

Backscatter 汎用ツール

1. LAUNCHXL-CC1352P を用いたツール

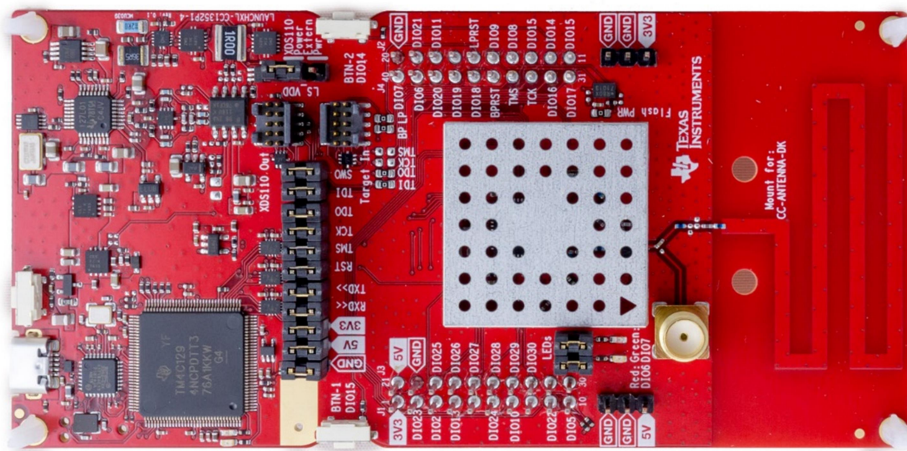
Texas Instruments Inc.の LaunchPad™ 開発キット LAUNCHXL-CC1352P1 及び LAUNCHXL-CC1352P-2 で動作するソフトウェアです。

CC1352P は 2.4GHz 帯、868/915MHz 帯、433MHz 帯で動作し Bluetooth® Low Energy、Sub-1GHz、Thread、Zigbee®、IEEE802.15.4 等の通信プロトコルを搭載可能な System On Chip です。

LAUNCHXL-CC1352P1 及び LAUNCHXL-CC1352P-2 はパソコンと USB インターフェイスで接続して使用するデバッガ機能と CC1352P を搭載したボードです。

LAUNCHXL-CC1352P1 は 868/915MHz 帯で 20dBm、2.4GHz 帯で 5dBm 出力、

LAUNCHXL-CC1352P-2 は 868/915MHz 帯で 14dBm、2.4GHz 帯で 20dBm 出力です。



RF 信号はボードのパターン・アンテナに接続されています。SMA コネクタに接続する場合は、アンテナ側に接続しているチップ・コンデンサを半田づけで SMA コネクタ側に繋ぎ変えて下さい。

