

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

標準智慧型微航電慣性感測模組研製

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-216-007-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：林君明

計畫參與人員：陳科謀、陳俊良

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 9 日

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利

 可技術移轉

日期：93年12月6日

國科會補助計畫	計畫名稱：標準智慧型微航電慣性感測模組研製 計畫主持人：林君明 計畫編號：92-2212-E-216-007 學門領域：控制
技術/創作名稱	標準智慧型微航電慣性感測模組研製
發明人/創作人	林君明
技術說明	中文： 本研究是研製以IEEE p1451.5 無線資訊傳輸模組為標準架構的無線智慧型壓力與溫度感測模組。此智慧型感測模組，是使用摩托羅拉半導體公司所推出的新一代8位元微控制器MCU (68HC908) 為系統核心，並參照IEEE 1451的架構，來完成智慧型感測模組的設計。本文針對較常用的溫度計、壓力計等感測器，進行標準模組設計，使其以最小的成本，成為一個智慧型感測器。特別要強調的是一般感測器，並無溫度及偏壓補償功能，若能以IEEE 1451標準架構，建立該元件的電性資料表單(TEDS)，並搭配內建MCU的計算功能，則能使一般便宜的感測器，提升精度並具備智慧型無線資訊傳輸的功能。另一方面，本教學與研究也已完成IEEE p1451.1 感測器網路連線模組的架構，可以網路連線方式(NCAP)，進行自動校準及資料存取及處理。此外本文也完成IEEE p1451.3 感測器內部小匯流排界面模組(TBIM)，及IEEE p1451.4 類比/數位混合模組等架構的實做與研製。 英文： The purpose of this paper is to design an IEEE p1451.5 wireless smart pressure and temperature sensors equipped with a new generation of 8-bit microcontroller unit (MCU) for center controller. The structure of which is based on IEEE 1451 standard. In general, sensors do not have temperature and bias compensation capability, this design based on the embedded MCU with flash memory, can make the low cost sensor, such as temperature or pressure sensor, becoming precision, wireless as well as smart by building up the Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) defined by IEEE p1451.5 standard. In addition, the Network Capable Application Processor (NCAP) is also built according to IEEE 1451.1 standard such that the sensor can make automatic temperature calibration and bias compensation via network. On the other hand the other standards such as IEEE 1451.3 for Transducer Bus Interface Module (TBIM), as well as IEEE p1451.4 for analog and digital I/O are also implemented.

可利用之產業 及 可開發之產品	汽車工業、胎壓計、醫療產業血壓計與溫度計
技術特點	以無線方式傳輸，壓力及溫度
推廣及運用的價值	可應用於汽車工業，進行無線胎壓計的產品製作，亦可應用於醫療產業進行血壓計與溫度計的無線監控及傳輸。

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。

標準智慧型微航電慣性感測模組研製

林君明

中華大學 機械與航太工程研究所

連絡作者：林君明 E-mail: jmlin@chu.edu.tw

中文摘要

本研究是研製以IEEE p1451.5 無線資訊傳輸模組為標準架構的無線智慧型壓力與溫度感測模組。此智慧型感測模組，是使用摩托羅拉半導體公司所推出的新一代8位元微控制器MCU (68HC908)為系統核心，並參照IEEE 1451的架構，來完成智慧型感測模組的設計。本文針對較常用的溫度計、壓力計等感測器，進行標準模組設計，使其以最小的成本，成為一個智慧型感測器。特別要強調的是一般感測器，並無溫度及偏壓補償功能，若能以IEEE 1451標準架構，建立該元件的電性資料表單(TEDS)，並搭配內建MCU的計算功能，則能使一般便宜的感測器，提升精度並具備智慧型無線資訊傳輸的功能。另一方面，本教學與研究也已完成IEEE p1451.1 感測器網路連線模組的架構，可以網路連線方式(NCAP)，進行自動校準及資料存取及處理。此外本文也完成IEEE p1451.3 感測器內部小匯流排界面模組(TBIM)，及IEEE p1451.4 類比/數位混合模組等架構的實做與研製。

關鍵詞：關鍵字：IEEE p1451.5、無線智慧型感測模組、微控制器、溫度計、壓力計。

英文摘要

The purpose of this paper is to design an IEEE p1451.5 wireless smart pressure and temperature sensors equipped with a new generation of 8-bit microcontroller unit (MCU) for center controller. The structure of which is based on IEEE 1451 standard. In general, sensors do not have temperature and bias compensation capability, this design based on the embedded MCU with flash memory, can make the low cost sensor, such as temperature or pressure sensor, becoming precision, wireless as well as smart by building up the Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) defined by IEEE p1451.5 standard. In addition, the Network Capable Application Processor (NCAP) is also built according to IEEE 1451.1 standard such that the sensor can make automatic temperature calibration and bias compensation via network. On the other hand the other standards such as IEEE 1451.3 for Transducer Bus Interface Module (TBIM), as well as IEEE p1451.4 for analog and digital I/O are also implemented.

Key words: IEEE p1451.5, Wireless Smart Sensor Module, MCU, temperature sensor, pressure sensor.

1. 前言

論以往感測器的信號傳輸，都是以有線的方式，進行資訊的傳輸。但是在某些情況，如要量測汽車的胎壓或溫度，則必須要用無線傳輸的方式。另一方面各廠商往往依據自訂的規格特性，進行資訊傳遞與介面交換。所以產生許多不同的界面標準，如IEEE-802.2（以太網路），IEEE-802.4（環狀權杖圖騰記號匯流排網路, Token Bus），IEEE FDDI（光纖分佈式數據介面），TCP/IP（傳輸控制及網路互聯協定）等。這些通訊標準都有自己定義的協議模式，不能相互相容，所以對系統的設計、擴展、維護，都帶來不利的影響。本研究目的及文獻探討研究，即是研製以IEEE p1451.5 無線資訊傳輸模組為標準的智慧型感測器[1~9]。

此智慧型感測器，是使用摩托羅拉半導體公司所推出的新一代8位元微控制器MCU (68HC908)為系統核心，並參照IEEE 1451的架構，進行智慧型感測器的設計。此種系列MCU硬體，有內建時脈產生器，A/D轉換器，數位輸入/輸出，及快閃式記憶體，故能提升模組的性能，減少外部元件需求，並降低模組的大小。此MCU有RS-232數位介面串列傳輸功能，可與外界進行資料的互傳，所以非常適合目前市場以“輕薄短小”為導向，及價格低廉的需求。本文針對較常用的溫度計、壓力計等感測器，進行標準模組設計，使其以最小的成本，成為一個智慧型感測器。特別要強調的是一般的壓力感測器，並無溫度及偏壓補償功能，若能以IEEE 1451標準架構，建立該元件的電性資料表單，並搭配內建MCU的計算功能，則能使一般便宜的感測器，提升精度並具備智慧型的功能。另一方面，本研究也已完成IEEE Std 1451.1 感測器網路介面模組的設計，可以網路連線方式(NCAP)，進行自動校準及資料存取及處理。此外本文也完成IEEE p1451.3 感測器內部小匯流排界

面模組(TBIM) ，及 IEEE p1451.4 類比/數位混合模組等架構的實做與研製 [10~17]。

2. 智慧型感測器(Smart sensor)模組簡介

2.1 IEEE 1451智慧型感測器整體架構及功能

此標準是將感測器分成兩塊模組(如圖1)。第一塊模組由IEEE Std 1451.1所定義，功能為網路連線匹配處理器(NCAP)，是用來做為網路協議存放區塊，和應用韌體的存放區。電路部份包含微處理器與發射/接收界面(Transceiver)等電路。此種傳輸方式可做分散式管理，並可透過網際網路或區域網路的任一瀏覽器，進行遠端監控，如圖2。

