



◎ 吳淑華

產業機器人的技術與應用

產業機器人是指受自動控制、可重複程式化、具 3 個以上可程式控制的運動軸，且可固定或移動於空間中的多用途機械手臂，供產業自動化應用。



「機器人」在科幻小說、卡通漫畫及電視電影劇情的渲染下，人們對它的想像與實際狀況有很大的落差。一般認為機器人是一部外觀貌似人類的自動化智慧機器，可以做出與人類一樣的動作。事實上，目前最常見的機器人外型不見得像人類，自主控制能力更不如一般所期盼的靈巧。比較常見的機器人可以概分為仿人機器人、產業機器人、服務機器人，以及其他醫療機器人、救災機器人、娛樂機器人等。

而「產業機器人」(industrial robot) 顧名思義就是應用在產業上的機器人，尤其是工程產業。產業機器人經常與機械手臂一詞混用，兩者的差異是：產業機器人主要描述整部機器人，包含機械結構、夾爪、控制器等。

換言之，產業機器人是一種機械手臂，機械構造通常由一系列可相對於彼此旋轉或滑動的構件組成，以形成 3 個以上運動軸，用於工業自動化，例如取放、鑽孔等，且應容易重新編程，不需物理性重建機器，可達到不同運動行為，以及應具有記憶與邏輯，能獨立、自動地工作，機械結構能在幾個不同工作任務中使用，不需要任何較大的機械結構改變。

發展

全世界第一部產業（工業）機器人是一台名為「Unimate」的機器人，於 1954 年由 George Devol 發明。兩年後，George Devol 與 Joseph Engelberger 共同創立全世界第一個工業機器人公司—Unimation，生產的機器人因此得名。1961 年，美國通用汽車採用 Unimate 機器人協助汽車生產線上的

鑄件運送與焊接，是全球首次採用機器人於工業自動化生產。成功地協助通用汽車的自動化產線後，產業機器人於 1960 至 1970 年代間在全球蓬勃發展，許多公司開始研發不同用途的專用機器人。

1980 年代，由於汽車工業與太空探測彈性與大量生產的高度需求，機器人工業開始蓬勃發展。1982 年，美國通用汽車公司與 Fanuc 公司簽訂合約，成立機器人公司生產汽車產業專用的機械手臂。但 1980 至 1990 年代間，歐洲與日本許多知名機器人公司也茁壯發展，至今仍在市場保有一席之地。

台灣於 2007 年之後，因高科技產業的發展迅速，企業面臨產品短生命周期、低成本、高效率、高生產力的生產製造需求，又 3K 產業（骯髒、辛苦、危險）面臨缺工問題，製造業被迫轉型，並朝向製造業服務化方向發展。此外，在 2010 年產業科技策略會議的「2020 智慧型自動化產業策略藍圖」中指出，台灣需開始發展產業機器人，因此產業開始思考把產業機器人導入自動化產線，進而催生出台灣自製產業機器人的廠商。近年來台灣有不少廠商前仆後繼投入發展產業機器人，5 家廠商已通過「台灣機器人標章」認證。

機械構造類型

產業機器人最常見的整體「機械構造」，可分為串聯式及並聯式，兩種機械構造依據功能需求各有不同類型的機器人。

串聯式机器人是最常見的產業机器人，由數根連桿串接而成。這些連桿從底座延伸到末端執行器，每兩根連桿之間用 1 個

目前最常見的機器人外型不見得像人類，自主控制能力更不如一般所期盼的靈巧。



串聯式 SCARA 機器人



串聯式晶圓機器人



串聯式關節式機器人



並聯式 Delta 機器人

圖片來源：上銀科技

接頭連接，這些接頭可以是旋轉接頭或是滑
行接頭，每個接頭都配有 1 個致動器（例如
馬達）驅動。因此一部具有 6 個接頭的串聯
型機器人便需配載 6 個致動器，才能完整操
控整部機器人。串聯式機器人的類型有關節
式機器人、迪卡兒坐標機器人、SCARA 機
器人、圓柱型機器人、晶圓機器人等。

