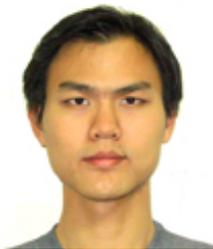


CPU Based 運動控制技 術簡介

作者:工研院機械所副研究員 黃偉峰



中文摘要:

工具機產業近年來為台灣加分不少，所帶來的商機僅次於電子業，然而在韓國甚至中國大陸製造商的壓力下台灣工具機的技术再提升顯得相當重要。運動控制器屬於其中的關鍵零組件，而從 PC-Based 邁向 CPU-Based 的架構已是目前的趨勢，可以再進一步提升速度與精度。

英文摘要:

Taiwan mechanical industry boosts recently. Its commercial energy is only less than electrical industry. However, because of the pressure from the growth of Korea and Mainland China, to update our mechanical skill is quite important. Motion control unit is a key component inside. For the purpose of upgrading control speed and precision, the change from PC-Based structure to CPU-Based structure becomes the trend.

關鍵字:

運動控制、CPU-Based 控制器、嵌入式系統

英文關鍵字:

Motion Control、CPU-Based Controller、Embedded System

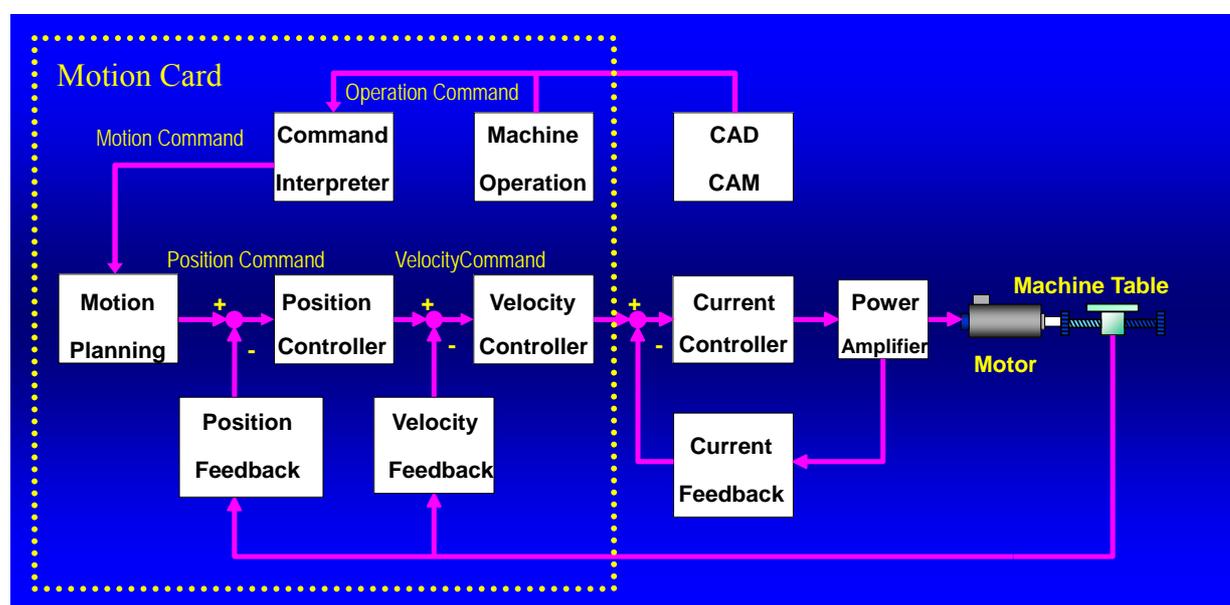
前言

台灣工具機產業在歷經多年投入研究發展，政府輔導與協助進行全球拓銷，工研院母雞帶小雞的效應下，已吸引無數廠商投入，達成了令人矚目的成果。工具機的成功銷售也相對帶動了台灣關鍵零組件業的蓬勃發展，如工業控制器亦因此形成聚落，在台中科學園區尤其可見。在工具機業界多年採用之下，規模逐漸擴大，除中國大陸與東南亞，並逐漸外銷歐美，形成在國內外市場均具有競爭力之企業。

其中，工具機的關鍵零組件以往均掌握在國外大廠的手裡，如控制器、馬達、驅動器等，然而這些對工具機而言，卻影響台灣工具機廠商的技術與成本問題。台灣工具機是屬專業分工產業，關鍵零組件對工具機生產廠家，具有提升質量的絕對因數，除了要固守目前的品質外，不斷研究創新擺脫國際大廠的桎梏是目前極為重要的課題。

工業控制器屬於機械的關鍵零組件，使用者透過控制器下達指令，將計算出插值命令傳到驅動器以驅動馬達。目前國產機械的控制器市場來說，關鍵的運動控制 IC 多半受控於國外廠商的掌握，如 NPM、NOVA、PMD、Cosmo 等，沒有議價的能力與空間，造成產品成本的居高不下，喪失產品競爭力，對於新機器功能的研發也有所限制難以突破。有鑑於此工研院機械所團隊不斷的致力於控制器領域的開發與研究，至今已有提供完整的軟硬體控制器系統。

圖一為一完整的控制系統，前端 CAD/CAM 依照物體形狀產生路徑，透過人機介面將命令送入運動控制卡，控制卡組成不外乎介面控制晶片與運動控制晶片，運動控制晶片依能力可以細插值、閉迴路控制或甚至可以直接解譯簡單的運動命令如點對點及直線等。目前國內的運動控制晶片代表為工研院機械所的 EPCIO 6988 Motion IC，其內部運算頻率最高可以到達 40M，最大輸出 10Mpps，並同時處理六軸閉迴路。



