

Design Guide: TIDEP-01035

テキサス・インスツルメンツのミリ波レーダーを使用したビデオ監視カメラのリファレンス デザイン



概要

このリファレンス デザインでは、家庭用カメラ、ビデオドアベル、自動制御などの屋外監視システムで動きや存在を検知する、IWRL6432AOP の機能に重点をおいています。IWRL6432AOP は効率的なアンテナ設計によって、長距離、広い角度で人物や物体を検知します。また、ディープ スリープ モードを繰り返すことで極めて僅かな電力しか消費せず、高度なアルゴリズムを使用してほぼすべての誤警報をフィルタリングすることができます。多段アーキテクチャによって、長い検出範囲、低消費電力、低い誤警報レートという 3 つの属性すべてを同時に達成しています。IWRL6432AOP を搭載したデバイスは、遠距離からの検出、長時間のバッテリー駆動、誤警報の低減という特長を活かすことができます。

リソース

[TIDEP-01035](#)

デザイン フォルダ

[IWRL6432AOP](#)

プロダクト フォルダ

[IWRL6432AOPPEVM](#)

ツール フォルダ



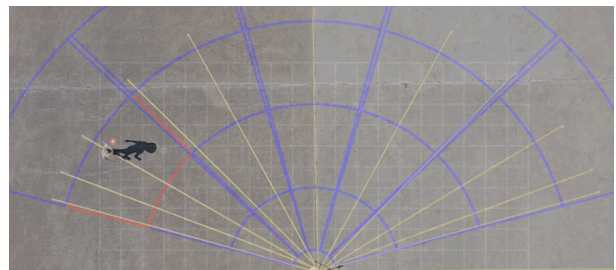
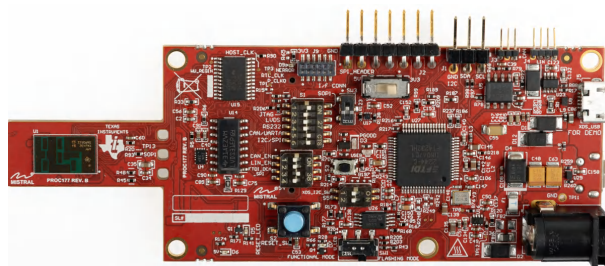
テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- 動きを検知してビデオ カメラ システムを起動する、IWRL6432AOP を使用したデモ用のハードウェアとソフトウェア
- 統合型アンテナ、160MHz で動作するフル プログラマブル M4F、複雑なレーダー動作を実現する 80MHz の専用ハードウェア アクセラレータ (HWA)
- 長距離検知、低消費電力、誤警報レートほぼ 0 を実現しているデフォルト ソフトウェア
- 検知実験の結果
- さまざまな条件下でさらに測定を行うための手法

アプリケーション

- ビデオドアベル
- ワイヤレス セキュリティ カメラ
- モーション センサ
- エリア照明 / 景観照明
- エアコン室外機



1 システムの説明

民生用技術の小型化と低消費電力化が進むにつれて、ビデオドアベルやビデオカメラは、直接のライン電源ではなくバッテリーで駆動されるようになってきました。この変化によって、さまざまな場所により多くの監視デバイスを配置するプロセスが容易になりましたが、そのようなデバイスのバッテリー寿命を延ばすことが課題となっています。監視装置の一般的な動作で最も消費電力の多いイベントは、ビデオの録画とストリーミングです。録画とストリーミングを実行するには、デバイスがカメラ経由でデータをキャプチャして画像信号処理アルゴリズムを実行し、Wi-Fi 経由でクラウドにストリーミングする必要があります。デバイスがデータのストリーミングに費やす時間を短縮するために、スマート監視システムには存在検出デバイスが組み込まれています。これにより、システムで検出される誤警報の数が減少し、実際の検出イベントを見逃すことなくバッテリー寿命を延ばすことができます。

ほとんどすべての存在検出技術は、低消費電力、長い検出距離、低い誤警報レートの間でのトレードオフに直面しています。テキサス・インスツルメンツの IWRL6432AOP ミリ波レーダーは、M4F コアとハードウェア アクセラレータ (HWA) における高い送信電力、複数の検出モード、シームレスなプログラマビリティにより、これらの要因の効果的なバランスを維持します。

1.1 検出理論

『テキサス・インスツルメンツのレーダーデバイスにおけるチャープパラメータのプログラミング』アプリケーションノートに掲載されているレーダーの式は、長い検出距離、消費電力の低減、誤警報レートの低減の間のトレードオフについて数学的に説明しています。

$$\text{Range}_{\max} \text{ based off SNR} = 4 \sqrt{\frac{P_T \times G_{RX} \times G_{TX} \times c^2 \times \sigma \times N \times T_R}{f_c^2 \times (4\pi)^3 \times kT \times NF \times \text{SNR}_{\text{det}}}} \quad (1)$$

P_T	Tx 出力電力 (mW)
G_{RX} , G_{TX}	RX および TX アンテナのゲイン (リニア)
σ	物体のレーダー断面図 (平方メートル)
N	チャープ数 x 仮想アンテナ数
T_r	チャープ時間 (秒)
NF	レシーバのノイズ指数 (リニア)
SNR_{det}	アルゴリズムが物体を検出するために必要な最小の SNR (リニア)
k	ボルツマン定数 (J/K)
T_{det}	周囲温度 (K)

P_t と T_r は消費電力の関数です。関数が増加すると消費電力が増加します。 SNR_{det} は誤警報レートの関数です。 SNR_{det} が増加すると、誤警報レートが低下します。その他のすべての項を一定に保つと、検出範囲は消費電力と誤検出レートの積に比例します。

$$\text{Detection Range} \propto \text{Power Consumption} \times \text{False Positive Rate} \quad (2)$$

これは、統計学を通じたより広い視野からも理解することができます。レーダーシステムのノイズは、**レイリー分布**として知られる複素ガウス分布の大きさとしてモデル化できることが知られています。もし、目標の受信信号がゼロ以外の戻り電力を中心としたガウス分布としてモデル化された場合、レーダーシステムに返される電力量の検出しきい値を 2 つの分布の間のどこかに設定する必要があります。物体が存在するかどうかを検出することは、単純に 2 つの分布の仮説検定に還元されます。

