

智慧型運動控制平台發展及應用

Intelligent Motion Control Platform of development and application

工業技術研究院 機械所 沈万凱

摘要

由於光電產業或半導體對生產技術的需求多軸、高速與高精確度，工具機或生產機台使用的運動控制硬體控制卡越來越向精確程序控制的目標發展，工研院新一代精密運動控制技術的研發，提供高性能、高整合性且低成本的高速高精度運動控制，希望藉由新一代精密運動控制技術提昇國內相關業者的技術水準。

Abstract

As the optoelectronics industry and semiconductor face production technology in high-speed, multi-axis, high-precision requirements. The Machine tool or production machine using motion control hardware has orientation more precise process the goal of development. Hoping through ITRI a new generation of precision motion control technology research provide high performance, high integration and low cost motion control, enhance the relevant internal industry's technical level.

關鍵字

智慧型運動控制平台 IMP (Intelligent Motion control Platform)

智慧型運動控制晶片 IMC (Intelligent Motion control Chip)

即時作業系統 (Real-Time Operating System, RTOS)

通用伺服匯流排 (General Servo Bus, GSB)

前言

目前我國工具機產業出口值居全球第四位，產值居全球第五位[1]，雖我國工具機產品價廉質優，並行銷全世界，但工具機產品仍都以泛用機種為主，因此產品等級大都為中等級，在高精度高附加價值產品領域方面仍以日本及德國等先進大廠為主，另一方面我國工具機產業的隱憂還面臨韓國及中國大陸等國也漸漸重視工具機產業，並以國家力量投入協助，在面臨競爭力逐漸被侵蝕，唯有發展高精度高附價值產業技術才能與國外競爭，為了讓工具機技術推向 A+關鍵技術，工研院機械所希望藉由所開發的智慧型運動控制平台發展出智慧型多軸運動控制技術，運用其精密軌跡控制技術進而讓國內機械設備業及精密機械產品達 A+級水準。另外在有關產業用機械手臂設計系統目前以歐美日等國發展較完

整，台灣的機械手臂設計局限於幾種簡單型應用，希望藉由多軸運動控制技術可帶動現有產業機器人跨入關節型、高軸數市場領域。

在資訊與網路通訊技術的大幅提升，使得以即時通訊介面為基礎的新世代工業自動化設備快速而蓬勃地發展。一般傳統的自動化設備與工具機台所使用的伺服控制技術因面臨了多軸同步與即時性能不佳、解析度不足，並受限於配線繁多及雜訊干擾等問題，因此利用串列式伺服控制透過即時通訊系統，並經由網路通訊傳遞數位訊號應用於工業自動化控制系統中的各式通訊傳輸協定，近年來逐一被提出。而且全球控制器廠商或是相關學界也都致力於開發具有即時通訊伺服功能的通訊介面和產品。其中如 SERCOS、ProfiNET、SynqNet、Device Net、Ethernet Powerlink、Modbus、CAN bus...等均是具公開標準或推廣協會所開發之開放式網路通訊協定，然許多世界性之伺服器大廠並不採用此類開放式標準協議，如日本三菱電機 (MITSUBISHI) 的 SSCNET、松下電器 (Panasonic) 的 F2 Net、日本安川 (Yaskawa) 的 Mechatro Link...等仍採獨立開發而自行定義的封閉式通訊協定。然而採用串列式伺服控制之通訊協定應用於工業自動化設備的網路系統則都有一個共通的趨勢，配線容易、節省成本、抗干擾性、遠端控制，並可發展更高速度高精度的運動控制技術，進而帶動新的控制架構—分散式控制 (Distributed control) 伺服驅動系統。

智慧型運動控制平台

運動控制這幾年有了頗大的變化，從過去一個指令一個動作的 PLC 運動控制模式，隨著產業資訊化的發展，機器設備在運作時有時會需要與整廠設備連線或進行網路方面的應用，因而 PLC 控制器也漸漸的被 PC-Based 控制器所取代，後來又因高階的運動控制應用，對於控制的即時性要求也越來越嚴格因此又演變出一種速度較快 DSP-Based，這種的控制模式將運動控制演算法程式交由 DSP-Based 或其它 CPU 做運算。因此就目前現有的運動控制核心技術解決方案大致可以分為 ASIC-Based、DSP-Based、串列控制技術 3 種 [2]：

