

實現機器人自主移動

工業機器人正經歷第四次創新與變革浪潮，商品的生產、運輸和管理方式正在被重寫。第一次浪潮帶來了固定式機器人，強調高精度和可重複性。第二次浪潮引入了移動性：最初仰賴程式控制，隨後逐漸實現更高程度的自主化。第三次浪潮將多軸機器人與自主移動機器人相互結合，催生出移動操作機器人。目前興起的第四次浪潮，則聚焦於具備人形特徵與能力的全自主機器人。每一次浪潮都代表質的飛躍，不僅擴展了機器的功能邊界，也預示著機器人技術將在更深層面影響人類社會。

固定式自動化時代



20 世紀中期問世的固定式機械手臂，透過自動執行焊接、裝配等重複且高精度的任務，重塑了工業生產線。其受可程式化邏輯控制器(PLC)的控制，通常被置於安全籠內運行，在速度、一致性和效率方面表現卓越。儘管結構僵化、動作受限於預設程式，且幾乎無法感知外部環境（僅關注有限作業空間），但機械手臂為現代自動化經濟奠定了基礎。

掙脫束縛：邁向移動化



機器人技術的第二次浪潮以自主移動能力的引入為標誌。20 世紀 70 年代至 80 年代，導引車(GV)沿著磁條、電線或條帶所標記的固定路徑運行，彈性有限。任何路徑調整都需要額外投入，運行線路較為僵化。因此，GV 容易受到干擾，擴展能力也受到制約。隨後出現的自動導引車(AGV)摒棄了軌道和磁條，開始使用感測器。AGV 仍然按照預設路線運行，但彈性與可程式化能力明顯提升。

自主移動技術的興起

自主移動機器人(AMR)掀開了工業自動化發展的新篇章，彌合了靜態效率與動態適應能力之間的鴻溝，無需人工干預即可執行任務。

得益於感測器、AI 和運算技術的進步，AMR 摒棄了固定路線，轉而依賴即時感知和自我調整導航。相較於 AGV，AMR 的安裝成本更低，彈性更高。憑藉可靠的低延遲乙太網路/GMSL™連接、景深測量/LIDAR（光檢測和測距）以及 SLAM（同步定位與地圖繪製）等技術，此類機器人能夠在複雜動態環境中自主導航。如今，ADI 正與自動化系統領域的全球領軍企業 Teradyne Robotics 合作，推動自主操作技術的發展。

自主機器人不僅會移動，還能「思考」！

與 AGV 不同，AMR 具備情境感知能力。憑藉更豐富的感測器配置和更先進的資料處理技術，AMR 展現出更強的適應性，行為更接近人類。這種能力使 AMR 能夠偵測障

礙物、動態規劃路線，並根據操作需要確定任務優先順序，從而提升效率、彈性、性能和可靠性。

AMR 正在改變各個產業。例如，它們能夠在無人工監管的情況下優化倉儲作業，如補貨和訂單履行；實現生產廠房的準時化生產；在醫院中安全運送物資，協助進行傳染病患者護理工作。在化學品洩漏、野火等高風險場景中，它們能夠進入人類無法到達的區域，採集關鍵資料，確保作業連續性。

在動態變化的環境中，AMR 展現出傳統自動化難以比擬的優勢。尤其是在既有場地和需頻繁重構的營運場景中，它們已成為推動轉型的核心力量。透過與人類安全共存並協同作業，AMR 為物流、履約中心和科研實驗室等領域開闢了新的可能性。

自動化和機器人市場趨勢

2030 年將出貨 100 萬台移動機器人¹

預計到 2030 年底，移動機器人的累計部署量將超過 420 萬台。僅 2030 年一年，新增部署數量就將接近 100 萬台（不含 Amazon）。¹

勞動力短缺仍然是推動移動機器人需求增加的最重主要因素。¹

麥肯錫近期對 65 位物流與供應鏈領域的高階主管進行了調查。結果顯示，70% 的受訪者計畫在未來五年內投入約 1 億美元用於自動化升級，重點在於提升營運速度、增強流程穩定性，並減少對人力的依賴。²

北美只有 20% 的倉庫採用了某種形式的自動化。³

北美倉儲自動化市場仍有 80% 的份額尚待開發。預計未來幾年，該市場的複合年增成功率將達到 8.3%。³

挑戰

儘管移動機器人在自主運行方面取得了突破性進展，但仍面臨諸多重大挑戰。高度多樣化的環境對先進感知與推理能力提出了更高要求，同時也需要可靠的感測器、[AI](#) 和資料處理技術。然而，電池續航能力、載荷容量和互通性的限制，阻礙了移動機器人

