

# 传感器数据如何强化机器人中的 AI

下一代机器人依赖于传感器数据与在边缘处理的 AI 的融合



**Matthieu Chevrier**  
德州仪器 (TI) 全球工业系统,  
系统和应用经理

# 从传统工业机器人系统到当今最新协作型机器人（或“cobot”），各种机器人都依赖于能够生成数量日益庞大、种类繁多多样的数据的传感器。

这些数据可以帮助构建更好的机器学习（ML）和人工智能（AI）模型，机器人可以依靠这些模型来实现自主性，从而做出实时决策并在动态的现实环境中导航。

工业机器人通常处在封闭的环境中；出于安全考虑，当人类进入这样的环境时，机器人会停止移动。但是限制人类与机器人协作会导致

许多好处无法实现。具有自主能力的机器人能够让人类与机器人安全、高效地共存。

机器人应用中的传感和智能感知非常重要，因为机器人系统（尤其是 ML/AI 系统）的有效性能在很大程度上取决于向这些系统提供关键数据的传感器的性能。如今，各种越来越精密和精确的传感器，再加上能够将所有这些传感器数据融合在一起的系统，使得机器人拥有越来越出色的感知和意识。

## AI 的发展

一段时间以来，机器人自动化一直是制造业中的一项革命性技术，但是在未来几年中，将 AI 集成到机器人中有望改变整个行业。[Markets and](#)

[Markets](#) 的调研表明，机器人自动化技术市场在 2016 年的体量约为 2.7 亿美元，到 2023 年将增至将近 49 亿美元。

咨询公司埃森哲高绩效研究所研究了 [AI 对 12 个发达经济体](#) 的影响。它们的调研表明，到 2035 年，AI 的

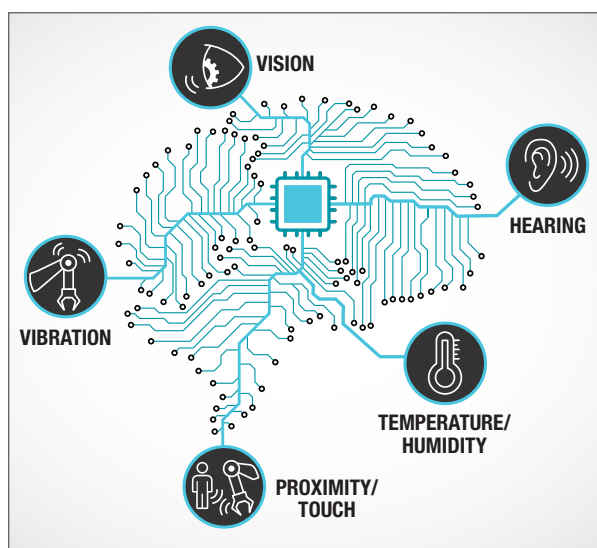


图 1. 机器人的不同感官。

年度经济增长率会翻一番，将劳动生产效率提高 40% 之多，还会在人类与机器之间产生一种新的混合关系并导致工作性质发生改变，因此会推动创意和创新并增加与 AI 驱动型机器人的协作。

本白皮书将探讨目前的机器人、自动化和一些最重要技术的主要趋势，这些技术会将 AI 与所需的数据联系起来以实现智能化。本白皮书还将说明 AI 系统如何使用（并融合）德州仪器（TI）传感器以及 TI 如何提供广泛的传感器和数据处理组件产品系列，以涵盖机器人的整个 AI 系统信号链。

## 将机器人的 AI 处理推向边缘

ML 包含两个主要部分：训练和推理，两者可以在完全不同的处理平台上执行。训练部分通常在桌面平台或云中离线进行，需要将大量数据集馈送到神经网络中。实时性能或功耗在该阶段不会有问题。训练阶段的成果是经过训练的 AI 系统，该系统在部署后可以执行特定任务，例如检查装配线上的瓶子、对房间内的人进行计数和跟踪或确定票据是否是伪造的。

然而，为使 AI 在各行各业发挥应有的作用，在推理期间（执行经过训练的 ML 算法的过程）必须能够（近乎）实时地融合传感器数据。

因此，设计人员需要将 ML 和深度学习模型放在边缘，从而将推理部署到嵌入式系统中。

例如，构建一个协作机器人，以便与人类紧密协作。该机器人依靠来自接近传感器和视觉传感器的数据来确保成功保护人类免受伤害，同时支持人类从事对人类而言具有挑战性的活动。所有这些数据都需要实时处理，但云计算速度不足以支持该机器人所需的实时低延迟响应