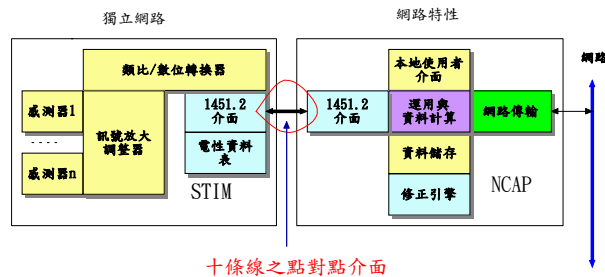


圖1 IEEE 1451智慧型感測器架構及功能示意圖

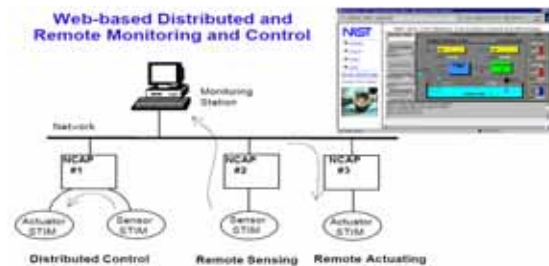


圖2 IEEE 1451智慧型感測器網路傳輸及遠端監控圖

第二塊模組由IEEE Std 1451.2所定義，功能為智慧型感測器界面模組(STIM, Smart Transducer Interface Module)，它包括智慧型感測器，信號處理轉換電路，類比/數位信號處理電路，及電性資料表單的存放區。STIM模組主要是定義下列標準：

- 1 TEDS標準：它有擴充、及選擇記憶區的功能。
- 2 函數功能標準：包括尋址、觸發、中斷等工作模式的狀態控制，如自我校準。
- 3 硬體介面通訊、協定及時序等數位化的介面標準：包含感測器本身及對應之信號處理轉換電路，如類比/數位轉換器、數位輸入/輸出轉換器(Digital I/O)與定址邏輯等電路。

2.2 IEEE 1451智慧型感測器其他模組架構

此部份包含下列三項：

1. IEEE p1451.3 (定義感測器內部小匯流排界模組的標準架構與功能, TBIM)
2. IEEE p1451.4 (定義類比/數位信號處理的架構)
3. IEEE p1451.5 (定義無線傳輸的標準架構與功能)

各部模組的標準架構與功能, 詳述如下：

2.2.1 IEEE Draft Standard 1451.3

此標準仍在研訂階段，它是定義智慧型感測器內部小匯流排界面模組的標準架構與功能，為以多點設置的方式，連接多個物理上分散的感測器。這是非常必要的，比如說，在某些情況下，由於感測器可能處於惡劣的環境，所以不可能TEDS嵌入在感測器硬體中。IEEE 1451.3標準，就是提議以一種小匯流排方式，實現內建信號轉換匯流排界面模組 (TBIM)，這種小匯流排因足夠小且便宜，可以輕易的嵌入到感測器中，由一個簡單的控制邏輯介面，進行大量的資料轉換(如圖3)。

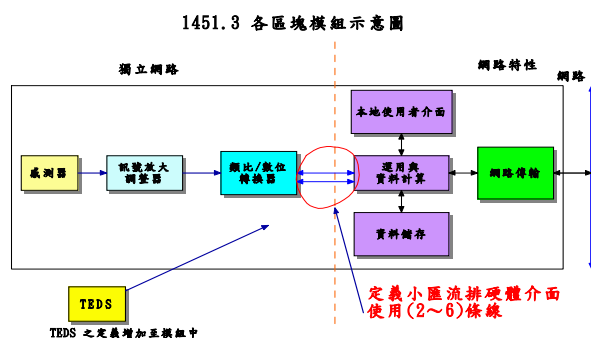


圖3 1451.3智慧型感測器內建小匯流排界面模組圖

2.2.2 IEEE Draft Standard 1451.4

IEEE 1451.4 標準是針對類比信號轉換器的連接，提出一個混合模式信號轉換的通信協定。它同時也定義TEDS格式。這個提議的介面標準，會與IEEE 1451其他介面標準相容(如圖4)。

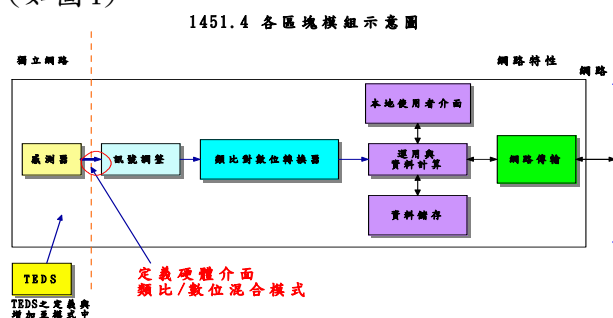


圖4 1451.4智慧型感測器類比/數位之硬體介面圖

2.2.3 IEEE Draft Standard 1451.5

1451.5主要為發展無線傳輸規範之制定。它沿用原來1451.2感測器內部介面(TII) 10條線點對點之數位傳輸協定，以無線傳輸來完成資料的傳送。

3. Motorola MCU簡介

3.1 M68HC08單晶片概述

MOTOROLA八位單晶片M68HC08採用了 0.35μ 製程，具有價格低，速度快(8MHz脈波執行速度)，功能強，和功耗低等優點。特別是有嵌入式快閃記憶體(Flash)，使其具有更高的性能價格比，符合智慧型感測器之開發條件。內部應用及線路方面，有可重複設計程式的快閃記憶體(1.5K至4K位元組)，及多種週邊功能，如可設定的雙頻率16位元計時器系統，比較和PWM功能，定點低電壓抑制(LVI, Low Voltage Inhibit)系統保護，關機至電腦適當操作狀態(COP，

Computer Operating Properly)之自動叫醒功能，及一個4頻道8位元類比至數位轉換器。此外MCU尚具有重置應用和線路，可重複程式化的功能，其程式化的速度極快(達到每位元組32微秒)，且具模組保護和安全功能，可使客戶保護其軟體智慧財產權。它們允許嵌入式系統設計者，在製造階段後期設計程式、實行實地遠端升級。比以ROM為基礎的一次性可編程之MCU更加靈活，因此可迅速因應客戶及市場需求的變化。

3.2 軟體設計

設計者可使用Metrowerks公司所開發出來的編譯程式，作業系統名稱為Metrowerks CodeWarrior™ Development Studio Special Edition。此軟體是專為68HC908QT/QY 系列研發製作，其他設計工具包括C 編譯器、組譯器、除錯器、模擬器、快閃編程器，及提供晶片與週邊介面驅動功能的自動編碼生成器。因68HC908QT4 MCU之I/O pin為多工使用，因此使用者可自行選擇定義各腳位之功能。

4. 智慧型感測器(Smart Sensor)設計

本研究是採用MOTOROLA 68HC908QT4編號之IC，以RS-232串列傳輸方式，完成了1451.3小匯流排界面模組。並使用PC代替NCAP之硬體架構，完成了1451.1網路獨立的資訊模組。遠端Server由Ethernet與NCAP相連，並再與感測器連結控制。以無線收發模組來做數據交換傳輸，實現1451.5無線傳輸規範。另一方面本研究所使用的MCU因外部接腳為多工使用(僅8 Pin)，無法提供足夠的10條線，作為1451.2標準介面TII的點對點傳送，因而並未採用這種通訊模式，而用了1451.3小匯流排界面。

