

行政院國家科學委員會補助  
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 無線定位與即時回報之移動式監控機器人 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 沈子惟  
學生計畫編號： NSC 100-2815-C-027-026-E  
研 究 期 間： 100 年 07 月 01 日至 101 年 02 月 28 日止，計 8 個月  
指 導 教 授： 李俊賢

處理方式： 本計畫可公開查詢

執 行 單 位： 國立臺北科技大學電機工程系（所）

中華民國 101 年 03 月 13 日

## 摘要

近年來，ZigBee網路的硬體通訊相關技術不斷的發展且日趨成熟，新的應用也如雨後春筍般不斷被提出，而大部份的無線感測控制都有傳輸資料量低及距離短的特點，市場上雖有許多的通訊協定，但大部分都是私有協定，沒有國際標準可遵循，為一個封閉的系統。但ZigBee通訊協定符合IEEE 802.15.4之要求，且有低耗電量的特點，具有其他通訊協定沒有的優勢。

本研究使用由德州儀器（Texas Instruments）所開發之 ZigBee 開發套件軟體方面使用 IAR 嵌入式工作平台(IAR Embedded Workbench)，此套軟體是由 IAR Systems 此家領先的嵌入式系統發展工具生產公司所開發的，IAR Embedded Workbench 可支援眾多知名半導體公司的微處理器，具 C/C++編譯器及除錯器之整合發展環境(IDE)，對於硬體除錯器以及狀態機設計工具效用極高。最後以 ZigBee 無線個人區域網路(Wireless Personal Area Networks, WPAN)為基礎，結合各種環境資訊感測元件，組裝在直流馬達驅動的三角型履帶機器人上，設計並實作定位偵測與感測系統。

# 目 錄

摘要.....	i
目 錄.....	ii
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究背景.....	2
1.3 研究動機.....	2
1.4 研究方法.....	3
第二章 ZigBee 無線感測網路.....	4
2.1 無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN) .....	4
2.2 IEEE 802.15.4.....	5
2.3 ZigBee 無線網路通訊協定.....	6
第三章 ZigBee 開發平台 .....	8
3.1 ZLocation-II 無線 ZigBee 定位開發系統 II 型套件 .....	8
3.2 CC2430/CC2431EM.....	9
3.3 CC2430EB .....	10
3.4 CC243x-Debugger .....	11
3.5 General Packet Sniffer .....	11
3.6 Z-StackTM 業界領先的 ZigBeeTM 相容協定堆疊 .....	12
3.7 8051MCU .....	13
3.7.1 簡介.....	13

3.7.2 CC2431 的定位引擎 .....	13
3.8 ZigBee 節點類型 .....	15
3.8.1 參考節點 .....	15
3.8.2 盲節點 .....	15
3.9 定位硬體 .....	15
3.9.1 輸入 .....	16
3.9.2 輸出 .....	17
3.10 接收信號強度指示(RSSI) .....	17
3.10.1 A-以到發射機 1 米距離測試的 RSSI 值 .....	18
3.10.2 N—信號傳播係數 .....	19
3.10.3 n 的測量 .....	20
3.11 參考節點數量 .....	20
3.12 “最佳” 參考節點的選擇 .....	21
3.13 覆蓋範圍的擴充 .....	21
3.14 IAR 嵌入式工作平台(IAR Embedded Workbench) .....	23
第四章 軟硬體架構及流程圖 .....	24
4.1 軟體架構-HT46F49E 微控制器 .....	24
4.2 硬體架構-超音波感測電路 .....	28
4.2.1 超音波原理 .....	28
4.2.2 超音波感測器發射接收原理 .....	28
4.2.3 超音波感測器構造 .....	29
4.2.4 超音波發射接收電路工作之工作原理與電路圖 .....	30
4.3 人體紅外線感測器(焦電型) .....	33
4.4 履帶式機器人與機械手臂 .....	34
4.5 馬達驅動 IC-TA7291P .....	36

4.6 硬體控制電路架構圖.....	37
4.7 系統動作流程圖.....	38
4.8 研究成果.....	39
4.8.1 ZigBee UI 介面.....	39
4.8.2 ZigBee 定位誤差比較.....	40
4.8.3 紅外線感測器波形.....	40
4.8.4 超音波感測器接收端波形.....	41
4.8.5 履帶式機器人完成圖.....	42
第五章 結論.....	43
參考文獻.....	44

## 表目錄

表 3-1 輸入給定位硬體的參數 .....	16
表 3-2 定位硬體的輸出 .....	17
表 3-3 N 和 n_index .....	19
表 3-4 範圍 .....	21

# 圖目錄

圖 2- 1 以 IEEE 802.15.4 為基礎之 ZigBee 無線通訊協定.....	7
圖 3- 1 ZLocation-II 無線 ZigBee 定位開發系統 II 型 .....	8
圖 3- 2 CC2430/CC2431EM .....	9
圖 3- 3 CC2430EB .....	10
圖 3- 4 CC243x-Debugger.....	11
圖 3- 5 General Packet Sniffer .....	12
圖 3- 6 定位估算 .....	14
圖 3- 7 定位引擎的輸入輸出 .....	16
圖 3- 8 接收的資料包 .....	17
圖 3- 9 測量 A 值 .....	18
圖 3- 10 在 1 米的距離測量 RSSI 值 .....	18
圖 3- 11 N 參數對位置計算的影響 .....	20
圖 3- 12 覆蓋範圍的擴充 .....	22
圖 4- 1 HOLTEK 燒入器 .....	24
圖 4- 2 HT46F49E 微控制器(MCU)硬體接腳圖 .....	25
圖 4- 3 HT46F49E 內部結構圖 .....	25
圖 4- 4 HT46F49E DATASHEET .....	26
圖 4- 5 HT46F49E 基本功能介紹 .....	27
圖 4- 6 超音波發射與接收 .....	28
圖 4- 7 超音波感測器之構造 .....	29
圖 4- 8 超音波感測器的截面構造 .....	30
圖 4- 9 超音波發射接腳圖 .....	30
圖 4- 10 超音波接收接腳圖 .....	30

圖 4- 11 超音波發射電路 .....	31
圖 4- 12 超音波接收電路 .....	32
圖 4- 13 焦電型人體紅外線感測電路 .....	33
圖 4- 14 機器人的履帶 .....	34
圖 4- 15 機器人內部構造 .....	34
圖 4- 16 組裝完成的機器人 .....	35
圖 4- 17 益眾科技五軸機械手臂 .....	35
圖 4- 18 TA7291P 內部電路圖 .....	36
圖 4- 19 TA7291P 接腳及工作模式圖 .....	36
圖 4- 20 系統架構圖 .....	37
圖 4- 21 電路板 .....	37
圖 4- 22 系統動作流程圖 .....	38
圖 4- 23 ZigBee UI 介面圖 .....	39
圖 4- 24 ZigBee 定位誤差比較圖 .....	40
圖 4- 25 感測端與接收端波形對照圖 .....	40
圖 4- 26 超音波感測器接收端波形 .....	41
圖 4- 27 履帶式機器人完成圖 .....	42



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

由於工廠意外事故不斷的發生，讓安全一再受到考驗，為了防止此問題的發生，所以自動化監控流程是很重要的改革，傳統的工廠、公司管理員都必須在晚上巡邏各個地點，檢查是否有突發狀況發生。但是這樣並無法準確的檢查，而且晚上的人員精神上比較不佳以及效率也低，即使現在有監視器可以監視各個地點，但是由於攝影的角度不同，以至於有些地方沒監視到，所以這次的研究主要是去改善這些問題，針對監視不到的地方把裝了 ZigBee 無線網路的機器人用來代替人員去巡邏，機器人上的感測器會去偵測各個角落，只要有突發狀況發生，就會把資料傳送到電腦上，所以管理員只要在電腦前就可以知道即時的狀況。而之所以使用三角型履帶機器人的原因是因為去偵測的地方不一定是平地，可能會遭遇到各種不同複雜的地形，三角型履帶機器人比較能夠去克服。

本研究是採用 ZigBee 無線網路結合各種環境資訊感測元件，並把 ZigBee 無線感測設備加裝在以直流馬達驅動的三角型履帶機器人，設計並實作定位偵測與感測系統，三角型履帶機器人可克服外面多樣與複雜環境的路面，像是草皮、顛坡路面、地毯...等，而三角型履帶機器人由直流馬達以 PWM 方式驅動，利用左右輪轉速差來控制車子的前進、後退及轉彎。加裝在機器人上的感測元件目前包括有超音波感測器、人體紅外線感測器。

透過把 ZigBee 無線感測設備加裝在機器人上並將收集到的各種感測器資料藉由 ZigBee 網路傳送至遠端電腦監控人機介面，當機器人監測的地方有發生異常狀況時，便立即發出警報聲響並且將環境即時資訊透過 ZigBee 網路傳送至電腦端，如此一來就可利用電腦得知機器人傳來的即時訊息，工作人員或管理人員不需要親自去檢查也可以即時得知各種狀況的發生。

## 1.2 研究背景

隨著時代的演進，無線個人區域網路已廣泛的應用在人們生活周遭，讓無線個人區域網路的相關應用開始受到注目關切，進而加速了無線個人區域網路技術相關的研究發展。從 IEEE 802.11 到藍芽(Bluetooth)等無線個人區域網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)的普及化，可看出無線網路相關應用已越來越被受到重視與期待，其中像是 ZigBee 此可應用於無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)、無線個人區域網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)的技術，底層即是以 IEEE 802.15.4 通訊協定為基礎的應用[1]。無線感測網路為符合其體積小與具備無線通訊能力發展特性的無線通訊技術，而其感測裝置包括微處理器、無線傳輸晶片，以及多種微型感測器(如紅外線感測器、溫度感測器等硬體裝置等)[2]，而無線感測網路就須利用這些感測器在一個待感測區域內感測節點設備，每個節點會依特定要求偵測該區域之數據(例如溫度、濕度、壓力等)，經由無線傳輸技術將所感測收集到的數據傳送至特定資料收集設備後，再進行分析或做出相對應之行動。

## 1.3 研究動機

近年來無線感測網路已廣泛地應用在多個領域裡，涵蓋了數位家庭、工業控制、醫療照護、環境監控等，而此技術即是利用節點收集資料以無線通訊方式傳輸至資料收集設備上。在無線感測網路漸漸興起之後，許多以往受環境拘束限制的構思將可以逐一實現，讓管理員，不再需要回到設備和儀器的現場來進行監控管理，而是能夠透過網際網路登入無線感測網路來監控感測器或是終端設備。這樣一來，管理者將不再受到地域性的限制，在遠端便能監控管理儀器設備。

## 1.4 研究方法

無線感測網路主要是將感測節點裝置於一個環境區域內，讓每個感測節點收集感測區域內所需要的數據(如溫度、濕度、壓力以及訊號強度等)，再經由各種通訊協定將收集之數據傳輸到資料收集中心。因此本專題研究將實作出利用 ZigBee 無線網路來進行遠端定位監視並且結合了人體紅外線感測器(感測前方是否有入侵者)與超音波收發感測器(感測前方是否有障礙物)，最後以 Holtek 微控制器作為 ZigBee 與感測器之間的連結與溝通，還有設定機器人的移動路線與機械手臂的控制，最後把 ZigBee 無線感測設備與環境資訊感測器電路加裝在以直流馬達驅動的三角型履帶機器人，設計並實作定位偵測與感測系統，只要三角型履帶機器人正在行進時，加裝在三角型履帶機器人上的感測元件與 ZigBee 無線感測設備，就會不斷的將環境與位置的資料傳到電腦，以回報當時環境的狀況，另外還加裝了影像紀錄器與照明燈（避免影像紀錄器拍攝不清楚），可以把當時的環境情況記錄成影片用來作確認，而機械手臂用來移動影像紀錄器，擴大監視範圍、三角履帶機器人則是克服可能會有複雜地形的路線。

## 第二章 ZigBee 無線感測網路

### 2.1 無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)

無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)的發展，最早是源自於美國加州柏克萊大學(UC Berkeley)的一項研究計劃，研究人員利用微電子機械系統(Micro Electrical Machine System, MEMS) 技術，開發出一種體積與阿斯匹靈藥片大小相似的感測器，稱為智慧型灰塵(Smart Dust)[4]，如今這擁有一小量電腦記憶體的感測器能監控溫度、濕度、壓力、光與熱量等。

