

# 國立交通大學

## 電機與控制工程學系

### 碩 士 論 文

以 Particle Filter 實現分散式救援機器人之  
ZigBee 訊號定位系統



ZigBee Based Localization via Particle Filter on  
Distributed Rescue Robots

研 究 生：許正忠

指導教授：徐保羅 博士

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月

以 Particle Filter 實現分散式救援機器人之

ZigBee 訊號定位系統

RSSI Based Localization via Particle Filter on

Distributed Rescue Robots

研 究 生：許正忠

Student：Cheng-Chung Hsu

指導教授：徐保羅 教授

Advisor：Dr. Pau-Lo Hsu

國 立 交 通 大 學

電機與控制工程學系



A Thesis

Submitted to Department of Electrical and Control Engineering

College of Electrical and Computer Engineering

National Chiao-Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Electrical and Control Engineering

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月

# 以 Particle Filter 實現分散式救援機器人之

## ZigBee 訊號定位系統

研究生：許正忠

指導教授：徐保羅 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

### 摘要

本研究完成以 TI DSP2812 為核心之四軸馬達控制電路，以此電路整合感測、通訊以及運動控制介面，透過此驅動電路快速建立整個救援機器人硬體系統，並且設計遠端監控系統監控機器人感測資訊。此外透過此驅動電路版，可以讓有心想接觸機器人領域的初學者，藉由設計過的實驗課程，很快的了解機器人系統的硬體建立方式與感測器的運用，最後建立屬於自己的機器人平台。

本研究研發的救援機器人搭載透過以網狀拓撲結構的 ZigBee 網路無線介面通訊，除了通訊功能之外，附帶有接受訊號強度指標 (Receiver Signal Strength Index)，可以將訊號強度換算成距離，只要有兩個參考點，就可以利用 Trilateration 達到絕對定位的目標，但是以無線訊號強度定位的方式容易受到多重路徑與天線方向的影響，導致無線訊號強度產生誤差，導致定位誤差。另外目標物位置與參考點的相對位置，也會對定位的精準度產生影響，本研究以 Particle filter 融合機器人感測資訊，減低多重路徑與天線方向對定位造成的影響，並且與 Kalman filter 比較定位精準度，與未補償之定位結果相比定位誤差改善 73.9%，最後以繞行一方形的方式呈現定位的效果，與未補償之定位結果相比，能夠清楚看出機器人移動軌跡。

# RSSI Based Localization via Particle Filter on Distributed Rescue Robots

Student : Cheng-Chung Hsu

Advisor : Dr. Pau-Lo Hsu

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao-Tung University

## ABSTRACT

The 4-axis motion control card is designed in this thesis with the TI DSP2812 microcontroller to provide all motion control, sensor capture, and wireless communication for the rescue robot. With the 802.15.4 ZigBee wireless sensor network system, a built-in received signal strength indicator (RSSI) is adopted to estimate the location of the target by applying the Trilateration algorithm. Since the RSSI is affected heavily by the multi-path effect and antenna orientation which will cause serious localization error, the particle filter is adopted in this thesis with the fusion technique to significantly reduce the effects of multi-path and antenna orientation. Experiment results indicate that the localization accuracy applying the proposed particle filter fusion technique is greatly improved 73.9% compared with applying the Kalman filter only. Experimental results for the robot motion with a square contouring indicate that the proposed method can reliably estimate the real robot trajectory based simply on the RSSI of the ZigBee system.

## 誌謝

首先要感謝徐保羅 博士在碩士班這兩年的指導，在研究方面讓我了解如何去尋找問題、解決問題以及在研究上該有的態度與精神，使我能夠順利的完成碩士學位並且讓我了解研究是無止盡的，只要有興趣就會發現無窮的樂趣。以及三位口試委員蔡清池 博士、翁慶昌 博士、葉賜旭 博士給於我論文上的改進與指導，讓我所撰寫的論文更完備。

感謝實驗室的學長、同學與學弟：博士班學長：謝鎮洲學長、賴建良學長、幸從政學長、黃煒生學長，平時給我的指導與意見，讓我在研究遇到瓶頸的時候能夠給於我意見與指導，以及畢業學長林也強、劉醇偉、李建龍、鄧元銘、蔡雨坤、子強、任斌、煒智在學業上的互相幫助與鼓勵，平常日常生活中也帶給實驗室許多歡笑、度過了許多快樂的時光，讓我的碩士生涯留下了一個美好的回憶，在此獻上最誠摯的感謝



## 目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究背景與發展概況.....	2
1.3 問題定義.....	3
1.4 研究方法.....	3
1.5 論文架構.....	4
第二章 四軸馬達運動控制板與周邊電路.....	6
2.1 TI DSP F2812 介紹.....	7
2.2 DAC 輸出介面.....	8
2.3 Encoder 輸入介面.....	10
2.4 周邊通訊介面電路.....	12
2.5 四軸馬達運動控制板.....	14
2.5.1 四軸馬達運動控制板 IC 配置.....	14
2.5.2 四軸馬達控制板腳位功能定義.....	16
2.5.3 Stand Alone 功能之實現.....	27

2.6 四軸馬達運動控制板建構機器人系統.....	29
2.7 電子羅盤.....	31
2.8 ZigBee.....	31
<b>第 三 章 救援機器人之系統架構 .....</b>	<b>33</b>
3.1 救援機器人之通訊架構.....	33
3.2 人機介面模組化設計.....	34
3.2.1 RS232 Comport 介面 .....	35
3.2.2 機器人資訊顯示與虛擬地圖介面.....	35
3.2.3 遠端遙控介面.....	36
3.2.4 遠端影像監控系統.....	37
<b>第 四 章 ZigBee 無線訊號特性分析.....</b>	<b>38</b>
4.1 無線電波傳遞原理與特性.....	38
4.2 影響接受信號強度（Received Signal Strength Index）之因素.....	39
4.2.1 多重路徑效應.....	39
4.2.2 發射端與接收端之靈敏度差異.....	40
4.2.3 天線方向對信號強度之影響.....	43
<b>第 五 章 以接收信號強度為基礎之機器人定位實現 .....</b>	<b>46</b>
5.1 以無線信號強度為基礎之 Trilateration.....	46
5.2 Kalman Filter 應用於定位位置估測 .....	50
5.2.1 Kalman Filter 應用之定位實驗結果 .....	50
5.2.2 幾何相對位置對定位估測的影響.....	53
5.3 融合機器人感測資訊之定位.....	57
5.3.1 Particle Filter.....	57
5.3.2 Particle Filter 實現於單一機器人定位.....	60

5.4 定位實驗結果.....	68
5.4.1 Particle Filter 靜態定位實驗結果.....	68
5.4.2 Particle Filter 動態定位實驗結果.....	73
第 六 章 結 論 與 未 來 展 望 .....	78
6.1 結 論.....	78
6.2 未 來 展 望.....	79
參 考 文 獻.....	80





## 圖目錄

圖 2-1、硬體控制架構圖 .....	6
圖 2-2、F2812 系統方塊圖 .....	8
圖 2-3、DAC7625 系統方塊圖 .....	9
圖 2-4、DAC 電路圖 .....	10
圖 2-5、Encoder 原理 .....	10
圖 2-6、74LVTH245 系統方塊圖 .....	11
圖 2-7、Encoder 電路圖 .....	12
圖 2-8、MAX3232 電路圖 .....	12
圖 2-9、CAN 電路圖 .....	13
圖 2-10、四軸馬達運動控制板正面圖 .....	14
圖 2-11、四軸馬達運動控制反面圖 .....	14
圖 2-12、連接埠定義圖 .....	16
圖 2-13、CAN 連接端腳位圖 .....	18
圖 2-14、RS232 腳位圖 .....	18
圖 2-15、JTAG 腳位圖 .....	19
圖 2-16、電源輸入腳位圖 .....	20
圖 2-17、馬達控制輸出腳位圖 .....	21
圖 2-18、Encoder 輸入腳位定義圖 .....	22
圖 2-19、DSP IO 定義圖 .....	23
圖 2-20、ADC 腳位定義說明圖 .....	25
圖 2-21、CAN Bus 說明圖 .....	27
圖 2-22、F2812 開機程序 .....	27
圖 2-23、F2812 記憶體配置 .....	28
圖 2-24、機器人系統方塊圖 .....	29

圖 2-25、第一代機器人外觀圖 .....	29
圖 2-26、第二代機器人外觀圖 .....	29
圖 2-27、機器人系統方塊圖 .....	30
圖 2-28、第三代機器人外觀圖 .....	30
圖 2-29、電子羅盤 V2Xe.....	31
圖 2-30、SmartRF04.....	32
圖 2-31、CC2430DB .....	32
圖 3-1、救援機器人通訊架構 .....	33
圖 3-2、監控端系統功能方塊 .....	34
圖 3-3、RS232 Comport 介面 .....	35
圖 3-4、機器人資訊顯示與虛擬地圖介面 .....	36
圖 3-5、遠端遙控介面 .....	36
圖 3-6、遠端影像監控系統 .....	37
圖 4-1、非直射效應 .....	39
圖 4-2、多重路徑效應 .....	40
圖 4-3、實驗環境 .....	41
圖 4-4、CC2430 天線方向角度定義 .....	42
圖 4-5、SmartRF04 天線方向角度定義 .....	42
圖 4-6、SmartRF40 接收之訊號強度 .....	42
圖 4-7、CC2430DB 接收之訊號強度 .....	42
圖 4-8、CC2430 改變天線方向 .....	44
圖 4-9、CC2430DB 四個天線角度所得到之訊號分布圖 .....	44
圖 4-10、SmartRF04 改變天線方向 .....	45
圖 4-11、SmartRF40 四個天線角度所得到之訊號分布圖 .....	45
圖 5-1、定位示意圖 .....	46

圖 5-2、訊號衰減模型[15].....	47
圖 5-3、SmartRF40 接收之訊號累積分布圖 .....	48
圖 5-4、CC2430DB 接收之訊號累積分布圖 .....	48
圖 5-5、不同 n 值對應的距離 .....	49
圖 5-6、量測平均值與最符合曲線 $n=3.5$ .....	50
圖 5-7、實驗環境說明 .....	51
圖 5-8、機器人位於(1,1)四個不同方向定位結果.....	52
圖 5-9、四個方向誤差比較圖 .....	52
圖 5-10、模擬環境 .....	53
圖 5-11、2D 定位誤差圖說明 .....	54
圖 5-12、位置(1,1)到位置(1,4)之定位誤差 .....	55
圖 5-13、位置(0,1)到位置(0,4)之定位誤差 .....	55
圖 5-14、位置(-1,1)到位置(-1,4)之定位誤差 .....	56
圖 5-15、目標物位於兩個參考點中間.....	57
圖 5-16、目標物位於其中一個參考點一側 .....	57
圖 5-17、粒子產生階段 .....	61
圖 5-18、預測階段 .....	61
圖 5-19、第一組雜訊參數對粒子散佈的影響 .....	62
圖 5-20、第二組雜訊參數對粒子散佈的影響 .....	63
圖 5-21、對環境資訊感測 .....	64
圖 5-22、對環境資訊權重 .....	64
圖 5-23、速度權重 .....	65
圖 5-24、角度權重 .....	66
圖 5-25、重新取樣階段 .....	68
圖 5-26、實驗環境說明 .....	69