的廣泛部署。要克服這些挑戰，亟需在相關領域實現大膽創新，並進一步加強技術研發。

- **運動：** [BLDC 運動控制](#)、先進的導航與定位硬體、軟體及 AI，使機器人能夠保持位置並在複雜環境中導航；[角度感測器](#)（編碼器）和[慣性測量單元\(IMU\)](#)能夠準確測量加速度、方向和角速度。
- **感知：** [飛時測距\(ToF\)](#)攝影鏡頭專為精準測量景深而打造，音訊感測器可偵測人聲、存在性和活動情況，提升了人機互動與協作的效率。
- **電源：** 有效的電源和[電池管理](#)是實現持續運行、減少停機時間、確保性能可靠的關鍵。即時能量監測能夠確保機器人有足夠的電力完成任務並返回充電站；同時，對移動基座與其上安裝的機械手臂之間的能量流動進行管理。

ADI 與機器人製造商和工業終端使用者合作，共同因應自主移動機器人的運作挑戰。透過直接接觸終端使用者，ADI 可及時洞察當下的阻礙與新興需求，進而加快部署進程，增強系統可擴展性，並有效縮短客戶的產品上市週期。

ADI：利用完整端對端解決方案加速 AMR 上市進程與規模化部署

機器人產業的領先企業依靠 ADI 的核心技術，實現大量製造、高效擴大生產規模並縮短產品上市時間。ADI 不僅提供獨立的元件，更基於我們在硬體、軟體和 AI 領域的專長，打造全面的端對端解決方案與子系統，為關鍵領域帶來切實的改進。

- **可靠檢測能力：**透過將高精度[角度](#)和[景深測量](#)技術與高速、低延遲連接能力相互結合，ADI 推出先進的 3D ToF 解決方案，使系統設計得以簡化，促進工業環境下實現更高解析度和更強性能的系統。
- **高效電源與電池管理：**ADI 的電源產品系列具備小型化與輕量化優勢，適用於空間受限場景，能夠有效緩解熱管理壓力。其先進的電池管理系統(BMS)可優化電池利用效率，延長設備執行時間，防止損壞，避免非必要停機時間，進而提升生產力。
- **工業通訊：****有線和無線連接：**ADI 同時提供乙太網路和 GMSL（千兆多媒體串列鏈路）兩種連接技術。後者是一種高速序列介面，可透過單根羽量級線纜傳

輸未壓縮影像、資料和電力，進而簡化系統架構並降低延遲。此外，ADI 還提供無線網路解決方案，專為惡劣工業環境而設計，並針對低功耗、強韌性和可擴展性進行了優化。

- **功能安全與認證：**ADI 增加了嵌入式軟體和 AI 層，以增強功能表現、加快認證進程，並協助保障作業人員安全。

移動操作機器人

移動操作機器人(MoMa)代表了自動化領域的第三次創新浪潮。其將關節式機械手臂與自主移動機器人(AMR)相互結合，使移動平台由簡單的運輸載體升級為自我調整、具互動能力的自動化系統。MoMa 具有六個自由度，能夠在三維空間中精準定位和調整工具姿態，進而可靠地操作位置、高度、方向各異的零部件。這種優異的彈性降低了對固定工裝和嚴格公差的依賴，加快了部署速度，並支援在不斷變動的產線佈局和產品組合條件下實現可擴展自動化應用。由此，許多過去因成本或技術限制而難以自動化的作業流程，得以真正落地。



在美國俄勒岡州比弗頓的 ADI 晶片製造工廠，移動操作機器人與人類操作員協同工作。

人形機器人：已然登場



我們正步入第四次浪潮——自主人形機器人時代。這類具備雙足、輪式或多肢結構的機器，能夠在為人類設計的環境中運行，完成需要靈巧操作與決策能力的任務，宣告自動化體系正由專門化走向通用化。

ADI 攜手全球領先的人形機器人開發企業，提供先進感知能力，並推進實體物理人工智慧的研發，促進人形機器人在汽車、工業與醫療健康等領域實現與人類的自然互動。ADI 的零功耗、多圈 [ADMT4000](#) 技術是新一代人形機器人的核心支撐技術之一，可在完全無電狀態下持續追蹤多圈旋轉。該技術特別適合人形機器人的執行器設計，避免機器人上電、斷電或更換電池後需要重新歸零。

未來是移動化與自主化的時代

趨勢已經十分清晰：自主化不再是例外，而是新常態。AMR 已從小眾產品發展為推動智慧化營運的核心力量，其年銷量超過 10 萬台，已成為業界成長最快的細分市場。展望未來，隨著更先進的人形機器人逐步落地，移動能力與自主性不再只是高效工業營運的基礎，更是下一階段發展的關鍵基石。

參考資料

¹ Ash Sharma, “Mobile Robot Forecast Downgraded as Macro-Economic Factors Continue to Bite”, Interact Analysis, 2024 年 12 月。

² McKinsey Global Industrial Robotics Survey, 汽車、食品飲料、生命科學、醫療健康、製藥、物流和配送、零售和消費品產業的 65 位資深管理者與高層管理, 2022 年 8 月。

³ Alberto Oca, Chetan Sampat, Manju Thirtha, “Navigating Warehouse Automation Strategy for the Distributor Market”, 麥肯錫公司, 2024 年 9 月。