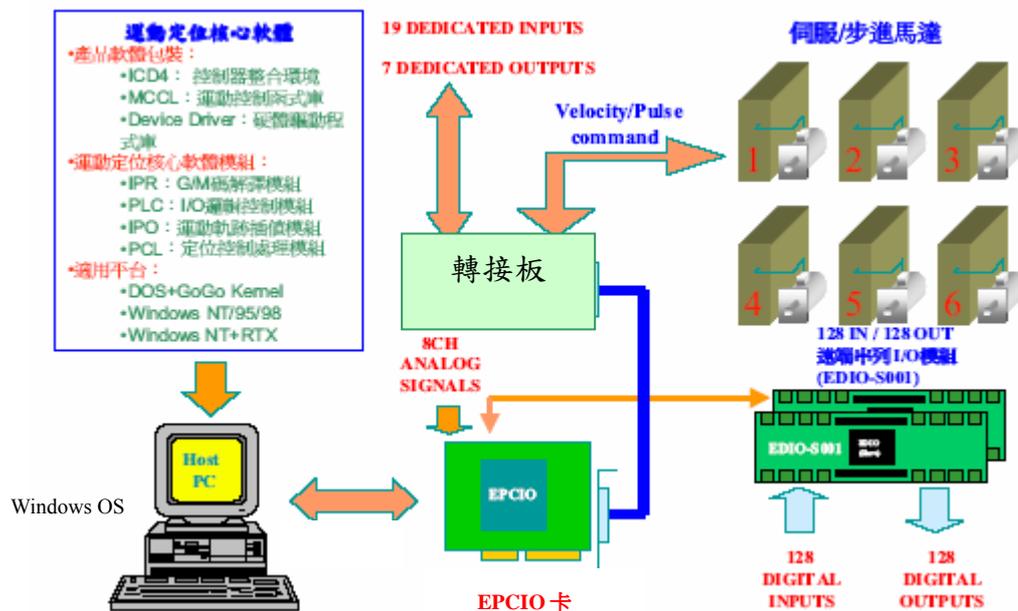
圖一. 控制迴路

控制器若以架構來分，目前市面上所見的控制器可以分為三種：PLC-Based，PC-Based 和 CPU-Based 控制器(stand alone 型)。PLC-Based 和 PC-Based 控制器必須搭配控制模組(卡)，方可提供精確的多軸同動，諸如：插補、路徑控制及多軸回饋等，通常控制卡單張可控軸數為六軸以下。

當用戶端的應用較為複雜多樣，彈性不大的 PLC-Based 控制器便不再是理想的選擇，而應採用應用範圍較廣的 PC-Based 控制器，因此發展廠商可以為客戶開發專屬的軟體控制器。PC-Based 系統常見為 IPC 透過介面與運動控制卡溝通，搭配商用 Windows 或 Linux 作業系統組成控制器，通常情況下包括一個用於控制伺服迴路的微處理器(例如 Intel CPU)、運動程式及軟體控制器。作業系統的選擇常取決於人機介面的開發與即時性的問題，由於 Windows 系列作業系統除 CE 外均非強即時系統(Hard Real-Time)，在高速高精的需求，單一處理器若要快速更新人機介面顯示會產生資源不足，而無法符合要求的窘境，但在 Windows 開發人機介面卻是相當便捷的事情，因此廠商採用 Windows 時往往會搭配 FIFO(First-In-First-Out)緩衝儲存器架構讓命令不至於產生連接不上的問題。

PC-Based 控制器應用範圍相當廣，例如 CNC 和半導體設備，尤其是適用於需要路徑同步的多軸控制。現階段工研院所開發之 PC-Based 運動控制卡，採用 EPCIO(Exquisite Positioning Control & Input/Output)六軸運動控制晶片，配合自行開發之 MCCL(Motion Control Command Library)，並採用 Windows 系列作業系統，如圖二。雖然隨著微處理器速度越來越快，使用 FIFO 的 EPCIO 運動控制卡在使用上不會發生問題，但若要做到高速度高精度，必須採用即時性的作業系統(RTOS)才是根本的方法。另外，運動控制演算法程式的實現日益龐大、變數眾多與複雜，將佔用太多 CPU 資源，可知傳統的 PC-Based 系統已是越來越不可行。工研院目前已經著手開發新一代的 IMC(Intelligent Motion Control) IC，跨入 CPU-Based 領域指日可待。

何謂 CPU-Based 控制器呢？以圖一或圖六的架構解釋可能較為清楚，在控制迴路上 CAD/CAM 端為 PC 端，命令進入控制卡後若不需要 PC 端的微處理器幫助，便稱為 CPU-Based。若干控制卡為了節省 PC 端的開支將控制卡上添加 DSP 或其他 CPU，或是讓控制 IC 具有解譯簡單運動命令的功能都算是此類控制器，前者的彈性較大，能做更複雜的解譯及運算，後者則常為特製化的控制器。



