

	智慧照明系統標準	總號	
	第四部：場域網路設計準則	類號	

Intelligent Lighting System Standard,
Part IV: Design Guide for Field Area Network

目錄

節次	頁次
1. 前言	3
1.1. 簡介	3
1.2. 文件範圍	3
1.3. 版權聲明	3
2. 引用標準	4
3. 用語釋義	5
3.1. 範圍	5
3.2. 文件格式	5
3.3. 名詞定義	5
4. 閘道器監控程式	6
4.1. 管理廣域網路連線	6
4.2. 管理受控裝置	7
4.3. 情境控制	8
4.4. 主動回報	9
4.5. 存取順序與資料同步	10
5. 場域控制模組	11
5.1. 實作型態	11
5.2. 場域控制協定連線形式	12
5.3. 參數表存取	13
5.4. 整合場域網路傳輸媒體	15
6. 場域網路傳輸媒體	18
6.1. ZigBee	19
6.2. MODBUS	28
6.3. UDP/IP	31
6.4. PLC 電力線通訊	33
6.5. 整合既有自動控制技術	34
附錄 A MODBUS 授權文件	35

(共 36 頁)

公 布 日 期 年 月 日

修訂公布日期 年 月 日

印行年月 年 月

本頁保持空白

1. 前言

1.1. 簡介

本系列標準規定智慧照明系統必要之管理介面、控制與通訊協議，以及智慧型照明設備之功能規格，以適用於道路照明、停車場照明、商業大樓照明與一般家庭照明用途。

智慧照明系統涵蓋設備與設備之間的近端通訊、以及個別照明場域與中控中心之間的廣域網路通訊。且涵蓋之種類包含照明設備、感測設備、自動控制設備、以及資通訊系統。現行之自動控制業界標準，皆僅專注於設備之間的通訊，而未曾將由中控中心、閘道器、直到設備端的通訊以一貫化、系統化的方式進行設計。故特制定本標準，期能統合不同設備、乃至於不同元件之生產製造者，以「標準相容」的精神，降低系統整合複雜度。

本系列標準所涵蓋之範圍較廣，故分成多部文件，個別文件涵蓋系統不同層級之設備。實作者應依據其產品之位階，參照其對應之文件。

1.2. 文件範圍

本文件依循「智慧照明系統標準—第二部：廣域網路介面規範」（以下簡稱「廣域網路介面規範」），以及「智慧照明系統標準—第三部：場域網路介面規範」（以下簡稱「場域網路介面規範」）內容，敘述於不同應用情境中，產品應遵循之規範項目。

本文件之內容主要為實作相關之建議（技術指引），涵蓋照明監控伺服器（以下簡稱「監控伺服器」）、照明監控閘道器（以下簡稱「閘道器」）及受控裝置。內容包含平台選用、系統規劃方法、標準產品之場域通訊協定設計、以及常見問題的迴避方式。實作應參考本文件之技術指引，選擇適用的平台、技術，以利於產品開發，提昇產品穩定性與相容性。

1.3. 版權聲明

本文件內所有內容，包含文字、圖片、表格，除特別標記引用來源以外，皆由草擬單位自行整理製作。所引用之第三方技術，亦皆於文件內包含其授權聲明。

—以下空白—

2. 引用標準

下列標準所引用部分視為本規範內容之一部分。對於有標註日期者，僅引用其所標示之版次，對於未標註日期者，則以最新版次（包含所有增、修訂部分）為主。

- 智慧照明系統標準—第一部：系統功能
- 智慧照明系統標準—第二部：廣域網路介面規範
- 智慧照明系統標準—第三部：場域網路介面規範
- RFC 793: Transmission Control Protocol, 1981.
- RFC 768: User Datagram Protocol, 1980.
- RFC 5342: IANA Considerations and IETF Protocol Usage for IEEE 802 Parameters, Sep. 2008.
- IEEE 802.15.4 (2006) : Physical layer and media access control for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs).
- ZigBee Specification (2007)
- EIA RS-232C : Interface between Data terminal equipment and Data communication equipment employing serial data interchange
- EIA RS-485 : Standard defining the electrical characteristics of drivers and receivers for use in balanced digital multipoint systems.
- MODBUS : Serial communication protocol.

—以下空白—

3. 用語釋義

3.1. 範圍

本標準適用「智慧照明系統標準—第一部：系統功能」、「智慧照明系統標準—第二部：廣域網路介面規範」、「智慧照明系統標準—第三部：場域網路介面規範」所列之名詞定義、規範約束程度定義，以及其他常用詞句定義。

3.2. 文件格式

本文件編輯格式依循 CNS 3689「國家標準之編修規則及格式」之規範，包含小節段落、圖片與表格編號方式等。其餘自行宣告之規則如下：

- 標示十六進位數據時，為與十進位數據區別，本文件一律採用 C/C++、POSIX shell 通用之標示法，於數值前置「0x」。如「0x5A」。
- 用於表示 ASCII 字符、程式碼、變數、常數之英數字符代號，將以粗體等距英文字型標記。
- 用於規範約束程度之用語，亦即「須」、「應」、「可」、「宜」與「不可」，一律使用粗體字型標記。上述單字用於無關「約束」之詞彙時（例如「回應」、「可能」），則使用一般內文字型，無特殊標記。

3.3. 名詞定義

本文件內適用下列之特定名詞定義：

- **分割 (Fragment)**：於封包交換式網路中，若傳輸資料大於單一封包容量，則須將資料拆分成許多小節，利用多個封包傳輸，至通訊受控端再重新組合。
- **異動任務 (Transaction)**：於一般資料操作中，異動任務意指一執行程序分成多個步驟執行，直到所有步驟全數執行完畢，該執行程序才算完成。若其中有任一執行步驟執行失敗，則先前所有執行步驟所產生之異動全部取消，回復至尚未執行之狀態。本文件將之引申為封包分割傳輸：一傳輸過程中，接收端須確認所有分割封包皆完成接收之後，方可進行處理。
- **串流 (Bitstream)**：於通訊網路接收端，所有資料位元皆依照發送端的發送時間順序抵達。
- **資料包 (Datagram)**：於通訊網路接收端，以封包為單位接收資料，但接收封包的順序與發送端的發送時間順序無關。

—以下空白—

4. 閘道器監控程式

4.1. 管理廣域網路連線

4.1.1. 選擇連線方式

閘道器監控程式可選擇使用「長期穩定連線」或「短期單次回報」兩種方式，與監控伺服器建立連線。

短期單次回報之目的在於降低監控伺服器端運算負荷。因為每一條 TCP/IP 連線都會消耗一定程度的系統資源來維持，同時傳統的輪詢式多程式（select、poll）在連線數量到一定程度以後，效能也會大幅降低。因此若是控制場域數量不斷增加，監控伺服器的效能很容易就會被大量連線拖垮，此時短期單次回報就顯出其價值。

同時由於短期連線不須要處理遠端控制命令，閘道器監控程式本身會比較容易實作，耗費資源也較少。對於運算資源較低的閘道器平台來說，這也是降低成本的作法。

但是短期單次回報連線僅能由閘道器端主動回報資訊，適用於單純的環境感測數據量測、電力讀表等應用，不適用於須要人工介入遠端操控的應用（例如開關、裝飾照明控制等），所以須依照實際佈建的應用情境，選擇適合的方式。

一種常見的策略是：剛開始佈建一個新的場域時，先使用簡易型閘道器，等應用範圍慢慢擴充之後，再換用完整型閘道器。本系列標準能完整支援以上的策略：一受控裝置可於系統架設完成後，「轉移」至另一個閘道器之下，然後讓新聞道器重新登入（LOGN.REQ）。

4.1.2. 連線管理

閘道器監控程式若使用長期穩定連線，則閘道器監控程式在連線中斷時須嘗試重新連線。重新連線的間隔時間與次數，本標準並未規範，但建議實作採用「遞增」方式計算重新連線的間隔時間。亦即一開始以較短間隔時間重連（30 秒），重複數次後，將間隔時間加長至 1 分鐘，再來是 2 分鐘，依此類推，直到最大值 30 分鐘為止。

閘道器端亦須對「物理性斷線」進行監控。在一般典型實作中，發生物理性斷線時，TCP 連線兩端並未執行交握斷線，亦即連線的兩端通常不會立即知道該連線已中斷，直到傳輸封包時發送端 TCP 層發現無應答，通知上層應用程式為止。通常發生物理性斷線後，會經過很久的時間，應用程式才會接到斷線通知。

依據廣域網路介面規範，監控伺服器端須使用「PING.REQ」來做應用程式層級的檢查。但在閘道器端，因閘道器會經常性發送通知封包，故並未設計類似機制。若在實際應用情境中，閘道器不會經常性發送通知封包，則實作應自行加入物理性斷線監控。對於物理性斷線的問題，典型的解決方式是利用作業系統層提供的「Keep Alive」服務。使用 Keep Alive 服務時，作業系統會定時發送一個 0 byte 長度的封包，藉此檢測是否斷線。若作業系統平台並未提供類似服務選項，閘道器實作亦可藉由檢查是否有定期接收到「PING.REQ」命令封包來做監控。

另外一種實作方式，則是利用作業系統排程服務，由另一個執行程序定期發出 ICMP Echo 指令（亦即「ping」），並在發現斷線時，利用 IPC 方式通知閘道器監控程式。

依據不同程式寫作方法，後者之實作方式或許會比較容易整合。

4.1.3. 監控伺服器離線、轉移

在典型實作中，監控伺服器於運作一段時間後，通常須要定期離線維護，例如清除快取、整併資料庫資料、作業系統升級，或是轉移到更新容量更大的硬體平台上。當監控伺服器須要離線，或是轉移至其他平台時，對於長期穩定連線的閘道器，應利用「**GSET.REQ**」指令，設定閘道器「泛用閘道器設定」（功能模組代號 **11**）的「**L.HOST**」與「**L.PORT**」屬性，指定新的監控伺服器位置，再利用「**GSET.REQ**」指令，設定閘道器泛用服務對應（功能模組代號 **0**）的「**STAT**」屬性，讓閘道器斷線重新連接。

但對於採用短期單次回報連線的閘道器，監控伺服器無法主動通知，故本系列標準規範使用短期單次回報連線的閘道器須定期發送「**SCHK.IND**」（短期連線偵測通知）封包至監控伺服器端，並由監控伺服器回覆連線參數。

亦即當一智慧照明系統中包含短期單次回報的閘道器，原監控伺服器與替換之監控伺服器便須平行運作一段時間，直到所有長期及短期連線閘道器皆完成轉移為止。

4.2. 管理受控裝置

4.2.1. 裝置列表

裝置列表可由個別場域控制模組的裝置列表參數表取得。但閘道器監控程式執行時，仍應保有一份該閘道器所管轄所有裝置之列表。裝置列表用途有三：

- 作為路由選徑：閘道器監控程式連接多個場域控制模組時，若閘道器監控程式對指定裝置進行存取，則須辨識該裝置是屬於哪一個場域控制模組，並且只對該指定場域控制模組執行後續操作。
- 由服務終端對照功能模組種類：包含「**GSET.REQ**」、「**GGET.REQ**」廣域網路命令，以及映射參數表讀取命令，皆僅有包含服務終端號碼，不包含功能模組代號。因此閘道器監控程式須利用裝置列表，查詢該裝置之服務終端對應功能模組編號，藉以解析封包內容。

