

眼見為憑，行有所據

Eye to Motion 開創機器人產業新視界

從《機器戰警》到《魔鬼終結者》，從《駭客任務》到《變形金鋼》，人類對於機器人的想像，不斷地在電影與小說上盡情發揮、創造。但在實際生活中，雖不比螢幕與文字裡那麼令人感到華麗刺激和充滿想像，機器人卻也已存在數十年之久，並幫助人類完成許多艱辛的工作。然而，下一代的機器人會擁有哪些功能？具有什麼特色？能做哪些事？從現今技術研發的角度，或許可窺知一二。

文魏茂國 攝影許育愷





透過視覺即時引導控制機器手臂進行夾持組裝，組裝零件可隨機分散放置，解決整列作業、降低前置作業時間，也可減少夾治具需求，縮短路徑教導時間。



人如果要用手去拿東西，會配合雙眼了解物體的距離，然後控制手臂去協調；嵌入式即時系統物體追蹤模組就運用相同的道理，幫助機器人達到手眼協調。

或許是受到小說和電影的影響，不少人對於機器人有著無限的想像及憧憬，認為它們「應該」無所不能，尤其還能像人類一般地活動、思考，甚至突破人類的極限。若拉回到現實生活，目前機器人並非如電影角色那般靈巧、有智慧，大部分的機器人只能依照人類設定的程式做動作，尤其是應用最早與最多的「產業用機器人」。

根據國際機器人聯盟 (International Federation of Robotics, IFR) 的定義，機器人可分為「產業用機器人」與「服務型機器人」兩大類。產業用機器人主要運用在汽車、面板、晶圓等各種製造業廠房中，多半以機械手臂為主，負責焊接、組裝、搬運、包裝等重要工作，提供自動化的生產流程，也提高了生產效能與產值。服務型機器人則以保全、伴侶、醫療照護、家庭勞務、教育、休閒娛樂等方面為發展主軸。相較於產業用機器人較為成熟的市場應用，服務型機器人目前雖處於萌芽階段，但由於社會型態朝高齡、少子化轉變，需求日漸增加，尤其在家庭／個人用方面，因此被認為是未來機器人產業的發展重點，推動全球經濟的下一個成長引擎。

傳統機器人智慧有限

產業用機器人用於製造業的生產線上，過去已發展相當多元且成熟，是項極為普遍的應用，且機器人能夠快速、準確地重複相同的動作，可以取代會疲累、需休息的人力。但產業用機器人使用至今二十多年，卻也顯露出不少發展瓶頸。

首先在於導入機器人生產時，生產線的規劃必須非常嚴謹，因為機器人只會依照原本設定好的環境及程式來動作，於是工件與機器人的相對位置及距離，都需要安排妥當，所有物件、機具、器材等，也都得放在固定的位置上；若是稍有誤差或偏移傾斜，很可能就無法正常運作。

換句話說，在這樣一個「結構式環境」(structured environment) 中，需要以外在環境的調整，來配合機器人的運作，這也是設計生產線時最複雜的部分；假使要更換生產線，所有環境和機器人就要全部重新設定一遍。相對的，人力作業雖然速度比較慢，卻不會受到位置空間的限制，可以有更高的生產彈性。

工研院機械所顧問與交通大學電機工程學系教授胡竹生指出，在過去大量生產的時代，機器人可以提供極高的生產效益；但時至今日，產品趨勢朝向少量多樣，產品生命週期縮短，如果得花上數週或數月的時間重新規劃生產線，實際生產時程也可能只維持數個月，對於企業來說不僅成本過大，也無法滿足市場的需求。例如目前產品種類多，但每項產品產量偏少的行動電

話，就是最明顯的例子。

此外，為了能夠讓機器人有充裕的工作空間，廠房的使用面積也必須配合增大；經常可以看到的狀況是，工廠裡的機器人是用鐵籠子圍起來，以減少作業進行時外界的干擾，也避免與現場人員有所衝突，以維安全。不過較不理想的是，一旦生產製造出現了問題，整條生產線都得要停止作業，才能派人進入檢修，找出問題所在，停機時間愈長，造成的損失就愈大，這也是目前產業用機器人的研發，多是以提高機器人可靠性為主要方向的原因。

這樣的機器人智慧，似乎與一般人想像中的機器人，有著不小的落差，胡竹生以日本的製造業為例，許多高檔的產品，都還是在日本當地生產，而且品質比海外所生產的還要好，有如精品一般，在市場上產生價位的區隔；台灣產業的下一步，也應該朝向精品的形式發展，並利用高科技來協助提升製造技術，同時企業也才會願意根留台灣。其中機器人就是一大重點，如何使機器人變得更聰明，在生產線上可以很有彈性的協助作業人員完成生產工作，就成了研發的主軸。

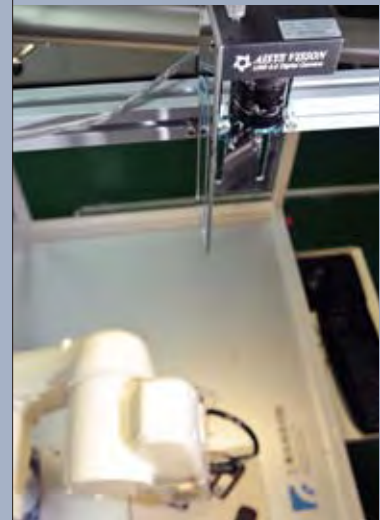
要能提高機器人的智慧，首先就要使機器人可以如同人類般「認知環境」，並經過理解判斷後，做出正確的反應及動作。這一連串由「知」到「行」的機器人行為，也正是由工研院主導，並與交通大學、清華大學及日本東京大學等校教授所共同合作研發的「Eye to Motion視覺伺服控制」技術核心。

視覺技術嶄新突破

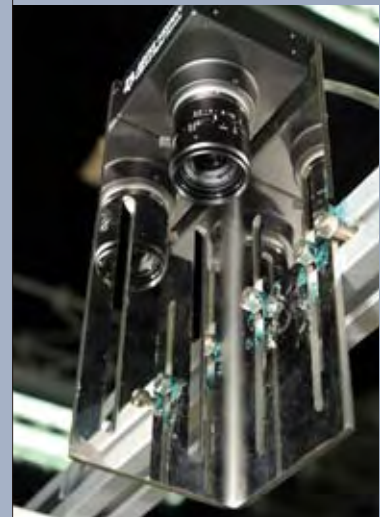
簡單地由字面上來解釋，「Eye to Motion」就是使機器人能透過視覺（攝影機），從影像的內容資訊加以計算分析，然後做出適當的動作。所謂的「視覺伺服」（Visual Servo），其實與「Eye to Motion」是相同的概念，也就是根據視覺（Eye）來決定動作（Motion）。

若回到生產線上，假設這樣視覺感知與動作的技術能夠導入，相對地就可以使作業環境與程序的規劃安排更有效率，例如工件置放發生歪斜的狀況，機器人也能經由影像來判別，從而找出正確的夾取位置及角度，完成工作；如此一來，生產線就會變得更具彈性，更換生產線所需要的前置時間也可以縮短。

另一方面，當生產線的彈性度增加，機器人的工作空間也不再那麼受限制時，地板使用面積（shop floor area）也能縮小，可以減少廠房成本、提高經濟價值。此時機器人所面對的，可以是一個半「非結構環境」（unstructured environment），而且還能與現場工作人員進行分工；其中的技術關鍵，就在於如何經由影像的介面與視覺的處理，讓機器人能夠快速理解工作內容並投



上方的攝影機是眼睛，當眼睛（視覺）看到物體時，擷取影像偵測運算，然後利用下方的機器手臂來動作，完成所謂的「Eye to Motion」。



此為上圖上方攝影機之特寫。



透過Eye to Motion視覺伺服控制技術，未來機器人能夠快速理解工作內容並投入生產，形成「人機共存」的作業模式。



有了定位系統程式，即使物件隨意放置，機器手臂仍有辦法以最短的時間，判斷出精確的抓取位置。

入生產，形成「人機共存」的作業模式。

也就是說，過去直接以程式來調整控制機器人的方法，在下一階段將提升至示範教導 (Teaching by Demonstration) 的方式。目前國際間一項產業機器人的研發重點稱做牽引規劃 (Lead Through Programming)，即是利用力迴授方法，使操作人員可以抓著機器手臂直接進行路徑教導。若搭配視覺技術，則可以使教導的路徑與工作空間或工件的關係更加精確與直覺。在這樣的技術基礎之上，方可引入更為高階的影像認知與工作描述功能，進一步降低教導所需的時間與複雜度，讓機器人實際成為作業人員的貼身助手。

以每秒數十張影像、每張影像需尋找、記憶與搜尋比對大量的特徵，不難推估在以視覺技術為核心的「Eye to Motion」背後，隱含著必須運算處理相當多且複雜的影像資料，除了要能快速運算進而反應動作外，遇到特徵改變時，例如視角的改變、環境中的物體消失或突然出現、光線改變等，也同樣要能因應。最主要的是，機器人根據影像處理後的資訊做出的行動必須準確，這使得面對環境變異時的影像處理要有很高的強健性，此一特性使計算需求變得非常龐大。

若考量產業的實際需求，如果為了處理大量的影像資料，這樣一台機器人卻要背負為數不少的運算單位或電腦，造成體積大、價格昂貴、耗電量大，不會得到市場的青睞。胡竹生表示，人類即使遇到不同的環境，都能在短時間內適應、理解，但機器人仍要靠智慧系統的協助；而且不論方法有多麼複雜、目標有多高，都必須架構在可落實及使用的平台上，也是「Eye to Motion」目前仍持續精進改良的動力。因此，機械所針對「Eye to Motion」技術所持續開發的嵌入式視覺伺服開發平台VSP (Visual Servo Platform)，正是解決上述問題的最佳利器。近程目標是以FPGA搭配高速DSP為平台，對於較為單純的環境應用，使多關節機器臂具備快速精準的視覺伺服功能。長程目標則將朝向系統晶片 (SOC) 的方向發展，對高速影像資料擷取、傳輸與交換、平行演算，以及面對更為複雜環境的智慧型演算法等開發關鍵技術。

亟需技術與應用的提升

「Eye to Motion」視覺伺服控制技術是工研院今年才開始進行的研發計畫，於8月所舉行的台北國際機器人大展中，工研院機械所即運用「Eye to Motion」的技術，展出「海豹神射手機器人」；透過兩支攝影機擷取影像偵測，分析籃框的距離與位置後，再驅動海豹機器人投籃，所需時間僅0.1秒就可完成。

同時展出的還有「視覺引導機器手臂組裝隨機分散之零件」，亦是經視覺



影像的辨識運算後，驅動機器手臂抓取隨意放置的手機背蓋，並自動移至待組裝的手機上，精準完成組裝的動作。相同的技術還可以驅使機器手臂夾取咖啡托盤，並避開杯把的位置，以免造成碰觸掉落，且平穩地移往咖啡機盛滿咖啡。

胡竹生提到，在影像辨識的過程中，原本就具有不確定性，因為攝影機所拍攝到的影像，經常會受到環境光源等變化的影響，運動物體在影像中的形狀也並非都是相同的，因而「Eye to Motion」的研究，也正是能處理這些不確定性，才能達到實用的目標。他並進一步解釋，雖然「Eye to Motion」離人類的智慧還很遠，但比起傳統產業用機器人，可以多做一些工作，這些突破已對工業製造產生很大的幫助。

目前「Eye to Motion」技術對於產業的應用，除了前述之組裝作業外，工研院還開發利用視覺技術進行檢測。以行動電話為例，由於機體內有許多模組大件，以往都是以人工進行檢測，卻會受限於2D視角；如果導入「Eye to Motion」的視覺技術以3D方式檢測，則可克服人眼不易辨視的缺點，將缺件、未確實熔接、零件脫落等情形確實辨別出來，並可結合機器人將瑕疵品挑出。

工研院機械所智慧模組技術部經理黃俊弘也指出，過去台商設廠生產主

目前服務型機器人已應用在保全、醫療照護、家庭勞務、娛樂等方面，被認為是未來機器人產業的發展重點。圖為機械所智慧機器人研發團隊，前排左一為顧問胡竹生。



Eye to Motion視覺伺服控制技術的應用，可以驅使服務型機器人一手夾取圓弧的飲料瓶，平穩地移往另一手的杯子上方，將可樂盛滿杯子而不外溢。

要是依靠人力，因此也偏向前往東南亞或中國等人工便宜的地區；隨著運費、貿易限制等環境因素的改變，台商逐漸將生產線移往接近市場的地方就地組裝，像是歐洲的匈牙利與捷克、美洲的墨西哥等。但即使這些廠商具備了技術，勞動力仍是一大問題，如果沒有充分可靠且穩定的人力，擁有再好的技術也是枉然；尤其現今產品上市時程短，廠商的壓力也更大。

即便是在中國，也有不少位於沿海地區的廠房與生產線，因應當地人工短缺的情形而遷至內陸城市；但以長遠的角度來看，未來依然會面臨相同的勞動力問題。由此可見，產業型機器人的發展應用不可或缺，也是工研院欲提升智慧型機器人技術，來協助台商的出發點。

機器人產業潛力雄厚

智慧型機器人產業，近年來已成為各國發展的重點。韓國政府不僅將機器人產業列為十大新世代成長動力產業之一，更於今年起，每年將投入超過新台幣50億元來研發先進機器人關鍵技術。中國亦將服務型機器人視為高技術研發計畫的項目，並列入引領未來經濟發展的「十一五」規劃之中。

在台灣，政府方面也提出了加速關鍵與模組技術發展、加速商品化產品開發、協助產品進入國際市場、擴大產業人才培育等四大具體發展策略，企圖帶動台灣機器人產業的發展，期望在2015年成為全球機器人設計與製造中心，並創造新台幣2,500億元的產值。

根據國際機器人聯盟的統計，受到全球經濟危機的影響，2008年產業用機器人的裝置數呈現衰退，為113,300台，但在亞洲地區（含紐澳）則較2007年成長4%，總產值仍成長至62億美元。胡竹生認為，單就產值而言雖然不算多，但產業用機器人可說是個萬用槓桿，可以應用在許多不同的產業，發揮出各種功能，所帶動的產值是相當大的。例如一座大型面板廠動輒數百億新台幣元的建廠經費，機器人的部分可能不到10億元，所占比例看似不高，可是大型面板根本無法靠人工搬運，若以專用機械如輸送帶等，則其製程安排將幾乎沒有彈性，因此搬運機器人若動不了，這些廠就無法運作，數百億元的投資也就無法顯現其效益。

尤其在機器人技術逐漸成熟之時，服務型機器人也愈受重視，而且較產業用機器人更具發展潛力。以IFR的統計顯示，2008年全球專業服務型機器人的數量已達6.3萬台，產值更達112億美元，個人（含家庭）用的機器人數量，也高達720萬台；預估在2009至2012年間，專業服務型和個人用機器人的數量，將分別增加4.9萬台及116萬台。

而對「Eye to Motion」來說，在改良產業用機器人之外，服務型機器人也是

一大發展機會。胡竹生解釋說，當「Eye to Motion」延伸到服務型機器人，有兩個重要的技術，一是移動 (Mobility)，二是操控 (Manipulation)，兩者的目的都是要使機器人能在未知的環境裡行動；當眼睛 (視覺) 看到物體時，可以利用本身的手 (如機器手臂)、腳 (如輪子) 來動作，這時手就產生了操控，腳就提供了移動。

不論是手或腳，機器人經過行動之後，物體與環境也會不斷變化，必須再透過眼睛來辨識分析。因此，從環境到眼睛，從眼睛到行為，又從行為到環境，就形成了一種循環，而「Eye to Motion」正是解決從眼睛到行為這部分的關鍵技術。

胡竹生以醫學上的「手眼協調」來形容，當嬰兒出生後，在眼睛逐漸看清楚環境的過程中，最重要的是學習如何看到物體之後，命令手臂及手指做出反應，如學習去抓取前方物體，這種整體性的手眼訓練過程，和機器人可說是相同的。

服務型機器人成未來要角

假如服務型機器人能夠在未知的環境中自由行走動作，機器人為人類服務的範圍就可以非常廣泛。但現實是，要做到這種高等智慧的表現，短期內很難辦到；因為這時機器人是處在一種「非結構環境」裡，不像工廠裡的環境幾乎是固定或計畫好的，以一般家庭的生活環境，隨時都可能產生改變，當然也增加了視覺辨識與記錄運算的難度。

要能夠使機器人在未知環境中偵測辨別，基於「Eye to Motion」的技術，工研院是朝「VSLAM」(Visual Simultaneous Localization and Mapping) 的方向發展。如果未來買一台服務型機器人回家，首先便會面臨環境地圖的問題，最好的方法就是一面行走、一面建地圖，這和人類是相同的行為。

一般所謂的「SLAM」(Simultaneous Localization and Mapping，同步定位與繪製地圖)，是利用雷射掃描的技術，在未知的空間裡行走，並同時進行扇形的掃描，以在不同角度中獲得與各物體間的距離，如此就能描繪出環境裡的空曠部分，形成一份「尺寸地圖」。

透過雷射掃描的優點，在於準確性高，但價格昂貴也是不爭的事實。胡竹生表示，SLAM用在服務型機器人身上，若要配備雷射掃描機，過高的價格恐怕讓人卻步，因此才會導入「Eye to Motion」的視覺技術，以較便宜的攝影機來取代雷射，開發VSLAM來定位記錄地圖。

但是利用視覺影像的缺點，在於對尺度不夠精準，有時無法判別出正確的距離；不過，以人類的眼睛而言，也無法辨別出精確的尺度，只能得其大概而



從連續動作可以看出，經視覺影像的辨識運算後，驅動機器手臂抓取隨意放置的手機背蓋，並自動移至待組裝的手機上，精準完成組裝的動作。



手機組裝的過程中，必須將背蓋內側的突起，準確壓入機體上的小洞中，由人組裝且需花個幾秒鐘仔細對準，機器手臂卻能在瞬間完成。

已。若要採用VSLAM，可能得要放棄尺度，轉從抓取環境的特徵切入，並以對物體的辨識能力來加以操控。

高階技術仍待克服

有能力認識未被規劃的環境，是一項相當有用的技術。SLAM或VSLAM的技術如在公領域，胡竹生首先想到的就是地下坑道環境的運用，機器人若能使用SLAM技術，對地底環境與坑道位置瞭若指掌，並可自行行走，就能從事許多探勘、救援或挖掘等工作。

他還提到一項更先進的相關應用，就是自2004年起，美國國防部高等研究計畫局（The Defence Advanced Research Projects Agency，DARPA）所推出的Grand Challenge與Urban Challenge競賽。主辦單位每年設定不同的環境及路線，團隊參賽者可以運用各種控制系統與技術，讓無人駕駛的車輛順利跑完行程，途中還會有各種路況與其他車輛等狀況，這是對SLAM及VSLAM的技術極高的挑戰；甚至未來的車輛就能真正變成機器人。

服務型機器人還有另一大挑戰，就是使用者要如何指引機器人，讓機器人理解該做什麼事。若是機器人進入人類社會或家庭，所面對的是一般大眾，而非受過訓練的操作人員，因此必須適應人類的溝通方式，最直覺的介面就是「語音」。

服務型機器人的設計，應考量使用時的方便性，若要以按鍵輸入命令，就得走到機器人身旁；若要用遙控器，按鍵指令也無法設計太多。當機器人的功能愈多，透過「語音」技術，如果非得要用特定的詞句才能指揮機器人動作，就顯得沒有效率且不實用，而是要更口語化、人性化；例如要叫機器人過來時，與「過來」同義的詞都應該要能作用。

另外，當使用者所給予的訊息不夠完整，好比叫機器人「倒水」，卻沒有說明是要熱水還是冷水，此時機器人也應具備反問與對話的能力。在機器人的「語音」技術上，胡竹生表示，這些相關問題都還待研究解決，也包括如何避免環境中的雜音干擾、多人同時講話時的辨識，或是機器人的遠距收音問題等。

協同業者共同發展

事實上，過去在全球市場上即出現過不少服務型機器人，只可惜壽命大多不長。曾經設計出電子玩具菲比（Furby），並在全球大賣5,000萬隻，締造12億美元營收的鍾少男（Caleb Chung），於2006年推出新設計的電子寵物恐龍Pleo，由鴻海代工生產，並具有觸覺、視覺與聽覺等人工智慧及學習能力，還被《時代》雜誌（Time）票選為年度最佳發明，但該公司Ugobe卻在三年後宣布破產。

Sony於1999年推出的機器狗Aibo，也相當知名，於2006年停產前，共售出15萬隻。工研院機械所智慧機器人技術組組長王維漢認為，全球的服務型機器人產業尚未真正成形，在過程中也經常會有成功及失敗的案例；但儘管如此，國內的業者對於服務型機器人卻相當有興趣，尤其是ICT廠商，希望能夠藉由既有的技術基礎轉型，尋找下一個藍海商機。像是機器人領域的第一個整合型科專計畫「銀髮族伴侶機器人技術研發計畫」，是由華寶通訊、新光保全、慧智網等業者合作，鎖定高齡少子化社會中的銀髮族，共同開發「中高齡族群居家伴侶機器人」。

王維漢並表示，工研院承辦經濟部工業局的機器人產業輔導計畫，自2006年至今已有56個輔導案，顯見國內廠商對機器人技術的強烈需求。他還指出，目前工研院開發智慧型機器人技術，是以2007年底的第六屆全國工業發展會議中，針對智慧型機器人產業所提出三個發展方向為主軸，分別是家用、益智娛樂及產業用機器人，加速發展伺服器、感測、定位、語音等關鍵模組，並建置產業交流平台；而工研院也將在機器人產業的成形過程中，扮演好技術研發及協助廠商跨入機器人新興產業的角色。



產業用機器人在工廠內負責焊接、組裝、搬運、包裝等重要工作，必須承受得起很大的負載重量，此具機器手臂完全由工研院開發，目前正在做重量測試。