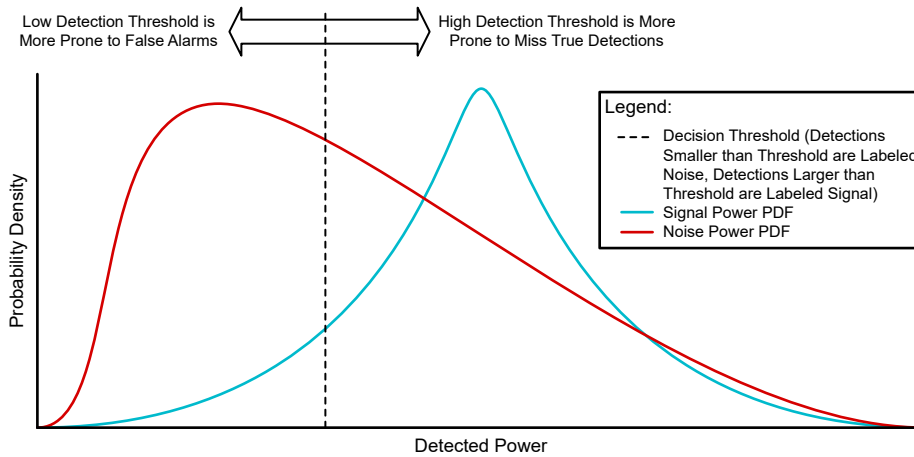


図 1-1. 信号とノイズの電力分布

検出しきい値を低く設定すると、誤検出アラームが多くなります (レーダーが不必要に起動します) が、レーダーが検出を逃してしまう割合は減ります。逆に、検出しきい値を高く設定すると、誤検出アラームが少なくなる可能性があります、レーダーに検出ミスが発生する可能性があります。検出ミスの損失は、監視システムにとって非常に高い可能性があるため、多くの場合、検出しきい値を低くし、誤警報の一部を許容する代わりに検出ミスの可能性を減らす方針が取られます。

1.2 マルチパス アーキテクチャ

優れた検出システムは 3 つの特性 (低消費電力、長距離、低誤警報レート) をすべて備えています、特定のシナリオではある特性を他よりも優先し、全体的なシステム性能を最大限に引き出すことを推奨します。IWRL6432AOP では、複数の検出モードを使ってこのバランスを調整します。このデザイン ガイドでは、3 つのモードが使用されていることを想定していますが、ロジックは 2 つのモードに適用でき、必要に応じて 3 つ以上のモードにも適用できます。

最初のパス モードはレーダーのデフォルト オプションです。最初のパス モードでは、IWRL6432AOP は可能な限り最小の消費電力構成で動作すると同時に、長距離での検出能力を維持します。IWRL6432AOP には、低ノイズ条件であっても、可能な限り低い消費電力で長距離での検出を実現できるように、誤警報がいくつかあります。最良の結果を得るには、誤警報が発生しても最初のパス モードをできる限り低消費電力にする必要があります。

1 回目のパス モードで検出が発生すると、レーダーは 2 回目のパス モードに切り替わります。このモードではより大電力のチャープを使用し、レーダーの誤警報レートを低減して、1 回目のパス モードと同じ検出範囲を達成します。2 番目のパス モードは、1 番目のパスモードよりも離れた範囲にある物体を検出できるという利点はありません。1 番目のパス モードが 2 番目のパス モードをトリガするものだからです。2 番目のパス モードでは、1 番目のパス モードほど多くの誤警報が発生しませんが、風、茂み、樹木などから誤警報が発生する場合があります。

最後に、3 番目のパス モードを使用すると、2 番目のパス モードで検出された誤検知を除去できます。レーダーよりも 10 ~ 100 倍強力なカメラを起動するために 3 番目のパス モードを使用することができるため、3 番目のパス モードが可能な場合、誤警報は発生しません。

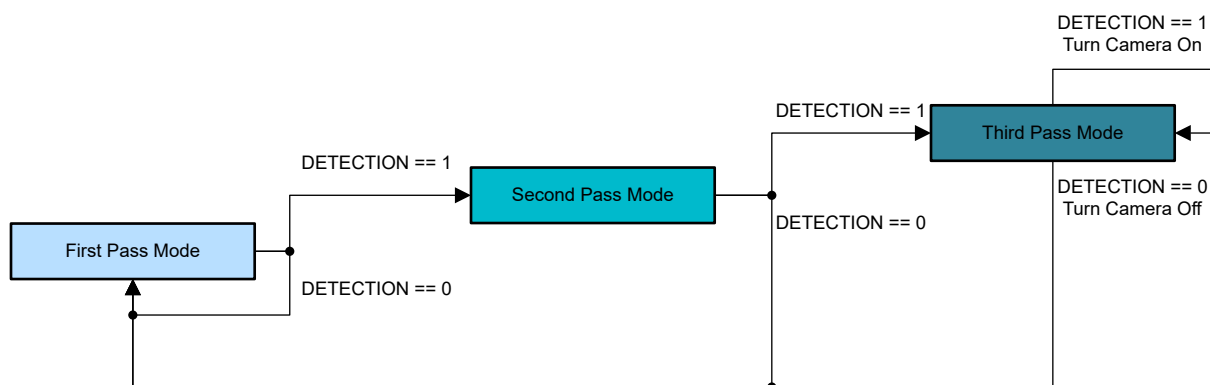


図 1-2. マルチパス アーキテクチャ ステート マシン

IWRL6432AOP は 3 つの電力モードを順に切り替えることで、周囲の動きがほとんど無い場合に最初のパスモードの最小消費電力を利用でき、同時に 3 番目のパスモードの小さな誤警報レートも利用できます。その場面で周囲の動きが多く、1 番目のパスモードを効果的に使用できないほど感度が高くなりすぎても、2 番目のパスモードを使用するとレーダーは依然として適度に消費電力の低いモードを維持できます。

表 1-1. 各モードの電力、範囲、および誤警報レート

	第 1 パスモード	第 2 パスモード	第 3 パスモード
消費電力	低	中	高
誤警報レート	高 (動きが少ない場面でも)	中程度 (風、木、または茂みがあるときのみ)	低
検出範囲	イコール	イコール	イコール
モードで使用された時間の割合	高	中	小型

2 システム概要

2.1 システム設計理論

以降の 3 つのセクションでは、マルチパスアーキテクチャ内の各モードで長い検出範囲、低い誤警報レート、低消費電力を実現する方法を詳しく説明します。このプロセスは、ハードウェア、ソフトウェア、アルゴリズム設計の組み合わせによって実行され、各モードでの性能を最大化します。

2.1.1 長距離検出範囲

2.1.1.1 長距離の検出距離を想定したアンテナ設計

IWRL6432AOP デバイスは、効果的な回路設計とアンテナ設計により、広い視野全体で非常に長い検出範囲を実現します。[IWRL6432AOP](#) のデータシートに記載されているとおり、IWRL6432AOP は、15dBm のシングルトランスミッタ実効等方放射電力 (EIRP) を有しています。EIRP は、アンテナの視野範囲全体にわたる伝導電力とアンテナ ゲインの合計の最大値です。EIRP は、デバイスが放射できる最大出力量を示し、最も一般的には水平方向と垂直方向が 0° の値で、ボア サイトと呼ばれます。ボア サイトでの大きな EIRP は、レーダーが非常に遠い物体を検出できることを意味します。

EIRP は最大放射電力を与えますが、[IWRL6432AOP](#) のデータシートには RX アンテナと TX アンテナの水平方向と垂直方向の放射プロットも示されています。IWRL6432AOP は、水平 ±70 度、垂直 ±40 度の広い視野 (FoV) を実現しています。

高い EIRP と広い FOV を組み合わせた IWRL6432AOP は、あらゆる環境で効果的なレーダーです。たとえば、混雑した都市では、家から通りまでの距離は短くなる場合がありますが、家の前の歩道はかなり長い場合があり、短い検出範囲と広い視野がメリットとなります。一方、田園地帯では、家まで続く長い道路が存在する可能性があり、長距離の検出範囲とより狭い視野がメリットとなる場合があります。あらゆる設定で動作する設計を実現するために、ビデオドアベルのプロバイダは広い視野と長い前面の検出範囲の両方を提供する必要があります。IWRL6432AOP は、さまざまな電力レベルでこれらの仕様を達成できます。

