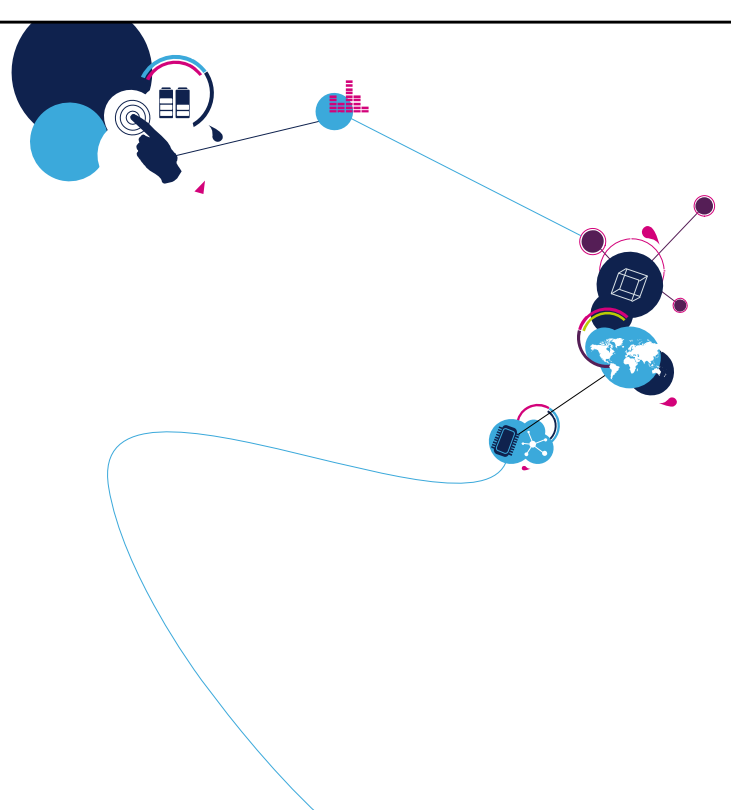


STM32G0 - SPI

シリアル・ペリフェラル・インタフェース

レビジョン 1.0



STM32 シリアル・ペリフェラル・インタフェースのプレゼンテーションへようこそ。

STM32F0と同じ

2

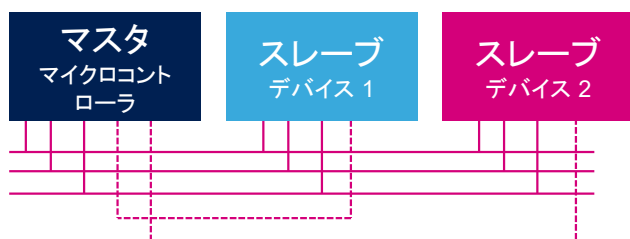
- STM32G0マイクロコントローラはSTM32F07x、STM32F09x、およびSTM32F04xの各マイクロコントローラと同じSPI機能を共有している
 - ただし、一部の軽微な修正も実装されている



STM32F0 マイクロコントローラ向けに開発された SPI ドライバは、STM32G0 マイクロコントローラでもシームレスに動作します。

• シンプルなシリアル通信インタフェース

- 高度に設定可能
- 標準の同期プロトコルをサポート



アプリケーション側の利点

- インタフェースに必要なピン数が少ない
- 外部コンポーネント／デバイスをSPIインタフェースにシンプルに統合



内蔵シリアル・ペリフェラル・インタフェース(SPI)は、マイクロコントローラが外部デバイスと通信できるようにする、シンプルな通信インタフェースを提供します。このインタフェースは高度な設定が可能であり、多くの標準プロトコルをサポートします。アプリケーションにとって、必要なピン数が少ない簡単な方法で直接コンポーネントに接続できるという利点があります。高度に設定可能なSPIの機能を備えているので、既存のプロジェクトで簡単に多くのデバイスに対応できます。

• 動作モード

- マスタまたはスレーブ(マルチマスタ/マルチスレーブをサポート)
- 全二重、単方向、または半二重
- モトローラとTIの規格をサポート

• 最大fPCLK/2で動作

- 二線(以上の)インタフェース(スレーブ選択管理オプション)
- データ・フォーマットとクロック・フォーマットを設定可能
- プロトコル・レベルで追加のサポート(Tx FIFOとRx FIFO、DMA、CRC)
- 割り込み機能を備えた幅広いイベント・フラグ