4.1 RS-232及Ethernet網路迴路連線測試

由於1451.1定義必須使用網路(Ethernet) 與NCAP連線，因此要設計Ethernet通訊程式，以便使用遠端Server，透過區域網路來進行監控。此雙向傳輸程式，可運用於NCAP與MCU間之雙向傳輸，命令控制，以及定址等功能。本研究是使用一台PC代替NCAP，完成 1451.1 NCAP，與1451.3 TBIM 之通訊介面設計。

4.2 硬體規劃

圖5為MCU接腳實際電路圖。

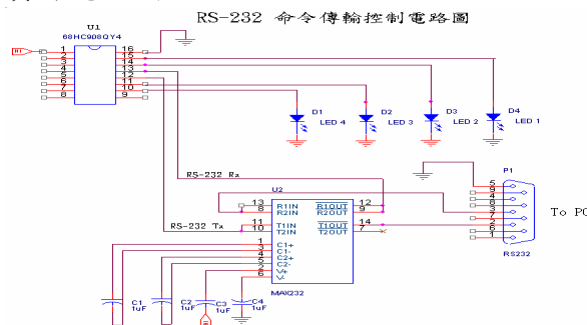


圖5 MCU 與RS-232迴路測試電路圖

4.3 使用本地RS-232傳輸測試(如圖6)

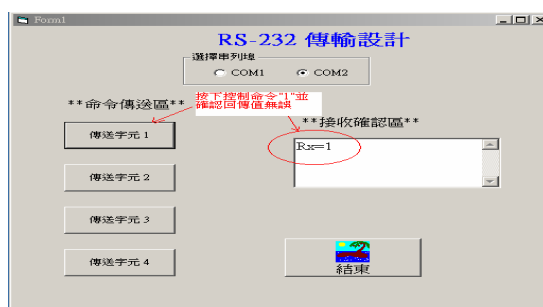


圖6 RS232 Rx/Tx 傳輸確認

4.4 使用區域網路進行遠端傳輸測試

如圖7及8可驗證Ethernet遠端遙控傳輸無誤。

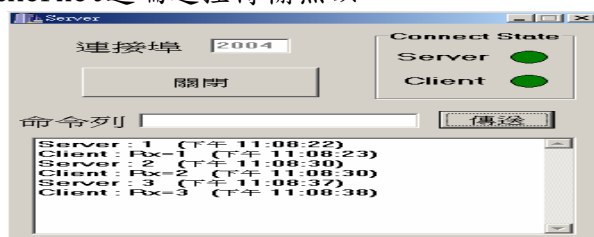


圖7 遠端主控電腦命令傳輸

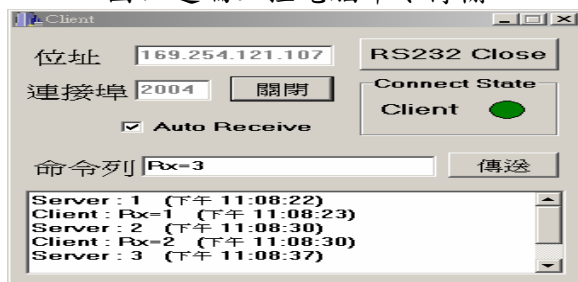


圖8近端委託電腦命令接收並與RS-232傳輸

4.5 智慧型感測器運用於壓力計之校正

利用溫度感測器LM35與差動放大器，可組成一測量 $2^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 之電子溫度計(因 V_s 只有設定 5V)。

$$V_{out_LM35}(T) = 10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times T^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

LM35是由National Semiconductor所生產的溫度感測器，其輸出電壓與攝氏溫度呈線性關係，轉換公式如(1)， 0°C 時輸出為 0V ，每升高 1°C ，輸出電壓增加 10mV 。單電源模式在 25°C 下靜態電流 $50\mu\text{A}$ ，非常省電。因需配合MCU之AD範圍 $5\text{V}/8\text{Bit}$ ，故將放大倍率縮小至四倍，此電子溫度計測量範圍為 $2^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 正負誤差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，量測電路如圖9。最高溫度讀值： $10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times 125^{\circ}\text{C} = 1.25\text{V}$ ，最高電壓輸出值： $1.25\text{V} \times 4(\text{倍}) = 5\text{V}$ 。

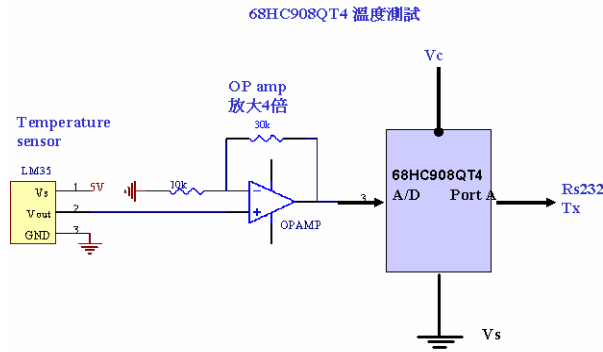


圖9 2°C~125°C之溫度量測電路

表1為壓力感測器在不同溫度及壓力下量測結果。由圖10得知，溫度與壓力之間的變化並非呈線性關係，因此在不同溫度環境下必須給予不同的比例因子係數，才能得到正確讀值。此方法如表1，將各溫度所測量到的壓力值，先減掉各溫度在0psi所量測的壓力值(零點偏壓)，再乘上表1的溫度補償係數後，則感測器可得到補償後的正確輸出值。圖11為使用此方法觀測無補償及補償後的溫度與壓力變化情形。

由此圖11及表1可知若計算及補償精度足夠，則補償後的壓力值，幾乎不受溫度變化影響，因MCU內建之ADC解析度及穩度並非很好，因此會有 ± 0.2 psi的漂動(如圖11)，如果應用的產品要求不高的話，則無須在意，例如汽車胎壓監控系統。解決方法為使用一個精確度較高的A/D轉換器，但相對成本也提高。圖12為本研究實際控制電路圖。

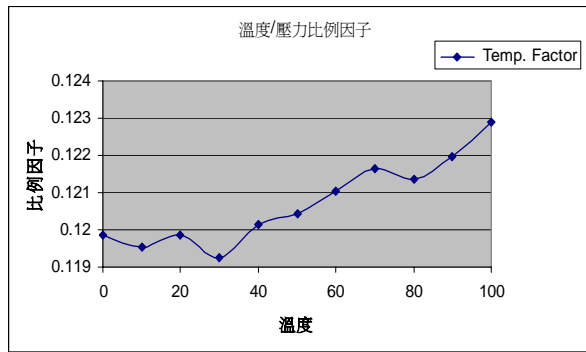


圖10 比例因子係數

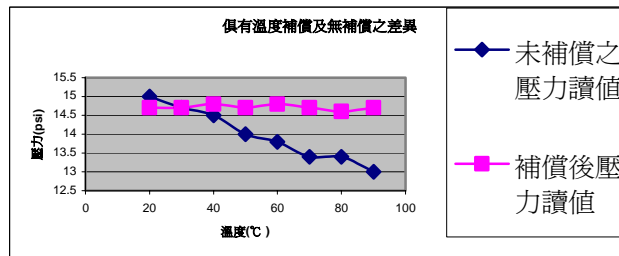


圖11 具有溫度補償及無補償之差異圖

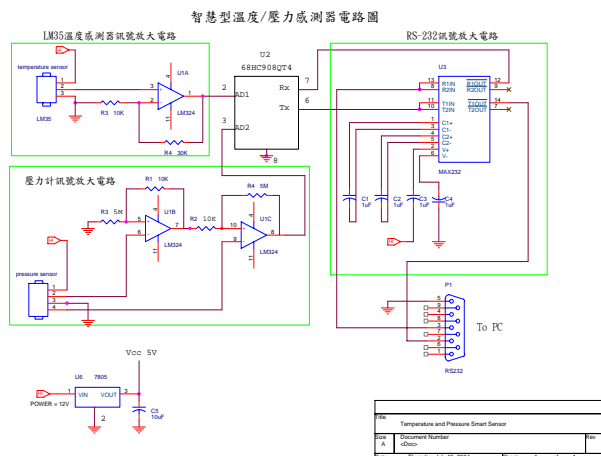


圖12 實際控制電路圖

4.5.1 加速儀(Accelerometer)

