

# 智慧型運動控制平台發展技術介紹

工業技術研究院 機械所 沈万凱

隨著我國電子半導體、LCD 產業的持續發展與日趨成熟，產值已達世界舉足輕重地位，然而過去此二兆產業相關之製造、測試與工廠自動化等設備多仰賴國外，設備自給率偏低，投資於上的龐大金額進口比例卻高達九成以上，不僅嚴重削弱產業競爭力，造成外匯流失，也無法帶動國內機械工業產生技術升級的效應。因此，近幾年在經濟部主導下，積極地規畫推動國內產、學、研界投入此兩大產業所需之關鍵設備與零組件的研究發展，期望可提高產品設備的自製率，協助相關重點產業技術昇級，而其背後所倚靠的自然便是一系列先進自動化控制設備的製造技術。

關鍵字: 智慧型運動控制平台、General Motion Control(GMC)、A<sup>+</sup> PC運動控制模式、Standalone運動控制模式、非同步串列遠端IO(ARIO)、通用伺服匯流排GSB (General Servo Bus)

## 前言

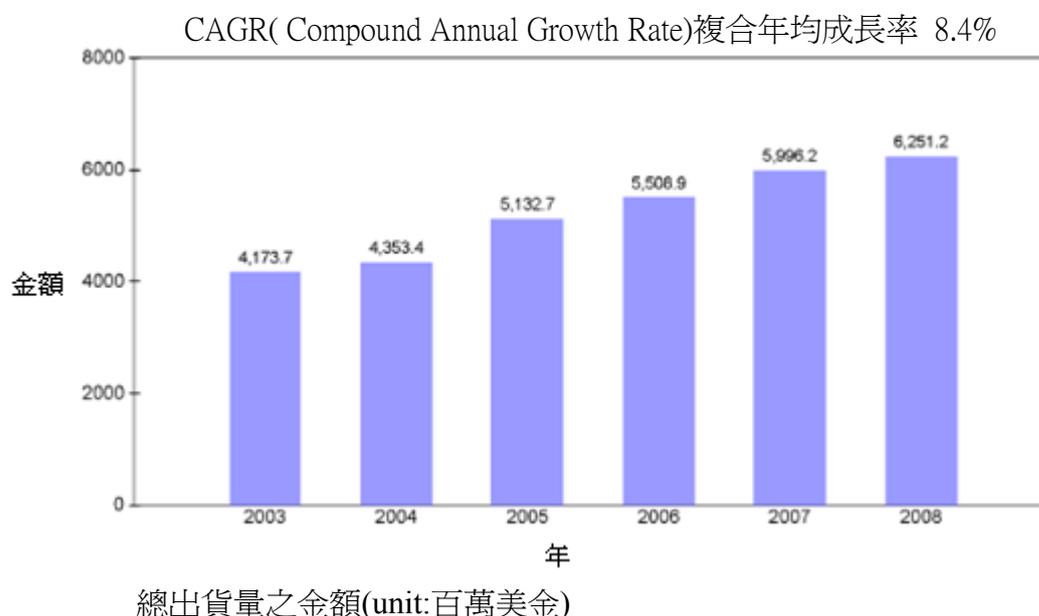
爲了讓自動化控制設備的製造技術推向 A+關鍵技術，工研院機械所開發新一代智慧型運動控制平台，發展出智慧型多軸運動控制技術，運用其精密軌跡控制技術進而讓國內機械設備業及精密機械產品達 A+級水準。另外在產業用機械手臂設計系統目前仍以歐美日等國發展較完整，台灣的機械手臂設計局限於幾種簡單型應用，希望藉由多軸運動控制技術可帶動現有產業機器人跨入關節型、高軸數市場領域。

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，近年來逐一被提出與應用。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。目前主要的通訊介面和產品如 CAN bus、Device Net、SERCOS、ProfiNET、SynqNet、Ethernet Powerlink、Modbus、...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，但能有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 RTEX、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。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與應用。

