

應用於工業控制之 CPU-BASED 精密運動 控制晶片設計介紹

工業技術研究院 機械所 林家慶

關鍵詞

運動控制 Motion Control

智慧型運動控制晶片 IMC (Intelligent motion chip)

比例-積分-微分 PID (Proportional-Integral-Differential)

定位控制輸入輸出 EPCIO (Exquisite Positioning Control Inputs and Outputs)

伺服迴路 SERVO LOOP

可程式邏輯控制器 PLC (Programmable Logic Controller)

智慧多軸運動控制 Intelligent Muti-axis Motion Control (IMMC)

摘要

工業控制器的主要功能範疇很廣，大致上可分為運動控制器與程序控制器，早期程序控制器是控制單點的輸出入，如閥門、繼電開關，使其依序接通或斷路以達成控制機能，也就是所謂PLC。而運動控制器則是控制連續單軸或多軸合成的位置移動形成之路徑，通常進行與形狀有關的切削加工機能。

PLC控制器從1960年代問世後，在工業控制領域裡就扮演著重要的角色，由於他的價格便宜，因此直到今天在各個控制的領域裡還是處處可見PLC-BASED控制器。但是伴隨著時代的進步，在處處講究效率的今天，PLC控制器也已漸漸的被PC-Based控制器所取代，主要原因是因為PC-Based是以個人電腦主機為基礎，其開放性的架構，可藉由介面板的擴充，例如ISA介面或PCI介面，將各種可能的應用以介面卡的方式整合到PC的硬體架構中，並且運用PC上不斷更新的軟硬體資源，降低系統研發的成本及提高資訊的處理速度。雖然PC-Based控制器享有豐富PC上的資源可運用，但是當控制系統要求更精密且更複雜的控制時，控制系統的即時性能就顯得相對重要，這些需求在傳統的PC-BASED控制器已漸漸無法滿足，因此CPU-BASED的控制器因應而生。

在運動控制系統上，運動命令的規劃與產生往往會決定控制的精確度。因此發展控制技術的主要目的就是使受控系統順應運動命令，並完成指定的動作。控

制理論由比例-積分-微分控制理論，發展到可變結構控制理論、模糊控制理論、類神經網路控制理論以及強健控制理論…等等，目的都是為了找出最佳的控制方法來控制受控體。

英文摘要：

The industry controller's major function category is very broad, may divide into the motion controller and the program controller roughly, the early program controller is controls the single point input/output, like the valve, following the relay switch, causes it to switch on in order or to break achieves the control function, also is so-called PLC. But the motion controller is the control continues the single axle or the multiple axle synthesis displacement in position forms the route, usually enters with the shape related truncates the processing function.

The PLC controller is published after 1960, in the industrial control domain is playing the important role, because his price is cheap, therefore until today in each control domain everywhere obviously PLC-BASED controller. But is following the time progress, everywhere is being fastidious about efficiency today, the PLC controller gradually has also been substituted by the PC-Based controller, the primary cause is because PC-Based is take the personal computing main engine as a foundation, its open construction, may because of lie between kneading board's expansion to expand meets for example the ISA interface, the PCI interface, applies each kind of possibility by the interface card way conformity to the PC hardware framework, and renews unceasingly using PC on the soft hardware resources, reduce the system research and development the cost and enhance the information the processing speed. Although the PC-Based controller enjoys on the rich PC resources to be possible to utilize, but works as the control system request is preciser, and real time more complex control, control system's immediate performance appears relatively important, these demands have been unable in the traditional PC-BASED controller to satisfy gradually, therefore the CPU-BASED controller in accordance to lives.

On the motion control system, the motion command plan and will produce will often decide the control the precision. Therefore the development control technology's main purpose is causes the controlled system to comply with the motion command, and completes the motion which appoint. The control theory from the Proportion-Integral-Differential control

theory, develops the invariable structure control theory, the fuzzy control theory, the kind of nerve network control theory as well as the strong control theory... And so on, the goals are to discover the best control method to control are controlled the plant.

前言

工業控制器的設計常因應各個功能的需求限制，整合不同樣式的控制器。傳統控制器對控制目標的實現均以類比方式來設計，在操作層面上；多型式的類比控制器類型會混淆開發者對控制目標的認知，造成對設計人員的訓練養成困難，因而降低控制器實用面的深度與應用層面的廣度，在維護的層面上，類比控制器較易因時間與環境參數的改變，造成控制目標的偏差，如此將增加控制器在維護上的困難度。因此，對於類比控制器的控制目標改變時，整體控制電路必須重新設計配置，相當繁雜，所以在更新上是複雜困難的，重新配置可能是唯一的解決方式。以單晶片微處理器為基礎的可程式化邏輯控制器與數位控制器，用於各類程序控制和運動控制相當普遍，也克服早期工業控制器的缺點。

運動控制是精密加工機械上關鍵的核心技術，其應用範圍包涵了從定位控制或速度控制的產業機械到高精密度的各類CNC工具機。運動控制系統的建立是必須整合各種軟硬體的技術而成的，對於使用者而言，除了對系統的基本功能要求外、成本高低、系統穩定性、使用頻率、保固服務、與其他軟硬體的擴充性和相容性...等等都是評估運動控制系統的因素。另外在實際運動控制系統的考量上不僅要控制各軸位置，同時也要控制各軸的速度，工業上機台之運行是否能遂行，不僅需要控制理論上的性能評估，還必須考量到機台本身實際特性，所以整個運動控制是一個非常複雜的系統。

在精密機械製造業的領域裡，關鍵零組件的開發及運動控制器的性能隨著科技進步而日趨提升，無論在位置精確度或控制效能上皆有很大的躍進。機械運動通常建構在馬達運動上，而馬達就好比機械系統上的手跟腳，負責機械儀器的定位、運動的速度等等，所以當馬達控制不好，將直接影響機械定位的不精準而使產品的良率下降。有許多方式來實現運動控制器，早期的類比電路控制器為了實現馬達控制需要將控制電路設計在一塊電路板上，除了使用的零件數目多以外、空間大、可靠性低、成本高...等等都是其缺點。但是隨著PC及半導體產業飛快的進步下，已經開發出目前的數位控制器，例如微處理器或是數位訊號處理(DSP)，然後進一步的發展出以FPGA (Field Programmable Gate Array) 為設計平台的控制器。因此在不用ASIC的情況下，也都能使用FPGA(可程式陣列)來實現複雜的電路功能。這將大大的改善以往的缺點，也提高馬達的控制性能。論及運動控制技術，無論是機械產業、CNC控制器以至於半導體設備等，都離不開這個範疇。

同時隨著PC的推陳出新及半導體技術的進步，使得運動控制技術起了很大的

變化，從功能、體積、價格、穩定度都提升不少，加上DSP的加入及配合控制法則的運用，許多以前必須使用專用控制器的複雜問題，現今都只是PC-Based控制器的基本功能。台灣優異的PC產業以及大量工具機和機械工業之產能，卻沒有一個自有品牌之控制器。有鑑於此，工研院機械所機電控制整合部投入運動控制系統研發已久，根據累積多年的相關經驗充分應用國內PC產業的資源，對於新控制系統的研發都朝向晶片化、微小化為指標。以本部門先前開發的EPCIO運動控制晶片為架構基礎上更進一步的研發出多功能且更符合業界需求IMC（智慧型運動控制卡），本文在介紹運動控制晶片的設計技術及探討國內外控制晶片的差異性。

精密運動控制基本原理介紹

運動控制系統在工業界上的應用非常的廣泛，一般來說，運動控制系統粗分為開迴路系統與閉迴路系統以及完全型閉迴路系統如圖 1 圖 2 圖 3 所示。一個不含回授元件的控制系統，其輸出信號不會影響系統的輸入信號，稱為開迴路控制系統(Open-loop control)而為了使系統能更準確的控制，於是加入回授元件，讓輸出信號經由回授元件產生回授信號，然後再與輸入信號於比較器做比較而得到誤差信號，以作為控制器的修正輸入；整個系統將持續此一回授動作，直到達成原先預期的輸入目標值為止，此即閉迴路控制系統(Closed-loop control system)。閉迴路控制系統的優點是：由於回授的加入使得系統對外來的雜訊干擾及內部元件參數的變動影響顯得較不敏感，亦即可增進系統控制的準確度。另外完全型閉迴路系統為閉迴路系統的一種，是將回授信號透過光學尺等量測元件直接由受控體經轉換器（速度換能器）拉回驅動器，此一作法是讓精確度更高。以 PC-Based 為主的運動控制系統而言包含許多的部份，除了運動控制卡（包含 Motion Control ASIC）外，還需要有回授解碼電路、馬達驅動電路、周邊輸出入電路及控制軟體等等整合而成如圖 4 所示。因此完整的閉迴路運動控制系統是包括由控制器（Controller）、驅動器（Drive）、致動元件（Actuator）、受控體（Plant）、偵測器（Sensor）所組成如圖 5 所示。運動控制系統通常可針對使用者的需求來設計，以控制受控體的位置、速度、加速度或運動軌跡。控制馬達的轉軸位置即是定位控制的唯一目標，現今的定位控制已從過去的釐米(mm)等級提升到微米(μm)等級甚至是奈米(nm)等級，隨著定位精準度的提升，運動控制器的設計也越來越困難。因此機械結構本身以及致動器、感測器的選擇與高等控制法則相互配合下才能達到其要求的定位精度。一般而言，運動控制卡計算從 PC 端所下達的位置命令，以及由編碼器所回饋的實際位置，經過位置控制器(position controller)的演算與補償後，產生所需要的速度命令並傳給下一級的速度控制迴路(velocity controller)。速度命令通常以電壓的形式輸出，所以不同的電壓代表著不同的轉速命令，而兩個關係是一個線性的關係。當伺服馬達接受速度命令後，會再與編碼器所回饋的速度命令作耦和，產生所需的電流命令當做下一級電流控制迴路(current controller)的輸入。其間的關係可由圖 6 的典型閉迴路控制系統功能方塊表示。