閘道器監控程式實作亦可使用非揮發式記憶體（Non-volatile）保存受控裝置資訊，同時利用場域控制模組的裝置列表「**VERSION**」欄位來維護版本同步，如此即能降低由場域控制模組讀取完整裝置列表的次數。

4.2.2. 功能模組屬性存取

閘道器監控程式本身須實作三個功能模組：泛用服務對應表、泛用閘道器設定及泛用閘道器排程。當處理監控程式使用「**GSET.REQ**」與「**GGET.REQ**」命令存取上述三個功能模組的屬性時，閘道器監控程式須能正確處理。

除了上述三個閘道器內建功能模組以外，閘道器監控程式亦須具備對於受控裝置功能模組進行存取之能力。

當閘道器監控程式在接收到一「**GSET.REQ**」或「**GGET.REQ**」命令時，首先應辨識指定裝置、指定服務終端的功能模組為何，並依據功能模組設定，辨識「**GSET.REQ**」或「**GGET.REQ**」命令中，個別屬性對應參數表中的偏移量，以及資料型態。之後，應將指定讀取或寫入的屬性轉化為讀取/寫入映射表命令，交由場域控制模組處理。

本系列標準所採用之控制方式與資料模型，原則上是以前一個功能模組對應一個受控裝置參數表為主，同時功能模組支援寫入處理的屬性，以及參數表中支援「寫入」操作之參數相對位置，亦經過設計編排，因此「寫入」（**GSET.REQ**）命令在實作

上相對單純。

「讀取」(**GGET.REQ**) 命令在實作上會較為複雜，因讀取命令內包含的屬性，可能會分散在參數表中不連續位置。但本系列標準規範之非同步執行原則，並未限制閘道器發送「**GUPD.IND**」封包的次數及排序。因此實作亦可選擇讀取參數表中整塊內容（甚至整個參數表），並將「並未詢問」的屬性，一起併入「**GUPD.IND**」封包內，分單次或者多次回傳。「泛用感測器模組」之感測數據被動讀取，便是利用這種方式設計。

部分參數表中包含「不固定長度」之欄位，此類欄位經過設計，皆放置於參數表的尾端。讀取此類欄位時，閘道器監控程式可選擇一次讀取「最大長度」。依據場域控制協定規範，若目標的實際資料長度小於指定讀取長度，取回資料的長度亦為實際資料長度。之後閘道器監控程式藉由「取得映射狀態」命令，取得實際資料長度。使用這種技巧，即能免除「預先取得欄位長度」此一執行步驟；但若映射參數表的最大長度小於目標參數表，閘道器監控程式仍須計算目標欄位實際長度，並利用多個映射讀取命令，分段讀取。

4.3. 情境控制

閘道器監控程式的情境控制可視為「批次執行」，效果等同於監控伺服器主動下達一連串的「**GGET.REQ**」或「**GSET.REQ**」命令。唯一的差異是，批次執行時無須發送回應封包（即 **GGET.CFM**、**GSET.CFM**），也無須發送「**GERR.IND**」封包回報執行結果。

為了達成上述的功能，閘道器監控程式應維護一份個別受控裝置服務終端對應批次處理之清單，記錄有哪些裝置、哪些服務終端，須在執行情境控制時加入批次處理程序。閘道器監控程式須登記並且排入批次處理程序之功能模組計有：

表 1. 功能模組對應情境控制對照表（必要實作）

功能模組	對應屬性	對應情境	控制方式	說明
101	METER	104	讀取	讀取電力計基本資料
	FULL	105	讀取	讀取電力計完整資料
102	METER	104	讀取	讀取電力計基本資料
	METER.A			
	METER.B			
	FULL	105	讀取	讀取電力計完整資料
	FULL.A			
	FULL.B			
103	METER	104	讀取	讀取電力計基本資料
	METER.R		讀取	
	METER.S		讀取	
	METER.T		讀取	

功能模組	對應屬性	對應情境	控制方式	說明
	FULL	105	讀取	讀取電力計完整資料
	FULL.R		讀取	
	FULL.S		讀取	
	FULL.T		讀取	
151	所有屬性	103	讀取	讀取感測器資料
201	SWITCH	101	寫入	關閉所有二元開關
		102	寫入	開啟所有二元開關

當閘道器監控程式藉由讀取場域控制模組參數表，藉以建立受控裝置列表時，便須將含有上述特定功能模組的受控裝置之裝置代號，以及相對應服務終端號碼加入批次處理程序中，並在執行特定情境時，依照批次處理程序個別執行。處理程序之排序方式由實作自行定義。注意本系列標準，包含廣域網路協定與場域網路控制協定，皆不考慮使用廣播傳輸，或是多重傳輸之控制機制。

本系列標準目前僅規範「101」、「102」、「103」、「104」、「105」五項情境。若閘道器監控程式實作自行定義其他情境，例如控制「部分」二元開關狀態，或是指定調光燈具調整到某個固定強度，則實作亦應依照本節內容說明方式，於建立受控裝置列表時，將相關功能模組加入批次控制程序中。

4.4. 主動回報

本系列標準所規範之主動回報機制，於閘道器監控程式端係以「主動輪詢」方式達成。對於具備雙向主動傳輸能力的場域網路傳輸媒體，本系列標準亦規劃一主動事件回報參數表，作為回報事件之暫存緩衝。依據不同應用情境，場域控制模組與閘道器之間應選定一合適的事件回報緩衝區大小，以及定時查詢間隔，以避免事件記錄數量超過緩衝區大小，導致尚未讀取的事件記錄消失。

閘道器監控程式亦可選擇追蹤具有「主動回報」功能的受控裝置功能模組：

表 2. 具有主動回報功能之功能模組與對應參數

功能模組	受控裝置參數表讀取	GUPD.IND 對應屬性	事件原因
152	TYPE, COUNT	TYPE, COUNT	觸發警報
153	TYPE, STAT, ALARM	TYPE, ALARM	閾值警報
154	UNITS, HEALTH	UNITS, HEALTH	故障比例過高
201	SWITCH	SWITCH	人工開關操作
203	LEVEL	LEVEL	人工調光操作
204	LEVEL	LEVEL	人工調光操作

若閘道器監控程式登記上述受控裝置與功能模組，在事件記錄超過緩衝容量而導致

尚未的讀取事件記錄消失時，或是閘道器監控程式重新啟動時，便能藉由實際遠端讀取受控裝置參數表，以得到正確的狀態。同時，閘道器監控程式亦能藉由參數之數值變化（如觸發警報的 **COUNT** 參數）判斷是否該通報監控伺服器。

4.5. 存取順序與資料同步

場域控制協定的設計方式允許閘道器監控程式對同一個受控裝置同時進行多個讀取及/或寫入操作。但是於實作時，建議避免發生此類操作。

一般用於照明控制等應用的場域網路傳輸媒體，傳輸速度與資料量都比較小，對於單次資料量較大的傳輸，須以分割（Fragment）的方式進行（參照 5.3.1）。因此，於場域網路傳輸媒體端，對於同一個受控裝置的傳輸，必定是依照順序進行，確認單次資料傳輸完畢以後，才能進行下一筆資料傳輸。若閘道器監控程式對同一受控裝置同時進行多個讀取及/或寫入操作，並不能因此提升傳輸效率，反而會長時間佔用場域控制模組的映射參數表，阻礙閘道器監控程式對其他不同受控裝置的存取操作。

對於同一個裝置同時進行存取動作，另一個後遺症就是資料同步問題。對於多映射表的映射存取資料操作，本系列標準並未規範場域控制模組的執行順序。因此，若對同一個資料表同時進行寫入與讀取動作，無法保證會「先讀取」還是「先寫入」。就算寫入與讀取不同位置，亦無法保證受控裝置不會因寫入動作而連帶改變其他位置參數的內容資料。

5. 場域控制模組

5.1. 實作型態

場域控制模組的實作者，須要考慮場域控制模組的實作型態，以及與閘道器監控程式的整合方式。

場域控制模組相較於閘道器監控程式，邏輯設計較為單純，但是對於執行時記憶體的需求，遠較一般「通訊模組」要高出甚多。依據本系列標準規範，一個標準的場域控制模組須要能儲存以下動態資料：

- 受控裝置列表，包含個別裝置的裝置代碼，以及不固定長度的功能模組代碼條列，每一個裝置佔用的空間，最小長度為 10 bytes（裝置代碼 8 bytes，至少一個功能模組代碼 1 byte，以及 EOF 字元 1 byte），最大長度理論值為 263 bytes。
- 一個以上的映射參數表，長度至少為 32 bytes。
- 主動回報事件列表，每一筆事件記錄長度為 16 bytes。

若在一个受控裝置數量較多，且主動回報事件較為頻繁的場域網路中，上述動態資料將於短時間內增長到數千（K）甚至數萬（10K）bytes。

在一个具有完整作業系統與虛擬記憶體分頁機制的平台上，這個記憶體用量或許算是很小，但是如果想要在一個 8 位元或 16 位元的微處理器（Microprocessor）上實作，而且如果在同一個微處理器上還想要同時執行場域網路傳輸媒體通訊協定，將會是非常大的挑戰。

基於以上原因，場域控制模組應選用一具有較充足記憶空間，同時具備非揮發性記憶體（Non-volatile）的平台進行實作。

若將整個場域的擴充性納入考量，建議實作可採用「驅動程式」的概念進行實作。如下圖所示。

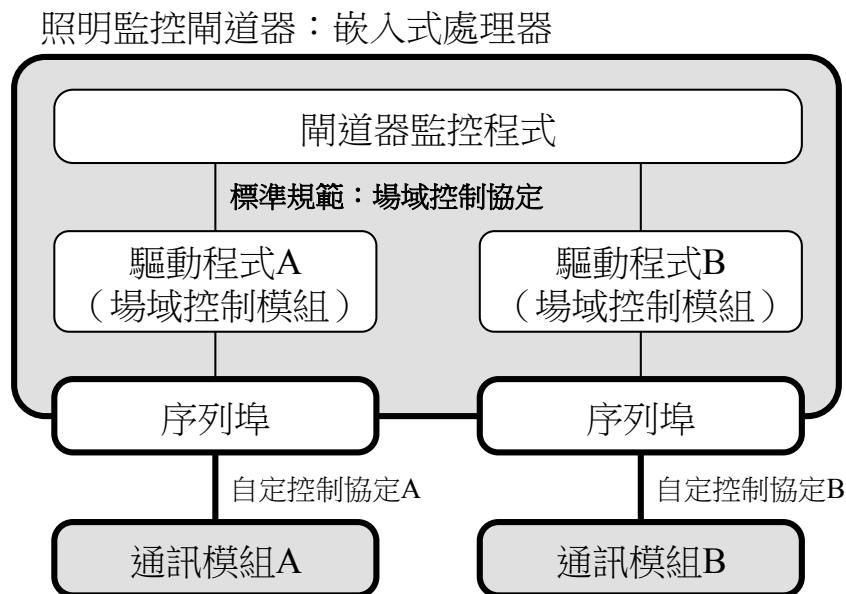


圖 1. 場域控制模組實作例：採用驅動程式概念

採用上述方式實作，平台運算能力的優勢顯而易見。除此之外，另一項優勢則是擴充性。採用這種方式實作時，閘道器監控程式與驅動程式將能用具彈性的方式組

合，不受場域控制協定連線形式侷限。當照明控制場域範圍擴大時，僅須加入額外的嵌入式處理器設備，並以 TCP/IP 連線或其他串流形式連線連接兩台設備，便能輕易擴充。