2.1.1.2 長距離の検出範囲に対する SNR 補償

広い FOV で強力な送信チェーンにより、IWRL6432AOP は遠くにある物体を検出するパワーが得られ、レーダー デバイスは、アンテナ信号がフェードアウトし始めるポイントを検出するスレッシュホールドを小さくすることで、検出範囲をさらに拡大することができます。これは、ボアサイトでの長距離検出でも、広い検出角度での長距離検出でも行うことができます。どちらの場合も、ビデオドアベル アプリケーションは検出 SNR スレッシュホールドを選択的に下げて、検出距離の延長を実現します。

2.1.1.3 スマート検出ロジック

[MMWAVE-L-SDK](#) のモーションと存在に関する資料が示すように、IWRL6432AOP は以下のステップでポイントを検出します。

1. 受信データの距離、ドップラー、水平 FFT、垂直 FFT を計算します
2. ドップラー寸法と垂直寸法の合計または最大値を計算します
3. 距離ディメンジョンの range-azimuth ヒートマップで CFAR を実行します
4. 検出されたポイントをフィルタで除外してサイドローブ (異なる水平ビンの電力が隣接する水平ビンにこぼれることにより発生する、同一の距離のビンのピーク) を除去します

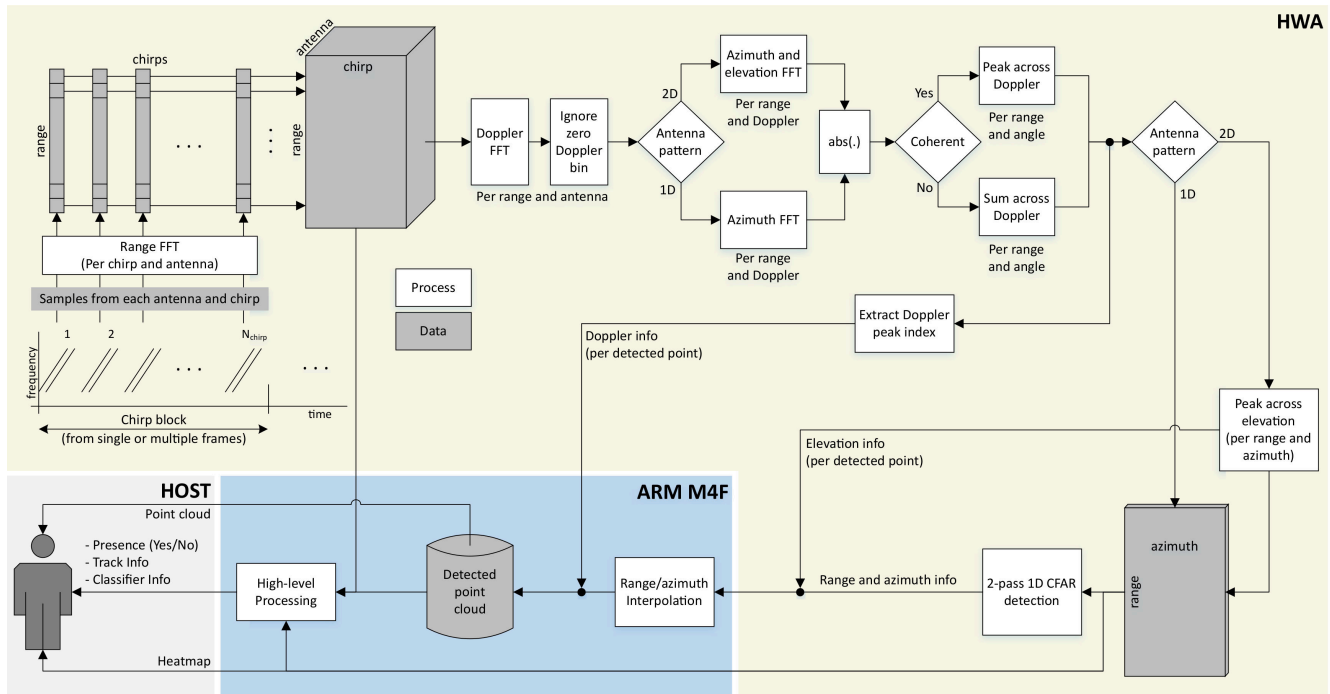


図 2-1. モーションおよび存在検出ブロック図

ポイントを検出した後、ビデオドアベルのリファレンス デザインはそれらのポイントをステート マシンに渡し、特定のゾーン内で存在が検出されたかどうかを判定します。このステート マシンは MPD ステート マシンをベースにしており、これは [MMWAVE-L-SDK](#) でも説明されています。ステートマシンはすべてのポイントを調べ、[DBSCAN アルゴリズム](#)を使用してそれらをまとめてクラスタ化し、クラスタ内のポイントの数と SNR 統計をカウントします。ステートマシンは、その情報に基づいて、あるゾーンが占有されているか、占有されていないかを判断します。次のシーケンスは、ゾーンがどのように非占有状態から占有状態に移行するかを示しています。ステートマシンのフローの詳細については、[MMWAVE-L-SDK の docs / フォルダ](#)にあるチューニング ガイドを参照してください。

一般的に言って、人がレーダーに近い場合、検出されるポイントの数は、ポイントの SNR より、存在を表す適切な指標となります。しかし、目標がレーダーから遠く離れた位置にある場合は、検出されたポイントの SNR がポイント数よりも優れた指標となります。ビデオドアベルのリファレンス デザインでは、近くでは検出ポイントの数を優先し、遠くでは検出 SNR を優先することで、遠距離でも近距離でも信頼性の高い検出を実現する方法を提供します。

2.1.2 低い消費電力

2.1.2.1 効率的なチャープ設計

レーダーが信号を送受信しているときのチャープとは、IWRL6432AOP で最も多くの電力を消費する状態を意味します。この時間をできるだけ短くすることをお勧めします。ただし、チャープ時間は検出距離と検出可能な最低速度にも大きく影響します。そのため、効果的な低消費電力のレーダー システムは、目的の距離、速度にある物体を、適切な誤警報レートで検出できるように十分な時間チャープを行う必要がありますが、決してこれを上回ってはなりません。[ミリ波センシング推定ツール](#)を使用すると、必要な検出範囲に基づいて、レーダーがチャープする必要のある時間を計算することができます。[式 3](#) を SNR 検出スレッショルドおよび人間のレーダー断面積の適切な推定値と組み合わせることで、目的の範囲で検出を行うために必要な積分時間 ($N \times T_R$) を推定できます。これがチャープ時間 (ADC のサンプル / サンプルングレート) と、[ミリ波センシング推定ツール](#)での TX あたりのチャープ数の積に等しいことを確認します。次に、ランプの終了時間を必要な最小値まで短くします。ミリ波センシング推定ツールに組み込まれている制約が原因で、チャープが安定して線形になるまでにある程度の追加時間を必要とすることがあります。そのため、ランプの終了時間は常に必要なチャープ時間よりわずかに長くなります。これらの制限内でチャープを最小化することで、デバイスのチャープ時間が不必要に長くないようにすることができます。

