

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

赴德國研習「即時網路數位運動控制技術」

服務機關：國防部中山科學研究院
出國人職稱：助理研究員
姓名：張國樑
出國地區：德國
出國期間：91年8月4日至91年11月1日
報告日前：91年12月23日

G10/
C09106063

系統識別號:C09106063

公務出國報告提要

頁數: 84 含附件: 否

報告名稱:

即時網路數位運動控制技術

主辦機關:

經濟部

聯絡人/電話:

/

出國人員:

張國樑 國防部 中山科學研究院 助理研究員

出國類別: 研究

出國地區: 德國

出國期間: 民國 91 年 08 月 04 日 -民國 91 年 11 月 01 日

報告日期: 民國 91 年 12 月 30 日

分類號/目: G10/電子工程 G10/電子工程

關鍵詞: Field Bus, SERCOS, CAN, CANopen, Profibus, DeviceNet, Electronic Gearing, 伺服運動控制, QNX OS

內容摘要: 這次有幸能申請到經濟部“中德技術合作計劃”，於八月初赴德國研習工業網路發展與應用相關課題，行程主要在德國Stuttgart城郊附近一座Goepingen城市一所 Fachhofeschule科技大學機電系統實驗室，與Dr. Kayser博士研究如何以SERCOS網路實現電子齒輪(Electronic Gearing)之功能為主。期間學習利用QNX即時作業系統藉由SERCOS網路介面卡控制多個伺服馬達，並了解SERCOS網路協定及應用，進而實現以網路即時控制方式實作電子齒輪之功能。本報告內容開始簡介本次研習行程，再來介紹現有工業用網路發展應用概況，進而深入介紹DeviceNet、CANopen、Profibus及SERCOS網路協定原理與應用。再來詳述未來即時工業網路發展趨勢及應用。最後說明本次研習的主題與Dr. Kayser博士研習如何利用SERCOS網路來實作電子齒輪(Electronic Gearing)及電子凸輪(Electronic Cam)之馬達多軸控制，目前已有許多伺服馬達驅動器製造商皆有將電子齒輪功能實作在韌體(Firmware)內，此次研習內容是以規劃數值控制器(NC)軟體，藉由SERCOS網路將訊息同步傳送至多軸馬達，以軟體控制方式實現電子齒輪之功能，使馬達多軸控制功能更有彈性及用途更廣。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘要：

本人有幸能申請到經濟部“中德技術合作計劃”，於八月初赴德國研習工業網路發展與應用相關課題，行程主要在德國 Stuttgart 城郊附近一座 Goepingen 城市一所 Fachhofeschule 科技大學機電系統實驗室，與 Dr. Kayser 博士研究如何以 SERCOS 網路實現電子齒輪(Electronic Gearing)之功能為主。期間學習利用 QNX 即時作業系統藉由 SERCOS 網路介面卡控制多個伺服馬達，並了解 SERCOS 網路協定及應用，進而實現以網路即時控制方式實作電子齒輪之功能。本報告內容開始簡介本次研習行程，再來介紹現有工業用網路發展應用概況，進而深入介紹 DeviceNet、CANopen、Profibus 及 SERCOS 網路協定原理與應用。再來詳述未來即時工業網路發展趨勢及應用。最後說明本次研習的主題與 Dr. Kayser 博士研習如何利用 SERCOS 網路來實作電子齒輪(Electronic Gearing)及電子凸輪(Electronic Cam)之馬達多軸控制，目前已有許多伺服馬達驅動器製造商皆有將電子齒輪功能實作在韌體(Firmware)內，此次研習內容是以規劃數值控制器(NC)軟體，藉由 SERCOS 網路將訊息同步傳送至多軸馬達，以軟體控制方式實現電子齒輪之功能，使馬達多軸控制功能更有彈性及用途更廣。

目次：

1.前言.....	1
2 工業網路基本概念.....	2
2.1 分散式控制系統	2
2.2 集中式控制系統	4
2.3 串列通信介面是場域網路 (Fieldbus) 技術的原型.....	5
2.4 場域網路技術的產生.....	5
2.4.1 場域網路技術概念.....	5
2.5 網路拓模(Topology)	6
2.6 網路協定(Communication Protocol)	7
3、各種工業網路簡介.....	9
3.1 PROFIBUS 網路.....	9
3.2 LONWORKS 網路.....	9
3.3 CAN 網路.....	9
3.4 WorldFIP 場域網路.....	10
3.5 P-NET 工業網路.....	10
4、CAN 網路	11
4.1 DeviceNet 網路.....	13
4.2 CANopen 網路.....	18
5. PROFIBUS 技術要點.....	23
5.1 PROFIBUS 概貌.....	23
5.2 PRFIBUS 基本特性.....	24
5.2.1 PROFIBUS 協定結構.....	24
5.2.2 PROFIBUS 傳輸技術.....	24
5.2.3 用於 PA 的 IEC1158-2 傳輸技術.....	25
5.2.4 PROFIBUS 網路存取協定.....	26
5.3 PROFIBUS-DP.....	27

5.3.1 PROFIBUS-DP 的基本功能.....	28
5.3.1.1 PROFIBUS-DP 基本特徵.....	28
5.3.1.2 PROFIBUS-DP 系統配置和設備類型.....	29
5.4 PROFIBUS-PA	30
5.4.1 PROFIBUS—PA 傳輸協定.....	30
5.5 電子設備資料檔案 (GSD)	30
5.6 PROFIBUS-FMS	31
5.6.1 PROFIBUS-FMS 應用層.....	31
5.6.2 PROFIBUS-FMS 通信模型.....	32
5.6.3 通信物件與通信字典 (OD)	32
5.6.4 PROFIBUS-FMS 服務.....	32
5.6.5 低層介面 (LLI)	32
5.6.6 網路管理.....	33
5.7 PROFIBUS 特點綜述.....	33
6. X-by-Wire.....	33
6.1 FlexRay.....	34
6.2 Byteflight.....	36
7. Rfieldbus	38
8. TTCAN	38
9. 工業用 Ethernet	40
10. IEEE-1394(Firewire)	41
11. 工業控制網路的下一步發展.....	41
11.1 目前狀況.....	41
11.2 下一步向乙太網發展.....	41
11.3 當前自動化控制趨向於 2 層網路.....	41
12. 運動控制用網路.....	43
12.1 運動控制的數位將來.....	43
12.2 正確地選擇好的伺服控制網路.....	45

12.3 SERCOS 與傳統的類比介面比較.....	46
12.4 SERCOS Bus.....	47
12.4.1 簡介.....	47
12.4.2 系統概述.....	47
12.4.3 操作模式.....	48
12.4.4 傳輸模式.....	49
12.4.5 Telegram 結構.....	50
12.4.6 Transfer Access Medium	51
12.4.7 通訊週期.....	51
12.4.8 初始化.....	52
12.4.8.1 communication phase 0	52
12.4.8.2 communication phase 1	52
12.4.8.3 communication phase 2	53
12.4.8.4 communication phase 3	53
12.4.8.5 communication phase 4	53
12.4.8.6 communication phase 5、6	53
12.4.9 Physical Layer	54
12.4.9.1 Topology.....	54
12.4.9.2 Transmission Rate	54
12.4.9.3 傳輸介質.....	54
12.4.9.4 資料封包型態.....	54
12.4.10 Data Link Layer	54
13. QNX 與 SERCOS	60
13.1 QNX 作業系統.....	61
13.2 SERCDRV.....	63
13.3 QNX與SERCDRV.....	68
14. 應用.....	70
14.1 先進數位伺服系統.....	70

14.2 電子齒輪.....	71
14.3 電子凸輪Electronic Cam.....	72
14.4 Cartoner紙盒包裝機.....	73
14.5 Software CNC.....	74
15. 心得.....	76
16. 建議.....	76
References	78

1. 前言

非常難得的一次機會能申請到經濟部“中德技術合作計劃”，研習內容為“即時工業網路發展與應用”，並於八月初赴德國展開三個月研習之旅，研習內容以在德國 Stuttgart 城郊附近一座 Goepingen 城市一所 Fachhofschule 科技大學機電系統實驗室，與 Dr. Kayser 博士研習，研究如何以 SERCOS 網路實現電子齒輪(Electronic Gearing)之功能為主。期間學習利用 QNX 即時作業系統藉由 SERCOS 網路介面卡控制多個伺服馬達，並了解 SERCOS 網路協定及應用，進而實現以網路即時控制方式實作電子齒輪之功能。

除了在 Goepingen 科技大學研習外，本人也參加四場研討會。其中兩場在德國南部 Weigarten 城市 IXXAT 公司學習 DeviceNet 及 CANopen 網路四天，該公司主要產品為工業網路 PC 介面卡軟體硬體設計。另一場到德國東部 Magderburg 城市一家 IFAK 公司，學習有關 Profibus 網路發展與應用，並了解工廠設備間以 Profibus 網路為基礎之無線通訊發展情形。最後一場到 Stuttgart 大學學習 SERCOS 網路協定發展及應用，深入了解 SERCOS 網路內容及目前新增功能。最後一站是到達 Duesseldorf 一家馬達製造商 Kollmorgen 公司研習數位伺服驅動器控制應用，深入了解先進伺服驅動器需具備之功能，並了解其在工業自動化之應用情形。經過這次研習的洗禮，充分了解一網路已是控制的一部份，命令與回授皆須由網路即時傳送，先進工業網路所需具備之特性包含高速、即時、穩定、開放性架構、設備系統易於安裝維護及容易擴充。本人在以往工作經驗上曾使用過 DeviceNet 及 Canopen 網路於系統整合上， DeviceNet 網路較普遍使用於美日及台灣等國，而 Canopen 網路普遍使用於歐洲各國，這次在德國參加兩場研討會，讓我更深入了解此兩種 CAN 網路協定的內容，在應用上更能應用得宜，Profibus 網路也普遍使用於化學工廠或自動化生產工廠，SERCOS 網路為這次研習之主題，在該科技大學機電系統實驗室，與 Dr. Kayser 博士研習如何利用 SERCOS 網路來實作電子齒輪(Electronic Gearing)及電子凸輪(Electronic Cam)之馬達多軸控制，目前已有許多伺服馬達驅動器製造商皆有將電子齒輪功能實作在韌體(Firmware)內，此次

研習內容是以規劃數值控制器(NC)軟體，藉由 SERCOS 網路將訊息同步傳送至多軸馬達，以軟體控制方式實現電子齒輪之功能，如此可使馬達多軸控制功能更有彈性及多用途。

2. 工業網路基本概念

目前工廠設備自動化控制架構，已從集中式控制系統方式演化至分散式控制系統。傳統的工廠自動化使用集中式控制系統去監控及資訊匯集系統（包括：基於 PC、PLC、DCS 產品的分散式控制系統），其主要特點之一是，現場層設備與控制器之間的連接是一對一（一個 I/O 點對設備的一個測控點）所謂 I/O 接線方式，信號傳遞 4-20mA（傳送類比訊號）或 24VDC（傳送 I/O）信號。

2.1 分散式控制系統

分散式控制系統是現代控制技術主要特點之一，為提昇對資料處理的能力，設備間網路通訊就成為一重要角色，一面來說網路通訊需要即時且準確傳送資料，並取代傳統集中式控制複雜佈線方式，使得系統整合上更加彈性及模組化。另一方面而言，再工業應用上可降低開發十成及安裝成本。根據研究，以分散式控制系統取代傳統類比佈線方式可節省約 40% 的成本。在工業自動化領域中，網路通訊以控制對象而分主要分為三大類：一為 Information Bus，二為 I/O Bus 及 Motion Bus 如圖 1.所示。

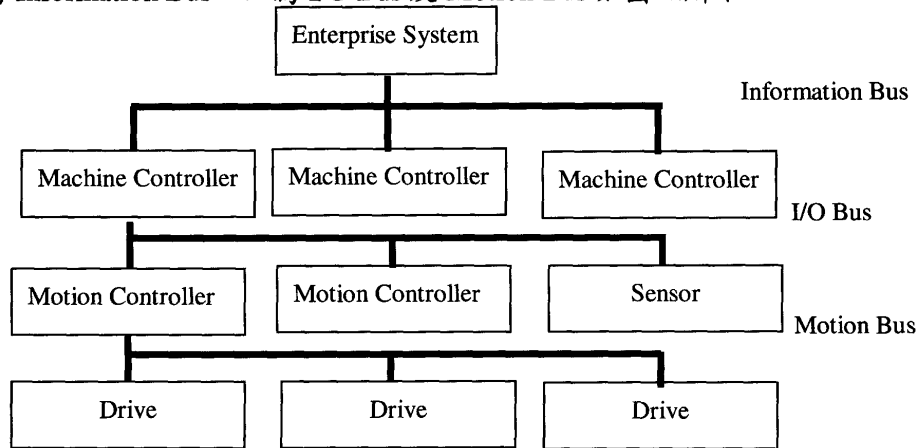


圖 1、工業網路依連接設備分層架構

各控制站間之通訊資料傳輸屬於訊息網路層(Information Bus)，藉由此網路可使各控制站間的資料彼此分享，並可上傳生產資料或監控訊息至管制站了解生產情形，一般來說在此層通訊較不具即時性，唯需具有大量資料傳送能力，如 Internet 網路或是 Ethernet-Based(Modbus/TCP、ControlNet/TCP)。PC 控制器或機器控制器與一些感測器或其他元件之間訊號通訊就藉由 I/O 網路來作傳輸，典型更新資料時間為 10~20ms 內，所以需要穩定性高，傳輸速度快之工業網路，如 DeviceNet、Profibus、Interbus-s 及 CANopen 等網路。Motion Bus 這一層則主要設計於馬達運動控制使用之高速網路，因應生產自動化設備需快速及準確的控制，傳輸週期在 0.5~5ms 內，節點同步控制與訊號傳輸穩定為基本需求考量。目前使用於運動控制網路有 SERCOS、MACRO 及 Firwire 等網路。

若以功能分級可分工廠管理層、控制器層級與現場層級，圖2. 所示。現場層級與控制器層級自動化監控及資訊匯集系統主要完成底層設備間控制，連線控制、通信，生產資料的會獲得、存儲、統計等功能，確保工廠設備完成生產任務，並將現場設備生產及資訊傳送到工廠管理層，提供上層MIS系統資料庫提供資料。同時也可接受工廠管理層下達的生產管理及調度命令並執行之。因此，現場層級與控制器層級監控及資訊匯集系統是實現工廠自動化及CIMS系統的基礎。

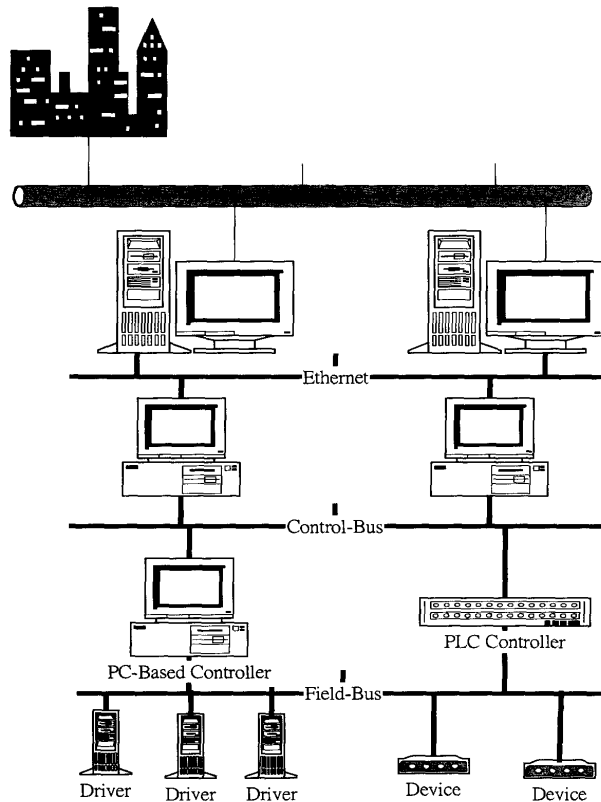


圖 2、工業網路分層架構

2.2 集中式控制系統

集中式控制系統其缺點如下：

(1) 資訊匯集能力不強：控制器與現場設備之間利用 I/O 連線連接，傳送 4-20mA 類比信號或 24VDC 等開關信號，以此監控現場設備。這樣，控制器獲取訊號量有限，大量的資料如設備參數、故障及故障紀錄等資料很難得到。底層資料不全、資訊匯集能力不強，不能完全滿足 CIMS 系統對底層資料的要求。

(2) 系統不開放、可匯集性差、專業性不強：除現場設備均靠標準 4-20mA/24VDC 連接，系統其他軟、硬體通常只能使用一家產品。不同廠家產品之間缺乏互操作性、互換性，因此可匯集性差。這種系統很少留出介

面，允許其他廠商將自己專長的控制技術，如控制演算法、工藝流程、配方等集成到通用系統中去，因此，面向行業的監控系統很少。

(3) 不可靠性：對於大範圍的分散式系統，大量的 I/O 電纜及佈線施工，不僅增加成本，也增加了系統的不可靠性。

(4) 可維護性不高：由於現場級設備資訊不全，現場級設備的線上故障診斷、報警、記錄功能不強。另一方面也很難完成現場設備的遠端參數設定、修改等參數化功能，影響了系統的可維護性。

2.3 串列通信介面是場域網路 (Fieldbus) 技術的原型

由於大型積體電路的蓬勃發展，許多感測器、執行單元、驅動裝置等現場設備智慧化，內置 CPU 控制器，完成諸如線性化、量化轉換、數位濾波甚至回路調節等功能。因此，對於這些智慧現場設備增加一個串列資料介面 (如 RS-232/485) 是非常方便的。有了這樣的介面，控制器就可以按其規定協定，通過串列通信方式 (而不是 I/O 方式) 完成對現場設備的監控。如果設想全部或大部分現場設備都具有串列通信介面並具有統一的通信協定，控制器只需一根通信電纜就可見分散的現場設備連接，完成對所有現場設備的監控，這就是場域網路技術的初始想法。

2.4 場域網路技術的產生

基於以上初始想法，使用一根通信電纜，將所有具有統一的通信協定通信介面的現場設備連接，這樣，在設備層傳遞的不再是 I/O (4-20mA/24VDC) 信號，而是基於現場匯流排的數位化通信，由數位化通信網路構成現場級與控制器級自動化監控及資訊匯集系統。

2.4.1 場域網路技術概念

場域網路技術可概括如下：

場域網路是安裝在生產過程區域的現場設備/儀錶與控制室內的自

動控制裝置/系統之間的一種串列、數位式、多點通信的資訊網路。

場域網路技術產生的意義

(1) 場域網路技術是實現工廠級設備數位化通信的一種工業現場層網路通信技術。這是一次工業現場級設備通信的數位化革命。應用現場匯流排技術可用一條電纜將現場設備（智慧化、帶有通信介面）連接，使用數位化通信代替 4-20mA/24VDC 信號，完成工廠設備控制、監測、遠端參數化等功能。

(2) 傳統的工廠級自動化監控系統採用一對一連線的、4-20mA/24VDC 信號，信息量有限，難以實現設備之間及系統與外界之間的資訊交換，嚴重影響了企業資訊匯集及企業綜合自動化的實現。

(3) 基於場域網路自動化監控系統採用電腦數位化通信技術，使自控系統與設備加入工廠資訊網路，成為企業資訊網路底層，使企業資訊溝通的覆蓋範圍一直延伸到生產現場。在CIMS系統中，場域網路是工廠電腦網路到工廠設備的延伸，是工業自動化資訊匯集的技術基礎。

2.5 網路拓樸(Topology)

網路拓樸為網路間連接方式架構，牽涉到網路設計之動機與目的，一般可分為四種方式：

a、 星型架構(Star type)：控制器以點對點連接方式與其他設備連接的通訊方式。如圖 3.