。为了突破这一瓶颈，当今的先进 AI 系统被推到了边缘，对于机器人来说，这意味着必须具备板载处理能力。

## 去中心化的 AI 模型

这种去中心化的 AI 模型依赖于具有以下特性的高度集成式处理器：

- 丰富的外设，用于连接各种传感器。
- 高性能处理能力，可以运行机器视觉算法。
- 一种加速深度学习推理的方法。

为了存在于边缘，所有这些功能还必须具有高效率、相对较低的功耗和较小的尺寸。

随着 ML 越来越流行，功耗和大小经过优化的“推理引擎”也越来越多。

这些引擎是专门用于执行 ML 推理的专用硬件产品。集成式片上系统 (SoC) 通常是嵌入式领域中一个不错的选择，因为除了容纳能够执行深度学习推理的各种处理元件外，

SoC 还集成了许多用于整个嵌入式应用的必要组件。一些集成式 SoC 包括显示、图形、视频加速和工业互联网功能，使得单芯片解决方案的功能不仅限于运行 ML/AI。

[Sitara™ AM57x 处理器](#)是在边缘运行 AI 的处理器典范。这些处理器具有用于连接多个传感器（例如视频、飞行时间 (ToF)、激光雷达 (LIDAR) 和毫米波 (mmWave) 传感器) 的多个高速外设，还包括以 C66x 数字

信号处理器内核和嵌入式视觉引擎子系统形式呈现的专用硬件，旨在加速 AI 算法和深度学习推理。

让我们看看目前机器人的一些主要技术趋势。

## 协作机器人

人类通常无法安全地接近处于运行状态的传统工业机器人。

相反，协作机器人旨在与人类一起安全地协作，能够缓慢、从容地移动。

根据 ISO 标准 TS 15066 的定义,协作机器人是一种能够在协作性操作过程中使用的机器人,协作性操作是指机器人和人类在指定的工作区中同时进行生产操作(这不包括机器人加机器人系统或并置的人类与机器人,它们是在不同时间操作)。需要定义和部署协作机器人来预见机器人的物理部分(或激光等虚拟扩展部分)与操作员之间可能发生的碰撞。因此,使用传感器来确定操作员的确切位置和速度变得更加重要。

协作机器人制造商必须在机器人系统中实现高水平的环境感知和冗余度,以快速检测和防止可能发生的碰撞。连接到控制单元的集成传感器将感应机器人手臂与人类或其他物体之间即将发生的碰撞;在即将发生的碰撞时,控制单元将立即关闭机器人。如果任何传感器或其电子电路出现故障,机器人也会关闭。

随着协作机器人在苛刻的工业环境中变得越来越强大,制造商将在工厂车间增加越来越多的协作机器人,尤其是设定了严格的

中移动,并且需要传感器来进行定位、制图以及防止碰撞(尤其是与人的碰撞)。

直到不久前,大多数物流机器人还在使用预先定义的路线;而现在,物流机器人能够根据其他机器人、人类和包裹的位置来调整导航。超声波、红外和激光雷达(LIDAR)传感都是支持性技术。由于此类机器人需要移动,因此控制单元位于内部,通常与中央远程控制单元进行无线通信。物流机器人现在采用更先进的技术,例如 ML 逻辑、人机协作和环境分析技术。

投资回报率目标并希望缩短产品周期的制造商。

### 物流机器人

物流机器人是在可能有人在场或不在场的环境(例如仓库、配送中心、港口或园区)中工作的移动装置。物流机器人取回货物并将其带到包装站,或者将货物从公司现场的一处建筑物运到另一处;有些物流机器人也可以提取和包装货物。这些机器人通常在特定环境



图 2. 协作机器人在工厂环境中与人类一起工作。



不断上涨的人工成本和严格的政府法规正在推动物流机器人的普及。此类机器人越来越流行还得益于设备成本、传感器等组件的成本以及集成成本不断降低（以及所需时间不断减少）。 [Technavio](#) 执行的市场调研表明，在 2018 年到 2022 年间，全球物流机器人市场预计以 28% 以上的复合年增长率增长。