たとえば、低電力バジェットで 17m の検出範囲を実現するには、SNR 検出スレッショルドを 4dB に設定し、標準的なターゲットの RCS を -6dB sqm と推定します。これらの条件を達成するために必要な積分時間 (133 マイクロ秒、つまり 4 つのチャープ (各 33.28μs)) を計算できます。

$$R = \sqrt[4]{\frac{31.62 \times 10^{-3} W \times 3.16 \times (3 \times 10^8)^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2 \times 0.25 \times 4 \text{ chirps} \times 33.28 \times 10^{-6} \frac{\text{sec}}{\text{chirp}}}{(62.49 \times 10^9)^2 (\text{Hz})^2 \times (4 \times \pi)^3 \times 1.38 \times 10^{-23} \left(\frac{J}{K}\right) \times 293.15 K \times 41.68 \times 2.51}} \quad (3)$$

表 2-1. SNR 計算の変数のソース

データシートのパラメータ	構成ファイルパラメータ	定数 / その他
$P_T \times G_{TX} = 15\text{dBm} = 31.62\text{mW}$ $G_{RX} = 5\text{dB} = 3.16$ リニア $NF = 16.2\text{dB} = 41.68$ リニア	$SNR_{det} = 4\text{dB} = 2.51$ リニア $F_c = 62.49\text{GHz}$ $N = 1$ 個の仮想アンテナで 4 回のチャープ $T_R = 33.28\mu\text{sec}$	$C^2 = (3E8)^2$ $K = 1.28E-23$ $T = 293.15K$ $\sigma = -6\text{dB} = 0.25$ (大きさの異なる人は異なるレーダー断面積を持つため、最悪のシナリオを見つけるためには、範囲全体を選択することをお勧めします)。

これにより、次の構成ファイルが生成されます

```
channelCfg 1 1 0
chirpComnCfg 13 0 0 256 1 37 2
chirpTimingCfg 50 24 0 25 62
frameCfg 8 0 811 1 333 0
cfarCfg 2 8 4 3 0 4.0 0 0.8 0 1 1 1
```

この式ではいくつかのパラメータを推定する必要があります。特に誤警報レートを決定する SNR 検出スレッショルド、人ごとに異なる可能性があるターゲットのレーダー断面積、レドーム、湿度、温度に起因するその他の損失を推定しなくてはなりません。

開発期間を短縮するために、テキサス・インスツルメンツは、ビデオドアベル ソフトウェアで使用されている候補のチャープ構成による基準ライニング性能と、その結果を元に積分時間を上下にスケーリングすることを推奨します。たとえば、10m の検出範囲を実現する構成でわずか 8m しか得られない場合、積分時間を係数 $(10/8)^4 = 2.44$ 倍に増やすと目的の結果が得られます。

2.1.2.2 ディープスリープ時の電力モード

IWRL6432AOP はディープ スリープ モードでの消費電力は非常に小さく、レーダーを使用していないときには 0.5mW 未満の消費電力を実現しています。『xWRL6432 低消費電力レーダー - 電力最適化手法』アプリケーションノートでは、これについて詳細に説明していますが、このセクションでは特に、検出範囲や誤警報レートに影響を与えずに電力を低減する方法に注目します。

IWRL6432AOP デバイスは、ディープ スリープ モードで保持するメモリ量を減らすことでディープ スリープ時の電力を低減できます。IWRL6432 では、パワーダウン保持モードでのメモリ インスタンスは約 45μW (64KB) を消費します。クラスタ内のメモリが保持されない場合、IWRL6432 は約 20μW (64kB) を消費します。メモリが保持されていないときにさらに電力を節約するため、IWRL6432 の一部のメモリ クラスタをまとめてグループ化し、対応する SRAM 電源レールに電源スイッチを配置します。グループ内の全てのクラスタがディープ スリープ中に保持されない場合、そのグループのスイッチが開き、グループの電源が完全にオフになりメモリは保持されず、その間メモリの消費が 0μW (0kB) になります。

これらのスイッチは、sysconfig で設定できます。表 2-2 にメモリ内のセクションとクラスタの対応を示します。

表 2-2. 各クラスタのメモリアドレス

クラスタ番号	メモリ セグメント	クラスタ名	サイズ (kB)	開始メモリの位置	注
APPSS クラスタ #1	RAM_1	RAM1A	64	0x00400000	
APPSS クラスタ #3	RAM_1	RAM1B	64	0x00410000	
APPSS クラスタ #4	RAM_1	RAM1C	128	0x00420000	
APPSS クラスタ #2	RAM_2	RAM2A	16	0x00440000	
APPSS クラスタ #5	RAM_2	RAM2B	112	0x00444000	
APPSS クラスタ #5	RAM_3	RAM3	128	0x00460000	
APPSS クラスタ #6	APP_SHMEM_1	共有 RAM 1	128	0x00480000	HWA からアクセスした場合、0x60000000 から開始します
APPSS クラスタ #6	APP_SHMEM_2	共有 RAM 2	128	0x004A0000	HWA からアクセスした場合、0x60000000 から開始します

linker.cmd ファイルを使用して、データをメモリ内のどこに格納するかを指定できます。効率的な設計では、主要なモーションポイントクラウドなど、フレームごとにリセットされる変数を、ディープスリープ中に保持されないクラスタに保存できます。ただし、各検出ゾーンの占有ステータスなど、フレームごとにはリセットされないその他の変数は、ディープスリープ中に保持されるメモリバンクに配置する必要があります。これは、ビデオドアベルのデモでデフォルトで実行されています。

2.1.2.3 ハードウェア アクセラレータ

IWRL6432AOP のハードウェア アクセラレータにより、ウィンドウ処理、FFT、対数振幅、CFAR ベクトル演算などのレーダー信号処理に必要とされる最も重要な動作を超効率的に計算できます。HWA を採用すると、計算時間が大幅に短縮されるので、レーダー センサをより長い時間ディープスリープモードとすることができ、計算に要する時間を短縮できます。HWA はストリーミング入力とストリーミング出力を使用するため、FFT のシーケンスに必要なサイクル数は $(1 + \text{NumFFT}) * \text{FFTSize}$ であり、通常の $O(N \log N)$ 実装よりもはるかに高速です。IWRL6432AOP、[レーダー ハードウェア アクセラレータ](#) の一般的な計算時間を示すために、ユーザーガイド (表 5) が 80MHz HWA クロックに変更されました (表 2-3 を参照)。

表 2-3. FFT 計算時間 (80MHz HWA クロック)

例	FFT サイズ	連続反復の数	クロックサイクル数 (初期レイテンシ + 計算)	合計時間 (80MHz クロックを想定)
1	256	4	256 + (256 × 4)	16μsec
2	128	4	128 + (128 × 4)	8μsec
3	8	64	8 + (8 × 64)	6.5μsec

