



智慧型運動控制平台

— MECHATROLINK-III 主站控制器開發

Development of MECHATROLINK-III Master Controller Based
on Intelligent Motion Control Platform

曾賢正

工研院機械所
智慧機械技術組
機電控制整合部

關鍵詞(Keywords)

- 串列式數位伺服運動控制
Digital Servo Motion Control
- 智慧型運動控制平台
Intelligent Motion control Platform, IMP
- 通用型伺服匯流排
General Servo Bus, GSB

摘要(Abstract)

MECHATROLINK-III 是一種可透過一台控制器與多種從屬設備進行數據交換的開放式現場網路，市場上已有眾多與其相容的設備販售，使用者可以靈活地從中選擇進行系統建構。

本文將介紹 MECHATROLINK-III 串列式伺服運動控制技術，同時也將介紹工研院機械所開發之新一代智慧型運動控制平台 (Intelligent Motion control Platform, IMP) — IMP-2。IMP-2 可經由通用型伺服匯流排 (General Servo Bus, GSB) 透過子板擴充實現 MECHATROLINK-III C1 主站端控制器。

MECHATROLINK-III is a field network that allows one controller to exchange data with multiple slave devices. There are many ready-made compatible devices sold on the market, so users can flexibly construct systems with them.

This article presents the serial servo motion control technology of MECHATROLINK-III protocol and introduces the new generation of Intelligent Motion control Platform, IMP and General Servo Bus, GSB developed by ITRI MSL.



The MECHATROLINK-III C1 master controller is implemented by connecting with the daughter board through GSB.

1. 前言

傳統自動化設備與工具機台所使用的伺服控制技術面臨多軸同步與即時性能不佳，且受限於配線繁多及雜訊干擾等問題，因而利用串列式數位伺服控制透過即時通訊系統，並經由網路媒介傳遞純數位訊號與控制參數，應用於工業自動化控制系統中的各式通訊傳輸協定，遂於近年來逐一被提出。

為滿足各家不同全數位伺服介面，IMP-2 智慧型運動控制平台提供一組通用型伺服匯流排，只需搭配不同的全數位伺服驅動介面子板，IMP-2 即可與不同廠牌的全數位網路伺服驅動器連結。

2. 串列式數位伺服運動控制

串列式數位傳輸技術應用於自動化設備的網路系統是一共通的趨勢，其主要優點為配線容易、抗干擾性、遠端控制，並可發展更高速度及高精度的運動控制技術。

全球控制器廠商或是相關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，其中如 SERCOS、PROFINET、POWERLINK、ETHERCAT、MECHATROLINK、SSCNET、RTEX...等。雖然沒有共通的通訊協定標準，但是

對於技術需求與目標均是一致的，即期望達到：

1. 即時性：必須在固定的週期時間內完成傳輸控制命令。
2. 有彈性：可選擇週期性或非週期性的傳送接收伺服命令及更新伺服驅動參數與周邊 I/O 資料。
3. 抗干擾：藉由數位傳輸並加入錯誤檢測碼的機制，降低雜訊干擾。

3. IMP-2 智慧型運動平台

工研院機械所開發之新一代智慧型運動控制平台 IMP-2 內含一顆具有 CPU Built-in 的運動控制晶片，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，同時也預留了通用型伺服匯流排(GSB)與全數位串列式伺服介面整合，目前 GSB 支援三菱的 SSCNET-III 及安川的 MECHATROLINK-III。

通用型數位伺服介面的提出為致力於提供可搭配多種數位伺服控制網路通訊協定的解決方案，藉由 GSB 的中繼並與各自通訊協議專屬硬體子板的銜接，控制器可選擇性地連接多家不同通訊協議大廠的伺服驅動設備，具備更為靈活的伺服網路系統設置與更為寬廣的應用場合。

由於 IMP-2 使用 CPU Built-in 運動控制晶片，因此可單機完成專用控制需求。或是透過 Ethernet 或 PCI 與 PC 連結，精密運動軌跡運算交由運動控制晶片的 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，IMP-2 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，可滿足串列式數位伺服技術的需求。

