

Application Brief

ヒューマノイド ロボットのミリ波レーダー センシングとセンサ フュージョン



概要

このアプリケーション ブリーフでは、ヒューマノイド ロボットで物体と動きの高精度検出を実現するためのミリ波センシング、安全性、センサ フュージョンについて説明します。ミリ波レーダーは、ビジョンベースのセンサに比べて視認性の低い状況で優れていると同時に、悪天候条件下でも低コストかつ低消費電力での動作を実現します。

本書で説明する内容:

- **ヒューマノイド ロボットにおけるセンシングの重要性:**ヒューマノイド ロボット設計におけるセンサ タイプ、仕様、およびシステム統合に関する検討事項を比較します。
- **ミリ波レーダーセンサの概要:**レーダー IC の機能と、60GHz と 77GHz のソリューションへの進化について説明しています。
- **ミリ波センサの利点:**コスト、気象に対する復元性、距離、機能安全認証におけるレーダーの利点について詳細に説明します。
- **センサ フュージョン:**マルチセンサを統合してシングルセンサの制限を克服し、環境認識能力を向上させる方法を提示します。
- **レーダーおよびカメラセンサフュージョン:**TI の開発ツールとロボット SDK を使用した実践的な実装を提供します。

概要

ヒューマノイド (ヒト型ロボット) (図 1 に示す) は、研究プラットフォームから生産システムへ、製造、物流、サービスの各業界で急速に移行しています。システムインテグレータと OEM にとって、エンジニアリング上の中核となる課題は、非構造化環境における信頼性の高い自律ナビゲーションの実現、さまざまな動作条件下で機能する堅牢な認識システムの実装、そして人間とロボットの協働に向けた機能安全要件への適合です。



図 1. 最新のヒューマノイド ロボット

設計に関する重要な検討事項として、360度の環境認識に対応するセンサ選定、マルチモーダルセンサデータのリアルタイム処理、モバイルプラットフォームでの電力バジェットの制約、システムレベルの安全性認証パス経路を挙げることができます。ヒューマノイドのフォームファクタが標準化されるにつれて、センシングアーキテクチャが高度になることが差異化につながります。特に、照明の変化、空中粒子、表面反射率の変化などの環境要因によって個々のセンサ方式が損なわれた場合に、動作の信頼性を維持する能力。

ヒューマノイドにおけるセンシングの重要性

人間が世界内で移動し、協調動作をするために人間の感覚に依存しているのと同様に、ヒューマノイドロボットは、自律的かつ効果的に業務を実行するために、高度なセンシングシステムも必要です。表1に、ヒューマノイドロボットで使用される一般的なセンサを示します。

表 1. ヒューマノイドロボットで一般的に使用される種類のセンサ

センサの種類	説明	システム アプリケーション	設計上の考慮事項
カメラ (ビジュアル システム)	RGB、深度、または赤外線カメラは、物体認識とシーン理解を目的として視覚的な情報をキャプチャします。	ナビゲーション、認識、物体操作、人間とロボットの連携	ライティングの依存性、画像処理に関する計算要件、フレームレートと分解能のトレードオフ
ミリ波レーダー	ミリ波レーダーは、60 ~ 77GHz 帯域の RF 信号を使用し、物体の距離、速度、角度を検出します。	ナビゲーション、衝突回避、存在検出、ジェスチャ認識	天候と照明に依存しない特性、消費電力、角度分解能の制限、マルチレーダー環境における干渉管理
LiDAR	レーザーベースの測距により、環境の高分解能 3D ポイントクラウドを生成します。	ナビゲーション、マッピング、障害物検出、位置識別	コスト、機械的信頼性 (回転と固体の比較)、振動による性能低下、反射面/吸収面に対する感度
触覚センサ	力、圧力、接触センサーは、操作タスクのタッチ フィードバックを提供します。	グリッパー システム、接触検出、力制御、表面テクスチャ識別	センサ密度とコストの対比、シグナルコンディショニングの複雑さ、繰り返し接触した場合の耐久性、制御ループとの統合
音声システム (マイク)	マイクアレイは、音声コマンド、環境認識、およびローカリゼーション用のサウンドをキャプチャします。	人とロボットの相互作用、音源の位置特定、異常検出	ノイズキャンセルの要件、ビームフォーミングの複雑さ、音響エコーの課題、音声認識処理の要件