■ ASIC-Based

ASIC-Based 為一種 Application Specific Integrated Circuit 特殊用途積體電路或專用積體電路。也就是這一些運動控制器在做控制的時候會採用具有運動功能的 ASIC，進而達到低階或是高階的運動控制。通常這種有運動控制 ASIC 已經由 IC 開發廠商經過一連串的測試和市場洗練過，所以穩定度與功能的驗證高，整體的指令集執行速度快，但是，缺乏可程式化能力，所以相較於 DSP-Based 的運動控制卡，無擴充能力，亦無法實現絕對同步的運動控制。

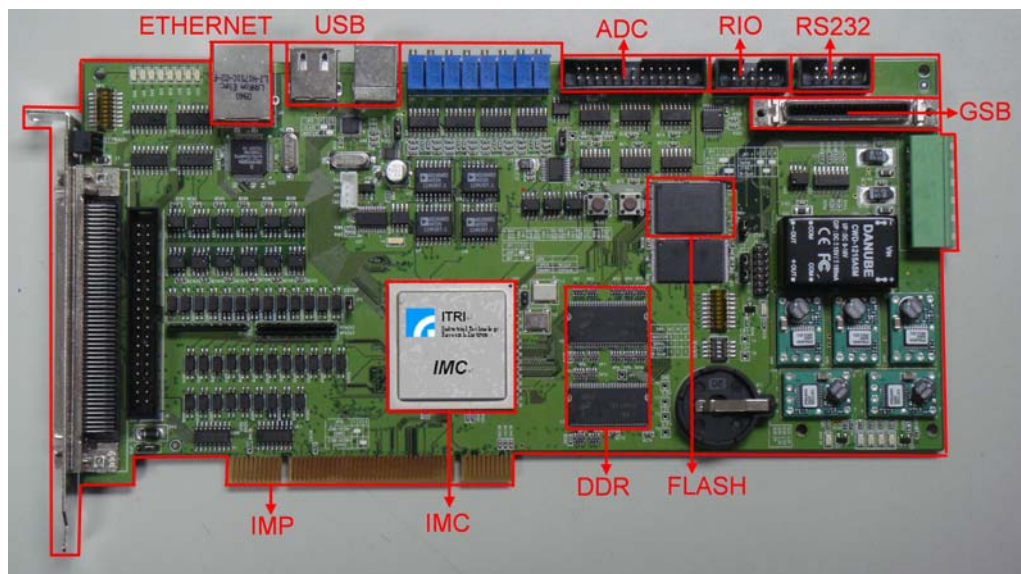
■ DSP-Based 或 FPGA 作為核心處理器的開放式運動控制器

由於伺服控制有即時性(Real Time)的需求，在精準時間控制的要求下，一般都採用速度較快的DSP，或採用RISC等一般CPU來完成。使用高速的DSP通常會搭配高速的記憶體，而採用DSP或採用RISC等一般CPU來完成的運動控制卡，一般都具有可程式化的能力，所以使用者可以下載程序控制碼到DSP內部執行，這樣的好處在於整個控制程序享有即時性 (Real Time)的特點。

■ 串列控制技術

伺服馬達的串列控制技術，在市場上也常見到，一般而言，串列式控制具有自己的通訊協定，使得控制器與被控制端（伺服驅動器）可以依通信協定進行資料交換，以做為運動控制或是取得相關伺服資訊回到控制器本端。其通信也會依一個固定時脈做資料交換及更新動作，也就是會依據即時性的特性來運作。

基於上面的這一些觀點，工研院機械所在開發智慧型運動控制平台時，大都會朝這一些方向作為研究與開發以協助國內廠商可以解決在開發運動控制上的困難點。目前工研院機械所以開發出第三代的IMC運動控制IC與IMP智慧型運動控制平台，其主要的規格如圖一



圖一 IMP智慧型運動控制平台

■ IMC運動控制IC規格：

- Power PC 440處理器
- PCI/Ethernet/IIC控制
- PID+FF控制迴路
- 8軸伺服馬達開迴路（或閉迴路）同動控制

- 8軸編碼器輸入
- 8組數位轉類比 (DAC)
- 8組類比轉數位 (ADC)
- 40點的近端數位輸出入點
- 1024點的非同步遠端數位輸出入點
- 計時器及看門狗計時器

