

アプリケーションノート

NI is now part of Emerson.

# ZigbeeおよびThreadの PHY層テスト用NIソリューション

## 

## 000000

## 目次

- 03 概要
- 04 PHY層
- 04 計測器の設定
- 05 測定
- 05 RFmxの構成

RFmxDDemodによるEVMの測定 LabVIEW API .NET API RFmxSpecAn SEMによるパワースペクトル密度の測定 RFmx Waveform Creator - 生成

10 推奨NIバンドル

ハードウェア ソフトウェア

11 関連リンク

本書では、Zigbee<sup>™</sup>規格およびThread<sup>™</sup>規格で必 要とされる物理層 (PHY) 測定を、NI RFmxソフト ウェアの各種パーソナリティにより実施する方法に ついて説明します。

この文書の対象者は、NIのハードウェアとソフト ウェア (NI RFmxなど) に関する実用的な知識が あり、IEEE 802.15.4-2020を閲覧可能な方です。 当該規格は、IEEEのWebサイトにて資格情報の制 限付きで公開されています。

### 概要

Zigbeeは、IEEE 802.15.4規格に基づく無線通信 技術です。コストと消費電力が低いため、IoTやス マートホームアプリケーションに適しています。 Connectivity Standards Alliance (旧称Zigbee Alliance) がZigbee規格の開発および認定を担 当し、最新情報を公開しています。

同様に、ThreadもIEEE 802.15.4に基づく低消費 電力の短距離無線通信技術です。こちらの管理 団体はThread Groupです。ThreadとZigbeeは、 ネットワーク層とアプリケーション層に大きな違 いがありますが、PHY層は似通っています。その ため、Connectivity Standards AllianceとThread Groupによる公式の提携で示されているように、 ある程度の相互運用性があります。

このホワイトペーパーでは、OSIモデルのPHY (図1 参照) に関する要件と、その要件を満たすうえで必 要なテストについて説明します。



### PHY層

ZigbeeとThreadのどちらも、PHYの独自の変調方式によりサブギガ帯と2.4 GHz帯の両方をサポートしています。詳細については、表1を参照してください。

帯域	周波数	変調	利用地域	Zigbee
868 MHz	868 MHz~868.6 MHz	PDCK	ヨーロッパ	チャンネル0
915 MHz	902 MHz~928 MHz	Dron	米国、オーストラリア	チャンネル1~10
2.4 GHz	2.4 GHz~2.4835 GHz	OQPSK	世界各地	チャンネル11~26

表1

ZigbeeおよびThreadの周波数帯域の詳細

## 計測器の設定

本書で紹介するソリューションでは、NIのPXIベースのベクトル信号トランシーバであるPXIe-5842を使用します。 PXIe-5842は、波形発生器(各規格で指定された変調波形の送信を担当)と信号アナライザ(受信および測定を担当)の両方 の役割を果たします。DUTがPA、LNA、FEMなどであれば、後述の測定を行うのに必要なRF計測器はPXIe-5842だけです。 場合によっては、DUT制御用や電源供給用に他のモジュールが必要になります。



#### 図2 NIのサンプルPXIシステム (緑の四角で囲んだ部分がPXIe-5842)

## 測定

IEEE 802.15.4-2020に、ZigbeeおよびThreadの信号に関するテスト要件が定められています。正確な要件については、この規格を参照してください。セクション12.3にOQPSKのPHY RF要件、セクション13.3にBPSKのPHY RF要件が記載されています。

表2に、送信テスト要件の一部と、各要件のテストに使用したRFmxパーソナリティおよび計測器を示します。

要件	RFmx計測器
送信パワースペクトル密度マスク	RFmxSpecAn SEM
EVM	RFmxDDemod
送信中心周波数許容範囲	RFmxSpecAn FCnt
送信電力	RFmxSpecAn TXP

表2

Ξ

IEEE 802.15.4のPHY要件 (一部抜粋) および要件テストに推奨されるNI RFmx計測器

## RFmxの構成

RFmxは、NIの計測器をベースにしたRF信号アナライザ用ドライバです。RFmxパーソナリティにはさまざまな種類があり、それ ぞれのパーソナリティで多様な測定を行うことができます。すべてのRFmxパーソナリティに、LabVIEW、.NET (C#またはVB)、 およびC言語のAPI一式が用意されています。パーソナリティとAPIはすべて、NIの全RF信号アナライザハードウェアに対応して います。

このセクションでは、ZigbeeおよびThreadの所定の測定で必要となるRFmx計測器の推奨構成例について説明します。 ただし、これらの測定に必要な機能を網羅的に示すのではなく、ZigbeeおよびThreadの信号に必要な設定のみに限定して紹 介します。

