

PC-Based 運動控制技術之現況與趨勢

關鍵詞

陳文泉 劉永欽

特殊應用積體電路 ASIC

數位訊號處理 DSP

即時多工核心 Multi-task real time kernel

壹. 前言

工研院機械所從事 PC-Based 控制器的發展已有多年的經驗，故談及 PC-Based 一詞，往往讓人以為又是舊詞重提，了無新義。其實今天『PC-Based』所代表的是一個專有名詞，無論是一般消費市場、工商業界及學術教育單位，都與 PC 的應用有愈來愈密切的關係。

所謂 PC-Based 控制器係指以 PC 為控制中心，附於製造系統或機械上，運用其數值運算能力，進行一般或特殊工業系統（或機械）的監測及控制，以達成此工業系統的部份或完全機能。原先大部份的 FA 工程師對於 OA 個人電腦的穩定性和可靠度總是持著高度的懷疑。然而隨著 PC 性能的快速提升、價格平民化，以及品質的提升（耐雜訊性、耐振動性、耐高溫性等）使得原先疑慮逐步被克服。此外，PC-Based 控制器與傳統專用(Proprietary)控制器最大的差異在於前者充分使用 PC 環境的資源，包括完善的週邊設備，完整的軟體開發環境及豐富的網路資源等。換言之，PC 的升級即是 PC-Based 控制器的升級，如此可大幅降低龐大的研發成本及人事費用，這說明了採用 PC-Based 利基之所在。

談及運動控制技術，無論是產業機械、CNC 控制器，乃至於半導體設備等，都脫離不了這個範疇。尤其隨著 PC 的不斷推陳出新及半導體技術的日新月異，連帶也使得運動控制技術起了不小的變化。從性能、體積、價格乃至於穩定度都得到不少提升。再加上 DSP 的誕生，配合高等控制法則的運用，許多以往被認定須用專用控制器的複雜問題，如今都只是 PC-Based 控制器的基本功能。然而隨著 PC 在硬體性能的不斷提升，相對使得作業系統所提供的功能也越來越複雜，當然也導致一些負面的結果。例如系統過於龐大不適合成為嵌入式系統，無法適應在惡劣的工廠環境之下；多工的特性造成即時性能的降低等等。這些問題對 PC-Based 運動控制系統造成了不小的衝擊。

本文主要目的在於藉由硬體架構與軟體架構這兩個方向，探討 PC-Based 運動技術發展之現況與趨勢，同時介紹運動控制技術本土化的現況，期使讀者能對運動控制技術能有更深入的了解。

貳. 硬體架構之發展

一. 介面之演進

PC-ISA Bus(Industry Standard Architecture BUS)一直是許多介面卡所採用的標準介面。透過 ISA 介面，可以充分的運用 PC 豐富的周邊資源，也由於 ISA 規格製訂較早，熟悉 ISA Bus 介面的人相當的多，應用較為普及。但 ISA 介面卡用於工業環境中最為人詬病的一件事，便是他的金手指(Golden Finger)構裝在長期震動環境下，極易造成鬆動接觸不良，造成產品的不穩定。再者，由於 ISA 介面的存取速度被侷限於 8 Mhz 以下，當 CPU 性能不斷提升的同時，介面卡的頻寬卻被限制住，而無法獲得同步提升，這意味著性能也將被限制住。因此新一代的 PC 規格書中，已經把 ISA 介面從 PC 中移出，未來的個人電腦中將看不到 ISA 介面。而保留下來將會是 PCI Bus (Peripheral Component Interconnect Bus)，USB (Universal Serial Bus)以及 IEEE-1394 Standard。隨著 PC 演進的 PC-Based 控制器勢必亦將蕭規曹隨，一旦 ISA Bus 從 PC-Based 控制器中移除後，誰會是下一代的工業標準介面呢？PCI Bus 是目前較為普遍的介面，除改善了 ISA 頻寬不足的問題，同時在規格上也做了更嚴謹的定義，讓介面卡變得更聰明，使用者不需要作任何設定，系統便可偵測到介面卡的存在。但在金手指的部分對工業系統似乎並沒有太大改善，於是 Compact PCI 因應而生，它遵循了 PCI 的架構，同時也把金手指的設計改成更適合工業環境的 DIN 方式(見圖 1)。因此走向 Compact PCI 介面已是目前的潮流與趨勢，圖 2 為 Compact PCI 的標準機構尺寸圖，制式的介面卡 3U/6U 大小標準規格，解決了目前市面上參差不齊的機箱(Rack)與介面卡的匹配問題。除此之外，熱拔插(Hot Swap)亦是 Compact PCI 的訴求重點，這對系統的後續維修，將不再需要把整台機器關機，而可直接抽換需要維修的介面卡，系統也將因此而變得更有效率，同時維修成本也可因此大幅降低。

