

IEC-61491數位運動控制即時網路 (SERCOS) 簡介

陳柏菁 許明景 鄒應嶼

摘要—本文旨在介紹一個運動控制專用的國際通訊協定 SERCOS (IEC-61491)，這個通訊協定主要是應用在分散式多軸運動控制上，提供使用者一個即時、抗雜訊力強、高解析度、可完全以軟體方式規劃的串列傳輸網路。藉由這個網路的使用可以提高PC-Based控制器的性能。

I. 前言

隨著電腦硬體價格不斷下降與功能不斷提升，使得微電腦無論在速度、指令集與記憶體容量上皆可與迷你電腦相比擬。當將微電腦引入伺服控制系統後，由於微電腦的計算及富彈性的軟體規劃能力，使得伺服器的控制得以獨立 (stand alone)，而不需外接其他控制器。這種針對單一組件的控制觀念產生後，打破了早年多軸運動控制中，以功能強大的迷你電腦配合齊全的週邊設備完成整個系統運作的集中式控制架構，而產生了一種新的控制架構，稱之為分散式控制 (Distributed Control)。

所謂分散式控制架構，就是將控制各個設備的小型控制器加以整合，以取代一個大型的單一控制器。分散式控制架構具有下列幾個優點：

- 系統中各單元的獨立性提高而使得模組化的設計更為容易
- 系統彈性增加
- 使系統具有平行處理的能力
- 系統中某個單元損壞不至於危害整個系統
- 降低維修困難度

上述分散式控制器的優點是傳統集中式多軸控制系統所不及的，但分散式控制存在一個重要的問題，那就是各模組間的通訊問題。

一個通訊網路是否適用於分散式多軸運動控制系統，必須考量是否具備下列條件：

- 主從式的通訊架構
- 週期式的資料傳輸 (控制資料)
- 選擇性的非週期式資料傳輸 (偵錯資料)
- 控制節點的同步控制
- 傳輸週期介於0.5 msec與5 msec之間
- 良好的雜訊免疫與隔離

目前已有各種應用於生產自動化的工業網路，例如美國GM公司所發展的MAP、Field Bus、Profibus、CAN Bus、ARCNet、ControlNet、LonWorks，以及本文將介紹的SERCOS。SERCOS是**SE**rial **R**eal-time **C**ommunication **S**ystem的縮寫，由德國率先發展，於1990年7月向國際標準組織(IEC)提出申請，並於1995年獲得通過成為IEC 1491國際標準。SERCOS是一個以光纖為傳輸介質的週期式網路通訊協定，主要即針對自動化系統中的多軸運動控制系統而設計。

SERCOS不僅可適用於快速精密的多軸馬達協調控

制，也明確的定義了伺服馬達位置、速度、與扭力控制命令的通訊協定，因此可藉由SERCOS的通訊標準完成多軸的運動控制乃至伺服控制。

II. SERCOS發展歷程、特性與使用範圍

SERCOS (SErial Real-time COmmunication System) 最早在1987年時德國率先發展，由機械工具協會、電氣製造協會與許多工具機、伺服器廠商針對數位運動控制所制訂出來的開放式通訊架構。1989年的歐洲工具機展中正式問世，並於次年(1990)組成FGS推動SERCOS成為國際標準，該年7月向國際標準組織(IEC)提出申請。1993年SGS Thomson公司發展了世界上第一顆SERCOS控制IC，SERCON410B，這顆IC使得SERCOS介面變得簡單而且比較便宜。1994年SERCOS N.A.成立，SERCOS協定開始在北美地區被推廣，並於1995年獲得通過成為IEC 1491國際標準，同年11月更動編號為IEC 61491。圖 1是由SERCOS N.A.所提供的SERCOS發展時程圖。

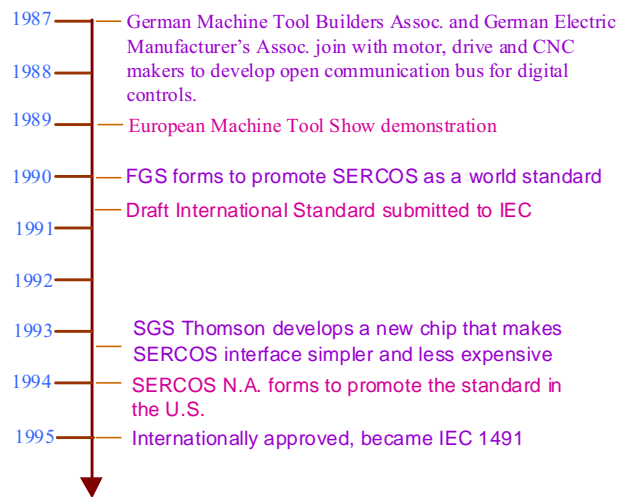


圖 1. SERCOS發展時程圖

有別於其他工業網路，SERCOS是目前國際上唯一成為IEC國際標準的運動控制專用網路，具有以下幾個特色：

1. SERCOS是全數位化的網路：在SERCOS問世之前，運動控制器與伺服驅動器間常需依賴數位/類比轉換器，以類比形式的訊號(±10V)溝通；而SERCOS提供了一個全數位化的介面，就無須數位/類比轉換器，一則節省數位/類比轉換器的成本，再則利用全數位式的特性，可以製作智慧型控制器。

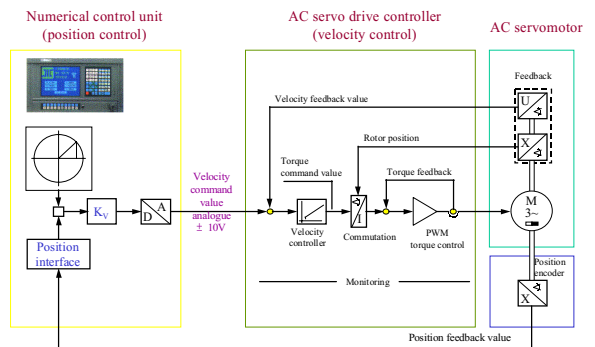
2. SERCOS是開放式架構：SERCOS是一個由許多製造商共同制訂發展的架構，為一開放式架構，任何人都可以依據其架構設計自己所需的產品。
3. SERCOS具有良好的擴充性：當使用塑膠光纖為傳輸介質時，SERCOS每節點間的傳訊距離為40米；若使用玻璃光纖，傳訊距離可長達200米，整個環狀網路的長度可達一萬到五萬米。每個環狀網路上理論上最多可連接256個節點，而實際上可連接的節點數則取決於傳輸週期、資料長度及傳輸速率。當節點數超過一個環狀網路的負荷時，可以利用多環路的方式擴充。
4. SERCOS具有高傳輸率：SERCOS目前的傳輸速率為4M Baud Rate，而利用ST公司出產的專用IC SERCON410B更可利用外頻將傳輸速率提高為10 M Baud Rate，可提供使用者62μs到62ms的即時通訊（Real Time Communication）週期。
5. SERCOS具有隨插即用（Plug & Play）的特性：當初SERCOS再制訂過程就以隨插即用的概念設計，盡可能將許多上下游間的協議明確的定義下來以確保產品間隨插即用的特性。
6. SERCOS具有跨廠商相容的特性：SERCOS在制訂標準時，就制訂了一些系統介面的相容類別（Compliance Class），這些相關介面定義可以在IEC-61491標準的附錄D中找到。只要製造商依據這些介面規格設計產品，這些產品就具有跨廠商相容的特性。

作為目前唯一具有高速、高精度的運動控制國際標準，SERCOS的應用範圍非常廣泛，可達上千種之多，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的其中一個主要目的：使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。

III. 傳統運動控制與SERCOS-BASED運動控制架構的比較

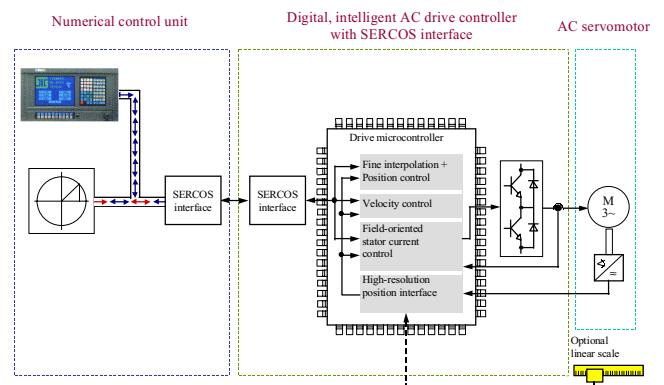
圖 2 為傳統類比介面CNC工具機的系統架構，基本上可以分成三個部分：電腦數值控制單元、伺服控制單元以及伺服馬達。在電腦數值控制單元中，利用一部PC來完成人機介面以及路徑的數值插值，並接受伺服馬達的位置回授相比較後，藉由D/A轉換器送出速度命令（類比電壓值）給伺服控制單元。在伺服控制單元中一般採取的是多迴路的控制法則，由外而內依序為速度迴路、電流迴路（力矩控制）最後送出控制開關的PWM命令到伺服驅動器。

圖 3 為以SERCOS為基礎的CNC工具機的系統架構，和傳統式的架構一樣，整個系統一樣可分為電腦數值控制單元、伺服控制單元以及伺服馬達三個部分。在電腦數值控制單元中，電腦簡化為只負責人機介面以及數值插



值，同時因為數值插值及SERCOS的傳輸介面均為數位系統，免除了類比/數位轉換過程中的量化誤差。在伺服控制單元中，可以利用SERCOS介面建立起一個全數位式的伺服驅動控制器，在這個全數位式的伺服控制器中，因為SERCOS具有傳送位置、速度及力矩命令並取得回授的能力，因此可以大幅簡化伺服控制單元。

圖 3 以SERCOS介面為基礎的CNC控制架構



由圖 2與圖 3的比較可以發現，以SERCOS介面為基礎的多軸運動控制具有以下幾項優點是傳統類比介面控制器所不及的：

1. 接線的簡化：根據Kollmorgen公司所提供的資料，傳統類比介面控制器，每一軸與控制器間的接線大約為13-16條，若系統需由控制器或各軸取回額外的回授資料，則每一軸需再增加6-8條的接線；但以SERCOS介面為基礎的多軸運動控制器每一軸只需要兩條光纖即可完成，而且，因為SERCOS為環狀網路，因此實際上，若整個系統中有N節點就只需要N條光纖即可完成接線。
2. 良好的EMI/EMC特性：傳統類比介面控制器的各個單元在訊號傳輸時一定會面臨到地點連接（Ground Interconnection）的問題，尤其是當系統中數位與類比系統並存時，數位系統會對類比系統造成接地點漂移的影響而產生電磁干擾。在相關法規越來越嚴格的情況下，類比介面控制器勢必要為此付出越多的代價；相反的，因為SERCOS是一個全數位式的介面，配合數位的伺服控制器後，就沒有這方面的困擾存在。
3. 高資料精度：在傳統類比介面控制器中，資料精度往往受限於A/D轉換器，位元數少的A/D轉換器

圖 2 傳統類比介面CNC控制架構

(<14 位元)雖然便宜,但解析度往往不足以應付高精度的要求,但位元數高的A/D轉換器(>16 位元)往往必須付出很可觀的成本。這樣的問題在SERCOS中完全不存在,因為SERCOS本身即為32位元解析度的系統,所有資料均以32位元的精度傳輸;而且系統為全數位式的介面,無須類比/數位的轉換,不會產生截斷誤差(Truncation Error)。

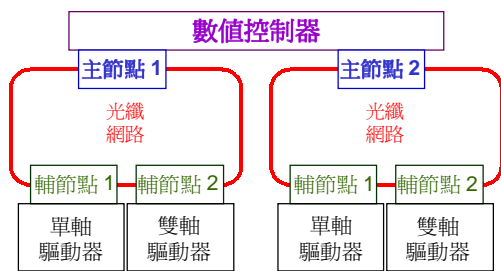
- 共模誤差小:在類比介面中,共模雜訊的濾除一直是很重要的課題。而這樣的問題在數位系統中就小得多,除非是極差的數位系統,共模雜訊大到足以影響準位判斷,否則即可忽略共模雜訊。SERCOS的全數位介面在這方面又佔了一些優勢。

IV. SERCOS的傳輸協定

A. 系統架構介紹

SERCOS為一主僕式環狀網路架構,其傳輸介質為光纖。系統中每一個主節點(Master)可搭配數個輔節點(Slave),每一個輔節點上又可搭配數個單軸或多軸的伺服驅動器,每個伺服驅動器給定一個1到254的位址。其系統架構如圖4所示。

圖4 SERCOS環狀網路系統架構圖

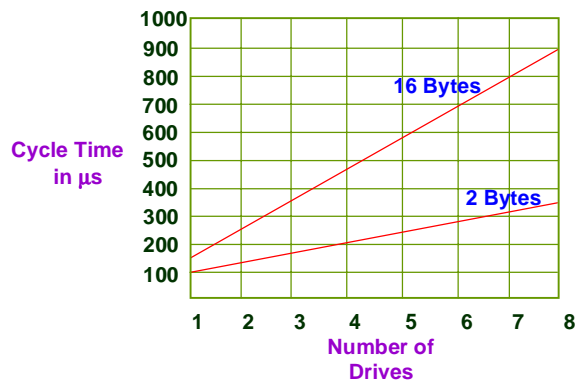


在整個系統的運作中,每一個光纖網路上能夠連接幾個伺服驅動器取決於傳輸週期、傳輸資料量以及網路的傳輸速率。例如在傳輸週期為2ms、傳輸速率為2Mbits/s,32位元命令長度的位置控制模式下,每一個光纖環路上最多可連接8個伺服驅動器。圖5是由SERCOS N.A所提供在傳輸速率為4Mbits/s下,可控制的伺服驅動器個數、資料長度與週期時間關係圖,使用者即可定義出自己系統所需的時間及資料長度的規格。

圖5提供了使用者一些非常重要的資訊,在往後的章節中會提到,SERCOS為了達到即時傳輸的要求,對於時間參數的要求非常的嚴格。在設定網路系統時,網路上每一個節點的資料存取都只能在屬於自己被設定好的時間插槽(Time-slot)中進行,而每個節點的時間插槽在傳輸週期中是固定而等間距的。這種存取權的取得方式與另一種已被廣泛使用的Token-Ring主僕式網路架構如ARCNET有極大的不同,雖然ARCNET同樣具有各節點等候時間控制的能力。因此,藉由查詢圖5,使用者可知道如何在傳輸週期、傳輸速率及命令長度間取得平衡。

圖5 傳輸速率為4Mbits/s下,伺服驅動器個數、資料長度與週期時間關係圖

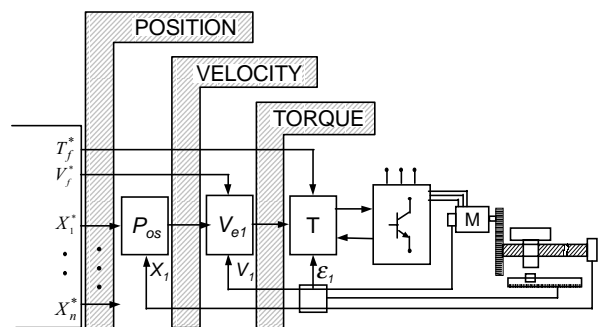
在運動控制,尤其是在工具機及多軸伺服控制中,



SERCOS提供了幾種操作模式:驅動器的力矩迴路控制(Torque Loop Control)、驅動器的速度及力矩迴路控制(Speed and Torque Control)及完整的伺服驅動器閉迴路控制,包含位置、速度及力矩迴路。圖6是SERCOS對單一伺服器的控制介面圖。

圖6 SERCOS對伺服器的控制介面圖

在伺服器的電流迴路控制(Torque Control)中,因其頻寬大,反應時間短,在高速的即時網路發展以前,以往的PC-Based控制器想要藉由PC所提供的傳輸介面(串



列埠或並列埠)來對各軸的伺服器進行電流迴路控制可說是不可能的,因此電流內迴路的控制品質就只能取決於所購入的伺服驅動器,系統使用者只能在現有的電流迴路品質上,對速度迴路甚至僅止於位置迴路做有限度的改善,這樣的問題對於高精度控制造成相當的困擾。在高速的即時網路發展後,這樣的問題可望獲得解決,利用PC豐富的資源和高速的運算能力,我們可以對電流迴路進行更複雜而精密的控制;藉由整個內迴路的改善確實提高系統的精確度。

在一般的電流迴路控制中,控制週期通常為250μs,也就是說,系統不僅要具有如此高速的傳訊能力,同時控制單元也必須有如此高速的計算能力。雖然說SERCOS具有高達4Mbits/s的傳輸能力,但多軸的電流迴路控制對單一環路的傳輸介面仍是一個極大的負擔,因此一般建議在電流迴路控制模式下採用像圖1的多環路架構,每一個環路上只連接少數幾個驅動器,這樣就能確保資料的傳輸品質。

在數位系統中,資料的精度取決於資料的位元長度

(Bit Length)，因此資料精度幾乎可說是無限制的。當資料傳輸的問題解決之後，我們可以發現，在做各軸位置控制的同時，可以將速度命令及力矩命令視作前饋訊號 (Feedforward signal) 一併送出。這樣的前饋控制訊

| | | | | |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| BOF 1 Byte | ADR 1 Bytes | INFO 2 Bytes | FCS 2 Bytes | EOF 1 Byte |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|

MST (Master Synchronization Telegram) Structure

號，相當於對系統進行動態的預補償，可以有效的降低因系統相位落後 (Servo Lag) 所造成的軌跡誤差 (Contouring Error)，同時提高系統的動態響應。

B. 資料內容與封包

SERCOS所採用的資料封包形式是IEC-3309國際標準的高層資料連結控制協定 (High level Data Link Control protocol, HDLC)，以NZRI (No Return to Zero Inverted) 方式編碼，其結構如圖 7 所示。這種資料封包架構是由前後兩個八位元的分隔字元 (Delimiter, 01111110) 將所要傳遞的資料封包為一個資料框，因此在傳遞資料時必須非常小心，封包在資料框內部的所有資料不能有01111110的值，否則會造成資料讀取時的誤判斷。在兩個分隔字元所封包的資料框又可分為位址欄 (Address Field)、資料欄 (Data Field) 以及檢視欄 (Frame Check Sequence, FCS) 三個部分，其資料長度是以位元組 (Byte) 為單位。位址欄的長度為1個位元組，共可定義出255個位址，其中位址0是無效的位址，代表的是在網路上所有沒有通過初始化設定的輔節點及伺服驅動器，而位址255是系統中廣播者 (broadcast) 的位址，通常代表的是發佈命令的主節點。、檢視欄的長度為2個位元組，在每一個資料傳輸週期都會依據IEC-3309的標準產生一組16位元的序列，藉由這組自動產生的序列值可以判定資料傳遞是否正常。資料欄的長度為N個位元組，N值的大小可依據資料量讓使用者自行設定。

| | | | | |
|----------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------|
| 01111110 | ADR 1 Byte | Data N Bytes | FCS 2 Bytes | 01111110 |
|----------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------|

- 01111110: 分界字元 (Delimiter)
- ADR: 位址欄 (Address Field)
- DATA: 資料欄 (Data Field)
- FCS: 檢視欄 (Frame Check Sequence)

圖 7 HDLC資料結構

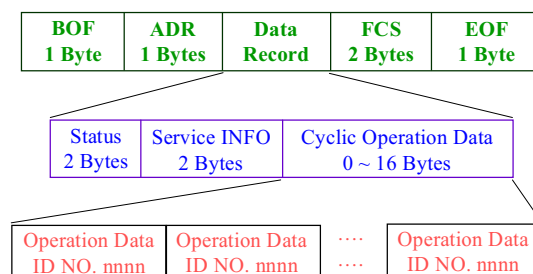
在HDLC的架構下，SERCOS將傳輸資料分為三種不同的形式，主節點同步電訊 (Master Synchronization Telegram, MST)、伺服回授電訊 (Driver/Amplifier Telegram, AT) 以及主節點命令電訊 (Master Data Telegram, MDT)。

主節點同步電訊 (MST) 的功能在於提供系統內各節點一個參考點，使各軸可依據此參考點進行同步的動作。每一個通訊週期即為兩個MST間的時間。MST基本上只負責做同步訊號，除此之外不包含任何資料或命

令，因此其長度在三種電訊中最短。圖 8 為MST的資料結構。

圖 8 MST的資料結構

伺服回授電訊 (AT) 是網路上所有輔節點上的伺服器將伺服器的所有狀況回應給主節點的資料，其結構如圖 9 所示。由圖 8與圖 9 的比較中我們可以發現，扣除週期傳輸資料以及狀態字元 (Status word) 後，AT與MST是完全相同的，這樣的結果同樣在MDT中也可以發現到。因為這樣的封包特性，如果使用者利用一顆專用IC來做資料封包的工作，則不但可以簡化SERCOS使用上的難度，讓使用者無須為了要使用SERCOS還得另外再去研讀3309及NZRI的編碼方式及撰寫複雜的程式，同時可以降低PC端的負擔。事實上，市面上也確實能找到這樣的ASIC，那就是SGS Thomson公司所生產的SERCON410B。



AT (Amplifier Telegram) Structure

圖 9 AT的資料結構

在SERCOS的AT封包中，每一個伺服驅動器都有自己獨立的AT封包，在這個封包中的所有資料完全都是該驅動器的資料，在每個週期中最多可傳遞16位元組的週期性資料。這樣的資料量顯然已經足以讓每一個伺服器以32位元的長度將位置、速度、力矩等資料回授至PC端。

相對於AT是回授伺服器的資料，MDT是用來傳送由主節點給所有輔節點上伺服驅動器的命令，其資料結構如圖 10 所示。我們可以發現，MDT和AT最大的不同點在於，因為MDT是以廣播 (Broadcast) 的方式將資料傳送至網路中，而不是像AT是以點對點 (Point-to-Point) 的方式傳遞，所以在一個傳輸週期中只有一個MDT的資料封包，在這個封包中包含了PC端要送給網路上所有驅動器的命令。為了區隔各個驅動器的命令，在MDT中將資料欄分為好幾個資料區間 (Data Record)，每一個驅動器給定一個資料區間，資料區間的格式與AT一樣，包含了2個位元組的控制字元 (Control word)、2個位元組的服務資料 (Service Information) 以及最大16個位元組的週期傳輸資料。

圖 10 MDT的資料結構

由上面三種資料框的結構說明可以發現，除了MST的資料長度是固定的之外，AT與MDT的資料長度都是由使

圖 12 SERCOS傳輸週期中各時間參數示意圖

意義與相對應的IDN。這些時間參數對於SERCOS的正常操作非常的重要，因為這些參數所代表的是每一個伺服驅動器在通訊週期中的時間插槽（Time-slot），在前節中曾經提過，SERCOS的資料存取權是由這些時間插槽所決定，因此設定過程中不能有錯。

| Description | IDN |
|--|-------|
| Control unit cycle time (t_{SCYC}) | 00001 |
| Communication cycle time (t_{SCYC}) | 00002 |
| Shortest AT transmission starting time (t_{1min}) | 00003 |
| AT transmission starting time (t_1) | 00006 |
| Transmit/receive transition time (t_{ATMT}) | 00004 |
| Command value valid time (t_3) | 00008 |
| Feedback acquisition capture point ($t_2 = t_{SCYC} - t_3$) | 00007 |
| Minimum feedback processing time (t_2) | 00005 |
| Feedback acquisition capture point ($t_4, t_4 = t_{SCYC} - t_3$) | 00007 |
| Command value proceeding time (t_{MTSG}) | 00090 |
| Transmit to transmit recovery time (t_{ATAT}) | 00087 |
| Command value proceeding time (t_{MTSG}) | 00090 |
| Receive to receive recovery time (t_{MTSY}) | 00088 |
| MDT transmission starting time (t_2) | 00089 |

表 3 時間參數之定義、縮寫與IDN

V. SERCON410B介紹

1993年，著名的IC製造商SGS Thomson公司生產了世界上第一顆SERCOS專用IC，命名為SERCON410B，截至目前為止，這顆IC也是全世界唯一的一顆SERCOS的專用IC。因為專用IC的出現，使得SERCOS相關產品在使用、設計、製造與價格各方面變得較簡單而便宜，因而陸陸續續有許多相關產品出現在市面上，如介面卡或驅動器等。

SERCON410B是一顆PQFP-100包裝的IC，圖 13和圖 14分別為系統方塊圖和接腳圖，其規格為：

- 即時工業通訊控制
- 8/16位元的匯流排介面
- 能接受Intel或是Motorola的控制訊號
- 內建1K的雙埠記憶體（Dual Port RAM）
- 可利用光纖或RS-485傳遞資料
- 最大內頻4 M Baud Rate傳輸速率，並可利用外頻加快至10 M Baud Rate
- 內建訊號重複（Repeater，將訊號bypass，不接收）環狀網路上訊號功能
- 全雙工操作
- 光纖訊號傳送二極體的功率控制
- 自動封包週期性及非週期性資料
- 彈性的記憶體規劃，通訊資料可存在記憶體或由DMA傳送
- 可由外部訊號觸發同步化設定

在SERCON410B中利用四十個控制暫存器和1 K RAM來協助系統設定與資料的封包。在使用上，不管是主節點（Master）或是輔節點（Slave）都是使用這一顆IC，藉由暫存器的設定可以決定所扮演的角色究竟為主或為輔。

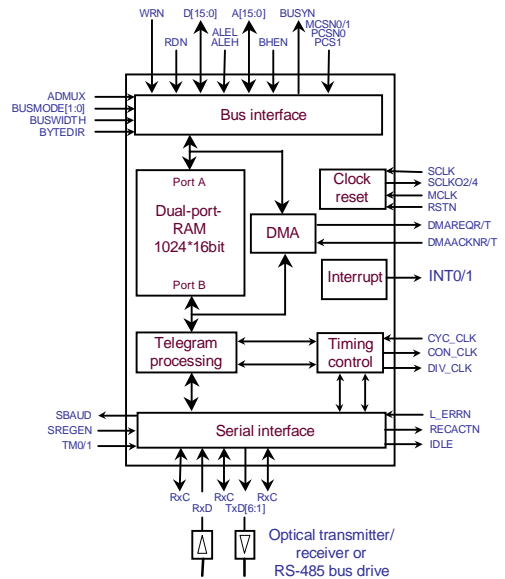


圖 14 SERCON410B之系統方塊圖

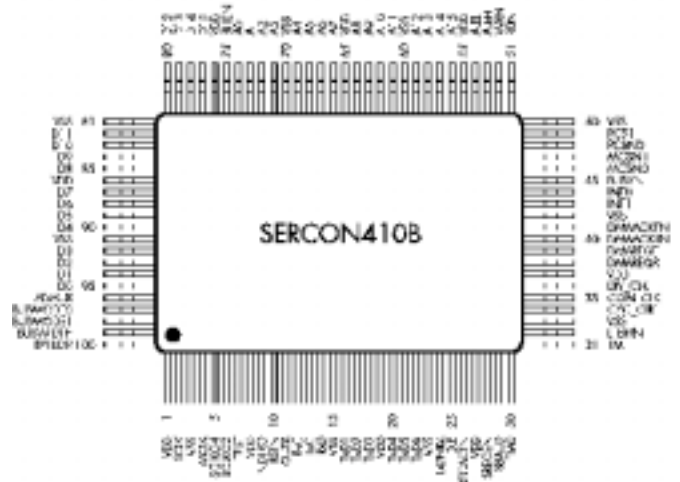


圖 15 SERCON410B接腳圖

在使用SERCOS系統時，主節點的初始化可利用電腦經由ISA BUS寫入各暫存器及RAM上的設定值，而輔節點端的伺服驅動器上的控制IC就必須利用伺服驅動器上的CPU做出初始化設定，明確的將每一軸的位址定義下來，如此主輔節點間才能以呼叫位址的方式進行溝通。這種溝通與初始化方式與ARCNET有點類似。

在SERCON410B內建的1 K雙埠記憶體的規劃上，規劃成8軸是最有效率的作法。ST公司在設計這顆晶片時，將週期性傳輸規劃為Data Container，在傳送及接收的週期傳輸之前有所謂的Data Container Header，Data Container Header的性質有點像控制暫存器，使用者可以在資料手冊上找到對應設定值的意義，藉由寫入這些Data Container Header，控制IC就可以正確的將週期性傳輸封包並加以傳輸。相對於週期性傳輸的非週期性傳輸，SERCON410B也有所謂的Service Container來協助封包，每一個Service

Container的封包設定同樣是藉由對Service Container Header寫入正確設定值達成。因此對於想要使用SERCOS的人而言，如何設定各控制暫存器及規劃晶片中的雙埠記憶體無疑是極重要的課題。

VI. SERCOS命令實例

介紹完SERCOS的通訊協定及控制IC後，最後舉一個實際命令下達的例子來說明整個過程。在這個例子中，主節點將對網路上的三個伺服驅動器下達週期性的速度命令及力矩限制。圖 16是這個命令的整個MDT封包。

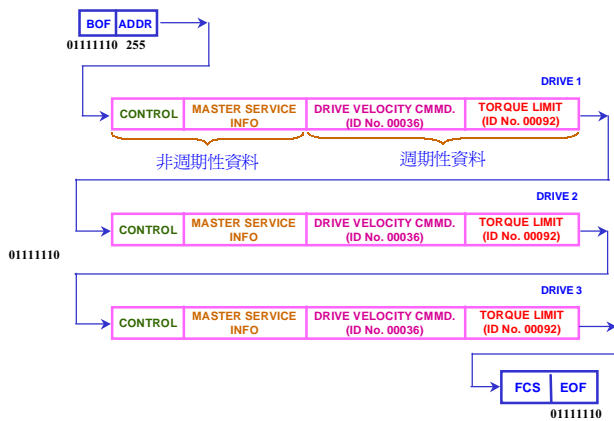


圖 16 傳送速度命令及力矩限制時，MDT的資料封包

在這個封包中可以發現，我們所用來傳送命令的部分是週期性資料，而速度命令及力矩限制的IDN分別是IDN00032及IDN00092，因此在系統一開始設定時，就必須先將週期性資料的這兩個欄位規劃為放置IDN00032及IDN00092，等到系統開始工作時，就只需要在SERCON410B的雙埠記憶體的相對位置中填入位置命令及力矩限制的值，系統就能夠正常工作。

在這個例子中特別要注意的是，MDT是以廣播的方式對各軸下命令，因此其位址是255，亦即所謂的廣播位址（Broadcast Address），而網路上的各軸就依據稍早提過的時間插槽（Time-slot）去取得MDT上的命令。

VII. 結語

在精密度要求越來越高的時代，分散式控制控制各單元間的通訊問題勢必成爲一個追求卓越的障礙，面對越來越多因應而生的工業控制網路，SERCOS未必會是唯一的解決之道，但SERCOS夾帶著已經成爲國際標準及其本身許多優異的特性，包括可達到即時（Real-Time）的要求、週期中斷傳輸、軟體規劃、抗雜訊力強、及接線簡化等等，在可預見的未來，應該可以成爲分散式多軸運動控制的主流。雖然目前在台灣這方面相關的應用和產品還未出現，但在國際上，相關產品及技術已逐漸的普及。

在95年的國際標準中，SERCOS定義了大部分的數值控制功能的IDN，爲了拓展SERCOS的應用範圍，位於德國的SERCOS Technical Working Group(TWG)陸續制訂增加

新的IDN功能，目前已出版98.1更新版，內容增加了額外的診斷功能、伺服驅動器和馬達參數、密碼、新的操作模式、多國語言切換...等功能；除此之外，還發展SERCOS介面的I/O功能。這些新的功能雖然目前還未列入國際標準，但日後功能完整確定後也必能成爲新的國際標準，使SERCOS成爲功能更強大的即時通訊網路。

雖然目前受限於光纖成本的昂貴，使得SERCOS的成本還是偏高，但一旦SERCOS挾其優秀的特性成爲市場主流後，成本降低是指日可待，屆時SERCOS即能成爲一個便宜、可靠、性能優異的工業網路。

參考資料

- [1] 江瑞民，“以SERCOS網路爲基礎之多軸控制系統的規劃與分析”，碩士論文，交通大學控制工程研究所，民國八十一年六月
- [2] G. Ellis, "Comparison of drive and controller architecture: SERCOS and Analog," *Powerconverters Intell. Motion*, May 29, 1998
- [3] Beradinis, Lawrence A., "SERCOS Lights the Way for Digital Drives" *Machine Design*, Aug. 22, 1994
- [4] SERCOS N.A., *SERCOS (IEC-61491) Developer's Kit*, Jul. 1998.
- [5] IEC, *IEC-1491 International Standard*, 1st ed., Nov. 1995.
- [6] MEI, *DSP-Series Motion Controller Installation Manual*, ver. 2.5, Oct. 1997.
- [7] MEI, *DSP-Series Motion Controller C Programming Manual*, ver. 2.5, Jul. 1997.
- [8] MEI, *Sampler Applications Reference Guide*, ver. 1.2, Aug. 1997.
- [9] *Traveling in SERCOS Circles*, Machine Design Int., vol. 66, no. 16, pp. 168, 170, Aug. 22, 1994.
- [10] E. Bassi, F. Benzi, L. Lusetti, and G. S. Buja, "Communication protocols for electrical drives," *IEEE IECON Conf. Rec.*, pp. 706-711, vol. 1, Orlando, FL, USA, Nov. 6-10, 1995
- [11] Scott Hibbard, "The SERCOS interface standard - standardized digital interfaces drive ahead," Vice President, Machine Tool Industry Group, Indramat Div. of Rexroth Corp.
- [12] S. Schultze, "Fault-tolerance in real-time communication," *IEEE ISIE Conf. Rec.*, pp. 583-587, June 1-3, 1993.
- [13] 曾淑惠, PC通訊 - C的應用, 益眾資訊有限公司, 1992.
- [14] <http://www.sercos.com/>