ミリ波レーダーセンサの概要

設計者は多くの場合、位置センシングや近接センシングでレーダーベースのセンサ IC を使用します。ビジョンベースのセンシングに比べて、長距離対応、高い動体感度、プライバシー保護という特長があるからです。レーダーセンサは精度が高いため、車載や産業用の分野でも、死角検知、衝突検知、乗員検知、動体検知などのアプリケーションで一般的になっています。

近年は 60GHz と 77GHz の各レーダーセンサが 24GHz レーダーセンサを置き換え、分解能や精度の向上と、フォームファクタの小型化を実現しています。60GHz と 77GHz の各レーダー帯域を採用した結果、ファクトリ (工場) や家庭で使用されている産業用ロボットや移動型ロボットアプリケーションで物体の占有検出のような新しいアプリケーションも実現可能になりました。

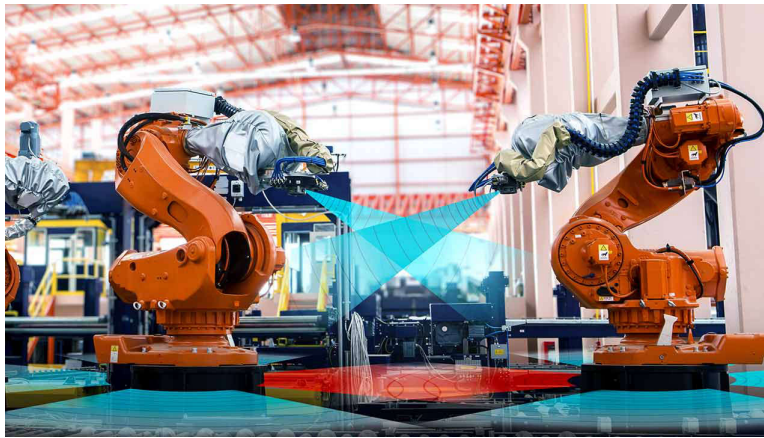


図 2. 産業用ロボットに組み込まれたミリ波センサ

LiDAR やカメラに対するミリ波センサの利点

ミリ波レーダー技術は、コスト削減および悪天候条件下でも安定して動作できることから、**lidar**、カメラ、その他の光学センサの代わりに使用されることが多くあります。一方、カメラは照明不足や天候の影響を受ける場合があります。また、レーダーは幅広い範囲と網羅範囲に対応しており、センサは 100 メートル以上離れた物体を検出できます。設計者は多くの場合、移動型ロボットアプリケーションでレーダーを使用し、占有検出でレーダーをわずか **1.5mW** に抑えることができるため、消費電力の削減に貢献します。ただし、レーダーを **lidar** やカメラ、他の光学センサと組み合わせると、補完的な故障モードが発生します。つまり、一方のセンサが環境条件 (カメラに影響を及ぼす霧、反射面が **lidar** の組み合わせを妨げる) によって劣化した場合、もう一方のセンサは検出能力を維持し、システム全体の可用性を改善します。

機能安全の観点から、TI の **IWR6843** などの非接触レーダーセンサは、広範囲にわたるハードウェアおよびソフトウェア開発プロセスを経て設計され、**TÜV SÜD** によるデバイス認証を取得しています。TI のすべてのレーダーセンサは、**IEC 61508** が要求する必須の診断カバレッジを提供する機能安全メカニズムを内蔵しており、コンポーネントレベルで最大 **Safety Integrity Level (SIL) 2** のハードウェア能力を満たしています。

TI は、診断ソフトウェア ライブラリ、コンパイラ認証キット、サードパーティーのオペレーティング システム、開発ツール、その他の資料を通じて、機能安全関連の関連資料を提供しており、エンジニアの安全設計プロセスとシステムレベル認証の効率化を支援しています。