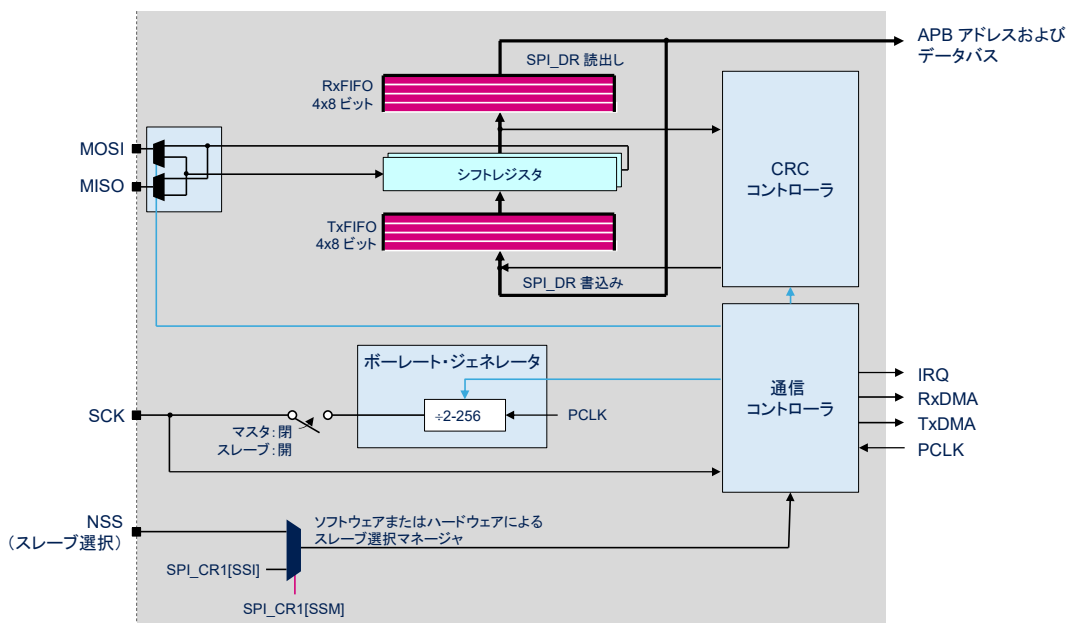


STM32 のSPI には、このプレゼンテーションで詳しく説明する様々な動作モードがあります。

通信速度は、内部バス周波数の半分を超えることはできません。単方向でクロック信号により同期されるシリアルデータフローを提供するために、少なくとも二線が必要です。オプションでハードウェアスレーブ選択制御信号を追加できます。

データサイズと送信シフトオーダー、さらにクロック信号の極性と位相、スレーブ選択信号の極性とタイミング調整を設定可能です。

プロトコルレベルでは、ユーザは、自動巡回冗長検査(CRC)計算オプション付きの固有のデータバッファを使用でき、DMAコントローラ経由で転送します。割り込み要求を生成できる幅広い SPI イベントが用意されています。



単純化した SPI ブロック図で、その基本的な動作と機能を示します。SPI ペリフェラルには、4 つの I/O 信号が関連付けられています。すべてのデータは、固有のインタフェースを經由して受信バッファと送信バッファを通過します。

データは、DMA 機能付きの 2 つの 32 ビット内蔵 Rx FIFO/Tx FIFO に一時的に格納されます。

NSS の管理は、ハードウェアまたはソフトウェアによりマスタとスレーブの両方で行われるので、マスタ/スレーブ動作を動的に変更できます。

SPI コントローラは、通信の信頼性を向上するために、ハードウェアで巡回冗長検査 (CRC) 機能をサポートしています。送信モードで CRC 値を最後の数バイトとして送信でき、最後に受信した数バイトを自動的に CRC エラーチェックすることができます。



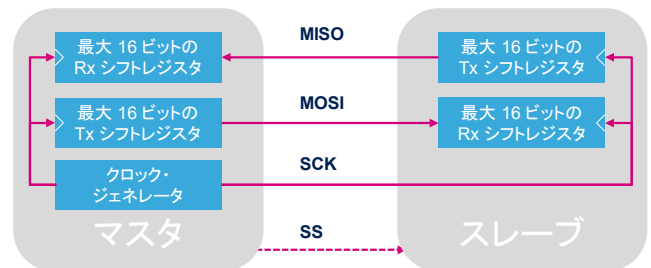
life.augmented

SPIノードの相互接続

6

さまざまなマスター-スレーブ相互接続をサポート

- マスタは常にクロックを供給し、すべてのトラフィックを制御する（通信するスレーブを選択）。
- データは両方向で並行してやり取りできる
- 全二重モード（双方向）では、マスタとスレーブの両方が同時にデータを送受信する



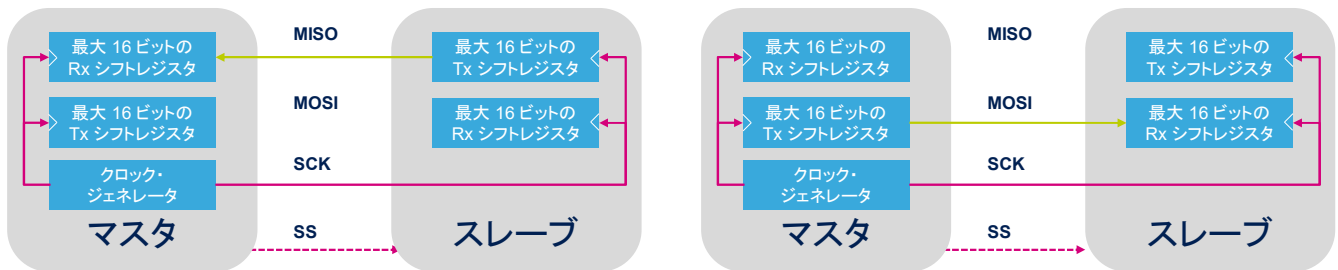
SPI マスタは、常にバストラフィックを制御し、SCK ラインを通じて特定のスレーブにクロック信号を供給します。マスタは、オプションのスレーブ選択 (SS) 信号を使用して、通信するスレーブを選択できます。専用シフトレジスタに格納されたデータは、マスタとスレーブの間で、MOSI (Master Output, Slave Input) と MISO (Master Input, Slave Output) のデータライン経由で、同期して交換できます。全二重モードでは、両方のデータラインが使用され、同期データは両方向に流れます。