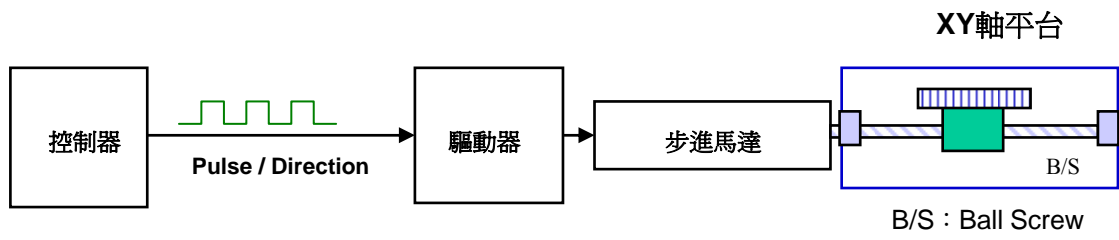


圖 1 運動控制開迴路系統

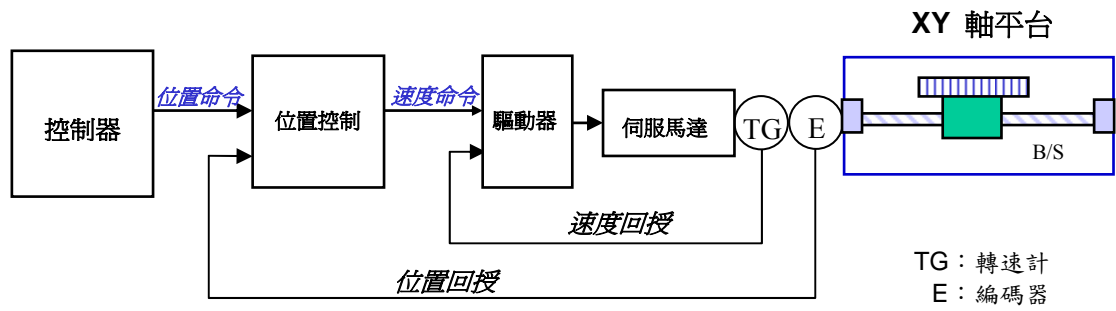


圖 2 運動控制閉迴路系統

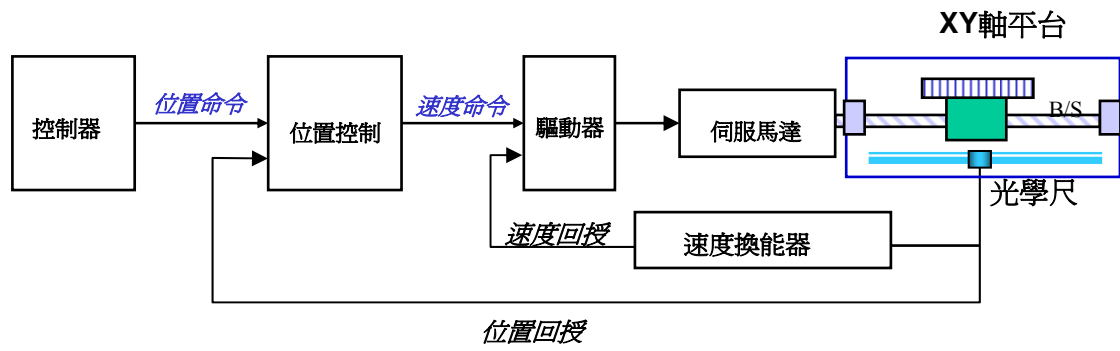


圖 3 運動控制完全型閉迴路系統

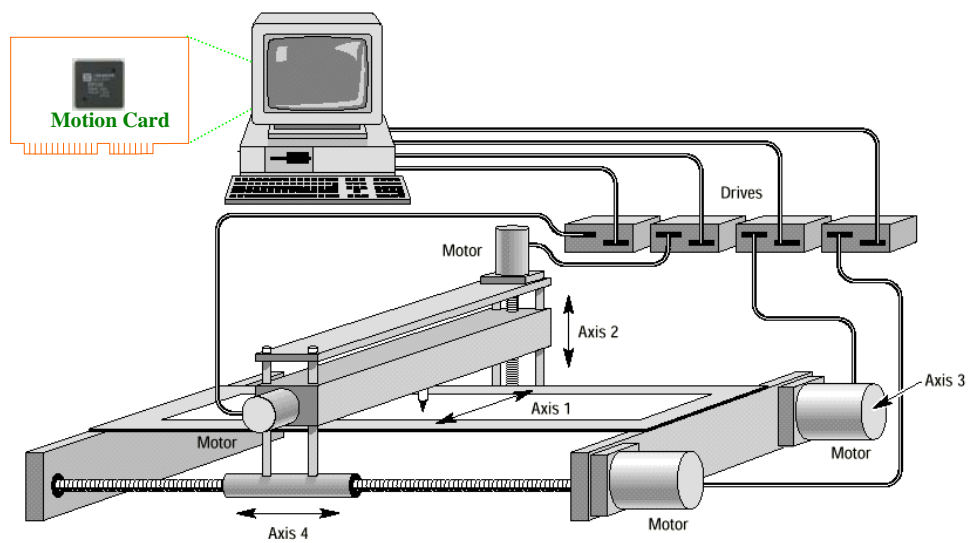


圖 4 PC-Based 運動控制系統

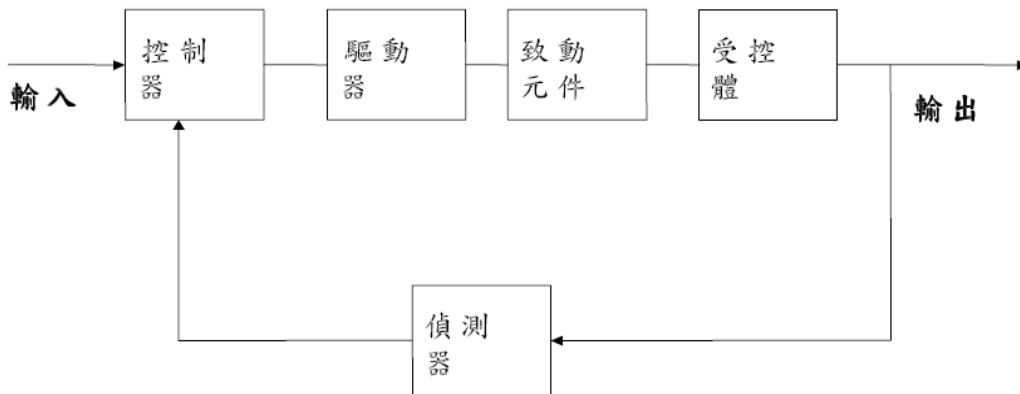


圖 5 閉迴路控制系統方塊圖

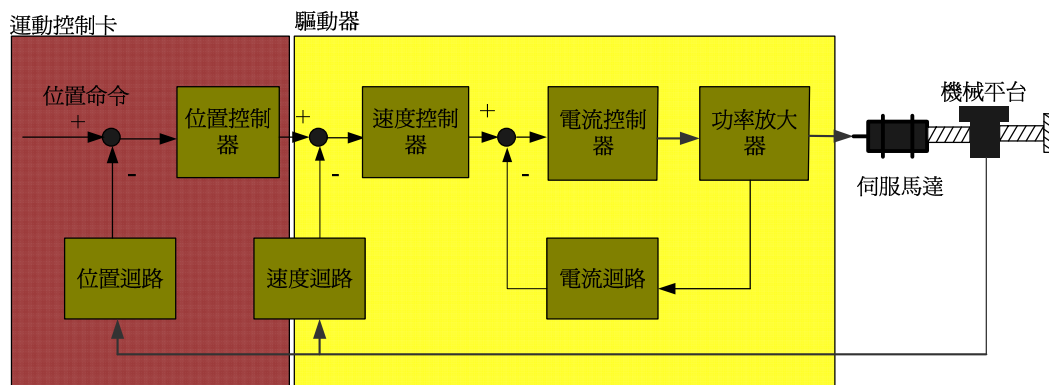


圖 6 典型閉迴路控制系統功能方塊圖

如圖 7 所示是一個典型的閉迴路位置控制系統 (close loop position controller)。若要有此控制系統的功能，只要具備有數位類比轉換功能 (D/A converter) 及編碼器回授 (encoder feedback) 輸入功能的電腦週邊運動控制卡即可。位置控制迴路的運算是 CPU 每隔一段時間去讀取編碼器的回授值來獲得馬達實際的位置，並且計算與目標位置的誤差量，經過 PID 控制法做補償計算後，產生相對應的電壓值，再經由數位類比轉換 (D/A converter) 輸出，即可對馬達做轉速和位置的控制。

當目標位置領先馬達實際位置，而且誤差值大時，則產生的正電壓值相對也就大，會使馬達朝向目標值前進，反之，若目標位置落後馬達實際位置，則產生負電壓使馬達朝向目標值前進。當實際位置等於目標位置時，輸出電壓為零則馬達停止。若採用圖 8 的開迴路控制方式，則 CPU 負責位移脈波量的計算，通常脈波的部份會透過硬體電路來輸出，而位置控制迴路的計算則由馬達驅動器來完成，此時編碼器位置回授只做為監視用途。