1.1 ソフトウェア開発環境

(1)CC1352P ファームウェア開発環境

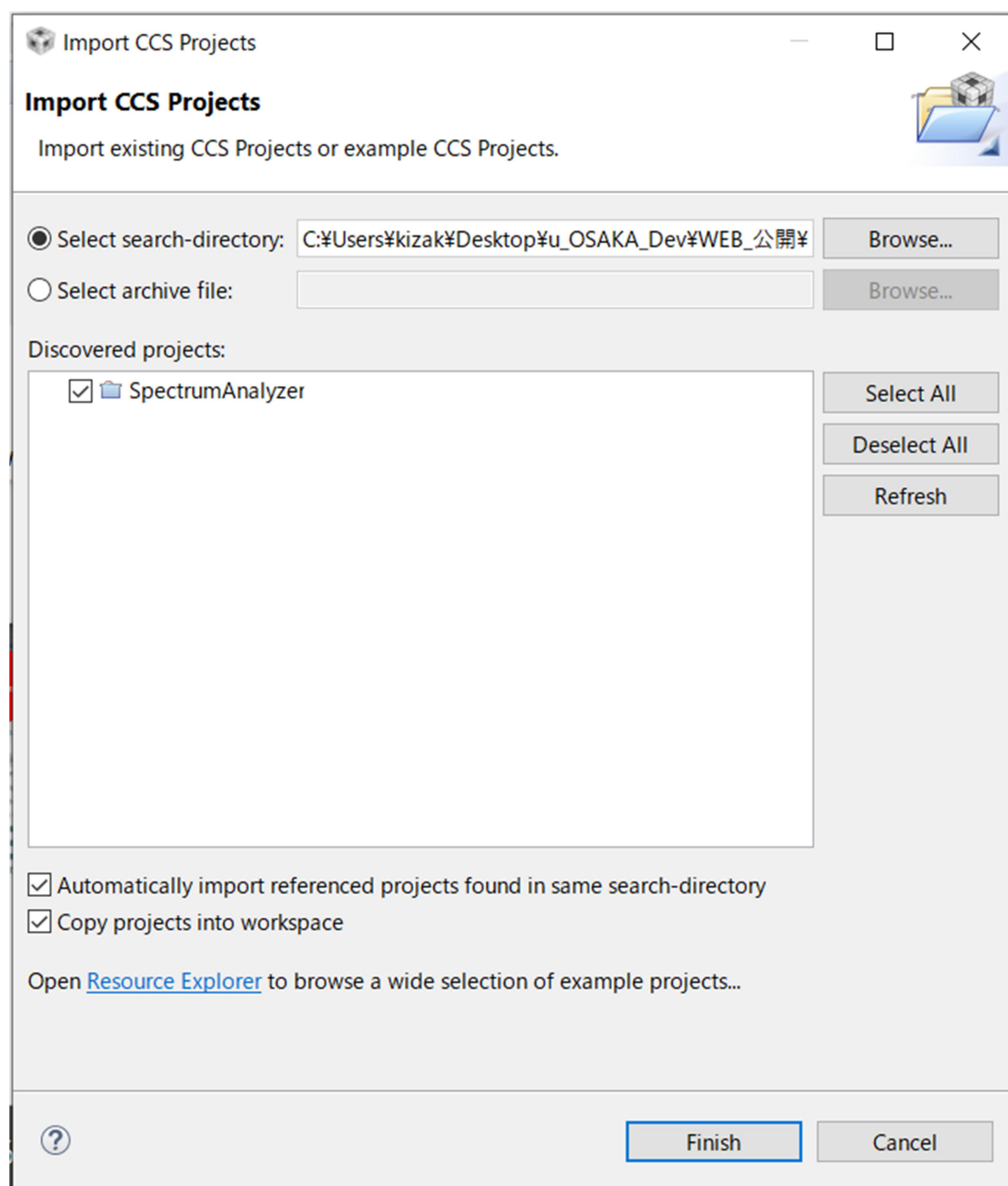
Texas Instruments Inc.の無償の開発環境である Code Composer Studio(CCS) Version:

9.1.0.00010 ソフトウェア開発キット (SDK) SIMPLELINK-CC13X2-26X2-SDK_3.20.00.68
を用いて開発しています。この、CCS と SDK のバージョンを使用して下さい。(パソコン
を新しくした時に、最新バージョンをインストールしましたがエラーだらけでした)

完成したファームウェアは、CCS を用いて LAUNCHXL-CC1352P に搭載されている
CC1352P のフラッシュメモリに書き込みます。

ファームウェアは CCS のプロジェクトホルダーを公開しています。

CCS の Help→Getting Started→ImportProject でプロジェクトホルダーをインポートし
て下さい。



(2)Windows 用 GUI 開発環境

Embarcadero C++Builder XE2 を用いて開発しています。

Embarcadero C++Builder の最新バージョンはアカデミックであれば、1 年間無償で使うことができます。これを用いて改造や機能追加をすることができます。

1.2 簡易シグナルジェネレータ

861～1054MHz 及び 2360～2500MHz の無変調の連続波又は変調の連続波を発生します。変調は 861～1054MHz では 2FSK 変調、2360～2500MHz では IEEE802.15.4 の OQPSK 変調です。

1.2.1 CUI

パソコン上のハイパーターミナル・ソフト(TeraTerm)等で操作します。

ポート：COMXX:XDS110 Class Application/User UART(COMXX)

