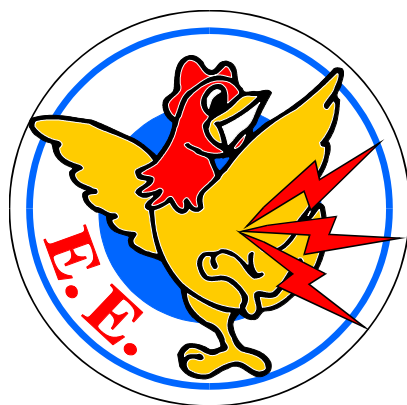
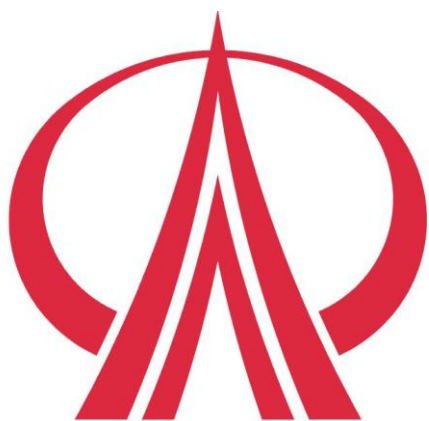


# 修平科技大學 電機工程系

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
HSIUPING UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY

## 實務專題報告書

### 無線導航定位自走車



指導老師：林振漢

專題製作學生：

四技電四甲 張源慶 BD97022

四技電四甲 蕭嘉倫 BD97026

中華民國 一 百 年 十 二 月 七 日

修 平 科 技 大 學

電機工程系

HSIU-PING UNIVERSITY OF SCIENCE

AND TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

指導老師：林振漢

專題製作學生：張源慶，蕭嘉倫

製作日期：100 年 12 月 07 日

# 摘要

本專題使用 Zigbee 無線網路技術結合 Soc 技術，並利用德州儀器公司 16 位元的 MSP430F5438 以及 SoC-CC2530 為 MCU，設計一套具有感測資訊搜集以及利用訊號進行定位的「Zigbee 導航車」，並且延伸開發了一套完整的 Zigbee 無線感測模組。使用 RSSI 訊號強度偵測車體方向以及利用三軸加速度計(ADXL345)校正車體方位與傾斜。並使用 CC2530 SoC 晶片提供的 RSSI 訊號(無線電波訊號強度值)偵測進行定位演算，使用 PWM(脈衝寬度調變)控制兩組高扭力馬達，提供導航自走車座標定位與準確快速行進的動力。在佈置有 Zigbee 感測節點的網路環境中：(1)自動跟隨攜帶 Zigbee Tag 之人員，或依照設定路徑行走。(2)利用超音波量測周圍動態與靜態障礙物。(3)利用紅外線感測自動行走於固定軌道。(4)偵測周圍環境之溫、濕度與光照度。(5)達到搜集環境資訊與監控功能。目前 Zigbee 定位技術應用相當的廣泛，為此我們將利用此無線定位技術，製作無人監控系統，可應用於無人科技廠房、高危險工作區，都可以利用 Zigbee 無線導航定位自走車的技術，增加監控的便捷與範圍，其中的應用與擴充性更是有著無窮的應用。

# 目錄

摘要.....	2
圖目錄.....	4
第一章 緒論.....	6
1.1 研究動機.....	6
1.2 作品特色.....	8
第二章 工作原理探討.....	9
2.1 網路原理:ZigBee 介紹.....	9
2.2 晶片原理:CC2530 晶片.....	15
2.3 晶片原理:MSP430F5438 晶片.....	18
第三章 系統架構說明.....	22
3.1 硬體電路製作.....	23
3.1.1 下層車體硬體電路設計.....	25
3.1.2 上層感測硬體電路設計.....	30
3.1.3 ZigBee RSSI 節點.....	34
3.1.4 感測電路.....	38
3.2 晶片韌體程式.....	42
3.2.1 晶片程式說明.....	42
3.2.2 定位演算法.....	43
第四章 系統整合與測試.....	45
4.1 系統整合功能概要.....	46
4.2 系統整合測試.....	46
4.2.1 第一階段-系統連線.....	46
4.2.2 第二階段-監控介面製作.....	49
4.2.3 第三階段-RSSI 訊號強度測試.....	50
4.2.4 第四階段-整合測試與展示.....	54
第五章 結論.....	57
5.1 結論.....	57
參考文獻.....	58
作者簡介.....	59

# 圖目錄

圖一：導航車網路架構圖 .....	7
圖二：Zigbee 網路結構圖 .....	10
圖三：Zigbee 在新興無線網路技術中的位置 .....	11
圖四：Zigbee 與其他常用之無線網路比較 .....	12
圖五：拓樸網路架構 Star.Cluster Tree .Mesh .....	13
圖六：Zigbee OSI 協定(Zigbee protocol) .....	14
圖七：Zigbee 與各項無線系統架構比較 .....	14
圖八：CC2530 晶片架構圖 .....	15
圖九：CC2530 晶片 .....	16
圖十：CC2530 晶片電路方塊圖 .....	17
圖十一：MSP430F5438 系統晶片封裝 .....	18
圖十二：MSP430F5438 系統晶片架構 .....	19
圖十三：TI 公司提供的 MSP430F5438 晶片外接模組 .....	20
圖十四：TI 公司提供的 MSP430F5438 晶片燒錄器 .....	20
圖十五：自行規劃之車體 MSP430F5438 晶片實際圖 .....	21
圖十六：無線導航定位自走車-下層車體驅動與 RF 收發電路 .....	25
圖十七：無線導航定位自走車-下層板電路結構示意圖 .....	26
圖十八：無線導航定位自走車-下層電路規劃 .....	27
圖十九：無線導航定位自走車-第一代下層電路實體 .....	28
圖二十：無線導航定位自走車-第二代下層電路實體 .....	29
圖二十一：無線導航定位自走車-上層車體感測與系統電路 .....	30
圖二十二：無線導航定位自走車-上層電路結構示意圖 .....	31
圖二十三：無線導航定位自走車-上層電路規劃 .....	32
圖二十四：無線導航定位自走車-上層電路實體 .....	33
圖二十五：無線導航定位自走車-ZigBee RSSI 節點電路 .....	34
圖二十六：無線導航定位自走車-ZigBee RSSI 節點結構示意圖 .....	35
圖二十七：ZigBee RSSI 節點-電路規劃 .....	36
圖二十八：ZigBee RSSI 節點-電路實體 .....	37
圖二十九：超音波感測器晶片實體 .....	38

圖三十: 超音波感測電路.....	38
圖三十一: EEPROM 記憶體晶片.....	39
圖三十二: EEPROM 電路.....	39
圖三十三: IR 紅外線晶片.....	39
圖三十四: IR 紅外線感測電路.....	39
圖三十五: RTC 真實時間震盪晶片.....	40
圖三十六: RTC 真實時間震盪電路.....	40
圖三十七: 溫溼度感測器晶片.....	41
圖三十八: 溫溼度感測器電路.....	41
圖三十九: RSSI 定位示意圖.....	43
圖四十: 無線導航定位自走車-定位示意圖.....	44
圖四十一: ZigBee RSSI 節點-開機情形.....	46
圖四十二: ZigBee RSSI 節點-運算程式.....	46
圖四十三: 無線導航定位自走車-定位示意圖.....	47
圖四十四: 無線導航定位自走車-基地台程式.....	47
圖四十五: 無線導航定位自走車.....	48
圖四十六: 無線導航定位自走車-運算程式.....	48
圖四十七: 無線導航定位自走車-監控介面.....	49
圖四十八: 無線導航定位自走車-監控介面程式.....	49
圖四十九: RSSI 定位單位長訊號強度計算示意圖.....	50
圖五十: RSSI 訊號測試場地佈置圖.....	51
圖五十一: RSSI 訊號測試-距離設置圖.....	51
圖五十二: RSSI 訊號強度測試 1.....	52
圖五十三: RSSI 訊號強度測試 2.....	52
圖五十四: RSSI 訊號強度測試 3.....	53
圖五十五: RSSI 訊號強度測試 4.....	53
圖五十六: 導航定位車之軌道製作.....	54
圖五十七: 導航定位之場地佈置.....	54
圖五十八: 2011.05.24 導航定位自走車展示現場佈置.....	55
圖五十九: 2011.05.24 導航定位自走車展示現場情況.....	56

# 第一章

## 緒論

### 1.1 研究動機

科技不斷的進步，有關機器人、自走車的研究技術相當廣泛，移動式機械能夠幫助或是取代人類解決日常生活中的不方便，而近年無線遠端監控技術被廣泛運用，各種網路感測與監控技術推陳出新，主要應用於安全監控、數位家庭控制、物流追蹤與居家照護等工業及家庭自動化控制領域，所以我們決定設計一個結合 Zigbee 網路定位與感測技術，並透過擬思考與學習的全方位多功能自走車。

設計這一部 Zigbee 導航車需解決問題的重點，是車體結構與動力設計必須能夠克服障礙物，以及選擇一顆具有強大運算與儲存記憶體的單晶片，處理 Zigbee 網路與各種感測器訊號，並能夠寫入類神經網路之演算法，讓自走車可以不斷學習與修正系統的功能。

可以偵測環境、智慧跟隨主人行駛等功能，它也是一部導航或是導盲車，能夠協助帶領主人克服任何障礙物，共分為以下兩個部分：第一部分為「硬體部分」，包括車體的設計、機構等；第二部分為「程式部分」，包括定位之演算法、類神經網路之演算法與模糊控制等。

並且利用德州儀器公司之 16 位元的 MSP430F5438 晶片具有 256KB 非揮發記憶的空間，撰寫一個具有類神經網路與學習功能的定位系統，並充分利用晶片的 87 個輸出輸入接腳做各種裝置的控制，為輸出直流 PWM 馬達控制、A/D 類比數位晶片訊號轉換、三軸加速度、全方向震動感測器、二維水平控制之伺服馬達控制等等。導航車可偵測所到位置附近之環境溫度、濕度、光照度。並具有自動調節車子燈光，與利用陀螺儀調整車子水平等功能。

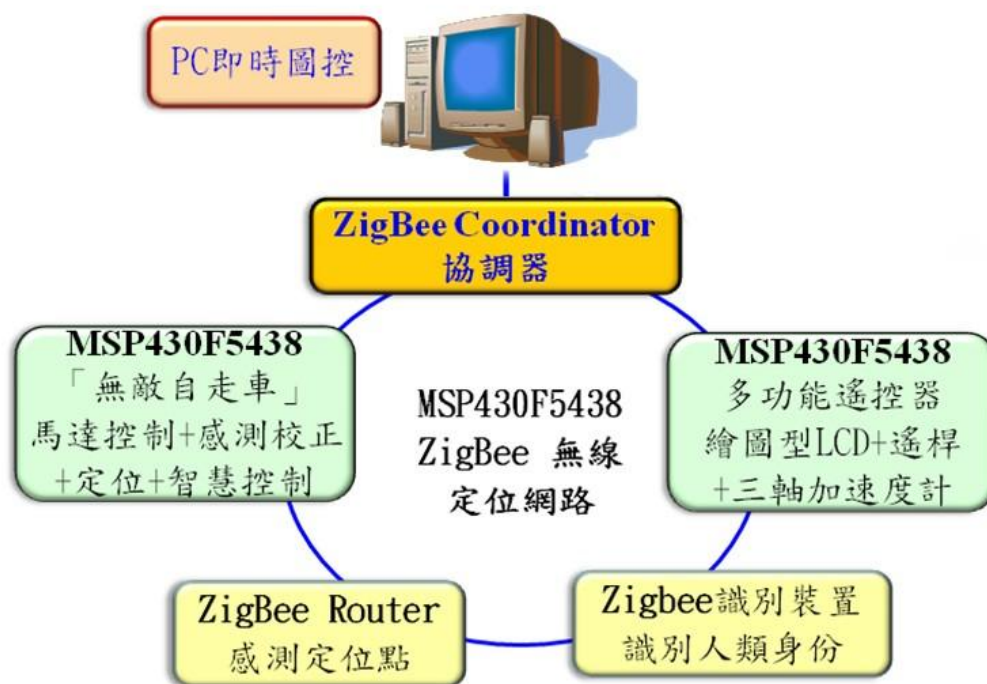


圖 1：導航車網路架構圖



## 1.2 作品特色

本專題使用 Zigbee 無線網路技術結合 SoC 技術，設計具有感測、資訊搜集，並利用訊號進行定位的「Zigbee 導航定位自走車」。導航與定位採用 RSSI 偵測車體位置與利用三軸加速度計校正車體方位，並使用 SoC-CC2530 提供的 RSSI 機制進行定位與座標演算，並且使用 PWM 控制兩組高扭力馬達，提供自走車快速行進的動力。在佈置有 Zigbee Node 的網路環境中達到：(1)跟隨攜帶 Zigbee Tag 之人員；(2)利用紅外線感測自動行走於固定軌道；(3)偵測環境之溫濕度與光照度；(4)完整搜集環境資訊與車體監控。

在晶片的選擇上，MPS430F5438 是一款具有高效能、高整合性、低功耗且簡單易用的晶片，並且具有較多 CPU 暫存器(Register)的優點；SoC-CC253 是專為 ZigBee 應用量身訂做的晶片系統。完全整合高效能 RF 收發器、8051 MCU、介面通訊功能；在網路方面使用的 Zigbee 網路通訊協定 Z-stack，是德州儀器(TI)公司針對 ZigBee 協議所撰寫的堆疊，使用 Z-Stack 來發展 ZigBee 系統，可以縮短專案開發的期程。

以上，利用 Zigbee 無線導航定位自走車的技術，增加監控的便捷與範圍，未來的擴充性與應用有無限的潛力。

## 第二章 工作原理探討

### 2.1 網路原理:ZigBee 介紹

ZigBee协议体系结构

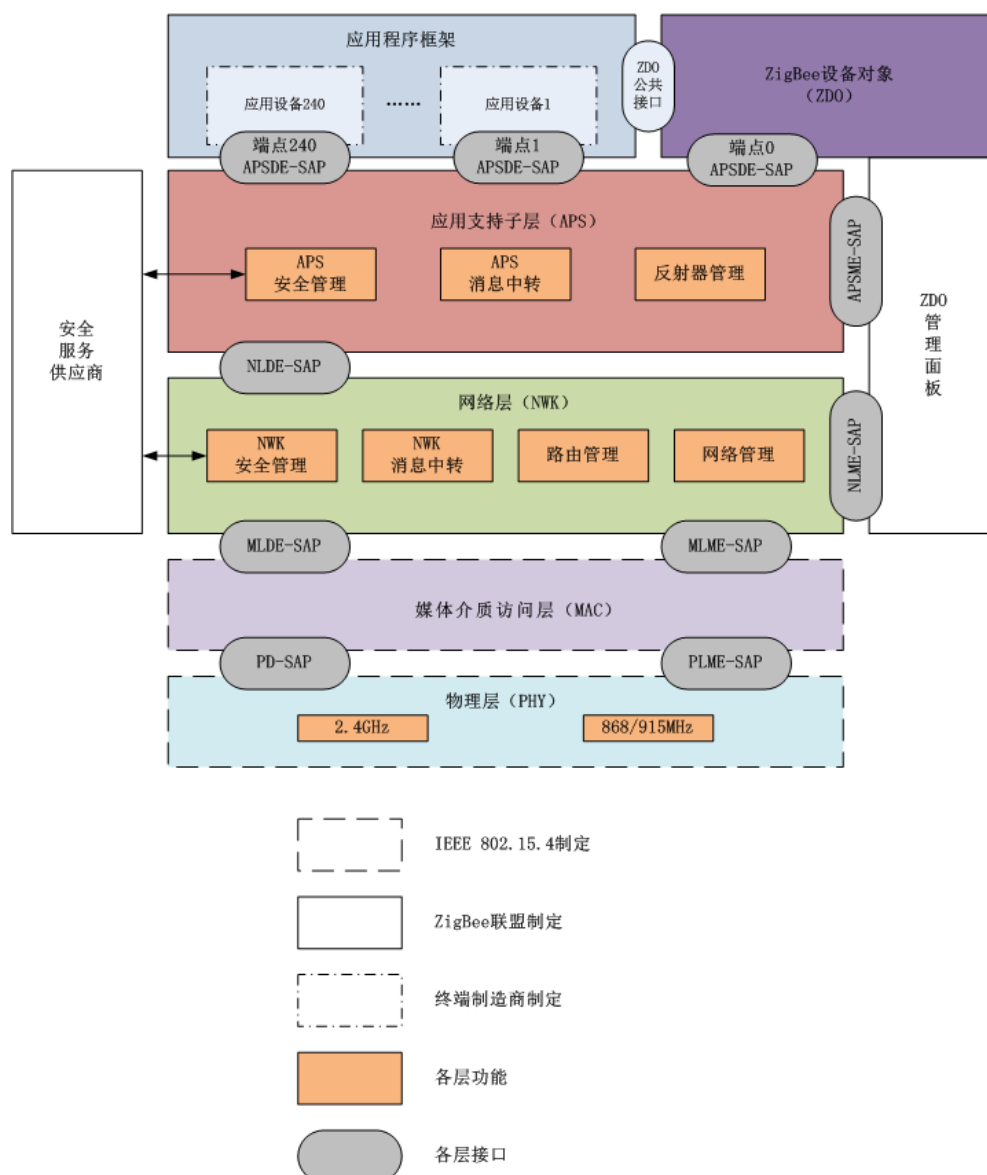


圖 2：Zigbee 網路結構圖

ZigBee技術的無線感測網路的無線通信技術可以採用ZigBee技術、藍牙、Wi-Fi和紅外線等技術。 ZigBee技術是一種短距離、低複雜度、低功耗、低資料速率、低成本的雙向無線通信技術或無線網路技術，是一組基於IEEE802.15.4無線標準研製開發的有關組網、安全和應用軟體方面的通信技術。