4. MECHATROLINK-III 專用伺服驅動介面子板硬體開發

MECHATROLINK-III 通信上採用專用 ASIC，可設定成主站及從站模式，其架構如圖 1 所示，利用 MII 及 Repeater control 模組連接

Ethernet PHY & MECHATROLINK-III MAC 以提供通訊傳輸介面。IMP-2 則可經由 GSB 透過 Host I/F 來存取 ASIC 內部暫存器，此 ASIC 支援 little endian 及 big endian 資料格式，且提供 16 或是 32 位元存取方式，更多功能模組的介紹及模式設定方式可參考其硬體使用手冊[1]。

經由電路設計完成 MECHATROLINK-III 伺服介面驅動子板，圖 2 為此子板透過 GSB 與 IMP-2 結合的方式。此外利用硬體描述語言進行數位邏輯設計，使 GSB 的讀寫的時序相容 MECHATROLINK-III 專用 ASIC 的規範。

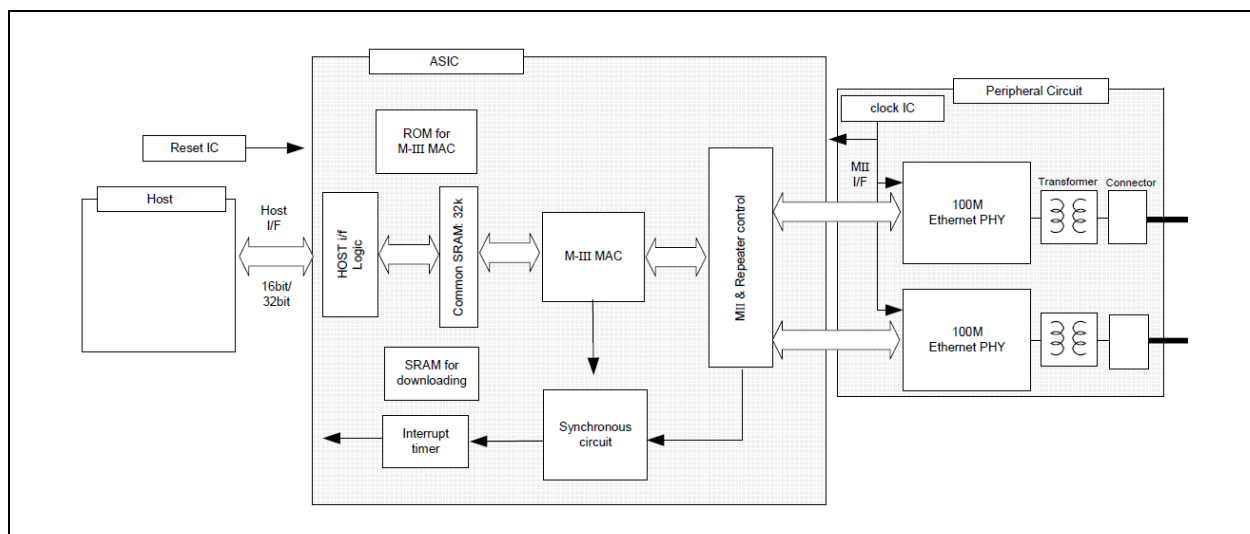


圖 1 MECHATROLINK-III ASIC 功能方塊圖

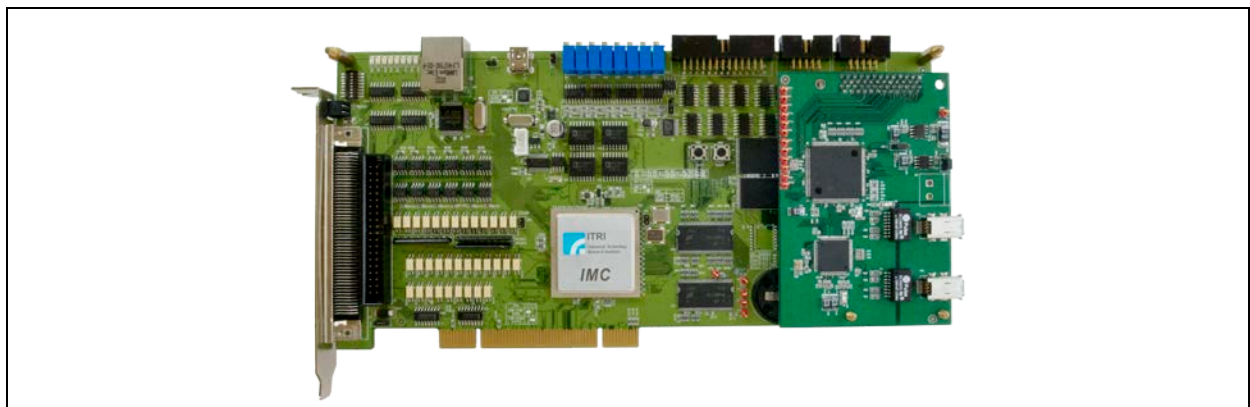




圖 2 IMP-2 與 MECHATROLINK-III 伺服介面驅動子板結合方式

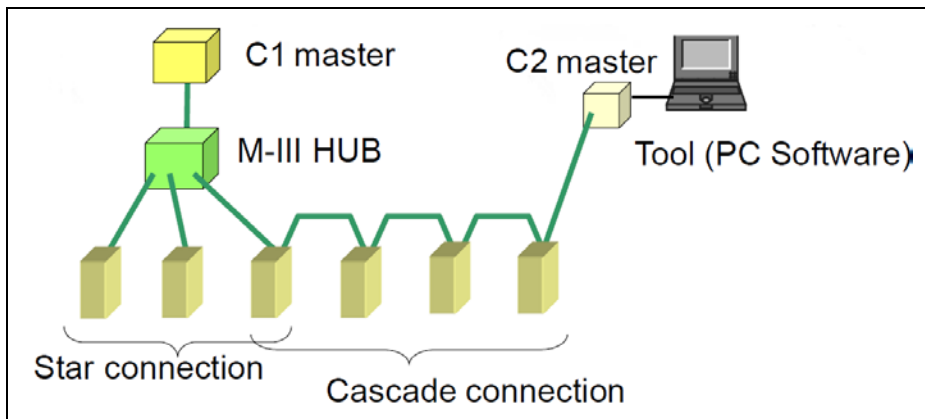