圖 5-27、每一個位置下，四個不同方向的定位誤差 .....	71
圖 5-28、未補償與 Kalman filter 補償過之 2D 定位誤差比較 .....	72
圖 5-29、未補償與 Particle filter 補償過之 2D 定位誤差比較 .....	72
圖 5-30、定位誤差累積機率分布圖 .....	73
圖 5-31、機器人移動軌跡分解圖 .....	74
圖 5-32、未經過補償與 Kalman filter 補償之定位軌跡圖 .....	75
圖 5-33、未經過補償與 Particle filter 補償之定位軌跡圖 .....	75
圖 5-34、未經過補償之無線定位軌跡圖 .....	76
圖 5-35、經過 Kalman filter 補償之定位軌跡圖 .....	76
圖 5-36、經過 Particle filter 補償之定位軌跡圖 .....	77
圖 5-37、連續繞方形軌跡圖 .....	77



## 表目錄

表 2-1、74LVTH245 真值表 .....	11
表 2-2、IC 配置說明表 .....	15
表 2-3、連接埠說明 .....	17
表 2-4、CAN 連接端腳位說明 .....	18
表 2-5、RS232 腳位圖說明 .....	18
表 2-6、JTAG 腳位說明 .....	19
表 2-7、電源輸入腳位說明 .....	20
表 2-8、馬達控制輸出腳位說明 .....	21
表 2-9、Encoder 輸入腳位說明 .....	22
表 2-10、DSP IO 說明 .....	23
表 2-11、DSP IO 說明 .....	24
表 2-12、ADC 腳位定義說明 .....	25
表 2-13、JUMPER 定義說明 .....	26
表 2-14、開機模式設定說明 .....	26
表 5-1、雜訊參數 .....	61
表 5-2、誤差改進率 .....	71

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

台灣位於太平洋地震帶，發生地震的機率非常高，有鑑於此，最近這幾年救難機器人技術發展快速，有許多種各式各樣的救援機器人被研發出來，救援機器人必須克服災區的崎嶇地形、並且搜救人員要能在安全的地方監控機器人的狀態，所以機構設計、與機器人之間的通訊、感測系統、機器人控制等相關技術必須要整合在一起，透過此整合的機器人技術，期望能夠達到在救難人員無法進入的環境中，機器人可以在此環境中搜索生還者，當生還者被發現時可以傳送聲音、影像資訊並且回傳生還者目前的位置，縮短搜索時間、增加人員生存機率。

本研究是以救援機器人研究主軸，首先著重在硬體驅動電路上的設計與建置，透過此驅動電路快速建立整個救援機器人硬體系統，並且設計遠端監控系統可以監控機器人感測資訊。此外透過此驅動電路版，可以讓有心想要接觸機器人領域的初學者，藉由設計過的實驗課程，很快的了解機器人系統的硬體建立方式與感測器的運用，最後建立屬於自己的機器人平台。

本研究研發的救援機器人搭載透過以網狀拓樸結構的 ZigBee 網路無線介面通訊，除了通訊功能之外，附帶有接受訊號強度指標 (Receiver Signal Strength Index, RSSI)，可以將訊號強度換算成距離，只要有兩個參考點，就可以利用 Trilateration 達到絕對定位的目標，本研究將著重在融合機器人感測之無線 Trilateration 之位置估測，以繞行一方形的方式展現定位的效果，最後期望可以提供準確的定位資訊給遠端的操作者，達成迅速的救援任務。

## 1.2 研究背景與發展概況

無線感測器網路 (Wireless Sensor Networks, WSN)。WSN 是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器(Sensors)所構成的網路系統，而元件之間的溝通則是採用無線的通訊方式。為了達到大量佈建的目的，無線感測網路必須具備低成本、低功耗、體積小、容易佈建，並具有感應環境裝置，可程式化、可動態組成等特性。

近年來，以無線感測網路所構成的定位系統相關研究發展非常蓬勃，主要分為兩大類，第一類為以距離估測為基礎，大致上分為四種類

1. 利用無線訊號發送時間標籤，計算無線訊號飛行時間得到距離、計算位置。
2. 利用無線訊號發送時間標籤，計算超音波飛行時間得到距離、計算位置[1]。
3. 利用天線陣列判斷接收到信號方位估算位置[2]
4. 利用接收信號強度模型，推算出距離並且計算位置。

這四種方式中，以接收訊號強度的方式所發展出來的定位架構最容易實現與計算，因為不需要額外的硬體設備，因此被廣泛的應用在很多場合，許多相關研究也建立在以接受信號強度為基礎的方式上[3]，其缺點在於無訊號強度容易受到環境干擾，造成的定位的不準確，另外針對天線方向性的問題也逐漸受到重視[4]，也有研究針對天線方向對定位的影響探討與改進[5]。

第二類為不需要距離估測，此類型的定位方式都建立在必須預先散佈無線感測網路節點的位置，透過未知節點會傳送封包，並且記錄封包經過的節點數，將已知的距離與節點數相乘得到最後距離[6]，或者是透過節點與節點之間的網路連結性，藉此判斷未知節點是位於那個一個已知節點附近[7]，優點在於對無線訊號強度的依賴性少，只依靠封包所傳送經過的節點數，與連結性作為距離計算的依據，缺點是需要大量建置已知節點，會已知節點數量會影響定位的準確度。以這兩種大分類為基礎的方式衍生出來的定位相關研究正在快速發展當中。

除此之外定位問題在機器人領域之中，一直是一個受到關注的重要議題，在



室外可以運用gps定位，但是gps往往受限成本高昂、高耗電，以及在室內無法定位的狀況下，無線感測網路這種低成本、低耗電量、易於大量散布的優點，使許多研究將無線定位的方式導入到機器人定位的研究當中，另外由於真實環境的複雜與感測器的誤差導致定位存在著某種程度的不確定性，因此以Bayesian機率為基礎的定位方式目前普遍應用在機器人定位的領域中[8-11]。

### 1.3 問題定義

救援機器人系統之建立：

由於機器人體積小，硬體電路所能夠擺放的空間有限，如何在有限的空間中，設計能夠整合所有感測器之資訊與機器人之運動控制，並且提供一個運算核心之硬體電路，以此電路為核心驅動機器人，是一個非常重要的課題。

以無線信號強度為基礎的定位方式所產生的問題：

以無線訊號強度定位的方式，好處是架構簡單，只要得到無線訊號強度對應的距離，透過 Trilateration 就可以計算出位置，但是無線訊號容易受到環境干擾，其中影響最嚴重的就是多重路徑效應，會導致訊號變強或變弱，另外影響直接訊號強度的一個因素是天線的方向，在相同距離下不同的天線方向會有不同的訊號強度，這些因素導致以無線訊號強度定位的方式產生誤差，期望透過融合機器人所感測之相關資訊，降低定位的誤差。

### 1.4 研究方法

機器人系統之建立：

1. 設計多軸馬達控制電路，所設計的電路板結合 TI DSP2812、Encoder 輸入介面與 DAC 輸出介面提供一個整合介面，能夠透過此塊驅動版為核心，接收周邊感測資料與四軸直流馬達驅動，並且將演算法實現在此控制版上，達到



機器人體積縮小，成本降低。

2. 設計人機介面，透過此人機介面，使用者可以藉由 802.11 與 ZigBee 回傳機器人之感測資訊，並且顯示機器人之位置於虛擬地圖介面上。由於演算法都實現在機器人上的硬體控制版，人機介面端只是單純的提供監控畫面，此種方式是屬分散式計算方式，每隻機器人都可以獨自執行演算法，計算定位資訊與相關的決策，而不需要依賴中控端將所有資訊蒐集完成，才能計算定位資訊或是其他演算法，因此機器人本身可以及時獲得所需要的資訊，根據這些資訊做出相對應的動作，動作的延遲時間較短、動作及時。

接收信號強度為基礎的定位方式：

1. 分析影響信號強度之因素，透過此分析清楚知道訊號強度產生誤差之因素。
2. 探討幾何位置對定位產生的影響，了解幾何位置不同對定位所產生的誤差。
3. 運用 Kalman Filter 減低定位誤差，但是 Kalman filter 並無法解決天線方向所產生的誤差，因此運用 Particle Filter 與機器人感測之相關資訊，更進一步降低定位誤差，並且透過機器人目前狀態資訊，對天線方向所造成的影響做補償，減低天線方向對定位的影響，最後控制機器人行走一個方形，驗證定位的準確性，證明透過本研究所提出的方法，可以有效降低定位誤差。

## 1.5 論文架構

本論文共分為六章，第一章旨在說明研究動機、目的，並且定義出研究的問題、研究方法及步驟。第二章為說明硬體控制版設計之設計概念、功能配置以及腳位的定義，最後以此硬體電路版建立機器人的硬體驅動電路與機器人上所搭載之感測器介紹。第三章為救援機器人架構設計與人機介面之實現，首先介紹整個機器人之通訊模式，並且設計遠端人機監控介面，透過此介面可以從遠端監控機器人的相關狀態。為了要運用無線訊號強度定位，首先必須對無線訊號的特性以

及會影響到無線訊號強度做了解，第四章為無線訊號特性之探討分析，藉以了解是什麼原因造成無線訊號強度的改變。第五章為運用 Kalman Filter 之定位結果，與目標物位置對定位估測的影響，同時為了彌補 Kalman Filter 之缺點，運用了 Particle Filter 改進定位的準確度，並且針對天線方向所造成的影響做補償。第六章中對本論文做一個結論，並提出未來可以再發展之方向。



## 第二章 四軸馬達運動控制板與周邊電路

機器人內部空間有限，如何最有效率的利用內部空間，扣除掉電池所佔去的空間，電路是最佔空間的其中一項因素，如何將所有需要的電路功能全部放置在機器人內部是需要經過設計與考慮的。本研究所設計的電路結合 TI DSP2812、Encoder 輸入介面與 DAC 輸出介面提供一個整合介面，能夠透過此塊驅動版為核心，接收周邊感測資料與四軸直流馬達驅動，更能達到電路體積的縮減，成本降低，系統方塊圖如圖 2-1 所示。

功能特色：

1. 以 TIDSP2812 為核心控制器
2. 獨立四軸 DAC 輸出介面
3. 獨立四軸 Encoder 輸入介面
4. 周邊通訊介面：SCI 兩組、SPI 兩組、CAN 一組