ZigBee聯盟於2005年公佈了第一份ZigBee規範“ZigBee Specification V1.0”。ZigBee協定規範使用了IEEE 802.15.4定義的物理層（PHY）和媒體介質訪問層（MAC），並在此基礎上定義了網路層（NWK）和應用層（APL）架構。 ZigBee的體系結構由稱為層的各模組組成。每一層為其上層提供特定的服務：即由資料服務實體提供資料傳輸服務；管理實體提供所有的其他管理服務。每個服務實體通過相應的服務接入點(SAP)為其上層提供一個介面，每個服務接入點通過服務原語來完成所對應的功能。

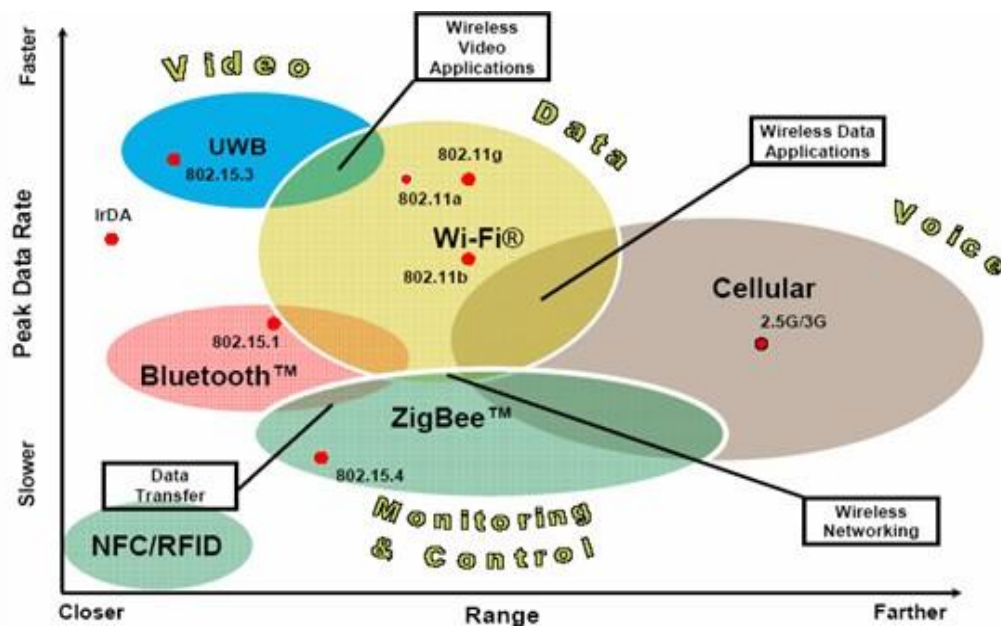


圖 3：ZigBee 在新興無線網路技術中的位置(資料來源／ZigBee.org)

ZigBee 技術是在 900MHZ 和 2.4GHZ 頻段作的新興無線網路技術具有中等通訊距離（十米到數百米），靈活經濟的通訊速率(40Kbps 到 50Kbps)，如圖三所示。ZigBee 是一項新興的無線感測器網路 (wireless sensor network， WSN)技術，每個 ZigBee 裝置都可以擔任中繼路由器(intermediate router)，彼此透過多重跳點(multi hop)的方式傳遞資訊，此無線感測器網路技術已廣泛運用於以嵌入式系統架構為主的相關應用上。

## ■ WLAN、Bluetooth和ZIGBEE的比較：

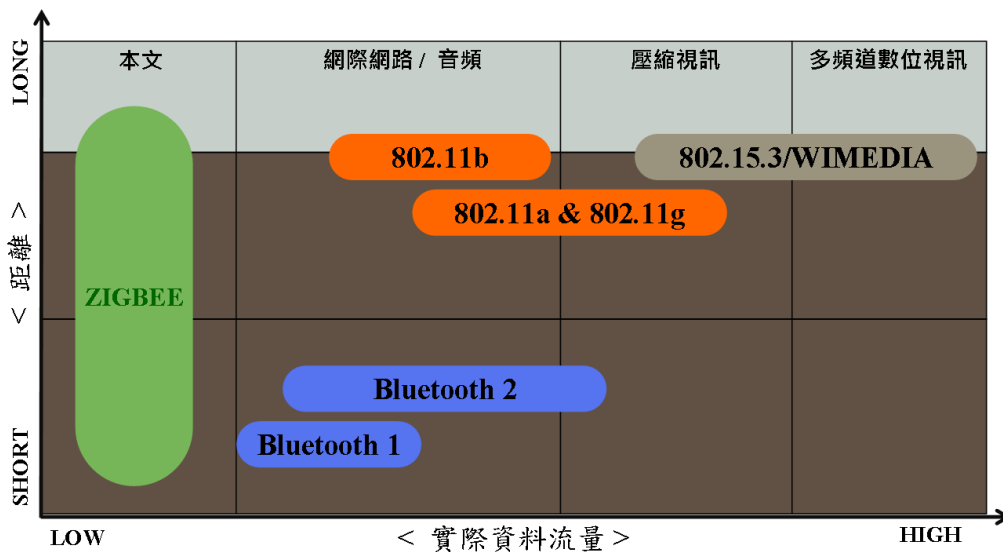


圖 4：Zigbee 與其他常用之無線網路比較

- ◆ ZIGBEE 是具備下列特點的無線傳輸技術：
- ◆ 傳輸頻率範圍為 900MHz 至 2.4GHz 的頻段
- ◆ 中等傳輸距離(約數十公尺至數百公尺)
- ◆ 多種網路拓撲(包含樹狀、網狀、星狀)
- ◆ 低功耗
- ◆ 低傳輸速率

它具有低功耗低傳輸速率的特點，依據 IEEE802.15.4 規範，屬於無線個人區域網路(wireless personal area network， WPAN)架構，支援 65000 個網路節點、支援多種網路拓撲（星狀，網狀，樹狀等），Zigbee 拓撲網路架構如圖五。在當今無線網路技術領域，在感測與監控應用中，佔用重要的一席之地。

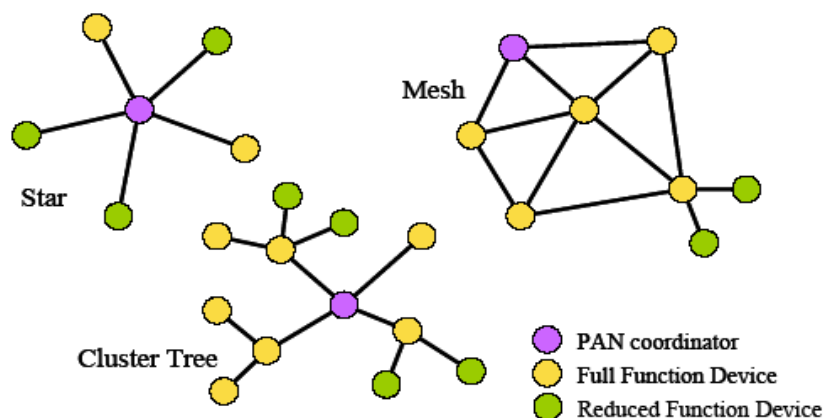


圖 5：拓撲網路架構 Star.Cluster Tree .Mesh(資料來源／ZigBee.org)

網路裝置的角色可分為 ZigBeeCoordinator、ZigBee Router、ZigBee End Device 等三種。ZigBee 標準主要是 IEEE 802.15.4 與 ZigBee Alliance 這二個組織，分別制定硬體與軟體標準。在實體層 (PHY)、媒體儲存控制層 (MAC)、資料鏈結層 (Data Link) 等發展由 IEEE 主導，而 ZigBee Alliance 負責制定邏輯網路、資料傳輸加密機制、應用介面規範及各系統產品之間互通規範。Zigbee OSI 協定堆疊如圖六。

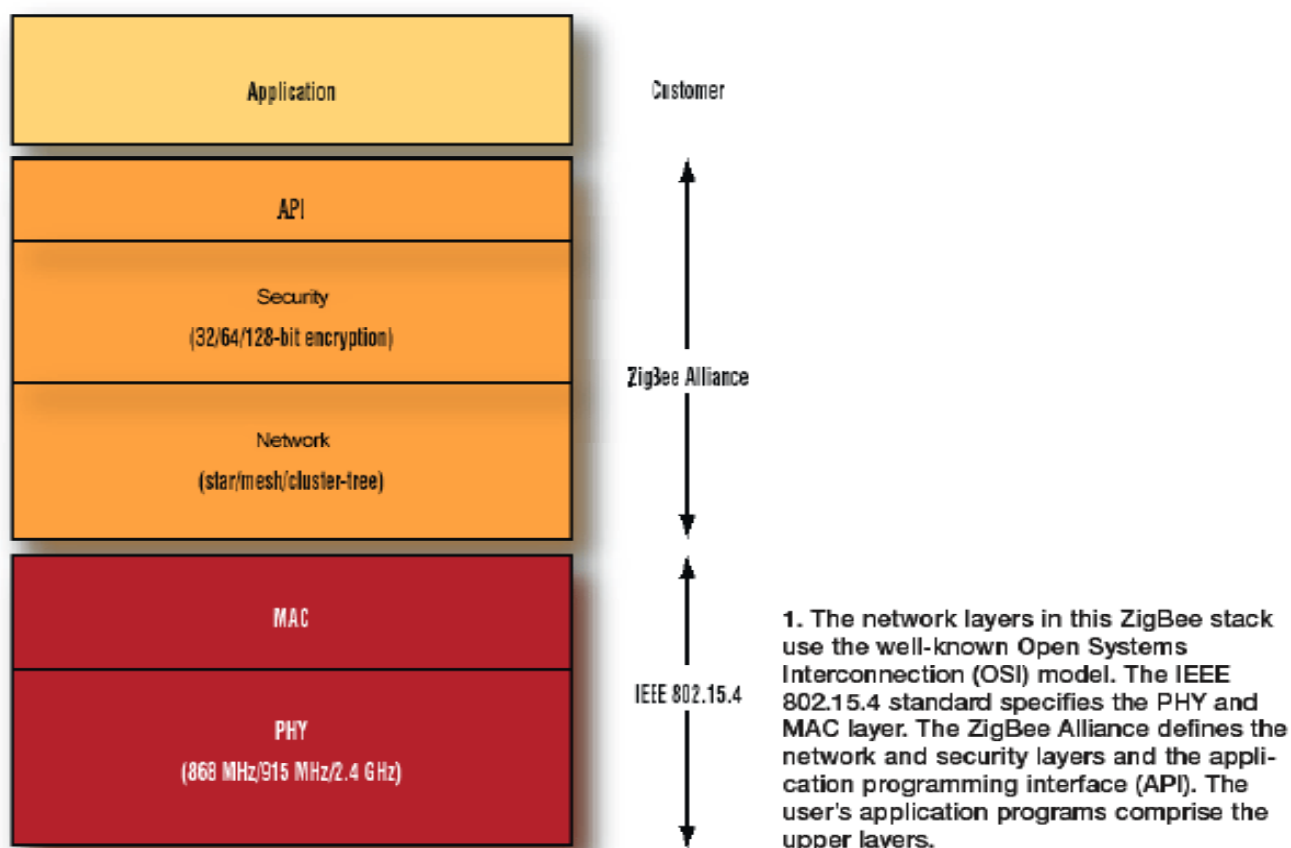


圖 6：Zigbee OSI 協定(Zigbee protocol) (資料來源／ZigBee.org)

可由下表中得知，Zigbee 網路相較於其他無線網路，雖然傳輸速率低，但是複雜度相對較為簡單，而且傳輸距離更長，功耗更低，相當適合用來佈建無線感測網路。

Feature (s)	Wi-Fi IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
電源持續力	小時	天	年
複雜度	非常複雜	複雜	簡單
節點數	32	7	Unlimited
建立連線速度	3 秒	10 秒	30 ms
傳輸距離	100m	10m	70m ~ 300m
資料傳輸率	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
安全性	SSID	64bit, 128bit	128bit AES

圖 7：Zigbee 與各項無線系統架構比較

## 2.2 晶片原理:CC2530 晶片



圖 8： CC2530 晶片架構圖

本系統的無線感測裝置使用德州儀器公司(TI)於 2009 年推出 SOC 晶片-CC2530。與其他威力強大的功能與周邊相結合，如內建 ADC、SPI、USB…等功能，方便與其它感測器連接。CC2530 系統晶片架構如圖八所示。





圖 9： CC2530 晶片

- ◆ 具 Zigbee 功能 SOC 晶片
- ◆ 支援 IEEE 802.15.4、ZIGBEE 2007、ZIGBEE PRO 和 RF4CE 應用。
- ◆ 業界首款符合 ZIGBEE RF4CE 相容的協議。
- ◆ 出色的接收器靈敏度和抗干擾能力。
- ◆ 極少量的外部元件。
- ◆ 高性能的 RF 收發器與一個增強型 8051 微處理器
- ❖ 8 kB 的 RAM ， 32/64/128/256 KB Cache Memory。
- ❖ 2 個 UART、12 位 ADC、4 個計時器、21 個 I/O。
- ❖ RSSI/LQI 支持、DMA 功能、支持 CSMA/CA。
- ❖ AES128 加密功能、看門狗計時器、 QFN40。
- ❖ 輸出功率+4.5dBm、接收靈敏度-102dBm。
- ❖ 低功耗：0.4uA。

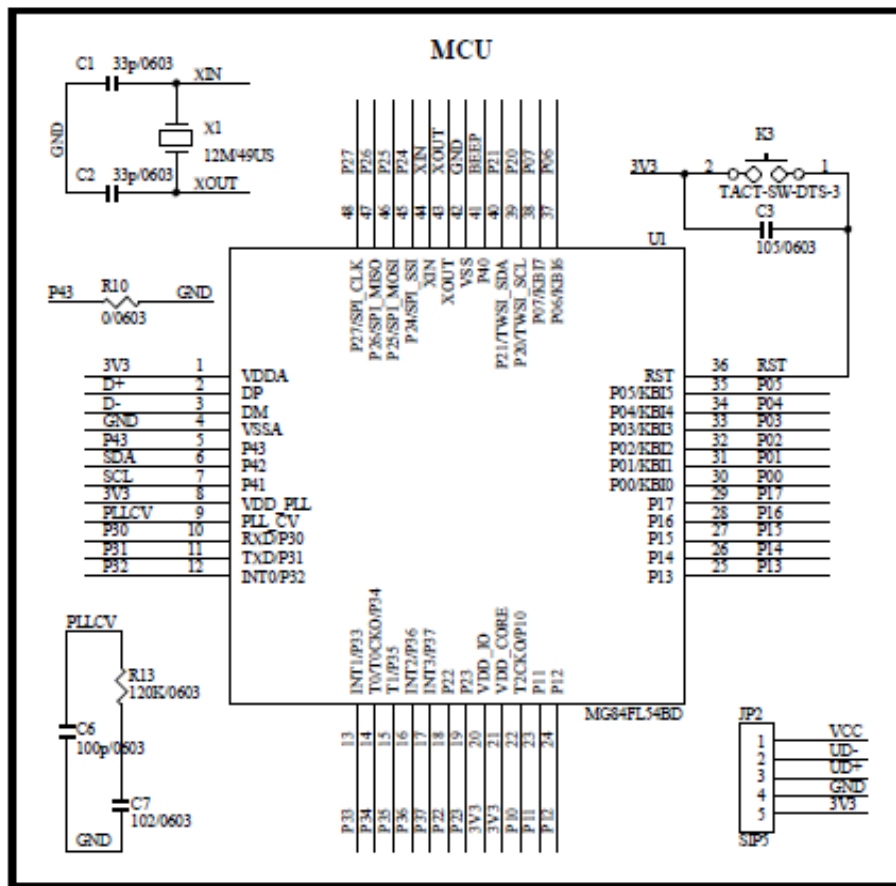


圖 10: : CC2530 晶片電路方塊圖

本專題採用 CC2530 做為動力控制晶片核心，以及無線網路的系統晶片，該晶片使用 3.3 伏的電壓，不需要變壓器只需要透過穩壓 IC 即可，因此在本專題的電路製作上相當的方便使用並且可以有效的縮小電路體積，例如：Zigbee 網路節點的製作。

