

## Technical Article

## 边缘智能检测，打造更智能的自主机器人



Prajakta Desai

本文与 Lali Jayatilleke 合著

我的上一篇博客文章中介绍了 TI 的毫米波 (mmWave) 传感器如何为工厂中的机械臂提供边缘智能。现在，我想探讨毫米波技术如何为自主机器人提供边缘智能，使传感器能够实时做出减速或停止机器人的决策，并确保其在工业机器人应用中的持续性能。

TI 毫米波传感器可用于旨在帮助工业机器人避免碰撞的系统，解决使用机器人时与人及其他物体发生碰撞的核心问题。如果在边缘需要进行额外的机器学习处理，毫米波传感器可与 Sitara™ 处理器等工业级处理器无缝协作以提供额外的智能。

## 简化机器人应用中的毫米波检测



与汽车高级驾驶辅助系统使用毫米波进行环视监控和障碍物检测非常相似，毫米波传感器可帮助物流机器人、配送车辆、叉车和托盘搬运车等自主引导车辆解决类似的难题，如图 1 所示。



图 1. 各种自主引导车辆

## 3D 点云检测

采用三发送器和四接收器天线配置的毫米波传感器，可实现最远 30m 的 3D 物体检测，并提供方位角和仰角平面的角度信息，以便从较高的高度检测物体。这对于传感器安装在离地面较高位置的叉车等车辆非常有用。单个传感器能够检测 120 度视场范围内的物体，更大幅度地减少了环视监控系统所需的传感器数量。

## 高分辨率以实现精准检测

由于毫米波传感器可在 4GHz 的宽带宽下运行，因此其可以区分间距近至 4cm 的独立物体，并可在被黑暗、灰尘或物理屏障遮挡的区域中正常运行。这种高分辨率能力对于传感器精准计数和识别物体或人员，并实时触发相应动作（例如在发生碰撞前停止机器人）而言必不可少。

除了实时物体检测和避让功能外，毫米波传感器还提供其他功能，从而打造更智能的工业机器人。

## 地面速度与边缘检测

TI 毫米波技术可通过多普勒频移提供亚毫米级精度和高分辨率，以实现精准的地面速度检测，使传感器系统能够计算车辆的地面速度并检测地面边缘（例如车轮可能发生打滑的装卸平台），从而避免发生无法挽回的状况。

## 透明物体检测

TI 毫米波传感器能够检测玻璃和塑料等透明物体以及深色物体，这些物体对于某些基于光线的技术而言可能难以检测。提高检测精度有助于避免潜在的意外情况，例如与玻璃屏障或物体发生碰撞。

## SIL-2 合规性

TI 的 60GHz 毫米波传感器有助于系统满足 IEC 安全完整性等级 (SIL)-2 标准，以应对近距离人机交互时的突发事件。在设计符合 SIL-2 认证的系统中，工程师可采用 TI 毫米波传感器提供相关功能；否则可能需要系统实现额外的安全处理器系统或冗余传感器系统才能获得认证。

## 自主机器人中的 TI 毫米波传感器

TI 高度集成的毫米波雷达传感器在数字信号处理器中集成了先进的聚类跟踪算法，旨在提供边缘智能自主性。  
图 2 显示具有集成处理功能的 TI 毫米波芯片。

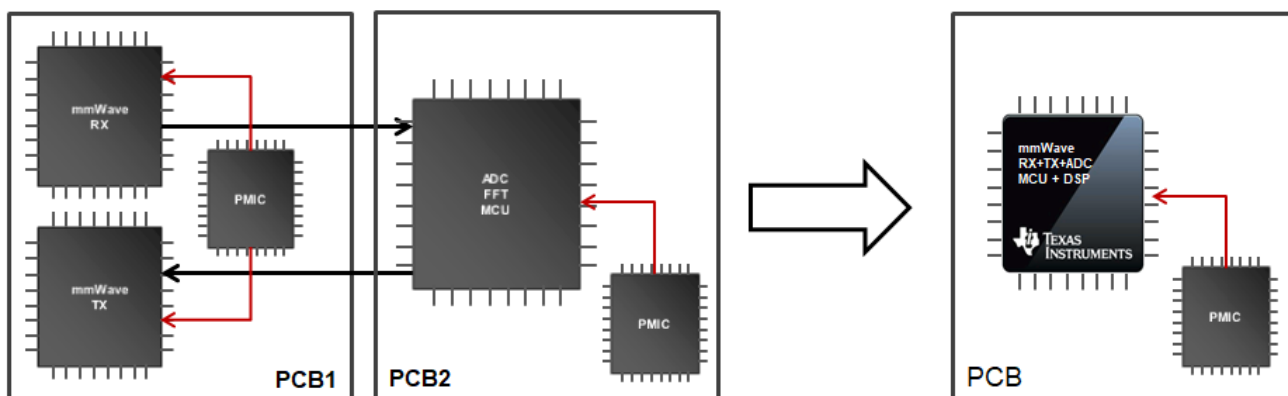


图 2. 典型前端传感器解决方案与集成式 TI 毫米波传感器（可实现边缘智能）的比较。

由于 TI 毫米波传感器不受环境（雨水、灰尘、烟雾）和照明条件的影响，并且能够穿透塑料等材料进行检测，因此无需外部透镜、光圈或传感器表面即可有效检测机器人路径中的物体。

## 增强边缘智能

深度学习作为机器学习的一个分支，正在工业领域日益普及。TI 提供硬件和软件支持，帮助设计人员将深度学习推理引入边缘，以满足包括机器人在内的多种应用需求。

对于仅靠智能检测无法满足需求的应用，Sitara AM57x 处理器系列配备了运行频率高达 1.5GHz 的高性能 Arm® Cortex®-A15 内核以及双核 C66x 处理器，能够运行深度学习推理以及传统的机器视觉算法，从而满足预测性维护和剩余使用寿命等应用的机器学习需求，或根据传感器输入做出超越现有能力的决策。Sitara AM57x 处理器为工业通信（EtherCAT、Profinet、时间敏感网络、Profibus、以太网/互联网协议）提供专用硬件，并可用作机器人控制器的中央处理单元。

总而言之，用于可靠物体检测的集成毫米波传感解决方案，结合用于增强型机器学习的 Sitara 处理器，为机械臂周围的区域扫描仪或自主机器人的避障功能提供了智能解决方案。要快速开始开发，请参阅我们的资源。

## 其他资源

- 要了解 TI 毫米波传感器如何与 Sitara 处理器协同工作以实现智能机器人，请观看视频“[Robotics Using mmWave](#)”。

- 使用我们最新的参考设计“[采用 Sitara 处理器和使用 ROS 的毫米波传感器的自主机器人参考设计](#)”开始开发。
- 阅读白皮书：“[选择 24GHz 以上的 60GHz 毫米波传感器以实现更智能的工业应用](#)”。
- 阅读应用手册：“[毫米波雷达传感器：物体与距离](#)”。
- 在我们的白皮书中了解更多信息：“[传感器数据如何强化机器人中的 AI](#)”。
- 阅读本[博客文章](#)和[白皮书](#)，了解有关边缘深度学习的内容。

## 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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月