

Application Brief

휴머노이드 로봇의 mmWave 레이더 센싱 및 센서 융합



개요

이 애플리케이션 요약에서는 휴머노이드 로봇의 정밀한 물체 및 동작 감지를 위한 mmWave 센싱, 안전 및 센서 융합을 살펴 봅니다. mmWave 레이더는 비전 기반 센서에 비해 저가시성 환경에서 성능이 탁월할 뿐만 아니라, 악천후 조건에서도 저비용 및 저전력 작동이 가능합니다.

이 애플리케이션 요약에서 다루는 내용:

- **휴머노이드 로봇에서 감지의 중요성:** 휴머노이드 로봇 설계를 위한 센서 유형, 사양 및 시스템 통합 고려 사항을 비교 분석합니다.
- **mmWave 레이더 센서 소개:** 레이더 IC의 성능과 60GHz 및 77GHz 솔루션으로의 진화 과정을 설명합니다.
- **mmWave 센서의 장점:** 비용, 악천후 대응 능력, 측정 범위 및 기능 안전 인증 측면에서의 레이더 강점을 상세히 다룹니다.
- **센서 융합:** 다중 센서 통합이 단일 센서의 한계를 극복하고 환경 인식 능력을 향상시키는 방법을 보여줍니다.
- **레이더 및 카메라 센서 융합:** TI의 개발 도구와 Robotics SDK를 사용한 실용적인 구현 사례를 제시합니다.

소개

휴머노이드 로봇(그림 1 참조)은 제조, 물류 및 서비스 산업 전반에 걸쳐 연구 플랫폼에서 양산 시스템으로 빠르게 전환하고 있습니다. 시스템 통합업체와 OEM의 경우, 핵심 엔지니어링 과정은 비구조화된 환경에서 안정적인 자율 주행을 달성하고, 다양한 작동 조건에서 작동하는 견고한 인식 시스템을 구현하며, 인간-로봇 협업을 위한 기능 안전 요구 사항을 충족하는 데 중점을 둡니다.



그림 1. 현대 휴머노이드 로봇

중요한 설계 고려 사항에는 360도 환경 인식을 위한 센서 선정, 멀티모달 센서 데이터의 실시간 처리, 모바일 플랫폼의 소비 전력 제약 및 시스템 수준의 안전 인증 절차가 포함됩니다. 휴머노이드 폼 팩터가 표준화됨에 따라, 감지 아키텍처의 정교함이 점점 더 중요한 차별화 요소가 되고 있습니다. 특히 조명 변화, 공기 중의 미세 입자 또는 표면 반사율 변화와 같은 환경적 요인으로 인해 개별 센서 모달리티의 기능이 저하되더라도 작동 신뢰성을 유지하는 능력이 중요합니다.

휴머노이드에서 감지의 중요성

인간이 감각에 의존하여 세상을 이동하고 주변과 상호 작용하는 방식과 마찬가지로, 휴머노이드 로봇이 자율적이고 효과적으로 업무를 수행하기 위해서는 정교한 감지 시스템이 필수적입니다. 표 1은 휴머노이드 로봇에 사용되는 일반적인 센서를 보여줍니다.

표 1. 휴머노이드 로봇에 사용되는 일반적인 유형의 센서

센서 유형	설명	시스템 애플리케이션	설계 고려 사항
카메라(시각 시스템)	RGB, 깊이 또는 적외선 카메라는 물체 인식 및 장면 이해를 위해 시각적 정보를 수집합니다.	자율 주행, 인식, 물체 조작, 인간-로봇 상호 작용	조명 의존성, 이미지 처리를 위한 연산량 요구 사항, 프레임 속도와 해상도 간의 트레이드오프
mmWave 레이더	밀리미터파 레이더는 60-77GHz 대역의 RF 신호를 사용하여 물체의 거리, 속도 및 각도를 측정합니다.	자율 주행, 충돌 방지, 재실 감지, 계층 인식	날씨 및 조명 조건에 무관, 소비 전력, 각도 해상도 제한, 멀티 레이더 환경에서의 간섭 관리
LiDAR	레이저 기반의 거리 측정 시스템은 주변 환경에 대한 고해상도 3D 포인트 클라우드를 생성합니다.	자율 주행, 매핑, 장애물 감지, 로컬라이제이션	비용, 기계적 신뢰성(회전형 대 솔리드 스테이트), 진동에 따른 성능 저하, 반사 또는 흡수 표면에 대한 민감도
촉각 센서	힘, 압력 및 접촉 센서는 매니퓰레이션 작업을 위한 터치 피드백을 제공합니다.	그리퍼 시스템, 접촉 감지, 힘 제어, 표면 질감 식별	센서 밀도 대 비용, 신호 컨디셔닝 복잡성, 반복 접촉에 따른 내구성, 제어 루프와의 통합
청각 시스템(마이크)	마이크 어레이는 음성 명령, 환경 인식 및 로컬라이제이션을 위한 사운드를 수집합니다.	인간-로봇 상호 작용, 음원 로컬라이제이션, 이상 감지	노이즈 캔슬링 요구 사항, 빔포밍 복잡성, 음향 반향 문제, 음성 인식 처리 요구 사항