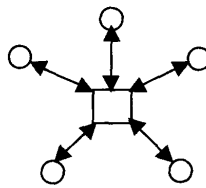


圖 3.星型拓樸

b、 樹狀架構(Tree Type)：控制器以樹狀連接方式與其他設備連接的通訊方式。如圖 4.

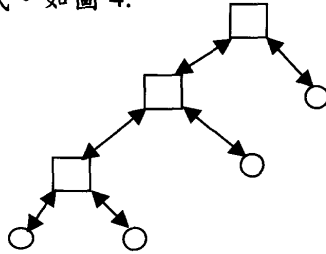


圖 4.樹狀拓樸

c、 環型架構(Ring Type)：控制器以環狀連接方式與其他設備連接的通訊方式。如圖 5.

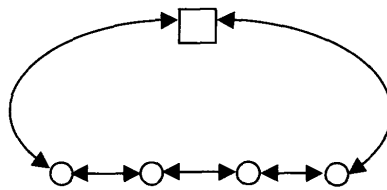


圖 5.環型拓樸

d、 線型架構：控制器以線狀連接方式與其他設備連接的通訊方式。如圖 6.

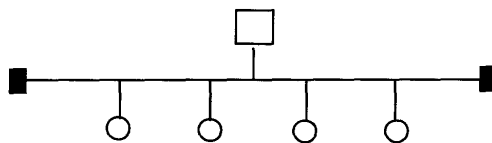


圖 6.線型拓樸

2.6 網路協定(Communication Protocol)：

設備間的資訊傳送需要訂定一種彼此能夠共同遵守通信協定，藉此協定發送者傳送訊息給接收者，接收者可正確無誤了解訊息內容。不同設備由不同廠商製造，所以通訊方式需有一共同通訊協定才能整合在一起，所以國際標準組織(International Standards Organization, ISO)於 1978 年提出一開放性網路連接架構(Open System Inter-Connection, OSI)，其目的是為將資訊通訊規劃為較易管理之架構，所有網路設計皆以此架構為基準，此架構共分七層，如圖 7 所示：

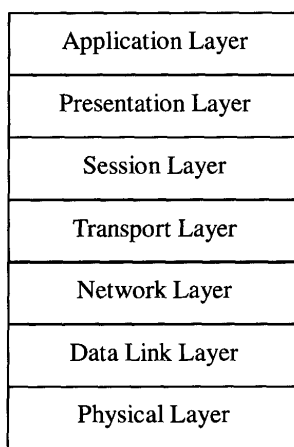


圖 7.ISO/OSI 網路系統連接模式架構

- a、 Application Layer：網路管理第七層應用層，定義網路應用程式通訊協定。
- b、 Presentation Layer：網路管理第六層表達層，定義網路
- c、 Session Layer：網路管理第五層交談層，定義網路
- d、 Transport Layer：網路管理第四層傳輸層，定義網路
- e、 Network Layer：網路管理第三層網路層，定義網路
- f、 Data Link Layer：網路管理第二層資料連接層，定義網路傳輸資料結構。
- g、 Physical Layer：網路管理第一層硬體層，定義網路傳輸線硬體規格及信號位準。

3、各種工業網路簡介

3.1 PROFIBUS 網路

PROFIBUS 於 1996 年獲得歐洲標準 DIN 50170 V.2。PROFIBUS 產品在世界市場上已被普遍接受，市場占有率歐洲首位，年增長率 25%。目前支援 PROFIBUS 標準的產品超過 1500 多種，分別來自國際上 250 多個生產廠家。在世界範圍內已安裝運行的 PROFIBUS 設備已超過 200 萬台，到 1998 年 5 月，適用於過程自動化的 PROFIBUS-PA 儀錶設備在 19 個國家的 40 個用戶廠家投入工廠自動化應用。

1985 年組建了 PROFIBUS 國際支援中心；1989 年 12 月建立了 PROFIBUS 用戶組織 (PNO)。目前在世界各地相繼組建了 20 個地區性的用戶組織，企業會員近 650 家。

PROFIBUS 主要應用領域有：

- 製造業自動化：汽車製造（機器人、裝配線、衝壓線等）、造紙、紡織。
- 程序控制自動化：石化、制藥、水泥、食品、啤酒。
- 電力：發電、輸配電。
- 智慧大樓：空調、風機、照明。
- 鐵路交通：信號系統

3.2 LONWORKS 網路

LONWORKS 網路全稱為 LONWORKS NetWorks, 即分散式智慧控制網路技術，希望推出能夠適合各種工業網路應用場合的測控網路。目前 LONWORKS 應用範圍廣泛，主要包括工業控制、大樓自動化、資料擷取、SCADA 系統等。

3.3 CAN 網路

CAN 已由 ISO/TC22 技術委員會批准為國際標準 IOS 11898（通訊速率最大 1Mbps）和 ISO 11519（通訊速率小於 125Kbps）。CANBUS 主要產品應

用於汽車製造、公共交通車輛、機器人、液壓系統、分散型 I/O。另外在電梯、醫療器械、工具機床、大樓自動化等場合均有所應用。

3.4 WorldFIP 場域網路

90~91 年 FIP 工業網路成爲法國國家安全標準。96 年成爲歐洲標準 (EN 50170 V.3)。下一步目標是靠近 IEC 標準，現在技術上已做好充分準備。

WorldFIP 工業網路在程序控制採用 31.25Kbit/s, 製造業爲 1M bit/s, 驅動控制爲 1-2.5Mbit/s。採用網路仲裁器和優先順序來管理匯流排上 (包括各支線) 的各控制站的通信。可進行 1 對 1、1 對多點 (組)、1 對全體等多重通信方式。在應用系統中，可採用雙網路結構，其中一條網路爲備用線，增加了系統運行的安全性。

WorldFIP 工業網路適用範圍廣泛，在過程自動化、製造業自動化、電力及大樓自動化方面都有很好的應用。

3.5 P-NET 工業網路

P-NET 工業網路始於 1983 年。1984 年推出採用多重主站工業網路的第一批產品。1986 年通信協定中加入了多重網路結構和多重介面功能。1987 年推出 P-NET 的多重介面產品。1996 年成爲歐洲匯流排標準的一部分 (EN 50170 V.1)。1997 年組建國際 P-NET 用戶組織，現有企業會員近百家，總部設在丹麥的 Siekeborg，並在德國、英國、葡萄牙和加拿大等地設有地區性組織分部。

P-NET 現場匯流排在歐洲及北美地區得到廣泛應用，其中包括石油化工、能源、交通、輕工、建材、環保工程和製造業等應用領域。

如何選擇

這麼多種工業網路技術百家爭鳴，使用者如何選擇合適的網路呢？

(1) 技術指標：一些敏感的技术指標，如傳輸介質 (電纜、光纖、

無線)、資料傳輸速率、即時性、網路控制方式及功能(主從、多主、集權、廣播、同步)。

(2) 應用行業：工業網路技術在其特定行業中具有明顯優勢；如 LONWORKS 在大樓自動化、CAN 在車輛及船舶系統、PROFIBUS 在製造業、Foundation Fieldbus 在化工流程行業等。

4. CAN 網路[1]：

1986 年四月，德國 Bosch 公司在 SAE (Society of Automotive Engineers) 會議上正式發表 CAN 網路系統，現在每一部新生產的客用汽車至少都配備一套 CAN 網路系統，起初應用於汽車內即時控制，它也被廣泛應用在火車、船及工業控制系統上，1999 年，一年內接近 6 億個 CAN 控制器使用在各種應用上，在 2000 年內 10 億的 CAN 晶片被賣出，可見其受歡迎之處。

CAN Timeline：

- 1983: Start of the Bosch internal project to develop an in-vehicle network
- 1986: Official introduction of CAN protocol
- 1987: First CAN controller chips from Intel and Philips Semiconductors
- 1991: Bosch's CAN specification 2.0 published
- 1991: CAN Kingdom CAN-based higher-layer protocol introduced by Kvaser
- 1992: CAN in Automation (CiA) international users and manufacturers group established
- 1992: CAN Application Layer (CAL) protocol published by CiA
- 1992: First cars from Mercedes-Benz used CAN network
- 1993: ISO 11898 standard published
- 1994: 1st international CAN Conference (iCC) organised by CiA

- 1994: DeviceNet protocol introduction by Allen-Bradley
- 1995: ISO 11898 amendment (extended frame format) published
- 1995: CANopen protocol published by CiA
- 2000: Development of the time-triggered communication protocol for CAN (TTCAN)

CAN 通過國際標準 ISO11898、ISO11519 其具有下列特點：

- 訊息有優先權觀念。
- 訊息優先權仲裁為非破壞性(non-destructive)。
- 網路架構為 multi-master，也就是每個節點皆可主動傳送接收訊息。
- 訊息有重送機制。
- 具有錯誤檢查及故障節點排除功能。

CAN 網路的傳輸速率為 1Mbps，它定義了 Physical layer 及 Data link layer 這兩層架構，而 Application Layer 則是有許多協定在推行，如 1990 年初 Allen-Bradley 及 Honeywell Microswitch 個發展出 DeviceNet 及 Smart Distributed System (SDS) 應用層協定，兩者非常相像。‘DeviceNet’ 目前由 ‘Open DeviceNet Vendor Association’ (ODVA) 組織在推廣，SDS 則較不普及。DeviceNet 普遍應用在工廠自動化中設備間網路通訊，功能像是 Profibus-DP 及 Interbus，在美國及亞洲市場佔有獨特的一席之地。1995 年在歐洲則出現 CAL 應用層協定 CANopen，由 CiA 協會所推廣及未來發展，各種設備製造商皆以此開放式協定加入其產品，在歐洲已是相當普及使用的工業網路。

雖然 CAN 協定已有 15 年歷史，但是仍一直在求變更新，2000 年初出現所謂 time-triggered transmission of CAN messages，統稱 ‘Time-triggered communication on CAN’ (TTCAN) 協定，並將其國際標準化為 ISO 11898-4，TTCAN 延伸 CAN 原有協定，應用在具有即時控制需求上，使得 CAN 原有事件觸發 event-triggered 功能加入時間觸發 time-triggered 功能，其他架構不變，使其應用於 x-by-wire，x 可為 drive 或 break 等。

4.3 DeviceNet 網路[2]：

DeviceNet 是架構在 CAN 協定上之應用層網路協定，它定義了網路上傳送資料的格式和意義，由 Allen-Bradley 公司所提出，提供工廠設備間簡單、廉價的網路連線。DeviceNet 最初設計的目的，是為了提供工廠內低層設備（如：感測器、致動器）和高層設備（如：控制器）之間的連線。

DeviceNet 的網路拓撲（Topology）是採用「線性匯流排」的方式，且分有主線、支線架構（Trunk-line and Drop-line）。網路會有一條主要連接線，使用者可以透過一個 T 型轉接頭經由幹線再串出一條支線，依此不斷地擴充。網路上可同時支援到 64 個節點，每個節點都可以在正常供電連線的情形下插入或移除。節點與節點間的連結，是用訊號線和電源線分別包覆在兩組雙絞線（Twisted）內的屏蔽電纜（Shield Cable）來連接。DeviceNet 所可選擇的傳輸速度為 125K、250K 或 500K Baud，其傳輸距離分別和速度、主支線有相互影響，如表 1 所示。

傳輸速率	主線長度	支線長度	
		最大值	累加值
125K Baud	500 meters (1640 ft.)	6 meters (20 ft.)	156 meters (512 ft.)
250K Baud	250 meters (820 ft.)		78 meters (256 ft.)
500K Baud	100 meters (328 ft.)		39 meters (128 ft.)

表、1 傳輸速度和距離、幹線的關係

DeviceNet 即使是架構在 CAN 上，理所當然就繼承了 CAN 的所有優良特性。除此之外，DeviceNet 提供使用者一個網路上統一的溝通方式，其優點則分敘如下：

- 可交換性（Interchangeability）

DeviceNet 提供了一種開放性、可遵循的溝通法則。任何符合 DeviceNet 通訊標準的產品皆可相互溝通、交換訊息。因為 DeviceNet

定義了每個特定節點在網路上所應該扮演的角色，對網路的存取流程也定義的相當清楚。所以 DeviceNet 相對地提供了不同廠商間相同產品的「可交換性」優點。

- 價格低廉

DeviceNet 通訊網是架構在廣播導向的網路（如：CAN）上。原本就以低價為訴求的 CAN 晶片在市場上已經佔有了一席之地，所以，運用相同資料連結層及物理層的 DeviceNet 協定就更加容易地被普遍運用。

- 優良的高階特徵

DeviceNet 的標準資料長度為 8 bytes，對資料量不大的低層的設備而言已經相當足夠。DeviceNet 提供節點多樣化的資料傳輸觸發方式，例如：Strobe、Polled、週期性啟動（Cyclic）、狀態變啟動（Change-of-State）等。另外，使用者也可以選擇各個設備在網路上的角色：主從架構（Master/Slave），多主人（Multi-Master），同儕傳輸（Peer-to-Peer）或其組合。不同設定的組合對網路的頻寬、效率仍有不同的影響。

DeviceNet 是以連線導向為基礎，網路上的節點透過彼此間的連線相互傳遞資料、分享資源。每個連線發生時，DeviceNet 會給予該次連線一個特定的編號，稱為「連線編號」（Connection ID；CID）。這個「連線編號」就是 CAN 的「識別碼」，將來網路上的優先順序就是用此 ID 來判定。所以，不同「連線編號」的連線會有不同的優先順序。

DeviceNet 除了使用到 CAN 的「識別碼」之外，對 CAN 的「資料區」也有予以利用。DeviceNet 的資料性質共可分為兩種：

- I/O 連線（I/O Connection）

I/O 連線的用意主要是用來傳遞 I/O 資料，DeviceNet 協定並沒有在 CAN 的「資料區」內外加任何格式進去，以期充分利用到 8 bytes

的資料空間。也正因為「資料區」沒有任何的格式，所以透過 I/O 連線傳遞資料的節點們必須根據「連線編號」來辨識資料的種類，才能正確地使用該筆資料。I/O 連線提供節點一種特定目的的連線，支援「一對一連線」和「一對多連線」，通常傳遞的都是節點的輸出、輸入資料，如圖 7.所示。

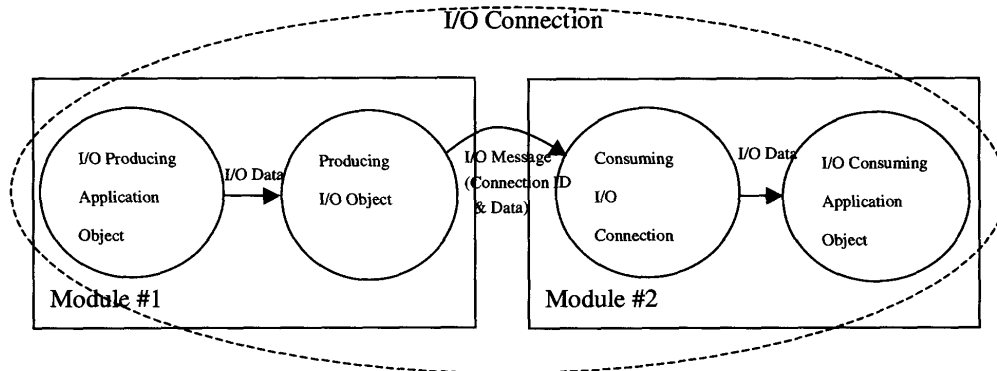


圖 7. I/O 連線圖

● Explicit 連線 (Explicit Connection)

Explicit 連線主要是提供節點間，一種多用途、一般性的連線管道。為了達到多用途的目的，DeviceNet 在「資料區」外加了特定的格式進去，以完成特定的用途。這種連線方式所能傳遞的資料量就小於 8 bytes，而連線方式較類似「詢問、回應模式」(Request/Response) 為導向的網路溝通，如圖 8.所示。

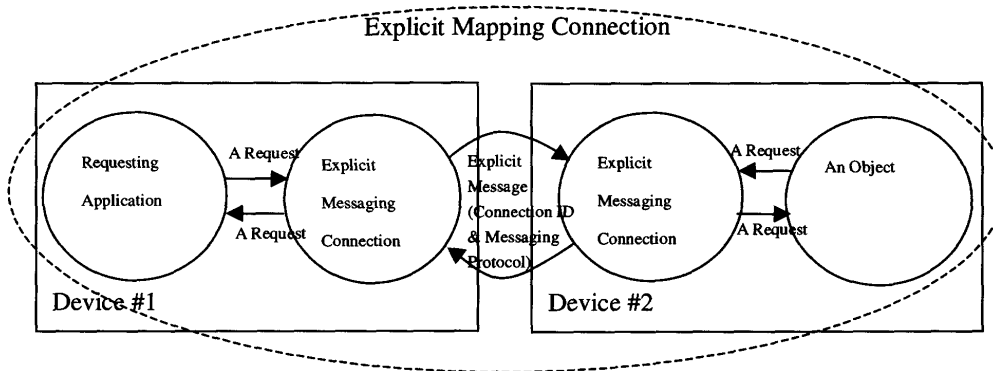


圖 8. Explicit 連線圖

DeviceNet 除規定屬於比較高階層次的訊息格式之外，對於 CAN 所沒有定義到的「實際硬體部分」卻有相當程度的規範，稱之為「DeviceNet 物理層」。此部分的相關規定大致可分為兩部分：第一部分屬於模組外部規定，例如：指示燈、設定開關和標示；第二部分比較偏向電氣規格。

- 指示燈

裝設「DeviceNet 指示燈」的目的，是提供使用者一個快速、明確的視覺指標。使用者可以藉由燈號的顏色及閃爍情形，瞭解到模組目前的動作狀態。一般而言，對於「DeviceNet 指示燈」的基本要求，至少要符合下列兩點：第一、指示燈必須不用掀開蓋子或打開任何遮蔽物，就可以輕易看得見；第二、指示燈必須能在一般光線之下清楚得看得見，並能輕易的分辨其顏色。雖然在 DeviceNet 協定中，並沒有強制規定所有的模組都必須配有指示燈，但是如果每個設備有需要配置指示燈的話，一定要遵循 DeviceNet 對指示燈的相關規定。此外，每個廠商為了提供使用者一個方便的參考依據，適當的配置指示燈將會有相當的幫助。

DeviceNet 協定中所建議的指示燈每個都是雙色的 LED，燈號可以從熄滅變換成紅色或綠色。而且，規定燈號的閃爍頻率，一律為一秒鐘閃滅一次。這些指示燈就功能上來分類，常用的主要可分為兩種：

1. 模組狀態指示燈 (Module Status LED)

顯示目前設備是否在「供電狀態」、「待命中」或是「正常動作」，每種燈號代表的詳細意義，如表 2 所示。

燈號狀態	意義
熄滅	模組還沒有供電
閃綠燈	模組在待命 (Standby) 模式
亮綠燈	模組在正常 (normal) 狀態下運作
閃紅燈	可修復錯誤
亮紅燈	不可修復錯誤：需要更換此模組
閃紅、綠	模組在進行「燈號測試程序」

表 2 模組狀態指示燈

2. 網路狀態指示燈 (Network Status LED)

顯示設備目前的網路狀態：「待命」(On-line) 或「連線」(Connected)，至於每種燈號代表的詳細意義，如表 3 所示。

燈號狀態	意義
熄滅	模組還沒有供電或尚未通過「重複 MAC ID 測試」
閃綠燈	模組已通過 ID 測試，但還沒被主人配置
亮綠燈	模組在正常狀態且被主人配置了
閃紅燈	連線 Time Out；任一 I/O 連線在 Time Out 狀態
亮紅燈	連線失敗：沒通過 ID 測試或進入 Bus Off 狀態
閃紅、綠燈	離線通訊狀態