加速儀是用來量測載具之加速度。當載具做加速度運動時，可由公式 4-4 及圖 4-36 之相關式，轉換求得載具在載具座標上之加速度 a_x 。此加速度必須經座標轉換至導航座標後，以固定時間 dt 積分，即可得載具在導航座標上之速度，此速度再經積分即可求得載具在導航座標上之位置[19]。

加速度之計算方式如下所示：

$$a_x = (V_{a_x} - V_{bias}) / SF_{a1} \quad (\text{公式 4-4})$$

- 其中
- a_x : 載具縱軸(朝北)方向之加速度 (m/sec^2)
 - V_{a_x} : 加速儀之輸出電壓(Volts)
 - V_{bias} : 加速儀之輸出參考電壓(Volts)
 - V_g : 地球重力場在 Z 軸上所造成的電壓輸出(2.5 Volts)
 - SF_{a1} : 比例因子(2.5Volts/g)
 - $1g = 9.8(m/sec^2)$

加速儀輸出電壓與傾斜角之關係如圖 4-34 所示：

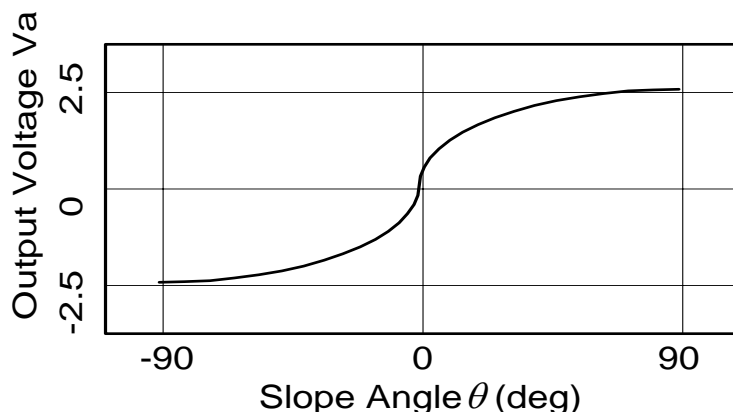


圖 13 加速儀輸出電壓與傾斜角之關係圖

4.5.2 硬體及軟體之規劃:

圖 4-37 為加速儀資料讀取與加速度計算方塊圖，實際電路如圖 4-38，因加速儀之輸出電壓為正負電壓模式，故需將輸入電位提升 2.5V，提供 TTL 單

電源模式使用。

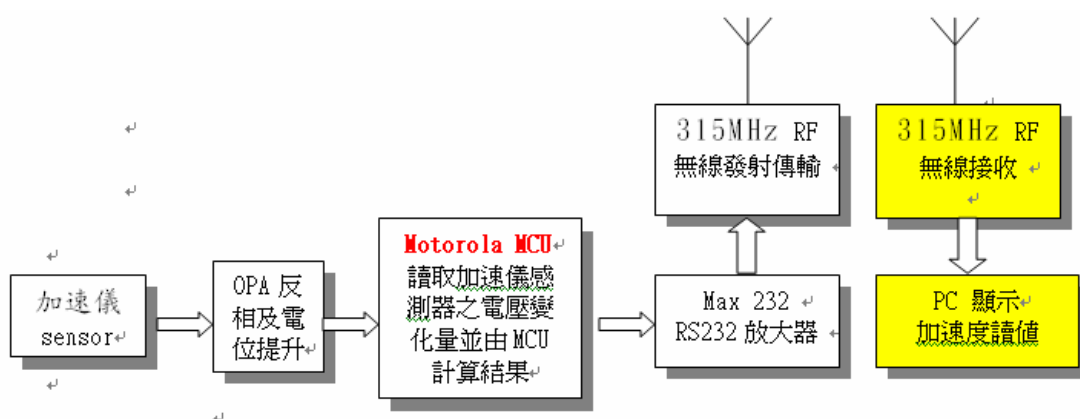


圖 14 加速儀資料讀取與加速度計算方塊圖

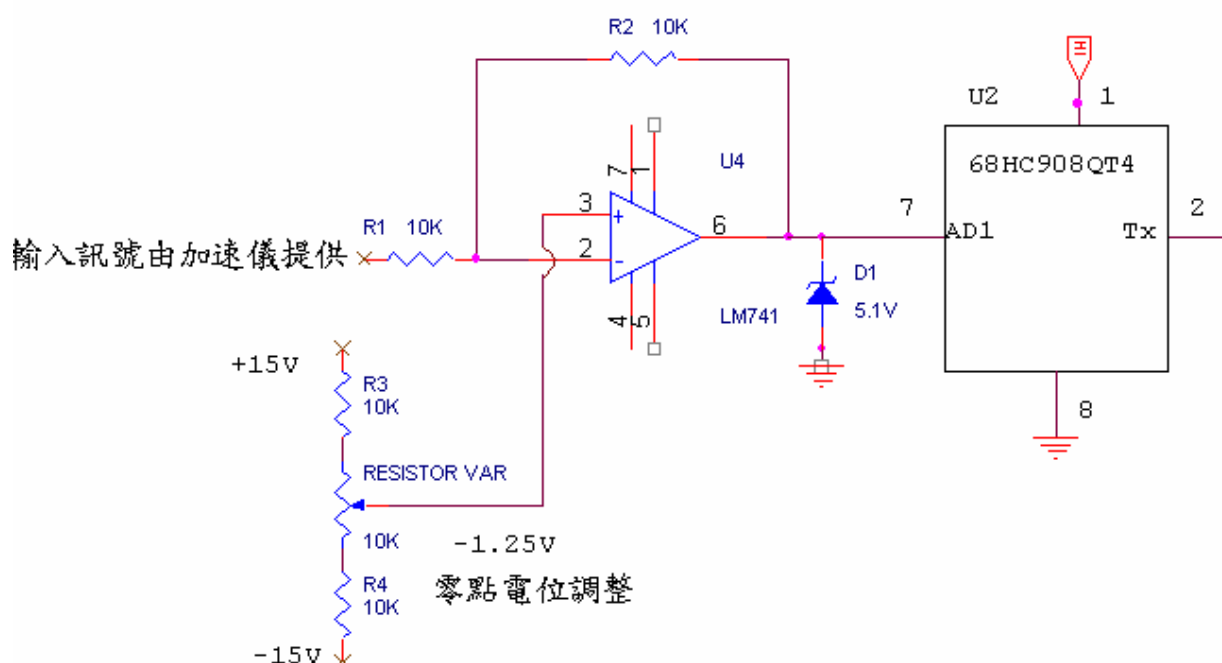


圖 15 加速儀資料讀取電路

4.6 無線傳輸模組介紹

本教學是使用益眾科技之315MHz RF數據傳輸模組(如圖13)。功能與特色如下:

1. 包含發射模組及接收模組，可作為PC無線傳輸周邊裝置(如無線滑鼠、無線Keyboard)及各類無線遙控器(如遙控車)的主要組件。
2. 傳輸性能穩定，資料正確不漏失。
3. 調變及解調變方式：ASK方式(調幅)
4. 傳輸頻率：315MHZ
5. 傳輸速率：4800bps
6. 接收靈敏度：-103dBm
7. 電源電壓：發射模組為2~12VDC，接收模組為4.5~5.5VDC
8. 電力消耗：發射模組為8.0mA/12V，接收模組為3mA/5.5V



圖16 無線傳輸模組

其中主要的零組件為LINX公司的發射TXM-XXX-LC與接收RXM-XXX-LC晶片。其中XXX代表頻率，例如TXM-315-LC即代表使用315Mhz來發射訊號。此無線傳輸模組整合之架構及電路方塊如圖14。

發射模組（發射電路如圖15）

發射模組輸入電壓為2~12VDC，在此設定+5V，為TTL之輸入位準。

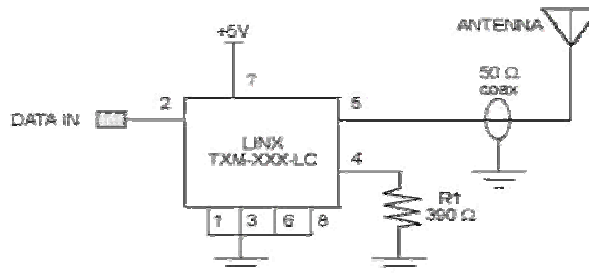


圖17 RF發射電路

接收模組(接收電路如圖16)

接收模組輸入電壓為4.5~5.5VDC，在此同樣設定為+5V為TTL之輸出準位。

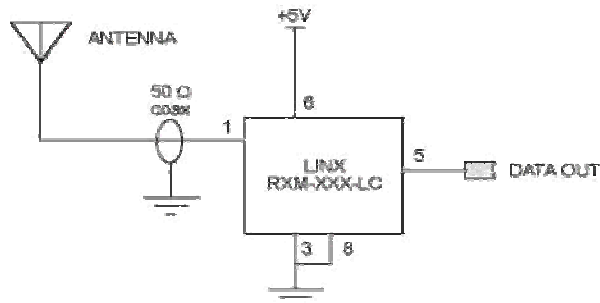


圖18 RF接收電路

5. 結果與討論

IEEE 1451標準由IEEE 1451.1、1451.2、P1451.3、P1451.4和P1451.5組成。它定義了一套連接感測器，到網路的標準化通用介面，建立了網路化智慧感測器的框架。這使得感測器製造商，有能力支援多種網路，然而IEEE 1451，標準在實際應用中仍存在著一些困難。雖然美國積極推展其架構與應用，但國際間的認同感尚未普及化。因此短期智慧型感測器仍無法大量商業化，主因為NCAP之制定，必須再使用一部個人電腦，或工業用之電腦介面卡，來進行網路連線。因其售價仍太高，若要普及化，必須有低價經濟型的NCAP。目前Telemonitor公

公司已推出經濟型的NCAP售價約\$250美元，相信距離普及化的目標已不遠了。另一方面本研究亦整合MOTOROLA 68HC908QT/Y系列MCU及RF無線傳輸模組。並運用C語言，來建構一智慧型感測模組，符合1451.5無線傳輸規範。因使用無線傳輸資訊，電路無熱插拔之效應，因此擁有“即插即用(plug-and-play)”的相容性。實現了以IEEE 1451標準的一經濟型智慧感測器。目前本研究已完成IEEE Std 1451.1 可上網之資訊模組，使感測器介面可與NCAP相連。另外也完成IEEE p1451.3 小匯流排介面模組(TBIM)、IEEE p1451.4 類比/數位混合模組，及IEEE p1451.5 無線資訊傳輸介面設計等研究。最後這一項是最新的標準，應用於汽車在高速公路上的駕駛非常有急迫性，所以這是本論文及教學的願望，也是本研究的動力來源。

6. 計畫成果自評

本計畫研究內容與原計畫相符，除了可運用智慧型模組進行加速儀及陀螺儀之量測與整合外，尚加入壓力與溫度的量測，且以無線傳輸的方式，進行資料的傳送，比預期多出甚多。這一方面非常實用，如汽車胎壓計的設計，並可技術轉移，此外並在2004年第四屆精密機械製造研討會(民國93年11月13日)中發表。

表 1. 不同溫度及壓力下無補償及補償後的量測結果

°C	0 psi 時之零點 電壓(V)	0 psi 時 AD 讀取之數字	15 psi 時之 輸出電位(V)	15 psi 時 AD 讀取之數字	減掉零點後之數字	計算溫度補償 係數	補償後之 壓力 (PSI)
0	0.76312576	38.91941	3.217338	164.0842	125.1648352	0.119842	15
10	0.70818071	36.11722	3.168498	161.5934	125.4761905	0.119545	15
20	0.67765568	34.56044	3.131868	159.7253	125.1648352	0.119842	15
30	0.62881563	32.0696	3.095238	157.8571	125.7875458	0.119249	15
40	0.62881563	32.0696	3.076923	156.9231	124.8534799	0.120141	15
50	0.62881563	32.0696	3.070818	156.6117	124.5421245	0.120441	15
60	0.61680562	31.44689	3.046398	155.3663	123.9194139	0.121046	15
70	0.6043956	30.82418	3.021978	154.1209	123.2967033	0.121658	15
80	0.59218559	30.20147	3.015873	153.8095	123.6080586	0.121351	15
90	0.58608059	29.89011	2.997558	152.8755	122.985348	0.121966	15
100	0.58608059	29.89011	2.979243	151.9414	122.0512821	0.122899	15

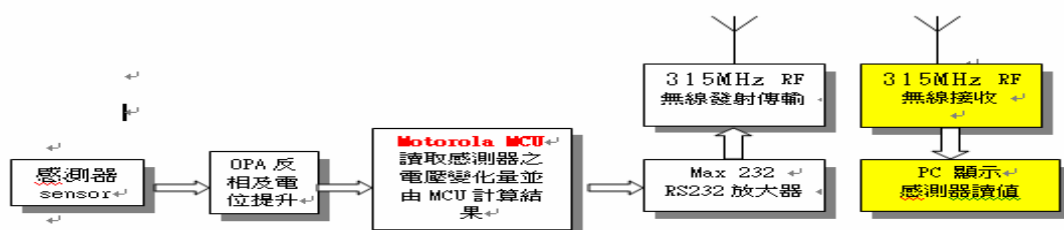


圖 19 無線傳輸模組整合之架構及電路方塊圖

無線智慧型壓力與溫度感測模組教學與研製 Wireless Smart Pressure and Temperature Sensors Module Teaching and Design

