

Design Guide: TIDEP-01034

ミリ波レーダーを使用したエン트리レベルのブラインドスポット検出機能のリファレンス デザイン



概要

このリファレンス デザインは、[AWRL1432BOOST-BSD](#) 評価基板を使用して、エン트리レベルのブラインドスポット検出機能 (BSD) の安全要件に適合するコーナーレーダーアプリケーションの基盤を実現します。このデザインは、最大 120m の距離にある物体の位置 (水平面上) と速度を推定し、追跡できます。

参照情報

TIDEP-01034	デザインフォルダ
AWRL1432	プロダクトフォルダ
MMWAVE-L-SDK	プロダクトフォルダ
TCAN4550-Q1	プロダクトフォルダ



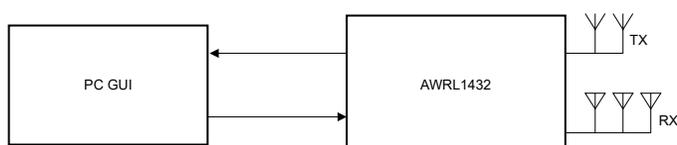
テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- 自動車メーカー各社は、シングルチップレーダー センサを使用して、エン트리レベルのブラインドスポット検出 (BSD) 要件を満たすことが可能に
- 最大 120m 離れた距離にある、時速 $\pm 144\text{km}$ の物体 (乗用車やトラックなど) を検出 / 追跡
- アンテナの水平視野角は ± 60 度、水平角度分解能は約 20 度
- 次の AWRL1432 機能を実証:
 - データ圧縮
 - 中国語剰余定理を使用した最大速度拡張
 - 2Dトラッキング
- 顧客開発サイクルを改善 (ハードウェアの再設計やソフトウェアの労力など)

アプリケーション

- 中距離 / 短距離レーダー



1 システムの説明

車両に搭載されている先進運転支援システム (ADAS) は、生活の質 (QOL) と安全性を確保するとともに、安全運転と運転の難易度低減という比較的日常的な課題を解決します。重要な安全機能の 1 つが BSD であり、自動車の後部隅の領域を監視し、隣接する車線で後方から接近してくる車両をドライバーに警告します。この機能は、ドライバーがサイドミラーでは確認できない障害物を検出し、車線変更時の衝突を防止することで安全性を向上させます。BSD はさまざまなセンサを使用して実装されており、周囲にある障害物を検出し、位置と速度の時間経過を追跡することができます。

1.1 レーダーを使用する理由

周波数変調連続波 (FMCW) レーダーを使用すると、障害物や他の車両との距離と相対速度を高精度で測定可能です。そのため、レーダーは自律型の車両アプリケーション (車線変更支援 (LCA) やリア クロストラフィック アラート (RCTA) など) や自動車安全アプリケーション (自律的なブレーキや衝突回避) に有用です。カメラや LIDAR (光を使用した検出と距離測定) ベースのシステムに対するレーダーの重要な利点は、雨やほこり、煙の影響などの環境条件に対する耐性が相対的に高いことです。FMCW レーダーは特定の信号 (チャープと呼ばれる) を送信して反射を処理するので、完全な暗闇や明るい日中 (レーダーはグレアの影響を受けません) でも動作します。超音波に比べると、レーダーは通常、到達距離がかなり長く、信号の通過時間がかなり短くなります。

1.2 テキサス・インスツルメンツのコーナー レーダー設計

TIDEP-01034 は、AWRL1432 デバイスをコーナー レーダー アプリケーション用に構成し、120m の距離内にある物体を追跡する入門用アプリケーションです。

1.3 主なシステム仕様

このリファレンス デザインは、mmWave 低消費電力ソフトウェア開発キット (MMWAVE-L-SDK) の mmWave デモ (mmwave_demo) 処理チェーンをベースにしています。このリファレンス デザイン デモは BPM-MIMO 方式を使用し、レーダー キューブの圧縮、最大速度の拡張、動的クラッタ除去、グループ トラッカーなどの追加機能を搭載しています。

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
最大距離 (m)	120	これは、表 2-1 に示すチャープ構成でサポートされている最大距離です。特定の物体に関して検出可能な最大距離は、その物体のレーダー断面積 (RCS) によって異なります
距離分解能 (m)	0.94	これは、表 2-1 に示すチャープ構成によって、2 つの個別のポイントターゲットを区別できる距離の差の最小値です。AWRL1432 が理論上実現できる分解能は、4GHz の帯域幅をもとにすると 3.75cm です。
最大速度 (kmph)	±144	これは、交互フレーム上で中国剰余定理を用いて得られる拡張最大速度です。
速度分解能 (kmph)	1.13	このパラメータは、同じ距離にあるが異なる速度で移動する 2 つ以上の物体を区別するレーダー センサの能力を表します。
方位角分解能 (度)	20	これは仮想アレイのアパーチャに基づくネイティブの方位角分解能です

2 システム概要

2.1 ブロック図

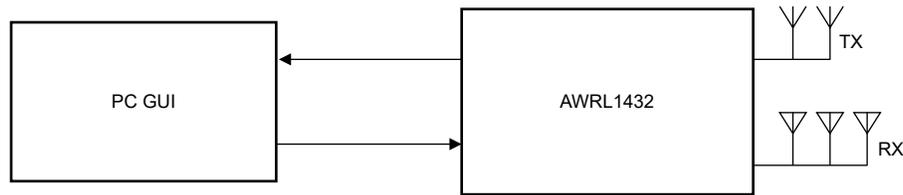


図 2-1. エントリーレベルのブラインド スポット検出システムのブロック図

2.2 設計上の考慮事項

現在のエントリーレベルの BSD センサは通常、センサから最大 120m 離れた距離にあり、時速 130km で移動している車両を検出して追跡するレーダー センサを必要とします。これらの要件を満たすため、AWRL1432BOOST-BSD ではゲインを 13dB 高めたハイゲイン アンテナを使用して、最大検出範囲を 120m まで拡大しています。さらに、このデモでは RF フロント エンドで「低速」フレームと「高速」フレームを交互に実行するために、フレーム再構成を実装しています。この切り替えにより、最大速度拡張機能で最大 $\pm 144\text{km/h}$ までの速度を検出できます。

現在の一部の車両アーキテクチャでは、相互の通信や、中央 ECU との通信のために、各 BSD センサに 2 つの CAN-FD インターフェイスを必要とします。AWRL1432BOOST-BSD は、内蔵 CAN-FD トランシーバ (TCAN4550-Q1) を搭載しており、2 番目の CAN-FD を必要とするシステム設計のリファレンスとして機能します。TCAN4550-Q1 は、SPI 経由で CAN バスと AWRL1432 の間のインターフェイスとして機能します。

2.3 主な使用製品

2.3.1 AWRL1432 シングルチップレーダー ソリューション

AWRL1432 は、76GHz~81GHz の帯域で動作できる FMCW レーダー テクノロジーを採用した統合型シングルチップ低消費電力 77GHz ミリ波センサです。このデバイスは、使用事例の要件に基づいて状態ごとに個別の制御を行う 4 つのメイン電源ドメインに分割されています。

- RF / アナログ サブシステム
- フロントエンドコントローラサブシステム (FECSS)
- アプリケーション サブシステム (APPSS)
- ハードウェア アクセラレータ (HWA)

さらに、AWRL1432 は、テキサス・インスツルメンツの低消費電力 45nm RF CMOS プロセスで製造され、超小型の外形で、かつてないレベルの統合を実現しています。このデバイスには 2 つのトランスミッタと、N 分周フェーズ ロック ループを備えた 3 つのレーザが搭載されており、高精度の線形チャープ合成が可能です。実数のみのベースバンドアーキテクチャに基づき、このデバイスは 5MHz の IF 帯域幅をサポートします。Arm® M4F® コア、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 (HWA 1.2)、1MB のオンチップ RAM を搭載しているため、カスタム アルゴリズムの開発が可能です。

