

車用電子 CAN bus 實驗系統之設計

黃新賢、林宜賢

正修科技大學電子工程系

摘要

區域控制網路 (Controller Area Network, CAN) 是一種非破壞性的仲裁機制，有確保較高優先等級的無延遲傳輸，在車用 CAN bus 系統上不需要設置主電腦，可達到裝置簡化、線路簡化、高安全性、網路架設便利、維修替換容易及價格低廉、適用於高雜訊與脈衝干擾的惡劣環境及廣域的控制場所中等優點。

本研究使用獨立的 CAN 匯流排通訊介面元件，符合 ISO 11898 規範 CAN 2.0B 協議規定，設計一套兼具 USB 2.0 的終端控制實驗系統，並整合周邊裝置 RFID 系統、加速度計感測、溫溼度感測、超音波測距、胎壓偵測、一氧化碳偵測、馬達驅動等 7 項實驗模組。實驗中包含 CAN 2.0B 匯流排多節點鏈結暨自動偵錯檢測模式、USB 描述定義及電腦介面管理、TTCAN (Time Triggered CAN) 管控方式整合多重感測與驅動裝置實驗等，實驗過程採用可程式管理之控制視窗。

本系統設計具有體積小、價格低廉、可在 CAN 匯流排中隨機裝設等優點之實驗模組，支援 USB 2.0 Full speed 熱拔插功能的終端機監控，使實驗環境中的任何一具節點模組，執行終端機監控或資訊傳遞的任務，並設計 RS232、SPI、I2C 等通用通訊協定擴展周邊裝置，讓實驗更豐富和靈活。

關鍵詞：區域控制網路、RFID、加速度計感測



Design of a CAN bus experimental electronics system applied in vehicle

Sin-San Huang · Yi-Hsien Lin

Department of Electronics Engineering Cheng-Shiu University

Kaohsiung, Taiwan 83347, R.O.C.

Abstract

The Controller Area Network is based on a non-destructive arbitration mechanism to ensure high priority delay-free transmission. It is a vehicle bus standard designed to allow microcontrollers and devices to communicate with each other within a vehicle without a host computer so that the requirements of installation simplification, line simplification, high security, and convenient network setup, easy and low maintenance cost can be achieved. It also can be adapted to the harsh environment of noise and pulse interference and can be used in wide area control sites.

This research work utilizes independent CAN bus communication interface components which meet CAN 2.0B, ISO 11898 specification compliance agreement to design a Terminal Control Experiment System that is equip with USB 2.0 transmission capacity and is integrated with seven experimental modules; RFID system of peripheral devices, accelerometer sensor, temperature and humidity sensor, tire pressure detector, carbon monoxide detector and motor drives. The experiment contains CAN 2.0B bus multi-node links and automatic debugging detection mode, USB described in the definition and computer interface management, TTCAN (Time Triggered CAN) control integrate multiple sensing and driving experiments. Programmable control window of process management was applied through the experiment to increase operability and future development potential.

The system is designed to be small in size, low cost and experiment modules can be randomly attached to the CAN bus. The advantages of USB 2.0 includes supports for Full speed hot plug features terminal monitor allow any node module can execute terminal monitoring or information transfer tasks. It is also designs to be expand with RS232, SPI, I2C and other common peripheral device communication protocol, so it can be more flexible to changes in experiments.

Keywords: CAN bus, RFID, accelerometer sensor



一、前言

隨著車用電子的迅速普及，機械式零組件已慢慢被半導體所取代，而半導體技術將為汽車提供更智慧化的駕駛環境，其應用領域涵蓋(1)引擎傳動：運用的技術包括引擎管理、動力分配匯流排、點火開關、噴射控制等；(2)底盤懸吊系統：主要產品包括電子牽引及懸吊系統等；(3)安全防護系統：產品包括 ABS、ASR、ESP 及安全氣囊控制等；(4)監控系統：產品線括胎壓監測器空調控制、電動椅、電動窗、防撞雷達、停車輔助系統等；(5)駕駛資訊系統：包括汽車音響、車用娛樂系統、導航系統、旅程電腦等。未來新型汽車上會不斷的增加一些電子裝置，來增加汽車的功能與附加價值，相對也增加控制系統的複雜度，目前這些控制系統與感測器之間大多透過點對點的電纜連接以完成控制及資料交換，如圖 1 所示。其佈線較為複雜及繁亂，訊號傳輸容易受雜訊干擾，容易造成安全上的問題及維修不易，其改進的方式是增強訊號發送功率及使用披覆了遮斷雜訊金屬網的纜線，會使成本提高，且改善訊號傳輸的錯誤率的效果不顯著。

CAN 區域控制網路是德國 Bosch 公司於 1986 年 2 月所提出[1][2]，由國際標準化組織 ISO 發佈 ISO-11519 (Low Speed) 及 ISO-11898 (High Speed) 規範，是目前被廣泛應用的匯流排之一。CAN 是一種串列的通訊協議，依據規範 CAN 具有高傳輸率、高抗電磁干擾性、能檢測出總線的任何錯誤、其最高傳輸速率達 1M bps (bits per second)、且當傳輸距離為 10 Km 時還有 5K bps 的傳輸速率等優點，非常適合於高雜訊環境的汽車中。圖 2 所示是 CAN bus 在汽車內之電子裝置連線架構圖，其優點有(1) CAN 是標準化的通信協定，(2) 通信造成的負擔由系統的 CPU 轉移至智慧型的節點，(3) 減少點對點需要的信號與控制連接線 (wiring Harness)，(4) 符合廣大市場需求，(5) 節省成本 [3][4][5]。

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。

車用電子在未來汽車產業中將佔有相當大的比重，需要大量車用電子的科技人才，CAN bus 又是整合車用電子各次系統不可缺少的技術，但是目前國內一般大學和技專校院都著重於 CAN bus 的研究，缺少將 CAN bus 技術做成以教學訓練教材為主的實驗設備及實驗教材。基於此因，與廠商合作共同開發一套 CAN bus 實驗系統及實驗教材，以作為開設 CAN bus 相關課程之實驗設備及教材選用參考，並解決缺少實驗設備及教材的困境，本實驗系統已取得中華民國新型專利：新型第 M 430084 號。本系統除了實驗系統外還編著了一本實驗手冊，由基本觀念，由淺入深，由簡單電路至複雜的實驗電路，有系統的介紹，可有效的提供學生對車用電子有一個完整的系統設計觀念，並加強學生對電路設計與程式撰寫的整合能力。實驗手冊內容包括四章：第一章、CAN bus 概述：詳細介紹 CAN bus 傳送資料格式、傳送協定、硬體架構。第二章、MCU 控制核心：介紹微處理機 PIC18F4550 的架構、硬體電路及程式設計。第三章、CAN bus 連結：詳細介紹兩個微處理機如何利用 CAN bus 作各種資料格式的資料傳遞。第四章、CAN 匯流排網路架構實驗：介紹微處理機、感測器間的各個實驗，包含感測器的電路設計、工作原理、程式設計等，最後將幾個實驗模組組成一個 CAN bus 實際系統。

本實驗系統使用 TTCAN 協定，分層分段的建構 CAN 匯流排的架構，完整探討 CAN 匯流



排系統的設計概念。從獨立的 CAN 控制器與具備 USB 2.0 高速傳輸的 MCU 整合控制電路開始著手，熟悉與了解 CAN 的各種通訊格式、物理層與資料層結構特性以及符合國際的標準規範。其中採用多款的感測裝置為實驗單元，並詳細解說各式感測器及驅動裝置的原理與特性，試驗節點管理與應用能力。最後結合各個單元實驗，建構成一套完整的 CAN 匯流排控制系統，模擬車載裝置在運作過程中的多種情境的整合實驗。

二、CAN 傳送資料格式

本系統著重於 CAN bus、微處理機及幾種汽車常使用的感測器電路設計與應用的教學實驗，同時使用感測資料驗證 CAN bus 的傳送功能與傳送資料格式學習。使本實驗系統除可學習 CAN bus 電路及通訊技術外，還可學習微處理機及感測器原理、電路與程式設計。CAN bus 的傳送資料格式是建構 CAN bus 網路系統非常重要一環，所以本節主要探討 CAN bus 的傳送資料格式，其餘於第三節系統設計討論。本系統使用 CAN 2.0B 為主要實驗對象，其傳送資料格式包含標準格式 (Standard frame message)、擴展格式 (Extended frame message)、遠端格式 (Remote Frame)、錯誤格式 (Active Error Frame)、過載格式 (Overload Frame)、格式間隔 (Interframe Space) 等 6 種格式，分別包含以下 10 個重要的辨識區塊 (Field) [6][7][8]，如圖 3~8 所示。

- Start Of Frame (SOF)：資料格式均由 SOF 位元開始傳送，SOF 為一個顯性位元，當跟隨在某資料格式之後時，必須等待前一段資料的資料框架間隔 IFS 結束後開始發送。
- 12-bit Arbitration Field：CAN 2.0A 節點仲裁區，由 11-bits 的標準標示符號 (Identifier) 及 1-bit 遠程辨識 (RTR) 所組成。
- 32-bit Arbitration Field：CAN 2.0B 節點仲裁區，由 11-bits 的標準標示符號、1-bit 替代遠程識別 (SRR)、1-bit 擴展格式辨識 (IDE)，18-bits 的擴展標示符號 (Extended Identifier) 及 1-bit 遠程辨識所組成。
- 6-bit Control Field：由 1-bit 擴展格式辨識、1-bit 保留位元 (Reserved Bit) 及 4-bits 數據長度 (DLC) 辨識所組成。其中 IDE 辨識在標準格式中為無效位元。
- 8N Data Field：資料裝載格式由 8 個 8-bits 位元所組成，無論裝載多少位元組資料，均由 DLC 決定發送的位元組數
- 16-bit CRC Field：由 15-bits 的 CRC (Cyclic Redundancy Check) 資料的循環重覆驗證碼及 1-bit 的驗證碼區格位元 (DEL) 所組成，當錯誤產生時將出現一個 Error Active 警告。
- ACK Slot Bit and ACK Del：ACK (Acknowledge) 確認命令，ACK Slot 執行期間，發送端送出一個 Recessive 訊號，當接收端確認資料接收無誤，則發出一個 dominant 訊號予發送端確認。
- 7-bit End-of-Frame：當每一筆資料傳送結束後，必須跟隨著 7-bits 的間隔格式。
- 3-bit IFS：IFS 為資料框架間隔，在 IFS 之後當端點接收一個高態訊號時，則視為 SOF (Start of Frame) 起始資料格式訊號。

三、系統設計

本系統使用 PIC18F4550 微處理器為控制核心，結合 MCP2515 CAN 控制器與 MCP2551 CAN 訊號轉換器，建構成一個支援 USB 2.0、RS232、SPI、I2C 等多項通訊協定的 CAN 2.0B 控



