

STM32WL5 - SubGHz

Sub-GHz 無線コントローラ

レビジョン 1.0

STM32WL5 Sub-GHz 無線コントローラのプレゼンテーションへ
ようこそ。

- Sub-GHz 無線に統合されている機能:

- ISM バンド 150 ~ 960 MHz
- 変調方式、ビットレート:
 - LoRa™、0.013 ~ 17.4 kbps
 - (G)FSK、0.6 ~ 300 kbps
 - (G)MSK、0.1 ~ 10 kbps
 - BPSK、100 ~ 600 bps
- 準拠規格
 - ETSI EN 300 220、EN 300 113、EN 301 166
 - FCC CFR 47 part 15、24、90、101
 - ARIB STD-T30、T67、T108
- 標準:
 - LoRaWAN™、Sigfox など



アプリケーション側の利点

- 複数の Sub-GHz 規格をサポート
- 超低消費電力
- 最大 +22 dBm の高出力
- 自動較正

Sub-GHz 無線は、ISM の 150 ~ 960 MHz 帯で動作し、LoRa、周波数シフト・キーイング、最小シフト・キーイング、ガウス周波数シフト・キーイング、ガウス最小シフト・キーイング、バイナリ位相シフト・キーイングの各変調方式を提供します。欧州電気通信標準化機構(ETSI)、欧州規格(EN)300 220、300 113、および 301 166、連邦通信委員会(FTC)の連邦規則(CFR)47 part 15、24、90、および 101、電波産業会(ARIB)規格 T30、T67、および T108に準拠しています。

LoRaWAN や Sigfox などの規格や独自プロトコルに対応するシステムを構築できます。

- セキュリティ保護可能なコマンドによる制御
 - SPI インタフェースを使用
- 差動入力による受信入力
- 高出力と標準出力のシングルエンド送信出力
- CPU から独立した無線動作モード