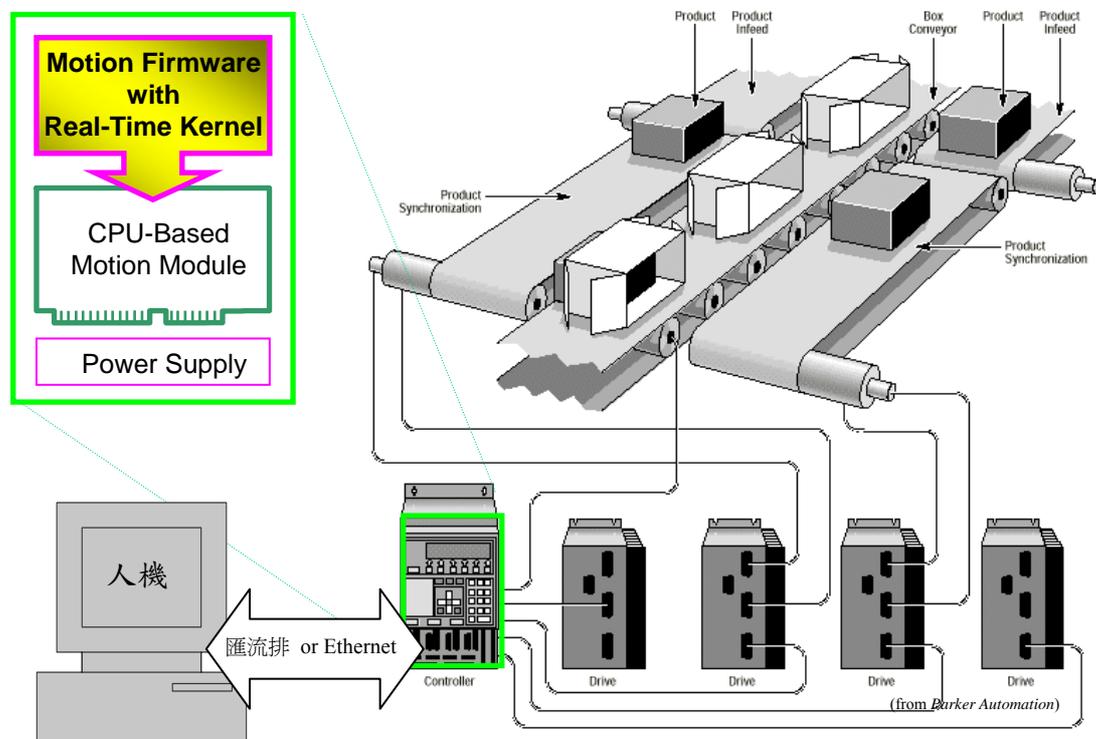
圖二. 工研院 PC-Based 控制系統架構

為何選用 CPU-Based 控制器

目前業界所使用的工具機要求已從高速逐漸轉向高速高精，而一些計算較為複雜且需精確位移的設備如半導體設備和 CNC 機台等，普遍採用 CPU-Based 的模式。若干國外廠商開始採用 CPU-Based 控制器，亦即將為處理器整合進入控制 IC 或控制卡，而形成所謂 stand alone 的架構，減輕 PC 端處理器大量運算的負擔，因此 PC 部分變成可有可無，僅負責下達使用者命令的人機介面，兩者以匯流排(ISA, PCI, Ethernet)做溝通。如圖三，CPU-Based 運動控制器負責主要的運算任務，微處理器以中斷服務常式(ISR)的形式不斷執行運動控制演算法，在每次中斷發生，演算法依序通過輸入介面(編碼器等)讀取系統目前位置，經過計算後通過輸出介面更新驅動器(一般是透過 DA 轉換器輸出電壓，新式為全數位輸出)，進而改變系統的輸入，同時接受 PC 端的運動命令，將執行結果和自身狀態回饋給 PC 進行人機顯示。隨著每秒數千次的中斷不斷發生，運動控制演算法持續運行，演算法在每次中斷觸發[4]。

這樣的運動控制卡加上微處理器，便形成現在最流行的嵌入式系統 (Embedded System)，此作法已在 CNC 機床、工業機器人、醫療設備、繪圖儀、IC 製造設備、IC 封裝等領域獲得了廣泛的運用。目前運動控制卡大部份採用 8051 系列的 8 位元微控制器，雖然節省了開發周期，但缺乏靈活性，難以勝任要求較高的運作環境，而且運算能力也有限。另外功能較強大的如 DSP 或嵌入式 FPGA，其資料運算處理功能強大，即使在很複雜的控制中，取樣周期也可以很小，控制效果更接近於連續系統。雙處理器控制器系統是高性能數控系統之發展趨勢，其高速運動控制卡作細插值(fine-interpolation)、伺服控制的核心，對運動進行控制，得以取得較好的實際應用效果。

此外，隨著控制器中許多高速串列通訊的選擇出現，CPU-Based 控制器也整入數位串列傳輸的功能，因此單一控制器可控軸數會變更大且範圍更廣。



圖三. CPU-Based 控制系統架構

CPU-Based 的架構亦目前為硬體商所推動的趨勢。英特爾資深副總裁 Anand Chandrasekher 於 2006 年中曾表示現今的架構，”在單核心處理器下如果超頻二〇%，效能提升一三%，耗電卻上升七三%，但如果把處理器減頻二〇%，再結合成雙核心，就可以讓效能提升七三%，卻只增加二%耗電，這就是雙核心令人興奮處”。因為處理器的設計正從提高頻率向降低功耗的方向轉變，為滿足更高性能的要求並使功耗不超過許多應用所能承受的範圍，微處理器的一個明顯變化是從頻率越來越高向多核心架構轉變[6]。