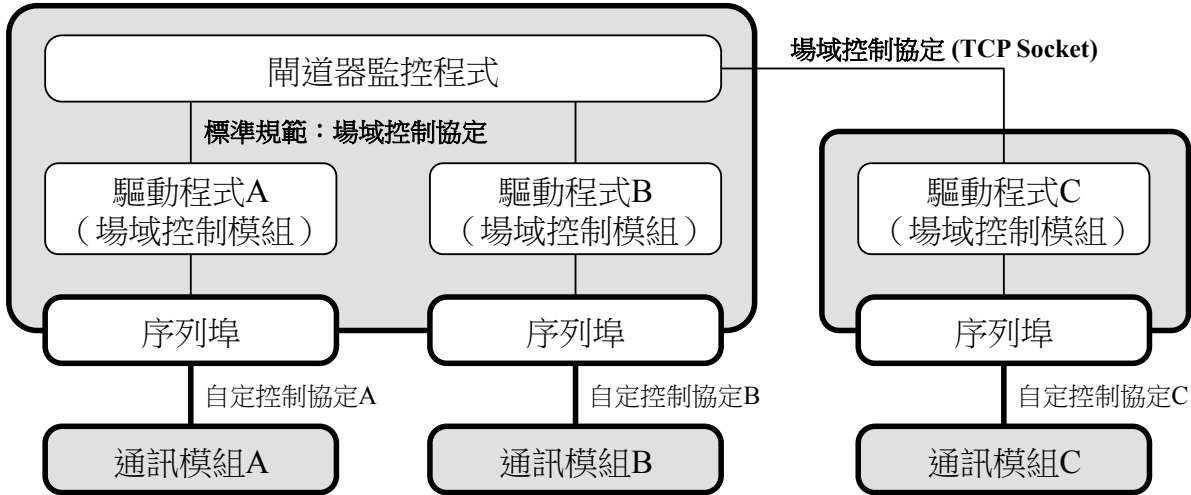


圖 2. 場域控制模組實作例：擴充照明控制場域

5.2. 場域控制協定連線形式

依據場域網路介面規範，場域控制協定連線形式分為基本連線形式與穩定連線形式兩種。上述規範主要是以「串流」(bit-stream) 資料傳輸形式為主，廣泛適用於一般常見的序列埠、TCP/IP Socket 等遠距離連線，以及 Pseudo TTY、FIFO 等本機端行程間通訊 (IPC)。

資料傳輸形式除了上述的串流形式以外，另一種通用的資料傳輸形式則是「資料包」(Datagram)。資料包與串流的最大差異，即是資料包係由作業系統通訊協定層級負責切分封包，應用程式每次執行讀取動作，皆能讀取一個完整命令封包，而不須自行配置暫存空間，自行尋找命令封包的邊界。

目前常見的通訊技術中，提供「資料包」功能特點的技術不在少數。例如 UDP/IP、SEQPACKET、UNIX Domain Datagram Socket，甚至行程間通訊技術如 message、shared memory 等⁽¹⁾，皆視為「資料包」。

雖然使用資料包形式通訊時，能有效降低場域控制模組與閘道器監控程式邏輯複雜度，此為顯而易見之優點。但本系列標準基於相容性之考量，並未包含有關「資料包」傳輸形式的規範。若實作想要利用資料包傳輸技術，自行設計場域控制協定連線，須考量以下幾項議題：

- 相容性：閘道器監控程式與場域控制模組須採用一致的通訊協定。當閘道器監控程式與場域控制模組係由不同實作者進行實作時，關於日後的維護與調整，皆應先進行完整協議。
- 辨識性：大部分 Datagram 通訊技術都不須建立連線⁽²⁾，僅以一對事先約定好的通訊埠 (號碼、檔案路徑或是記憶體偏移量) 作為資料交換標的。當要一對多通訊時 (例如圖 1 中的範例)，便須規劃足以辨識封包發送來源 (source)

¹ 本處所列舉之通訊技術，除了 UDP/IP 以外，皆為穩定可靠的資料傳輸方式。

² 上述介紹的 Datagram 通訊技術中，僅 SEQPACKET 為連線導向 (Connection-oriented)。

的機制。亦即閘道器監控程式應實作類似「設定檔」之類的機制，用來標記目前啟用的場域控制模組，以及其相對應的通訊埠位置。

- 擴充性：目前通行的 **Datagram** 通訊技術，用於遠端傳輸時，尚無法確保封包穩定傳輸。因此若要將場域控制模組以圖 2 範例方式加以擴充，通訊協定本身便須加入應答（**Acknowledge**）與逾時重送處理。
- 可攜性：除了 **UDP/IP** 以外，大部分 **Datagram** 技術都具有一定程度的平台依賴性。若軟體程式要在不同平台之間移植，採用特定 **Datagram** 技術可能會提高移植的複雜度。
- 封包格式：建議實作沿用場域網路介面規範制定的封包格式。

5.3. 參數表存取

本系列標準將實體設備的控制整併為「讀取參數表」及「寫入參數表」兩個動作。場域控制模組須能支援上述兩個動作。

5.3.1. 傳輸分割與重組

依據場域網路介面規範，最大的參數表（三相電力計）為 154 bytes，實作自定之參數表亦有可能比這個參數表更大。而部分場域網路傳輸媒體技術之單一封包最大傳輸長度，有可能小於這個數字。若使用此類傳輸媒體技術，場域控制模組須處理封包的拆分與重組，亦即場域控制模組須將較長的資料拆分成多個封包傳輸，且須將接收封包依照順序重新組合。

當場域控制模組執行分割傳輸時，直到所有資料傳輸完畢為止，對於該指定目標之受控裝置，不可同時進行其他傳輸，包括寫入操作與讀取操作。亦即當閘道器監控程式使用兩個以上映射參數表，指定同一個受控裝置進行讀取及/或寫入時，場域控制模組須等候一個映射參數表存取動作執行完畢之後（執行成功或失敗），再處理另一個映射參數表存取命令。

5.3.2. 異動任務（Transaction）

前一小節所敘述之分割與重組，實際實作時應使用異動任務（**Transaction**）的概念進行。

異動任務的概念類似資料庫存取操作，當執行複數操作時，使用者先起始一個異動任務，並於所有操作全部執行成功後，認可（**Commit**）該次異動任務成功，或是取消（**Rollback**）所有操作造成的資料變化。

場域控制模組可在場域網路傳輸媒體的封包中加入兩個代號，以達成上述的異動任務操作功能：

- 任務代號（**Transaction ID**）：一個由場域控制模組端控制的累加序號，每次執行一個新的分割操作時便累加該序號，並於本次異動任務中使用相同的數值。
- 封包索引（**Index**）與分割總數（**Fragments**）：用來辨識本次異動任務共有多少分割封包，以及目前執行的進度。封包索引由 0x01 起算，每次發送累加 1，直到與分割總數數值相同為止。

異動任務執行範例如下圖所示。

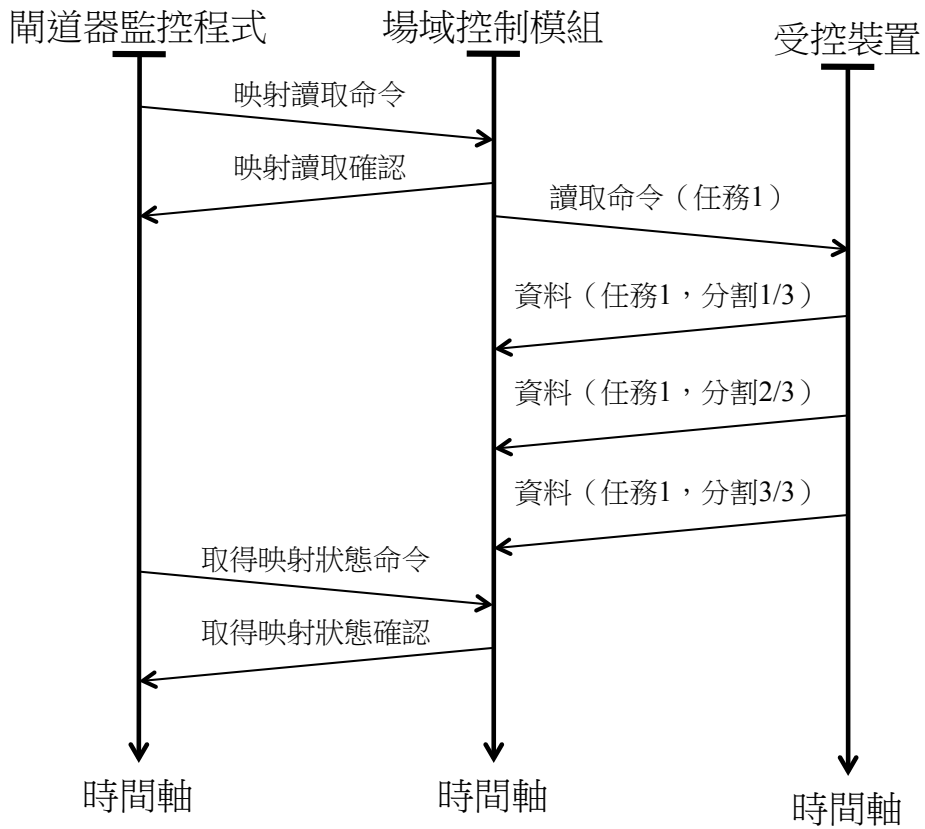


圖 3. 異動任務 (Transaction) 讀取操作執行順序示意圖

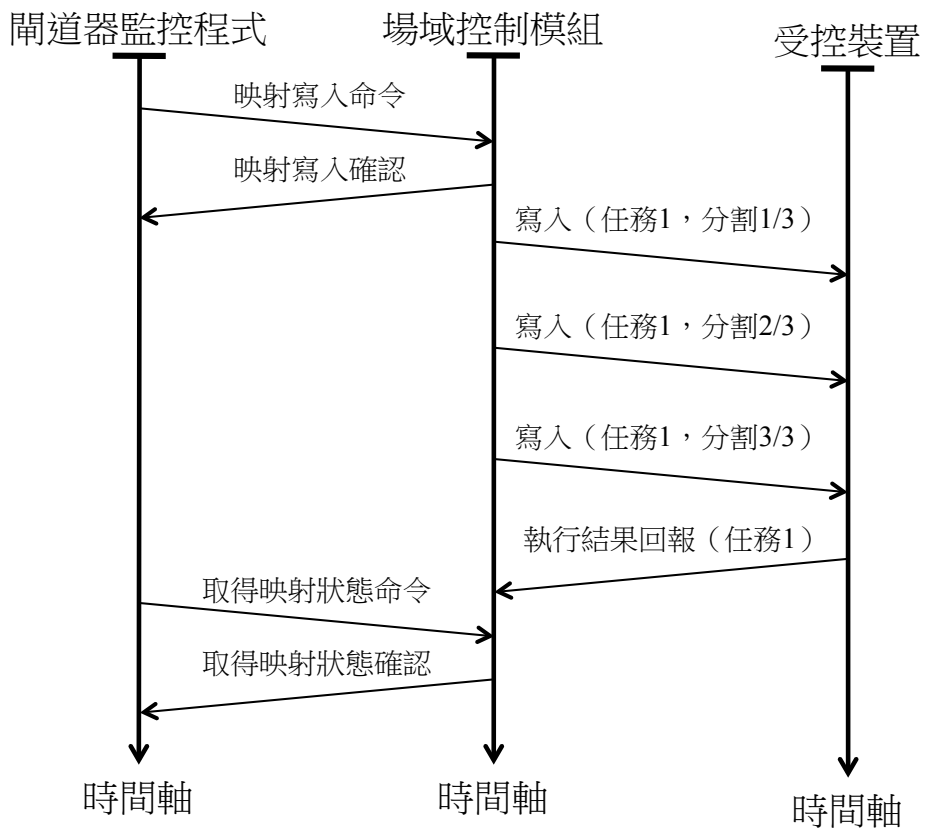


圖 4. 異動任務 (Transaction) 寫入操作執行順序示意圖

場域網路傳輸媒體之封包傳輸控制，則由實作依據傳輸媒體的特性自行定義。實作可選擇性使用媒體層應答 (Acknowledge)、應用程式層應答、滑動窗協定 (Sliding Window) 等方式，強化傳輸的穩定度。