#### RFmxDDemodによるEVMの測定

この測定を構成するうえでは、表3の全項目を含む各種プロパティにアクセスできるRFmx付属サンプルのRFmxDemod DDemod (Advanced).vi (LabVIEW) またはRFmxDemodDDemodAdvancedソリューション (C# .NET) が出発点として役立 ちます (図3参照)。

#### ZigbeeおよびThreadのPHY層テスト用NIソリューション

PEmy Domod Lab///EW/		推奨	設定
RFIIIX DEIIIOG LADVIEW	.NET API	BPSK	OQPSK
RFmxDemod DDemod Configure Modulation Type	ConfigureModulationType	PS	SK
RFmxDemod DDemod Configure M	ConfigureM	2	4
RFmxDemod DDemod Configure PSK Format	ConfigurePskFormat	標準	オフセットQPSK
RFmxDemod DDemod Configure Symbol Rate	ConfigureSymbolRate	300~600 kSymbol/sec	1 MSymbol/sec
RFmxDemod DDemod Configure Pulse Shaping Filter	ConfigurePulseShapingFilter	平方根二乗余弦	半正弦
RFmxDemod DDemod Configure Number of Symbols	ConfigureNumberOfSymbols	バーストのシンボノ	レ数より大きい値*
Digital Demod:Signal Structure	ConfigureSignalStructure	۸ <sup>۳</sup>	スト

#### 表3

ZigbeeおよびThreadの信号についてRFmx Digital ModulationでEVMを測定する場合の推奨構成例

\* 適切な構成では、バースト信号構造を利用して信号のバーストの立ち下がりエッジを自動的に検出できます。

1. バーストの立ち上がりを捉えるようにトリガを構成します。たとえば、適切なレベルのIQパワーエッジトリガを使用します。

2. シンボル数を、バーストの全シンボルをキャプチャできる大きさに設定します。ドライバがバーストの立ち下がりエッジを自動 的に検出します。シンボル数がバーストのシンボル数よりも多い場合、バーストのみが集録されます。シンボル数がバースト のシンボル数よりも少ない場合、集録時にバーストの一部が切り捨てられます。

詳細については、バースト信号構造のヘルプページを参照してください。

復調結果をフェッチする場合、OQPSK波形の変調時にはEVM結果のオフセットバージョンを使用してください。

#### LabVIEW API

BPSK	OQPSK
RFmxDemod DDemod Fetch EVM	RFmxDemod DDemod Fetch Offset EVM
RFmxDemod DDemod Fetch Constellation Trace	RFmxDemod DDemod Fetch Offset Constellation Trace

#### 表4

LabVIEW APIの必須RFmxDDemodフェッチVI (変調方式によって異なる)

#### .NET API

BPSK	OQPSK
FetchEvm	FetchOffsetEvm
FetchConstellationTrace	FetchOffsetConstellationTrace

#### 表5

.NET APTの必須RFmxDDemodフェッチメソッド(変調方式によって異なる)

le Edit View Project Operate Tools Wir	ndow Help					on the
💠 🌚 🏐 🚹 15pt Application Font	- 12+				•  Search	a 🛛 🖬
	Modulation Type	м				
Resource Name	A PSK	4 4		Carrier M	sasurements	
PX3e-5842	Differential Enabled	PSK Format		Mean Frequency Offset (H	2.903m	
Selected Ports	A False	Offset QPSK		Mean Frequency Drift (H	-3.350m	
	Sembal Rate (Htt)	Samples Per Symbol		Mean Phase Emer (de	.2.79	
Center Frequency (Hz)	1.000M	Auto		notation tase circle (ar	,	
2.405000G	Number of Symbols	EVM Norm Reference				
Reference Level (dBm)	5000	Peak Peak	(International Statements)			
-5.00	FSK Deviation (Hz)	FSK Ref Comp Enabled	EVM FSK Results			
External Attenuation (dB)	15.000k	- False		Mean ME	(dB)	
C) 0.00	Signal Structure			68.13		
	Continuous		Mean RMS EVM (	NaN NaN	NaN Maxi	imum RMS EVM (%)
Frequency Reference	Burst Start Exclusion Symbols	Burst End Exclusion Symbols	Mean Peak EVM (	0.00	0.00 Max	imum Peak EVM (%)
inquery meteoret	0	0	Mean RMS Offset EVM (	0.04	0.04 Max	imum RMS Offset EVM (%)
Frequency Source OnboardClock	Synchron	ization	Mean Peak Offset EVM (	0.14	0.14 Maxi	imum Peak Offset EVM (%)
Frequency (Hz) 3 10.000000M		A				
	Synchronization Enable	d gi False				
	Synchronization Bit	a 🗊 0 0	Constellation EVM To	race Measurements		
ingger	Measurement Offset (Symbols	0 40				
IQ Power Edge Enabled			EVM (%)			Plot 0
-	Averag	ing	200-			
IQ Power Edge Level (dBm)	America Easthlad	Entre	5 100-			
-20.00	Averaging Count A	10	2			
Ingger Delay (s)	wanded cook 2	10	0 100	200 300 400 9	00 600 700 8	00 900 1000
0.00	Adv Daring Charles			Symb	al Index	
A one	Purse snaping Pitter   Meas	urement Filter   Equalizer	国際的			
3 000	Date Operior Education	How Case				and the second sec
	rain supergrave	in g	Offset EVIM (%)			PIOLO IN
	Pulse Shaping Filter Param	eter 0.50	£ 0.15			
entry out			E 0.1- W	delaised an and	here a third & and	A distant
utatus, code		x0 0.00€+0	£ 0.05-	the deserved of the	T. Park Street	and the second
1 10	Pulse Shaping Filter	d 1.00E+0	0 0-1 500	1000 1500 2000 2	500 3000 3500 4	000 4500 5000
source		y 7 0 0.00		Symb	ol Index	
			国家団			
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·						