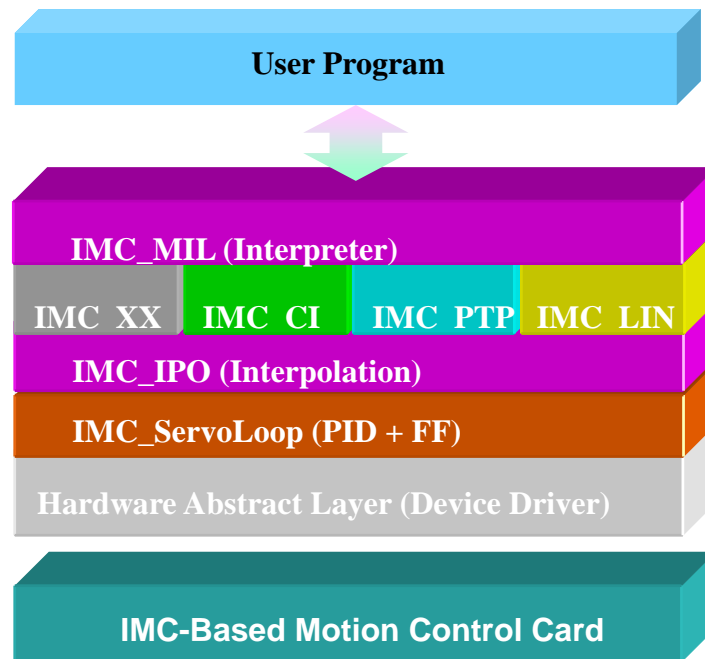
■ IMP智慧型運動控制平台規格：

- Flash 32MB
- DDR 128 MB SDRAM
- GSB (general servo bus)介面
- RS232介面
- PCI-BUS介面
- Ethernet介面
- USB介面
- Remote IO介面

有關於IMP智慧型運動控制平台主要規劃兩種運動控制模式一個是PC-Based運動控制模式另一個是Standalone運動控制模式

■ PC-Based 運動控制模式

在 PC-Based 功能方面除了保留原先工研院機械所所開發的 EPCIO 六軸控制控制卡功能外，並將其控制的軸數由原先六軸提升八軸，另外也增加了 PID 和 Feed-Forward 控制功能，在 ADC、DAC、RIO、LIO 等功能也均有提升其 bit 數和 I/O 數，可執行作業系統平台 WINDOWS 98、WINDOWS NT/2000/XP 等作業系統，其軟體架構方面如圖二所示，支援 Visual C++、Visual Basic 與 Borland C++ Builder 等開發環境，使用者可以透過 PCI BUS 將 IMP 運動控制卡插入 PC 端不需處理複雜的數學與邏輯計算，不需深入了解運動控制中複雜的軌跡規劃、定位控制，利用工研院所開發出的運動控制函式庫即可開發一些有關運動控制的產品

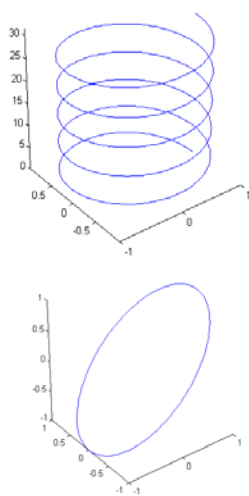
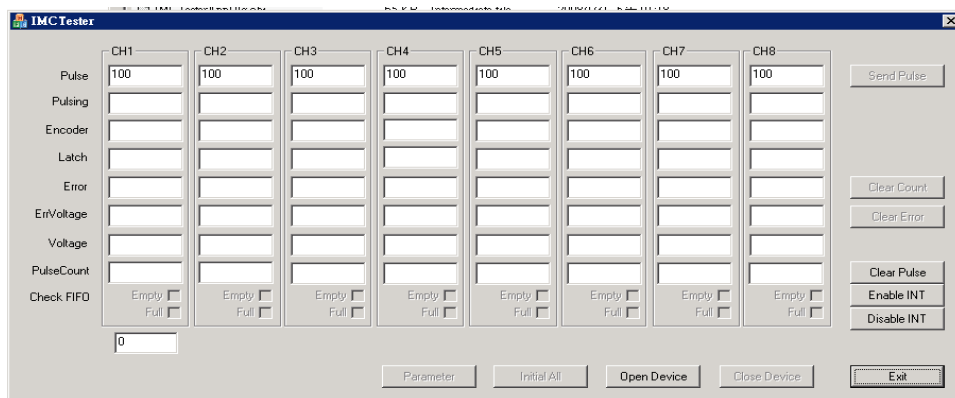