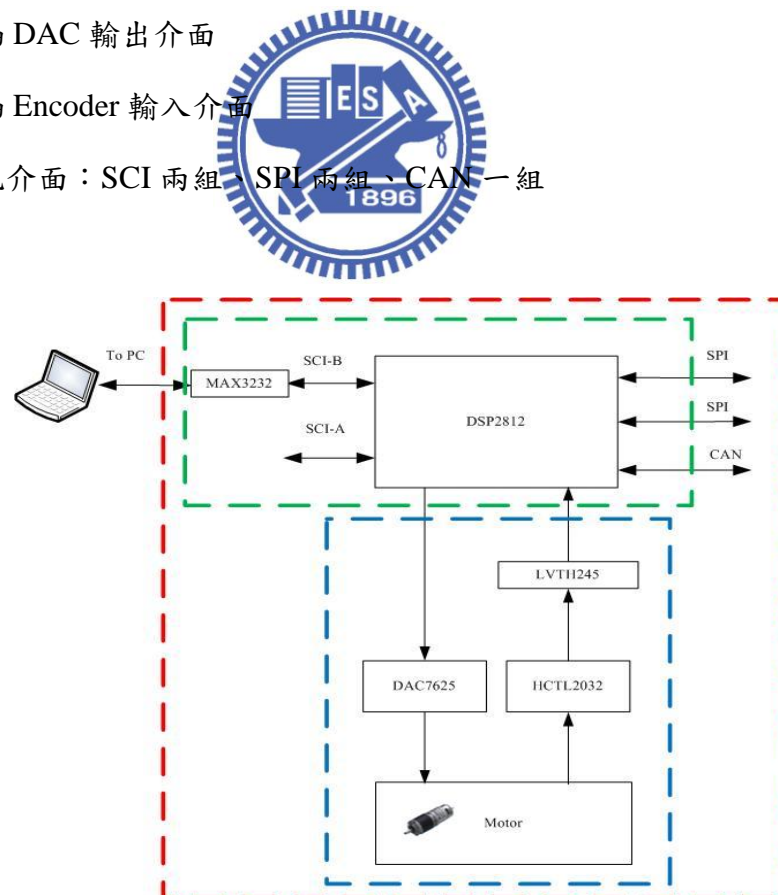


圖 2-1、硬體控制架構圖

## 2.1 TI DSP F2812 介紹

近年來由於超大型積體電路(VLSI)技術的不斷演進，使得 DSP 數位訊號為控器的運算速度及周邊處理功能大幅的改善，在行動通訊、資訊家電與馬達驅動等領域都廣泛的使用。因此本研究採用由德州儀器(Texas Instrument, TI)公司研發的 TMS320 F2812 DSP(簡稱 F2812)[12]作為控制核心。

應用 DSP 於運動控制系統，主要就是希望充分利用 DSP 強大的數學運算能力，而以最少的硬體周邊元件來實現馬達控制所需的功能。德州儀器公司所生產的 DSP 中，C2000 系列的硬體發展平台是專為控制應用最佳化而設計的，其中本研究所使用的 TI DSP 2812 晶片是此系列中目前最高等級的控制器，其特點在於擁有 150 MHz(6.67 ns cycle time)的快速處理能力，比 TI 早期出產的 DSP C24 快 7 倍，比傳統 8051 單晶片快約 150 倍。在核心部分，算數邏輯單元(ALU)、累積器(ACC)均採用 32 位元定點運算，為了提升數位訊號運算效能，以硬體方式實現乘法器、乘積位移器，可在一個指令週期(instruction cycle)內完成乘加運算。在整數計算方面，為減少數值計算所衍生如溢位(overflow)等問題，也採用硬體式的輸出倍率位移器來提高軟體執行的精確度。記憶體容量方面，F2812(on chip)主要擁有 128K\*16 Flash EEPROM、兩組 4K\*16 Single-Access RAM(SARAM)、一組 8K\*16 SARAM，並採用哈佛匯流排(Harvard bus)架構。較舊型的 DSP 大部分將程式、資料、I/O 記憶體獨自分離(定址位址重複)，但 F2812 卻走向單獨的記憶體空間，裡頭包含上三種記憶體，使用更為有彈性，也可減少不同記憶體之間搬動資料的指令集。其週邊主要有 16 個通道的 12 位元類比數位轉換器(ADC)，串列傳輸支援了四種常用的型式：SPI (Serial Peripheral Interface)、SCIs(Two Serial Communications Interface)、eCAN (Enhanced Controller Area Network)、McBSP (Multi-channel Buffered Serial Port)，最高可支援 56 個 GPIO(General-Purpose I/O)，其中 McBSP 提供模擬成 SPI 傳輸功能，系統方塊圖如圖 2-2 所示。

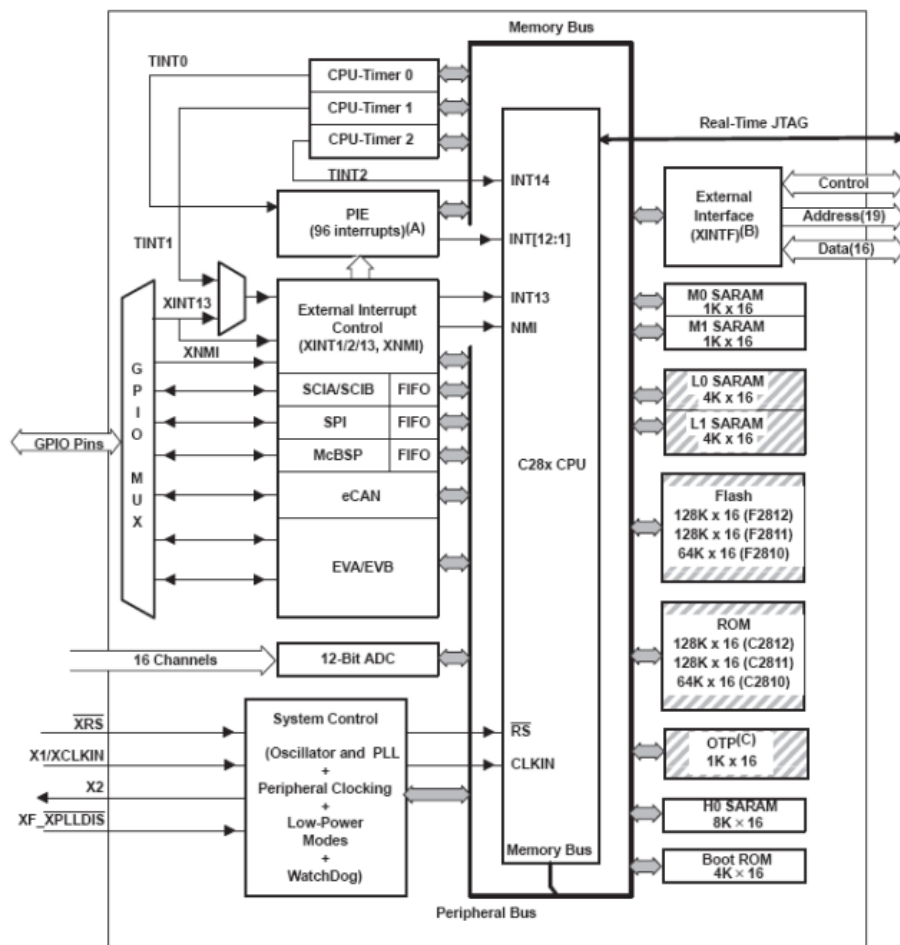


圖 2-2、F2812 系統方塊圖

## 2.2 DAC 輸出介面

由於 F2812 輸出為 0~3.3V 之數位訊號，但是馬達驅動器之輸入為 0~15V 之類比訊號，所以必須加入一 DAC 數位轉換類比電路，將數位訊號轉換成類比訊號，所使用的 IC 為 Burr-Brown 公司出產專用於馬達控制用途之 DAC 7625，系統方塊圖如圖 2-3 所示。

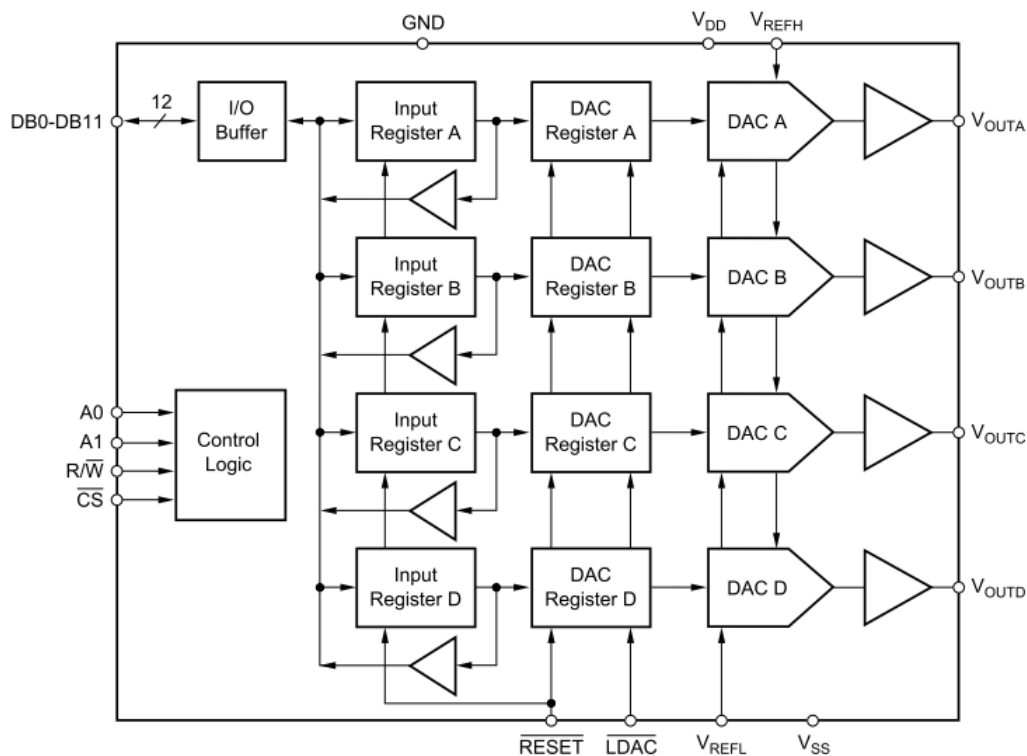


圖 2-3 · DAC7625 系統方塊圖

DAC7625 具有下列功能：

1. 可選擇單極性與雙極性運作模式
2. 穩定時間約為 10us
3. 12 位元解析度
4. 數位資料並列輸入
5. 支援 4 通道且同步輸出

利用選擇通道接腳 A1、A0，依序將數位值由 DB11~DB0 寫入，四軸的數值會存放在所屬的暫存器中，等待 LDAC 控制接腳變成低電位時，才會同時將轉換為類比訊號輸出。其中  $V_{REFH}$  與  $V_{REFL}$  個代表參考電壓的上下限值，設為 +2.5V 與 0V，D 則是輸入的數位值，如(2-1)所示。

$$V_{out} = V_{REFL} + \frac{(V_{REFH} - V_{REFL})D_{value}}{4096} \quad (2-1)$$

2.5V 電壓的產生透過調整可變電阻之阻值，由 LM336 產生。由於驅動器操作在

## 2.3 Encoder 輸入介面

State	A	B
S1	High(1)	Low(0)
S2	High(1)	High(1)
S3	Low(0)	High(1)
S4	Low(0)	Low(0)