2.1.3 低い誤警報レート

2.1.3.1 誤警報の一般的な原因

誤警報の拒否は、監視システムでレーダーを使用することの原理的な利点の 1 つです。住宅環境での誤警報の最も一般的な原因には次のようなものが含まれます。

- 道路を走行している車
- 風に吹かれる木々や茂み
- 歩道を歩いている隣人
- 温度差の原因となる近くにあるヒーターや室外機
- 視野の中の小さな動物
- レーダーのすぐ近くにある虫の巣

通常、これらのシステムでは、ユーザーは動きを検出する検出ゾーンと、動きを検出しない除外ゾーンを選択できます。したがって、この誤警報のリストは、予想される検出ゾーン内の動きによる誤警報と、予想される検出ゾーン外の動きによる誤警報の 2 つのカテゴリに分類できます

表 2-4. 誤警報のソース

検出ゾーン内の誤警報	検出ゾーン外の誤警報
<ul style="list-style-type: none"> 風に吹かれる木々や茂み 温度差の原因となる近くにあるヒーターや室外機 視野の中の小さな動物 レーダーのすぐ近くにある虫の巣 	<ul style="list-style-type: none"> 道路を走行している車 歩道を歩いている隣人

2.1.3.2 検出ゾーン外の誤警報

IWRL6432AOP が使用している FMCW 符号化方式は、競合テクノロジーよりも非常に高精度な位置識別を実現します。IWRL6432AOP は、ほぼ 4cm の距離分解能と 5° 以内の角度精度を達成できるため、検出ゾーン外からの誤った警報を簡単に除去できます。

60GHz レーダーは、他のセンシング技術よりも高い精度でターゲットを特定します。PIR センサは、検出している物体に関する事前の情報なしに距離を推定する能力は本質的に持っていません。PIR センサーでは、遠くで大量のエネルギーを放出する物体は、近くで少ないエネルギーを放出する物体と同じように見えます。そのため、PIR から離れた位置を通過する大きな車と、近くを歩いている (車と比較して小さい) 人とを区別することが難しい場合があります。IWRL6432AOP は FMCW レーダーを使用して位置識別を行うため、距離の推定はデバイスが受信する電力の大きさではなく、デバイスに入射する受信波の推定周波数に基づいており、これははるかに信頼性の高い指標となります。レーダーが距離を推定する方法の詳細については、マーケティング ホワイト ペーパー『ミリ波レーダー センサの基礎』をご覧ください。

さらに、60GHz レーダーは、より周波数の低い 2.4GHz、5GHz、24GHz レーダーに比べて、非常に高い精度で位置を特定します。周波数が高いレーダーは、一定の領域により多くのアンテナを収容することができ、角度分解能や角度精度の改善、視野の拡大を実現できます。IWRL6432AOP は 2 個の TX アンテナと 3 個の RX アンテナを収容しても 10.9mm × 6.7mm パッケージ サイズに収まります。低い周波数の場合、より大きなアンテナが必要になるため、このサイズでは設計できない可能性があります。

2.1.3.3 検出ゾーン内の誤警報

広い範囲や角度にわたって検出範囲を広げる SNR 補償手法は、樹木や茂みに起因するレーダー付近での誤警報の除去にも役立ちます。木や茂みは、特に監視装置が設置されている地域では、ノイズの永続的な原因となる可能性があります。静止した物体が静的クラッタ除去オプションを使用してレーダー反射から除去されると仮定すると、木や茂みの RCS は人のそれよりはるかに小さいことがよくあります。したがって、レーダーから所定の距離では、歩いている人からのポイントと風に吹かれている木からのポイントを SNR で分離することができます (範囲内のパワー劣化を考慮している場合)。

2.1.3.4 適応型ステート マシン

IWRL6432AOP は簡単にプログラムできるため、視野に基づいてゾーン占有率の上限と下限のスレッシュホールドをユーザーが設定できます。これにより、ユーザーは木、茂み、または動物の動きが一貫しているゾーンに対して、より高い占有条件を設定できます。この手法は適応型の方法でも実現でき、ユーザーやコンピュータビジョン アルゴリズムが誤った警報をフィルタで除去し、視野内の問題のある領域に関するレーダー情報を提供します。この情報を通して、レーダーは状況の詳細を把握し、さまざまな領域の検出スレッシュホールドを自動的に調整することができます。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

テキサス・インスツルメンツは、IWRL6432AOP の性能測定のために、以下のテストと関連ツールを開発しました。ここでは、一般的なアプリケーション環境におけるデバイスの長い検出範囲、低い誤警報レート、低消費電力を測定する手順について詳しく説明します。

3.1 ハードウェア要件

一連のテストを実行するには、以下のものがが必要です。

- IWRL6432AOPEVM
- デバイスを直立させるための三脚またはマウント
- 検出距離を試験するための開けた野原または駐車場
- ビジュアライザ ソフトウェアを実行するための PC
- IWRL6432AOPEVM を PC に簡単に接続するための長い USB ケーブル

3.2 ソフトウェア要件

一連のテストを実行するには、次のソフトウェアを PC にダウンロードする必要があります。

- [MMWAVE-L-SDK \(最新バージョン\)](#)
- [Radar Toolbox \(最新バージョン\)](#)
 - ビデオドアベル、事前ビルド済みバイナリ
 - アプリケーション ビジュアライザ実行ファイル
- デバイスのプログラム方法とビジュアライザの実行方法の詳細については、それぞれビデオドアベル サンプルのユーザーガイドおよびアプリケーション ビジュアライザを参照してください。

3.3 テスト構成

テキサス・インスツルメンツは、以下の一連のテストを実行して、レーダーの性能を評価し、最大距離、低消費電力、小さな誤警報レートを確認することを推奨します。

表 3-1. 一連のレーダー監視テスト

テスト ID	テスト名称	テストするパラメータ	結果
1	検出範囲	長距離での検出	検出距離 (メートル)
2	何も無い状況での誤警報レート	低い誤警報レート	各モードの時間の割合、誤警報の数
3	消費電力	消費電力	消費電力 (mW)

各テストで、テキサス・インスツルメンツはさまざまな高さや角度での動作を意図した形でレーダーを取り付けることを推奨します。一般的な設置方法は、デバイスを高さ約 1 メートルの位置で水平に向けて真っすぐに設置するドアベル構成と、カメラの視野を広げるためにデバイスを高く取り付けてわずかに下向きに傾けるビデオ カメラ構成の 2 つです。