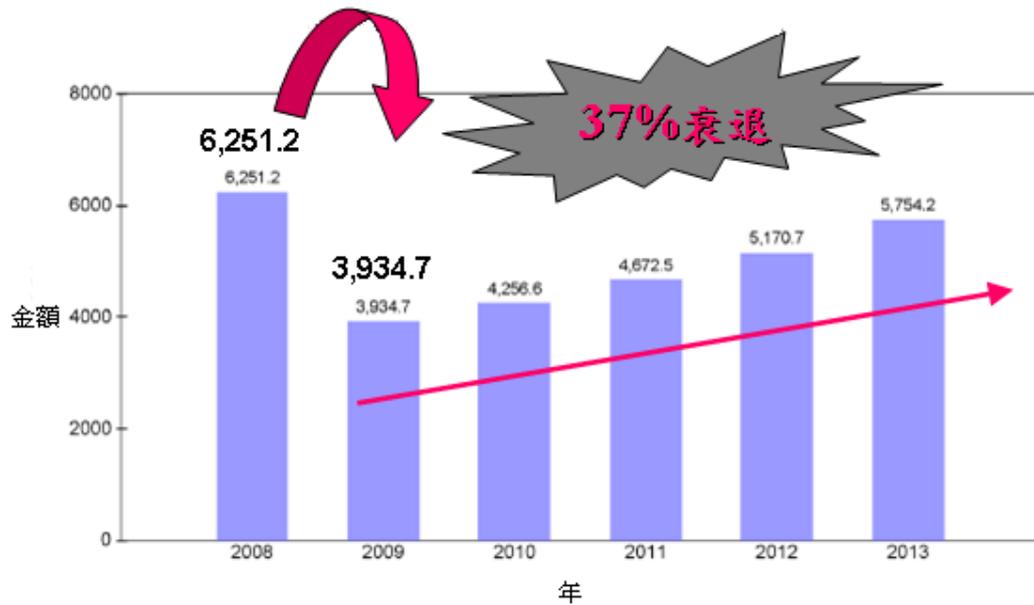
## 全球通用型運動控制市場分析與技術趨勢

根據ARC國際市調公司於 2010 出版” General Motion Control(GMC) Worldwide OutlookMarket Analysis and Forecast through 2014” 內容提到 2004~2007 年新興市場中國,印度,俄羅斯和巴西經濟成長率達 10%，並且在近 5 年來GMC市場穩定成長年增率為 8.4%，在 2008 年時市場總值逾 62 億美金



表一(資料來源:ARC)

但 2008 年底一連串金融危機衝擊,GMC 市場相較前年下跌 37%，全球經濟成長率在 2008 年下降 3.8%，2009 年下降 2.2%預估要到 2014 年始能回復至 2008 年市場總值(63 億美金)其數據如下列表二所示



表二(資料來源:ARC)

隨著經濟慢慢的復甦根據 ARC 的市調報告,亞洲市場至 2014 年將與 EMEA(EMEA 地區包括西歐,東歐,獨立聯盟,非洲和中東地區)區成爲全球最大的市場。

世界區域	2009 歲收	2009 歲收%	2014 歲收	2014 歲收%	複合年均成長率
北美	667.0	17.0%	878.2	13.8%	5.7%
EMEA	1,742.4	44.3%	2,704.1	42.6%	9.2%
亞洲	1,441.3	36.6%	2,664.5	42.0%	13.1%
拉丁美洲	84.0	2.1%	99.7	1.6%	3.5%
總共	3,934.7	100.0%	6,346.5	100.0%	10.0%

(unit:百萬美金)



表三(資料來源:ARC)

然而再這一份的市調當中我們台灣應掌握哪些的契機和哪些技術都是值得我們國內不管是學界或是業界應好好的去加以關心和探索，就 GMC 的分析目前系統組件的定義有運動控制器 (Motion controller)、驅動器 (Driver amp)、馬達 (Motor)、回授感測器 (Feedback sensors)，其中運動控制器每年有將近 11.5% 複合年均成長率。

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
伺服驅動器	2,870.7	3,178.8	3,563.8	4,030.9	4,586.6	5,166.3	12.5%
控制器	542.0	595.2	661.7	742.1	837.4	935.4	11.5%
伺服馬達	3,538.8	3,879.7	4,306.5	4,822.6	5,433.0	6,059.0	11.4%
步進馬達	12,292.1	13,342.7	14,661.1	16,249.7	18,115.5	19,988.7	10.2%
步進馬達驅動器	1,013.3	1,106.1	1,222.2	1,362.3	1,527.3	1,694.8	10.8%
總共	20,256.9	22,102.5	24,415.3	27,207.6	30,499.8	33,844.2	10.8%

每單位：千

表四 GMC 主要系統組件(資料來源:ARC)

而控制器的這一塊領域主要可以區分 Standalone motion controller、PLC-Based motion controller、PC or Bus-Based motion controller cards、PC - Based motion controller software with interface hardware 這 4 大類，並且在這裡面主要的客戶群又分為 End Users、OEMs、跟 SI (System Integrator) 表五，其中 OEMs 在控制產品中是一重要的管道與關鍵市場，例如包裝、塑料機器供應商採購控制產品並嵌入至他們的機器，在將增值產品設備銷售給最終用戶，賣出的機器可能有幾個不同的嵌入式控制產品，包括運動控制器，PLC，溫度控制器...等，然就 OEM 這一塊的領域目前仍以歐美 OEM 擁有強大的工程師團隊可自行整合 GMC 系統，而台灣 OEM 現行依賴 SI 提供技術服務，至於 System Integrator (SI) 這一類的性質，目前則有越來越偏重要的趨勢在發展中。

客戶群種類	2009 歲收	2009 歲收 %	2014 歲收	2014 歲收 %	CAGR
終端使用者	485.6	12.3%	663.4	10.5%	6.4%
設備製造商	2,931.8	74.5%	4,939.7	77.8%	11.0%
系統整合	517.3	13.1%	743.4	11.7%	7.5%
總共	3,934.7	100.0%	6,346.5	100.0%	10.0%

資料來源:ARC

表五

因此現階段全球都面臨了幾種重要的經濟課題，哪些國家可以先把握住這一些未來的市場趨勢，就越是能儘快的擺脫這次的金融危機，而這幾個主要趨勢可分為下列幾大項

□ 市場生存條件

△ 能源

- △ 原物料
- △ 資本投資
- △ 人力資源
- 汽車業
  - △ 尋求更輕的材料提高燃油效率
- 包裝機械製造商
  - △ 生態效益(Eco-efficiency)
- 運動控制產品
  - △ 伺服解決傳統液壓(Hydraulic)
  - △ 提高效率節省能源