該晶片使用簡單的外部線路即可使晶片運作，並且已內建 RF 收發電路，如圖十所示，我們外接了振盪器電路以及晶片重置電路，與晶片程式的燒錄接腳。

## 2.3 晶片原理:MSP430F5438 晶片

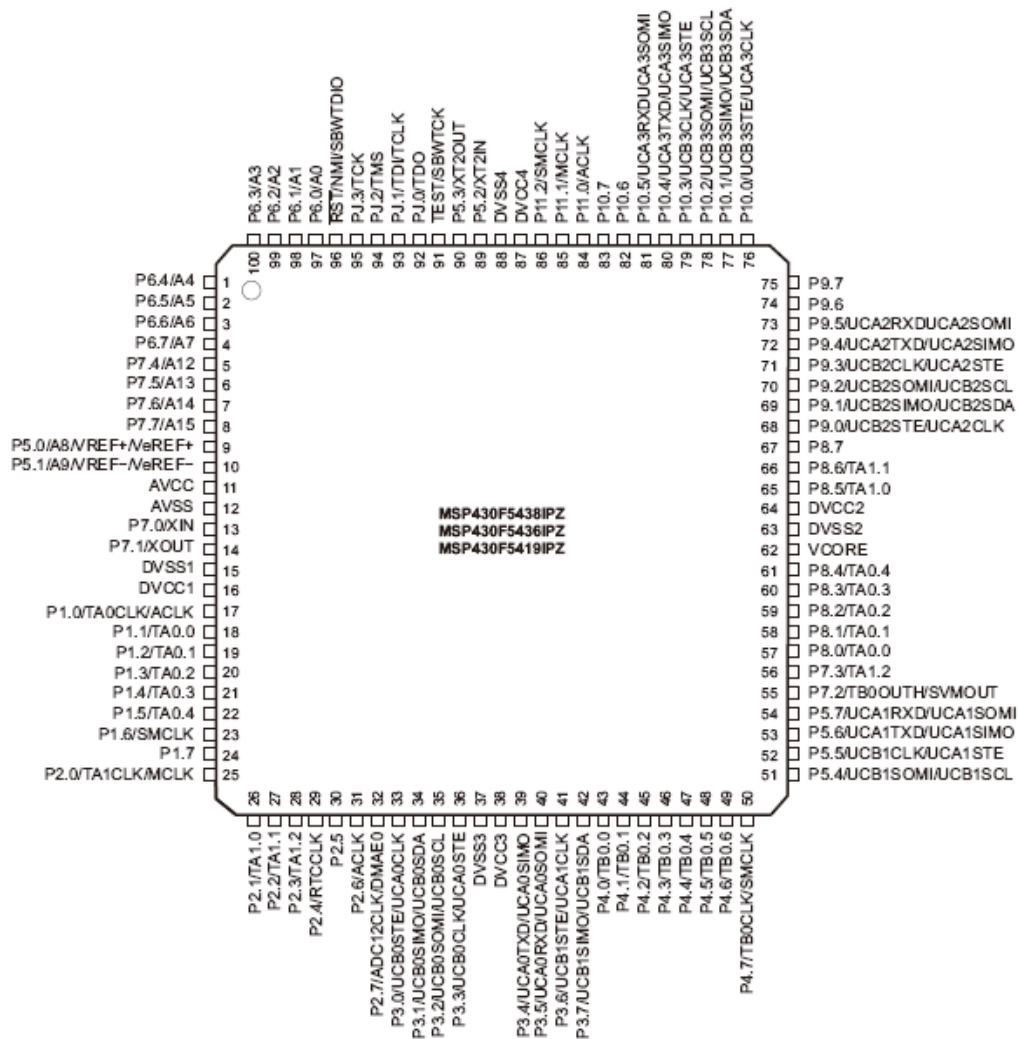


圖 11：MSP430F5438 系統晶片封裝

MSP430F5438 為 TI 公司開發的 16 位元精簡指令集（RISC）的混合式訊號微處理控制器。內建電源管理系統，即可彈性調整之電源輸出，其功能可以監控系統電力、部分電壓分配的控制。如圖十一所示，為該晶片之封裝外觀，具有大量的接腳可供各種使用。

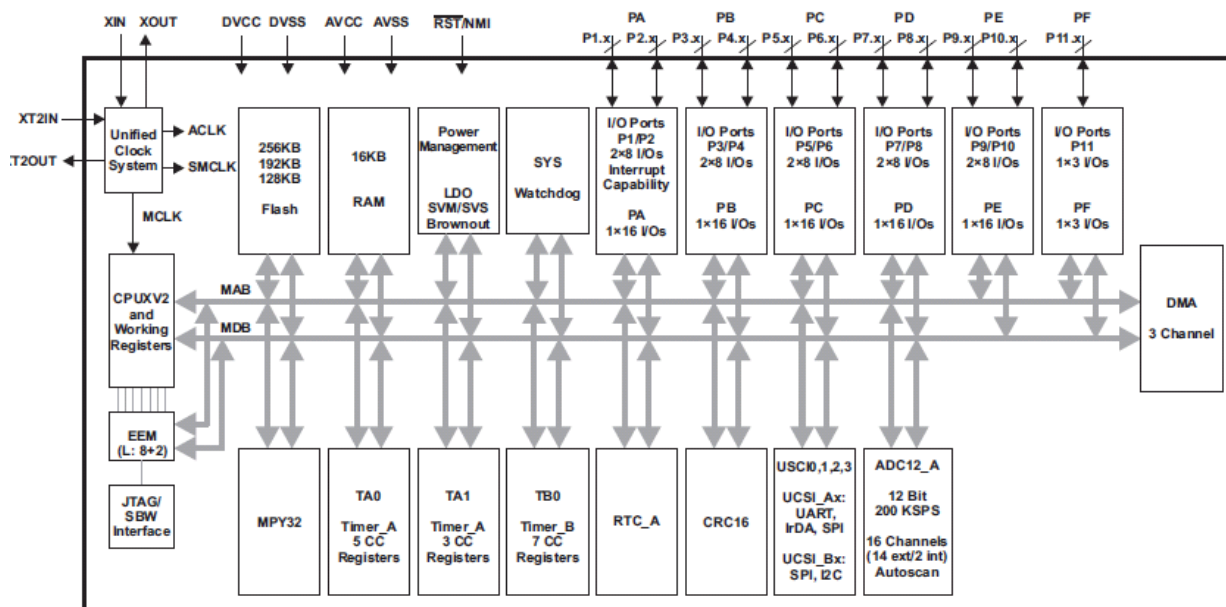


圖 12：.MSP430F5438 系統晶片架構

低消耗電源包括六種模式，分別是激活模式、待機模式與睡眠模式等。其低功耗應用非常廣，低功耗智慧型感測網路、保全、居家控制系統、大樓自動化、智慧電表等等，對於業界需求相當符合。

晶片系統頻率最高可達 32MHz，並具有 256KB 的非揮發記憶空間，16KB 之隨機存取記憶空間。硬體輸出入接腳包含 P1 至 P10 完整的 8 個位元組、3 個位元組的 P11 與 4 個位元組的 PJ 共 87 個獨立 I/O 接腳，如圖十二為 MSP430F5438 晶片內部架構圖。

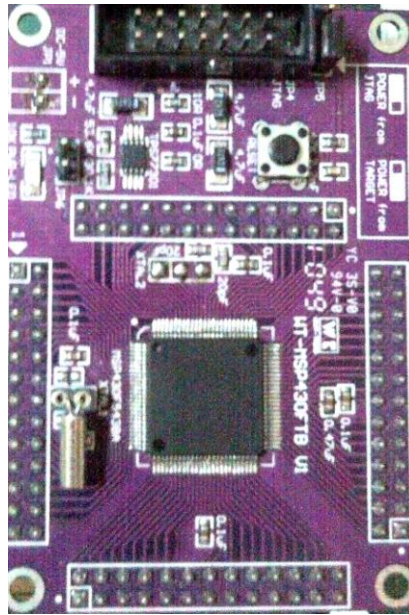


圖 13：TI 公司提供的 MSP430F5438 晶片外接模組

該晶片屬於大型積體電路設計，故接腳相當的精細一般人較難直接使用，這是德州儀器公司所提供的接腳外部擴充電路板，由照片中可得知，該晶片的外部接腳分為四個部份，共 87 支 I/O 腳，而該擴充版可自行調整振盪器之頻率，並且附有重置按鈕，可供使用者進行程式測試與實際應用，最上方之串口為燒錄端口，需使用該晶片之專門燒錄器。



圖 14：TI 公司提供的 MSP430F5438 晶片燒錄器

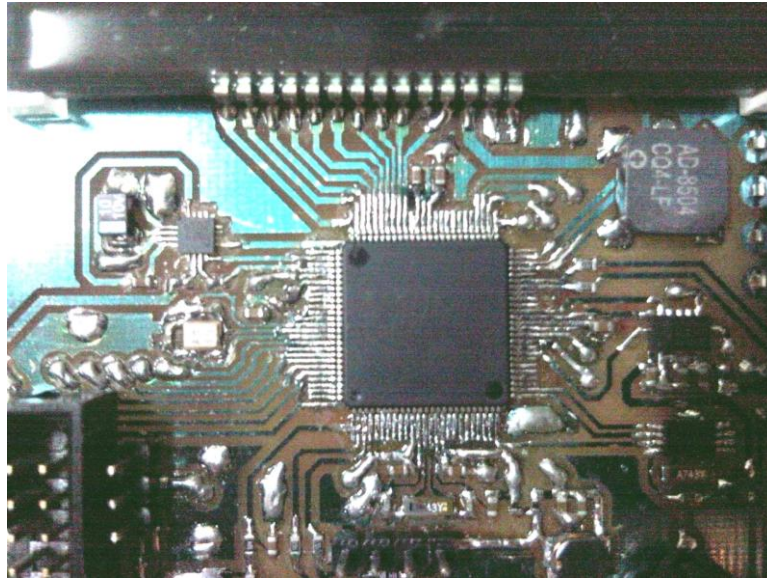


圖 15：自行規劃之車體 MSP430F5438 晶片實際圖

這是 MSP430F5438 晶片實際運用在專題中的電路，該電路為車體的上層感測器電路板，提供給 LCD 液晶顯示螢幕、溫濕度、震動感測器、三軸加速度計、蜂鳴器、RTC 真實時間時鐘等晶片。

可由實際焊接情況了解該晶片之精細度與大量的 I/O 接腳可供使用者使用，由於專題採用人工的曝光顯影製作電路，由於接腳相當的精細，此電路為製作過程中第五塊電路板，其中也包含測試的毀損等，但相當的有實驗價值與練習的經驗。



## 第三章

# 系統架構與功能

車體部分採用利用 ADXL345 三軸加速度計偵測車體行進方向。並且運用 Zigbee 無線技術之網路作定位功能，使用測距元件與各種感測元件避開障礙物。遙控器採用繪圖型 LCD 顯示器、二維搖桿與三軸加速度計等，主要功能為控制車子行進、觀測車子所在地、偵測車子周圍之環境溫度、濕度與光照度等其功能。Zigbee 裝置形態分別為調器、路由器與終端機。利用車子與三點以上之參考點當作路由器，電腦監控端當作協調器，在一個空間或校園內構成一個 Zigbee 網路（PAN）。

其中研製步驟包括：裝置規劃與硬體電路製作，晶片韌體程式的開發，訊號強度的測試，詳細說明如下：

■ 製作一個 Zigbee Coordinator，可透過此網路開道器與 PC 電腦相連接，達到遠端無線型智慧控制。

■ 撰寫 PC 即時圖控監控系統，可以透過 Zigbee 網路直接控制展示自走車的行進以及監控自走車之系統狀況。

■ 利用 MSP430F5438 多功能遙控器，可進行自走車的遠端操控以及接收自走車之即時回報訊息。

### 3.1 硬體電路製作

主要硬體電路的規劃如下：

(1) Zigbee 導航定位自走車體：設計一多用途性以及便捷與適應性之車體，並裝載 MPS430F5438 與 CC2530 之 SOC 晶片，以及各種環境感測元件，利用 PWM 控制直流馬達達到可調控之馬達驅動。

(2) Zigbee 無線多功能三軸遙控器：使用繪圖型 LCD 顯示器可即時監控車體回傳訊息，利用二維搖桿控制器或是三軸加速度計進行遠端操控，以及使用 CC2530 建構出一多功能無線 Zigbee 遙控器。

(3) Zigbee 無線網路閘道器：使用 CC2530 搭配 CP2200 網路晶片，製作 Zigbee-Ethernet 閘道器，用於連接 Zigbee 與 Ethernet 網路。

(4) 低功耗 Zigbee 佈點裝置：利用 TI Z-Stack 堆疊技術建構 ZigBee 無線佈點網路(協調器、路由器與終端機)，達到三點以上之參考點作為路由器，電腦監控端作為協調器，致使可在一個空間或校園內構成一個 Zigbee 無線網路。



(5) Zigbee 導航定位自走車體相關感測裝置：利用 MSP430F5438 之 ADC 轉換介面、SPI 與 I2C 以及 PWM 輸出，並以程式設計加以規劃其功能與實際應用，搭配如計畫中所述之感測元件，三軸加速度計、溫溼度感測、光感測器、直流馬達之 PWM 驅動系統，妥善利用電路空間及減少浪費，達到開發之便捷性與未來的方便擴充性。

(6) 利用 16 位元之 MSP430F5438 晶片具 256KB 非揮發記憶空間撰寫一個具有類神經網路之學習功能的系統，並利用晶片的 87 個輸出入腳位做輸出直流 PWM 馬達控制、A/D 轉換、三軸加速度、陀螺儀、全方向震動感測器、二維水平控制之伺服馬達控制等等。

### 3.1.1 下層車體硬體電路設計：

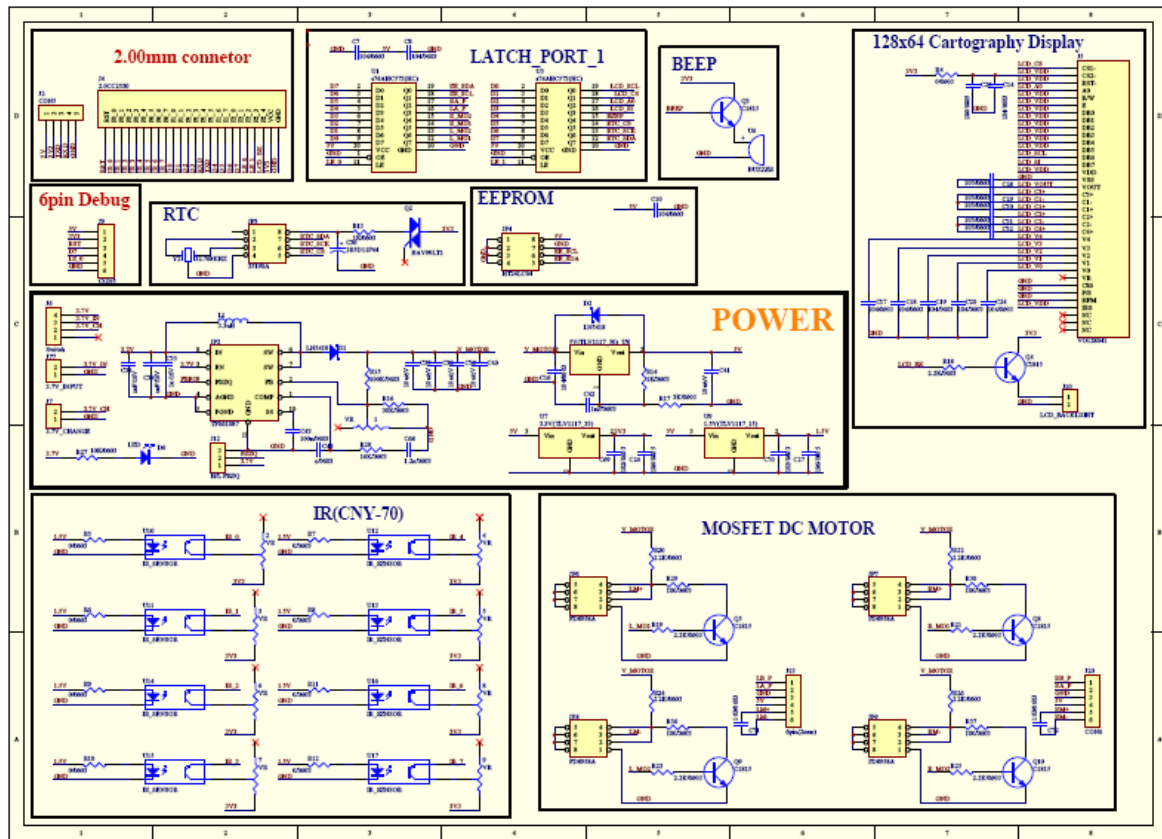


圖 16：無線導航定位自走車-下層車體驅動與 RF 收發電路

該電路之設計規劃如上方 Protel 設計圖，我們設計一多用途性以及便捷與適應性之車體，使用 CC2530 之 SOC 晶片作為下層板電路之 MCU 並且作為 Zigbee 無線網路建立之系統晶片，並且該電路安裝八組紅外線感測電路，作為車體自走功能的設計，使用 TI 德州儀器之超高壓電路，將系統電源升壓至 18.5 伏，有效的利用 PWM 驅動兩組利基公司之高扭力直流馬達，達到迅速、有效調控之馬達驅動，提供導航車完善的驅動與便捷。