2.3.2 AWRL1432BOOST-BSD 評価基板

AWRL1432BOOST-BSD EVM の特長:

- AWRL1432 レーダー デバイス
- オンボード アンテナ (2 個のトランスミッタと 3 個のレーザ)
- コード開発とデバッグに適した USB 接続機能搭載、XDS110 JTAG インターフェイス
- オンボード QSPI フラッシュへのプログラミング (書き込み) に適したシリアルポート
- 未加工の A/D コンバータ (ADC) データに適した、60 ピンの高密度 (HD) コネクタ
- オンボード CAN-FD トランシーバ
- オンボード SPI から CAN-FD コンバータへ (TCAN4550-Q1)

- オンボード LIN PHY トランシーバ
- この評価基板は、他の LaunchPad 評価基板と接続するためのブースタパックとして設計されています
- オンボード 16Mbit QSPI フラッシュ
- ボードに電力を供給する 12V 電源ジャック

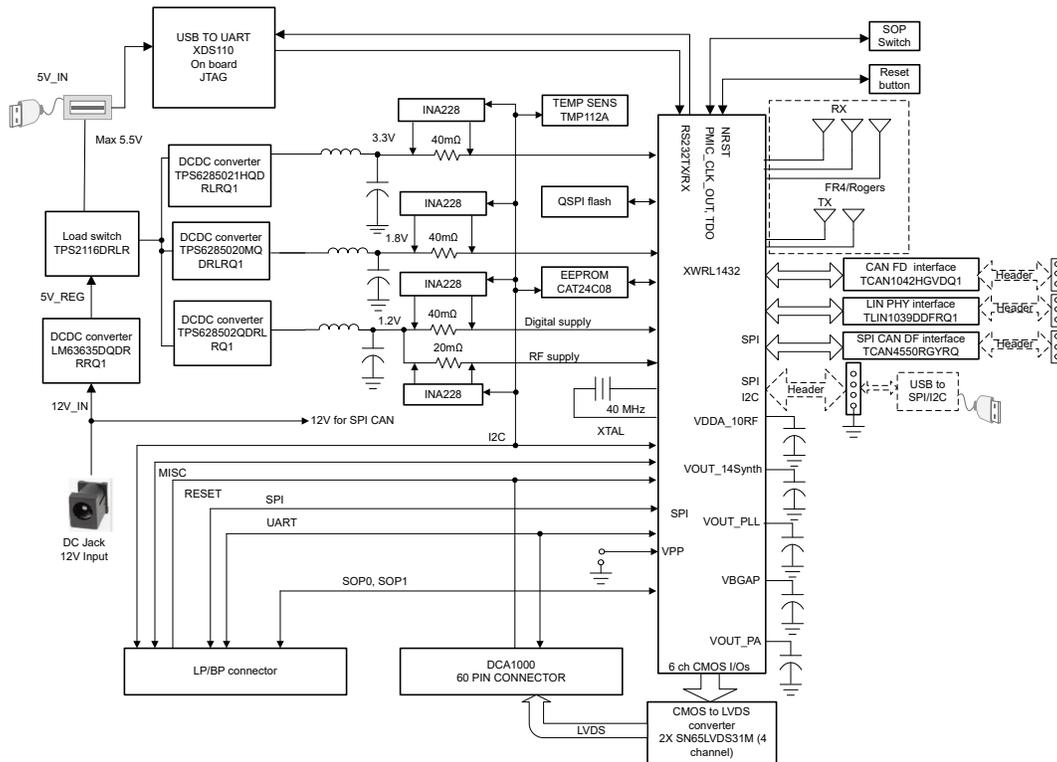


図 2-2. AWRL1432BOOST-BSD のブロック図

ハードウェアの詳細については、『EVM ユーザー ガイド: xWRL1432BOOST-BSD』を参照してください。回路図および設計データベースは次の資料に収録されています:『xWRL1432BOOST-BSD 設計データベース ファイル』および『xWRL1432BOOST-BSD 回路図、アセンブリ、および BOM ファイル』。

2.3.3 TCAN4550-Q1、内蔵型 CAN-FD コントローラおよびトランシーバ

TCAN4550-Q1 は、最高 8Mbps のデータレートをサポートする CAN FD トランシーバを内蔵した CAN FD コントローラです。この CAN FD コントローラは、ISO11898-1:2015 高速コントローラ エリア ネットワーク (CAN) データリンク層の仕様と、ISO11898-2:2016 高速 CAN 仕様の物理層の要件を満たしています。

TCAN4550-Q1 は、CAN バスとシステム プロセッサとの間をシリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) で接続し、Classic CAN と CAN FD の両方をサポートします。また、ポートの拡張または、CAN FD をサポートしていないプロセッサでの CAN のサポートを可能にします。このデバイスは、CAN FD トランシーバの機能 (バスへの差動送信、バスからの差動受信) を提供します。

TCAN4550-Q1 には多くの保護機能が組み込まれているため、デバイスと CAN バスの堅牢性を確保できます。このような保護機能の例として、フェイルセーフ モード、内部ドミナント状態タイムアウト、広いバス動作範囲、タイムアウト ウォッチドッグなどが挙げられます。

2.4 システム設計理論

2.4.1 アンテナの構成

TIDEP-01034 は、3 つのレシーバと 2 つのトランスミッタを使用します。図 2-3 を参照してください。

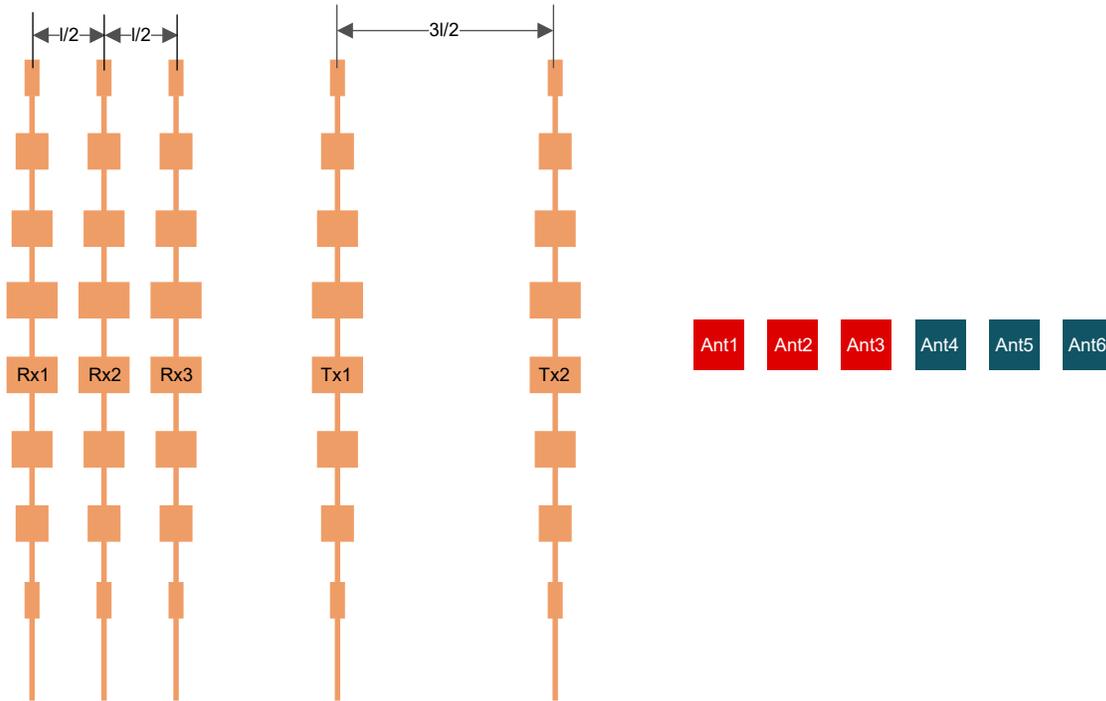


図 2-3. アンテナの構成

2.4.2 チャープ構成とシステム性能

最大検出範囲 120m、AWRL1432 のメモリ可用性という具体的なエントリーレベル BSD の使用事例を実現するには、表 2-1 のチャープ構成を使用します。このアプリケーションで使用されるフレーム再構成では、最高速度拡張機能を有効にするため、ランタイム中に RF フロントエンドが交互に「低速」フレームと「高速」フレームに再構成されます。