スピード:115200、データ:8bit、パリティ:Non、ストップビット:1

ファームウェアのプロジェクトホルダー：SignalGenerator

(1)周波数設定(861～1054、2360～2500MHz、小数点以下 5 桁まで指定可能)

freq 2440.1234 ←入力コマンド

ACK_freq[2440.1234] ←コマンドに対する応答

(2)出力電力設定(0～20 dBm)

pow 3

ACK_pow[3]

(3)出力時間設定(0.01～600 秒)

tim 10.5

ACK_tim[10.50]

(4)(1)～(3)の設定値を NVRAM に保存する。

sav

ACK_sav[freq=2440.123400 pow=3 time=10.500000]

(5)NVRAM から設定値を読み出す。

rea

ACK_rea[freq=2440.123400 pow=3 time=10.500000]

(6)変調設定

mod 1

← 1：変調、0：無変調

ACK_mod[1]

(7)電波発射

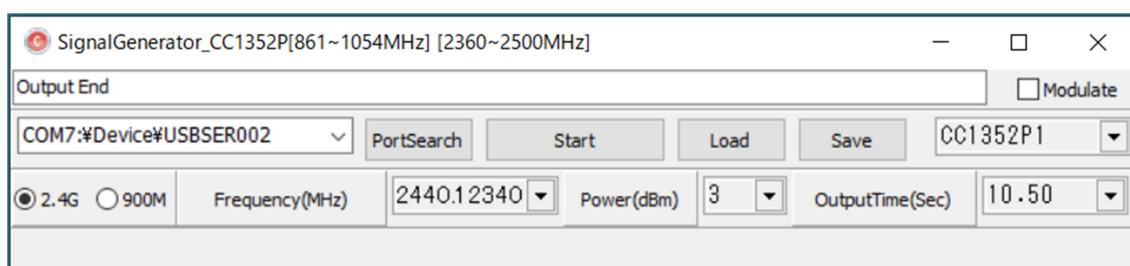
sta

Output End Time[10501]ms

1.2.2 GUI

プログラムのプロジェクトホルダー：CC1352P_SG_Win

実行ファイル：CC1352P_SG_Win.exe



(1) COM ポートを選択

LAUNCHXL-CC1352P の接続している COM ポートを選択します。

(2) [PortSearch] ボタン

このプログラムの起動後 LAUNCHXL-CC1352P を USB 接続した場合などに、このボタンをクリックしてパソコンに接続されている COM ポートの情報を読み込みます。

(3) [Start] ボタン

電波を発射します。

(4) [Load] ボタン

NVRAM に保存した設定値を読み込みます。

(5) [Save] ボタン

現在の設定値を NVRAM に保存します。

(6) CC1352P1/CC1352P-2 選択

LAUNCHXL-CC1352P1 又は LAUNCHXL-CC1352P-2 を選択します。

(7) [2.4G/900M] ラジオボタン

どちらの周波数帯域で使用するか選択します。

(8) 周波数設定

周波数を選択又は入力します。入力する場合、小数点以下 5 桁まで指定可能です。

(9) 出力電力設定

出力電力を選択又は入力します。

(10) 出力時間設定

0.01～600 秒の出力時間を選択又は入力します。

(11)[Modulate]チェックボックス

変調波を発生する場合はチェックします。無変調波の場合はチェックを外します。

1.3 簡易スペクトラムアナライザー

CC1352P の受信機能を用いた簡易スペクトラムアナライザーです。861～1054MHz 又は 2360～2500MHz の間の周波数を順次変化させながら RSSI を測定することで実現しています。