圖二 IMP 運動控制平台PC-Based軟體架構方塊圖

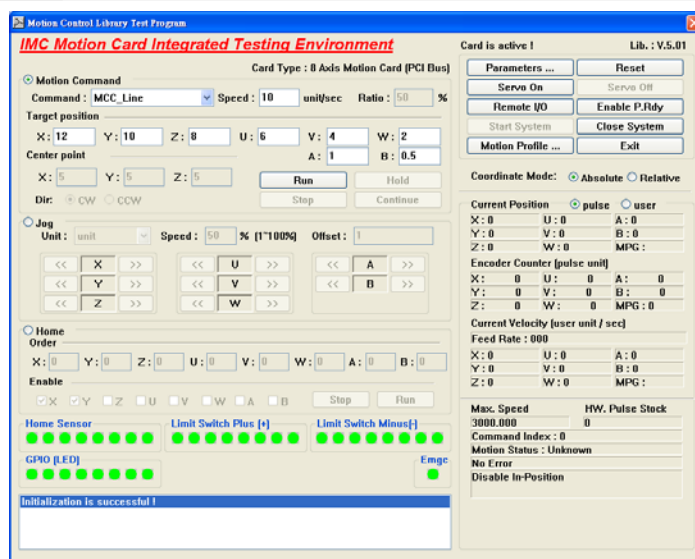
關於運動控制功能方面 IMP 提供了運動控制函式庫，經由運動控制函式庫可以做空間中點對點、直線、圓弧、圓、螺線等運動的軌跡規劃函式，除此之外運動控制函式庫並提供了 16 種原點復歸模式、運動空跑、運動延遲、微動/吋動/連續吋動、運動暫停、繼續、棄置等操作函式。軌跡規劃功能方面可設定不同的加/減速時間、加/減速曲線型式、進給速度、最大進給速度與最大加速度，運動控制函式庫也包含軟、硬體過行程保護、平滑運動、動態調整進給速度及錯誤訊息處理等功能。

在定位控制方面，使用者可利用運動控制函式庫設定定位比例增益、定位誤差容許範圍也提供定位確認、齒輪齒隙、間隙補償等功能，I/O 輸出入接點訊號處理方面，使用者可利用運動控制函式庫讀取 Home 接點與 Limit Switch 接點的訊號也可輸出 Servo-On/Off 訊號，另外某些特定 I/O 接點的輸入訊號可自動觸發中斷服務函式，使用者可利用此中斷服務函式自訂執行內容。在編碼器的功能方面，使用者可以即時讀取編碼器的計數值，並設定編碼器的訊號輸入倍率。D/A 轉換功能方面，使用者除了可利用運動控制函式庫控制所要的電壓輸出值外 (-10V ~ 10V)，並可預先規劃欲輸出的電壓值，並在滿足觸發條件後自動輸出此電壓值。在 A/D 轉換功能方面，使用者可利用運動控制函式庫讀取輸入的電壓值 (-5V ~ 5V 或 0V ~ 10V；-10V ~ 10V 或 0V ~ 20V)，並可設定單一 Channel 電壓轉換與標籤 Channel 電壓轉換。而在完成電壓轉換的動作或電壓值滿足比較條件時，皆可自動觸發中斷服務函式。在計時功能方面，使用者可設定計時器的計時時間，只要有啟動計時功能選項，當計數秒數結束即會自動觸發使用者自訂的中斷服務函式，然又會重新開始計數，此過程將持續至關閉此項功能為止，另有

提供 Watch Dog 的功能以供使用者開發產品時可做不同的運用。爲了提供使用者快速診斷功能和加速使用者開發產品化，另有提供 IMP 整合測試環境軟體以方便開發者使用測試和開發。



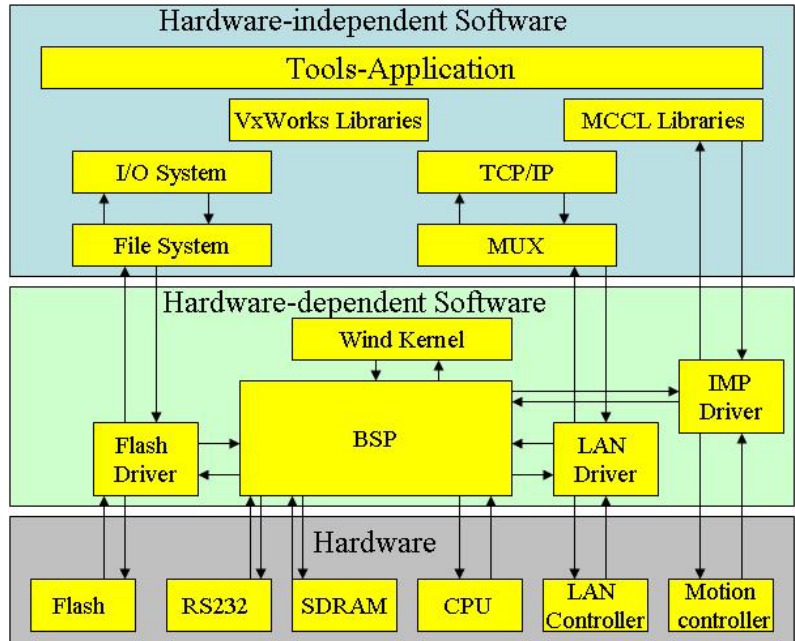
3-D軌跡顯示功能



圖三 整合測試環境(ITE)