林君明 林岳鋒

中華大學 機械與航太工程研究所

聯絡作者：林君明 E-mail: jmlin@chu.edu.tw

摘要

本研究是教導學生研製以IEEE p1451.5 無線資訊傳輸模組為標準架構的無線智慧型壓力與溫度感測模組。此智慧型感測模組，是使用摩托羅拉半導體公司所推出的新一代8位元微控制器MCU (68HC908)為系統核心，並參照IEEE 1451的架構，來完成智慧型感測模組的設計。本文針對較常用的溫度計、壓力計等感測器，進行標準模組設計，使其以最小的成本，成為一個智慧型感測器。特別要強調的是一般感測器，並無溫度及偏壓補償功能，若能以IEEE 1451標準架構，建立該元件的電性資料表單(TEDS)，並搭配內建MCU的計算功能，則能使一般便宜的感測器，提升精度並具備智慧型無線資訊傳輸的功能。另一方面，本教學與研究也已完成IEEE p1451.1 感測器網路連線模組的架構，可以網路連線方式(NCAP)，進行自動校準及資料存取及處理。此外本文也完成IEEE p1451.3 感測器內部小匯流排界面模組(TBIM)，及IEEE p1451.4 類比/數位混合模組等架構的實做與研製。

關鍵詞：關鍵字：IEEE p1451.5、無線智慧型感測模組、微控制器、溫度計、壓力計。

ABSTRACT

The purpose of this paper is to teach the student how to design an IEEE p1451.5 wireless smart pressure and temperature sensors equipped with a new generation of 8-bit microcontroller unit (MCU) for center controller. The structure of which is based on IEEE 1451 standard. In general, sensors do not have temperature and bias compensation capability, this design based on the embedded MCU with flash memory, can make the low cost sensor, such as temperature or pressure sensor, becoming precision, wireless as well as smart by building up the Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) defined by IEEE p1451.5 standard. In addition, the Network Capable Application Processor (NCAP) is also built according to IEEE 1451.1 standard such that the sensor can make automatic temperature calibration and bias compensation via network. On the other hand the other standards such as IEEE 1451.3 for Transducer Bus Interface Module (TBIM), as well as IEEE p1451.4 for analog and digital I/O are also implemented.

Key words: IEEE p1451.5, Wireless Smart Sensor Module, MCU, temperature sensor, pressure sensor.

1. 前言

論以往感測器的信號傳輸，都是以有線的方式，進行資訊的傳輸。但是在某些情況，如要量測汽車的胎壓或溫度，則必須要用無線傳輸的方式。另一方面各廠商往往依據自訂的規格特性，進行資訊傳遞與介面交換。所以產生許多不同的界面標準，如IEEE-802.2 (以太網路)，IEEE-802.4 (環狀權杖圖騰記號匯流排網路, Token Bus)，IEEE FDDI (光纖分佈式數據介面)，TCP/IP (傳輸控制及網路互聯協定)等。這些通訊標準都有自己定義的協議模式，不能相互兼容，所以對系統的設計、擴展、維護，都帶來不利的影響。本教學的目的，即是教導學生研製以IEEE p1451.5 無線資訊傳輸模組為標準的智慧型感測器[1-9]。

此智慧型感測器，是使用摩托羅拉半導體公司所推出的新一代8位元微控制器MCU (68HC908)為系統核心，並參照IEEE 1451的架構，進行智慧型感測器的設計。此種系列MCU硬體，有內建時脈產生器，A/D轉換器，數位輸入/輸出，及快閃式記憶體，故能提升模組的性能，減少外部元件需求，並降低模組的大小。此MCU有RS-232數位介面串列傳輸功能，可與外界進行資料的互傳，所以非常適合目前市場以“輕薄短小”為導向，及價格低廉的需求。本文針對較常用的溫度計、壓力計等感測器，進行標準模組設計，使其以最小的成本，成為一個智慧型感測器。特別要強調的是一般的壓力感測器，並無溫度及偏壓補償功能，若能以IEEE 1451標準架構，建立該元件的電性資料表單，並搭配內建MCU的計算功能，則能使一般便宜的感測器，提升精度並具備智慧型的功能。另一方面，本研究也已完成IEEE Std 1451.1 感測器網路介面模組的設計，可以網路連線方式(NCAP)，進行自動校準及資料存取及處理。此外本文也完成IEEE p1451.3 感測器內部小匯流排界面模組(TBIM)，及IEEE p1451.4 類比/數位混合模組等架構的實做與研製[10-17]。

本文其他章節的安排如下：第二章介紹IEEE 1451 智慧型感測器模組的標準架構。第三章是Motorola MCU 簡介。第四章是IEEE 1451 無線智慧型感測器模組的設計。第五章是實測結果及討論。最後則是結論。

2. 智慧型感測器(Smart sensor)模組簡介

2.1 IEEE 1451 智慧型感測器整體架構及功能

此標準是將感測器分成兩塊模組(如圖1)。第一塊模組由IEEE Std 1451.1所定義,功能為網路連接匹配處理器(NCAP),是用來做為網路協議存放區,和應用軟體的存放區。電路部份包含微處理器與發射/接收界面(Transceiver)等電路。此種傳輸方式可做分散式管理,並可透過網際網路或區域網路的任一瀏覽器,進行遠端監控,如圖2。



圖1 IEEE 1451 智慧型感測器架構及功能示意圖



圖2 IEEE 1451 智慧型感測器網路傳輸及遠端監控圖

第二塊模組由IEEE Std 1451.2所定義,功能為智慧型感測器界面模組(STIM, Smart Transducer Interface Module),它包括智慧型感測器,信號處理轉換電路,類比/數位信號處理電路,及電性資料表單的存放區。STIM模組主要是定義下列標準:

1. TEDS標準:它有擴充,及選擇記憶區的功能。
2. 函數功能標準:包括尋址、觸發、中斷等工作模式的狀態控制,如自我校正。
3. 硬體介面通訊、協定及時序等數位化的介面標準;包含感測器本身及對應之信號處理轉換電路,如類比/數位轉換器、數位輸入/輸出轉換器(Digital I/O)與定址邏輯等電路。

2.2 IEEE 1451 智慧型感測器其他模組架構

此部份包含下列三項:

1. IEEE p1451.3 (定義感測器內部小區流排界面模組的標準架構與功能, TBIM)
 2. IEEE p1451.4 (定義類比/數位信號處理的架構)
 3. IEEE p1451.5 (定義無線傳輸的標準架構與功能)
- 各部模組的標準架構與功能,詳述如下:

2.2.1 IEEE Draft Standard 1451.3

此標準仍在研訂階段,它是定義智慧型感測器內部小區流排界面模組的標準架構與功能,為以多點設置的方式,連接多個物理上分散的感測器。這是非常必要的,比如說,在某些情況下,由於感測器可能處於惡劣的環境,所以不可能TEDS嵌入在感測器硬體中。IEEE 1451.3標準,就是建議以一種小區流排方式,實現內建信號轉換區流排界面模組(TBIM),這種小區流排是夠小且便宜,可以輕易的嵌入到感測器中,由一個簡單的控制邏輯介面,進行大量的資料轉換(如圖3)。

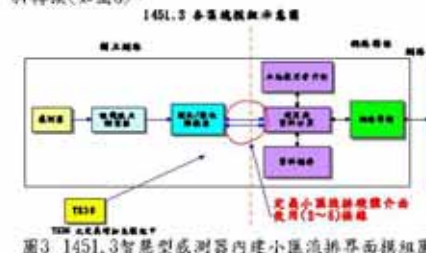


圖3 IEEE 1451.3 智慧型感測器內建小區流排界面模組圖

2.2.2 IEEE Draft Standard 1451.4

IEEE 1451.4 標準是針對類比信號轉換器的連接,提出一個混合模式信號轉換的通信協定。它同時也定義TEDS格式。這個建議的介面標準,會與IEEE 1451 其他介面標準相容(如圖4)。

