCKDIV で除算したものから導かれます。

シリアルインタフェース(SITF)



- ADF/MDF は、いくつかのシリアルモードをサポートしています
 - SDR または DDR モードの SPI
 - マンチェスタモード
- 最適な柔軟性を得るために、各 SITF は以下を使用できます
 - MDF_CCKIx パッドの専用シリアルクロック
 - ADF/MDF によって生成された、あるいは MDF_CCK0 または 1 パッドから受信した共通クロック
- サポートされている最大速度は 25MHz です
- ADF/MDF では、オーディオアプリケーション (MASTER_LF モード) の場合、シリアルリンクの速度の 2 倍のカーネルクロックのみ必要になります



9

MDF は、2 つの主要なシリアルモードをサポートしています。

- SDR または DDR モードの SPI
- マンチェスタモード

より高い柔軟性が必要な場合、MDF の各シリアルインタフェースで以下を使用できます。

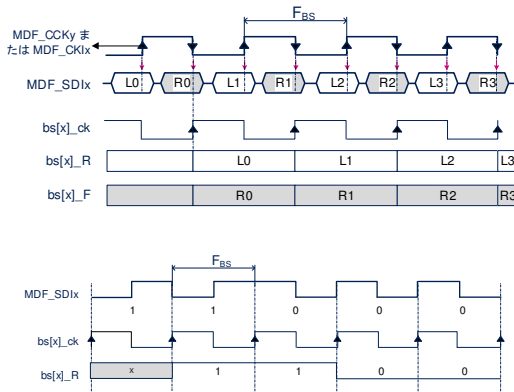
- 専用パッドからのそれ自身のシリアルクロック入力
- MDF によって生成された、あるいは MDF_CCK0 または 1 パッドから受信した共通クロック

ADF は、シリアルインタフェースクロック入力に対応していません。

サポートされている最大速度は 25MHz です。

オーディオアプリケーションの場合、MDF では、シリアルリンクレートの 2 倍のカーネルクロックのみ必要になります。

シリアルインタフェース (SITF)



- SPI モードでは、各シリアルインタフェースにより以下が提供されます。
 - ビットストリームクロック (bs[x]_R) の立ち上がりエッジでサンプリングされたデータ
 - ビットストリームクロック (bs[x]_F) の立ち下がりエッジでサンプリングされたデータ
- マンチェスタモード:
 - 外部ビットストリームクロック信号は必要ありません
 - データは bs[x]_R で使用可能です
- SPI またはマンチェスタモードでは、クロックなしを検出できます



Life. augmented

10

SPI モードでは、シリアルインタフェースによりシリアルクロックの立ち下がりおよび立ち上がりエッジで入力データがサンプリングされます。

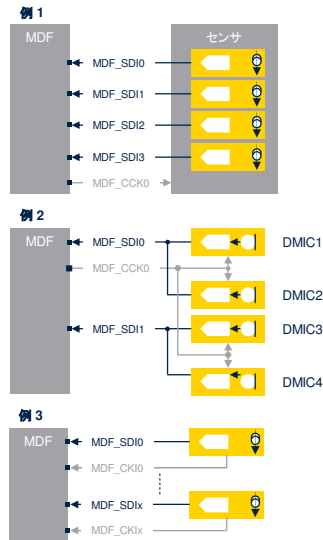
各シリアルインタフェースは、デジタルビットストリームマトリックスへの2つのデータストリームを備えています。

- シリアルクロック (bs[x]_R) の立ち上がりエッジでサンプリングされたデータを表すもの
- シリアルクロック (bs[x]_F) の立ち下がりエッジでサンプリングされたデータを表すもの

マンチェスタモードでは、クロックはデータストリームから復元されます。有効なデータは、bs[x]_R 出力で使用できます。

クロック無検出を使用すると、アプリケーションは、定義された期間にクロックなしの遷移がないかどうかを検出できます。

接続例(SITF)



- 例 1
 - 共通のビットストリームクロックを持つ複数のセンサ
 - ビットストリームクロックをセンサまたは MDF により供給
- 例 2
 - 4 つのデジタルマイクロフォンをシンプルに接続
 - すべてのマイクロフォンが同じクロックを共有
 - 各マイクロフォンペアは同じデータラインを共有
- 例 3
 - 独立したクロックを持つ独立したセンサ



11

例 1 では、複数のセンサが同じビットストリームクロックを共有する場合を示しています。

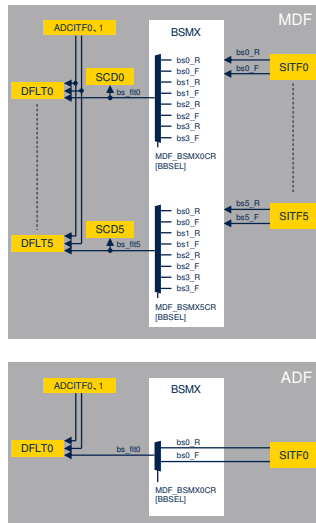
MDF では、この図のように共通ビットストリームクロックを提供することも、外部センサから共通ビットストリームクロックを受信することもできます。

2 番目の例では、複数のデジタルマイクロフォンの接続を示しています。4 つのマイクロフォンを接続するために必要な IO パッドは 3 つだけです。

各マイクロフォンペアは 1 本のデータラインを共有します。専用のクロック信号を持つ 1 本のマイクロフォンを用意し、そのマイクロフォンをアクティブに保ち、他のマイクロフォンを STANDBY にすることもできます。

例 3 では、独立型センサが MDF に接続された場合を示しています。各データラインには、独自の専用クロックがあります。

ビットストリームマトリックス (BSMX)



- BSMX はすべてのシリアルインタフェース (SITF_x)からビットストリームを受信します
- BSMX は、選択された入力をデジタルフィルタ (DFLT_x)に供給します
- 各フィルタパスに対して、任意のビットストリーム入力を選択できます

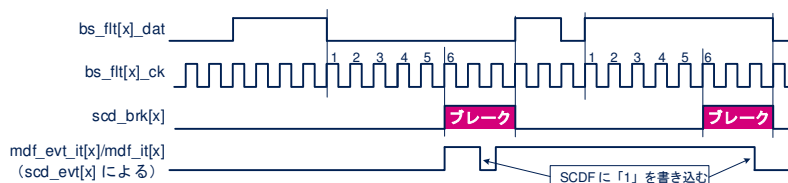
BSMX は、すべてのシリアルインタフェースからビットストリームを受信し、選択された入力をデジタルフィルタに供給します。

各フィルタに対して、任意のビットストリーム入力を選択できます。

各シリアルインタフェースには、2つのストリームがあります。1つは立ち下がリエッジでサンプリングされたデータのもの、もう1つは立ち上がりエッジでサンプリングされたデータのものです。

非常に短い応答時間で短絡または開回路状態を検出

- SCD では、入力ビットストリームが一定の時間、最小値または最大値に固定されているかどうか、非常に短い応答時間で検出されます。
- これは、短絡または開回路エラー（過電流や過電圧など）の検出に使用できます。
- 割込み/ブレークイベントを生成できます
ブレークイベントを使用して、パワーステージの非常停止ができます
- 選択されたビットストリームごとに、SCD ブロックを使用できます



SCD は、入力ビットストリームが一定の時間、最小値または最大値に固定されているかどうかを、非常に短い応答時間で検出します。

アプリケーションにより、ビットストリームが同じ値を保持する時間をプログラムできます。プログラムされた値よりも長い時間、ビットストリームが固定されたままになっている場合、割込みとブレークイベントを生成することができます。

ブレークイベントを使用すると、ブレーク信号をアサートして、パワーステージを非常停止させることができます。

SCD は、短絡または開回路エラー（過電流や過電圧など）の検出に使用します。

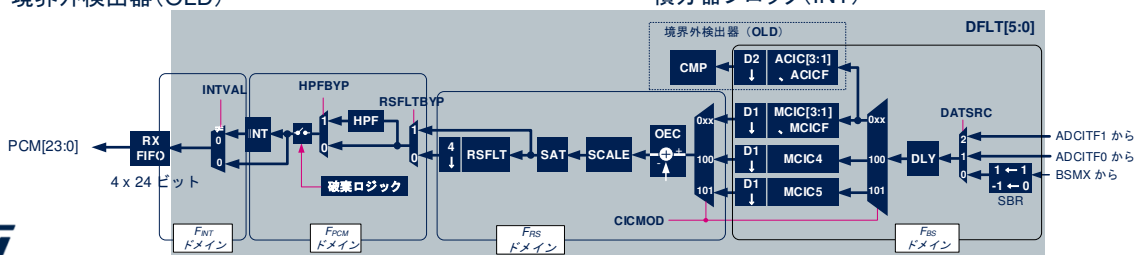
選択したビットストリームごとに、SCD ブロックを使用できます。

この図では、入力ビットストリームが 5 ビットストリームクロックサイクルを超えて同じ値に固定されたままになった場合に、割込みおよびブレークイベントが生成される例を示しています。

非常に柔軟性の高いデジタルフィルタチェーン

MDF は 6 個のデジタルフィルタが内蔵され、次の機能で構成されています。

- 遅延ブロック(DLY)
- Sinc および FastSinc フィルタ(MCIC, MCICF)
- オフセットエラー訂正(OEC)
- 境界外検出器(OLD)
- スケールブロック(SCALE)
- 再形成フィルタ(RSFLT)
- ハイパスフィルタ(HPF)
- 積分器ブロック(INT)



14

MCF デジタルフィルタにはいくつかのブロックが内蔵されているため、非常に柔軟にフィルタ設定が行えます。

最も重要な部分は次のとおりです。

- データソースセレクタ
- 遅延ブロック
- メインのカスケード接続積分器楕形(CIC)フィルタ(MCIC とも呼ばれる)
- 補助 CIC フィルタ(ACIC とも呼ばれる)。このフィルタは、境界外検出器(OLD)と呼ばれる機能に含まれます。
- オフセットエラー訂正
- ゲイン調整(SCALE)
- 再形成フィルタ(RSFLT)
- ハイパスフィルタ(HPF)
- 破棄機能
- 積分器(INT)