表 2-1. チャープ構成

パラメータ	構成
アイドル時間 (μs)	12.1 (低速)、6.9 (高速)
ADC 開始時間 (μs)	2.96
ランプ終了時間 (μs)	23.4
ADC サンプル数	256
周波数スロープ (MHz/μs)	6.7
MIMO	BPM、2 TX パターン
プロファイルごとのチャープ数	256
有効チャープ時間 (μs)	35.5 (低速)、30.3 (高速)
帯域幅 (MHz)	237.9 (低速)、203.0 (高速)
フレーム長 (ms)	50

表 2-2. システム性能パラメータ

パラメータ	仕様
距離分解能 (m)	0.94
最大距離 (m)	120
最大速度 (kmph)	144

注

表 2-1 および 表 2-2 の構成およびパラメータは、現在のアプリケーション リリース (profile_120m_40mpsec_bsdevm_16tracks.cfg) に基づいていますが、デバイスによる制限はありません。

2.4.3 データパス

図 2-4 のブロック図に、エントリーレベル BSD アプリケーションの処理データパスを示します。

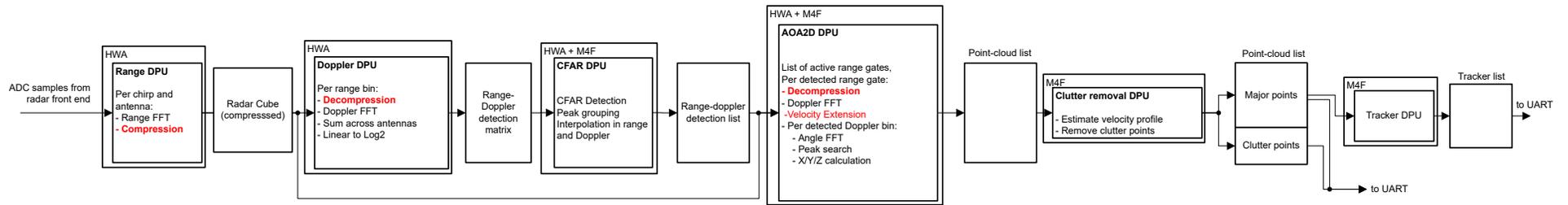


図 2-4. BSD 処理データパスのフロー

2.4.4 チャープ タイミング

図 2-5 に、システムでのチャープとそれ以降の処理のタイミングを示します。

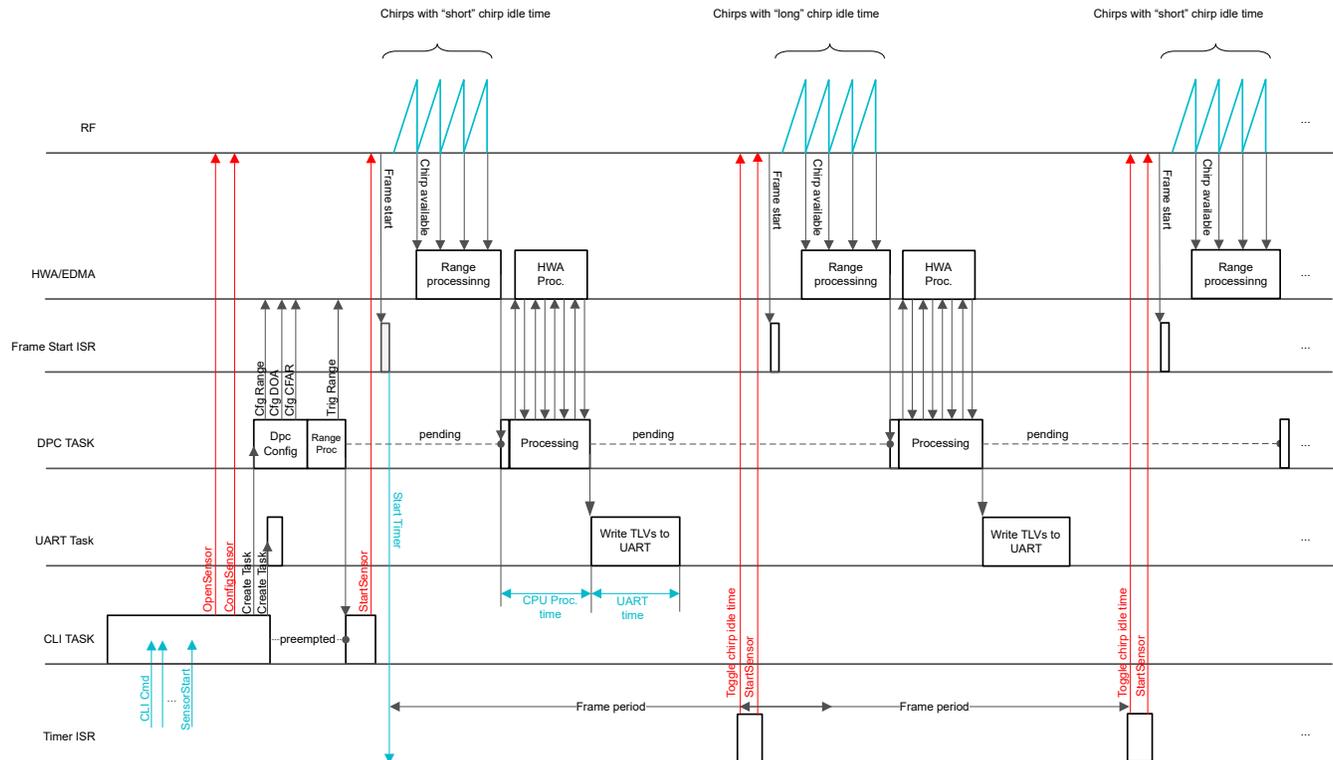


図 2-5. チャープ タイミング シーケンス

チャープ アクイジションは、BPM-MIMO 方式を使用して、レーダー フロント エンドで実行されます。BSD デモに実装されている最大速度拡張機能は、フレームごとに変化するチャープ持続時間に依存しており、チャープ持続時間 (「short」と「long」) はフレームごとに再構成されます。

チャープ アクイジションからポイントクラウドやトラッカー出力まで、データパス処理のコアは、以下のデータ処理ユニット (DPU) に分割されています。

- Range DPU
- Doppler DPU
- CFAR DPU
- 2D Angle-of-Arrival (AoA2D) DPU
- Clutter Removal DPU
- Group Tracker DPU

アクイジションが発生すると、Range DPU はアクイジションと並行して各アンテナとチャープに対して 1D FFT を実行し、出力を圧縮して、圧縮されたレーダー キューブとして出力をメモリに保存します。