制模組，並設計不同的周邊感測與驅動裝置，分別設置在六個 CAN bus 控制模組上，設計成一套兼具 CAN bus 通訊架構研究與應用控制的實驗系統，圖 9 所示為 CAN bus 實驗系統實體圖。每一個 CAN bus 模組均可透過 USB 及 RS232 與 PC 聯結，PC 端利用 Visual C++ 語言設計視窗控制 CAN 匯流排資料傳輸、發送遠端格式要求 CAN 節點回傳資料、或多端模組連結透過 CAN 匯流排交換資料，運用靈活且富有彈性。本實驗系統在教學與實務應用中，具有以下 5 點特色：

- (1) 系統最大支援節點數達 112 個，不受實驗套件的侷限，可取用多具實驗模組架構成更具體的 CAN 匯流排通訊系統。
- (2) 系統整合 CAN、USB、RS232、SPI、I2C 等通訊協定架構並完成組譯後，編訂成教學實驗系統，全開放的程式編譯讓使用者除了了解 CAN bus，同時學習多種通訊協定及技巧。
- (3) 設計要求是比照標準工業等級規範，使用無穩態 DC/DC 隔離元件外部供電，有效阻絕電源雜訊最高 2500V，可運用實務量測方式了解 CAN 高抗雜訊之特殊傳訊能力。
- (4) 支援 USB 與外部 7.2V~15V 兩種供電方式，系統全功率運作最高消耗 109mA（含 RS232 等周邊同步動作）。
- (5) 使用 USB 2.0 介面連結電腦運作，韌體編寫 CDC（Communication Device Class）裝置描述與軟體圖形化介面整合設計，可依不同之使用目的更新組態編譯，實務設計應用很高。

本系統設計 9 項實驗單元，包括溫溼度感測、超音波測距、大氣壓感測、加速度感測、可燃氣體感測、RFID 辨識、燈光調節、馬達驅動及 CAN 匯流排整合實驗等，均為車載系統中的電子裝置，透過這些裝置的實驗過程，除了 CAN bus 的運用技巧，同時學習感測器的原理與電路設計，擴展了 CAN bus 應用面。

3-1 硬體設計

CAN bus 控制模組是結合微處理器 PIC18F4550 與 CAN 控制器 MCP2515，設計成一具 CAN 2.0B 匯流排通訊模組，並支援 USB 2.0、RS232、SPI、I2C 等多項通訊協定，可依據不同的需求結合周邊裝置應用。電路如圖 10 所示、成品如圖 11 所示。

● 溫溼度感測單元

本系統使用數位型溫度感測器 LM75A 及電容式溼度計 HS1100，設計成一具泛用型的溫溼度感測裝置，使用微處理器 PIC16F688 編撰溫溼度數據及演算法，提供 SPI 及 RS232 兩種傳輸介面應用，直接下達命令即可獲得正確之數據資料回傳。電路如圖 12 所示。

● 超音波測距單元

超音波測距單元是模擬車載系統中的倒車雷達，以分段距離顯示及聲音警示。模組設計是使用一對 40KHz 的超音波收發元件，將聲波回傳訊號透過兩級 OP 放大器及一級比較器電路輸出為方波，再由微處理器 PIC16F688 計算聲波飛行時間而獲得距離的測量數據，電路如圖 13 所示。

● 大氣壓感測單元

氣壓感測單元是應用在輪胎氣壓偵測警示，鑒於高壓偵測實驗的危險性，本系統改用大氣壓元件作為實驗設計。本實驗模組所使用 MS5540C 是一款極精確的大氣壓感測元件，可測量在 10-1100 mbar 的絕對壓力範圍，誤差刻度為 0.1 mbar，同時具有精確的溫度測量功能，可量測溫度範圍 -40°C ~ +85°C（解析度 0.1°C - 誤差值 0.8°C），元件工作電壓為 3.3V 工作電流僅 5uA，透



過 I2C 傳送 16-bits 氣壓及 16-bit 溫度兩筆數據，電路如圖 14 所示。

● 加速度感測單元

加速度感測器主要應用於安全氣囊的保護啓動，當車輛加速度超出一定安全量時，則判定為駕駛可能前俯受傷的緊急狀況，而啓動安全氣囊加以保護。本系統所採用 MMA7660FC 數位型 3 軸加速度計，I2C 通訊介面，其特點有：類比系統工作電壓 2.4V~3.6V、數位系統工作電壓 1.71V~3.6V，最大工作電流只有 47uA，可支援低 1.8V 低功率系統運作，每秒鐘最高取樣次數達 120 次，3 軸最高加速度變化感測為 10G (100us)，重力變化敏感度 $\pm 1.5g$ ，具有 SPI 及 RS232 兩種資料傳輸模式，單一指令即可執行控制，電路設計如圖 15 所示。

● 氣體感測單元

有鑑於時常發生汽車內一氧化碳中毒身亡的事件，本單元一氧化碳偵測實驗應有助於了解密閉的車內之空氣品質，增加行車安全。本系統採用類比氣體感測器 TGS2610，是兼具 SPI 及 RS232 輸出之感測裝置，測量範圍 500 ~ 10,000 ppm，可偵測氣體以瓦斯類型含氫之可燃氣體為主，此感測元件具有極高的靈敏度，亦可應用於家庭用瓦斯安全感測。本實驗模組直接由 PIC16F688 微處理器的 A/D 轉換器轉換感測器的電壓變化，使電路設計簡單化，如圖 16 所示。

● RFID 安全辨識單元

RFID 射頻辨識系統應用於安全管理與智慧型駕駛辨識等兩種實驗狀況，本單元採用華亨科技所代理的 RFID 感測模組 PUA-310，支援國際標準規範 ISO14443A S50/S70 1K/4K 射頻卡片讀寫，為 RS232 介面之資料傳輸，最高傳輸速率 28800 bps，主要功能為讀取及複寫射頻卡片 16 個記憶體區塊。本實驗模組，可讓實驗者學習讀取或寫入射頻卡片資料。圖 17 為 PUA-310 RFID 模組。

● 燈光調節與馬達趨動單元

燈光調節與馬達控制是車輛的基本配備，本單元以 PWM 驅動方式的控制燈光調節與馬達，即使用脈波寬度調變控制輸出功率的大小化。本實驗之 PWM 採用微處理機內建之 CCP (Capture/Compare/PWM) 產生，以計時中斷撰寫服務程式，以達到功率控制的電路簡單化的目的。圖 18 為 PWM 燈光調節等效電路，圖 19 為 PWM 馬達趨動電路。

3-2 軟體設計

本實驗系統使用 Visual C++ 設計 PC 與 CAN bus 控制模組之介面，並訂定動作流程及所有的實驗的初始化，包含 USB 驅動程式、Windows 定義型別及驅動裝置訊息獲取等複雜的程式架構，精簡了實驗程序。本文只提列 USB 與 CAN bus 控制板連結及 CAN 點對點連結測試，加速度計感測、溫溼度感測、超音波測距、胎壓偵測、一氧化碳偵測、馬達驅動等軟體設計方法略同：

(a) 圖 20 為 USB 與 CAN bus 控制板連結測試介面，編定了 1-byte 的輸入資料及 16 個 64-bytes 的資料傳輸，測試主控板執行命令與資料回傳結果，視窗元件的功能描述如下：(a) Status Box：作連結狀態顯示，連結正確顯示為"Device Found: Attached State = TRUE"，裝置未連結則顯示"Device Not Detected: Verify Connection/Correct Firmware"，(b) LED1~4：LED 燈號控制，主機發出命令格式 1-byte，對應 CAN 主控模組點亮或熄滅 4 個 LED 顯示號誌。(c) 空白顯示視窗：資料回傳顯示，主機發出要求回傳資料命令，由 CAN 主控模組對應的 USB data pipe (0~15) 將資料回傳，(d) RESET：要求 CAN 主控模組啓動軟體重置功能，重置主控模組內所有資料暫存器。圖 21 為 USB 與 CAN bus 控制板連結測試流程圖。



(b) 圖 22 為 CAN 點對點連結測試介面，以 CAN bus 控制板接溫濕感測器所量測之溫度及溼度為傳送資訊。視窗中 MotherboardStatus：”顯示 CAN bus 控制模組的連線狀況。TEC：發送錯誤計數器，REC：接收錯誤計數器，TXBO：CAN 匯流排關閉錯誤標示，TXEP：資料傳送發生被動錯誤標示，RXEP：資料接收發生被動錯誤標示，TXWA：資料傳送發生錯誤警告標示，RXWA：資料接收發生錯誤警告標示，MERRF：資料錯誤中斷警告標示，WAKIF：喚醒中斷標示，ERRIF：CAN 控制器產生兩個以上中斷表示為 1，由主控板清除為 0 回傳。Exten 勾選欄：勾選為擴展格式(Extended Data Frame) TxEID 為有效資料，未勾選時為標準格式(Standard Data Frame)，則 TxEID 不予理會。TxSID：標準格式 11-bit Arbitration Field。TxEID：擴展格式 18-bit Arbitration Field。Receive Data for Point-1：CAN 匯流排節點 1 回傳資料顯示框架，資料長度最大為 8-bytes。ConnetStatus：CAN 匯流排節點 1 連結狀態，Temperature：溫度顯示為節點 1 周邊裝置資訊，透過 CAN 匯流排於主控板後回傳，Humidity：同 Temperature 狀態。圖 23 為 CAN 點對點連結測試介面流程圖。

(c) 圖 24 為 CAN 匯流排暨模組整合實驗介面，整合了 CAN 主控節點與 5 具 CAN 匯流排節點構成，並裝置周邊實驗單元 6 項為實驗範例，軟體設計採用 TTCAN 傳送/擷取資料的方式，定時要求主控節點向 CAN 匯流排上所有節點要求資料（或發送命令要求節點執行）並回傳狀態，蒐整資訊後透過 USB 顯示於軟體介面上，完成一個 CAN 匯流排的整合性實驗。

圖中分為 6 個框架分別為：(i)：CAN 主控節點，專責電腦聯繫及 CAN 匯流排資訊流通，配屬周邊裝置 RFID 實驗模組。(ii) CAN 節點 1，為遠端擴展格式型態(TxEID 10~16, TxSID 0)，配屬周邊裝置溫濕度感測實驗模組。(iii) CAN 節點 2，為遠端擴展格式型態(TxEID 20~26, TxSID 0)，配屬周邊裝置大氣壓感測實驗模組。(iv) CAN 節點 3，為遠端擴展格式型態(TxEID 30~36, TxSID 0)，配屬周邊裝置三軸加速度計實驗模組。(v) CAN 節點 4，為遠端擴展格式型態(TxEID 40~46, TxSID 0)，配屬周邊裝置可燃氣體偵測實驗模組。(vi) CAN 節點 5，為資料擴展格式型態(TxEID 50~56, TxSID 0)，傳輸資料長度 TxDLC=2，配屬燈光調節應用電路並由 LightG 及 LightB 拖曳工具控制輸出。

整合實驗介面之軟體流程設計與點對點實驗相同，採用 Timer 計時器實現 TTCAN 定時管控制方式，針對 CAN 節點應用的差異或急迫性分時管理。

3-3 CAN bus 控制板之韌體設計

3-3-1 CAN 主控模組程序設計

在 CAN 主控模組程序上，主要區分為兩個作業流程，分別為 USB 連結主控端模組與 CAN 節點模組兩種型態，微處理器必須逐一完成 USB 描述元的定義及 CAN 暫存器與 SPI 介面傳輸定義初始化，使程式在執行中可檢測 USB 連結旗標的狀態，切換適當的執行程序。圖 25 所示為 CAN 主控模組動作流程圖，此流程在程序編訂時必須考量以下 3 項重點設計：