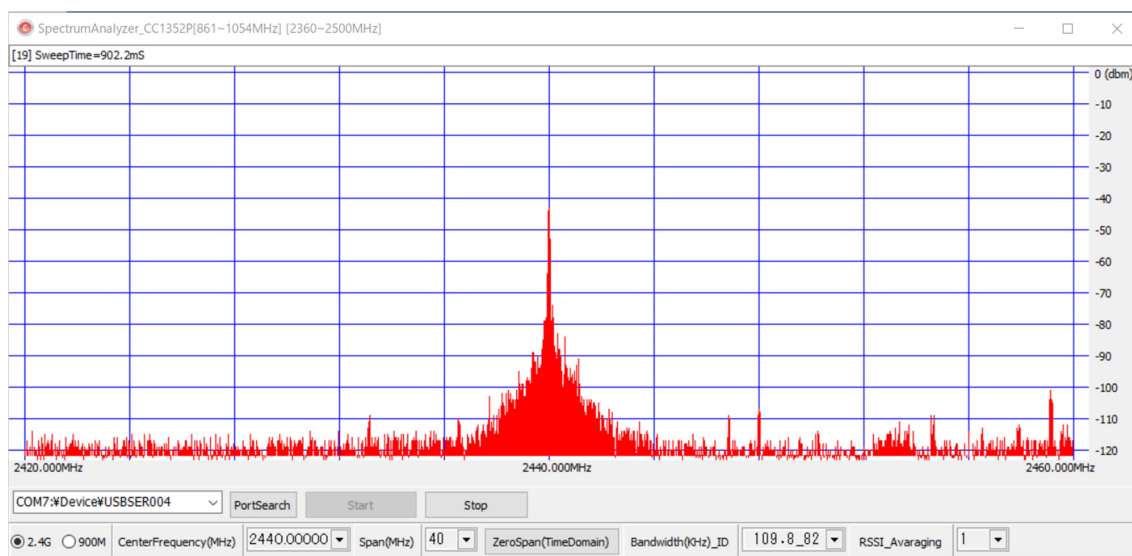
1.3.1 ファームウェア

ファームウェアのプロジェクトホルダー：SpectrumAnalyzer

1.3.2 GUI

プログラムのプロジェクトホルダー：CC1352P_SA_Win

実行ファイル：CC1352P_SA_Win.exe



(1)COM ポートを選択

LAUNCHXL-CC1352P の接続している COM ポートを選択します。

(2)[PortSearch]ボタン

このプログラムの起動後 LAUNCHXL-CC1352P を USB 接続した場合などに、このボタンをクリックしてパソコンに接続されている COM ポートの情報を読み込みます。