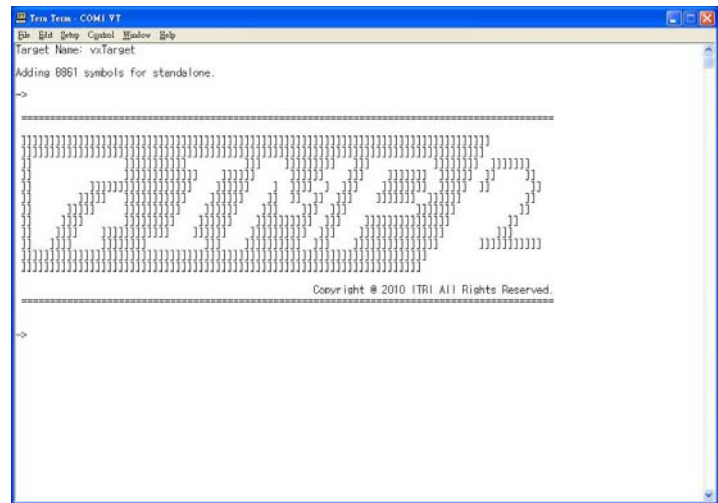
■ Standalone運動控制模式

爲了解決龐大、眾多且複雜之運動控制演算法和在PC-Based上因WINDOWS作業系統非即時性的問題，工研院機械所另開發了Standalone型式運動控制平台，內建中央處理器Power PC 440、DDR RAM記憶體、flash ROM記憶體、Ethernet以及號稱hard real time作業系統VxWorks，希望有效解決因作業系統所產生即時性之問題。並整合原先在PC-Based上的運動控制，將MCCL運動控制函式庫完全移植到IMP裡做運動軌跡運算，有效的減輕PC端處理器大量運算的負擔，因此對於PC端的部分只做簡單運動界面控制，和負責下達使用者命令的人機介面，整個在Standalone運動控制模式軟體架構主要如圖四所示



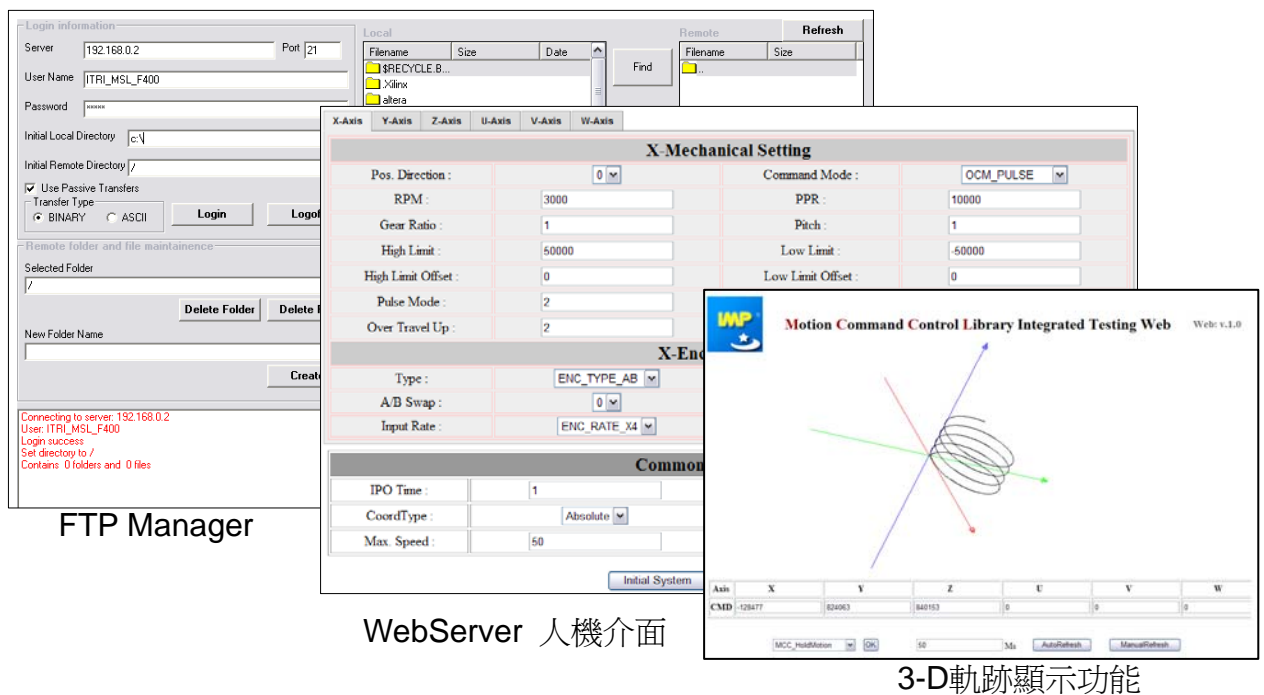
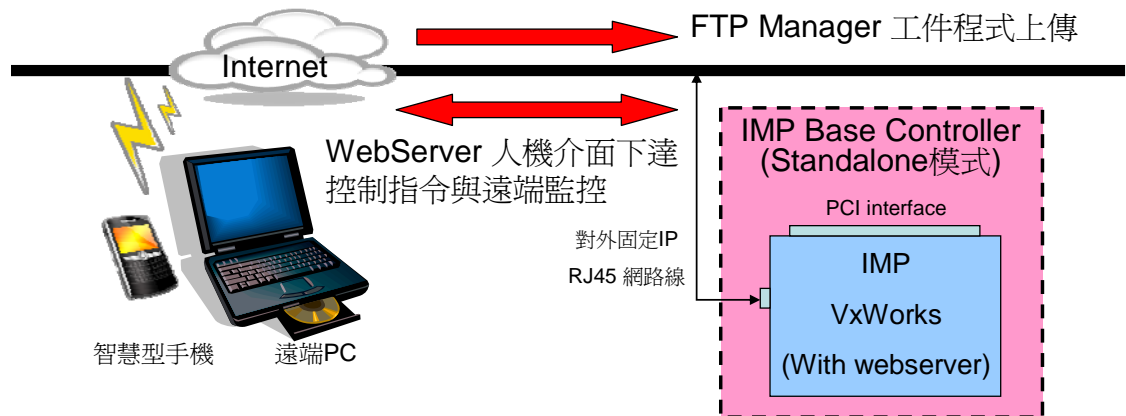
圖四 IMP Standalone軟體架構方塊圖