圖 3

串聯型/星型混合連接架構

5. MECHTROLINK-III 通訊協定介紹

MECHATROLINK-III 系統的連接形式是由一 C1 主站及最多 62 從站所組成的網路系統，必要時可連接一 C2 主站，在系統中可以自由選用串聯型(cascade)和星型(star)方式連接，圖 3 為串聯型/星形混合連接架構。

MECHATROLINK-III 通信協定網路堆疊可以分為三層，分別為物理層、資料連結層及應用層。物理層的部份相容標準乙太網路，規格如表 1 所示。資料連結層的資料格式如圖 4 所示，與標準的乙太網路是不同的，如表 2 所示其資料的存取分別由 ASIC 及韌體所控制，各位元的詳細介紹請參考其協定說明書[2]。

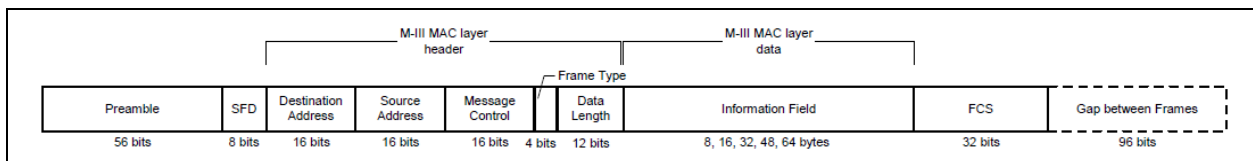


圖 4 傳輸資料格式

表 1 物理層規格

項目	內容
連接形式	串聯型/星型
傳輸電纜	CAT5e STP (Shielded Twisted-Pair cable)
連接器	RJ45 或工業微型 I/O 連接器 (TYCO AMP 製造)
傳輸距離	最大 6300 m

站間距離	最大 100 m
連接站數	1 站 C1 主站；最多 1 站 C2 主站；最多 62 站從站
速率	100 Mbps
通道編碼	4B/5B MULT-3
連接站類別	C1 主站：網路管理站 C2 主站：信息主站