(3)[Start]ボタン

スペクトラムアナライザ機能を起動します。
起動中は、[Stop]ボタン以外は操作できません。

(4)[Stop]ボタン

スペクトラムアナライザ機能を停止します。

(5)[2.4G/900M]選択ラジオボタン

2.4GHz 帯又は 900MHz 帯を選択します。

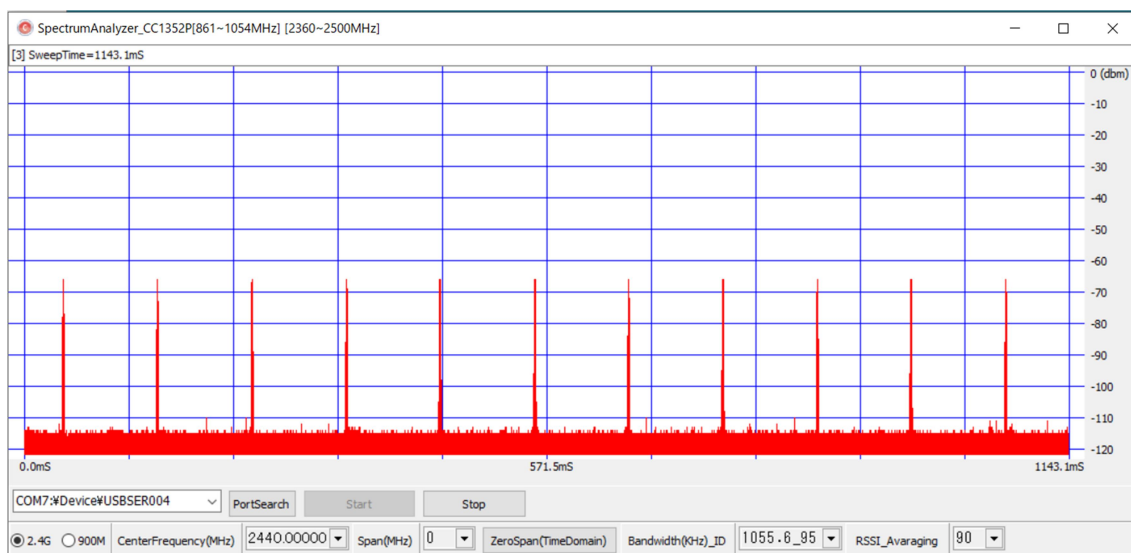
(6)[CenterFrequency(MHz)]選択/入力

(7)[Span(MHz)] 選択/入力

(8)[ZeroSpan(TimeDomain)]ボタン

Span を 0 にします。

この設定で[Start]すると横軸が時間(縦軸は RSSI)に代わりタイムドメインで動作します。



100mS 毎に発生する IEEE802.15.4 パケットを捉えた例

(9)[Bandwidth(kHz)_ID]選択

CC1352P の Receiver bandwidth を設定しています。

ID は CC1352P の内部設定値です。

(10)[RSSI_Avaraging]選択

指定回数 RSSI を測定して平均値を表示します。

回数に比例して測定時間が増加しますので、[ZeroSpan(TimeDomain)]の時の時間調整に活用できます。

1.4 IEEE802.15.4 パケット送信

IEEE802.15.4 形式のパケットを送信します。

1.4.1 CUI

パソコン上のハイパーターミナル・ソフト(TeraTerm)等で操作します。

ポート：COMXX:XDS110 Class Application/User UART(COMXX)

スピード:9600、データ:8bit、パリティ:Non、ストップビット:1

ファームウェアのプロジェクトホルダー：CC1352P_15_4_Tx

(1) ヘルプ画面

‘H’、‘h’又は‘?’に続き[enter]を入力するとヘルプ画面を表示します。

```
-----  
fre RF_Frequency(MHz)      float  
pow RF_Power(dBm)          int  
dstp Destination PAN Addr  HEX(16bit)  
dstm Destination MAC Addr  HEX(16bit)  
srcp Source      PAN Addr  HEX(16bit)  
srcm Source      MAC Addr  HEX(16bit)  
pay Payload Chractor      char[100]  
num Send Number of Packet int  
del Delay between Packets int(mS)  
csm CSMA(1:ON 0:OFF)  
sta Start Send Packet(Press Any Key to Stop)  
cw  CW Generate           30_600Sec  
sav Parameters Save (Load when power is on)  
-----  
-----
```

```
freq[2440.0000]MHz Power[0]dBm  
DstPAN[FFFF] DstMAC[FFFF] SrcPAN[BA01] SrcMAC[BB01]  
Payload[0123]  
Number of Packet[1000] Delay[10]mS CSMA[1]  
-----
```

上段がコマンドレファレンス、下段が現在の設定値です。

(2) 周波数設定

周波数範囲：2360～2500MHz

分解能：0.001MHz

例 : fre 2440.001

(3) 送信電力設定

設定範囲 : 0～20 d Bm

例 : pow 10

(4) 送信先 PAN_ID 設定

16 進 4 桁の PAN_ID を設定します。

例 : dstp FFFF

(5) 送信先 MAC アドレス設定

16 進 4 桁の MAC アドレスを設定します。

例 : dstm FFFF

(6) 送信元 PAN_ID 設定

16 進 4 桁の PAN_ID を設定します。

例 : stcp BA01

(7) 送信元 MAC アドレス設定

16 進 4 桁の MAC アドレスを設定します。

例 : srcm FFFF

(8) ペイロードの設定

英数字記号を 100 文字まで設定できます。

(10) 送信パケット数の設定

1 ～32 ビット整数の最大値まで設定可能です。

例 : num 100

(11) パケット送信間隔(mS)