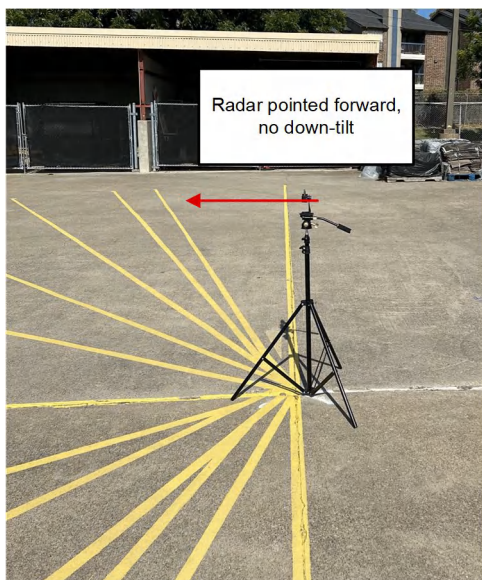


図 3-1. レーダー取り付け、ドアベル構成

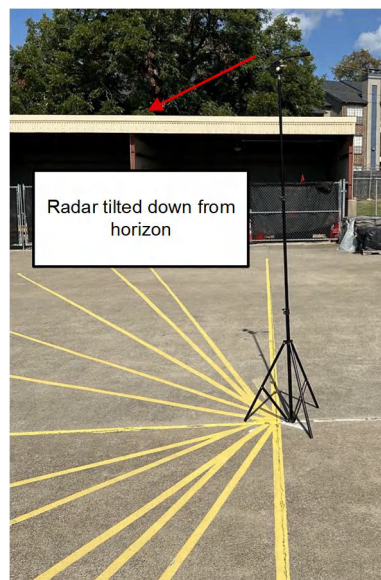


図 3-2. レーダー取り付け、カメラ構成

3.3.1 テスト 1 - 検出範囲

テスト 1 では、人がレーダーの検出範囲外からさまざまな角度でレーダーに近づきます。その人は通常の歩行速度で歩き、腕は力を入れずに体の横で自然にしておきます。人が検出される距離はレーダーによって記録されています。ユーザーは各角度についてこのテストを 3 回繰り返します。

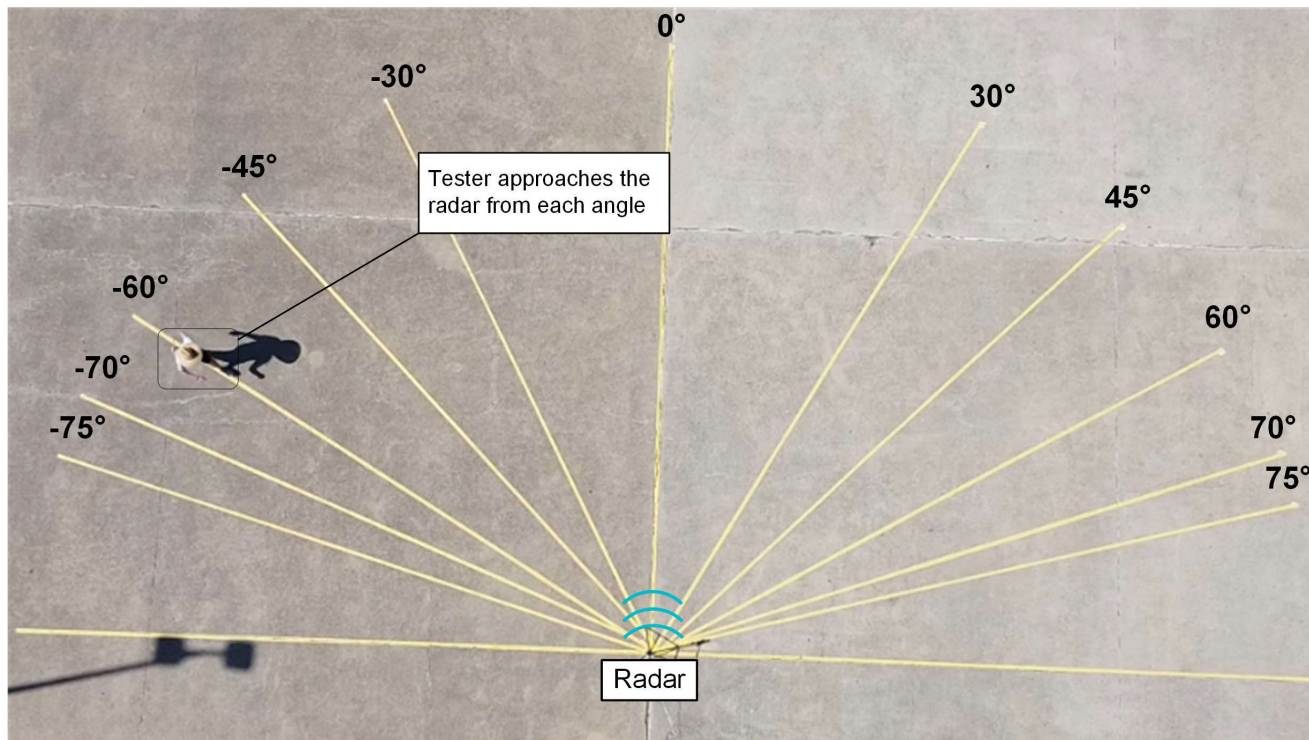


図 3-3. 検出範囲テスト - パーズ アイビュー

インダストリアル ビジュアライザ ツールの検出範囲ペインでは、さまざまな検出モードの検出距離にラベルを付けることで、この測定を簡単に行えるようにしています。全体の検出距離については、モード 3 検出範囲 (完全に設計されたシステムでビデオ カメラをオンにするように設計されています) を使用します。