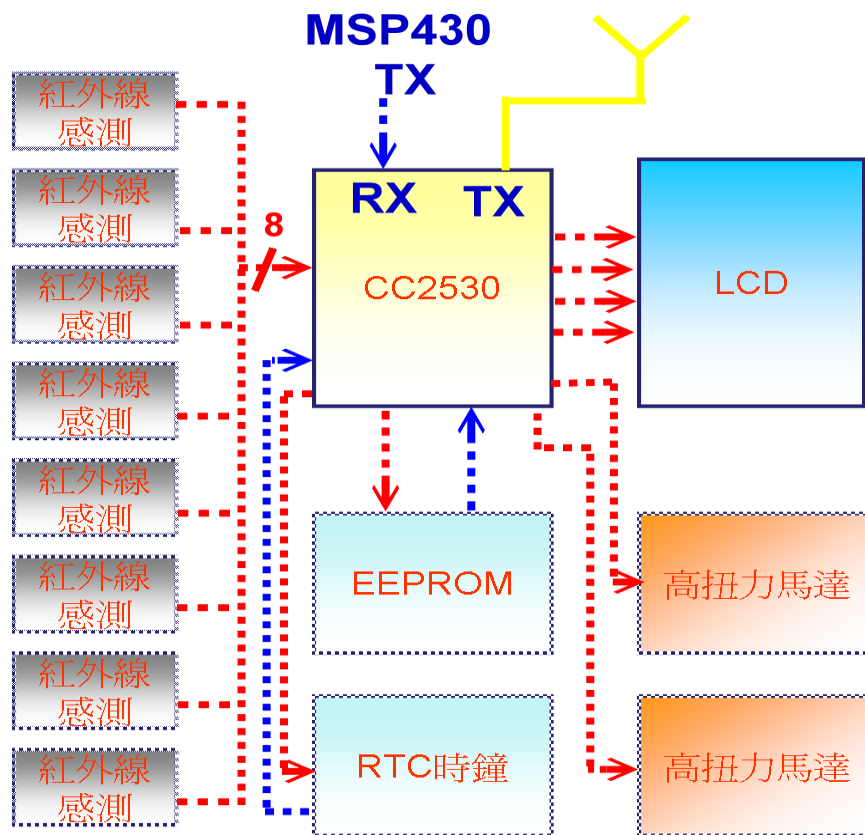


圖 17：無線導航定位自走車-下層板電路結構示意圖

使用 CC2530 作為 MCU 並且以升壓與升流之晶片提供給兩組高扭力直流馬達，其中使用 FD8958A 電晶體作為高扭力 PWM 馬達之正反轉運作，而由於 CC2530 僅 23 支可用接腳，故我們還使用了多工器 IC-s74AHC573 作為接腳的擴充提供八組紅外線感測電路。

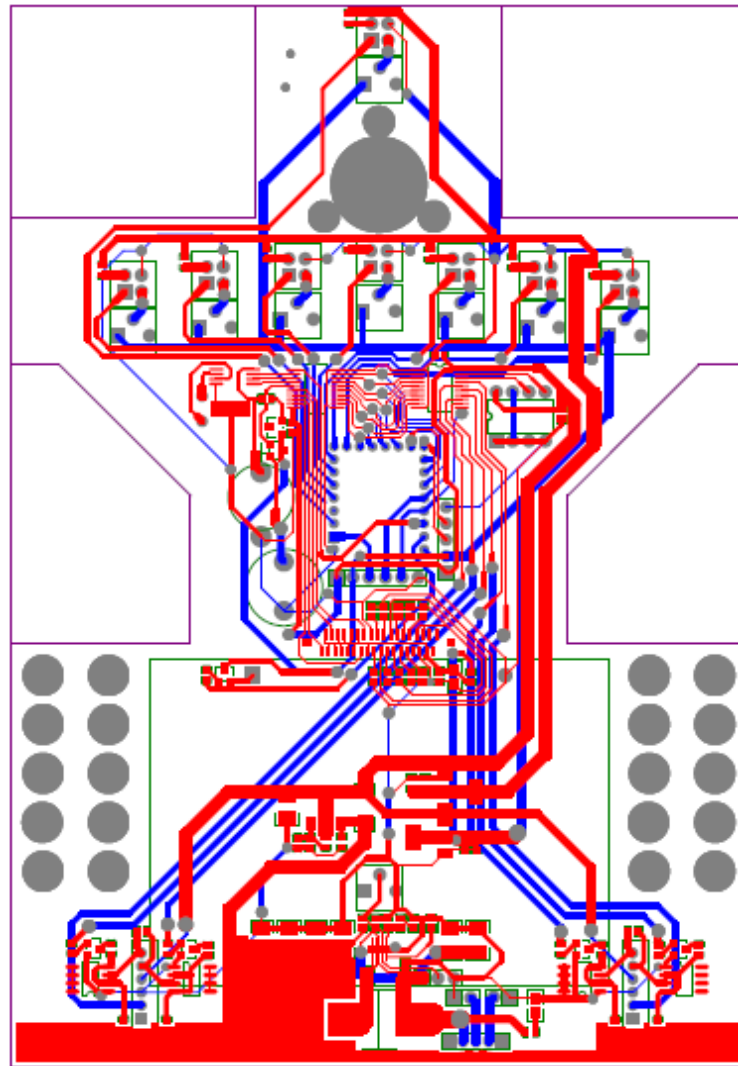


圖 18：無線導航定位自走車-下層電路規劃

Protel 電路規劃需要考慮相當多的因素，例如電路成型的大小、電流的大小、元件的電磁干擾、熱擾動、電源電路的散熱等，相當的耗時，可由上圖所見，下方大量的紅色區塊為升壓電路之佈局，故採用大面積之線路提供電流導通，並增加散熱的效果，灰色區域為馬達之固定螺絲孔與前方定輪之安裝使用。而由於我們的專題是以車體實現訊號定位，故最後我們設計的外形如同賽車般的造型。

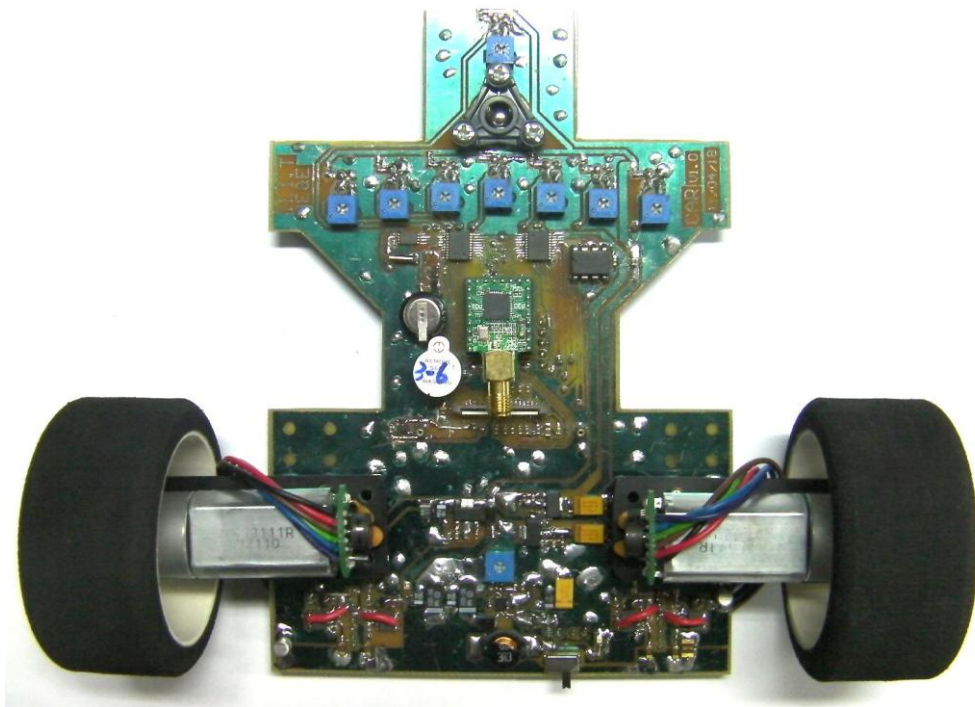


圖 19：無線導航定位自走車-第一代下層電路實體

此為導航車體下層板第一代電路，藍色的部份為可變電阻，目的是在校正紅外線感測電路之數位類比轉換數值，但經過測試之後發現，每次如都需人工校正是相當的麻煩的，經過測試與實驗後，可經由程式內部進行紅外線感測電路的 ADC 數值校正，所以我們在第二代電路中已將該電阻移除，並且縮小車體的電路大小增加車體的環境適應性與不必要的汙染與浪費。

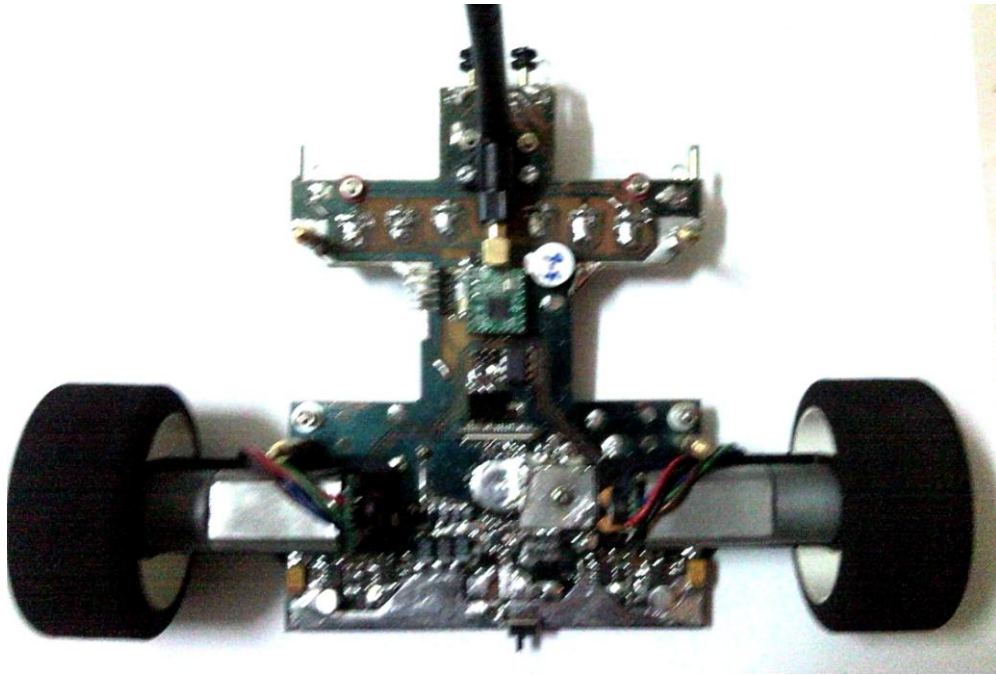


圖 20：無線導航定位自走車-下層電路實體

此為導航車體下層板第二代電路，也是最後的專題成果電路，可由上述兩圖得之其中的差異性，並且改進了升壓電路的穩定與散熱，雖然外形看似簡陋，但事實上卻結合了電子學、電子電路(升壓電路的製作與匹配)、物理(車體的平衡與配重)、力學(電壓電流與馬達的匹配)與大量的數學(數位類比轉換以及訊號的分析)運算在其中。

### 3.1.2 上層感測硬體電路設計：

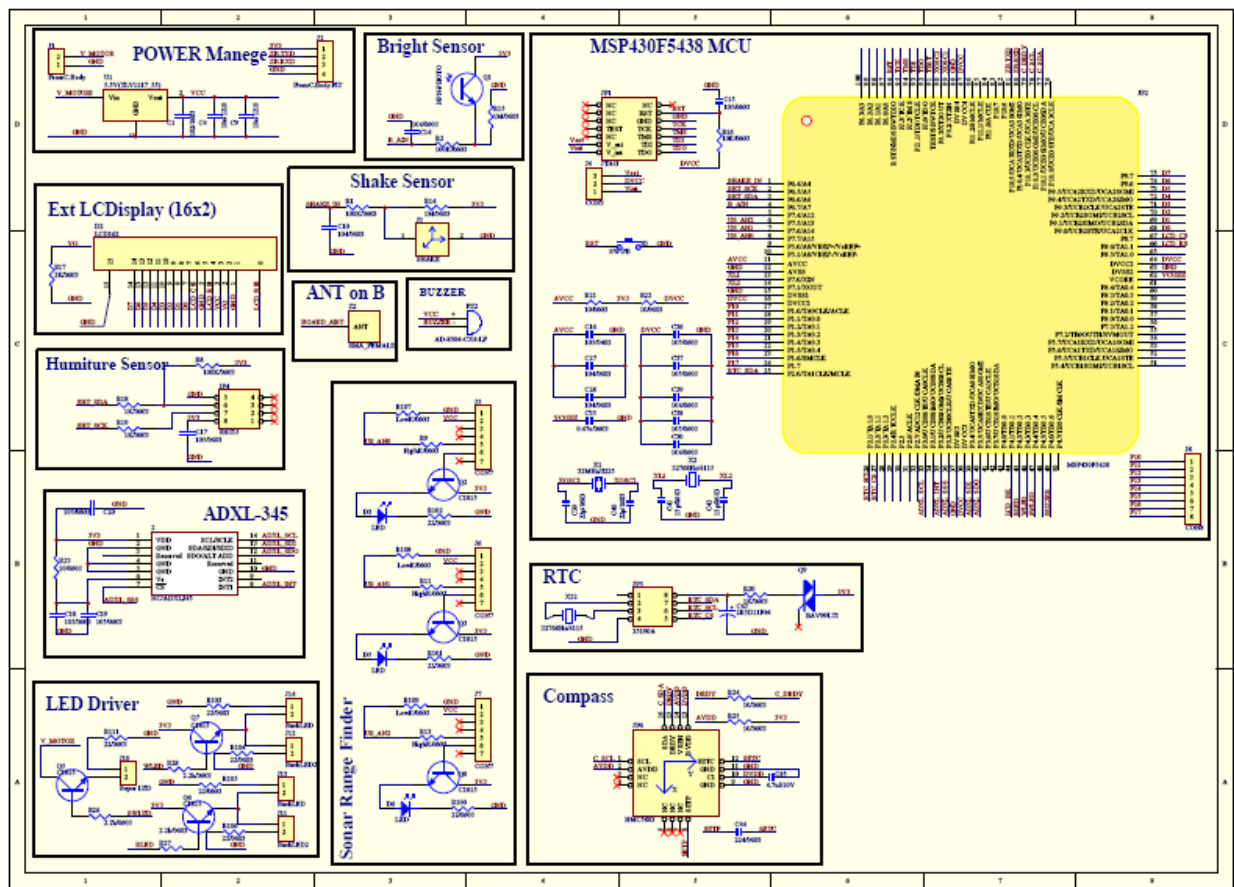


圖 21：無線導航定位自走車-上層車體感測與系統電路

採用 TI 德州儀器公司的 MPS430F5438 為系統晶片，並運用該晶片之大量 I/O 接腳(SPI 介面、I2C 介面、ADC 介面)，搭配各種環境感測元件(溫溼度、光照度、超音波感測、三軸加速度計、全方向震動感測、RTC 時鐘等)，並裝載小型 LCD 液晶顯示螢幕，即時觀看車體之狀態與三軸加速度之方位數值。