次に、Doppler DPU はレーダー キューブを一度に 1 つのレンジビンずつ解凍し、ビンごとに Doppler FFT を実行して速度情報を計算します。Doppler FFT の大きさは、Range-Doppler 検出マトリックスを生成する各レンジビンに対するすべての仮想アンテナの合計です。これはハードウェア アクセラレータ (HWA) で実行されます。

その後、CFAR DPU は距離とドップラー寸法の両方で検出されたポイントを計算し、クロスチェックします。次に、AoA2D DPU は最大速度拡張アルゴリズムを実行して、検出されたポイントの速度をナイキスト制限を超えて拡張し、デカルト形式のポイントクラウドリストを生成します。これらの DPU は、HWA と M4F の両方を活用して、これを達成します。

最後に、Clutter Removal DPU は、静止した道路のクラッタとして識別された検出ポイントを除去し、Group Tracker DPU がポイントクラウド データに基づいて物体追跡を実行します。最終的なポイントクラウドリストとトラッカー リストの両方が UART 経由で送信されます。

アプリケーションフローと処理の詳細については、[mmWave 低消費電力ソフトウェア開発キット \(MMWAVE-L-SDK\)](#) をご覧ください。

2.4.5 メモリの割り当て

注

BSD デモのメモリ使用状況は、マップファイルで常に確認できます。

2 つのメモリヒープが作成されて、1 つはローカル コア メモリ、もう 1 つは共有 L3 メモリに配置され、APPSS の 256KB 共有メモリと HWASS の 160KB 共有メモリを占有します。共有メモリの使用状況は、構成によって異なります。開始時に、CLI コマンドを受信して設定が完了すると、これら 2 つのヒープのメモリ使用量がコンソールに出力されます。バッファは、グループトラッカー アルゴリズム用にローカル コア メモリから割り当てられます。

この SDK リリースで提供されている CLI 構成ファイル `profile_120m_40mpsec_bsdevm_16tracks.cfg` のメモリヒープ使用状況を [表 2-3](#) に示します。

表 2-3. CLI 構成でのメモリヒープの使用状況

メモリヒープ アレイ	使用状況	サイズ (ビット)	使用済	未使用
共有 L3 メモリ	レーダーキューブ、検出マトリクス	425984	263056	162928
ローカル コア メモリ	処理チェーンデータ	23552	10384	13168
ローカル メモリ バッファ	トラッカー	49152	19968	29184

2.4.6 フレーム再構成

スタートアップ時および最初の 2 フレーム時の BSD デモ処理チェーンのタイミング図を [図 2-5](#) に示します。BSD デモ処理チェーンは、フレームがトリガされる方法が、標準的な SDK の処理チェーンとは異なります。標準的な SDK OOB デモ処理チェーンでは、RF フロント エンドがフレーム番号の無限のシーケンスに対して設定され、RF は特定のフレーム期間に従ってフレームを駆動します。一方、この処理チェーンでは、RF フロント エンドを 1 フレームのみに構成し、RTOS タイマを所定のフレーム レートに設定します。

RTOS タイマの ISR 実行時に、RF フロント エンドが再構成され、一度に 1 フレームを実行するように起動します。その結果、1 フレームごとにチャープのアイドル時間がトグルされ、その結果、「低速」フレームと「高速」フレームが交互に生成されます。この交互動作は、最大速度拡張機能の動作に必要な動きを表します。

2.4.7 Vmax 拡張

デバイスに渡される構成パラメータに基づいて、デバイスは $-V_{\max}$ から $+V_{\max}$ の範囲の速度を検出できます。ここで、 V_{\max} は次の式で定義されます。

$$V_{\max} = \frac{\lambda}{4(T_{\text{IdleTime}} + T_{\text{RampEndTime}})N_{\text{TxAnt}}} \quad (1)$$

ここで、 T_{IdleTime} はチャープ アイドル時間、 $T_{\text{RampEndTime}}$ はチャープ ランプの終了時間、 N_{TxAnt} はトランスミッタ アンテナ数です。 T_{IdleTime} と $T_{\text{RampEndTime}}$ の両方を構成設定プロファイルで定義できます。

より高い V_{\max} を有効にするには、 T_{IdleTime} と $T_{\text{RampEndTime}}$ を短縮する必要があります。ただし、レーダー フロント エンドによって定義される物理的な制限があり、それを下回ると、 T_{IdleTime} と $T_{\text{RampEndTime}}$ を減らすことはできません。この V_{\max} を超える速度が検出された場合、ループして実際の値を識別できなくなるので、あいまいな速度と呼ばれます。これを克服して V_{\max} を増やすために、中国剰余定理が適用されます。

中国剰余定理では、交互のアイドル時間を持つ連続フレームが使用されるため、 V_{\max} が切り替わります。検出された点ごとに、 N_H の仮説が設定されます。 N_H は奇数です。各仮説について、実際の速度は現在のフレーム速度分解能

$$\Delta v_{\text{CurrFrm}} \quad (2)$$

および検出された点 d_{ind_p} のドップラー インデックスを使用して次のように計算されます。

$$v(i) = \Delta v_{\text{CurrFrm}} \times d_{\text{ind}_p} + k \times 2V_{\max\text{CurrFrm}}, \quad k = i - \left\lfloor \frac{N_H}{2} \right\rfloor, \quad i = 0, 1, \dots, N_H - 1 \quad (3)$$

ここで、 i は仮説のインデックスです。

次に、前のフレームドップラー分解能を使用して、各仮説の速度を前のフレーム検出マトリックスにマッピング (折り畳み) し、

$$\Delta v_{\text{PrevFrm}} \quad (4)$$

ドップラー インデックス位置を取得します。

$$d_{\text{ind}}(i) = \text{round}\left(\frac{v(i)}{\Delta v_{\text{PrevFrm}}}\right) \bmod N_{\text{DopFFT}}, \quad i = 0, 1, \dots, N_H - 1 \quad (5)$$

さらに、各仮説の範囲インデックスは、述語範囲移行に基づいて補正されます。

$$r_{\text{ind}}(i) = \text{round}\left(r_{\text{ind}_p} - v(i) \times T_{\text{frame}}\right), \quad i = 0, 1, \dots, N_H - 1 \quad (6)$$

ここで、 r_{ind_p} は検出されたポイントの範囲インデックス、 T_{frame} はフレーム周期です。

これらの操作の結果、前のフレーム検出マトリックス内にある N_H ポイントが作成され、それぞれが範囲 / ドップラー インデックス ペアとして定義されます。

$$\{r_{\text{ind}}(i), d_{\text{ind}}(i)\}, \quad i = 0, 1, \dots, N_H - 1 \quad (7)$$

次に、各仮説について、前のフレーム検出マトリックス D_{prev} の探索を点の近傍 (長方形領域) で行い、局所最大ピークを求めます。検索は、サイズの長方形の領域で行われます。

$$(2D_s + 1) \times (2R_s + 1) \quad (8)$$

ここで、 D_s と R_s は構成によって規定されます。

どの仮説が最大 $p_{\text{max}}(i)$ を持つかに基づいて、対応する勝利仮説が選択されます。

$$p_{\text{max}}(i) = \max_{v_{\text{ind}} = v_{\text{ind}}(i) - D_s}^{v_{\text{ind}}(i) + D_s} \max_{r_{\text{ind}} = r_{\text{ind}}(i) - R_s}^{r_{\text{ind}}(i) + R_s} D_{\text{prev}}(v_{\text{ind}}, r_{\text{ind}}), \quad i = 0, 1, \dots, N_H - 1 \quad (9)$$

最後に実際のターゲット速度 v_{actual} が勝利仮説に基づいて選択されます。

$$v_{\text{actual}} = v(m), \quad m = \underset{i=0}{\text{argmax}}^{N_H-1} (p_{\text{max}}(i)) \quad (10)$$