デジタルフィルタは複数の段階で設定できるため、フィルタのすべての部分が同じ周波数で機能するわけではありません。

これは Fbs 周波数ドメインと呼ばれ、ビットストリームクロックで機能するクロックドメインです。

Frs ドメインは再形成フィルタの周波数で機能するドメインであり、Fpcm は再形成フィルタの出力でのサンプリングレートです。

最後に、Fint 周波数ドメインは、RX-FIFO に格納されているサンプルの最終的なサンプリングレートです。

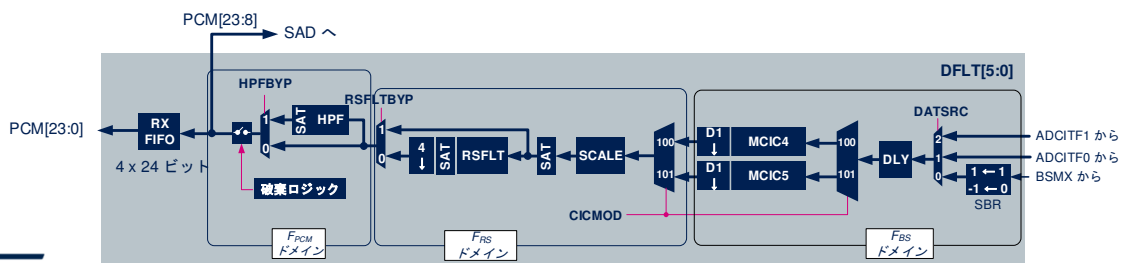
最終ステージでは、フィルタによって処理されたデータを RxFIFO に格納します。

フィルタは処理クロックで機能することにも注意してください。

非常に柔軟性の高いデジタルフィルタチェーン

ADF デジタルフィルタにはいくつかのブロックが内蔵されていて、構成要素は次のとおりです。

- 遅延ブロック(DLY)
- 再形成フィルタ(RSFLT)
- Sinc4 および Sinc5 フィルタ(MCIC)
- ハイパスフィルタ(HPF)
- スケールブロック(SCALE)



ADF デジタルフィルタにはいくつかのブロックが内蔵されているため、非常に柔軟にフィルタ設定が行えます。

最も重要な部分は次のとおりです。

- データソースセレクタ
- 遅延ブロック
- メイン CIC フィルタ(MCIC と呼ばれる)
- 補助 CIC フィルタ(ACIC と呼ばれる)このフィルタは、境界外検出器(OLD)と呼ばれる機能に含まれます。
- 供給エラー訂正
- ゲイン調整(SCALE)
- 再形成フィルタ(RSFLT)
- ハイパスフィルタ(HPF)
- 破棄機能
- 積分器(INT)

デジタルフィルタは複数の段階で設定できるため、すべてのフィルタ部が同じ周波数で機能するわけではありません。

これは Fbs 周波数ドメインと呼ばれ、ビットストリームクロックで動作するクロックドメインです。

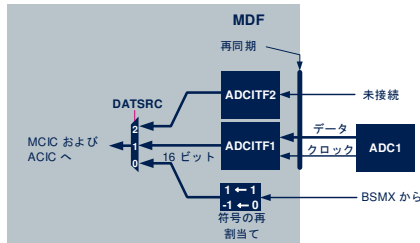
Frs ドメインは再形成フィルタの周波数で機能するドメインであり、Fpcm は再形成フィルタの出力でのサンプリングレートです。

最後に、Fint 周波数ドメインは、RX-FIFO に格納されているサンプルの最終的なサンプリングレートです。

最終ステージでは、フィルタによって処理されたデータを RxFIFO に格納します。

フィルタは処理クロックで機能していることにも注意してください。

デジタルフィルタ(データソース)



- データソースとして以下が使用できます
 - BSMX によって供給されるストリーム
 - ADC1 によって供給されるサンプル
- BSMX から供給されるシリアルデータは、一連の「+1」、「-1」の符号に再割当てされます
- MDF の場合のみ、ADC1 によりサンプリングクロックの周期でパラレルデータが供給されます

デジタルフィルタによって処理されたサンプルは、BSMX または ADC1 から供給されます。

BSMX からシリアルビットストリームが供給され、符号のリマップを利用してこのビットストリームが一連のプラス 1 と マイナス 1 に変換されます。

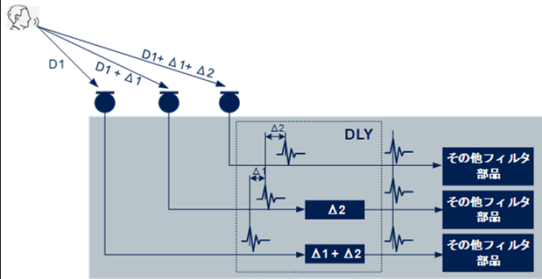
ADC1 から供給されたサンプルは、ADC インタフェースの 1 番目の ADCITF1 によって再同期されます。

ADC1 により、サンプルとサンプリングクロックが供給されます。

ADF は ADC に接続されていません。

デジタルフィルタ – ビットストリーム遅延 (DLY)

ビームフォーミング用の高分解能遅延



- DLY ブロックでは、各ビットストリーム間の遅延を微調整できます
- この機能は、デジタルマイクロフォンアレイを使用したオーディオビームフォーミングに必要です
- 性能を低下させたり処理に影響を与えたりすることなく、マイクロフォンを互いに近くに配置することができます
- 主な機能:
 - 分解能: 1 ビットストリームクロック周期
 - 遅延範囲: 通常は PCM 1 周期ですが、これより大きくすることもできます (制限は RX-FIFO の深さによって与えられます)
 - 動的に変更できます
 - ADC インタフェースでも機能します



17

遅延ブロックを使用すると、1 つ以上のデータパスを他より遅延させることができます。

遅延を実行するには、デシメーションの前に一定のサンプル数をスキップします。

遅延の粒度は、ビットストリームクロックレートまたは ADC から供給されるサンプルクロックレートによって決まります。

この機能は、マイクロフォンを使用したビームフォーミングアプリケーションに有益です。

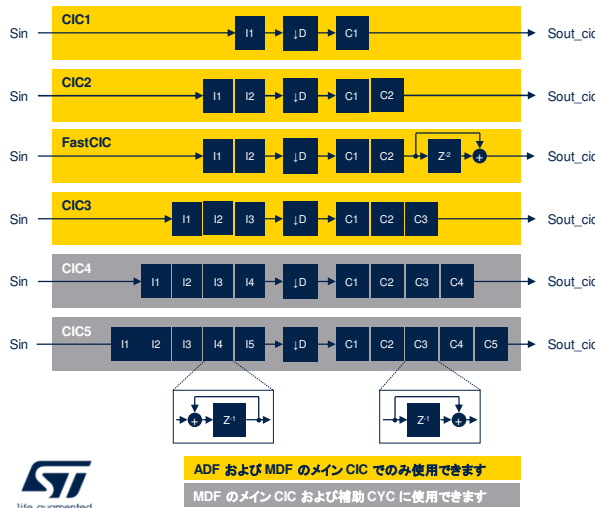
たとえば、16 kHz、デシメーション 64 の標準的なスピーチキャプチャでは、DLY ブロックの分解能は約 976 ナノ秒で、音声は 976 ナノ秒中に約 0.33 mm 進みます。デシメーション率が増加すると、それに比例して分解能も向上します。

遅延範囲は RX-FIFO の深さに依存しますが、通常はこのブロックを使用して 1 PCM サンプル周期以上を遅延させる必要はありません。

さらに長い遅延が必要な場合は、ソフトウェアによる方法や破棄ブロックの使用といった他の手段が必要となります。

デジタルフィルタ – CIC

柔軟性の高い CIC アーキテクチャ



- CIC は、3 つの設定に対応しています
- メインおよび補助フィルタ:
(モータ制御専用の設定)
- メインフィルタは CIC1、2、3、FastCIC のいずれかにすることができます
- 補助フィルタは CIC1、2、3、FastCIC のいずれかにことができ、境界外検出器 (OLD) によって使用されます。
- CIC4 を使用したメインフィルタ: (一般にオーディオまたは計測に使用される設定)
- 境界外検出器は使用できません
- CIC5 を使用したメインフィルタ: (一般にオーディオまたは計測に使用される設定)
- 境界外検出器は使用できません
- ADF は CIC4 および CIC5 のみに対応します



ADF および MDF のメイン CIC でのみ使用できます
MDF のメイン CIC および補助 CIC に使用できます

18

略語 CIC は、Cascaded Integrator-Comb (カスケード接続積分器櫛型) フィルタの略です。

MDF には柔軟性の高い 1 つの CIC フィルタが内蔵されており、2 つのフィルタ (補助フィルタとメインフィルタ) に分割することも、1 つのメインフィルタとして使用することもできます。

CIC は、3 つの設定に対応しています

- メインおよび補助フィルタこの設定はモータ制御専用です。
この設定では、メインフィルタは CIC1、CIC2、CIC3、FastCIC のいずれかにすることができます。
また、補助フィルタも CIC1、2、3、FastCIC のいずれかにことができ、境界外検出器 (OLD) に使用されます。
- CIC フィルタは、CIC4 または CIC5 で単一のメインフィルタとして設定することもできます。
これら 2 つの設定は、通常、オーディオまたは計測アプリケーションで使用されます。
この場合、境界外検出器は使用できません。

ADF は CIC4 および CIC5 の設定のみに対応することに注意してください。

デジタルフィルタ – CIC

大きなデシメーション範囲

メインおよび補助 CIC フィルタは、最大 26 ビットの出力データサイズ (DS_{CIC}) に対応します

出力データサイズは、入力信号振幅 (DS_{IN})、デシメーション率 (D)、および CIC 次数 (N) の関数です

$$DS_{CIC} = \left(\frac{N \cdot \ln(D)}{\ln(2)} \right) + DS_{IN}$$

$$G_{CIC} = D^N$$

メイン CIC のデシメーション率範囲 (1)

- CIC1 および CIC2 では最大 512
- CIC3 では最大 322
- CIC4 では最大 76
- CIC5 では最大 32

補助 CIC のデシメーション率範囲 (1)

- 最大 32 のデシメーション率



(1) シリアルインタフェース (SITF) から入力データを取得する場合

19

CIC データサイズは 26 ビット固定です。

CIC フィルタのゲインは、デシメーション率 (D) と次数 (N) によって決まります。

データサイズについても同様です。

CIC フィルタの出力で信号振幅が 26 ビットを超えないようにするため、デシメーション率と次数を調整する必要があります。

この要件を満たすため、このスライドではフィルタの次数に応じた最大デシメーションを示しています。CIC n は n 次のフィルタです。

CIC 転送関数

CIC 特性:

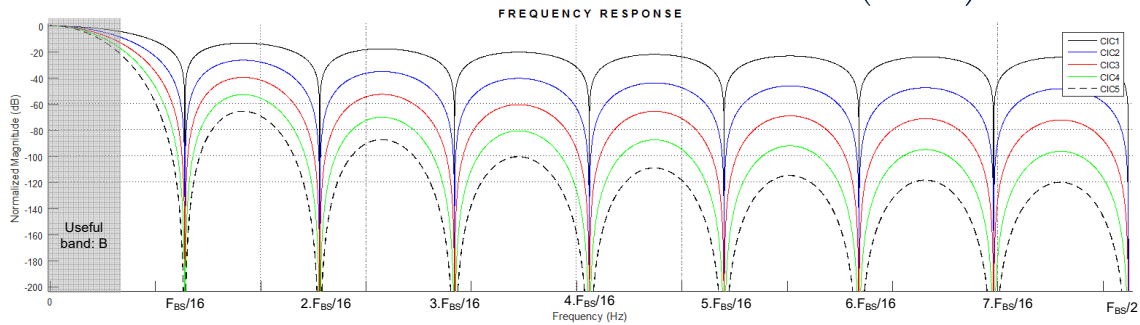
- 高次数ほど有効帯域での減衰が強くなります(B)
- ゼロは $k \cdot F_{BS} / \text{dec}$ にあります

以下の図は dec = 16 の場合です

$$H(z) = \left(\frac{1 - z^{-D}}{1 - z^{-1}} \right)^N$$

高速 CIC 転送関数 (MDF のみ):

$$H(z) = \left(\frac{1 - z^{-D}}{1 - z^{-1}} \right)^2 \cdot (1 + z^{-(2 \cdot D)})$$



20

CIC は、加算器に基づく非常にシンプルなフィルタ構造を備えています。

次数が高いほど高周波成分の減衰が大きくなりますが、有効帯域にドループも生じます。

ゼロの数はデシメーション率によって決まり、 $F_{BS}/\text{デシメーション}$ の倍数です。

この図には、デシメーション率を 16 とした場合の CIC フィルタの周波数応答を示しています。



- MCIC から供給される信号から定数値を減算することができます
 - 値 OFFSET[25:0] が入力信号から減算されます
- OFFSET 値を動的に変更することができます
- 飽和ブロックによりラップアラウンドが防止されます

オフセットエラー訂正ブロックを使用して、MCIC から供給される信号から DC 成分値をキャンセルすることができます。

入力信号から値 OFFSET[25:0] が減算されます。

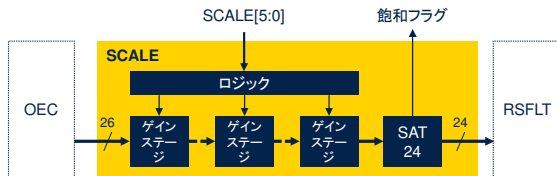
アプリケーションでは、必要に応じてこの OFFSET 値を動的に変更できます。

さらに、飽和ブロックによりラップアラウンドの問題が防止されます。

飽和が発生した場合は、アプリケーションに通知するために飽和フラグがセットされます。

デジタルフィルタ – SCALE

飽和ブロックを使用した広いゲイン範囲



- 幅をフィルタ設定と対象アプリケーションに合わせるために SCALE ブロックが必要です
- 次のように調整する必要があります
 - RSFLT が有効な場合、RSFLT の入力でデータ幅を 22 ビットに制限します
 - その他の場合のデータ幅を 24 ビットに制限します
- ゲインステップは 3 dB (+/- 0.5 dB) です
- ゲイン範囲は +72 dB (+12 ビット) ~ -48 dB (-8 ビット) です
- ゲイン値は動作中に変更できます
- ゲインステージの後、24 ビットまで飽和が行われます



22

幅をフィルタ設定と対象アプリケーションに合わせるために SCALE ブロックが必要です。

再形成フィルタを使用する場合、SCALE ブロックの出力の信号は 22 ビットを超えてはなりません。

再形成フィルタがバイパスされる場合、SCALE ブロックの出力の信号は最大 24 ビットとすることができます。

ゲインステップは 3 dB ± 0.5 dB です。

ゲイン範囲は +72 dB ~ -48 dB です。

ゲイン値は動作中に変更できます。

信号幅を 24 ビットに制限するために、SCALE ブロックの出力で飽和化が行われます。

デジタルフィルタ – SCALE

- 信号品質を最適化するには、ゲインを正しく調整する必要があります
- RX-FIFO に格納される信号は、できるだけ 24 ビットに近くする必要があります
- RSFLT に供給される信号は 22 ビットを超えてはなりません

最大ゲイン値と設定およびデシメーション率:

デシメーション率	SITF → CICx → RSFLT → (HPF)				SITF → CICx → (HPF)			
	CIC5	CIC4	CIC3	CIC2	CIC5	CIC4	CIC3	CIC2
8	33.6 dB	51.7 dB	69.7 dB	72.2 dB	45.7 dB	63.7 dB	72.2 dB	72.2 dB
12	18.1 dB	39.6 dB	60.2 dB		30.1 dB	51.7 dB		
16	3.5 dB	27.6 dB	51.7 dB		15.6 dB	39.6 dB		
24	-12 dB	15.6 dB	42.1 dB	69.7 dB	0 dB	27.6 dB	54.2 dB	72.2 dB
32	-26.6 dB	3.5 dB	33.6 dB	63.7 dB	-14.5 dB	15.6 dB	45.7 dB	
48	-	-8.5 dB	24.1 dB	57.5 dB	-	3.5 dB	31.6 dB	69.7 dB
64	-	-20.6 dB	15.6 dB	51.7 dB	-	-8.5 dB	27.6 dB	63.7 dB
128	-	-	-2.5 dB	39.6 dB	-	-	9.5 dB	51.7 dB
256	-	-	-20.6 dB	27.6 dB	-	-	-8.5 dB	39.6 dB



23

理想的には、フルスケール入力信号の場合、再形成フィルタに供給される信号はできるだけ 22 ビットに近いサイズにする必要があります。

再形成フィルタを使用しない場合、信号サイズはできるだけ 24 ビットに近くする必要があります。

ゲインが小さざると、信号対雑音比が低下することがあります。ゲインが大きざると、飽和が発生する可能性があります。

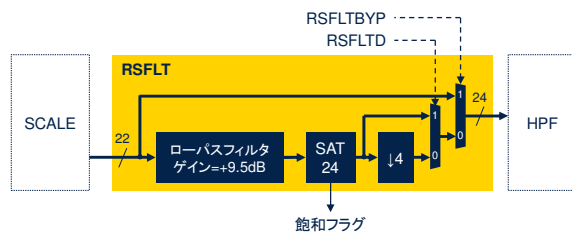
このスライドの表は、いくつかのフィルタ設定に対する最適ゲイン値を示しています。

再形成フィルタが有効な場合は表の左側が適用され、再形成フィルタがバイパスされる場合は表の右側が適用されます。

また、アプリケーションによっては、異なるゲイン設定が必要な場合があることにも注意してください。

デジタルフィルタ – RSFLT

帯域内リップルとイメージ除去の向上



- RSFLT は、イメージ除去と帯域内リップルを向上させるように設計されたローパスフィルタです
- RSFLT では、サンプルの出力のために 24 サイクルの `mdf_proc_ck` が必要です
- RSFLT はバイパスが可能です
- RSFLT では、フィルタリング後に 4 でのデシメーションが実行されます
 - 必要に応じて、4 でのデシメーションをバイパスできます
- 24 ビットまでの飽和化



24

再形成フィルタは、イメージ除去と帯域内リップルを向上させるように設計されたローパスフィルタです。

再形成フィルタでは、フィルタリング後に 4 でのデシメーションが実行されます。再形成フィルタは、完全にバイパスすることも、4 のみでのデシメーションをバイパスすることもできます。

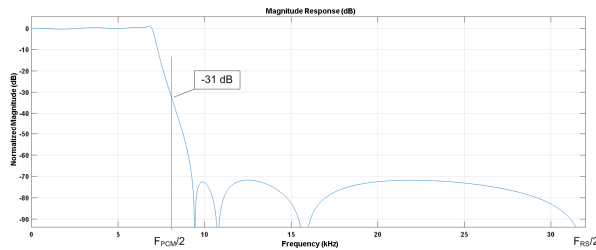
この機能は、ソフトウェアで追加の処理を実行する必要がある場合に役立ちます。

再形成フィルタでは、サンプルの出力のために 24 サイクルの `mdf_proc_ck` が必要です。

ローパスフィルタの後、24 ビットまでの飽和化が実行されます。

デジタルフィルタ – RSFLT

帯域内リップルとイメージ除去の向上



- カットオフ周波数は $0.444 \times F_{PCM}$ 固定です。
 - $F_{PCM} = 16 \text{ kHz}$ の場合、カットオフ周波数は $7,100 \text{ Hz}$ です
 - $F_{PCM} = 48 \text{ kHz}$ の場合、カットオフ周波数は $21,000 \text{ Hz}$ です
- 帯域内リップルは $\pm 0.4 \text{ dB}$ です
- ストップバンドの減衰量は $F_{PCM} / 2$ で 30 dB です
- フィルタゲインは約 $+9.5 \text{ dB}$ です



25

次の図に、4 でのデシメーションを行わない再形成フィルタのみの転送関数を示します。

カットオフ周波数は $0.444 \times F_{pcm}$ 固定です。

帯域内リップルは $\pm 0.4 \text{ dB}$ です。

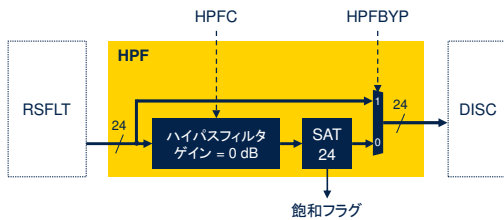
ストップバンドの減衰量は、 F_{pcm} の 2 分周で 30 dB です。

帯域外ノイズは、 70 dB を超えるビットにより減衰されます。

フィルタゲインは約 $+9.5 \text{ dB}$ です。

デジタルフィルタ – HPF

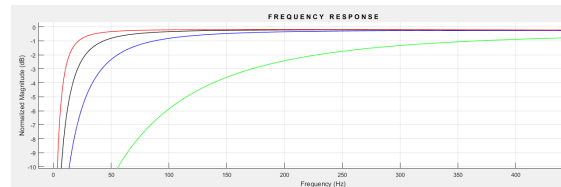
調整可能なハイパスフィルタ



- HPF は、低周波数成分をキャンセルするように設計された 1 次ハイパスフィルタです
- 選択可能な 4 つのカットオフ周波数 (表を参照):