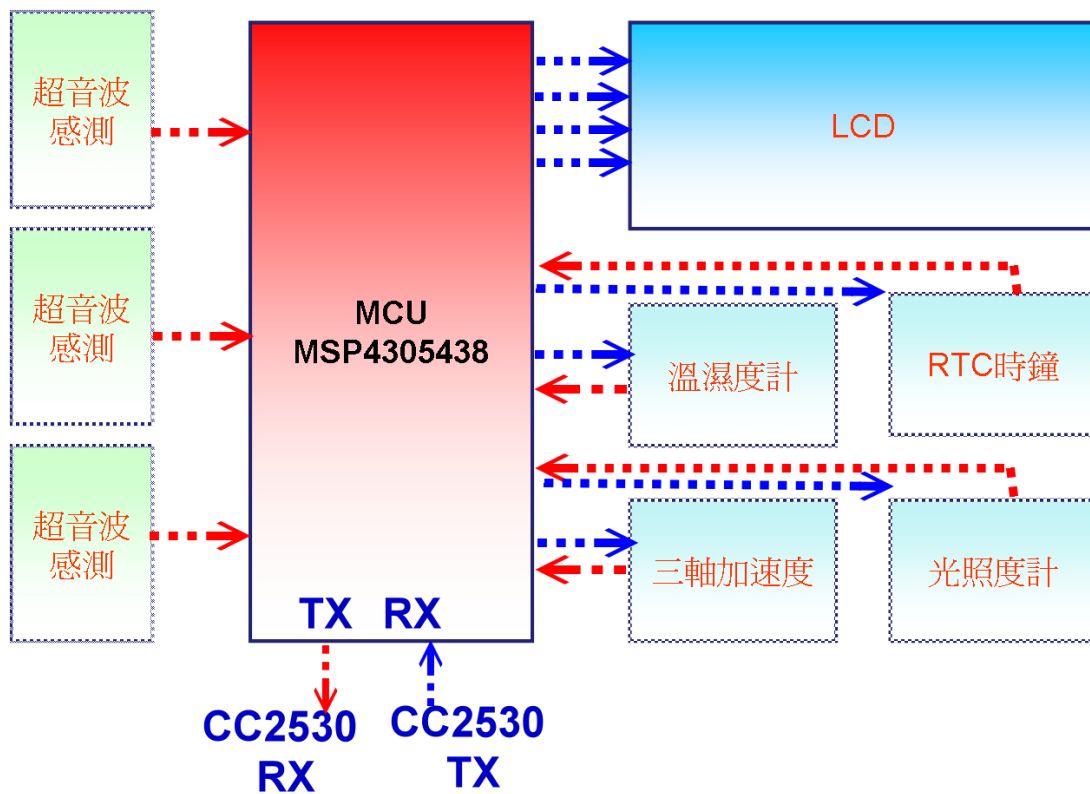


圖 22：無線導航定位自走車-上層電路結構示意圖

由圖二十二可得知，MSP430F5438 透過串列通訊，與下層板的 CC2530 做溝通，將上述之感測器分別存放於兩組暫存記憶體，並透過 CC2530 收到之識別碼，辨別需要發送的暫存記憶體，將數位資料訊號傳送至 Zigbee 無線收發電路之 MCU，再將訊號連線至無線網路，透過 Zigbee 無線網路可連線至遠端的基地台，以及電腦端的 Visual Basic 人機監控介面，達到遠端監控無線化的便捷功能。



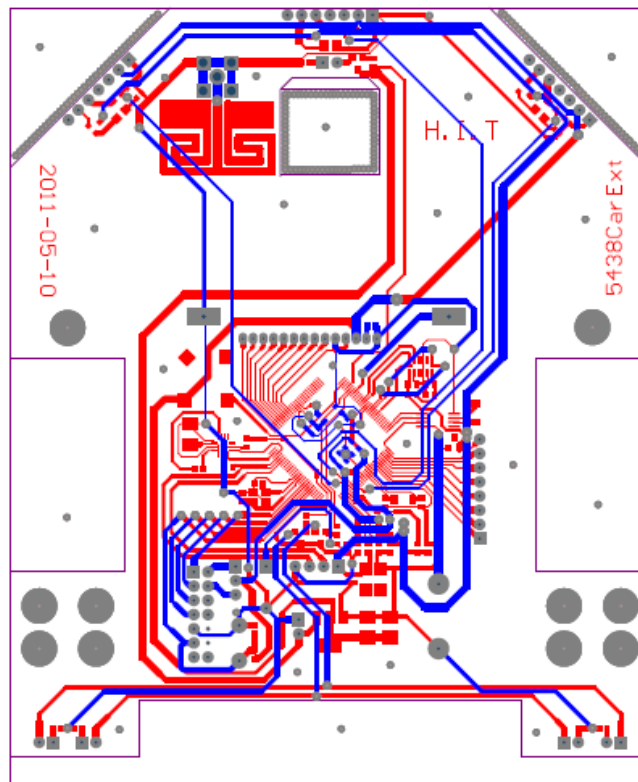


圖 23：無線導航定位自走車-上層電路規劃

此圖導航車上層環境感測 MSP430F5438 電路設計圖，由於講求機動性以及重量的因素，故電路規劃採用較為精簡不浪費空間的方式，經過感測器的測試，將干擾降為最低後，將 MCU 以及感測器集中於中央，並將多餘的電路板割除已達到最輕量化的電路，並且設計 MSP430F5438 的燒錄端口可提供線上燒錄的功能。

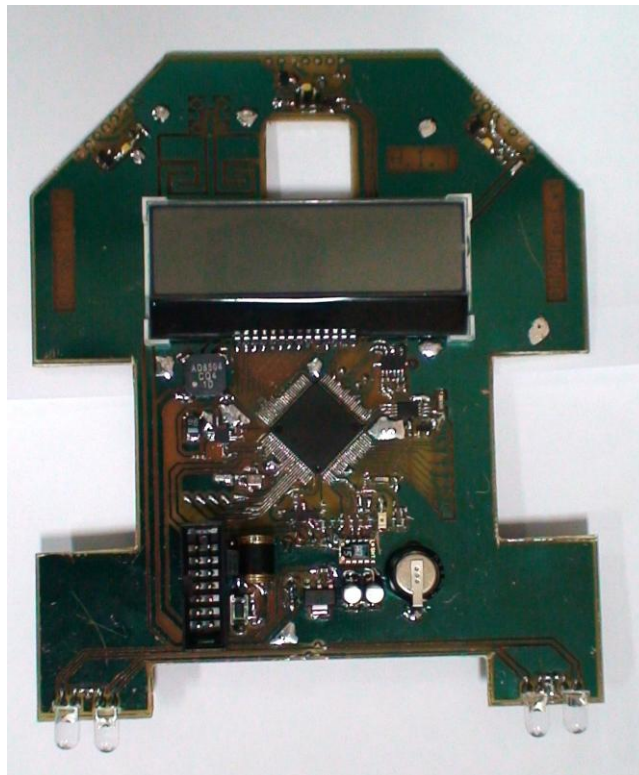


圖 24：無線導航定位自走車-上層電路實體

圖二十四為導航車上層環境感測 MSP430F5438 電路板實體電路圖，為了減輕重量與地形適應性，將電路裁割後如電路所示。後方配置四顆 LED 除了作為方向燈之外，也用於電路的狀態測試燈號，前方配置三組超音波感測器達到避障的功能，而中間的四方形洞口為與下層板電路連線組裝後，天線的出線端。裁割電路的過程相當的費力與費時，如一不小心容易受傷以及破壞硬體電路的完善性，故當初設計此造型時也是相當的挑戰。

### 3.1.3 ZigBee RSSI 節點：

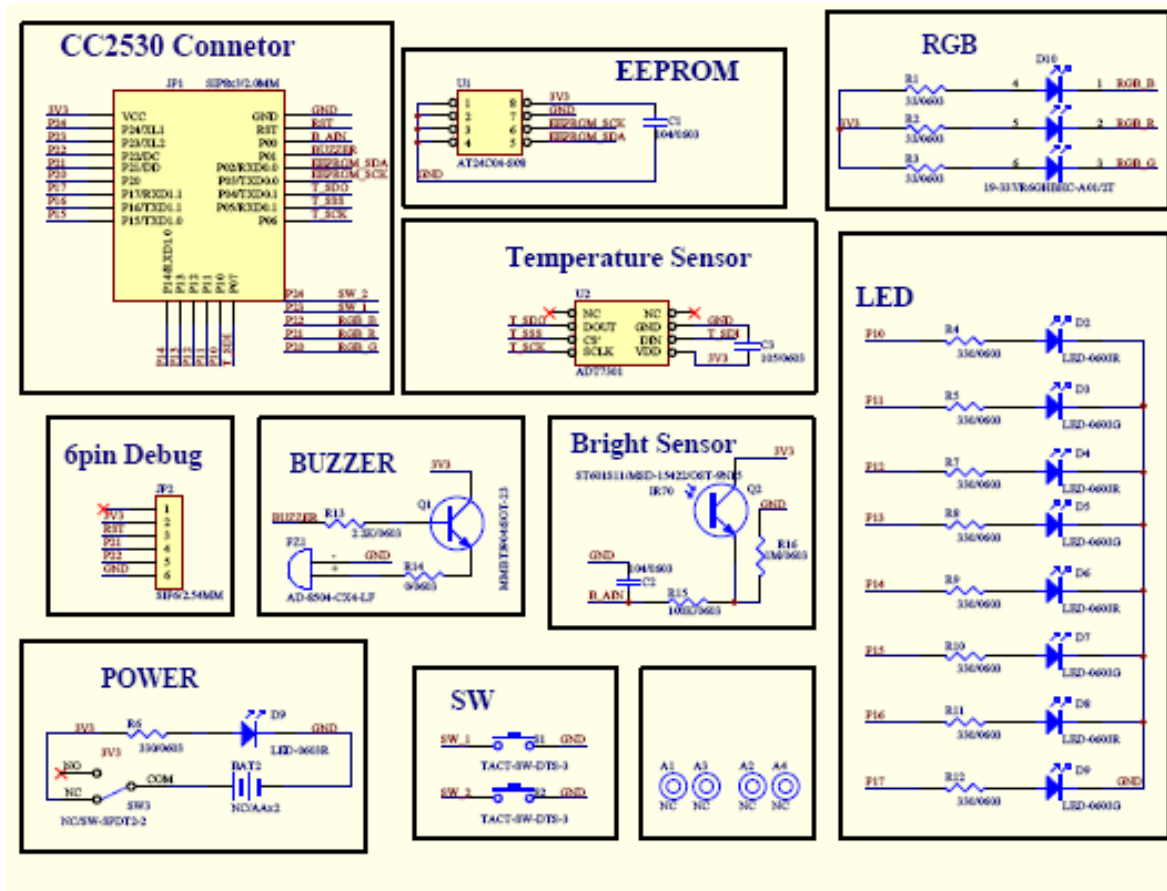


圖 25：無線導航定位自走車-ZigBee RSSI 節點電路

此為本專題相當重要的定位參考節點電路-Zigbee Node，該電路為重新設計過之新版節點電路，功能為接收導航車所固定傳送之識別代碼，並將 RSSI(無線訊號強度)之數值傳送至遠端基地台，使基地台接收四點參考定位點之訊號強度後，計算出車體的座標以及位置與需求命令，並搭載光照度感測器、溫度感測器能夠了解該節點環境的情況，並將該環境之監控值傳送至基地台與電腦監控介面，該電路可應用在環境監控以及定位的布點或是訊號路由器。

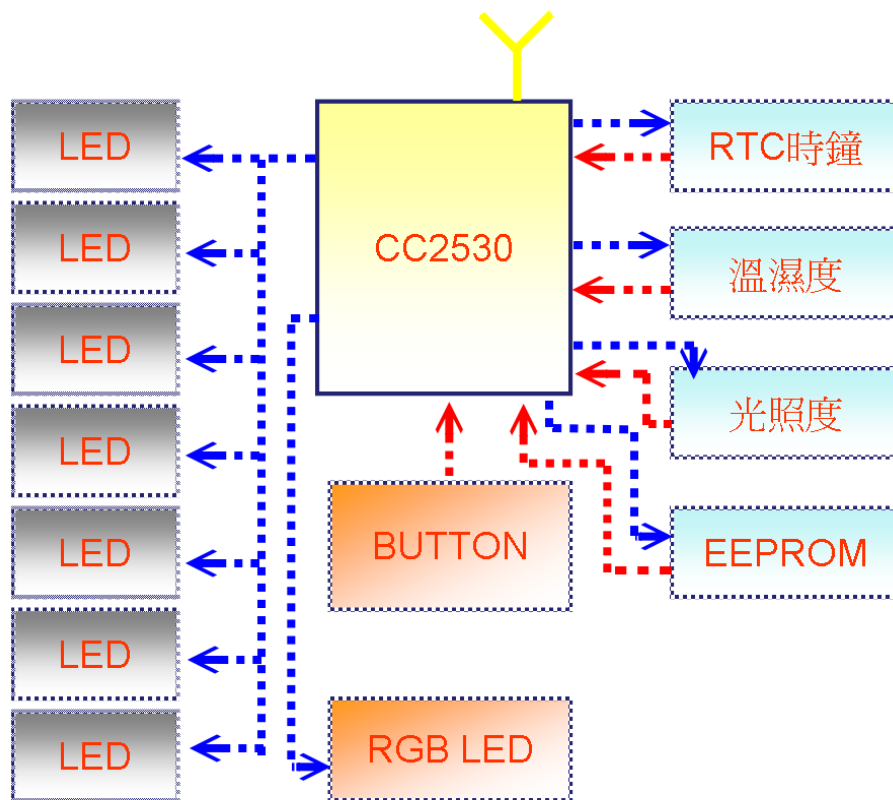


圖 26：無線導航定位自走車-ZigBee RSSI 節點結構示意圖

定位參考節點電路-Zigbee Node，配備七顆 LED 做為該節點之網路位址，以及狀態顯示燈號，也可搭配感測器作顯示，其中按鈕可用來設置網路位址或是測試，也可透過遠端程式控制直接修改該節點之網路位址，並可將位址存放於 EEPROM 串列記憶體中，該記憶體用於位址存放以及節點狀態的暫存，也可將該節點應用在門禁管理以及電表抄表的手持式 Zigbee tag 之中。

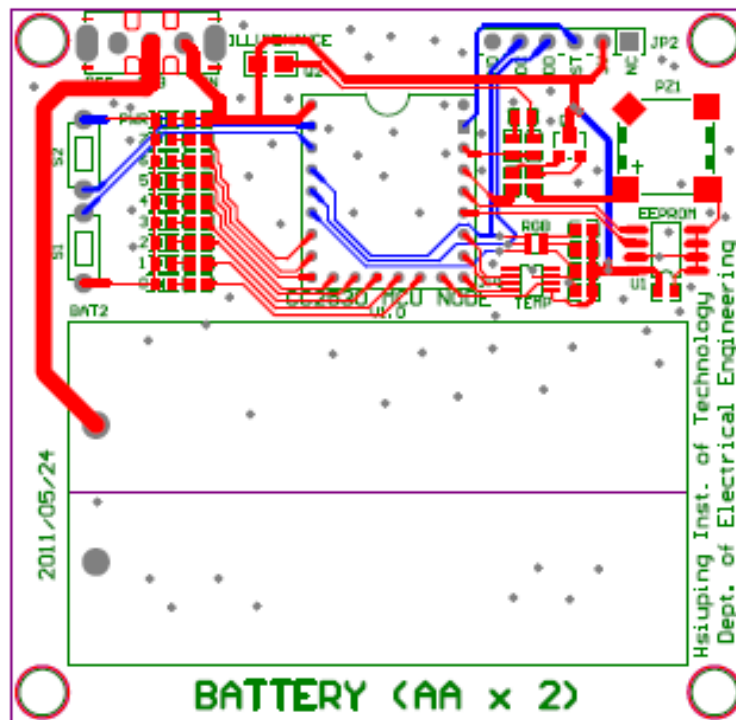


圖 27：ZigBee RSSI 節點-電路規劃

此圖 Zigbee node 定位參考點電路板電路規劃圖，電路設計朝向精緻化與輕量化，可利於網路節點的布點安裝(壁掛)以及手持的便捷性將來更可應用在醫療與照護(老人與小孩手持容易)，為了達到上述的目的，將感測器與 MCU 集中(經測試後將感測器之間的环境干擾排除)，並配置電池座可使用外部電源，而該程式為中斷觸發的方式，所以不會耗電，更達到節點布點的電源延長，並且設計線上燒錄端口可供測試人員隨時修改程式或是由該端口對本電路進行供電，本電路可應用之範圍相當的廣泛，未來更會以此電路為基礎開發更多關於 Zigbee 網路的便捷應用。

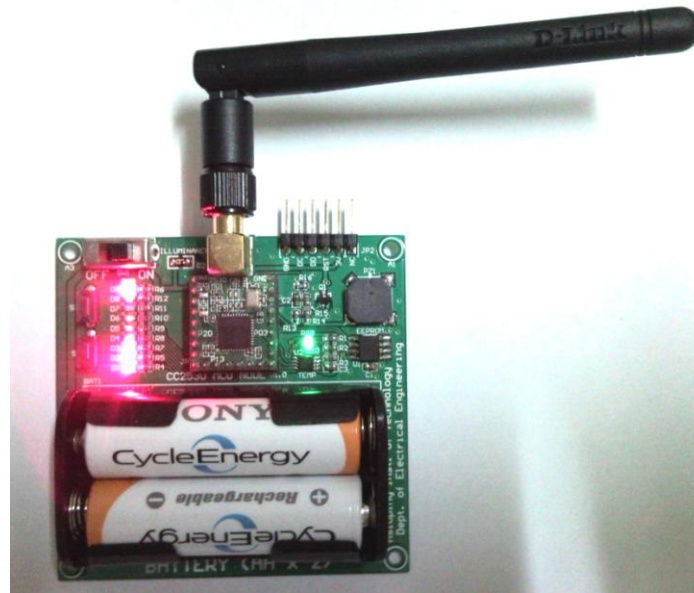


圖 28：ZigBee RSSI 節點-電路實體（上方為舊版,下方為新版）

圖二十八為 Zigbee node 定位參考點電路板實體電路圖，上方為第一代參考節點，由於當時仍在測試階段，故設計 LCD 液晶顯示螢幕顯示該節點之環境監控數據以及 RSSI 之數值，但是液晶螢幕相當的耗電以及在實際應用上較不具實用性，故我們後期開發了第二代 Zigbee node 定位參考點，移除顯示螢幕之後大大提升了電池的使用時間，並且改善了增加網路建置的便捷性，並增添了擴充性與應用的層面。