5.3.3. 參數表存取動作

本系列標準將參數表之存取動作以「連續記憶體」方式描述，亦即讀取與寫入時，皆指定「存取位置」與「存取長度」兩項參數。但於實際實作中，「參數表」不一定對應到記憶體中的完整區塊；實作可在收到讀取命令時，臨時配置一塊記憶體以建立內容資料，並在完成讀取動作後就釋放記憶體。於某些特定操作中，這種作法會比較易於實作。

上述「虛擬參數表」的典型範例即是「裝置資訊」參數表。一般具有類似功能需求程式實作，不會採用如同場域網路介面規範第 7.2.5 節所規劃的連續儲存空間，而是會採用雜湊表 (hash)、鏈結列表 (linked-list)，或是指標陣列 (array of pointer) 等方式建立裝置索引，實際個別裝置資訊則儲存在分散的記憶體空間內。採用分散儲存的方式，當有新裝置加入或舊裝置移除時，比較容易管理。

同樣的技巧也能應用於受控裝置端參數表的實作。例如版本資訊參數表及泛用服務資訊參數表。這兩個參數表內容大多都是固定常數，於一般微處理器程式撰寫時，可將這些資料規劃為儲存在程式碼空間 (code space) 內。

5.3.4. 資料邊界

場域網路介面規範第 8 章所制定的功能模組參數表，於設計時皆有特別考量資料對齊 (data alignment) 與雙位元組字節定址 (WORD address) 等問題。場域控制模組能安全使用雙位元字節定址來存取任何 WORD 或 DWORD 形式之參數，包括「不固定長度」欄位的內容。參數表中對於寫入操作亦經過設計，可寫入之欄位使用固定連續空間，同時廣域網路的功能模組屬性也經特殊安排，不會發生跨位元寫入的狀況，亦即由監控伺服器發出之設定命令，保證能於單次內寫入。

基於以上原因，場域控制模組應避免跨越資料邊界存取；例如從一個 WORD 類型參數的「下半段」(low-byte) 開始寫入。跨資料邊界存取所發生之效應，本系列標準不予規範 (undefined behavior)。

5.4. 整合場域網路傳輸媒體

場域網路傳輸媒體種類眾多，各自具有不同的特徵及適用性。以場域控制模組的角度，場域網路傳輸媒體大致分成四種：

- 雙向全雙工：閘道器可在任意時間發送封包至受控裝置，受控裝置亦可在任意時間發送封包至閘道器。常見的通訊技術，如 IP 網路、IEEE 802.15.4/ZigBee (以及 802.15.4 衍生通訊協定)、LonWorks、序列埠等，皆屬於雙向全雙工。
- 雙向半雙工：閘道器可在任意時間發送封包至受控裝置，但受控裝置只能在閘道器端指定的時間發送回覆封包至閘道器。常用於自動控制的 RS-485 即是屬於雙向半雙工。
- 單向純控制：閘道器可在任意時間發送控制指令至受控裝置，但是受控裝置不會回應任何資訊。此類通訊技術主要用在非關鍵設備的自動控制，例如原始版本 DMX512³⁾ 裝飾照明控制。
- 單向純接收：閘道器不會主動發出詢問訊息，所有資料皆由受控裝置端主動回

³⁾ ANSI E1.20-2006-RDM 即為一種基於 DMX512 衍生標準 ANSI E1.11-2004 的雙向通訊協定。

報。主要用在環境資訊量測，使用的通訊技術與協定通常為實作者自定（proprietary）。常見用於一般消費產品無線傳感器（RF transducer）設備。

上述四種場域網路傳輸媒體，後面兩種因為本身的功能限制，無法完全發揮場域控制協定的功能；例如實作無法使用 DMX512 控制器讀取三用電表。但是如果該場域網路本身就規劃為限定某項特定功能，亦可與智慧照明系統進行整合。此時整合的主要重點，在於場域控制模組的實作。

5.4.1. 裝置列表

場域控制模組須能保有一份該模組直接控制的受控裝置列表，同時該列表內須包含個別裝置的裝置代號，以及服務終端對應功能模組的列表。

若場域網路傳輸媒體支援全雙工傳輸，便可由受控裝置於受控裝置連線至場域網路後，主動通知場域控制模組，由場域控制模組執行後續登記動作。

若場域網路傳輸媒體不支援受控裝置主動回報，則場域控制模組應以其他方式取得裝置資訊。實作可採用靜態方式儲存必要的資料，例如設定檔，或是預先撰寫於程式內；亦可採用動態方式，在執行階段時由其他資訊來源取得，例如透過網際網路。

若實作採用靜態方式預先寫入裝置資訊，實作應考慮加入遠端更新裝置資訊的機制，以利後續維護。例如可先透過 FTP 傳輸設定檔案、然後再由監控伺服器端寫入閘道器泛用服務對應表的「STAT」屬性，要求閘道器重新啟動。

5.4.2. 定址轉換

場域控制模組須能在智慧照明系統層級的裝置代碼（64 bits 無號整數，宜使用設備之 IEEE MAC-48 或 IEEE EUI-64 硬體位址），以及場域網路傳輸媒體使用的定址代號（例如 802.15.4 的 Short Address，或是 MODBUS 的 Slave ID）之間進行轉換。

此項轉換之實作，應與上述「裝置列表」之實作整合。若場域網路傳輸媒體支援全雙工傳輸，受控裝置回報之裝置資訊中，即應包含裝置代碼及場域網路定址。採用靜態方式預先載入的裝置資訊，亦應包含相同之對應關係。

5.4.3. 存取受控裝置參數表

依據場域網路介面規範，所有受控裝置功能模組參數表內容，皆能由閘道器監控程式主動讀取。若場域網路傳輸媒體不支援雙向傳輸，場域控制模組便應以「模擬」方式來滿足本項需求。於實際實作時，可採用「虛擬裝置」方式達成。

所謂「虛擬裝置」即是在場域控制模組執行情序內，依據事先載入之裝置資訊，建立對應個別裝置的功能模組參數表，存放於場域控制模組的內部資料記憶體中。

對於單向純控制的場域控制模組，可在執行參數表寫入命令時，對遠端受控裝置下達控制指令，同時更新「虛擬裝置」參數表內容。之後當閘道器監控程式要求讀取某個受控裝置參數表時，場域控制模組便能利用內部資料直接回應。

對於單向純接收的場域控制模組，可在接收受控裝置主動回報資料時，隨即更新「虛擬裝置」參數表內容。之後當閘道器監控程式要求讀取某個受控裝置參數表時，場域控制模組便能利用內部資料直接回應。

使用這種技巧，便能將單向傳輸媒體整合至智慧照明系統中。

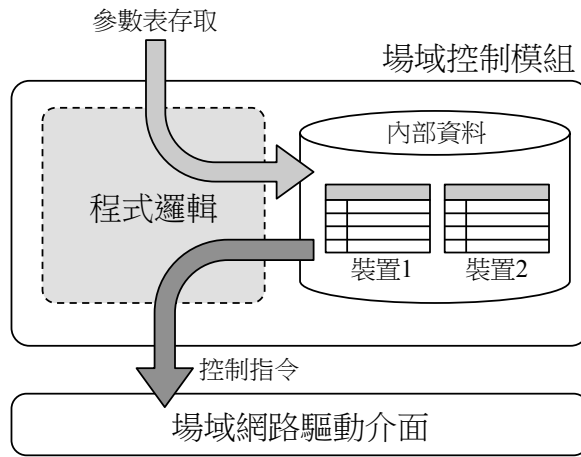


圖 5 「虛擬裝置」概念示意圖：單向純控制

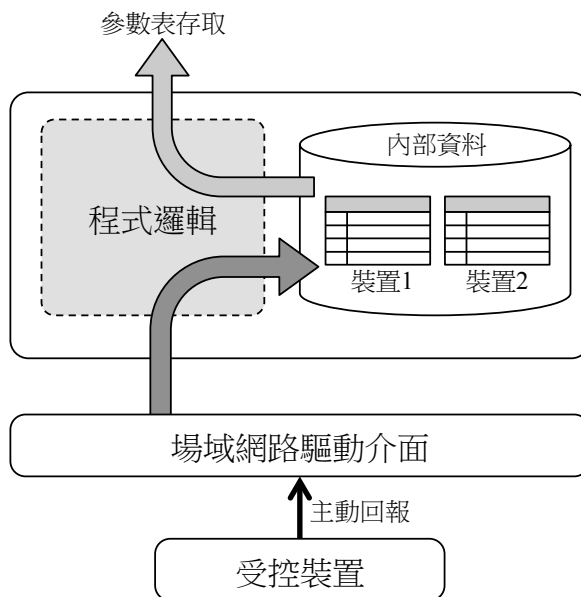


圖 6 「虛擬裝置」概念示意圖：單向純接收

5.4.4. 受控裝置參數表快取

「虛擬裝置」不僅用於整合單向傳輸媒體，同時亦可用於提升系統整體反應速度：將設定資料與回報資料「快取」(Cache)暫存於場域控制模組中。閘道器監控程式存取參數表時，場域控制模組便能利用快取資訊直接回應，減少場域網路存取的次數。

這種技巧對於「主動事件回報」類型的應用格外有效，藉由記錄受控裝置事件主動回報，並於讀取「事件列表」參數表時臨時產生內部記錄，便能有效防止同一個事件重複回報，進而提升「事件列表」參數表的使用效率。

—以下空白—

6. 場域網路傳輸媒體

場域網路傳輸媒體種類眾多，且各自具有不同的特徵與適用性，同時在自動控制領域中，一通訊技術並未成為國際標準，卻由於業界「約定俗成」而廣泛使用，此一狀況非常常見，其中亦不乏由單一製造商市場獨佔之商品。

然而場域網路傳輸媒體通訊協定的設計，與本系列標準規範實作的相容性、完整性及維護性息息相關。因此，本章將針對數種常見的傳輸方式，各自定義一套通訊協定：

- Ad-hoc：ZigBee
- Master-Polling：MODBUS over EIA-485
- IP-based：UDP/IP

本章內容皆為「建議」，實作者若有能力將自行定義的控制協定進行整合，並提供與場域控制協定相容之通訊介面，則不須依據本章內容進行實作。但建議實作者可將本章內容作為產品設計的參考，以提高不同系統之間互通的機率。

— 接續次頁 —

6.1. ZigBee

6.1.1. 概述

ZigBee 是一種基於 IEEE 802.15.4 的無線通訊業界標準，使用頻段為 2.4GHz、800MHz、900MHz 三種。目前最新的版本為 2007 版。