カットオフ周波数の選択	$F_{PCM} = 16\text{kHz}$ でのカットオフ周波数	$F_{PCM} = 48\text{kHz}$ でのカットオフ周波数
$0.000625 \times F_s$	10 Hz	30 Hz
$0.00125 \times F_s$	20 Hz	60 Hz
$0.0025 \times F_s$	40 Hz	120 Hz
$0.0095 \times F_s$	152 Hz	456 Hz

赤 = $0.000625 \times F_s$ 、黒 = $0.00125 \times F_s$ 、青 = $0.0025 \times F_s$ 、緑 = $0.0095 \times F_s$



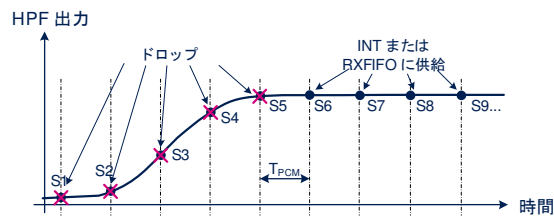
26

HPF は、バイパス可能な低周波数成分をキャンセルするように設計された 1 次ハイパスフィルタです。
 HPF は選択可能な 4 種類のカットオフ周波数を備えています。
 HPF のゲインは 0 dB です。
 次の表に、16 および 48 kHz でのオーディオキャプチャの例を示します。
 HPF 出力は 24 ビットまで飽和化されます。
 4 つのカットオフ周波数に対する応答周波数がチャートにプロットされています。

デジタルフィルタ – DISC

最初に受信したサンプルを削除できます

- センサのインパルス応答または整定時間に起因するフィルタ遷移をマスクするために、破棄ブロックを使用して、デジタルフィルタによって供給された最初のサンプルをキャンセルすることができます
- 破棄機能を使用して、（デシメートされたレートで）取得を遅延させることもできます。
- 最大 256 サンプルを破棄できます



27

MDF では、再起動のたびに破棄するサンプル数をプログラムすることができます。

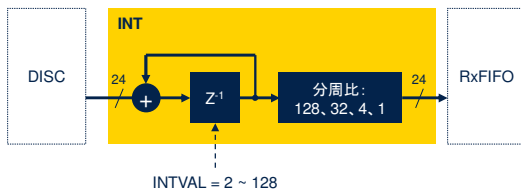
破棄ブロックでは、センサのインパルス応答または整定時間に起因するフィルタ遷移をマスクするために、デジタルフィルタによって供給された最初のサンプルを破棄することができます。

破棄機能を使用して、（デシメートされたレートで）取得を遅延させることもできます。

最大 256 サンプルを破棄できます。

図に示した例では、破棄機能を使用して、デジタルフィルタから供給された最初の 5 つのサンプル（S1 ~ S5）をドロップしています。

RXFIFO（または有効な場合は INT ブロック）に転送される最初のサンプルは S6 です。



- 積分器では、追加のデシメーションが実行されず
- 積分器では、破棄ブロックから供給されたデータが単純に合計されます
- 積算値は 2 ~ 128 までの任意の値です
- 積分出力は、4、32、または 128 の単位で再スケールできます
- 積分器はバイパスできます
- 積分器のゲインは次の式で表されます

$$G_{INT} = \frac{INTVAL+1}{DIV}$$

- ここで、DIV は再スケール係数 (1、4、32、または 128) です。

積分器では、追加のデシメーションが実行されます。

積分器では、破棄ブロックから供給されたデータが単純に合計されます。

積分値は 2 ~ 128 までの任意の値です。

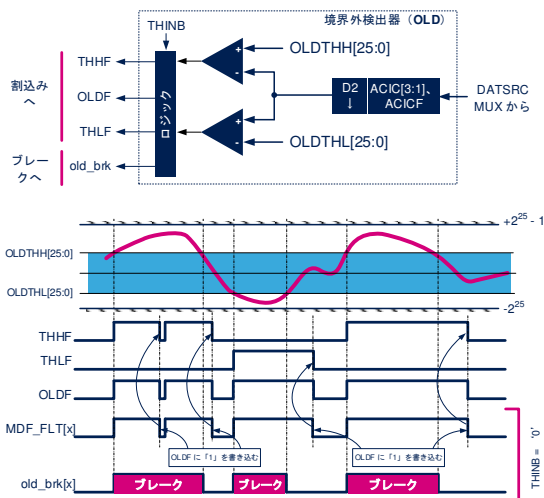
積分出力は、4、32、または 128 の単位で再スケールできます。

積分器のゲインは、積分値 (INTVAL) と再スケール係数によって決まります。

積分器をバイパスするには、INTVAL 値をゼロに初期化します。

MDF のみ

デジタルフィルタ – OLD



- 境界外検出器(OLD)には、以下が装備されています
 - 2つのデジタルコンパレータ(下限および上限閾値)
 - CIC1、CIC2、CIC3、またはFastCICで設定可能な補助CICフィルタ(ACIC)
- 信号が閾値によって定義された境界の内部または外部にある場合に、OLDによりイベントが生成されます
- 生成されたイベントによって割込み信号またはブレーク信号を発行できます
- ACIC 特性:
 - CIC サイズは 26 ビットです
 - デシメーション率は最大 32 です



29

境界外検出器は、信号が規定の最大閾値および最小閾値に達するか、超えた場合に、イベントをトリガします。

境界外検出器 (OLD) は、2つのデジタルコンパレータ (低閾値と高閾値) を備えています。

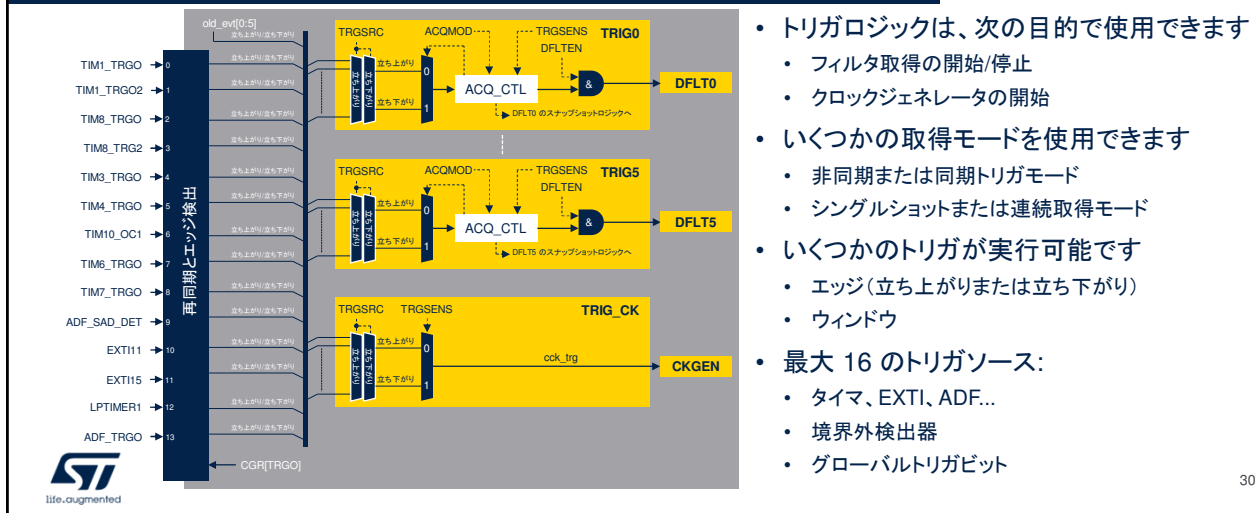
これらのコンパレータは、補助CIC (ACIC) の出力に接続されます。この補助CICフィルタは、CIC1、CIC2、CIC3、またはFastCICに設定でき、デシメーション率を最大32とすることができます。

ACICのサイズは26ビットで、ACICのデータソースはMCICと同じで、シリアルインタフェースに接続されたセンサまたはADC1のいずれかとすることができます。

信号が閾値で定義された境界の内部または外部にある場合、境界外検出器によりイベントが生成されます。

生成されたイベントによって割込み信号またはブレーク信号を発行できます。

柔軟性の高いトリガ機能



30

このスライドでは、MDF のトリガについて説明しています。

デジタルフィルタとクロックジェネレータには、それぞれ独自のトリガブロックがあります。

トリガブロックを使用して、メインデジタルフィルタの取得を開始/停止したり、MDF_CCK[1:0] クロックの生成を開始したりすることができます。

使用可能なトリガソースは次のとおりです。

- 他の回路ブロック（各種タイマ、LPTIMER1、ADF、EXTI）からの 14 個の信号。これらのトリガソースは、すべてのトリガブロックに共通です。
- 1 つの共通内部信号：TRGO
- 1 つの専用内部信号：各 OLD ブロックによりメインフィルタをトリガできます。

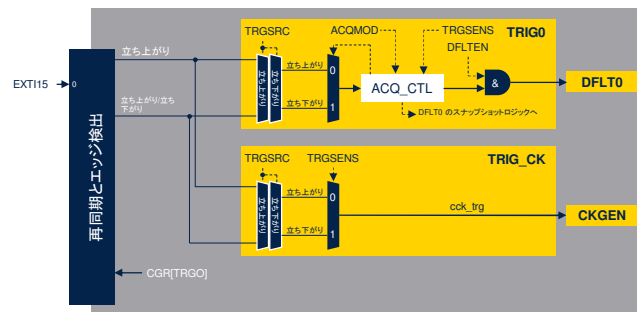
デジタルフィルタではいくつかの取得モードを使用できます。

- 非同期または同期トリガモード
- シングルショットまたは連続取得モード

いくつかのトリガが実行可能です

- エッジ（立ち上がりまたは立ち下がり）
- ウィンドウ

柔軟性の高いトリガ機能



- トリガロジックは、次の目的で使用できます
 - フィルタ取得の開始/停止
 - クロックジェネレータの開始
- いくつかの取得モードを使用できます
 - 非同期または同期トリガモード
 - シングルショットまたは連続取得モード
- いくつかのトリガが実行可能です
 - エッジ(立ち上がりまたは立ち下がり)
 - ウィンドウ
- 2つのトリガソース:
 - EXTI[15]
 - 内部トリガビット



