



何謂智慧機械(工具機篇)

文/蔡孟勳 中正大學機械系 教授

前言

在闡述何謂"智慧機械"之前，我們先了解"智慧"的定義也許更能說明如何達到智慧機械的目標。根據維基百科中對於智慧的定義來看，"智慧"是高等生物所具有的基於神經器官一種高級的綜合能力，包含有感知、知識、記憶、理解、聯想、情感、邏輯、辨別、計算、分析、判斷、文化、中庸、包容、決定等多種能力。

與高等生物相比，機械要

達到智慧化，第一步要具有感知的能力，然後才能進一步建立記憶、邏輯、判斷與決策等能力。過去以來大部分工具機並沒有很好的感知能力，而台灣工具機廠商對於工具機的大腦CNC控制器的了解也相對不足，因此要達成智慧機械的目標相對困難。因此本文希望透過解析工具機與控制器之間的關係來說明在發展智慧機械過程中所可能面對的問題以及必須開發的技術。

工具機系統架構

如圖1所示，如果把工具機當成一個人來看，電腦數值(CNC)控制器的角色就是人的頭腦，馬達與驅動器就如同一個人的手、腳，結構就如同身體，感測器就像人的感官知覺如聽覺與觸覺等，而通訊就如同神經般將知覺傳回給大腦進行判斷與決策。如果工具機能感知外界的訊號如位置、溫度、振動、聲音等，就能使工具機適應外界的變化做出較佳的決策，這樣相對地工具機就會有更高的價值。



圖1 工具機與人之類比架構圖



如何使工具機的頭腦變聰明，就必須透過感知與學習的智能化技術。過去在工具機方面，由於主要的感知元件來自馬達與平台的位置如編碼器與光學尺，而這些訊號通常各家控制器廠商有其溝通之介面，因此在與外界訊號的通訊整合方面並不容易。尤其是當工具機安裝了很多感測元件時，通訊也就是人的神經傳導系統就變得很重要。這方面將有賴於工具機通訊標準化的目標是否能夠達成。

智慧機械的範疇

為了了解智慧機械的範疇，首先必須探討世界各大工具機廠所開發之智能化功能，才能進一步分析以及建立符合台灣工具機業者之智慧機械。表一所示為DMG MORI，Okuma，Mazak，Mikron等四家工具機大廠所具有之智能化功能。其中DMG MORI的CELOS系統，乃是以手機的APP概念出發，透過應用程式的概念將加工任務、流程和機器參數進行完整的管理、存檔和視覺化，並能夠與CAD/CAM應用聯網，也能夠相容於PPs系統和ERP系統。目前台灣有幾家工具機廠也以類似的概念開發智能化技術。

如果將表1的技術分類，可分為下列幾類：

一 智能化操作管理、模擬與調機：語音導航、稼動率管理、加工干涉模擬、自動化調機技術、CAD/CAM整合。

一 智能化加工與切削：切削顫振控制、主軸變轉速控制、平滑化轉角控制、自動平衡、主動振動控制、熱變位控制、線上刀具磨耗監控等。

一 智能化監控與安全防護：包含智慧螺桿預壓偵測、多軸防碰撞、主軸監控、線上檢測與刀具壽命管理、稼動率管理、生產履歷等。

以上的技術有些需要透過外加感測器，如主軸溫升、振

動抑制、線上刀具磨耗、切削顫振偵測等需要加裝溫度、加速規、聲洩或是麥克風等感測器，但是有些智能化功能只需要控制器與伺服的資訊，如防碰撞、自動化調機、稼動率管理、生產履歷等，因此在開發智能化功能時，必須先釐清所需要的資訊以及如何取得此資訊的途徑。

發展智慧機械所必須面對的問題

如同前面所提到的，有些智能化技術必須安裝感測器有些並不需要外加感測器，不過不管何種形式，這些技術大都必須透過CNC控制器來實現，因此開發智慧機械的第一步就是

表1 四大工具機廠智能化技術

DMG MORI	(1)CELOS操作系統；(2)Smart Key；(3)機器保護控制；(4)自動化調機；(5) 3D quickSET；(6)主軸監控技術；(7)變轉速控制。
OKUMA	(1)熱親合與熱補償；(2)防碰撞；(3)操作導航；(4)五軸自動化調機。
MAZAK	(1)智能化熱變位控制；(2)智能化安全保護；(3)智能化校驗；(4)平滑轉角控制；(5)主動振動控制；(6)智能化主軸監控；(7)MAZAK語音導航；(8)智能化維護監控；(9)智能化車削工作台平衡分析；(10)智能化棒材裝載系統；(11)智能化設定功能；(12)智能化監控功能。
MIKRON	(1)加工引導：參數自動調整、CAD/CAM整合；(2)高效率切削：主軸最適轉速控制、切削顫振；(3)綜合誤差量測與補償；(4)檢測與診斷系統、耗材壽命監視、維護保養與刀具壽命管理；(5)遠端監控與管理。



須了解工具機的大腦—CNC控制器，才能將智能化技術安裝於控制器上。

以台灣工具機廠商最常用的FANUC控制器為例，在開發智能化功能時可以有三種安裝方式。如果希望將智能化功能內嵌FANUC控制器上可以透過Marco-executor以及C executor撰寫程式來擷取伺服驅動訊號，並透過開發人機界面來完成智能化功能，但是由於FANUC控制器在界面通訊方面相對封閉，因此如果所開發的智能化功能需要外部感測器訊號時，通常必須透過PLC數位IO的方式傳遞給CNC控制器，這種方式通常較為繁瑣，而且不適合感測器數目較多或是需要高解析度(12~16 bits)訊號，如振動訊號等，當然使用FANUC專屬的加速規也可以整合到控制器中，但是價格乃是一大考量。