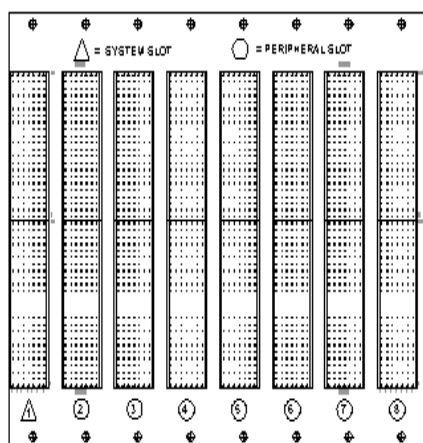


圖 1 Compact PCI 背板

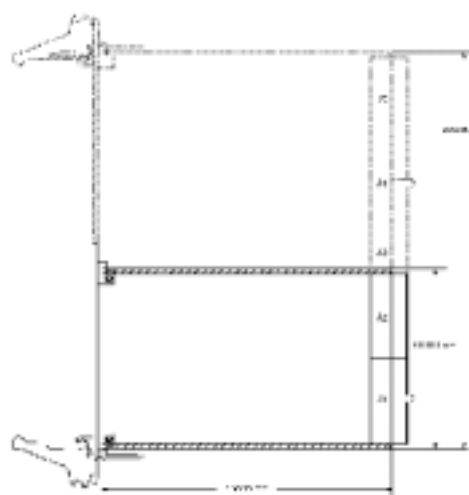


圖 2 Compact PCI 機構圖

另一方面，隨著網路的崛起，e-自動化已蔚為下一波控制技術的新領域。到

底網路可以為自動化控制做些什麼？而處於自動化系統中的運動控制又應該提供什麼給網路？從管理階層的角度來看，遠端監控、遠端診斷、遠端調整都是可經由目前盛行的 Internet 來達成的，因為這些資料不具有即時性需求，控制器只要負責提供相關的資料供上層網路讀取便可。但若要做到運動控制的功能，則需要一個具有短訊息、快速反應、傳送可靠、網路節點(Node)價格低、節點小、強固的可擴充架構及分散式控制特性的控制網路才行。目前具有高速、高精度的運動控制國際標準 SERCOS (Serial Realtime Communication System)，是為數位運動控制系統所發展的串列即時通訊介面(圖 3)。透過光纖網路，它具有串接最大 254 個輔節點的能力，而每個輔節點最大可串接 254 個驅動裝置。SERCOS 的應用範圍非常廣泛，目前市面上可以看到的產品種類包括伺服驅動器、CNC 工具機、數位運動控制器、獨立的鑽孔及切削機、機械臂、凸輪曲柄研磨機、影印機、伐木機、半導體製程與封裝設備等等。基於發展 SERCOS 的其中一項主要目的是為了讓驅動器與控制器能獨立發展，因此在 SERCOS 的廣大應用範圍與 IDN 功能制訂中並不包含功率級 (Power Stage) 介面。

除此之外，IEEE 1394 是目前支援即時功能的另一選擇，100Mbps / 200Mbps / 400Mbps / 800Mbps 的傳輸速率，足以達到運動控制中的位置控制、速度控制甚至電流控制的需求，而透過這樣的串列聯結方式，可以想見，下一代的控制器一定看不到複雜的接線與配線，甚至於連簡單的接線也都不需要了，因為無線通訊的時代已經來臨。