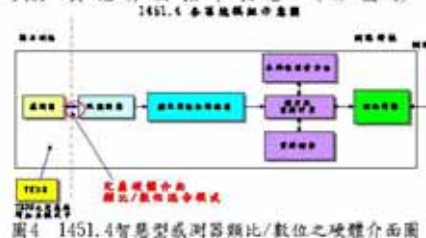


圖4 IEEE 1451.4 智慧型感測器類比/數位之硬體介面圖

2.2.3 IEEE Draft Standard 1451.5

1451.5 主要為發展無線傳輸規範之制定。它沿用原來1451.2感測器內部介面(TII) 10條線路對點之數位傳輸協定,以無線傳輸來完成資料的傳送。

3. Motorola MCU簡介

3.1 M68HC08 單晶片概述

MOTOROLA 8 位單晶片 M68HC08 採用了 0.35μ 製程,具有價格低,速度快(8MHz 脈波執行速度),功能強,和功耗低等優點。特別是有嵌入式快閃記憶體

(Flash)，使其具有更高的性能價格比，符合智慧型感測器之間發條件。內部應用及線路方面，有可重複設計程式的快閃記憶體(1.5K 至 4K 位元組)，及多種週邊功能，如可設定的雙頻率16位元計時器系統，比較和PWM功能，定點低電壓抑制(LVI, Low Voltage Inhibit)系統保護，關機至電腦適當操作狀態(COP, Computer Operating Properly)之自動叫醒功能，及一個4頻運8位元類比至數位轉換器。此外MCU尚具有重置應用和線路，可重複程式化的功能，其程式化的速度極快(達到每位元組32微秒)，且具模組保護和安全功能，可使客戶保護其軟體智慧財產權。它們允許嵌入式系統設計者，在製造階段後期設計程式，實行實地遠端升級。比以ROM為基礎的一次性可編程之MCU更加靈活，因此可迅速因應客戶及市場需求的變化。

3.2 軟體設計

設計者可使用Mettrowerks公司所開發出來的編譯程式，作業系統名稱Metrowerks CodeWarrior™ Development Studio Special Edition。此軟體是專為68HC908QT/QY 系列研製作，其他設計工具包括C編譯器、組譯器、除錯器、模擬器、快閃編程器，及提供晶片與週邊介面驅動功能的自動編碼生成器。因68HC908QT4 MCU之I/O pin為多工使用，因此使用者可自行選擇定義各腳位之功能。

4. 智慧型感測器(Smart Sensor)設計

本研究是採用MOTOROLA 68HC908QT4編號之IC，以RS-232串列傳輸方式，完成了1451.3小區流排界面模組，並使用PC代替NCAP之硬體架構，完成了1451.1網路獨立的資訊模組。遠端Server由Ethernet與NCAP相連，並再與感測器連結控制，以無線收發模組來做數據交換傳輸，實現1451.5無線傳輸規範。另一方面本研究所使用的MCU因外部接腳為多工使用(僅8 Pin)，無法提供足夠的10條線，作為1451.2標準介面TII的點對點傳送，因而並未採用這種通訊模式，而用了1451.3小區流排界面。

4.1 RS-232及Ethernet網路迴路連線測試

由於1451.1定義必須使用網路(Ethernet)與NCAP連線，因此要設計Ethernet通訊程式，以便使用遠端Server，透過區域網路來進行監控。此雙向傳輸程式，可運用於NCAP與MCU間之雙向傳輸，命令控制，以及定址等功能。本研究是使用一台PC代替NCAP，完成1451.1 NCAP，與1451.3 TBIM 之通訊介面設計。

4.2 硬體規劃

圖5為MCU接腳實際電路圖。



圖5 MCU 與RS-232迴路測試電路圖

4.3 使用本地RS-232傳輸測試(如圖6)



圖6 RS232 Rx/Tx 傳輸確認

4.4 使用區域網路進行遠端傳輸測試

如圖7及8可驗證Ethernet遠端遙控傳輸無誤。



圖7 遠端主控電腦命令傳輸



圖8遠端委託電腦命令接收並與RS-232傳輸

4.5 智慧型感測器運用於壓力計之校正

利用溫度感測器LM35與差動放大器，可組成一測量2°C-125°C之電子溫度計(因Vs只有設定5V)。

$$V_{out_LM35}(T) = 10^{mV} / ^{\circ}C \times T^{\circ}C \quad (1)$$

LM35是由National Semiconductor所生產的溫度感測器，其輸出電壓與攝氏溫度呈線性關係，轉換公式如(1)，0℃時輸出為0V，每升高1℃，輸出電壓增加10mV。單電源模式在25℃下靜態電流50A，非常省電。因需配合MCU之AD範圍5V / 8 Bit，故將放大倍率縮小至四倍，此電子溫度計測量範圍為2℃-125℃正負誤差±1℃，量測電路如圖9。最高溫度讀值： $10\text{mV}/^\circ\text{C} \times 125^\circ\text{C} = 1.25\text{V}$ ，最高電壓輸出值： $1.25\text{V} \times 4(\text{倍}) = 5\text{V}$ 。

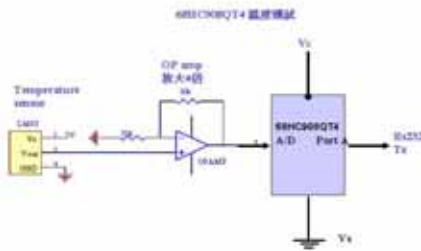


圖9 2℃-125℃之溫度量測電路

表1為壓力感測器在不同溫度及壓力下量測結果。由圖10得知，溫度與壓力之間的變化並非線性關係，因此在不同溫度環境下必須給予不同的比例因子係數，才能得到正確讀值。此方法如表1，將各溫度所測量到的壓力值，先減掉各溫度在0psi所量測的壓力值(零點偏壓)，再乘上表1的溫度補償係數後，則感測器可得到補償後的正確輸出值。圖11為使用此方法觀測無補償及補償後的溫度與壓力變化情形。

由此圖11及表1可知若計算及補償精度足夠，則補償後的壓力值，幾乎不受溫度變化影響，因MCU內建之ADC解析度及穩定性非很好，因此會有±0.2 psi的漂動(如圖11)，如果應用的產品要求不高的話，則無須在意，例如汽車胎壓監控系統。解決方法為使用一個精度較高的A/D轉換器，但相對成本也提高。圖12為本研究實際控制電路圖。

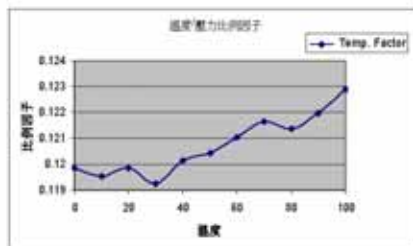


圖10 比例因子係數

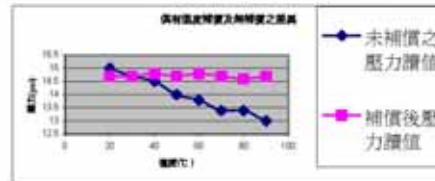


圖11 具有溫度補償及無補償之差異圖



圖12 實際控制電路圖

4.6 無線傳輸模組介紹

本教學是使用益眾科技之315MHz RF數據傳輸模組(如圖13)。功能與特色如下：

1. 包含發射模組及接收模組，可作為PC無線傳輸周邊裝置(如無線滑鼠、無線Keyboard)及各類無線遙控器(如遙控車)的主要組件。
2. 傳輸性能穩定，資料正確不遺失。
3. 調變及解調變方式：ASK方式(調幅)
4. 傳輸頻率：315MHz
5. 傳輸速率：4800bps
6. 接收靈敏度：-103dBm
7. 電源電壓：發射模組為2-12VDC，接收模組為4.5-5.5VDC
8. 電力消耗：發射模組為8.0mA/12V，接收模組為3mA/5.5V