このプロセスの概要を [図 2-6](#) に示します。

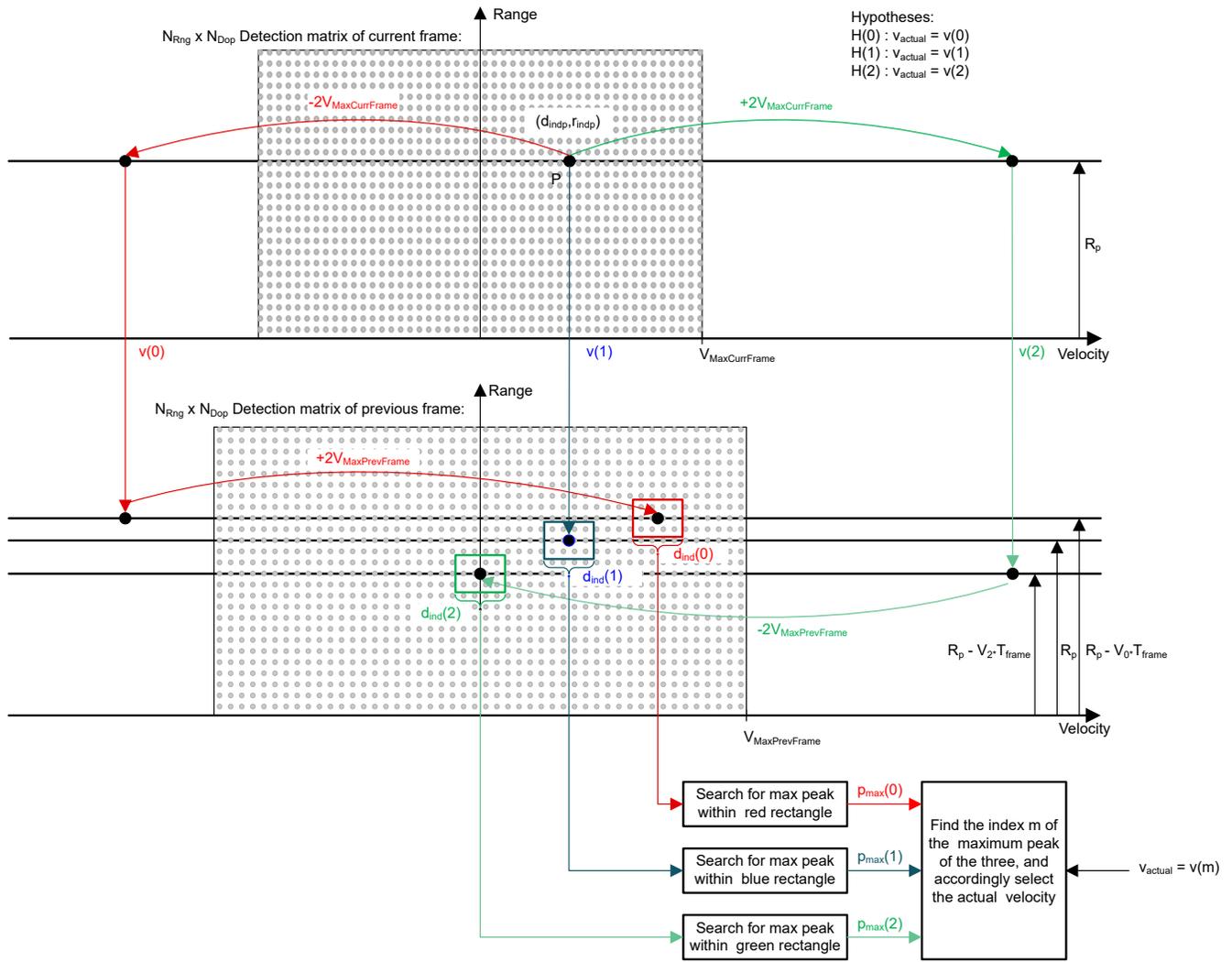


図 2-6. 最大速度拡張処理

2.4.8 グループ追跡機能

現実のレーダー ターゲット (自動車、歩行者など) は、一連の複数の反射ポイントとして追跡処理層に提示されます。これらの検出ポイントにより、関連のある距離、角度、SNR、径方向速度測定ของกลุ่มが形成されます。グループ追跡機能は、一定の加速度モーション モデルに基づいて、ポイントのクラスタ (グループとも呼ばれます) を時間の経過とともに二次元で追跡します。図 2-7 に、グループトラッカー アルゴリズムの主な機能ブロックを示します。白色で示したサブブロックは、古典的な拡張カルマンフィルタ (EKF) 演算です。オレンジ色で表示されているサブブロックは、マルチポイントグループ化をサポートするための追加機能です。

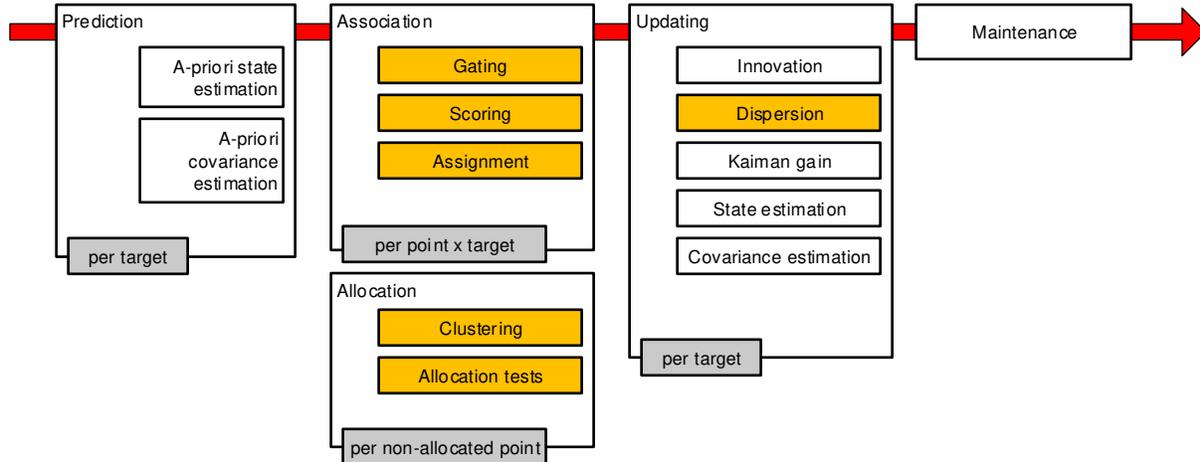


図 2-7. グループトラッカーのブロック図

これらのパラメータ セットは、テスト結果に基づいて、またはシーンの要件に基づいて微調整できます。

表 2-4. GTrack パラメータ セット

シナリオ	パラメータ セット	CLI コマンド	説明
1	風景パラメーター	appSceneryParams	これらは、トラッカーが動作する物理スペースの寸法を定義します。また、レーダー センサの向きと位置も指定します。これらの境界ボックスの外側にある測定ポイントは、トラッカーでは使用されません。
2	ゲーティング パラメータ	appGatingParams	これらは、追跡対象オブジェクトの最大体積と速度を決定し、測定ポイントをすでに存在するトラックに関連付けるために使用されます。これらのパラメータで設定された制限を超えて検出されたポイントは、追跡対象オブジェクトを構成するポイントのセットには含まれません。
3	割り当てパラメータ	appAllocParams	これらは、シーン内の新しいトラックや人を検出するために使用されます。検出されたポイントが既存のトラックに関連付けられていない場合、割り当てパラメーターを使用してこれらの残りのポイントをクラスタ化し、そのクラスタを人またはターゲットとして認定するかどうかを判断します。
4	状態パラメータ	appStateParams	状態遷移パラメータは、トラッキング インスタンスの状態を決定します。トラッキング インスタンスは、次の 3 つの状態のいずれかになります： FREE、DETECT、ACTIVE。
5	最大加速度パラメーター ポイントの最大数 トラックの最大数	gtrack	最大加速度パラメータは、横方向、縦方向、および垂直方向の最大加速度を決定します。