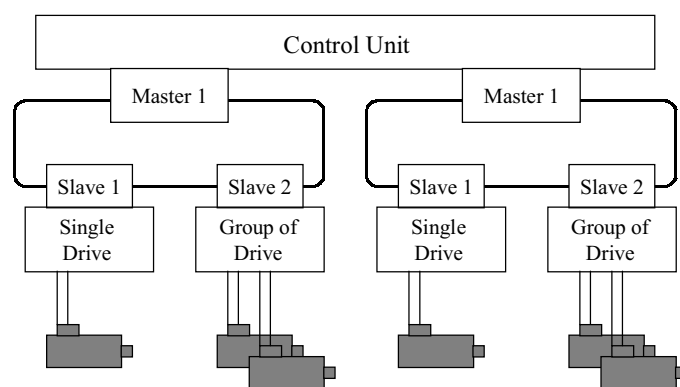


圖 3 SERCOS 控制系統

二. SOC(System On Chip)之趨勢

半導體技術的進步，使原本複雜的線路可以輕易的設計到一顆 IC 中，這不僅使得 PCB 的線路設計更為簡單，體積也將大幅減少，相對的成本亦可降低，因應這樣的需求，機械所在六年前開發了第一代的運動控制 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)，名為 MPCL1000A/B(圖 4)，這顆運動控制定位 ASIC 已經把運動控制大部分功能整合進來，它具備了脈波輸出功能，類比輸出介面，

編碼器回受輸入以及硬體閉迴路控制功能等，以一片兩軸的運動控制卡為例，只需要兩顆運動控制 ASIC 便可輕易達成。

然而隨著 SOC 的發展趨勢，越來越多的控制電路可以被設計到一顆 IC 中，同時又具備了高可靠度，高整合度及低成本的特色，這促使了第二代運動控制 ASIC-EPCIO(Equisite Positioning Control and Input/Outputs)的誕生(圖 5)，它除了整合第一代運動控制 ASIC 的功能外，並在性能上加以大幅提升，控制軸數亦由原來單軸提升到 6 軸，配合軟體閉迴路及驅動器選配，最大甚至可達 14 軸控制能力。同時整合了近 800 點的遠端數位輸出入控制點，並以串列傳輸來達成省配線化的架構，以 EPCIO 的強大功能及高整合度，幾乎 95%以上的單機控制僅需要一顆 EPCIO 就可滿足，大大減少 PCB 板的數量。



圖 4 MPCL1000B 外觀圖

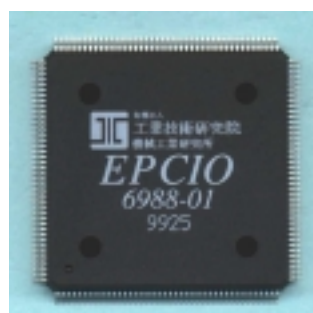


圖 5 EPCIO ASIC 外觀圖

三. 全數位化 DSP 系統

雖然 EPCIO 的推出已經讓運動控制技術大幅躍進許多，但是其所採用的比例型(P-control)控制法則，卻無法做更動與擴充，這限制了它的彈性與擴充性，而使得控制器本身無法進行一些更高階的運動控制法則，例如 PID、PIF 或 PDF 等等。而 DSP 的加入正好解決所面臨的問題，配合高功能與高整合性的 EPCIO 晶片，控制器可以變的更具有彈性，功能更強大，而價格則更具有競爭性。圖 6 為全數位伺服迴路控制示意圖，其中除了回受控制之外，也加入了速度前饋補償 (Feedforward Compentation)，用以消除系統的追隨誤差(Following Error)。此外，更可隨著機構運動的負載與轉動慣量，作動態的伺服增益參數調整，使系統具有良好的響應能力。

DSP 除了提供一個高階運動控制的能力外，它強大的運算核心也分擔了 PC 的部分工作負擔，運動命令解譯，運動軌跡的規劃，插值與補間計算，都讓 PC 省卻不少工作，PC 只需專心處理與人機有關的工作與運動命令的下達，這同時也解決了因作業系統過於龐大所導致的另一問題：即時性的需求。EPCIO 強大的運動控制能力與輸出入功能以及 DSP 強大的運算核心，再配合 SOC 的趨勢發展，第三代的運動控制 IC 已呼之欲出，那將會是結合了 EPCIO 與 DSP 的結晶。