	從站：被動站
傳輸隔離方式	Transformer

表 2 資料存取實現方式

Frame Data	控制層	實現方式
Preamble	資料連結層	通信 ASIC (含部分驅動程式)
SFD		
Destination Address		
Source Address		
Message Control		
Frame Type	應用層	驅動程式
Data Length		使用著程式
Information Field		
FCS	資料連結層	通信 ASIC

MECHATROLINK-III 通信模式有兩種，分別是循環通信模式(Cyclic Communication Mode)及事件驅動通信模式(Event-driven Communication Mode)。循環通信模式於每個傳輸周期在主站與從站之間進行數據交換，其資料長度每個從站可單

獨設定為 8/16/32/48/64 位元組，傳輸周期則由主站來進行設定。C1 主站在每一傳輸周期開始時廣播同步信號，再分別向各個從站執行一次指令數據的發送和響應數據的接收，此時分別對從站進行響應監視，對響應數據接收異常及未收到響應數據的從站設為重試對象。C1 主站在完成全部從站的數據交換後，硬體對於重試對象再次執行數據發送和響應數據接收的動作。圖 5 以從站數 3 站為例，ASIC 會依據設定在通信週期內執行重送機制。事件驅動通信則不使用同步信號，適用於從站之間不需要進行同步動作的系統。圖 6 表示每一從站接收到主站的指令數據後在自己的響應時間內回應響應數據，因此傳輸周期並不固定。在事件驅動通信模式下其資料長度固定為 64 個位元組，且從站設備需在 50 ms 內回應，其重試機制必須利用撰寫主站驅動程式來實現。

圖 7 描述循環通信模式下的通信步驟，接通 C1 主站及從站電源後進入 Phase1，C1 主站在完成內部初始化處理後，會確認從站的響應狀態，接著對所要連接的從站發出建立連接

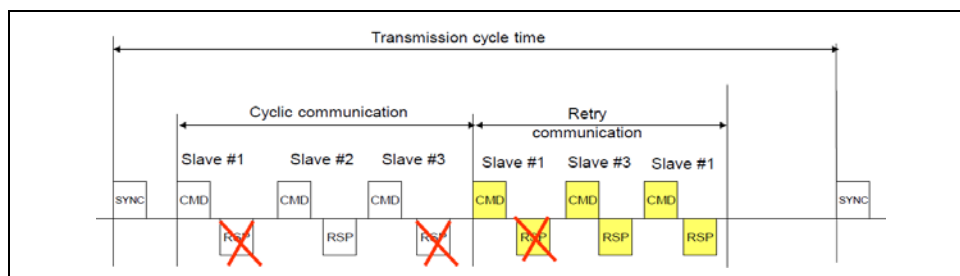


圖 5
循環通信傳輸順序

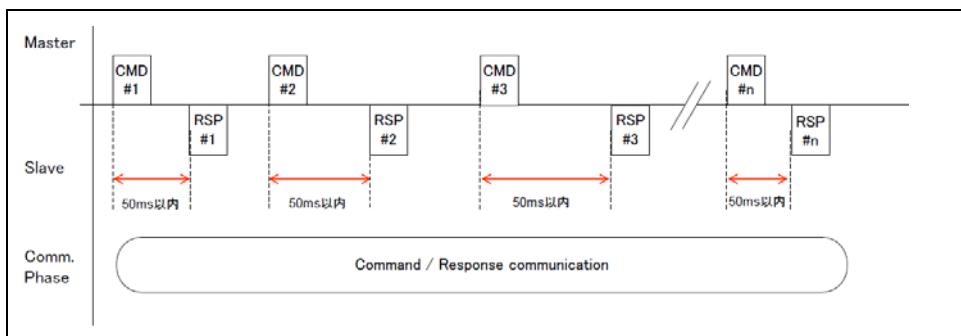


圖 6

事件驅動通信傳輸順序

C1 Master Station			Phase Transition between the C1 Master and Slave Stations	Slave Station	
Phase	Device Operation	Command		Device Operation	Phase
Phase 0	Power ON	—		Power ON	Phase 0
Phase 1	Cyclic communication initialization state	CONNECT		CONNECT state	Phase 1
Phase 2, 3	Normal operation state	Normal operation command		Normal operation state	Phase 2, 3
Phase 4	Normal operation	DISCONNECT		Stop communication	Phase 4
Phase 5	Power OFF	—		Power OFF	Phase 5