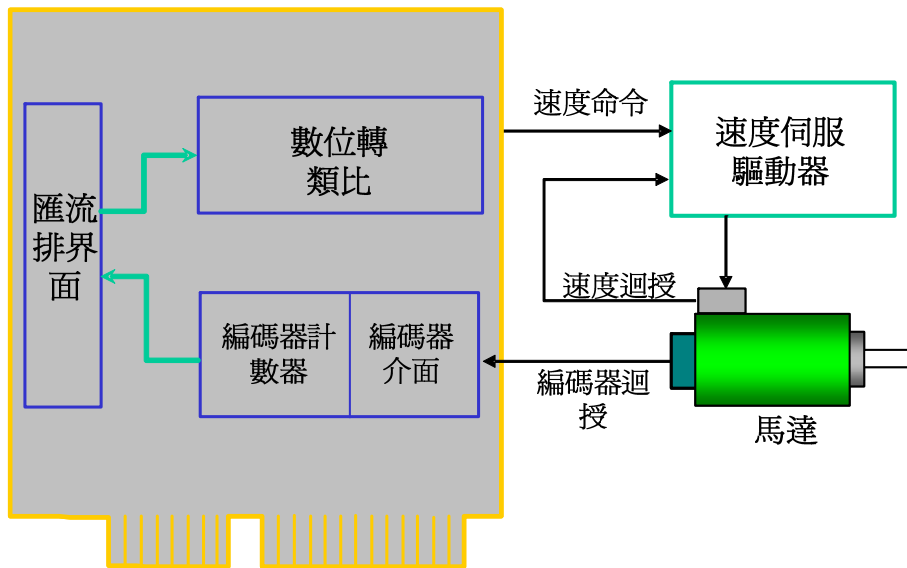


圖 7 閉迴路控制系統圖

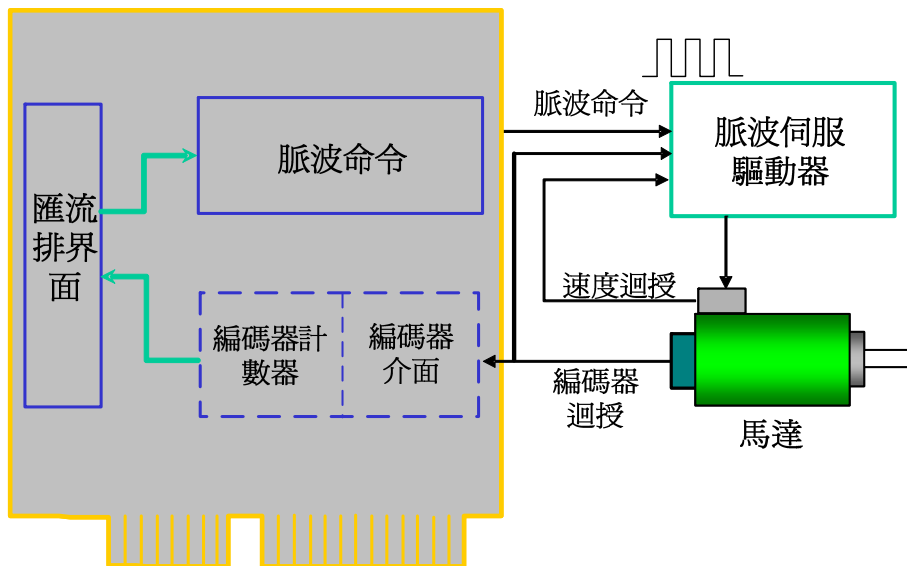


圖 8 開迴路控制系統圖

不管是採用閉迴路控制或是採用開迴路方式，CPU 需提供 1ms 的即時控制能力因此對作業系統都是一個負擔。所以有一部份重複的計算可以交由硬體來做，運動控制晶片就是幫助 CPU 來完成這些重複計算的工作，讓 CPU 可以空出多餘的時間來處理如命令的解譯、軌跡的規劃…等等。

現今控制器基本架構介紹

控制器若以架構來分，目前工業上所見的控制器可以大概分為三種：PLC-Based、PC-Based、以及 CPU-Based 控制器(單機型)。PLC-Based 與 PC-Based 控制器一定得配合運動控制卡。

微處理器的出現引起工業控制器研發的轉變，最大優勢主因在於微處理器具成本低、可程式化等。由於微處理器全數位化克服了以往類比控制器容易受雜訊干擾、時間久遠而老化、不易升級、等不利因素。其中，以單晶片微處理機為基礎的可程式化邏輯控制器(PLC)，用於各類程序控制和運動控制相當普遍也見其成效。它們的可程式性與數位化的操作，確實克服早期工業控制器的缺點。長期以來，PLC-BASED 控制器始終活躍於工業自動化控制領域的主戰場，為各種各樣的自動化控制設備提供了非常可靠的控制應用。其主要原因在於，它能夠為自動化控制應用提供安全可靠和比較完善的解決方案，適合於當前工業企業對自動化應用的需求，但隨著 PC 及網路時代的到來，工業 PC (IPC) 或 PC-based 控制器由於可以完全融入到網路時代的信息系統中，具有網路系統的基本特性，即具有高性能、低價格、系統開放、豐富的人才基礎等優勢，因此 PC-based 控制器一經出現就具有很強的生命力，發展極為迅猛。有觀點說，PC-based 控制器將取代傳統 PLC-based 控制器，原因在於以目前用於各類程序控制的 PLC-based 控制器來說，大多數是封閉性的系統，其程式開發環境都是專用的並沒有統一的通訊協定。因此使用者需花費時間為了系統間的整合。因此若要取代掉 PLC-based 控制器首先必須解決可靠性及編程問題但近幾年來，這些問題已基本得到解決，開放式的 PC-based 控制器不僅從外觀到可靠性也都開始可以與 PLC-based 相近而且在編程方面，由於 IEC61131-3 編程語言標準的推出和廣泛採用以及 PC-based 控制器可依需求規格不同作彈性的搭配，為 PC-based 控制器的發展鋪平了道路。這樣，PC-based 控制器不僅具有 PC 的優勢，也具有傳統 PLC 的優勢。它可無縫地融合到網路時代的信息系統中。

在自動控制領域，PLC-based 技術和 PC-based 技術是當前比較具有代表性的控制技術，兩者的技術起源和發展有較大的差異。PLC 產生於上世紀 70 年代初。最早的 PLC 是以替換繼電器系統的角色出現，其主要實現的功能僅僅是邏輯簡單的順序控制功能。PLC 一經出現，就以其高可靠性、小體積和直觀的編程模式而顯示出強大的功能性，成為自動控制領域的「明星」。

所謂 PC-Based 控制器係指以 PC 為控制中心，加附於機械系統上，運用其數值運算能力，進行一般或特殊工業系統的控制，以達成此工業系統的目的。PC-based 是一種基於 PC 技術的控制系統在運算、儲存、和軟體開放性方面具有優勢。PLC-based 和 PC-based 兩者在技術特點上存在明顯區別；PLC 具有體積小、功耗低、抗干擾能力強、高可靠性，無故障率時間間隔 (MTBF) 長的優點且具有簡單直觀的編程模式(如梯形圖)；而 PC-based 有很強大運算能力且具有開放標準的系統平台和 PCI 接口，精美且低成本的顯示技術。但系統的可靠性略差，其平均無故障時間相較 PLC-based 短。PC-based 更多地用於設備運行狀態的監視，相對於 PC-based 而言，PLC-based 在軟體功能及系統開放性等方面比 PC-based 差。當然，隨著計算機技術和控制技術的不斷發展，PLC-based 和 PC-based 都在吸收對方的優點，以適應更多的應用現場。例如，PLC 在包裝設備中的應用遠遠多於 PC-based 在包裝設備中的應用。

隨著 PC-BASED 的工業計算機（簡稱工業 PC，與普通的計算機相比，它具有防塵、防振、抗電磁、耐高低溫等優點）的發展，以工業 PC、I/O 及監控裝置、控制網絡組成的 PC-BASED 的自動化系統逐漸成為工業自動化的另一種實現方式。但是隨著時代的進步，PC-BASED 控制器的潮流愈來愈形蓬勃發展，從最近幾年來的國際性機械展可獲得證實。在 1996 年美國芝加哥「IMTS」以及日本東京「JIMTOF」兩大工具機展中，已可用百家爭鳴來形容，很多人認為具開發性架構 PC-BASED 控制器，未來有可能取代傳統封閉式，專屬性架構的 PLC-based 控制器，正如 PC 的浪潮以其排山倒海之勢已逼得傳統電腦巨人日漸式微的先例，如出一轍。

目前傳統產業生產機臺的控制器多半是採用 PLC（可程式化邏輯控制器）配合 Ladder（階梯式語言）所設計的，一般來說這種控制架構有四項缺點：

- 一. PLC-BASED 控制器屬於封閉式架構的專屬系統，可選擇性少。
- 二. PLC-BASED 控制器多半採用 Ladder 階梯式語言，當系統小而動作簡單時，確有學習快且程式設計時間短的優點；但是當系統較大或是動作流程複雜時，就會因為 Ladder 語言的特性而不易結構化。
- 三. 人機介面不夠人性化，除非外購 PLC 專用人機介面模組，否則就只能使用簡單的按鈕（Push Button）和燈號（Light）作為人機介面。
- 四. 最初 PLC-BASED 控制器的發展是為了做順序式（Sequence）控制而設計的，因此先天上就比較適合做 I/O 點順序控制，對於馬達運動控制（Motion）或是視覺檢測系統（Vision）等等方面的應用，就會顯得較不適合。這些時候 PC-Base 控制器就非常適合使用了。

相較於 PLC-BASED 控制器，PC-Base 控制器的優點如下：

- 一. 標準化 PC 價格便宜。
- 二. PC-BASED 控制器之間容易溝通。
- 三. PC 週邊及應用軟體已統一標準化，使用者能依需求做各種組合應用。
- 四. PC 的軟體資源多樣化，而且程式的修改容易。
- 五. 電腦輔助設計系統的資料，能較容易地在 PC-BASED 控制器中整合。

然而 PC 個人電腦（或 IPC，工業用個人電腦）僅是一般用途的汎用型電腦，並無控制專用電腦語言，當我們要把它拿來當作機臺或系統控制器時，就只能拿通用型電腦語言來設計（例如 C/C++、BASIC 或 PASCAL 等傳統語言）。當前控制器發展的主流趨勢是以 PC-BASE 開發式架構為主，PC-BASE 是利用個人電腦(PC)為基底開發附加控制介面卡及相關軟體整合而成之系統；常見之 PC-BASE 控制器，其硬體係利用 Pentium CPU 開發而成的工業級電腦(IPC)為主體，配合相關 I\O 板及運動控制板組合而成，軟體則是在 DOS\Window95\NT\CE\Window2000\WindowXP 等操作系統下發展完成，包括人機介面、程序控制及運動控制軟體等。

