應用於校園網路與監控系統網路整合之 CAN 與 TCP/IP 閘道器之設計

邱日清　王子昂　侯建和
國立中山大學電機工程學系
k781019@hotmail.com

摘要

TCP/IP 於 Ethernet 廣泛地使用在各種領域，亦是校園網路的主幹協定。對於校園網路環境而言，除了傳統的資料處理的應用外，校園安全監控系統的加入也日形重要，有效率地整合此兩種異質網路系統於一體，也是校園網路當前重要的課題之一。CAN 匯流排是當前應用於監控系統重要的匯流排協定，它採用訊息識別作為逐位仲裁的優先權機制，訊息傳遞能在有限的延遲之內完成，適合使用在即時環境當中。本研究透過 CAN 匯流排與 TCP/IP 網路的閘道器的設計，提供管道讓訊息來往於 CAN 匯流排與 TCP/IP 於 Ethernet 網路之間，以建構一個可靠且具有擴充性的自動化控制區域網路。

關鍵詞：控制器區域網路、自動化控制區域網路、CAN 與 TCP/IP 之閘道器

Abstract

TCP/IP on Ethernet is wildly using in various place, such as industry automation, commercial area networks, and campus area network, etc. In addition to the traditional data processing applications, campus safety monitoring system is becoming more and more important. The CAN bus uses the message identifier as a priority by-bit arbitration mechanism, message can be delivered within a limited delay, suitable for use in real-time environment, as an important basic layer protocol for the automation network. This study proposes a gateway model that provides message to transfer between CAN bus and TCP/IP on Ethernet.

Keywords: CAN, Controller Area Network, Automation network, CAN-to-TCP/IP on Ethernet Gateway

1. 前言

隨著微控制器和嵌入式系統的蓬勃發展，很容易透過編程的方式達到精確的時間與位置控制，許多特定行為的工作普遍都交由自動化設備執行，當控制器數量增加到一定的規模則很難再用人工的方式一一檢視設備，從而導入自動監控的機制，在車輛、航空、航海、建築、智慧家電、醫療、油氣、電力、水處理等各個領域都有所應用。隨這時代的進步與當前社會環境的變化，對於校園安全自動化監控系統，更是日形重要。

整合當前區域網路與自動化控制系統網路，作為數據採集與監控系統（Supervisory Control and Data Acquisition，SCADA）之用途，是提升校園網路系統功能的重要指標工作之一。對於一些控制系統且具有高度即時需求的系統，其網路架構的好壞會直接反應在傳輸時間上，嚴重者甚至產生錯誤，而任何一個錯誤的發生都可能導致財產損失或人員意外，更顯得自動監控系統中的錯誤處理機制格外重要。傳統採用 RS-485 作為控制區域網路控制訊號的載具雖然歷久不衰，卻不支援硬體的碰撞偵測或錯誤修正之解決方案。

現今自動控制通訊協定種類繁多，不同媒介之間無法直接互相通訊，使得整合不同媒介之間的溝通成為一個重要的課題。對於數據採集與監控系統的區域網路中，CAN 這種關鍵的通訊協定常被應用，若能將其與 TCP/IP 於 Ethernet 整合來提昇各網路之間的相容度，使得自動化監控系統區域網路的規劃更具有彈性。

本研究企圖建構一種可靠且低成本的應用模型，且期望可推廣至大型分散式的控制網路應用，於是提出 CAN 與 TCP/IP 於 Ethernet 之閘道器作為 CAN 匯流排網路向 TCP/IP 於 Ethernet 網路擴展的管道，達到有效率的整合校園網路與監控網路此兩種異質網路系統於一體。

2. CAN 與 TCP/IP 閘道器

閘道器又稱為協定轉換器，是一個面對兩種不同協定或不同實體介面的網路節點，可以運作在任何一個網路層級，當閘道器面對超過一個以上

的協定時，傳輸的轉傳機制可能比路由器或交換器還要複雜很多。

其工作內容包含協定轉換、裝置阻抗匹配、傳輸速率轉換、錯誤隔離或訊號轉換等。由於使用軟體處理協定轉換，相較於單純使用硬體的設備會造成更長的傳輸延遲，在實際使用上必須考慮傳輸延遲的問題，才能決定傳輸路徑中可存在的閘道器之最大數量。