- (a) CAN 匯流排並不區分主機與設備層級差異，由 CAN 的角度來觀察，USB 裝置藉由 CAN 匯流排與其他節點通訊的周邊裝置之一，差異在於 USB 具有主動性，而周邊模組則為被動性控制。
- (b) 在微處理器主控與節點的定義，並不影響 CAN 控制器接收與傳送資訊，應視同 CAN 匯流排為獨立的系統架構，依據周邊模組之急迫性設定 CAN 控制器中斷訊號優先處理等級處理。



- (c) CAN 控制器為一具獨立元件，結構初始化已規劃在主程式之前完成，當執行程序中因為 USB 或其它原因介入必須改變結構或仲裁值時，則命令 CAN 控制器執行一次軟體重置，將避免記憶體資料殘留而影響 CAN 匯流排通訊的正確性。

3-3-2 CAN 控制器發送與接收程序

CAN 動作模式由微處理器完成初始化結構設定與定義，進入的 CAN 匯流排傳送與接收功能的運作。初始化設定包含了以下幾點重要的暫存器定義：

- (a) 初始化設定前，必須設置 CAN 控制暫存器處於配置模式。
- (b) 鮑率設定：包含了鮑率預分頻器、相位緩衝段、同步轉換寬度、傳播段長度、採樣點配置等，均需依照規範完成，另休眠模式必須設置喚醒濾波致能才能有效運作。
- (c) 對發送功能設置：須完成三個發送緩衝控制暫時存器、接腳控制暫存器設定。
- (d) 對接收功能設置：須完成兩個接收緩衝控制暫時存器、接腳控制暫存器設定、標準標示符號控制暫存器、擴展標識符號控制暫存器、六個驗收濾波暫存器及兩個驗收遮罩暫存器設定。
- (e) 完成中斷致能暫存器設置，並清空中斷及錯誤標誌暫存器。
- (f) 完成初始化設定後，設置 CAN 控制暫存器處於正常模式、休眠模式、循環模式、監聽模式任何一項，才開始動作。

3-3-2-1 CAN 資料發送

MCP2515 內部具有三個發送緩衝器，各佔 14-bytes 的記憶體，每次須先完成初始化動作，以確保發送運作正常及資料的可靠性，需要注意以下幾點動作：

- (a) 先清空發送請求位元，表示緩衝器目前無等待發送的資料。
- (b) 寫入資料至標示符號暫存器及發送數據長度緩衝器。
- (c) 定優先權。
- (d) 單觸發模式資料僅發送一次，不會重新發送，其發送資料之間隙時間需確定。

3-3-2-2 CAN 資料接收

MCP2515 內部具有兩個全接收緩衝器，並配置六個驗收濾波緩衝器及兩個驗收遮罩緩衝器，及一個接收資料集成緩衝器，為確保資料接收的可靠與正確運作，其流程設置上須注意以下幾點：

- (a) 僅允許在 CAN 控制暫存器處於配置模式時進行修改驗收濾波緩衝器及驗收遮罩緩衝器。
- (b) 當某一緩衝器接收到資料後，將產生相對的中斷旗標狀態，待緩衝器資料處理完畢必須由微處理器清除旗標，否則元件將無法再接收下一筆資料。
- (c) 當設定滾存為功能時，如果接收到一筆資料而接收緩衝器存在資料及時未處理時，資料將存入緩衝器而忽略濾波功能。
- (d) 接收暫存器具有較高的優先等級，配置一個驗收遮罩緩衝器及兩個驗收濾波緩衝器，資料接收將優先比對及儲存。
- (e) 接收緩衝器控制模式具有四種型態，可選擇關閉驗收/濾波功能而接收所有資料或僅接收標準/擴展格式資料等特殊功能，必須在結構初始化中完成設定

3-4 CAN 匯流排整合實驗



本實驗設計為六具 CAN 控制器的小型 CAN 匯流排系統，裝置周邊模組計有 RFID、溫溼度感測器、大氣壓感測器、加速度計、可燃氣體偵測及燈光調節等六項，各節點資料格式與仲裁標識符號設定如下描述。裝置完成圖如 9 所示，當完成 CAN 匯流排硬體搭建後，開啓軟體介面檢視資料回傳結果如圖 26 所示，當 CAN 匯流排各節點均處於正常工作模式下，所有數據資料顯示正確，且無錯誤計數與錯誤中斷旗標被致能，呈現一個功能正常的 CAN 匯流排運作系統。

- 電腦主控端節點：裝置 RFID 讀寫模組，可接收標準及擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 0~6，所有資料格式、仲裁標示符號均透過 USB 由軟體終端設置。
- Endpoint 1：裝置溫溼度感測模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 10~15，TxEID 10~11 將回傳 4-bytes 讀取數據，TxEID 12~15 回傳 0。
- Endpoint 2：裝置大氣壓感測器模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 20~25，TxEID 20~21 將回傳 4-bytes 讀取數據，TxEID 22~25 回傳 0。
- Endpoint 3：裝置加速度計，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 30~35，TxEID 30~31 將回傳 6-bytes 讀取數據，TxEID 32~35 回傳 0。
- Endpoint 4：裝置可燃氣體偵測模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 40~45，TxEID 40~41 將回傳 2-bytes 讀取數據，TxEID 42~45 回傳 0。
- Endpoint 5：裝置燈光調節模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 50~55，TxEID 50~51 接收主控端數據 2-bytes 數據並改變燈識，TxEID 52~55 回傳 0。

四、系統功能測試與結果

實驗系統功能測試分三項：(1) CAN bus 控制模組與感測器連線測試，(2) 小型 CAN bus 系統建構連線測試，(3) CAN bus 資料傳輸測試[9][10]。

- (1) **CAN bus 控制模組與感測器連線測試**：CAN bus 控制模組與感測器 (RFID、溫溼度感測器、大氣壓感測器、加速度計、可燃氣體偵測及燈光調節) 的測試方法一樣，本文只以 RFID 為例。CAN bus 控制模組以 RS23 介面連結 RFID 模組，並透過 RS232 完成 RFID 初始化設定，記憶資料及傳輸速率的設定。圖 27 為 CAN bus 控制模組與 RFID 連結，圖 28 為讀取 RFID 記憶卡之介面及資料。
- (2) **小型 CAN bus 系統建構連線測試**：將六個 CAN bus 控制模組成一個小型 CAN bus 系統，如圖 9 所示，裝置周邊模組計有 RFID、溫溼度感測器、大氣壓感測器、加速度計、可燃氣體偵測及燈光調節等六項，圖 14 為 CAN 匯流排整合實驗介面。當 CAN 匯流排各節點均處於正常工作模式下，所有數據資料顯示正確，且無錯誤計數與錯誤中斷旗標被致能，呈現一個功能正常的 CAN 匯流排運作系統，各節點資料格式與仲裁標識符號設定如下描述。
 - (a) 電腦主控端節點：裝置 RFID 讀寫模組，可接收標準及擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 0~6，所有資料格式、仲裁標示符號均透過



USB 由軟體終端設置。

- (b) Endpoint 1：裝置溫溼度感測模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 10~15，TxEID 10~11 將回傳 4-bytes 讀取數據，TxEID 12~15 回傳 0。
- (c) Endpoint 2：裝置大氣壓感測器模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 20~25，TxEID 20~21 將回傳 4-bytes 讀取數據，TxEID 22~25 回傳 0。
- (d) Endpoint 3：裝置加速度計，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 30~35，TxEID 30~31 將回傳 6-bytes 讀取數據，TxEID 32~35 回傳 0。
- (e) Endpoint 4：裝置可燃氣體偵測模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 40~45，TxEID 40~41 將回傳 2-bytes 讀取數據，TxEID 42~45 回傳 0。
- (f) Endpoint 5：裝置燈光調節模組，設置僅接收擴展資料格式，標準標識符號 TxSID 0、擴展標識符號 TxEID 50~55，TxEID 50~51 接收主控端數據 2-bytes 數據並改變燈識，TxEID 52~55 回傳 0。

為驗證 CAN bus 資料傳遞之正確性，本系統增加 CAN bus 節點離線測試及匯流排總線錯誤測試等兩項錯誤偵測功能。圖 29 為節點離線測試，將節點 3 線路拔除，並重置節點 4 CAN 控制器不予完成初始化，致使主控節點發出遠程擴展格式無法回應，則主控板可檢測該節點為離線狀態，並回傳顯示連線狀態為” Endpoint 3 Offline”及” Endpoint 4 Offline”，保留上一筆接收的數據顯示。圖中 30 所示為匯流排總線錯誤測試之畫面，CAN bus 總線錯誤的定義是指電腦端之主控板傳送節點未與任何正常工作的節點連結，視為該節點在 CAN 匯流排總線上的錯誤，會以”Endpoint x offline”顯示。但 CAN 主控節點仍定時向匯流排發送資料格式，直到有任何一端節點恢復正常運作，如圖 31 所示為節點 3 已正常連線。

- (3) **CAN bus 資料傳輸測試**：測試條件：(i) 分為 1M bps、500K bps、200K bps、100K bps、50K bps、20K bps 等六種速率，(ii) 傳輸距離 20 公尺，約為汽車內佈線長度 (iii) 傳送格式為時間位元切分及 120Ω 終端電阻閉路（高速 CAN 協議規範迴路），(iv) 採用點對點及 TTCAN 單觸發模式，(v) 每次傳送資料為 8 bytes，分別取樣 5000 次比對，(vi) 測試環境為很少雜訊的實驗室。測試結果如表 1 所示，傳送速率在 200K bps 時正確率可達 100%。

五、結論

本研究依據 ISO-11898 規範及 TTCAN 應用層協定，設計一套兼具 USB 傳輸控制的 CAN bus 教學實驗模組。本實驗模組可輕易的架構完整的 CAN 匯流排網路系統，實現一款具有裝置簡化、線路簡化、高安全性、具機動性設置、維修替換容易及價格低廉等多項優勢，從本實驗模組可學習 CAN bus 的傳輸架構及建構一套 CAN 的應用網路系統，同時可學習 RFID 系統、加速度計感測、溫溼度感測、胎壓偵測、一氧化碳偵測、馬達驅動等車用電子周邊裝置。除了了解 CAN bus 及 USB 通訊介面外，同時學習 RS232、SPI、I2C 等通訊介面。本系統是以車用電子為應用的領



域，但是它還可應用於廠區儀控、重電設備監管、現場臨時控制總線架設、中遠距環境監控、或居家防護系統等，讓 CAN 匯流排有很大的推廣空間與應用之商機。

六、致謝

本論文承蒙國科會（NSC 99-2631-S-230-001-CC3）與聯正科技有限公司之經費補助及陳坤宏同學的硬體電路製作及軟體撰寫，使研究與實驗得以順利完成，特此致謝。