有別於封閉式控制器，開放式架構控制器即是希望達到硬體能隨使用者需要選用、擴充如 I\O 板、軸卡、伺服系統等；軟體方面則能任意追加、整合網路功能、

CAD/CAM 等，這也是 PC-BASE 為何能逐步被大家重視，成為市場主流的一大關鍵主因。

PC-Based 控制器應用範圍相當廣，工研院本身所研發之 PC-Based 運動控制卡，採用 EPCIO (Exquisite Positioning Control Inputs and Outputs) 運動控制晶片以 DDA (Digital Differential Analyzer) 方式均勻送出各軸脈波移動量，並配合自行研發的運動控制函式庫 (MCCL) 實現六軸定位及同動/不同動控制。隨著微處理器速度越來越快，EPCIO 運動控制卡在使用上解決大部分即時性的問題，但由於 PC-Based 控制器核心的微處理機架構是以一般應用為主，在有限的資源下僅能做有限的數值計算與資料傳輸，若要做到高速度高精度且對時序有詳細規劃則必須採用即時性的作業系統 (RTOS) 才是根本的方法。如今，有些控制器為了提高執行速度，採用雙 CPU 架構，亦即其中一顆 CPU 專門來處理即時控制的部分，而另一顆 CPU 則用來整合人機介面 (HMI) 功能。也就是說 PC-Based 控制器往上發展出協同處理器 (co-processor)，其用意在於補強數值計算能力並分離控制程序與作業系統，使控制程式可由協同處理器單獨執行；例如 DSP-Based 控制器。數位信號處理器的發展在於強化一般微處理器的運算能力，使有效的分離控制程序運算與作業系統，降低對即時作業系統的依賴。由於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，有鑒於此未來的發展 工研院機械所機電控制整合部 已著手開始研發以 CPU-Based 為主的運動控制晶片 IMC (Intelligent Motion Control) IC。

何為 CPU-Based 控制器呢？在這裡先大概的簡述其原理，圖 9 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，亦即將微處理器整合進入控制 IC 或控制卡，而形成所謂 stand alone (單機) 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。若干控制卡為了節省 PC 端的資源將控制卡上添加 DSP 或 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。

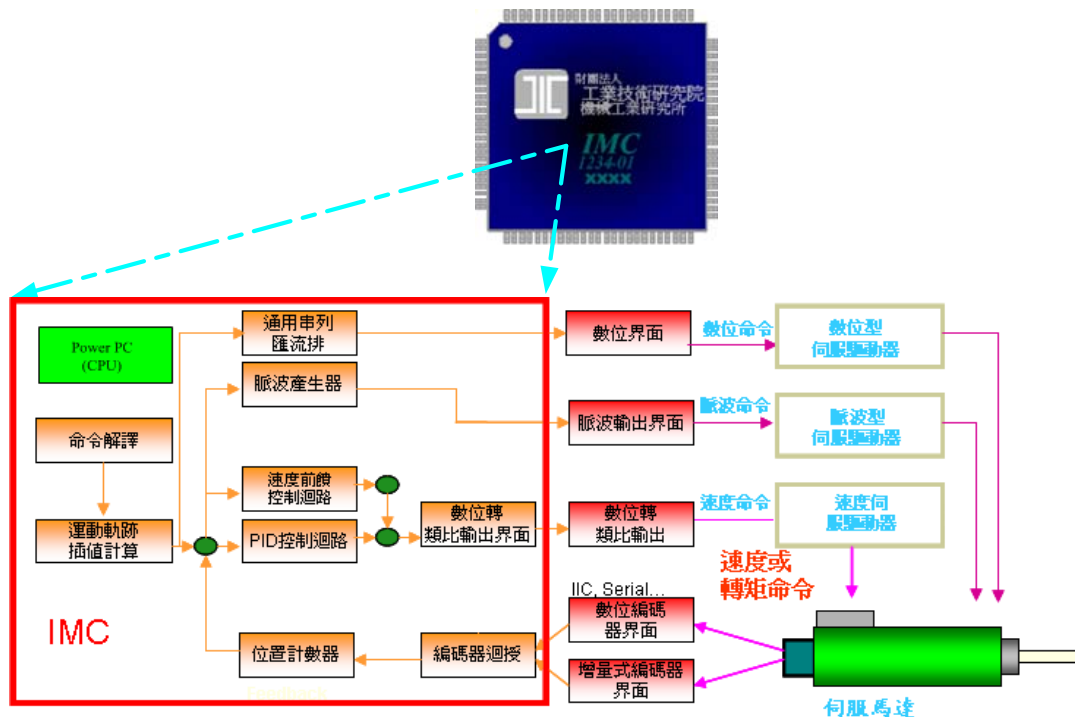


圖 9 IMC 運動控制晶片硬體方塊圖

IMC智慧型運動控制晶片介紹

IMC運動控制卡為一內建CPU的運動控制晶片，它將所有運動控制上所需要的功能一併整合入此晶片內，包括編碼器回授介面，類比轉數位及數位轉類比介面，運動控制伺服迴路，近端及遠端數位輸出入介面等，除此之外，也將目前PC最普遍的匯流排PCI-Bus及Ethernet Controller等與外界溝通的介面內建於晶片內，可透過PC進行命令下達與監控。

因為運動控制晶片已內建微處理器，所以當命令進入控制卡後便不需PC端的微處理器幫助因此可搭配PC構成一雙CPU架構的高階控制器，以減輕PC端微處理器大量運算的負擔亦可單獨運作而形成所謂stand alone (單機) 的架構。

運動控制晶片要處理的工作大概分為1. 脈波命令產生器、2. 編碼器回授輸入、3. 位置控制迴路。然而工研院機械所機電控制整合部對於IMC智慧型運動控制卡仍然屬於開發階段，所以運動控制晶片運用FPGA進行開發與測試驗證，所選擇FPGA的型號為Virtex-4系列之XC4VFX60-FF672如圖10所示，其中共規劃了10個Banks讓使用者使用，全部共有672 PINS，而可用之I/O PINS有352 PINS，而此類FPGA內建一顆CPU為PowerPC 405，在運動控制卡上主要功能為運算、命令的解譯、軌跡規劃.. 等等。

FF672 - Top View

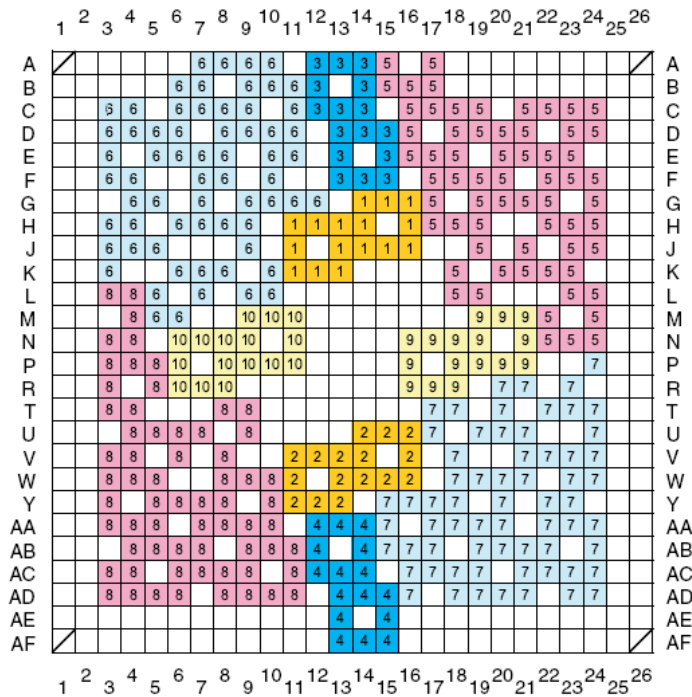


圖 10 XC4VFX60-FF672 Color-Coded SelectIO and Bank Information

在FPGA的設計環境上均採用高階語言(VHDL)的方式來實現矽智產(IP)的硬體電路設計，也就是說這些介面都可以在FPGA的整合開發環境中找到並選入專案中。使用者可針對專案自行開發設計。接下來將針對目前IMC運動控制卡做進一步的說明，首先先針對控制晶片做說明。

1. 脈波命令產生器

就控制馬達訊號而言，當使用者經由人機介面下達動作指令時，運動控制晶片會將其指令轉換成DDA (digital differential analyzer) 的脈波訊號傳至馬達驅動器，馬達驅動器將控制訊號轉換成電壓或電流的訊號供給馬達，也因此運動控制晶片需負責脈波命令的產生，因此必須要有脈波命令產生器。

DDA所提供的脈波輸出是最常見的馬達控制訊號，使用者可以自行設定DDA的週期時間 (DDA Cycle Time)，將馬達速度轉換成在DDA週期內所需要的脈波數，運動控制晶片則在每一個DDA週期時間內將所規劃的脈波量均勻的送給驅動器，因此馬達在每一個DDA週期時間內做等速運動。DDA脈波命令產生器送出的脈波 (PULSE) 指令有PULSE/DIR、CW/CCW、A/B PHASE三種PULSE格式可選，視馬達可接受的格式如圖11所示，然而最終將以DIFFERENTIAL訊號的方式輸出，因為以DIFFERENTIAL的方式輸出將可消除共模雜訊，其PULSE FORMAT如圖12所示