ARC 的內文中有提到全球經濟持續的成長過程中，又有哪些的關鍵因素會影響著整個經濟的脈動，就市場階層方面則有全球化(Globalization)市場競爭、亞洲汽車市場的增長、自動化監控上的需求、新興市場持續顯著的需求、能源與原物料之問題。就商業階層方面則有商業決策與永續性的考量。就技術層面則有機電技術的提升、GMC 系統使用在醫療設備上、GMC 強大的解決方案、GMC 的靈活性與敏捷性。若就上述幾項的考量因素，因此就 GMC 供應商其本身應具備哪些的相關技能與知識其主要如下：

- 新產品開發
- 建立諮詢服務能力(Service)
- 建立技術支援中心
- 建立區域投資
- 提供機電整合技術
  - △ 自動化系統是以“MOTION”為核心
  - △ 支援複雜且可使用軟體快速開發
  - △ GMC 供應商提供易於使用的開發環境與工具
  - △ 不同世代之機台的移植性
- 與 OEM 建立長久夥伴關係
  - △ 技術的平衡
  - △ 產品交付
  - △ 現場技術支援
  - △ 不斷創新

雖掌握了這一些趨勢與方向，還必須要有一套解決的方法才能將真正的問題點尋找出解決的方法，而這一些的問題點有來自大環境的挑戰也有來自技術上的突破，因此在 ARC 中就有提出類似像 PAC (Programmable Automation Controller) 概念和機電整合概念

## □ PAC (Programmable Automation Controller) Concept

PAC 是一個自動化平台,包含多個控制領域(Multiple domains of control), 因此須設計有運動控制功能的整體編排控制任務。在 Process 方面須整合運動控制功能、實時事件處理、時序控制, 就 Logic 方面則需有 PLC 應用於維護和輔助驅動系統, 在 HMI 方面提供整合開發環境(IDE)實現有效率的開發

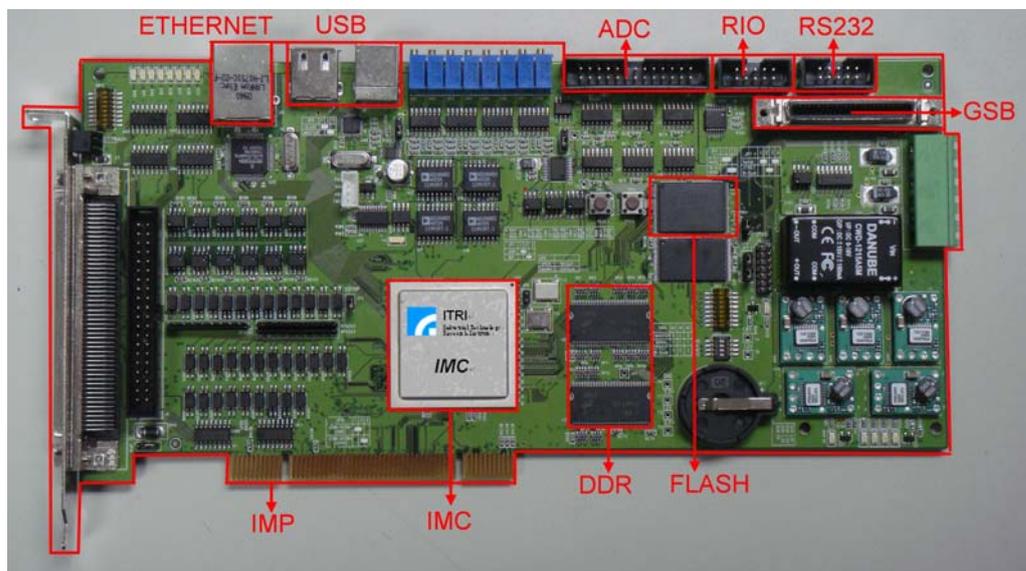
## □ 機電整合概念

- △ 從設計概念到機械配置與測試
- △ 與軟體工程協同作用的組合
- △ 提高安全性,可靠性增加資產回報
- △ 相關電氣與軟體的測試
- △ 提供巨大的價值予機械製造商以縮短開發時程

基於上述的解決方式工研院機械所則提供了另一種的解決方案,就是由工研院開發的第三代智慧型運動控制平台 IMP, 此 IMP 內建運算處理器(PowerPC 440)和硬體 Double floating point unit 之運動控制專用晶片, 搭配即時多工作業系統 RTOS (VxWorks)及週邊裝置之控制介面而架構為一嵌入式運動控制平台, IMP 上並且內建了 MCCL 運動控制函式庫, 具備運動控制所需之各項功能, 除了可單機執行運動控制外, 並整合了目前普遍使用的 PCI-Bus 及 Ethernet Controller 等與外界構通的介面, 內建 Web Server 可透過網際網路於遠端透過 PC 或人機介面平台進行命令下達與監控, 此外亦整合了全數位伺服控制介面, 可與全數位伺服驅動器溝通。IMP 軟體則搭配軌跡插值運算、整合發展套件、運動控制函式庫... 等各項工具提供使用者可進行應用系統之開發。

# 智慧型運動控制平台

IMP 硬體規格：



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）
- 42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