このスライドでは、ADFのトリガについて説明しています。
デジタルフィルタとクロックジェネレータには独自のトリガブロックがあります。
トリガブロックを使用して、デジタルフィルタの取得を開始/停止したり、
ADF_CCK[1:0] クロックの生成を開始したりすることができます。
使用可能なトリガソースは次のとおりです。

- EXTI[15] 信号
- 内部信号：TRGO

デジタルフィルタではいくつかの取得モードを使用できます。

- 非同期または同期トリガモード
- シングルショットまたは連続取得モード

いくつかのトリガが実行可能です

- エッジ(立ち上がりまたは立ち下がり)
- ウィンドウ

DFLT の状態

DFLTxACTIVE	DFLTxRUN	DFLTx の状態
0	X	OFF
1	0	WAIT
1	1	RUN

- 各デジタルフィルタは、DFLTxEN ビットで有効にできます
- アプリケーションでフィルタの状態を確認するには、2つのフラグDFLTACTIVE および DFLTRUN を使用します
- DFLT の状態は次のとおりです。
 - OFF: フィルタは無効です
 - WAIT: フィルタは有効であり、トリガイベントを待っています
 - RUN: フィルタはサンプルを処理しています



32

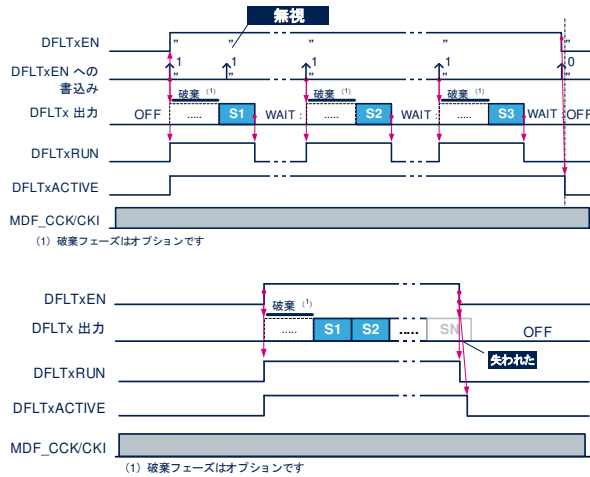
各デジタルフィルタは、DFLTxEN ビットで有効にできます

フィルタ x の MDF_DFLTxCr レジスタには、アプリケーションでフィルタの現在の状態をチェックできるようにするための2つのフラグ、DFLTACTIVE および DFLTRUN が含まれています。

DFLT の状態は次のとおりです。

- OFF : フィルタは無効です
- WAIT : フィルタは有効であり、トリガイベントを待っています
- RUN : フィルタはサンプルを処理しています。

トリガの例



- 非同期シングルショット取得モード:
 - 各フィルタの取得は、そのイネーブルビットに「1」が書き込まれたときにトリガされます
 - フィルタがトリガされたとき、RX-FIFOに1つのサンプルのみが保存されます
- 非同期連続取得モード:
 - 各フィルタの取得は、そのイネーブルビットによってトリガされます
 - イネーブルビットが「1」である限り、連続したサンプルが取得されます

非同期シングルショット取得モードでは、各フィルタの取得は、そのイネーブルビットに「1」が書き込まれるとトリガされます。

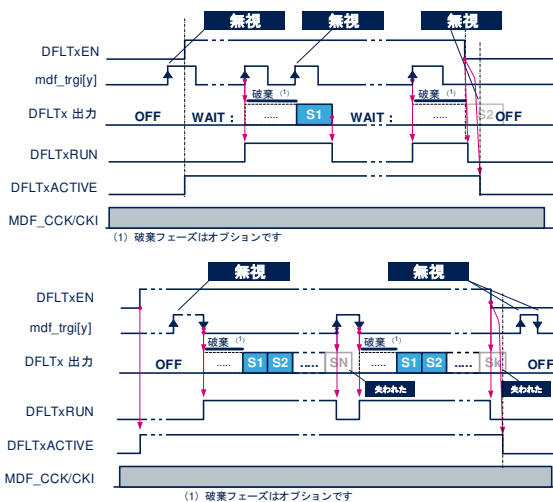
デジタルフィルタが WAIT 状態で、DFLTxEEN ビットに「1」が書き込まれるたびに、サンプルが処理され、RX-FIFO に格納されます。

変換の進行中にアプリケーションにより DFLTxEEN に「1」がセットされた場合、上方のタイミング図に示すように、書込み操作は無視されます。

イネーブルビットが「1」である間は、連続したサンプルが取得されます。

DFLTxEEN がデアサートされると、下方のタイミング図に示すように、現在のサンプルは失われます。

トリガの例



同期シングルショット取得モード:

- 各フィルタの取得は、選択したトリガ信号によって、選択された感度でトリガされます
- フィルタがトリガされたとき、RX-FIFO に 1 つのサンプルのみが保存されます

ウィンドウ連続取得モード:

- 各フィルタの取得は、選択したトリガの立ち下がりエッジによってトリガされ、立ち上がりエッジによって停止します(またはその逆)



34

同期シングルショット取得モードでは、各フィルタの取得は、選択したトリガ信号によって、選択された感度でトリガされます。

デジタルフィルタが WAIT 状態でトリガ条件が発生するたびに、サンプルが処理され、RX-FIFO に格納されます。

DFLTxRUN フラグは、デジタルフィルタが新しいトリガイベントを受け入れる準備ができたかどうかをアプリケーションに通知します。

トリガ信号は、上方のタイミング図に示すように、フィルタが WAIT 状態になるまで無視されます。

ウィンドウ連続取得モードでは、各フィルタの取得は、選択したトリガの立ち下がりエッジでトリガされ、立ち上がりエッジで停止します(またはその逆)。

下方のタイミング図では、mdf_trgi[y] 信号の立ち下がりエッジは取得のトリガに使用され、立ち上がりエッジは取得を停止するために使用されています。

DFLTxEN がデアサートされた場合、トリガは無視されます。

- 複数のフィルタを同時に開始します
 - 次の方法で、複数のフィルタの取得を同時に開始できます
 - 複数のフィルタに共通のトリガソースと感度を選択
 - TRGO ビットを使用
 - オーディオビームフォーミングアプリケーションでは、いくつかのフィルタを同時に起動すると非常に有益です
- 同期スナップショットモード：
 - トリガ入力を使用して、CIC および INT フィルタの状態をキャプチャできます
 - この機能を使用して、デシメートされた 2 つのサンプル間にいくつかの中間値を内挿することができます



複数のフィルタを同時に取得するには、いくつかのフィルタに共通のトリガソースと感度を選択します。

簡単なオプションとして、トリガソースとして TRGO を選択し、TRGO ビットに「1」をセットします。

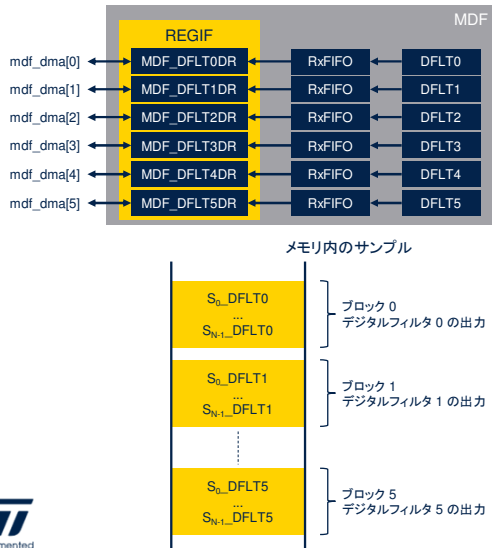
その他の共通トリガ信号を使用することもできます。

オーディオビームフォーミングアプリケーションでは、いくつかのフィルタを同時に起動する必要があることに注意してください。

同期スナップショットモードでは、前回の有効なサンプルをキャプチャし、トリガ入力を使用して CIC および INT フィルタの状態をキャプチャすることができます。

この機能を使用して、デシメートされた 2 つのサンプル間にいくつかの中間値を内挿することができます。

メモリ転送



- 各 FIFO には 24 ビットで 4 ワードの深度があります
- 独立転送モード:
 - 各 RXFIFO ストリームは独立させることができます
- 次の 2 つの閾値が利用できます
 - FIFO は空ではありません。
 - FIFO ハーフフル
- RXFIFO にはそれぞれ独自の DMA リクエストまたは割込みサービスがあります
- このモードは、あらゆる種類のアプリケーションに使用できます



36

各 FIFO には 24 ビットで 4 ワードの深度があります。

MDF は、独立転送モードとインタリーブ転送モードの 2 つのデータ転送モードに対応しています。

独立転送モードでは、RXFIFO ストリームは互いに完全に独立しています。

メモリへのサンプルの転送は、2 つのイベントによってトリガできます。

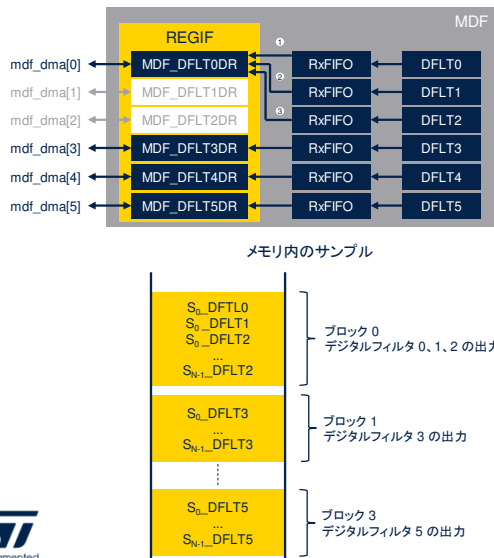
- FIFO がノットエンプティの場合
- FIFO がハーフフルの場合

RXFIFO にはそれぞれ独自の DMA リクエストまたは割込みサービスがあります。

DMA を使用する場合、図のように、アプリケーションにより FIFO ごとに 1 つのデータブロックがメモリ内で探されます。

このモードは、あらゆる種類のアプリケーションに使用できます。

メモリ転送



- インタリーブ転送モード:
 - インタリーブ転送モードでは、シングル DMA チャンネルを使用していくつかのフィルタのサンプルを得ることができます
- インタリーブストリームは、同じサンプリング周波数でサンプリングする必要があります
- インタリーブモードでセットされたすべての RXFIFO が空でない場合、データはメモリに転送されます
- 割り込みまたは RXFIFO[0] の DMA リクエストのみが使用されます
- このモードは、通常、オーディオアプリケーションに使用できます
- インタリーブ転送モードと独立転送モードを混在させることができます