CAN 匯流排與 TCP/IP 於 Ethernet 資料轉換機制的具體工作內容為訊息格式轉換、位址轉換和實體介面轉換。

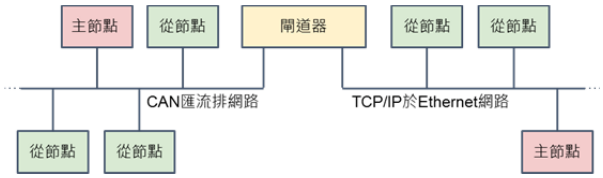

圖 1　閘道器與 CAN 匯流排網路、TCP/IP 於 Ethernet 網路

2.1　訊息格式轉換

對於上層協定和 CAN 的資料鏈結層之間而言，需要自行加入處理上層協定資料單元（Protocol Data Unit，PDU）片段的機制。

圖 2 為一個 17 位元組的上層 PDU 分解之例。一個 17 位元組的上層 PDU 依照 CAN 協定每次所能承載的最大容量 8 位元組分解程三個片段。

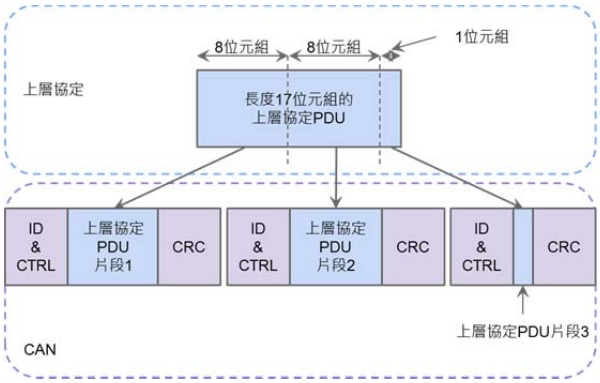

圖 2　17 位元組的上層協定資料單元分解之例

考慮支援上層 PDU 長度最大有 512 位元組，以 CAN 匯流排每次 8 位元組的方式傳送需要花費 64 次，需要使用 6 個位元（位元 0 到位元 5）作為上層 PDU 片段序號編碼。

參考圖 3，對於標準識別訊框的 CAN，利用 CAN 訊息識別的最小 6 個位元作為上層 PDU 片段之用，與 1 個位元（位元 6）的最末 PDU 片段識別（Final Bit Field，FIN）和 1 個位元（位元 7）的最首 PDU 片段識別（First Bit Field，FIR），最後 3 個位元（位元 8 到位元 10）保留作為 CAN 的訊息種類識別，也就是說明承載的資料屬於何種上層協定。

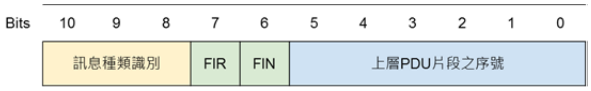

圖 3　CAN 訊息識別之用途規劃

2.2　位址轉換

位址轉換的目的在於訊息可以正確的送到接收端並且被辨識。CAN 匯流排與 TCP/IP 於 Ethernet 採用不同的定址模型，欲使 CAN 匯流排網路上的訊息能和 TCP/IP 於 Ethernet 網路上的訊息交換，閘道器必須具有位址轉換的機制。

CAN 匯流排網路上的資料內容類型由訊息識別定義，發送端的動作僅僅是把訊息識別（隱含資料內容類型）和資料往匯流排上送出，由接收端依據訊息識別（是否為感興趣的資料內容類型）決定接收後送往上層或丟棄。

參考圖 4，假設採用某種應用層通訊協定，在 CAN 匯流排上使用特定的訊息種類識別，二進制的「111」作為此種應用層通訊協定的訊息種類識別，即「0x7XX」的訊息識別，所以只要閘道器收到帶有此種應用層通訊協定的訊息種類識別的資料傳輸，就會往 TCP/IP 於 Ethernet 轉傳。

圖 4　對特定應用使用 CAN 訊息種類識別「111」的定址方法

TCP/IP 使用 IP 位址作為訊息傳輸來源與目標的依據，發送前需要先知道目標的 IP 位址，同時也要附上自己的 IP 位址作為回傳時之用。TCP/IP 使用 TCP 埠號作為不同應用程式的連接窗口，並且必須要先建立連線而後傳輸資料。

參考圖 5，假設採用某種應用層通訊協定，在 TCP/IP 於 Ethernet 上使用特定的 TCP 埠號「4183」作為此種應用層通訊協定的訊息種類識別，所以只要閘道器收到經由 TCP 4183 埠的資料傳輸，就會往 CAN 匯流排轉傳。

Bits	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	1
Bits	15	14	13	12	11	10	9	8
	0	0	0	1	0	0	0	0

圖 5　對特定應用使用 TCP 埠號 4183 的定址方法

閘道器的位址轉換方法即是對於特定的應用程式使用特定的 CAN 訊息種類識別二進位的「111」和特定的 TCP 埠號「4183」。CAN 訊息種類識別二進位的「111」和 TCP 埠號「4183」並不是硬性規定的，是我們對一個自行規範的應用層協定的設定，實際應用上應考慮現有的使用常規來對特定應用程式設定對應的 CAN 訊息種類識別與 TCP 埠號。譬如 Modbus/TCP 使用 TCP 埠號 502 已經是公認的標準。