圖 7

循環通信模式通信步驟

(CONNECT)命令。從站內部初始化處理後則等待建立連接，收到建立連接命令後進入下一個 Phase。C1 主站在 Phase2 只能使用非同步命令，透過同步建立請求(SYNC_SET)命令可進入 Phase3，此時可使用循環通信模式下所有的命令。當主站要關閉電源或是需更改系統結構時，會向對象從站發出連接斷開(DISCONNECT)命令，此時從站會進入連接建立等待的狀態，C1 主站及從站在斷電後則進入 Phase5。事件通信模式除了不能進入 Phase3 使用同步命令外，其餘步驟與循環通信模式相同。

表 3 各架構及其資料長度

架構代碼	架構	資料長度
0x00	MECHATROLINK-II 兼容架構	16/32 bytes
0x01	獲取事件驅動信息架構	64 bytes

6. MECHATROLINK-III 命令系統

表 3 列出 MECHATROLINK-III 命令架構及其資料長度，透過發送連接建立命令時，可設定架構代碼來選擇架構。每一個架構可提供 00h 到 FFh 共 255 個命令代碼，其群組定義如表 4 所示。以標準伺服架構為例，其命令一覽如表 5 所列，圖 8 為利用標準伺服架構對伺服馬達控制的命令順序範例。



0x02 - 0x0F		保留	-
0x10 - 0x1F	0x10	標準伺服架構	32/48 bytes
	..		
	0x1A	標準步進馬達驅動架構	32/48 bytes
	..		
0x20 - 0x2F	0x20	標準變頻器架構	
	..		
0x30 - 0x3F	0x30	標準 I/O 架構	16/32/48/64 bytes
	..		
0x40 - 0xFF		保留	

表 4 命令群組定義

命令代碼	命令群組
0x00 - 0x1F	所有架構通用命令
0x20 - 0xBF	各架構專用命令
0xC0 - 0xFF	使用者定義命令

表 5 標準伺服架構命令



	命令代碼 [HEX]	命令	動 作	支援 ^{*1}	通信層		
					1	2	3
通用命令	00	NOP	無作業	必須	—	○	○
	01	PRM_RD	參數讀出	*2	—	×	×
	02	PRM_WR	參數寫入	*2	—	×	×
	03	ID_RD	ID 讀出	必須	—	○	○
	04	CONFIG	裝置設置請求	必須	—	○	○
	05	ALM_RD	異常 / 警告讀出	必須	—	○	○
	06	ALM_CLR	異常和警告清除	必須	—	○	○
	0D	SYNC_SET	同步建立請求	必須	—	○	△
	0E	CONNECT	連接建立請求	必須	○	△	△
	0F	DISCONNECT	中斷連接請求	必須	○	○	○
	1B	PPRM_RD	永久記憶體參數讀出	*2	—	×	×
	1C	PPRM_WR	永久記憶體寫入參數	*2	—	×	×
	1D	MEM_RD	記憶體資料讀出	任意	—	○	○
	1E	MEM_WR	記憶體寫入資料	任意	—	○	○
標準伺服	20	POS_SET	座標系設定	任意	—	○	○
	21	BRK_ON	煞車動作請求	任意	—	○	○
	22	BRK_OFF	煞車動作解除	任意	—	○	○
	23	SENS_ON	感應器 ON 請求	必須	—	○	○
	24	SENS_OFF	感應器 OFF 請求	必須	—	○	○
	30	SMON	伺服狀態監視	必須	—	○	○
	31	SV_ON	伺服 ON	必須	—	○	○
	32	SV_OFF	伺服 OFF	必須	—	○	○
	34	INTERPOLATE	補間進給	必須	—	×	○
	35	POSING	定位	必須	—	○	○
	36	FEED	定速進給	必須	—	○	○
	37	EX_FEED	外部輸入定位定速進給	任意	—	○	○
	39	EX_POSING	外部輸入定位	任意	—	○	○
	3A	ZRET	原點復歸	任意	—	○	○
	3C	VELCTRL	速度控制	任意	—	○	○
	3D	TRQCTRL	轉矩（推力）控制	任意	—	○	○
	40	SVPRM_RD	伺服參數讀出	必須	—	○	○
	41	SVPRM_WR	伺服參數寫入	必須	—	○	○