，而IMP在Standalone運動控制模式下就好比一個迷你型PC再加上精進版的EPCIO運動控制卡，因此當電源一ON的時候首先還是會有開機程式(bootloader)先進入執行，做為起動作業系統的前置動作，其後才會進入執行VxWorks作業系統，以完成整個開機的動作，當整個開機過程如順利的完成應會如圖五所示的畫面，表示IMP已完成開機並等待下一個程式命令執行。



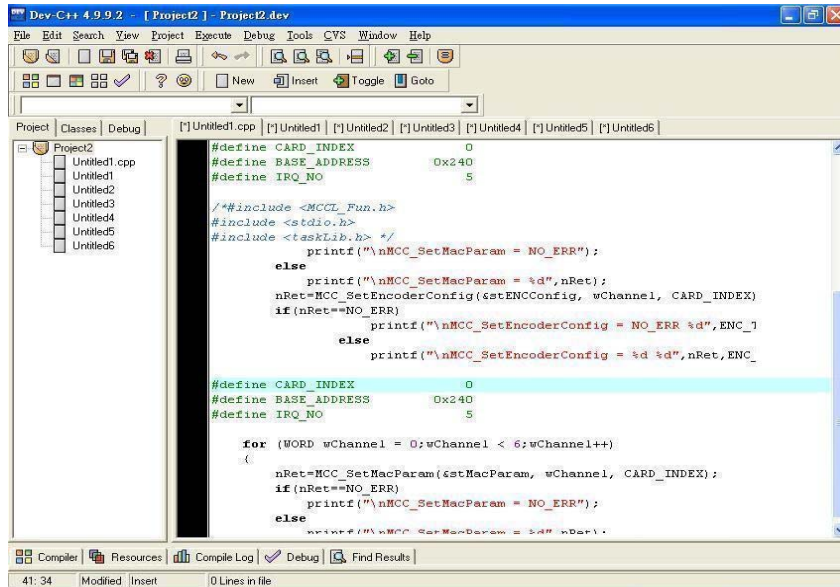
圖五 IMP執行VxWorks作業系統開機畫面

IMP上也提供了Ethernet介面，因此透過作業系統所支援網路服務功能，在Standalone工作模式下，工研院機械所於IMP上建構了網路Web Server控制功能，希望透過網際網路的功能進而達到無所不在的人機界面控制如圖六所示，使用者可使用任何具網路功能裝置(i.e.筆電、智慧型手機...)，在任何時間、地點經由網際網路連接至任一IMP內建之 WebServer，便可透過網頁進行工件程式檔案傳輸、系統監控及參數設定。