七、參考文獻

- [1] BOSCH, “CAN specification 2.0 partA”, BOSCH, pp.1-31, 2000
- [2] BOSCH, “CAN specification 2.0 partB”, BOSCH, pp.1-38, 2000
- [3] 吳文琳、吳麗霞, “汽車車載網路系統原理與維修精華”, 機械工業, pp.3-21, 2009
- [4] 李雷, “汽車車載網路系統檢修”, 人民郵電, pp.13-27, 2009
- [5] 李雷, “汽車車載網路系統檢修”, 人民郵電, pp.3-5, 2009
- [6] Microchip, “A CAN Physical Layer Discussion”, Microchip, pp.1-12, 2000
- [7] H. Boterenbrood, “CANopen high-level protocol for CAN-bus”, NIKHEF, pp.2-579, 2003
- [8] 許永和, “車載通訊電子網路之 CAN/LIN 匯流排設計與應用”, 儒林出版, pp.4-7, 2010
- [9] ISO, “High-speed medium access unit”, ISO 11898-2, pp.3-5, 2003
- [10] ISO, “Fault tolerant medium access unit”, ISO 11898-3, pp.5-8, 2006

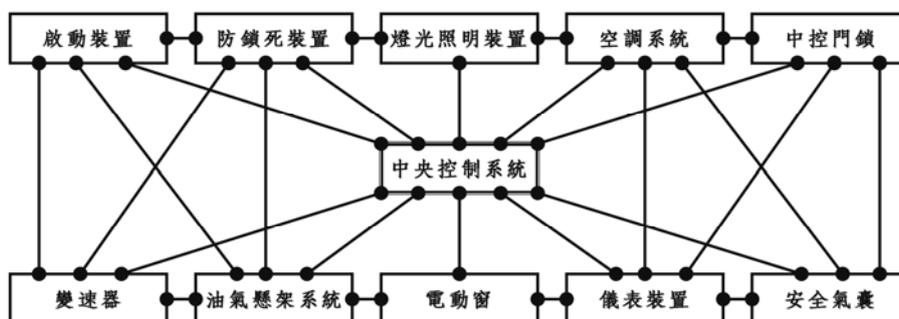


圖 1、目前汽車內電子裝置點對點的連線架構圖

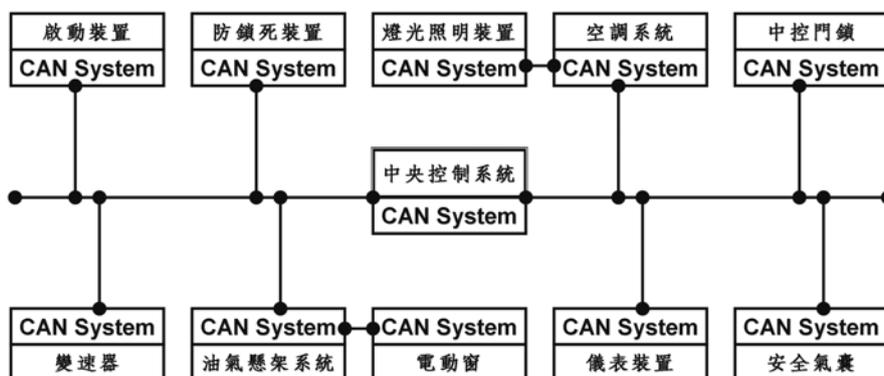


圖 2、汽車內之電子裝置以 CAN bus 連線架構圖



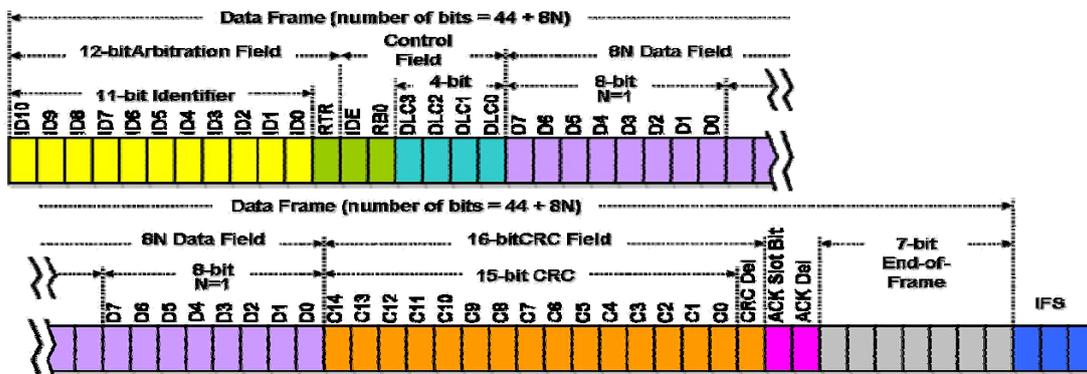


圖 3、標準格式資料結構

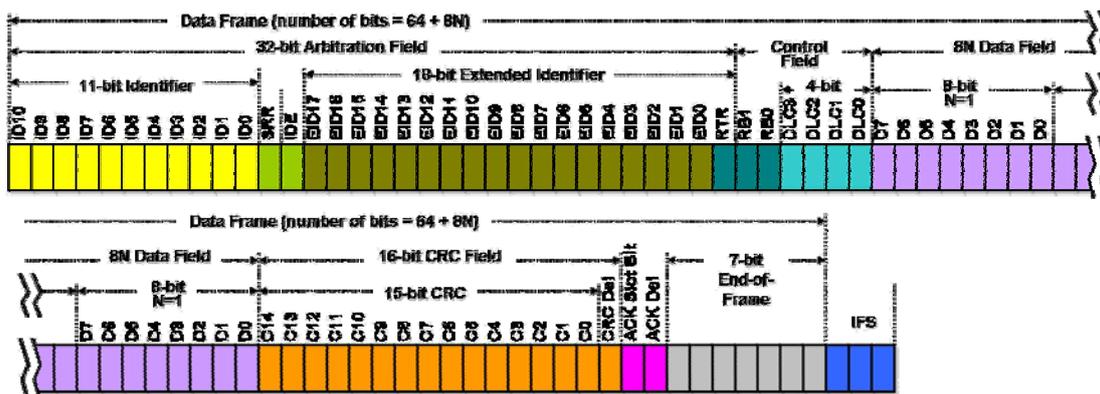


圖 4、擴展格式資料結構

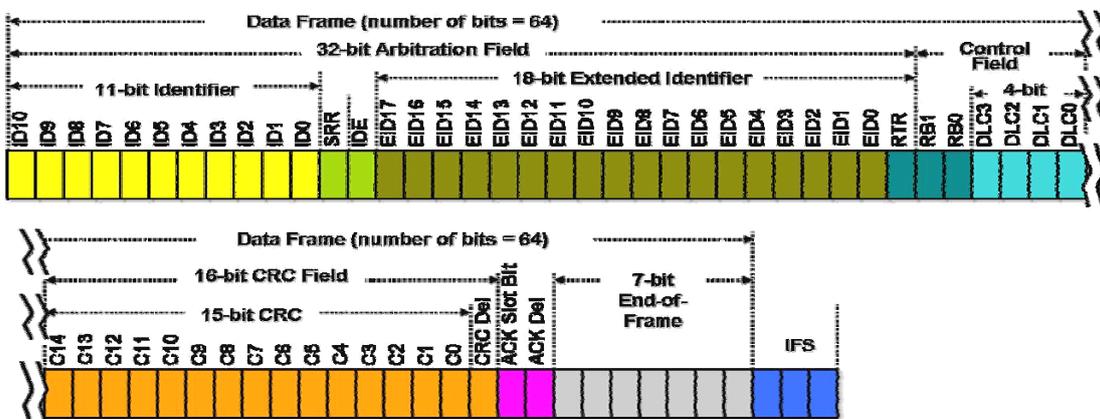


圖 5、遠程格式資料結構



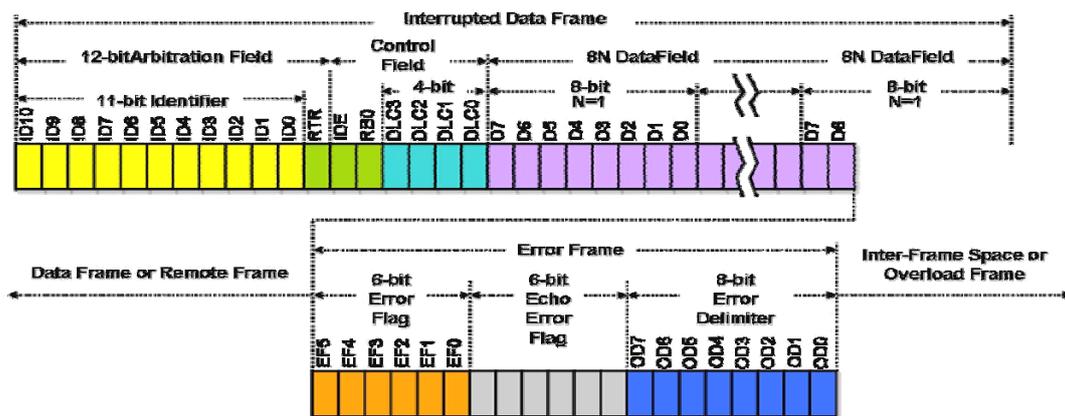


圖 6、錯誤格式結構

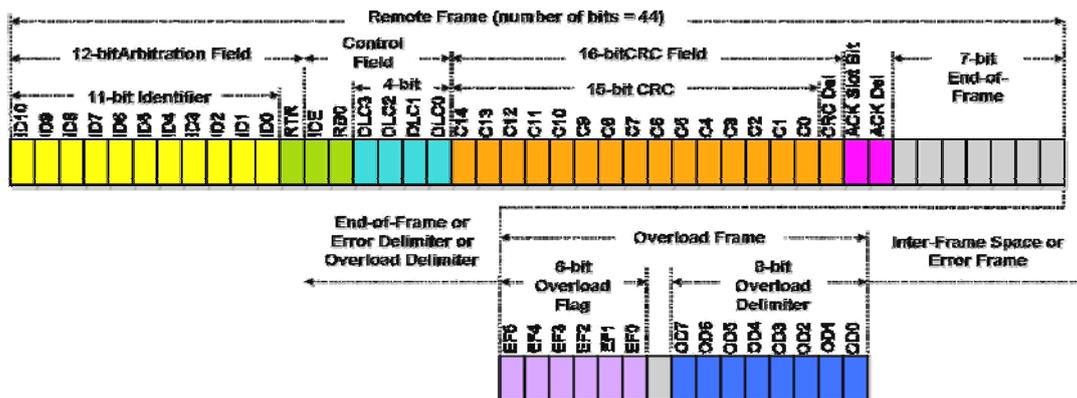


圖 7、過載格式結構

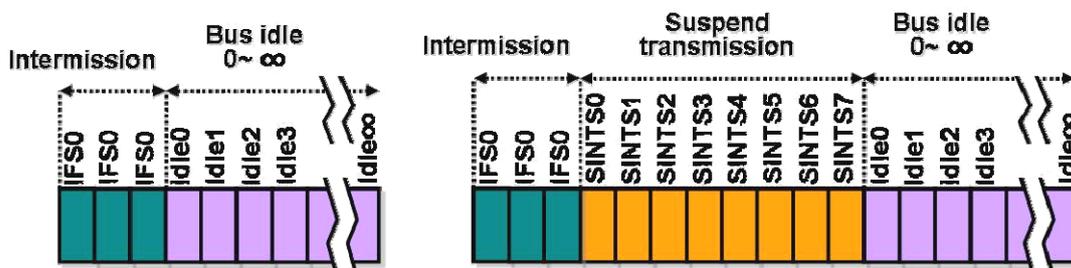


圖 8、格式間隔結構



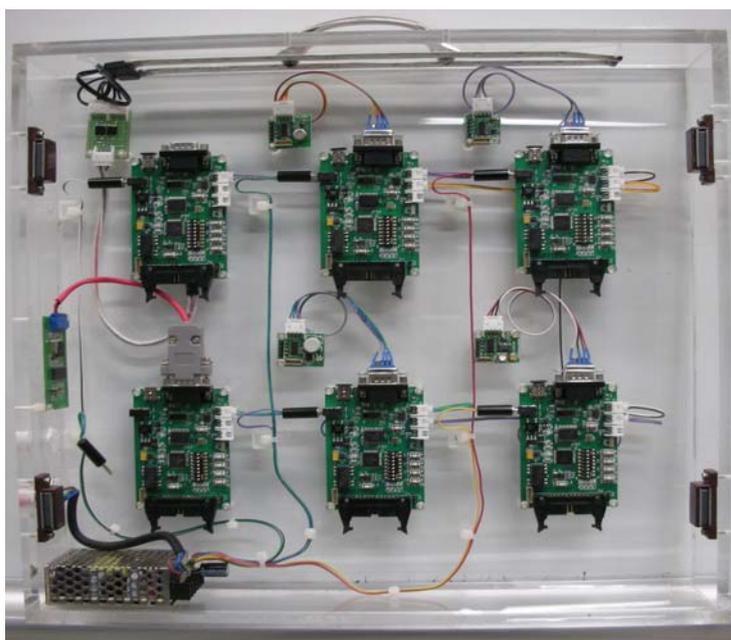


圖 9、CAN bus 實驗系統實體

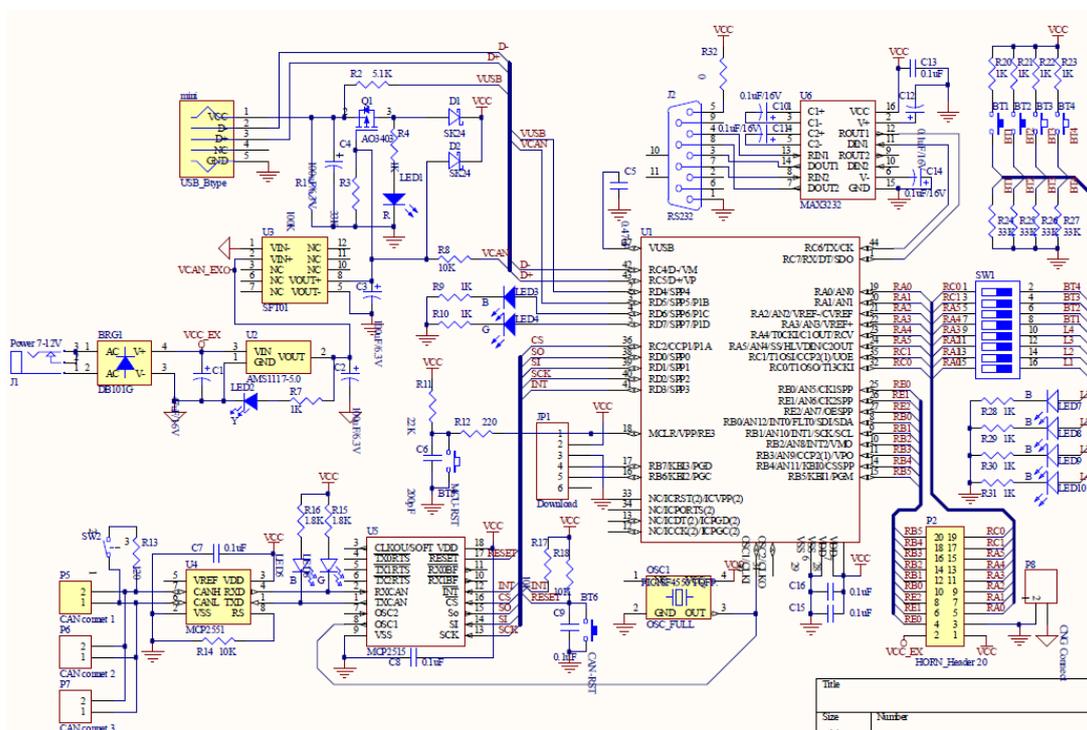


圖 10、CAN bus 控制模組電路圖