並聯式機器人由數組「並聯」擺置的
連桿組成，與串聯機器人相較，具有較佳的
承載能力，運動也較精準，但可工作範圍較
為局限。並聯機械手臂的特色是使用數個封
閉鏈結構來支持單個平台或末端執行器，最
著名的並聯機械手臂是由 6 個封閉鏈組成，
由 6 個線性致動器驅動。這些線性致動器
支持如飛行模擬器之類的可移動基座裝置，

稱為 Stewart 平台或 Gough-Stewart 平台，
以表彰首先設計與使用它們的工程師。目前
最廣泛使用的並聯式機器人是 3 組平行連
桿機構組成的 Delta 機器人。

工業應用

取放是最常見的自動化動作，各種型
態的產業機器人都可執行。產業機器人有
許多不同型態，主要以運動靈活性的運動
軸數來區分，例如：最簡單的一軸滑軌式
機器人；依需要把二至三滑軌以垂直方式
組合起來的直角坐標機器人；水平迴轉式
SCARA 機器人可做平面式加工；垂直多
關節型機器人是常見的機械手臂，大多

有六軸運動能力，能在空間中做立體定位動作。另外針對不同幾何空間的取放需求，需要選用適當的機械手臂執行，如遇到需快速取放的應用，可採用並聯式 Delta 機器人。

焊接主要是需要機器人沿著一條空間中的曲線（焊接軌跡）運動，可分為電阻焊及電弧焊兩種。電阻焊在汽車生產線上是常見的製程，產業機器人的功能在於固定焊接點位置，電弧焊則在造船、鋼結構、化工廠製程設備等廣泛應用。因電弧焊與焊道關係非常複雜，產業機器人用於電弧焊不只是機器人控制的問題，也牽涉許多電弧焊的領域知識，國際上知名的電弧焊用機器人廠商同時是電焊機廠商。

噴漆也是一種高難度的空間運動，為了讓複雜曲面的工件表面有均勻的漆料，產業機器人的運動路徑規畫是一項挑戰。噴漆動作精密度要求不高，產業機器人使用在噴漆工作上好像很容易，但不能使用一般產業的機器人，因噴漆作業常使用揮發性氣體，有爆炸疑慮，只有「防爆型」機器人才能使用於噴漆作業。其他如鋁鎂合金的拋光作業，也需要考慮防爆。

使用於裝配技術的產業機器人，除了機械手臂及末端執行器技術外，自動送料也是關鍵。對於大量客製化應用，應用視覺技術檢測物品分布情況，判斷可取物品位置空間，計算物品定向角度與位置坐標，並驅動機器人取物加以整列，而不需特定的供料治具。

在半導體製程與液晶顯示器的製程中，大量使用了產業機器人，尤其在前段製程中使用最密集。半導體前段製程工件是晶圓，LCD 製程工件是玻璃片，因為都是薄片型態，所以使用的產業機器人會出現

相似之處。在半導體製程或 LCD 製程中都會使用到真空腔體，可在真空環境中作業的機械手臂分為兩類，一類是可在真空環境中操作的特殊馬達；另一類是在大氣環境中操作的馬達，需隔離在真空環境以外。馬達透過傳動來驅動手臂，讓手臂的末端執行器可依指令動作，在市場上占多數。

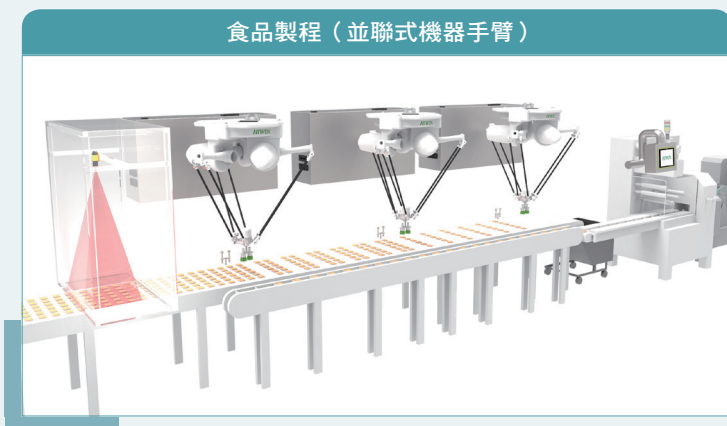
其他應用

機械手臂應用在娛樂上十分多樣，德國 KUKA 機械手臂應用於雲霄飛車模擬是非常知名的例子，已經多次出現在國際機器人展覽中，每次都吸引很多觀眾。又可以把機械手臂用於畫人像的即時素描，包括應用在泡咖啡的服務、餐廳料理及遊戲，甚至醫療復健等。