SPIノードの相互接続

7

さまざまなマスター-スレーブ相互接続をサポート

- 単方向モードでは一方のノードがトランスミッタ、もう一方のノードがレシーバになる



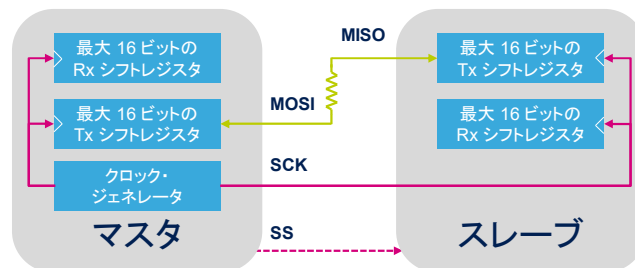
単方向モードでは一方のノードがデータを送信し、もう一方のノードがデータを受信します。データは一方方向にのみ流れます。通信方向に応じて、データラインが1つだけ使用されます。未使用のSPIピンは、他の目的に使用できます。

SPIノードの相互接続

8

さまざまなマスター-スレーブ相互接続をサポート

- 半二重モード(準双方向)では、マスターとスレーブの両方が同期を取ってデータの送信と受信を交互に行う。
 - 両ノードは1つの共通データラインを共有する。

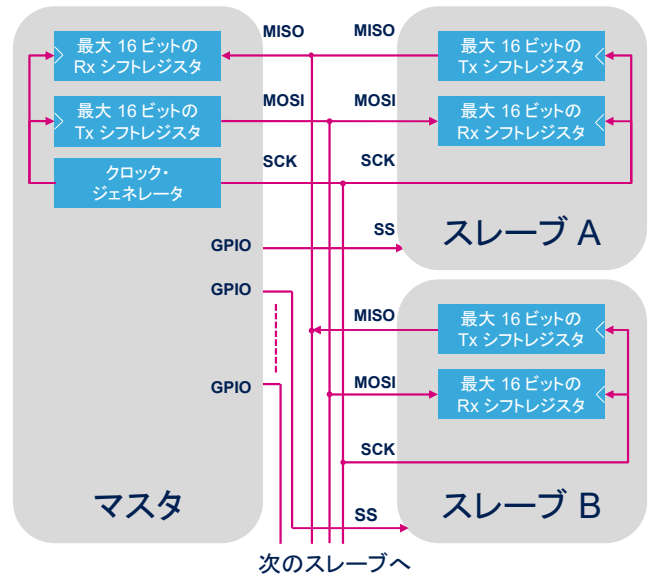


半二重モードは、データ交換用に1つのラインを共有し、データは一度に一方向にのみ流すことにより、前述の2つのモードを統合しています。このモードでは、マスターのMOSIピンとスレーブのMISOピンが交差接続されます。マスターとスレーブは、共通のデータラインを使用する際、同期を取ってトランスミッタの役割とレシーバの役割を交代する必要があります。一般的に、MISOピンとMOSIピンの間の半二重データラインに直列抵抗を追加して、発生する可能性がある一時的な短絡接続を防止します。なぜなら、通常はマスターノードとスレーブノードは同期されていないからです。

マルチスレーブ・ネット・トポロジのサポート

• マルチスレーブ: スター・トポロジ

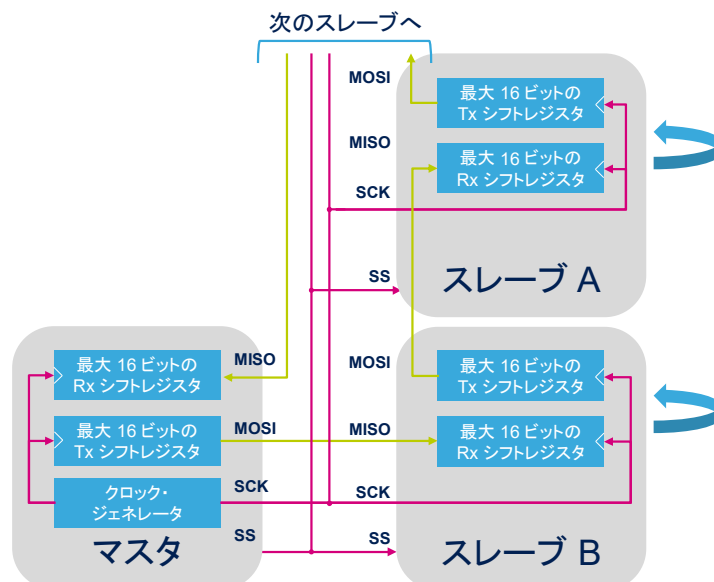
- マスタはデータを書き込む／読み出す際にスレーブノードを1つ選択する
- 個別のスレーブ選択信号 (GPIO ピンで制御) が必要
- 複数のスレーブ・ノードは異なるクロック・フォーマットとデータ・フォーマットを使用できる