ZigBee 最大的特色就在於任意傳輸 (Ad-hoc) 特性。由多個 ZigBee 節點構成的網路中，一節點可主動傳輸封包至任一鄰近節點，不須經過「基地台」(Access Point) 轉發。這種特性能讓封包由一個節點「轉發」至下一個節點，僅使用純 ZigBee 無線節點便能建構一個廣大的網路，而不須要在整個區域預先埋設導線。利用這種特性，實作將能使用更有彈性的方式管理整個控制場域。

這種技術的缺點在於無線傳輸的不穩定性。標準 802.15.4 在 2.4GHz 頻段傳輸功率為 1mW，未加額外強波設備時，實際傳輸距離約為 20 公尺左右。如果要佈建的場域較大，須架設多個中繼節點，同時 2.4GHz 的頻段會受隔間材質、物品 (包括人員) 干擾。於室外架設時，則須考慮天線架設，以及環境與天候因素影響⁴問題。

最適合使用 ZigBee 的環境是空間較大的室內 (例如停車場、會議室、無隔間辦公室、展示空間等)，或是半露天環境 (例如騎樓、迴廊等)。若能保持節點與節點之間直線可視 (Line-of-sight)，且避開人員活動範圍 (例如架設在距離地板 2 米以上的位置)，則能獲得較佳的效果。

6.1.2. 通訊協定設計準則

於智慧照明系統中，選擇使用 ZigBee 作為場域網路傳輸媒體時，實作須遵循以下原則：

- 使用具備 ZigBee Compliance (Ver.2007) 認證之通訊模組進行開發。使用標準 ZigBee 網路管理程序，包含網路建構、節點加入、路由選徑、以及錯誤處理。

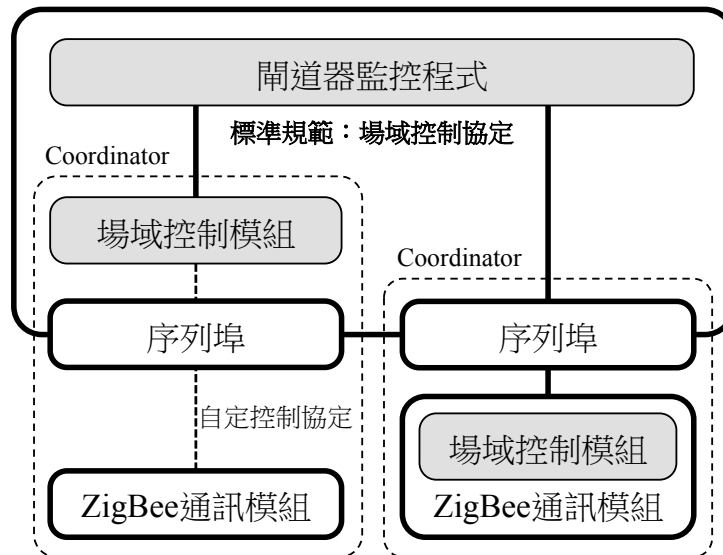


圖 7. ZigBee 場域網路介面於閘道器端實作例

- 閘道器端：

⁴ 2.4GHz 頻段無線電波會被水分子吸收，稱為「Rain fading」。

- ◆ 由場域控制模組及通訊模組硬體設備組合成 ZigBee 網路主要協同節點 (Coordinator)。本章後續內容將以「Coordinator」一詞表示。
- ◆ 硬體位址 (以及 Extended PAN ID) 使用標準 IEEE EUI-64 位址。
- ◆ 預設自動挑選 PanID、ChannelID，但實作應保留手動設置網路建構參數之功能。
- 受控裝置端：
 - ◆ 預設作為 ZigBee Router，但實作應保留手動設置成 End-device 之功能。
 - ◆ 預設於啟動時依照標準 ZigBee 程序，搜尋網路並加入，但實作應保留手動設置目標網路之能力 (藉由辨識 Extend PAN ID)。
- 須使用標準 ZigBee APSDE-SAP 服務收發封包，傳輸設定值如下表所示。連續發送封包至同一目標時，須等前一封包發送完畢，才能發送。若 APSDE-DATA.request 回應失敗，則視為場域網路失效。

表 3. APSDE-DATA.request 參數填寫規範

參數	填入數值	說明
DstAddrMode	常數「0x02」	使用 short address
DstAddress	目標裝置位址	使用 short address
DstEndpoint	常數「0xF0」	本系列標準私有定義
ProfileID	常數「0xCED0」	本系列標準私有定義
ClusterID	0x0000、0x1000~0x10FF	對應受控裝置參數表代號
SrcEndpoint	常數「0xF0」	本系列標準私有定義
ADSLength	6~82	傳輸封包內容長度
ADSU	詳見後續說明	傳輸資料內容
TxOptions	常數「0x04」	使用應答，但不使用分割
RadiusCounter	實作自行定義	傳輸距離 (Hop 數)

6.1.3. 封包承載格式

6.1.3.1. 格式定義

上述 APSDE-SAP 的 ADSU 欄位內容格式如下圖所示。由閘道器端與受控裝置端發送之封包皆使用相同格式。

TRANSACTION	INDEX	FRAGMENT	OFFSET	PAYLOAD
長度：1 byte	bit 0~3	bit 4~7	2 bytes	不定長度
	1 byte			

圖 8. ZigBee ASDU 內容格式

其中「**INDEX**」欄位為第二個 byte 的低位元，亦即取得遮罩 0x0F 的數值。「**FRAGMENT**」欄位為第二個 byte 的高位元，亦即取得位元右移 4 位運算的數值。「**OFFSET**」欄位格式為大端序⁽⁵⁾ (big-endian) 表示之無號整數 (unsigned)，指定參數表中的起始偏移量，單位為 byte(s)。「**PAYLOAD**」欄位最小長度為 1 byte。

「**TRANSACTION**」欄位與「**FRAGMENT**」欄位之定義參照 5.3.2 說明。用於 ZigBee 傳輸時，這兩個欄位的數值範圍與封包功能對應關係整理如下表：

表 4. **TRANSACTION** 與 **FRAGMENT** 數值對應 ZigBee 封包功能

封包發送端	TRANSACTION	INDEX	FRAGMENT	封包種類
閘道器	0x01~0xFF	0x0	0x0	讀取命令
	0x01~0xFF	0xF~0x1	0xF~0x1	寫入命令
受控裝置	0x01~0xFF	0xF~0x1	0xF~0x1	資料回傳(讀取命令)
	0x00	0x1	0x1	資料回傳(主動回報)
	0x01~0xFF	0x0	0x0	錯誤回報

6.1.3.2. 讀取命令

ZigBee Coordinator (閘道器端) 發送讀取命令時，封包內容解析如下：

- 「**TRANSACTION**」欄位須填入由 Coordinator 端計數之序號，數值範圍由 1 至 255。編碼可由實作自定，但於同時進行多個傳輸時須能分辨。
- 「**FRAGMENT**」欄位須填入固定值 0x0。
- 「**INDEX**」欄位須填入固定值 0x0。
- 「**OFFSET**」欄位須填入本次讀取資料於指定參數表中的起始偏移量。
- APSDE-DATA.request 的「**ClusterID**」參數須填入目標參數表的代號。
- 「**PAYLOAD**」欄位長度為 2 bytes，格式為大端序 (big-endian) 表示之無號整數 (unsigned)，代表本次讀取的總資料量，單位為 byte(s)。

6.1.3.3. 寫入命令

ZigBee Coordinator (閘道器端) 發送寫入命令時，封包內容解析如下：

- 「**TRANSACTION**」欄位須填入由 Coordinator 端計數之序號，數值範圍由 1 至 255。編碼可由實作自定，但於同時進行多個傳輸時須能分辨。
- 「**FRAGMENT**」欄位須填入本次異動任務預計發送之封包總數。若資料不須分割，則填入固定值 0x1。
- 「**INDEX**」欄位表示該封包為本次異動任務發送的第幾個封包，由 0x1 開始嚴格遞增，累進數值 1。
- 「**OFFSET**」欄位須填入本次寫入資料於指定參數表中的起始偏移量
- APSDE-DATA.request 的「**ClusterID**」參數須填入目標參數表的代號。
- 「**PAYLOAD**」欄位即為預計寫入之資料。

⁵ 於標準 ZigBee 封包中，WORD 數值係以小端序 (Little-endian) 表示。此處為了與其他系統保持一致，故使用大端序記錄。至於「**ProfileID**」等資料，係透過 API 呼叫建立或取得，其位元排序係由通訊協定框架處理，應用程式取得的就是完整 WORD 數值，無須另外處理大端序轉換。

6.1.3.4. 資料回傳（讀取命令）

受控裝置端執行資料讀取命令，發送回應封包時，封包內容解析如下：

- 「**TRANSACTION**」欄位須填入與對應資料讀取命令「**TRANSACTION**」欄位相同之數值。
- 「**FRAGMENT**」欄位須填入本次異動任務預計發送之封包總數。若資料不須分割，則填入固定值 0x1。
- 「**INDEX**」欄位表示該封包為本次異動任務發送的第幾個封包，由 0x1 開始嚴格遞增，累進數值 1。
- 「**OFFSET**」欄位須填入本次讀取資料於指定參數表中的起始偏移量。
- APSDE-DATA.request 的「**ClusterID**」參數須填入目標參數表的代號。
- 「**PAYLOAD**」欄位即為回應之讀取資料。

6.1.3.5. 資料回傳（主動回報）

受控裝置端發生事件（例如警報觸發）、主動發送資料封包時，封包內容解析如下：

- 「**TRANSACTION**」欄位須填入固定值 0x00。
- 「**FRAGMENT**」欄位須填入本次異動任務預計發送之封包總數。若資料不須分割，則填入固定值 0x01。
- 「**INDEX**」欄位表示該封包為本次異動任務發送的第幾個封包，由 0x1 開始嚴格遞增，累進數值 1。
- 「**OFFSET**」欄位須填入本次讀取資料於指定參數表中的起始偏移量。
- APSDE-DATA.request 的「**ClusterID**」參數須填入目標參數表的代號。
- 「**PAYLOAD**」欄位即為主動回報資料。

6.1.3.6. 執行結果回報

當受控裝置端執行資料寫入，執行成功或是發生錯誤時，則發出執行結果回報封包。當受控裝置端執行資料讀取，若發生錯誤時，亦發出執行結果回報封包。執行結果回報封包內容解析如下：

- 「**TRANSACTION**」欄位須填入與對應資料讀取命令「**TRANSACTION**」欄位相同之數值。
- 「**FRAGMENT**」欄位須填入固定值 0x0。
- 「**INDEX**」欄位須填入固定值 0x0。
- 「**OFFSET**」欄位須填入固定值 0x0000。
- APSDE-DATA.request 的「**ClusterID**」參數須填入目標參數表的代號。
- 「**PAYLOAD**」欄位長度為 1 bytes，代表錯誤代號，參照場域網路介面規範附錄 A.2。

6.1.4. 資料寫入操作

6.1.4.1. 受控裝置端

受控裝置端可同步執行資料寫入操作、資料讀取操作與主動回報操作。但同一時間最多只能執行一個寫入操作、一個讀取操作及一個主動回報操作。

受控裝置端接收到寫入命令時，首先檢查封包內容格式是否正確且一致（例如「**INDEX**」數值大於「**FRAGMENT**」則為明顯錯誤）。若內容格式錯誤，則發送執行結果回報封包至 Coordinator，錯誤代碼「**0x44**」。若封包格式正確，則依照圖 9 之程序執行所示。其中虛線箭頭表示邏輯「false」。