另外，因食品製程中常免不了高溫及氣味，把產業機器人導入食品製程中是十分直覺的想法，但在引入食品製程前必須確認產業機器人是否是食品級。由於一般機器人都會在關節的軸承上使用潤滑油脂，為了強化潤滑效果，會在潤滑油脂中加入添加劑，如果添加劑不小心滴入食品中，就可能發生食品安全糾紛。

未來的新機會

人機協同機器人技術 人機協同機器人技術是透過人與機器人之間的互動，達到工作上的目的。德國 IPA 研究所曾提出：「與其強求產業機器人達到人工水準，不如協助人工，因此提出複合自動化（人機協同作業）概念。」主要概念是在有限的投資下提升自動化程度（彈性、效率及品質的取舍），以及因應新興應用領域（如中小企業、大量客製化）而生的人因功能等。



圖片來源：上銀科技

產業機器人可以安全地與作業人員一起互動工作，有助於提高作業人員的工作效率。人機協同產業機器人的概念，在於「作業員執行複雜及需要判斷的作業，機器人只執行勝任的作業」。

例如工業上利用產業機器人進行取放、焊接等作業，可以結合視覺與力量的回饋導引產業機器人動作，有效降低人員負擔與疏失風險。技術上以快速精準的3D視覺定位導引方法，引導產業機器人大步動作，再以順應控制方法進行細緻動作，同時利用視覺監測人機互動防止碰撞發生，加速利基型產業機器人的商品化，因應「需要快速交貨」及「批量小」的大量客製化、自動化製造系統的需求。

手眼力協調控制器模組 鑑於自動化工業的蓬勃發展，利用機器人從事組裝、拋光、切削、去毛邊等任務的需求大增，以及考慮與人員互動的安全性，提出機器人的適應性順應控制技術，並整合產業機器人控制器技術，發展手眼力協調控制器，提升機器人誤差容忍性與力量控制的順應性

及安全性，進而使機器人朝向更人性化的目標。藉此提高人機協同作業的可行性，以降低勞動成本，突破產品輕薄短小、撓性及不規則形狀零件自動化組裝的瓶頸。

小型化關節模組 傳統關節模組是由馬達、減速機及旋轉軸組成，目前產業機器人常用的是馬達驅動器不在關節上。

驅動器安排在電控箱內，如果是一台六軸機械手臂，要有6組馬達與驅動器間的電源線，以及6組馬達編碼器與驅動器間的訊號線等，非常占空間及笨重。假如要使機器手臂小型輕量化、實現人機協作，以因應機器人使用環境與需求組合多種構型、提供所需輸出扭力，可以整合驅控關節模組，以積木方式串接，把馬達控制器、伺服馬達、減速機、馬達編碼器等的多個機器人關鍵核心零組件，整合在一起成為一個小型化關節模組套件。

七自由度關節型機器人技術 七軸（七自由度）工業機器人利用運動學上冗餘自由度設計，可在狹小的工作空間中發揮猶如人手一般靈巧的特性。以窄型化七軸

產業機器人可以安全地與作業人員一起互動工作，有助於提高作業人員的工作效率。

**工業 4.0 就是整合機器人、感測器物聯網、
供應鏈互聯網、銷售及生產大數據分析，
透過虛實整合系統（人機協作）提升製造價值鏈的生產力及品質。**

機械手臂搭配緊湊型的機身設計，可展現七軸機器手臂的靈活性。為因應各式產品往小尺寸發展的趨勢，自動化機器人設備也朝小尺寸與多功能的方向發展。窄型機器人在機構原理上是冗餘自由度模組設計，具有較佳的靈活特性，加上緊湊的機身造型，可省去不少組裝占地空間，能深入狹窄工作區域，有效提升作業效率。