SPI ネットワークに複数のスレーブが存在する場合、スター・トポロジがよく使用されます。マスタは一度に1つのスレーブ(スレーブ選択入力によって選択される)と通信します。このトポロジでは、マスタから各スレーブノードに個別のスレーブ選択信号を供給する必要があります。これにより、マスタは専用GPIOピンを使用して通信するスレーブを選択できます。複数のスレーブノードの設定が異なる場合、個別のスレーブ選択信号を使用しているため、SPIのデータフォーマットとクロックフォーマットをスレーブごとに適応させることができます。

マルチスレーブ・ネット・トポロジのサポート

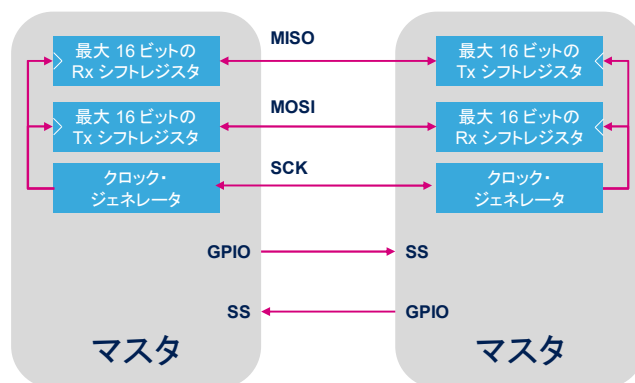
- マルチスレーブ: サークュラ・トポロジ (デイジー・チェーン)
 - データはすべてのノードを循環する
 - すべてのノードが共通のデータ・フォーマットとクロック・フォーマットをサポートする必要がある



もう 1 つのマルチスレーブ設定は、サーキュラ・トポロジです。このトポロジでは、1 つの閉じたシリアルチェーンですべてのノードの入力と出力が相互接続されます。通信は同時に発生するので、すべてのノードで 1 つの共通のスレーブ選択信号が使用されます。すべてのノードが同じデータフォーマットとクロックフォーマットの設定を使用する必要があります。スレーブ SPI ノードがマイクロコントローラによって提供される場合、内部の送信シフトレジスタと受信シフトレジスタは通常は物理的に分離されるので、それらの間で転送されるデータはソフトウェアによって循環モードで処理する必要があります。その間、マスタノードは、データとデータの間これらの内部転送を補う十分な時間を確保する必要があります。

マルチマスタ・トポロジのサポート

- マルチマスタ: 2つのノードがマスタ機能を持つ
 - ノードはデフォルトではスレーブ・モードである
 - ノードはそれ自体をアクティブ・マスタに切り替えてバスの制御を獲得し、通信セッションを開始する
 - スレーブ選択用のピンは、潜在的なバス競合を検出するための入力として使用される
 - マスタ・ノードはスレーブ・モードに戻って通信セッションを終了する



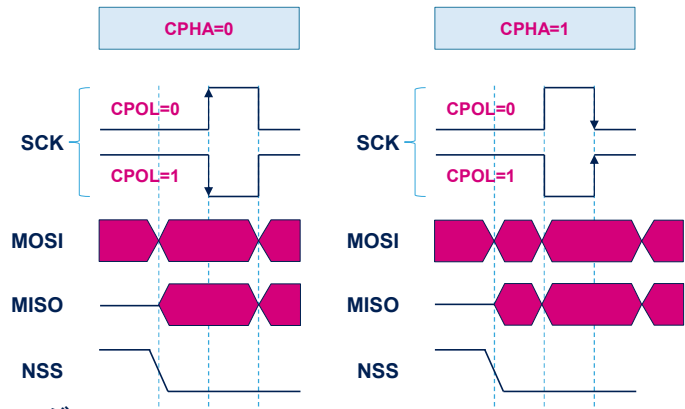
SPI ネットワークは、マルチマスタ環境で動作できます。このモードは、2 つのマスタノードを排他的に接続するために使用されます。どちらのノードもアクティブではない場合、どちらもデフォルトでスレーブモードになります。一方のノードがバスの制御を獲得したい場合、それ自体をマスタモードに切り替えて、GPIO ピン経由でもう一方のノードにスレーブ選択信号をアサートします。両方のスレーブ選択 (SS) ピンは、ノード間の潜在的なバス競合を検出するためのハードウェア入力として機能します。なぜなら、SPI バスのマスタになれるのは一度に 1 つのノードだけだからです。セッションが完了した後、アクティブ・ノード・マスタは、スレーブ選択信号を解放し、パッシブスレーブモードに戻って、次のセッション開始を待機します。

データフレーム・フォーマット

12

完全にプログラム可能な柔軟なフォーマット

- データフレームのサイズ
 - 4~16ビット
- ビットのシフト・オーダー
 - MSBファーストまたはLSBファースト
- クロック設定 (モード0~3)
 - アイドル時にローまたはハイの極性
 - 奇数エッジまたは偶数エッジによるサンプリング