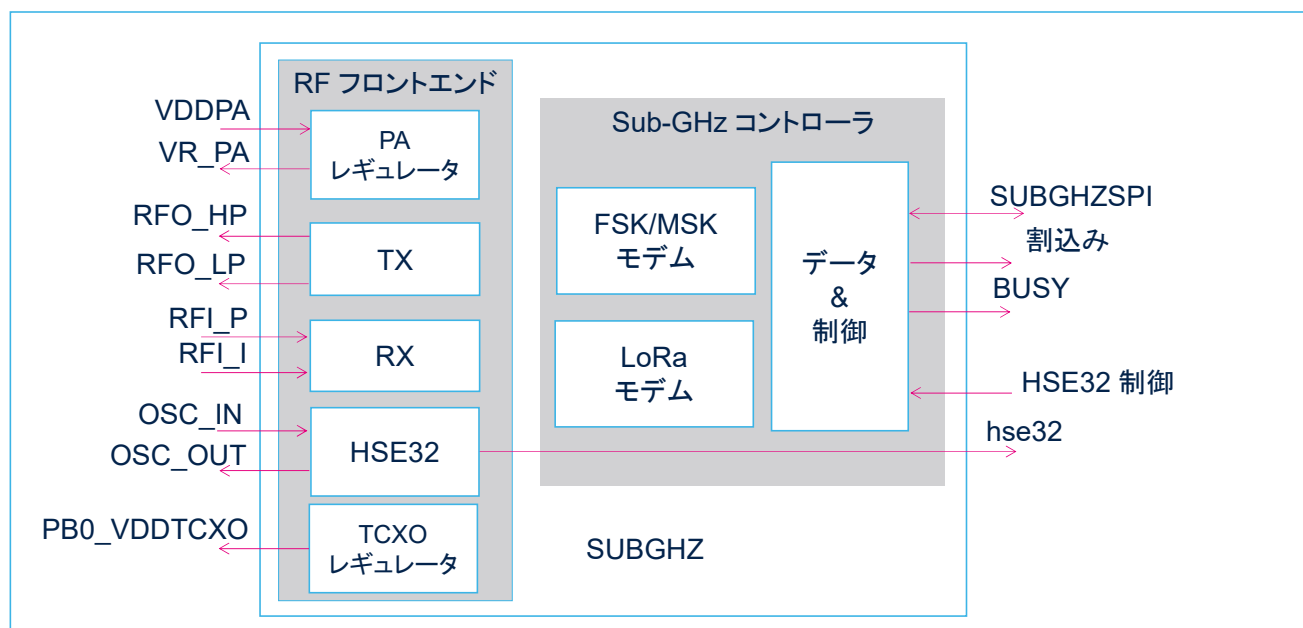


life.augmented

SPI を介した Sub-GHz 無線通信はセキュリティで保護できるので、非セキュアなソースとの相互作用を防止できます。差動受信入力を備え、高出力(最大 +22 dBm)と標準出力(最大 +14 dBm)を独立したシングルエンド送信出力で実現します。

Sub-GHz 無線は CPU から独立して動作できます。これは、無線でデータを送受信しながら、CPU システムはいずれかの低消費電力モードで動作できることを意味します。

ブロック図



Sub-GHz 無線モジュールには、SPI コマンドを使用して Sub-GHz シリアルペリフェラルインタフェース経由でアクセスします。このモジュールは、データ処理と制御のロジックを備えたコントローラ部、LoRa™ モデムと周波数シフト・キーイング/最小シフト・キーイング・モデム、無線フロントエンドで構成されています。無線フロントエンドは、パワーアンプレギュレータを備えた送信チェーン、受信チェーン、高速外部 32 MHz オシレータ、TCXOレギュレータを備えています。

CPU への専用割り込みや Sub-GHz 無線ビジー情報などを提供します。

HSI 32 MHz クロック制御により、HSI 32 MHz オシレータとその動作モードを制御できます。この動作モードとして、TCXOが動作するモードもあります。

- フレームの構成

- 明示的パケット(ヘッダあり、可変長ペイロード)
- 暗黙的パケット(ヘッダなし、固定長ペイロード)



- モデム設定:

- 変調帯域幅 = 7.81 ~ 500 kHz
- 拡散率 = 32 ~ 4,096 チップ数/シンボル数
- 符号化率 = 4/4 ~ 4/8

- チャンネル動作検出



LoRa モデムには、次に示す 2 つのフレーム設定があります。
 明示的パケット・モード: オーバーヘッドが増加するので通信時間が長くなります。このパケット・タイプでは、ヘッダフィールドの追加によって可変長ペイロードのパケットを転送できます。

暗黙的パケットモード: オーバーヘッドが最小限なので通信時間は最も短くなります。このパケットタイプでは、事前定義した固定長のペイロードを持つすべてのパケットを転送する必要があります。ヘッダフィールドはありません。

プリアンブル長は設定できます。

プログラム可能な変調帯域幅や拡散率を使用してモデムを設定し、データレートと通信範囲との効果的な組み合わせを実現できます。変調帯域幅と拡散率の一方または両方を小さくすると、通信範囲を拡大できます。また、符号化率によって干渉に対する堅牢性を強化できますが、パケットの通信時間は長くなります。符号化率が大きいほど、通信の堅牢性が高くなります。

チャンネル動作検出を使用して、通信を開始する前に LoRa 信号の有無を検出できます。

汎用フレーム構成

• フレームの構成

- FSK モデムと MSK モデムで使用
- NRZ 符号化
- プログラム可能なプリアンブル長
- 長さをプログラム可能なオプションのアクセス先アドレス
- 可変長パケット(ヘッダあり、可変長ペイロード)
- 固定長パケット(ヘッダなし、固定長ペイロード)
- オプションのホワイトニング(9 ビット LFSR $x^9 + x^5 + x^1$ 、プログラム可能な初期値)
- ペイロードの CRC(多項式、初期値、反転、長さを、プログラム可能)



6

汎用フレーム構成は、周波数シフト・キーイング変調と最小シフト・キーイング変調で使用され、Non Return to Zero 符号化を使用します。

- プリアンブル長は設定できます。
- オプションのアクセス先アドレスフィールドを追加でき、その長さは設定可能です。
- 可変長パケット・モードを使用すると、オーバーヘッドの増加によって通信時間が長くなります。このパケットタイプでは、ヘッダフィールドを追加することによって可変長ペイロードのパケットを転送できます。
- 固定長パケット・モードでは、オーバーヘッドが最小限になるので通信時間は最短になります。このパケットタイプでは、事前定義した固定長のペイロードを持つすべてのパケットを転送する必要があります。ヘッダフィールドはありません。
- 必要に応じてホワイトニングをペイロードに追加できます。
- 巡回冗長検査(Cyclic Redundancy Check)の多項式、初期値、CRC 反転、長さはすべてプログラム可能です。