表 3 網路狀態指示燈

DeviceNet 的兩種設定開關所允許的設定值如下：

- (1) MAC ID：可用 DIP、Thumbwheel 來調整，數值從 0 到 63。
- (2) Baud Rate：通常用 DIP 調整：0→125K、1→250K、2→500K。

• 標示

如果所有 DeviceNet 廠商們有個統一的標示在產品上，這樣就更容易將不同廠商的 DeviceNet 產品加以整合，所以適當的標示是絕對必要的。有關 DeviceNet 標示的規定可分為兩類：「燈號、開關標示」和「接頭標示」。「燈號、開關標示」主要是標示出模組上每個 LED 和設定開關所代表的意義，如表 4 所示

描述	全名	標示名
Module Status LED	Module Status	MS
Network Status LED	Network Status	NS
Combined Module/Network Status LED	Module/Network Status or Mod/Net Status	MNS
I/O Status LED	I/O Status or I/O	IO
MAC ID Switches	Node Address	NA

Baud Rate Switches	Data Rate	DR
--------------------	-----------	----

表 4 DeviceNet 建議的「燈號、開關標示」

4.4 CANopen 網路[3][4]：

CANopen 則是以 CAN Bus 為基礎之工業用區域通訊網路協定 (Protocol)，其在 ISO/OSI 網路層定義中屬第 7 層 (Application Layer)，主要由 CiA (www.can-cia.de) 這個組織所推廣，在歐洲廣泛地使用，依其協定以設備的種類為導向如 I/O 模組、編碼器 (Encoder)、馬達驅動器 (Driver) 等皆有其標準協定，依此標準各廠商可生產符合 CANopen 協定的產品，其最大傳輸速率可到 1Mbps，最多可接 127 個 Slave Devices。

CANopen (CAN in Automation, CiA) 屬於 CAN 應用層協定 (CAL) 如圖 9。目標是訂定以 CAN 為基礎之標準的設備間通訊協定，各廠家生產的設備依循此標準化之協定，則有利於工廠設備的整合。

Application	Application			
'Layer8'Device Profile(DS-4xx)	Profile A	Profile B	Profile C	
ISO/OSI Layer7 Communication Profile(DS-301)	CMS	NMT	DBT	LMT
ISO/OSI Layer 3~6				
ISO/OSI Layer 1,2 Hardware	BasicCAN, FullCAN			

圖 9. The Structure of CANopen Profiles

CANopen 的通訊格式依循 CAN 的格式如下：

SOM	COB-ID	RTR	CTRL	Data Segment	CRC	ACK	EOM
SOM	Start of Message			Data Segment	0...8Byte Data-COB		
COB-ID	COB-Identifier			CRC	Cyclic Redundancy Check		
RTR	Remote Trx Request			ACK	Acknowledge Slot		
CTRL	Data Length			EOM	End of Message		

其中 COB-ID(11bits)是由 Message ID(Bit 7~10) 與 Node Id(Bit 0~6)所組成,決定訊息的優先權, Message ID 則是由 CANopen 的 Communication Profiles 所定義。

CANopen 是以訊息導向(Message-Oriented)方式設計一系列的 Profiles,其中包含 Communication Profile (CiA DS-301)與各種 Device Profiles (CiA DS-4xx); DeviceNet 與 SDS 是以連接導向(Connection-oriented)方式,定義各種設備之即時資料與設定設備之資料。

CANopen 的基本概念是每一個設備皆有其物件字典(object dictionary),物件字典定義產品所有通訊物件,這些物件包含產品資料、狀態及即時(real-time)資料等表 5.所示,並透過兩種通訊機制物件傳送,一是 SDO (Service Data Object),主要用於大量資料,超過 8 bytes,低優先權之資料,傳輸時以非同步化(asynchronous)方式,通常用於設備的狀態設定;二是 PDO (Process Data Object),主要用於即時(real-time)資料傳送,高優先權,傳輸時以同步化(synchronous)或非同步化(asynchronous)方式。

Index(hex)	Object
0000	Not used
0001~001F	Static Data Types(for reference only)
0020~003F	Complex Data Types(common to all devices)
0040~005F	Manufacturer Specific Data Type(device specific)
0060~1FFF	Reserved
2000~5FFF	Manufacturer Specific Profile Area
6000~9FFF	Standard Profile Area
A000~FFFF	Reserved

表 5. CANopen Object Dictionary Structure

Communication Profile DS-301 定義以 CANopen 協定基本交換資料的機制，包括物件庫的架構、通訊物件 SDO、PDO、SYNC、EMCY 的內容。DS-302 為 DS-301 Profile 的擴充，使通訊機制更完備[3]。DS-4xx 系列則是對一些常用的設備定義其標準的通訊物件如表 6。

DS-301	CANopen Communication Profile
DS-401	I/O Modules Profile
DS-402	Impulses Profile
DS-403	Human Machine Interface Profile
DS-404	Measuring Tools Profile
DS-405	IEC 1131 Programmable Devices Profile
DS-406	Encoder Profile

表 6.CANopen Device Profile

其內容定義設備類型、Node-ID、軟硬體型號、錯誤暫存器資料、SDO 物件、PDO 物件及一些緊急錯誤物件等。

CANopen 協定定義四種通訊訊息物件

一、 網路管理訊息(Administrative message)：

包含層管理訊息(Layer Management)、網路管理訊息(Network Management)及鑑別碼(Identifier)的分配訊息。此訊息具下列功能：

- 動態或靜態分配 SDO/PDO 和 Error 等訊息的鑑別碼。
- 控制節點的操作狀態，初始化、啟動、監控、重新啟動及停止等狀態的切換。
- 週期性詢問網路上節點狀態。

二、 服務性訊息(Service data message) SDO：

為設備之非同步訊息，如設備設定值，是最基本要有的訊息。

三、 程序性訊息(Process data message) PDO：

為設備之同步訊息或非同步訊息，如設備處理後的即時資料，是最基本要有的訊息。

四、 預先定義的訊息(Pre-defined message)：

如同步訊息(synchronization)、時間標籤(time stamp)及緊急訊息(emergency message)。

表 7. 為 CANopen 各類訊息之 COB-ID

Object	Resulting COB-IDs	Communication parameters at index
NMT	0	---
SYNC	128(80h)	1005h
Time Stamp	256(100h)	---
Emergency	129~255(81h~)	1800h
PDOtx 1	385~511(181h~)	1400h
PDOrx 1	513~639(201h~)	1801h
PDOtx 2	641~767(281h~)	1401h
PDOrx 2	769~895(301h~)	
SDOtx	1409~1535(581h~)	
SDOrx	1537~1663(601h~)	100eh

表 7. CANopen 各類訊息之 COB-ID

以下實例說明 CANopen 在馬達伺服放大器及 Digital I/O 模組及編碼器 (Encoder)及傾斜儀(Inclinometer)應用。PC-Based 控制器透過 CANopen 協定之 CAN 訊息分別對各模組傳送接收模組資料達到即時控制。所以使用者可依製造商所定義的 CANopen 訊息(SDO, PDO, NMT... ect)來規劃控制的流程，例如：

1. Master PC → Servo Amplifier (Node Id=1)送 SDO (COB-ID=600h，

Index=6040h，Subindex=0)訊息使 Servo Amplifier Enable Operation

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
601h	23h	40h	60h	0h	0F 00 00 00	Control Word 0Fh

Slave (Servo Amplifier) → Master PC

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
581h	60h	40h	60h	0h	00 00 00 00	

2. Master PC → Servo Amplifier 送 SDO (COB-ID=600h，Index=6060h)

訊息使 Servo Amplifier Switch-on Position Mode

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
601h	23h	60h	60h	0h	FF 00 00 00	Pos. Control Word

Slave (Servo Amplifier) → Master PC

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
581h	60h	60h	60h	0h	00 00 00 00	Pos.Control is switched on

另外若要傳送一些 real-time 資料，Servo Amplifier 提供可規劃之數個 Transmit-PDOs 和 Receive-PDOs，前面提到 PDO 物件可為同步或非同步，同步的 PDO 物件則由所謂 Sync Object 來控制；例如欲設 PDO number 33(此 number 為製造商定義，代表 Amplifier 內 Position Value)為 1st Tx-PDO

3. Master PC → Servo Amplifier 送 SDO (COB-ID=600h，Index=2A00h)

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
601h	23h	00h	2Ah	0h	21 00 00 00	PDO No.21h=33d

Slave (Servo Amplifier) → Master PC

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
581h	60h	00h	2Ah	0h	00 00 00 00	

設定出現要多少次 SYNC Object 則送一次 1st Tx-PDO

4. Master PC → Servo Amplifier 送 SDO (Index=1800h,Subindex=02h)

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
601h	23h	00h	18h	02h	03 00 00 00	每送 3 次 SYNC Object 則送一次 1st Tx-PDO

Slave (Servo Amplifier) → Master PC

COB-ID (SDO+Node ID)	Control- Byte	Index (Low-Byte/High-Byte)		Subindex	Data	Comment
581h	60h	00h	18h	02h	00 00 00 00	

5. Master PC → Servo Amplifier 送 NMT，開始上述之設定

COB-ID (NMT)	Control- Byte	Node ID	Comment
000h	01h	01h	Start PDOs

6. Master PC → Servo Amplifier 送 SYNC Object 3 次

COB-ID	Control- Byte
080h	00h

則 Slave (Servo Amplifier) → Master PC 回傳 Position Value

COB-ID 180h+Node ID	Data (Low-Byte/High-Byte)	Comment
181h	xx xx xx xx	Position Value

另外其他模組如傾斜儀與編碼器用法也是類似，例如製造商已定義了一個 1st PDO，在固定時間送 SYNC Object 則傾斜儀回傳傾斜資料。

7. Master PC → Encoder and Inclinometer 送 NMT.

COB-ID (NMT)	Control-Byte	Node ID	Comment
000h	01h	00h	Start PDOs 00h 表對所有設備 Broadcast

則 Slave (Encoder and Inclinometer) → Master PC 回傳 Data

COB-ID 180h+Node ID	Data (Low-Byte/High-Byte)	Comment
182h	xx xx xx xx Position Value	Encoder Node Id=2
COB-ID 180h+Node ID	Data (Low-Byte/High-Byte)	Comment
183h	xx xx xx xx Position Value	Inclinometer Node ID= 3

CANopen 協定應用相當廣泛，在歐洲佔有極重要之市場，是 CAN 網路中最為成功的協定之一。

5. PROFIBUS 技術要點

從 PROFIBUS 協定標準角度，概要說明了 PROFIBUS 技術要點。

5.1 PROFIBUS 概貌

(1) PROFIBUS 是一種國際化、開放式、不依賴于設備生產商的工業網路標準。廣泛適用於製造業自動化、程序工業自動化和大樓、交通、電力等其他領域自動化。

(2) PROFIBUS 由三個相容部分組成，即 PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery)、PROFIBUS-PA(Process Automation)、PROFIBUS-FMS(Fieldbus Message Specification)。

(3) PROFIBUS-DP：是一種高速低成本通信，用於設備間控制系統與分散式 I/O 的通訊。使用 PROFIBUS-DP 可取代 24VDC 或 4-20mA 信號傳輸。

(4) PROFIBUS-PA：專為程序控制自動化設計，可使感測器和致動器聯在一條網路上。

(5) PROFIBUS-FMS：用於控制器間監控網路，是一個 Master/Slave 結構、即時多主網路。

(6) PROFIBUS 是一種用於工廠自動化控制器間監控和工廠設備層資料

通訊與控制的網路技術。

5.2 PROFIBUS 基本特性

5.2.1 PROFIBUS 協定結構

PROFIBUS 協定結構是根據 ISO7498 國際准，以開放式系統互聯網路 (Open System Interconnection—SIO) 作為參考模型的。

(1) PROFIBUS-DP：定義了第一、二層和使用者介面。第三到七層未加描述。使用者介面定義了使用者及系統以及不同設備可應用功能，並詳細說明了各種不同 PROFIBUS-DP 設備的設備用途。

(2) PROFIBUS-FMS：定義了第一、二、七層，應用層包括網路資訊規範 (Fieldbus Message Specification—FMS) 和低層介面 (Lower Layer Interface—LLI)。FMS 包括了應用協定提供使用者廣泛選用的強有力的通信服務。LLI 協調不同的通信關係並提供不依賴設備的第二層訪問介面。

(3) PROFIBUS-PA：PA 的資料傳輸採用擴展的 PROFIBUS-DP 協定。另外，PA 還描述了現場設備行為的 PA 行規。根據 IEC1158-2 標準，PA 的傳輸技術可確保其本征安全性，而且可通過匯流排給現場設備供電。使用連接器可在 DP 上擴展 PA 網路。

5.2.2 PROFIBUS 傳輸技術

PROFIBUS 提供了三種資料傳輸類型：

- 用於 DP 和 FMS 的 RS485 傳輸。
- 用於 PA 的 IEC1158-2 傳輸。
- 光纖

5.2.2.1 用於 DP/FMS 的 RS485 傳輸技術

由於 DP 與 FMS 系統使用了同樣的傳輸技術和統一的網路訪問協定，因而，這兩套系統可在同一根電纜上同時操作。

RS-485 傳輸是 PROFIBUS 最常用的一種傳輸技術。這種技術通常稱之為 H2。採用的電纜是遮罩雙絞銅線。

RS-485 傳輸技術基本特徵：

- 網路拓撲：線性匯流排，兩端有有源的網路終端電阻。
- 傳輸速率：9.6K bit/s~12M bit/s
- 介質：遮罩雙絞電纜，也可取消遮罩，取決於環境條件(EMC)。
- 站點數：每分段 32 個站（不帶中繼），可多到 127 個站（帶中繼）。
- 插頭連接：最好使用 9 針 D 型插頭。

5.2.3 用於 PA 的 IEC1158-2 傳輸技術

(1) 資料 IEC1158-2 的傳輸技術用於 PROFIBUS-PA，能滿足化工和石油化工業的要求。它可保持其安全性，並透過網路對現場設備供電。

(2) IEC1158-2 是一種位元同步協定，可進行無電流的連續傳輸，通常稱為 H1。

(3) IEC1158-2 技術用於 PROFIBUS-PA，其傳輸以下列原理為依據：

- 每段只有一個電源作為供電裝置。
- 當站收發資訊時，不向網路供電。
- 每站現場設備所消耗的為常量穩態基本電流。
- 現場設備其作用如同無源的電流吸收裝置。
- 主匯流排兩端起無源終端線作用。
- 允許使用線性、樹型和星型網路。
- 為提高可靠性，設計時可採用冗餘的網路架構。

(4) IEC1158-2 傳輸技術特性：

- 資料傳輸：數位式、位元同步、曼徹斯特編碼。
- 傳輸速率：31.25K bit/s，電壓式。
- 資料可靠性：前同步信號，採用起始和終止限定符避免

誤差。

- 電纜：雙絞線，遮罩式或非遮罩式。
- 遠端電源供電：可選附件，通過資料線。
- 防爆型：能進行本征及非本征安全操作。
- 拓撲：線型或樹型，或兩者相結合。
- 站數：每段最多 32 個，總數最多為 126 個。
- 中繼器：最多可擴展至 4 台。

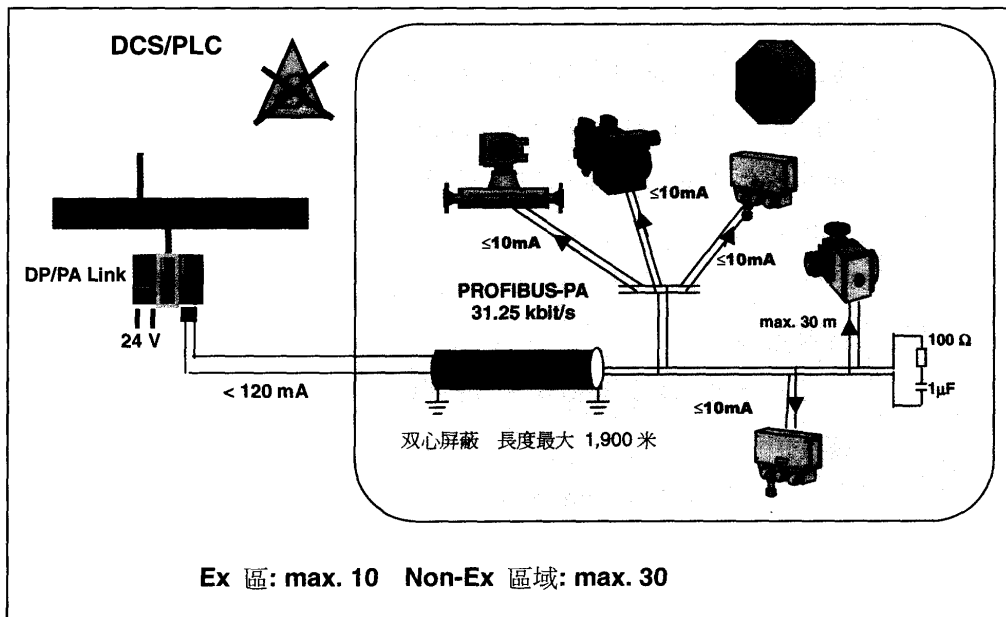


圖 10. Profibus 連線圖

5.2.4 PROFIBUS 網路存取協定

(1) 三種 PROFIBUS (DP、FMS、PA) 均使用一致的網路存取協定。該協定是通過 OSI 參考模型第二層 (資料連結層) 來實現的。它包括了保證資料可靠性技術及傳輸協定和報文處理。

(2) 在 PROFIBUS 中，第二層稱之為場域網路資料連結層 (Fieldbus Data Link—FDL)。介質存取控制 (Medium Access Control—MAC)

具體控制資料傳輸的程式，MAC 必須確保在任何一個時刻只有一個站點發送資料。

(3) PROFIBUS 協定的設計要滿足介質存取控制的兩個基本要求：

- 在複雜的自動化系統（主站）間的通信，必須保證在確切限定的時間間隔中，任何一個站點要有足夠的時間來完成通信任務。
- 在複雜的程式控制器和簡單的 I/O 設備（從站）間通信，應盡可能快速又簡單地完成資料的即時傳輸。

因此，PROFIBUS 網路存取協定，主站之間採用權杖傳送方式，主站與從站之間採用主從方式。

(4) 權杖傳遞程式保證每個主站在一個確切規定的時間內得到網路存取權（權杖）。在 PROFIBUS 中，權杖傳遞僅在各主站之間進行。

(5) 主站得到網路存取權杖時可與從站通信。每個主站均可向從站發送或讀取資訊。因此，可能有以下三種系統配置：

- 純主—從系統
- 純主—主系統
- 混合系統

(6) 在網路系統初建時，主站介質存取控制 MAC 的任務是制定網路上的站點分配並建立邏輯環。在網路運行期間，斷電或損壞的主站必須從環中排除，新上電的主站必須加入邏輯環。

(7) 第二層的另一重要工作任務是保證資料的可靠性。PROFIBUS 第二層的資料結構格式可保證資料的高度完整性。

(8) PROFIBUS 第二層按照非連接的模式操作，除提供點對點邏輯資料傳輸外，還提供多點通信，其中包括廣播及有選擇廣播功能。

5.3 PROFIBUS-DP

PROFIBUS-DP 用於現場層的高速資料傳送。主站周期地讀取從站的輸入資訊並周期地向從站發送輸出資訊。匯流排迴圈時間必須要比主站

(PLC) 程式迴圈時間短。除周期性用戶資料傳輸外，PROFIBUS-DP 還提供智慧化現場設備所需的非周期性通信以進行組態、診斷和報警處理。

5.3.1 PROFIBUS-DP 的基本功能

(1) 傳輸技術：RS-485 雙絞線、雙線電纜或光纜。串列傳輸速率從 9.6Kbit/s 到 12Mbit/s。

(2) 網路存取：各主站間權杖傳遞，主站與從站間為主—從傳送。支援單主或多主系統。匯流排上最多站點（主—從設備）數為 126。

(3) 通信：點對點（用戶資料傳送）或廣播（控制指令）。迴圈主—從用戶資料傳送和非迴圈主—主資料傳送。

(4) 執行模式：執行、清除、停止。

(5) 同步：控制指令允許輸入和輸出同步。同步模式：輸出同步；鎖定模式：輸入同步。

(6) 功能：DP 主站和 DP 從站間的迴圈用戶資料傳送。各 DP 從站的動態啟動和可啟動。DP 從站組態的檢查。強大的診斷功能，三級診斷資訊。輸入或輸出的同步。通過匯流排給 DP 從站賦予位址。通過匯流排對 DP 主站（DPM1）進行配置。每 DP 從站的輸入和輸出資料最大為 246 位元組。