2.3 實體介面轉換

訊息通過閘道器的過程將於 CAN 匯流排與 Ethernet 兩種實體介質之間轉換。就像人們搭公車到車站轉乘鐵路一樣，到了車站時先下公車接著進入火車車廂。傳輸的訊息也是一樣，搭乘一種傳輸媒介到達閘道器時將其取出，轉載到另外一種傳輸媒介後繼續往前發送。實際的運作是由 CAN 收發器與 Ethernet 收發器處理訊息取出或載入的動作並完成阻抗匹配，而 CAN 控制器與 Ethernet 控制器會負責設置傳輸速率和處理位元編碼。

實體層通常被製造成晶片，如此一來，對於實體介面轉換的工作可以很容易地透過軟體的設計**來控制 CAN 控制器晶片和 Ethernet 控制器晶片來**達成。

依據現有的協定標準，CAN 裝置使用三條電線與匯流排網路相連，分別是 CAN_H、CAN_L 與接地線，對於線材或接頭沒有明確規範，而多使用無遮蔽雙絞線與 DB9 接頭等。CAN_H 與 CAN_L 是一組電壓振幅相同、相位相反的差動訊號，其電壓準位判別根據 ISO11898-2 [2] 標準的高速版本協定與 ISO11898-3 [3] 的低速版本協定略有不同。而 Ethernet 的版本眾多複雜，以 100Base-TX 為例，多以 TIA/EIA-568-B 的接線形式，使用兩對（1、2 及 3、6）第五類無遮蔽雙絞線（CAT.5 UTP）進行連接。

3. 實例操作

3.1 平台建立

在實作上採用帶有 PXA270 處理器的實驗板（XSBase270）[4] 作為閘道器的開發。XSBase270 是基於 Intel PXA270 之 ARM 架構處理器所建構的實驗板，整合了使用 LAN91C113 10Base-T 與 100Base-TX 的 Ethernet 控制器和 MCP2515 CAN 控制器 [5] 與 MCP2551 CAN 收發器 [6]。本研究將 Windows Embedded CE 6.0 R3 作業系統 [7] 搭載於 XSBase270 上的實驗發展板作為 CAN 與 TCP/IP 於 Ethernet 通訊模組的開發平台。

Ethernet 使用 XSBase270 核心板上的 LAN91C113 Ethernet 控制器，實驗板的製造廠商附有 LAN91C113 於 Windows Embedded CE 的驅動程式，是由 Standard MicroSystem Corporation 釋出的 2.1 版本。Ethernet 上的 TCP/IP 協定則以 Windows Sockets 2 [8] 實作。

CAN 模組位於 XSBase270 教學板上的 MCP2515 CAN 控制器與 MCP2551 CAN 收發器，MCP2551 以 SPI 為介面和 PXA270 連接，作為 PXA270 的 SPI 從裝置，經由 MCP2515 提供的 SPI 指令（表 1）達成對 CAN 控制器的操作。PXA270、MCP2515 CAN 控制器與 MCP2551 CAN 收發器之間的連線參考圖 6。

表 1　MCP2515 提供的 SPI 指令列表

指令格式	說明
1100 0000	重置，暫存器回覆預設值且進入配置模式
0000 0011	讀取，從指定位址的暫存器讀取資料
1001 0nm0	讀取接收緩衝器，n、m是指定暫存器的起始位址的編碼，對應的RX中斷旗標會被清除
0000 0010	寫入，在指定位址的暫存器寫入資料
0100 0abc	裝載發送緩衝器，a、b、c是指定暫存器起始位置的編碼
1000 0nnn	請求發送，n、n、n分別代表對第2、第1、第0個發送暫存器的請求，可同時發出請求
1010 0000	讀取狀態，讀取有關發送和接收功能的狀態
1011 0000	讀取接收緩衝器狀態，讀取接收緩衝器可知是否於已滿的狀態與相關資訊
0000 0101	位元修改，使用對特殊功能暫存器的特定位元修改

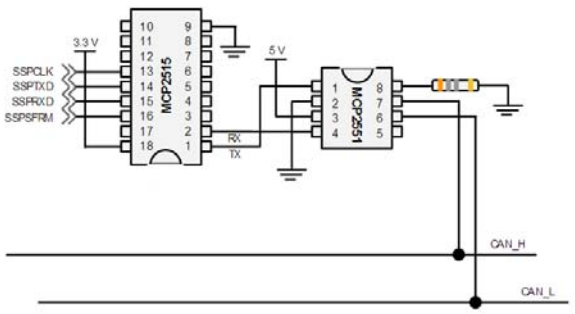

圖 6　PXA270、MCP2515 與 MCP2551 之連線圖

3.2 行為驗證

實例操作中對於訊息經過閘道的兩種方向均予以驗證。

從 CAN 匯流排收到帶有訊息種類識別 0x7XXX 的訊息要送往 TCP/IP 於 Ethernet（圖 7）時，閘道器會將訊息轉送給每一個以 TCP 埠號 4183 建立連線的裝置。