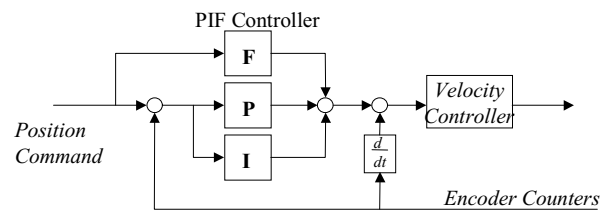


圖 6 全數位伺服迴路控制

參. 軟體架構之發展

一. 作業系統

前文曾提及，不論採用單 CPU 或多 CPU 架構（如搭配 DSP）的運動控制模組，處理運動命令解譯、軌跡規劃、插值與補間計算的 CPU，需要在一個具有即時能力的作業系統下，才能精確地執行運動控制命令。即使在 DSP 裏，也都存在一個即時多工核心，來處理複雜的控制問題，以確保其即時性。在個人及商業的市場上，微軟的視窗作業系統已成爲主流。但嚴格來說，以 Windows NT 搭配 Intel 的 Pentium 級 CPU 爲例，也就是俗稱的 Wintel Solution，通常只能達到 3~5 ms 的弱即時(Soft real-time)，對需要 1 ms 反應時間的運動控制而言，不能算是強即時(Hard real-time)作業系統。選擇什麼作業系統做爲運動控制系統的開發平台，是一件相當困難的決策問題。通常會以即時性能、價格、開發資源及長期支援等幾個因素來考量。目前在工業界比較常用的即時作業系統有 VxWorks、QNX、OS 9 以及加掛在 Windows NT 下 VenturCom 的 RTX、Radisys Corporation 的 inTime。上述的 OS 在價位上若應用在一般型的控制器上並不便宜，尤其是必須支付 run-time 的權利金，在國內的推廣上有相當的阻力。

除了要求即時性能外，還有一項要求便是嵌入式操作。如果選用視窗作業系統，基本上都需要至少 100 M bytes 的空間存放系統，即使在技術上可以用類似 Flash ROM 的方式把整個 Windows NT 擺進去，但其硬體的成本可能不是一般工控器所能接受的。此外，視窗作業系統還有開機時寫入資料檔(page files)與登錄(login)的問題，這些對視窗作業系統成爲嵌入式 PC-based 工控器的核心都是致命傷。針對這些情況，目前經由 third-party 的努力，VenturCom 公司提供一套名爲 Component Integrator(CI, 1999 年第四季已賣給微軟，並包裝成一項新產品：NT Embedded)的工具，可以將 Windows NT 適當的剪裁，亦即根據工控器的本身需求，僅選取 Windows NT 內所需的元件，如顯示裝置、輸入裝置、網路、CD ROM 與硬碟等，再以 Embedded Component Kit(ECK)來對這些元件做適當的連結，產生新的作業系統。一般而言，經過『瘦身』之後的 Windows NT 大約佔 10~20 M

bytes 的空間即可具有圖形化使用者界面與控制的能力，同時開機登錄的問題也不再出現，如此一來便使得視窗作業系統在嵌入式 PC-based 工控器的核心市場上更具有競爭力。事實上，微軟宣稱 Windows CE 3.0 就是符合上述需求的作業系統。它具有元件裁剪(scalable)、設置在唯讀裝置(romable)、強即時系統等特性，此外它與大部份的 Win32 API 相容，基於以上種種理由，Windows CE 3.0 在 PC-based 工控器的核心市場一直備受矚目。只要能符合如上述所提及的特性，相信 Windows CE 3.0 將會為 PC-based 工控器與運動控制技術帶來一波相當大的衝擊。

此外，近來正掀起一股 Open Source 潮流，最受到矚目的非 Linux 莫屬了。從坊間的電腦書籍由原來全部都是視窗作業系統，漸漸的一排一排被換成 Linux 的參考書籍就可以得到證明。Open Source 的主要精神是提供免費的作業系統 source code，但任何以此修改產生的作業系統或應用程式，也都必須將其 source code 開放出來。Linux 在資訊家電(IA)上已有相當不錯的成績，在工控的領域上，也有些產品上市。最近，更是有不少的廠商相繼發表 Embedded Linux 及 Real-time Linux 技術，顯見 Linux 未來在運動控制的舞台上將扮演更重要的角色。然而由於運動控制的軟體技術是各家廠商所賴以生存的，在目前的市場上，並未見到有任何開放運動技術的動作，在開放與利潤的決擇下，勢必還要有一番掙扎。