- モデム設定:
 - ビットレート = 600 bps ~ 300 kbps
 - ガウシアン・フィルタ(オプション) BT = 0.3 ~ 1.0
 - 変調帯域幅 = 4.8 ~ 467 kHz
 - 周波数偏差
- 1.2 kbps を超えるデータレートでは、周波数偏差をビットレートの 1/4 に設定することによって MSK 変調に使用可能



周波数シフト・キーイング・モデムでは次の値を設定できます。

- ビットレート
- ガウシアン・フィルタ
- 変調帯域幅
- 周波数偏差

- MSK 変調は送信モードでのみ使用可能
- モデム設定:
 - ビットレート = 100 bps ~ 10 kbps
 - ガウシアン・フィルタ(オプション) BT = 0.3 ~ 1.0
 - 固定変調指数 = 0.5



life.augmented

最小シフト・キーイング・モデムは送信モードでのみ使用でき、ビットレートとガウシアン・フィルタリングを設定できます。

- BPSK 変調は送信モードでのみ使用可能
- フレームの構成
 - CPU 制御下で優れた柔軟性を持つパケットフォーマット
- モデム設定:
 - ビットレート = 100 bps および 600 bps
 - 固定二乗余弦ガウシアン・フィルタ $BT = 0.5$
 - データを前処理することで DBPSK 変調を実現可能