### 3.1.4 感測電路

#### (1) 超音波感測

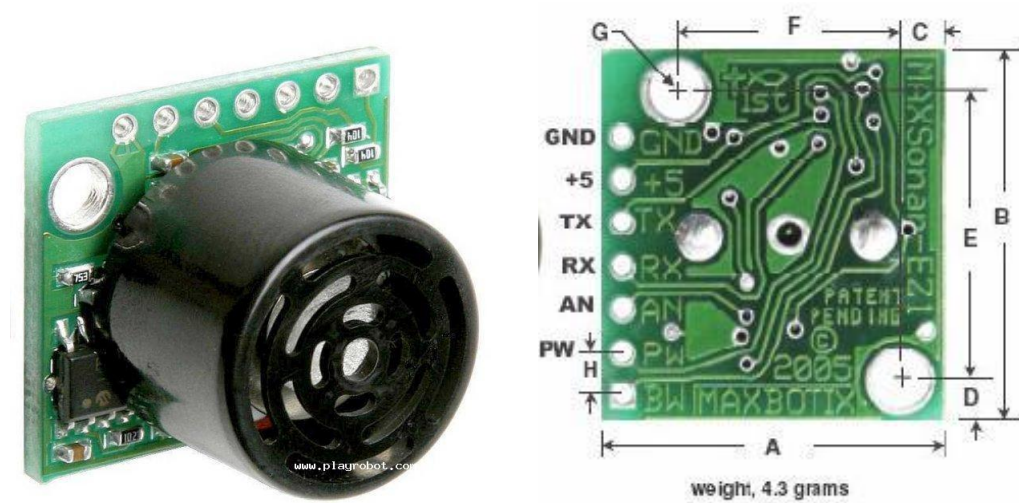


圖 29：超音波感測器晶片實體

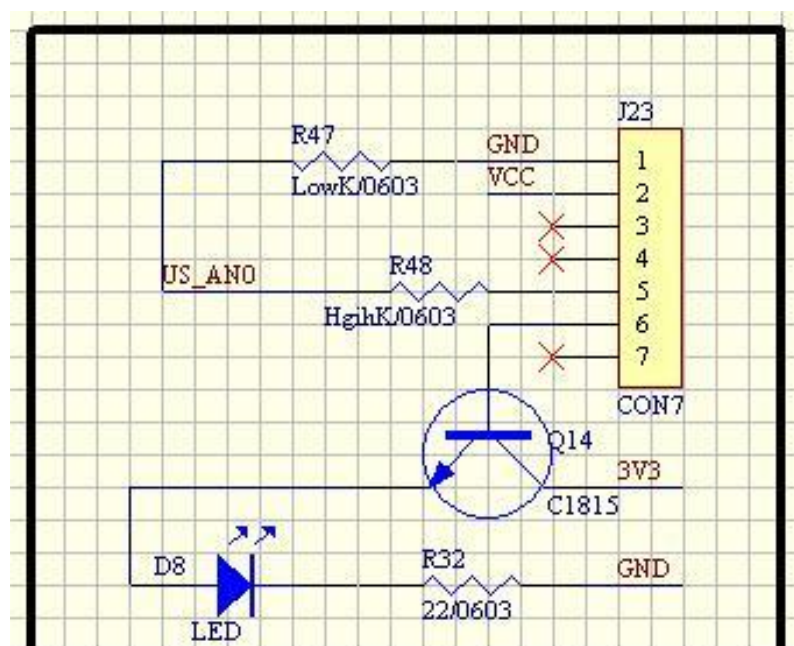


圖 30：超音波感測電路

## (2) EEPROM 電路



圖 31：EEPROM 記憶體晶片

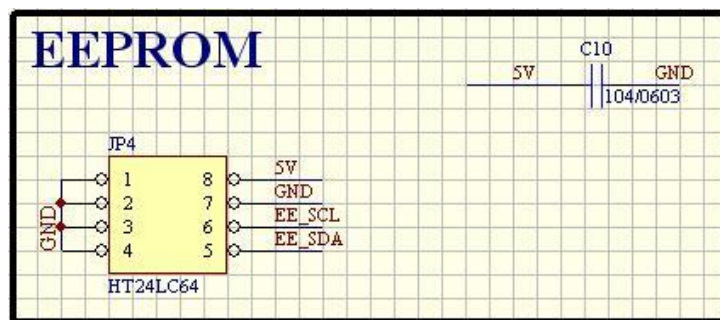


圖 32：EEPROM 電路

## (3) IR 紅外線感測電路

### M130 紅外線接收 (TIMER)

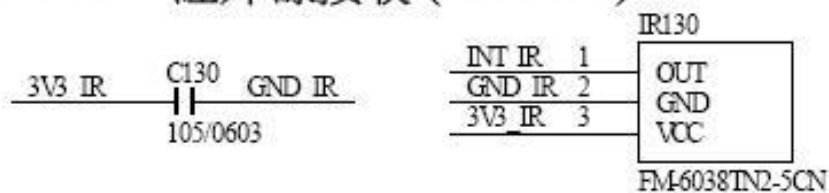


圖 33：IR 紅外線晶片

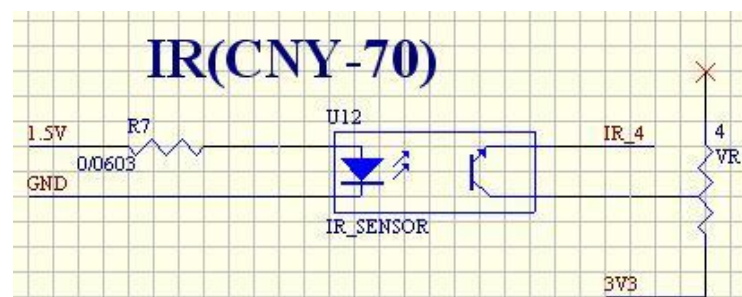


圖 34：IR 紅外線感測電路



(4) RTC 時鐘電路

**M100 RTC 時鐘 (I2C)**

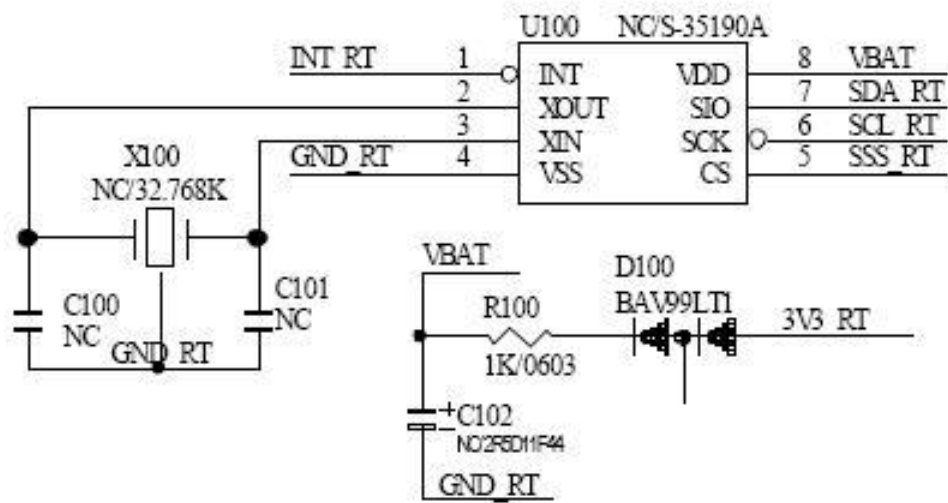


圖 35：RTC 真實時間震盪晶片

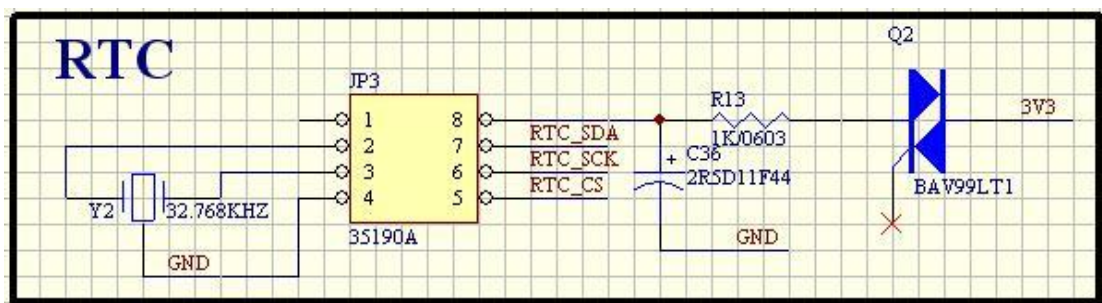


圖 36：RTC 真實時間震盪電路

(5) 溫溼度感測器

溫濕度偵測 (I2C)

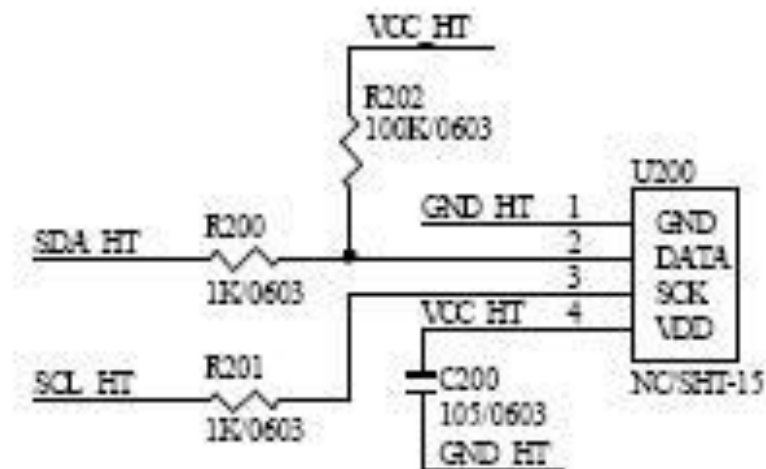


圖 37：溫溼度感測器晶片

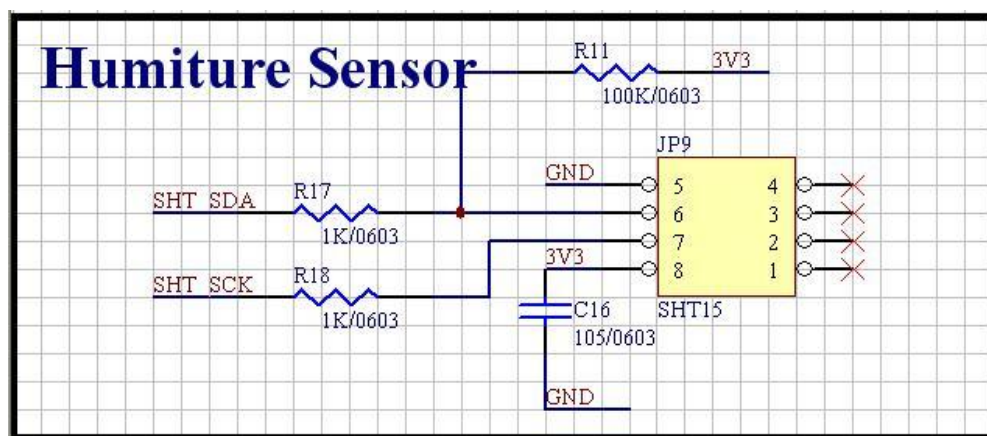


圖 38：溫溼度感測器電路

## 3.2 晶片韌體程式

### 3.2.1 晶片程式說明

在 Zigbee 網路監控系統中，網路上不只一個具有 Zigbee 功能的感測與監控裝置。我們採用主僕式架構(Client-Server)的通訊協定。每個 Zigbee 網路節點都指定一個 ID 碼。在監控系統中，PC 伺服機為最重要的主機，它可以指定一個或多個 Zigbee 遙控器為主機，直接下達控制命令或取得每一個 Zigbee 感測監控裝置的監控狀態。當系統啟動時，主機立即掃描系統中的每一個 Zigbee 感測與監控裝置並要求回報狀態。若節點處於正常運作狀態，主機隨時可下達指令，指定該一節點執行動作，然後處理資料或傳回資料，單一動作結束後，即傳送結束碼恢復等待狀態並檢查狀態。

本專題主要包括車體、三軸遙控器、低功耗 Zigbee 佈點裝置、搭配各種感測元件與驅動控制系統。建構一個 Zigbee 無線網路。車體能夠當作一般遙控控制前進方向等，更重要的是它還能夠智慧之自動行進。本車子利用 ADXL345 三軸加速度計觀測行進方向。利用 Zigbee 無線技術之網路作定位功能，使用鐳射、超音波測距元件與各種感測元件精確避開任何障礙物。遙控器採用繪圖型 LCD 顯示器、2 維遙桿與三軸加速度計等，主要功能為控制車子行進、觀測車子所在地、偵測車子周圍之環境溫度、濕度與光照度等其功能。

### 3.2.2 定位演算法

利用收集各點之 RSSI 與 LQI 值計算車體所在位置。

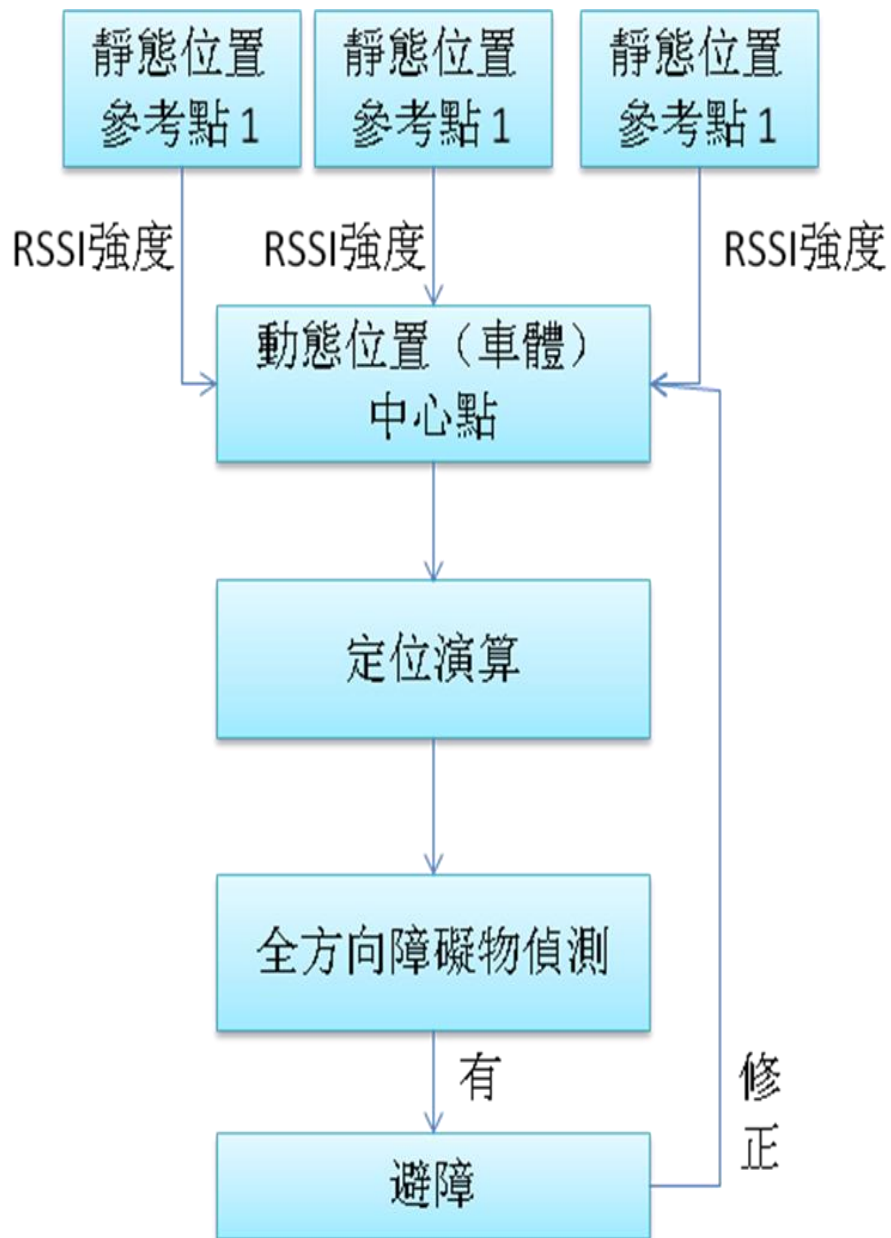


圖 39：RSSI 定位示意圖

TI Z-Stack 堆疊技術建構 ZigBee 無線網路。Zigbee 裝置形態分別為協調器、路由器與終端機。本作品利用車子與三點以上之參考點當作路由器，電腦監控端當作協調器，在一個空間或校園內構成一個 Zigbee 網路（PAN ID）。