圖13 無線傳輸模組

其中主要的零組件為LINX公司的發射TXM-XXX-LC與接收RXM-XXX-LC晶片。其中XXX代表頻率，例如TXM-315-LC即代表使用315Mhz來發射訊號。此無線傳輸模組整合之架構及電路方塊如圖14。

發射模組 (發射電路如圖15)

發射模組輸入電壓為2-12VDC，在此設定+5V，為TTL之輸入位準。

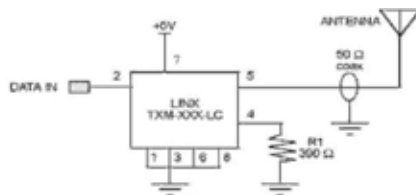


圖15 RF發射電路

接收模組 (接收電路如圖16)

接收模組輸入電壓為4.5-5.5VDC，在此同樣設定為+5V為TTL之輸出位準。

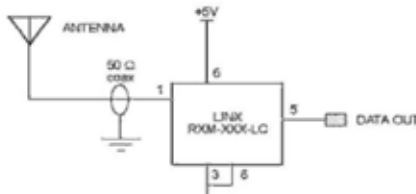


圖16 RF接收電路

5. 結論

IEEE 1451 標準由 IEEE 1451.1、1451.2、P1451.3、P1451.4和P1451.5組成。它定義了一套連接感測器，到網路的標準化通用介面，建立了網路化智慧感測器的框架。這使得感測器製造商，有能力支援多種網路，然而IEEE 1451，標準在實際應用中仍存在著一些困難。雖然美國積極推廣其架構與應用，但國際間的認同感尚未普及化。因此短期智慧感測器仍無法大量商業化，主因為NCAP之制定，必須再使用一部個人電腦，或工業用之電腦介面卡，來進行網路連線。因其售價仍太高，若要普及化，必須有低價經濟型的NCAP。目前Telemonitor 公司已推出經濟型的NCAP售價約\$250美元，相信距離普及化的目標已不遠了。另一方面本研究亦整合MOTOROLA 68HC908QT/Y系

列MCU及RF無線傳輸模組，並運用C語言，來建構一智慧感測器模組，符合1451.5無線傳輸規範。因使用無線傳輸資訊，電路無熱插拔之效應，因此擁有“即插即用(plug-and-play)”的相容性。實現了以IEEE 1451標準的一經濟型智慧感測器。目前本研究已完成IEEE Std 1451.1 可上網之資訊模組，使感測器介面可與NCAP相連。另外也完成IEEE p1451.3 小匯流排界面模組(TBIM)、IEEE p1451.4 類比/數位混合模組，及IEEE p1451.5 無線資訊傳輸介面設計等研究。最後這一項是最新的標準，應用於汽車在高速公路上的駕駛非常有意義性，所以這是本論文及教學的願望，也是本研究的動力來源。

6. 致謝

本計劃承蒙教育部顧問室93年度航太教育提升計畫之贊助，得以完成，承特此申謝。

7 參考文獻

- [1]. Rose M., and K. Mc Cloghrie, "Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internats," performance System International, Hughes LAN Systems, May 1990.
- [2]. Case, J., Feder, M., Schoffstall, M., and J. Davin, "Simple Network Management Protocol (SNMP)," SNMP Research, Performance Systems International, MIT Laboratory for Computer Science, May 1990.
- [3]. <http://www.motion.aptd.nist.gov/> (National Institute of Standards and Technology, IEEE 1451 標準化網站)
- [4]. <https://e-www.motorola.com/webapp/ruhpc.my> Semiconductor.framework(Motorola半導體網站)
- [5]. Bryzek, Janusz, "Summary Report," Proceedings of the IEEE/NIST First Smart Sensor Interface Standard Workshop, NIST, Gaithersburg, Maryland, pp. 5-12, March 31, 1994.
- [6]. IEEE P1451.1, Draft Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, December 16, 1996.
- [7]. "IEEE P1451.2 D2.01 IEEE Draft Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer

- Electronic Data Sheet (TEDS) Formats", Institute of Electrical and Electronics Engineers, August, 1996
- [8]. John C. Eidson and Stan P. Woods, "A Research Prototype of a Networked Smart Sensor System," Proceedings Sensors Expo Boston, pp. 223-232, May, 1995, Helmers Publishing.
- [9]. "IEEE Std 1451.1-1999, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Piscataway, New Jersey 08855, June 25, 1999.
- [10]. "IEEE Std 1451.2-1997, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Micro-processor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Piscataway, New Jersey 08855, September 26, 1997.
- [11]. IEEE Draft Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Digital Communication and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats for Distributed Multidrop Systems, IEEE Draft standard P1451.3
- [12]. IEEE Draft standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Mixed Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats, IEEE Draft Standard P1451.4.
- [13]. <http://grouper.ieee.org/groups/1451/5>
- [14]. <http://www.metrowerks.com/MW/Develop/Embedded/HC08/Default.htm> (Metrowerk 軟體開發工具網站)
- [15]. 白中和 編著, RS-232 技術詳解與應用, 89年6月出版, 全華書局
- [16]. 蔡錦福 編著, 運算放大器原理與應用, 79年4月出版, P1-P58 全華書局
- [17]. 徐宗誠, 黃金定 編著, 常用線性IC資料手冊, 80年5月出版, P7.50 - P7.54 全華書局

表 1. 不同溫度及壓力下無補償及補償後的量測結果

℃	0 psi 時之零點電壓(V)	0 psi 時 AD 讀取之數字	15 psi 時之輸出電位(V)	15 psi 時 AD 讀取之數字	誤差零點後之數字	計算溫度補償係數	補償後之壓力 (PSI)
0℃	0.76312576	38.91941	3.217338	164.0842	125.1648352	0.119842	15
10	0.70818071	36.11722	3.168498	161.5934	125.4761905	0.119545	15
20	0.67765568	34.56044	3.131868	159.7253	125.1648352	0.119842	15
30	0.62881563	32.0696	3.095238	157.8571	125.7875458	0.119349	15
40	0.62881563	32.0696	3.076923	156.9231	124.8534799	0.120141	15
50	0.62881563	32.0696	3.070818	156.6117	124.5421245	0.120441	15
60	0.61660562	31.44689	3.046398	155.3663	123.9194139	0.121046	15
70	0.6043956	30.82418	3.021978	154.1209	123.2967033	0.121658	15
80	0.59218559	30.20147	3.015873	153.8095	123.6080586	0.121351	15
90	0.58608039	29.89011	2.997538	152.8755	122.985348	0.121966	15
100	0.58608039	29.89011	2.979243	151.9414	122.0512821	0.122699	15

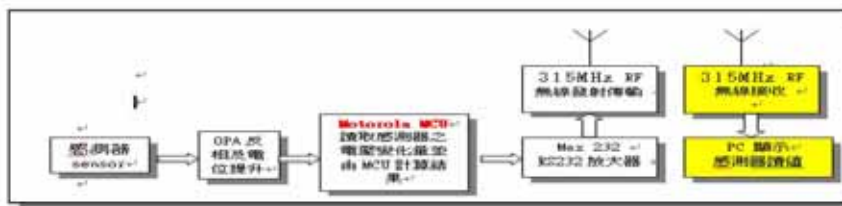


圖 14. 無線傳輸模組整合之架構及電路方塊圖