life.augmented

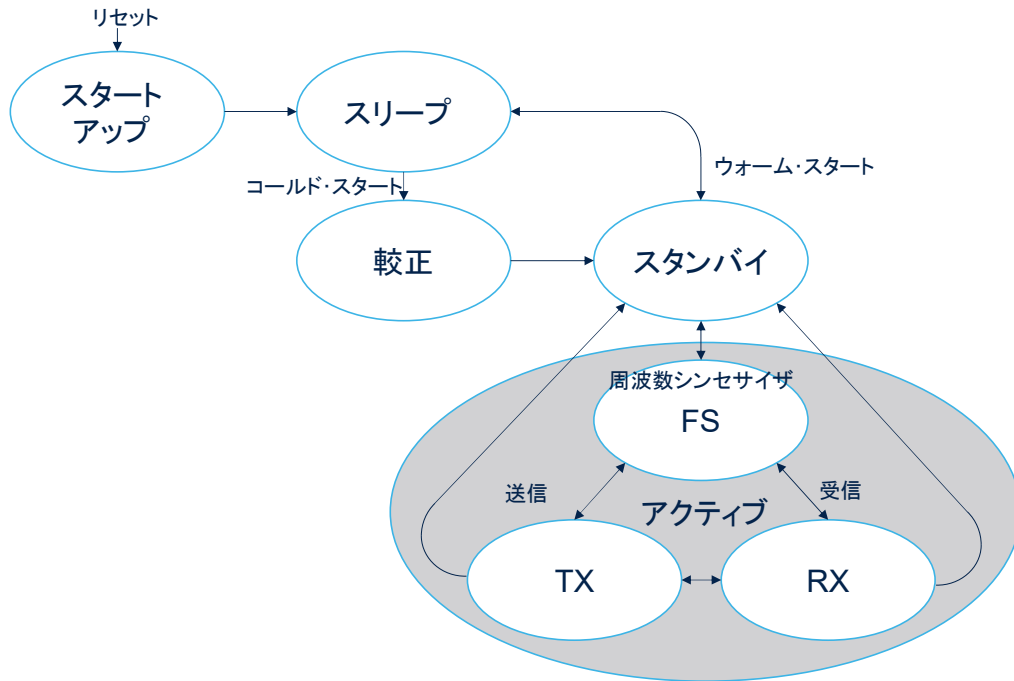
バイナリ位相シフト・キーイング・モデムは、送信モードでのみ使用できます。

バイナリ位相シフト・キーイングのフレーム構成は柔軟性に優れ、全面的にファームウェアの制御下にあります。

プリアンブル、アクセス先アドレス、ヘッダフィールド、ペイロード、CRC はファームウェアで指定します。

バイナリ位相シフト・キーイング・モデムではビットレートのみを設定できます。データを前処理することによって、差動バイナリ位相シフト・キーイング変調を実現できます。

Sub-GHz 無線動作モード



スライドに Sub-GHz 無線動作モードを示します。

起動フェーズでは、Sub-GHz 無線の内部電源と内部クロックが起動し、つづいてスリープ状態に移行します。

スリープ状態は最小消費電力モードです。無線は動作していませんが、必要に応じ、Sub-GHz の RTC タイマを動作状態に維持してデューティサイクル動作を実現できます。スリープ状態を終了するには、Sub-GHz シリアルペリフェラルインタフェースの NSS 信号をファームウェアでローに設定する必要があります。

コールド・スタートの場合、内部オシレータ周波数、無線PLL、無線ADコンバータ、イメージ除去など、Sub-GHz 無線のいくつかのブロックがキャリブレーションフェーズで較正されます。

スタンバイ状態に移行した場合にのみ、ファームウェアは、Sub-GHz シリアルペリフェラルインタフェースを通じて Sub-GHz 無線と通信し、アクティブ状態に入る前に設定パラメータをプログラミングできます。

周波数シンセサイザ状態では、無線の PLL は要求された無線周波数にロックされます。つづいて、送信状態と受信状態に移行できます。送信状態と受信状態では、選択した変調方式によって実際のデータが無線周波数で転送されます。

- Sub-GHz 無線はコマンドベースの SPI インタフェースで制御
- コマンド構造:
 - OP コード(1 バイト)
 - パラメータ(コマンドに応じて 0 ~ n 個)
- OP コードは、Read_Buffer、Set_Tx、Set_ModulationParams などのコマンドの指定に使用
- パラメータは設定とステータス情報に使用
- コマンドを受信できない場合はビジーが返される



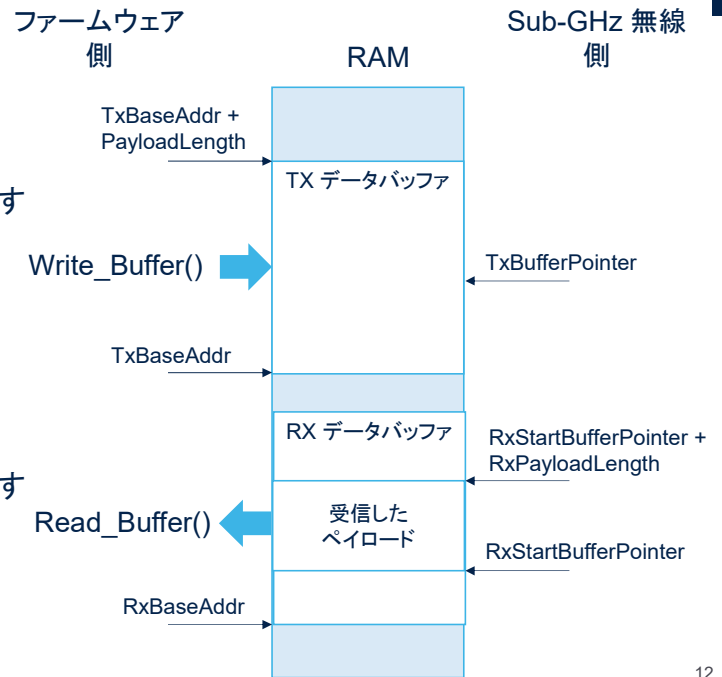
Sub-GHz 無線通信は、コマンドベースのシリアルペリフェラルインタフェース(SPI)経由で実行されます。このコマンド構造では、コマンドを指定する 1 バイトの OP コードの後にコマンド・パラメータが続きます。パラメータの数はコマンドによって異なります。Sub-GHz 無線がコマンドを受け取ることができない状態にあると、ビジー情報が返されます。このような状態として、現在要求されているコマンドを処理している状態や、低消費電力モードに移行した状態などがあります。