mmWave 레이더 센서 소개

설계자는 비전 기반 감지에 비해 장거리 측정 능력, 높은 모션 감도 및 개인 정보 보호 이점 때문에 위치 및 근접 감지에 레이더 기반 센서 IC를 사용하는 경우가 많습니다. 레이더 센서는 정확도가 높은 차량용 및 산업용 시장에서도 시각 지대 감지, 충돌 감지, 사람 접근 및 동작 감지와 같은 애플리케이션을 위한 인기가 높습니다.

최근 몇 년 동안 60GHz 및 77GHz 레이더 센서가 24GHz 레이더 센서를 대체하여, 더 높은 해상도와 향상된 정확도 및 더 작은 폼 팩터를 구현했습니다. 60GHz 및 77GHz 레이더 대역은 공장이나 가정 내 산업용 로봇 및 모바일 로봇 분야에서 재실 감지와 같은 새로운 애플리케이션을 가능하게 합니다.

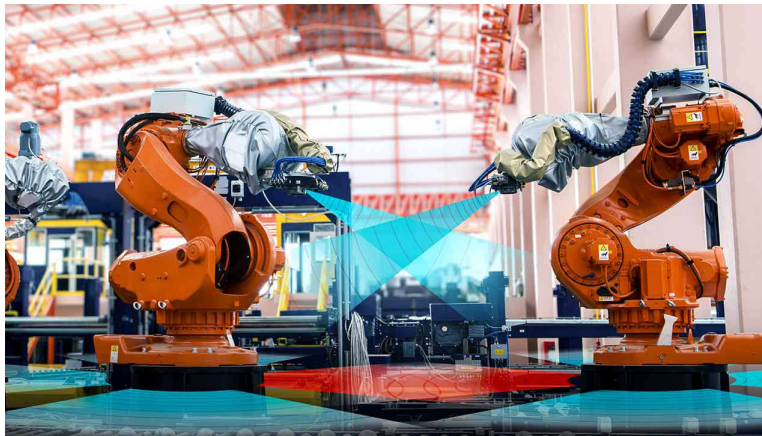


그림 2. 산업용 로봇에 탑재된 mmWave 센서

LiDAR 및 카메라 대비 mmWave 센서의 장점

mmWave 레이더 기술은 비용 절감이 가능하고 약천후 환경에서도 원활하게 작동하는 반면, 카메라는 저조도 및 기상 조건의 영향을 받을 수 있기 때문에 LiDAR, 카메라 및 기타 광학 센서 대신 사용되고 있습니다. 또한 레이더는 측정 범위와 커버리지가 넓어 100미터 이상 떨어진 물체를 감지할 수 있습니다. 설계자는 모바일 로봇 분야에서 레이더를 사용하여 소비 전력을 줄이는 경우가 많습니다. 레이더는 재실 감지 시 소비 전력이 1.5mW 수준으로 매우 낮기 때문입니다. 그러나 레이더와 LiDAR, 카메라 또는 기타 광학 센서를 함께 사용하면 보완적인 장애 모드를 구현할 수 있습니다. 즉, 한 센서가 환경 조건(카메라 성능

을 저하시키는 안개, LiDAR의 오작동을 유발하는 반사 표면 등)으로 인해 기능이 저하되면 다른 센서가 감지 기능을 유지하여 전반적인 시스템 가용성을 높여줍니다.

기능 안전 관점에서 [IWR6843](#) 과 같은 TI의 비접촉 레이더 센서는 광범위한 하드웨어 및 소프트웨어 개발 프로세스를 통해 설계되었으며, TÜV SÜD로부터 장치 인증을 획득했습니다. 모든 TI 레이더 센서는 부품 수준에서 SIL(안전 무결성 수준)2의 하드웨어 성능을 달성하기 위해 IEC 61508에서 요구하는 진단 커버리지를 제공하는 기능 안전 메커니즘이 내장되어 있습니다.

TI는 엔지니어가 안전 설계 프로세스 및 시스템 수준 인증을 간소화할 수 있도록 진단 소프트웨어 라이브러리, 컴파일러 자격 증명 키트, 제3자 운영 체제, 개발 툴 및 추가 문서를 통해 기능 안전 관련 지원 항목을 제공합니다.