(7) 可靠性和保護機制：所有資訊的傳輸按海明距離 HD=4 進行。DP 從站帶看門狗計時器（Watchdog Timer）。對 DP 從站的輸入/輸出進行存取保護。DP 主站上帶可變計時器的用戶資料傳送監視。

(8) 設備類型：第二類 DP 主站（DPM2）是可進行編程、組態、診斷的設備。第一類 DP 主站（DPM1）是中央可編程式控制器，如 PLC、PC 等。DP 從站是帶二進位值或類比量輸入輸出的驅動器、閥門等。

5.3.1.1 PROFIBUS-DP 基本特徵

(1) 速率：在一個有著 32 個站點的分佈系統中，PROFIBUS-DP 對所有站點傳送 512 bit/s 輸入和 512 bit/s 輸出，在 12M bit/s 時只需 1 毫秒。

(2) 診斷功能：經過擴展的 PROFIBUS-DP 診斷能對故障進行快速定位。診斷資訊在匯流排上傳輸並由主站採集。診斷資訊分三級：

- 本站診斷操作：本站設備的一般操作狀態，如溫度過高、壓力過低。
- 模組診斷操作：一個站點的某具體 I/O 模組故障。
- 通道診斷操作：一個單獨輸入/輸出位元的故障。

5.3.1.2 PROFIBUS-DP 系統配置和設備類型

PROFIBUS-DP 允許構成單主站或多主站系統。在同一匯流排上最多可連接 126 個站點。系統配置的描述包括：站數、站地址、輸入/輸出地址、輸入/輸出資料格式、診斷資訊格式及所使用的匯流排參數。每個 PROFIBUS-DP 系統可包括以下三種不同類型設備：

(1) 一級 DP 主站 (DPM1)：一級 DP 主站是中央控制器，它在預定的資訊周期內與分散的站 (如 DP 從站) 交換資訊。典型的 DPM1 如 PLC 或 PC。

(2) 二級 DP 主站 (DPM2)：二級 DP 主站是編程器、組態設備或操作面板，在 DP 系統組態操作時使用，完成系統操作和監視目的。

(3) DP 從站：DP 從站是進行輸入和輸出資訊採集和發送的週邊設備 (I/O 設備、驅動器、HMI、閥門等)。

(4) 單主站系統：在匯流排系統的運行階段，只有一個活動主站。

5.4 PROFIBUS-PA

PROFIBUS-PA 適用於 PROFIBUS 的過程自動化。PA 將自動化系統和程序控制系統與壓力、溫度和液位元變送器等現場設備連接起來，PA 可用來

替代 4—20mA 的類比技術。PROFIBUS—PA 具有如下特性：

- (1) 適合過程自動化應用的行規使不同廠家生產的現場設備具有互換性。
- (2) 增加和去除匯流排站點，即使在本征安全地區也不會影響到其他站。
- (3) 在過程自動化的 PROFIBUS—PA 段與製造業自動化的 PROFIBUS—DP 總線段之間通過藕合器連接，並使可實現兩段間的透明通信。
- (4) 使用與 IEC1158—2 技術相同的雙絞線完成遠端供電和資料傳送。
- (5) 在潛在的爆炸危險區可使用防爆型“本征安全”或“非本征安全”。

5.4.1 PROFIBUS—PA 傳輸協定

PROFIBUS—PA 採用 PROFIBUS—DP 的基本功能來傳送測量值和狀態。並用擴展的 PROFIBUS—DP 功能來制訂現場設備的參數和進行設備操作。PROFIBUS—PA 第一層採用 IEC1158—2 技術，第二層和第一層之間的介面在 DIN19245 系列標準的第四部分作出了規定。

5.5 電子設備資料檔案 (GSD)

爲了將不同廠家生產的 PROFIBUS 產品集成在一起，生產廠家必須以 GSD 文件（電子設備資料庫文件）方式提供這些產品的功能參數（如 I/O 點數、診斷資訊、串列傳輸速率、時間監視等）。標準的 GSD 資料將通信擴大到操作員控制級。使用根據 GSD 文件所作的組態工具可將不同廠商生產的設備集成在同一網路系統中。

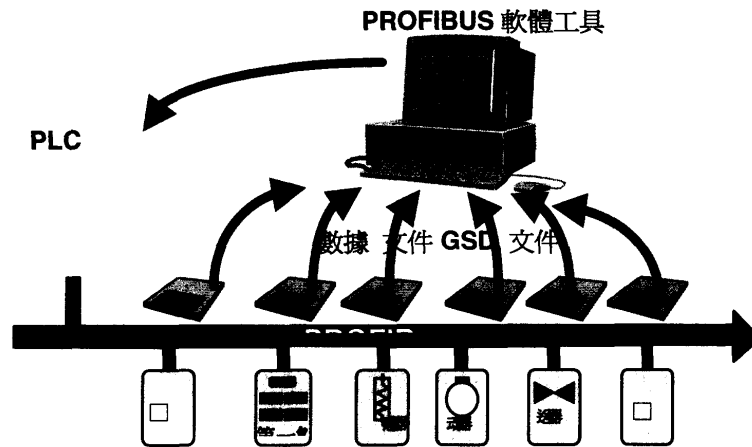


圖 11：基於 GSD 文件開放式組態

GSD 文件可分為三個部分：

- (1) 總規範：包括了生產廠商和設備名稱、硬體和軟體版本、串列傳輸速率、監視時間間隔、匯流排插頭指定信號。
- (2) 與 DP 有關的規範：包括適用於主站的各項參數，如允許從站個數、上裝/下裝能力。
- (3) 與 DP 從站有關的規範：包括了與從站有關的一切規範，如輸入/輸出通道數、類型、診斷資料等。

5.6 PROFIBUS-FMS

PROFIBUS—FMS 的設計旨在解決車間監控級通信。在這一層，可編程式控制器（如 PLC、PC 機等）之間需要比現場層更大量的資料傳送，但通信的即時性要求低於現場層。

5.6.1 PROFIBUS-FMS 應用層

應用層提供了供用戶使用的通信服務。這些服務包括訪問變數、程式傳遞、事件控制等。PROFIBUS—FMS 應用層包括下列兩部分：

- 場域網路資訊規範(Fieldbus Message Specification-FMS)：描述了通信物件和應用服務。

- 低層介面(Lower Layer Interface-LLI)：FMS 服務到第二層的介面。

5.6.2 PROFIBUS-FMS 通信模型

PROFIBUS—FMS 利用通信關係將分散的應用過程統一到一個共用的過程中。在應用過程中，可用來通信的那部分現場設備稱虛擬設備 VFD (Virtual field Device)。在實際現場設備與 VFD 之間設立一個通信關係表。通信關係表是 VFD 通信變數的集合，如零件數、故障率、停機時間等。VFD 通過通信關係表完成對實際現場設備的通信。

5.6.3 通信物件與通信字典 (OD)

(1) FMS 面向物件通信，它確認 5 種靜態通信物件：簡單變數、陣列、記錄、域和事件，還確認 2 種動態通信物件：程式調用和變數表。

(2) 每個 FMS 設備的所有通信物件都填入物件字典 (OD)。對簡單設備，OD 可以予定義，對複雜設備，OD 可以本地或遠端通過組態加到設備中去。靜態通信物件進入靜態物件字典，動態通信物件進入動態通信字典。每個物件均有一個唯一的索引，為避免非授權存取，每個通信物件可選用存取保護。

5.6.4 PROFIBUS-FMS 服務

FMS 服務專案是 ISO 9506 製造資訊規範 MMS (Manufacturing Message Specification) 服務專案的子集。這些服務專案在現場匯流排應用中已被優化，而且還加上了通信物件的管理和網路管理。

PROFIBUS—FMS 提供大量的管理和服務，滿足了不同設備對通信提出的廣泛需求，服務專案的選用取決於特定的應用，具體的應用領域在 FMS 行規中規定。

5.6.5 低層介面 (LLI)

第七層到第二層服務的映射由 LLI 來解決，其主要任務包括資料流程控制和聯接監視。用戶通過稱之為通信關係的邏輯通道與其他應

用過程進行通信。FMS 設備的全部通信關係都列入通信關係表 CRL(Communication Relationship List)。每個通信關係通過通信索引 (CREF) 來查找，CRL 中包含了 CREF 和第二層及 LLI 位址間的關係。

5.6.6 網路管理

FMS 還提供網路管理功能，有由場域網路管理層第七層來實現。其主要功能有：上、下關係管理、配置管理、故障管理等。

5.7 PROFIBUS 特點綜述

與其他場域網路系統相比，PROFIBUS 的最大優點在於具有穩定的國際標準 EN50170 作保證，並經實際應用驗證具有普遍性。目前已應用的領域包括加工製造、程序控制和樓宇自動化等。PROFIBUS 開放性和不依賴于廠商的通信的設想，已在 10 多萬成功應用中得以實現。市場調查確認，在德國和歐洲市場中 PROFIBUS 占開放性工業場域網路系統的市場份額超過 40%。PROFIBUS 有國際著名自動化技術裝備的生產廠商支援，它們都具有各自的技術優勢並能提供廣泛的優質新產品和技術服務。

6. X-by-Wire

在未來的 5 至 10 年內，傳統的汽車機械系統(如剎車和駕駛系統)將被具有高速容錯通訊匯流排與高性能 CPU 相連的通訊系統所取代。未來汽車具有駕駛輔助系統，諸如電控(control by-wire)剎車、線控駕駛和電子閥門控制等特性，如同先進戰鬥機線傳飛控。傳統機械式及液壓系統已走到盡頭，現在煞車系統逐漸從電子式液壓煞車系統演進到線傳混合式煞車系統，另外 sensors 在汽車將快速自動偵測到週遭的環境情況，如靜止物樹，其他車輛的位置或人的位置，即使駕駛者正在分心時，利用智慧型電子式預先煞車系統產生一 0.2g 的力量停頓使駕駛集中注意力，來防止碰撞。已現有液壓系統要達成此功能是很困難，藉由感測器及至動器、伺服控制系統及軟體就可輕易解決。另外

汽車的傳動系統未來逐漸電子化，取代傳統的凸輪軸，使用快速及可靠的電子式裝置來控制活門。越來越多的感測器遍佈整個車子，偵測路面及前方障礙物及四周的車輛，這裡包括攝影、雷達、電子照相，將大量資料即時傳送至車內控制系統。為了提供這些系統之間的安全通訊，就需要一個高速、容錯和時間觸發的通訊協議。

6.1 FlexRay

FlexRay 是一種新的特別適合下一代汽車應用的網路通訊系統。BMW、DaimlerChrysler、摩托羅拉和飛利浦半導體聯合開發和建立了這個 FlexRay 標準，該標準不僅提高了一致性、可靠性、競爭力和效率，而且還簡化了開發和使用，並降低了成本。線控應用需要既具有確定性和容錯性又支援分佈式控制系統的高速匯流排系統。此外，該技術可以滿足關鍵的汽車應用要求，如可靠性、可用性、靈活性和高數據速率，以彌補目前汽車內主要的網路標準(如 CAN、LIN 和 MOST 等)的不足之處。在現今的汽車中，車體和控制模組都連接到控制器區域網路(CAN)匯流排上，並借助區域互連網路(LIN)進行周邊設備控制。遠端資訊處理和多媒體連接需要高速互連，視頻傳輸又需要同步數據流格式，這些都可藉由 MOST 協議來實現。在很多情況下，高速汽車控制系統如動力系統和傳送控制，如今都使用專用 CAN 和 J1850 網路連接在一起。FlexRay 最初設計目標大約是 10Mbps 數據率，不過，該協議允許達到更高的速率。

FlexRay 是一種具擴充性的通訊系統，支援同步或非同步數據傳輸。同步數據傳輸可實現時間觸發通訊，以滿足系統可靠性要求；基於 Byteflight 協議基本原理的非同步數據傳輸，在事件驅動的通訊中允許每個節點利用全部頻寬。

FlexRay 的同步數據傳輸是確定性的，同時保證提供最小的訊息傳輸時延和訊息抖動。與 CAN 的方法相比，該性能更優越。CAN 方法可使低優先級訊息延遲發送，而讓高優先級訊息先行發送，因此除了最高優先級訊

息，其它任何訊息的時延都無法事先確定。FlexRay 保證為同步傳輸部份中的每個訊息預先設定傳輸時間，而不影響其它訊息。

FlexRay 支援全球標準時間基礎上的備援和容錯分佈式時鐘同步，從而保證所有網路節點都能在一個緊湊的預先設定的精確時間窗中有秩序地工作。在同步通訊部份，每個電子控制單元都分配到一個固定時隙號，這可確保每個訊息都能得到所需的頻寬和時隙。這種分配保證了全部訊息無須競爭頻寬或藉由判斷優先等級就可進行傳輸。FlexRay 通訊系統同時支援光纖和電氣實體層，這使得用戶可根據最適合自己的需要採用何種佈線方案。光纖數據傳輸具有不受電磁干擾影響的優點，而電磁干擾可對電氣線路上的通訊造成很大破壞性影響。

FlexRay 基本特性

- Scalable synchronous and asynchronous data transmission
- High net data rate of 5 Mbit/sec; gross data rate approximately 10 Mbit/sec
- Deterministic data transmission, guaranteed message latency and message jitter
- Support of redundant transmission channels
- Flexible allocation of bandwidth to individual nodes
- Configurable number of sending slots per node and cycle
- Fault-tolerant and time-triggered service implemented in hardware
- Fast error detection and signaling
- Support of a fault-tolerant synchronized global time base
- Error containment on the physical layer through an independent "Bus Guardian"
- Arbitration-free transmission
- Support of optical and electrical physical layer

- Support for bus, star, and multiple star topologies

FlexRay 應用於生產自動化優點

- Enable re-use of carry-over components and easy future extendibility
 - Without embedding knowledge of future platform partitioning
 - Without touching not-involved components or reconfiguring them
 - Only the required receive and transmit buffers should be configured
- Compatibility as far as possible
 - For migration of existing solutions and products
 - For embedding in-development processes
- High dependability for mass production
- Power management
- Proper error detection and diagnosis

Example of a Backbone Architecture with FlexRay

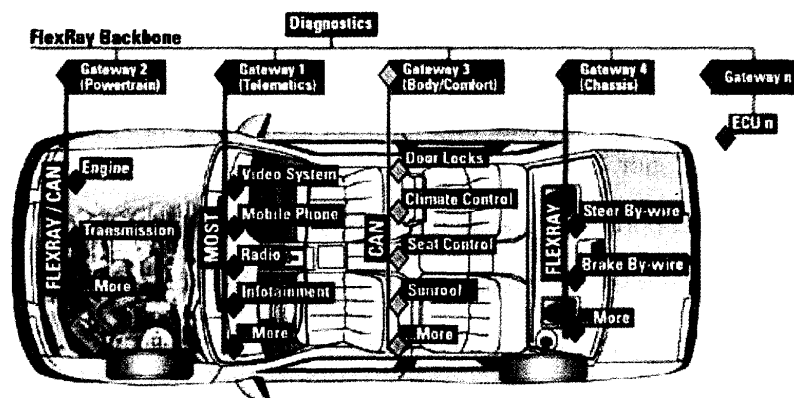


圖 12 Flexray 在車體網路之應用。

6.2 Byteflight

Byteflight 是由 BMW 結合 Elmos、Motorola 等公司發展用於汽車自動控制設計的通訊網路，主要應用在即時性要求的資料傳輸，如 Airbag、ABS 系統及電子煞車系統或是一些電子設備資料傳輸。

Byteflight 以 10Mbps 速率傳輸，傳輸媒介以塑膠或玻璃光纖為主，網

路拓樸為星型架構，它不僅應用於車輛控制，也可推廣到工廠設備自動化。和 CAN 網路一樣，Byteflight 以訊息導向(Message-Oriented)方式設計，訊息格式與 CAN 相當類似，資料長度可達到 12bytes，不同於 CAN 在於網路爭取方法(Media Access Method)，CAN 是以非破壞性碰撞方式來傳送訊息，訊息具有優先權之分；byteflight 則以所謂 Time-Division-Multiple-Access(TDMA)概念，每個節點皆依設定好之 time-slot 的時間來傳送訊息，利用 Synchronization-Pulse 來達成同步訊息控制功能，所謂同步訊息控制是以一固定週期時間(cyclic time)內傳送所有訊息，如下圖 13：

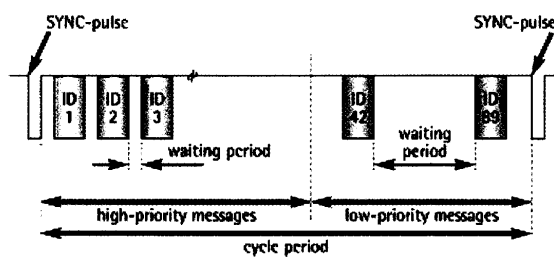


圖 13. Byteflight 周期訊息時序圖

因此可明確控制訊息傳輸的時間性，低優先權的訊息則偶爾傳送。所以沒有訊息重送機制。

Byteflight 訊息格式如圖 14：

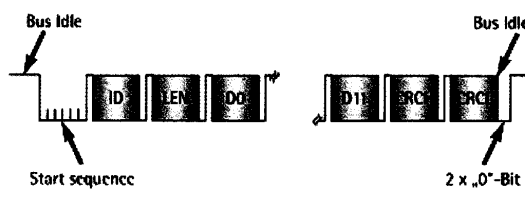


圖 14. Byteflight 訊息格式

7. Rfieldbus[5]

FieldBus 系統在佈線上比起傳統中央式控制方式的佈線方式，有許多優勢，主要是降低佈線的複雜性及成本，使系統更為彈性極易於安裝。但是不能除

去佈線的方法則使系統更行動化，這就需要無線通訊，在工廠自動化設備上，無線通訊未來將會有很大的市場需求。

目前無線通訊已廣泛使用在一般電話用途，但是目前並無專為工業用設計之無線通訊。Rfieldbus 著眼在發展以 Profibus 為基礎而延伸的無線通訊技術，藉由 Radio Modem 使用 RAKE spread spectrum technology，確保再有許多障礙物之工廠環境皆能通訊無誤，其特點如下：

- Real-Time Behavior：提供協定 TCP/IP 之服務，具有一定程度即時性
- Reliability：以為 Profibus 基礎所以有相當高的可靠度
- Security：可選擇加密功能，若有設備有無線功能但不屬於但不屬於 Rfieldbus 的群組，則需要加密與以區別。
- Flexibility and Interoperability：高彈性設定及設備間溝通。
- Multimedia Support：整合 TCP/IP 的協定應用到 Profibus 協定上，控制資料及多媒體資料皆能有效傳輸。

8. TTCAN

TTCAN 為 Time Triggered Controller Area Network 的縮寫。在許多應用上，對嚴格要求訊息精確無誤的傳送，網路設計必須加入所謂”Time Division Multiple Access”(TDMA)的觀念才能達到此功能，具有所謂”real deterministic behavior”的通訊系統，TTCAN 是因應第一代 drive-by-wire 系統所發展出來，純粹由時間來觸發，有別於以前依事件來觸發。時間觸發主要是一全域的同步時間來作為傳輸動作之依據。