二. 共通標準介面

請讀者先思考一個問題，若是照相機的電池沒有電了，不論廠牌，只要購買相同型號的電池即可使用。但倘若是使用 PC 的資料擷取(DAQ)卡，壞了的話，可不是隨便換上其它廠牌的 DAQ 卡就可以的。因為可能要重新安裝軟體，更換配線，甚至要更換作業系統也不是不可能。為什麼會有這麼大的差別？關鍵在於傳統控制應用程式的開發者，通常會將控制元件的驅動程式，直接整合在專屬的應用程式中。因此，在絕大部份的情況下，這些驅動程式無法在其他的應用程式中重覆使用。這樣的結果，除了造成使用者的選擇有限之外，同時也造成系統整合者及應用軟體開發者因為硬體或作業系統更換而增加的開發成本。基於上述的考量，如果能夠制定一種介於驅動程式與應用程式的標準介面，並且要求所有的製造商與系統整合者都遵守這個規範，那麼不論是控制元件或是應用程式，只要符合標準介面，使用者便可選擇。然而要如何統籌制訂標準介面的規格，卻是一件不易的事。目前在這方面，推廣最成功的要算是 OPC 了。

什麼是 OPC？簡單的說，OPC(OLE for Process Control)是一種由世界級的自動化廠商及軟硬體供應商，結合微軟的元件化技術(OLE、COM、DCOM)，針對程序控制及自動化領域所制訂的工業標準。目前所有 OPC 的規格制訂及更新皆由 OPC 協會(OPC Foundation)管理。目前已經有超過 220 個會員加入，這些會員幾乎都是世界上控制系統、儀器設備及程序控制系統的主要供應商，其規模相當

龐大。國內研華公司所生產的 Adam 系列產品及國外 National Instruments 公司所推出的一系列產品，皆支援 OPC 的介面規格。由此可看出，支援共通的標準介面，將是未來產品的趨勢。

此外，VenturCom, Inc.甚至制訂了一套具有控制軟體與驅動程式之間的即時資料交換的介面規格(Data and Control Exchange, DCX)，使得非即時標準界面(OPC)得與具有即時控制能力的標準界面(DCX)能夠連結。如此一來，任何系統整合者或是使用者，都可隨時更換其整個設備的軟硬體，而不必擔心不相容的問題會再發生。

肆. 運動控制模組之發展現況

一. EPCIO-Based 運動控制模組

隨著 EPCIO ASIC 的推出，機械所控發部陸續發展了一系列運動控制模組，其中包括了 EPCIO-400 四軸運動控制板，EPCIO-601 六軸運動控制板，EPCIO-602 全功能運動控制板及 EPCIO-6000 PCI-Bus 六軸運動控制板等等。這一系列控制板皆是以 EPCIO 為基礎，功能上做了部分調整，所設計出來的運動控制模組。在尺寸上走向以半卡為主，出線方式則以側邊出線經 SCSI 接頭至轉接板，配合省配線化遠端數位輸出入點連接。除了大幅簡化硬體模組的體積及配線方式，同時也降低了硬體的直接成本。以三軸車銑床控制器為例，硬體模組體積由原來的兩片 EMP2 運動控制板及兩片 EIO80 輸出入板縮減為只需一片 EPCIO-400 運動控制板，整個控制器成本約可降低 1/3，若以線切割控制器而言，則成本降幅可逼近達 1/2。除此之外，產品穩定度的提升，才是產品競爭力之所在。圖 7 為 EPCIO-601 的系統連接示意圖，圖 8 為其外觀圖，它具有同時控制 6 軸伺服馬達的能力，最多可連接 128 點輸入及 128 點的輸出