#### 図3

実行後のRFmxDemod DDemod (Advanced).viのスクリーンショット(使用した構成と返された結果を表示)

図3に、OQPSK波形用に構成したループバック内のPXIe-5842に対し、LabVIEWでサンプルのRFmxDemod DDemod (Advanced).viを実行した結果を示します。生成波形には、RFmx Waveform Creatorのサンプル「zigbee\_ o-qpsk\_1000kcps\_halfsine.rfws」。

#### RFmxSpecAn SEMによるパワースペクトル密度の測定

この測定を構成するうえでは、上記全項目を含む各種プロパティにアクセスできるRFmx付属サンプルのRFmxSpecAn SEM (Advanced).vi (LabVIEW) またはRFmxSpecAnAcpソリューション (C# .NET) が出発点として役立ちます (図4参照)。

#### \*本セクションで示す推奨設定は、2.4 GHzのOQPSK波形用です。

RFmx SpecAn	.NET API	推奨設定*
RFmxSpecAn SEM Configure Carrier Integration Bandwidth	ConfigureCarrierIntegrationBandwidth	2 MHz
RFmxSpecAn SEM Configure Reference Type	ConfigureReferenceType	ピーク
RFmxSpecAn SEM Configure Offset Frequency	ConfigureOffsetFrequency	開始: 3.5 MHz 終了: 10 MHz
RFmxSpecAn SEM Configure Offset Frequency Definition	ConfigureOffsetFrequencyDefinition	搬送波中心から測定帯域幅中心まで
RFmxSpecAn SEM Configure Offset Absolute Limit	ConfigureOffsetAbsoluteLimit	制限モード: カプリング 制限開始: -30 dBm
RFmxSpecAn SEM Configure Offset Relative Limit	ConfigureOffsetRelativeLimit	制限モード: カプリング 制限開始: -20 dBc
RFmxSpecAn SEM Configure Carrier RBW Filter	ConfigureCarrierRbwFilter	RBW自動: いいえ RBW: 100 kHz
RFmxSpecAn SEM Configure Offset RBW Filter	ConfigureOffsetRbwFilter	RBW自動: いいえ RBW: 100 kHz

#### 表6

ZigbeeまたはThreadのO-QPSK信号についてRFmx SpecAn SEMでパワースペクトル密度マスクを測定する場合の推奨構成例

あわせて、開始トリガを使用して信号バーストをキャプチャすることをお勧めします。たとえば、適切なレベルを指定したIQパワ ーエッジトリガを使用します。



#### 図4

実行後のRFmxSpecAn SEM (Advanced).viのスクリーンショット(使用した構成と返された結果を表示)

図4に、OQPSK波形用に構成したループバック内のPXIe-5842に対し、LabVIEWでサンプルのRFmxSpecAn SEM (Advanced). viを実行した結果を示します。生成波形には、RFmx Waveform Creatorのサンプル「zigbee\_o-qpsk\_1000kcps\_ halfsine.rfws」を使用しました。

#### RFmx Waveform Creator: 生成

NIでは、RFmx Waveform CreatorにZigbeeの波形サンプルを2種類提供しています。それぞれ、OQPSK用とBPSK用です。 これらの波形サンプルは規格にあわせて構成済みですが、構成のパラメータはすべて、実際の要件にあわせて適宜変更可能 です。