2.4.9 動的クラッタ除去

動的クラッタ除去機能は、静止した路上の物体や道路からの反射を排除するように設計された BSD デモ処理チェーンのオプション機能であり、「動的クラッタ」と呼ばれます。動的クラッタの一般的な特徴は、半径方向の速度 / 方位角座標系内のすべての静止ポイントが正弦波曲線に沿って配置されていることで、これを「速度プロフィール」と呼びます。図 2-8 に示す速度プロフィールは、以下のように表現できます。

$$V_r(\theta) = V_s \cos(\theta + \alpha) \quad (11)$$

ここで、 V_s はセンサの速度、 α はセンサの取り付け角度を示します。

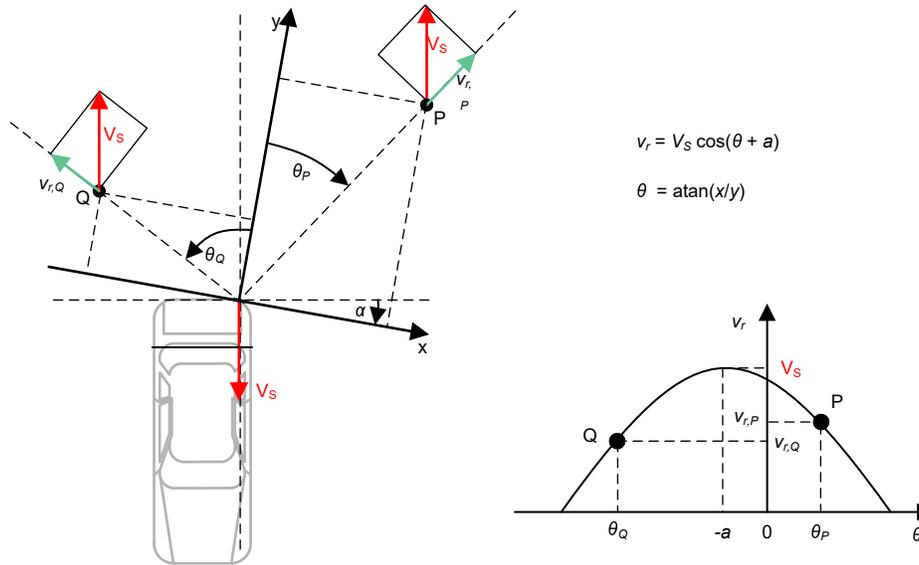


図 2-8. 動的クラッタの速度プロフィール

V_s および α を近距離で検出されたポイントから推定することで、動的クラッタ除去アルゴリズムは、BSD アプリケーションに関連する他のポイントから動的クラッタをフィルタリングすることができます。

BSD デモでは、図 2-4 に示すように、AoA2D DPU とグループトラッカー DPU の間にある動的クラッタ除去 DPU によってクラッタの除去が行われます。静止ポイントは AoA2D DPU の後にポイントクラウドリストから削除され、残りのポイントである主要なポイントがトラッカー DPU に提供されます。クラッタポイントはオプションで保存してポイントクラウドリストに追加でき、処理の最後に主要ポイントと一緒に GUI ビジュアライザに送信できます。

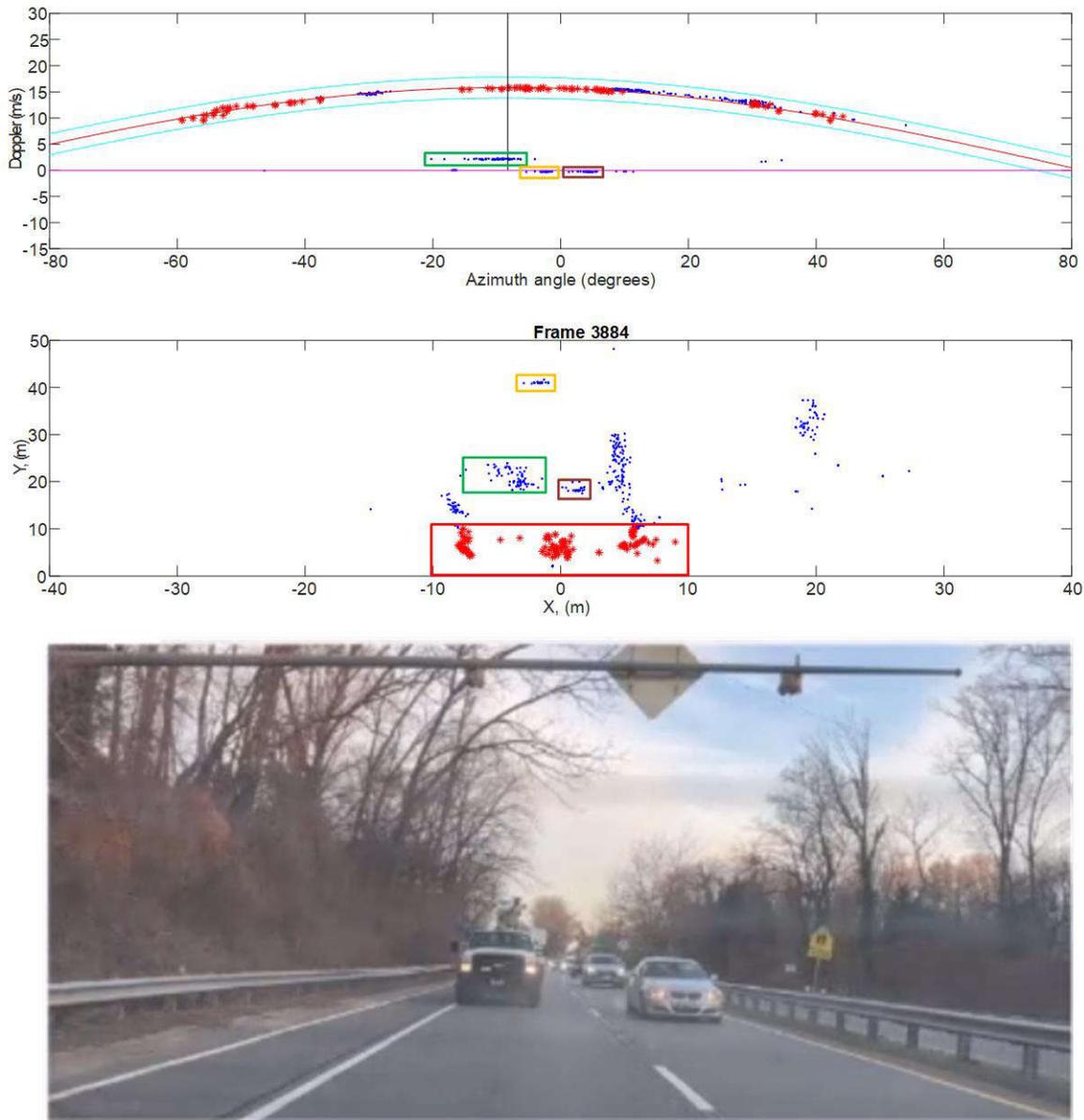


図 2-9. 動的クラッタ除去の実装

図 2-8 に、BSD デモで実装されているクラッタ除去を示します。図の下部には、移動中の車両の後部に取り付けられているセンサに対する場面が示されています。中央のセクションは、 x - y 平面のシーンに対応するポイントクラウドを示し、上部のセクションは、半径方向の速度 - 方位角平面の同じポイントクラウドを示しています。近距離で赤で強調表示されている長方形内のポイントは、主に路面からの反射を表していることが想定されています。黄色、緑色、紫色の四角形内のポイントは、3つの車両からの反射に対応しています。残りのポイントは、他の静止オブジェクトからの反射を表します。速度 - 方位角平面では、静止物体に起因する複数のポイントが、速度プロファイル曲線に沿った狭い列の中で明確に整理されます。 V_s と α を知っていれば、これらの点を簡単にフィルタリングすることができます。