圖六 IMP Web Server控制功能

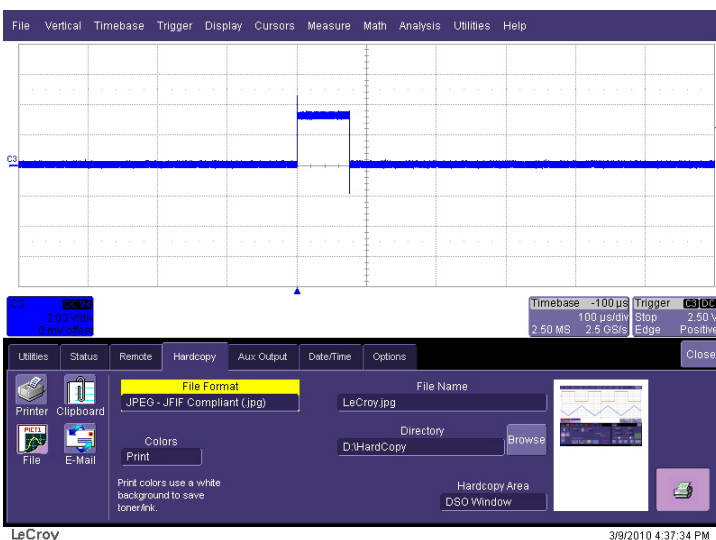
另外雖然在Standalone工作模式下，已將運動控制函式庫完全移植到IMP裡做運算，但在供給客戶端來開發自己的產品應用時，則還需要提供使用者開發編輯工具以方便客戶規畫出自己的運動控制模式，所以工研院機械所另外開發出一套精簡版的IMP Develop Kit供客戶開發使用，經由IMP Development Kit客戶可以在上面編寫自己的運動控制，最後再經由IMP Development Kit的compile tool，將客戶所規劃的運動控制模式與IMP運動控制函式庫 link在一起後產生一個執行檔，再將這個執行檔透過FTP傳送到IMP上去執行，以完成整個運動軌跡控制執行，至於IMP Development Kit程式編寫支援C跟C++程式語言撰寫其介面如圖七所示。



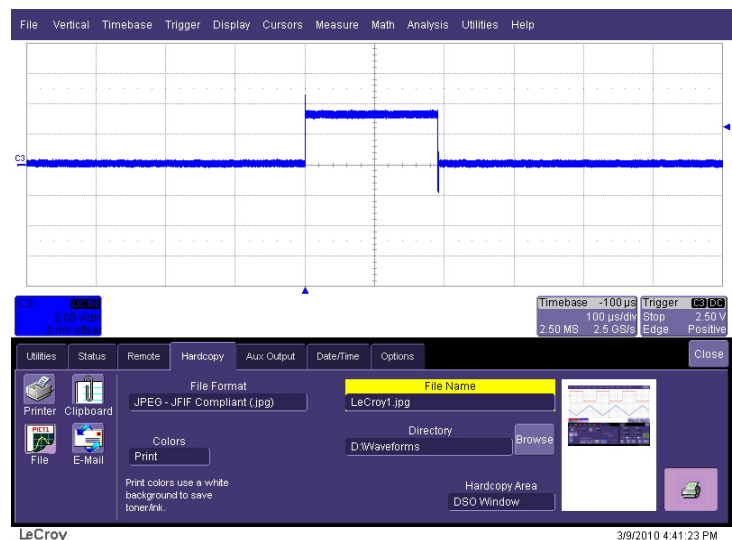
圖七 IMP Develop Kit

■ IMP 運動控制平台即時性能分析

目前在Standalone工作模式下經由示波器的測量，如果將整個運動軌跡運算執行於VxWorks作業系統Kernel mode型式底下，得到其整個IPO(interpolation time)時間(含Latency 及存取I/O時間)約為80 μ s如圖八所示，但若將運動軌跡運算執行於VxWorks作業系統User mode型式底下其IPO時間得到的值約為200 μ s如圖九所示，因此就量測的結果對於往後IMP在發展高階運動控制器時相信其real time的問題是可以身任的，同時希望藉由IMP的產品開發與應用進一步的帶動國內的相關機械產業或機械設備業及精密機械產品達到A+級水準。