インタリーブ転送モードでは、シングル DMA チャンネルを使用していくつかのフィルタのサンプルを得ることができます。

インタリーブストリームは、同じサンプリング周波数でサンプリングする必要があります。

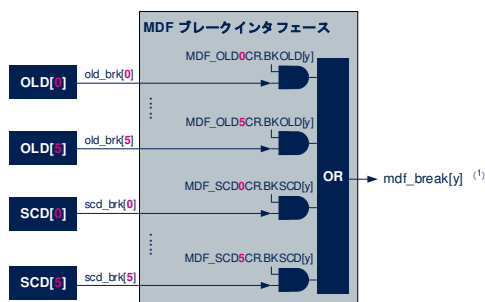
インタリーブ転送モードでは、インタリーブモードでセットされたすべての RXFIFO が空でない場合に、データがメモリに転送されます。

割り込みまたは RXFIFO[0] の DMA リクエストのみが使用されます。

このモードは、通常、オーディオアプリケーションで使用されます。

図に示すように、デジタルフィルタ 0~2 はインタリーブ転送モードで機能するように、またデジタルフィルタ 3、4、5 は独立モードで機能するようにプログラムできます。

DMA を使用する場合、インタリーブされたストリームに対応するメモリブロック内のデータもインタリーブされます。図のブロック 0 を参照してください。



(1) - 各 mdf_break[y] 出力に同じロジックが実装されます。y は 0、1、2、または 3 とすることができます。

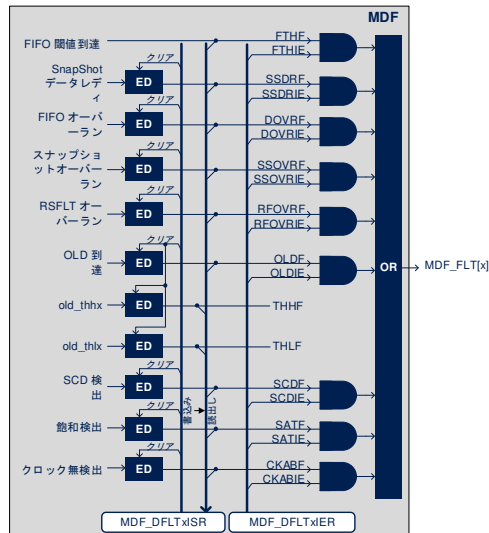
- 4 つのブレーク信号が使用できます
- ブレークイベントを生成できるのは OLD と SCD のみです
- 1 つのブレーク信号内に、すべての OLD および SCD ブロックからのブレークイベントを混在させることができます

4 つのブレーク信号が使用できます。

タイマブレーク入力により、異常状態発生時のタイマの出力信号は、ユーザにより選択できる安全な設定になります。

ブレークイベントを生成できるのは、境界外検出器（OLD）と短絡検出器（SCD）のみです。

1 つのブレーク信号内に、すべての OLD および SCD ブロックからのブレークイベントを混在させることができます。これは図の OR ゲートによって行われます。



- 各デジタルフィルタパスには独自の割込みベクタがあります
- 次のようなイベントにより割込みを生成できます
 - アラート
 - RXFIFO、SnapShot、または RSFLT オーバーラン
 - データ飽和
 - 境界外検出
 - 短絡検出
 - クロック無検出
 - データ・フロー
 - RXFIFO レベル到達
 - SnapShot データレディ

この図には、MDF 割込み管理の詳細を示します。

各デジタルフィルタパスには、独自の割込みベクタがあります。

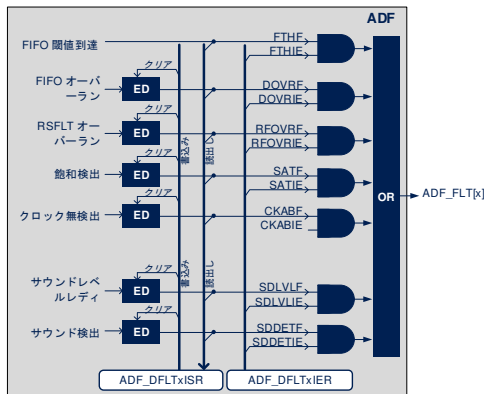
アラートイベントとデータフローイベントでは、割込みを生成できます。

アラートイベントは、次のとおりです。

- RXFIFO、SnapShot、または RSFLT オーバーラン
- データ飽和
- 境界外検出
- 短絡検出
- クロック無検出

データフローイベントは、次のとおりです。

- RXFIFO レベル到達
- SnapShot データレディ



• 次のようなイベントにより割込みを生成できます

- アラート
 - RXFIFO または RSFLT オーバーラン
 - データ飽和
 - クロック無検出
 - サウンドレベル検出
 - サウンドレベル値レディ
- データ・フロー
 - RXFIFO レベル到達

この図には、ADF 割込み管理の詳細を示します。

アラートイベントとデータフローイベントでは、割込みを生成できます。

アラートイベントは、次のとおりです。

- RXFIFO または RSFLT オーバーラン
- データ飽和
- クロック無検出
- サウンドレベル検出
- サウンドレベル値レディ

データフローイベントは次のとおりです。

- RXFIFO レベル到達

MDF 低消費電力モード

モード	説明
RUN	アクティブ
低電力 RUN	アクティブ
SLEEP	アクティブ
低電力 SLEEP	アクティブ
STOP 0/STOP 1	選択されたカーネルクロックが RC オシレータの場合に アクティブ
STOP 2/STOP 3	非アクティブ
STANDBY	非アクティブ
SHUTDOWN	非アクティブ



41

MDF は、STOP 2、STOP 3、STANDBY、SHUTDOWN モードを除くすべてのモードでアクティブにできます。
STOP モードでは、MDF レジスタの内容は保持されます。
STOP 0 および STOP 1 モードでは、MDF は低電力バックグラウンド自律モード (LPBAM) に対応します。
STANDBY モードでは、MDF はパワーダウンされ、STANDBY モード終了後に再初期化が必要です。

ADF 低消費電力モード

モード	説明
RUN	アクティブ
低電力 RUN	アクティブ
SLEEP	アクティブ
低電力 SLEEP	アクティブ
STOP 0/STOP 1/STOP 2	選択されたカーネルクロックが RC オシレータの場合にアクティブ
STOP 3	非アクティブ
STANDBY	非アクティブ
SHUTDOWN	非アクティブ



42

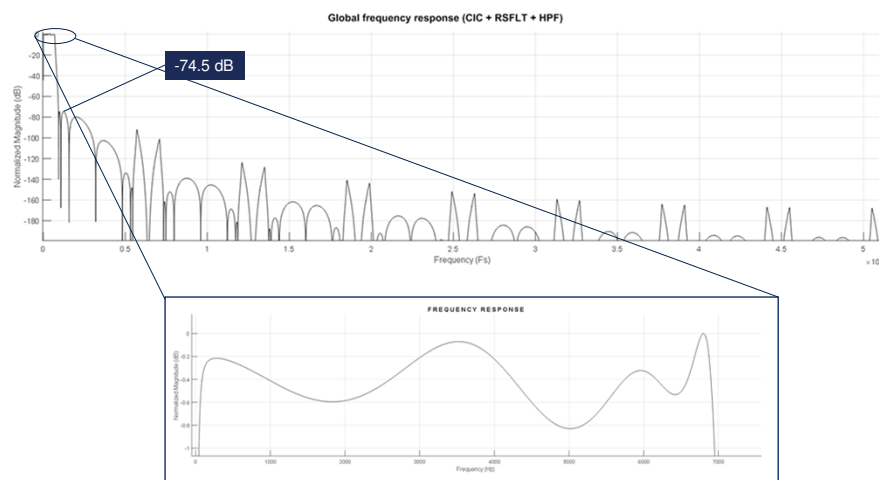
ADF は、STOP 3、STANDBY、SHUTDOWN モードを除くすべてのモードでアクティブにできます。

STOP モードでは、ADF レジスタの内容は保持されます。

STOP 0、STOP 1、STOP 2 モードでは、ADF は低電力バックグラウンド自律モード (LPBAM) に対応します。

STANDBY モードでは、ADF はパワーダウンされ、STANDBY モード終了後に再初期化が必要です。

全体の周波数応答



全体の周波数応答は、以下の設定によって決まります

- CIC 次数
- CIC デシメーション
- RSFLT が有効化されているかどうか
- HPF が有効化されているかどうか
- HPF のカットオフ周波数
- INT が有効化されているかどうか
-

このプロットは、次で得られます

- デシメーション率 16 の CIC5
- RSFLT が有効で、デシメーション率は 4
- HPF が有効で、HPFC = 1
- INT は無効です。
- ビットストリーム周波数は 1.024 MHz
- PCM 周波数は 16 kHz



この上図は、1.024 MHz で動作するデジタルマイクロフォンによる 16 kHz オーディオ信号の全体の周波数応答を示しています。

フィルタ設定は、次のとおりです。

- CIC 次数は 5、デシメーション率は 16
- RSFLT は有効で、デシメーション率は 4
- HPF は有効で、カットオフ周波数は 40 Hz

下方の図は、1.024 MHz で動作するデジタルマイクロフォンによる 16 kHz オーディオ信号の帯域内リップルを示しています。

フィルタ設定は、次のとおりです。

- CIC 次数は 5、デシメーション率は 16
- RSFLT は有効で、デシメーション率は 4
- HPF は有効で、カットオフ周波数は 20 Hz

その結果得られる帯域内リップルは、CIC5 に対して ± 0.41 dB です。

-3 dB のカットオフ周波数は 7061 Hz です。

いくつかの測定値

- 次の表に、A 加重ウィンドウを使用した場合と使用しない場合の信号対雑音比 (SNR) とダイナミックレンジ (DR) の値を示します
- これらの結果は、126 dB @ 0 dBFS の DR の信号を出力する 5 次シグマデルタモジュレータマイクロフォンモデルを使用して得られたものです
- 結果は、いくつかのデシメーション率において CIC5、RSFLT、HPF を使用して得られたものです。