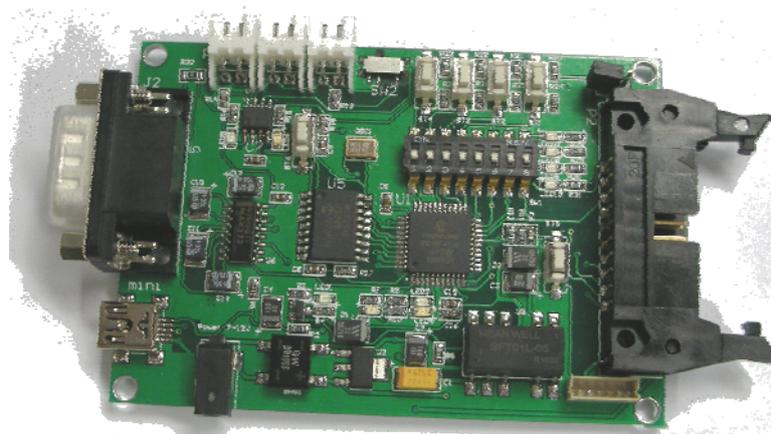


圖 11、CAN bus 控制模組

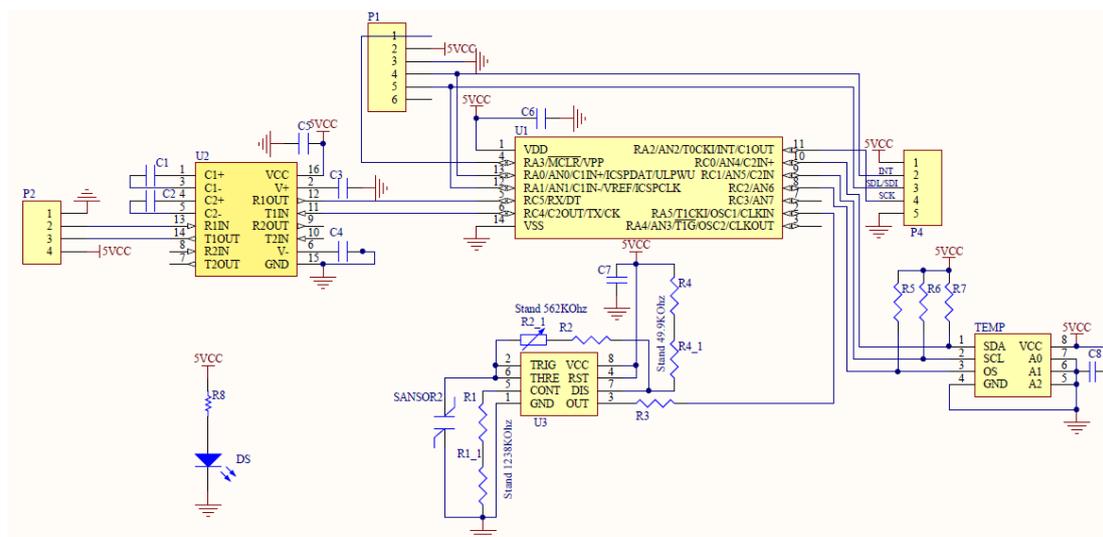


圖 12、溫溼度模組電路



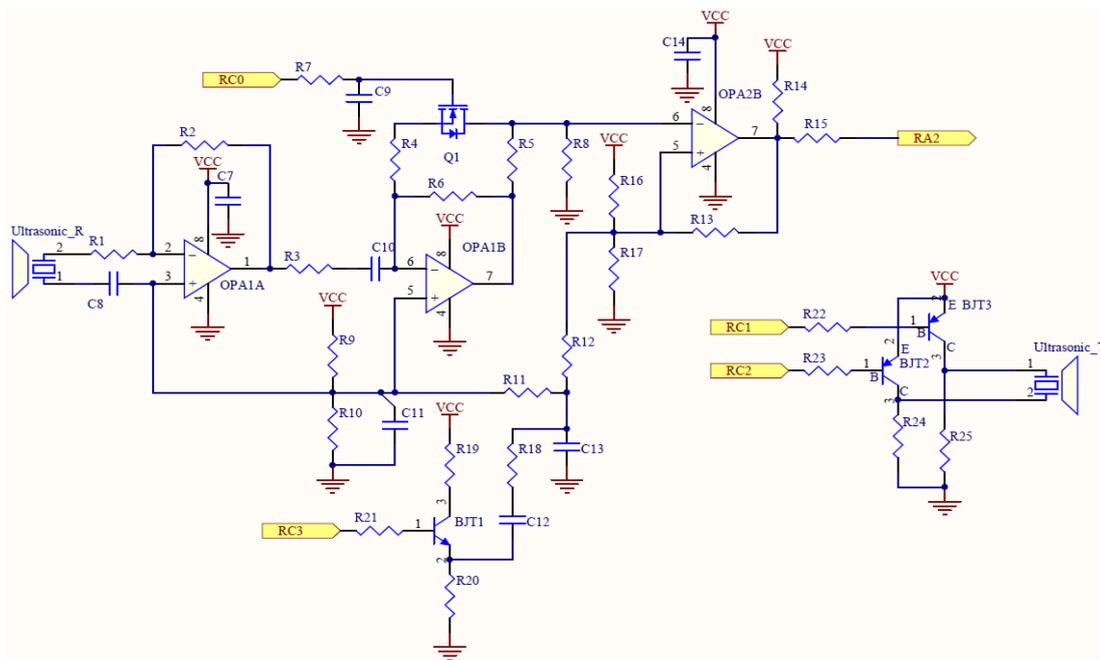


圖 13、超音波測距電路

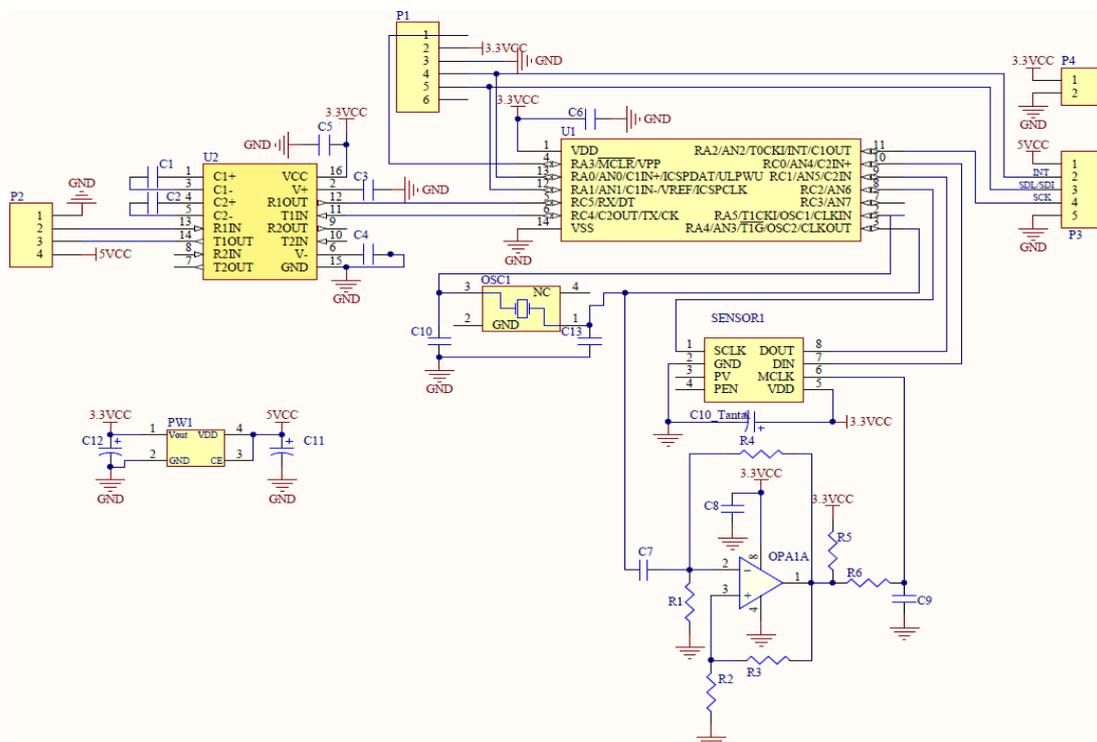


圖 14、大氣壓感測應用電路



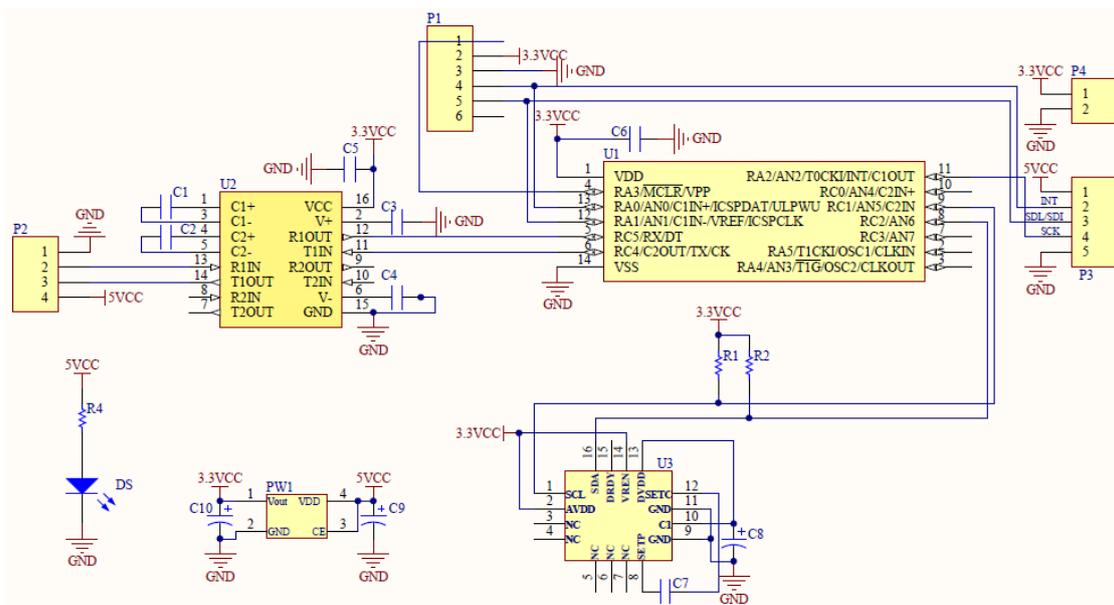


圖 15、三軸加速度感測應用電路

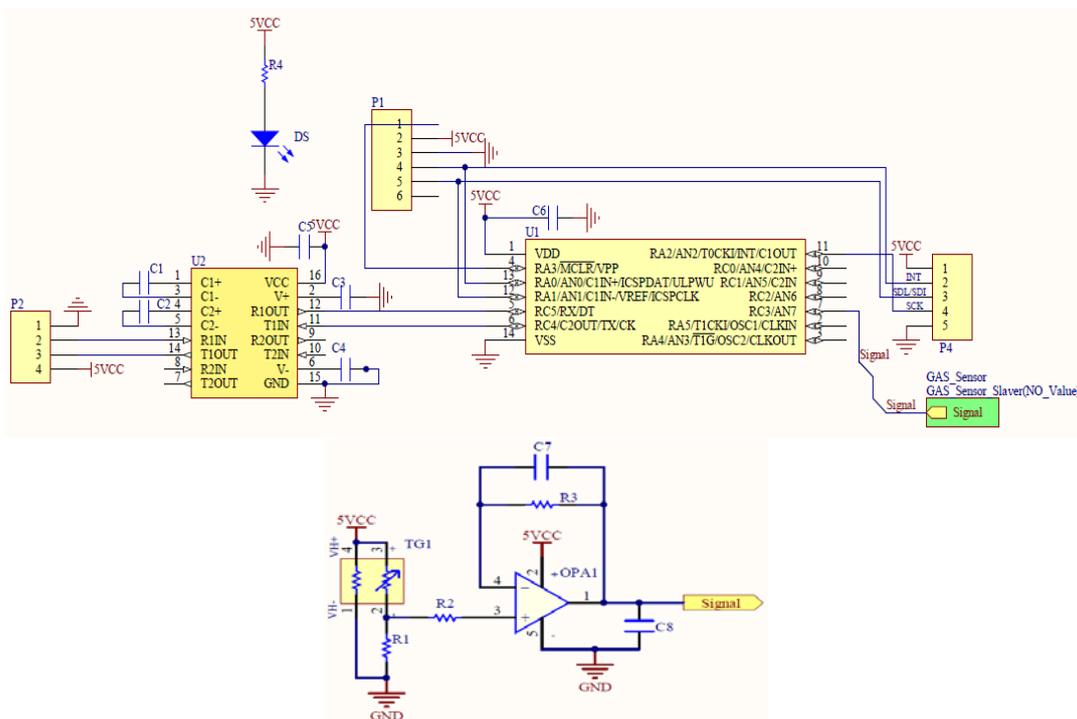


圖 16、氣體偵測應用電路



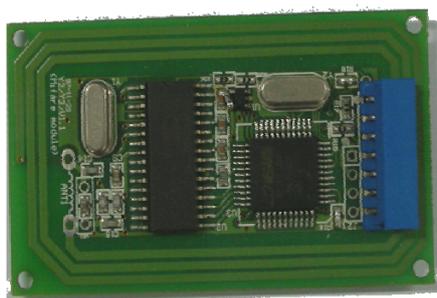


圖 17、PUA-310 RFID 模組。

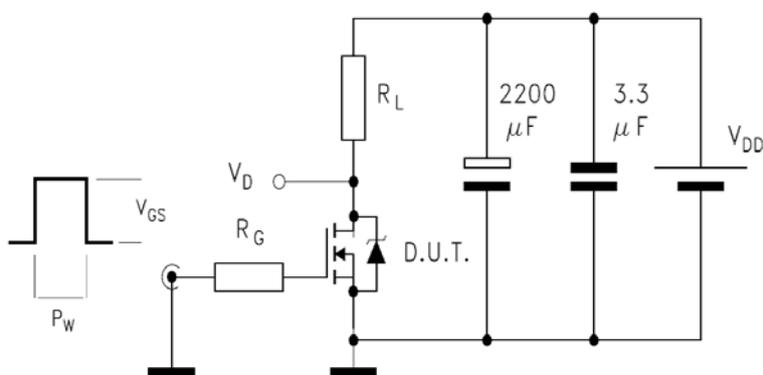


圖 18、PWM 燈光調節等效電路

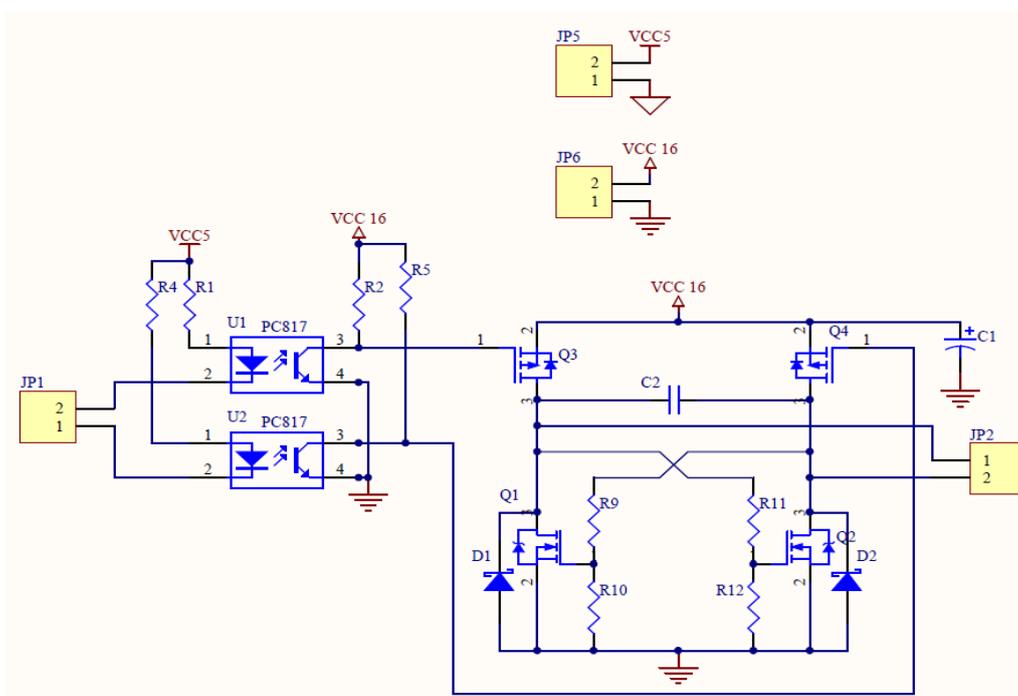


圖 19、PWM 馬達趨動電路



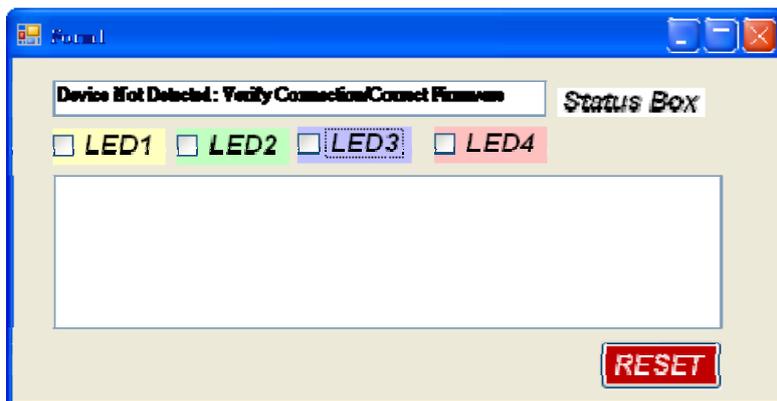
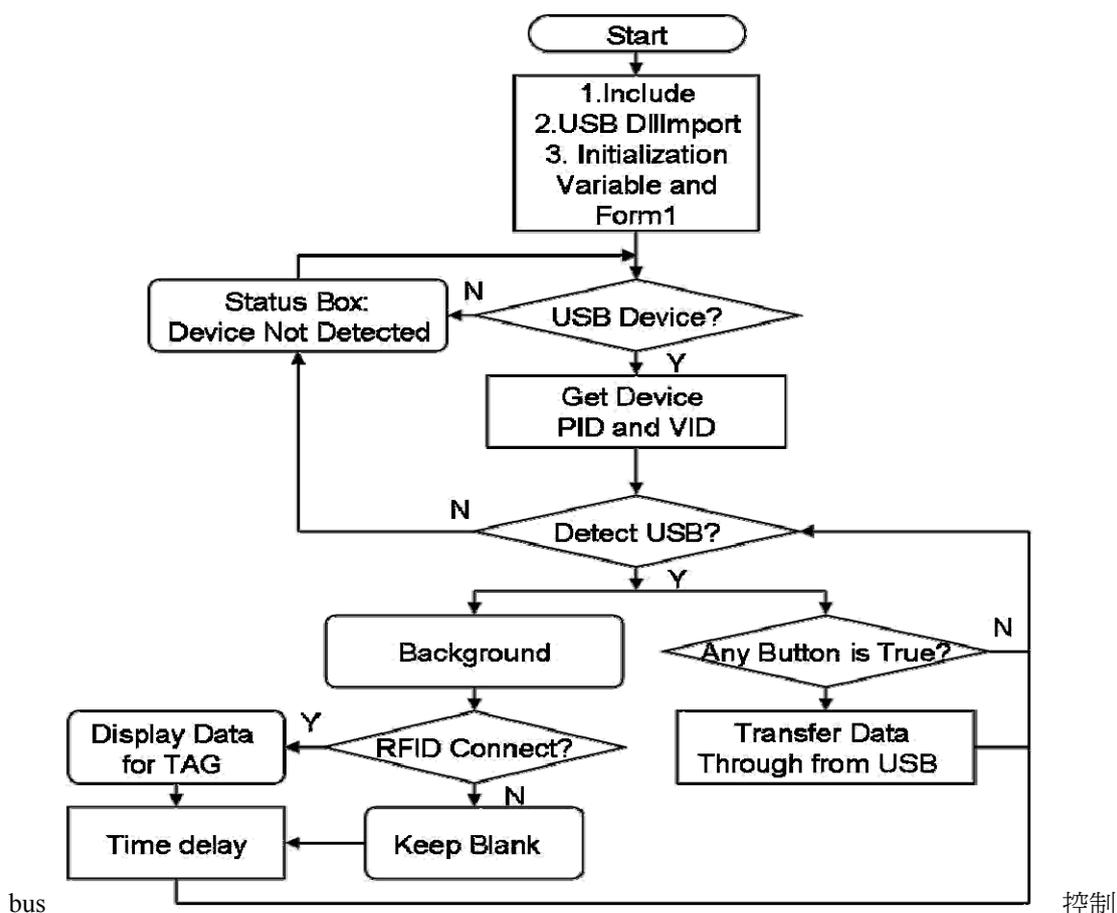