センサ フュージョン

ヒューマノイド ロボットで 1 種類のセンサのみを使用すると、不完全なデータ収集や不正確なデータ収集などの制限が発生する可能性があります。たとえば、不十分な照明や、透明な物体を検出する場合、カメラは奥行き認識に苦勞する可能性があります。同様に、**lidar** センサは通常、水やガラスのような透明な物体を検出できません。また、**lidar** は反射面からゴースト オブジェクトが発生しやすいほか、暗いマットな材質から検出を逃す可能性もあります。これらの制約は、ナビゲーション、オブジェクト操作、環境相互作用のエラーにつながる可能性があります。

センサ フュージョンは、複数のセンサから取得したデータを統合し、ロボットの環境に関するより高精度で信頼性が高く包括的な理解を深める方法で、このような問題に対処します。ヒューマノイド ロボットは、さまざまなセンシングモードからの入力を組み合わせることで、より多くの情報に基づいた意思決定を行うことができ、凹凸のある地形の移動、さまざまな形状やサイズの物体の把握、動的な実際の環境での相互作用などの複雑な作業を実行する能力を強化できます。

センサフュージョンには、以下のような利点があります：

- 異なるセンサのデータを統合することによる精度の向上
- 1 つのセンサに障害が発生した場合に機能を確保する冗長性
- 周囲環境をより広く把握することによる環境認識の向上
- 動的な環境への適応性の向上

レーダーおよびカメラセンサ フュージョン

レーダーは、過酷な条件下での耐久性に加え、さまざまな動作において物体を検出する際の信頼性の高さから、ロボットシステムで広く使用されています。TI のセンサ IC は、エンジニアが開発するロボットシステムの精度と認識能力を最大化できるよう設計されました。これらのデバイスは、シングル センサ システムの欠点を緩和するのに役立ちます。

たとえば、[図 3](#) のカメラモジュールとレーダーセンサモジュールは、IMX219 カメラと IWR6843ISK 評価基板ミリ波レーダーセンサを使用しています。このモジュールは、物体レベルのフュージョン アプローチを採用しています。このアプローチは、カメラのビジョン処理と、物体のクラスタ化と追跡に特化したレーダー処理チェーンの両方に適用でき、エンジニアは 3 次元環境で物体を追跡および検出できます。



図 3. IMX219 と IWR6843ISK を使用したカメラレーダー センサ モジュール

まとめ

ヒューマノイド ロボットが制御された環境から実際の導入に移行する過程で、人間とロボットの協力に必要な信頼性と安全性に関する規格を達成するために、ミリ波レーダー テクノロジーの重要性がますます高まっています。

気象に依存しない動作、機能安全認証、シームレスなセンサ フュージョン機能を組み合わせることで、レーダーは次世代のヒューマノイドプラットフォームで有用な部品として位置付けられています。現在、レーダー光学フュージョンの周辺にセンシング システムを開発するエンジニアは、複雑な環境で人間の近くで安全に動作できる真の自律型ヒューマノイド ロボットの基礎を構築しようとしています。

その他の資料

- TI の [ヒューマノイド ロボットの概要ランディング ページ](#)
- [オンデマンド ウェビナー: ロボット分野のセンシング](#)
- [開発ツール: Radar Toolbox for mmWave Sensors](#)
- [デモの概要: カメラとレーダーのフュージョンのデモ](#)
- [製品フォルダー: シングルチップ 60GHz アンテナ オン パッケージ \(AoP\) ミリ波センサ用 IWR6843AOP 評価基板](#)
- [評価基板: D3 Engineering の DesignCore® レーダーの評価基板](#)
- [ホワイト ペーパー: 産業用ロボットに適した機能安全の最適化](#)
- [機能安全マニュアル: テキサス インストルメンツ、車載および産業用における機能安全認証の効率化、機能安全マニュアル](#)

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、

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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月