これらのサンプルにアクセスするには、「Modulation」→「Generic」→「PSK」の順に選択します(図5参照)。表示されたポッ プアップウィンドウで「Example Settings」オプションを選択し、ドロップダウンで以下のサンプルを選択します。

zigbee\_bpsk\_300kcps\_gaussian-0.4.rfws

*zigbee\_o-qpsk\_1000kcps\_halfsine.rfws* 

File	Modulation	Save V	Vaveform File	Instrument	Tools	Window	Help		
	Blueton WLAN LTE NR WCDMJ GSM CDMA2 EV-DO TD-SCD Multi-C	th A k MA arrier							
	Generic Pulse	•	Analog FSK						
	Tones		PSK	L3					

👃 New Se	ettings File	?	×
O New De	fault Settings		
Example	Settings		
Select:	edge_unframed.rfws		•
	p25_cqpsk_std_tx_low_devn_pattern.rfws p25_cqpsk_std_tx_srate_pattern.rfws p25_cqpsk_std_tx_test_pattern.rfws pdc_unframed.rfws obs_unframed_tfws		^
	tetra_unframed.rfws vdl_m2_unframed.rfws		
	wisun mr_o-qpsk-1000kcps-halfsine.rfws		
	zigbee o-gpsk 1000kcps halfsine.rfws		~

#### 図5

RFmx Waveform Creatorのユーザインタフェース (PSK波形へのアクセス 手順をハイライト)

#### 図6

RFmx Waveform Creatorの「New Setting File」 ポップアップウィンドウ (Zigbee波形サンプル2種をハイライト)

これらの波形は、RFmx Waveform Creatorから直接生成するか、または.tdms波形ファイルとして保存し他のアプリケーション (InstrumentStudio<sup>™</sup>ソフトウェアなど) で再生できます。

## 推奨NIバンドル

ハードウェア

866573-01B Wi-FiおよびBluetooth<sup>®</sup>、30 MHz~8 GHz、1 GHz帯域幅、9スロットシャーシ、コントローラ

このソリューションには、本バンドル付属のPXIe-5842が必要です。他のオプションもご用意しています。詳細情報やご注文については、NI担当者までお問い合わせください。



#### 図7

PXIe-5842ベクトル信号トランシーバ (本バンドル付属)

#### ソフトウェア

本書で説明した測定に必要なソフトウェアは、RFmxの全コンポーネントです。

本書で説明したEVM測定には、RFmx Digital Modulationライセンスが必要です。本書で説明したスペクトル計測にはRFmx SpecAnが必要ですが、このソフトウェアのライセンス購入は不要です。

ZigbeeおよびThreadのPHY層テスト用NIソリューション

### 関連リンク

RFmx Demod User Manual (LabVIEW APIドキュメント) RFmx Demod .NETヘルプドキュメント RFmx SpecAn User Manual (LabVIEW APIドキュメント) RFmx SpecAn .NET

Emerson、Emerson Automation Solutions、およびそれらの関連事業体はいずれも、いかなる製品の選択、使用、または保守についても責任を負いません。 製品の適切な選択、使用、および保守に関する責任は、購入者およびエンドユーザのみに帰属します。

NI、National Instruments、ni.com、LabVIEW、およびInstrumentStudioは、Emerson Electric Co.のテストおよび計測事業部の1社が所有する商標です。 EmersonおよびEmersonのロゴは、Emerson Electric Co.の商標およびサービスマークです。Zigbeeは、Connectivity Standards Alliance™で開発され たものです。このブランド、関連ロゴ、マークはConnectivity Standards Allianceの商標です。Thread Group、Thread、Built on Thread、およびThread Certified Componentのワードマークとロゴは、米国および他の法域におけるThread Groupの登録商標、未登録商標、サービスマークです。Bluetooth®のワ ードマークは、Bluetooth SIG, Inc.が所有する登録商標です。その他の商標はすべてそれぞれの所有者の商標です。

本書の内容は情報提供のみを目的としたものであり、その正確性については万全 を期しておりますが、本書に記載されている製品またはサービス、あるいはそれ らの使用または適用可能性について、明示または黙示を問わず、いかなる保証も 行うものではありません。すべての販売には当社の契約条件が適用され、これは 要求に応じて提供されます。当社は、当該製品の設計または仕様をいつでも予告 なく変更または改善する権利を有します。

- nin Linkedin.com/company/niglobal/
- Twitter.com/NIglobal
- > Youtube.com/@NIGlobalYoutube
- (O) Instagram.com/niglobal/
- (f) Facebook.com/NationalInstruments

NI 11500 N Mopac Expwy Austin, TX 78759-3504 USA