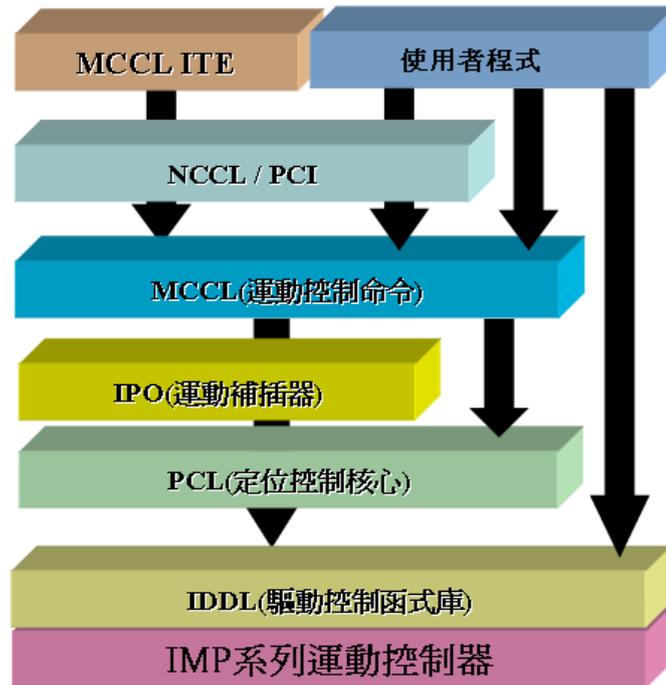
關於IMP智慧型運動控制平台主要規劃兩種運動控制模式一個是A<sup>+</sup> PC運動控制模式另一個是Standalone運動控制模式，運動控制模式功能方面除了保留原先工研院機械所所開發的EPCIO六軸控制卡功能外，並將其控制的軸數由原先六軸提升八軸，另外也增加了PID和Feed-Forward控制功能，在ADC、DAC、RIO、LIO等功能也均有提升其bit數和I/O數。

運動控制功能方面提供了運動控制函式庫 MCCL 可做 3D 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 MCCL 並提供了 14 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；MCCL 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。定位控制方面，使用者可利用 MCCL 設定定位比例增益、定位誤差容許範圍，MCCL 也提供定位確認、齒輪齒隙、間隙補償等功能。在 I/O 接點訊號處理方面，使用者可利用 MCCL 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，使用者可自訂此函式的執行內容。

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。某些特定輸入訊號可自動閘鎖編碼器計數值，MCCL 並支援編碼器之計數值累積到特定值時自動觸發使用者自訂函式的功能。D/A 轉換功能方面，使用者除了可利用 MCCL 輸出要求的電壓值外(-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。A/D 轉換功能方面，使用者可利用 MCCL 讀取輸入的電壓值(-5V ~ 5V 或 0V ~ 10V)，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，使用者可自訂此函式的執行內容。計時功能方面，使用者可設定計時器的計時時間，當啟動計時功能並在計時終了時，可自動觸發使用者自訂的中斷服務函式，並重新開始計時，此過程將持續至關閉此項功能為止。MCCL 也提供 Watch Dog 的功能。

#### ■ A<sup>+</sup> PC運動控制模式

A<sup>+</sup> PC運動控制模式主要的應用又可區分兩種，一種透過網路介面另一種則透過PCI介面來達到與PC連接應用，使用者可直接利用Windows程式開發工具(VC、VB、C#、BCB...)，搭配平台提供之運動、通訊、控制...等相關程式元件(.dll、.lib、.bas、.cs或ActiveX元件)進行精密運動控制視窗程式設計，而此程式會透過通訊傳輸介面交付精密運動軌跡運算作業給智慧型運動控制平台，而PC本身僅負責其餘作業像是人機介面、視覺處理....。



圖二 IMP A<sup>+</sup> PC運動控制平台軟體架構方塊圖

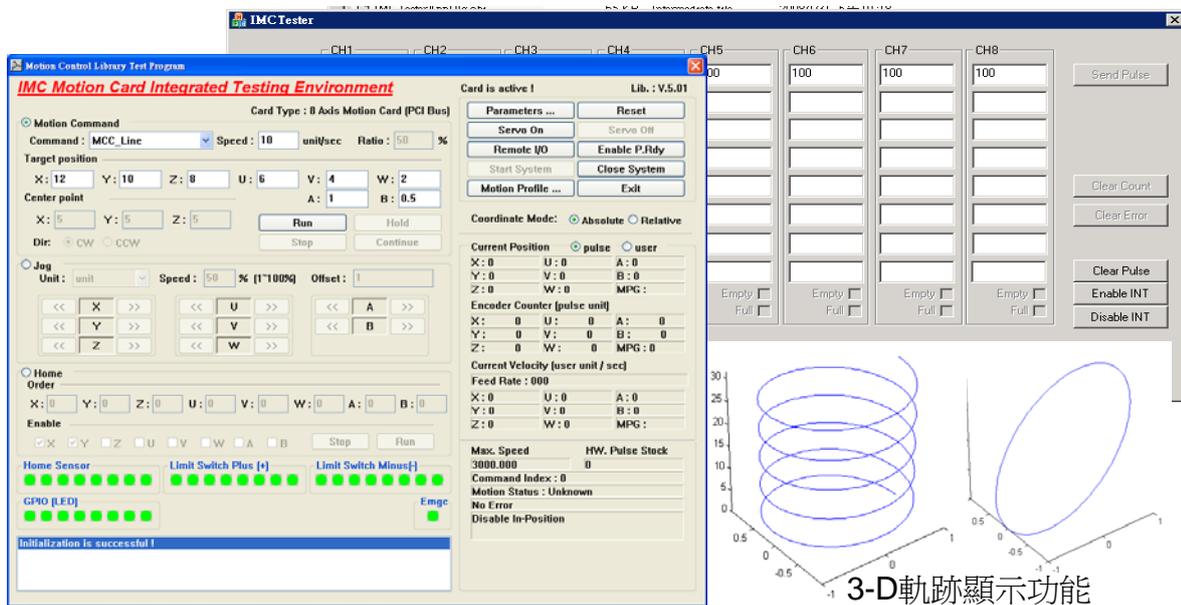
因此在A<sup>+</sup> PC運動控制模式下，若是要開發成網路型的模式則必須透過Ethernet網路介面和由工研院機械所提供的NCCL(Network Communication and Control Library)的運動控制函式庫一起做開發而成A<sup>+</sup> PC網路型運動控制。