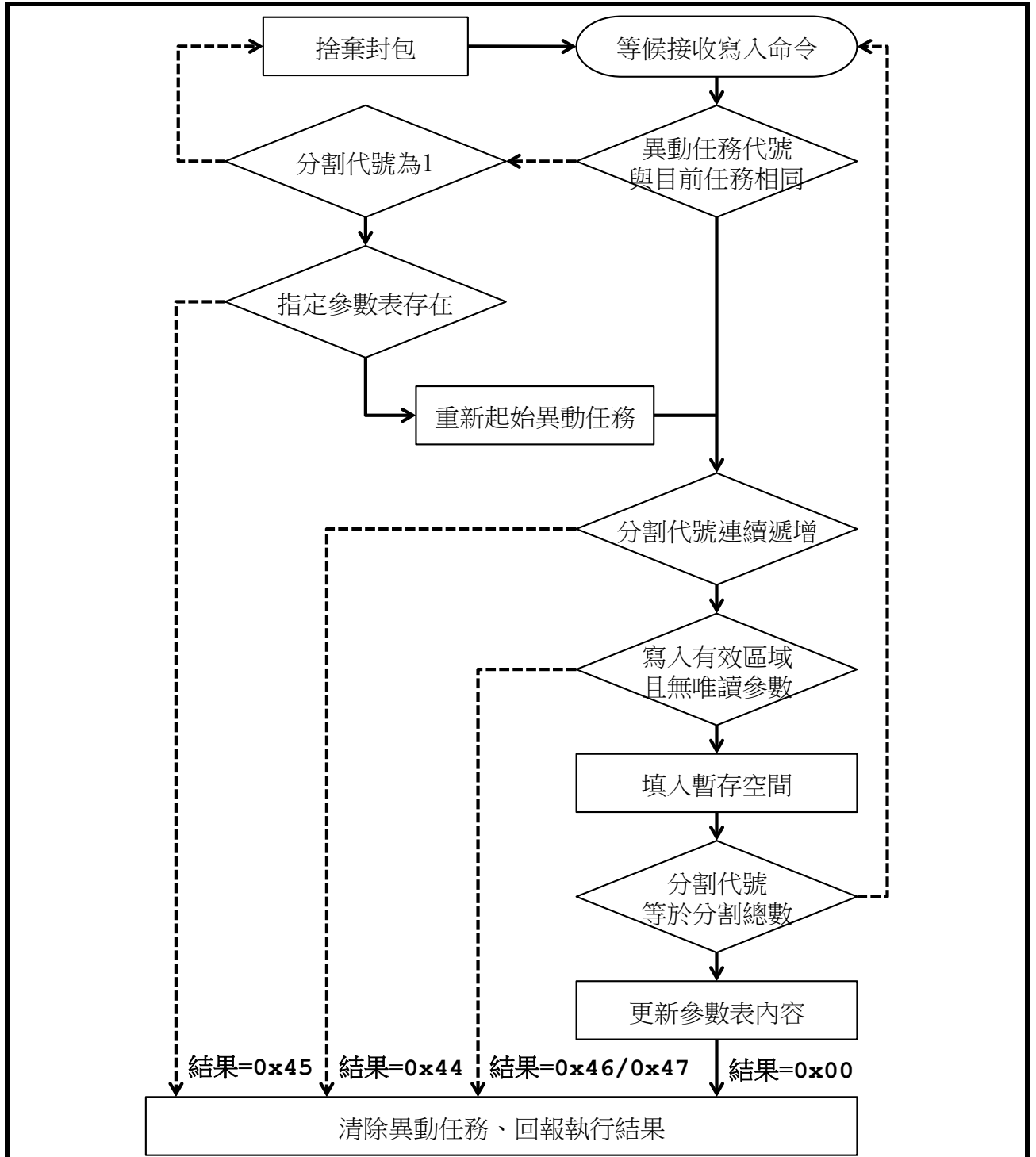


圖 9. 寫入操作受控裝置端處理邏輯（虛線表示邏輯「false」）

受控裝置須依循前一小節內容，對封包進行解析。其中「參數表代號」由接收 APSDE-DATA.indication 服務呼叫之「ClusterID」參數取得（參見表 3）。封包之資料正確性檢查、應答、重傳、重複排除等，皆使用通訊協定本身之功能，實作可將封包接收視為正確且穩定，無須額外自行設計實作其他應答機制。

除上述處理邏輯外，受控裝置端應同時實作逾時檢查機制。若在異動任務執行過程中，超過預設逾時等候時間仍未收到下一個封包，視為異動任務失敗，並發送執行結果回報封包至閘道器端，錯誤代碼「0x44」。逾時等候時間長度由實作依據網路狀況自行定義，但不可低於 APSDE-DATA 應答與重傳的累計時間。

6.1.4.2. ZigBee Coordinator (閘道器端)

受控裝置端之資料可同步執行資料寫入與資料讀取操作。若受控裝置端正在執行資料回傳，Coordinator 不須等候資料回傳之異動任務執行完畢，便可開始執行寫入操作。但同一受控裝置最多只能同時執行一個寫入操作、一個讀取操作、以及一個主動回報操作。若一受控裝置正在執行寫入操作，直到該次寫入操作之異動任務執行完畢為止，Coordinator 不可起始另一個寫入操作異動任務。

Coordinator 端執行寫入操作時，須先計算一合適之異動任務代號，並填入「**TRANSACTION**」欄位，同時須計算封包分割數量，填入「**FRAGMENT**」欄位。封包之分割須從頭開始，亦即從偏移量較小的位置依序填寫至偏移量較大的位置，亦即前後兩個分割封包寫入的資料須為連續。

Coordinator 連續發送寫入命令封包至受控裝置時，須等候前一個封包發送成功（收到 APSDE-DATA.confirm 成功）之後，才能繼續發送下一個封包。若 APSDE-DATA.confirm 回應失敗，則視為本次異動任務失敗，並取消後續所有等候發送至該受控裝置之封包。映射存取錯誤代碼為「**0x43**」（受控裝置無回應）。

若於傳輸過程中收到執行結果回傳封包，且「**TRANSACTION**」數值與目前正在執行的寫入異動任務相同，則 Coordinator 須記錄該執行結果回傳封包之錯誤代碼，作為對應之映射參數表執行結果錯誤代碼，並結束該次讀取異動任務，取消後續所有等候發送至該受控裝置之封包。

當所有分割封包皆發送完畢後，Coordinator 須等候受控裝置回傳執行結果回報。若對同一受控裝置同時有多個寫入操作排程，則須等候接收執行結果回報封包，才能執行下一個寫入操作排程。若超過一預先設定之逾時時間仍未收到執行結果回報，則該次異動任務亦視為失敗。映射存取錯誤代碼為「**0x44**」（執行程序錯誤）。逾時等候時間長度由實作依據網路狀況自行定義，但不可低於 APSDE-DATA 應答與重傳的累計時間。

當 Coordinator 發現上述兩種錯誤（APSDE-DATA.confirm 回報錯誤，以及執行結果回報逾時）時，實作可自行定義後續處理方式。例如使用 Link-Status 檢查驗證受控裝置是否存活，或是重新建立路由等。

6.1.5. 資料讀取操作

6.1.5.1. 受控裝置端

受控裝置端收到讀取操作時，首先檢查內容格式是否正確，包括指定參數表之讀取範圍是否有效。若內容格式錯誤，則發送執行結果回報封包至 Coordinator，錯誤代碼填入「**0x44**」。讀取範圍之判定參照場域網路介面規範第 6.3.2.3 節。注意要求讀取之資料長度有可能會大於參數表長度，若發生這種狀況，則以實際可讀取長度（亦即自「**OFFSET**」指定位置至參數表結束之長度）為準。

受控裝置端收到讀取操作時，若目前正在執行讀取操作尚未執行完畢，且異動任務代碼與目前相同，讀取範圍也相同，直接忽略該封包，否則發送執行結果回報封包至 Coordinator，異動任務代碼須填入後續接到的讀取命令異動任務代碼，錯誤代碼為「**0x44**」。目前正在執行的讀取操作不受影響，繼續執行。

若封包為有效讀取命令，則受控裝置端將起始一個新的讀取異動任務。此時受控裝置須先計算本次讀取異動任務之封包分割數，填入資料回傳封包「**FRAGMENT**」欄位內。封包之分割須從頭開始，亦即從偏移量較小的位置依序填寫至偏移量較大的位置，亦即前後兩個分割封包寫入的資料須為連續。

資料回傳封包的「**TRANSACTION**」欄位須填入與對應讀取命令相同之數值。受控系統連續發送資料回傳封包至 Coordinator 時，須等候前一個封包發送成功（亦即收到 APSDE-DATA.confirm 成功訊息）之後，才能繼續發送下一個封包。若 APSDE-DATA.confirm 回應為失敗，則視為本次異動任務失敗，並取消後續所有等候回傳之封包。

若受控裝置發現 APSDE-DATA.confirm 回應失敗，後續處理方式可由實作自行定義，例如重新搜尋網路、嘗試加入。

6.1.5.2. ZigBee Coordinator（閘道器端）

Coordinator 發送資料讀取命令之後，須等候接收資料回傳封包。

若 Coordinator 收到資料回傳封包，首先須檢查該封包內容資料是否一致，包括「**TRANSACTION**」與參數表代號（亦即 APSDE-DATA.indication 服務呼叫之「**ClusterID**」參數）是否與先前發送之讀取命令相同，「**INDEX**」欄位數值是否由 1 開始遞增等。若有任何不一致的情況發生，則視為異動任務失敗，且接收之封包應直接捨棄。若有對應映射參數表，錯誤代碼應設為「**0x44**」（執行程序錯誤）。

若 Coordinator 收到執行結果回傳封包，且「**TRANSACTION**」數值與目前正在執行的讀取異動任務相同，則 Coordinator 須記錄該執行結果回傳封包之錯誤代碼，作為對應之映射參數表執行結果錯誤代碼，並結束該次讀取異動任務。

若 Coordinator 收到有效之資料回傳封包，則將內容記錄於映射參數表內。若該資料回傳封包之「**FRAGMENT**」與「**INDEX**」欄位數值相等，則表示本次讀取異動任務執行成功，映射參數表執行結果標記為「**0x00**」。Coordinator 亦須同時記錄此時映射參數表內含有的有效資料長度，單位為 byte(s)。注意讀取命令回傳之資料量有可能與讀取命令中要求之資料長度不同，場域控制協定下達取得映射參數表狀態命令時，須回覆真正接收到的資料量。參照場域網路介面規範第 6.3.3.3 節。

6.1.6. 主動回報

主動回報封包之解析方式與資料回傳封包相同。但主動回報封包係由受控裝置依據事件觸發自行判斷，不須事先接收資料讀取命令便能發送。另外由於主動回報封包之即時性需求，主動回報不支援封包分割傳輸，亦即 ZigBee 設備單次主動回報能回傳之最大資料量為 78 bytes。實作可依據此一限制條件，決定是否要實作主動回報機能。

當受控裝置發送主動回報封包時，「**TRANSACTION**」欄位須填入固定值 0x00，「**FRAGMENT**」欄位與「**INDEX**」欄位須填入固定值 0x1。若受控裝置包含以下功能模組，則須實作主動回報功能，且 Coordinator 偵測到受控裝置有包含這些功能模組時，亦須準備好隨時接收主動回報封包。