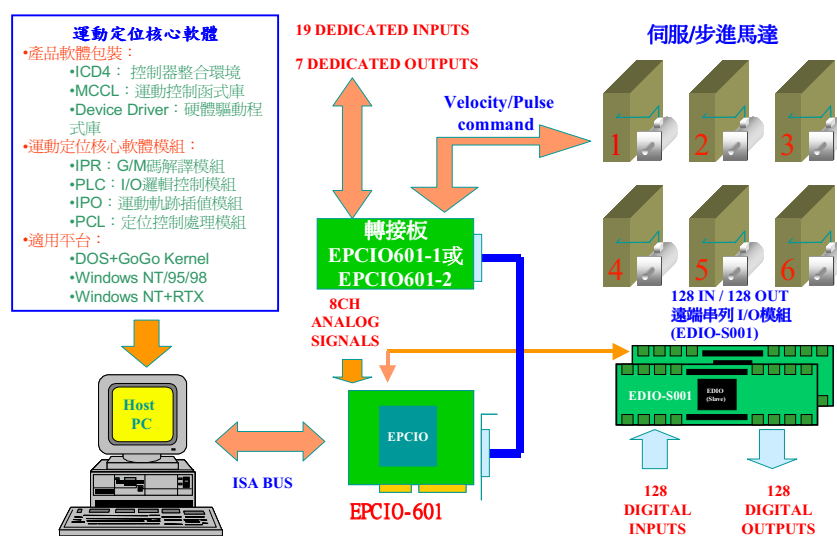


圖 7 EPCIO-601 系統連接示意圖



圖 8 EPCIO-601 外觀圖

二. DSP-Based 運動控制模組

PMC32-600 智慧型 DSP-Based 6 軸運動控制模組及 PMC32-6000 智慧型 DSP-Based 之 PCI-Bus 6 軸運動控制模組是目前積極在發展的高功能運動控制模組。由於整合了 EPCIO ASIC 後，使得系統架構更為簡潔，而內含的 DSP 運算晶片，除可獨立運作，形成一個嵌入式 (Embedded) 系統外，搭配 IPC 構成雙 CPU 系統，PC 端負責運動控制命令的下達、資料的蒐集與分析、系統的監控、人機畫面的顯示，而 PMC32 則負責控制命令的解譯、軌跡的規劃、伺服控制的執行，如此的系統架構，運作更彈性且功能強大，並可解決現階段以 Microsoft Windows 為主的作業系統缺乏強即時性(Hard Real-Time)的缺點。其應用範圍包含了現有定位控制的市場與未來高速且精密的產業機械控制。圖 9 為 PMC32-6000 的系統連接示意圖，圖 10 則為其外觀圖。

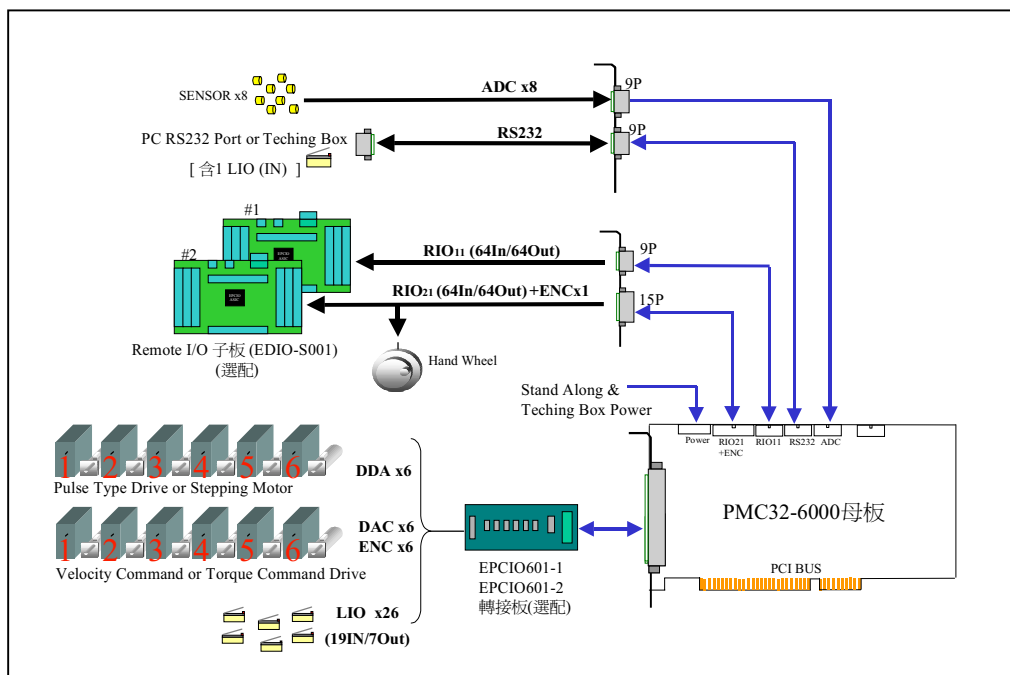


圖 9 PMC32-6000 系統連接示意圖



圖 10 PMC32-6000 外觀圖

伍. 結語

近年來，科技的進步一直往輕薄短小的方向快速發展，網路的發達亦讓資訊的流通有如天涯若比鄰。新一代的運動控制技術正在快速的成型中，PC-Based 是現在世界各國發展的趨勢，而運動定位控制又是自動化中不可少的一頁。圖 11 是機械所目前在 PC-Based 運動控制所規劃的 roadmap。Bus 介面由並列的 ISA、PCI、Compact PCI 改為串列的 USB、1394，最後希望能以無線(Wireless)的方式進行資訊傳遞，完成控制。在 SOC 方面，最終目的則是整合 DSP 與 EPCIO，發展智慧型的運動控制系統。軟體方面則是以 Windows CE 3.0 及 Linux 為應用程式的發展平台。最後結合標準介面的製訂，達到遠端監控與資訊服務的目的。隨著運動控制技術的提升，如何運用國內豐富的 PC 資源，結合半導體製程技術的發展，開發出更高性能的應用導向積體電路，相信在 EPCIO ASIC 推出後，一切都有了答案。

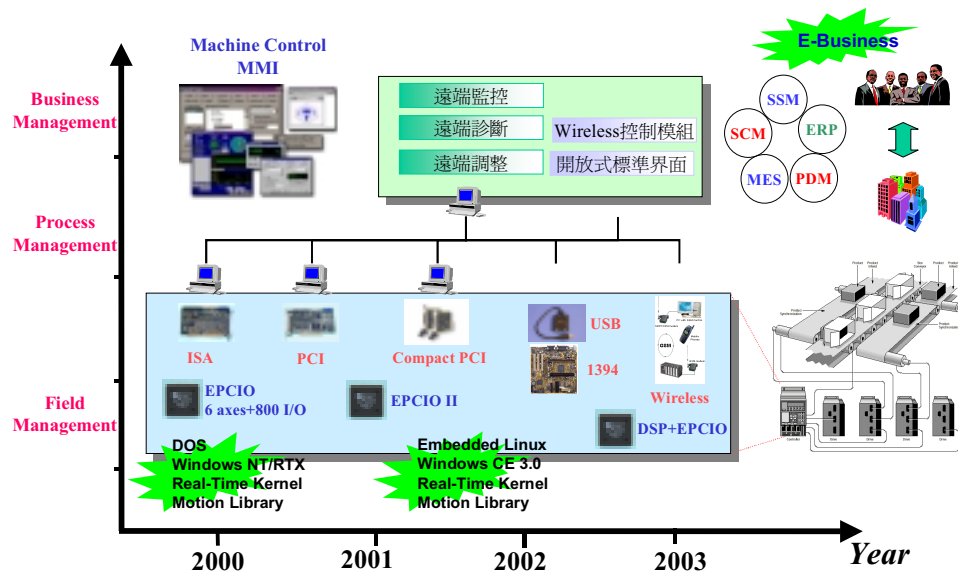


圖 11 PC-Based 運動控制之發展趨勢圖

參考資料

1. 何丕倫，工業控制器定位原理及應用技術，機械工業，1995 年 2 月，113-127
2. 彭志誠、柯嘉城，工業控制器專輯，電機月刊，1995 年 5 月，105-114
3. 彭志誠，工業控制器專輯，電機月刊，1996 年 6 月，142-147
4. 彭志誠，工業控制器專輯，電機月刊，1997 年 5 月，152-165
5. <http://microsoft.com/windows/embedded/default.asp>
6. <http://www.opcfoundation.org/>
7. <http://rtlinux.cs.nmt.edu/rtlinux.new/index.html>
8. <http://www.ni.com/>
9. <http://www.vci.com/>
10. <http://www.linux.org.tw/CLDP/>
11. <http://www.advantech.com.tw/atw/>
12. <http://www.mirl.iti.org.tw/rd/automation/integration/industrial/index.shtml>

附件



陳文泉
工研院機械所 控發部
副研究員



劉永欽
工研院機械所 控發部
研究員