データフォーマットは、さまざまなパラメータを使用してセットアップします。ユーザはデータフレームのサイズとシフトレジスタの送信順を定義できます。クロックは、モトローラ SPI 仕様で定義されている 4 つの基本設定の 1 つに設定できます。2 つのビットの組み合わせによって、クロック信号の極性と位相を制御します。位相制御ビットがクリアされると、データビットは奇数クロックエッジでサンプリングされ、偶数クロックエッジで次のビットからデータラインへのシフトが同期されます。位相制御ビットがセットされている場合はこの逆になります。クロック極性ビットは、クロック信号のアイドル状態およびどちらのクロックエッジをデータのサンプリングまたはシフトに使用するかを定義します。

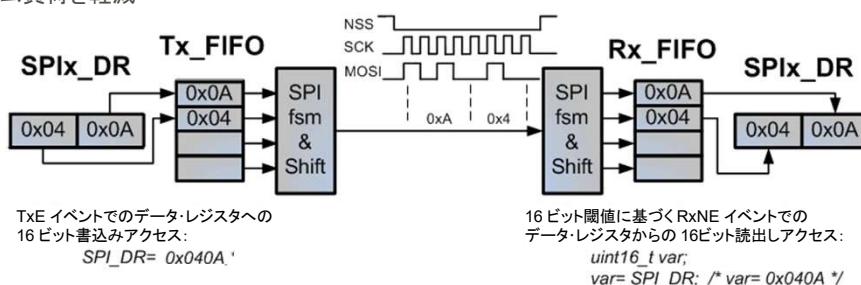
データ・パッキング、FIFOアクセス

13

高度な低需要制御

• パッキング・モード

- 複数のデータ・パターンによるFIFOレジスタのアクセス
- 設定可能なFIFO閾値レベル
- DMAアクセス
 - イベントおよび必要なサービスの数を削減
 - システム負荷を軽減



通信速度が高速でデータフレームが短すぎる場合、特にクロック信号が連続的になり全二重モードが使用される場合は、正しいデータフローであることの確認が困難であることがあります。スレーブノードは、マスタによって提供されるすべてのトランザクションのタイミングに適切に対応してデータオーバーラン／アンダーラン条件を防止する必要があるという、より重要な役割を担っています。データフレームサイズが1バイトに収まる場合、パッキングモードを使用できます。

その場合、FIFOレジスタへの1回のアクセスで複数のデータパターンを書込み／読み出しできます。FIFO閾値イベントの適切な設定と組み合わせることで、対応する必要があるイベントの数が減り、データフロー制御を向上できます。さらにDMAを使用すると、システムにかかる全体的負荷が大幅に軽減されます。スライドの図は、専用のFIFOレジスタへの1回の16ビットアクセスで2つの短い8ビットデータフレームを書込み／読み出しできる方法の原理を示しています。この読み出し／書き込みデータアクセスは、1つのイベントが発生するだけで実行されます。

32ビットのRx FIFOとTx FIFO

閾値とデータ・アクセスの間のバランス

- 送信用と受信用の2つの個別の32ビットFIFO
- 8ビット／16ビットの読出し／書込みアクセスとFIFOの閾値と占有フラグ
- 8ビット・アクセスではTx FIFOとRx FIFOの機能が異なる

	Rx&Tx FIFO 占有		FxFVL	TxE	RxNE	RxNE
	16ビット	8ビット			16ビット	8ビット
0			00	1	0	0
1/4			01	1	0	1
1/2			10	1	1	1
>1/2			11	0	1	1

*) 最大3x 8ビット(TxFIFOの場合)、4x 8ビット(RxFIFOの場合)

SPI ペリフェラルは、データフローを処理する 2 つの 32 ビット FIFO を備えています。FIFO には、8 ビットまたは 16 ビットのどちらかのデータアクセス命令を使用してアクセスできます。受信時に FIFO から生成されるイベントは、閾値設定に応じて変化します。スライドの表に、設定に応じたイベントフラグの動作の変化の概要を示します。データの整合性が失われないように、FIFO アクセスと閾値設定のバランスを維持することが重要です。送信時の FIFO 占有率は、データアクセスに応じて変化します。

システムは送信 FIFO への次のアクセスを決して予測できないので、FIFO の後半部分に書き込むために 8 ビット書込みアクセスが適用された場合、FIFO 機能はフルに使用されません。この場合、Tx FIFO はフルに占有されていませんが、結果として TxE フラグはクリアされます。図の星印を確認してください。



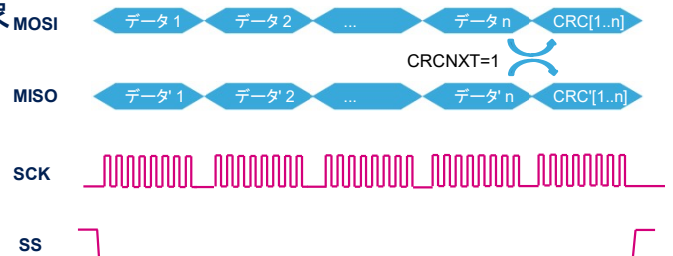
プロトコル・レベルの追加サポート

15

DMAとCRCの管理を強化

• DMAコントローラによる自動処理の対象

- データ・トランザクション・イベントの正確な数
- トランザクションの終了を処理する方法
 - CRC 制御
 - FIFO 閾値制御



• 柔軟なCRC制御

- 受信フローと送信フローで個別の計算器を使用
- トランザクションの終了時にCRCパターンを送信:
 - トランスミッタはCRC結果をデータ・シフト・レジスタに直接ロード
 - レシーバはCRCをRx FIFOに格納し、その値を内部計算値と比較
- プログラム可能なCRC多項式(奇数値のみ)とCRC長(8ビットまたは16ビットのCRCフレーム)