在採取單處理器的架構下，高速高精的實現必須仰賴時脈的提升，更高頻率的元件需要更高的電源電壓，因而其功耗也呈指數成長。更高頻率的處理器還會增加中斷等待時間，這對即時應用來說非常關鍵，並需要為核心提供更深的管線。當處理器執行一條未曾預設的指令時，管線將會擁塞造成執行停止，這會對即時性能造成嚴重影響。而更高的頻率需要額外的時脈開銷，處理器需要在時脈邊沿附近設立一定的安全裕量以確保正確執行。但因安全裕量近似保持不變，所以隨著頻率的增加，在一個時脈週期內可用的時間實際上會更少。因此，增加頻率並沒有相對提高性能。因此，多核心處理器架構實現系統不但可使性能的提高，亦同時使功耗的增加最小[6]。

CPU-Based 的架構還擁有其他優點，如同其他的嵌入式系統產品，他比起 PC-Based 彈性更大，不但能依使用者需求實現外形尺寸小、降低成本，更能同時提升性能與可靠度。

國內廠商技術與產品

目前國內廠家所生產之控制器多集中於 PC-Based，規模較大的廠商已紛紛推出嵌入式系統，搭配自我品牌的運動控制卡。目前各廠家使用的之運動控制晶片除工研院自行研發之六軸 EPCIO 晶片之外，多數使用的是美、日、德國所製作之晶片。這顯示台灣雖是 IC 設計的強國，但設計產業仍固守於光、電、通三大領域，而未跨足它域，這部分仍有待政府大力倡導[10]。

工研院機械所

工研院伺服控制團隊採用自行研發之六軸運動控制晶片 EPCIO 6988-02，將六軸 DDA 脈波輸出電路、六軸閉迴路定位控制電路、九軸 Encoder 回授計數器電路、八組 ADC 控制界面電路、八組 DAC 控制界面電路及最多 768 點的分散式串列傳輸的數位輸出入控制電路整合至單顆 12 萬 Gate 的 ASIC 之中。整合了一般產業機械控制所需的大部分功能，只需要加上簡單的周邊電路就可以形成三到六軸的系統控制卡，再配合 PC-Based 運動控制卡就可以形成一套架構簡單而功能完整的控制器系統。由於大幅降低控制系統的複雜度，因此可以降低產品生產及維護成本，提高系統可靠度及維護性。工研院除推出 4 軸及 6 軸之 PC-Based 控制卡，也有無數為其他廠家成功開發嵌入式控制器的經驗。

寶元科技

寶元科技所生產 LNC 系列數值控制器，除應用在車床、銑床、磨床、雕刻機的標準型工具機製造廠，並延伸到生產半導體、LCD 設備的廠商。寶元除開發使用 Linux 作業系統之 PC-Based 控制器外，更推出 Embedded Linux 即時系統之 CPU-Based 控制器，可廣泛滿足不同領域的需求[9][10]。

研華科技

主推產品包括 PCI-1202 及 PCI-1247，見圖四，其內部採用 NPM 公司的運動控制晶片，最多可控制到四軸，並進行硬體直線與圓弧差補。最大的特點在於採用 AMONet™ 技術，透過 RS-485 串接式 Field Bus，可

控制一般I/O 模組及stand alone運動控制模組[10][11]。



圖四.研華 PCI-1247[11]

凌華科技

凌華科技於台灣成立約 10 年左右，並在美國加州、北京、上海、深圳、新加坡有海外據點，公司推出產品相當多樣，使用日本 NPM 的運動控制晶片。目前以找尋工具機廠商合作開發下一世代的嵌入式 CNC 控制器及研發 DSP-Based 運動控制器為目標。軟體產品方面亦有做到 Web-Based 控制系統及嵌入式 Linux 作業系統。圖五依序為凌華 GEME 1000 系列控制箱、MPC-8164 四軸控制模組與及 SSCNETII 模組；控制箱包含 CPU 與作業系統，透過四軸控制模組可同時控制四軸馬達，此外可利用 SSCNETII 模組最多做到 12 軸的遠端控制[10][13]。



圖五.嵌入式控制器與模組[13]

和椿科技

使用日本 NOVA 公司研發之 MCX314 運動控制晶片，可連接四軸的步進，或伺服馬達，同時可以控制每一軸的速度，位置，以及多軸的直線，圓弧補間[10][14]。

國外廠商技術與產品

國外大廠大多擁有自行開發晶片，生產控制卡及控制器的垂直整合能力，較能掌握技術優勢，並控制價格[17]。

1. 日本 NPM 公司：可定速和變速脈衝輸出、加減速規劃、直線或圓弧插補、原點及極限開關管理、編碼器計數，失步檢測等，在 PCL6045 中更有預置寄存器可存儲下兩段插補參數，可保證多段插補運動的連續性。另外，還有間隙補償，伺服停止時減少振蕩等獨特功能。在使用上，主控端（微處理器或 PC）只需向 PCL 晶片發出簡單指令，即可實現各種複雜運動，因而可將其自身資源主要用於人機介面（鍵盤、顯示等）以及 I/O 監控。這樣可以大大簡化運動控制器的軟硬體結構和開發工作。更由於軟體發展簡單、快速，可以由更少的軟體研發人員花更少的時間完成複雜的運動控制系統設計[15]。
2. 日本 Nova 公司 MCX 系列晶片：可以進行各軸獨立的定位控制、速度控制。4 軸的位置、速度、加速度等的運動控制和即時監控，實現直線、圓弧、位元等 3 種模式的軌跡插補，輸出脈衝頻率達 4 MHz。每軸都有伺服反饋輸入端、4 個輸入點和 8 個輸出點，能獨立地設置_定速、梯形、非對稱 S 曲線加減速、非對稱梯形驅動的自動加減速控制方式，實現位置的閉迴路控制。並有自動搜尋原點、輸入信號濾波器、同步動作、32 位元輸出脈衝、32 位元圓弧/直線插補脈衝範圍、手動設定模式等功能。
3. 美國 PMD 公司 Magellan 系列：可以用來分別控制直流有刷、直流無刷、微步進以及脈衝或速度型式的馬達，只需一個外加驅動放大器便可工作。使用者可選擇的加減速控制模式包括 S 型，梯形。伺服迴路補償採用 32 位元位置誤差，速度和加速度前饋的 PID 控制模式。Magellan 運動晶片提供了超過 130 個命令，可初始化和控制運動軌跡，進行性能監視。

國外晶片大多能夠直接解譯運動命令與硬體加減速，因此若非進行特殊運動命令解譯甚至不需要額外添加微處理器，對制式化的工業機械移動模式事實上相當快速，也能很精確的移動到指定位置，在中低階的控制器實是相當具有競爭力。但相對的他們也缺乏彈性無法依實際狀況需要調整。此類 IC 適合使用在產業機械上或半導體設備上，不適合於 CNC 控制器上，而且使用成本較為昂貴。而工研院 EPCIO 在加減速及軌跡規劃(粗插值)採完全軟體計算，正好適用於對軌跡複雜的 CNC 控制器，細插值則完全由硬體線路即時處理，減輕 CPU 之負荷量。

由公司導向比較，國內廠商偏向組裝他國關鍵零組件，並進行以產量取勝的方式，而國外廠商則更深耕於零組件，以高精密技術與高單價的取勝。目前國外廠商偏向開發 CPU-Based 運動控制板，並授權國內廠商用其控制 IC。因此台灣的工具機廠商情況有點類似電子業的代工。

近年來工具機之發展

台灣機械工業經多年發展，年產值約達新台幣 6 千億元，高居全球第 5 名，居台灣各產業外銷排名第 2 位，僅次於電子產品出口項目。依 2004 年全球各國工具機相關公會所提供與彙整之產銷資料，台灣無論在生產、出口、進口與消費等各方面均有大幅度之增長。此波特別是在北美與歐聯產銷均受限之情況下，亞洲國家之表現則是可圈可點，亦形成此波最重要與最具代表性之產銷地區[1]。

依美國 Gardner Publications, Inc. 所發表之全球產銷統計分析，2003 年全球工具機之總生產值達到 362 億 7 仟餘萬美元，較之上年成長 12.8%。前 20 大生產國之總產值為 356 億 8 仟萬美元，佔全球產值 98.4%。排名全球第一是日本，產值 78 億 6 仟餘萬美元，佔全球產值 21.7%。德國排名第二，產值 75 億 2 仟餘萬

美元，佔全球產值 20.7%。義大利位居第三位，產值 41 億 8 仟餘萬美元，佔 11.5%，大陸產值 29 億 1 仟萬美元，佔 8.0%。美國產值 22 億 1 仟萬美元，佔 6.1%。台灣產值 21 億 2 仟萬美元，佔 5.9%。韓國產值 20 億 5 仟萬美元，佔 5.7%。瑞士產值 17 億 3 仟萬美元，佔 4.8%。2003 年生產成長率較高前 10 大國家日本與韓國均成長 30%，大陸成長 24%，台灣成長 16%，德國成長 14%，義大利成長 12%。美國與瑞士則是衰退，分別是 7%與 2%。目前全球各種投資活動仍以大陸與東南亞為主，歐美景氣普遍不佳，而東歐、西南亞、中東機會甚多。

近年台灣工具機之出口能大幅成長，但亦同時產生高度集中於大陸與東南亞市場，此方面則讓人感到憂心。而台灣目前在高科技領域如半導體產業、TFT-LCD 產業、光電產業等製程設備之研發，其投入仍少，特別是政府在鼓勵產業發展時，其所灌注之各種租稅優惠，幾全部給予產品之生產工廠，面對產品加工設備研發所需要之各種資源與優惠，多未能真正提供必要之輔導與資源。生產廠商為忙於生產線之快速建廠與產品之生產，亦多不願節外生枝來顧及生產設備採用國產品，但就產業之競爭模式，生產廠如不能適度掌握新的且自主之加工設備，則對其產品之產出成本與品質良率，將會居於不利之地位。

整體來看，我國模具產業體系雖然完整，但對於製作高精密度與複雜度的模具，卻常常受限於對成形材料特性無法掌握、模具設計能力待提升、無資金購置高精密度工作設備等問題，使得技術能量位於高端的模具業者少之又少。但就未來應用產品「輕、薄、短、小」的趨勢來看，如果業者若不能持續提升技術能力，朝超精密模具製作發展，將減弱業者在國際市場的競爭力，且無法擺脫成本競價的營運模式，在中低階產品市場，目前台灣、南韓競爭激烈，大陸業急起直追，中小型標準成熟機種，將面對各方廠商的低價競爭。台灣廠商外銷市場雖不受影響，但大陸內銷市場在產品差異化日益縮小，廠商壓力倍增。台灣的工具機上有歐美、日本、韓國工具機，下有中國大陸工具機作兩方面夾殺，這種威脅之威力很大，台灣工具機若不趕緊提昇工具機的質量，一旦被大陸工具機廠追過，台灣工具機就會被淘汰出局。

CPU Based 運動控制與可行技術

在嵌入式系統裡，硬體與軟體常常密不可分，而且又存在著許多與桌上型電腦系統不一樣的地方，大部分的嵌入式系統的微處理器都是以 SoC 的方式發展，在軟體的開發流程方面，嵌入式系統的軟體常常以韌體的形態存在。為了達到產品快速上市的目的，軟硬體同時發展更是這個產業常見的現象。

嵌入式作業系統 RTOS

嵌入式系統是目前極為熱門的行業，在短時間之內便吸引相當多的廠商進入研發，市面上出現相當多商業化嵌入式即時作業系統的開發版本，最著名的如 VxWorks、WindowsCE 及 Embedded Linux 等，見表一。國內有愈來愈多廠商採用嵌入式作業系統(Embedded Operating System)作為開發消費性電子產品的核心技術，但自行開發的廠商並不多。

嵌入式系統在電源開啓時會呼叫啓動載入程式(Boot Loader)進行載入核心(Kernel)的動作。由於嵌入式系統所擁有的系統資源有限，如何能在有限的資源條件限制下，達到最終目標並發揮良好的效能，是嵌入式系統在開發過程中最大的挑戰，而嵌入式作業系統是嵌入式系統能否有效發揮效能的重要角色。下表是著名嵌入式作業系統列表[2][3][7][8][16]：

Name	Company	Websites
VxWorks	Wind RiverSystem	wrs.com
pSOS	Wind RiverSystem	wrs.com
VRTX	Microtec	
LynxOS		lynuxworks.com
Bulue Cat Linux		lynuxworks.com
QNX	QNX	qnx.com
OS-9	Microware	Microware.com
Nucleus	Accelerated Tech.	
CMX 8051Tools	Tasking	Tasking.com
RT/Studio IDE	Precise	psti.com
Embedded Linux	Green Hill	ghs.com
Embedex Linux	Lineo	lineo.com
Redice Linux	Redsonic	redsonic.com
Windows CE	Microsoft	Microsoft.com
Windows XP Embedded	Microsoft	Microsoft.com
eCos*		
μC/OSII*	Microμm	www.ucos-ii.com/

註：整理參考自[2][3]，*表示免費並開放 Source Code

表一

以下介紹幾間廠家[8]：

1. μC/OS-II：μC/OSII 是一個具有高度可移植性、可製成唯讀記憶體(ROM)、可擴充、可中斷、即時以及多工的核心程式。μC/OS-II 不但通過了美國 FAA(Federal Aviation Administration)的認證，且被商用飛機使用於 RTCA DO178B 的航空裝置。直至今日為止，μC/OS-II(含其前身 μC/OS)已經被數以百計的商用產品所採用。μC/OS-II 擁有著高度的可移植性 (portability)，可基於不同的硬體架構而使用不同的 port，而作業系統本身完全不需要作任何程式碼的更動，網路上有眾多的 port 可供免費下載。其原始碼幾乎 99%符合 MISRA(Motor Industry Software Reliability Association)的程式撰寫格式，可輕易地更改以及維護 μC/OS-II。
2. Embedded Linux：通常我們稱使用於嵌入式系統內的 Linux 為 Embedded Linux，雖然以往大多數 Linux 系統運行在 PC 平台上，但因其原始碼開放免費、可擴充性、可設定性、模組與結構化設計並且可長期執行的能力，故近來也漸漸成為嵌入式系統的可靠主力嵌入式作業系統。一個功能完備的 Linux 核心約需 1MB，然而一個有網路功能及 Web 伺服器功能的 Linux 核心大約只需 500KB。Linux 已被移植到大多數的微處理器上執行，產品開發者只需專注於專屬硬體的驅動程式撰寫及應用程式開發。一般開發主機上以 PC 為主，可在其上直接安裝 Linux 為開發系統或是在 Windows 作業系統上安裝 Cygwin，接著下載 Linux 核心的原始碼及 GNU 的 Tool-chain，並把 Tool-chain 編譯成 cross-compiler(通常網路上都能下載已經編譯好給各種不同目標 CPU 的二元檔)能將 Linux 核心原始碼

編譯成目標板上 CPU 能執行的機器碼。在啟動載入程式的選擇上就非常多，如 UBOOT、LILO、PMON 都是強大且免費的套件，而根檔案系統方面，一般都會實作 RAM 磁碟以儲存系統程式及系統檔案，並且啟動 Flash 磁碟以儲存系統運作過程中需要記錄的資料，不會因系統重開機而消失，然而要支援 Flash 磁碟，目前主流的解決方案是以 MTD 及 JFFS2 套件來建立 Flash 記憶體虛擬磁碟分割，以支援 Linux 的虛擬磁碟系統(Virtual File System)，使一般 Linux 上的應用程式能夠直接命令 Flash 磁碟作存取資料的動作，達到透明化(Transparency)的目的。至於系統程式的製作上，目前大多使用 BusyBox 套件。特別值得一提的是，Linux 受到 GPL(General Public License)授權的保護，只要程式中引用部份的 GPL 程式，就必須受到 GPL 的制約，也就是必須公開程式的原始碼，因此若此原始碼關乎公司的重要機密，則必須特別留意 GPL 的版權問題。

3. Vxworks & Psos：VxWorks 作業系統是美國 WindRiver 公司於 1983 年設計開發的一種嵌入式即時操作系統 (RTOS)，是嵌入式開發環境的關鍵組成部分。良好的持續發展能力、高性能的內核以及友好的用戶開發環境，在嵌入式即時操作系統領域佔據一席之地。它以其良好的可靠性和卓越的即時性被廣泛地應用在通信、軍事、航空、航太等高精尖技術及即時性要求極高的領域中，如衛星通訊、軍事演習、彈道制導、飛機導航等。在美國的 F-16、FA-18 戰鬥機、B-2 隱形轟炸機和愛國者導彈上，甚至連 1997 年 4 月在火星表面登陸的火星探測器上也使用到了 VxWorks。
4. Windows CE：雖然微軟 Windows 系統已經稱霸了 PC Desktop 環境。但是對於嵌入式系統這塊大餅，微軟亦是充滿野心，桌上型的 Windows 作業系統對於嵌入式系統來說自然是太過於龐大的產物，於是微軟推出精簡版的 Windows CE 作為進攻嵌入式系統的主力。目前主要應用於 PDA 上頭。Windows CE 可應用於 PDA、WebPAD、Thin Client 等等。

整合式晶片：SoC

嵌入式產品所需之處理器及晶片組較 PC 要求體積小、散熱佳、省電，因此多採用高整合度的 SoC (System-on-Chip)為其處理器核心，為了儘速縮小製程技術進步與設計生產力間的差距，並加速 SoC 的實現，SIP(Silicon Intellectual Property)的重複使用(Re-Use)成為各方矚目的焦點。SIP 即所謂矽智慧財產權 (Silicon Intellectual Property)，或半導體智慧財產權(Semiconductor Intellectual Property)，在智財權前面加上矽或半導體，是為了要與一般所稱的智財權有所區分。這類型的產品眾多，例如國家半導體(NS)的 Geode SC1400 整合 CPU、繪圖晶片、MPEG-2、I/O 及 TV out 等功能，就適合於家庭數位影音設備的產品運用。其他則還有 Intel、Motorola、Transmeta 等廠商投入單晶片的設計[7]。

串連介面與全數位控制

由於在傳統控制器與驅動器的控制架構下，很難由外界控制器讀取並即時調整伺服參數，沒有辦法藉由傳統配線方式讀取這些參數，也就沒有辦法在控制器上完成掌握這些參數，無法進行自我檢測與調機。此外，傳統的控制卡及驅動器的連接目前亦相當繁瑣，控制卡在送出電壓命令時需將 CPU 運算之數位資料透過 D/A 轉成電壓，在進入驅動器後，因驅動器亦為 DSP 運作，又需將電壓命令轉為數位。除了增加 A/D、D/A 的成本外還讓資料多了誤差的麻煩，若使用全數位架構，並透過串列傳輸，便可解決上述問題。

隨著網路通訊科技的日新月異，如 Ethernet 的技術發展與應用的成功，運用串列式通訊的方式來解決傳統運動控制架構應該是必然的趨勢。然而，串列式傳輸系統的困難在於沒有共同遵守的通訊協議標準，以運動控制系統來說，不論在硬體或是通訊協議上，目前也沒有統一的標準可言。表二所示是市面上可以看

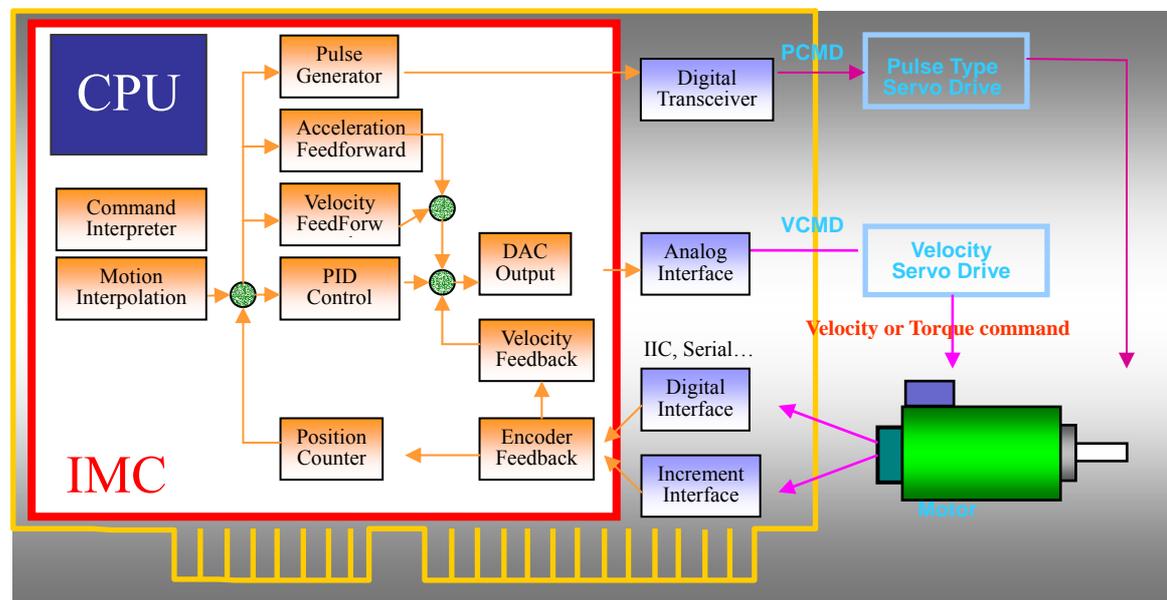
到的各式串列式運動控制通訊協議的一覽表。硬體傳輸媒介主要有：RS485、IEEE1394、光纖及Ethernet四種，通訊協議方面目前是百家爭鳴，雖然SERCOS (IEC-61491) 是僅見的國際標準，但是日本、美國、歐洲等伺服器大廠仍是定義自己的通訊協議[16][17]。

	SERCOS	SSCNET II	Mechatro LINK	SynqNET	IEEE1394	F2NET
Max. inter-node Distance	20m	30m	30m	100m	4.5m	60m
Data Rate	16Mbps	5.6Mbps	10Mbps	100Mbps	400Mbps	100Mbps
Cycle Time	2ms	0.8ms	1ms	0.1ms	0.1ms	0.5ms
Transmission Media	Plastic Fiber	RS485	RS485	Ethernet	Firewire	Shielded Twisted Pair
Maker	Indramat Sanyo	Mitsubishi	Yaskawa	MEI	Agile System	Panasonic

表二.各式串列通訊比較表

工研院新一代運動控制晶片—IMC

目前工研院機械所正積極開發新一代的運動控制 IC，稱為 IMC，如圖六，為新一代 CPU-Based 控制器之核心。透過 FPGA 廠商的 SIP 將 CPU 整合為同一顆，可節省採用 DSP 的額外空間。因為製程的進步，新的 IMC 將採用 90nm 製程，與 130nm 製成的二代 EPCIO 比較意味著時脈的提高、電壓下降及功耗降低的優點，得以提升 Motion Asics 的更新頻率。過去工研院晶片 EPCIO 以硬體處理之伺服控制迴路將可變的更為複雜及精細，如添加 PID 與前饋控制，甚至因為 CPU 的內建，可更有彈性的將軟體控制器 MCCL 整個搬入控制卡的記憶體內，讓 IMC 內的作業系統可以處理更為複雜的路徑規劃問題。



圖六. IMC 架構

IMC 控制晶片之開發，當能整合原EPCIO ASIC的特性及歐美DSP運算器架構，達到高功能，高整合性，高彈性，高可靠性，低成本之目標。IMC module 不只能搭配傳統之伺服驅動器，將預留全數位式(網路)伺服驅動器之界面，應用場合將更寬廣。對於專用型控制用途，IMC卡可獨立運作，不需PC，整體成本可

望降低。目前EPCIO-Based控制器主要定位為中階層級，對一些高階運動控制雖可達到，但是所需的Overhead大多需要有CPU完成。國內高階控制器目前主要還是以國外廠牌為主，完成IMC後，可滿足高階運動控制功能需求，可提昇國內控制器層級至中高階，此外，IMC擁有兩種不同架構，一為獨立工作的專用型控制器，二為與PC結合構成高功能型控制器，此外，IMC卡可連接各型馬達驅動器，包括脈波型、速度命令型外並具全數位(網路)伺服通訊介面，應用彈性極大，未來可適用於CNC 工具機、各種產業機械、機器人等控制系統，應用場合最寬廣。

結論

工業控制器畢竟經過多年來的發展，不論是在控制理論或者是實務層面都已經進入成熟的階段。但是隨著科技的進步，會讓我們有機會運用更現代的技術來實現伺服系統的設計。例如在硬體的資源 (CPU 或 DSP等) 取得和成本的考慮下，實現全數位的伺服控制 (甚至是全軟體伺服控制) 就是現階段已經可以實現的目標。在伺服部分，目前正處是控制卡技術延伸至驅動器功能或是驅動器吃下控制卡的狀況，但不論如何，相關控制技術與嵌入式系統的技術是勢必存在於贏家當中。未來，全數位應是發展的趨勢，若能搭配運動控制網路以串列傳輸的方式整合，以達成省配線的設計，這樣的架構將是整合式伺服下一階段的發展方向。

另外，產業用的伺服控制系統其實選擇是相當多的，端看企業的定位為何，目前台灣的工具機正處於蓬勃發展的階段，也因為如此，台灣在關鍵零組件的研發上面或許會因為仍有獲利空間而未獲重視，值得相關單位的思考。

Reference

1. “台灣工具機產業現況與未來發展趨勢”，王正青, TMTF 官方網站, 2004
2. “Open Resources of RTOS for Embedded Systems”, Beibei Shao, Conference on Nuclear Electronics & Detection, 2002
3. “Embedded OS 比較與分析”，廖炎煌, 鑫科資訊公司官方網站, 2001
4. “DSP+FPGA 在高速高精度運動控制器中的應用”, Zhu Xian-xin , Huang Tao , Deng Qi-hui , Lu Luo-xian, 電子工程專輯, Apr, 2004
5. “一種運動控制演算法的高效即時仿真調試方法”，何田, 電子工業專用設計
6. “利用多核心處理器架構改善嵌入式系統性能”, Richard Low, 電子工程專輯, Aug, 2005
7. “挽救台灣的最後英雄 - 嵌入式系統的發展”，尊龍科技專欄
8. “設計探索嵌入式裝置盛行作業系統與開發工具百花齊放”，新電子科技雜誌, 施吉昇, Dec, 2004
9. <http://www.lnc.com.tw> 寶元科技官方網頁
10. “市場常見運動控制板卡介紹”，王傳聖, 馬達電子報, v.181, Jun, 2006
11. <http://www.advantech.com.tw> 研華科技控制部
12. <http://www.acs-tech80.com/> 日本 ASC 官方網站
13. <http://www.adlinktech.com> 凌華科技官方網站
14. <http://www.robot.com.tw> 和椿科技官方網站
15. <http://www.nipponpulse.com>
16. “SSCNET 在半導體及光電產業設備之應用”，游璨銘, 凌華科技自動化產品事業部
17. “新一代運動控制 ASIC 功能分析”，許明景, 機械工業雜誌, v.153, 2003