*1. 必須：務必支援。
任意：可依據產品規格自行決定。

*2. 標準伺服命令架構不使用 PRM_RD、PRM_WR、PPRM_RD、PPRM_WR。而使用 SVPRM_RD、SVPRM_WR。

*3. 通信層之記號如下所示。
×：命令故障
○：可執行
△：忽視
—：不確定回應資料



圖 8 伺服馬達控制範例[3]

7. C1 主站控制器驅動程式開發及軟體使用規劃

MECHATROLINK-III 驅動程式開發[4]可分為兩部分。首先是初始化部份，主站狀態的變化如圖 9 所示，其詳細流程如下。

1. 開始時為初始化請求狀態(Initialization Request Waiting State)，執行 ASIC 設定程序後，確認是否為操作正常狀態。
2. 進行讀寫 SRAM 測試及參數與設定初始化，此時進入連接站檢出請求等待狀態(Connected Station Detection Request Waiting State)。
3. 確認從站完成連結後進入延時量測請求等待狀態(Delay Time Measurement Request Waiting

State)。

4. 送出量測延遲時間要求，且確認獲得各從站傳輸延遲時間(TR_DLY)。
5. 計算各站響應監視時間(T_RSP)及中斷延時(INT_OFFSET)，定義如圖 10 所示。依計算結果設定通信參數，接著進入傳輸周期通知請求等待狀態 (Transmission Cycle Notification Request Waiting State)。
6. 使用傳輸周期請求通知，且確認各從站的狀態後進入通信開始請求等待狀態(Communication Start Request Waiting State)。
7. 選擇循環通信模式或是事件驅動通信模式，此時分別會進入事件驅動通信狀態(Event-driven Communication State)或循環通信狀態(Cyclic Communication State)。