本研究所使用的 Encoder 輸入設計為四組，所使用的 IC 為 HCTL2032，



HCTL2032 主要特色如下：

1. 最高 33Mhz 的時脈頻率
2. 支援雙軸同時計數
3. 支援 32 位元上下計數
4. 高雜訊免疫：史密特觸發器、數位雜訊濾波器
5. 8 位元並列式數值輸出

HCTL2032 的輸出訊號為 5V 系統，F2812 為 3.3V 系統，所以必須加入一電壓準位轉換 IC，否則會對 F2812 造成傷害。所使用的電壓準位換轉換 IC 為 74LVTH245，如圖 2-6 所示，輸入輸出對應真值表如表 2-1 所示。

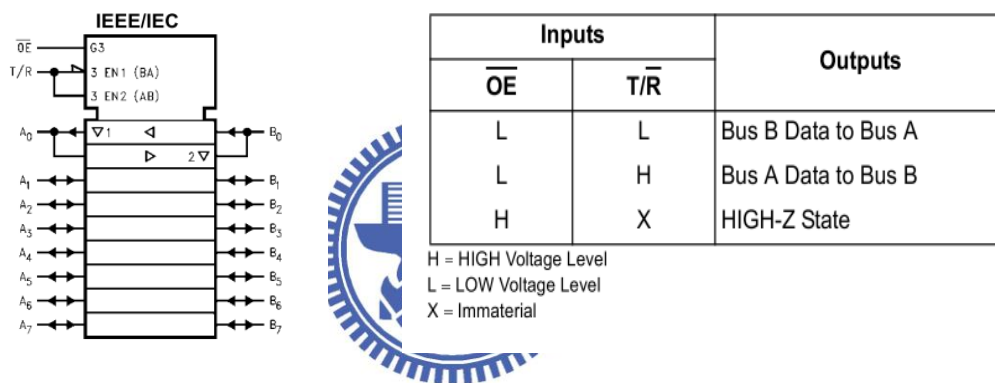


圖 2-6、74LVTH245 系統方塊圖

表 2-1、74LVTH245 真值表

另外在馬達 Encoder 輸入地方必須外接提昇電阻，才可以正確的接收到馬達回授，Encoder 相關電路，如圖 2-7 所示。



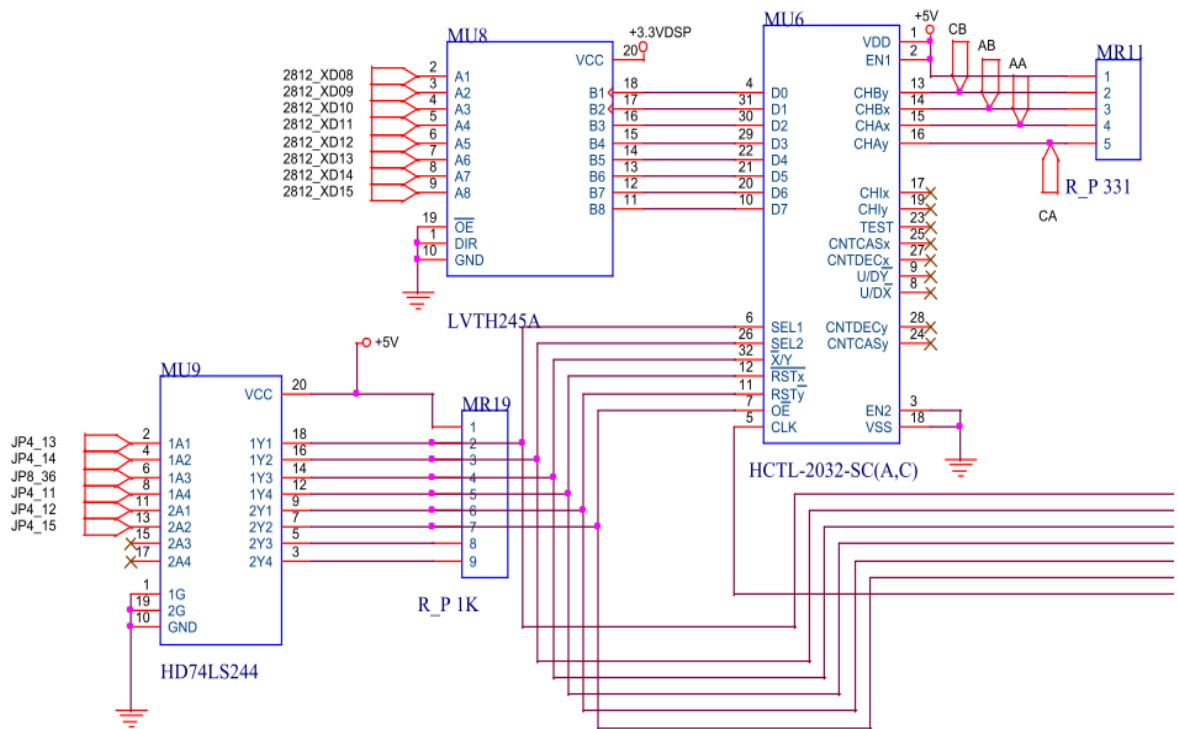


圖 2-7、Encoder 電路圖

## 2.4 周邊通訊介面電路

透過 MAX3232 之 RS232 電壓轉換 IC，建立與電腦之間溝通介面，可以讓使用者更有彈性的開發以電腦為核心之演算法。

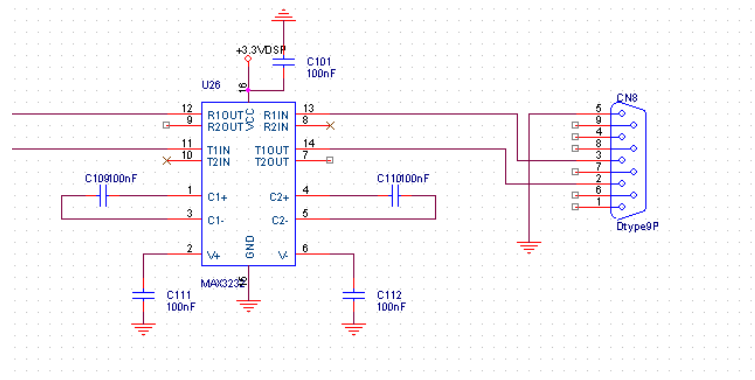


圖 2-8、MAX3232 電路圖

透過 IC VD232 建立 CAN 通訊介面，建立與其他也具有 CAN 通訊介面之機器的通訊管道。

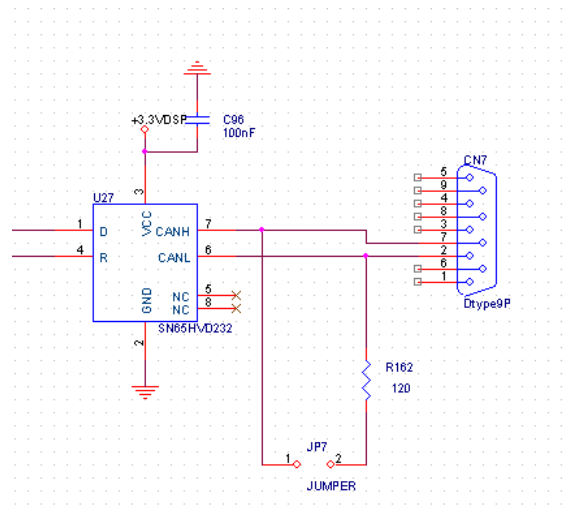


圖 2-9、CAN 電路圖



## 2.5 四軸馬達運動控制板

本小節將分別說明控制板上的 IC 配置與每一個腳位的定義，並且說明如何實現 F2812 之 Stand Alone 之功能

### 2.5.1 四軸馬達運動控制板 IC 配置

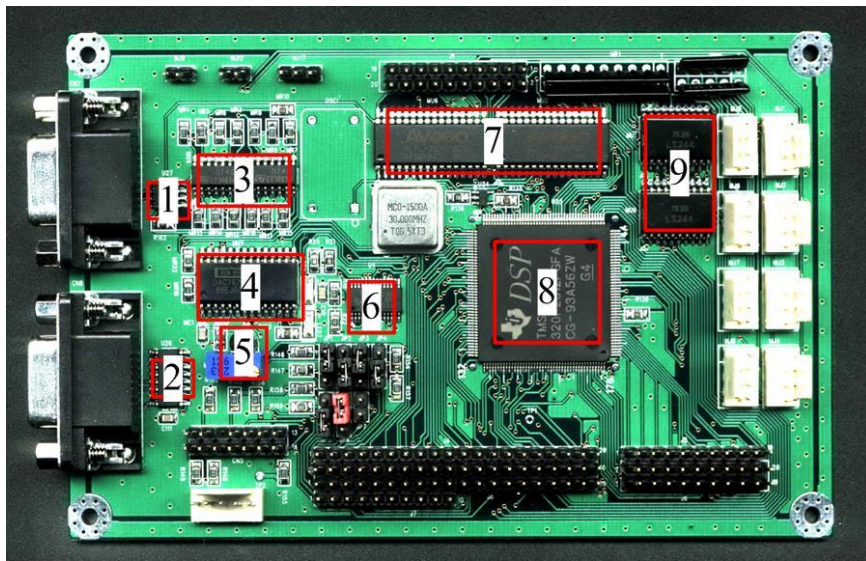


圖 2-10、四軸馬達運動控制板正面圖

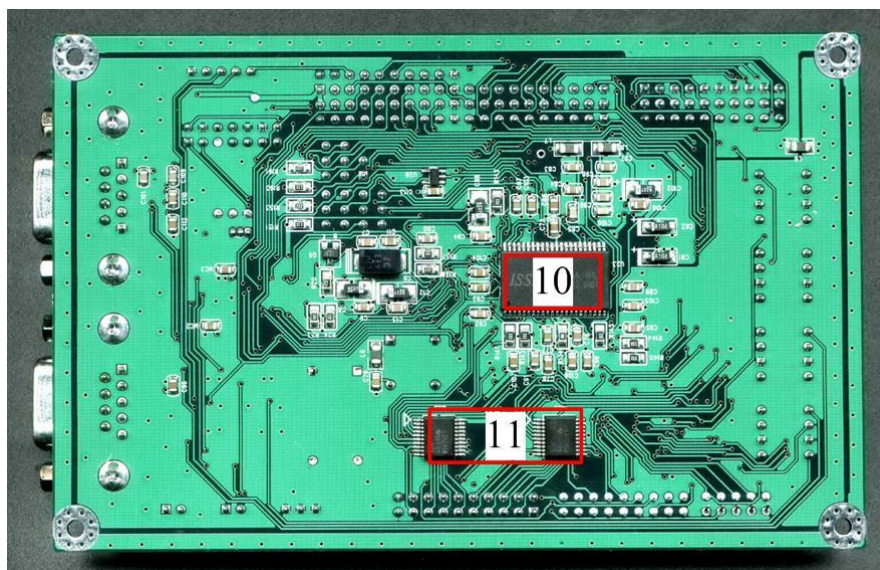
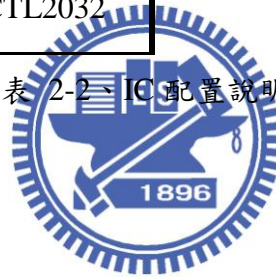