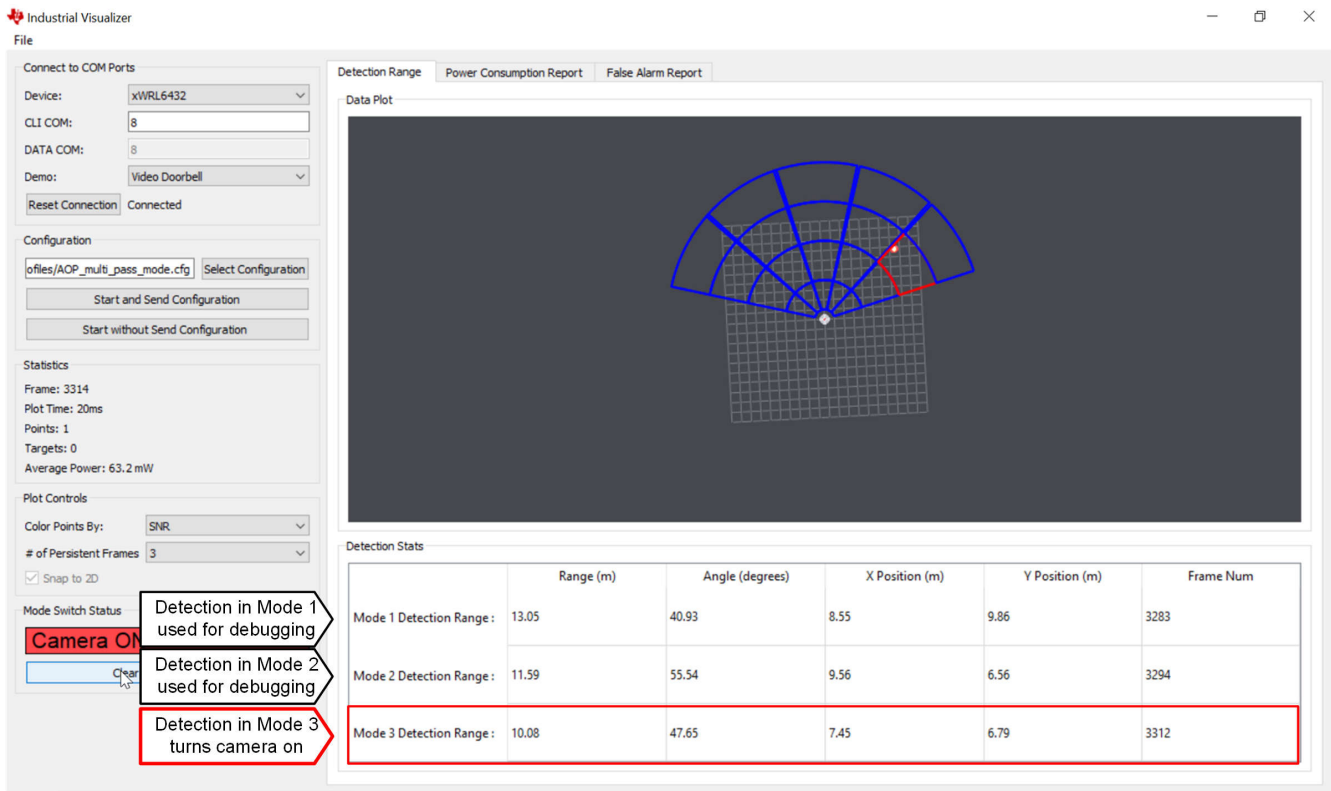


図 3-4. 検出範囲テスト - ビジュアライザ ビュー

3.3.2 テスト 2 - 誤警報レート

このテストは、駐車場や開けた野原、大きな部屋など、広い何も無いスペースで行います。レーダーとテストセットアップをしっかりと取り付けて、機器が風で動かないようにします。各モードで費やされた時間の割合と、レーダーが誤ってカメラを起動した回数を記録してください。



図 3-5. 誤警報レート テスト - 何も無いシーン

インダストリアル ビジュアライザ表示の誤警報画面には、一番下の表に関連する情報が表示されます。一番上のシェーディングは、その領域から発生した誤警報の割合を示します (赤が多いのは誤ったアラームの割合が高いことを示します)。

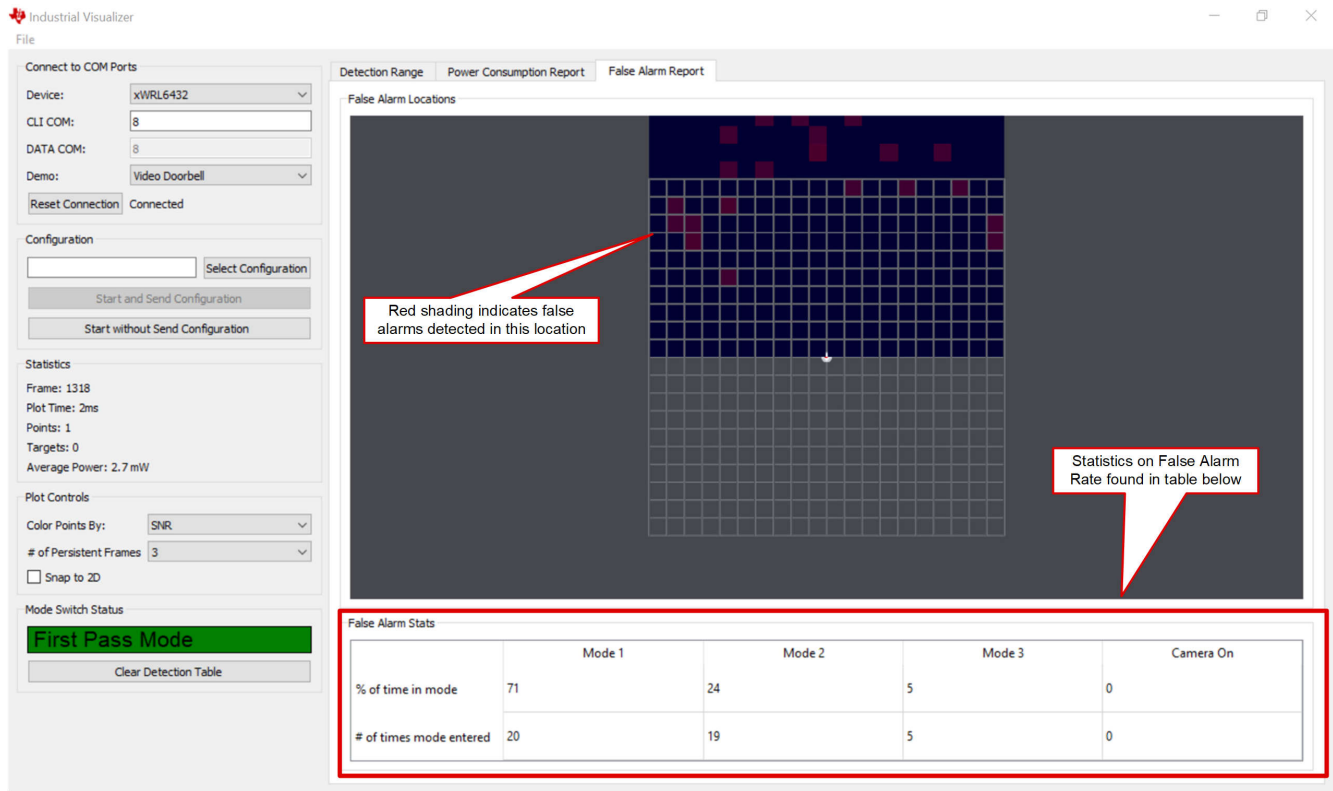


図 3-6. 誤警報レートテスト - ビジュアルライザビュー

より混雑した環境で性能をテストすると、より多くの誤警報が発生する可能性があります。速度、SNR、高さフィルタの組み合わせが、より混雑した環境で特に効果的に機能することをテキサス・インスツルメンツは発見しました。

3.3.3 テスト 3 - 消費電力

消費電力の測定は、可能な限りビデオドアベルの代表的な動作環境で実施する必要があります。テキサス・インスツルメンツでは各モードの消費電力を個別に測定し、代表的な動作中の各モードの予測時間に基づいて合計消費電力を推定することを推奨します。

電力測定時にレーダーから送信されるデバッグ情報の量を制限するために、テキサス・インスツルメンツでは、さまざまな状態での電力測定をできないようにする、または定義することができる記号をいくつか提供しています。表 3-2 に、各モードでの電力測定でどの記号を定義するかを示します。

表 3-2. 各モードで電力を測定するために定義する記号

測定モード 1 の電力	測定モード 2 の電力	測定モード 3 の電力
REMOVE_TRACKER	REMOVE_TRACKER	REMOVE_TRACKER
LOW_MEM	LOW_MEM	LOW_MEM
POWER_REDUCTION_MODS	POWER_REDUCTION_MODS	POWER_REDUCTION_MODS
POWER_MEASUREMENT_CFG	POWER_MEASUREMENT_CFG	POWER_MEASUREMENT_CFG
STAY_IN_FIRST_PASS_MODE	STAY_IN_SECOND_PASS_MODE	STAY_IN_THIRD_PASS_MODE