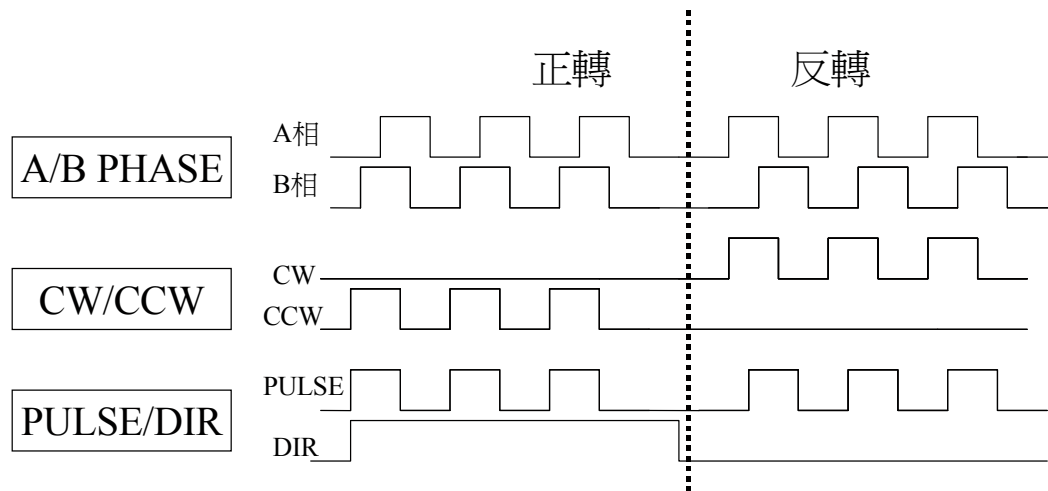


圖11 DDA脈波命令產生器

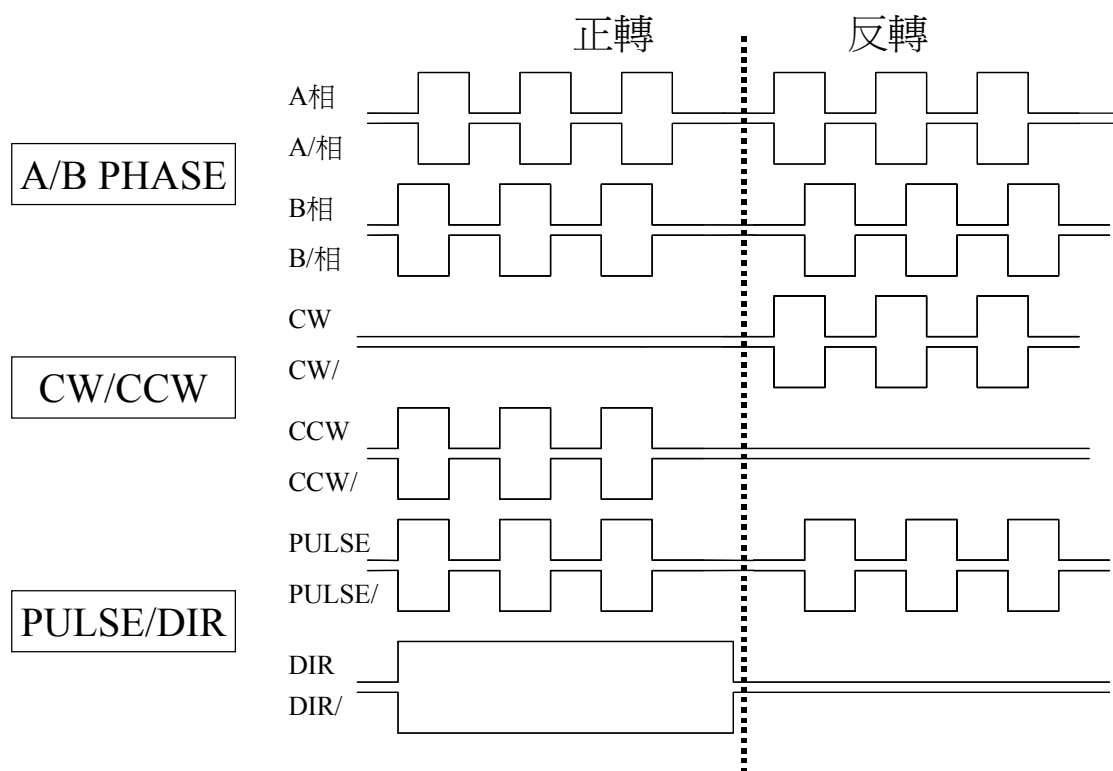


圖 12 DDA 脈波命令產生器輸出訊號

以圖13為例，我們可以知道圖13左圖為馬達所需運動的軌跡命令圖，CPU在固定的時間內 (Δt) 計算出馬達所需的位移量 (Δp)，並傳至運動控制卡，運動控制卡接收到如圖13中圖所示，當 Δt 越短所計算的軌跡命令越接近目標曲線如圖

13右圖所示，然而在不增加CPU的負擔條件下，透過數位差分分析器（DDA），可以將命令曲線近逼到目標曲線。

從圖13中圖可以看到DDA Cycle Time（數位差分分析器週期時間），我們將利用如圖14的方法將脈波在每一個數位差分分析器週期時間均勻的送出，實現步進馬達/伺服馬達定位及控制。以圖14為例如果我們想在192ns內送出3個脈波（最多），或送出0個脈波（最少）則我們可以看到系統的時脈等於60MHz，所以其系統的時脈時間等於16ns，若時脈除頻器設定為3以及插值時脈解析度設定為2，那我們可以從公式（1）可以算得細插值時脈時間等於64ns，再從公式（2）推算出插值時間等於192ns，也就是說在插值時間等於192ns會將脈波均勻的送出，所產生的均勻脈波最後會經過解碼器轉換成P/D（Pulse/Direction），CW/CCW（Clockwise/Counterclockwise）或A/B的方式輸出，而且每個脈波寬度都近似50%，在控制步進馬達運轉的時候更為均勻，也讓使用者在參數的設定上更為簡易、方便，利用此方法達到步進馬達或伺服馬達的控制。

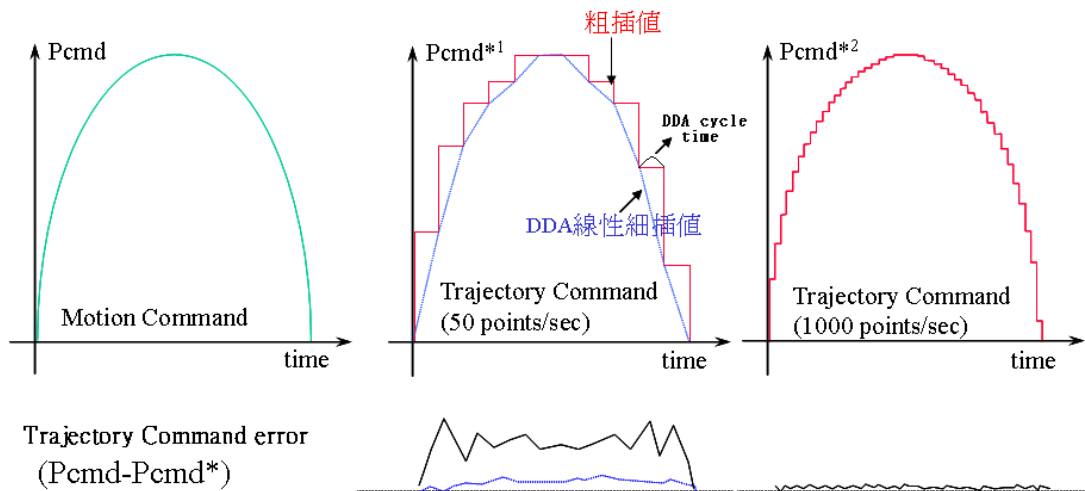
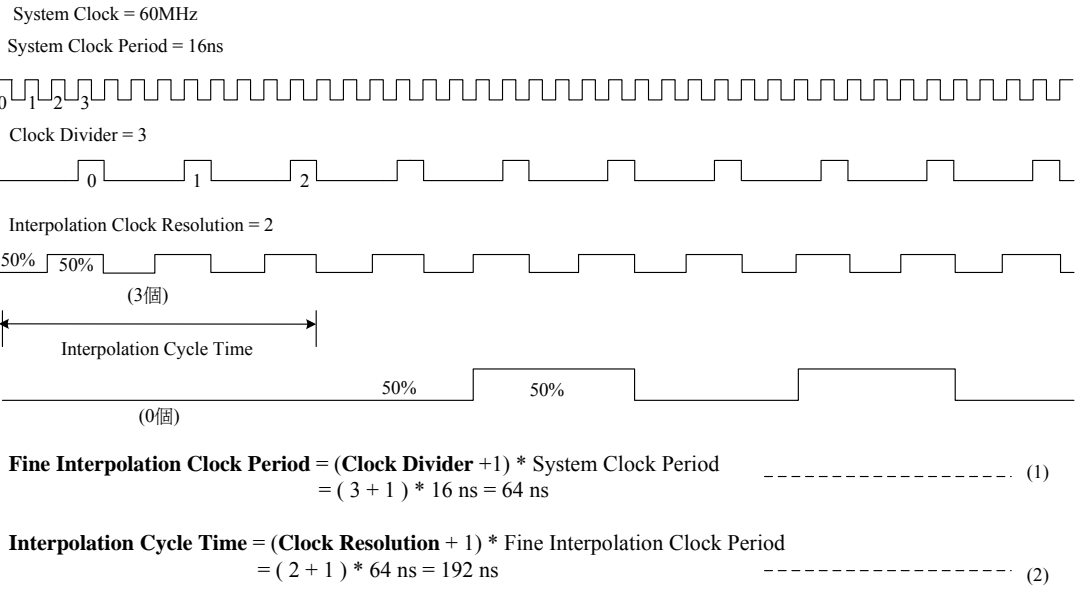


圖13 運動命令目標曲線與規跡曲線



Ps: Interpolation Cycle Time == DDA Cycle Time

圖14

2. 編碼器回授輸入

運動控制晶片一般都會有編碼器回授輸入功能，先前提過若運動控制卡採用開迴路方式，則編碼器回授輸入是用來監控馬達的實際位置，另外若採用閉迴路控制方式則編碼器回授輸入就扮演非常重要的角色。

馬達驅動器在運動過程中將相關的訊號回授給運動控制卡，一般而言編碼器回授輸入的訊號可分成三種形式 (FORMAT) 如圖15所示，然而回授訊號的方式最普遍為增量式編碼器回授，此種編碼器隨馬達旋轉產生九十度相差的A相與B相方波，在一個週期內可做4倍頻、2倍頻或是1倍頻及0倍頻 (禁止輸入) 的電路解碼，如圖16所示。

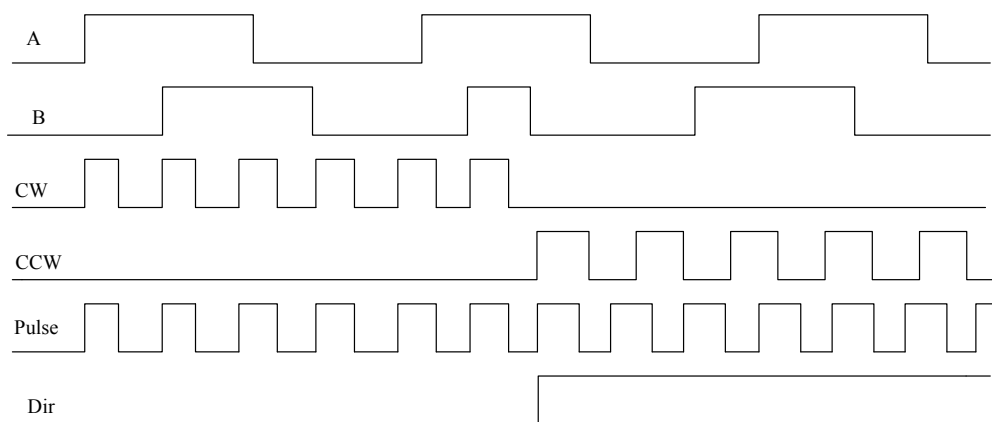


圖15編碼器回授輸入訊號形式

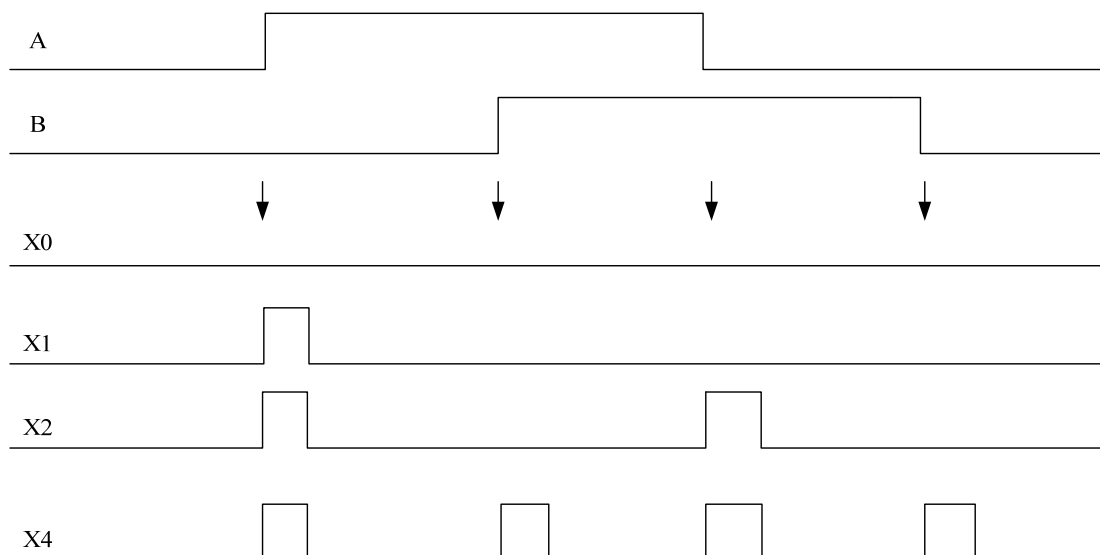


圖16 倍頻圖示

當編碼器轉一圈，會送出一個INDEX的訊號給運動控制卡作為運動控制卡歸零時的一個根據。編碼器主要為抗干擾、凸波雜訊為目的，透過編碼器的解譯我們可以了解受控體（馬達）實際上的位置，進而計算與目標位置的誤差量，經過PID控制法做補償計算後，產生相對應的電壓值，再經由數位轉類比(D/A converter)輸出，即可對馬達做轉速和位置的控制。

3. 位置控制迴路

整個控制環境中，通常連接馬達的負載是隨時變化，但是我們可以透過馬達編碼器的位置回授適時的知道負載變化狀況，並依據變化情況給予修正補償。在工程實際中，應用最為廣泛的調節器控制規律為比例積分微分控制，簡稱PID控制，又稱PID調節。典型PID控制器（比例-積分-微分控制器），由比例單元、積分單元和微分單元組成，通過 K_p ， K_i 和 K_d 三個參數的設定。PID控制器主要適用於基本線性和動態特性不隨時間變化的系統，PID控制器是一個在工業控制應用中常見的法則之一，這個控制器把回授的數據和一個參考值進行比較，然後把差別值用於計算新的輸入值，這個新的輸入值的目的是讓系統保持在參考值使系統更加準確，更加穩定。PID控制器描述了的基本組成部份，每一部份執行不同的任務，並對系統功能的影響也不同，PID控制器在機械設備、氣動設備和電子設備中具有廣泛的應用。

PID控制器問世至今已有近60年的歷史了，它以其結構簡單、穩定性好、工作可靠、調整方便而成為工業控制主要和可靠的技術工具。當被控對象的結構和參數不能完全掌握，或得不到精確的數學模型時，控制理論的其它設計技術難以使用，系統控制器的結構和參數必須依靠經驗和現場調試來確定，這時應用PID控制技術最為方便。即當我們不完全了解一個系統和被控對象，或不能通過有效的測量手段來獲得系統的參數的時候，便最適合用PID控制技術。PID控制器就是根

據系統的誤差利用比例積分微分計算出控制量，然而PID控制器是在工業界最廣泛應用的控制器，它是由3種不同的元素所構成的。P就是比例控制器(Proportional control)是最易實現的控制法則，比例控制器將誤差信號與常數相乘，並送到驅動器，其控制器的輸出與輸入誤差訊號成比例關係。對於較小的增益，到達正確目標位置的速度比較緩慢，提高增益將在一定程度上加速反應。當增益超過一定值時，會出現超越量(overshoot)現象，如果繼續提高增益，系統最終就在目標位置附近振盪，造成系統輸出存在穩態誤差(Steady-state error)。因此較高的Kp值可加快馬達系統響應但同時導致系統過衝擊及振盪的不穩定性，它的主要目的是在增快系統的反應時間(rise time)。

I就是積分控制器(Integral control)可使閉迴路控制獲得長期控制精度，它必須與P控制結合使用，單獨只有I控制器本身通常會降低或破壞穩定性。例如，只有I控制器的機械系統將不穩定，系統將會持續振動，且振幅越來越大，直至達到極限值。在積分控制中，控制器的輸出與輸入誤差訊號的積分成正比關係，對一個自動控制系統，如果在進入穩態後存在穩態誤差，則稱這個控制系統是有穩態誤差的或簡稱有差系統(System with Steady-state Error)。為了消除穩態誤差，在控制器中必須引入“積分項”，積分項對誤差取關於時間的積分，隨著時間的增加，積分項會增大。這樣，即便誤差很小，積分項也會隨著時間的增加而加大，它推動控制器的輸出增大使穩態誤差進一步減小，直到等於零。因此，比例+積分(PI)控制器，可以使系統在進入穩態後無穩態誤差。ki值的調整可增加位置精度，它的主要目的是在消除系統的穩態誤差(steady state error)。

D就是微分控制器(Differential control)，在微分控制中，控制器的輸出與輸入誤差訊號的微分(即誤差的變化率)成正比關係。自動控制系統在克服誤差的調節過程中可能會出現振盪甚至失穩。其原因是由於存在有較大慣性的元件(環節)和有滯後(delay)的元件，這就是說，在控制器中僅引入“比例項”往往是不夠的，比例項的作用僅是放大誤差的幅值，而目前需要增加的是“微分項”，它能預測誤差變化的趨勢，也就是說比例增益值增加時，系統反應動作加快；而微分增益值會影響系統的響應速度，且可提供阻尼使系統於暫態響應更加穩定，使其具有預先矯正誤差的作用。所以具有比例+微分的控制器，就能夠提前使克服誤差的控制作用等於零，甚至為負值，從而避免了被控量的嚴重地衝過頭，所以對有較大慣性和(或)滯後的被控對象，比例+微分(PD)的控制器能改善系統在調節過程中的動態特性，增加Kd值可降低因高加速度而在馬達目標位置產生的來回振盪，它的主要目的是在抑制系統的超越量(overshoot)，也可說是增加系統的阻尼效應(damping)。

在整個運動控制晶片中位置控制迴路的主要功能是接受脈波命令產生器所輸出的命令以及從編碼器所回授(Feedback)的實際位置並經過耦合後產生相對應的速度命令，經由線驅動器驅動馬達轉動。一般驅動器所需的電壓命令屬於類比訊號，因此我們需要一個數位轉類比的轉換器。

此整個控制環境中如圖9所示，額外加入速度命令前饋控制器的原因，速度型

的Feedforward可減少命令變化所引起的追隨誤差，主要是為了增加控制系統的追蹤準確性，因為任何一種實際的受控系統，都會有所謂延遲(Delay)或超越量(Overshoot)的現象產生，而且無論控制器如何設計，都很難消除這種現象，故在目標訊號輸入驅動器之前，先經過前饋控制器的修正，使輸入驅動器（速度迴路）的訊號，比原先設定的目標訊號更加超前，以補償受控系統的延遲現象，或是較為遲緩，以補償受控系統的過衝現象。

IMC智慧型運動控制週邊電路介紹

IMC 運動控制卡為一具有 CPU Build-in 的運動控制晶片，除了將目前在 PC-Based 上與 CPU 間最普遍的匯流排 PCI-Bus 內建於晶片內，同時也將運動控制上所使用的功能也一併整合入此晶片內，包括編碼器回授介面，類比轉數位及數位轉類比介面，運動控制伺服迴路等。同時在 IMC 晶片內亦內建一個即時作業 (VxWorks) 系統 (operating system)，可改善系統即時性的問題，對不同的運用可彈性修改內部的韌體，達到更高的控制精密度，除可滿足一般運動控制的需求外，亦可滿足高階的運動控制需求。因運動控制晶片已內建微處理器，所以當命令進入控制卡後便不需 PC 端的微處理器幫助，可搭配 PC 構成一雙 CPU 架構的高階控制器，以減輕 PC 端微處理器大量運算的負擔亦可單獨運作而形成所謂 stand alone (單機) 的架構。

當運動控制卡擁有了脈波產生器、編碼器回授、位置控制迴路功能後運動控制卡就具備了控制的功能了，另外運動控制晶片還提供了一組匯流排介面 (PCI 匯流排)。匯流排介面屬於主機板內部的區域匯流排介面，由 Intel 公司所訂定發表的。它可以與 CPU 的位址匯流排、資料匯流排、大部分的控制匯流排接腳銜接。PCI 匯流排介面運作於 32 位元/33MHz，相當於傳輸速率為 132MB/秒，雖然也有特製的 64 位元/66MHz 的 PCI 主機板，僅應用於少數高階的伺服器上。除了匯流排介面外，在整個控制系統中往往需要一些運動控制相關的輸出入點，例如 Home Sensor 輸入點，Limitation Sensor 輸入點及 Servo On 輸出點等等，IMC 運動控制卡在此方面就規劃了 LOCAL I/O 40 點 (1 軸規劃 (OT+, OT-, SEVRO ON, HOME) 4 點)，8 軸共 32 點，另外還規劃了 8 個 LED 輸出入點總計共 40 點，這些輸出入點雖然不做為控制迴路的參數，但是攸關控制流程的進行。因此在運動控制晶片的設計中都是必須具備。

由於資訊工業飛快進步與通訊技術的日新月異，使得以網路伺服通訊介面的產業設備進一步的往上發展，因此應用串列式通訊協定於工業控制網路上則是未來的趨勢。IMC 運動控制卡為因應工業發展的需求也預留了 GSB (General Servo Bus) 匯流排，可與全數位串列式伺服介面整合，即具有即時監控伺服驅動器的狀態，且可因加工狀態的不同做即時參數的調整，因此除了可滿足一般運動控制的需求外，亦可滿足高階的運動控制需求。然而具公開標準協定的開放式通訊協定例如：SERCOS、Profibus、SynqNet、Device Net、CAN bus... 等，但不被美日世界

伺服器大廠給運用，而獨立開發封閉式通訊協定，例如：日本三菱電機的 SSCNET、日本國際的 F2、日本安川的 MechatroLink…等，但是對於技術內容與目標均是相同。其共通點為：

1. 即時性：傳輸週期在 0.1ms 至 5ms 內完成傳輸控制命令。
2. 有彈性：可選擇非週期性的傳送接收伺服命令與 I/O 資料。
3. 抗干擾性：加入錯誤檢測碼的機制，抗雜訊干擾高。

串列式通訊協定主要的優點除了配線容易、成本降低、抗干擾性高且可遠端控制，使全世界的工業控制器廠商或是相關產業學界也都致力於開發具有網路伺服功能的通訊介面和產品。

IMC 運動控制卡配合機械產業的需求，預留了遠端輸出輸入 (Remote I/O) 控制的介面，主要的目的是遠端欲受控的輸出入點資料透過同步雙工方式的特殊協定格式和控制器溝通，包括輸入點的讀取、輸出點的控制，中斷訊號處理並且簡化了配線以及使系統降低其複雜度。

整個系統為遠端模組透過遠端輸出輸入控制的介面和 IMC 運動控制卡做資料的溝通，使用者除了節省控制器的配線成本外，遠端模組可以就近在各個致動器 (Actuator) 或感測器 (Sensor) 旁作監控，如此，系統的穩定性得以提高許多。

IMC 運動控制卡在整個系統中不僅僅只有運動控制單元而已，而且還規劃了與外界命令傳輸的通訊單元例如 Ethernet、RS232、IIC、SPI.. 等等，另外對於記憶單元 IMC 運動控制卡也規劃了例如 RAM、FLASH、PROM.. 等等，表 1 所示為目前 IMC 運動控制卡的硬體規格表。

IMC 硬體規格	
Motion:	
【1】 ADC Interface	14 bit * 8 Channel
【2】 DAC Interface	16 bit * 8 Channel
【3】 Encoder Interface	32 bit * 8 Channel
【4】 Pulse Generator	32 bit * 8 Channel
【5】 Position Control Loop	8 Channel (PID&Feed-Forward Control)
【6】 LOCAL I/O Interface	40 point (OT+, OT-, HOME, SVO, LED)
【7】 Remote IO Master	Control up to 31 I/O slave (16In / 16Out)
【8】 GSB (General Servo Bus)	
【9】 Build in 32 bit Timer	
Bus Interface:	
【1】 PCI-32bit 33MHz bus	
【2】 DDR Interface with 512 MB SDRAM	
Peripheral:	
【1】 RS232	1 Set
【2】 Ethernet	1 Set
【3】 IIC	1 Set
【4】 SPI	1 Set
【5】 PROM	4MB
【6】 Flash	32MB

表1IMC運動控制卡硬體規格表

下列就 IMC 運動控制卡的通訊單元和記憶單元做簡單的介紹。

(一) 通訊單元

1. Ethernet

乙太網路是各類基本網路形式中最有效率方法之一，其基本傳輸速度為10Mbps(Bit Per Second)。

(1) 型態：對於不同型態的乙太網路，通常會以其編碼的方式來分類成基頻或寬頻。

基頻：是使用數位的信號來當成訊息傳遞的編碼方式。

寬頻：是採用類比的信號，其頻率範圍較基頻寬，而其信號是連續不間斷的，以電磁波的方式流過傳輸媒體。

(2) 早期的乙太網路採用基頻的、較厚的、同軸電纜線即是10-Base-5，後漸漸演進使用較薄的同軸電纜線，即是10-Base-2，現今則較多使用即是10-Base-T的乙太網路型態。

(3) Ethernet是由Intel、Xerox和Digital所共同制定，遵循IEEE 802.3協定的網路硬體標準，它是目前大部份區域網路的標準。採CSMA/CD（偵測碰撞）的通

訊協定，其網路型態是採廣播式網路。

(4) Ethernet優缺點：

優點：1. 目前使用最為廣泛。

2. 原理簡單，易於安裝。

3. 不須等待信物，立即傳送，在負載低時延遲很少。

缺點：1. 碰撞發生時造成負載增加，負載大時因碰撞頻繁而造成網路效能降低。

2. 沒有傳送優先等級，沒有品質服務（QOS）的規範，不適合即時（Real Time）的應用，如影像或聲音傳遞時常無法達到連續的效果，影響傳遞品質。

2. RS-232 (UART)

UART是一種通用串列數據匯流排，用於非同步通訊。該匯流排雙向通訊，可以實現全雙工傳送和接收。UART首先將接收到的平行數據轉換成串列數據來傳輸。UART通訊介面上的非同步串列埠，能將平行格式的資料轉換成一系列循序的資料，以便於電腦與電腦或電腦與週邊設備之間之通訊，通常個人電腦上用串列埠連接的週邊設備有串列印表機、滑鼠以及外部數據機等等。串列埠和平行埠兩者最大的不同點乃在於其傳遞資料的方式：如果用的是平行連接的方式，則資料以位元組為單位同時由平行埠傳送出去，若採串列埠則資料會轉換成連續的資料位元，然後依序由埠送出，接收端收集這些資料後再將其合成為原來的位元組。

當兩台電腦在遠距離互傳資料時可能就必須真的透過MODEM和電話線所構成的網路，但如果是短距離的連線則可以僅利用一條線即可達到資料互傳的目的。

在串列傳輸的標準下，RS-232 可謂是標準的代表

RS-232 的主要優點有以下幾點：

- a. 基本構造簡單，價格便宜。
- b. 規格之歷史較悠久，配備此介面之裝置相當多。
- c. 傳送方式之複雜度可因應用途而自由選擇。
- d. 備有豐富之應用軟體支援。

3. IIC

IIC是由飛利浦公司開發的雙線同步匯流排。該匯流排可用來與EEPROM、ADC、DAC和LCD這類慢速元件進行通訊。IIC是一個半雙工、多主匯流排，該匯流排網路有一個或幾個主控元件和很多個從元件。資訊由兩條串列線傳輸：串列數據線（SDA）和串列時脈線（SCL）。由於IIC是一個多主匯流排，因此可能有兩個或更多的主控元件同時試圖存取匯流排，IIC有三種不同的執行模式：低速、快速和高速模式。IIC匯流排設計用於三種數據傳輸速度，每個都具有向下相容性：低速，數據傳輸率為0到100kbps；快速，數據傳輸率可以高達400kbps；高速，數據傳輸率可以高達3.4Mbps。

4. SPI

同步週邊設備介面(SPI)是由摩托羅拉公司開發的全雙工同步串列匯流排，該匯流排大量用在與EEPROM、ADC、FRAM 和顯示驅動器之類的慢速週邊設備元件

通訊。SPI 通訊基於主—從配置有以下4個訊號：MOSI：主出/從入、MISO：主入/從出、SCK：串列時脈、SS：從屬選擇。在SPI傳輸中，數據是同步進行發送和接收的。數據傳輸的時脈基於來自主處理器的時脈脈衝，摩托羅拉沒有定義任何通用SPI的時脈規格。

(二) 記憶單元

IMC運動控制卡另外規劃了記憶單元包括了RAM、FLASH、PROM。針對RAM來講，隨機存取記憶體，或稱隨機訪問存儲器（Random Access Memory，簡稱RAM），是一種在系統中用來暫時保存資料的元件。它可以隨時讀寫，而且速度很快，通常作為作業系統或其他正在運行中的程式之臨時資料存儲媒介。當電源關閉時RAM不能保留資料。如果需要保存資料，就必須把它們寫入到一個長期的儲存設備中（例如硬碟）。RAM和ROM相比，兩者的最大區別是RAM在斷電以後保存在上面的資料會自動消失，而ROM不會。在IMC運動控制卡上規劃了兩顆512M byte最主要的功能是要置入自行研發的運動控制函式庫、驅動控制函式庫。

針對FLASH來講，IMC運動控制卡上規劃了一顆容量為32MB的Flash memory。早期開發的快閃記憶體，在1988年為Intel所發明，有高寫入和擦除時間，但是有完整地址和數據界面、並可以隨機讀取，所以快閃記憶體合適用於儲存代碼不需要經常更新，例如BIOS或韌體。個人電腦上的主機板會利用NOR型快閃記憶體儲存BIOS資料外，手機、手持裝置也會使用NOR型快閃記憶體來存放系統資料，藉由其高速的讀取速度，滿足手持裝置的開機需求。快閃記憶體不需電力來維持數據的儲存，而且快閃記憶體佔用很少的讀取時間並具有很高的抗震能力。Flash的記憶體是以「頁」的方式排列起來，每一頁有256或512 Byte的儲存空間，和8或16Byte的輔助空間。現在新出來的chip有些一頁有2048bytes的主要空間和64bytes的輔助空間。輔助空間主要用來存放 ECC（Error Correction Code），記憶體損壞標記和檔案系統的資料。由這些「頁」，組成區塊（block）。NAND Flash的讀和寫都是以「頁」為單位，刪除則要以區塊為單位。新型態的NAND flash（advance），頁的容量變大，所以一個頁中會有多個sector。SLC 類型的NAND Flash 允許對同一頁中的各區段作分次寫入的動作，稱作"局部編製程序"。MLC類型的NAND Flash由於對某sector寫入時，會影響到同一頁中其他sector的內容，所以寫入時，要以頁為單位。

最後對於PROM來講，IMC運動控制卡上規劃了一顆容量為4MB的PROM最主要的功能是要來置入規劃FPGA電路行為的程式。可規化式唯讀記憶體（英文：Programmable read-only memory，縮寫為PROM或FPROM）是一種電腦存儲記憶晶片而且斷電後，仍能保留數據的計算機存儲晶元——即非易失性的。EEPROM全稱「電氣可擦拭可規化式唯讀記憶體（Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory）」EEPROM不需要用紫外線照射，也不需取下，就可以用特定的電壓，來擦拭晶片上的資訊，以便寫入新的資料。EEPROM有四種工作模式：讀取模式、寫入模式、擦拭模式、核對模式。讀取時，晶片只需要Vcc低電壓供電。規化寫入時，晶片通過Vpp獲得規化電壓，並通過規化脈衝寫入資料。擦拭時，

只需使用高電壓，不需要紫外線，便可以擦拭指定位址的內容。為保證規化寫入正確，在每寫入一塊資料後，都需要進行類似於讀取的核對步驟，若錯誤就重新寫入。由於 EEPROM 的優秀性能，以及在線上操作的便利，它被廣泛用於需要經常擦拭的ROM晶片以及閃存晶片，並逐步替代部分有斷電保留需要的RAM晶片。

下列圖17所示，即是目前開發的IMC運動控制卡的外觀及各個主要功能位置標式如下：

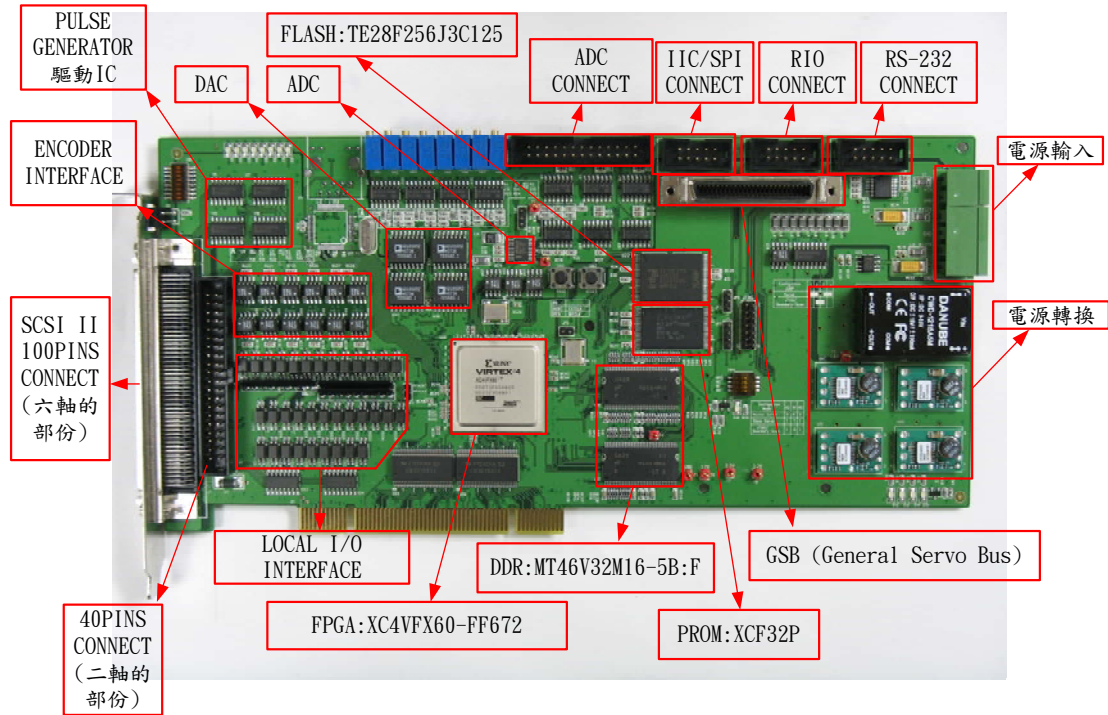


圖17 IMC運動控制卡實體外觀

IMC運動控制卡與現有控制卡之優缺點比較

表二所示可大致看出國外的運動控制晶片大部分都以開迴路控制步進馬達或是脈波型伺服馬達為主，一般不具有閉迴路控制功能。現階段所開發的新一代的運動控制IC，稱為智慧型運動控制晶片，為新一代CPU-Based控制器之核心。新一代的運動控制晶片具有的優點為時脈的提高、電壓下降及功耗降低..等等，過去工研院運動控制晶片（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控制與前饋控制，甚至因為CPU的內建，可更有彈性的將運動控制函式庫整個置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。

IMC控制晶片開發完成後將具有內建處理器的功能並且擁有PID以及FF（FEEDFORWARD）的硬體控制迴路且預留了GSB(General Servo Bus)匯流排，可與全數位串列式伺服介面整合。

IMC運動控制晶片開發完成後具有的優勢將有：

1. 整合EPCIO ASIC和DSP-Based控制器，達到高可靠性、高精度以及製造成本降

低的目標。

2. 有別於DSP-Based控制器，IMC運動控制晶片透過高階語言(VHDL)的方式來實現矽智產(IP)的硬體電路設計，將CPU和MOTION CONTROL及I/O CONTROL. . 等功能整合在同一顆ASIC內。

3. 由於內建處理器的功能，可滿足工業界愈來愈要求高速度、高精度的目標。

因此IMC運動控制晶片開發完成後將具有更好的精度性能、更符合工業界的控制法則、更高的穩定性、更即時的控制效能、更多的資料溝通介面、更複雜的軌跡規劃功能、更強大的訊號中斷處理機制，另外在嵌入式控制器的領域中，IMC運動控制卡本身具有CPU可獨立運作節省掉IPC的費用，讓控制器整體的成本大大的降低。

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，但是所需的資源大多需要有CPU完成。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。隨著控制器中許多高速串列通訊的選擇出現，IMC運動控制卡在規劃時也整合數位串列傳輸的功能，因此單一控制器可控制軸數會變更大且範圍更廣。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結合構成雙CPU高性能型控制器。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。

Vendor	Product	Axis	Control Loop	On Chip CPU	Encoder Counter	DAC Interface	ADC Interface	BUS Interface
MIRL	IMC	8	Close	Yes	32bit	16bits x 8	14bits x 8	PCI
MIRL	EPCIO	6	Close	No	32bit	16bit x 8	12bits x 8	ISA
MIRL	MPCL1000B	1	Close	No	24bit	12bit x 1	0	NO
NOVA	MCX305	1	Open	No	32bit	0	0	NO
NOVA	MCX314	4	Open	No	32bit	0	0	NO
COSMO	PNC540	1	Close	No	28bit	1	0	NO
COSMO	PNC620	2	Open	No	28bit	0	0	NO
NIPPON	PCL5022	2	Open	No	28bit	0	0	NO
NIPPON	PCL6045	4	Open	No	28bit	0	0	NO
PMD	MC1401A	4	Close	NO	16bit	16bit x 4	0	NO

表二 國內外運動控制功能比較

結語

在電腦通訊及半導體產業飛快的進步下，許多數位系統相關應用也隨之飛快的進步。單晶片、數位訊號處理器這些具有高速運算速度下之微控制器不斷的導入分散式控制系統中，使的各式各樣的應用系統逐漸朝向專業分工，其中運動控制系統是一個很好的例子。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，這部分仍有待業界大力倡導。

PC-Based架構的控制器在工業界已被使用者所接受，然而CPU-Based控制器的開發把控制器帶入更嶄新的一面，無論對於CNC控制器、半導體設備控制器、或是精密設備的控制器都有其顯著的幫助。

參考資料

1. 陳文泉"工業控制器之運動控制晶片設計技術"2004/6月號/第162期電機月刊 150~158。
2. 劉漢平"淺談輪機機械人的設計"2007/6月號/第198期電機月刊136~149。
3. 李文猶"FPGA-Based泛用型嵌入式運動控制模組設計"2007/8月號/第200期電機月刊242~251。
4. 李文猶"Nios II-Based嵌入式系統晶片規劃與設計"2007/11月號/第203期電機月刊228~234。
5. 黃偉峰"CPU Based運動控制技術簡介"機械工業雜誌，2006.10月。
6. "EPCIO-6000/6005硬體使用手冊"工研院機械所，2004.6月。
7. 蔡祥益 "伺服迴路與EPCIO"機械工業雜誌，2001.4月。
8. 江修"應用週期及密度可變之DDA架構"，2001.4。
9. 曾遠威"超級運動控制ASIC"機械工業雜誌，1999.4月。
10. 何昌祐"DSP應用於PC-Based運動控制器之技術分析"機械工業雜誌，1998.2月。
11. 孫金柱、葉賜旭、林瑞寬"新世代控制器發展趨勢"機械工業雜誌，2007.04月。
12. 許勝程"FPGA-Based 控制器之發展"大葉大學，2001.06月。
13. 郭俊宏"PC-BASED運動控制系統之研製"國立交通大學電機與控制工程學系，2003.06月。

14. 王世明"CNC工具機加工性能最佳化系統之研究與開發" 中原大學機械工程學系，2004. 06月。
15. 陳新淵"SOPC嵌入式系統於高精密運動控制器之應用" 國立成功大學電機工程學系，2006. 07月。
16. 黃榮興"PC-Based 架構下工具機軌跡追蹤控制" 逢甲大學自動控制工程研究所，2002. 07月。
17. <http://www.epcio.com.tw/>。
18. <http://www.xilinx.com/>。