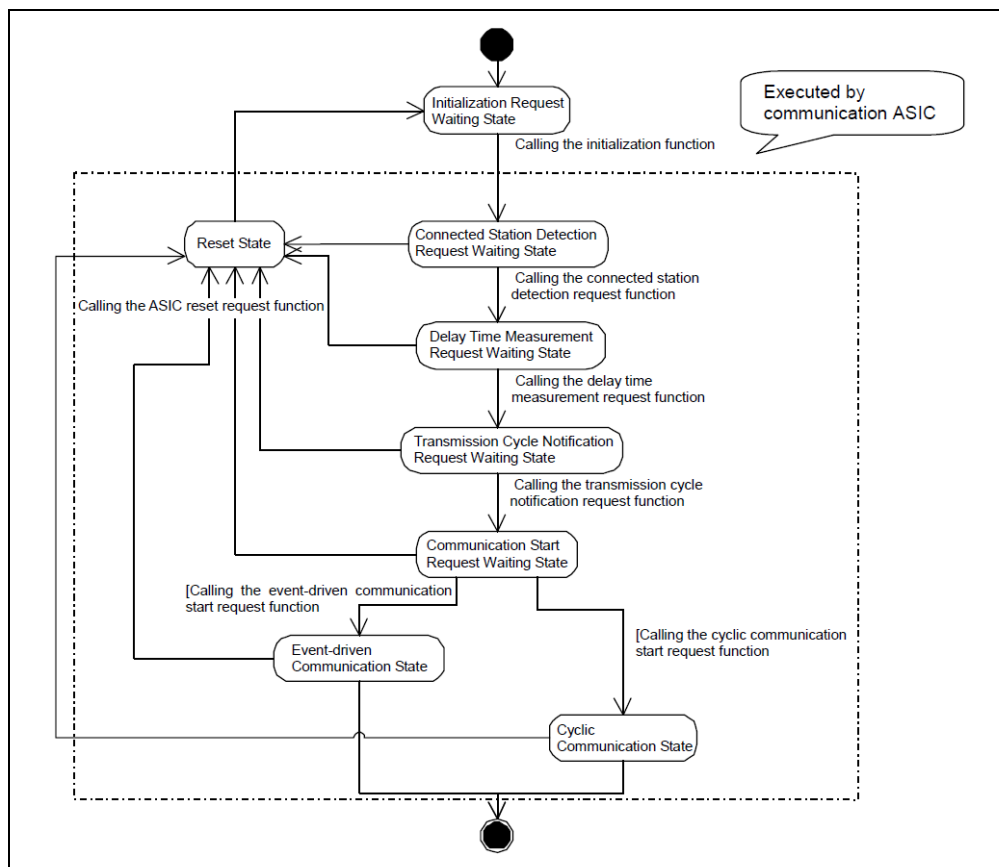


圖 9

C1 主站狀態轉移圖

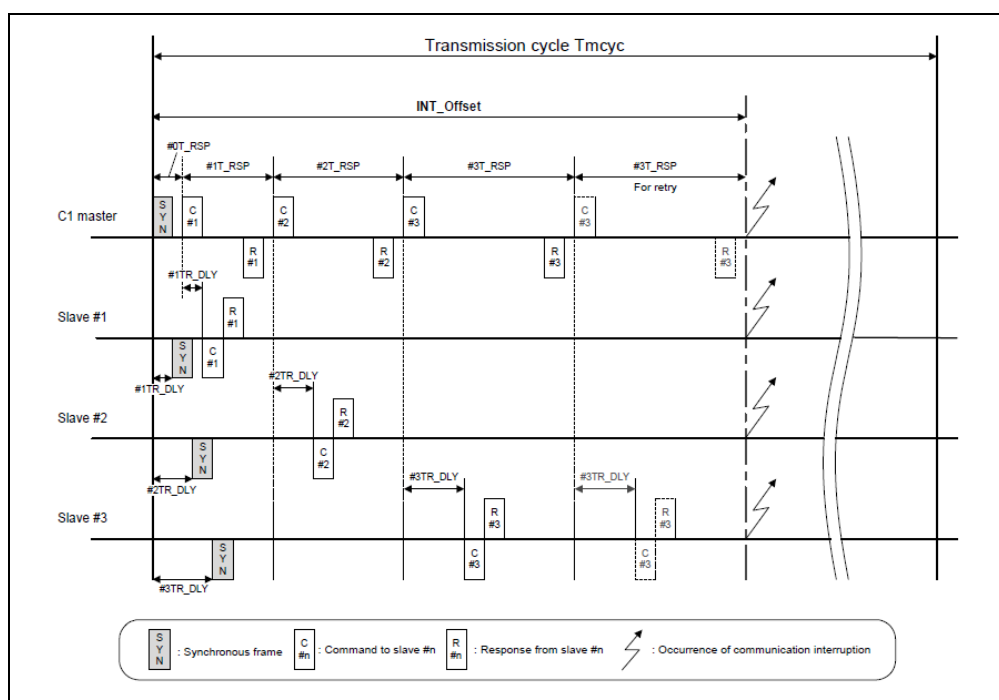


圖 10

循環通信時序圖

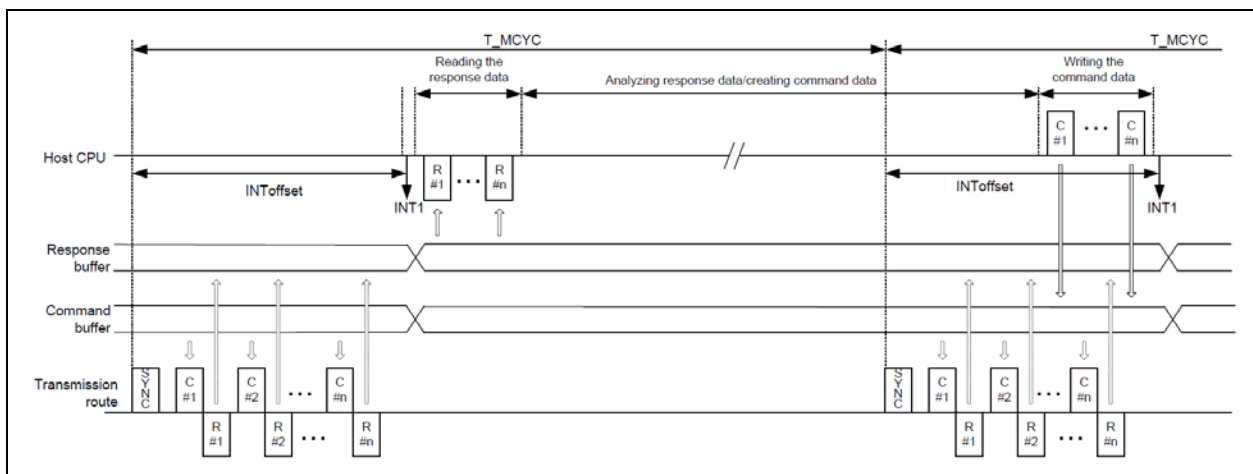


圖 11 循環通信資料傳輸順序

在循環通信模式部分，循環中斷 INT1 發生時會處理傳輸資料交換，此部分的程式要放在中斷伺服函式(Interrupt Service Routine, ISR)中，其資料傳輸順序如圖 11 所示。在中斷延時內分別從命令緩衝存儲器(Command Buffer)取出命令送給所有從站，同時也把從站的回應資料放入回應緩衝存儲器(Response Buffer)內。在循環中斷發生後讀取回應緩衝存儲器資料，經判斷後產生下一筆命令，且將其放入命令緩衝存儲器中。以上的步驟將在一個傳輸週期內完成，因此傳輸資料的長度及控制從站的數目將會決定其傳輸周期。

圖 12 為智慧型運動控制平台的功能模組，最底層是硬體部份，透過通用型伺服匯流排可與 MECHATROLINK-III 專用子板連結。驅動函式庫 (IMP Device Driver Library, IDDL) 部分是用來驅動運動控制平台硬體，此部份提供 MECHATROLINK-III 驅動程式。運動控制函式庫 (Motion Control Command Library, MCCL) 部分負責加減速規劃及差值點計算…等運動控制軟體功能，使用者利用 MCCL 提供的函式進行軟體撰

寫，快速實現各種運動控制功能，可輕易地完成系統開發。

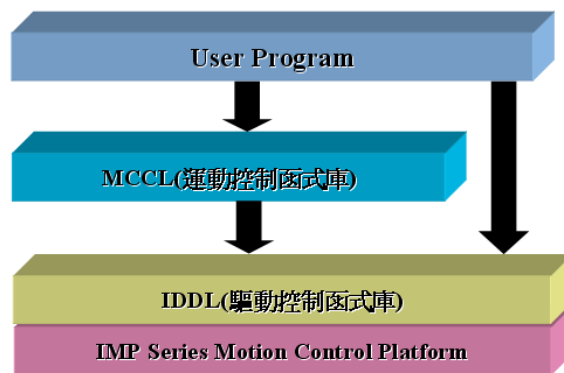


圖 12 運動控制函式庫架構

8. 結論