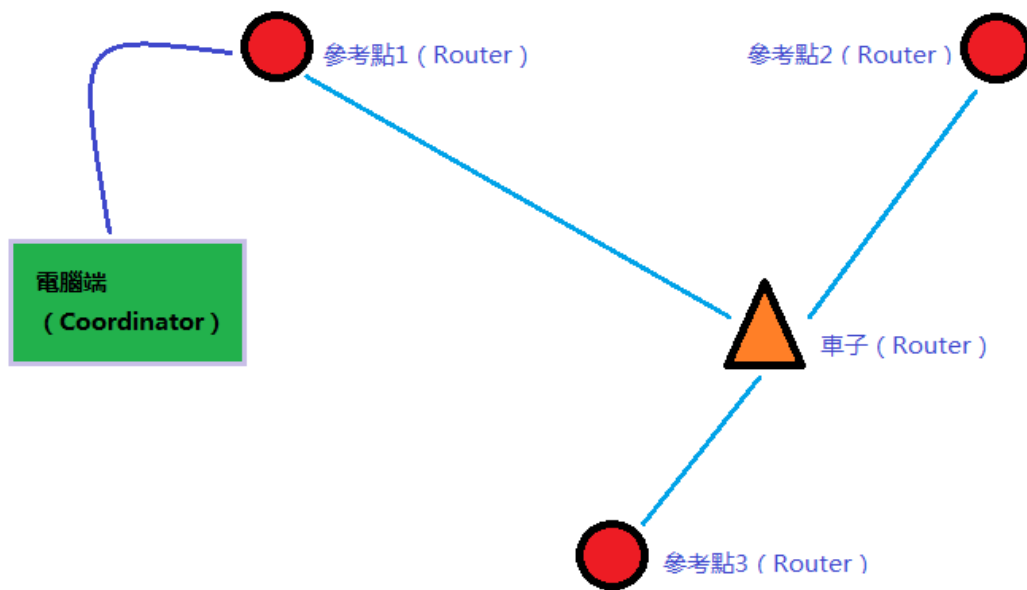


圖 40：無線導航定位自走車-定位示意圖

MSP430F5438 與 CC2530 晶片的韌體開發工具採用 IAR EW8051。主程式採用輪詢方式讀取導航定位自走車之狀態值與感測值，其中將 SPI 與 IIC 串列介面通道的溫/濕/光度值存放在資料緩衝區，由車體 CC2530 的 RF 功能接收 Zigbee 無線多功能三軸遙控器與 Zigbee 佈點裝置傳來的指令以及狀態值，執行控制，以及回傳溫溼度、光照度值、三軸加速度、PWM 馬達控制狀態以及 Zigbee 導航定位自走車之位置值、Zigbee 定位自走車之狀態值。

## 第四章

### 系統整合與測試

#### 4.1 系統整合功能概要

- ◆ Zigbee 無線多功能三軸遙控器可由翻轉動作，由三軸加速計感測的三軸分量變化  $a_x$ 、 $a_y$ 、 $a_z$ ，傳送到 MSP430F5438 晶片。經由程式判斷手勢動作，利用 CC2530 之 RF 功能與 Zigbee 無線網路進行通訊，並傳送到網路監控裝置，達到 Zigbee 無線遠端監控與操控動作。
- ◆ Zigbee 搖控器程式中，使用者可透過鍵盤輸入下達指令，透過 CC2530 的 RF 功能傳輸到指定的 Zigbee 感測監控裝置，改變監控狀態，或是要求回傳感測狀態，如溫度、濕度、車體位置等資料，並顯示在顯示器上。
- ◆ 針對手勢的判斷，是利用三軸傾角的變化，做為執行下達指令的動作。須事先模擬測試手勢動作，獲取三軸訊號變化值，實際操作時可判斷使用者的手勢動作，經過辨識特徵值，由程式辨識與 MSP430F5438 晶片做後續的處理動作。
- ◆ 在測試階段，我們於 PC 電腦使用 VB2008 撰寫網路監控測試程式，透過 Zigbee 無線網路開道器對 Zigbee 導航定位自走車裝置，下達控制指令以及監控其狀態值。

## 4.2 系統整合測試

### 4.2.1 第一階段-系統連線

- ◆ 第一階段測試的重點為使用製作完成的 Zigbee 導航定位自走車、Zigbee 無線多功能三軸遙控器、Zigbee 無線網路閘道器、低功耗 Zigbee 佈點裝置之後，進行無線網路通訊測試。



圖 41：ZigBee RSSI 節點-開機情形

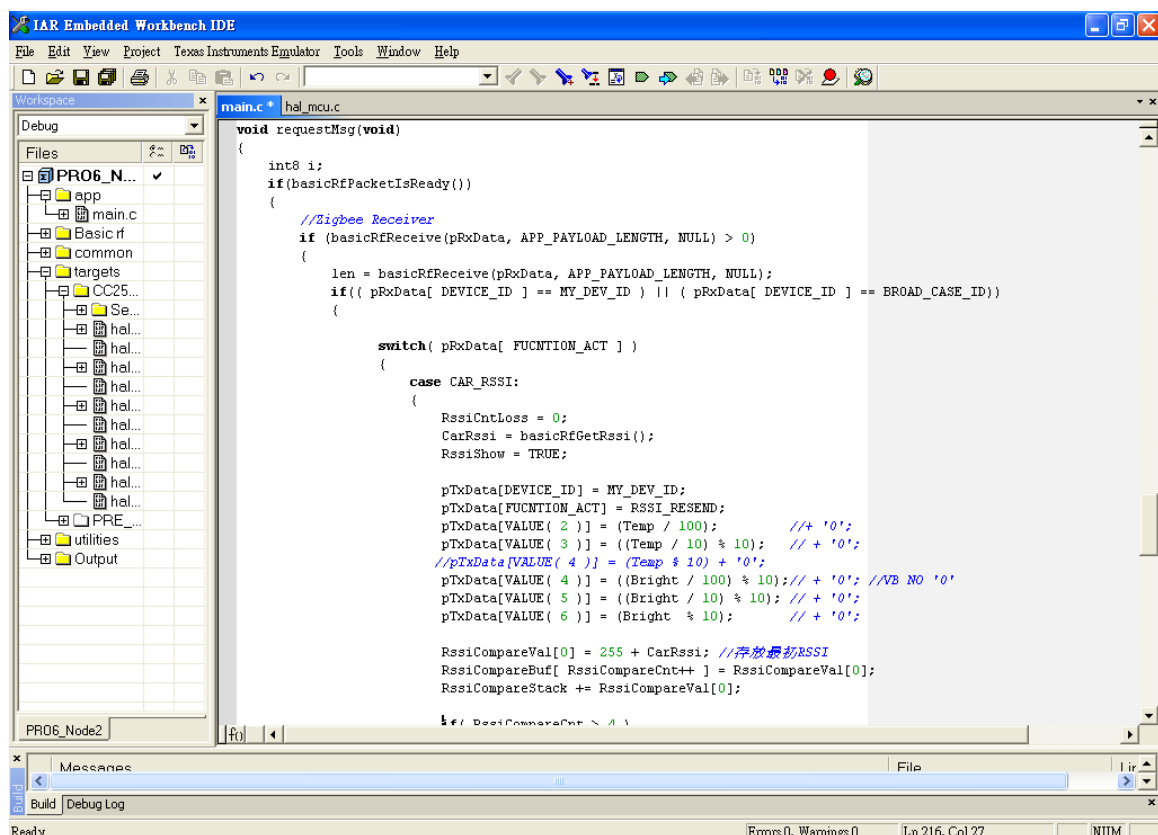


圖 42：ZigBee RSSI 節點-運算程式



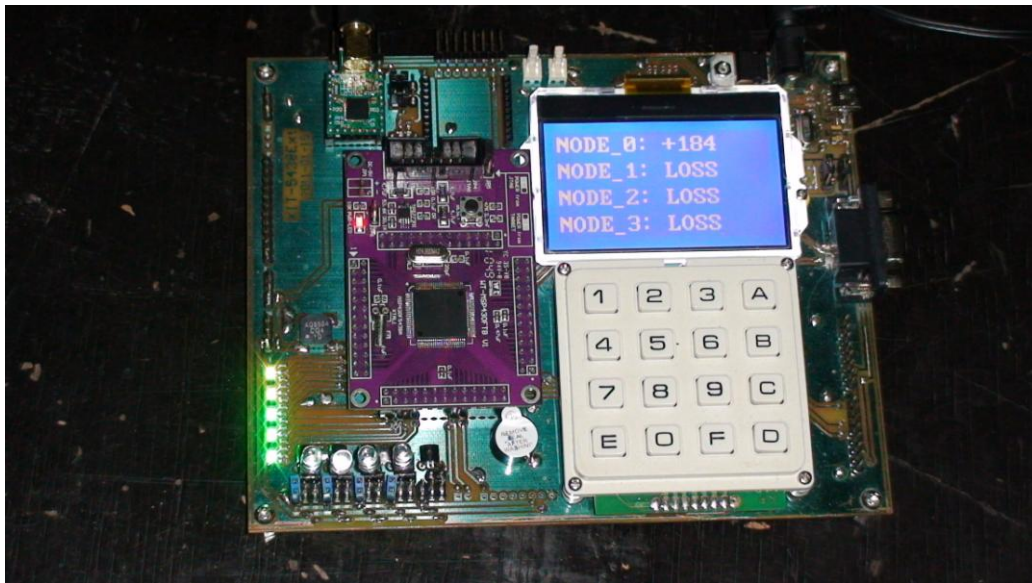


圖 43：無線導航定位自走車-定位示意圖

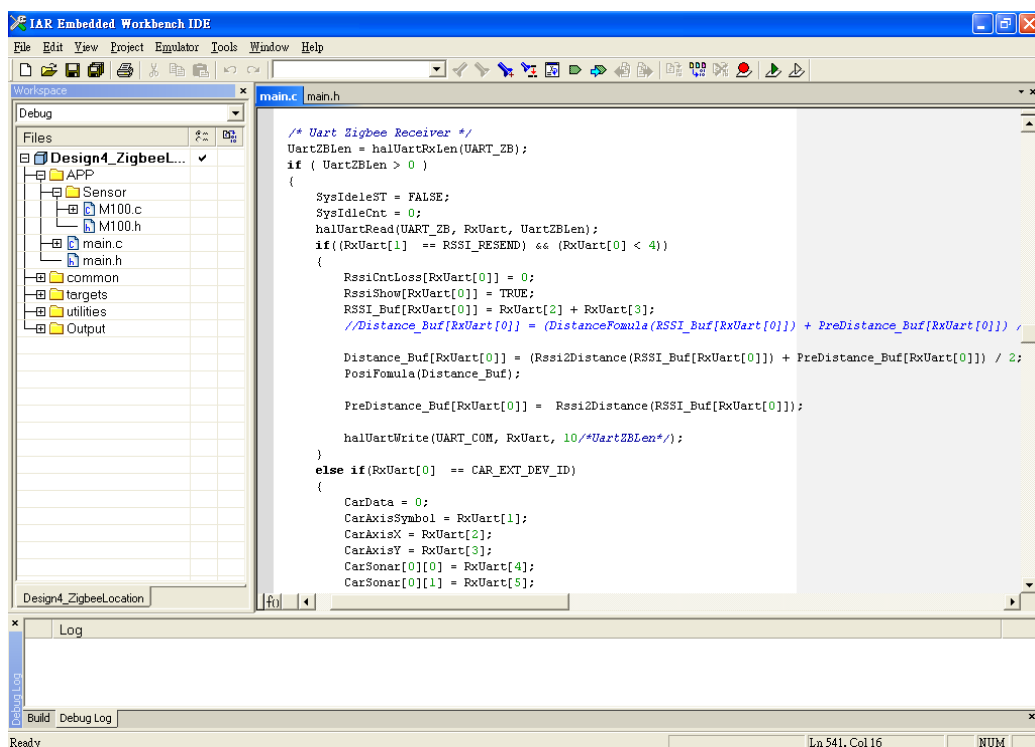


圖 44：無線導航定位自走車-基地台程式

本程式運作之方式為以中斷的方式接收四個參考點之訊號數值，運算後將其反饋回車體與電腦監控端。



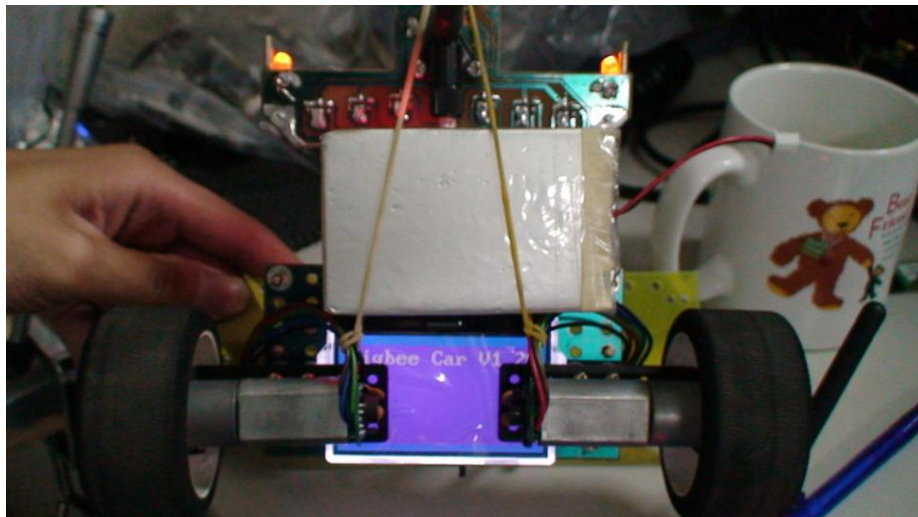


圖 45：無線導航定位自走車

```

// Zigbee Receiver
if( (basicRfPacketIsReady()) && (basicRfReceive(pRxData, APP_PAYLOAD_LENGTH, NULL) > 0) )
{
    len = basicRfReceive(pRxData, APP_PAYLOAD_LENGTH, NULL);
    if( pRxData[ DEVICE_ID ] == CAR_DEV_ID )
    {
        if( pRxData[ FUNCTION_ACT ] < 0x04 )
        {
            CarFunction = pRxData[ FUNCTION_ACT ]; // 在這接收控制
        }
        MSpeed_L = pRxData[ DUTY_L_CNT_SUM(0) ] + pRxData[ DUTY_L_CNT_SUM(1) ];
        MSpeed_R = pRxData[ DUTY_R_CNT_SUM(0) ] + pRxData[ DUTY_R_CNT_SUM(1) ];

        switch( pRxData[ DUTY_SYMBOL ] )
        {
            case SYMBOL_LFRF: break;
            case SYMBOL_LFRR: MSpeed_R = -MSpeed_R; break;
            case SYMBOL_LRRF: MSpeed_L = -MSpeed_L; break;
            case SYMBOL_LRRR: MSpeed_R = -MSpeed_R; MSpeed_L = -MSpeed_L; break;
        }
        if( CarFunction == CAR_REMOTE_CNT )
        {
            CarMoveDelay = pRxData[ CAR_MOVE_DELAY ];
            CntCarMove = 0;
            if( MSpeed_L == 0 )
            {
                MSpeed_L = 1;
            }
            if( MSpeed_R == 0 )
            {
                MSpeed_R = 1;
            }
        }
    }
}

```

圖 46：無線導航定位自走車-運算程式

## 4.2.2 第二階段-監控介面製作

- ◆ 第二階段的重點在於 PC 電腦上，使用 VB2008 撰寫監控程式，透過 Zigbee 無線網路開道器網路開道器，進行遠端控制測試。

Coordinator and Controller									
ZigBee GPS Car									
Node0 ID:796F		Node1 ID:7970		Node2 ID:7971		Node3 ID:7972			
Node0 Value		Node1 Value		Node2 Value		Node3 Value			
DEV_ID	FCN	RSSI_0	RSSI_1	TEMP_0	TEMP_1	HUMI_0	HUMI_1	BRIGHT	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Car Value								
DEV_ID	FCN	DUTY_Symbol	3x	3y	RSSI_X1	RSSI_X2	RSSI_Y1	RSSI_Y2

Car Value2								
DEV_ID	FCN	Sonar_00	Sonar_01	Sonar_10	Sonar_11	Sonar_20	Sonar_21	BRIGHT

Forward  
Left Right  
Back

Date: 2011-10-28 Time: 06:58:18 Transmit State: Uart Active RX: ToolStripStatusLabel2

圖 47：無線導航定位自走車-監控介面

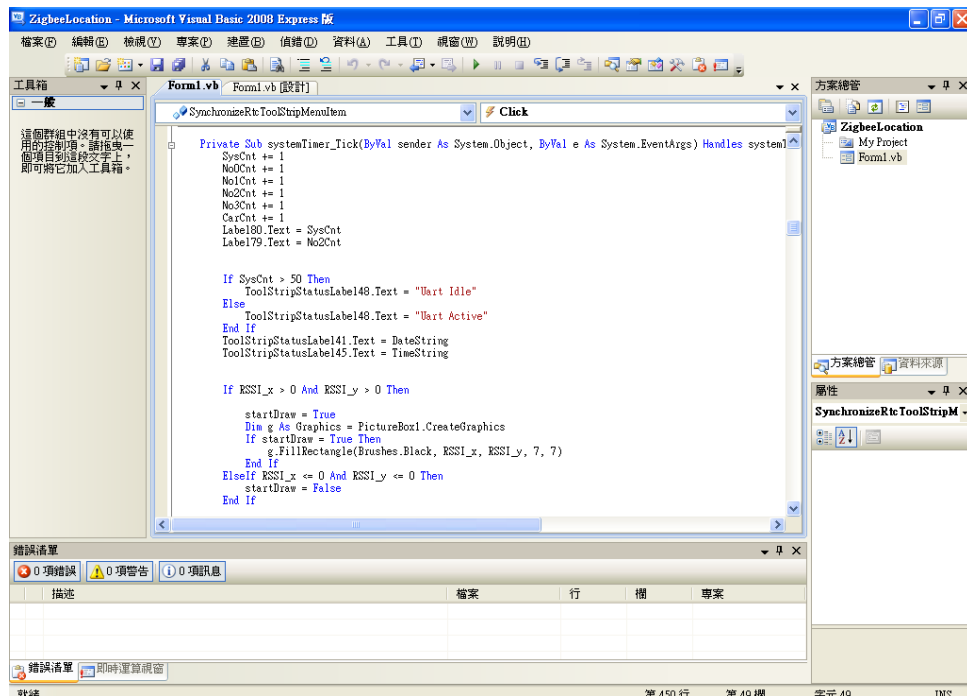


圖 48：無線導航定位自走車-監控介面程式

### 4.2.3 第三階段-RSSI 訊號強度測試

- ◆ 第三階段的重點在於完成無線網路連線控制測試後，測試定位功能，利用 RSSI 進行數學運算達到定位與距離運算的功能，並測試是否能發出預期正確的指令以及有效回傳導航定位自走車之位置數值。

$$D1^2 = D4^2 - Y\_MAX + 2Y\_MAX = Y1 \quad (1)$$

$$\frac{D1^2 - D4^2 + Y\_MAX^2}{2 * Y\_MAX} = Y2 \quad (2)$$

$$Car\_X1 = \sqrt{D1^2 - Y1^2} \quad (3)$$

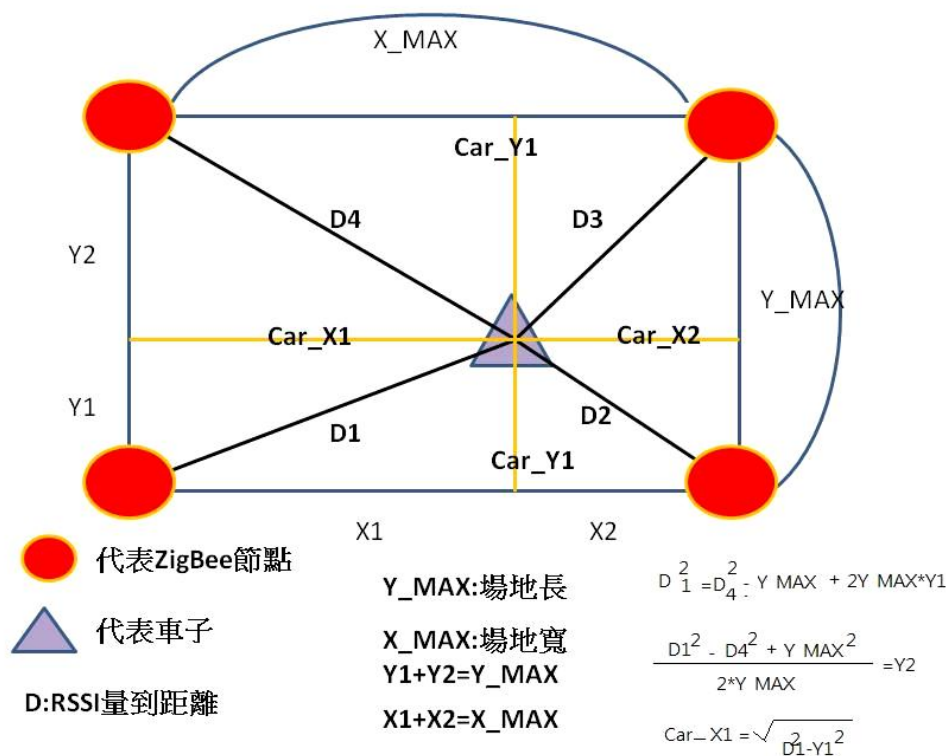


圖 49：RSSI 定位單位長訊號強度計算示意圖



圖 50：RSSI 訊號測試場地佈置圖



圖 51：RSSI 訊號測試-距離設置圖

上方兩張照片為本專題製作之初，必須對 RSSI 訊號強度作定義以及單位長度的建立與測試訊號的接收是否如預期，測試方法為每十公分定點測試訊號強度，測試五次之後，取平均值求出最佳化之訊號強度，並以數學方程式運算出斜率定義出訊號強度對距離的攻勢。

小天線 -1 沒高度						
	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	4 點平均	差距
1	192	194	186	192	191	
2	186	188	182	186	185.5	5.5
3	182	182	176	182	180.5	5
4	184	182	174	180	180	0.5
5	174	176	168	174	173	7
6	168	172	164	166	167.5	5.5
7	164	164	160	170	164.5	3
8	168	158	166	162	163.5	1
9	168	158	160	160	161.5	2
10	164	162	160	166	163	-1.5
11	164	158	160	166	162	1
12	158	164	156	164	160.5	1.5
13	158	164	156	164		

圖 52：RSSI 訊號強度測試 1

小天線 0 有高度						
	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	4 點平均	差距
1	198	198	176	176	187	
2	192	190	182	186	187.5	-0.5
3	188	186	180	180	183.5	4
4	186	182	178	182	182	1.5
5	182	180	178	180	180	2
6	180	182	178	182	180.5	-0.5
7	174	174	170	176	173.5	7
8	164	172	174	176	171.5	2
9	170	168	174	178	172.5	-1
10	172	170	176	170	172	0.5
11	168	174	174	172	172	0
12	174	170	166	176	171.5	0.5
13	166	166	170	172	168.5	3

圖 53：RSSI 訊號強度測試 2

小天線 1 有高度						
	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	4 點平均	差距
1	200	198	180	182	190	
2	194	194	188	192	192	-2
3	188	18	182	184	184.6667	7.333333
4	186	188	182	184	185	-0.333333
5	182	182	180	182	181.5	3.5
6	180	182	180	182	181	0.5
7	176	180	180	182	179.5	1.5
8	176	180	178	178	178	1.5
9	174	178	178	176	176.5	1.5
10	162	174	176	180	173	3.5
11	174	174	176	178	175.5	-2.5
12	168	168	174	176	171.5	4
13	158	170	172	176	169	2.5

圖 54：RSSI 訊號強度測試 3

大天線 功率 1 有高度						
	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	4 點平均	差距
1	200	196	172	180	187	
2	196	194	180	184	188.5	-1.5
3	194	188	184	180	186.5	2
4	190	186	184	180	185	1.5
5	184	182	182	182	182.5	2.5
6	182	180	180	186	182	0.5
7	180	182	174	184	180	2
8	176	180	182	180	179.5	0.5
9	180	178	180	180	179.5	0
10	174	180	178	180	178	1.5
11	170	168	178	182	174.5	3.5
12	182	180	178	180	180	-5.5
13	176	174	176	176	175.5	4.5

圖 55：RSSI 訊號強度測試 3



#### 4.2.4 第四階段-系統整合測試與展示

- ◆ 第四階段的重點在於測試電腦的無線網路監控功能，撰寫 Zigbee 網路監控介面程式，下達定位自走車之控制與其周邊感測狀態與位置數值，確認 PC 電腦單機監控皆能正常運作。



圖 56：導航定位車之軌道製作



圖 57：導航定位之場地佈置

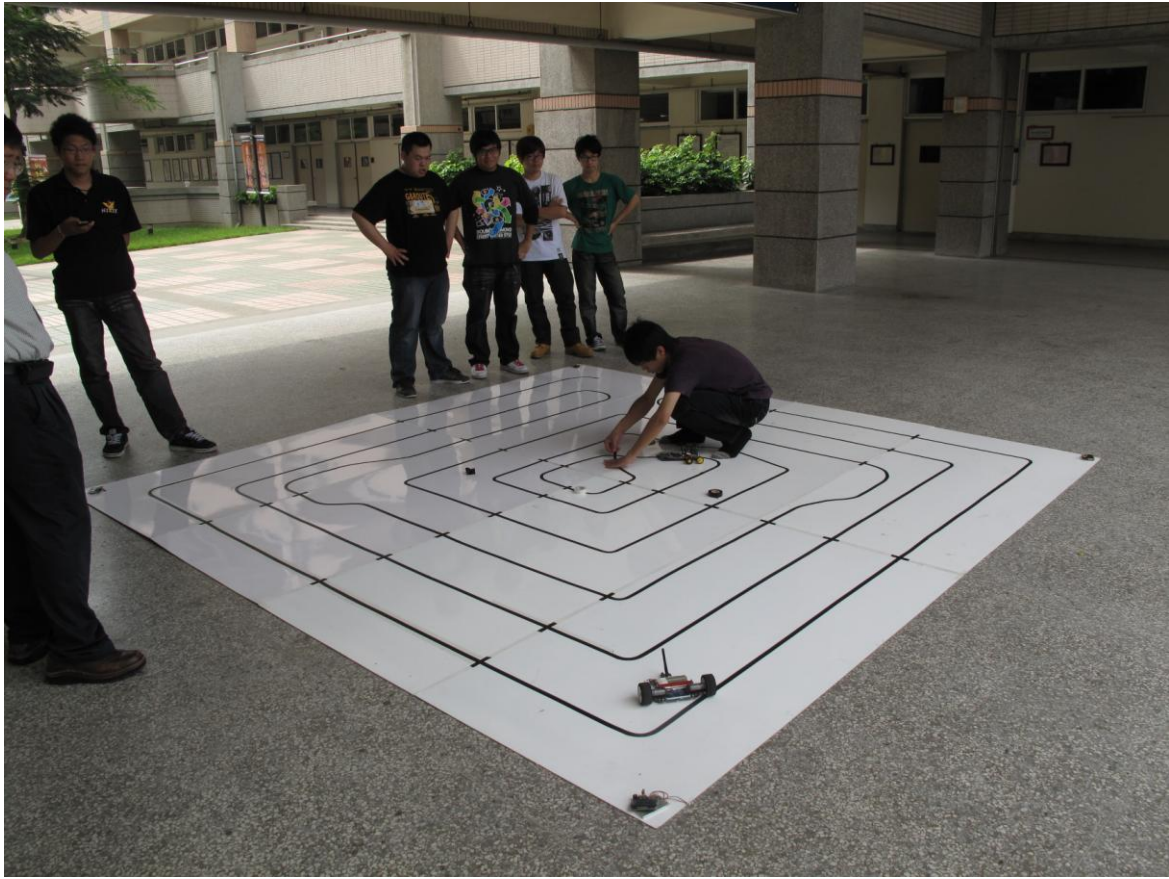


圖 58：2011.05.24 導航定位自走車展示現場佈置

上方照片為本專題對大陸來校參訪研習之老師做展示，此照片是正在組裝場地，黑色膠帶為導航車之自走功能之展示，故必須將場地完整貼平地面，並且防止 RSSI 訊號強度遭受外在的干擾，未來將繼續對 RSSI 與距離的運算公式做修改與運算將環境的誤差降到最低。



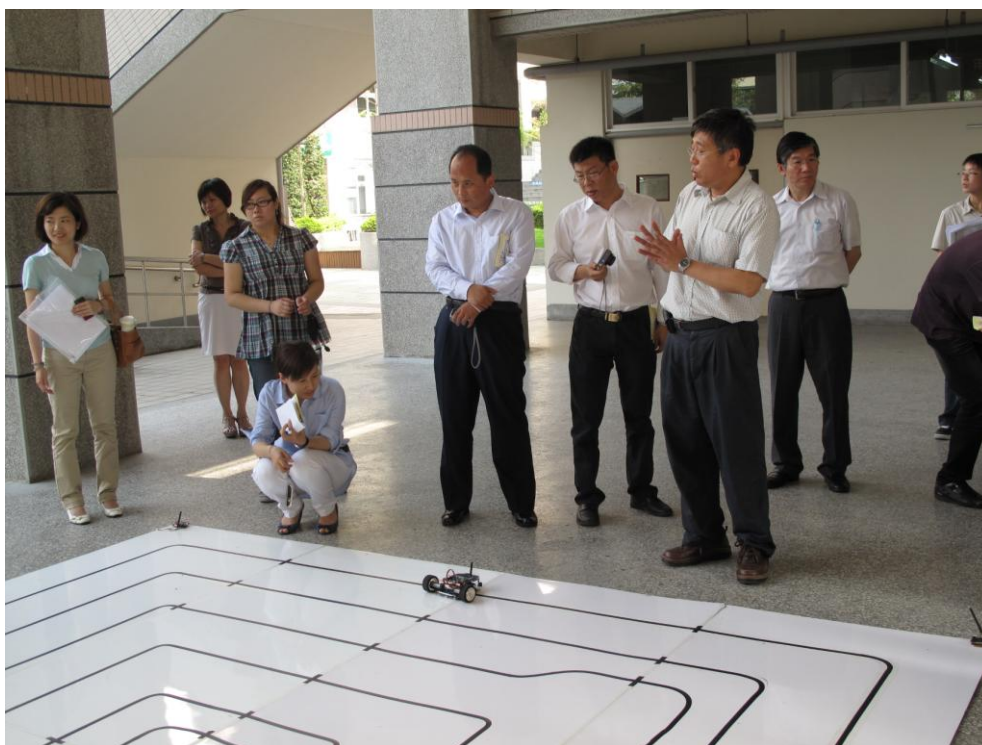


圖 59：2011.05.24 導航定位自走車展示現場情況

上方照片為專題指導老師正在講述 Zigbee 網路的便捷性與本專題之優勢與應用。該技術更將於未來應用在老人照護、安全監控、保全監控上。

# 第五章

## 結論

### 5.1 結論

本專題使用 TI 公司的 MSP430F5438 與 CC2530 結合 Zigbee 無線技術，將製作完成一部具有感測資訊搜集與定位功能的「Zigbee 定位自走車」。Zigbee 定位自走車在佈置有 Zigbee 網路佈點環境下，能精確的按設定路徑行走，也可以自動跟隨攜帶有 Zigbee Tag 的人員，並能沿途搜集周圍環境資訊與執行監控功能。

Zigbee 定位自走車的功能將可以應用在無人定位搬運車、無人行動式環境資訊搜集裝置、無人遠端探險車、無人遠端定位危險處理技術等，更可應用於自由行走的智慧型機器人上。

製作本專題的過程中，本人藉此專題學習並深入電路設計以及程式撰寫與了解未來的產業應用動態，並了解無線感測網路(Zigbee)與 SOC 晶片的應用技術與實作技術，對於投身與加入未來科技發展有著更一步的助益。

未來我們將利用這一個無線定位技術，製作一系列無人的監控系統，例如無人的科技廠房、災區都可以利用無線導航定位自走車的這一項技術，其中應用與擴充性更是有著無窮的應用。

## 參考文獻

- [1] Datashhet- CC2530ZNP Interface Specification
- [2] Datashhet- Z-Stack Sample Application For CC2530DB
- [3] Datashhet- Z-Stack Sample Applications
- [4] 吳宗錦，「無線感測網路應用之無線定位系統」盛暘科技 SIREWIN
- [5] 徐愛帝，「無線感測網路應用模式研究-應用形態與市場分析」工研院產經中心，2009/03/20
- [6] 李俊賢，「無線感測網路與 Zigbee 協定簡介」，電信國家型科技計畫，vol. 77，2006 年 1 月
- [7] 林志隆，「藍芽無線系統於電表上之研製」，國立成功大學電機所，93 年
- [8] 郭長祐，「Zigbee 無線技術新趨勢」，EE Watch 2008/03/10
- [9] Xiaohui Li; Kangling Fang; Jinguang Gu; Liang Zhang; "An Improved Zigbee Routing Strategy for Monitoring System" IEEE 1-3 Nov. 2008  
Page(s):255 - 258
- [10] J. M. Rodriguez Ascariz, Luciano Boquete, Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC 2007 Warsaw, Poland, May 1-3, 2007
- [11] Jung, J.Y.; Lee, J.W.; "Zigbee Device Access Control and Reliable Data Transmission in Zigbee Based Health Monitoring System" IEEE Volume 1, 17-20 Feb. 2008 Page(s):795 - 797
- [12] Jo Woon Chong; Ho Young Hwang; Chang Yong Jung; Dan Keun Sung "Analysis of Throughput and Energy Consumption in a Zigbee Network Under the Presence of Bluetooth Interference " IEEE 26-30 Nov. 2007  
Page(s):4749 - 4753
- [13] Il-Kyu Hwang; Jin-Wook Baek; "Wireless Access Monitoring and Control System based on Digital Door Lock" IEEE Transactions Volume 53, Issue 4, Nov. 2007 Page(s):1724 - 1730

## 作者簡介

班級：日間部四技電機四甲

學號：BD97022

姓名：張源慶

性別：男生

專長：程式設計、硬體規劃

班級：日間部四技電機四甲

學號：BD97026

姓名：蕭嘉倫

性別：男生

專長：硬體設計