MDF モード	ビットストリーム周波数	デシメーション率	PCM 周波数	SNR	DR	
フル機能またはオーディオ	0.768	12 x 4	16000	100	106	113
フル機能またはオーディオ	1.024	16 x 4	16000	115	120	123
フル機能またはオーディオ	1.536	24 x 4	16000	121	125	127
フル機能またはオーディオ	2.048	32 x 4	16000	123	125	126
フル機能またはオーディオ	3.072	16 x 4	48000	115	121	128
フル機能またはオーディオ	4.224	22 x 4	48000	120	124	130
UNIT	MHz		Hz	dB	dB	dBA

現在のデジタルマイクロフォンの DR は 90 ~ 105 dB です。DR は、-12 dBFS の入力信号を適用し、測定された SNR に 12 dB を加算することによって測定します。



44

このスライドの表に、MDF と ADF に実装されているデジタルフィルタの測定値を示します。

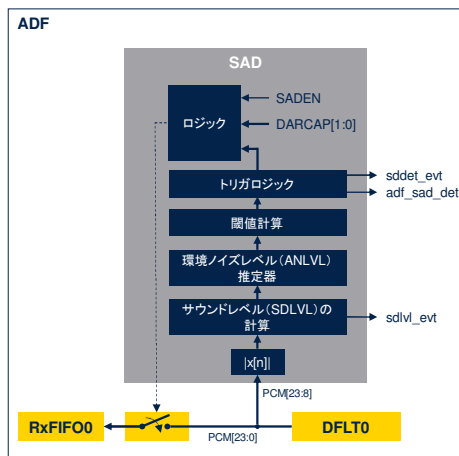
これらの結果は、0 dB フルスケールで 126 dB の DR の信号を出力する 5 次シグマデルタモジュレータマイクロフォンモデルを使用して得られたものです。

フィルタの設定は次のとおりです。

- CIC 時数 5
- 再形成フィルタ
- ハイパスフィルタ

さまざまなデシメーション率に対して信号対雑音比とダイナミックレンジの値が示されています。

サウンド/ボイスアクティビティの検出に使用できます



- SAD は ADF に含まれます
- SAD は、デジタルフィルタ 0 (DFLT0) から供給される信号を「監視」します
- 有効にすると、SAD によりサウンドと環境ノイズのレベルが継続的に計算されます
- SAD は、いくつかの検出モードで機能します
 - サウンド検出器モードでは、SAD により以下のいずれかが検出できます
 - サウンドレベルが定義されたレベルに達したとき
 - 環境ノイズが定義されたレベルに達したとき
 - ボイス検出モードでは、SAD により、サウンドレベルが環境ノイズレベルを基準とした閾値より大きいときに検出できます

SAD はサウンドアクティビティ検出の略です。

SAD 機能は ADF によって提供されます。

SAD は、デジタルフィルタ 0 から供給される信号を監視するために使用でき、オーディオアプリケーションでの使用が想定されています。

有効にすると、SAD によりサウンドと環境ノイズのレベルが継続的に計算されます。

SAD は、2 つの異なるモードで機能します。

サウンド検出器モードでは、SAD により、サウンドレベルまたは環境ノイズが定義された閾値に達したときに検出できます。

ボイスアクティビティ検出器モードでは、SAD により、サウンドレベルが環境ノイズレベルを基準とした閾値より大きいときに検出できます。

サウンドアクティビティ検出 (SAD)

SAD には 3 つの状態があります

- 「LEARN」状態
 - 環境ノイズレベルの最初の推定を実行します
- 「MONITOR」状態
 - SAD がトリガイベントを待っています
 - SAD はサウンドレベルを継続的に計算し、環境ノイズ値を更新します
- 「DETECT」状態
 - SAD によりイベントが検出されました
 - SAD はサウンドレベルを継続的に計算し、環境ノイズ値を更新します

SAD には、3 つのデータキャプチャモードがあります

- サンプルが常にメモリに転送されます
- サンプルがメモリに転送されません
- サンプルは、SAD が DETECT 状態のときにメモリに保存されます



有効にすると、SAD は「LEARN」状態に移行します。この状態中、SAD では連続したサウンドレベルの値を使用して、環境ノイズレベルの最初の推定を実行します。

環境ノイズの最初の推定が行われたとき、SAD は MONITOR 状態に遷移します。この状態で、SAD はトリガイベントを待ち、継続的にサウンドレベルを計算して、環境ノイズ値を更新します。

SAD がトリガされると、状態は DETECT に移行します。この状態で、SAD では DETECT 条件が真のままかどうかを継続的にチェックされます。DETECT 状態でも、SAD では継続的にサウンドレベルを計算し、環境ノイズ値を更新します。

柔軟性を高めるため、SAD にはメモリへの監視信号データの転送を制御する 3 つのオプションが用意されています。

- サンプルが常にメモリに転送されます
- サンプルがメモリに転送されません
- サンプルは、SAD が DETECT 状態のときにメモリに保存されます。

サウンドアクティビティ検出 (SAD)

- サウンドレベル (SDLVL) を推定するには、受信サンプルの絶対値を平均します
- 環境ノイズレベル (ANLVL) の推定方法には、次の 2 つの方法があります
 - SAD が LEARN 状態のときに SDLVL を平均する方法
 - SAD が LEARN 状態でない場合に環境ノイズをスムーズに更新する方法
 - ANLVL は、このサウンドレベルが環境ノイズとみなされる場合に、現在の SDLVL 値を使用して更新されます



有効にすると、SAD によりサウンドレベル値が継続的に計算されます。

サウンドレベルは、FRSIZE[2:0] によって与えられる PCM サンプル数の絶対値の平均を表します。

環境ノイズレベル (ANLVL) は、SAD の動作モードが 2 進の 00 または 10 である場合に計算されます。

環境ノイズレベル (ANLVL) の推定方法には、次の 2 つの方法があります

-SAD が LEARN 状態のときに SDLVL を平均する方法

-SAD が LEARN 状態でない場合に環境ノイズをスムーズに更新する方法。

ANLVL は、このサウンドレベルが環境ノイズとみなされる場合に、現在の SDLVL 値を使用して更新されます。

非常に高いレベルの柔軟性

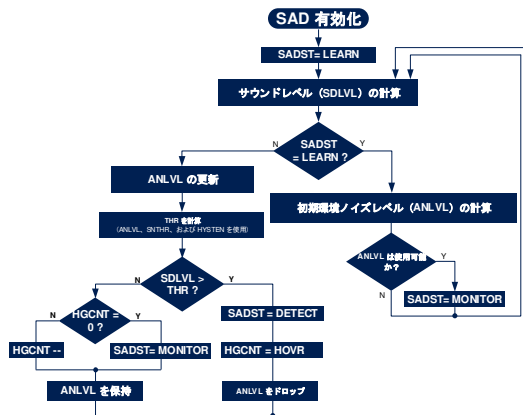
アプリケーションのニーズを満たすために、レジスタを介していくつかのパラメータを調整できます

- **FRSIZE**:SDLVL の計算に使用されるサンプル(フレーム)数を定義します
使用可能な数:8、16、32、64、128、256、または 512 サンプル
- **LFRNB**:LEARN フェーズに使用されるフレーム数を定義します
使用可能な数:2、4、8、16、または 32 フレーム
- **ANSLP**:ノイズ推定器の傾斜を定義します。標準値は +4.2 dB/s と -17.1 dB/s です
- **HYSTEN**:ヒステリシス機能を有効にします
- **ANMIN**:ボイスアクティビティモードで、最小環境ノイズ(感度)を定義しますサウンドアクティビティモードの場合、基準閾値を定義します
- **SNTHR**:トリガレベルを定義します
使用可能な数:基準閾値に対して 3.5、6、9.5、12、15.6、18、21.6、24.1、27.6、または 30.1 dB
- **HGOVR**:2 つのトリガ条件の間で、SAD が DETECT モードを維持する最小時間を定義します
4、8、16、32、64、128、256、または 512 フレームが使用可能です



SAD は非常に柔軟性があり、アプリケーションのニーズを満たすように以下のパラメータを調整できます。

- フレームサイズ (FRSIZE) 。SDLVL の計算に使用されるサンプルの数を定義します。
- 学習フレームの数 (LFRNB) では、初期の環境ノイズレベルの計算に使用されるフレーム数を定義します。
- 環境ノイズレベルの勾配 (ANSLP) では、MONITOR および DETECT 状態での環境ノイズ推定器の勾配を定義します。
- トリガレベル調整 (SNTHR) では、トリガレベルを定義します。このトリガレベルは、選択した検出モードによって使用方法が異なります。
- ハングオーバー (HGOVR) では、2 つのトリガ条件の間で SAD が DETECT モードを維持する最小時間を定義します。
- 感度またはレベル (ANMIN) 。ボイスアクティビティ検出モードでは、これにより最小の環境ノイズ (感度) を定義します。サウンドアクティビティ検出モードでは、閾値の調整に使用します。
- HYSTEN パラメータを使用して、閾値にヒステリシスを設定することもできます。



ボイスアクティビティ検出モードでは、SAD が有効な場合、環境ノイズレベルの最初の推定値が計算されます。

環境ノイズレベルは、サウンドレベル値（SDLVL）を使用して推定されます。

この LEARN フェーズの時間は、パラメータ LFNBR により与えられます。

環境ノイズレベルの推定値が使用できる場合、SAD は MONITOR 状態に移行します。

MONITOR および DETECT モードでは、新しいサウンドレベル値が使用可能になるたびに、SAD により環境ノイズレベルが更新され、この新しいサウンドレベル値と比較するための閾値レベルが計算されます。

サウンドレベルが閾値より大きい場合、SAD は DETECT 状態に移行します。

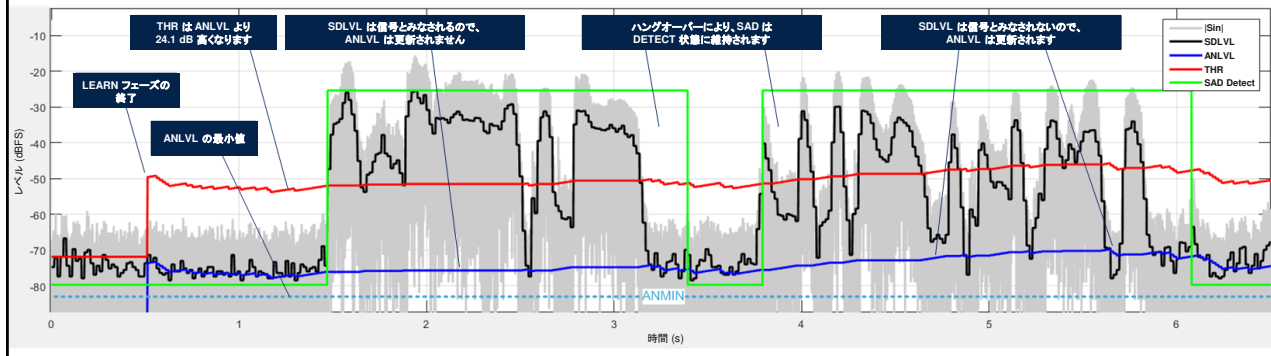
SAD が DETECT 状態に移行すると、割込みを生成することができ、信号 `adf_sad_det` が「1」になります。

