

Application Brief

仿人机器人中的毫米波雷达感应和传感器融合



Preeti Udupudi, Kottyn Quintanilla

仿人机器人具有自动执行任务、做类似人类的动作和参与社交互动，因此在各行各业都备受关注。这些机器人的应用范围广泛，从医疗保健、仿人机器人辅助患者，到工业自动化、教育和研究，不一而足。仿人机器人的开发面临着多项挑战，包括复制人类的复杂动作、实现自主决策以及创建能够适应非结构化环境的系统。



图 1. 现代仿人机器人

传感在仿人机器人中的重要性

仿人机器人的一个重要方面是探测和解读物理环境的能力；正如人类依靠感官进行导航和与世界互动一样，仿人机器人也需要复杂的传感系统来自主有效地执行任务。仿人机器人中使用的常见传感器类型包括视觉系统（摄像头）、雷达和激光雷达（导航和感知）、触觉传感器（模拟触控）以及使机器人能够了解自身姿势和平衡的听觉系统（麦克风）。本应用简报探讨了毫米波 (mmWave) 雷达传感器在导航、识别以及将雷达与摄像头传感器集成方面的优势，从而实现仿人机器人中的传感器融合。

毫米波雷达传感器简介

远距离功能、高运动灵敏度和隐私功能使基于雷达的传感器集成电路 (IC) 成为位置和接近传感设计的常用技术。雷达传感器具有高精度，在汽车和工业市场中也很受欢迎，用于检测盲点、碰撞、人员和运动。

60GHz 和 77GHz 雷达传感器具有更高的分辨率、更高的精度和更小的外形尺寸，正在取代 24GHz 雷达传感器。60GHz 和 77GHz 雷达频带支持新的应用，例如工业机器人中的物体存在检测以及工厂或家居移动机器人应用。



图 2. 嵌入在工业机器人中的毫米波传感器

毫米波传感器相较于激光雷达和摄像头的优势

由于雷达能够在恶劣天气条件下良好运行，因此通常选择毫米波雷达技术而不是激光雷达、摄像头和其他光学传感器，以节省成本；摄像头可能会受到光线不足和天气的影响。雷达还具有较宽的距离和覆盖范围，使传感器能够检测 100 米以外的物体。由于移动机器人应用需要节省功耗，因此用户经常使用低至 1.7mW 的雷达进行存在检测。但是，在各种用例场景中，可使用雷达和激光雷达、摄像头或替代光学传感器类型组合。

从功能安全的角度来看，TI 工程师在设计 IWR6843 等非接触式雷达传感器之前，已进行了大量的硬件和软件开发工作，并获得了 (TÜV) SÜD 的器件认证。所有 TI 雷达传感器均包含内置的功能安全机制，可提供 IEC 61508 所要求的必要诊断覆盖范围，可在元件级别满足高达安全完整性等级 (SIL) 2 的硬件功能。

可以通过诊断软件库、编译器资质审核套件、第三方操作系统、开发工具和其他文档在线获取功能安全配套资料，从而让工程师简化安全设计流程和系统级认证。

传感器融合

在仿人机器人中使用一种类型的传感器存在明显的局限性，包括数据收集不完整或不准确。例如，摄像头在深度感知、光线不足或探测非视觉元素时会遇到困难，而激光雷达传感器则会因为机器人移动时激光上下跳动而导致读数不准确。数据收集限制可能会导致导航、物体操作和环境交互方面的错误。

传感器融合技术通过集成来自多个传感器的数据，更准确、可靠和全面地了解机器人环境，从而解决这些问题。通过结合来自各种传感模式的输入，仿人机器人可以做出更明智的决策，从而增强执行复杂任务的能力，例如在不平坦的地形中导航、抓取不同形状和大小的物体，以及在动态的真实世界环境中进行交互。传感器融合的优势包括：

1. 通过合并不同传感器的数据来 *提高精确度*。
2. *冗余*，以便在一个传感器发生故障时确认功能正常。
3. 通过更全面地了解周围环境 *提高环境感知能力*。
4. *能够更好地适应动态环境*。

雷达和摄像头传感器融合

雷达在恶劣条件下经久耐用，而且在探测移动物体时非常可靠，因此是经常集成到系统中的主要传感器之一。为了弥补单一传感器系统的不足，TI 为希望更大限度提高机器人精度和感知能力的用户提供了各种产品。TI 提供摄像头和雷达传感器模块以及 IMX219 摄像头和 IWR6843ISK EVM 毫米波雷达传感器。该模块实现了一种物体级融合方法，该方法应用了注重物体聚类 and 跟踪的摄像头-视觉处理链和雷达处理链，使用户能够跟踪和探测三维环境中的物体。用户演示了传感器融合在机器人 SDK 中的诸多潜能和功能。



图 3. 采用 IMX219 和 IWR6843ISK 构建的摄像头和雷达传感器模块

总结

本应用简报探讨了毫米波感应、安全和传感器融合在实现精确检测仿人机器人周围的物体和运动方面的优势。毫米波传感技术在昏暗或灰尘等低能见度条件下尤为重要，因为在这些条件下，传统的视觉传感器可能不可靠。毫米波雷达成本低、功耗更低，而且能在恶劣天气条件下工作，因此成为机器人应用的潜在选择。

本应用简报还介绍了功能安全和传感器融合技术，这些技术对于仿人机器人在复杂环境中的可靠运行至关重要。凭借 (TÜV) SÜD 内置的功能安全机制和器件安全认证，TI 雷达器件可提供 IEC 61508 所需的必要诊断覆盖范围，可在元件级别满足高达 SIL 2 的硬件功能。将支持安全功能的雷达与激光雷达、摄像头或其他光学传感器相结合，有助于提高物体探测的准确性、故障冗余性、决策能力以及机器人行为的实时调整，从而提高仿人机器人系统的自主性和安全性。

参考资料

德州仪器 (TI), [仿人机器人概述](#)

德州仪器 (TI), [在线研讨会：机器人检测](#)

德州仪器 (TI), [适用于毫米波传感器的 Radar Toolbox](#)

德州仪器 (TI), [摄像头和雷达融合演示](#)

德州仪器 (TI), [IWR6843AOP 单芯片 60GHz 封装天线 \(AoP\) 毫米波传感器评估模块产品页面](#)

德州仪器 (TI), [D3 Engineering DesignCore® 雷达评估模块产品页面](#)

德州仪器 (TI), [优化工业机器人的功能安全白皮书](#)

德州仪器 (TI), [简化汽车和工业中的功能安全认证功能安全手册](#)

商标

DesignCore® is a registered trademark of Define Design Deploy Corp.

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司