CAN 訊息以事件觸發(event-triggered)方式為通訊機制，遇到網路尖峰時刻，CAN 網路已非破壞性仲裁機制來處理，再許多訊息要同時傳送時，則靠比較訊息 ID 來決定優先權，優先權低的則等待下一次網路空閒時再重送。但在但在 Hard Real-Time 系統中，訊息排程上要確保每個週期中訊息會準時被送出。TTCAN 是一個以 CAN 為基礎延伸 CAN 協定的一種時間觸發方式(Time-Triggered)

通訊協定。它藉由一個全域系統時間(Gloabl system time)來同步化每個節點，網路上的訊息在其規劃之時間插槽(time slot)被傳送出去。因此網路上訊息不會競爭，也就是 Latency time 是可以預期的。

TTCAN 的主要特點在於應用 Time Division Multiplexed Access (TDMA)方法來控制網路，簡單說是提供一個基本週期，再這週期內又細分一固定數量的時間視窗 time window，TTC 增加 Section Layer 的功能，藉由一個特別的同步命令，來達成網路上所有節點同步動作之目的。TTCAN 週期訊息時序如圖 15。

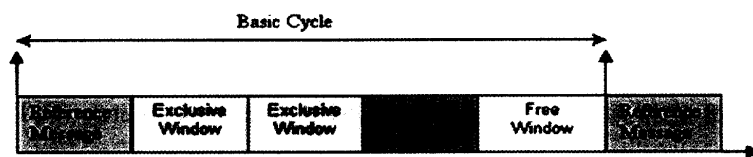


圖 15. TTCAN 周期訊息時序圖

TTCAN 週期傳送是以所謂 “Reference Message” 為時間基準，“Reference Message” 由 Time master 所傳送所送出的 4 個 Byte 的時間資料，每次週期皆以此訊息為起始，週期內再細分幾個 Time Windows。

Time windows : Exclusive window , Arbitrating window , Free window

Exclusive windows : 使用於傳送週期性訊息，不需要競爭，每個訊息依時間插槽規劃來傳送。

Arbitrating window : 設計給予 event-triggered 訊息使用或自發性訊息使用，當有許多訊息同時要使用網路時，則在依 CAN 的仲裁方式來傳送訊息。但是在 TTCAN 中沒有重送機制，所以要等到下一次 Arbitrating window 再重送。

Free window : 擴充用。

Exclusive Window 內只保留給傳送 CAN 訊息使用。

在 Arbitration Window 提供非破壞性仲裁方式是，以前的 CAN 利用 CAN id 來決定訊息傳送的次序，失去仲裁的節點會有重送的機制。但在 TTCAN 中不

提供此功能，因為重送會打亂整個基本週期的運作。Free Window 保留給未來 TTCAN 擴充用。

其他相關方法的協定如 byteflight, Time Triggered Protocol (TTP), FlexRay and EC-Net 等，TTCAN 已是現有此類網路技術最普遍獲得的技術，其他網路頻寬可從 5 Mbaud to 25 Mbaud.

9. 工業用 Ethernet：

Ethernet 起源於 1973 年，最初用於軍事用途，後來廣泛應用在家用或企業電腦的上，已是極為成熟及普遍使用的網路，因為它的普及且技術成熟，所以已友人想要將其應用於工業上。工業用 Ethernet 是以 Ethernet TCP-UDP/IP 為標準，另加一些特性，如 IP 位址的偵測，使其能適用於工廠環境。

在辦公室環境不需要去有相同 IP 位址的電腦，但是在工業上 Ethernet 應用則需要此功能，當有新的設備加入時則自動偵測其位址，以利於設備安裝使用。

Ethernet 的優點之一是高速，傳輸速率可達 1Gbps，其網路架構上除了應用層 (Application Layer 7) 目前沒有標準協定外，其他層如下表 8：

ISO/OSI Layer 1	IEEE 802.3, IEEE 802.1 P&O, IEEE 802.3u Fast Ethernet
ISO/OSI Layer 2	IEEE 802.3, IEEE 802.1 P&O, IEEE 802.3u Fast Ethernet
ISO/OSI Layer 3	RFC 791 IP
ISO/OSI Layer 4	RFC 793 TCP
ISO/OSI Layer 7	No standard succeed

表 8 . Ethernet 各層協定標準

目前有兩種網路協定以 Ethernet 為基礎發展，應用其 TCP-UDP：

1. Ethernet/IP (ODVA-Rockwell porting DeviceNet to Ethernet).
2. ProfiNet (PNO-Siemens porting Profibus to Ethernet).

其好處是利用已有的 Ethernet 架構再加上已發展成熟的網路協定，則可降低發展時程及成本。工業用 Ethernet 和傳統 Ethernet 皆使用相同的硬體層及媒體擷取 (MAC) 機制，不同在於應用層上，工業用 Ethernet 利用 TCP/IP (或

UDP/IP)，去結合現有成熟網路通訊協定，如Modbus、DeviceNet或ControlNet，使得網路具有高速、穩定之特點。未來也有其發展優勢。

10. IEEE-1394(Firewire)

IEEE-1394 是 IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers 電氣與電子工程師協會)所制定的一種序列通訊網路主要是蘋果電腦所支持的，它有兩種定義方式，一是 Backplane physical layer，另一是點對點使用 cable 連接的 virtual bus。在 cable 的傳輸速率為 100、200 或 400Mbps/sec，在 Backplane physical layer 的工作頻率為 12.5、25 或 50 Mbps/sec。主要設計應用於個人電腦上高傳輸速率、低價位的資料傳輸介面，包括即時 I/O 和外接硬碟、列表機、掃描器和數位相機等。傳統的 LANs 和 WANs 已經被固定的頻寬限制住，另外像 SCSI 介面並不適合長距離傳輸而較新的 IEEE-1394 則是可靠、高速極具發展潛力的網路系統。

1995 年 1394 最早定義標準的傳輸速率為 200Mbps，到了 2000 年改良之 1394a 傳輸速率為 400Mbps。而後之 1394b 最新規格可達 800Mbps~3.2Gbps，這個規格不僅支援更快速度，也支援長距離傳輸，塑膠光纖達五十公尺，玻璃光纖可達 100 公尺。另外支援 Hot Plug 及 Plug and Play 功能，能讓安裝週邊無須關閉電源。由於其高速穩定特性，使得 IEEE-1394 應用層面相當廣。

11. 工業控制網路的下一步發展

11.1 目前狀況

在工業自動化方面，IEC61158 有 8 個標準：

- Fieldbus (同 ANS/ISA S50.01)
- Profibus
- ControlNet
- P-NET
- Fieldbus Foundation HSE
- SwiftNet

- WorldFIP

- Interbus

其中，Fieldbus Foundation HSE、Profibus、P-NET、WorldFIP 和 Interbus 正在協調建立通用的應用層。

在設備方面，主要的場域網路有：

- 基於 CAN 的匯流排

CANopen

DeviceNet

SDS

CAN Kingdom

- Profibus

- WorldFIP-I/O

11.2 下一步向乙太網發展

- FF 和 WorldFIP 向 Fieldbus Foundation HSE 發展；
- DeviceNet 和 ControlNet 向 EtherNet/IP 發展；
- Transparent Factory 和 Interbus 向 IDA 發展；
- Profibus 向 PROFLnet 發展。

11.3 當前自動化控制趨向於 2 層網路

- Foundation Fieldbus
 - IEC 61158 定義了一個 2 層的物理網路
 - TYPE1，H1 用於現場
 - TYPE5，HSE 用於控制層
- Profibus
 - Profibus-PA 用於現場
 - Profibus-DA 用於控制層
- ODVA

- DeviceNet 用於場域或控制器間
 - ControlNet 和 EtherNet/IP 用於控制層
- 透過乙太網，有可能使各網路之間可以進行互操作。

12. 運動控制用網路

12.1 運動控制的數位將來

1986 年德國工具機製造商聯合發展所謂開放是標準數位介面，他的目的是提供改善控制器及驅動器具數位化功能的方法，並以普遍使用在包裝機械、食品加工機械、金屬加工機、機器手臂及工廠自動化設備等。十五年後如 SERCOS、Macro Firewire 快速竄起，引起不小的衝擊。然而一些製造商如 Delta Tau, Indramat, Kollmorgen, Nyquist, ORMEC, Pacific Scientific 及 Rockwell Automation 已大量生產具有開放是數位介面的控制器和驅動器。新一代的運動控制器已然完全數位化且普遍被應用。

傳統類比式介面提供 $\pm 10V$ 信號，製造商及使用者遵循此介面行之有年，然而它的幾個缺點如易受外界干擾、飄移現象、佈線以及傳輸速度限制等，因為龐大的佈線使得維修及診斷錯誤上成了極大的負擔，在許多應用上逐漸令人詬病。

現有已存在許多開放式介面如 Ethernet, Profibus, and DeviceNet。然而許多公司傾向使用下列三種介面：*SERCOS* (Serial Real-time COmmunications System, standardized as IEC 61491/EN61491); *MACRO* (Motion And Control Ring Optical, nonproprietary but not standardized); and *FireWire* (developed by Apple; standardized as IEEE 1394, an open consumer market standard)。

SERCOS 應用於控制器、伺服驅動器、制動器及 I/O 裝置間的通訊。*MACRO* 的運作以一標準纖維網路技術為基礎。和 *SERCOS* 依樣也是以環型(Ring)架構傳輸。每一個在環上的裝置都具有輸出埠用於傳送及輸入埠用於接收。每一個站(station)可以連接許多節點(node)，這些節點可以是伺

服軸、I/O 點或其他裝置的通訊介面。資料封包(groups of 96 bits of serial data)則由運動控制器(master node)送出到每個節點(slave node)。MACRO 的資料傳輸不需要靠軟體來作，只要將資料丟到記憶體的位址，硬體就會利用網路空閒時送出去。

傳輸速率為 125 Mbps。Delta Tau, MACRO 的發展公司認為 MACRO 一種極為容易使用的網路技術。

Delta Tau 強調 MACRO 具有 125-Mbps 資料傳輸速度。曾有一應用在一次控制 16 伺服放大器和兩個八軸控制器，利用 MACRO ring 的架構控制，更新資料週期每一伺服放大器和控制器可低於 25 ms(>40 kHz)，由此可知其優越的傳輸速率。

與其他的數位介面比較，SERCOS 最快傳輸速率可達到 16-Mbps(SERCON816 ASIC)比起 MACRO system (125 Mbps) 或 FireWire (400 Mbps) 可能嫌速度不如人，但是使用舊型 4-Mbps SERCON ASIC 控制晶片作馬達內部迴路控制，位置迴路控制資料更新速度為 2 kHz，速度迴路控制資料更新速度為 4 kHz，電流迴路控制資料更新速度為 16 kHz，若使用新型 16-Mbps SERCON816 ASIC 更新速度可以更快，但是環內馬達越多，相對地速度也會下降。

FireWire 不像 SERCOS 和 MACRO，FireWire (IEEE 1394)起初的設計是為 PC 上需大量傳輸的電子設備如攝錄像機，因此它的晶片相當便宜(\$10 to \$20)。製造商如 Nyquist Industrial Controls 相信其應用在工業控制上有一定的潛力。和 SERCOS 一樣, 1394 也定義了所謂標準的等時性資料(isochronous data)確保網路的即時性，使用此方式去派置頻寬給伺服控制，可保證扭力命令及位置回授等的即時更新。Nyquist 公司已使用在伺服控制。

最重要的是, 以下是開放式數位介面技術比起傳統類比介面技術優點:

- 高速、響應快。
- 透過高速網路可傳送複雜之命令及參數至伺服放大器。
- 光纖傳輸可減少 EMI。
- 無需數位與類比之轉換。
- 取代傳統複雜類比佈線，降低成本且易於維護。
- 可除去 potentiometer 設定及參數飄移。

12.2 正確地選擇好的伺服控制網路

在許多生產自動化及程序控制設備工廠中伺服系統的需求日益增加，為確保每一伺服軸達到精確時間及位置控制，加上同步的問題及解析度問題，使用運動控制網路通訊已是不可避免的趨勢，也是好的伺服控制系統的關鍵。

目前普遍使用的SERCOS網路是在1990年初被推廣使用於伺服運動控制，從已有超過一百萬顆的SERCOS系統晶片的銷售情形，可了解其在市場上普及程度，它的成功再於它是一種開放式架構系統，馬達製造商皆可依此開放是標準，實作在本身的產品上，當某一廠商根據SERCOS介面所設計的運動控制器程式，根據其程式架構，可以很容易移植到另一廠商的運動控制器其具有相同的SERCOS介面，這就是開放是標準的優點。因為開發冗長的運動控制程式是相當大的工作量，通訊介面控制能不變，就可很容易修改及維護該程式。

然而沒有一種技術能獨占市場，目前已有一些新的伺服網路出現想與SERCOS一較長短，如Profibus MC、Firewire 及SLM(Speed Loop Motor)。SLM和SERCOS及Firewire一樣式是屬於數位系統，不同於SERCOS環型架構，SLM屬於星型架構，環型架構的缺點是當環內節點越多時，則其傳輸品質就下降，也就是每個節點就需要分配更多時間去使用網路，若是環內

有許多節點時，SERCOS(最多256個節點)就不是最佳的選擇，另外解決方式就是使用多環式控制。SLM是星型的架構，所以節點的多寡並不影響傳輸速率。

Firewire 具有高速、普遍及低成本的優勢，原本應用於電腦多媒體傳輸標準介面，相關的晶片已是成本低廉且技術成熟，再加上擁有 400Mbps 傳輸速度，已有許多馬達製造商將其實坐在產品中，但和 SLM 一樣在 Higher-Level 協定及 Device Profile 上沒有統一標準，但其未來發展潛力是令人期待。

12.3 SERCOS 與傳統的類比介面比較

傳統的類比伺服運動控制的優點：

1. 成本低
2. 容易實作
3. 介面簡單
4. 響應快速

缺點

1. 易受外界干擾
2. 解析度有限
3. 易有曲線飄移(Curve Drift)

現有伺服控制速度控制可達 4kHz，電流控制可達 16kHz，這些都是在類比介面可達到的範圍。SERCOS 定義了一些系統介面的相容類別 (Compliance Class)，每個製造商皆可依此規範，應用於產品上使其能連上網路使用。SERCOS 本身定義了 32000 個標準指令 IDN 編號，另外提供 32000IDN 給製造商自行運用。它也具有隨插即用的功能(Plug&Play)，使得設備組裝上更加容易及彈性。

12.4 SERCOS Bus [6]

12.4.1 簡介

由於類比介面之伺服控制遇到極限，再加上數位技術日新月異，以往的中央是極權控制方式，逐漸為分散式開放式控制所取代，在伺服運動控制上不管在速度環控制上或電流環控制上，需要反應控制快速且穩定之即時網路，或是多軸運動控制間之協調，高速即時網路之需求就此孕育而生。Sercos(Serial Real-time Communication System之縮寫)起源於1980年代中，由德國所發展出運用於伺服運動控制專用的網路技術，在1995獲得IEC1491國際標準規範，同年11月變更為IEC61491，1995~1997三年間便有15萬顆SERCOS晶片售出，廣範運用在CNC工具機、機器手臂、食品加工機器、高速傳送裝置、木材加工設備及自動組裝設備等。

控制單元具有同對許多驅動器作同步控制功能，藉由週期性資料傳送命令及讀回驅動器的資料，SERCOS介面週期時間(cyclic time)可選擇從0.0625ms、0.125ms、0.25ms、0.5ms、1ms至64ms。NC控制面板也可藉由SERCOS介面之非同步Service Channel顯示各驅動器之資料、參數及診斷資料。命令及驅動器實際值皆可利用多達16 bytes的資料在控制器與驅動器間作雙向傳送，SERCOS是全數位化的協定，它具有32位元資料傳輸能力，較傳統的類比式介面所具有到轉換，提高更多的精確度。

12.4.2 系統概述

Sercos介面使用所謂環狀ring網路拓樸架構(Topolgy)，一個Master理論上可連接254個Drives，但實際上常限制在8~16軸，因為在固定的傳輸週期下越多軸則ring的網路負荷就越大，當超過一定負荷時則可擴充為多環式架構就其架構如圖16所示：

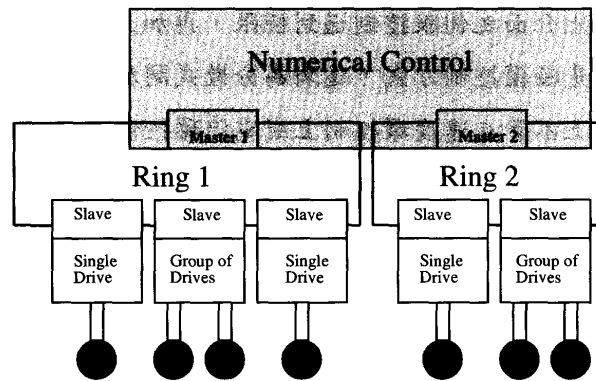


圖 16.SERCOS Topology

12.4.3 操作模式

在運動控制中，如工具機及多軸伺服控制，SERCOS 是針對伺服控制所設計的網路，所以它的操作模式有三種：

- a、扭力迴路控制(Torque loop control in drives)
- b、速度與扭力迴路控制(Speed & Torque loop control in drives)
- c、位置、速度與扭力迴路控制(All closed loops, including position control in drives)

一般電流迴路控制中，控制週期通常為 250us，所以系統不僅要具有高速即時的傳輸功能，並且要具有高速計算功能，SERCOS 介面高達 16Mbits 的傳輸速度，但對於多軸的電流迴路控制仍是極大的負擔，所以在電流迴路控制模式下建議採用多環路架構，每個環路只接少數驅動器，以確保傳輸品質。伺服控制方塊圖，圖 17 所示：

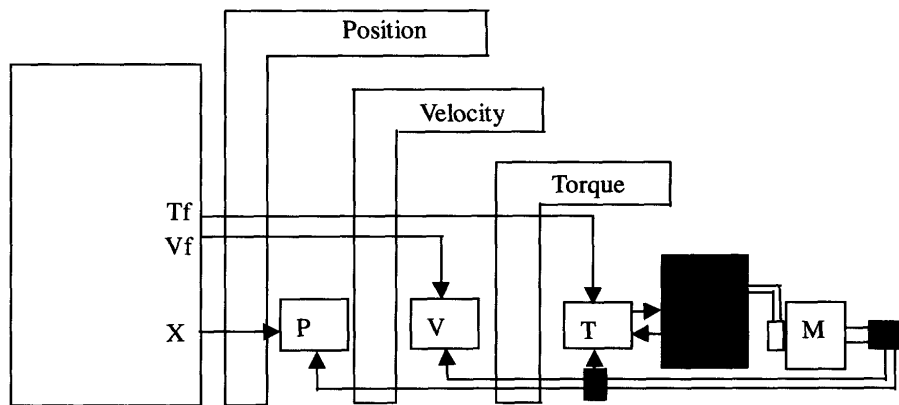


圖 17. SERCOS 對伺服控制方塊圖

12.4.4 傳輸模式

SERCOS 介面提供兩種資料傳輸模式：週期資料傳輸、非週期資料傳輸。

週期資料傳輸，即傳送控制命令或回授資料等具有即時性的資料，其長度依據驅動器的控制模式而定。如表 9 所示：

		Cyclic Transmission (typical)		
NC to Drive	Position Data	Velocity Data	Torque Data	
	Control Word			
	Command Value Cmd. Value added Interpolation-Auxiliary Value	Command Value Cmd. Value added Additive Cmd. Val.	Command Value Cmd. Value added Additive Cmd. Val.	
Drive to NC	Status Word			
	Actual Value 1	Actual Value	Actual Value	
	Actual Value 2			

表 9. Typical operation data for cyclic transmission

通常週期性資料傳輸是在初始化設定時，其內容、資料長度就已經被設定。

非週期資料傳輸是開機後即可直接傳送訊息之傳輸模式，主要是動態性資料傳遞，所以在主節點與輔助節點間需要一些交握訊號 (Handshake)，以便告訴對方現在是否有資料要傳送。如表 10 所示：

Non-Cyclic Transmission (typical)		
Position Data	Velocity Data	Torque Data
Limit Value positive	Limit Value positive	Limit Value positive
Limit Value negative	Limit Value negative	Limit Value negative
Polarities	Polarities	Limit Value bipolar
Reference Feedback 1	Reference Drive Speed	Polarities
Reference Feedback 2		
Backlash Compensation		
Position Switch Points		
1-16		
Probe 1/2 pos		
Probe 1/2 neg		

表 10、Characteristics of 'Non-Cyclic' Transmitted Data

非週期資料傳輸所能傳輸之資料長度較短，傳輸速率也比較慢，但其功能可使系統更為彈性，即使系統在正常操作模式下，週期性之資料參數再初始化十已被設定完成，但是仍可利用飛週期性參促設定來修正週期性參數，如此就可在不需將系統關機後重新進行初始化動作，來改變週期性參數的種類及控制模式。非週期性傳輸提供了以下幾個重要功能：

- 系統介面初始化。
- 傳輸資料框中所有元素。
- 傳送程序命令。
- 改變極限值之要求。
- 改變控制迴路上的參數。
- 伺服器狀態回授。
- 診斷功能。

12.4.5 Telegram 結構

SERCOS 以所謂電報(Telegram)在 ring 中傳送，這些電報攜帶控制器與驅動器間溝通的訊息，一般電報結構如圖 18.所示：

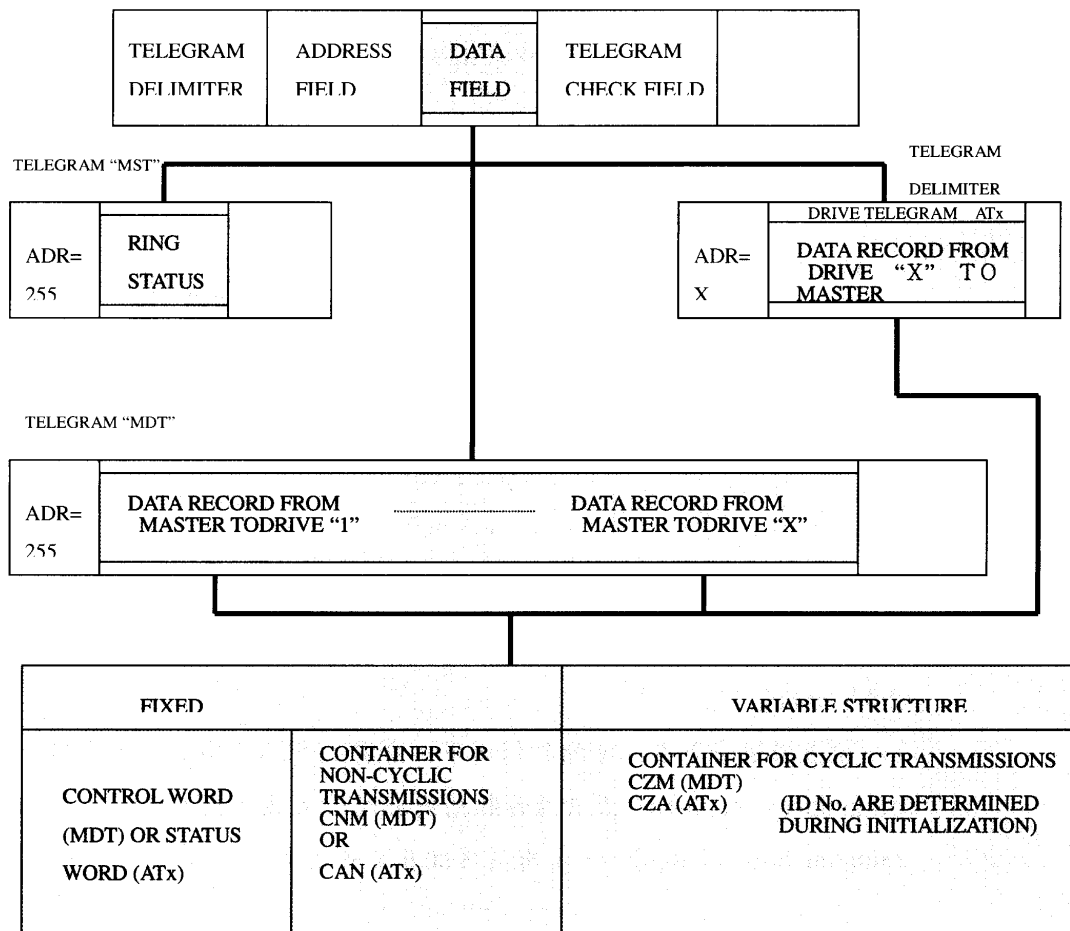


圖 18. Overview of Data Field Structure (Communications Phase 3 and 4)

12.4.6 Transfer Access Medium

SERCOS 為了達到即時傳輸的要求，在網路初始化時每一個驅動器接被告知其時間插槽(Time Slot)，因此在每一個傳輸週期中，每一個驅動器利用內部的時鐘，在自己被設定的時間插槽下進行資料存取。

12.4.7 通訊週期

在每一次的通訊週期起始，控制器會送一個電報稱 MST(Mster Synchronization Telegram)，隨即每個驅動器則分別依本身所規劃的 time

slot 時間來送一個電報稱 AT(Amplifier Telegram)通知控制器一些資訊，如位置或狀態，待每個驅動器送完 AT 後，控制器會再送一個電報稱 MDT(Master Data Telegram)，內容包含控制器要給各個驅動器的控制命令。如此就結束一個通訊週期。如圖 19.所示

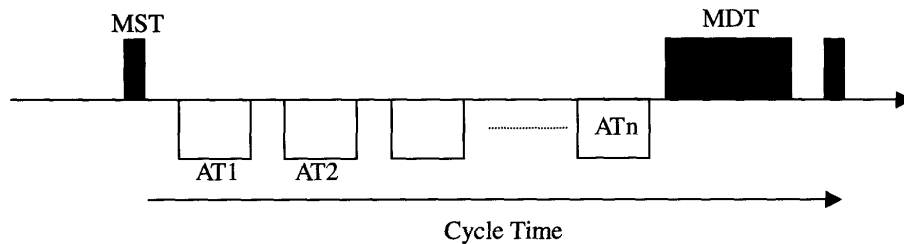


圖 19. SERCOS 電報傳送時序圖

12.4.8 初始化

以上所述皆是在正常操作模式下，事實上 SERCOS 再進入所謂 communication phase 4 正常操作狀態前有幾項系統狀態，從 communication phase 0~3，各有其用途在下列說明：

12..4.8.1 communication phase 0：

當主控制器開機檢查後，此時 SERCOS 系統就已進入 communication phase 0，這時主控電腦則連續不斷送 10 次 MST 電報給第一個 Slave 驅動器，每個 Slave 驅動器只當是 Repeater 將 MST 電報傳給下一個 Slave 驅動器，最後一個再回傳給主控制器。如此沒有錯誤時就進入 communication phase 1。

12..4.8.2 communication phase 1：

Master 在 communication phase 中開始傳送 MDT，並個別對每個 Slave 作定址(addressing)動作，以知道有那些 Slave 在線上。在 Phase 1 中，當驅動器收到一個 MDT 定址的命令時，便會回應一格簡單的 AT 給 Master，說明驅動器存在且準備好進入 Phase2。

12.4.8.3 communication phase 2 :

Master 與各個 Slave 通訊，並獲得各個 Slave 的參數及設定值，通訊機制以 Service Channel(non-cyclic Transfer)方式進行，Master 送 MST 電報給某個 Slave，Slave 送 AT 回 Master，Master 再送 MDT 給某個 Slave，整個通訊方式與 communication phase 1 相同。

12.4.8.4 communication phase 3 :

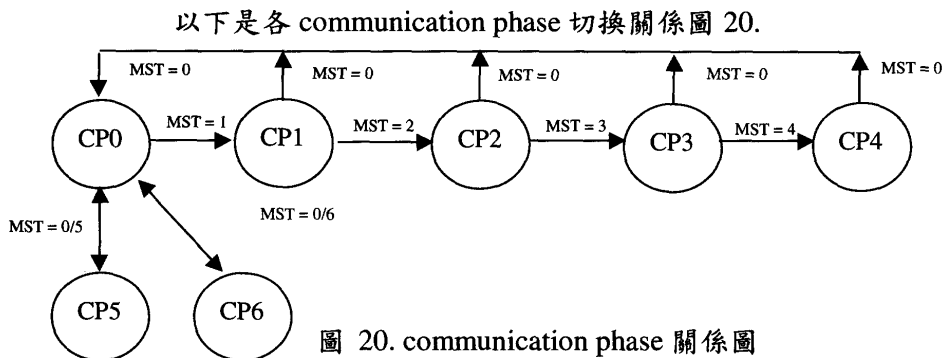
整個通訊週期及內容都與 communication phase 4 相同，也就是 Master 會送出 MST 則各個 Slave 也會回 At 給 Master，然後 Master 最後送 MDT，只是在此也是在 Service Channel 下，也由此過程各個 Slave 得到自己的時間插槽(time slot)。

12.4.8.5 communication phase 4 :

最後 Master 會廣播一個命令 MST，通知所有 Slave 準備切換到 communication phase 4，此時每個 Slave 會檢查自己內部在 communication phase 4 是否有錯誤，若無則會回傳 Ready 給 Master。此時網路初始化完成，進入正常傳送模式。

12.4.8.6 communication phase 5、6 :

新的 SERCOS 協定增加定義 communication phase 5 及 6，communication phase 5 提供驅動器程式下載，communication phase 6 則是提供驅動器程式上載。



12.4.11 Physical Layer

12.4.9.1 Topology

SERCOS 介面以所謂主僕式環(Ring)結構方式作為傳輸拓樸。

12.4.9.2 Transmission Rate

SERCOS 介面提供四種傳輸速率：2,4,8 及 16 Mbit/s。

12.4.9.3 傳輸介質

SERCOS 是以光纖維傳輸介質的全數位化 32 位元即時網路通訊協定，因此可在長距離下傳輸不受干擾，塑膠光纖可傳送 40m，玻璃纖維則可傳送玻璃纖維則可傳送 200 公尺，理論上整個環網路可達到一萬到五萬公尺，每個環網路理論上可接到 256 個節點，當然節點越多則傳輸速度就降低，為保持每一環內的傳輸品質，所以建議以多環結構來達到多節點控制。

12.4.9.4 資料封包型態

採用的資料封包型式是 IEC-3309 國際標準，高層資料連結控制協定(High Level Data Link Control protocol, HDLC)，以 NZRI(No Return to Zero)方式編碼。

12.4.12 Data Link Layer

再這一節討論到電報的結構，SERCOS 介面通訊主要分三種電報型態：

- a. Master Synchronization Telegram (MST)：由主控制器已廣播的

方式告訴每一個環上的 Slave 驅動器作同步化的功能，在每一個傳輸週期皆是以此電報為起始，作為每一個 Slave 驅動器時間參考點。因為只是做同步動作所以不需有含資料及命令。

- b. Master Data Telegram (MDT)：由主控制器已廣播的方式告訴每一個環上的 Slave 驅動器伺服動作命令。在每一個傳輸週期皆是以此電報為結束。
- c. Drive Telegrams(AT)：由各個 Slave 驅動器在規劃的時間插槽內傳送此電報給主控制器。其中包含各 Slave 驅動器本身回授的資料。

Frame structure

電報的結構如表 11.

TELEGRAM DELIMITER	ADDRESS FIELD	DATA FIELD	FRAME CHECK SEQUENCE	TELEGRAM DELIMITER
01111110	01111110

表 11. 電報的結構

- a. 電報的開始及結束皆是使用”01111110”符號來做間隔。
- b. 為確保在位址區、資料區及檢查區中不會出現電報間隔 (TELEGRAM DELIMITER)，所以當網路準位連續出現5次的1值時，則傳送者會插入0值，以免與電報間隔相同在此稱為Bit Stuffing。

c. 位址區(Address Field)

每個再網路上得驅動器皆會賦予一個位址，位址值介於 0~255，位址0是無效位址，代表式網路上所有無法通過初始化的節點或驅動器，255值則是廣播者用，通常代表Master使用。下面表格12、13代表位址值與電報種類及Communication Phase

的關係：

Communication Phase			
Transmitter	Non-Cyclic Operation (Phase 0~2)	Cyclic Operation (Phase 3,4)	
Master	255	255	MST
	$1 \leq A \leq 254$	255	MDT
Slave	$1 \leq A \leq 254$		AT

表格12： Address field values during transmission

Communication Phase			
Receiver	Non-Cyclic Operation (Phase 0~2)	Cyclic Operation (Phase 3,4)	
Slave	255	255	MST
	$1 \leq A \leq 254$	255	MDT
Master	$1 \leq A \leq 254$		AT

表格13： Address field values during Reception

d. 資料區：資料區為各設備間需傳送之資料，大小可由使用者自行決定為 $n \times \text{byte}$ 。

e. 檢查區：使用 IEC-3309 標準來產生一組 16 位元序列，用以檢查電報傳遞是否正確。

f. 傳輸週期：SERCOS 以週期循環方式來對各個 Slaves 執行控制動作，在每個週期循環中包含 MST、AT 及 MDT 等三個電報以下說明傳輸週期的流程。

- 在 communication phase 4 中，主控制器 Master 開始進行對各個驅動器週期傳輸同步控制動作，則 Master 會廣播一 MST 電報給每個驅動器，這個訊息很短約 30us，每個驅動器幾乎是同時收到這個電報，以收到此電報為各個驅動器的時間基準。圖 21 所示。

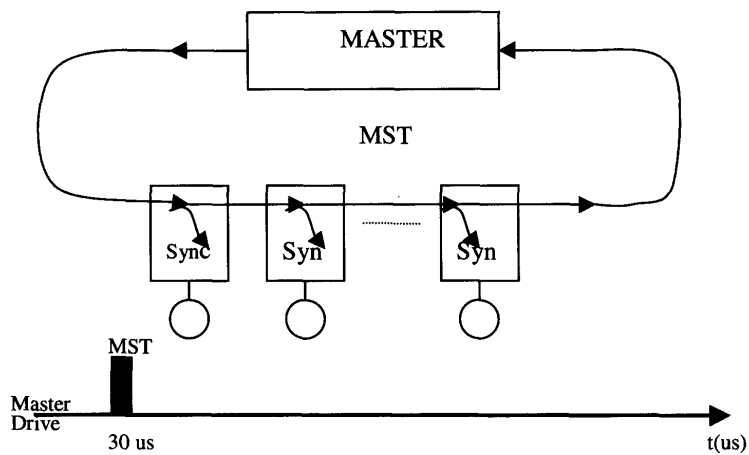


圖21. SERCOS週期資料傳輸時序圖一。

- 當各個驅動器收到MST同步命令後，各個驅動器會依據事先定好的Time-Slot時間，個別送出自己的驅動器電報AT給主控制器，此電報包含自己的位址，馬達資料及狀態等。

圖22.

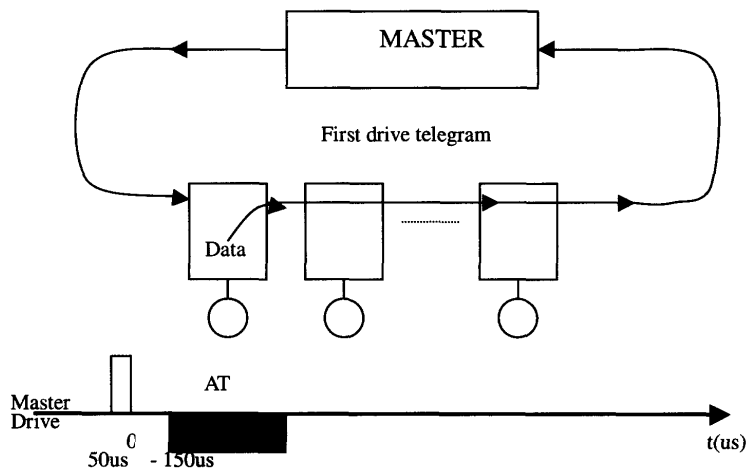


圖22. SERCOS週期資料傳輸時序圖二。

- 每個驅動器根據之前所設定之time-slot，時間到就送出自己的電報直到最後一個驅動器，主控器會監視每個驅動器是否按時正確送自己的電報。圖23。

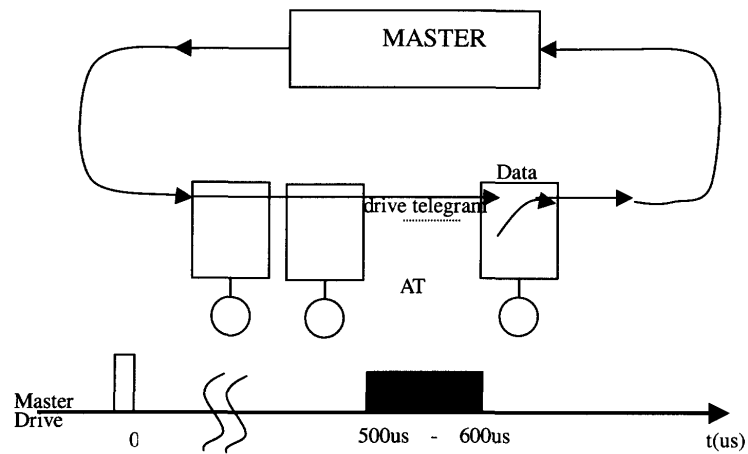


圖23. SERCOS週期資料傳輸時序圖三。

- 在週期傳輸結束前，每個驅動器送完自己的電報後，主控器就廣播給每個驅動器一個MDT電報，每個驅動器會同時收到，並得知自己的資料插槽及被賦予之新的命令，如此就結束一個週期循環傳輸，下一個MST出現又是另一週期的開始如圖24。

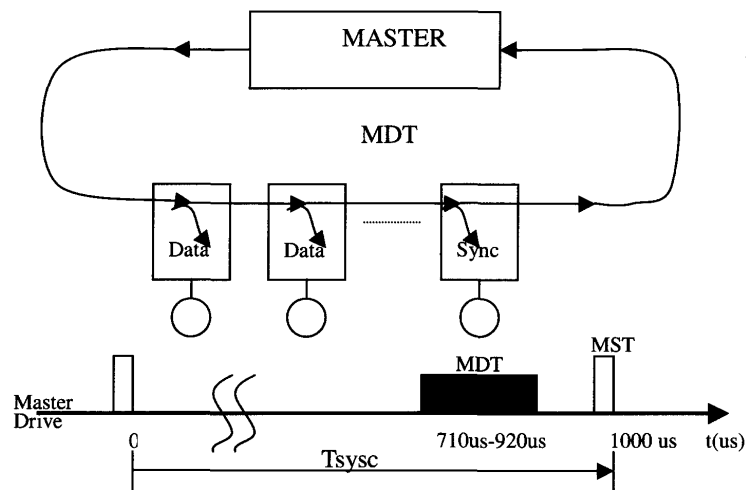


圖24. SERCOS週期資料傳輸時序圖四。

在所謂循環週期時間 T_{sysc} ，結束後馬上主控制器會送出

MST, 開始下一週期, 在SERCOS Bus中允許Tsysc時間有62us、125us、250us、500us、1ms及1ms的倍數, 最多為65ms。Tsysc時間越少表示驅動器越少, 通常用於扭力模式, Tsysc時間越多表示驅動器越多, 則適用於位置控制模式。

13. QNX 與 SERCOS

本次研習主要是研究如何結合即時作業系統與運動控制網路來實作電子齒輪的功能：系統架構方塊如圖25.：

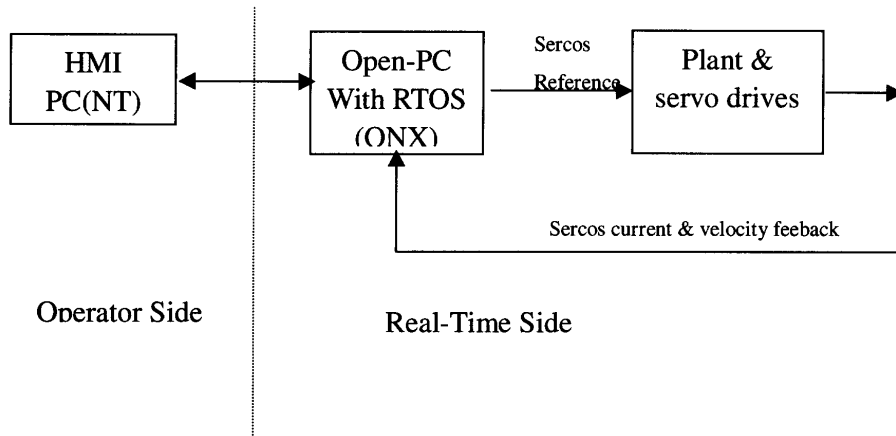


圖25. QNX與SERCOS控制方塊圖。

以一即時作業系統(RTOS)QNX為控制器系統，此系統具有高速計算功能控制程式，依據回授命令計算出扭力、速度及位置命令，並將命令值藉由SERCOS介面控制函式送至網路控制伺服放大器。硬體方塊圖如圖26。

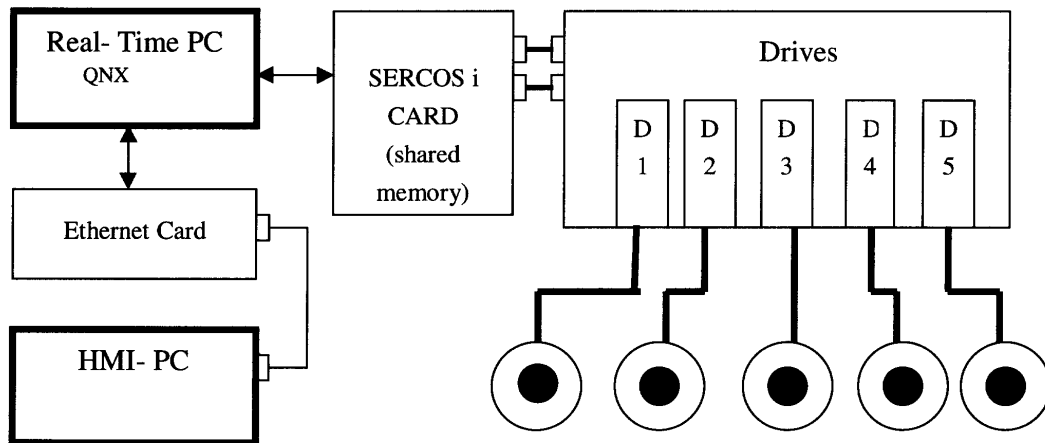


圖26. QNX與SERCOS硬體控制方塊圖。

13.1 QNX 作業系統

QNX 是一個歷史悠久(80年代初開始發展)即時作業系統，由加拿大 QNX Software Systems Limited 所推出，使用介面很像 UNIX，可在 Intel CPU 386、486、Pentium 下執行，它是一種 realtime, microkernel, preemptive, prioritized, message passing, network distributed, multitasking, multiuser, fault tolerant 作業系統。堪稱真正微核心 (microkernel) 作業系統，因為 QNX kernel 最大不超過 10K 大小。新版本 QNX/Neutrino microkernel 大小約 32K，但是不能單獨執行，QNX/Neutrino microkernel 加上 process manager 大小約 64K，約是 QNX4 microkernel 加上 process manage 大小一半。QNX 版本歷經 QNX 2、QNX 4 及 QNX/Neutrino，到目前 QNX/Neutrino 2，它的目標是提供一種開放系統，POSIX API 使系統更 robust、scalable 適合各種應用，包括嵌入式系統。

QNX 具有兩個特點，一是 microkernel 架構圖 27 所示，二是 message-based interprocess communication 圖 28 所示。

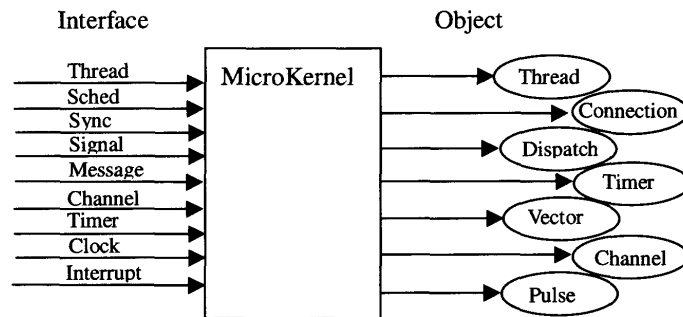


圖 27. QNX 物件、界面與 microkernel 關係圖

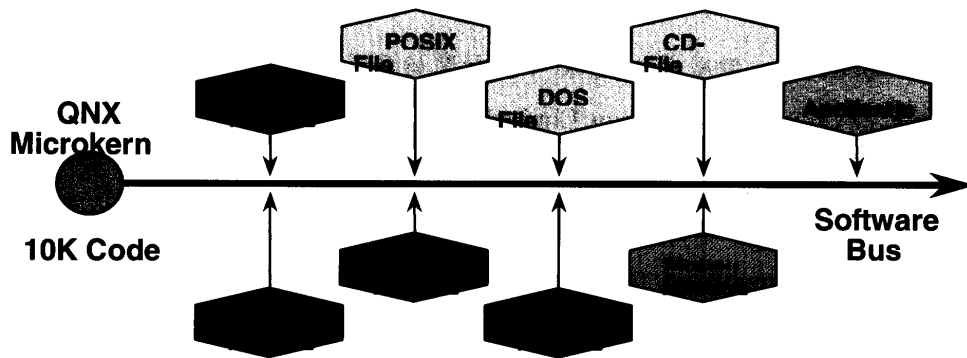


圖 28. QNX message-passing 架構圖

曾有一份報告由 Dedicated System 專家針對 QNX、VxWorks 及 WinCE 做評估比較。結果在總得分上，QNX 皆超過後兩者。QNX 在安裝上及性能上也勝過後兩者。他們針對七項關鍵特性評估它們的優缺點：

- 安裝。
- 設定。
- 架構。
- API 多寡。
- Internet 支援工具、文件及支援。
- Stress。
- 性能。

七項皆以 QNX 為優，QNX 性能及可靠性皆相當適合嵌入式系統的設計需求，即時作業系統基本要求有性能要快(performance fast)，可預期(predicable)及可靠(reliable)。QNX 不僅是真正 message-based、client-server 架構，也是一個 message-passing RTOS。

QNX/Neutrino 是以 Core POSIX 特點所實作出之 micro kernel，加上原有 QNX message-passing service 之基礎。Neutrino 所提供服務如下：

- Threads
- Message passing
- Signals
- Clocks
- Timers
- Interrupt Handlers
- Semaphores
- Mutexes
- Condition variables (Condvars)
- Barriers

13.2 SERCDRV

SERCDRV 是由Automata Gmbh & Co KG Industrail & Robotic controls 公司設計使用於應用程式與SERCOS master硬體溝通的硬體驅動程式，且針對SERCON410B或SERCON816-ASIC晶片所設計。其特點如下：

- 支援多組SERCOS rings。
- 每個ring內SERCOS slave的數量沒有限制。
- Full configurable ring 及參數傳輸。
- 可計算MST、MDT、AT電報的時間插槽。
- 可規劃命令和迴授資料值即時資料傳送。
- 完全支援Service Channel。
- 讀/寫Slave參數。
- 命令處理(set、delete、suspend)。
- Phase Switching。
- Jobs平行處理。
- 調整容易，適合不同的軟體平台。
- 以標準ASIC-C撰寫沒有作業系統限制。

SERCDRV軟體架構如圖29所示。

Software Structure

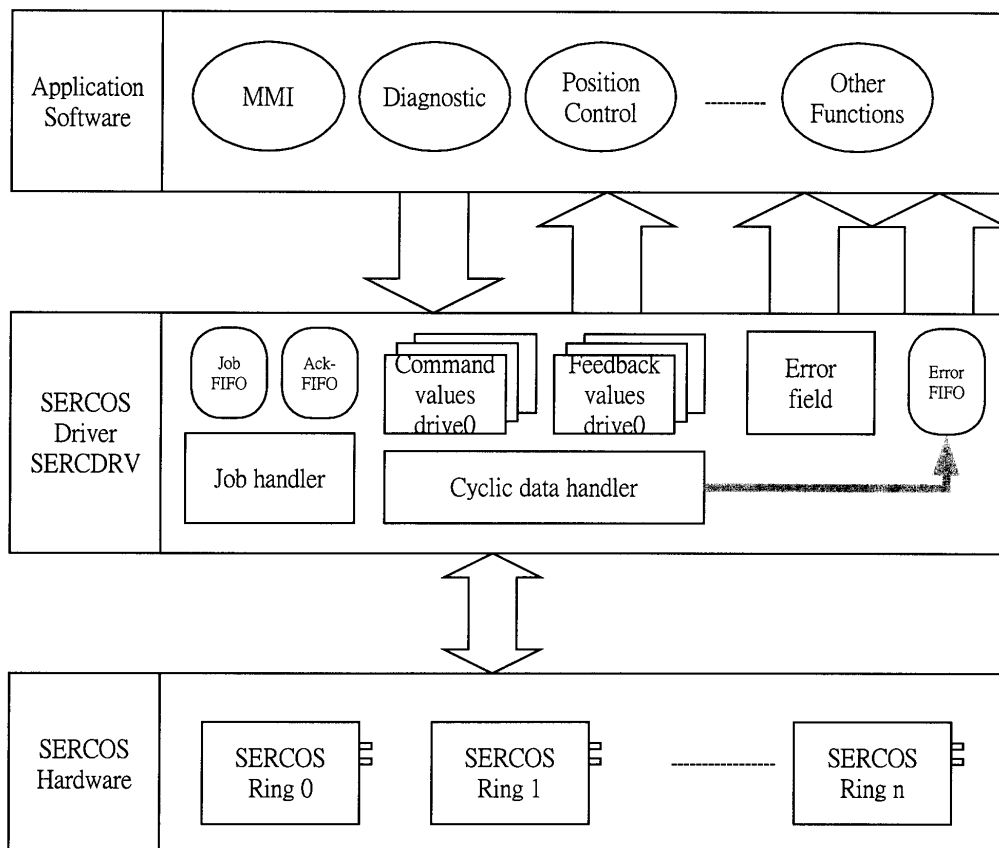


圖29. SERCDRV軟體架構圖

說明：

- Job Handling :

所謂Job處理就是應用程式透過Job-FIFO送命令給SERCDRV，並透過Ack-FIFO，將SERCDRV回傳給應用程式。幾項Jobs如下：

- ◎Phase Switching
- ◎Read/Write parameters using the service channel
- ◎Time Slot Calculation

◎Set"Delete and Suspend Commands

◎Report Command State

● Cyclic Data Handling :

在每個SERCOS Cycle中都會呼叫週期性資料處理(Cyclic Data Handling)，並以Block方式傳送。對此部分SERCDRV負責下列工作：

1. Slave的狀態和控制字元之安排。
2. 讀寫週期性之Slave命令及迴授資料。
3. 在Service Channel下資料傳輸之處理。
4. 檢查一些傳送問題如光纖扭曲或斷線。

● Error-FIFO :

SERCDRV會在每一個SERCOS週期去檢查現有存在ring的數目及檢查ERROR-FIFO是否有error進來，並告知應用程式。

● SERCOS起始到正常通訊模式流程如圖30.

Startup a SERCOS Ring (There are two slaves in this Ring)

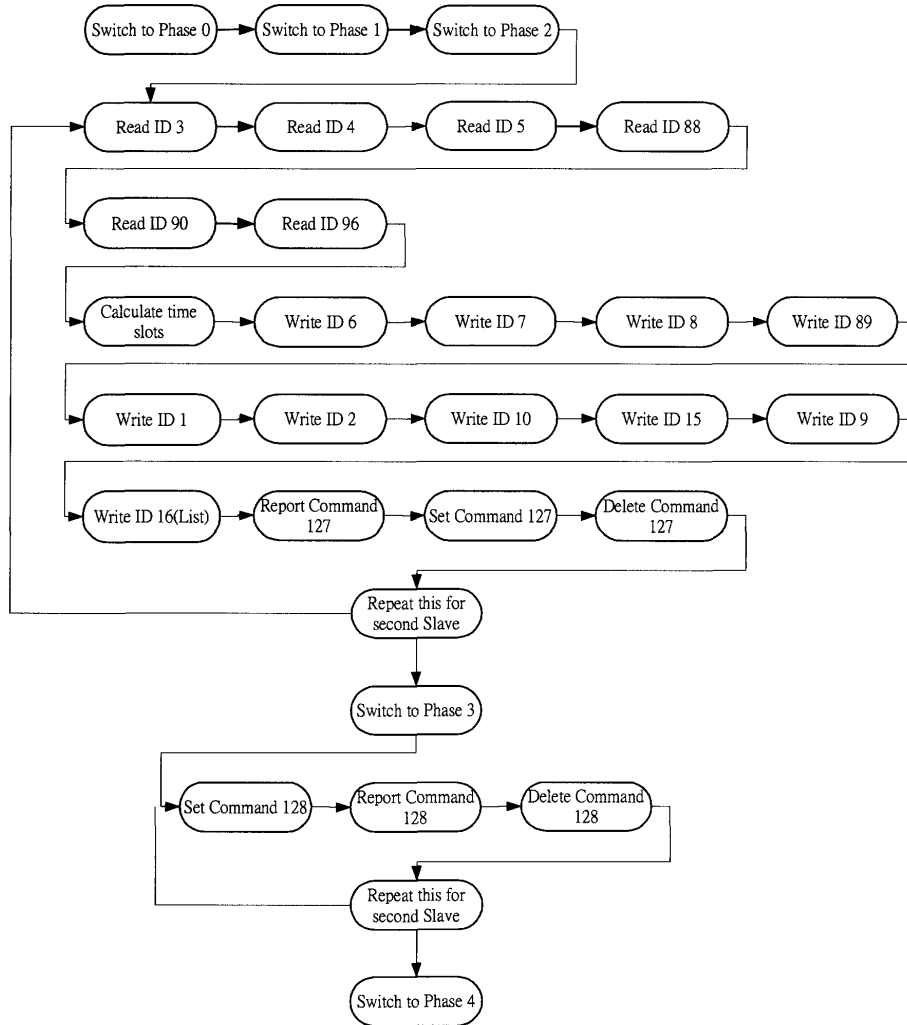


圖 30. Startup a SERCOS Ring Flow Chart

SERCDRV之初始化程序，如圖31所示：

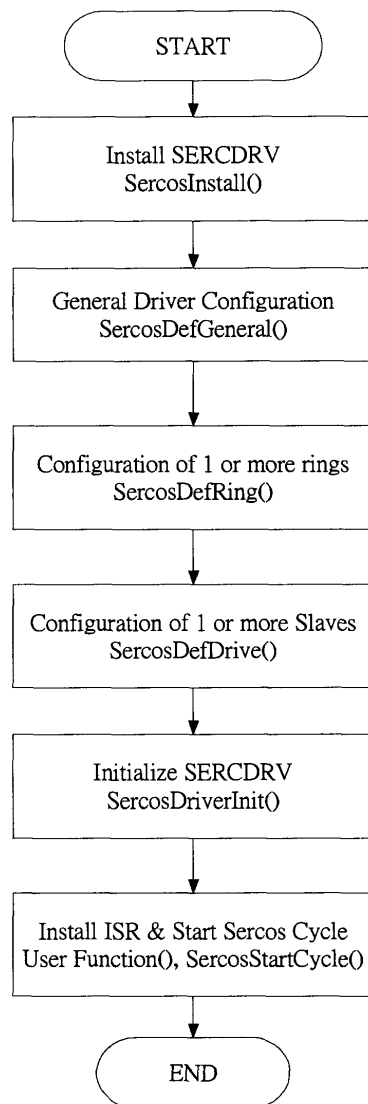


圖31. SERCDRV之初始化程序。

說明：

SercosInstall()：1.使用C函式malloc()配置記憶體給SERCDRV內部資料。

2.使用C函式memset()清除或配置記憶體。

3.初始化Job-,Acknowledge-,& Error-FIFO。

SercosDefGeneral(): 定義SERCDRV一些通用設定。這些定義透過指標SER_INIT_HEAD指到各個資料結構，如Job-,Acknowledge-,& Error-FIFO

SercosDefRing(): 定義SERCOS ring的參數，透過指標SER_INIT_RING指到各個資料結構。

SercosDefDrive(): 定義SERCOS Slave的參數，透過指標SER_INIT_DRIVE指到各個資料結構。

SercosDriveInit(): 用來初始化SercosDefGeneral()、SercosDefRing()、SercosDefDrive()所定義之內部資料結構。完成初始化這些內部資料結構後，則SERCOS-ASIC內的控制暫存器和Dualport-RAM根據每個ring完成規劃，然後SERCDRV才開始它的SERCOS cycle。

SercosStartCycle(): SERCDRV開始執行它的SERCOS cycle。

13.3 QNX與SERCDRV

結合QNX即時作業系統與SERCDRV驅動程式來控制SERCOS伺服控制，其軟體架構如圖32.所示。

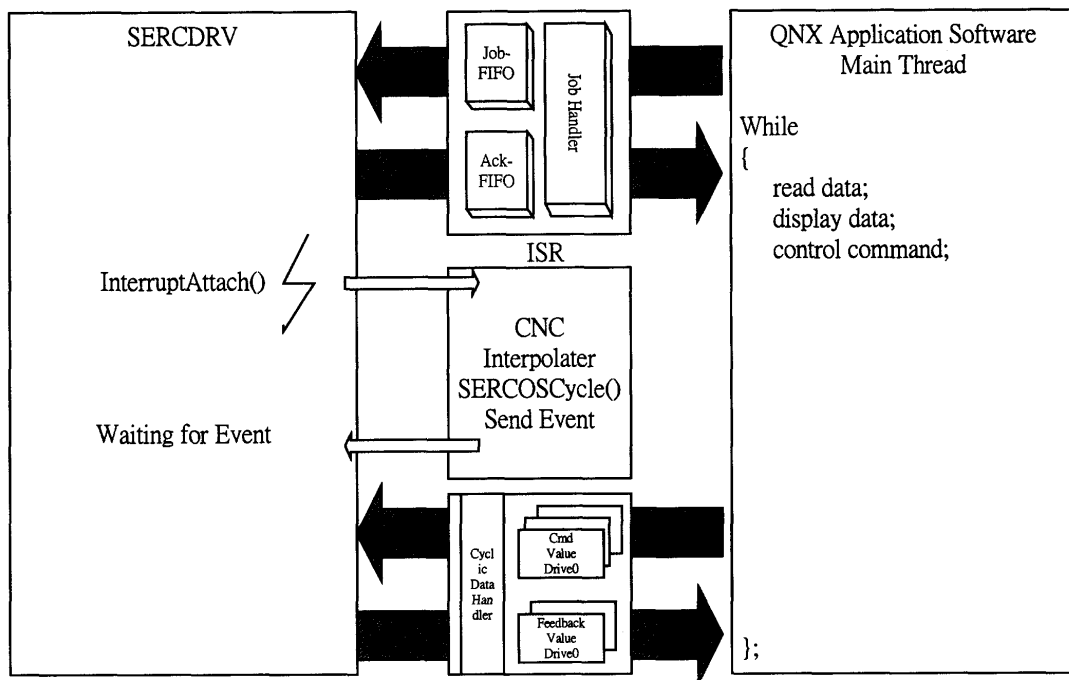


圖32. QNX與SERCDRV關係圖

雖然QNX是較為不普遍之作業系統，但是它優良的real-time特性是伺服運動控制的明智選擇之一；可利用Share Memory機制與SERCDRV作資料及命令交換，若要結合人機介面來輸入控制命令或是顯示各項資料，則執行另一Server人機介面程式，利用QNX之行程間通訊IPC機制，進行資料或命令交換，也可控制Ethernet卡將資料傳送到其他電腦。控制架構如圖33.所示：

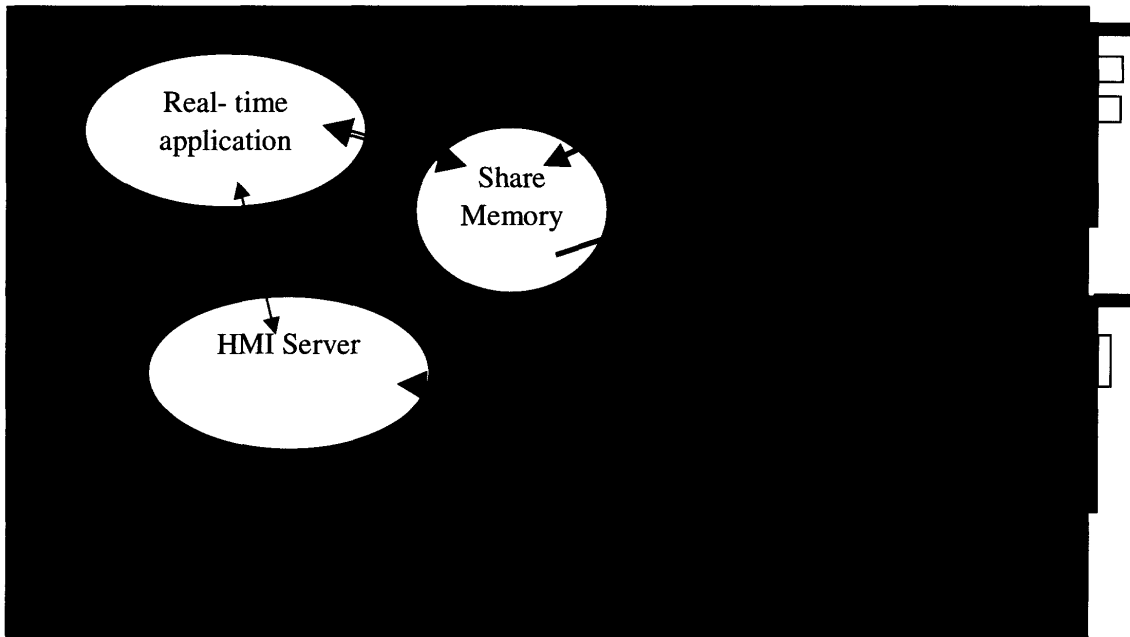


圖33. QNX與SERCDRV控制架構圖

14. 應用

14.1 先進數位伺服系統

先進數位伺服系統設計可分成三大部分，圖34.所示：

- 馬達設計。
- 運動控制設計。
- 網路介面設計。

這次的研習著重在網路介面的原理，好的網路介面可以補償其他部分之不足，藉由即時伺服控制網路，控制器的軟體在作運動控制時就可切入到可達到馬達的位置、速度及電流迴路控制。軟體的運動控制可以更有彈性、更多樣性。

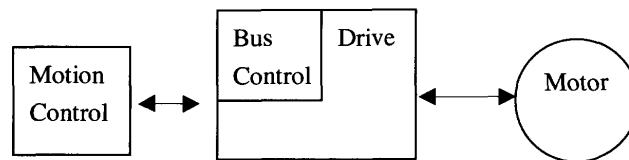


圖34. 數位伺服系統關係圖

14.2 電子齒輪

運動控制器常會提供多軸間同步控制，電子齒輪就是同步控制最典型的例子，補插(Interpolation)和電子凸輪(Electronic CAM)則是電子齒輪的特例，電子齒輪是一種 Master 與 Slave 關係的同步控制，Master 馬達輸出 Encoder 的訊號給 Slave 馬達，Slave 馬達則根據此訊號經過一設定的齒輪比來作一定比例的跟隨，當 Master 快時 Slave 也跟著快，Master 慢時 Slave 也慢，Master 馬達輸出 Encoder 的訊號就像齒輪的齒數一樣，轉得快則齒數就多，Slave 所獲得的齒數也多，轉的也快，如此就像機械的齒輪組一樣，當然齒輪比也可以是負的值，如圖 35 所示。電子齒輪的優點是它可快速設定，機械上齒輪組必須關機拆卸，耗時且當需要不同齒輪比時，則需要好幾組機械齒輪，另外電子齒輪可達到極高精度的齒輪比(如 2.333)，在機械齒輪上需特別的設計。機械齒輪有磨損、噪音及潤滑問題，電子齒輪則無此問題。種種的好處使得許多生產輸送帶，包裝機械，紡織機等都利用電子齒輪來達到多軸馬達同步運動。現有之數位驅動器皆已實作電子齒輪在其韌體(firmware)內，但是如果利用即時網路高速特性，則也可利用軟體控制方式來達成電子齒輪之功能。

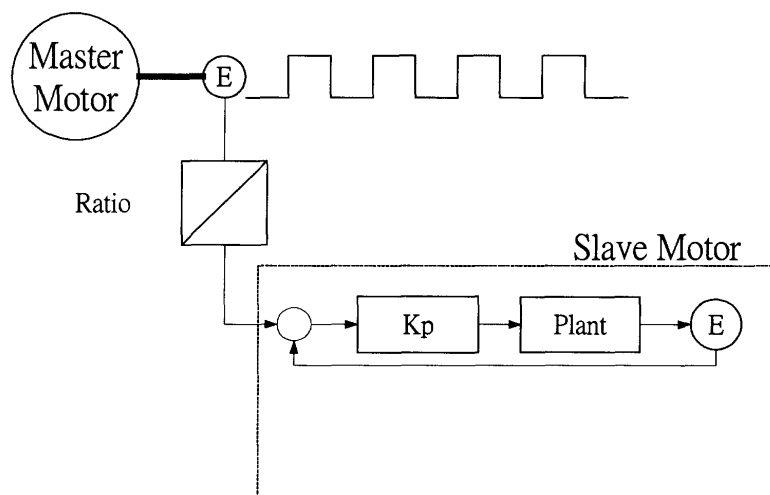


圖 35. 電子齒輪原理

14.3 電子凸輪Electronic Cam

當電子式運動控制器功能越來越強，複製機械式凸輪的功能也變成可能，機械式凸輪的缺點是要產生一機械凸輪必須要機械加工製造，設計完後其功能就定型無法改變，如果想要改變凸輪的曲線，則要另外在設計。若是要好幾種凸輪的剖面，則需發工製造幾組，成本及工時是必需要考量。以電子式凸輪來取代機械式凸輪不僅可程式化各種凸輪剖面在記憶體內，並且可隨時動態更換。當控制器接收到一增量式編碼器incremental encoder或是master馬達的位置命令，則運動控制器會依儲存在記憶體內的凸輪剖面數值表，命令馬達依此數值表剖面形狀來轉動，如圖36所示。當工程師熟悉使用電子凸輪則機械應用上的設計就更多樣性。另一個優點利用滾珠螺桿和馬達就可模擬凸輪及Lifter的功能，然而機械凸輪會出現高速時lifter會脫離凸輪表面，電子凸輪則不會有此現象。

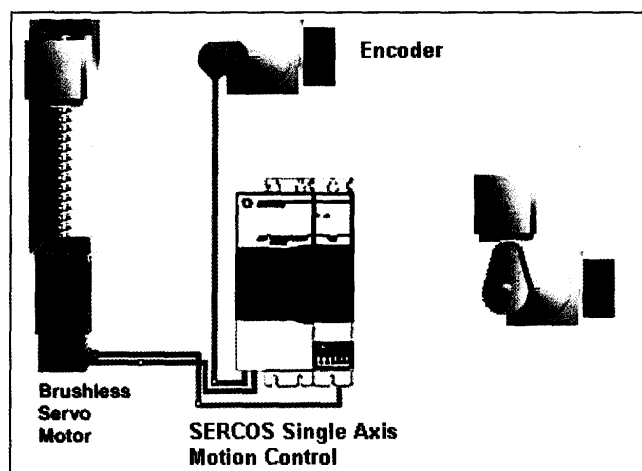


圖 36 為電子凸輪說明圖。

14.4 Cartoner紙盒包裝機

機器描述

紙盒包裝機械主要用於包裝各式加工食品，從寵物食品到一般食品之包裝。因為包裝完成的產品直接到達消費者手上，所以需黏有說明及印刷資料在上頭。這類機器主要分兩類：直立式及水平式。

當產品進入包裝機械，核對樣式選擇相對應的包裝紙盒，在來打開紙盒及定位以便放入產品，感應器會感應產品在輸送帶上的速度，準確的時間及精確的定位來完成包裝程序，再來密封好包裝盒及上膠貼標籤都需要精確的控制。

Design Challenges設計的挑戰

不像一般包裝機械，包裝機需要快速、可靠極具彈性處理各種不同樣式之包裝產品，為達精確定位所有運動控制的元件都需要同步動作，例如，在貼標標籤時，必須從感測器即時回報產品的位置給控制器，在依產品的速度控制紙盒的送出，在放入產品及上膠貼標籤等，馬達同步控制非常需要，才能完成這些動作。在此電子齒輪就是最好之應用地方。

另一關鍵技術是包裝機要適合不同產品的包裝，不同的包裝盒大小，材質及包裝速度，都能調整及設定，使機器達到最高效率，並確保產品不受損害。圖 37. 包裝機械說明圖。

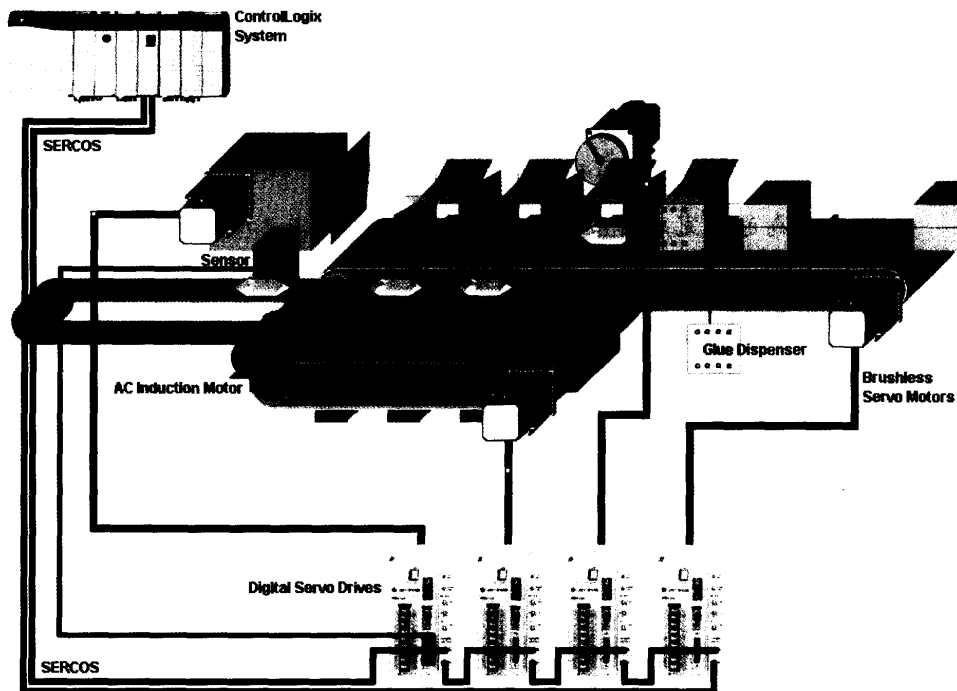


圖 37. 包裝機械說明圖

14.5 Software CNC

CNC的架構因著需求及規劃的不同，也就是不同的控制需要工具機的架構也一尋不同的Pattern，事實上，一個行之有年的pattern已被遵循多年的架構應用在CNC上，就是所謂開放式架構open architecture，關鍵硬體及軟體元件皆可從不同廠商及來源獲得。以往的封閉式架構所有關鍵元件及軟體僅能從原製造商獲得，無從取代或是修改軟體又要找原廠，耗時又耗金錢。

隨著個人電腦的盛行，因著家庭及辦公室廣泛之需求下，個人電腦在速度及性能上突飛猛進，在大量需求下也維持相當低廉的價格，拜此之賜 CNC 的控制也利用強有力且速度快的處理器來當核心，硬體可廣泛從不同供應商獲得，軟體也與一般 PC 軟體相容，只要訓練有素之工程師皆可上手。

然而畢竟 PC 不是為 CNC 而設計，一些特定的功能是 PC 所無法達到，運動控制卡的設計就是為此目的，為補 PC 與 Servo 驅動器堅的空隙在控制機械軸上。運動控制卡主要是控制運作工具機的伺服迴路，計算工具機軸運轉路徑並下命令給伺服控制迴路以保持在所需路徑上。

運動控制卡在收到一連串的 G-Code 命令之後，開始進行它的控制程序，如設定速度參數，方向、位置以及計算給每一軸的路徑後，然後下達命令給伺服放大器，開始馬達運轉，為保持在要求的路徑上，運動控制卡快速回授伺服放大器的速度及位置訊號。但是並不是所有的運動控制卡適合所有 CNC 應用。

顯然 PC 在此功能上仍顯不足，運動控制卡強調即時回授及下達命令以及各種緊急狀況的即時處理，但是微處理器的快速發展以及軟體技術逐漸可以克服這些問題。

有些趨勢越來越明顯，例如 PC 與伺服驅動器間的高速傳輸是非常關鍵，大量的訊息傳輸的快慢影響到整個系統的性能。傳統的 CNC 皆努力在提身內部通訊 BUS 的速度提昇，現在這些問題皆可用高速數位通訊網路達成。

PC 的高速處理能力以及低價的硬體成本，在加上軟體的能力無遠弗界，先進的網路控制技術，未來運動控制卡已有被取代之趨勢，如運動控制卡對命令的處理、計算路徑結果、調整參數、產生新命令等皆可由 PC-Based CNC 軟體控制藉由伺服網路即時控制馬達來完成，這就是 Software CNC。

Software CNC 另一特點就是開放式架構給予工具機製造商及使用者更彈性的空間應不同需求發展所需要的系統，提供快速且低廉的系統給使用者，使用者更易於操作修改以及維護此系統。

15. 心得

這次的研習充分的了解到德國工業自動化中各種網路的發展與應用，從已有 CAN 網路應用經驗之基礎下，進而深入了解 DeviceNet 及 CANopen 通訊協定的定義，由於 CANopen 在歐洲較為普遍，經過這次的洗禮對 CANopen 的原理及應用更能游刃有餘，對於在目前本人工作上有極大的幫助。另一項收穫是了解工廠自動化網路 Profibus 的原理與應用，在德國許多的汽車或生產自動化生產線上，普遍使用 Profibus 網路，相較於國內對此網路較為陌生，對本人而言也是缺乏此實作經驗，目前 Profibus 網路仍不斷推陳出新，完整的 OPC(OLE Process Control)軟體模組支援及無線通訊之發展，值得日後有更多的人投入其研發與應用之學習。

SERCOS 網路雖已推出十餘年，但是在國內的應用可說是一片沙漠，雖有少數學術單位作基礎研究，但在應用上較為少見。在這次研習重點就是在 SERCOS 網路原理了解，唯在應用上只限於紙上談兵。在本組目前也開始籌備規劃將 SERCOS 網路應用實際伺服控制上，希望累積相關能量，日後與國內產業分享成果。

另外以 PC 應用為主起家的 Fireware 及 Ethernet 夾著普遍使用及高速的特性，未來在工業自動化通訊中將是不可忽視之黑馬。

行政院主計處最新的報告指出，我國近三年製造業生產毛額的成長，有八成是來自資本大量增加所致，而非來自技術進步，民國八十七年至八十九年期間我國平均每年的「技術進步率」僅 0.08%，幾近零成長，這一現象值得密切注意。我國的經濟成長對資本依賴過深，對技術依賴過淺的現象極為明顯，先進工業國家的經濟成長除來自大量資本以外，技術進步已成為產業生產力能否提升的重要關鍵。產業自動化是製造業的命脈，如何提升自動化之技術層次，除了引進先進工業國家之技術外，創新、精進也是不可缺乏。這次的研習不僅讓我增廣見聞，也更了解日後研究方向，希望將所學協助本組在工業網路控制應用上能累積更多先進技術能量，並期能協助國內產業在自動化設備整合技術上不斷升級，達到此技術合作計劃之目的。

16. 建議

最後對於經濟部國合處提供這次研習的機會給本人，表達誠摯的謝意，這次研習成果對個人及單位都有極大的助益，對個人拓展見聞及專業技術能力，對單位的技術能量也有相當的提升。對於這類研習給予高度肯定。

本人在此有兩點建議，一是對於審核通過即將出國研習的人，希望經濟部相關產業技術推動單位針對其所提研習課題，能提供國內發展狀況及廠商技術需求，讓研習人員能了解產業的需求及能量，確切帶回產業界所想知道的訊息，以最短的時間獲得最有價值的訊息及技術。

另一建議是將前面以完成研習的人所研習課題及研習單位訊息提供後繼之人參考，讓後繼之人若有相關類似的技術想獲得，也可以從中獲得前人研習單位的資訊。具體說明之，本人所去研習之科技大學在自動化領域上研究相當廣泛，且與產業有密切合作，指導我的 Dr. Kayser 博士提起歡迎日後台灣還有人到此研習，對於我所給他們的研習費，若可行他們願意將之專項利用，日後特別運用在台灣來的研究人員身上，如實驗所需設備或生活必需品。讓該校有更好的資源提供給後繼之人更好的研習環境。

我國的經濟成長好壞與否，產業技術的提升是重要關鍵，提升自動化之技術層次，引進先進工業國家技術是一條必然的捷徑，因此產官學三方面需要緊密配合，政府需要提供產業界更正確且更新的產業訊息，讓業界知道未來產品技術趨勢如何，政府的研究單位應有能力及遠見引進前瞻技術，並協助產業界技術提升及諮詢，而學校因著重在基礎技術研究，讓更多創新及精進技術能由學術界來負責開發。如此產官學三方面各別扮演好其角色，國內產業才能走出自己的天空。

Reference:

- 1、 Controller Area Network Basics, Protocols, Chips and Applications, Konrad Etschberger, 2000.
- 2、 DeviceNet Specification Volume 1, Release 2.0, Open DeviceNet Vendors Association, 1997.
- 3、 CiA DS-301[1996] "CANopen Communication Profile for Industrial Systems", CAN in Automation Organization, 1996.
- 4、 CiA DS-401 to DS-406[1996] "CANopen Device Profiles", CAN in Automation Organization, 1996.
- 5、 Rfieldbus project IST-1999-11316, Deliverable D1.1"Requirements for the Rfieldbus System" Technical Report Apr, 2000.
- 6、 "IEC-61491 數位運動控制即時網路(SERCOS)簡介",陳柏菁、許明景、鄒應嶼, 交通大學電機與控制工程研究所,1997.