サウンドレベルが連続して閾値を下回る場合、SAD が MONITOR 状態に戻ります。連続回数を調整するには HGOVR を使用します。

SAD が MONITOR 状態に戻ったときに、割込みを生成することもできます。

ボイスアクティビティ検出モードで使用される SAD の例:

- LEARN 状態の終了時に、THR と ANLVL が更新され、SAT により入力信号が監視されます
- ANLVL は継続的に更新されます (THR も同様)
- SDLVL が THR より高い場合、SAD がトリガされます
- ハングオーバー機能により、指定された時間、SAD は DETECT 状態を維持できます



ボイスアクティビティ検出モードで使用される SAD の例を示します。

LEARN 状態の終了時に、THR と ANLVL が更新され、SAD により入力信号が監視されます。

黒色は、一連のサウンドレベル値を示しています。

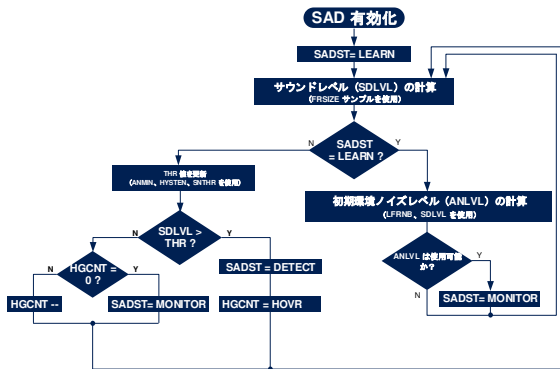
ダークブルーの ANLVL は継続的に更新され、赤の信号の閾値レベルは環境ノイズレベルに正確に従い、SNTHR によって与えられたゲインはこの例では 24.1 dB に設定されています。

サウンドレベルが THR より高い場合、SAD がトリガされます。緑色の信号は SAD 検出を示します。信号が高い場合、SAD がトリガされていることを示します。

また、サウンドレベルが閾値レベルよりも高い場合、環境ノイズレベルが更新されないことも確認できます。環境ノイズレベルは、サウンドレベルが閾値よりも低い場合に更新されます。

ハングオーバー機能により、指定されたフレーム数の間、SAD は DETECT 状態を維持できます。

水色の信号 ANMIN は ANMIN の最小許容値を定義するため、これは一種の感度調整であり、THR が与えられた値より低くならないことが保証されます。



- ANMIN で基準閾値を定義し、SNTHR を使用してトリガレベル(THR)を定義します
- SAD のトリガ条件:
- THR が現在の SDLVL と比較されます

サウンドアクティビティ検出モード 1 では、サウンドレベルの絶対値に達すると SAD がトリガされます。

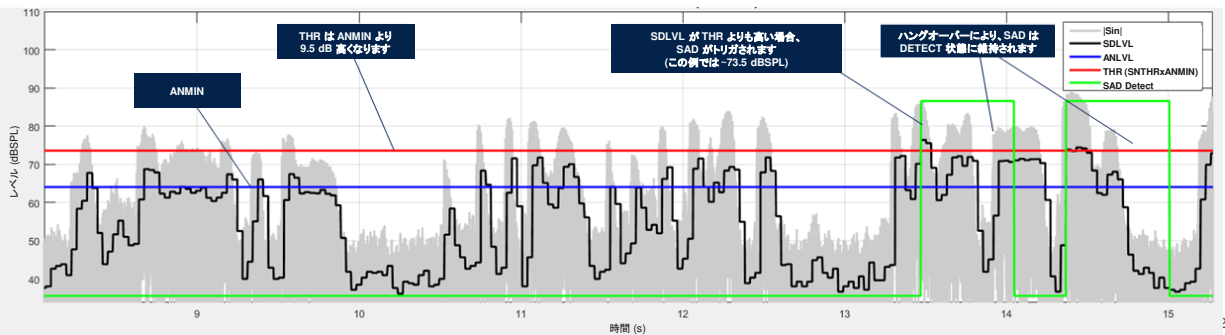
このモードでは、ANMIN フィールドで基準閾値を定義し、SNTHR を使用してトリガレベル (THR) を定義します。

式にトリガ条件を示します。

このモードでは環境ノイズレベルは使用されませんが、SAD が有効になれば LEARN フェーズに移行します。

サウンドアクティビティ検出モード 1 で使用される SAD の例:

- 600 LSB が 73.5 dB SPL の信号を表すように SCALE が調整されています
- ANMIN は 200 に、SNTHR は 9.5 dB に設定されています。すなわち、 $THR = 200 \times 10^{(9.5/20)} = 600$ LSB となります
- SDLVL が THR よりも高い場合、SAD がトリガされます
- ハングオーバー機能により、指定された時間、SAD は DETECT 状態を維持できます



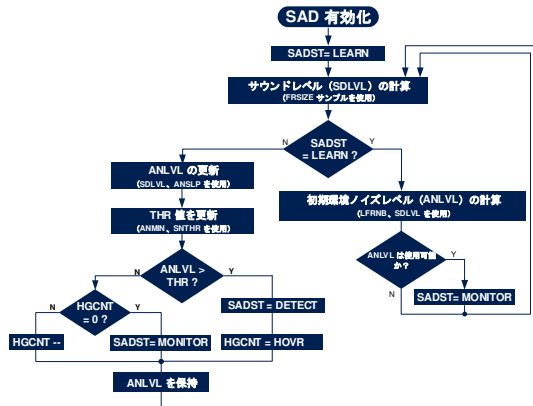
ここでは、サウンドアクティビティ検出モード 1 で使用される SAD の例を示します。

黒色は、SAD によって計算された連続的なサウンドレベル値を示しています。

閾値レベル THR は、ANMIN の値に SNTHR で選択されたゲイン係数を乗算して、計算されます。

サウンドレベルが THR より高い場合、SAD がトリガされます。緑色の信号は SAD 検出を示します。信号が高い場合、SAD がトリガされていることを示します。

ハングオーバー機能により、指定されたフレーム数の間、SAD は DETECT 状態を維持できます。



- サウンドアクティビティ検出モード 2
- SAD のトリガ条件:
 - THR が現在の ANLVL と比較されます
 - SNTHR (dB) = 12 dB の場合、THR = ANMIN となります

サウンドアクティビティ検出モード 2 では、環境ノイズレベルの絶対値に達すると SAD がトリガされます。

このモードでは、ANMIN フィールドで基準閾値を定義します。

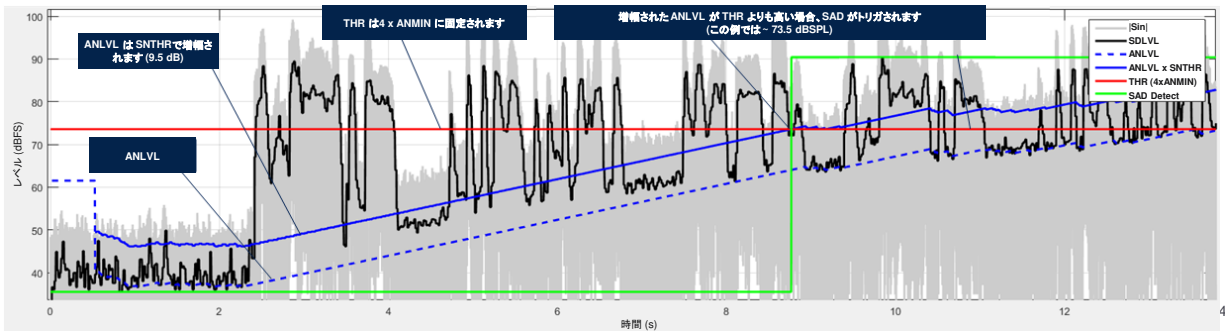
この基準閾値レベルは、環境ノイズと比較され、SNTHR によって選択されたゲインが乗算されます。

式にトリガ条件を示します。

SNTHR (dB) = 12 dB の場合、THR = ANMIN となります。
10 乗 (SNTHR を 20 で割ったもの) は約 4 になるためです。

サウンドアクティビティ検出モード 2 で使用される SAD の例:

- 600 LSB が 73.5 dB SPL の信号を表すように SCALE が調整されています
- ANMIN は 150 に設定されています。すなわち、 $THR = 150 \times 4 = 600$ LSB となります。
- 推定された環境ノイズレベルは、SNTHR で増幅されます
- 増幅された SNTHR が THR よりも高い場合、SAD がトリガされます



ここでは、サウンドアクティビティ検出モード 2 で使用される SAD の例を示します。

黒色は、SAD によって計算された連続的なサウンドレベル値を示しています。

閾値レベル THR は、ANMIN の 4 倍の値から計算されます。

推定された環境ノイズは、SNTHR で選択されたゲイン係数により乗算された後に、閾値と比較されます。

この増幅された環境ノイズレベルが閾値 THR よりも高い場合、SAD がトリガされます。

緑色の信号は SAD 検出を示します。信号が高い場合、SAD がトリガされていることを示しています。

Our technology starts with You

© STMicroelectronics - All rights reserved.

ST logo is a trademark or a registered trademark of STMicroelectronics International NV or its affiliates in the EU and/or other countries.

For additional information about ST trademarks, please refer to www.st.com/trademarks.

All other product or service names are the property of their respective owners.



次のペリフェラルは MDF および ADF の動作に影響します。
詳細については、対応するプレゼンテーションを参照してください。

- RCC (MDF/ADF クロック制御、MDF/ADF 有効化/リセット)
- 割込み (MDF/ADF 割込みの配置)
- DMA (MDF/ADF 出力データ転送)
- GPIO (MDF/ADF 入出力ピン、トリガ)
- タイマ (MDF/ADF トリガ、ブレーク信号)
- ペリフェラル相互接続マトリックス (MDF/ADF 相互接続)