

串列式伺服運動控制技術之 簡介與發展趨勢

工業技術研究院 機械所
智慧機械組/機電控制整合部

汪曙峰

摘要

工具機相關產業為政府近年來全力扶植的產業之一。在國內相關工具機製造廠商與學術研究單位的共同努力下，目前我國已躍升成為全球第四大工具機出口國。其中，具備高精度、高效率加工能力的工具機，及其中在精密加工機械上最關鍵的核心—運動控制技術，更是在市場上受到廣泛的支持與應用。綜觀工具機發展至今，以往因受限於伺服控制架構的性能，加工時必須在精度與速度間做取捨(trade off)，反而導致整體效能無法提升。有鑑於此，近年來，對於伺服控制架構相關的改善課題一直為產官學界所努力的目標，因而使得今日 CNC 工具機能提供精密且高速的加工特性。

在高階的多軸運動控制上，為了改善各軸命令執行時，所發生之傳送命令的時間差與各軸脈波時序問題，以達到良好的同動控制並兼顧即時性。因此，新一代之串列伺服技術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、全數位化的方式減少雜訊之干擾，並即時取得驅動器之資訊進一步調整驅動器參數值。

本文將針對業界現有之串列式伺服運動控制技術，其通訊協定、傳輸媒介作一概括性之簡介，並分析其各項技術。同時也將介紹工研院機械所機電控制整合部開發之新一代智慧型運動控制卡 IMC (Intelligent motion control card)與通用型伺服匯流排 GSB (General servo bus)。最後，對於串列式伺服運動控制技術未來的趨勢與其影響，以及工研院在此項研究中所扮演的角色，做一深入的剖析和探

討。

關鍵字：串列式伺服運動控制、分散式控制、智慧型運動控制晶片、通用型伺服
匯流排。

Abstract

Machine tools in industry is that the government fully support in recent years. In the domestic machine tool manufactures and academic research units under the joint efforts, Taiwan has risen to the world's fourth largest exporter of machine tools. With high precision and high efficiency of the processing capacity of machine tools, and its sophisticated manufacturing machinery in the most critical core — motion control technology, is on the market by a wide range of support and application. Looking at the development of machine tools so far, in the past due to servo control structure, processing speed and accuracy must choose between doing the contrary. It can not lead to enhance overall performance. In view of this, in recent years the servo control structure related to the improvement has been subject to industry and academia by the efforts of the goal, which today makes precision CNC tool and function to provide high-speed processing.

In the high-end multi-axis motion control, in order to improve the implementation of the axis command (the command in the transmission of the time difference with the axis pulse timing issue), a new generation of serial servo motion control technology has been proposed by a fixed clock to update and exchange information to ensure that the command of simultaneous transmission. Through the serial servo motion control technology, we can improve the traditional and complex distribution of the shortcomings, all-digital way of reducing the noise interference, and immediately obtain the information of drive, even to adjust its parameters.

This paper will address the industry's existing serial servo motion control technology, protocol, a transmission medium for the general briefings and analysis of its technology. It will also introduce the new generation of intelligent motion control card IMC and Universal servo bus GSB by ITRI Mechatronics control department. In

the last, the paper will discuss and analysis the serial servo motion control technology and its impact on future trends and the ITRI in the study of the role played.

Keywords: Serial servo motion control, distributed control, IMC, GSB

前言

由於 PC 產業的蓬勃發展，具開放式架構的 PC-Based 運動控制器，挾帶著高性能、低價位、開放式系統、高度可靠性、可融入網路時代信息系統中、豐富人才基礎等優勢，取代傳統封閉式、專屬性架構的控制器，為當前中大型製造企業所導入之電腦整合製造(CIM, Computer Integrated Manufacture)自動化系統如半導體、平面顯示器、工具機產業的應用，提供安全可靠和完善的解決方案。所謂電腦整合製造就是運用電腦來設計產品、計畫生產流程、控制生產作業、執行生產，達到生產排程與製造系統全面整合自動化、電腦化、網路化，以提高生產效能。

在開放式架構之下，軟硬體均能隨使用者需求而做彈性的修正、選用與擴充，例如輸出/輸入控制板、運動控制卡、伺服系統、CAD/CAM、甚至是具串列式網路伺服功能。

綜觀上述之發展，可以得知運動控制系統技術發展與未來趨勢有以下幾點 [1]：

1. 高精度、高效能、高穩定度

受制於伺服控制的架構，必須在精度與速度上有所取捨，導致整體性能無法提升。因此，提高精度與效能除了在機構的改善外，增加伺服系統的頻寬亦是相當重要。另一方面，生產線的設備投資相當龐大，生產的速度與交貨日期等因素，均不容許機台有任何的意外停機與元件損壞，因此穩定度的加強是所有設備製造商必須努力追求的目標。

2. 多軸運動控制

因應自動化系統的普及，使得在單一機台上的軸數增加，一台設備幾十軸數、一條生產線上幾百軸都是有可能的。因此，在軸數增加的情況下，如何協調各軸之動作、監控機台的運作，與配線的方式將是重要的議題。

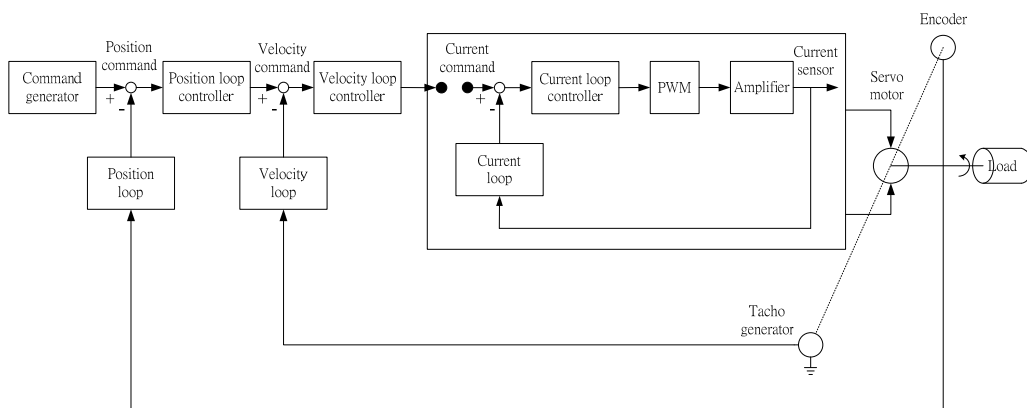
3. 綠色環保科技

溫室效應的影響，環保意識的抬頭，如何節省更多的能源更是當今最熱烈討論的話題。因此，從運動控制系統的角度，降低功率的消耗、減少線材的使用、縮小控制器的體積，以綠色科技的方式實行節能減碳。

串列式伺服運動控制技術，便是隨著資訊產業的快速發展與網路通訊技術的帶動下，使得以串列式伺服運動控制通訊介面為基礎之新世代工業自動化設備隨之而蓬勃發展。

傳統伺服控制技術

伺服控制系統是指經由一個閉迴路控制裝置的方式，使機械系統達到位置、速度，與加速度控制的系統。一個完整的伺服控制系統包括控制器(controller)、致動器(actuator)、受控體(plant)與感測器(sensor)所形成之閉迴路，如圖一所示。控制器的功能可針對不同應用需求而設計，達到控制受控體之位置、速度、扭矩或是循跡控制。致動器主要的功能為放大控制訊號提供受控體足夠的動力，大多數的伺服系統採用電力驅動方式，因此致動器包含功率放大器和馬達，而應用於伺服系統上的馬達稱之為伺服馬達(servo motor)。受控體為被控制的物件，如機械手臂或 X-Y 平台。感測器則是利用編碼器(Encoder)、光學尺回授馬達和實際裝置的位置，以建構一完整的閉迴路控制。



圖一 閉迴路控制系統方塊圖

伺服系統應用於多軸運動控制對於工業自動化之生產技術是非常重要的，從傳統的工具機至目前的光電和半導體製造設備，還有未來的 A+級智慧型工具機，皆需要高速度高精度的運動控制器(motion controller)達成精密加工、精密定位之目的。伺服控制的架構可以分為半閉迴路控制(semi-closed loop)與全閉迴路控制(full closed loop)，半閉迴路控制為利用馬達上的編碼器以間接的方式回授馬達實

際位置；而全閉迴路則利用安裝於平台上的光學尺或鐳射位置感測器，將實際工作物件的位置回授。運動控制系統可以分為兩個階層：高階的運動控制器負責運動控制命令解譯、運動軌跡的插值、加減速規劃等協調各軸彼此之間的相對運動，其主要的精髓在於減少運動控制命令的路徑誤差。較低階的伺服驅動器是用來接收伺服命令後，經由控制迴路去驅動馬達，主要關鍵在於降低追蹤誤差 (tracking error)。

然而，傳統伺服控制發展至今也遇到以下許多困難：

1. 過多的配線

單一軸上就至少就有 6 條命令訊號線、6 條編碼器回授訊號，還有其他極限等不同功能之多條 I/O 控制訊號線。

2. 解析度之不足

在脈波命令位置控制模式下，解析度被脈波的最大傳輸速度給限制住。在類比電壓命令速度控制模式下，利用 A/D 與 D/A 轉換來傳送命令的解析度已經不敷目前高階驅動器所要求。

3. 同步性、即時性

傳統的伺服系統在各軸之間，由於命令傳送的時間誤差（約 0.5ms）造成各軸真正在執行位置命令時無法同步，如此在多軸插值動作時便會有時間誤差而造成插值曲線的不完美。

4. 雜訊干擾

類比訊號較容易受到雜訊的干擾，造成傳送的指令有偏移誤差的問題，尤其是在馬達剛啟動與即將停止之零轉速時會特別明顯。而在脈波命令的下達與編碼器的回授訊號，也可能受雜訊干擾而影響整體控制之精度。

為了解決以上之問題，利用串列式伺服運動控制透過即時通訊協定技術之系統，發展更高速度高精度的伺服控制。因此，近年來有許多經由網路媒介傳遞純數位訊號與控制參數，應用在運動控制系統中的通訊協定逐一被提出，如 SERCOS、Real-Time Ethernet、CAN Bus、與 SSCNET...等，而將這樣的控制結

構稱為分散式控制(Distributed control)伺服驅動系統[2-4]。

所謂分散式控制就是將系統中各個獨立的控制單元，利用網路技術的概念加以整合，以取代一個大型的單一控制系統。因此分散式控制有以下之優點：

1. 系統中的每個單元均具獨立性，易於模組化的建立與設計，達到更好的系統整合控制效果。
2. 系統的彈性增加，減低系統建構和維護的困難，達到更靈活的系統應用。
3. 系統的強韌性增加，當一控制單元損壞時，不至於影響到整個控制系統。

然而除了上述優點之外，分散式控制系統在各個模組間的即時通訊協定，亦值得深入去探討。

各式串列式運動控制通訊協定之探討

由於資訊產業的快速發展與網路通訊技術的大幅提升，使得以即時通訊介面之工業自動化設備隨之而蓬勃發展。因此串列式伺服運動控制通訊協定應用於工業伺服控制則是一個共通的趨勢，其主要優點就是配線容易、節省成本、抗干擾性與遠端控制，使全世界的控制器廠商或是相關產業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。然而具公開標準協定或推廣協會所開發的開放式通訊協定例如：SERCOS、Profibus、SynqNet、Device Net、CAN bus…等，均不被美日世界伺服器大廠給採用，轉而獨立開發自行定義的封閉式通訊協定，例如：日本三菱電機的 SSCNET、日本國際的 F2、日本安川的 MechatroLink…等。雖然沒有共通的通訊協定標準，但是對於技術內容的需求與目標均是一致的 [1]：

1. 即時性

必須在固定的週期時間內完成傳輸控制命令，因此傳輸週期須達到 0.1ms 至 5ms 以內。

2. 有彈性

可選擇非週期性的傳送接收伺服命令、伺服驅動參數與周邊 I/O 資料。

3. 抗干擾性

藉由數位傳輸並加入錯誤檢測碼的機制，降低雜訊干擾。

表一為近年來各式串列式伺服運動控制通訊協定一覽表，目前仍舊是各家定義自有的通訊協定並且各具優缺點，因此很難比較出最佳的方案。接下來的小章節則選出相較於目前市場上占有率較高，較多人使用之幾項串列式伺服控制技術，介紹其基本架構、規格與通訊傳輸方式。

表一 各式串列式運動控制通訊協定之整理

Vendor	Mitsubishi			Panasonic	Yaskawa
Protocol Name	SSCNET I	SSCNET II	SSCNET III	F2	MechatroLink II
Transmission media	Copper wire (RS485)	Copper wire (RS485)	Optical fiber	Copper wire (RS485)	Copper wire (RS485)
Communication speed(Mbps)	5.6	5.6	50	100	10
Communication cycle(ms)	3.55	0.88	0.44/0.88	0.5	1
Max. control axis(axes/system)	8	6	8/16	32	30
Transmission distance(m)	30	30	800	-	50

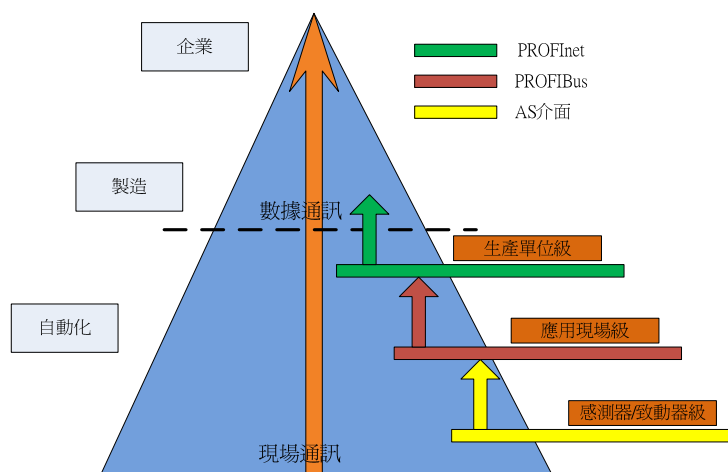
表一 各式串列式運動控制通訊協定之整理(續)

Vendor	Indramat		PROFIBUS	MEI	Agile system
Protocol Name	SERCOS II	SERCOS III	PROFINet V3	SynqNet	IEEE-1394
Transmission media	Optical fiber	Copper wire (RS485)	Ethernet	Ethernet	IEEE-1394
Communication speed(Mbps)	16	100	100	100	400
Communication cycle(ms)	0.1	31.25us	1	0.1	0.1
Max. control axis(axes/system)	254	254	150	32	63
Transmission distance(m)	40	40	-	100	4.5

Profibus

Profibus 是具備多種電路層(electrical-layer)選項的伺服網路標準之一，而最常應用於自動化設備的 Profibus 電路層即為 RS-485 標準通訊介面的改良版，其中增加多項要求以提高資料傳輸效能[5]。

現場匯流排(Fieldbus)技術提供製程自動化、工廠自動化或移動控制所需的工業通訊。它使用的是銅線材、光纖甚至是無線等各種媒介的工業通訊系統，透過串列傳輸的方式把各式各類的裝置(如致動器、驅動器、換能器或感測器等)連結到中央控制管理系統。Profibus 就是利用此種概念，不僅可水平提供應用現場層級的通訊功能，也能夠同時垂直供應跨越好幾個階層的通訊能力。此外 Profibus 還能夠透過 Profinet 連接較低階層的介面和高階的乙太網路，此種分層式與協調式工業通訊系統為生產流程應用提供透明化網路連結的選擇(參考圖二)[5]。

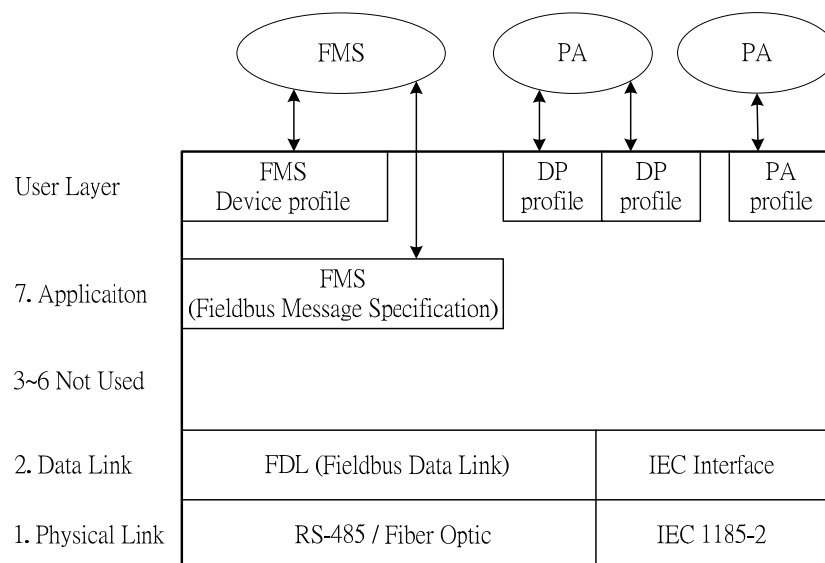


圖二 自動化應用的通訊架構

在圖二中，感測器與致動器訊號經由匯流排傳送，不僅符合成本效益，還能夠以同一媒介傳遞資料和電源。在應用現場級部份，I/O 模組、換能器、驅動器、分析裝置、閥門或作業控制端等裝置可以透過即時通訊系統與自動化系統進行通訊。在生產單位級透過 PLC 或 PC-Based 控制器以乙太網路、TCP/IP、或網際網

路等標準相互通訊。

Profibus 使用的架構圖如圖三所示，其網路控制權在於主節點，輔節點只能接收訊息並配合回傳必要資訊。Profibus 傳送訊息可分為週期性與非週期性，在第二層資料連結層中定義一個週期性傳輸服務與三個非週期性傳輸服務。在第七層應用層中，依照不同的應用場合去制定不同的通訊協定，例如：Profibus-PA、Profibus-FMS、Profibus-DP 三種通訊協定。其中以 Profibus-DA 的傳輸能力最佳，控制器與驅動器就是利用此通訊協定連結。在主節點控制器中設計插值器與位置迴路控制器，透過網路傳送數位速度命令資料給輔節點驅動器接收，伺服驅動器即依照命令驅動伺服馬達作運動，並將相關位置值回傳給控制器計算，達到閉迴路定位控制之目的[3]。

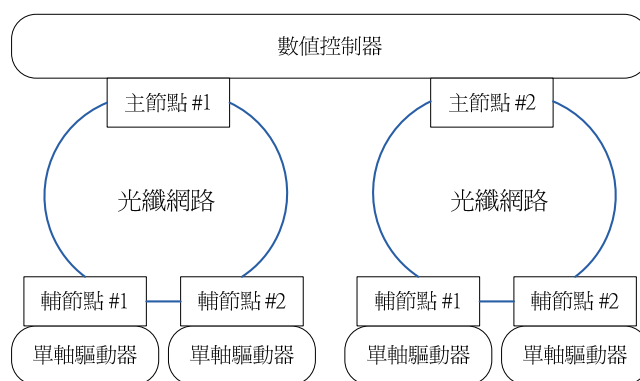


圖三 Profibus 架構圖

SERCOS

SERCOS 為 Serial Real-time Communication System 之縮寫，在 1987 年時由德國機械工具協會、電氣製造協會及許多工具機與伺服驅動器廠商，針對數位運動控制共通介面所制定的開放式通訊架構，並採用以光纖為傳輸介面的週期式網路通訊協定。1995 年獲 IEC(Institute of Electronic Commerce)通過成為 IEC-1491 國際標準通訊協定，同年修正編號為 IEC-61491 國際標準。

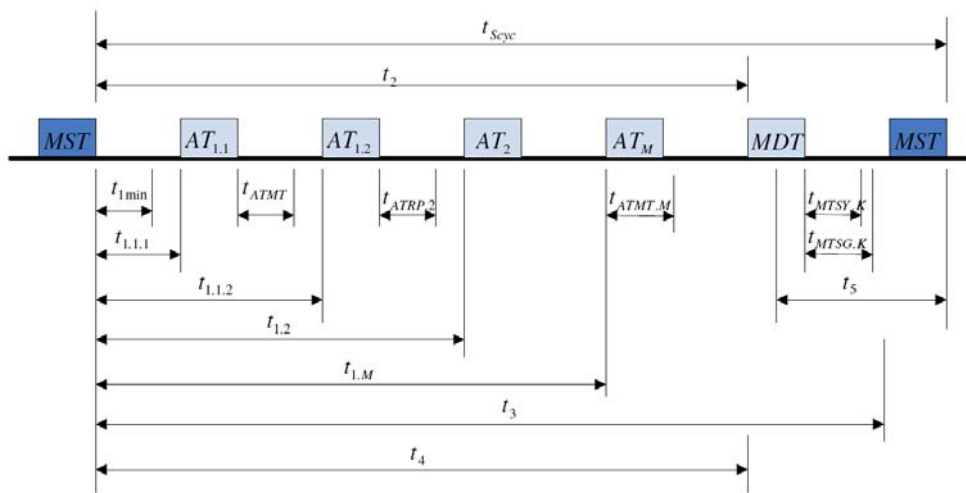
SERCOS 為一主從式環狀拓撲(Ring Topology)網路結構(如圖四所示)，控制器為主節點，可控制 1 至 254 個位址的輔節點，其中每個輔節點驅動器可以是單軸或雙軸的驅動器，實際在光纖網路上真正能夠控制的輔節點數量，仍需要取決於傳輸週期、傳輸資料量以及網路的傳輸速率。而每個節點在傳送接收資料時，需被限制在設定好的時間插槽內(Time-slot)中，且在傳輸週期中是固定且等距，才能夠確保整體網路的通訊品質。SERCOS 採用 IEC-3309 國際標準的高層資料連結控制協定(HDLC, High level Data Link Control protocol)之資料封包格式，並以 NZRI(No Return to Zero Inverted)方式編碼，可使用 SGS Thomson 所設計之 SERCOS410B 晶片來避免複雜的資料封包設計。



圖四 SERCOS 環形拓撲網路系統架構圖

SECROS 共分為三種電訊(Telegram)：主節點同步電訊(MST, Master

Synchronization Telegram)、伺服回授電訊(AT, driver/Amplifier Telegram)、主節點命令電訊(MDT, Master Data Telegram)。主節點同步電訊主要以提供網路系統中各節點的時間參考,不包含任何資料或命令;伺服回授電訊 AT 以點對點(point-to-point)的方式傳遞,將伺服驅動器的回授數值或資料傳送回給主節點接收;主節點命令電訊 MDT 則以廣播(broadcast)的方式,傳送主節點給網路上各節點的驅動命令或控制要求。通訊周期中各個電訊的時序圖,可參考圖五和表二[3]。



圖五 SERCOS 通訊週期時序圖

表二 SERCOS 通訊週期時序圖之對照表

t_{Ncyc}	Control unit cycle time
t_{Scyc}	Communication cycle time
t_{1min}	Shortest AT transmission starting time
t_1	AT transmission starting time
t_{ATMT}	Transmit/receive transition time
t_3	Command value valid time
$t_4 = t_{Scyc} - t_5$	Feedback acquisition capture point
t_5	Minimum feedback processing time
t_{MTSG}	Command value proceeding time
t_{AIAT}	Transmit to transmit recovery time
t_{MTSY}	Receive to receive recovery time
t_2	MDT transmission starting time

SSCNET II & III

日本三菱電機自從 90 年代開始發展 SSCNET(Servo System Control Network) 技術，目前來到第三代—SSCNET III，且市場上已超過兩百萬軸的伺服馬達是採用 SSCNET 技術，相較於其它的串列式伺服控制通訊協定算是相當成功。在此先介紹 SSCNET II，其傳輸媒介是改良自 RS485 技術，最大傳輸距離可達 30 公尺，傳輸速度為 5.625Mbps，控制的通信週期為 0.88ms。控制的方法則採用主從式架構，控制卡上有一顆主控 IC(Master controller)可以控制六軸伺服馬達(Slave)，因此最大可控制軸數視控制卡上有多少顆主控 IC(N 顆)，可控軸數則為 6xN 軸，同時各顆主控 IC 之間可以同步化，使得被控伺服軸得以同步，然而目前此顆主控 IC 仍由三菱電機獨家提供[1]。

SSCNET 控制架構如圖六所示，可分為四個階層來說明：

1. 馬達控制層

建構在三菱的伺服驅動器中，除了原來 A-type 伺服控制技術外，B-type 還另外加了通訊介面，固定週期時脈接收伺服指令及傳送伺服狀態，並下達位置、速度、扭力命令給予馬達，可使用 Station ID switch 指定軸號而不需更改配線順序。

2. 網路通訊層

核心的技術是在同一條通訊網路上，所有的軸都遵循一個固定的控制週期來運作，亦即在控制上具有多軸等時性之特性，達到運動控制上的多軸絕對同步控制。通訊上則以主從式架構，Master IC 置於主控電腦端，Slave IC 則內嵌於伺服驅動器，利用同步時脈(0.88ms)主控端在週期內將指令傳送至各軸，並接收 Slave 端回傳的資訊。

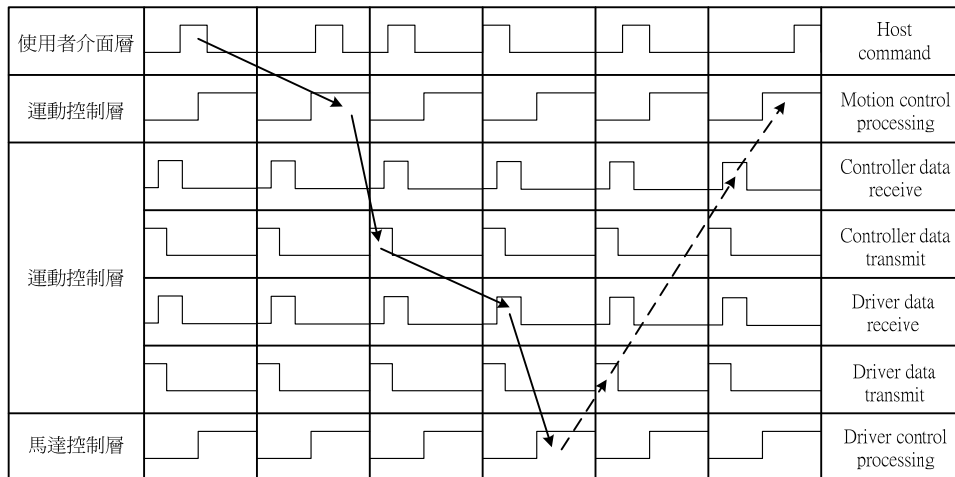
3. 運動控制層

在運動控制層中必須要有一個同步於 SSCNET 之控制系統，負責將指令置入 SSCNET 的 Master IC 中，並且經由 Master IC 取回各軸資訊，此種系統

在 PC-Based 有兩種作法：第一種是利用一顆微處理器接收 Master IC 的控制週期中斷，並於固定時間內將該週期的運動命令計算出並傳送至 Master IC，同時內也必須讀回 Master IC 上的資訊；此種方式通常會使用一顆獨立於 PC 外的微處理器，並設計在周邊控制卡上。第二種方式為利用 PC 上的 CPU 接收 Mater IC 控制週期中斷，與第一種方式一樣必須在固定的時間內將該週期的運動命令計算出來送給 Master IC。前者的優點在於穩定，設計者也較容易於使用；後者則是機台設計者可以直接控制 SSCNET，但必須考量到同步性的問題。

4. 使用者介面層

此層的結構為純軟體，使用者或是設備製造商透過運動控制卡所附的函式庫與圖控元件來設計人機介面，因此使用者介面層會與運動控制有著非常緊密的配合。大部分的設備軟體開發者都希望有個友善且人性化的使用者介面，少部分的使用者則會由運動控制層做起。半導體設備及光電產業的設備特性是少量多樣所以適用於前者，工具機及產業機械的特性是多量少樣適用於後者。由運動控制層做起的使用者多半具有相當的運動控制學術理論背景，本身即具備這樣的技術，所以會希望由控制層作起，如此一來運動控制卡就只是一張介面卡。然而由使用者介面層做起的使用者多半握有設備生產方式的核心技術，只要利用廠商開發出之泛用或專用函式，就可以輕易的將設備的功能設計出來，所需要的只是產品的可靠性，並不需要知道太多的運動控制理論。如圖六的使用者介面層，使用者的命令是不需要跟 SSCNET 的通訊週期同步，因此可以降低設備開發者的困擾。



圖六 SSCNET 控制架構圖

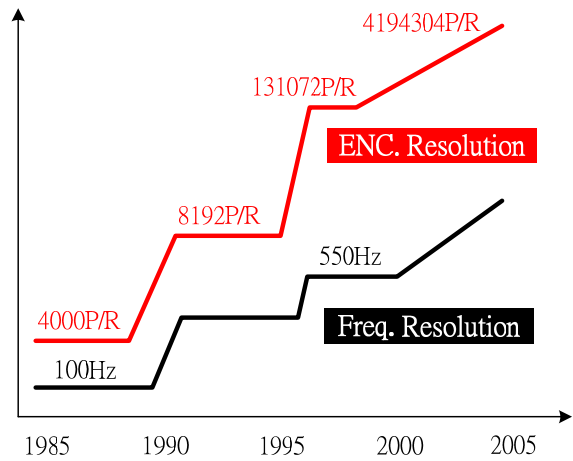
綜觀 SSCNET 技術，為運動控制使用者帶來許多的好處：

1. 減少體積、節省配線

目前一張 SSCNET 控制卡便可以控制 12 軸(兩顆主控 IC)，然而傳統的運動控制卡僅可控制 6 至 8 軸。不僅如此，傳統的配線基本上即包含 4 條位置控制(Pulse)輸出、2 條速度控制(類比電壓)輸出、6 條編碼器(ENCODER)回授，另外還有數條 I/O 控制線，光是單一軸就有 10 多條以上的訊號線。因此若改為串列傳輸的方式，僅需要一條傳輸線大幅減少配線並使得配線錯誤造成的損壞減到最低。

2. 高速高解析度的伺服控制之實現

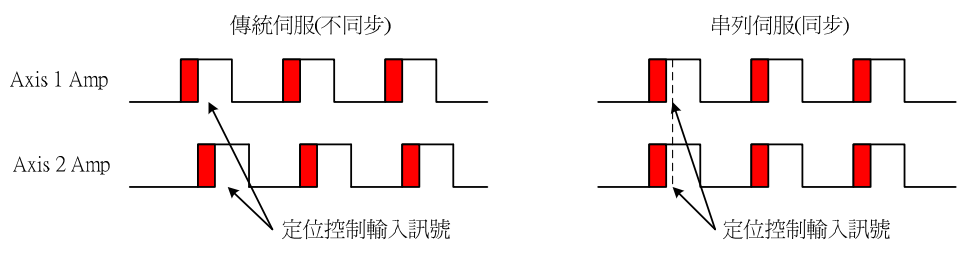
隨著編碼器解析度的提升，伺服器的頻寬也跟著進步(如圖七)，使得控制機台的穩定時間(settling time)降低，所以對於機器而言最大的效益就是加工速度的大幅提高。然而目前的編碼器解析度為 17 位元 131072pulse/rev，若要使用這麼高解析度的編碼器，在 3000rpm 時，脈波式控制器就必須送出 6.5MHz 的脈波，這種傳輸速率已經達到脈波傳輸之極限。透過 SSCNET 在每個時脈傳遞 32 位元的絕對位置指令，便可輕鬆地達到 17 位元的定位解析度。



圖七 編碼器解析度與頻寬之歷年成長圖

3. 絕對同步的實現

如圖八所示，傳統的伺服系統在各軸之間，由於脈波命令傳送的時間誤差(約 0.5ms) 造成各軸真正在執行位置命令時時間也有誤差，如此在多軸插值動作時便會有時間誤差而造成插值曲線的不完美，透過 SSCNET 就可以輕易地達到每一軸完全地同步動作。



圖八 傳統與串列伺服之控制命令時序圖

4. 控制器上管理所有伺服軸參數

透過 SSCNET 各伺服軸的參數可以統一在控制器上調整及讀取，如此可以把伺服驅動之參數與真正機台控制結合在同一個環境下去實現。另一方面也可以即時切換驅動器模式，傳送速度命令或轉矩命令，滿足不同控制需求。

5. 絕對位置系統之建構

透過 SSCNET 控制器上讀到的是 32 位元的絕對位置，不像脈波式伺服只能得到增量式位置。所取得的絕對位置，允許在緊急狀況 (ALARM)造成系統停機又重開後，不必再執行回原點的動作。

6. 可靠度之提高

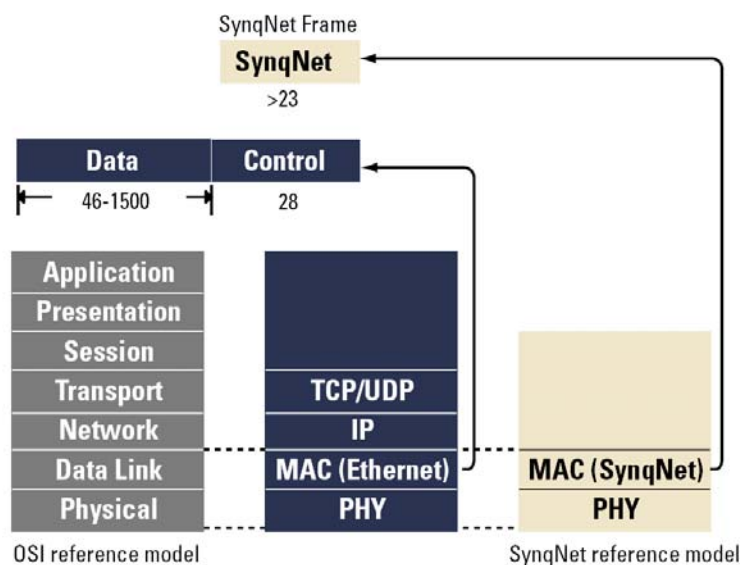
在數位資料傳輸時，藉由 CRC Error Check 功能，通訊品質的信賴度可以大幅提升，不會像傳統式伺服易受雜訊干擾。

SSCNET III 是在 SSCNET II 的基礎上開發的最新產品，它的通訊速度已達 50Mbps，是第一代 SSCNET 的 9 倍 (SSCENT 5.625Mbps)。通訊距離最長可達 800 公尺，是第一代 SSCNET 的 26 倍(SSCENT 30 公尺)。通訊週期也由原來的 0.88ms 提升到現在的 0.44ms。在 SSCNET III 中沒有脈衝指令頻率的限制，控制器和伺服放大器能做到完全同步，大大提高定位控制的準確性。SSCNET III 的使用可節省連線，便於伺服系統的網路化管理。同時，採用光纖傳輸，抗雜訊能力也更為顯著提升。

SynqNet

對於機器設備製造商而言，在運動控制上不僅對於性能與價格有極高的要求外，對於傳輸上減少配線的數量與複雜度並增加設計的靈活性亦相當重要。因此為了因應此系統應用的要求，網路結構取代傳統連線的方式使得運動控制器與驅動器、周邊 I/O 裝置，利用單一傳輸線即可達到更高階的傳輸速度，加上機器診斷功能和更安全更穩定更有彈性的運動控制[6]。

SynqNet 是一個高性能、全數位式的開放性同步運動控制解決方案。它採用的是即時、同步數位網路專利技術，可在各種複雜的應用環境中，實現高性能的運動控制，確保機器的可靠度。同時，SynqNet 是第一個採 100 Base T(IEEE802.3 標準)網路(如圖九所示)，具有分散式控制的優點，以及優越的性能、容錯、可靠性和故障診斷功能。SynqNet 是由 MEI 公司開發，目前已經被安川電機、Panasonic、Advanced Motion Control、Danaher Motion、Glentek、Sanyo Denki 等多家大型驅動器公司採用。

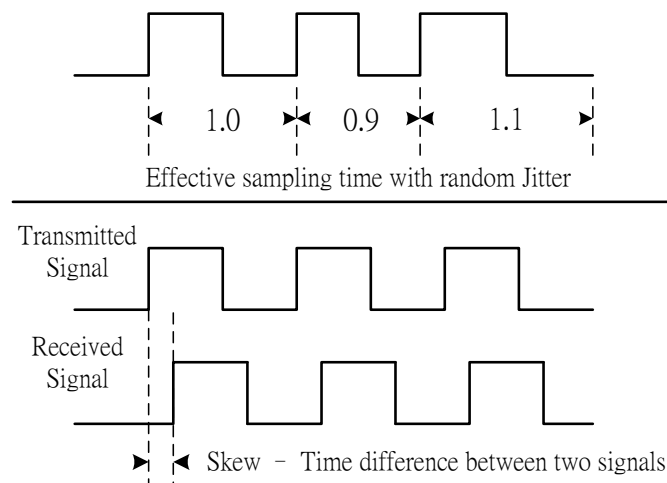


圖九 OSI、IEEE802.3 與 SynqNet 參考模型

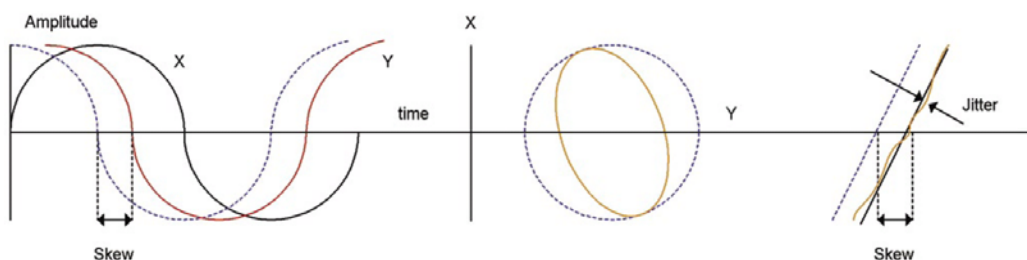
高性能運動控制系統的關鍵技術在於將理想的運動曲線轉換成一軸或多軸

的伺服驅動命令，利用精確的運動學模型與各種相對應的補償技術來實現。然而無論在精確的模型或是補償，在多軸的運動控制系統中，頻寬、通訊週期、同步性、即時性、安全性與可靠性也都是設計控制系統的關鍵所在。

SynqNet 是如何實現真正多重輸入輸出(MIMO)控制？所有的數位系統均以一個 CLOCK 為基準，在固定的離散時間內對資料進行取樣，而當有多個系統聯結在一起時，就會有多個 CLOCK 存在。無可避免的是，在電磁波干擾下會造成時基抖動(jitter)、發送與接收端之間或是網路節點間的資料傳遞延誤所造成的時脈偏移(skew)等問題(如圖十、圖十一所示)，都必須要做有效的控制。SynqNet 使用相位定迴路技術，將從屬網路之獨立 CLOCK 與主網路同步，使得時基抖動問題縮小至小於 1ms；同時，SynqNet 可在硬體中測量系統時脈偏移，並利用演算法進行補償，可將偏移問題降低至 20ns。對於任何數量的節點或網路流量條件，均可獲得改善。

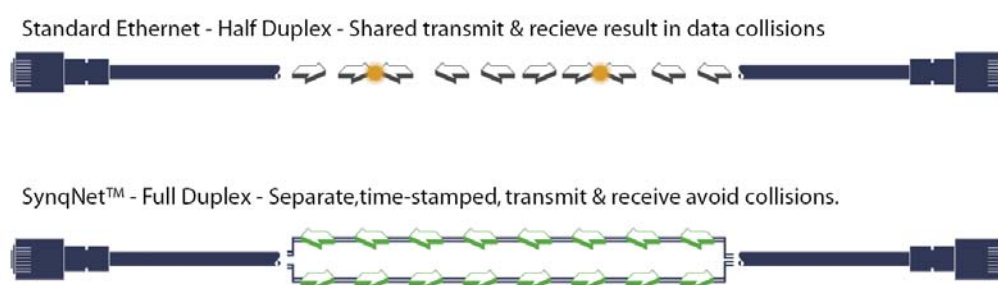


圖十 時基抖動與時脈偏移



圖十一 時基抖動與時脈偏移在圓和直線插值的影響

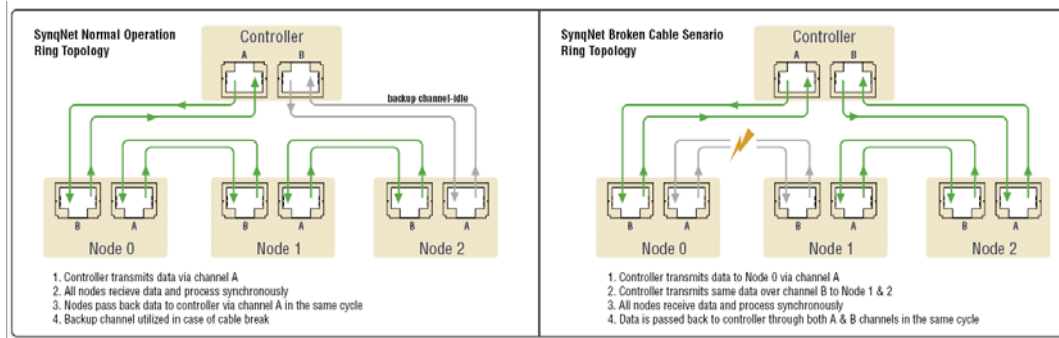
目前多數的半雙工網路，某兩台設備試圖利用同一傳輸介面傳輸資料會有碰撞的現象發生，若網路上的設備數目增加時，碰撞的機會將以指數級增加，導致性能大大地降低(如圖十二所示)。SynqNet 設計用來消除 MACD(multiple access collision detection)機制，其採用同步方式，以規則的排程時間方式，將資料傳送至每一設備中。使用全雙工之獨立的接收與發送傳輸介面，避免資料碰撞，並可達到 2x100Mbit 的確定性資料傳輸速率。在四軸時，可達到最短的 25um 週期時間。



圖十二 標準網路與 SynqNet

SynqNet 在通訊網路異常、中斷、連接埠鬆弛或任何一個或多個節點故障時，可利用應用程式告知相關問題和相關位置，以便機器改以適當的特殊處理方式進行回應(如圖十三)。同時，每個節點均設有看門狗計時器(watchdog timer)，若主機或整個網路發生意外故障事件時，以可預測、平穩與安全的方式關閉系統。SynqNet 是在商業網路應用上提供此完整的安全性和錯誤容許性(Fault tolerant)。尤其是在高價值設備以及醫療應用中，數位網路容錯功能是非常重要的。

SynqNet 為支援高性能之網路伺服控制系統而專門設計，提供不減低性能，支援各種驅動裝置之伺服網路而開發，並具有單一網路傳輸、容錯與高抗干擾性之附加優點。



圖十三 SynqNet 環狀拓撲之自我修復與錯誤容許機制示意圖

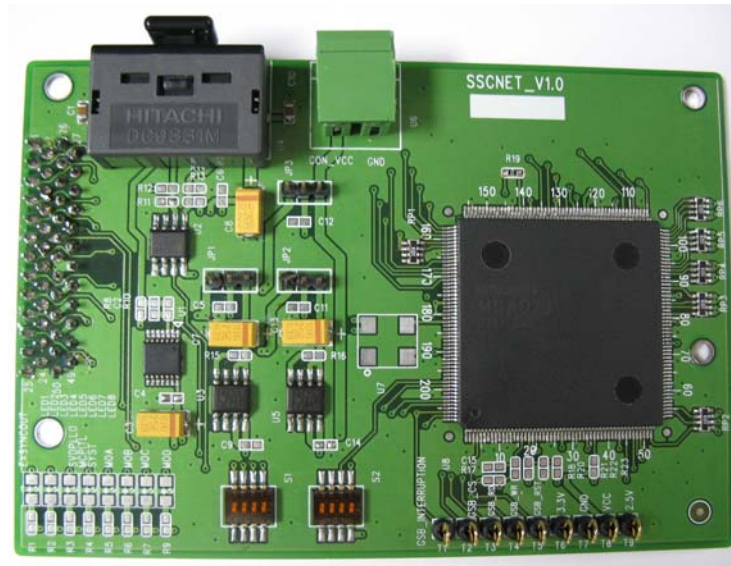
智慧型運動控制卡與通用型伺服匯流排

工研院機械所機電控制整合部開發之新一代智慧型運動控制卡(Intelligent motion control card)是一具有 CPU Built-in 運動控制晶片，除了將目前在 PC 上最普遍的匯流排 PCI-Bus 內建於晶片外，並將運動控制所需的功能一併整合至晶片內，包括脈波命令產生器、編碼器回授輸入、運動控制伺服迴路、類比轉數位(A/D)和數位轉類比(D/A)功能、近端和遠端數位輸出入介面…等，同時也預留了 GSB (General Servo Bus)通用型伺服匯流排，與全數位串列式伺服介面整合。使用 CPU Built-in 運動控制晶片，可執行 standalone 架構，將 PC 端處理器之大量的伺服控制運算交由運動控制 IC 的 CPU 處理，PC 端僅需負責下達使用者人機介面之命令。為了進一步解決高速度高精度之高階運動控制系統的即時性需求，IMC 也將搭配 VxWorks 嵌入式作業系統，發揮其良好的可靠性和卓越的即時性[7]。

圖十四為 IMC 運動控制卡，圖十五則為以 SSCNET III 串列式伺服運動控制技術為基礎之通用型伺服匯流排子板(Daughter card)，目前已經完成硬體電路的設計。未來 IMC 運動控制卡也可以利用深具發展彈性的通用型伺服匯流排，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。僅需要搭配各家廠商而替換不同的子板，即可以不同的串列傳輸方式與驅動器做傳輸。



圖十四 IMC 運動控制卡全貌



圖十五 IMC 之通用型伺服匯流排子板

未來發展

串列式伺服運動控制技術的進步，使得傳統集中式控制系統由分散式控制系統取代之，不僅降低成本、提高可靠度、擴充性、彈性與即時性，在偵錯維修上將更為容易。但是目前仍然沒有一個統一標準的開放式通訊協定，均為各大廠商自行開發之封閉式通訊協定，使得要將此項技術向外推行並普及，實際上較為困難。以工研院身為台灣資訊工業界中領航者的角色，且在伺服系統中有豐富的資源鏈，無論是在運動控制技術、數位控制技術、伺服驅動技術、電力電子技術、微處理器軟硬體設計、嵌入式系統設計、IC 設計…等均已經具備相當成熟的技術。目前尚欠缺的就是國內自行研發訂定的串列式伺服運動控制通訊協定，若是能夠由工研院統籌訂定並整合業界相關技術，建立串列式伺服運動控制技術，整個伺服控制系統均可由國內自行研發製造，不再需要依賴國外大廠，其影響不僅對於傳統的 CNC 工具機、光電半導體設備，甚至是 A+級高速高精密度的加工機也都有甚鉅的進步，期望帶動並提升國內的相關產業技術而與國外抗衡。

參考文獻

- [1] 黃怡日敦，”PC-Based SSCNET 運動控制系統與發展趨勢”，機械工業，pp. 247-253，民國92年9月
- [2] 江瑞民，”以SERCOS網路為基礎之多軸控制系統的規劃與分析”，碩士論文，國立交通大學控制工程研究所，民國81年6月
- [3] 謝政昌，高性能即時網路運動控制器之研製，碩士論文，國立交通大學電機與控制工程研究所，民國88年6月
- [4] 陳柏菁，以即時網路為基礎的運動控制技術之研究，碩士論文，國立交通大學電機與控制工程研究所，民國88年6月
- [5] “PROFIBUS工業網路介紹”，電子工程專輯，民國96年12月
- [6] <http://www.synqnet.org>
- [7] 林家慶，”智慧型運動控制晶片設計介紹”，機械工業雜誌，pp. 2-16，民國97年4月