注

BSD デモは現在、自動車の背後にある付近の路面から反射された検出ポイントに基づいて速度プロファイルを推定しています。このアルゴリズムは、近くの路面からの反射がほぼ常に存在するという仮定の下で動作します。ただし、信頼性を高めるために、車両の走行距離計や、「キック ツー オープン」機能に採用されているセンサなど、地面に近い位置に配置されている他のセンサなどから、より信頼性の高い推定値を取得することもできます。

2.4.10 CAN-FD トランシーバ

AWRL1432BOOST-BSD は、(AWRL1432 の内蔵 CAN-FD インターフェイスに加えて) 2 番目の CAN-FD を必要とするシステム設計のリファレンスとして機能する、内蔵 CAN-FD トランシーバ (TCAN4550-Q1) を搭載しています。

TCAN4550-Q1 は、SPI を経由する CAN バスと AWRL1432 との間のインターフェイスとして機能し、Classic CAN と CAN-FD の両方をサポートします。

- TCAN4550-Q1 の SPI 信号ピンは、AWRL1432 の内蔵 SPIA インターフェイスに接続します。
- TCAN4550-Q1 デバイスのリセットピン (RST) は、AWRL1432 の GPIO 6 に接続されており、デバイスをデフォルト設定にリセットしてスタンバイにするために使用されます。
- TCAN4550-Q1 のウェイクアップ リクエストピン (nWKRQ) は、AWRL1432 の GPIO 4 に接続されており、電圧レベルの制御に INH ピンを使用しないレギュレータのイネーブルとして使用されます。INH ピンは外部高電圧レギュレータをイネーブルにするための電圧を供給するため、デモではこれを使用しません。
- TCAN4550-Q1 の割り込みピン (nINT) は、AWRL1432 の GPIO 5 に接続されており、すべての割り込みリクエストを送信するために使用されます。
- TCAN4550-Q1 の WAKE ピンはユーザー ボタン (S6) に接続されており、デバイスをスタンバイ モードに移行させるための高電圧デバイスのローカル ウェイクアップ (LWU) に使用されます。

TCAN4550-Q1 は、システムのニーズに基づき、必要に応じて TX/RX バッファ /FIFO 用に完全に構成可能な 2K バイトの MRAM を備えているため、2 番目の CAN-FD 機能を実装しても AWRL1432 メモリにオーバーヘッドが追加されることはありません。

TCAN4550-Q1 は、BSD デモの [表 2-3](#) に示すタイミング パラメータに構成されています。

表 2-5. CAN-FD のタイミング パラメータ

	ビット レート (kbit/ s)	サン プル ポイン ト(%)	プリ ス ケー ラ	TSE G1	TSE G2	SJW	Tq (ns)	Nq
公称	500	80	2	31	8	8	50	40
データ	2000	75	1	14	5	5	25	20

TCAN4550-Q1 の機能の詳細については、『[TCAN4550-Q1 データシート](#)』を参照してください。

SPI から CAN-FD へのドライバ コードの詳細については、『[TCAN45xx ソフトウェア ユーザー ガイド](#)』を参照してください。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

3.1 必要なハードウェアとソフトウェア

AWRL1432BOOST-BSD は、エントリー レベル BSD アプリケーション用 AWRL1432 向けの使いやすい評価ボードです。

このデモは AWRL1432BOOST-BSD 上で動作し、USB 経由で評価基板に接続された PC 上で動作する視覚化ツールに接続します。このボードの使用の詳細については、『[評価ボード ユーザーマニュアル: xWRL1432BOOST-BSD](#)』を参照してください。エントリーレベルの BSD デザインは、ミリ波低消費電力ソフトウェア開発キット (MMWAVE-L-SDK) を使用して構築されたアプリケーションです。デモ バイナリは TI Resource Explorer の [Radar Toolbox](#) を参照してください。このコードのビルドに使用する MMWAVE-L-SDK バージョンは、デモ ソフトウェアのリリース ノートに掲載済みです。

3.1.1 ハードウェア

AWRL1432BOOST-BSD コア デザインの内容。

- AWRL1432 デバイス: Arm-Cortex M4F と HWA を内蔵したシングルチップの低消費電力 77GHz レーダー デバイス
- 電力最適化済み、ディスクリート DC/DC パワー マネージメント
- また、この評価基板は PC との USB リンク経由でオンボード エミュレーションと UART エミュレーションを支援するデバイスも搭載しています。

3.1.2 ソフトウェアおよび GUI

関連ソフトウェアは、TI Resource Explorer [Radar Toolbox](#) で動作します。

デモ用の MATLAB GUI はソフトウェア パッケージに含まれており、[図 3-1](#) に示すように以下のプロットが表示されます。

- X-Y 散布図: ポイント クラウド、トラックの位置を表示します。
- ドップラー レンジ プロット: ポイント クラウドとトラックのレンジドップラー座標を表示します。

ロード時に、テスト キャプチャの記録や表示、あるいは記録されたテスト キャプチャ再生のオプションが GUI でユーザーに提供されます。GUI により、UART 経由でデモに接続し (UART ポートは、デバイス マネージャの設定に基づいて構成されています)、構成ファイルをロードしてテスト キャプチャを開始することができます。

3.2 テスト構成

AWRL1432 のコーナー レーダー機能の性能は TI Resource Explorer の [Radar Toolbox](#) で利用可能なサンプル プロジェクトを使用してテストしました。このテストには、三脚に取り付けた AWRL1432BOOST-BSD を使用しました。