另一種方式乃是PC +NC的方式，也就是將智能化功能以及人機操作介面安裝於PC上，此人機操作介面乃是透過FANUC所提供的FOCAS library以網路線連接到NC來擷取所需要的資料，這種方式彈性較大，乃是目前台灣工具機廠開發智能化功能主要採用的方式，但是方式無法達到即時性，因此如果所開發智能化功能需要同步擷取外部感測器的資料以及馬達伺服資料，那麼這種方式將

是個問題。解決方法之一，是可以透過C executor先擷取馬達伺服資料如位置、速度或是扭矩資料，並儲存於記憶體中，然後再透過FOCAS將資料傳回PC。以上兩種方法都需要具有電控與程式撰寫能力的工程師來進行。

另一個困難點在於感測元件的規格以及電路設計，由於工具機的感測元件並非如3C民生產品有那麼大的需求量，因此投入開發的業者不多，以加速規的設計來看，微機電(MEMS)感測器非常便宜，但是通常規格無法滿足業者的需求，例如顫振抑制通常量測的頻寬通常必須為20Hz-5KHz，但是一般微機電加速規並無法達到此規格，使用傳統壓電式加速規雖然可以滿足，但是價格並不便宜。因此在開發智能化功能時對於感測器的規格需求必須要相當明確。

另一個問題在於感測器電路設計，以溫度感測為例，thermocouple與PT100為常用的感測器，而且價格便宜，但是目前國內學界所用的感測器電路大都採用國家儀器(NI)之訊號擷取(DSP)卡，這種方式除了價格昂貴外，並不容易與CNC控制器整合，而且工具機的工作環境必須考慮到雜訊、電磁干擾等問題，因此在設計電路上必須更為謹慎。

第三個困難點乃是技術整合問題，以自動化調機技術為例，調機技術所必須了解的不仅是CNC控制器參數，最重要的是整機動態。也就是說自動化調機不只牽涉到控制技術而是整機整合性技術，能做到自動化調機必須了解CNC插補器設計、伺服控制以及機台特性，例如插補器參數中所設定之最大加速度、加加速度(jerk)等都與機台結構動剛性有關，伺服參數的增益、摩擦與背隙補償參數等都與傳動系統有關。

因此如果智能化的目標是希望能達到插補、伺服以及加工參數最佳化，那麼就必須建立所謂的虛實融合系統(Cyber Physical System, CPS)，也就是在工件在加工製造之前，能透過模擬分析軟體來計算加工工件之表面輪廓精度、表面粗度，這樣就能獲致加工時間短、精度高與加工效率佳的產品，目前全世界在這方面比較成熟的技術只有德國西門子。但是西門子所提出的技術並未包含熱變位、幾何誤差與主軸偏擺等效應，更重要的是此模擬系統只能應用於安裝西門子控制器的工具機。

發展智慧機械的方法與目標

針對以上的問題，目前筆



者與國內多位學者在科技部計畫支持下正在進行多項技術整合，希望能夠盡快突破開發門檻，以幫助國內工具機廠商開發其專屬之智能化功能。針對控制人機界面的問題，目前可以透過機械所與PMC所開發的VMX與SkyMars架構來快速建立遠端監控之智能化功能。透過C executor來擷取FANUC伺服驅動訊號以及外部訊號同步則正在進行中。

另外與上銀合作開發具有EtherCAT架構之智能化控制卡，目前已可以在研華寶元控制器上同步擷取伺服馬達的資訊以及外部溫度、加速規的訊號。而透過研華寶元的QUI designer可以同步顯示主軸溫升以及伺服馬達扭矩的訊號，我們期待以EtherCAT為通訊協定的傳輸模式能成為不同元件如同步驅動器、數位IO與感測器之間通訊的標準，這樣不但在訊號同步、配線以及資訊傳遞上面，將能更有效率。

在感測器的放大電路上，目前完成一多功能訊號擷取卡的設計，此擷取卡能夠同步整合thermocouple，PT100與PT1000等溫度感測器、以及ICP型式加速規、MEMS加速規等振動訊號，經由此擷取卡在同步量

測訊號後，可以透過此擷取卡的通訊介面與智能化控制卡連結，最後由智能化控制卡將外部訊號與伺服驅動器訊號傳回CNC控制器。

在技術整合方面，在科技部先進製造技術專案下，研究團隊整合了包含CAD/CAM、結構動態、熱變位、CNC控制器、切削、量測以及主軸技術等國內專家學者共同開發一套多物理動態模擬系統，透過這些技術希望能實現虛擬製造的目標，未來期待能進一步將這些技術應用在如切削顫振控制、主動振動控制、熱變位控制、線上刀具磨耗監控等功能。

結論

智慧機械乃是智慧製造的前哨戰，而智慧工具機乃是智慧機械相當重要的一環，智慧工具機乃是由CNC控制器、感測器、智能化螺桿、智能化主軸等元件所構成，當具備智能化功能後，智慧工具機將具有感知、判斷、計算與決策等能力，能夠監測自身的狀態，進行自我管理與預知保養，也會根據自身的特性、加工工法、工件載重與材料性質，自我設定最佳化控制與加工參數，並且預知加工件的品質，我們最後的目標希望能設計出具有自我檢測能力，並能達到高速、高加工品質以及高可靠度之智慧工具機。