圖三 IMP A<sup>+</sup> PC運動控制模式

若不透過網路模式開發，則還可以採用另一種的開發模式應用那就是透過PCI Bus 做為IMP與PC之間溝通的介面，同樣的在這A<sup>+</sup> PC PCI Based型運動控制

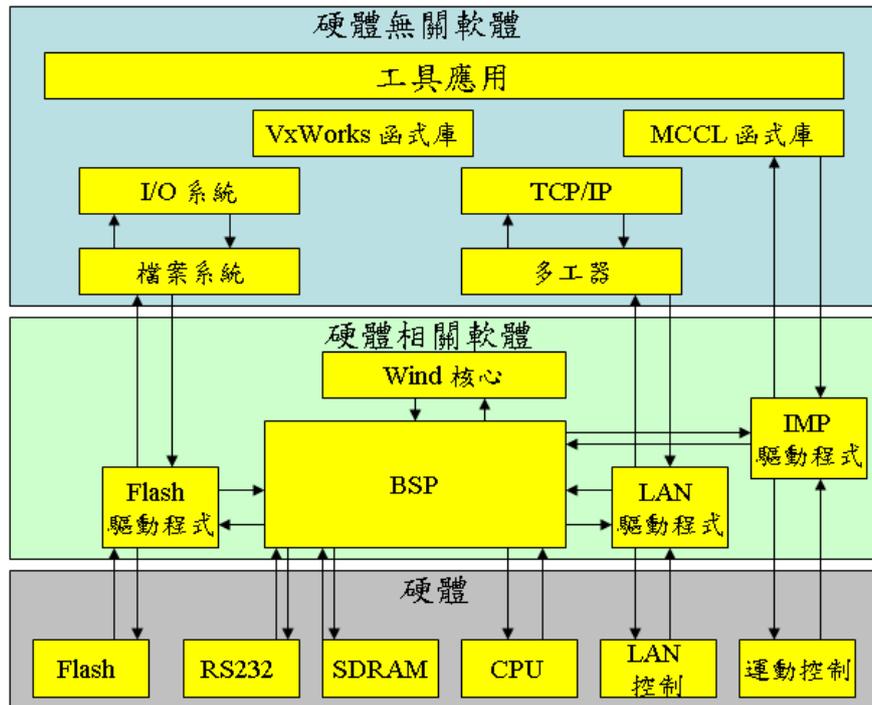
下，工研院機械所也同樣提供專屬開發的運動控制函式庫，以利做運動程式的開發。而為了加速END USER開發的速度，另提供IMP整合測試環境軟體以方便開發者使用測試和開發應用。



圖四 整合測試環境(ITE)

#### ■ Standalone運動控制模式

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五所示



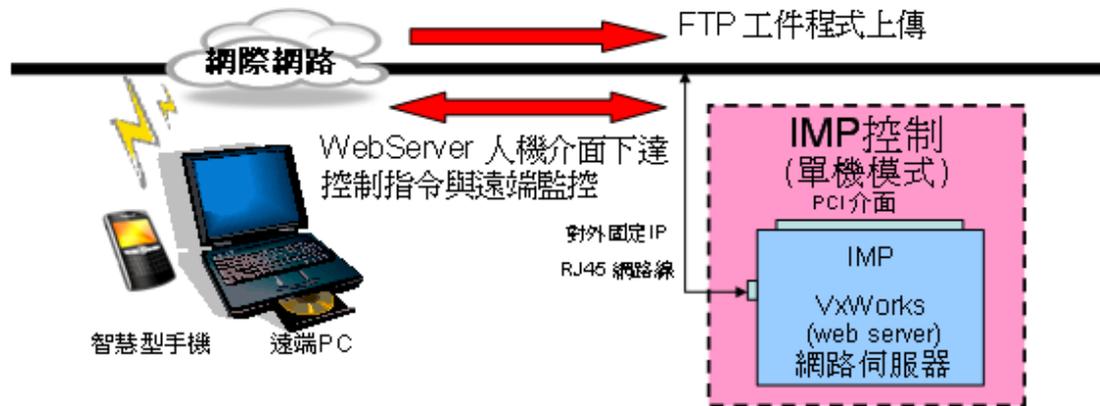
圖五 IMP Standalone軟體架構方塊圖

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六所示的畫面，表示IMP已完成開機並等待下一個程式命令執行。