無線感測是一種整合感測、運算及網路能力的技術，它具備低成本、低功耗、體積小、容易佈建等優點，並具有感應環境裝置、可程式化、可動態組成等特性。利用感測器偵測周遭環境或特定目標，再將所得到的數據由無線感測網路的方式傳送給監控者，而監控者利用這些訊息來調整、維護或提供進階的系統服務。近年來由於無線通訊與電子技術的快速發展，將無線傳輸晶片和微控制器整合成一顆 SOC(System On Chip)或 SIP(System In a Package)[2]，可以同時處理無線通訊和資料處理等多項功能，如能配合多個微型感測器(如感光劑、溫度計等)，可以很容易導入無線感測網路的應用。如今無線感測網路已廣泛的應用在多個領域裡—在生物資訊方面，可將感測器佈於植物生態環境中，收集植物的生長資訊；在軍事方面，可將感測器佈置在戰場上，偵測敵軍與我軍的動向；在博物館的導覽上，可將無線感測網路佈署於展覽場內，發展無人導覽系統；運用在建築物方面時，可以將感測器佈署於建築物內外，調節室內的空調及照明系統。

## 2.2 IEEE 802.15.4

2000年12月IEEE成立了802.15.4小組，負責制定媒體存取控制層(Media Access Control, MAC)與實體層(Physical Layer, PHY)在低速率無線個人區域網路標準(Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN)的規範[5]，目標主要是著重在低消耗功率、低複雜度，而低傳輸速率與短距離正是前兩設計需求所造成的規格限制，這些特性也說明了IEEE 802.15.4的網路設備會比較適用於小型、供電能力有限且價格便宜的解決方案上。

IEEE 802.15.4的整體特性如下[6]：

- 無線資料傳輸速率可為250kbps、40kbps或20kbps。
- 支援64位元延伸式位址格式(Extended Address)與16位元短位址格式(Short Address)。
- 採用載波偵測多路存取/碰撞避免(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA)的存取機制。
- 支援全確認式通訊協定(Fully Acknowledged Protocol)。
- 無線電功率偵測(Energy Detection, ED)。
- 鏈路品質偵測(Link Quality Indication, LQI)。
- 三種運作頻帶與27個頻道。
  - 868MHz頻帶有1個頻道。
  - 915MHz頻帶有10個頻道。
  - 2450MHz頻帶有16個頻道。
- 兩種實體裝置分類與三種網路成員。
  - 全功能裝置(Full Function Device, FFD)與縮減式功能裝置(Reduced Function Device, RFD)。
  - PAN Coordinator、Coordinator與Device。

## 2.3 ZigBee 無線網路通訊協定

ZigBee是一種無線網路協定，主要由ZigBee Alliance制定，底層是採用IEEE 802.15.4標準規範的媒體存取控制層與實體層。主要特色有低傳輸速率(250kbps)、低消耗功率(在休眠狀態之下的耗電量只有1 $\mu$ W，而一般短距離通訊工作耗電量則是30mW，在待機模式之下，普通鹼性電池可維持6個月到2年以上的使用時間)、短距離(一般約為50~100m，依耗電量之不同，可提昇至300m)、低成本、支援大量網路節點、支援多種網路拓樸、低複雜度、快速、可靠、安全等。ZigBee針對IEEE 802.15.4型系統定義網路、安全性和應用框架。ZigBee協定層從下到上分別為實體層(PHY)、媒體存取控制層(MAC)、網路層(NWK)、應用層(APL)等，說明如下[7]：

- **網路層(NWK)**：網路層負責的工作包括加入與離開某個網路、將封包做安全性處理、傳送封包到目標節點、找尋並維護節點間的繞徑路線、搜尋鄰節點、儲存相關鄰節點資訊等工作。
- **應用層(APL)**：包含應用程式支援子層(APS)、應用程式框架(AF)、ZigBee裝置管制物件(ZDO)與各廠商定義的應用程式物件。
  - **應用程式支援子層(APS)**：提供網路層與應用層之間的介面，維持物件之間的連結表，並在連結的裝置之間傳遞訊息，是負責上層應用程式物件與下層網路層的協調。
  - **ZigBee裝置管制物件(ZDO)**：功能包括起始應用程式支援子層、網路層以及安全服務等。ZDO專門負責整體系統的管理事務，負責定義或調整本身裝置在網路上的角色、發出或回應連結的要求、起始與回應配對要求以及建立兩網路節點間的安全性關係，其中網路裝置的角色可分為ZigBee Coordinator、ZigBee Router以及ZigBee End Device等三種。

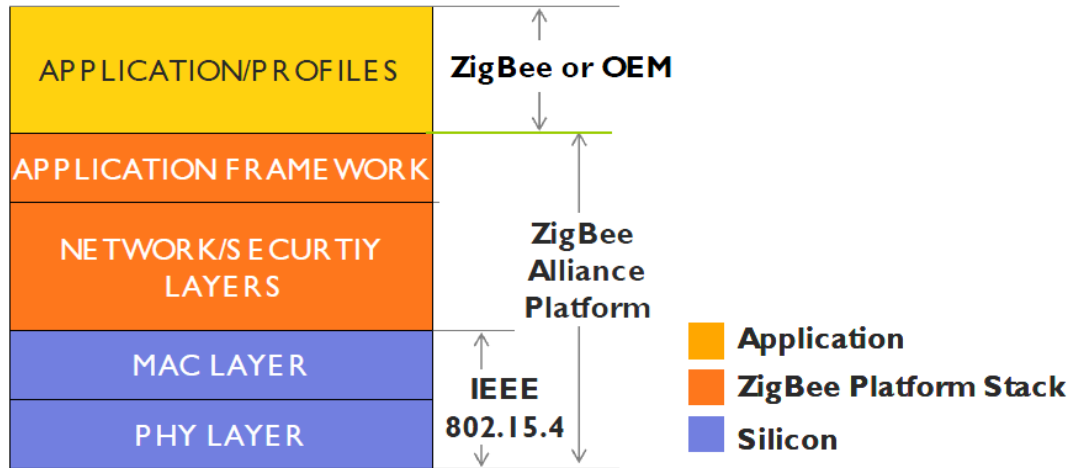


圖 2- 1 以 IEEE 802.15.4 為基礎之 ZigBee 無線通訊協定[9]

ZigBee支援主從式或點對點方式運作，同時最多可有255個裝置鏈結，具有高擴充性。主要應用的方向在於家庭裝置自動化、環境安全與控制、個人醫療照護、自動化工業與植物生長環境監控等各種領域，逐漸成為產業共通的短距離無線通訊技術之一，但隨著半導體製程的日新月異，系統晶片(System On Chip, SOC或System In a Package, SIP)會是未來發展的主要趨勢。

## 第三章 ZigBee 開發平台

### 3.1 ZLocation-II 無線 ZigBee 定位開發系統 II 型套件

華亨科技 ZigBee 無線定位開發系統是目前市場上在最短時間內開發全面 ZigBee 無線定位系統應用的最強大的工具之一，採用德州儀器公司（TI）的 CC2430 和 CC2431 無線 ZigBee 片上系統，結合符合 ZigBee-2006 協定規範的 Z-Stack 協定堆疊，使用者可用來進行 ZigBee-2006 網狀網路即時定位系統的開發。[2]

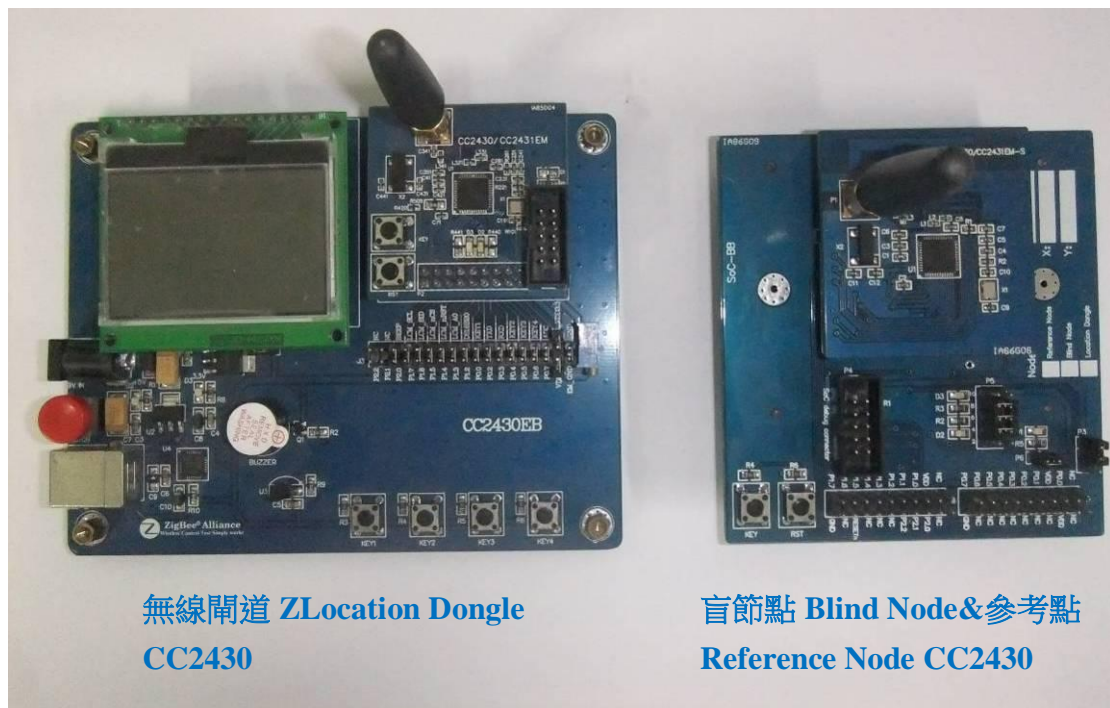


圖 3- 1 ZLocation-II 無線 ZigBee 定位開發系統 II 型



### 3.2 CC2430/CC2431EM

CC2430/CC2431EM 無線 ZigBee 模組採用德州儀器公司 (TI) ZigBee SoC 射頻晶片 CC2430F128/CC2431, 晶晶片上集成高性能 8051 內核、ADC、USART 等, 支援 ZigBee 協定堆疊, CC2431 內部還帶有一個硬體定位引擎。該模組引出 20 個可用 I/O, 使用者可使用晶片上所有資源。方便使用者實現高性價比、高集成度的 ZigBee 解決方案。[2]

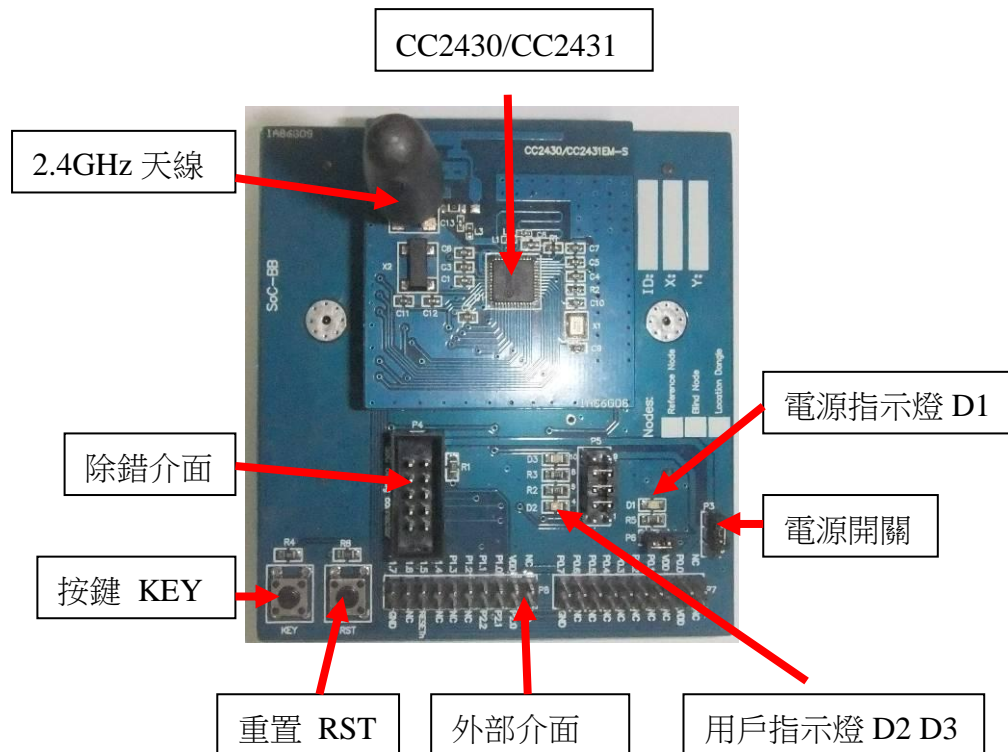


圖 3-2 CC2430/CC2431EM

### 3.3 CC2430EB

CC2430EB 無線 ZigBee 評估板採用 CC2430/CC2431EM 無線 ZigBee 模組+評估底板的結構。評估底板上集成了 128×64 點陣圖形液晶、鍵盤、蜂鳴器、USB 轉串列埠和溫度感測器等。

利用液晶顯示和鍵盤輸入構成的人機界面結合出廠展示程式，使用者可以全面評測 CC2430/CC2431 的各項功能，為使用者進行更高層次的 ZigBee 應用開發奠定基礎。[2]