目前各協定百家爭鳴，大致上可分為使用專用通信協定晶片及一般乙太網路卡兩類，MECHATROLINK-III 通訊協定屬於前者，其部分通信機制由專用晶片硬體處理，因此在開發上相



對容易。隨著串列式伺服運動控制技術的進步，在便利的擴充性與使用彈性等方面皆有大幅度的躍昇，並且在偵錯維修上也將更為容易。期望本技術的開發，能帶動並提升國內相關產業技術。

致謝

感謝工業技術研究院機械與系統研究所(計畫編號 C353C74200)的支持，且感謝台灣安川開發科技股份有限公司與 MECHATROLINK 協會 (MECHATROLINK Member Association, MMA)在開發階段提供協助與諮詢，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] MECHATROLINK Member Association, Document No. MMA TDEP 019A “MECHATROLINK-III Communication ASIC JL-100/JL-101 Hardware User's Manual”.
- [2] MECHATROLINK Member Association, Document No. MMA TDEP 020A “MECHATROLINK-III Protocol User's Manual”.
- [3] MECHATROLINK-III Seminar, 2011.
- [4] MECHATROLINK Member Association, Document No. MMA TDEP 024A “MECHATROLINK-III Communication ASIC JL-100/JL-101 (C1 Master) Access Driver”.