0～32 ビット整数の最大値まで設定可能です。

例 : del 10

(12) CSMA オン/オフ

パケット送信に先立って CSMA を行う、行わないを設定します。

例 : csm 1

(13) 送信スタート

各設定内容に従ってパケットを発生します。

例 : sta

(14) 無変調連続波(CW)発射

周波数偏差や送信電力の測定のために無変調連続波を発射します。

例 : cw 60 ← 60 秒間

(15) 設定値保存

現在の設定値を NVRAM に保存します。電源 ON 時、読みだして設定します。

例 : sav

1.5 IEEE802.15.4 パケット受信

IEEE802.15.4 形式のパケットを受信し、受信したパケットの内容を表示します。

1.5.1 CUI

パソコン上のハイパーターミナル・ソフト(TeraTerm)等で操作します。

ポート：COMXX:XDS110 Class Application/User UART(COMXX)

スピード:9600、データ:8bit、パリティ:Non、ストップビット:1

ファームウェアのプロジェクトホルダー：CC1352P_15_4_Rx

(1)ヘルプ画面

‘H’、‘h’又は‘?’に続き[enter]を入力するとヘルプ画面を表示します。

```
-----
fre RF_Frequency(MHz)      float
dstm Destination MAC Addr  HEX(16bit)
srcm Source      MAC Addr  HEX(16bit)
sta Start Receive
sto Stop  Receive(Display Statistics)
cw  CW Generate          30_600Sec
sp  UART speed l:9600 h:230400 BPS
mo  Receive Packet Dump Mode
    g (G:Good/E:Error)
    o (Dump Packet Overview)
    d (Dump Packet Details)
sav Parameters Save (Load when power is on)
-----
-----
```

```
freq[2440.0000]MHz
DstMAC[0000] SrcMAC[0000]
UART speed[9600]BPS Receive Packet Dump Mode[g]
-----
```

上段がコマンドレファレンス、下段が現在の設定値です。

(2)周波数設定

例 : fre 2440.001

16進4桁の送信先 MAC アドレスを設定すると、送信先 MAC アドレスが一致するパケットのみ受信します。設定値が“0000”の場合はフィルター・オフです。

16進4桁の送信元 MAC アドレスを設定すると、送信先 MAC アドレスが一致するパケットのみ受信します。設定値が“0000”の場合はフィルター・オフです。

受信を開始し、受信したパケットの内容を表示します。

[illegible]

Receive Start

<GO>はフレームチェック Good、<GO>は Error です。

Receive Start

```
payload[30 31 32 33 ]
```

受信ストップすると、受信スタートから受信したパケット数、その中のフレームチェック結果 Good パケット数、Error パケット数を表示します。

例 : sto

Receive[31] Good[26] Error[5]

(7) 無変調連続波(CW)発射

周波数偏差の測定のために無変調連続波を発射します。

例 : cw 60 ← 60 秒間

 cw[60]Sec END

(8)COM ポート (UART) スピード

受信するパケットのレートが高いと、9600BPS では受信したパケットの内容の表示中に次のパケットが現れて、パケットの取りこぼしを起こします。スピードを230400BPS にして取りこぼしを少なくします。

例 : sp h

この後、ハイパーターミナル(Teraterm など)のスピードを 230400BPS にして下さい。

(9)表示モード切替

パケット内容の表示モードを変更します。

例 : sp g ← g/o/h

(受信スタート中でも変更でします。)

(10) 設定値保存

現在の設定値を NVRAM に保存します。電源 ON 時、読みだして設定します。

例 : sav

1.6 Backscatter TAG 用 IEEE802.15.4 パケット受信

Backscatter TAG のデモシステム用の IEEE802.15.4 パケット受信ファームウェアです。Backscatter TAG デモシステム用プログラムと組み合わせて使用します。

1.6.1 CUI

パソコン上のハイパーターミナル・ソフト(TeraTerm)等で操作します。

ポート : COMXX:XDS110 Class Application/User UART(COMXX)

スピード:230400、データ:8bit、パリティ:Non、ストップビット:1

ファームウェアのプロジェクトホルダー : BackscatterTAG_15_4_Rx

(1)ヘルプ画面

‘H’、‘h’又は‘?’に続き[enter]を入力するとヘルプ画面を表示します。

fre RF_Frequency(MHz) float

```
sta  Start Receive
sto  Stop  Receive(Display Statistics)
cw   CW Generate          30__600Sec
```

```
-----
freq[2440.0000]MHz
-----
```