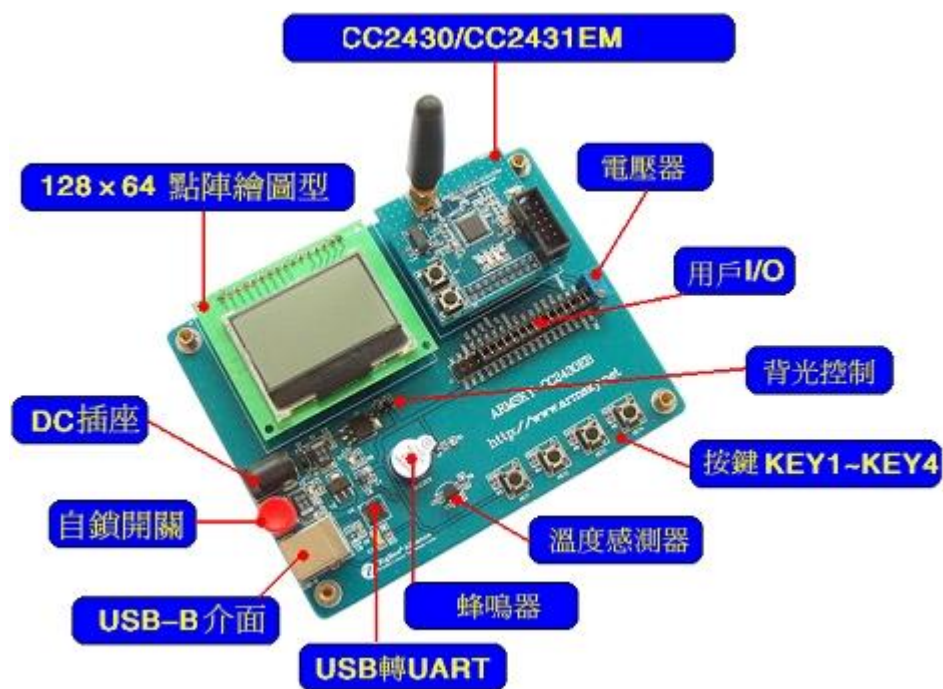


圖 3- 3 CC2430EB [2]

### 3.4 CC243x-Debugger

CC243x-Debugger 是專為支援 TI CC2430/CC2431 晶片上系統晶片而推出的模擬器/除錯器。可與 IAR EW8051 集成開發環境無縫連接，具有程式碼高速下载、線上除錯、中斷點、單步、變數觀察、暫存器觀察等功能，實現對 CC2430/CC2431 晶片上系統晶片的即時線上模擬、除錯。[2]



圖 3- 4CC243x-Debugger [2]

### 3.5 General Packet Sniffer

General Packet Sniffer 是具有 USB 介面的最新 IEEE 802.15.4/ZigBee 協定分析儀。它相當於一台 2.4GHz 的頻譜分析儀、一台高檔的邏輯分析儀和數位示波器。ZigBee 協定分析儀可以全面解碼複雜的 ZigBee 協定幀並加速除錯。ZigBee 協定分析儀具有廣泛的功能，包括：分析以及解碼在 PHY、MAC、NETWORK/SECURITY、APPLICATION FRAMEWORK 和 APPLICATION PROFILES 等各層協定上的資訊封包；顯示出錯的包以及接入錯誤；指示觸發包；在接收和登記過程中可連續顯示包。[2]

ZigBee 協定分析儀對於 ZigBee 應用設備的設計開發者具有很重要的意義，這在於它可以幫助進行與第三方 ZigBee 應用設備的互操作性測試，設計人員可以獨立地監控自己的應用設備與未知的第三方應用設備之間的通信及相互

操作，從而發現可能出現的錯誤。ZigBee 協定分析儀還可以在產品的硬體開發、軟體發展、硬軟體集成以及品質保證等四個階段發揮重要的作用。它還有一種獨立工作模式，使網中的節點不會受到分析儀的影響，這對於軟體測試是關鍵的。

General Packet Sniffer 協定分析儀完全相容 TI 包裝分析 PC 軟體，這個免費軟體使用者可以從 TI 網站下載。這是國內第一個高速度 USB 介面 802.15.4/ZigBee 協定分析工具，可以完全監視空氣中的無線包裝,是開發無線網路的高級工具。[2]



圖 3- 5General Packet Sniffer [2]

### 3.6 Z-Stack™ 業界領先的 ZigBee™ 相容協定堆疊

Z-Stack 是德州儀器公司 (TI) 推出的業界領先的 ZigBee 協定堆疊的免費下載版本。

Z-Stack 達到 ZigBee 測試機構德國萊茵集團(TUV Rheinland)評定的 ZigBee 聯盟參考平台(golden unit)水準，目前已為全球眾多 ZigBee 開發商所廣泛採用。Z-Stack 符合 ZigBee- 2006 規範，支援多種平台，其中包括面向 IEEE 802.15.4/ZigBee 的 CC2430/CC2431 晶晶片上系統解決方案、基於 CC2420 收發器的新平台以及 TI MSP430 超低功耗 MCU。[2]

除了全面符合 ZigBee-2006 規範以外，Z-Stack 還支援豐富的新特性，如無線下載，可通過 ZigBee 網狀網路(mesh network)無線下載節點更新。Z-Stack 還支持具備定位感知(location awareness)特性的 CC2431。上述特性使使用者能夠設計出可根據節點當前位置改變行為的新型 ZigBee 應用。[2]

## 3.7 8051MCU

### 3.7.1 簡介

CC2430 集成了增強工業標準的 8051 MCU 核心。該核心使用標準 8051 指令集。每個機器週期中的一個時鐘週期與標準 8051 每個機器週期中的 12 個時鐘週期相對應，因此其指令執行的速度比標準 8051 快。由於指令週期在可能的情況下包含了取指令操作所需的時間，故絕大多數單字節指令在一個時鐘週期內完成。[3]

除了速度改進之外，CC2430 的 8051 核心也包含了下列增強的架構：

- 第二數據指標；
- 擴充了 18 個中斷源。

CC2430 核心的 8051 的目標程式與工業標準 8051 目標程式相容。但是，由於與標準 8051 使用不同的指令定時，因此以往編寫的標準 8051 目標程式的定時迴圈程式需要修改；此外，擴充的外部設備所使用的特殊功能暫存器（SFR）涉及的指令程式也有所不同。[3]

### 3.7.2 CC2431 的定位引擎

CC2431 定位引擎內的定位演算法是基於接收信號強度指示（RSSI）值的。RSSI 值將會隨著距離的增大而減弱。[4]

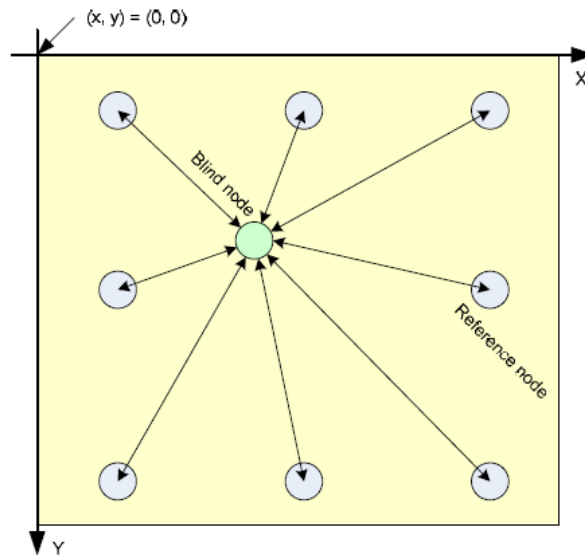


圖 3-6 定位估算 [4]

圖 3-6 顯示了一個定位檢測的簡單系統。“參考節點”是一個位於已知位置的靜態節點。

簡單地說該節點知道它自己的位置並且可以在被請求時告訴其他的節點它在哪里。參考節點並不需要執行定位檢測的硬體，它根本不執行任何計算。“盲節點”是一個用 CC2431 建立的節點。該節點將從所有參考節點對請求的回應中搜集信號，讀出相對 RSSI 值，並將其送入硬體引擎，然後讀出計算得到的自身位置並且發送位置資訊給一個控制應用。[4]

從一個參考節點發送給一個盲節點的資料包至少包含了參考節點的座標參數水準位置 X 和垂直位置 Y。RSSI 值可由接收者即盲節點計算獲得。[4]

定位引擎的主要特性是定位計算可以由每一個盲節點執行，因此這個演算法是分散的。這個特性減少了網路中資料傳輸的總量。

要映射每一個定位到自然環境中的每一個不同的位置，需要使用一個二維的網格。在以下描述中，方向將被表示為 X 和 Y。在所有圖中，X 被定義為水準方向，Y 被定義為垂直方向。CC2431 定位引擎只能處理二維，但是以軟體方法來處理第三個方向是可行的（例如一個建築物的各層）。點  $(X, Y) = (0, 0)$  位於網格的左上角。[4]

## 3.8 ZigBee 節點類型

### 3.8.1 參考節點

具有固定位置的節點被稱為參考節點。它必須被配置以 X 和 Y 值來對應相應的物理位置。

參考節點的主要任務是提供包含有 X 和 Y 座標的“參考”資料包給盲節點，也被當作錨節點。

因為這種節點根本不需要硬體定位引擎，所以它也沒有必要使用 CC2431。也就是說參考節點可以用 CC2430 或者 CC2431 來實現。因為 CC2430/31 是基於同樣的收發器 CC2420，因此一個帶有適當的微控制器的 CC2420 可以被當作參考節點。[4]

### 3.8.2 盲節點

盲節點將與最近的參考節點進行通信，收集這些最近的每一個節點的 X，Y 和 RSSI，並且使用定位引擎硬體根據收到的參數計算出自己的位置。然後這個被計算出來的位置將被發送給一個控制站。這個控制站可以是 PC 機或者是系統中的另一個節點。[4]

## 3.9 定位硬體

從軟體角度來看，定位引擎利用了一個非常簡單的介面；寫入參數，等待進行計算，讀出計算的位置。本節將討論不同的參數。[4]

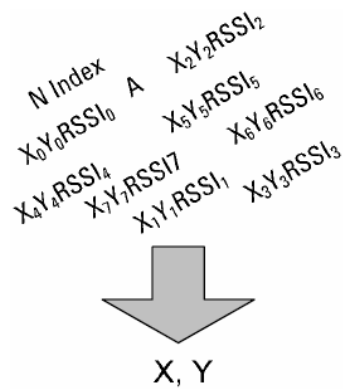


圖 3-7 定位引擎的輸入輸出 [4]

### 3.9.1 輸入

表 3-1 顯示了所有需要輸入給定位硬體的參數。每個參數將在後面進行詳細描述。下表是一個簡單說明。[4]

表 3-1 輸入給定位硬體的參數 [4]

名稱	最小 值	最大 值	描述
A	30	50	距離發射機 1 米距離的絕對 RSSI 值，以 dBm 為單位。
n_index	0	31	該值表示信號傳播指數，取決於環境。
RSSI	40	95	接收信號強度指示，該值以 dBm 測量。定位引擎使用該絕對值作為輸入。
X, Y	0	63.75	這些值表示了一個固定點的 X 和 Y 座標。這些值以米為單位，精度為 0.25 米。



### 3.9.2 輸出

表 3-2 定位硬體的輸出[4]

名稱	最小 值	最大 值	描述
X, Y	0	63.5	這些值表示了一個固定點的計算出的 X 和 Y 座標。以米為單位。

### 3.10 接收信號強度指示(RSSI)

當 CC2430/31 接收到一個資料包後會自動將 RSSI 值添加到該資料包中。RSSI 值為資料包接收在開始的 8 個符號週期（128us）中的平均值。RSSI 值用一個位元組來表示，為有符號的二進位補數。當一個資料包從 CC2431 的 FIFO 中讀取，倒數第 2 個位元組包含 RSSI 值，該值在接收到實際資料包的 8 個符號後測量得出。也可以在資料包接收的同時獲得，此時 RSSI 值將反映當時接收信號的強度，而不一定是接收到的資料的信號強度。這就有可能當大量的節點在同一個時間在同一個通道進行交互時，捕獲到的 RSSI 值就會是錯誤的。[4]

n	D(0)	D(1)	D(2)		D(n-2)	RSSI	CRC/ corr
---	------	------	------	--	--------	------	--------------

圖 3-8 接收的資料包 [4]

CC2431/31 包含一個 RSSI 暫存器。該暫存器保留上述相同的值，但是當接收到一個資料包時，它並不鎖定，因此暫存器值不能用於進一步的計算。只有與接收到的資料相關的被鎖定的 RSSI 值才能認為是接收資料時所測量的正確的 RSSI 值。[4]