## 最后一英里的送货机器人

在产品从仓库货架到客户家门口的旅程中，最后一英里送货是该过程的最后一步：包裹最终到达买家的家门口。除了

影响客户满意度之外，最后一英里送货既昂贵又费时。

最后一英里的送货成本占总运送成本的很大一部分：总体上占 53%。因此，提高最后一英里的送货效率已成为开发和实施可以推动流程改进和提高效率的新机器人技术的重点。

## 飞行时间 (ToF) 光学传感器

此类传感器依赖于 ToF 原理，并使用光电二极管（单个传感器元件或阵列）以及主动照明来测量距离。

来自障碍物的反射光波将与透射光波进行比较以测量延迟，而该延迟可以表示距离。然后，此数据有助于创建物体的 3D 地图。

TI 的 ToF 芯片组支持基于 ToF 的传感，这种传感技术超越了接近检测功能，可支持下一代机器视觉。此类芯片组支持最大限度的灵活性，允许开发人员使用各种工具来定制用于机器人视觉和其他应用的设计；这些工具中包括评估模块和高度可配置的摄像头开发套件，而此套件可提供每个像素的 3D 位置以绘制有助于进行定制的精确定深度图

。分立式解决方案利用先进的拓扑和半导体技术，例如时数转换器和氮化镓 (GaN)，如[激光雷达脉冲飞行时间参考设计](#)和适用于激光雷达的[纳秒级激光驱动器参考设计](#)中所示。

借助诸如 TI [OPT8320](#) 之类的 3D ToF 传感器，机器人能够确定螺钉的准确角度，然后微调螺丝刀以使螺钉始终对准，而无需人工干预。像 [OPT3101](#) 这样基于 ToF 的模拟前端可以帮助识别机械臂到目标的距离，并有助于

精确定位。对于分辨率更高的 3D 传感，灵活的结构光（采用 DLP® 技术实现，如

[基于 AM572x 处理器并采用 DLP 结构光的 3D 机器视觉参考设计](#)中所示）有助于将分辨率提高到微米级或更小尺寸。

## 温度和湿度传感器

许多机器人需要测量机器人所在环境以及机器人组件（包括电机和主要的 AI 主板）的温度，有时还需要测量湿度，以确保它们在安全范围内运行。这一点对于机器人尤其重要，因为电机在承受重负载时功耗极高并发热。

精确的温度监测可以保护电机，同时更高的温度精度能够使电机在达到安全裕度极限之前更难以驱动。此外，几乎所有其他传感器都对温度敏感并受益于热补偿。通过了解温度，

您可以校正其他传感器的温度漂移，进而获得更准确的测量结果。

在靠近赤道的工厂和热带气候地区，温度和湿度传感器可以预测

露点，便于进行电子系统保护和预测性维护。

## 超声波传感器

如果机器人被强光照射或发现自身处于非常黑暗的环境中,视觉传感器可能无法工作。通过发射超声波并侦听从物体反射回来的回声(类似于蝙蝠的做法),超声波传感器在黑暗或明亮的条件下均具有出色的性能,可以克服光学传感器的局限性。

超声波传感是一种替代雷达的低成本低速技术,适用于不需要高速运行的机器人。由于超声波传感不受障碍物反射光量的影响,因此在避开障碍物方面,超声波传感比光学 ToF 更可靠。例如,超声波传感使用声波而不是光来检测物体,因此可以感应玻璃或其他透明表面。

## 振动传感器

预测性维护需要进行状态监控,工业振动传感便是其中不可或缺的技术。集成式电子压电式传感器是工业环境中最常用的振动传感器。

振动传感器使机器人能够知道其某些机械装置是否已损坏或老化,从而有助于在操作濒临危险之前进行预防性维护。使用 AI/ML 可以使这些预测的准确性更上一层楼。

## 毫米波传感器

毫米波传感器使用无线电波及其回波来测量三个分量(速度、角度和范围),从而确定移动物体的方向和距离。因此,机器人可以根据物体接近传感器的速度采取更具预测性的操作。雷达传感器在黑暗中具有出色的性能,并可以穿透石膏板、塑料和玻璃等材质进行感应。