(2) 周波数設定

周波数範囲：2360～2500MHz

分解能：0.0001MHz

例：fre 2440.0001

(3) 受信スタート

例：sta

ACK_sta

パケットを受信するとパケットの HEX ダンプを表示します。

[パケットレングス(10 進)|HEX ダンプ]

例) [17|418800FFFFFFFFF01BA01BB30313233C037]

(4) 受信ストップ

例：sta

ACK_sto

(5) 無変調連続波(CW)発射

周波数偏差の測定のために無変調連続波を発射します。

例：cw 60 ← 60 秒間

cw[60]Sec END

1.7 Backscatter TAG 用 簡易シグナルジェネレータ

簡易シグナルジェネレータの通信スピードを 230400BPS に変更したものです。

ファームウェアのプロジェクトホルダー：BackscatterTAG_CW_Tx

1.8 Backscatter TAG 用 IEEE802.15.4 パケット送信

IEEE802.15.4 パケット送信の通信スピードを 230400BPS に変更して、コマンドを追加し

たものです。

ファームウェアのプロジェクトホルダー：BackscatterTAG_Cont_Tx

Backscatter TAG デモシステム用プログラムと組み合わせて使用します。

1.8.1 CUI

パソコン上のハイパーターミナル・ソフト(TeraTerm)等で操作します。

ポート：COMXX:XDS110 Class Application/User UART(COMXX)

スピード:230400、データ:8bit、パリティ:Non、ストップビット:1

ファームウェアのプロジェクトホルダー：BackscatterTAG_15_4_Rx

(1)ヘルプ画面

‘H’、‘h’又は‘?’に続き[enter]を入力すると以下のヘルプ画面を表示します。

```
-----
fre RF_Frequency(MHz)      float
pow RF_Power(dBm)          int
dstp Destination PAN Addr  HEX(16bit)
dstm Destination MAC Addr  HEX(16bit)
srpc Source      PAN Addr  HEX(16bit)
srcm Source      MAC Addr  HEX(16bit)
pay Payload Chractor      char[100]
num Send Number of Packet int
del Delay between Packets int(mS)
csm CSMA(1:ON 0:OFF)
sta Start Send Packet(Press Any Key to Stop)
cw  CW Generate           30__600Sec
sav Parameters Save (Load when power is on)
-----

rfo RF_open                ← 追加したコマンド
rfc RF_Close               ← 追加したコマンド
one DstMAC Paylod (Send One Packet) ← 追加したコマンド
-----

freq[2440.0000]MHz  Power[0]dBm
DstPAN[FFFF] DstMAC[FFFF] SrcPAN[BA01] SrcMAC[BB01]
Payload[0123]
Number of Packet[100] Delay[10]mS CSMA[1]
```