### 3.10.1 A-以到發射機 1 米距離測試的 RSSI 值

A，這是一個經驗參數，可以通過測量從一米傳遞單位的 RSSI 值來確定。

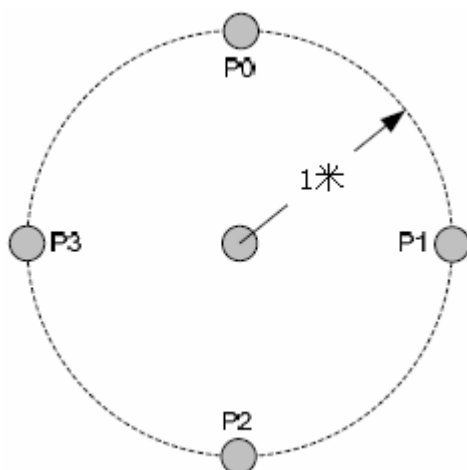


圖 3-9 測量 A 值 [4]

理論上所有方向上的 A 值都應該相等。發射機和接收機上的天線完全各向同性是極不可能的，因此應該使用一個平均值。

圖 3-10 顯示了到發射機 1 米距離所測量的典型 RSSI 值。該圖顯示了從圖 3-9 的 P0, P1, P2, P3 位置的測量。從該圖可以得出結論天線不是各向同性的，所以一個平均值被用作參數 A。對於在本測試中使用的設備，平均值大約為-46。這些測量值是在 RSSI\_OFFSET 等於-45 的情況下得出的。[4]

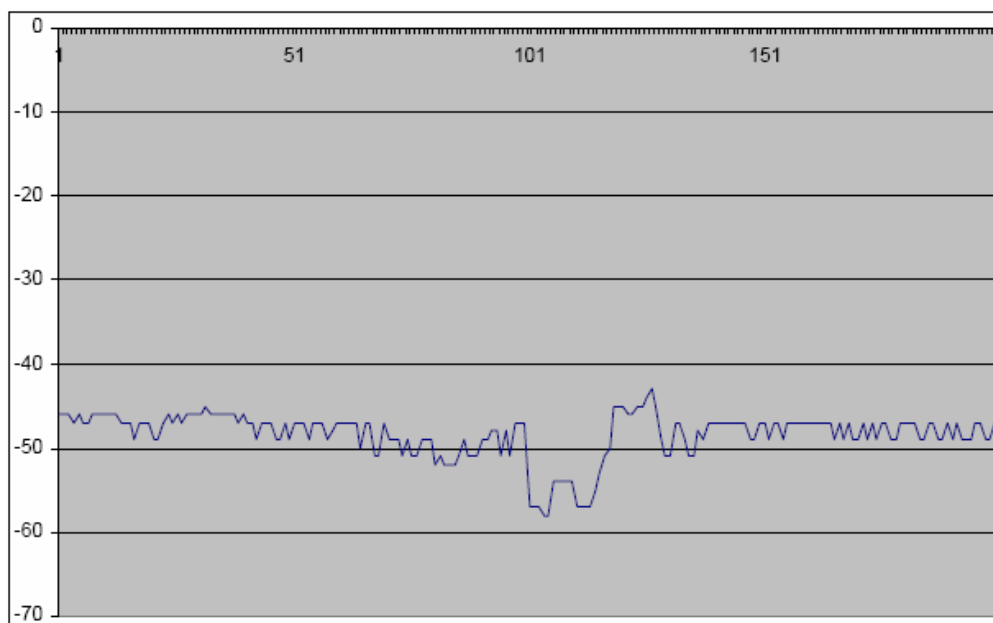


圖 3-10 在 1 米的距離測量 RSSI 值 [4]

### 3.10.2 N—信號傳播係數

參數 N 是一個描述隨著發射機的距離增大時，信號強度如何減弱的參數。

N 高度取決於環境，例如牆壁的厚度會造成較大影響。該值可以由經驗值來確定。[4]

CC2431 內的定位引擎並不直接使用 N，而是使用一個叫做 n\_index 的值。

N 和 n\_index 兩者之間的關係可以參見下表。這個換算表用來減少實際硬體執行時的複雜性。[4]

表 3-3 N 和 n\_index [4]

n_index	N	n_index	N
0	1.000	16	3.375
1	1.250	17	3.500
2	1.500	18	3.625
3	1.750	19	3.750
4	1.875	20	3.875
5	2.000	21	4.000
6	2.125	22	4.125
7	2.250	23	4.250
8	2.375	24	4.375
9	2.500	25	4.500
10	2.625	26	4.625
11	2.750	27	5.000
12	2.875	28	5.500
13	3.000	29	6.000
14	3.125	30	7.000
15	3.250	31	8.000

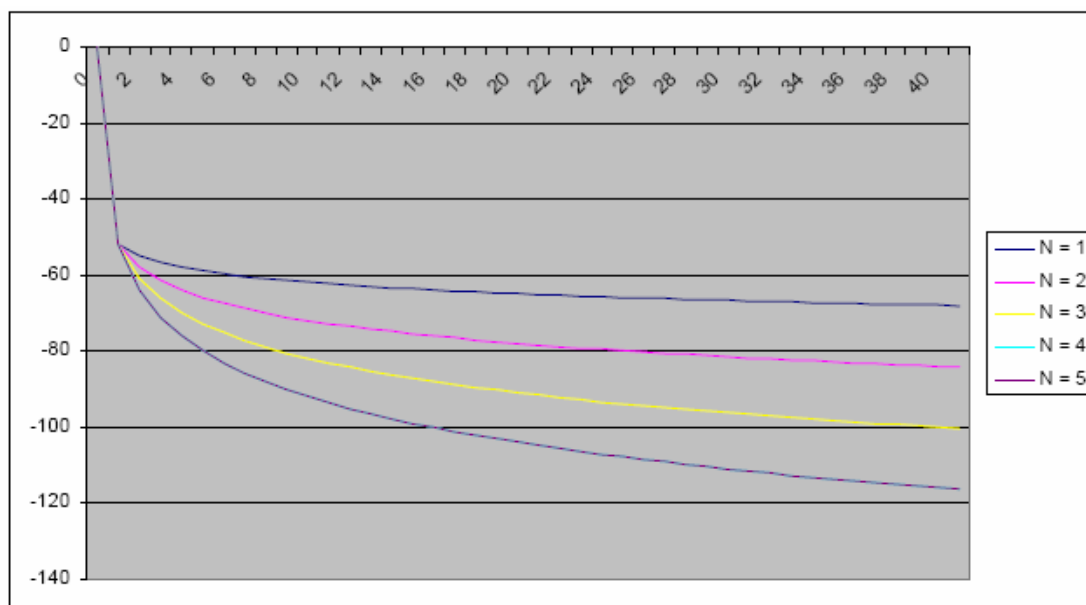


圖 3-11 N 參數對位置計算的影響 [4]

圖 3-12 顯示了在一個給定的以米為單位的距離選擇 N 對理論 RSSI 值的影響。N 值應與實際環境盡可能精確的匹配。

### 3.10.3 n 的測量

為適應所有環境而找一個最佳的  $n_{\text{index}}$  預設值是不可能的。最簡單的方法是將所有的參考節點都安裝在實際環境中，然後用不同的  $n_{\text{index}}$  值來測試以找到最適合於實際環境的值。[4]

實驗表明  $n_{\text{index}}$  值在 15 到 25 之間可以取得良好的結果。

## 3.11 參考節點數量

一般來說參考節點越多越好。要得到一個可靠的定位座標至少需要 3 個參考節點。如果參考節點太少，節點間影響會很大，一個錯誤的 RSSI 值可以很明顯地改變所得的位置座標。錯誤的 RSSI 值在此即為不適合理論值的 RSSI 值。例如由於多路信號或如果牆壁阻斷信號或類似情況。

如果盲節點的位置在參考節點的網格之外，很有可能結果與使用的實際位置大不相同。建議追蹤的對象不要位於網格外。[4]

### 3.12 “最佳” 參考節點的選擇

應當為計算選擇最近的參考節點。這就是說，使用具有最高 RSSI 值的 8 個參考節點，其他節點都應放棄。如果得不到 8 個節點，則應該使用盡可能多的節點。[4]

### 3.13 覆蓋範圍的擴充

硬體定位引擎可處理的 X 和 Y 值可高達 64 米，或者更確切地說在兩個方向可高達 63.75 米。對於許多實際應用來說這個範圍太小了。因此有必要擴充覆蓋範圍。用一個簡單的軟體預處理器演算法就很容易達到。

每個節點的 X 和 Y 都用 2 個位元組來表示。其中高 14 位表示覆蓋 X 和 Y 的值，因此最大值為  $2^{14}=16384$  米。低 2 位表示精度，精度以 0.25 米為單位。[4]

表3- 4範圍 [4]

	最大值	精確度
X	$2^{14}=16384$ 米	0.25 米
Y	$2^{14}=16384$ 米	0.25 米

圖 3-13 顯示了演算法如何工作的例子。該圖顯示在 X 和 Y 方向上每隔 30 米放置一個參考節點。在圖中矩形節點是盲節點，其他節點為參考節點。

- 第一步是確定具有最高 RSSI 值的一個節點，並計算一個補償值，使之“移動”到 64×64 米的正方形的中央。因為已知從這個節點發出的信號的 RSSI 值，所以到該節點的距離就可以很容易計算出來。在圖 3-13

中，位置必須在白色圓圈裏。[4]

- 下一步就是要找出除“最強”節點之外的其他要用的參考節點。在圖中，深色的節點可用。所有節點都補償了在第一步中找到的值。
- 所有找到的值回饋給定位引擎硬體，最終讀出結果位置。
- 最後一步是添加相同的補償給計算出的位置。在所有這些計算完成後，盲節點在整個全局網格中的位置就確定了。

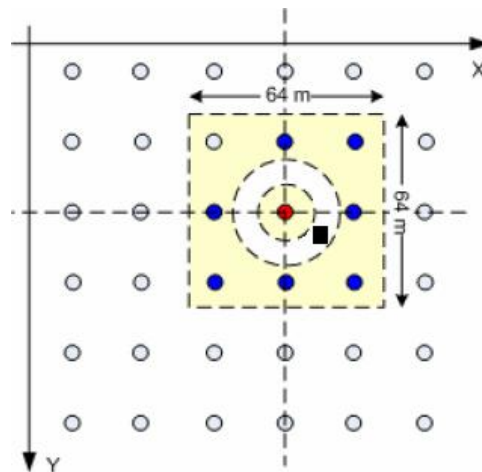


圖3- 12覆蓋範圍的擴充[4]

### 3.14 IAR 嵌入式工作平台(IAR Embedded Workbench)

隨著計算機技術的日益發展，嵌入式應用已經滲透到社會生活中的方面，從我們每天使用的手機、PMP 等消費電子產品到汽車電子、工業控制、國防科技等領域，無一例外都能找到嵌入式系統的身影。所謂嵌入式系統(Embedded System)，就是可以嵌入到其他系統中的微處理器應用系統。嵌入式系統本身是一個可獨立執行的系統，但更為重要的是它可以作為一個部件嵌入到其他應用系統中。

IAR Systems 是一家領先的嵌入式系統發展工具的生產者，該公司成立於 1983 年，IAR Embedded Workbench 為該公司最著名的產品，IAR Embedded Workbench 可支援眾多知名半導體公司的微處理器，具 C/C++ 編譯器及除錯器之整合發展環境(IDE)、硬體除錯器以及狀態機設計工具等，支援 8051、ARM、MSP430 以及許多其他 8 bits、16 bits 與 32 bits 之 MCU，IAR Systems 分公司遍及全球，包括 US、Japan、China、the UK、Germany 以及 Sweden 等，從消費電子、工業控制、汽車應用、醫療、航空到手機應用系統，並且在全球約 30 幾個國家經由代理商網路運作，基於 Z-Stack V2.2.0 協定堆疊的 ZigBee 2007/PRO 應用開發而言，軟體發展環境 IAR Embedded Workbench for MCS-51 是必需的，在軟體發展環境 IAR Embedded Workbench for MCS-51 中對目標板上的 CC2430 晶片進行程式的下載、除錯等操作必須透過 CC Debugger 多功能模擬器進行[9]。

## 第四章 軟硬體架構及流程圖

### 4.1 軟體架構-HT46F49E 微控制器



圖4- 1 HOLTEK燒入器

HT46F49E微控制器介紹HT46F4XE 系列為盛群半導體公司所推出的『八位元 A/D Type 微控制器』，此系列 IC 採用先進的 COMS 技術製造，因此具有『低功率消耗』、『高速執行』的特性，其中包含了：

- \_ 13 to 23 bidirectional I/O lines
- \_ 8-bit programmable Timer/Event Counter
- \_ 4 channels 8 or 9-bit resolution A/D converter
- \_ 1 or 2 channel 8-bitPWMoutput shared with I/O lines
- \_ Low Voltage Reset Circuit ; LVR
- \_ Power down and wake-up functions to reduce power consumption
- \_ Watchdog Timer function [13]



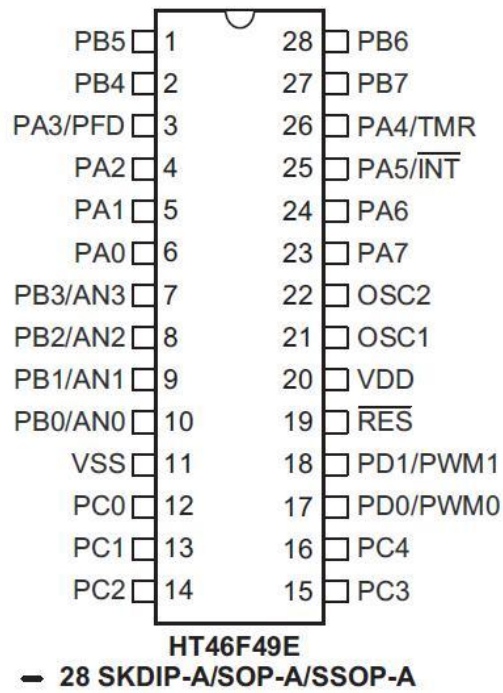


圖4- 2 HT46F49E 微控制器(MCU)硬體接腳圖[12]

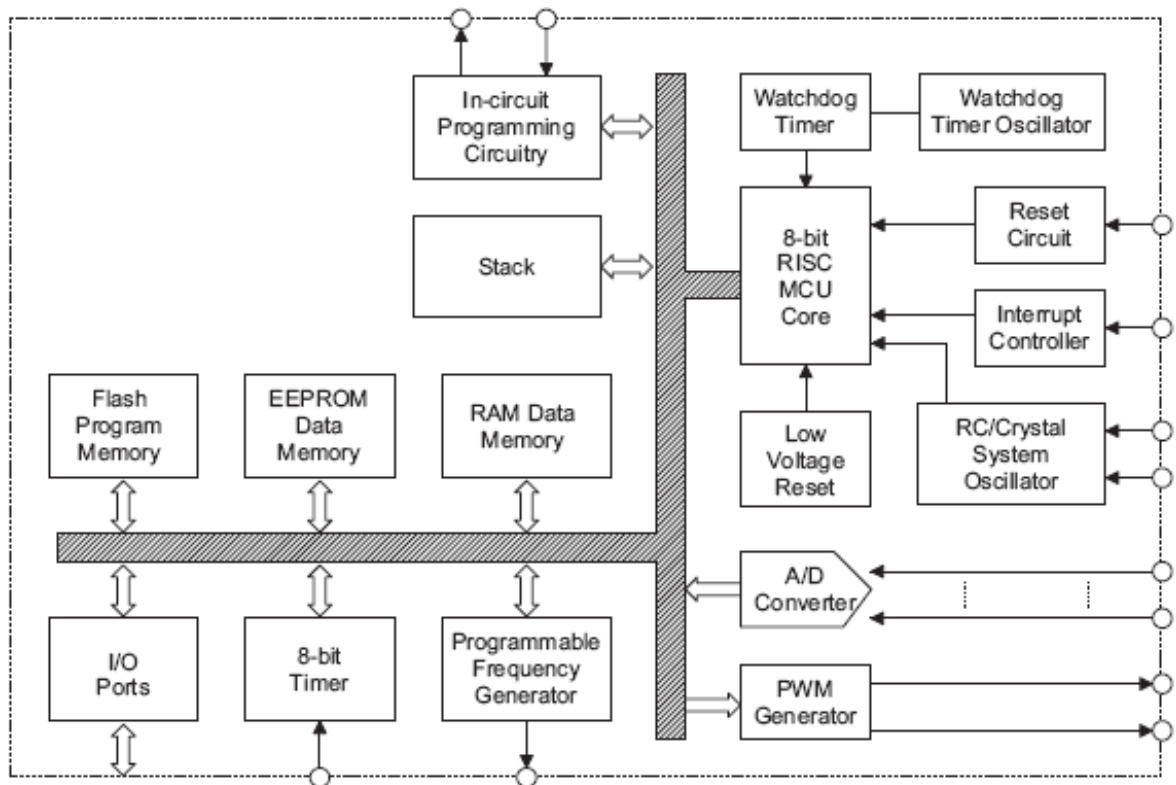


圖 4- 3 HT46F49E 內部結構圖[12]

## Selection Table

Most features are common to all devices, the main feature distinguishing them are Program Memory capacity, I/O count, A/D resolution, stack capacity and package types. The following table summarises the main features of each device.

Part No.	VDD	Program Memory	Data Memory	Data EEPROM	I/O	Timer	Int.	A/D	PWM	Stack	Package Types
HT46F46E	2.2V~5.5V	1K×14	64×8	128×8	13	8-bit×1	3	8-bit×4	8-bit×1	4	16NSOP, 18DIP/SOP
HT46F47E	2.2V~5.5V	2K×14	64×8	128×8	13	8-bit×1	3	9-bit×4	8-bit×1	6	16NSOP, 18DIP, 18SOP, 20SSOP
HT46F48E	2.2V~5.5V	2K×14	88×8	128×8	19	8-bit×1	3	9-bit×4	8-bit×1	6	24SKDIP/SOP, 24SSOP
HT46F49E	2.2V~5.5V	4K×15	128×8	256×8	23	8-bit×1	3	9-bit×4	8-bit×2	6	24/28SKDIP, 24/28SOP, 24/28SSOP

Note: For devices that exist in two package formats, the table reflects the situation for the larger package.

圖 4-4 HT46F49E DATASHEET [12]

本研究在軟體部分是使用 HT46F49E 這顆 HOLTEK 微控制器，在研究的過程中，首先是先使用 8051 來做練習，等到熟練 8051 單晶片與 C 語言之後，就開始使用這顆微控制器，在測試微控制器的時候，發現到 8051 單晶片與微控制器兩者之間程式的寫法並沒有太大的不同，只是微控制器在介面的控制與設定上，跟 8051 單晶片有些不一樣，還要去做一些設定。

本研究使用 HT46F49E 這顆 HOLTEK 微控制器所修改的設定：

- **各接腳的輸入輸出：**判斷哪隻腳輸出低電位和高電位，哪隻腳接收訊號。
- **PWM：**用來控制馬達的轉速，配合 TA7291P 馬達控制 IC 來做出轉彎的動作。
- **外部中斷：**當感測器有信號進來時，微控制器會進入中斷，執行中斷副程式。

編號	名稱	說明
1	工作電壓	2.2V~5.5V (FSYS = 4MHZ) 3.3V~5.5V (FSYS = 8MHZ) 4.5V~5.5V (FSYS = 12MHZ)
2	外部中斷 ( External Interrupt )	外部中斷
3	內部中斷 (Internal Interrupt)	A/D Timer/Event Counter
4	程式計時/計數器 8Bit Timer/Event Counter	具溢位中斷與七位元預除功能的 8Bit Timer/Event Counter
5	振盪器	具內建晶體及 RC 振盪器
6	看門狗 WDT	當機時，系統具自動回復功能
7	程式記憶體 Program Memory	4Kx15
8	資料記憶體 Data Memory Rom	128x8
10	PFD (Programmable Frequency Divider )	可做為音效之產生
11	採用 CMOS 結構，具有強大的 I/O 驅動能力 (VDD = 5v 時，I/O Port Source Current ≈-10mA；Sink Current ≈ 20mA)	在 4MHz、VDD = 5V 時所須之電 流約為 2mA
12	A/D Converter	為四個通道，解析度 9-Bit。
13	PWM	PWM 輸出介面
14	低壓自動重置電路 LVR (Low Voltage Reset Circuit)	將電源下降偵測功能整合於微控 制器內。

圖 4- 5 HT46F49E 基本功能介紹[13]

## 4.2 硬體架構-超音波感測電路

### 4.2.1 超音波原理

人耳可以聽見的波動，其頻率約在 16Hz 到 20KHz 之間，如果波動的頻率高於此範圍，則人類則無法聽見，稱之為超音波。超音波由於其高頻特性而被廣泛應用於軍事、醫療及工業領域，比如雷達定位，工件清洗等。[10]

### 4.2.2 超音波感測器發射接收原理

超音波感測器，是利用音波的發射與接收來量測如位置、速度等物理量，利用壓電效應的原理來產生電壓或音波訊號。分為：超音波發射器和超音波接收器。

超音波發射器：

加 20kHz 以上某一固定頻率的交流信號於壓電材料時，該壓電材料將產生相對的振動，並發出一種人耳無法聽到的音波，此即超音波發射器。[5]

超音波接收器：

當壓電材料受到 20kHz 以上之某一特定頻率波動時，壓電材料兩端會產生相同頻率的交流電壓輸出，此即超音波接收器。[5]

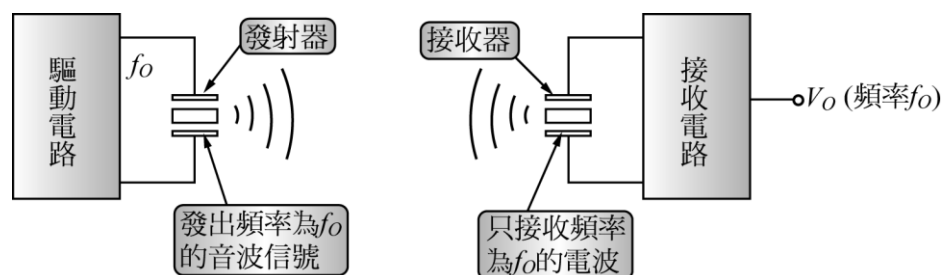


圖 4-6 超音波發射與接收 [11]

### 4.2.3 超音波感測器構造

如圖 4-5 所示，超音波振動子係由 2 只壓電元件（或由 1 只壓電元件與金屬板）重疊而成。此一振動子稱為雙壓電晶片(bimorph)，僅有一片壓電元件者稱為單壓電晶片(unimorph)。當有超音波入射到此一振動子時，壓電元件因受振動而產生電壓。與此相反，當壓電元件施加電壓時，即產生超音波。[11]

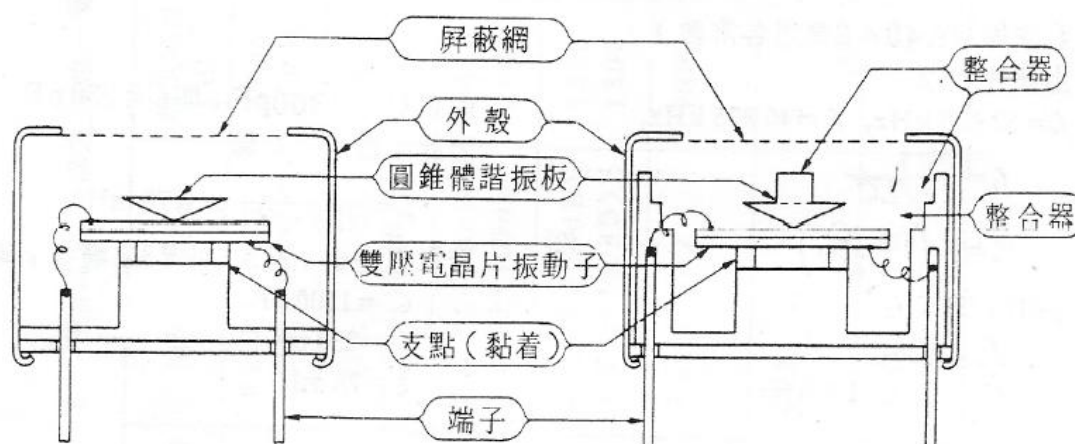


圖 4-7 超音波感測器之構造 [11]

圖 4-6 為一壓電震盪器的結構圖，它將二片壓電元件緊密的貼在一起，當一邊延伸時，另一邊便會縮短，稱為彎曲振盪之振盪器，也稱為雙型態(bimorph)振盪器。此種雙型態振盪元件其輸出的電壓較大，而其結構也較簡單，機械強度亦佳，而其價格也較便宜。[11]

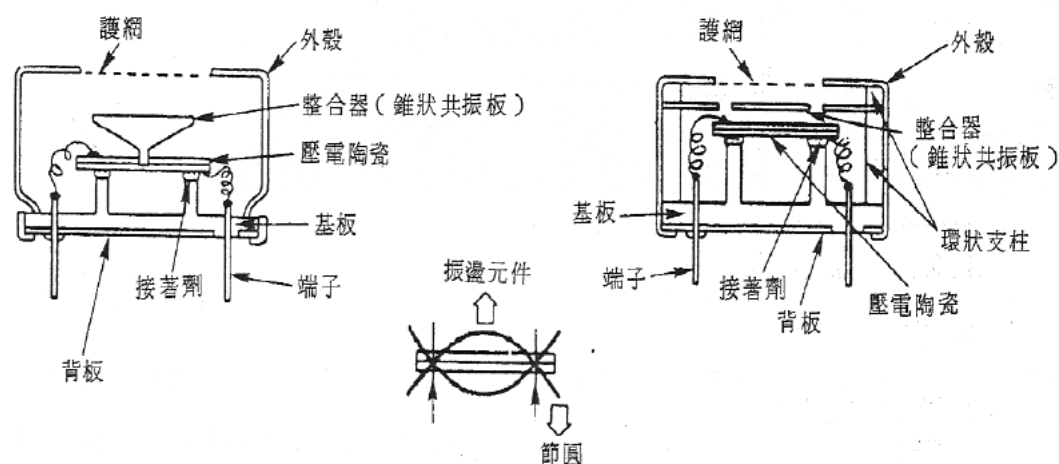


圖 4-8 超音波感測器的截面構造 [11]