3.3 テスト結果

図 3-1 および 図 3-2 の結果は、中型セダンおよびオートバイで検出された最大距離に対応しています。

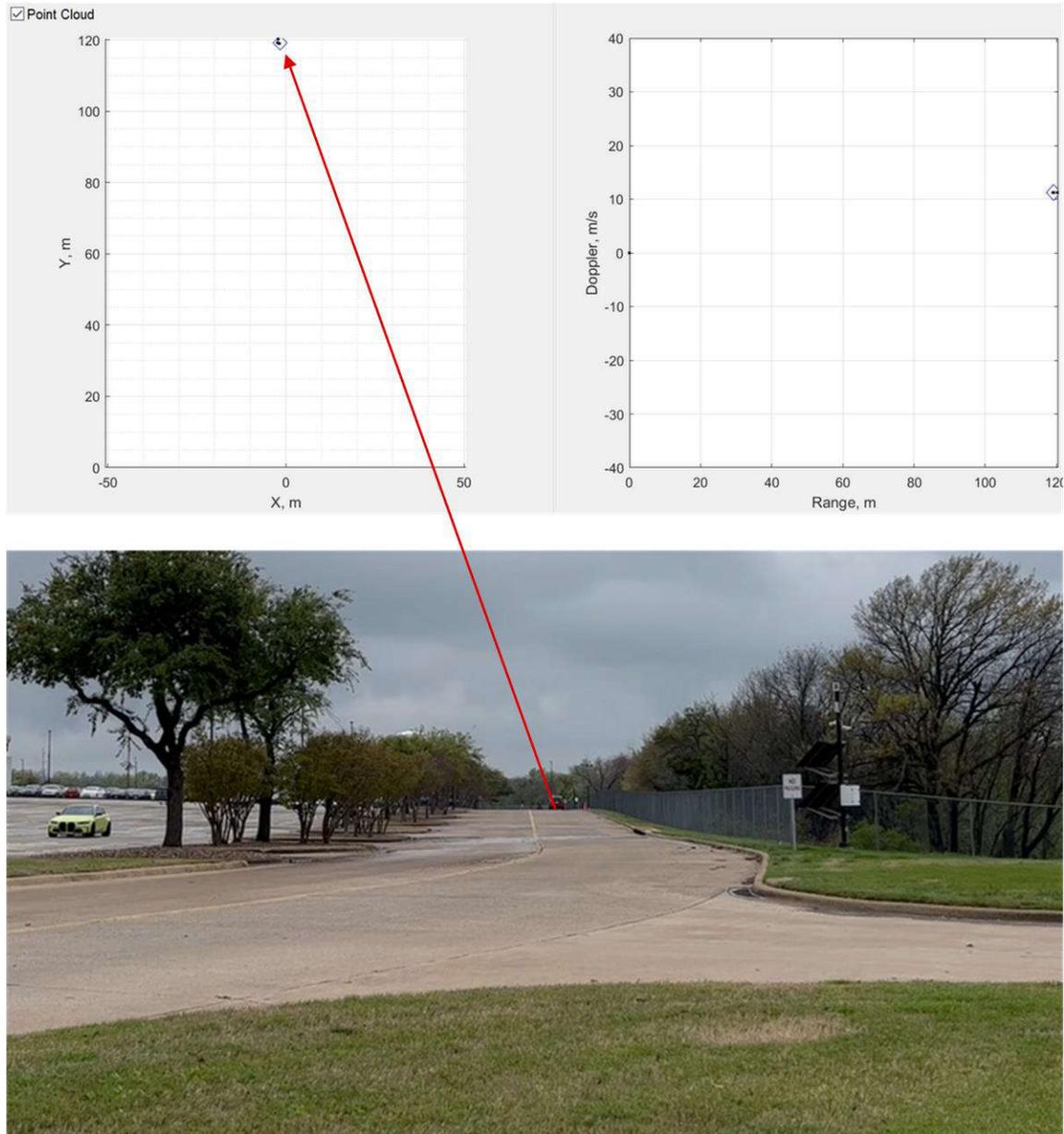


図 3-1. テスト結果 (自動車、約 120m)

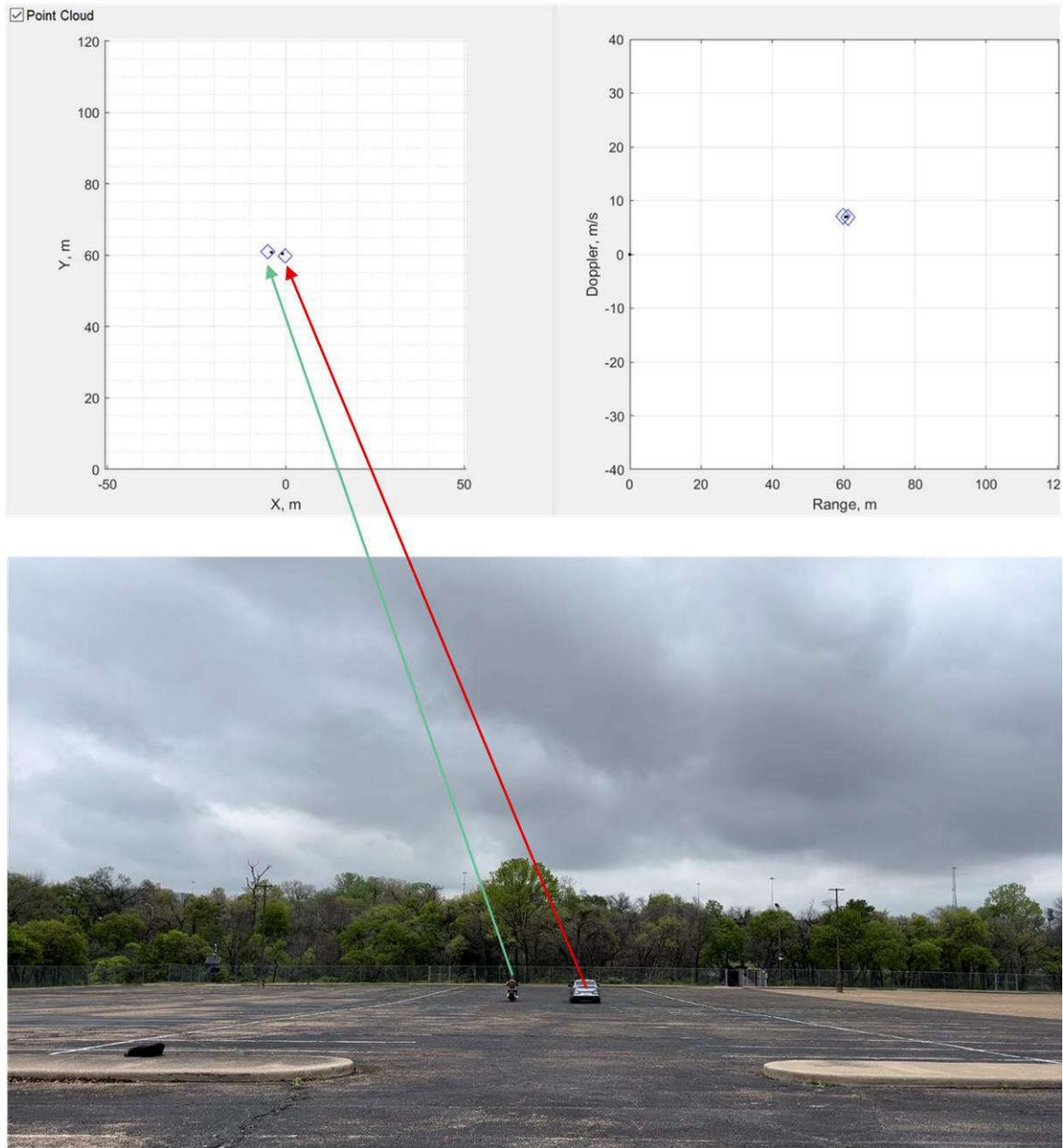


図 3-2. テスト結果 (バイク、約 60m)

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDEP-01034](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM (部品表)

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDEP-01034](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ツールとソフトウェア

ツール

Code Composer Studio (CCS) Code Composer Studio™ は、テキサス・インスツルメンツのマイクロコントローラ (MCU) と組み込みプロセッサ ポートフォリオをサポートする統合開発環境 (IDE) です。このツールは、ソフトウェアとアプリケーションの処理チェーンの構築とデバッグに使用します。

ソフトウェア

アプリケーション ソフトウェア TIDEP-01034 用のソフトウェアは、TI Resource Explorer で動作します。この[リンク](#)で、サンプルプロジェクトの下にあるブラインド スポット検出を探してください。

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[評価基板ユーザー ガイド: xWRL1432BOOST-BSD](#)』[SPRUJ22](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、『[TCAN4550-Q1 コントローラーおよびトランシーバ内蔵、車載対応コントローラー エリアネットワークフレキシブル データレート \(CAN FD\) システム ベース チップデータシート](#)』
3. テキサス・インスツルメンツ、『[3D 人数計測デモ用グループトラッカー パラメータ チューニング ガイド](#)』

4.4 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。

4.5 商標

テキサス・インスツルメンツの™, Code Composer Studio™, 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。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated