

Application Brief

ミリ波レーダーデバイスの距離と角度分解能について



Kottyn Quintanilla, Nathan Block, Pedrhom Nafisi



図 1. さまざまな用途でレーダーを活用する現代の家庭

現代の急速に変化する世界では、センシング技術がさまざまな分野に統合されています。自動車やロボットから、HVAC やテレビに至るまで、幅広い用途で利用されています。これらのアプリケーションでは、周囲の環境にいる人や車両、物体を追跡するために、高精度な検知が求められます。機能や安全性の目的において、ミリ波レーダーや LiDAR のようなさまざまなセンシング技術の精度を高めることが一層重要になります。

レーダーは、球座標系に基づいて空間内の物体を特定します。つまり、物体を距離、方位角、仰角に基づいて検出を行います。レーダーにおいて、距離分解能と角度分解能は、近接した 2 つの物体を距離および角度の両面で識別できるかどうかを決定する 2 つのパラメータです。しかし、カメラや Lidar などの他のセンサーでは、距離分解能や角度分解能の定義が異なります。そのため、エンジニアにとって、これらの用語が各技術でどのように定義されているかを理解することが非常に重要です。

距離分解能と距離の精度

距離分解能とは、センサーの視線方向に沿って近接して配置された物体を区別する能力を指します。つまり、センサーの視線に沿った軸上で、物体同士の距離の違いをどの程度正確に識別できるかを示します。レーダーの場合、距離分解能の値が小さいほど性能が高いことを意味します。これは、特定の距離にある物体の位置をより正確に測定できることを示しています。つまり、レーダー センサーは、より近い間隔で配置された物体同士を区別できるということです。これは、単一の物体の位置を空間内でより正確に特定する能力を意味するものではありません。たとえば、2 つのレーダー センサーがあるとします。1 つは距離分解能が 10cm、もう 1 つは 5cm です。前者のセンサーは、2 つの物体の間隔が 10cm を超えていなければ区別できませんが、後者のセンサーは 5cm という近い距離でも区別することができます。

距離分解能と距離精度は同じ意味ではないことに注意が必要です。複数の物体が存在する場合、距離分解能はそれらの物体の最小の間隔を表します。距離精度とは、レーダーが目標物までの実際の距離をどれほど正確に測定できるかを示すものです。たとえば、物体が正確に 1m の位置にあり、レーダーが 0.95m として測定した場合、そのレーダーの距離精度は $\pm 0.05\text{m}$ 以内ということになります。

用語	定義	値
距離分解能	近接した距離にある 2 個の物体を区別する能力	3cm まで
距離精度	高精度レーダーを使用して目標の真の距離を測定する方法	1mm まで

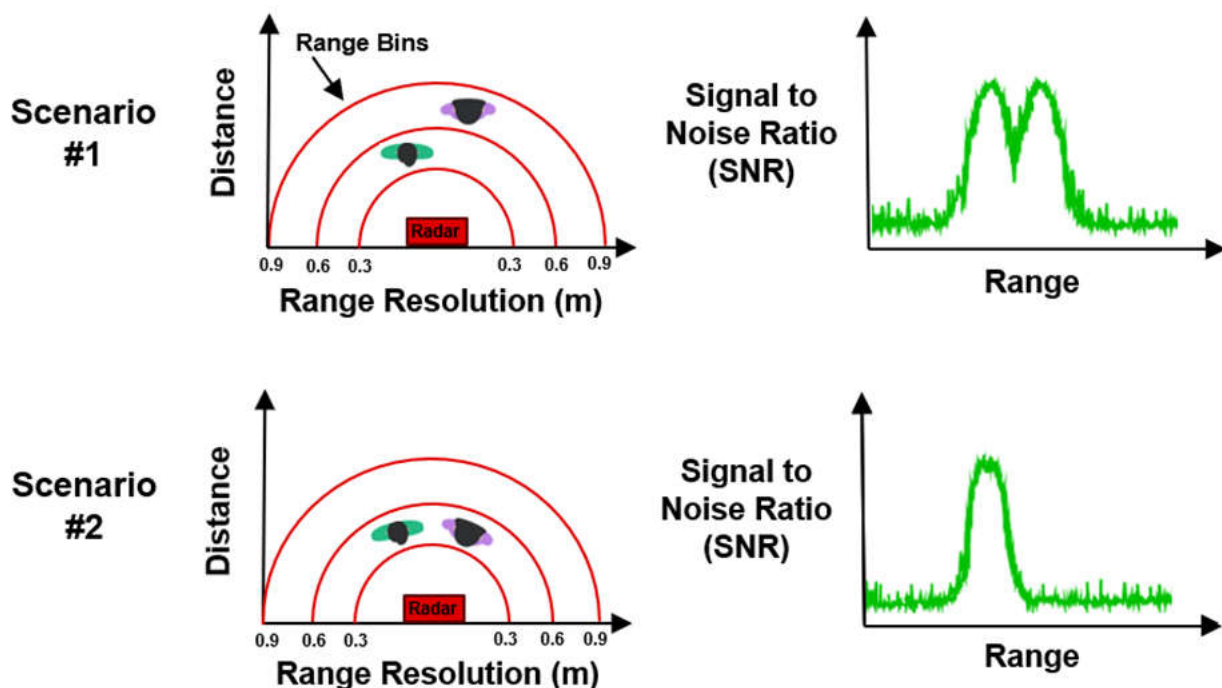


図 2. 距離分解能を使って 2 つの物体を識別するレーダーの上面図

テキサス インスツルメンツのミリ波レーダー センサーは、ハードウェアやファームウェアの変更を行わずに、最大で 3cm という高い距離分解能を実現できます。実際のところ、人間の体は幅も奥行きも 3cm よりはるかに大きいため、レーダー上では人は複数の検出点が密集した「点群」として表れます。これらの点は、レーダーの距離分解能および角度精度 (または角度分解能) に基づいて分離されます。これにより、レーダーは物体を容易に検出し、距離分解能に基づいて近接した物体をそれぞれの距離の違いによって区別することができます。

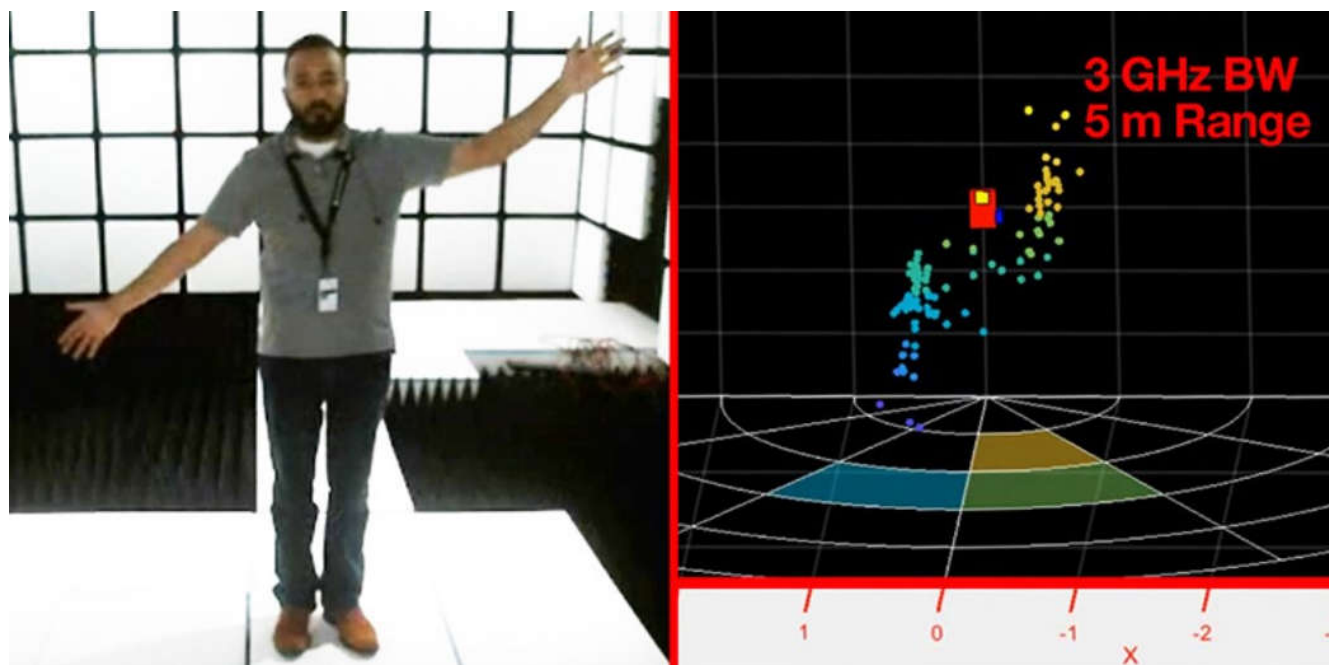


図 3. 距離分解能を利用して人を検出する際の、レーダーによる高密度な点群の例

角度分解能と精度についての理解

レーダー センサーにおける角度分解能は、同じ距離にある 2 つの検出点を区別できる能力を示します。つまり、角度分解能は、2 つの物体が距離分解能では区別できないほど近い場合にのみ関係します。従来のレーダー システムにおける角度分解能は、角度分解能を示す際に、同一距離にある静止物体のみを対象として考慮します。これは、各角度方向におけるアンテナの数のみに基づいた単純な計算です。

$$\Delta\theta = \lambda / (d * (N))$$

この場合：

- $\Delta\theta$ は角度分解能 (ラジアン単位) を表します
- λ はレーダー信号の波長です
- D はアンテナ間隔です (均一な線形アレイを想定)
- N は仮想アンテナの数 (方位角または仰角方向のいずれか) です

アンテナ間隔が $d = \lambda/2$ の等間隔線状アレイ アンテナを想定すると、角度分解能はシステムで使用されるアンテナの数に反比例することが分かります。たとえば、方位方向に 4 本、仰角方向に 2 本のアンテナを持つアレイ (例えば IWRL6432AOP のような構成) では、方位方向の角度分解能は 28.6° 、仰角方向の角度分解能は 57.3° となります。

ただし、これらの数値は、クラシックな FFT ビーム フォーミングで処理された場合において、同一距離にある静止した点目標にのみ適用されることに注意してください。物体の距離が異なる場合や、異なる速度で移動している場合、またはより高度な手法で処理される場合には、これらの分解能の制限はもはや当てはまりません。

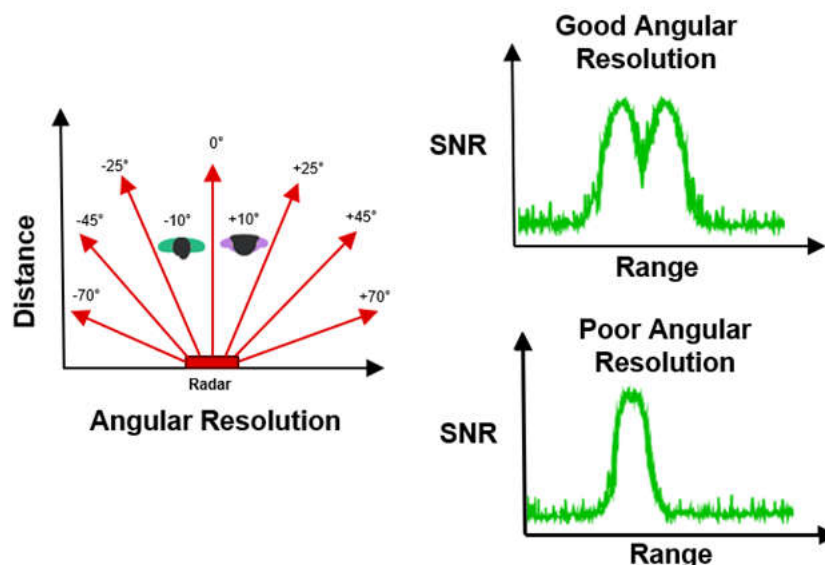


図 4. 角度分解能を活用し、2 つの物体を区別するレーダーの上面図

角度精度とは、レーダーやセンサーが物体の存在する正確な角度をどれほど精密に測定できるかを示す指標です。たとえば、物体がセンサーのボアサイトから正確に 45 度の位置にあり、レーダーがその角度を 46 度と測定した場合、そのレーダーの角度精度は 1 度ということになります。

用語	定義	値
角度分解能	同じ範囲内にある 2 つの物体を区別する機能	方位角で 25 度 高度は 30 度
角度精度	高精度レーダーを使用して物体の真の角度を測定する方法	+/- 1°

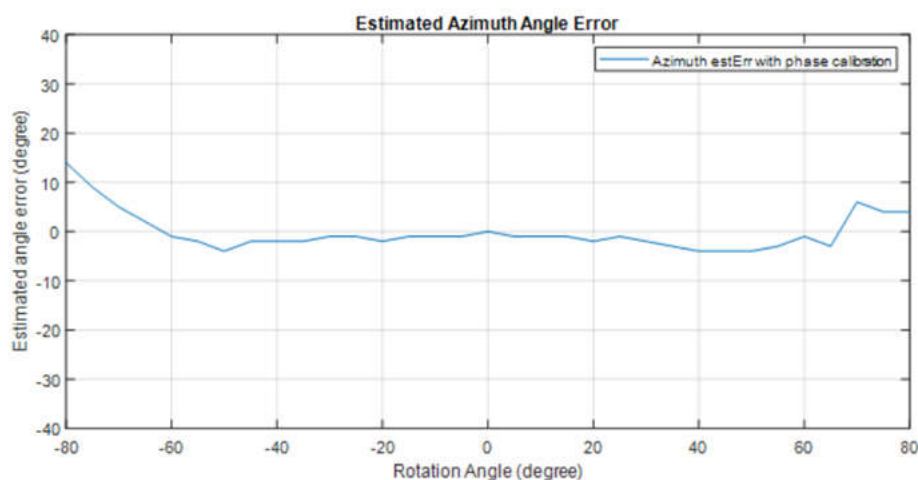


図 5. TI IWRL6844 角度に対する角度精度誤差マージン

TI のミリ波レーダー デバイスでは、角度精度はボアサイト付近で約 1 度、視野角の最大範囲 (+/-70 度) では最大で約 5 度となります。角度精度は、アンテナの本数、フレームあたりのチャープ数 (または一般的には SNR)、アンテナ パターンなど、多くのシステム パラメータに依存します。これらの要素はすべて設定や変更が可能です。

レーダー、カメラ、LiDAR の比較: 精度はさらに重要です

カメラや LiDAR はレーダーと比較されることがよくありますが、「分解能」や「精度」という用語の定義は、これらの技術間で異なる場合があります。カメラは視覚データをもとに動作し、非常に高い角度分解能を持ちますが、速度や距離を直接測定することはできません。LiDAR は高い角度分解能と感度を備えていますが、コストや消費電力が大きく、天候や照明の影響を受けやすいという欠点があります。

レーダーでは、従来の角度分解能は同一の距離ビン内で物体を区別する能力によって定義されますが、現代のレーダー処理では、ドップラー分離や高度な MIMO アルゴリズムを用いることで角度分解能を向上させることができます。レーダーは、カメラや LiDAR とは異なり、距離、角度、速度を独自に測定します。つまり、2 つの物体が同じ距離と角度に位置していても、異なるドップラー特性を持つことで識別することが可能になります。TI のミリ波レーダー デバイスは、約 1mm の高い距離精度と 1~5° の角度精度を備えており、LiDAR のわずかなコストで人の追跡、物体検出、自動化タスクに最適です。

さらに、従来の FFT ベースの角度推定アルゴリズムでも X の精度で物体を識別できますが、同じアンテナ数でもより高い分解能を実現できる、より高度な到来角 (AOA) 推定手法も存在します。たとえば、MVDR または Capon ビームフォーミング アルゴリズムは、受信信号に対してより複雑な解析を行うことで、FFT ビームフォーマの分解能をおおよそ半分に向上させることができます。このアルゴリズムは、IWR6432 や IWR6844 を含む多くの TI レーダー デバイス上で効率的に実行でき、アンテナ数が少なくても、より高密度な点群と明確な物体分離を実現します。

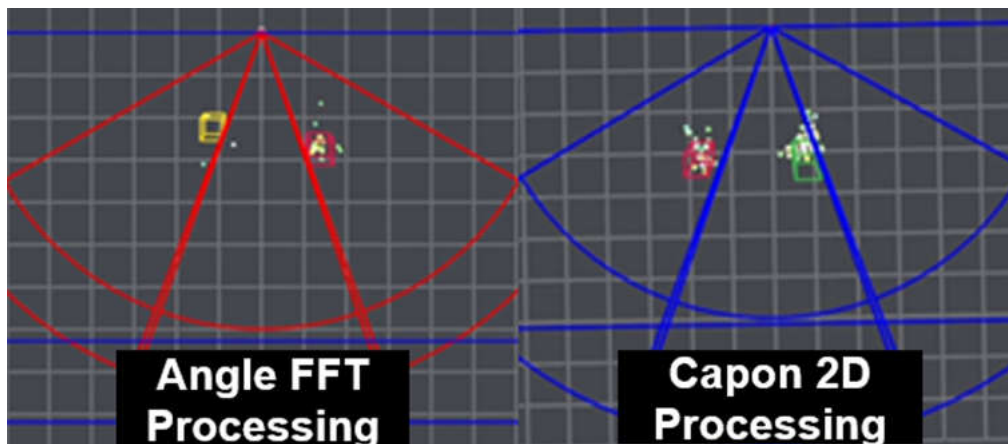


図 6. Capon 2D FFT 処理方式を用いることで、より高密度な点群を生成する 2 種類のレーダー データ処理手法の比較

まとめ

さまざまなセンシングのニーズが進化し続ける中、これまでにない信頼性が高く、コスト効率と性能に優れたセンシングソリューションが利用可能になっています。LiDAR やカメラとは異なり、レーダーは距離、角度、速度を同時に測定できるため、実際の環境で物体を識別する際に、より豊富な情報を提供します。ミリメートル単位の高い距離精度、優れた角度精度、さらにドップラー分離や高度な処理アルゴリズムを活用できる点により、レーダーは仕様上の数値をはるかに上回る信頼性の高い性能を発揮します。

TI のミリ波レーダは、高精度、多様な環境での動作能力、そして高度なアンテナ構成によって角度分解能を向上させる柔軟性を備えた、非常に魅力的な代替手段を提供します。レーダーの強みである高い距離分解能、ドップラーによる識別能力、そして高い拡張性を活かすことで、人の検出から物体追跡に至るまで、低コストで堅牢なセンシングを実現できます。

リソース:

- [IWR6432AOPEVM](#) または [IWR6843AOPEVM](#) の注文
- [Radar Academy](#) のレーダーの詳細
- [Radar Toolbox](#) で今すぐ他のデモをご確認ください

商標

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

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、TI は一切の責任を拒否します。

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 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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月