圖 20、USB 與 CAN bus 控制板連結測試介面

圖 21、USB 與 CAN



板連結測試流程圖



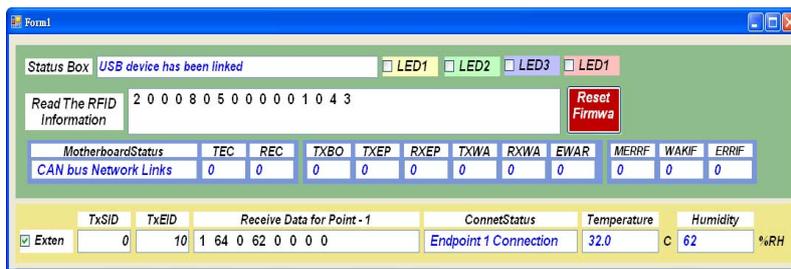


圖 22、CAN 點對點連結測試介面

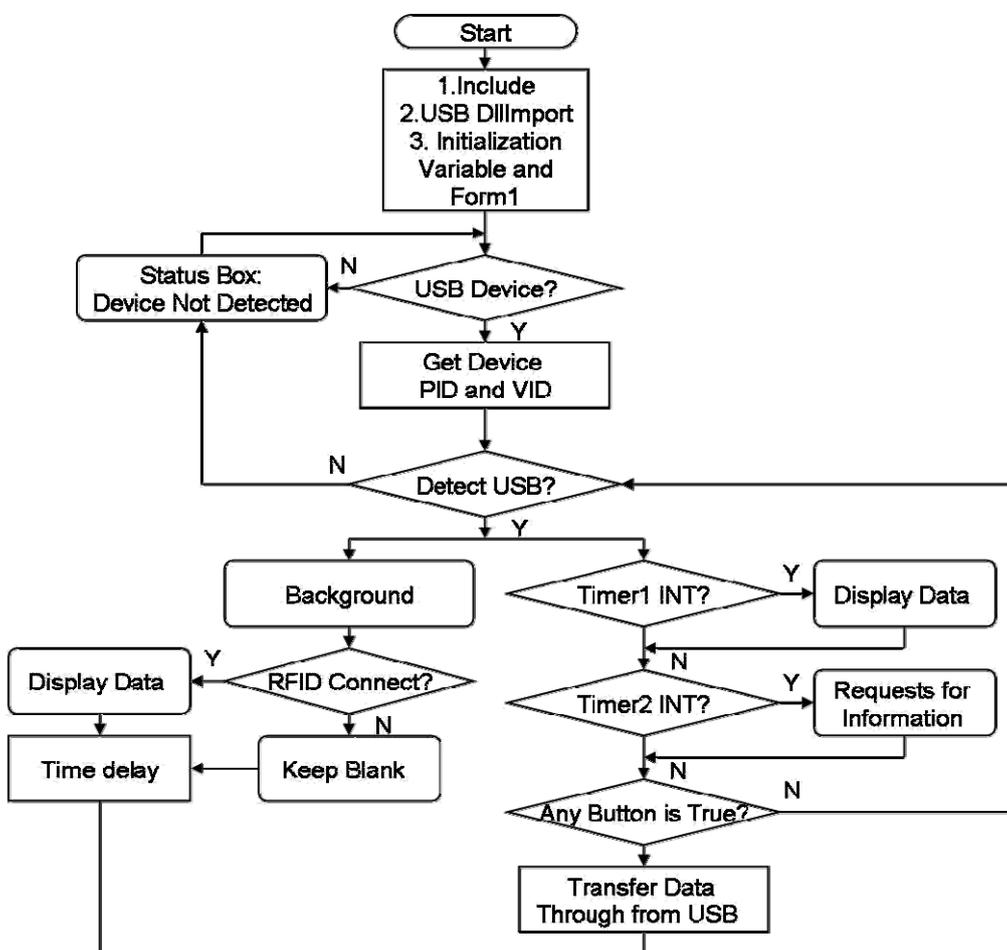


圖 23、CAN 點對點連結測試介面流程圖



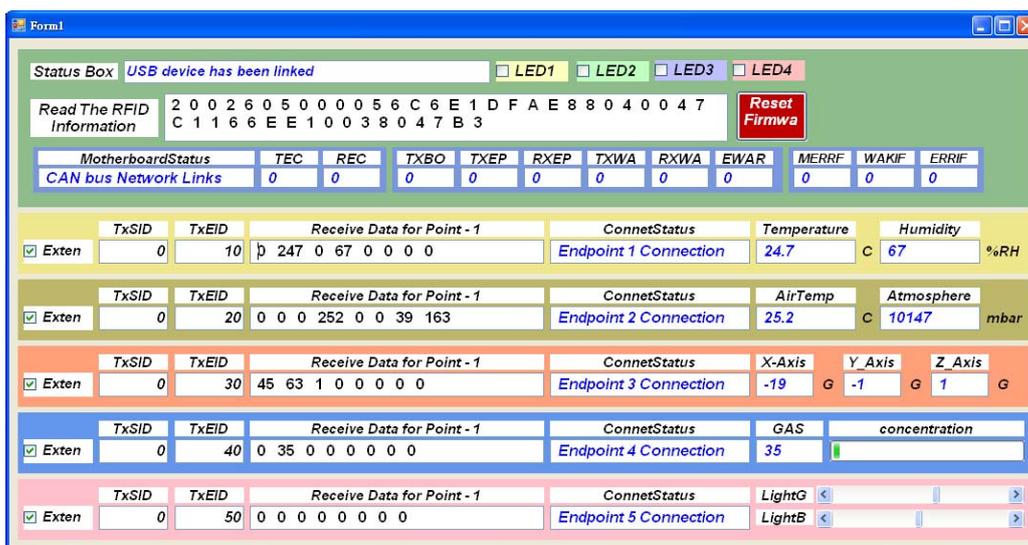


圖 24、CAN 匯流排整合實驗介面

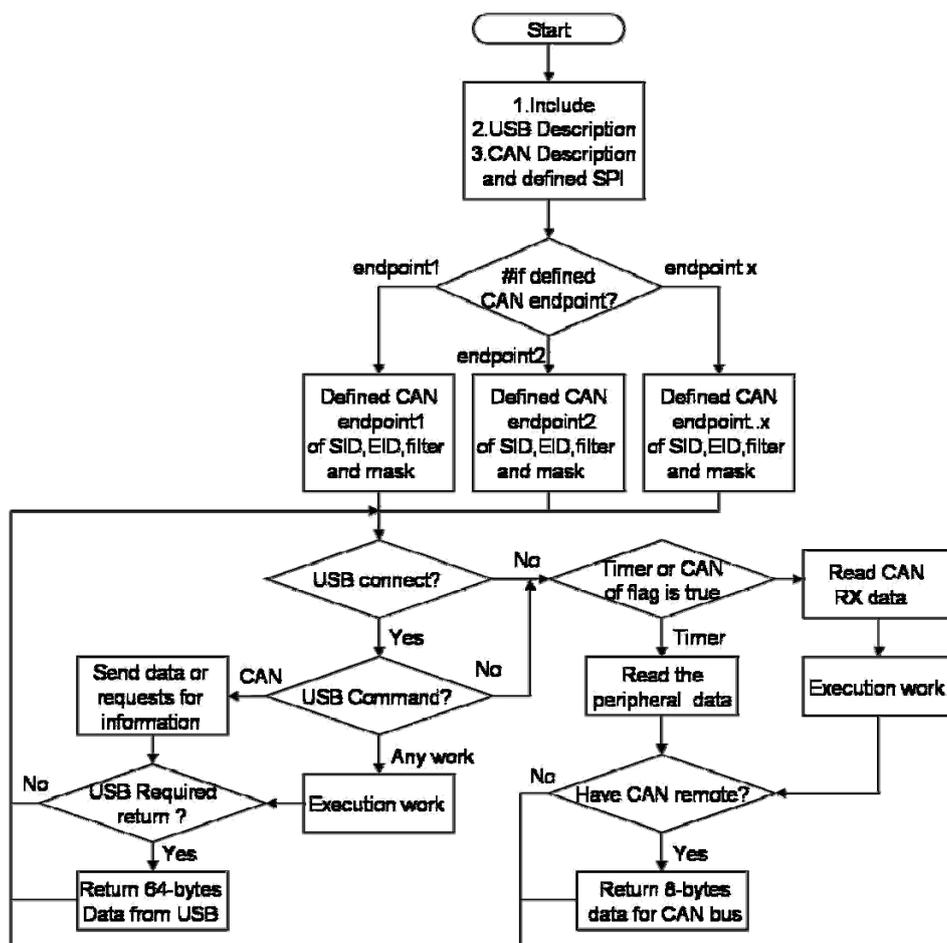


圖 25、CAN bus 控制板之軟體流程圖



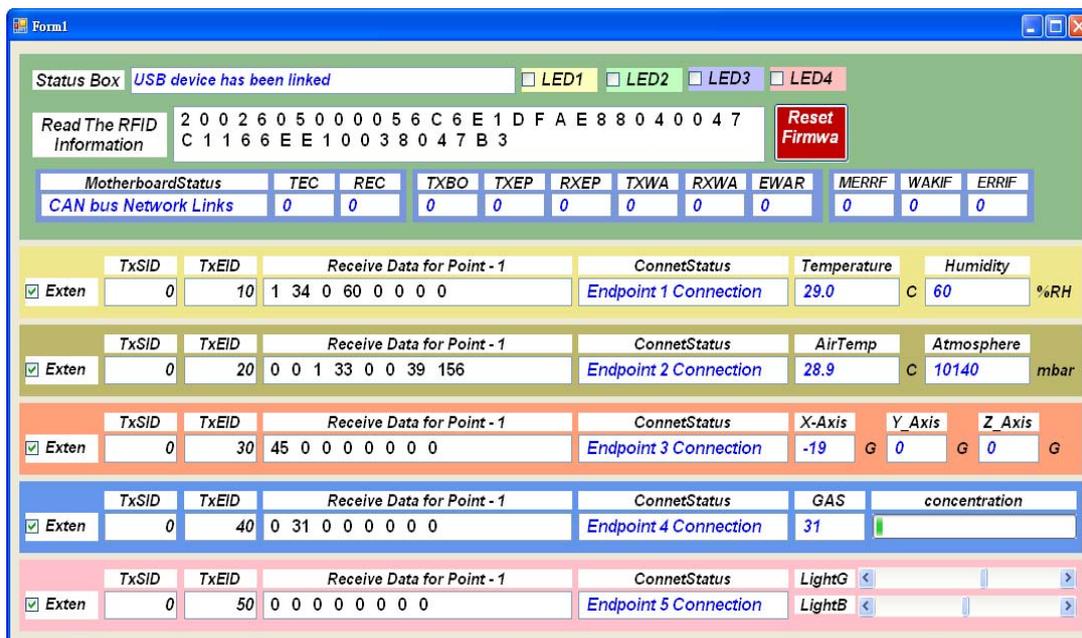


圖 26 CAN 匯流排整合控制介面

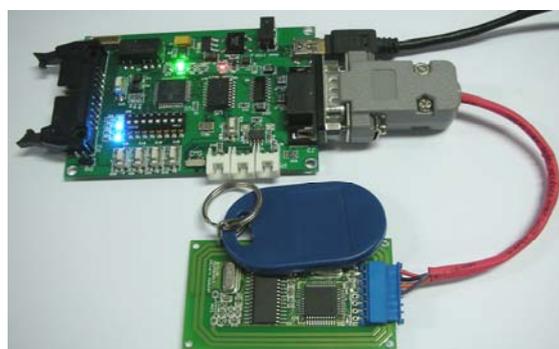


圖 27、CAN bus 控制模組與 RFID 連結

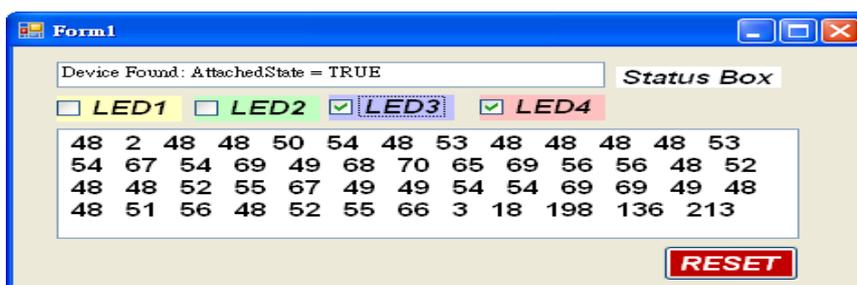


圖 28、為讀取 RFID 記憶卡之資料



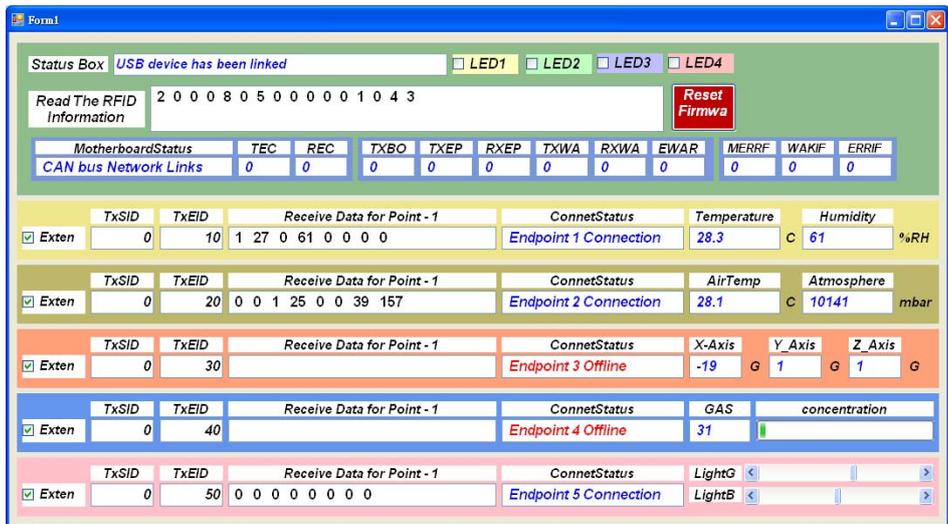


圖 29、節點離線測試

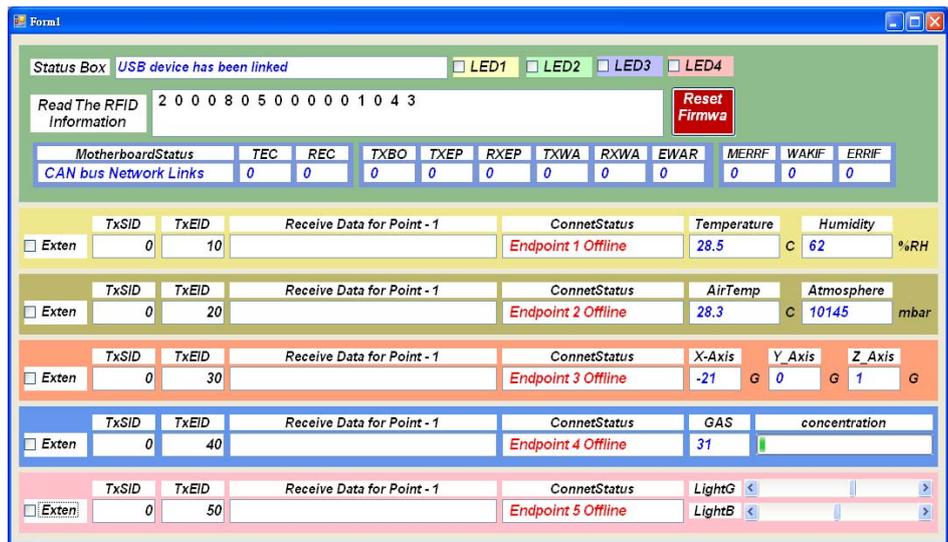


圖 30、總線錯誤



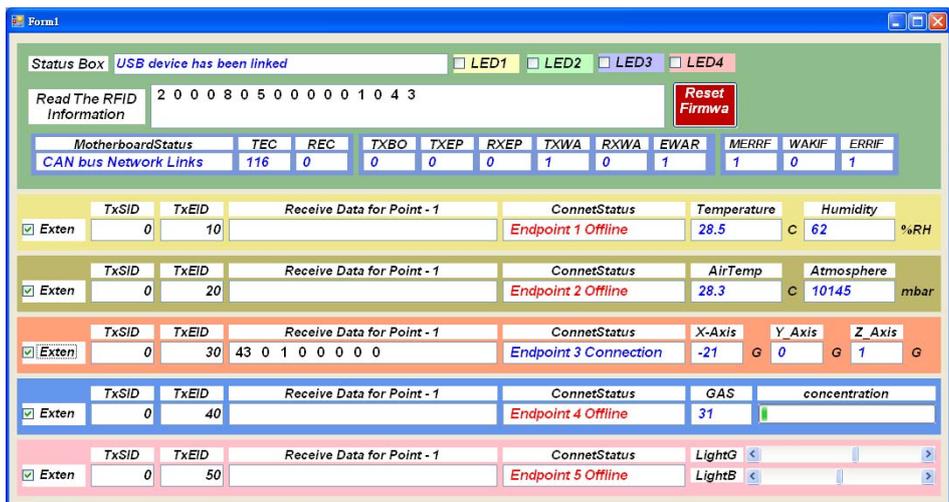


圖 31、總線錯誤和節點 3 已連線

表 1、CAN bus 資料傳輸測試

Conditions :				
Point1 : SID(0b00000000000)·EID(0b000000000000000000)				
Point2 : SID(0b 00000011111)·EID(0b101010101010101010)				
Data Byte (8bytes) : 0F-F0-AA-BB-CC-DD-EE-FF				
傳輸距離 20 公尺 (閉迴路測試)				
鮑率	傳輸次數	循環週期	資料比對	
			正確	正確率
1M bps	5000	1.5ms	4884	97.7%
500K bps	5000	1.5ms	4933	98.9%
200K bps	5000	1.5ms	5000	100%
100K bps	5000	1.5ms	5000	100%
50K bps	5000	1.5ms	5000	100%
20K bps	5000	1.5ms	5000	100%