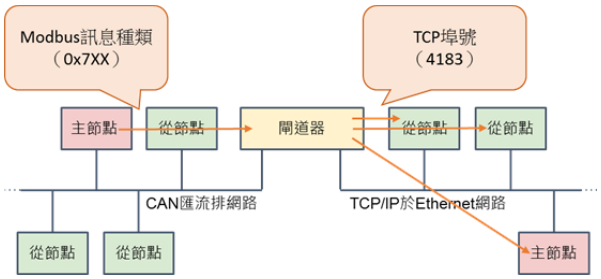

圖 7　訊息從 CAN 匯流排送往 TCP/IP 於 Ethernet

從 TCP/IP 於 Ethernet 經由 TCP 埠號 4183 傳來的訊息要送往 CAN 匯流排（圖 8）時，會將訊息種類識別設定為 0x7XX 以作為其特定應用層協定的識別，再送到 CAN 匯流排上。

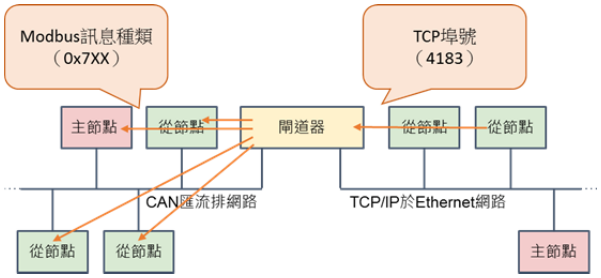

圖 8　訊息從 TCP/IP 於 Ethernet 送往 CAN 匯流排

不管是 CAN 匯流排傳往 TCP/IP 於 Ethernet 或是 TCP/IP 於 Ethernet 傳往 CAN 匯流排的情況，對於閘道器處理訊息格式轉換、位址轉換所花費的時間均小於 1 毫秒，對於一般的操作需求都沒有問題。

4. 結論與未來展望

4.1 結論

對於傳統的自動化控制區域網路採用 RS-485、RS-232 佈線改用 CAN 匯流排，其傳輸將更為可靠，一般以電話線即可作為線材容易建置，又 CAN 控制器與收發器價格低廉，幾乎是在不增加成本的情況下提昇可靠度。

將 CAN 匯流排區域網路與 TCP/IP 於 Ethernet 網路連結，即是將 TCP/IP 於 Ethernet 上的資源帶進 CAN 匯流排區域網路裡，譬如支援遠端的操作、建立資料庫等進階應用，將使得其數據採集與監控系統的功能更加完善。

本論文中提出並實現建構一種可靠且低成本的 CAN 與 TCP/IP 於 Ethernet 之閘道器，以做為達到有效率的整合校園網路與監控網路此兩種異質網路系統於一體的主要應用設備單元。

4.2 未來展望

本研究只是一個 CAN 與 TCP/IP 於 Ethernet 閘道器的雛型，預期可應用於分散式網路之中，譬如多個 CAN 匯流排網路與 TCP/IP 於 Ethernet 網路的網路拓樸。而目前實作的閘道器達成閘道器的基本工作內容，而未來還可以針對不同應用需求加入安全驗證等進階功能。

參考文獻

[1] CiA. (2001-2013). *CAN in Automation (CiA): Controller Area Network (CAN)* [Online]. Available:http://www.can-cia.org/

[2] International Organization for Standardization. (2003). *ISO 11898-2:2003 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 2: High-speed medium access unit* [Online]. Availible: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=33423

[3] International Organization for Standardization. (2006). *ISO 11898-3:2006 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface* [Online]. Availible: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=36055

[4] 華亨科技股份有限公司, XSBase270 (EELiod)ADS/Linux/WinCE 實驗開發與實務, 1 版. 高雄縣: 華亨科技股份有限公司, 2007.

[5] Microchip Technology Inc.. (2003-2012). *MCP2515 – Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface* [Online]. Available:http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21801G.pdf

[6] Microchip Technology Inc.. (2007). *MCP2551 – High-speed CAN Transceiver* [Online]. Available:http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667e.pdf

[7] Microsoft. (2009/10/29). *Windows Embedded CE 6.0 R3* [Online]. Availible:http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=14226

[8] Microsoft.(2013/07/11). Windows Socket 2 [Online]. Availible: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms740673%28v=vs.85%29.aspx