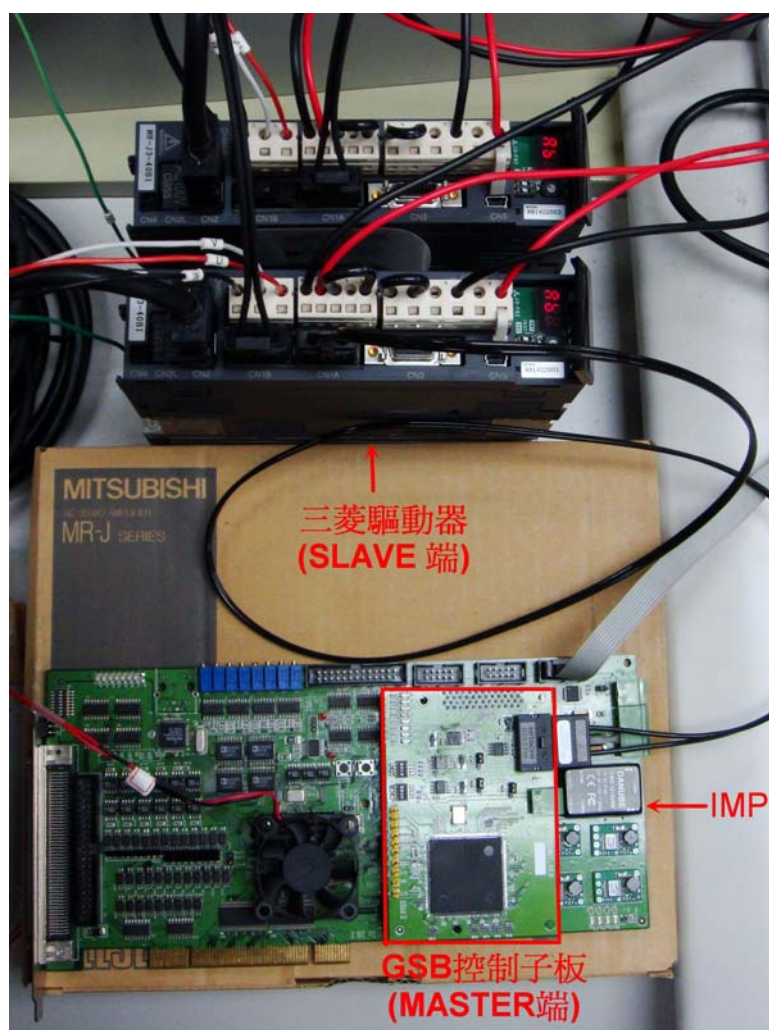
圖八 IPO time (Kernel mode 型式下)



圖九 IPO time (user mode 型式下)

通用伺服匯流排(General Servo Bus, GSB)

為了解決傳統伺服控制發展中所遇到許多困難如過多的配線、解析度不足、同步性、即時性、雜訊干擾等問題，利用串列式伺服運動控制透過即時通訊協定技術，發展更高速度高精度的伺服控制，因此工研院機械所對於數位式串列傳輸控制這塊領域目前也積極的從事開發出一個通用型伺服匯流排GSB (General Servo Bus)的介面，可以供廠商選擇不同的全數位串列式伺服通訊傳輸協定，來開發屬於適合自己的產品，而目前工研院機械所搭配的全數位伺服傳輸介面是先以三菱SSCNET III作為開發運用如圖十，藉由光纖通訊以固定時脈做資料的更新與交換，確保命令傳送之同步性；同時，透過串列式伺服運動控制技術，得以改善傳統配線多又複雜的缺點、減少雜訊之干擾，並即時取得驅動器之資訊進一步調整驅動器參數值，希望藉由這個應用開發經驗，再以各個廠商所制定的通訊協定為基礎，發展相容於不同的串列式伺服運動控制通訊協定之子板，開發出更多的串列式伺服通訊介面應用於IMP上。



圖十 三菱SSCNET III串列式伺服介面

結語

現階段IMP智慧型運動控制平台可分為兩種不同架構，一為Standalone型式的專用型控制器可應用於一般產機，另一個則是與PC結合構成高功能型控制器可應用於中高階運動控制功能，IMP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，藉由IMP智慧型運動控制平台的研發，建立國產高精度運動控制器標準規格與完全自主化的控制核心技術，提供國內產業界在精密運動控制技術領域高性能、高整合性且低成本的高速高精度運動控制IC，並提昇國內控制器業者與精密機械設備廠商的技術水準，建構國內自主的控制器零組件產業，與國內廠商共同聯手推動精密運動定位產業聚落的形成，擺脫日/歐國際大廠的壟斷，提昇台灣精密機械產業由B+等級進入A+等級產品，提昇產品競爭力拉大與韓國及大陸的技術差距。

參考資料

[1]陳家樂 “發揮產業群聚優勢開創台灣工具機產業新利基”機械工業雜誌，2010.1月

[2]王明德 MM機械月刊 http://www.yi123.com.tw/forum_25408.html