圖 2-11、四軸馬達運動控制反面圖

IC 配置說明：

編號	IC 名稱	編號	IC 名稱
1	VP232	8	F2812
2	MAX3232	9	74LS244
3	TL074	10	IS61LV6416
4	DAC7625	11	74LVTH245A
5	LM336		
6	TPS767D301		
7	HCTL2032		

表 2-2、IC 配置說明表





## 2.5.2 四軸馬達控制板腳位功能定義

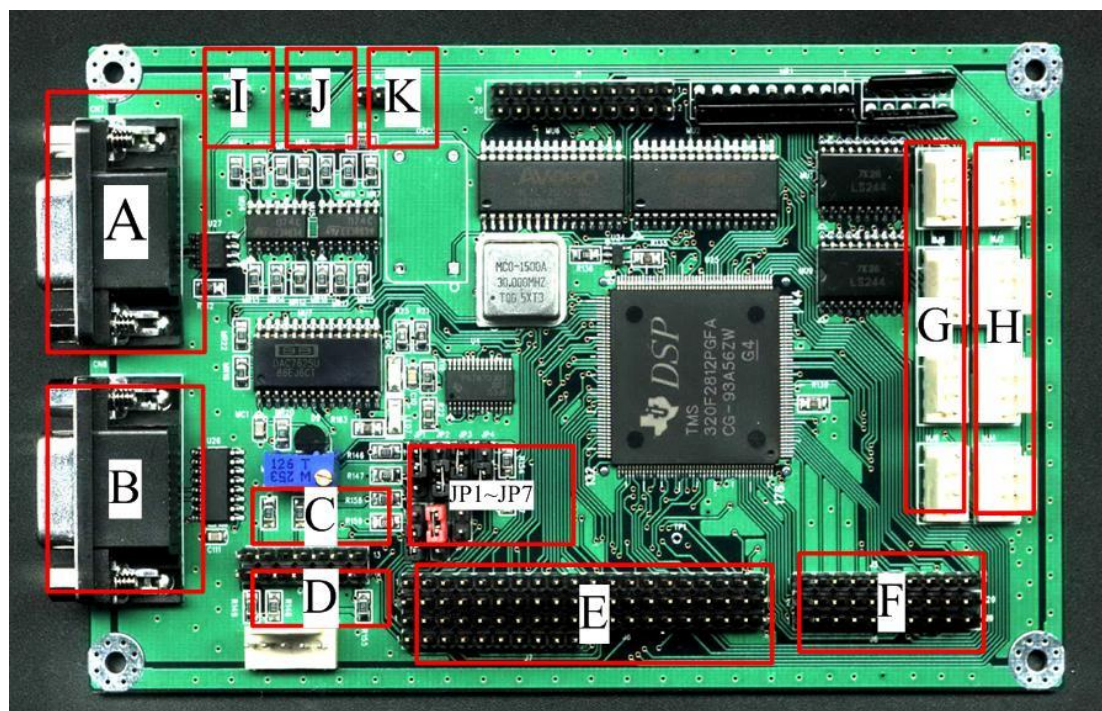


圖 2-12、連接埠定義圖

連接埠說明：

	名稱	符號	說明
A	CAN 連接端	CN7	CAN
B	RS232 連接端	CN8	RS232
C	F2812 程式燒入端	CN5	與電腦連線，燒入程式
D	電源輸入與 Relay	MPOWER	控制板電源輸入
E	DSP I/O	J4、J7、J8	F2812 IO 腳，包含可自行定義之 IO 腳
F	ADC	J5、J6	類比轉數位輸入
G	Encoder 輸入	MJ5、MJ6、MJ7	輸入 Encoder 之數

		MJ8	值
H	馬達電壓輸出與 方向控制	MJ1、MJ2、MJ3 MJ4	輸出電壓控制轉 速與方向
I	5V	MJ12	電源輸出
J	3.3V	MJ9	電源輸出
K	GND	MJ13	GND

表 2-3、連接埠說明



# CN7: CAN 連接端

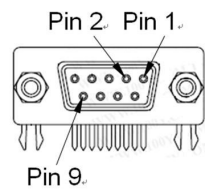


圖 2-13、CAN 連接端腳位圖

Pin no.	信號名稱	符號	說明
1, 3~6, 8~9	未使用		
2	CANL	<i>CANL</i>	Low bus output
7	CANH	<i>CANH</i>	High bus output

表 2-4、CAN 連接端腳位說明

# CN8：RS-232 連接端



圖 2-14、RS232 腳位圖

Pin no.	信號名稱	符號	說明
1, 4, 6~9	未使用		
2	Receiver	<i>RX</i>	PC 接收 DSP 的資訊。
3	Transmitter	<i>TX</i>	PC 傳送資訊給 DSP。
5	接地	<i>AG</i>	信號的接地。

表 2-5、RS232 腳位圖說明

此組 RS232 是透過 MAX232 連接到 DSP 的 SCI-B，可直接與電腦做通訊。

CN5：F2812 程式燒錄端

1	3	5	7	9	11	13
2	4		8	10	12	14

圖 2-15、JTAG 腳位圖

Pin no.	信號名稱	Pin no.	信號名稱
1	TMS	2	TRST-
3	TDI	4	GND
5	PD(+5V)	6	No pin
7	TDO	8	GND
9	TCK-RET	10	GND
11	TCK	12	GND
13	EMU0	14	EMU1

表 2-6、JTAG 腳位說明



MPower 電源輸入:

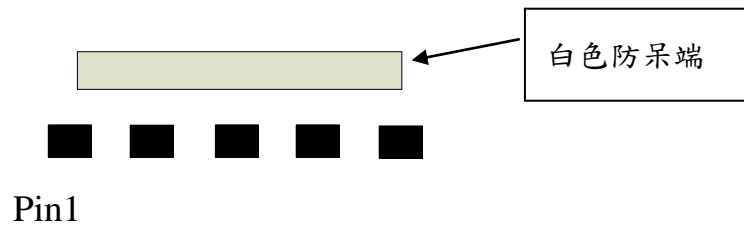


圖 2-16、電源輸入腳位圖

Pin no	符號	特性	說明
1	GND		GND
2	+5V	電源輸入	提供所有晶片驅動電壓
3	-15V	電源輸入	馬達電壓
4	+15V	電源輸入	馬達電壓
5	Relay	輸出	此腳位必須要為 On，馬達才有電壓 On：5V Off:0V

表 2-7、電源輸入腳位說明

MJ1 MJ2 MJ3 MJ4 馬達控制輸出

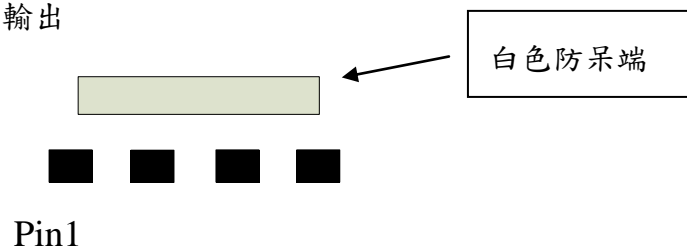


圖 2-17、馬達控制輸出腳位圖

Pin no	符號	特性	說明
1	+15V	電源輸入	馬達電壓
2	GND		GND
3	Direction	輸出	馬達旋轉方向 正轉：0V 反轉：5V
4	Vout	輸出	馬達速度：0~13.5V

表 2-8、馬達控制輸出腳位說明

MJ5 MJ6 MJ7 MJ8 Encoder 輸入

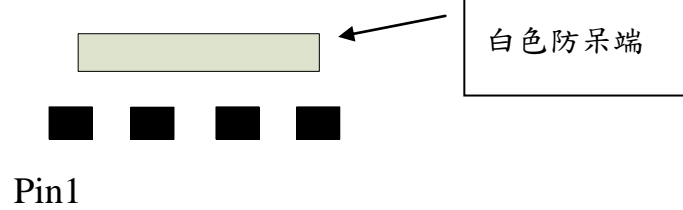


圖 2-18、Encoder 輸入腳位定義圖

Pin no	符號	特性	說明
1	B	輸出	EncoderB 相
2	A	輸出	EncoderA 相
3	GND		
4	5V	電源輸入	Encoder 電源

表 2-9、Encoder 輸入腳位說明



# DSP IO 腳

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	J4
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	J8
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	J7
1	2	3	4	5	6	7														

圖 2-19、DSP IO 定義圖

J4 Pin #	J4 Signal	J8 Pin #	J8 Signal	J8 Pin #	J8 Signal
1	+3.3V/+5V/NC *	2	+3.3V/+5V/NC *	1	+3.3V/+5V/NC *
2	XINT2/ADCSOC	4	SCIRXDA	3	SCITXDA
3	MCLKXA	6	CAP1/QEP1	5	XINT1n/XBIO <sub>n</sub>
4	MCLKRA	8	CAP3/QEP1	7	CAP2/QEP2
5	MFSXA	10	PWM2	9	PWM1
6	MFSRA	12	PWM4	11	PWM3
7	MDXA	14	PWM6	13	PWM5
8	MDRA	16	T2PWM/T2CMP	15	T1PWM/T1CMP
9	No connect	18	TCLKINA	17	TDIRA
10	GND	20	GND	19	GND
11	CAP5/QEP4	22	XINT1N/XBIO <sub>n</sub>	21	No connect
12	CAP6/QEP12	24	SPISOMIA	23	SPISIMOA
13	T3PWM/T3CMP	26	SPISTEA	25	SPICLKA
14	T4PWM/T4CMP	28	CANRXA	27	CANTXA
15	TDIRB	30	PWM7	29	XCLKOUT
16	TCLKINB	32	PWM9	31	PWM8
17	XF/XPLLDIS <sub>n</sub>	34	PWM11	33	PWM10
18	SCITXDB	36	CAP4/QEP3	35	PWM12
19	SCIRXDB	38	T3CTRI <sub>P</sub> /PDPINTB <sub>n</sub>	37	T1CTRI <sub>P</sub> /PDPINTA <sub>n</sub>
20	GND	40	GND	39	GND

表 2-10、DSP IO 說明

<b>J7 Pin #</b>	<b>J7 Signal</b>
1	C1TRIPn
2	C2TRIPn
3	C3TRIPn
4	T2CTRIPn/EVASOCn
5	C4TRIPn
6	C5TRIPn
7	C6TRIPn
8	T4CTRIPn/EVBSOCn
9	No connect
10	GND

表 2-11、DSP IO 說明

灰色標示區塊，表示此腳位已經作為外部周邊電路控制使用，剩餘腳位可以依需求使用 GPIO 功能，或是原本的 Function 功能。



ADC 腳位定義

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	J5
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	J6
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	

圖 2-20、ADC 腳位定義說明圖

J5 Pin #	Signal	J6 Pin #	Signal	J6 Pin #	Signal
1	ADCINB0	2	ADCINA0	1	GND
2	ADCINB1	4	ADCINA1	3	GND
3	ADCINB2	6	ADCINA2	5	GND
4	ADCINB3	8	ADCINA3	7	GND
5	ADCINB4	10	ADCINA4	9	GND
6	ADCINB5	12	ADCINA5	11	GND
7	ADCINB6	14	ADCINA6	13	GND
8	ADCINB7	16	ADCINA7	15	GND
9	ADCREFM	18	VREFLO *	17	GND
10	ADCREFP	20	No connect	19	GND

表 2-12、ADC 腳位定義說明

## JUMPER 定義

Jumper no.	Size	功能	初始位置
JP1	1×3	XMP/MCn	1-2
JP2	1×3	PLL Disable	2-3
JP3	1×3	Boot Mode 0	2-3
JP4	1×3	Boot Mode 1	1-2
JP5	1×3	Boot Mode 2	2-3
JP6	1×3	Boot Mode 3	2-3
JP7	1×2	CAN Bus 的終端連接	Not connected

表 2-13、JUMPER 定義說明

## 開機模式設定



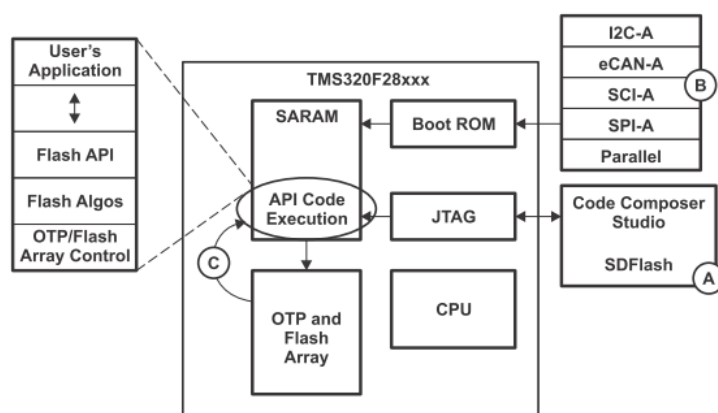
JP6, BOOT3 SCITXDA	JP5, BOOT2 MDXA	JP4, BOOT1 SPISTEA	JP3, BOOT0 SPICLKA	MODE
1	×	×	×	FLASH
0	1	×	×	SPI
0	0	1	1	SCI
0	0	1	0	H0(default)
0	0	0	1	OTP
0	0	0	0	PARALLEL

表 2-14、開機模式設定說明



2-21 CAN Bus 說  
之實現  
程式將會載入 SRAM

圖 2-21、CAN Bus 說明圖





flash 執行速度相較於 SRAM 慢，若是有對時間精度非常要求的程式，必須預先載入 SRAM 中，否則經過長時間累積時間會產生些微的誤差。另外 flash 記憶體為了加快存取速度，將 flash 記憶體空間劃分為 A-F 區塊，若是經過編譯的程式碼容量過於龐大，會產生無法寫入於單一區塊的問題，必須在編譯時將程式碼切割，分別儲存在不同的記憶體區塊中，如圖 2-23 所示。

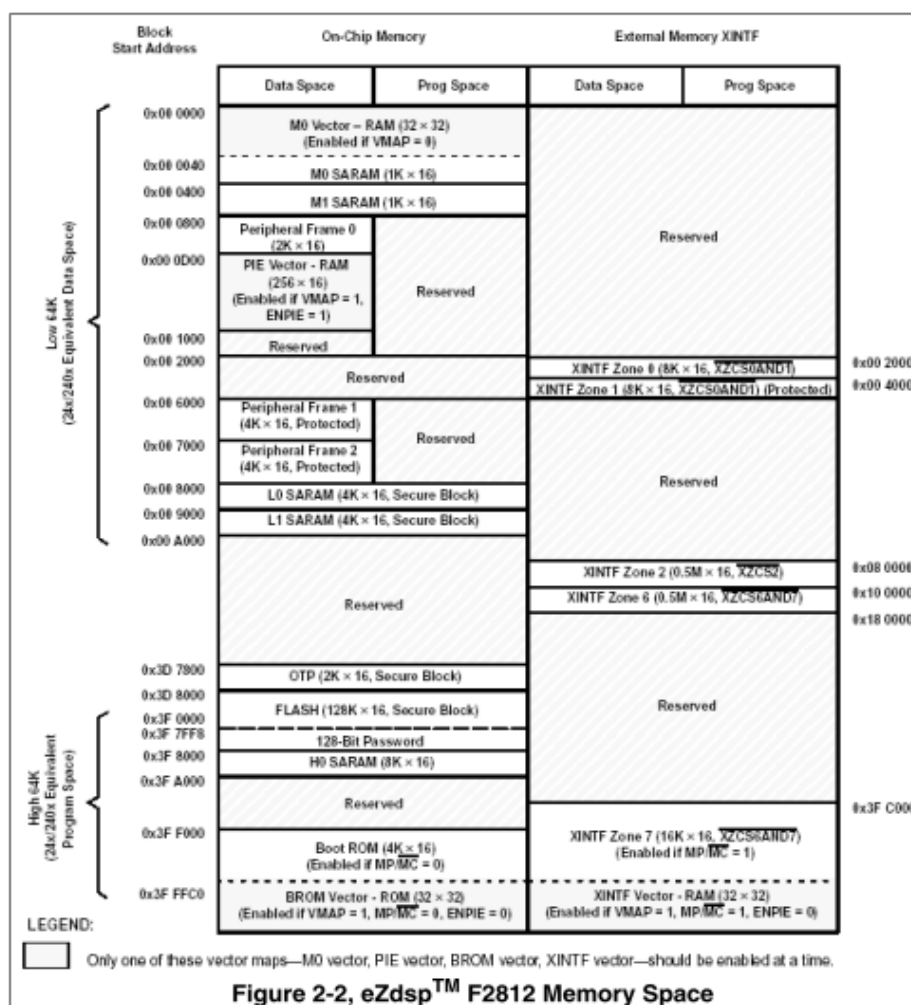


圖 2-23、F2812 記憶體配置

## 2.6 四軸馬達運動控制板建構機器人系統

藉由所設計的四軸馬達運動控制板，建構本研究所使用的機器人硬體，第一代機器人是初步設計概念的實現，機構由壓克力構成，電路功能也尚未完整，如圖 2-25 所示。以下將介紹目前所建構的第二代機器人與第三代機器人。

### 1. 第二代機器人：

所設計的控制版為底層馬達運動控制與感測接收核心，使用 SPI 介面接收電子羅盤的角度值，以及 SCI 介面與 ZigBee 做資訊交換。另外以筆記型電腦為上層控制器，連接雷射掃描器與攝影機，與底層控制版以 SCI 做溝通。此機器人演算核心在筆記型電腦上，因為雷射掃描器所得到的資料量非常龐大，F2812 無法負荷，系統方塊圖，如圖 2-24 所示，機器人外觀如圖 2-26 所示。

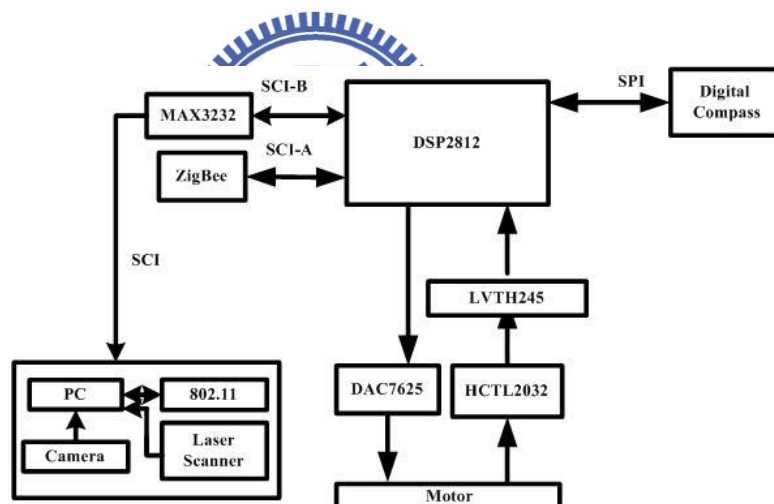


圖 2-24、機器人系統方塊圖



圖 2-25、第一代機器人外觀圖



圖 2-26、第二代機器人外觀圖

## 2. 第三代機器人：

所設計的控制版為底層馬達運動控制與感測接收核心，使用 SPI 介面接收電子羅盤的角度值、以 SCI 介面接受經由 8051 處理過之超音波測距，以及透過 SCI 介面與 ZigBee 做資訊交換。另外以具有 802.11 無線通訊功能之 DSP6437 做為影像處理的核心。DSP6437 與控制版之間則是透過 CAN 傳輸相關命令。此機器人的主要控制核心為 F2812，大量影像資訊已經透過 DSP6437 處理，系統方塊圖，如圖 2-27 所示，機器人外觀如圖 2-28 所示。

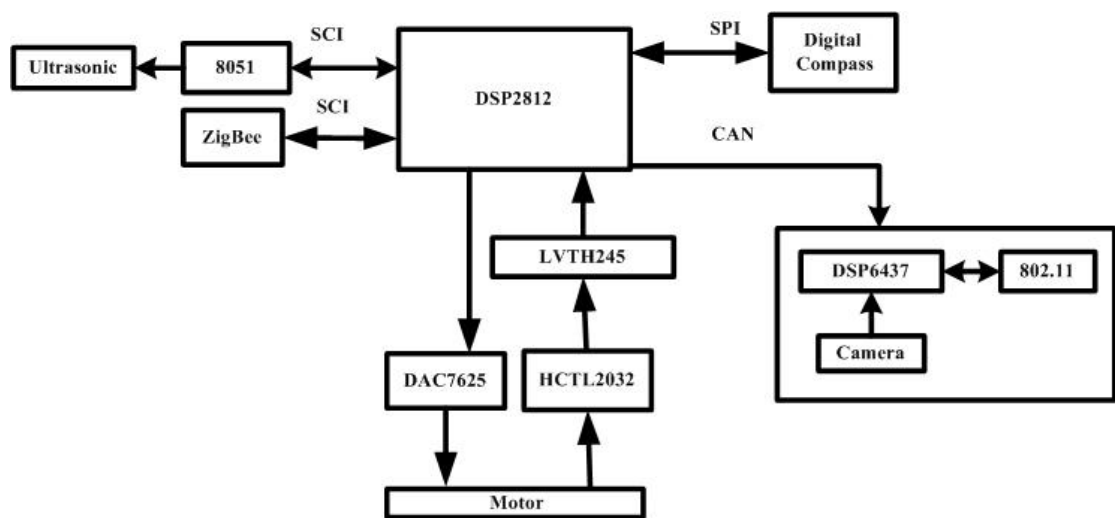


圖 2-27、機器人系統方塊圖

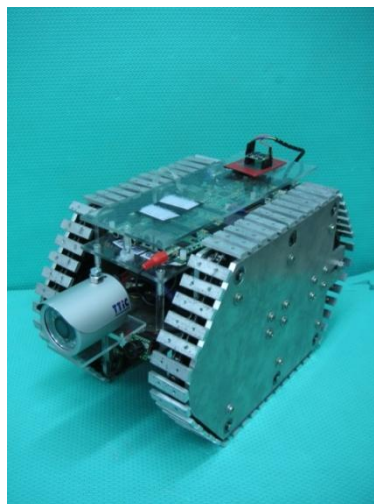


圖 2-28、第三代機器人外觀圖

## 2.7 電子羅盤

本研究所使用的電子羅盤為 PNI 公司所生產的 V2Xe

主要特色如下：

1. 0.01 的高解析度
2. 2RMS 的高精確度
3. 多重感測功能（方向與磁場大小）
4. 大範圍的磁場量測能力（1000uT）
5. 採非揮發記憶，可儲存校正值與功能設定
6. SPI 傳輸系統

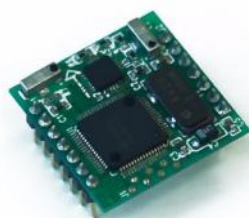


圖 2-29、電子羅盤 V2Xe

## 2.8 ZigBee

ZigBee 的命名，源自於蜜蜂在發現花粉時，展現如同 ZigZag 形狀的舞蹈。看似隨意在跳的字形舞，實際上是將有花和蜂蜜的地方，正確地傳達給其他蜜蜂同伴。ZigBee 主要是由 IEEE 802.15.4 小組與 ZigBee Alliance 組織，分別制訂硬體與軟體標準。它是一種低傳輸速率（250kbps）、短距離（一般約為 50-100 m，依耗電量之不同，可提昇至 300m）、低消耗功率、架構簡單的技術。目前制定的頻段為全球的 2.4GHz ISM 頻段、美國的 915MHz 頻段，以及歐洲的 868MHz 頻段。在 2.4GHz 的 ISM 頻段，可使用的通道數為 16 個；在 915MHz 的 ISM 頻段，可使用的通道數為 10 個；在歐洲的 868MHz 頻段，可使用的通道數為 1 個。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，以及個人醫療照護等功能，逐漸成為產業共通的短距離無線通訊技術之一。ZigBee聯盟以感測與控制為主要應用，而定義出簡單、成本低，又容易實現的無線通訊標準，本研究所使用的ZigBee為SmartRF04與CC2430DB，如圖 2-30、圖 2-31所示。



圖 2-30、SmartRF04

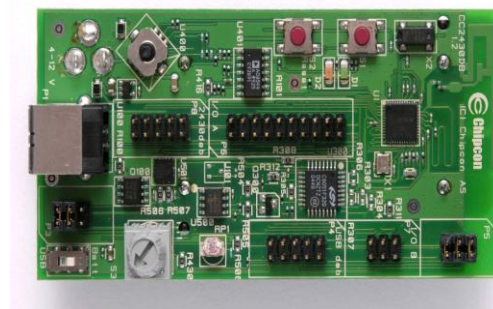


圖 2-31、CC2430DB



### 第三章 救援機器人之系統架構

#### 3.1 救援機器人之通訊架構

本研究建立一個以網狀網路為基礎之通訊架構，分別使用 SmartRF04 與 CC2430DB，SmartRF04 作為參考點固定不動，CC2430DB 作為移動節點放置在機器人上，CC2430DB 與 SmartRF04 之間互相傳遞訊息，以獲得無線訊號強度作為 Trilateration 定位使用，同時機器人也會將機器人本身所感測到的相關資訊，透過 CC2430DB 傳送回與 SmartRF04 相連之電腦監控端。機器人與機器人之間也透過 CC2430DB 交換機器人相關資訊提供合作策略的資訊來源。

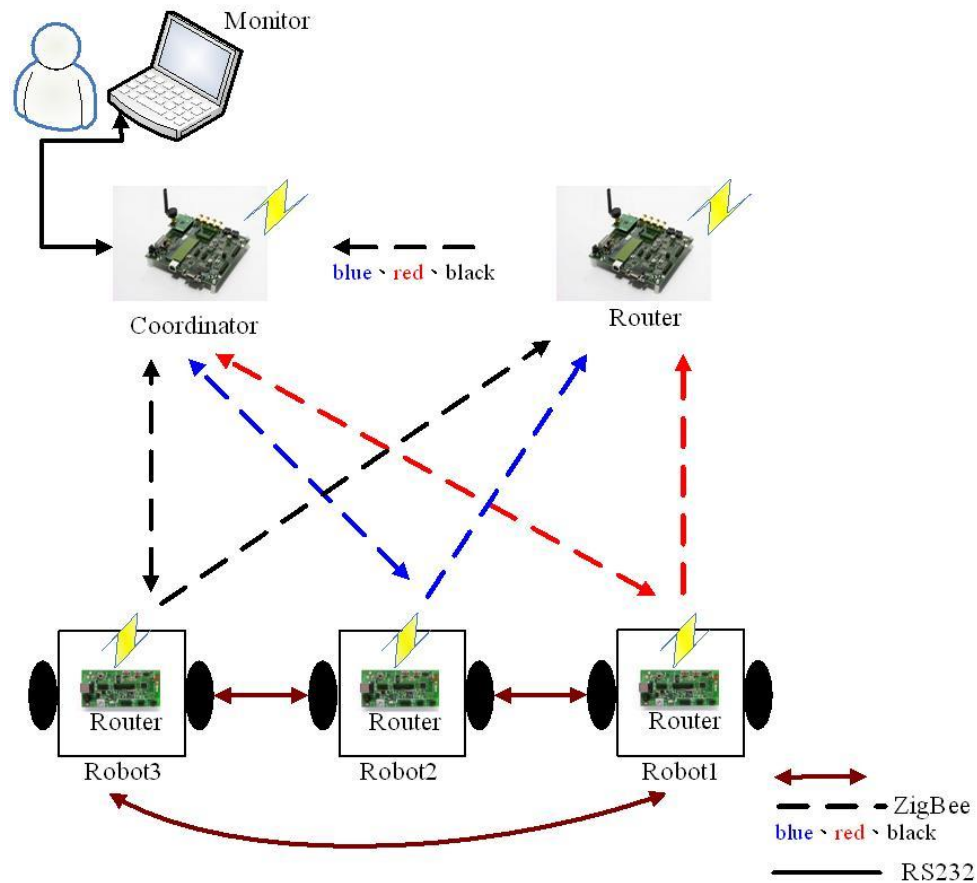


圖 3-1、救援機器人通訊架構

### 3.2 人機介面模組化設計

為了監控機器人狀態並且在緊急狀態下，可以直接對機器人做遠端操作。以模組化的概念設計了遠端監控介面，此遠端介面包含下列功能：

1. 機器人虛擬地圖顯示 (Display Unit)
2. 機器人資訊顯示(Display Unit)
3. 透過 RS232 以 ZigBee 為基礎之遠端遙控介面(Remote Control Unit)
4. 以 802.11 為基礎之機器人遠端影像回傳顯示介面(Remote Control Unit)

監控端系統功能方塊圖，如圖 3-2 所示。

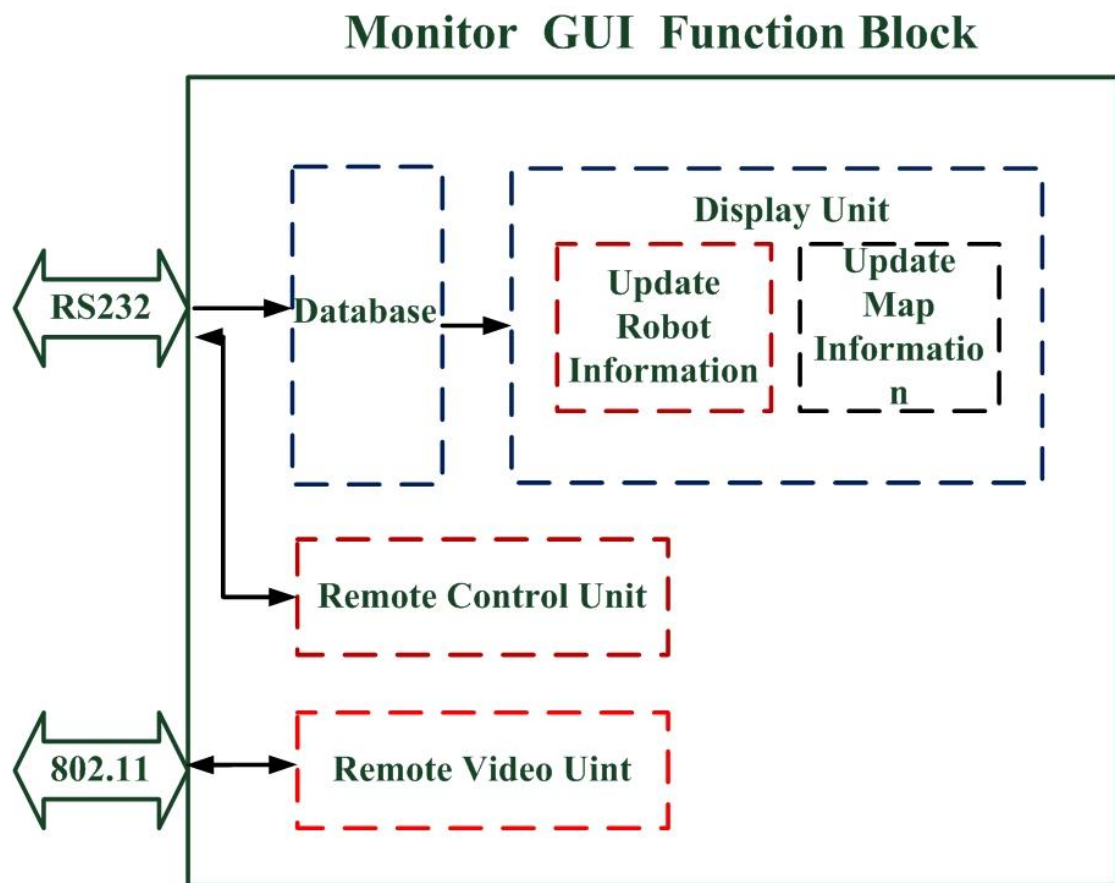


圖 3-2、監控端系統功能方塊



### 3.2.1 RS232 Comport 介面

此介面提供 RS232 Comport 選擇與鮑率選擇，選定之後與 ZigBee 連線，另外此介面會記憶使用者上次所設定的 Comport 與鮑率，方便使用者快速連線，如圖 3-3 所示。

