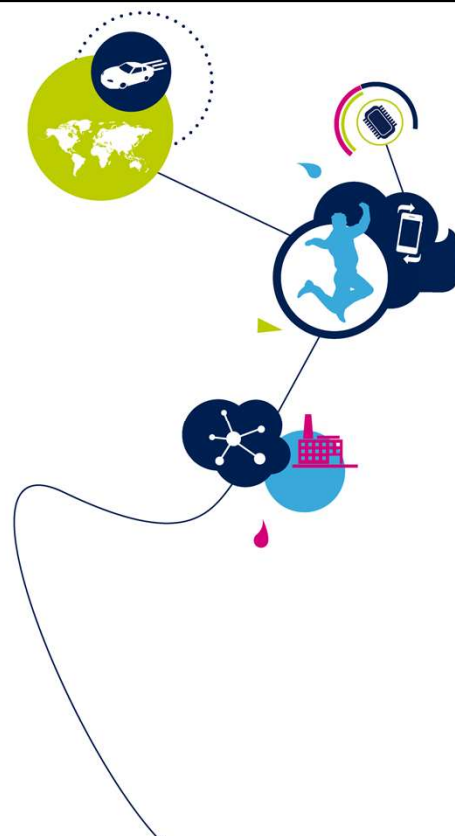
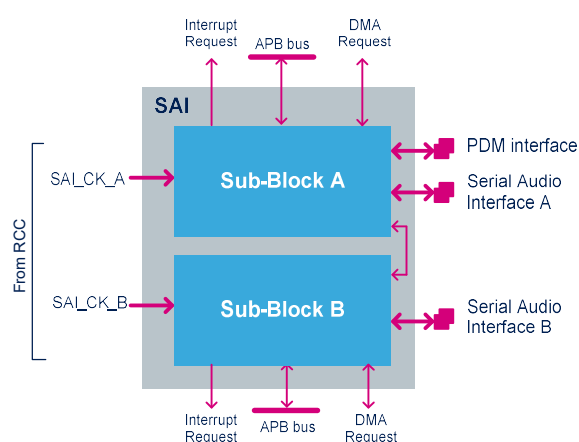


STM32H7 - SAI

シリアル・オーディオ・インタフェース
1.0版



こんにちは。STM32シリアルオーディオインタフェース(SAI)のプレゼンテーションへようこそ。
外部のオーディオデバイスの接続に広く使用されているインタフェースのすべての機能について、このプレゼンテーションで説明します。



- 外部オーディオ・デバイス用の通信インターフェースを提供
 - 詳細な設定が可能
 - さまざまな標準をサポート: I²S、TDM、SPDIF...
 - デジタルマイク用インターフェース
 - 2つの独立したサブブロック

アプリケーション側の利点

- 多種多様なオーディオ・デバイスをサポート
- デジタルマイク用のシンプルなインターフェース
- 有用な信号のみを出力
- 実装が簡単

STM32製品に搭載されているSAIは、マイクロコントローラがアンプ、A/Dコンバータ、D/Aコンバータ、オーディオプロセッサなどの外部のオーディオデバイスと通信するためのインターフェースを提供します。このインターフェースは詳細な設定が可能であり、ほとんどのオーディオ標準をサポートしているため、既存のオーディオデバイスに容易に接続できます。

内部の同期機能により、I/Oピンの数が最小に削減されています。

- いくつかのプロトコルをサポート
 - フリープロトコル・モードを使用:
 - I²Sフィリップス規格(IC間サウンド)
 - I²S MSBまたはLSB詰め(IC間サウンドの変形)
 - TDM(時分割多重化)
 - PCM(パルス符号変調)
 - その他...
 - SPDIF出力(ソニー/フィリップスデジタル・インタフェース)
 - PDMインタフェース(パルス密度変調インタフェース)
 - AC'97(Intelのオーディオコーデック97)



SAIは、4つの異なるモードでプログラムできます。

- フリープロトコルモードでは、SAIがI²S、PCM、TDMなどの規格をサポートします。その柔軟性のおかげで、必要に応じてシリアルインタフェースをカスタマイズすることが可能です。
- SPDIFプロトコルモードでは、SAIはIEC 60958標準を使用してオーディオサンプルを送信できます。
- PDMインタフェースモードでは、SAIは最大8つのデジタルマイクを接続でき、ビームフォーミングや単純な音声認識アプリケーションに利用できます。
- AC'97プロトコル。

- SAIは以下をサポート:
 - 最も一般的に使用されるオーディオ・サンプリング周波数: 44.1、16、48、96、および192kHz (クリスタル周波数に応じて)
 - 各サブブロックについてマスタモードまたはスレーブモード
 - 各サブブロックについてデータ入力または出力または全二重
 - 各サブブロックについてクロック・ジェネレータ
 - サブブロック間または他のSAIとの同期
 - コンパANDING・モード (μ -Law、A-Law)
 - 8ワードFIFOサイズ
 - 2つのDMAインタフェース
 - 2つの割込みライン



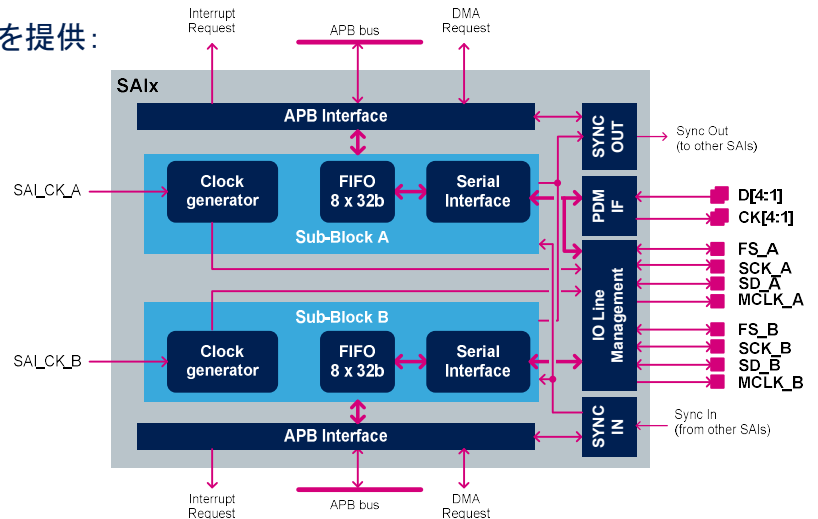
SAIはアプリケーションに使用されるクリスタル周波数に従って、通常のすべてのオーディオサンプリングレートをサポートします。さらに、SAIはマスタおよびスレーブモードを半二重または全二重通信でサポートします。

また、複数のSAIを同期することも可能です。

SAIは、8つのサンプルのFIFOバッファと最大2つの割込みとDMAインタフェースも提供します。

• SAIは以下を内蔵:

- 2つの独立したサブブロックにより以下を提供:
 - クロック・ジェネレータ
 - 柔軟性の高いシリアル・インタフェース
 - FIFOバッファ
 - APBインタフェース
 - DMAおよび割り込みサービス
- シンクロメカニズム
- I/Oライン管理
- PDMインタフェース



SAIは2つの独立したサブブロック(サブブロックAおよびB)で構成されます。

各サブブロックに専用のAPBインタフェース、クロックジェネレータ、FIFOバッファ、DMAインタフェース、および割り込みインタフェースがあります。

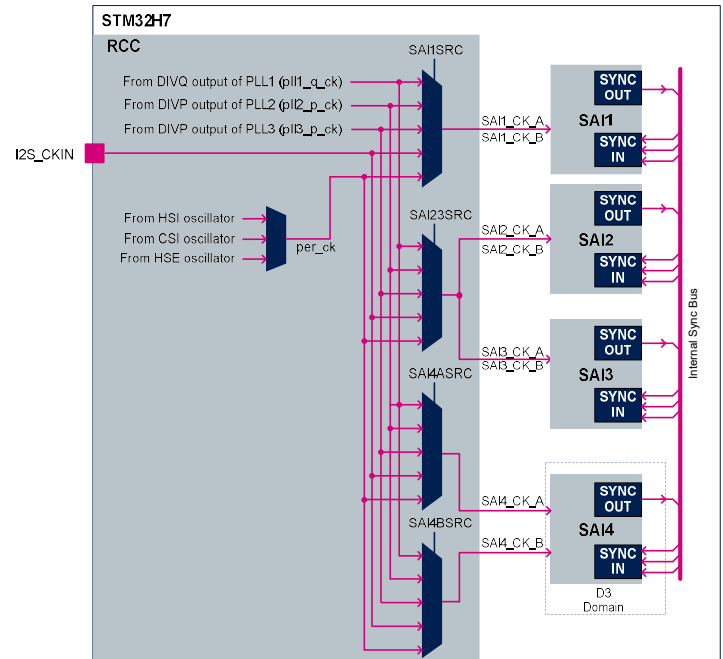
各サブブロックは、レシーバモードまたはトランスミッタモードに、また、マスタモードまたはスレーブモードに独自のプロトコルで設定できます。

内部および外部同期により、2つのサブブロックを同期したり、複数のSAIインタフェースを同期したりできます。

各サブブロックは最大4つのIOを処理できます。各サブブロックについて、FSはフレーム同期、SCKはビットクロック、SDはシリアルデータ、およびMCLKはマスタクロックです。

さらに、PDMインタフェースにより、最大8つのデジタルマイクを接続できます。

- 豊富なカーネル・クロック選択:
 - 3つのPLL出力のうちの1つ、または
 - オシレータ出力の1つ、または
 - パッドからのクロック
- 柔軟な内部同期:
 - 各SAIは、他の3つのSAIに同期を提供
 - 各SAIは、次のいずれかと同期可能
他の3つのSAIを使用
- 48kHzと44.1kHzの両方のストリームを同時にサポート可能



STM32H7は、4つのSAIインタフェースを内蔵しています。それぞれのSAIはカーネルクロック(SAI_CK_x)を受信できます。

- システムPLL1のDIVQ出力から
- PLL2、もしくはPLL3のDIVP出力から
- HSI、CSIもしくはHSEオシレータから、または
- 入力PAD:I2S_CKINから

カーネルクロックは、マスタモードに設定されているとき、シリアルオーディオインタフェースのタイミングを生成するためにSAIによって使用されます。

SAI4は、D3ドメイン内にある唯一のものであるため、カーネル・クロック選択用の2つの独立したマルチプレクサを持ちます。

48kHzと44.1kHzのオーディオストリームを並列でサポートすることが可能です。

STM32H7に組み込まれたPILはフラクショナルモードで動作し、非常に柔軟にオーディオ周波数を生成できます。

内部同期バスでは、複数のSAIを必要に応じて同期して、マルチレーンデバイスをサポートできます。

フリープロトコル・モード(1/13)

7

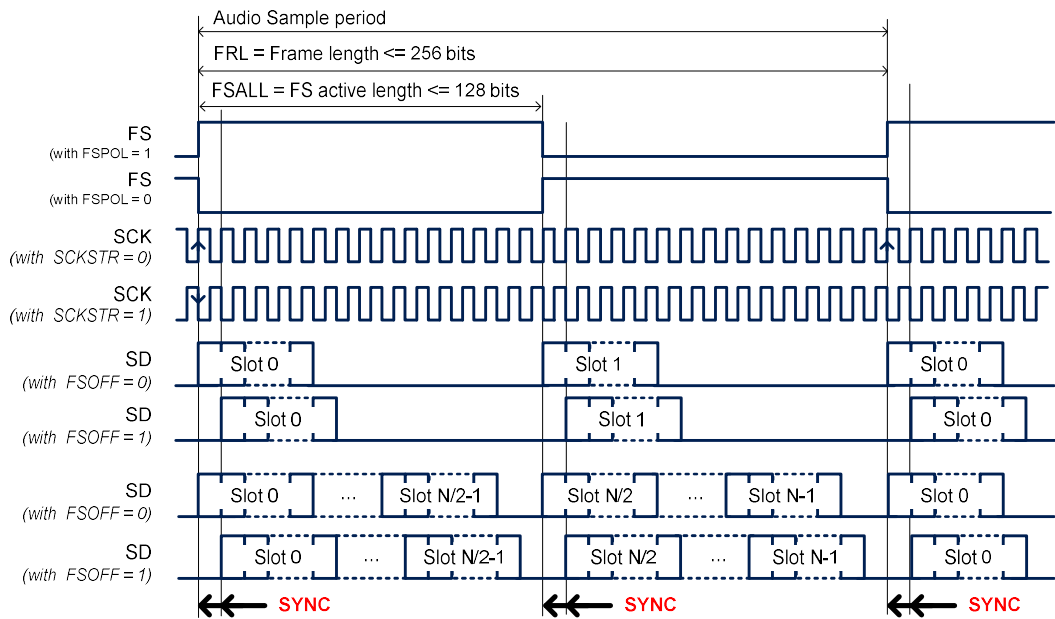
- SAIを以下で設定するには、フリープロトコル・モードを選択する必要がある
 - I2Sフィリップス標準
 - I2SMSBまたはLSB詰め
 - TDMまたはPCM
- フリープロトコル・モードは、以下のパラメータを調整するために使用される
 - データの詰め方(LSB/MSBファースト)
 - データサイズ、スロット(またはチャネル)サイズ
 - フレームあたりのスロット数
 - スロット内のデータ位置
 - シリアルクロックのサンプリングエッジ
 - フレームサイズ、フレーム極性、フレーム期間
 - フレームアクティブレベルサイズ
 - フレーム同期モード
 - マスタ/スレーブモード
 - 単一または複数または全二重データレーン



フリープロトコルモードでは、次のようないくつかのパラメータの動作を変更できる柔軟性により、一般的なオーディオ標準インタフェースのほとんどをエミュレートできます。

- データの詰め方
- データのサイズと位置
- フレームサイズ
- フレーム期間
- フレーム極性
- クロックのサンプリングエッジ
- スロット数...

• I²S類似の
タイミング

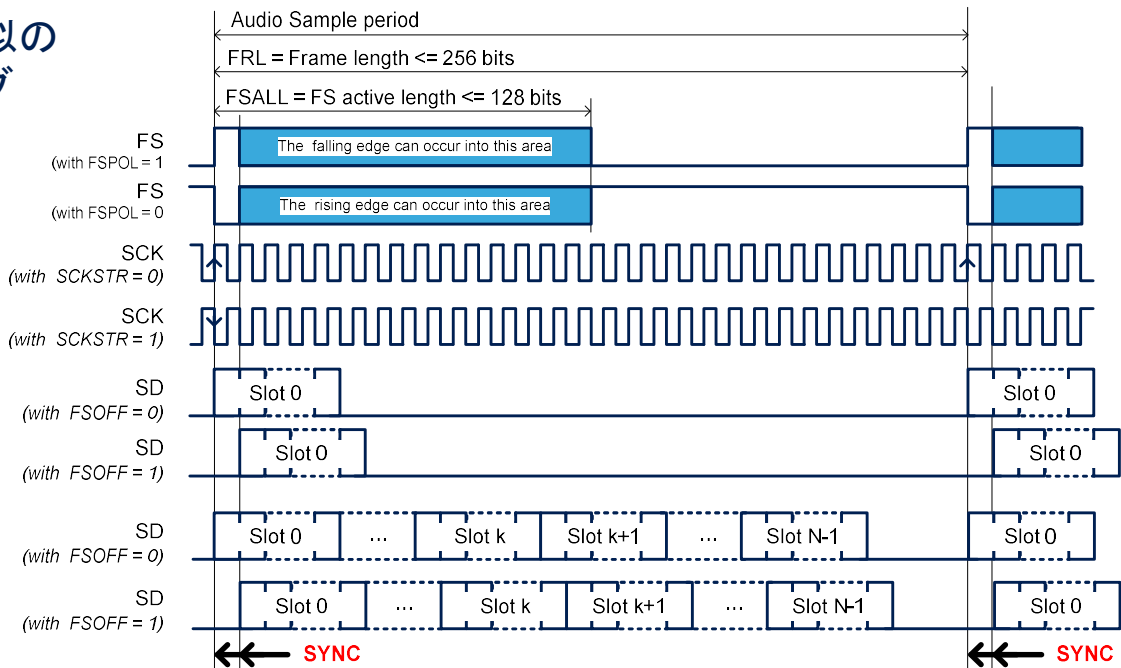


次の例は、I²S類似プロトコルでのインタフェースの機能を示しています。

I²S類似プロトコルでは、フレーム同期 (FS) の各エッジが使用されて、スロット位置が揃えられます。

- フレーム長、デューティサイクル、および極性を調整できます。
- クロックデータストローブエッジを選択できます。
- フレームエッジに対するスロットの位置を選択できます。
- スロットのサイズを調整できます。
- I²S類似プロトコルでは、フレームあたり偶数個のスロットが必要です。

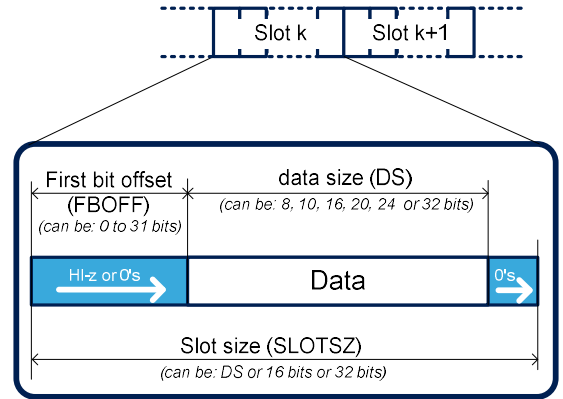
• TDM類似の タイミング



次の例は、TDM類似プロトコルでのインタフェースの機能を示しています。TDM類似プロトコルでは：

- フレーム同期の1つのエッジ(立ち上がりまたは立ち下がり)のみが、スロット位置を揃えるために使用されます。
- フレーム長、デューティサイクル、および極性を調整できます。
- クロックデータストローブエッジを選択できます。
- フレームのアクティブエッジに対するスロットの位置を選択できます。
- スロットのサイズを調整できます。
- フレームあたりのスロット数(最大16)。

- スロット設定:
- オーディオ・フレームあたり最大16スロット
- 各スロットがアクティブかどうかを定義可能
- 最初のビット・オフセットFBOFFを定義することにより、スロット内のデータの位置を調整可能
- ハイインピーダンスでデータラインを設定可能
 - 非アクティブスロットについて可能
 - 各スロット内のデータの位置を制御するために使用されるFBOFF (最初のビットオフセット)



SAIは最大16スロットを処理でき、各スロットを個別にアクティブ化できます。非アクティブスロットは、ハイインピーダンスで設定できます。

スロットサイズは、常にデータサイズ以上です。

SAIでは、各スロット内のデータの位置を制御でき、必要な場合は、スロットの未使用部分をハイインピーダンスに設定できます。この機能は、データラインが複数のデバイスで共有されるときに役立ちます。

- マスタおよびスレーブモード:
- マスタモードの場合:
 - SAIはタイミング信号を提供:
 - ビットクロック(SCK)、フレーム同期(FS)、必要な場合はマスタクロック(MCLK)
 - シリアル・データライン(SD)は入力または出力
- スレーブ・モードの場合:
 - SAIは、外部デバイスからタイミング信号を受信:
 - ビット・クロック(SCK)とフレーム同期(FS)
 - シリアル・データライン(SD)は入力または出力



マスタモードでは、SAIはオーディオシステムの構成に応じて、マスタクロック(MCLK)を生成できます。

このマスタクロックは、外部オーディオコーデックに対する基準クロックとなります。

マスタモードでは、SAIはフレーム同期信号(FS)とビットクロック(SCK)を生成します。データラインSDは入力または出力にできます。

スレーブモードでは、MCLK信号は使用されません。

スレーブモードでは、SAIは別のデバイス(外部または内部)からフレーム同期信号(FS)とビットクロック(SCK)を受信します。データラインSDは入力または出力にできます。

- サンプルング・レート調整
 - サンプルング・レートはマスタモードで調整する必要がある
 - サンプルング・レート調整は、マスタクロック(MCLK)の生成に依存する
- マスタクロック(MCLK)は、しばしば基準クロックとして外部オーディオ・コーデックによって要求される
 - ほとんどの外部オーディオ・コーデックはジッタに敏感:
 - オーディオ性能の劣化を避けるためには、MCLKは可能な限りクリーンでなければならない
 - SAIによって生成されるMCLKは良好なクロック品質を保証する



マスタモードでは、適切なタイミングを生成して正しいサンプルングレートを提供するのは、SAIに依存します。
スレーブモードでは、サンプルングレートは外部オーディオデバイスによって提供されます。

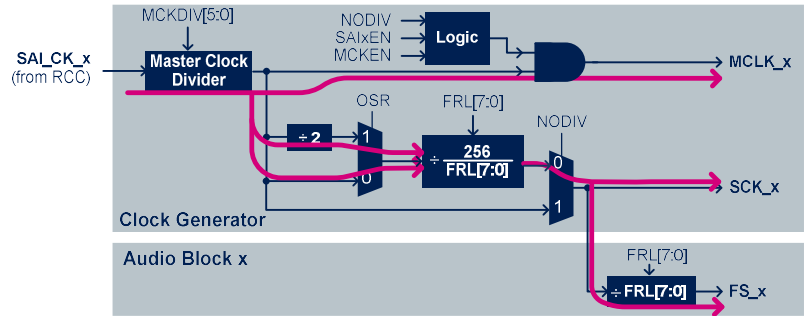
- サンプリング・レート調整、MCLKが生成されるとき (NOMCK=0):

$$f_{MCLK} = \frac{f_{SAI_CK}}{MCKDIV} \quad (1)$$

$$f_{FS} = \frac{f_{MCLK}}{256 \times (OSR + 1)}$$

$$f_{SCK} = f_{FS} \times (FRL + 1)$$

$FRL+1 = 8, 16, 32, 64, 128, \text{または} 256$



(1) MCKDIV = 0 のとき

$$f_{MCLK} = f_{SAI_CK}$$

f_{MCLK} は、マスタクロック周波数
 f_{FS} は、サンプリングレート周波数(～フレーム期間)
 f_{SCK} は、ビットクロック周波数



クロックジェネレータはマスタモード通信に必要であり、シリアルオーディオインタフェースのサンプリングレートを調整するために使用されます。

クロックジェネレータは、MCLK、SCK、およびFSのルート周波数を提供します。

マスタクロック(MCLK)が生成されるとき、フレーム長は2の累乗でなければなりません。

FS周波数とMCLK周波数の比は、OSRビットに従って256または512に設定されます。

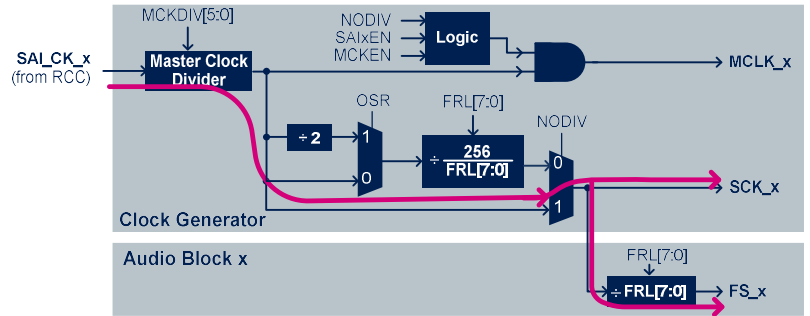
クロックSAI_CLKは、STM32H7 RCCブロックによって提供されま

- サンプリング・レート調整、MCLKが生成されないとき:

$$f_{FS} = \frac{f_{SCK}}{(FRL + 1)}$$

$$f_{SCK} = \frac{f_{SAI_CK}}{MCKDIV}$$

$FRL + 1 = 8 \sim 256$ の値



f_{FS} は、サンプリング・レート周波数(～フレーム期間)
 f_{SCK} は、ビット・クロック周波数



MCLKが生成されないとき、フレーム長は8から256までの任意の値を取ることができます。
 この例では、SCKビットクロックの周波数は、SAI_CK入力を受信されたクロックによって直接与えられ、MCKDIV値で除算されます。

- SAI同期
 - SAIは、2つのサブブロックを同期させることが可能(内部同期)
 - SAIは、異なるSAIのサブブロックを同期化することも可能(外部同期)
 - 同期が使用されない場合、各サブブロックは独立する
いくつかの例:
 - I2SフィリップスマスタのSAI_A、SPDIFでSAI_B
 - SAI_A TDMスレーブ、SAI_B AC'97
 - 内部同期または外部同期を使用する場合は、次の制限を尊重する必要がある:
 - 異なるプロトコル特性を使用して2つのSAIサブブロックを同期することはできない
 - 異なるプロトコル特性を使用して2つのSAIを同期することはできない

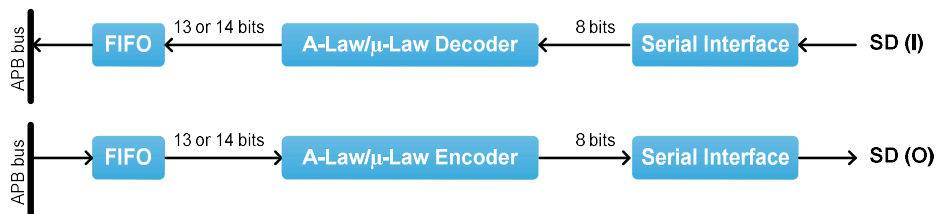


内部同期は、全二重I2Sなどの2つのデータレーンを必要とする通信に使用できます。

外部同期は、2つ以上のデータレーン(最大4つ)を必要とする通信に使用できます。たとえば、HDMI ICを接続する場合などです。同期されたすべてのサブブロックは、同じプロトコル特性を使用する必要があります。

• コンパANDING:

- コンパANDINGを使用して、シリアル・インタフェースのデータサイズを8ビットに削減可能
- μ -LawフォーマットとA-Lawフォーマットでは、データをMSB詰めの8ビットコードエレメントに符号化
- μ -LawとA-Lawの2つのコンパANDING・モードがサポート(これらはCCITT G.711の一部)
- 米国と日本で採用されているコンパANDING規格は μ -Law、14ビットのダイナミックレンジが可能
- ヨーロッパのコンパANDING規格はA-Law、13ビットのダイナミックレンジが可能



データサイズを減らすために、データパスにA-lawまたはmicro-lawコンパANDerを挿入できます。

A-lawとmicro-lawはロスレスコンプレッサではないことに注意してください。

コンパANDINGモードは、通常、電話通信で使用されます。

- 小さな値は増幅され、大きな値は減衰されます。
- SNRは、強い信号と弱い信号で同一になる傾向があります。

- ミュートモード
 - 送信モード:
 - 送信されるサンプルを強制的にゼロにしたり、前に送信されたサンプルを繰り返すのに使用できる
 - ミュートモードは進行中のフレームでいつでも選択でき、次のフレームの開始時に有効になる
 - ミュートモード中も、TX-FIFOポインタは増加
 - 受信モード:
 - アクティブスロットのデータが0に設定された連続フレームの数が受信されたかどうかを検出するために使用できる
 - 連続フレーム数はプログラム可能
 - 割込みを生成できる(有効な場合)



SAIはミュート機能も備えています。

送信モードでは、ミュートされたスロットでゼロを送信したり、前に送信された値を送信できます。前に送信された値は、フレームあたり1または2スロットを持つ構成に限られます。

送信モードでは、TxFIFOポインタが増加することに注意してください。これは、FIFOに存在したデータとミュートモードが要求されたデータが破棄されることを意味します。

受信ミュートモードは、すべてのデータがゼロにリセットされた連続スロット数の検出に役立ちます。

- 予想された／遅延フレームエラー
 - この機能を使用して、ノイズが多い環境でのSCKクロック／FSのグリッチを検出できる
 - スレーブモードでは、SAIはフレーム同期が预期されたタイミングで(遅すぎず、早すぎずに)発生するかどうかを検出できる
 - ステータスフラグを使用でき、割込みも生成できる
 - 予想された／遅延フレーム検出エラー後、アプリケーション・ソフトウェアはSAIを再起動しなければならない



life.augmented

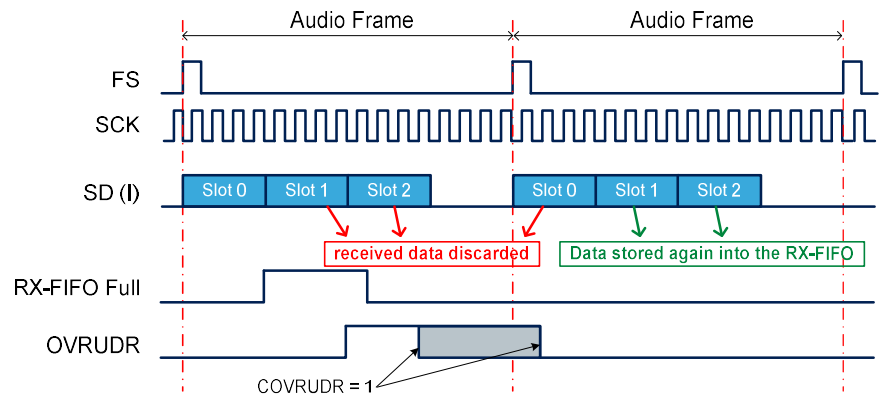
予想された／遅延フレームエラー検出機能は、预期しないフレーム同期の不一致を検出することにより、インタフェースの信頼性を高めます。ステータスフラグがセットされ、割込みも生成できます。アプリケーションソフトウェアは、その後、SAIインタフェースを再起動する必要があります。

SAIはアンダーラン／オーバーランが発生してもデータ・アライメントを保証

• オーバーラン／アンダーランの処理

- オーバーランは、RX-FIFOが満杯のときに、シリアル・インタフェースから着信する新しいデータを格納しなければならない場合に発生する
- アンダーランは、TX-FIFOが空のときに、シリアル・インタフェースによって新しいデータが要求された場合に発生する

- 例: スロット1におけるFIFOオーバーラン



SAIは、アンダーランやオーバーランが発生してもデータアライメントを保証します。

- SAIはSPDIFプロトコルを使用してオーディオ・サンプルを生成可能:
 - SPDIFモードでは、SD_x_IOのみが使用され、他のIOは未使用
 - データサイズは強制的に24ビットに設定される
 - データはマンチェスター・エンコード(または2層マーク)
 - SAIはプリアンプルを自動的に生成
 - SAIはパリティを自動的に生成
 - アプリケーションはCS、U、およびVビットを処理する必要がある

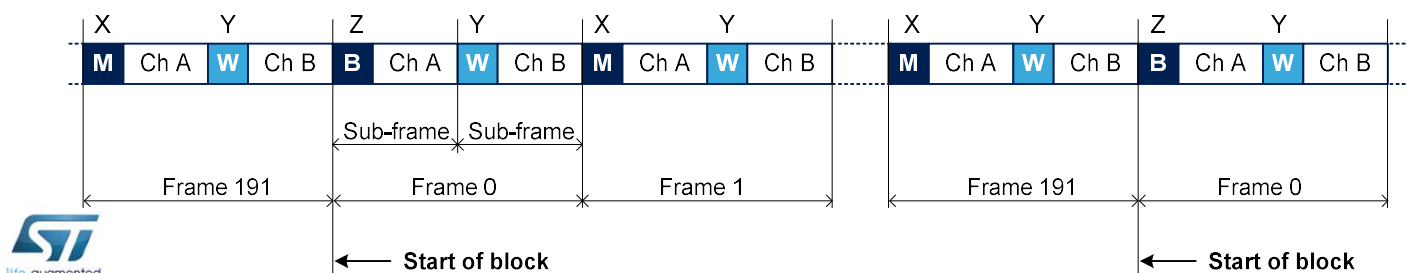


SAIは、SODIFプロトコルに設定されたときには、送信モードでオーディオIEC 60958標準をサポートします。

SAIは、送信データに従って、プリアンプルとパリティビット(P)を生成します。

ソフトウェアはCS、U、およびVビットを処理する必要があります。

- ブロック構造はチャンネル・ステータスとユーザ情報を組織化するために使用
 - 各ブロックは192フレームを含む
 - 各フレームは2つのサブフレームを含む
 - プリアンブルにより、ブロックとサブフレームの境界を検出できる
 - プリアンブルBは新しいブロックの開始とチャンネルAの開始を検出
 - プリアンブルMはチャンネルAの開始を検出(ブロックの境界でないとき)
 - プリアンブルWはチャンネルBの開始を検出



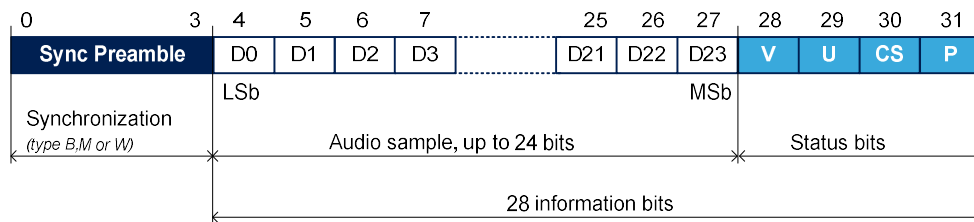
IEC 60958仕様では、ブロック構造はチャンネルステータス(CS)とユーザ情報(U)をデコードするために使用されます。

- 各ブロックは192フレームを含む
- 各フレームは2つのサブフレームを含む

SAIはB、M、およびWプリアンブルを自動的に生成します。

- プリアンブルBは新しいブロックの開始とチャンネルAの開始を検出
- プリアンブルMはチャンネルAの開始を検出(ブロックの境界でないとき)
- プリアンブルWはチャンネルBの開始を検出

- サブフレーム・フォーマットは3つのフィールドに分割された32ビットを含む:
 - プリアンブル
 - 最大24ビットのデータ
 - 4つのステータスビット
 - Vは有効性ビットであり、現在のサンプルをアナログ信号に直接変換できることを意味する
 - Pは受信したサブフレームのパリティビットであり、受信したサブフレームのチェックに使用される
 - Uはユーザ・データ・チャンネルであり、各メッセージは192ビットから成る
 - CSはチャンネル・ステータスであり、各メッセージは192ビットから成る(サンプリングレート、サンプル長など)



各サブフレームは3つのフィールドに分割された32ビットを含みます。

- 同期プリアンブルにより、ブロックとサブフレームの境界を検出できる
- 24ビットのペイロード
- ステータスビット: V、U、CS、およびP

• シンボル・レート:

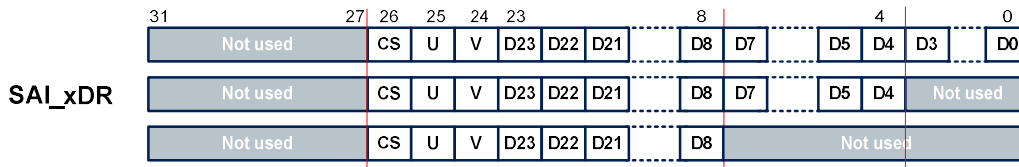
- オーディオ・サンプル・レート(f_s)は、次の式で調整可能:

$$f_s = \frac{f_{SAI_CK}}{64}$$

f_{SAI_CK}	オーディオサンプルレート
2.8224 MHz	44.1 kHz
3.072 MHz	48 kHz
6.144 MHz	96 kHz

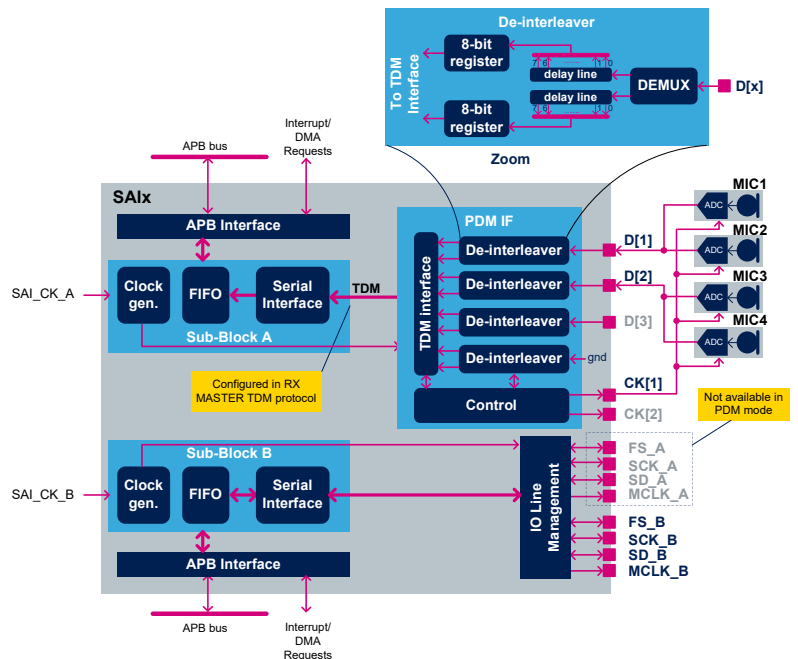
• データ・フォーマット:

- データ・レジスタはCS、U、およびVビットとデータを含まなければならない



適切なオーディオサンプルレート(FS)を生成するためには、Fsai_ck周波数を調整する必要があります。送信FIFO内のデータは、このスライドに示されているように揃えられる必要があります。データのMSBは常に位置23になければなりません。

- PDMインタフェースは、マイクから受信したビットストリームをTDMフレームに再マップ
- 8ビットの遅延ラインによりビームフォーミングアプリケーションに対応
- 最大8つのマイクを接続可能 (例は4つのマイクの場合)
- サブブロックAはTDMモードに設定する必要がある
- サブブロックBは他のアプリケーションで使用可能



PDMインタフェースは、デジタルマイクから受信したビットストリームをTDMフレームに再マップします。

PDMインタフェースは、各マイクから8ビットを受信するまで待ってから、新しいTDMフレームを送信します。

さらに、PDMインタフェースは、各マイクストリームについて8ビットの遅延ラインを提供します。

これらの遅延ラインは、マイクに提供されるビットストリームクロックの分解能で動作します。

ビームフォーミングアプリケーションに対応して、マイクの位置に関する制約を取り除きます。

PDMインタフェースが有効なときには、サブブロックAのシリアルインタフェースを使用して外部デバイスを接続することはできません。

このシリアルインタフェースは内部でPDMインタフェースに接続されているため、サブブロックAはTDMモードではRX MASTERとして設定する必要があります。

図は、4つのデジタルマイクの接続例を示しています。D[1]、D[2]、D[3]、またはD[4]の各データラインに1つまたは2つのデジタルマイクを接続できることに注意してください。

その場合も、サブブロックBは他のアプリケーションに使用でき、TDM、PCM、I2S、またはその他のサポートされるプロトコルを使用する外部デバイスに接続できます。

- マイクの適切なサンプリング周波数 ($f_{CK[x]}$) を得るためには、次の式に従ってビットクロックの周波数 (f_{SCK_A}) を調整する必要がある

$$f_{SCK_A} = 2 \times f_{CK[x]} \times (MICNBR + 1)$$

- フレーム長は、マイクの数に応じて調整する必要がある

$$FRL = [16 \times (MICNBR + 1)] - 1$$

MICNBR = 0、1つまたは2つのマイクがD[1]に接続される場合

MICNBR = 1、3つまたは4つのマイクがD[1]とD[2]に接続される場合

MICNBR = 2、5つまたは6つのマイクがD[1]、D[2]、およびD[3]に接続される場合

MICNBR = 3、7つまたは8つのマイクがD[1]、D[2]、D[3]、およびD[4]に接続される場合



このPDMインタフェースでは、ビットクロック周波数をサンプリング周波数とマイクの数に応じて調整する必要があります。フレーム長も、接続されるマイクの数に応じて調整する必要があります。

- SAIはAC'97リンク・コントローラとしても機能
 - スロット数は13に設定
 - タグスロット: スロット0(16ビット)
 - データスロット: スロット1~12(20ビット)
 - フレーム長は256ビットに固定



SAIはAC'97リンクコントローラとしても機能することができます。
このプロトコルが使用されるときには、フレーム長、スロット番号、
およびスロット長はハードウェアによって設定されます。

- 割り込み:

割り込みイベント	説明	割り込みをクリアする方法
FREQ	FIFO要求 (FIFOしきい値に到達)	SAI_xDR読み込みまたは書き込み ⁽²⁾
OVRUADR	オーバーラン/アンダーラン・エラー	COVRUADR=1
AFSDET	予測フレーム同期検出	CAFSDET=1
LFSDET	遅延フレーム同期検出	CLFSDET=1
CNRDY	コーデックノットレディ (AC'97モードのみ)	CCNRDY=1
WCKCFG	正しくないフレーム長構成 ⁽¹⁾	CWCKCFG=1
MUTEDET	ミュート検出	CMUTEDET=1

(1) WCKCFGが1に設定されているとき、SAIは自動的に無効化される (SAIxEN=0)

(2) より正確には、FIFOレベルが閾値未満のとき

- DMA:

- FIFOしきい値に達したとき、DMAリクエストを生成できる



割り込みを生成するために、いくつかのイベントを有効にできます。WCKCFGイベントを使用して、SAIのフレーム長が正しくプログラムされなかったことをユーザに通知できます。この機能は、マスタモードでのみ意味があります。

モード	説明
RUN	アクティブ
SLEEP	アクティブ ペリフェラル割込みによって、デバイスはSLEEPモードを終了
STOP	停止 ペリフェラル・レジスタの内容は保持
STANDBY	パワーダウン ペリフェラルは、STANDBYモード終了後に再初期化する必要がある

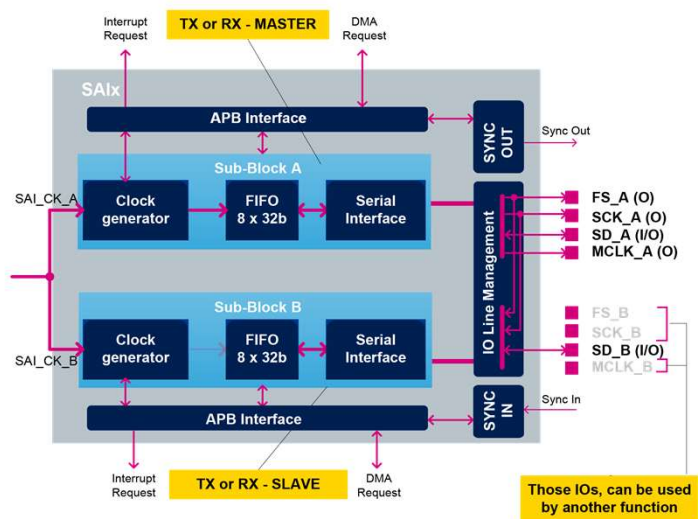


次の表は、さまざまな電力モードでのSAIの動作の概要を示しています。

SAIは、RUNモードとSLEEPモードでアクティブになっており、STOPモードで停止するか、STANDBYモードでパワーダウンします。

SAIの正常動作には、バスインタフェースクロック(APBクロック)とカーネルクロック(SAI_CK_x)が必要です。

- 全二重マスタまたは二線式:
 - サブブロックAはマスタ
 - サブブロックBはスレーブ
 - サブブロックBはサブブロックAと同期される



全二重マスタモードの場合、2つのデータレーンが必要のため、2つのサブブロックを使用する必要があります。
 マスタサブブロックAは、内部同期機能 (IOライン管理) を使用して、スレーブサブブロックBとの同期を提供します。
 この例では、サブブロックBはSD_Bのみを使用することに注意してください。
 内部同期により、IOの数は最小限まで削減されます。

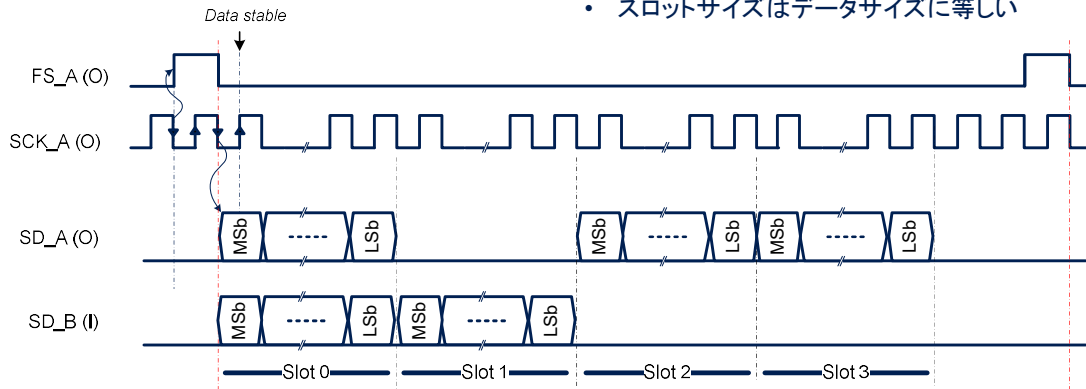
• TDM マスタ、4スロット:

• SAI_Aプログラミングの概要:

- マスタTXモード
- 4スロット (NBSLOT=3)、スロット0、2、および3を有効化 (SLOTEN=0x0D)
- スロットサイズはデータサイズに等しい

• SAI_Bプログラミングの概要:

- スレーブRXモード
- 4スロット (NBSLOT=3)、スロット0と1を有効化 (SLOTEN=0x03)
- 内部同期有効 (SYNCEN=1)
- スロットサイズはデータサイズに等しい



これはもう一種類の全二重モードであり、TDMプロトコルを使用します。

スロット1はサブブロックAについては非アクティブであり(使用されない)、スロット2と3はサブブロックBについては非アクティブです。

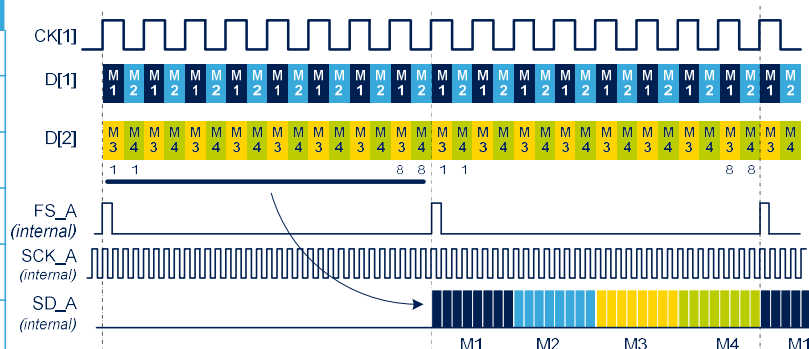
両方のサブブロックについて、フレーム構造は4つのスロットがあります。

サブブロックAはフレームあたり3サンプルを生成します。

サブブロックBはフレームあたり2サンプルを受信します。

- 16kHz (CK[1] = 1.024MHz) で動作する4つのマイクを接続:
 - SAI_Aプログラミングの概要:

説明 ⁽¹⁾	フィールドの値
マスターRXモード	MODE=1
TDMプロトコル、8ビットの4スロット	PRTCFCG=0、NBSLOT=3、SLOTEN=0xF、SLOTSZ=0
スロットサイズ8ビット、フレーム長32ビット	FRL=31、FSALL=0、DS=2
FSアクティブハイ、フレームオフセットなし、スロットオフセットなし	FSPOL=1、FSOFF=0、FBOFF=0
SCK_Aクロックを4.096MHzに設定。マスタクロックは生成されない	MCKDIV=14、NOMCK=1
PDM構成: 最大4つのマイク、1つのクロック	MICNBR=1、CKEN1=1、PDMEN=1



(1)カーネルクロックSAI_CK_Aは61.44MHzと想定される



この例は、4つのデジタルマイクによって提供されるサンプルをキャプチャするための最も重要なSAI設定を示しています。一般的なアプリケーションでは、マイクは望ましいオーディオレート⁽¹⁾の64倍も高いビットストリームクロック周波数を受信します。アプリケーションが16kHzのオーディオストリームを処理する必要がある場合、デジタルマイクに提供されるビットストリームクロックは、16kHzを64倍して、クロック周波数に相当する1.024MHzにしなければなりません。4つのデータストリームがあるため、ビットクロックSCK_Aは、マイクに提供されるビットストリームクロックより4倍高くなければならず、結果としてビットクロック周波数は4.096MHzになります。この構成を使用すると、SAI_Aはスロットを受信するたびにRXFIFOに8ビットのデータを書き込みます。16kHzのオーディオ信号を再構築するためには、ソフトウェアは各マイクストリームのローパスフィルタリングを実行した後、64倍のデシメーションを行う必要があります。