プロトコルレベルの通信中、DMAコントローラを使用して自動的にデータフローイベント、CRC計算、およびFIFO閾値の更新を処理できます。閾値制御の場合、フレーム数がパケットサイズと揃っていないとき、最後の奇数データフレームはパックされたモードで正しく適用されます。

CRCが有効な場合、トランスミッタとレシーバには個別のCRC計算器を使用します。CRC計算結果は、DMAコントローラによって、またはソフトウェア制御によって、転送のたびにその最後に自動的に付加されます。

トランスミッタのCRC計算器レジスタの結果はシフトレジスタに直接ロードされ、受信されたCRC値はFIFOに格納され、レシーバのCRC結果と比較されます。計算に使用されるCRC多項式はプログラム可能であり、CRCパターンの長さは8ビットまたは16ビットのどちらかのフレームに設定できます。

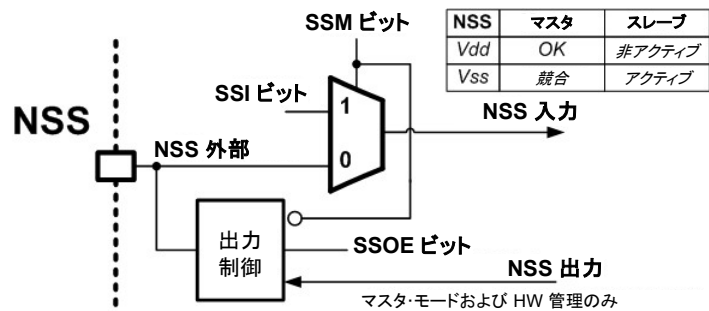
スレーブ選択信号(NSS)の管理を強化

• NSS入力

- ハードウェアまたはソフトウェアにより管理
- スレーブ・モード: アクティブ・スレーブを選択
- マスタ・モード: マスタ間の競合

• NSS出力

- マスタモード
 - アクティブ・スレーブを選択
 - 特定のモード



一般的に、マスタノードが通信するスレーブノードを選択する場合にスレーブ選択信号を使用します。

マルチマスタ・トポロジとマルチスレーブ・トポロジでは、この信号の実装は必須です。シングルマスタ-スレーブペアでは必須ではありませんが、トポロジに関係なく、データフローの同期に役立つ可能性があります。

スレーブ選択信号は、入力または出力として動作できます。

NSS 入力は、SSM 制御ビットと SSI 制御ビットに応じて、ハードウェアまたはソフトウェアにより管理できます。

スレーブ入力としては、それ自体を通信のアクティブ・スレーブとして特定するために使用されます。マスタ入力としては、マルチマスタ・システムでマスタ間の競合の可能性を通知します。

NSS は、マスタモードでは出力としてのみ機能し、標準または特定の制御モードでハードウェアにより管理されます。ソフトウェア制御下で GPIO を使用して追加のスレーブ選択出力を提供できます。

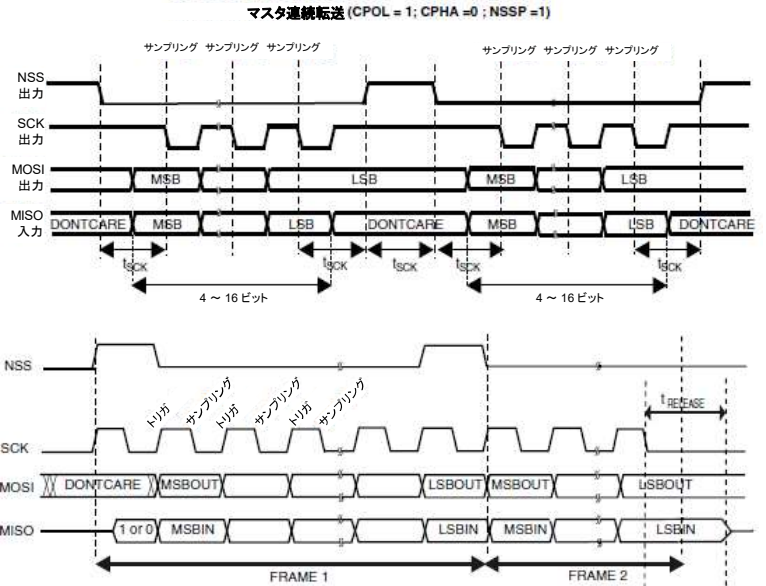
スレーブ選択信号(NSS)をハードウェアで制御する拡張モード

• NSSパルスモード

- マスタのサポートのみ
- モトローラ・モード(CPHA 0のみ)

• TIモード

- マスタとスレーブのサポート
- 固定されたCPOLとCPHAの設定
- HiZスレーブのMISO自動制御



スレーブ選択信号が特定のハードウェア制御下にある場合、いくつかの拡張モードがあります。

スレーブ選択信号はパルスモードで動作できます。このモードでは、マスタはデータフレーム間の信号でパルスを生成します。

- データ・トランザクションが連続する場合、データフレーム間で 1 SCK 周期の間、NSS はハイになります。
- クロックの極性と位相は固定され、CPOL 設定は無視されます。CPHA はクリアされた状態を維持する必要があります。

もう一つの拡張モードは TI モードです。このモードでは、マスタがデータの最後のビットで供給する SS パルスにより、データフローが同期されます。

- クロックの極性と位相の設定は固定されます。スレーブデータ出力は、バストラフィックの停止時および特定の設定可能なタイムアウトの発生時に、自動的にハイインピーダンスに切り替えられます。
- TI モードで CRC を適用する場合、CPOL=0 CPHA=1 の設定を維持する必要があります。

NSS パルスモードでは CRC を適用できません。

割り込みイベント	フラグ	説明
送信 FIFOレディ	TXE	TxFIFOが新しいデータを受け入れる準備ができたときにセットされる
受信 FIFOレディ	RXNE	RxFIFOでデータを受信するとセットされる
マスタモード・フォールト	MODE	マルチマスタ・バス設定でバス競合が検出されたときにセットされる
データ・オーバーラン・エラー	OVR	RxFIFOがフルなので、レシーバが次のデータ・フローを受け入れることができない
TIフレーム・フォーマット・エラー	FRE	NSS信号がデータフォーマットに対応していない
CRCプロトコル・エラー	CRCERR	転送中に内容の破壊が生じた場合、データとCRCの転送の最後にCRCERRフラグがセットされる

- DMAアクセスは、TXE FIFOイベントとRXNE FIFOイベントに基づいて内部的にリクエストされる
 - DMAは、自動的にCRCとデータ閾値の制御を処理する



スライドの表に、SPI 割り込みイベントの概要を示します。データフローを処理するための FIFO イベントとエラー検出イベントがあります。DMA リクエストは、FIFO 閾値イベントにより内部的にトリガされます。

低消費電力モード

19

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モードを終了する。
低消費電力RUN	アクティブ
低消費電力SLEEP	アクティブ。ペリフェラル割込みによって、デバイスは低消費電力SLEEPモードを終了する。
STOP 0	停止。ペリフェラルレジスタの内容は保持される。
STOP 1	停止。ペリフェラルレジスタの内容は保持される。
STANDBY	パワーダウン。ペリフェラルは、STANDBYモードを終了した後に再初期化する必要がある。
SHUTDOWN	パワーダウン。ペリフェラルは、STANDBYモードを終了した後に再初期化する必要がある。



スライドの表に、特定の低消費電力モードでの SPI の状態を示します。デバイスは、STOP、STANDBY、または SHUTDOWN モードでは通信を実行できません。ペリフェラルが STOP モードまたはパワーダウンモードに移行する前にすべての SPI トラフィックが確実に完了していることが重要です。

- 理論的な通信速度限界はPCLK/2
- 実際の通信速度は以下に依存：
 - SPIバスの容量負荷(接続されているデバイスの数、入力容量、配線の長さ)
 - GPIO内部ボンディング、それらの設定、VDDLレベル、および周辺温度
 - SPIクロック信号のデューティ比
 - データに提供される／必要なセットアップ時間とホールド時間
 - 連続フローを制御するソフトウェア機能
- 実際の性能
 - マスタモードでの最大速度: 32MHz
 - スレーブモードでの最大速度: 32MHz

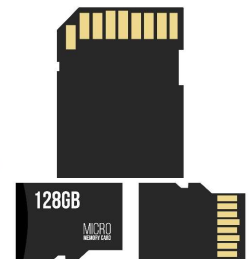
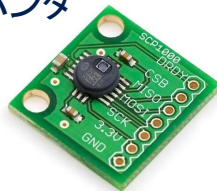
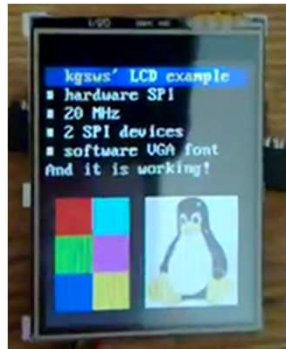


SPI の性能は、適用されるクロックに主に依存します。クロック周波数は、必要な通信周波数の少なくとも 2 倍である必要があります。実際の通信速度は、アプリケーション要因によって低下する可能性があります。

ユーザは、ノード数、接続距離、入力容量などの SPI バスの負荷や GPIO 設定を考慮する必要があります。高速 GPIO モードを、データ信号とクロック信号に適用する必要があります。電源電圧が低く、極端な周辺温度の場合、エッジが遅くなります。場合によっては、比較的遅いデータホールド時間またはデータセットアップ時間の要件をノード間で守る必要があります。頻繁な例外処理のために、アプリケーションが常に高速データフローを管理できるわけではありません。

DMA 容量に加えて、システムで使用する DMA チャネル数、頻繁な割り込み処理、または割り込み不可命令の実行も考慮する必要があります。

- ディスプレイ
- スマートセンサ
- メモリ
- MMC/SDカード
- IOエクспанダ



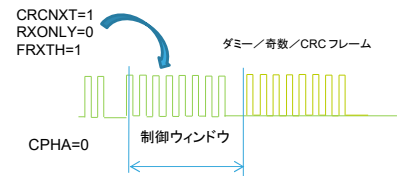
SPI は、複雑な通信プロトコルを必要としない、単純なデータ転送が必要な幅広いアプリケーションで使用できます。

アプリケーションのヒントとコツ

22

一般的なヒント:

- SPI (またはそのクロック)を無効にする前に、BSYおよびFIFO 有ステータスをチェックする
- 特定の制御(CRC、Rx FIFO閾値、Rx Onlyモードの終了)が必要な場合は DMAを使用する
- データが1バイトに収まる場合はパックモードを使用する
- NSSのハードウェア管理には利点がある



特定の側面について:

- CRC情報は受信FIFOにロードされるので、ユーザが一掃する必要がある
- マスタ・モードとスレーブ・モードでは、連続データ・トランザクション中のBSY動作は異なる
- 送信動作中は受信フラグとオーバーラン・フラグはセットされる(これらは無視する必要がある)
- CRC適用時のDMAのヒント
 - 全二重モードでのDMAトランザクションのデータサイズ:
 - 送信時 = 送信データ数 (CRC長は含まない)
 - 受信時 = 受信データ数 + CRC長 (Rx Onlyモード時 = 受信データ数)



一般的なヒント:

ユーザは、DMA トランザクションが完了した場合または送信 FIFO が空になった場合でも、バス上のトラフィックは進行中である可能性があることを認識する必要があります。

ユーザが、SPI を無効にする前または SPI を STOP モードに移行する前に、慎重にペリフェラルのステータスを確認し、提案されている手順に従う必要があるのは、これが理由です。

CRC 処理が必要な固有の検証を行う場合、または受信 FIFO 閾値を検証する場合 (パケットモードでデータ数の整合がとれていない場合)、または受信専用モードで正確な量のデータを受信する場合、DMA を使用します。これらの種類の検証は、フレームトランザクション中の特定のタイムウィンドウ内で排他的に適用する必要があります。これにより、後続のトランザクションがすべて適切に処理されます。

DMA とデータパッキングは、システム全体の性能を高めることができます。これらの機能は、データフレームが短く、高速の連続通信フローが必要な場合に役立つ可能性があります。

NSS のハードウェア管理は、単一マスタ/単一スレーブの組み合わせでは特に必要ありませんが、マルチマスタ・システムではデータフローの同期および競合の防止に役立つ可能性があります。

- SPI ネットワークの設計時は、さらにいくつかの特定の側面を考慮する必要があります。
- レシーバは常に CRC 情報を受信 FIFO にロードします。ユーザは、バッファでこのことを考慮して一掃する必要があります。
- ビジーフラグは、データ処理には使用せず、進行中のトラフィックを確認するために使用する必要があります。マスタの連続データ・トランザクション中は、データフレーム間で BSY ビットはセットされたままになります。スレーブモードでは、通信が連続的かどうかに関係なく、BSY ビットは常にデータフレーム間で少なくとも 1 SPI クロックサイクルだけローになります。
- ノードがデータのみを送信する場合、受信フローはアクティブなままです。この場合、ユーザは、すべての受信イベントと関連するオーバーランイベントを無視する必要があります。
- CRC を含む場合に DMA コントローラで処理されるデータサイズは、モードによって異なります。CRC を使用する場合、全二重モードと受信専用モードでは、送信時と受信時で異なるデータサイズを設定する必要があります。

- 次のペリフェラルを参照：
 - RCC (SPIクロックイネーブル、SLEEPモードでのクロック制御、リセット)
 - 割込み (FIFOイベントとエラーイベント)
 - GPIO (速度制御、GPIO設定)
 - DMA



SPI に直接関連するこれらのトレーニングを参照してください。ユーザは、SPI の動作に影響を及ぼす可能性があるすべてのペリフェラルについて理解を深める必要があります。

STM32G0インスタンス機能

SPI の機能	SPI1	SPI2
ハードウェアCRC計算	可能	可能
Rx & Tx FIFO	可能	可能
NSSパルスモード	可能	可能
TIモード	可能	可能



STM32G0 マイクロコントローラには 2 つの SPI インスタンスがあり、それぞれがこのプレゼンテーションで説明されているすべての機能をサポートします。

- 詳細については、次のリソースを参照:

- AN4286 - SPI protocol used in the STM32 bootloader
- AN3364 - Migration and compatibility guidelines for STM32 microcontroller applications
- Web (接続例、使用可能な監視ツール)



専用の SPI に関するアプリケーションノードがいくつか公開されています。一般的な SPI 接続およびインターフェースの問題については、多くの Web ページで取り上げられ、さまざまな SPI バス監視ツールも公開されています。多くのデジタルオシロスコープは、SPI バス上のデータ信号とクロック信号の直接読出しと分析をサポートしています。