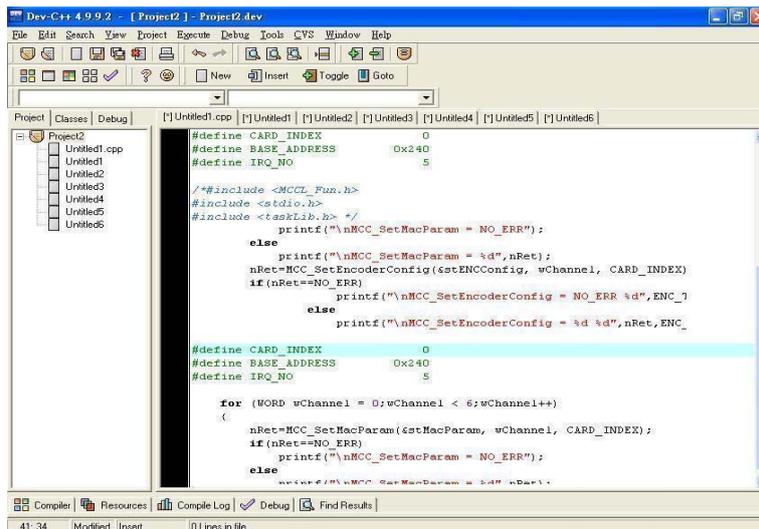
圖六 IMP執行VxWorks作業系統開機畫面

為了透過網際網路的功能讓IMP可以做遠端的監控，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七所示，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。



圖七 IMP Web Server控制功能

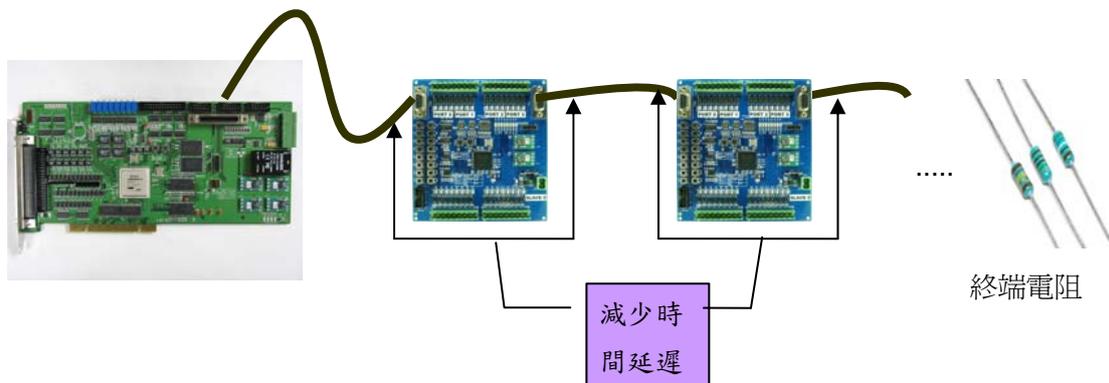
另外雖然在Standalone工作模式下，已將運動控制函式庫完全移植到IMP裡做運算，但在供給客戶端來開發自己的產品應用時，則還需要提供使用者開發編輯工具以方便客戶規畫出自己的運動控制模式，所以工研院機械所另外開發出一套精簡版的IMP Develop Kit供客戶開發使用，經由IMP Development Kit客戶可以在上面編寫自己的運動控制，最後再經由IMP Development Kit的compile tool，將客戶所規劃的運動控制模式與IMP運動控制函式庫 link在一起後產生一個執行檔，再將這個執行檔透過FTP傳送到IMP上去執行，已完成整個運動軌跡控制執行，至於IMP Development Kit程式編寫支援C跟C++程式語言撰寫其介面如圖八所示。



圖八 IMP Develop Kit

■ 非同步串列遠端IO(ARIO)

為了解決IMP上輸出的接點不足，工研院機械所開發了非同步串列遠端IO(ARIO)控制子板作為IO接點擴充用，此ARIO編碼解碼採用曼徹斯特編碼技術，每一個遠端IO控制子板共16個IN16個OUT，最多可連續串接32張子板，採用此I/O控制子卡其最大的優點是減少配線、減少干擾、減少串列傳輸延遲。