各記号は次の処理を行います。

表 3-3. 低消費電力モードの記号の定義

記号	使用状況
REMOVE_TRACKER	プロジェクトからトラッカーを削除して、メモリを節約します
LOW_MEM	メモリを節約するために、レーダー キューブのサイズを 3 つのモードすべてで必要とされる最小値まで小さくするには、リンカ ファイルを変更する必要があります
POWER_REDUCTION_MODS	消費電力を低減するため、例から GPIO を削除します。sysconfig で GPIO も削除する必要があります
POWER_MEASUREMENT_CFG	UART が消費電力に及ぼす影響を低減するために、100 フレームごとに消費電力だけを出力します
STAY_IN_FIRST_PASS_MODE	デバッグを容易にするため、デモが最初のパス モードから外れないようにします
STAY_IN_SECOND_PASS_MODE	デバッグを容易にするため、デモが 2 番目のパス モードから外れないようにします
STAY_IN_THIRD_PASS_MODE	デバッグを容易にするため、デモが 3 番目のパス モードから外れないようにします

各モードが実行されているとき、産業用ビジュアライザの「消費電力」タブには、消費電力が時間の関数として表示されます。

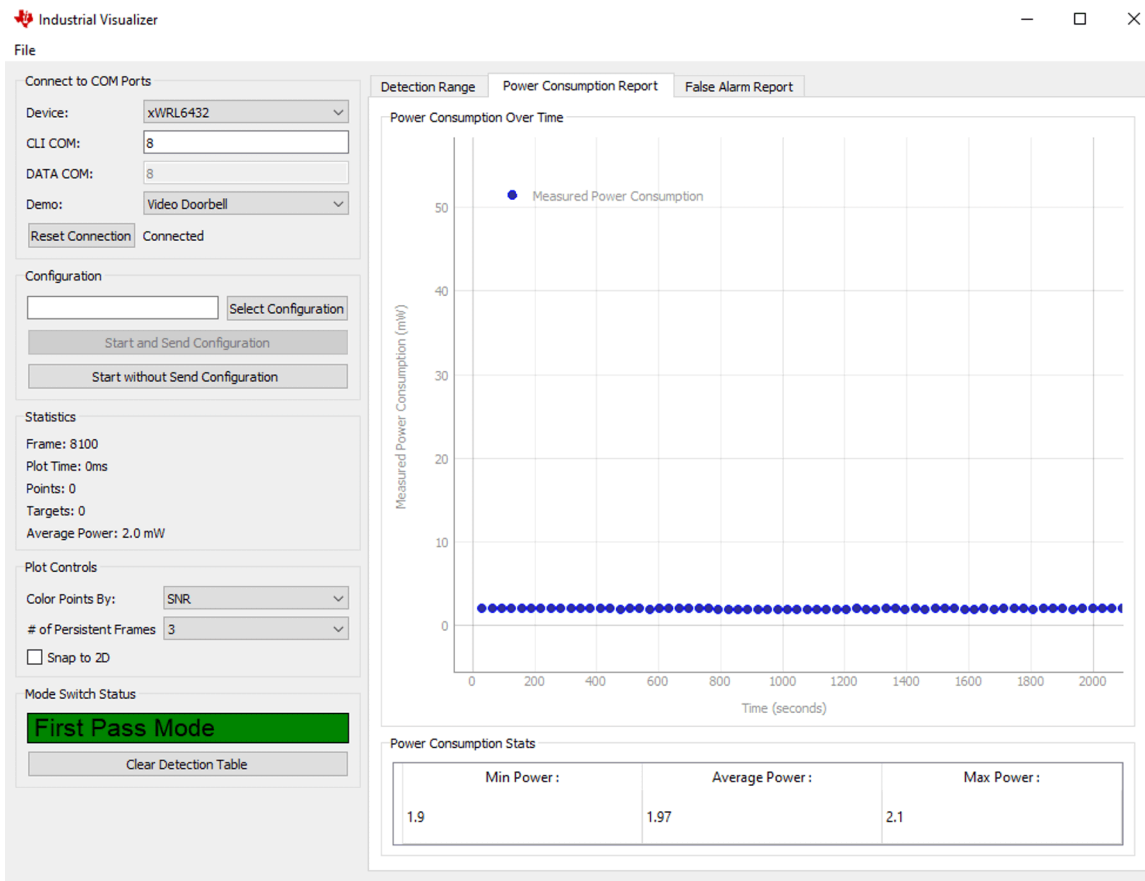


図 3-7. 消費電力テスト - ビジュアライザ ビュー

3.4 テスト結果

テキサス・インスツルメンツは、リファレンス デザイン フォルダにある実行可能ツールとビジュアライザ ツールを使用して、指定された各テストで次の結果を達成することができました。同じソフトウェアとツールを使用して結果を再現できる必要があります。その後のソフトウェアの更新で改善が可能です。

表 3-4. テスト 1 - 検出範囲

角度 (度)	検出距離 (5 回の試行の平均)
-70	6.06
-60	9.72
-45	12.02
-30	13.39
0	14.37
+30	11.97
+45	9.82
+60	8.69
+70	8.62

表 3-5. テスト 2 - 誤警報レート

パラメータ	値
テストの長さ (秒)	1800 (30 分)
環境	開けた駐車場
カメラがオンになる回数	0
カメラオンの時間の割合	0%
モード 3 での時間の割合	8%
モード 2 での時間の割合	17%
モード 1 での時間の割合	75%

表 3-6. テスト 3 - 消費電力

平均消費電力 (モード 1)	平均消費電力 (モード 2)	平均消費電力 (モード 3)
1.97 mW	4.4 mW	30.5 mW

4 デザイン ファイル

4.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDEP-01035](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 部品表 (BOM)

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDEP-01035](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5 ツールとソフトウェア

ツール

[TI Resource Explorer](#)

[RADAR-TOOLBOX](#)

ソフトウェア

[xWRL1432](#) と [xWRL6432](#) 向けミリ波ソフトウェア開発キット (SDK) このミリ波低消費電力 SDK (ソフトウェア開発キット) は、TI の低消費電力ミリ波センサを使用するアプリケーションの評価と開発を実施するための一連のソフトウェア パッケージで構成されています。設計に関するお客様のニーズに対応できるように、このツールには [MMWAVE-L-SDK](#) と関連パッケージが付属しています。

6 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[IWRL6432AOP シングルチップ 57~64GHz 産業用レーダー センサ アンテナ オン パッケージ \(AOP\)](#)』データシート。
2. テキサス・インスツルメンツ、『[xWRL6432 低消費電力レーダー - 電源最適化手法](#)』アプリケーション ノート。
3. テキサス・インスツルメンツ、『[テキサス・インスツルメンツのレーダー デバイスでのチャープ パラメータのプログラミング](#)』、アプリケーションノート。
4. テキサス・インスツルメンツ、『[レーダー ハードウェア アクセラレータ](#)』、ユーザー ガイド。
5. テキサス・インスツルメンツ、『[ミリ波レーダーセンサの基礎](#)』マーケティング ホワイト ペーパー。

7 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ [E2E™ サポート・フォーラム](#) は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの [使用条件](#) を参照してください。

8 商標

テキサス・インスツルメンツの™ and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments. すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

9 著者について

Nathan Herschel Block は、テキサス・インスツルメンツの産業用ミリ波レーダーチームのアプリケーション エンジニアです。

Bhaskar Raj Upadhyay は、テキサス・インスツルメンツのミリ波レーダーチームのシステムエンジニアです。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated