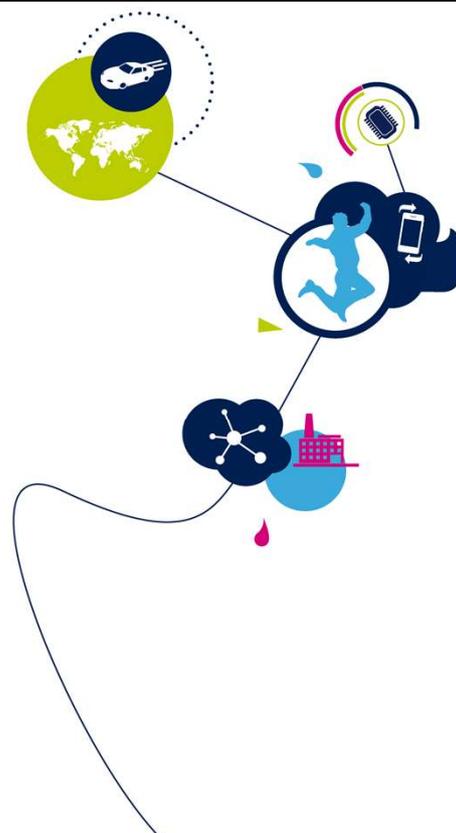


STM32G4 - SAI

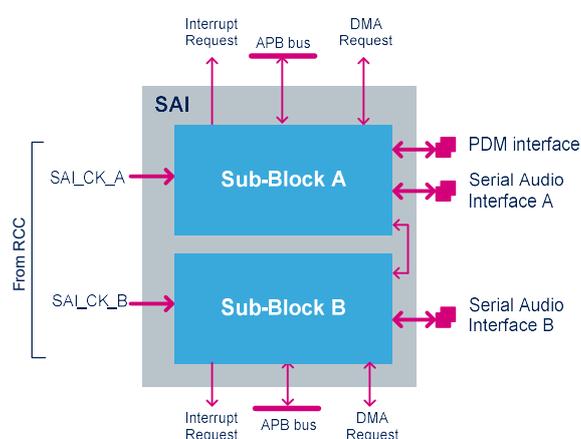
シリアル・オーディオ・インタフェース

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フェースを提供します。このインタ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。

- いくつかのハードウェア・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は、いくつかのパラメータの調整にアクセスでき、SAIはI²S、PCM、TDMなどの規格をサポートできます。その柔軟性により、必要な場合は、シリアルインタフェースのカスタマイズが可能です。
- 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6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プロトコルに対応しています。

- 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 (カーネル・クロック周波数に応じて)
 - 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
 - 2つのサブブロックを使用して全二重
 - 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

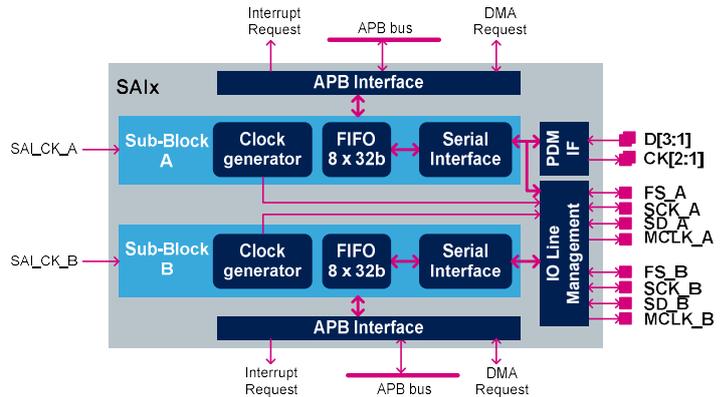


SAI はアプリケーションに使用されるクリスタル周波数に従って、通常のすべてのオーディオサンプリングレートをサポートします。さらに、SAI はマスタおよびスレーブモードを半二重または全二重通信でサポートします。

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および割込みサービス
 - I/Oライン管理
 - PDMインタフェース



ピン名	方向	説明
FS_A /B	入力/出力	フレーム同期
SCK_A /B	入力/出力	ビットクロック
SD_A/B	入力/出力	シリアルデータ
MCLK_A/B	出力	マスタクロック
D[3:1]	入力	デジタルマイク用ビットストリームデータ
CK[2:1]	出力	デジタルマイク用のクロック



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。

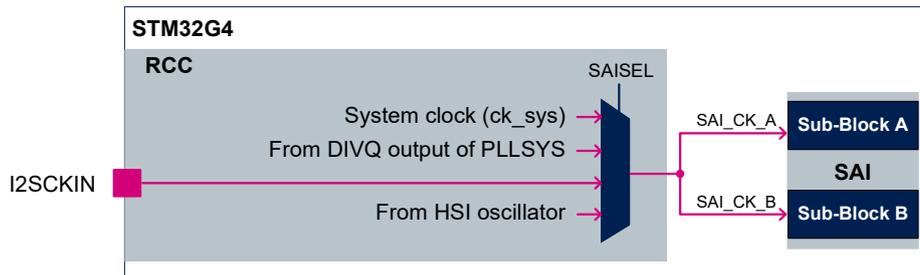
各サブブロックは、レシーバモードまたはトランスミッタモードに、また、マスタモードまたはスレーブモードに独自のプロトコルで設定できます。

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 6 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:
 - システム・クロックから
 - PLLSYSのDIVQ出力から
 - 外部パッド(I2SCKIN)から
 - ローカル・オシレータ(HSI)から



STM32G4 1つの SAI インタフェイスを内蔵しています。
SAI はカーネルクロックを受信できます。

- システムクロックから、
- PLLSYSのDIVQ出力から、
- HSIオシレータから、または
- 入力パッド: I2SCKINから

カーネルクロックは、マスター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イ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。

フリー・プロトコル・モード(1/13)

7

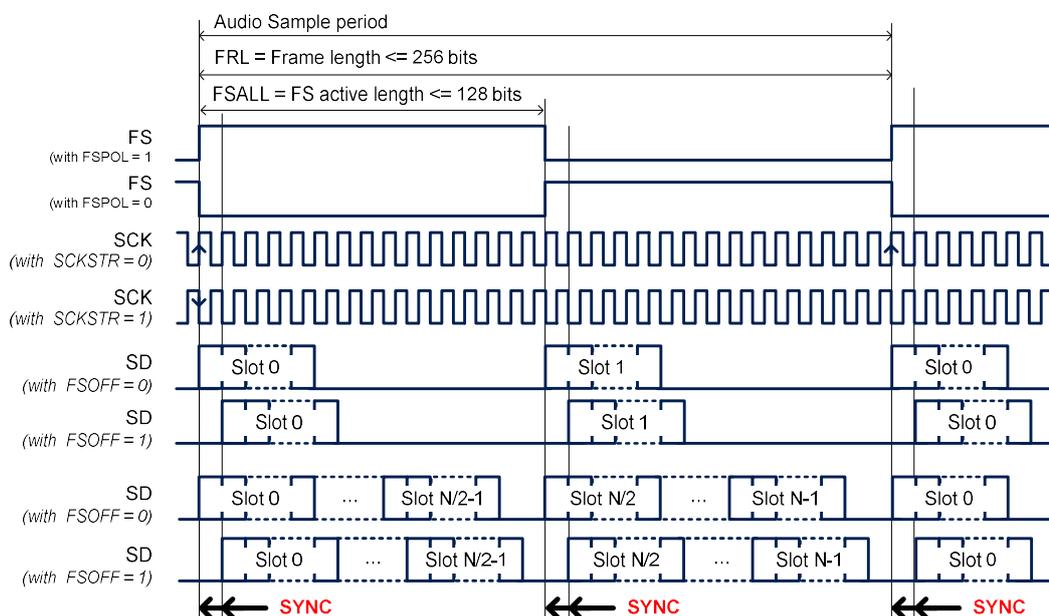
- SAIを以下で設定するには、フリー・プロトコル・モードを選択する必要がある
 - I²S フィリップス標準
 - I²S MSBまたはLSB詰め
 - TDMまたはPCM
- フリー・プロトコル・モードは、以下のパラメータを調整するために使用される
 - データの詰め方(LSB/MSBファースト)
 - データ・サイズ、スロット(またはチャンネル)サイズ
 - フレームあたりのスロット数
 - スロット内のデータ位置
 - シリアル・クロックのサンプリング・エッジ
 - フレーム・サイズ、フレーム極性、フレーム期間
 - フレーム・アクティブレベル・サイズ
 - フレーム同期モード
 - 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

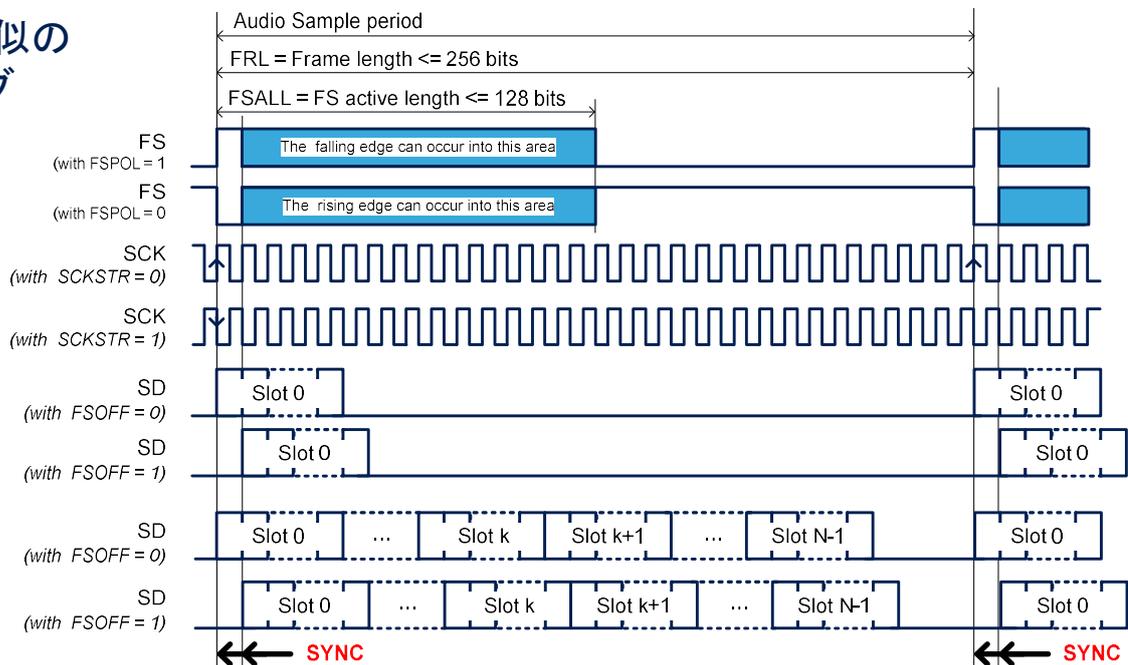


次の例は、I²S 類似プロトコルでのインタフェイスの機能を示しています。

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も選択できます。
- 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。
- スロットのサイズも調整できます。
- 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

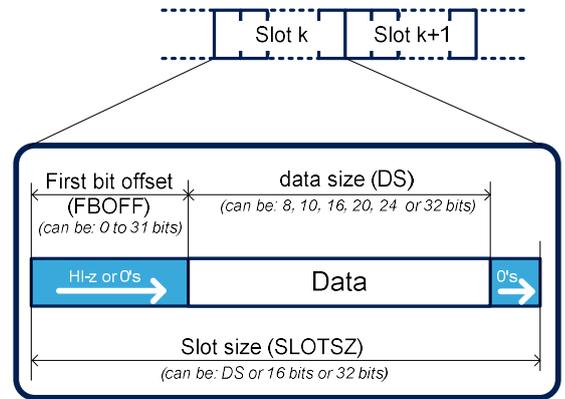


次の例は、TDM 類似プロトコルでのインタフェイスの機能を示しています。TDM 類似プロトコルでは：

- 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も選択できます。
- 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。
- スロットのサイズも調整できます。
- 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
 - 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) エリアで



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
- 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
 - マスタクロック(MCLK)は、SAI が有効でないときでも生成
 - このため、構成段階で外部コーデックのクロック調整が可能



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。

SAI が有効でないときでも、外部デバイスに対するマスタクロックの生成が可能なことに注意してください。

この機能により、たとえば、構成段階で外部コーデックにクロックを提供できます。

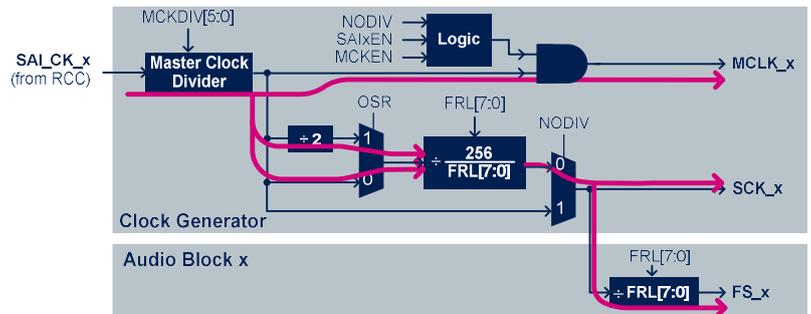
- サンプリングレート調整、MCLK が生成されるとき:

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

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

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

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



(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。

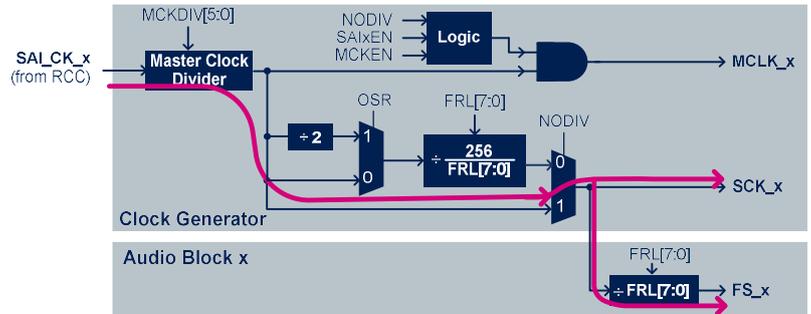
クロック SAI_CK は、STM32G4 RCC ブロックによって提供されます。

- 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_CLK 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)
 - 内部同期が使用される時:
 - 両方のサブブロックが同じフレーム同期と同じビット・クロックを共有
 - 両方のサブブロックが同じフレーム設定で同じプロトコルを使用する必要がある
 - 両方のサブブロックをスレーブモードに設定するか、一方をスレーブ・モードに、もう一方をマスタ・モードに設定できる
 - 同期が使用されない場合、各サブブロックは独立例:
 - SAI_A は I2S Philips マスタ、SAI_B は SPDIF
 - SAI_A は TDM スレーブ、SAI_B は AC'97



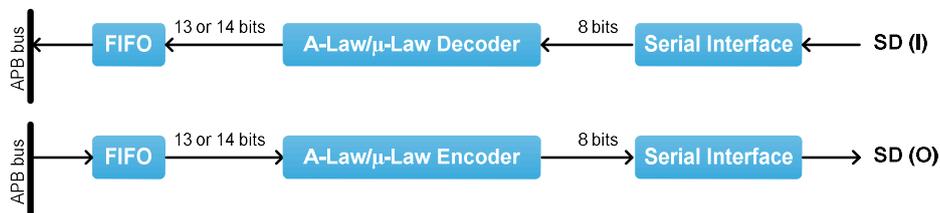
内部同期は、全二重 I2S など、2 つのデータレーンを必要とする通信に使用できます。

同期されるすべてのサブブロックが同じプロトコル特性を使用する必要があります。

サブブロックの一方をマスタモードに、もう一方をスレーブモードに設定するか、マスタデバイスが外部の場合は両方のサブブロックをスレーブモードに設定できます。

• 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8bit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8bit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モードがサポートされ、これらはCCITT G.711勧告の一部
- 米国と日本で採用されているコンパANDING規格は μ -Law、14bit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、13bit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 μ -Law はロスレス圧縮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可能
 - 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
 - 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可能
 - 連続フレーム数はプログラム可能
 - 割込みを生成可能(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。

- 予期された／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のグリッチを検出可能
 - スレーブモードでは、SAIはフレーム同期が予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可能
 - ステータス・フラグを使用でき、割込みも生成可能
 - 予期された／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

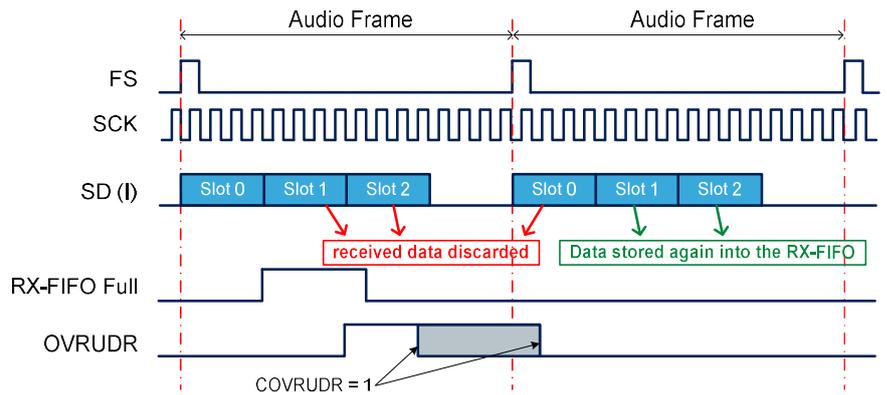


予期された／遅延フレームエラー検出機能は、予期しないフレーム同期の不一致を検出することにより、インタフェイスの信頼性を高めます。ステータスフラグがセットされ、割込みも生成できます。アプリケーションソフトウェアは、その後、SAI インタフェイスを再起動する必要があります。

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
- 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
- 例: スロット1におけるFIFO オーバーラン

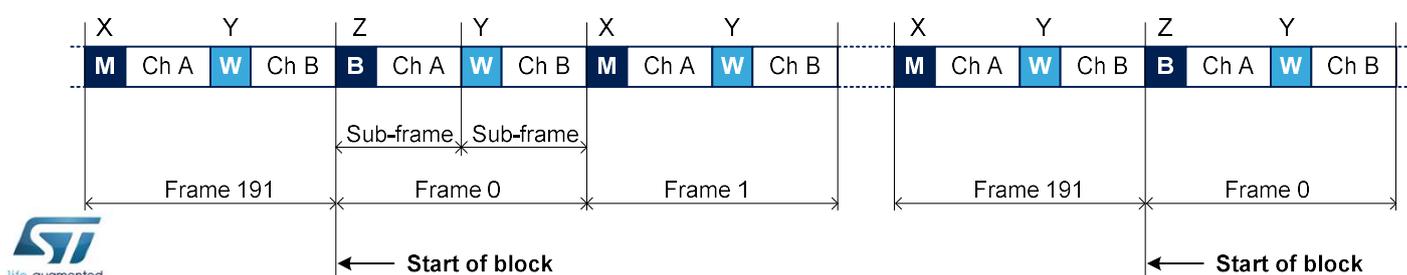


- SAIはSPDIFプロトコルを使用してオーディオサンプルを生成可能:
 - SPDIFモードでは、SD_x_IO のみを使用され、他のIOは未使用
 - データ・サイズは強制的に24bitに設定される
 - データはマンチェスタ・エンコード(または 2 層マーク)
 - SAIはプリアンプルを自動的に生成
 - SAIはパリティを自動的に生成
 - アプリケーションはCS、U、およびVビットを処理する必要がある



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



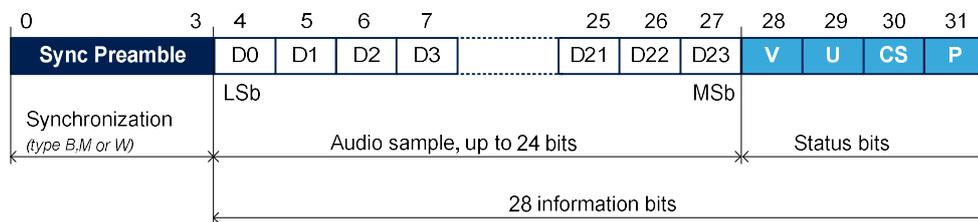
IEC 60958 仕様では、ブロック構造はチャンネルステータス (CS) とユーザ情報 (U) をデコードするために使用されます。

- 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32bitを含む:
 - プリアンブル
 - 最大24bit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 192bit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 192bit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 32bit を含みません。

- 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
- 24bit 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:

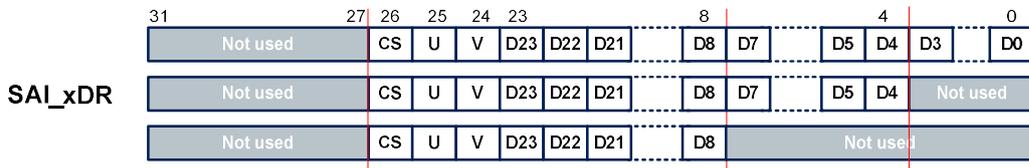
- オーディオ・サンプルレート(f_s)は、次の式で調整可能:

$$F_s = \frac{F_{SAI_CK}}{128 \times MCKDIV}$$

F_{SAI_CK}	MCKDIV+1	オーディオサンプルレート	シンボルレート
5.6448MHz	1	44.1kHz	2.8224MHz
6.144MHz	1	48kHz	3.072MHz
12.288MHz	1	96kHz	6.144MHz

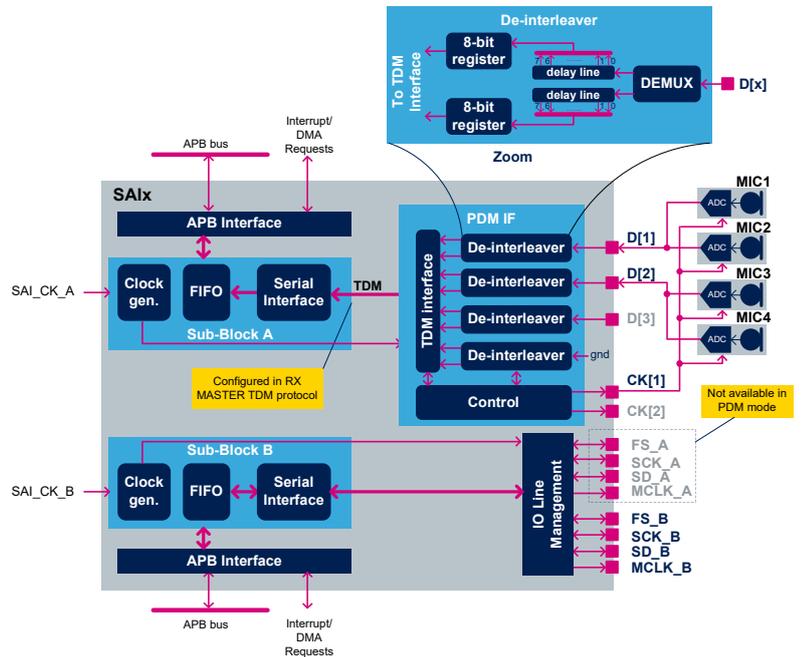
• データ・フォーマット:

- 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
- 8bit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6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モードに設定されなければならない
- 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 8bit 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 8bit 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]、または D[3] 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



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(16bit)
 - データスロット: スロット1~12(20bit)
 - フレーム長は256bit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際には、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。

- 割込み:

割込みイベント	説明	割込みをクリアする方法
FREQ	FIFO要求 (FIFO 閾値に到達)	SAI_xDR 読み込みまたは書き込み ⁽²⁾
OVRUDR	オーバーラン/アンダーラン・エラー	COVRUDR = 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閾値に達したとき、DMAリクエストを生成できる



割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	有効
低電力 RUN	有効
SLEEP	有効 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
低電力 SLEEP	有効 ペリフェラル割込みによって、デバイスは低電力SLEEPモードを終了
STOP 0/STOP 1/STOP 2	停止。ペリフェラル・レジスタの内容は保持
STANDBY	パワーダウン状態 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
SHUTDOWN	パワーダウン状態 ペリフェラルは、SHUTDOWNモード終了後に再初期化する必要がある

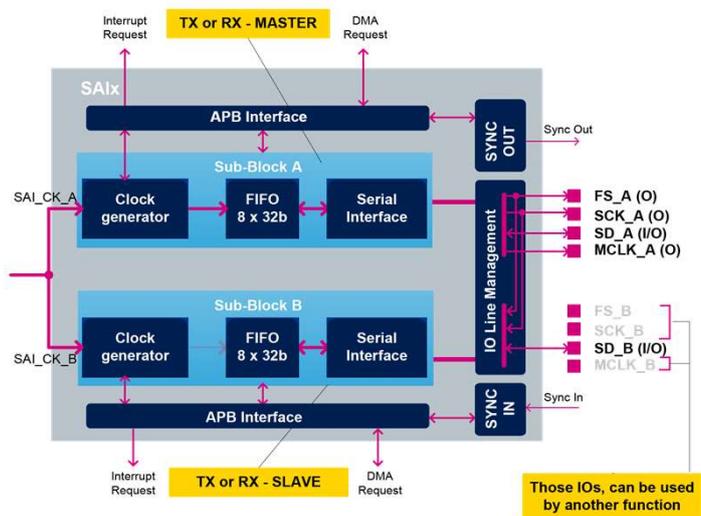


次の表は、さまざまな電力モードでの SAI の動作の概要を示しています。

SAI は、RUN モードと SLEEP モードではアクティブ、STOP、STANDBY、または SHUTDOWN モードでは停止します。

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なため、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。

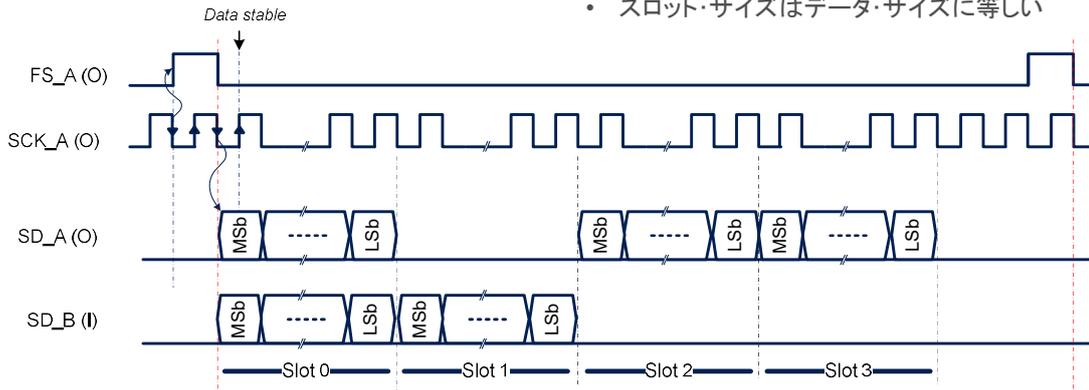
• TDMマスタ、4スロット:

• 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。

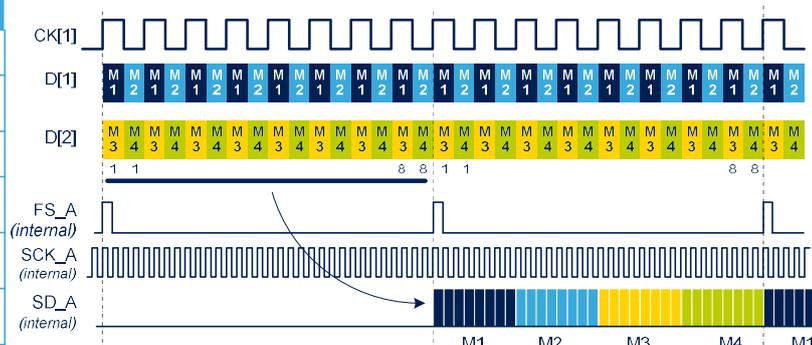
両方のサブブロックについて、フレーム構造は 4 つのスロットがあります。

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、8bit の 4 スロット	PRTCFCG = 0、NBSLOT = 3、SLOTEN = 0xF、SLOTSZ = 0
スロットサイズ 8bit、フレーム長 32bit	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 (16kHz) 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 RX FIFO に 8bit 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。