互补金属氧化物半导体(CMOS)毫米波雷达传感器能够以极高的精度测量其视野范围内物体的距离以及任何障碍物的相对速度。

TI 高度集成的单芯片毫米波雷达传感器具有体积小、重量轻的特点,支持在传感器边缘进行实时处理,通常无需额外的处理器。

采用毫米波技术的设计的体积是微型激光雷达测距仪的三分之一,重量是其一半。与基于视觉的系统相比,这降低了材料成本、缩小了尺寸并减少了中央控制器处理器需要提供的每秒百万指令数。这些传感

器可直接安装在无外部透镜、通风口或传感器表面的塑料外壳后,非常坚固耐用,能满足防护等级 69K 标准。

毫米波传感器最初非常昂贵且尺寸较大,并需要多个分立组件。然而,由于现在 TI 将射频、处理和内存资源集成到

一个单片 CMOS 芯片上,因此可以说毫米波传感器将在未来几年补充或取代传统的机器人传感技术。

更先进的雷达传感系统可通过增加

一个惯性测量单元(有时通过 GPS 进行增强)来确保里程信息非常精确。毫米波传感器可通过向地面发送线性调频信号并测量返回信号的多普勒频移,

为穿越不平坦的地形或底盘俯仰和偏航情况较多的机器人提供额外的里程信息

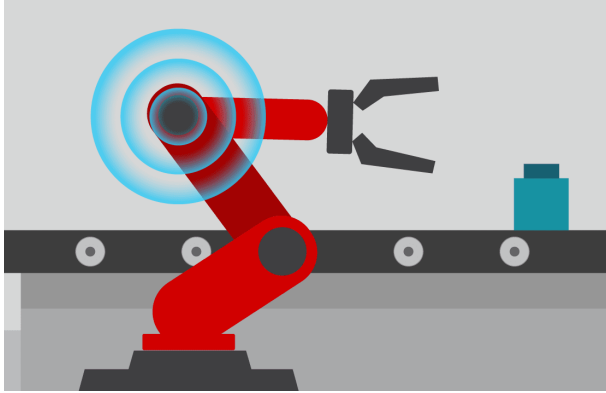


图 3. 采用毫米波传感器的机械臂.

### TI 解决方案可处理整个 AI 机器人信号链

自我学习的自适应 AI 机器人系统的信号链需要实时融合各种传感器数据。协作机器人的传感器在某些方面类似于人类的五种感官,所有这些感官对于完全自主操作都是至关重要的。人类的每一种感官都使用大脑的不同部分以及不同的大脑处理工作量。例如,视觉比听觉或嗅觉需要更多的脑力。

与之类似,机器人将有越来越多的传感器连接到机器人内部运行的 AI 和 ML 系统,因此 AI 机器人系统制造商面临的主要挑战在于,他们需要处理由混合传感器数据驱动的混合 ML 系统中多个并行运行并通信的 AI 系统。

机器人开发人员所依赖的先进集成电路解决方案可以最大程度减少电路设计和认证带来的麻烦,加快产品开发速度,使他们能够快速将产品交付给工业客户。推动工业机器人进步的 IC 必须提供精确的传感、高速

传感器信号转换、快速计算/信号处理,以实现实时响应和高速通信。IC 还能与 GaN 场效应晶体管等先进的半导体配合使用,以实现高效率和小尺寸电源。新的 IC 还为行业带来了新的标准,例如单一双绞线以

太网和

单一双绞线供电,从而降低布线复杂性并提高可靠性。

TI 可以提供下一代机器人所需的各种产品,从传感器到处理器,应有尽有,其广泛的产品和解决方案涵盖了整个 AI 机器人信号链。从传感器输入到执行器或电机输出,从

单个设备单元到工厂级控制等等, TI 解决方案可处理整个信号链,并提供机器人应用所需的处理能力和电源。产品具有增强型隔离等功能,并经过测试,符合在严苛工业环境中使用的标准。

[详细了解 TI 的模拟和嵌入式技术](#),这些技术可帮助您开发当今极为智能先进的机器人系统。

### 相关网站

- 阅读我们的“[前沿机器学习推动自主工业系统发展](#)”白皮书。
- 详细了解“[在嵌入式系统中实现深度学习](#)”。
- 请参阅麦肯锡公司的“[客户需求如何重塑最后一英里送货现状](#)”和“[人类 + 机器:制造业自动化的新纪元](#)”。

**重要声明:** 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台标识和 Sitara 是德州仪器 (TI) 的商标, DLP 是德州仪器 (TI) 的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司