#### 4.2.4 超音波發射接收電路工作之工作原理與電路圖

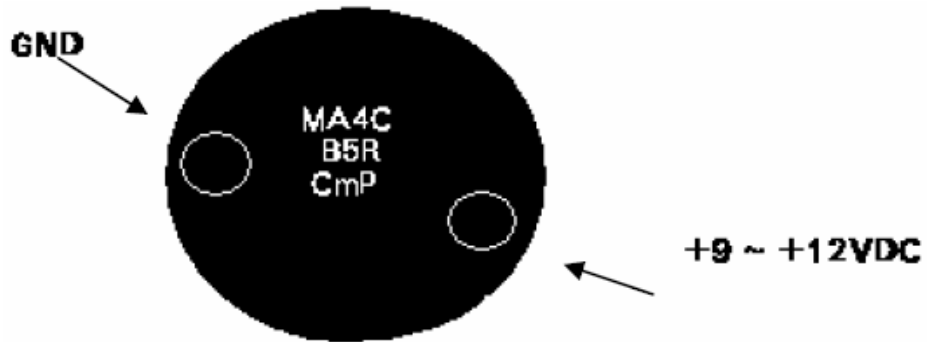


圖 4-9 超音波發射接腳圖 [14]

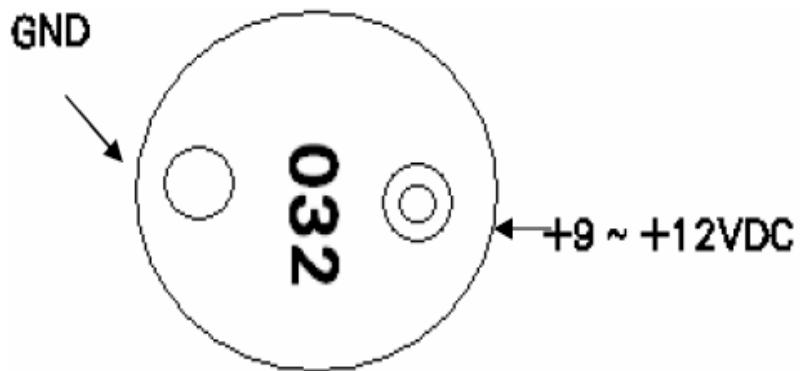


圖 4-10 超音波接收接腳圖 [14]

### 超音波發射電路：

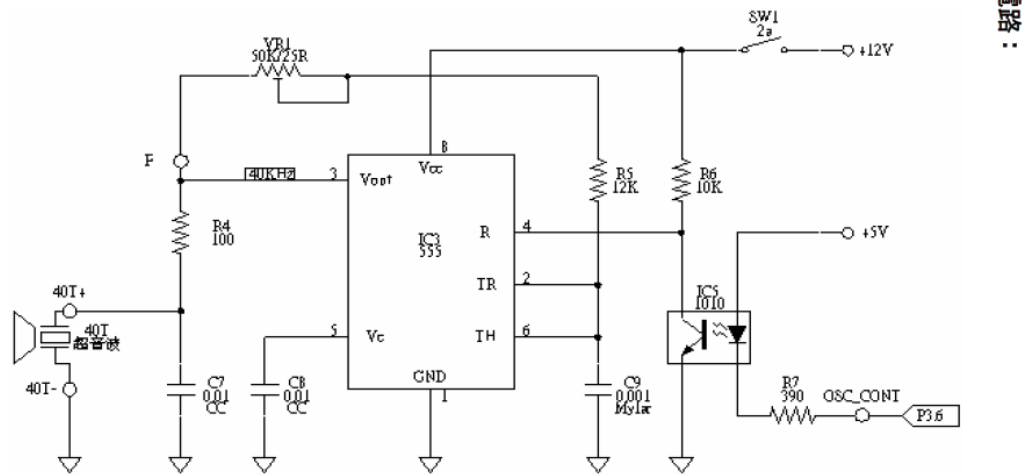


圖 4- 11 超音波發射電路 [14]

### 發射電路原理：

- 555、R5、VR1、C9 組成一不穩態多諧振盪器，由第 3 腳產生脈波，調整 VR1 使第 3 腳輸出脈波為 40.000~40.250KHz。
- C8 為 555 的雜訊抑制濾波器。
- C7、R4 與超音波發射器配合產生 40KHz 的超音波。
- 利用 HT46F49E 的 P3.6 腳去控制 555 是否振盪。當 555 的第 4 腳為 Hi 時，555 產生振盪；當 555 的第 4 腳為 LOW 時，555 停止振盪。



### 超音波接收電路：

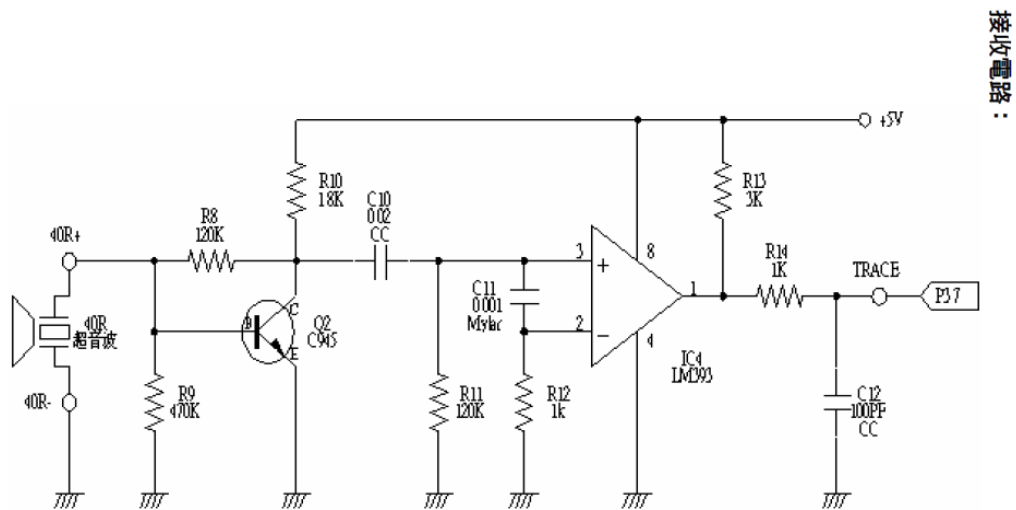


圖 4- 12 超音波接收電路 [14]

### 接收電路原理：

- Q2、R8、R9、R10 組成一寬頻帶放大器，將 40R 的超音波接收器收到的信號放大，經由 C10 將信號送到 LM393 做信號零位比較檢出。
- LM393、R11、R12、C11 組成一零電位準比較器，C11 是用來抑制雜訊用，R13 是用來提升輸出電流(因 LM393 輸出電流很小)。
- 當超音波接收器偵測到接近物時 LM393 的第 3 腳電壓會大於第 2 腳電壓，此時大約輸出 5 伏特;反之輸出大約為 0V。
- 當 HT46F49E 微控制器的 P3.7 接收到方波時，表示有接收到，此時代表前方有障礙物，微控制器會進入中斷副程式使機器人停止行進。



### 4.3 人體紅外線感測器(焦電型)

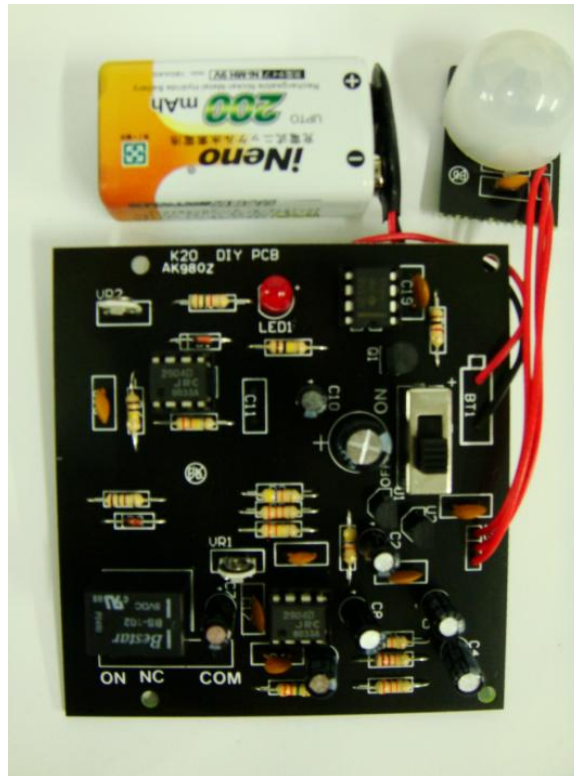


圖 4-13 焦電型人體紅外線感測電路

人體與其他動物都會散發出一種紅外線，而焦電型的紅外線感測器能感測到這種紅外線的變化，當人體經過感測器時，感測器會產生一個微小的信號變化，再利用 OP 放大器將這個微小的電壓變化放大成觸發信號，去觸發 IC 555 控制繼電器開始動作，讓 COM 和 ON 兩端導通，同時 IC 555 開始倒數計時時間，當倒數時間到了，而感測器沒有再感測到紅外線變化時，IC 555 會使繼電器截止，讓 COM 和 ON 兩端停止導通。此感測器發出之紅外線會碰壁反射，藉以判斷有物體移動，一般而言應用在市內自動點燈器，亦可作為來客通知器等，

本研究利用人體紅外線感測器電路裡的繼電器去做輸出信號控制，當感測器感測到人體時，繼電器會做切換，使兩點之間產生高低電位的變化，利用這點在額外增加一個電路，當沒有感測時，產生高電位輸出，一旦感測到人，便會改變成低電位輸出，如此一來，就可以進入中斷副程式。

#### 4.4 履帶式機器人與機械手臂

這履帶式機器人是經由購買 Lynxmotion 公司的套裝組件組裝而成的。



圖 4- 14 機器人的履帶 [15]



圖 4- 15 機器人內部構造[15]

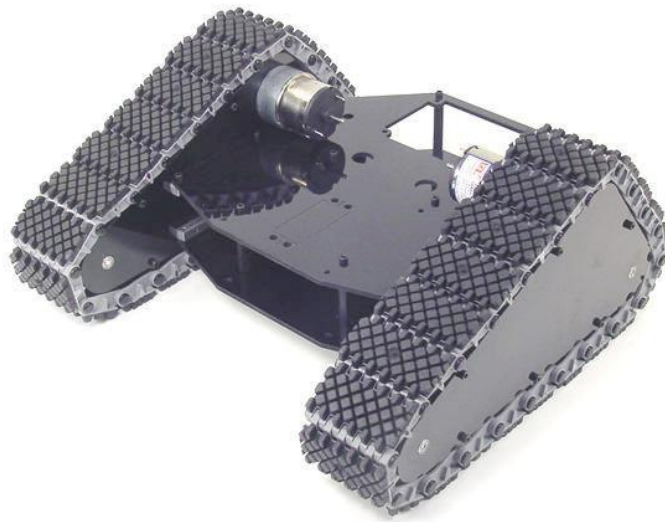


圖 4- 16 組裝完成的機器人 [15]



圖 4- 17 益眾科技五軸機械手臂[17]

## 4.5 馬達驅動 IC-TA7291P

TA7291P 是一顆直流馬達專用的控制 IC，可以用內建電壓來控制馬達的動力，也可控制馬達的正反轉和速度。

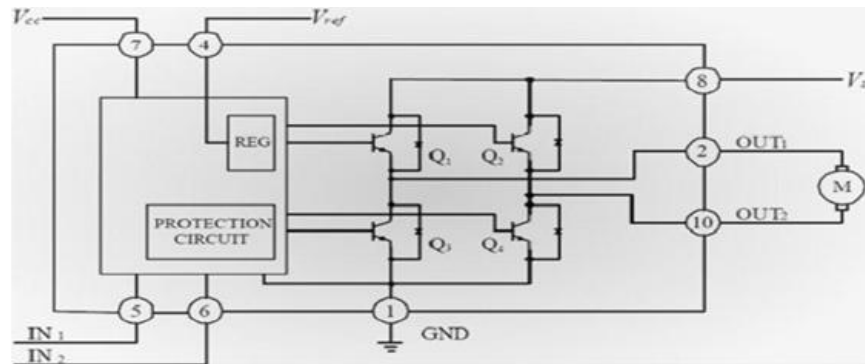


圖 4- 18 TA7291P 內部電路圖 [16]

TA7291P腳位圖										TA7291P工作模式				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	輸入1	輸入2	輸出1	輸出2	工作模式
接地	輸出1		參考電壓	輸入1	輸入2	邏輯電壓	電路電壓		輸出2	1	1	L	L	煞車
										0	1	L	H	正轉
										1	0	H	L	反轉
										0	0	高阻抗		停止

圖 4- 19 TA7291P 接腳及工作模式圖[16]

- IC-TA7291P 控制馬達轉動
- 第 4 隻接腳為參考電壓需接 5-12V (電壓越大 轉速越快)
- 第 7 隻接腳為邏輯電壓需接 5V
- 第 8 隻接腳為電路電壓需接 12V



#### 4.6 硬體控制電路架構圖

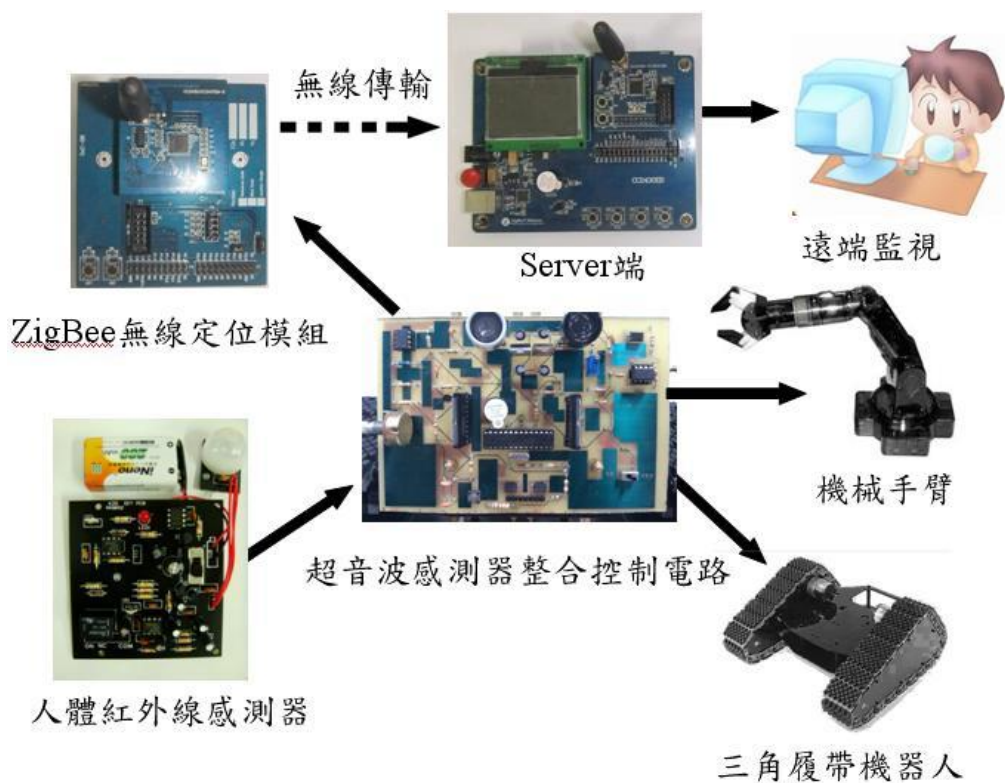


圖 4-20 系統架構圖

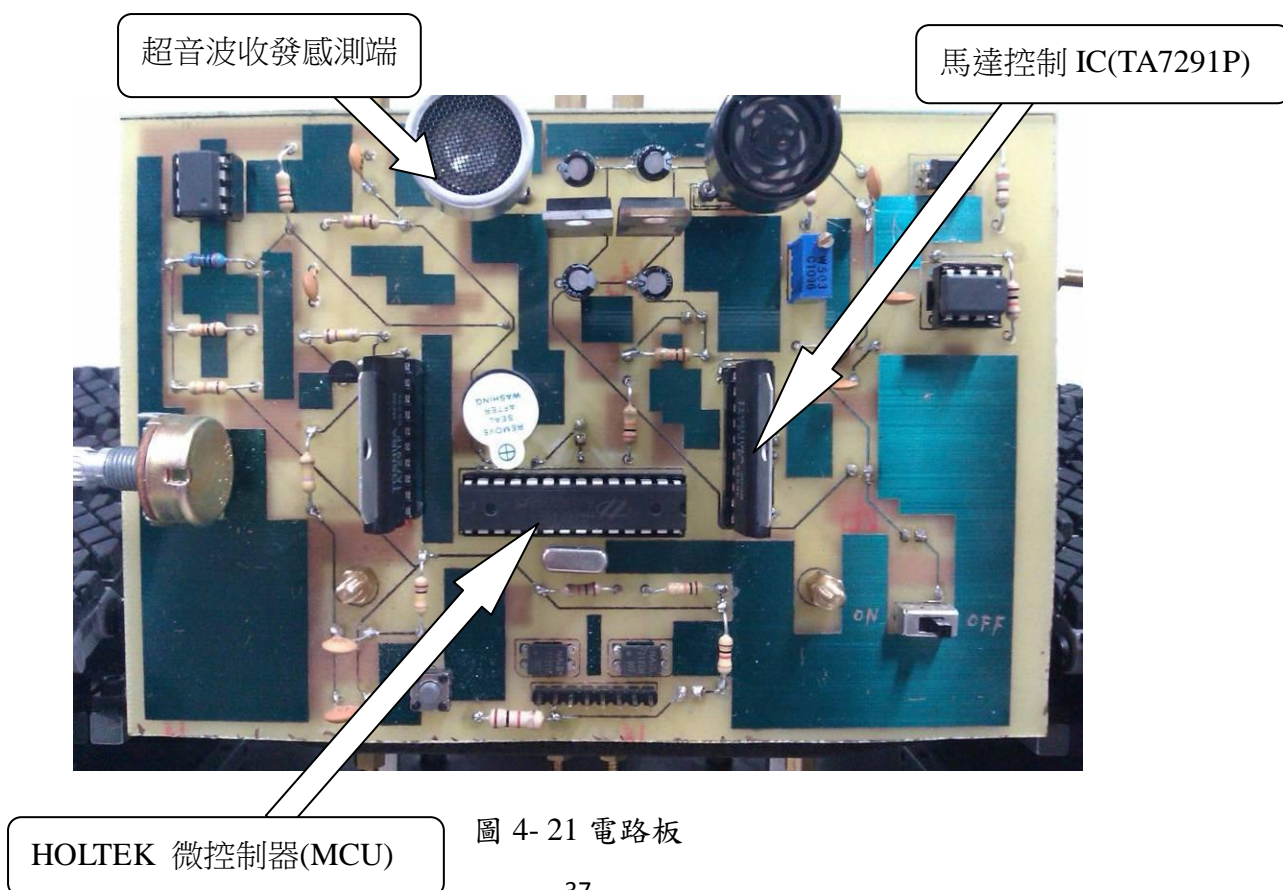


圖 4-21 電路板

#### 4.7 系統動作流程圖

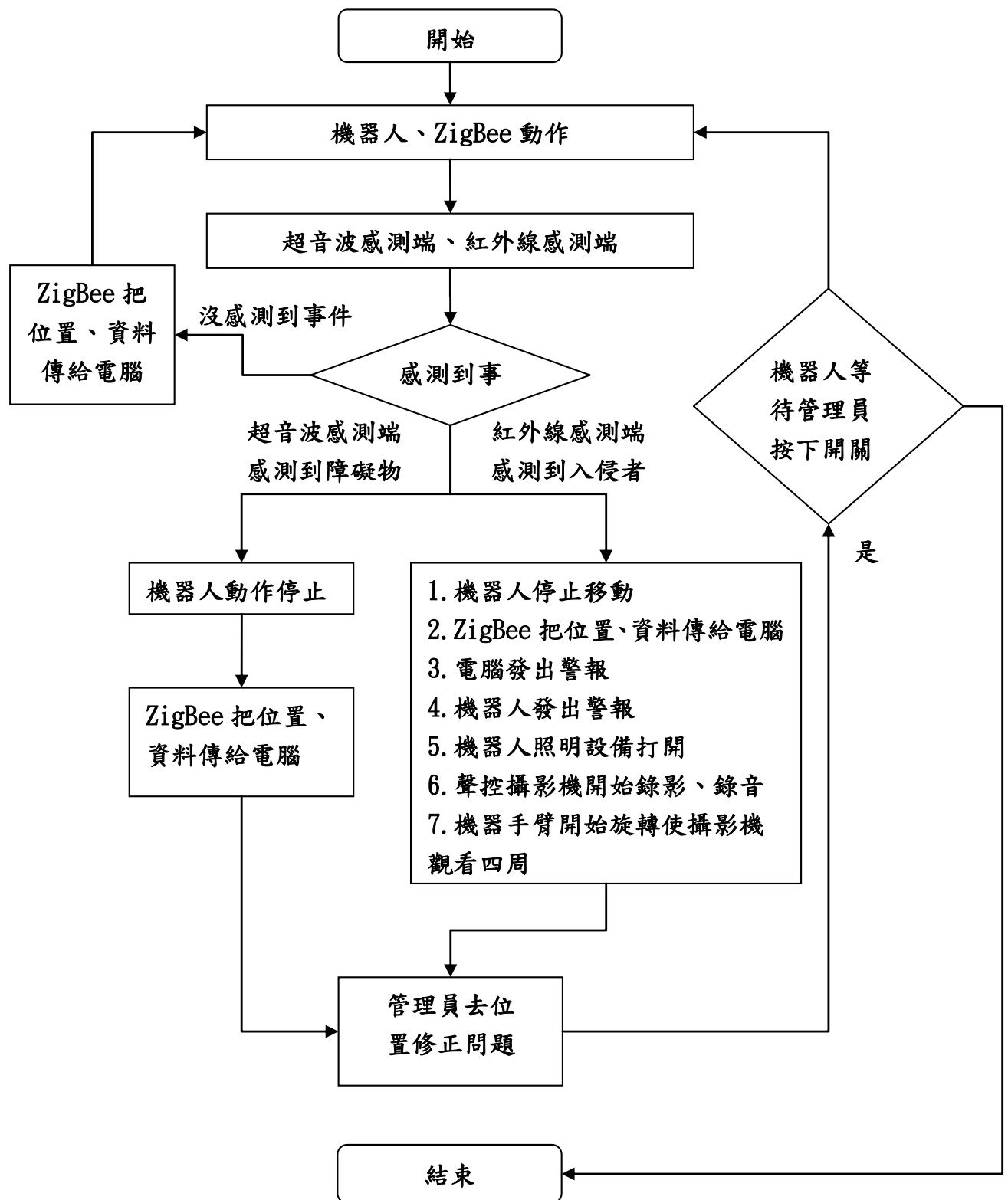


圖 4-22 系統動作流程圖

## 4.8 研究成果

首先一開始先把 ZigBee 套件分別裝在三角履帶機器人上還有分布在屋內的各個角落，並且在三角履帶機器人上裝上感測器，感測器分別為人體紅外線感測器和超音波感測器，因此，有了這兩種感測器，機器人就能夠避免撞到障礙物還有偵測入侵者，本研究假設的情境是在一個沒有人在室內的狀況，所以當有人入侵時，人體紅外線感測器會感測到人並且三角履帶機器人會自動停止，然後透過 ZigBee 把資料傳送到遠端電腦，通知管理員有人進入室內。

### 4.8.1 ZigBee UI 介面

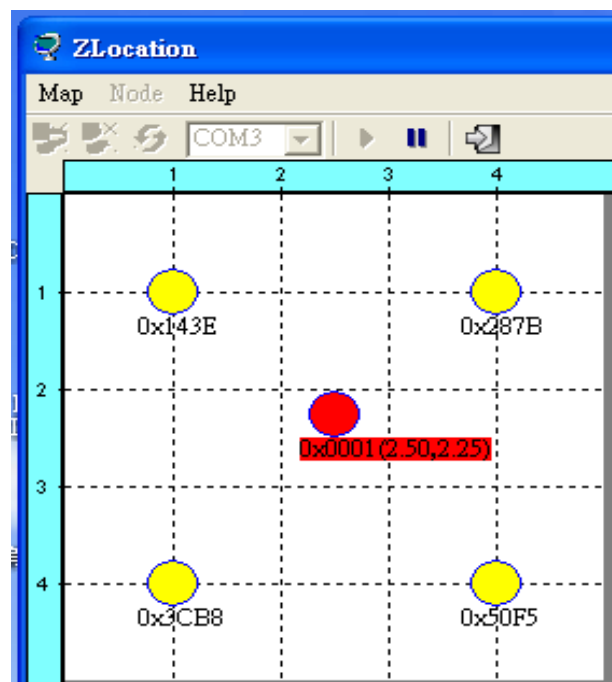


圖 4- 23 ZigBee UI 介面圖

### 4.8.2 ZigBee 定位誤差比較

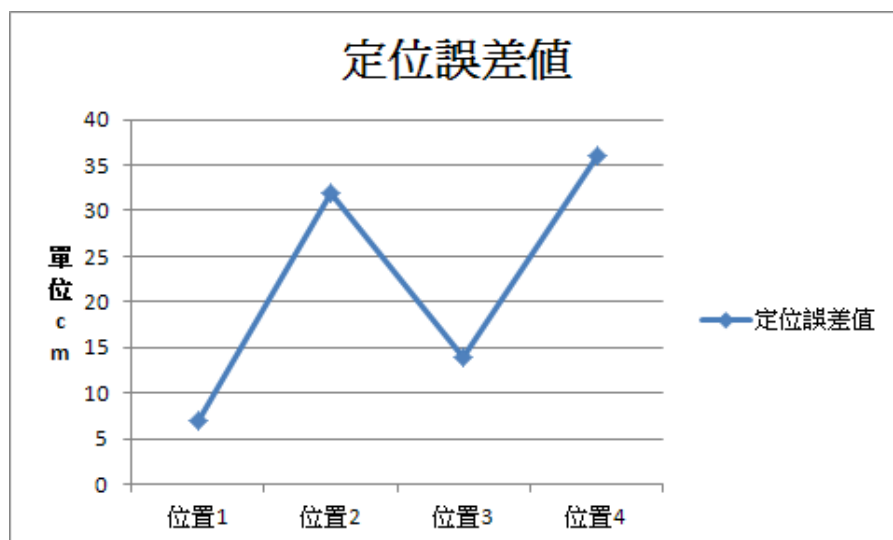
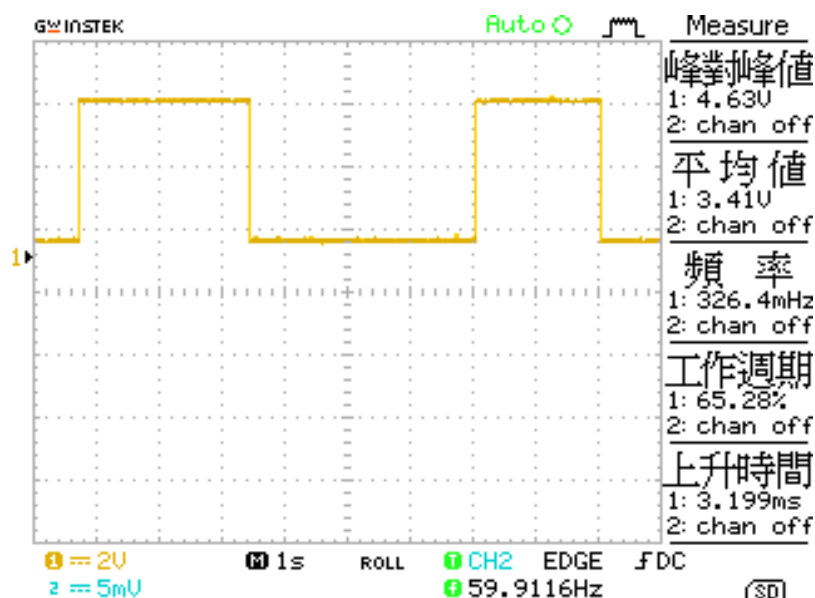


圖 4- 24 ZigBee 定位誤差比較圖

### 4.8.3 紅外線感測器波形



本研究利用人體紅外線感測器電路裡的繼電器加上額外電路去作控制，當沒有感測時，保持高電位，一旦感測到人，便會改變成低電位，如此一來，就可以進入中斷副程式。

圖 4- 25 感測端與接收端波形對照圖



#### 4.8.4 超音波感測器接收端波形

當超音波接收器偵測到接近物時，此時接收端大約有 5 伏特電壓。

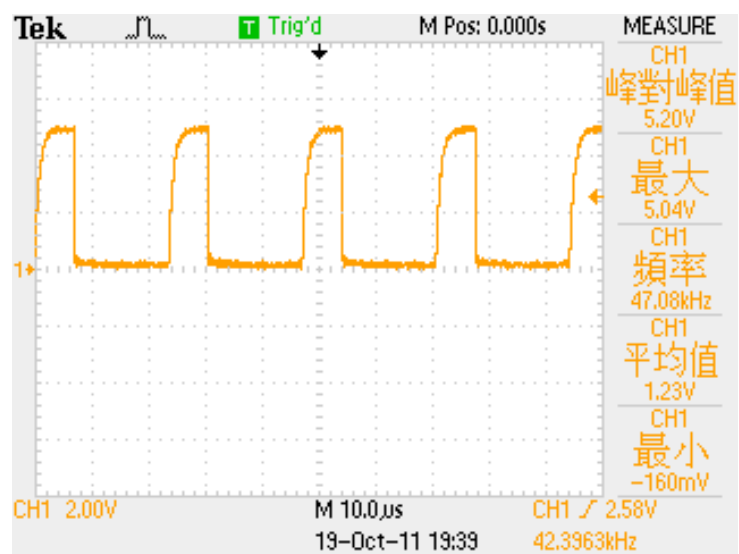


圖 4- 26 超音波感測器接收端波形

#### 4.8.5 履帶式機器人完成圖

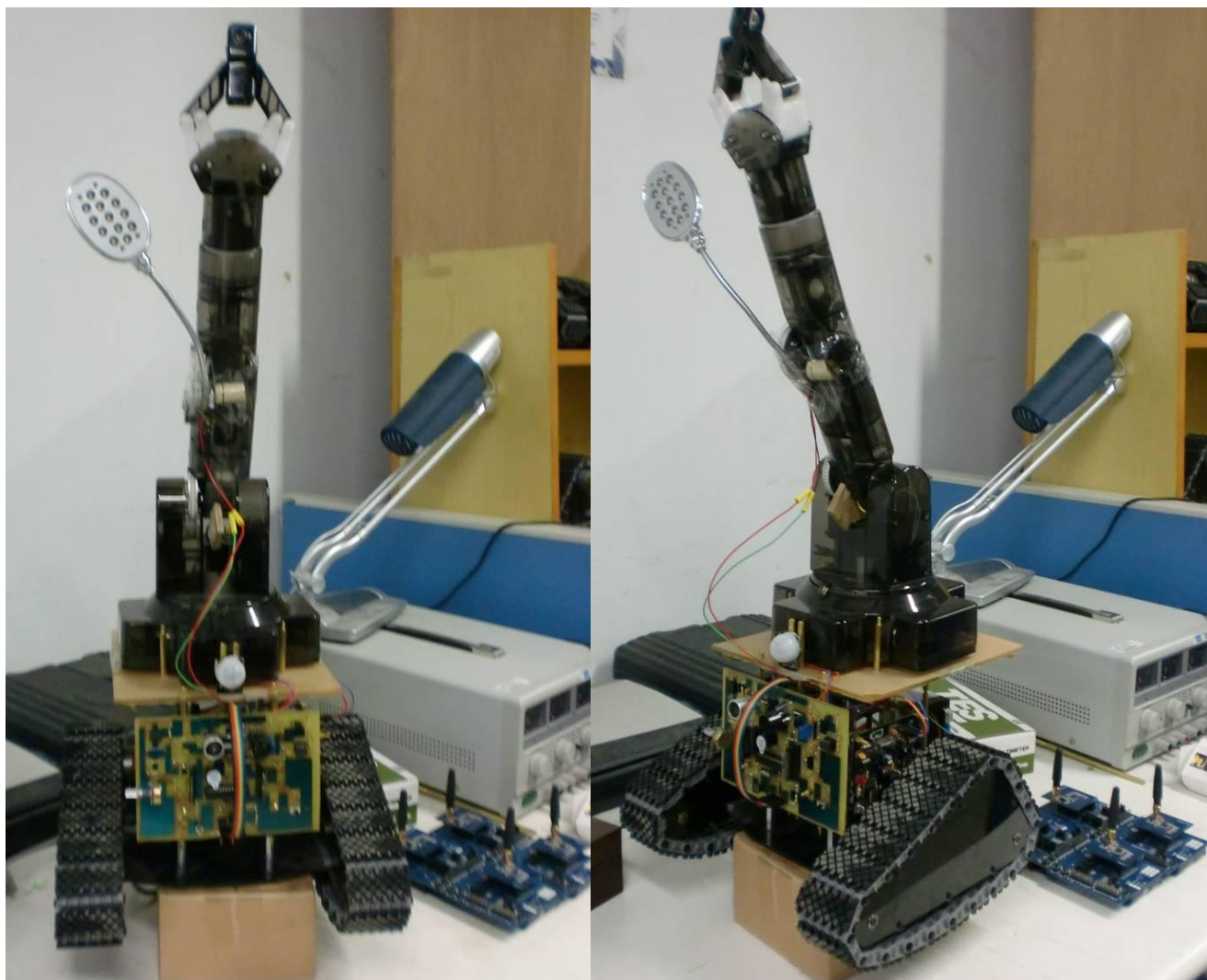


圖 4-27 履帶式機器人完成圖

## 第五章 結論

本研究是使用 ZigBee 無線定位感測並加裝上各種感測器，最後以微控制器在兩者之間做連結與溝通，無線感測網路應用於定位上，需使用大量的節點，以高佈置密度的方式才能夠定位精準，但是成本和計算量將會很高，希望未來能夠改良在低佈置密度，少量節點的情況下，應用於室內定位以及路徑管理上而能達到不錯的效益，增強穩定性，讓定位更為精準。就目前而言，本作品所規劃的功能似乎是相當具有完整性的，適合去在工廠或商業大樓等地方做監控管理，有了本作品以後晚上工廠管理員不需要在自己走來走去的檢查狀況，只要使用馬達驅動三角履帶機器人，利用微控制器讓它照著指定路線去跑，當人體紅外線感測器感測到人體的紅外線或溫度有變化時，輸出電壓會產生變化，這個資料將會藉由程式被傳送到電腦，讓管理員知道出問題的位置，一旦感測到問題之後，機器人就會停止動作，等待管理員過來解決問題並且重置機器人讓它繼續動作。

未來的研究目標不僅是改善 ZigBee 定位的穩定性與精準性，也期望能夠再繼續加裝新的功能，例如加裝網路攝影機可以更確切的監視到環境的狀況或是加裝機械手臂以支援各種狀況等等，理想的目標是達到完全不需要人去操作的自動化控制，如此就能減少人力和能源的浪費及工業安全事件的發生，因為人們總是往往超時的工作，致使集中力及精神方面下降，而使工作效率變差，相對的安全也就受到考驗，所以只要能將本作品完成與不斷的改善，必能成為一大福音。目前能做的就是努力將其完成，克服技術上的困難達到理想化，使其能達到完整性能。

## 參考文獻

- [1] ZigBee Alliance, *ZigBee Document 053474r07, Version 1.1.*。
- [2] ZigBee 無線定位開發系統 系統使用手冊 華亨科技股份有限公司。
- [3] ZigBee 無線定位開發系統 Z-Stack 定位開發指南 華亨科技股份有限公司。
- [4] ZigBee 無線定位開發系統 CC2430/2431 使用手冊 華亨科技股份有限公司。
- [5] 盧明智、盧鵬任，感測器應用與線路分析，全華科技圖書。
- [6] 王健幕，小型馬達控制用 IC，電子技術出版社。
- [7] 陳會安，C/C++程式設計範例教本，學貫行銷股份有限公司。
- [8] 李俊賢，無線感測網路與 ZigBee 協定簡介，NTP 電信國家型科技計畫，2006. 元月號/77 期。
- [9] IAR Systems, <http://www.iar.com/website1/1.0.1.0/518/2/>。
- [10] <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%B6%85%E9%9F%B3%E6%B3%A2>。
- [11] [http://eshare.stut.edu.tw/EshareFile/2010\\_4/2010\\_4\\_f89b9bdf.pdf](http://eshare.stut.edu.tw/EshareFile/2010_4/2010_4_f89b9bdf.pdf)。
- [12] HT46F49E datasheet。
- [13] 張勻碩,游順淳,詹文吉,陳永昕,“無線網路智慧居家監控”,修平技術學院電機工程系,2008。
- [14] [http://img.web66.com.tw/\\_file/2307/upload/MANUAL/A02-0004.pdf](http://img.web66.com.tw/_file/2307/upload/MANUAL/A02-0004.pdf)。
- [15] <http://www.lynxmotion.com/images/html/build115.htm>。
- [16] 吳聖倫,“多機器人應用於家庭保全系統”,國立雲林科技大學電機工程系碩士班,2008。
- [17] <http://www.icci.com.tw/ch/CH2/2307/MD/MD0000002307002362.html>。