表 5. 必要實作主動回報之功能模組

功能模組	回報範圍（偏移量）	說明
152 泛用觸發警報器	0x0004~0x0008	警報器種類、累計觸發次數
153 泛用閥值警報器	0x0008~0x000E	警報器種類、觸發時讀值
154 LED 燈具狀態回報	0x0006~0x0009	燈條數量、健康狀態

若受控裝置包含以下功能模組，則可選擇性實作主動回報功能。Coordinator 偵測到受控裝置有包含這些功能模組時，無論受控裝置是否有實作主動回報功能，仍須準備好隨時接收主動回報封包。

表 6. 選擇性實作主動回報之功能模組

功能模組	回報範圍（偏移量）	說明
201 二元開關	0x0001~0x0002	開關狀態（人工操作變化時）
203 單頻道調光器	0x0001~0x0002	調光狀態（人工操作變化時）
204 三頻道調光器	0x0001~0x0004	調光狀態（人工操作變化時）

上述之功能模組，主動回報資料皆已完整包含「事件列表」參數表所須之資訊，且第一個 byte 皆為功能模組代號（cluster ID）。Coordinator 直接解析接收到之主動回報資料封包，便能得到所有登記事件列表所須的資料。

若受控裝置包含以下功能模組，建議實作者事先評估規劃。

表 7. 評估是否實作主動回報之功能模組

功能模組	回報範圍（偏移量）	說明
151 泛用感測器	0x0004~	功能模組代號、感測資料

若要實作以上功能模組之主動回報，須先確認資料大小是否能放入一個封包內，同時亦建議 Coordinator 依照第 5.4.4 節內容，實作「虛擬裝置參數表快取」機制。

6.1.7. 裝置管理

當受控裝置成功加入 ZigBee 網路時，Coordinator 須先檢測新加入的受控裝置是否含有「ProfileID」為「0xCED0」、「EndPoint」為「0xF0」之服務。

若裝置包含此項服務，則 Coordinator 須發送讀取命令封包至新加入之裝置，取得功能參數表編號 0x00（版本資訊參數表）之內容，比對版本資訊是否正確。

若裝置版本資訊正確，則 Coordinator 隨即須發送讀取命令封包至新加入之裝置，取得功能參數表編號 0x1000（泛用服務資訊參數表）之內容，包括裝置代號⁶，以及功能模組列表。Coordinator 可由偏移位置 0x14 開始擷取資料，前 20 字元之裝置廠商、型號、版本等相關資訊，不須擷取。泛用服務資訊參數表為不固定長度，Coordinator 可於讀取命令中指定擷取資料量長度為最大長度。

Coordinator 應依據新加入裝置泛用服務資訊參數表內容，建立相對應的對照表，包含裝置位址對應 ZigBee short address，以及服務終端代號對應功能模組代號，同時須更新裝置列表參數表的「VERSION」參數（參照場域網路介面規範第 7.2.3 節）。若裝置包含前一節所敘述之支援主動回報功能模組，Coordinator 亦應配置相對應的資料暫存空間、旗標等。

⁶ 建議實作採用 ZigBee 通訊模組硬體位址作為裝置代號，但實作可設定成與硬體位址不同。

當新加入裝置的功能模組對應關係建立完成以後，Coordinator 方能對其他功能模組進行讀取與寫入操作。在此之前，若該裝置發送主動回報封包，一律直接忽略；若閘道器監控程式對該受控裝置發出映射讀取或寫入命令，該命令亦須視為無效操作，回報錯誤代號 0x41（受控裝置尚未連線）。

—接續次頁—

6.2. MODBUS

6.2.1. 概述

MODBUS 是一種源起於工業控制領域的通訊協定。由於 MODBUS 是一種公開標準，製作成本低廉，且容易佈建的特性，目前廣泛應用於各種自動控制應用領域。

MODBUS 通訊協議通常用於序列埠、乙太網路及 IP 網路。於一般感測網路應用中，最常見的設備仍是使用 EIA/TIA-485 連線。

6.2.2. 通訊協定設計準則

於智慧照明系統中選擇使用 MODBUS 作為場域網路傳輸媒體，須遵循以下原則：

- 依循 EIA-485 (RS485) 標準，採用雙線、雙向半雙工、多點通訊架構。
- 閘道器端：
 - ◆ 作為主節點 (Master)。
 - ◆ 支援鮑率 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 及 115200。預設鮑率為 19200，須能在佈建階段設定變更。
 - ◆ 使用標準 MODBUS RTU-ADU 封包格式，並只用標準功能 (Function code)。
 - ◆ 須能在佈建階段設定所有受控裝置的從屬節點代號 (Slave ID)。
- 受控裝置端：
 - ◆ 作為從屬節點 (Slave)。
 - ◆ 支援鮑率可由實作自定，但須能在佈建階段設定變更。預設鮑率 19200。
 - ◆ 使用標準 MODBUS RTU-ADU 封包格式。
 - ◆ 須能於佈建階段設定 MODBUS 從屬節點代號。

6.2.3. 受控裝置參數表

受控裝置之功能模組參數表皆視為隨機存取資料單元 (Holding Registers)。參數表以連續空間方式接續分布 (Flattern)，0 號服務終端 (泛用服務資訊參數表) 固定從資料單元起始處 (亦即偏移量 0) 起算，之後接續 1 號服務終端參數表，依此類推。所有參數表的起始位置須為 16 位元 (WORD 定址) 對齊，若參數表大小為奇數，則須在該參數表後置 1 bytes 的填補字元空間。

版本資訊	泛用服務資訊	二元開關	填補	三頻調光器	填補
8 bytes	34 bytes (非固定)	3 bytes	1 bytes	5 bytes	1 bytes
固定長度	0 號服務終端	1 號服務終端		2 號服務終端	

圖 10. MODBUS 受控裝置資料單元規劃範例

6.2.4. 資料存取

6.2.4.1. 控制命令

資料存取須使用 MODBUS 標準功能 (Public Function)：

- **0x03**：Read Holding Registers。
- **0x06**：Write Single Register。
- **0x10**：Write Multiple Registers。

6.2.4.2. Read Holding Registers

依循 MODBUS 通訊協定規範：

- 「Start Address」參數須填入開始讀取位置的偏移量，單位為 WORD，亦即偏移量 1 即為 2 bytes。
- 「Quantity of Registers」參數須填入預計讀取的長度，單位為 WORD，亦即讀取數量 1 即為 2 bytes。

場域控制模組接收到映射讀取命令後，須先比對參數表長度，計算合適的讀取長度。若受控裝置端無法執行讀取命令，回傳之例外代號 (Exception) 對應場域控制協定錯誤代號如下表：

表 8. MODBUS 錯誤代碼對照表

MODBUS 例外代碼	場域控制協定錯誤代號	說明
01	0x44	封包格式錯誤
02	0x45	資料單元起始位置錯誤
03	0x46	讀取長度超過上限
04	0x47	因內部因素拒絕存取

6.2.4.3. Write Holding Registers

依循 MODBUS 通訊協定規範：

- 「Start Address」參數須填入開始寫入位置的偏移量，單位為 WORD，亦即偏移量 1 即為 2 bytes。
- 「Quantity of Registers」參數須填入預計寫入的長度，單位為 WORD，亦即讀取數量 1 即為 2 bytes。
- 「Byte Count」參數須填入「Quantity of Registers」* 2。

寫入時不可跨參數表讀取，亦即場域控制模組接收到映射讀取命令後，須先比對參數表長度，計算合適的讀取長度。

若受控裝置端無法執行讀取命令，回傳之例外代號 (Exception) 對應場域控制協定錯誤代號與讀取。

6.2.4.4. 寫入奇數位元組資料

本系列標準寫入參數與參數表皆經過特別設計，參數表開始寫入位置必定切齊 WORD 位址邊界，且所有寫入之參數必定是位於連續位址，但寫入資料長度有可能會包含奇數個位元組資料，包括二元開關、單頻道調光器、三頻道調光器等三種功能模組。實作可將位於參數表後的填補字元包含在本次寫入範圍中，而不須使用 Mask Write Register 操作。

6.2.5. 裝置自動設定

主節點 (閘道器端) 須能在佈建階段結束後，依據預先設定之附屬節點代號列表，逐一取得個別受控裝置的設定資訊。包括：

- 版本資訊：資料單元 WORD 位址 0x00 開始，4 WORDs 資料。

- 裝置設定資訊（裝置代號、裝置執行狀態、功能模組數量）：資料單元 WORD 位址 0x0E 開始，6 WORDs 資料。
- 功能模組資訊（功能模組對應服務終端、功能模組參數表長度）：資料單元 WORD 位址 0x14 開始，資料讀取長度為（功能模組數量*2）WORDs。

實作亦可直接讀取資料單元 WORD 位址 0x00 開始，連續 19 WORDs 資料，同時取得版本資訊、裝置代號及功能模組數量。

場域控制模組取得上述資訊後，便能建立如之參數表對應資料單元偏移地圖（Mapping），之後便能依據參數表代號，查詢對應的資料單元偏移量。

注意功能模組資訊中所包含的長度為 bytes 長度，且不包含填補字元。主節點於換算時應以參數表為單位，個別計算對應 WORD 長度，之後再加總。

6.2.6. 主動資料回報

EIA-485 半雙工傳輸媒體不支援受控裝置主動資料回報，所有資料取得皆須由主節點主動查詢。

須要主動回報的應用，例如泛用觸發警報器、泛用閥值警報器，應避免使用這種方式實作。若有必要，則須由場域控制模組以定時輪詢方式取得相關資訊。

6.3. UDP/IP

6.3.1. 概述

於現行通用感測網路技術中，ZigBee 是一種系統化提供完整通訊服務的協定。其他通訊技術，大多都只提供到 OSI-ISO 網路模型的第二層連線層 (Data-link)，在第三層網路層以上通常都是使用既有技術 (例如 IP)。於此類應用中，常見的實作方式便是於傳輸媒體之上架設一個簡化的 UDP 協定，實作者即利用 UDP 封包來開發通訊功能。

此類通訊技術所牽涉到的佈建、網路構成、配址定址等議題，已超出本系列標準所能涵蓋範圍，但若實作者計畫採用此類通訊技術，應採用以下之方式進行設計，以提升裝置互通的機率。

6.3.2. 封包格式

封包格式依循標準 UDP 封包格式，其中承載資料部分內容仿照 ZigBee 封包承載格式，如下圖所示：

TRANSACTION	INDEX	FRAGMENT	OFFSET	TABLEID	PAYLOAD
長度：1 byte	bit 0~3	bit 4~7	2 bytes	2 bytes	不定長度
	1 byte				

圖 11. UDP 封包承載資料格式：一般封包

與 6.1.3 相比，UDP 封包承載增加「TABLEID」欄位，用來標示目標參數表代號。

6.3.3. 通訊方式

6.3.3.1. 封包格式

閘道器與受控裝置端應使用單一服務 (通訊埠) 接收與發送 UDP 封包。由於 UDP 通訊協定本身沒有提供應答 (Acknowledge) 與重傳管理，因此閘道器與受控裝置須自行實作。應答封包格式為一般封包之簡化：

TRANSACTION	INDEX	FRAGMENT
長度：1 byte	bit 0~3	bit 4~7
	1 byte	

圖 12. UDP 封包承載資料格式：應答封包

實作利用 UDP 服務回報之封包長度，便能辨識接收到的封包是否為應答封包。

通訊接收端收到任何封包之後，隨即須發送應答封包至原發送端。發送端於發送任何封包後皆須等候應答封包，於接收到應答封包之後，才能對同一通訊目標繼續發送封包。若逾時未收到應答封包，發送端須重新發送封包。

應答逾時時間預設為 300ms (毫秒)，實作可依據佈建場域的網路特性，自行定義合適數值。

6.3.3.2. 寫入與讀取操作

寫入與讀取操作執行過程與 ZigBee 相同。參照第 6.1.4 小節與第 6.1.5 小節相關內容說明。

6.3.3.3. 網路建構

- 閘道器與受控裝置皆應規劃於同一廣播空間內 (broadcast domain)，且於此廣播空間內應提供 DHCP 服務，或其他位址分配管理機制。
- 閘道器應實作 UPnP-SSDP 伺服器端服務，受控裝置應使用 UPnP-SSDP 客戶端取得閘道器位址資訊。若受控裝置未實作 UPnP-SSDP，則須提供變更目標位址與通訊埠設定之功能。

當受控裝置加入網路並取得位址後，隨即須辨識閘道器位址與服務通訊埠，並將版本資訊參數表以主動回報的方式傳輸至閘道器端。閘道器端接收到「**TABLEID**」為 0x00 的主動回報封包，須登記新裝置的 IP 與通訊埠，之後即可依照 6.1.7 執行方式，取得受控裝置的泛用服務參數表內容。

6.4. PLC 電力線通訊

6.4.1. 概述

PLC (Powerline Communication) 係使用電源迴路傳輸資訊之通訊技術。由於 PLC 通訊技術不須額外通訊線路，故在特定佈建應用中具有優勢。

目前商業使用之 PLC 通訊技術種類繁多；依據應用情境不同（高速資訊傳輸、長距離資訊傳輸），適用之技術、以及業界標準也有所不同。本節將介紹數種目前商業使用中較為常見之業界標準。尚未有完整解決方案之 PLC 技術、以及單一廠商自訂 (Proprietary) 之 PLC 技術不列入。

6.4.2. 常見 PLC 技術

多數業界標準之 PLC 技術僅包含 OSI-ISO 網路模型之第一層實體層 (Physical) 與第二層資料鏈結層 (Data-link)。第三層網路層 (Network) 以上，則依據技術之特性，引用其他標準。因此造成不同 PLC 技術的特徵差異。

目前用於商業使用之常見 PLC 技術，以及該項技術用於智慧照明系統時，建議採用的通訊協定技術。為確保不同裝置之間的相容性，本標準建議實作者皆依循下表所列之規範進行實作。

表 9. 常見 PLC 技術與對應通訊協定規範

PLC 技術 / 業界聯盟	技術特徵分類	參照通訊協定
HomePlug Alliance	IP-based	UDP/IP (6.3)
Universal Plug Association (UPA)	IP-based	UDP/IP (6.3)
G3-PLC	Ad-hoc	ZigBee (6.1)

— 接續次頁 —

6.5. 整合既有自動控制技術

依據不同使用情境，若實作單位有必要整合既有自動控制系統，例如 DALI (Digital Addressable Lighting Interface)，則將整個照明場域的「控制系統」視為單一產品，亦即該「產品」內包含照明監控閘道器、場域網路、受控裝置等。如下圖所示：

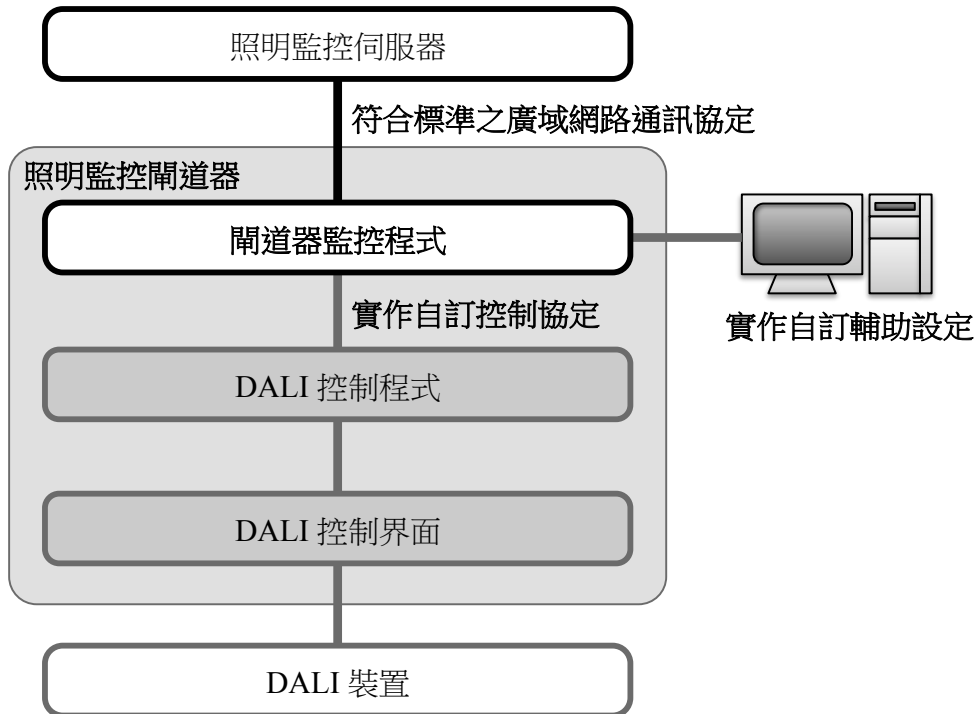


圖 13. 整合既有自動控制技術（以 DALI 為例）

採用此類方式實作時，實作者須提供符合「廣域網路界面規範」之控制界面。其餘場域網路端裝置管理、連線管理、控制方式，皆由實作自行定義。若有必要，實作亦應提供廣域網路界面以外的控制界面，作為輔助設定之用（例如 DALI Slave ID 對應本系列標準使用之 64 bits 裝置代號的變換對應表）。

另外，若此項實作為特定標的使用，非用作泛用平台商品，實作者亦可選取部分功能模組加以實作，亦即廣域網路界面不須完整支援所有功能模組。唯採用此種方式實作時，實作者須將使用標的、測試計畫、佈建計畫以書面方式提交檢驗單位，待檢驗單位核可後，方可執行通訊相容性之檢驗。

附錄A MODBUS 授權文件

以下 MODBUS 授權文件 (EULA) 內容原始出處為 MODBUS 標準組織官方網站 (<http://www.modbus.org>)。依據授權內容規範，以下內容須視為本標準文件的一部分。

Modbus Organization End User License Agreement

END-USER LICENSE AGREEMENT FOR Modbus Organization, Inc. and Schneider Automation Inc. SOFTWARE/PROTOCOL Recitals -- Read Carefully: This End-User Software/Protocol License Agreement ("EULA") is a legal agreement between you (either as a corporation or a single entity), Modbus Organization, Inc. and Schneider Automation Inc. for the MODBUS software/protocol down loaded from this web site, which includes computer software, protocol and may include associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE PRODUCT" or "SOFTWARE"). By exercising your rights to make and use copies of the SOFTWARE PRODUCT, you agree to be bound by the terms of this EULA. If you do not agree to the terms of this EULA, you may not down load or use the SOFTWARE PRODUCT.

SOFTWARE PRODUCT LICENSE The SOFTWARE PRODUCT is protected by copyright laws and international copyright treaties, as well as other intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE PRODUCT is licensed, not sold.

1. GRANT OF LICENSE. Provided that you have accepted these terms contained herein by clicking the "I ACCEPT" button on the download page, this EULA grants you the following rights: Installation and Use. You may install and use an unlimited number of copies of the SOFTWARE PRODUCT without the payment of any royalty fee. Reproduction and Distribution. You may reproduce and distribute an unlimited number of copies of the SOFTWARE PRODUCT; provided that each copy shall be a true and complete copy, including all copyright and trademark notices, and shall be accompanied by a copy of this EULA. Copies of the SOFTWARE PRODUCT may be distributed as a stand alone product or included with your own product.

2. DESCRIPTION OF OTHER RIGHTS AND LIMITATIONS. Limitations on Reverse Engineering, Dissimilation, and Disassembly. You may not reverse engineer, dissimilation, or disassemble the SOFTWARE PRODUCT, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation or if you obtain permission from Schneider Automation engineering department. Separation of Components. The SOFTWARE PRODUCT is licensed as a single product. Its component parts may not be separated for use on more than one computer. Software Transfer. You may permanently transfer all of your rights under this EULA, provided the recipient agrees to the terms of this EULA. Termination. Without prejudice to any other rights, Schneider Automation Inc. may terminate this EULA if you fail to comply with the terms and conditions of this EULA. In such event, you must destroy all copies of the SOFTWARE PRODUCT and all of its component parts.

3. COPYRIGHT. All title and copyrights in and to the SOFTWARE PRODUCT (including but not limited to any images, photographs, animations, video, audio, music, text, and "applets" incorporated into the SOFTWARE PRODUCT), the accompanying printed materials, and any copies of the SOFTWARE PRODUCT

are owned by Schneider Automation Inc. or its suppliers. The SOFTWARE PRODUCT is protected by copyright laws and international treaty provisions. Therefore, you must treat the SOFTWARE PRODUCT like any other copyrighted material.

4. U.S. GOVERNMENT RESTRICTED RIGHTS. The SOFTWARE PRODUCT and documentation are provided with RESTRICTED RIGHTS. Use, duplication, or disclosure by the Government is subject to restrictions as set forth in subparagraph (c)(1)(ii) of the Rights in Technical Data and Computer Software clause at DFARS 252.227-7013 or subparagraphs (c)(1) and (2) of the Commercial Computer Software-Restricted Rights at 48 CFR 52.227-19, as applicable. Manufacturer is Schneider Automation Inc., One High Street, North Andover, MA 01845-2699.

5. LIMITED WARRANTY NO WARRANTIES. Schneider Automation Inc. and Modbus Organization, Inc. expressly disclaim any warranty for the SOFTWARE PRODUCT. The SOFTWARE PRODUCT and any related documentation is provided "as is" without warranty of any kind, either express or implied, including, without limitation, the implied warranties or merchantability, fitness for a particular purpose, or infringement. The entire risk arising out of use or performance of the SOFTWARE PRODUCT remains with you. NO LIABILITY FOR CONSEQUENTIAL DAMAGES. In no event shall Modbus Organization, Inc., Schneider Automation Inc. or its suppliers be liable for any damages whatsoever (including, without limitation, damages for loss of business profits, business interruption, loss of business information, or any other pecuniary loss) arising out of the use of or inability to use this product, even if Schneider Automation Inc. or Modbus Organization, Inc. has been advised of the possibility of such damages. Because some states/jurisdictions do not allow the exclusion or limitation of liability for consequential or incidental damages, the above limitation may not apply to you.

6. MISCELLANEOUS If you acquired this product in the United States, this EULA is governed by the laws of the State of Massachusetts. If you acquired this product outside the United States, then local laws may apply. If you agree to the terms of the above license, please click the "I ACCEPT" button on the download page or if you have questions concerning the terms of license please contact: Special Intellectual Property Counsel to Schneider Automation, 1415 S. Roselle Rd., Palatine, IL 60067-7399; Telephone Number (847) 925-3452 or Fax (847) 925-7419 Schneider Automation Inc. Copyright 1999 Schneider Automation Inc. All rights reserved.