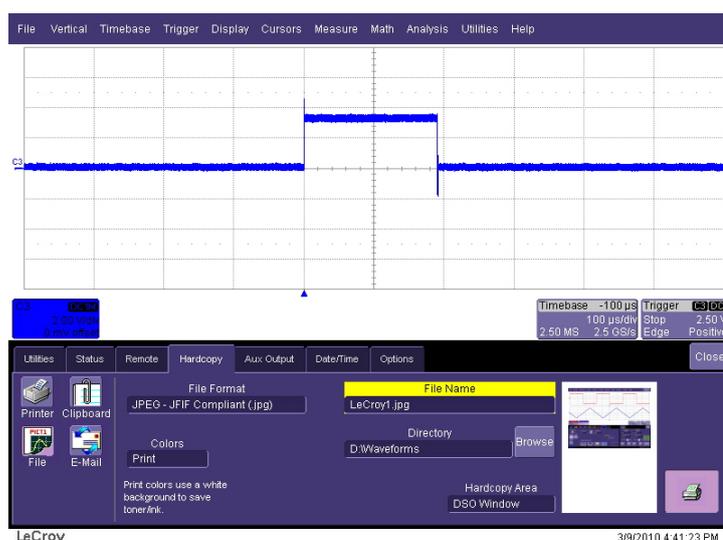


圖九非同步串列遠端 IO

## 智慧型運動控制性能及架構應用

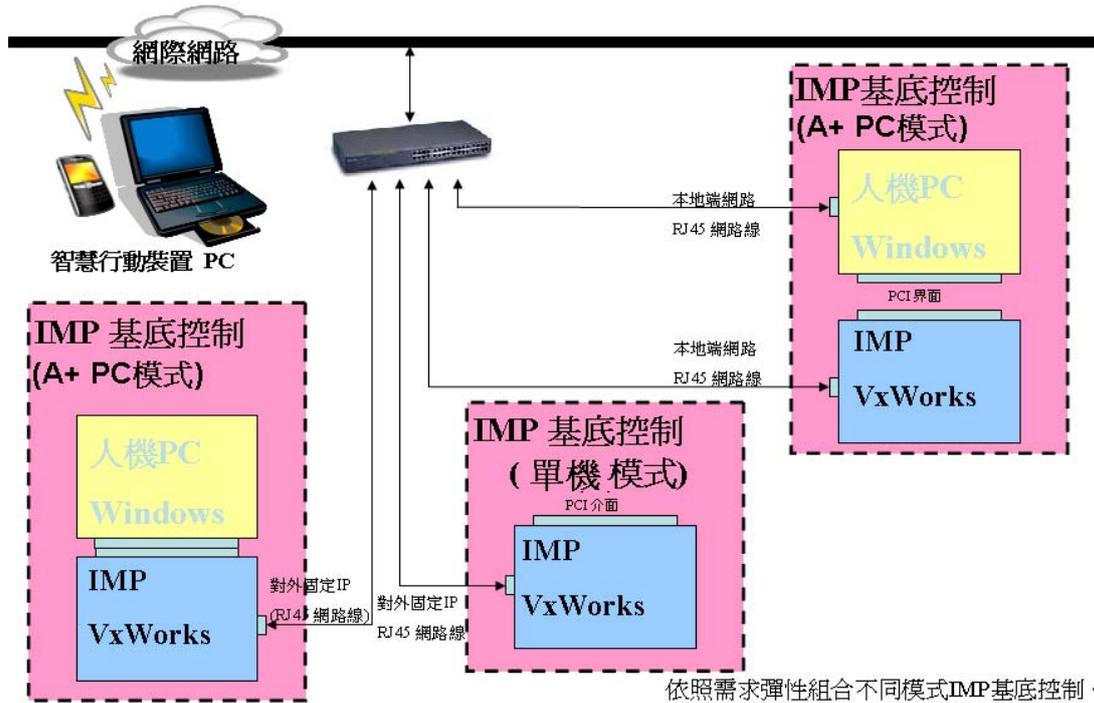
### ■ IMP 運動控制平台即時性能分析

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，得到其整個IPO(interpolation time)時間(含Latency 及存取I/O時間)約為 $200\ \mu\text{s}$ 如圖十所示，因此就量測的結果對於往後IMP在發展運動控制器時相信其real time的問題是可以身任的，希望藉由IMP的產品開發與應用能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。



圖十 IPO time

關於IMP的網路架構應用可透過HUB連接不同模式的IMP Based Controller，每個IMP皆需配置固定IP，依照需求彈性組合不同模式IMP即可以做到一台電腦監控著多台的IMP控制平台，其架構圖的應用如下圖十一所示



圖十一 IMP網路架構應用連接示意圖

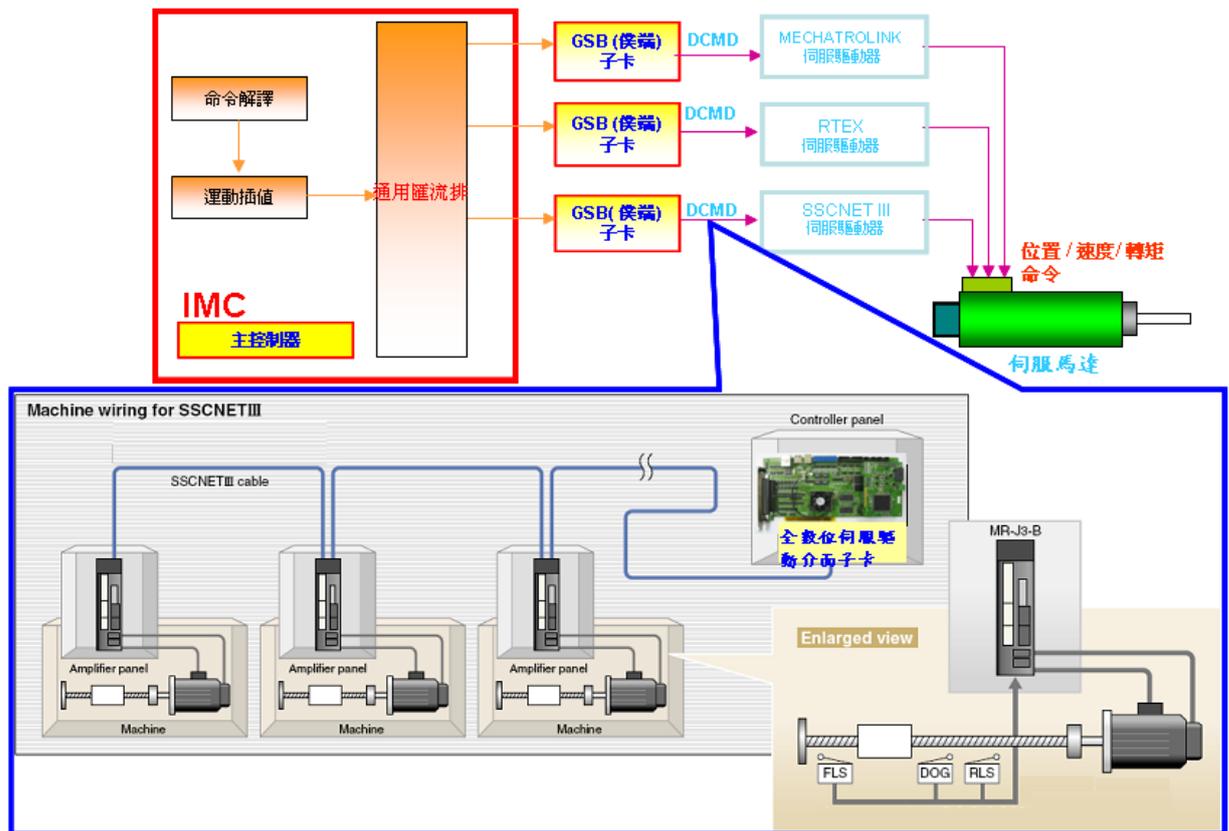
## 通用伺服匯流排GSB (General Servo Bus)