센서 융합

휴머노이드 로봇에서 한 가지 유형의 센서만 사용하면 불완전하거나 부정확한 데이터 수집과 같은 한계가 발생할 수 있습니다. 예를 들어, 카메라는 저조도 환경이나 투명한 물체를 감지할 때 깊이 인식에 어려움을 겪을 수 있습니다. 마찬가지로 LiDAR 센서는 일반적으로 물이나 유리나 같은 투명한 물체를 감지할 수 없습니다. 또한 LiDAR는 반사 표면으로 인해 허상이 나타나는 경향이 있으며, 어두운 무광택 소재의 경우 감지 성능이 저하되기도 합니다. 이러한 제약 사항은 자율 주행, 개체 조작 및 환경 상호 작용에서 오류를 유발할 수 있습니다.

센서 융합은 여러 센서의 데이터를 통합하여 로봇 환경에 대한 더욱 정밀하고 신뢰성 있으며 포괄적인 이해를 제공함으로써 이러한 문제를 해결합니다. 휴머노이드 로봇은 다양한 센서 모달리티의 입력을 결합하여 더욱 정교한 의사결정을 내림으로써, 험지 주행, 다양한 모양과 크기의 물체 그리핑, 동적인 실제 환경에서의 상호 작용 등 복잡한 작업을 수행할 수 있는 능력을 향상 시킵니다.

센서 융합의 장점은 다음과 같습니다.

- 서로 다른 센서의 데이터를 병합하여 정밀도 향상
- 하나의 센서에 고장이 발생할 경우 기능을 보장하기 위한 리던던시 확보
- 주변 환경에 대한 포괄적인 시야를 확보하여 환경 인식 능력 향상
- 동적인 환경에 대한 적응력 향상

레이더 및 카메라 센서 융합

레이더는 열악한 환경에서의 내구성과 다양한 동작 중 물체를 감지할 때의 신뢰성 덕분에 로봇 시스템에서 자주 활용됩니다. TI 센서 IC는 엔지니어가 개발 중인 로봇 시스템의 정밀도와 주변 인식 능력을 극대화할 수 있도록 설계되었습니다. 이러한 장치는 단일 센서 시스템의 한계를 보완하는 데 도움이 됩니다.

예를 들어, [그림 3](#) 의 카메라와 레이더 센서 모듈은 IMX219 카메라와 [IWR6843ISK EVM mmWave 레이더 센서](#)를 사용합니다. 이 모듈은 카메라 비전 처리와 클러스터링 및 추적에 중점을 둔 레이더 처리 체인 모두에 적용되는 객체 수준 융합 접근 방식을 사용합니다. 이를 통해 엔지니어가 3D 환경에서 물체를 추적하고 감지할 수 있도록 지원합니다.



그림 3. IMX219 및 IWR6843ISK를 기반으로 제작된 카메라 및 레이더 센서 모듈

요약

휴머노이드 로봇이 통제된 환경을 벗어나 실제 환경에 배치됨에 따라 mmWave 레이더 기술은 인간-로봇 협업에 필요한 신뢰성과 안전 표준을 달성하기 위해 점점 더 중요해질 것입니다.

기상 조건에 무관한 작동, 기능 안전 인증 및 원활한 센서 융합 능력의 조합으로 레이더를 차세대 휴머노이드 플랫폼의 핵심 요소로 자리매김하게 합니다. 현재 레이더와 광학 융합을 기반으로 감지 시스템을 개발하는 엔지니어들은 복잡한 환경에서 사람과 함께 안전하게 작동할 수 있는 진정한 자율 휴머노이드 로봇의 기반을 마련하고 있습니다.

추가 리소스

- TI의 휴머노이드 로봇 개요 시작 페이지
- 주문형 웨비나: 로봇의 감지 기능
- 개발 툴: mmWave 레이더 센서용 레이더 툴박스
- 데모 개요: 카메라 및 레이더 융합 데모
- 제품 폴더: 단일 칩 60GHz 안테나 온 패키지(AoP) mmWave 센서용 IWR6843AOP 평가 모듈
- 평가 모듈: D3 Engineering DesignCore® 레이더 평가 모듈
- 백서: 산업용 로봇을 위한 기능 안전 최적화
- 기능 안전 매뉴얼: 자동차 및 산업용 기능 안전 인증 간소화 및 기능 안전 매뉴얼

상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 비침해에 대한 명시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [TI의 판매 약관](#), [TI의 일반 품질 지침](#) 또는 [ti.com](#) 이나 해당 TI 제품과 함께 제공되는 기타 조건의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다. TI가 명시적으로 제품을 사용자 정의 또는 고객 정의용으로 지정하지 않는 한, TI 제품은 범용의 표준 카탈로그 장치입니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 어떠한 추가적이거나 상이한 조건도 반대하며 이를 거부합니다.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

최종 업데이트: 2025/10/25

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025