データバッファ

- 256 バイト RAM
- TX データバッファ
 - ファームウェアで書き込み、ハードウェアで読み出す
 - パラメータ:
 - TxBaseAddr
 - TxBufferPointer
 - PayloadLength
- RX データバッファ
 - ハードウェアで書き込み、ファームウェアで読み出す
 - パラメータ:
 - RxBaseAddr
 - RxStartBufferPointer
 - RxPayloadLength



RxPayloadLength



12

送受信データは、Sub-GHz 無線のデータバッファ RAM(256 バイト)に格納されます。送信データバッファと受信データバッファには、Sub-GHz 無線のシリアルペリフェラルインタフェース・コマンドを使用してアクセスします。この RAM は循環型なので、指定したアドレスが 0xFF を超えるとアドレス 0x00 に戻ります。

送信バッファはファームウェアで書き込み、ハードウェアで読み出します。送信バッファの先頭は送信ベース・アドレスで定義し、バッファ長はペイロード長で定義します。ハードウェアは、送信バッファポインタを使用してデータを読み出します。

受信バッファはハードウェアで書き込み、ファームウェアで読み出します。受信バッファの先頭は受信ベース・アドレスで定義します。ハードウェアは、受信開始バッファポインタを使用してデータの読出しを開始します。データは、受信ペイロード長で定義したバッファ長まで読み出されます。受信したデータ量が受信バッファ長を超える場合、RAM 上の他のデータが上書きされます。

LoRa™、(G)FSK、(G)MSK の基本的な送信動作

- 送信データバッファの定義 Set_BufferBaseAddress()
- バッファデータの書き込み Write_Buffer()
- パケットタイプの選択 Set_PacketType()
- フレームフォーマットの定義 Set_PacketParams()
- 同期ワードの定義 Write_register()
- 無線周波数の定義 Set_RfFrequency()
- パワーアンプ設定の定義 Set_PaConfig()
- 送信出力の定義 Set_TxParams()
- 変調方式の定義 Set_ModulationParams()
- 送信割り込み終了の設定 Cfg_DioIrq()
- 送信開始 Set_Tx()
Sub-GHz 無線でパケット送信
- 送信割り込み終了の待機およびステータスの読出し Get_IrqStatus()
- 割り込みのクリア Clr_IrqStatus()



このスライドは、基本的な LoRa 送信の実行手順を示しています。

LoRa™、(G)FSK の基本的な受信動作

- 受信データバッファの定義 Set_BufferBaseAddress()
- パケットタイプの選択 Set_PacketType()
- フレームフォーマットの定義 Set_PacketParams()
- 同期ワードの定義 Write_register()
- 無線周波数の定義 Set_RfFrequency()
- 変調方式の定義 Set_ModulationParams()
- 受信割り込み終了の設定 Cfg_DioIrq()
- 受信開始 Set_Rx()
Sub-GHz 無線で受信
- 受信割り込み終了の待機および受信パケットステータスのチェック Get_IrqStatus()
 - 受信バッファ情報の読出し Get_RxBufferStatus()
 - 受信データの読出し Read_Buffer()
- 割り込みのクリア Clr_IrqStatus()



このスライドは、基本的な LoRa 受信の実行手順を示しています。

BPSK の基本的な送信動作

- 送信データバッファの定義 Set_BufferBaseAddress()
- パケット定義全体のバッファデータの書き込み Write_Buffer()
- パケットタイプの選択 Set_PacketType()
- フレームフォーマットの定義 Set_PacketParams()
- 無線周波数の定義 Set_RfFrequency()
- パワーアンプ設定の定義 Set_PaConfig()
- 送信出力の定義 Set_TxParams()
- 変調方式の定義 Set_ModulationParams()
- 送信割り込み終了の設定 Cfg_DioIrq()
- 送信開始 Set_Tx()
Sub-GHz 無線でパケット送信
- 送信割り込み終了の待機およびステータスの読出し Get_IrqStatus()
- 割り込みのクリア Clr_IrqStatus()



このスライドは、バイナリ位相シフト・キーイング (BPSK) 変調方式を使用した基本的な送信の実行手順を示しています。