以降、追加したコマンドについて説明します。

(2) RF_open

ソフトウェア的に RF ハンドラをオープンします。

例 : rfo
 ACK_rfo

(4) RF_Close

ソフトウェア的に RF ハンドラをクローズします。

例 : rfc
 ACK_rfc

(5) 1 パケット送信

オープンした RF ハンドラを用いて、

指定した MAC アドレスに向けて、指定した Payload のパケットを送信します。

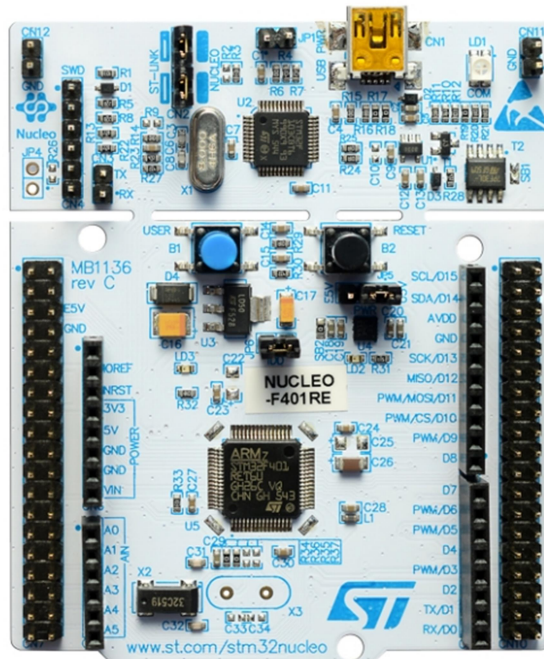
例 : one BA01 ABCDEFG
 ACK_one

2. NUCLEO-F446RE を用いたツール

STMicroelectronics 社製 NUCLEO-F446RE は、ARM ベースの 32bit マイクロコンピュータ STM32F446RE が内蔵されています。STM32F446RE は、浮動小数点演算プロセッサ、128kbyte の RAM、ADC/DAC や種々の I/F、180MHz のクロックなどなかなかパワフルです。

ファームウェアの開発には無償のクラウド型開発環境である mbed を使用しています。

mbed にログインし、プラットフォーム: NUCLEO-F446RE、テンプレート: ADC Internal Temperature Sensor reading example、プログラム名: 任意の名称で新しいプログラムの作成を行って出来た新しいワークスペース上の main.cpp の内容を書き換えると、これから紹介するファームウェアを利用できます。



2.1 簡易ファンクションジェネレータ

内蔵のDACを用いて1 Hz～50kHz のSine波、方形波、ノコギリ波を発生するファンクションジェネレータ。さらにADCを用いて実効値(rms)を測定するレベルメータを実装しています。

ファンクションジェネレータの出力信号は「CN7」の「PA4」ピンに出力され、1.65Vを中心に $\pm 1.6V$ の振幅で出力されます。AC結合で使用する場合はコンデンサで直流成分をカットして下さい。

レベルメータの入力信号は「CN7」の「PA0」ピンに入力され、1.65Vを中心に $\pm 1.65V$ の振幅で入力されます。AC結合で使用する場合は電源(3.3V)に1K Ω 位の抵抗でプルアップさらにGNDに1K Ω 位の抵抗でプルダウンして、コンデンサで直流成分をカットして接続して下さい。

指定されたサンプルレートでAD変換(12bit)して32768サンプル分のFIFOに入力します。レベル測定を指示するとFIFOの先頭から末尾までのデータを用いて実効値(rms)を計算するとともに、12bit AD変換値の平均値を求めます。

ファームウェアのソースコードファイル：SRM32F446RE_FG.cpp

2.1 CUI

(1) ヘルプ画面

‘H’、‘h’又は‘?’に続き[enter]を入力すると以下のヘルプ画面を表示します。

```
-----  
PA0:Level Input  PA4:Function Generator Output  
NNNN      Frequency(Hz)  
si      Sine      Wave  
sq      Square    Wave  
sa      Sawtooth  Wave  
tr      Triangle  Wave  
hs      [500k]SPS  ADC( 2uS * 32768Sample = 65.536mS)  
ms      [100k]SPS  ADC( 10uS * 32768Sample = 327.680mS)  
ls      [10k]SPS   ADC(100uS * 32768Sample = 3276.800mS)  
lv      Level Measure (rms)  
-----  
Sine Wave  ls[ 10k]SPS  Freq[1000]Hz  
-----
```

(2) 「1～50000」 数値入力

周波数を指定された値に設定します。

(3) Sine 波

例) si

Sine Wave

(4) 方形波

例) sq

Square Wave

(5) ノコギリ波

例) sa

Sawtooth Wave

(6) ハイ・サンプルレート

[500k]SPS に設定します。

例) hs

hs [500k]SPS [1000]Hz

(7) ミドル・サンプルレート

[100k]SPS に設定します。

例) ms

ms [100k]SPS [1000]Hz

(8) ロー・サンプルレート

[10k]SPS に設定します。

例) ls

ls [10k]SPS [1000]Hz

(9) レベル測定

例) lv

Level[0.679]Vrms Avg[2038]