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，以運動控制系統而言，不論在硬體或是通訊協議上，目前並沒有統一的標準可言，雖然SERCOS (IEC-61491)是僅見的國際標準，但歐洲、日本與美國等伺服器大廠仍各自提出自己定義的通訊協議，如三菱電機 (MITSUBISHI) 的SSCNET、松下電器 (Panasonic) 的F2NET、安川電機 (Yaskawa) 的MechatroLink…等

傳輸協定	SERCOS III	SSCNET III	MECHATROLINK	SynqNET	IEEE1394	RTEX (Real Time Express)
距離	100m	50m	100m	100m	4.5m	60m
速度	100Mbps	50Mbps	100Mbps	100Mbps	400Mbps	100Mbps
通訊週期	31.25us~1ms	0.44ms	31.25us~64ms	0.1ms	0.1ms	0.5ms
媒介	乙太網路	光纖	乙太網路	乙太網路	火線 (firewire)	乙太網路
供應商	Bosch, Indramat...	Mitsubishi	Yaskawa	MEI	Agile System	Panasonic

表六 串列式伺服網路通訊介面

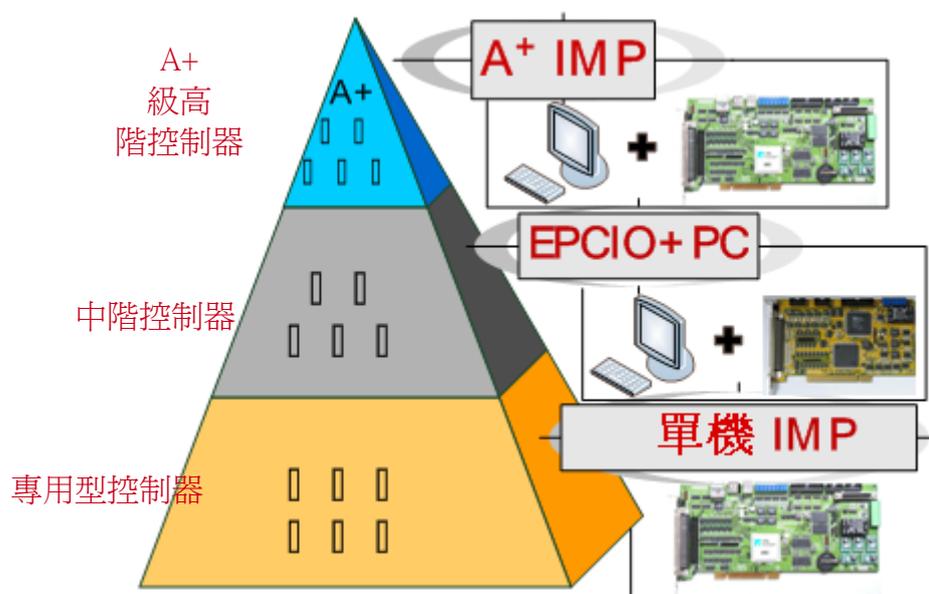
為了解決傳統伺服控制發展中所遇到許多困難如過多的配線、解析度不足、同步性、即時性、雜訊干擾等問題，利用串列式伺服運動控制透過即時通訊協定技術，發展更高速度高精度的伺服控制，因此工研院機械所對於數位式串列傳輸控制這塊領域目前也積極的從事開發出一個通用型伺服匯流排GSB (General Servo Bus) 的介面，可以供廠商選擇不同的全數位串列式伺服通訊傳輸協定，來開發屬於適合自己的產品，而目前工研院機械所搭配的全數位伺服傳輸介面是先以三菱SSCNET III作為開發運用如圖十二，藉由光纖通訊以固定時脈做資料的更新與交換，確保命令傳送之同步性；同時，透過串列式伺服運動控制技術，得以改善傳統配線多又複雜的缺點、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。



圖十二 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，一為單機(Standalone)型式的，另一個則是A<sup>+</sup> PC運動控制模式，對於未來市場的區隔如下圖所示



圖十三 運動控制領域分佈圖

中階層級控制器仍由EPCIO運動控制技術為主要，至於Standalone型式的則定位在專用型控制器可應用於一般產機，最後一個則是與PC結合構成高功能型控制器可應用於高階運動控制功能。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，最後希望藉由IMP智慧型運動控制平台的研發，能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，並且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，以提昇國內控制器業者與精密機械設備廠商的技術水準和建構國內自主的控制器零組件產業，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] ARC國際市調公司2010出版 ”General Motion Control Worldwide Outlook Market Analysis and Forecast through 2014”
- [2] 工研院機械所 ”IMP-2硬體使用手冊” 2010.6
- [3] 汪曙峰 “串列式伺服運動控制技術簡介與趨勢發展” 機械月刊399期2008.10