順應型產業機器人 在順應型產業機器人上，除硬體開發外，關鍵在於研發人機接觸安全確保機制。當機器手臂與人的接觸距離接近時，首先需顧慮協同操作人員的安全，以降低人員傷害及機台工件損害為發展目標。目前在順應性關節發展上可分為主動式及被動式兩種。主動式設計通常把力量、扭力感測器等外部感知元件裝置於各關節處，利用感測器的偵測訊號進行馬達控制，藉以達成外力順應特性。被動式順應性阻抗機構則以機構方式提供適當反應並吸收、減緩外部的衝擊。

雙臂機械手臂 最為擬人化，支持雙臂機械手臂發展的因素：靈活性和剛度、可操縱性、認知動機、人的形狀。近來為了提供工業用途，已經出現多種手臂系統。與兩組單臂機器人相比，雙臂系統占用的空間更小，成本更低，也可以用機器人替代人類工作人員，而不需要重新設計工作空間。

主從系統機械手臂 顧名思義是由兩組機械手臂構成機器人，主機械手臂做什麼動作時，從機械手臂就即時跟著做什麼動作，因此主機械手臂是輸入，從機械手臂是輸出。主從系統機械手臂可大致分為兩類：第一類用於遙控應用，典型的應用是隔離空間內的動作操作，譬如無菌室內的動作；

第二類用於尺度的放大或縮小，典型的應用是力量放大。

安全技術 產業機器人對人的安全問題事關機器人的基本法則，產業機器人安全規範現有 ISO 10218 (2006)，主要是為了產業機器人安全而訂定，其中有針對人機協同作業的規範，包含緊急停止、手持教導器、速度與位置監測、功率與力量的限制、奇異性防護等項目。已有研究指出，ISO 的限制標準太過嚴苛，且會大幅降低產業機器人的效能，為了提升未來產業機器人的人機作業效率與安全性，在機器人安全技術的發展上勢必有所突破。

工業 4.0 機器人技術

「工業 4.0」(Industry 4.0) 是 2011 年由德國提出的，簡單地說，工業 4.0 就是整合機器人、感測器物聯網、供應鏈互聯網、銷售及生產大數據分析，透過虛實整合系統（人機協作）提升製造價值鏈的生產力及品質。以機器人自動組裝為例，在機器人上裝設多個感測器，便可以擷取機器人內部零組件的各種工作數據（例如溫度與壓力），即時監控機器人工作狀況，且在機器人元件損壞前便可得到預警，或預先規劃保養時程，避免非預期當機而影響生產。

傳統機器人生產技術常稱為「工業 3.0」技術，概念是使用自動化機器人取代人力，進行高度危險、複雜與枯燥的工作程序，藉以加快生產速度，節省人力，得到更大的經濟效益。而工業 4.0 除了使用自動化機器人外，也導入感測器、工業物聯網等技術，讓機器（人）與機器（人）之間可以互相通訊與交換蒐集（感測）得到的資料，



與傳統機器人生產技術相較，工業 4.0 機器人特別加強感測技術（例如視覺、觸覺、溫度感知等）及聯網技術的補強。

了解生產過程中的最新狀況。再把累積得到的資料透過大數據的分析，預測未來生產狀況的變化，即時決策以產生快速、高品質的智慧製造模式。

在工業 4.0 的模式下，機器人需搭載感測器監控各式生產或機器人性能數據，多部協同作業的機器人之間必須透過網路互相連接，以即時蒐集與分享感測得到的數據。與傳統機器人生產技術相較，工業 4.0 機器人特別加強感測技術（例如視覺、觸覺、溫度感知等）及聯網技術的補強。生產機器人的德國 KUKA 公司針對機器人在工業 4.0 的角色詮釋，提出機器手臂在工業 4.0 中的技術發展趨勢。

人機協同 人機協同是指人類與機器人在同一個工作空間中協助彼此作業。傳統產業機器人的使用是取代人類執行重複性動作，達到快速、大量生產的目的。但機器人無法感知工作空間內是否有人類正在執行其他工作，為確保工作人員的安全，機器人工作空間內不能有工作人員活動，但某些工

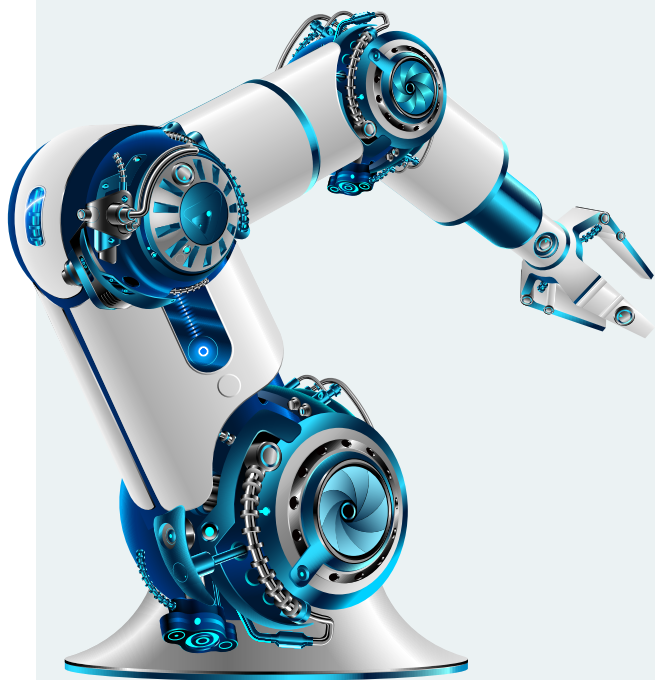
作仍需要機器人與工作人員共同作業，才能完美地完成任務。

在工業 4.0 的架構下，機器人可具備視覺辨識或力量感測功能，得知周遭人員的活動狀況，進而即時調整機器手臂本身的運動模式，協助人員完成任務，同時確保人員工作的安全性。例如國內常見手搖杯飲料店便可運用工業 4.0 的人機協同概念，讓機器手臂與店員一起在飲料生產販售環境中共同作業，不會在狹小工作空間內有碰撞的發生，即便有碰撞發生，工作人員也不會受到傷害。

智慧化機器人 傳統的機器人不具思考能力，只懂得執行人類給的指令。但在工業 4.0 架構下，機器人可藉由不同的感測器蒐集工作數據（例如力量、溫度、數量等），透過人工智慧的運用，機器人可以理解數據的物理意義，進而使機器人自我思考、判斷及產生回饋反應，也就是使機器人智慧化。

例如裝配有視覺辨識功能的插孔機器人，當發現工件孔洞與原先設定位置略有不同時，機器人便可自我調整插孔位置，不致產生插件與工件的干涉。另群體共同作業的機器人或自動化設備，也可透過聯網技術（IoT）把各自蒐集到的數據上傳到電腦或雲端，集結成具備多種資訊的大數據，統整後回傳給各個機器人參考運用。

移動機器人 新時代的生產與物流方式強調製程的快速與客製化，機器人須具備足夠的靈巧性，才能快速地反應。傳統產業機器人都是鎖固在穩定地面的位置工作，無法任意移動。在工業 4.0 概念下的機器人，可結合無人搬運車的概念，讓底座可移動於工作環境內任意位置定點後，再使用機器手臂作業（具移動能力機器人）。



例如一部協助汽車生產的機器人，在產線前段內先協助引擎蓋噴漆，再自行移動到產線後段，協助引擎蓋與車體組裝。

產業機器人在發展上仍有瓶頸。從人性化工作交辦方法而言，作業人員對產業機器人缺乏能直觀的表達，包括「可以 / 正常 / 或可能會發生什麼事」等意思，雖然現有許多人機互動（如語音、手勢、手動指導等）的研究進行，但重點仍是如何交辦工作給產業機器人。而對於空間移動操縱效率，相較於人類，產業機器人仍無成功的空間移動操縱方式，可兼顧移動性和操作性，其中包括具有移動功能的組合、自主導航（具有適應性及可預測的約束）、靈巧操縱，以及與環境（具有未知剛度）的力、扭矩相互作用。

此外，在系統介面可靠度方面，產業機器人系統需要開放允許第三方可進行擴充；但另一方面產業機器人系統需要封閉保守，以確保所有功能的正確性。在這兩極端間尋求平衡就是個技術與藝術的問題，包括末端執行器的設計，在面對大量客製化且多樣化的需求下，末端執行器使用應更具彈性（可用於多重任務的末端執行器）。

（本文內容感謝臺灣科技大學機械工程系郭進星教授指正，謹此致謝！）

吳淑華

國立科學工藝博物館展示組