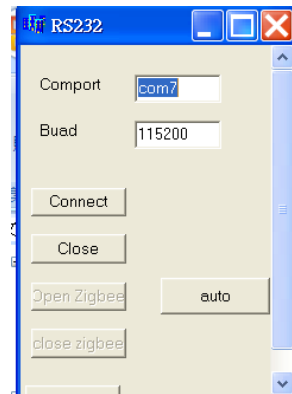


圖 3-3 RS232 Comport 介面

### 3.2.2 機器人資訊顯示與虛擬地圖介面

透過 ZigBee 回傳回來之機器人封包資訊，經過解譯之後，根據機器人的 ID Number，將機器人相關資訊顯示在監控畫面。在虛擬地圖方面，根據機器人回傳的 ID Number 與機器人座標，將機器人以不同顏色繪製在虛擬地圖上，並且在地圖上同時顯示機器人號碼、機器人座標，提供一個視覺化之機器人資訊與地圖監控端，如圖 3-4 所示。



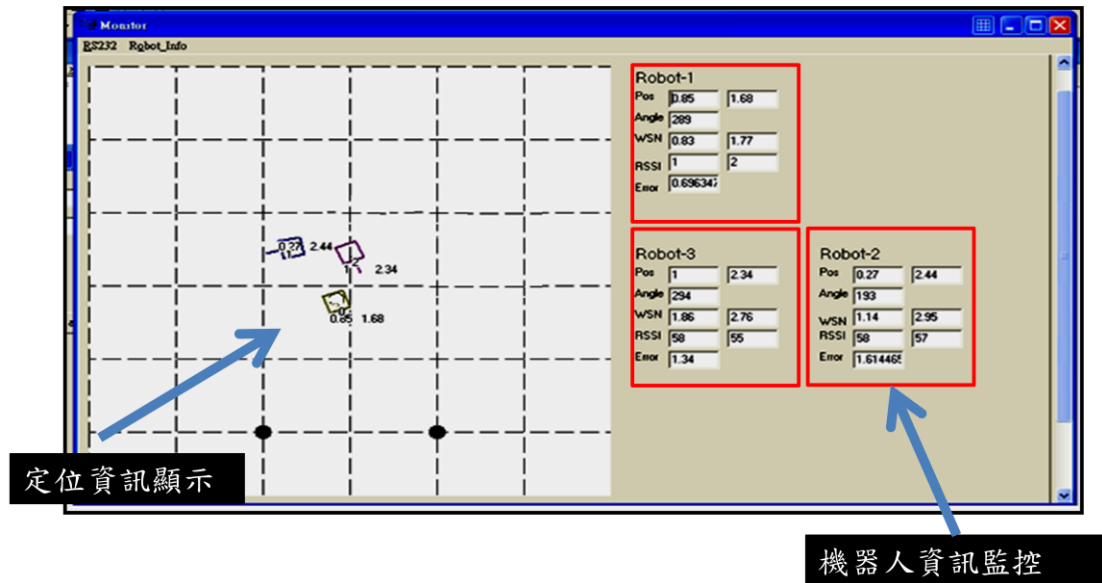


圖 3-4、機器人資訊顯示與虛擬地圖介面

### 3.2.3 遠端遙控介面

本實驗研發之此介面提供單獨遙控每一個機器人，以及發送廣播封包同時遙控三隻機器人，另外還提供選擇是否回傳機器人資訊和發送命令開始命令，通知機器人執行搜尋任務，如圖 3-5 所示。

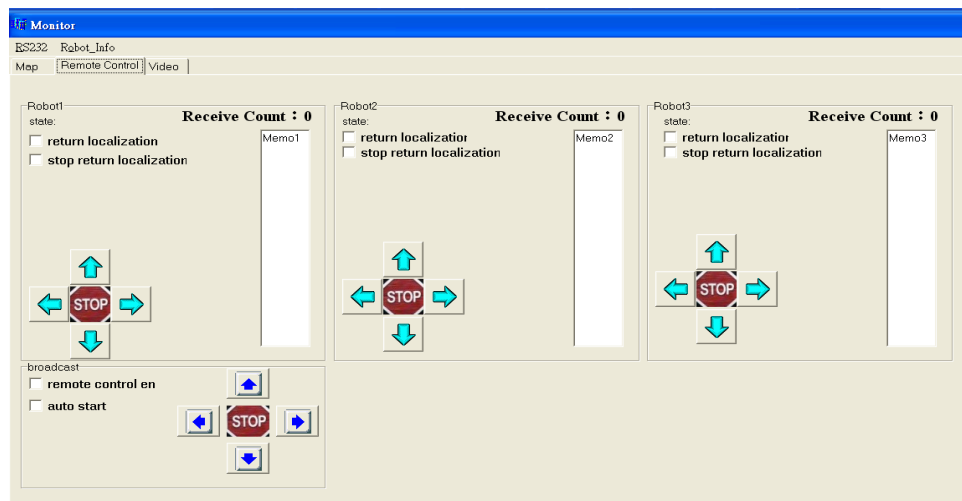


圖 3-5、遠端遙控介面

### 3.2.4 遠端影像監控系統

此介面提供由本實驗研發之機器人遠端影像回傳顯示，以及影像防震功能，如圖 3-6 所示。

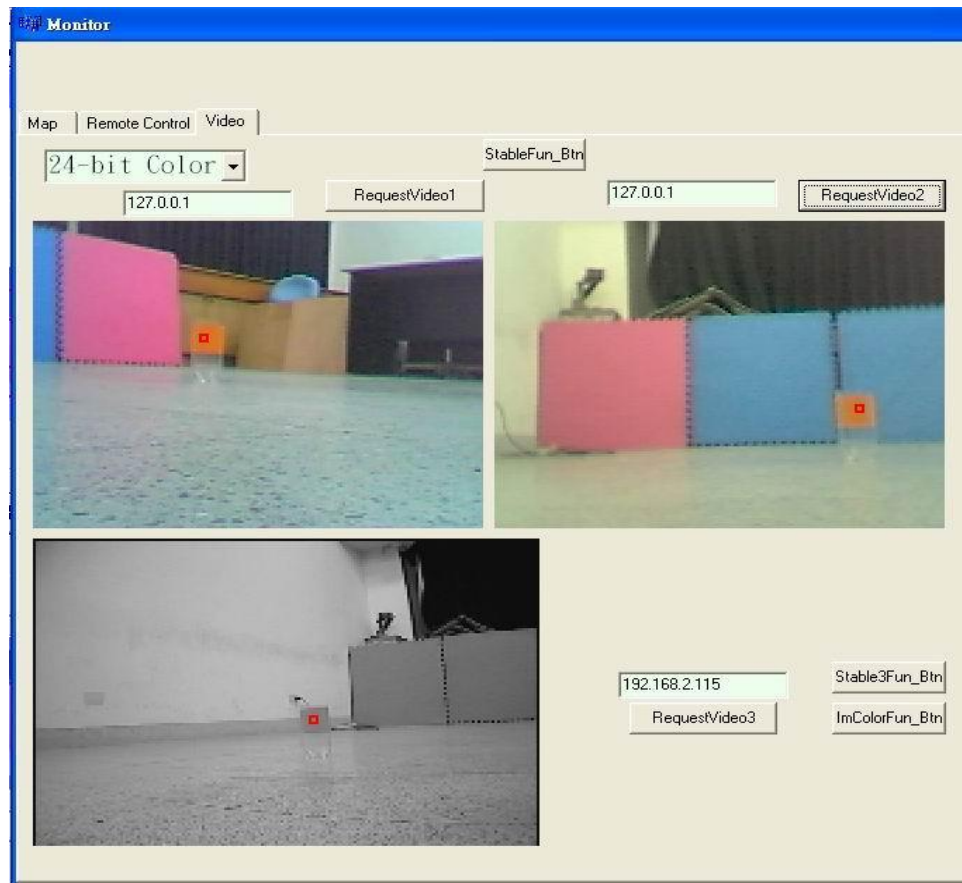


圖 3-6、遠端影像監控系統

## 第四章 ZigBee 無線訊號特性分析

本論文所使用的救援機器人搭載以樹狀拓撲結構的 ZigBee 網路無線介面通訊，除了通訊功能之外，附帶有接受訊號強度指標(Receiver Signal Strength Index)，可以將訊號強度換算成距離，只要有三個參考點，就可以利用 Trilateration 達到絕對定位的目標，因此必須先了解 Zigbee 無線訊號之特性，才能利用訊號強度定位

### 4.1 無線電波傳遞原理與特性

無線電傳輸的原理在於藉由變動的電場及磁場交互感應而產生的電磁波，假如傳送的路徑上沒有任何的障礙物，則可以看成是一種直射(LOS, line-of-sight)的情況。如果在環境中有障礙物可能會產生幾種狀況：

1. 繞射(diffraction, 或稱 shadow fading)：當電磁波的直接路徑(direct line-of-sight)遇到無法穿透的障礙物時，會造成僅有部分的電磁波繞射後到達接收端，因此接收到的電磁波的強度比直接傳送沒有障礙物的情況要小。造成繞射的表面通常是尖銳而不規則的邊。
2. 散射(scattering)：當電磁波遇到比較小的無法穿透的障礙物時，會產生散射的情況，其效應與繞射類似，障礙物的大小比電磁波的波長要小，單位空間內障礙物的數目很高。路燈、紅綠燈與樹葉等是可能造成散射的物體。
3. 反射(reflection)：當電磁波遇到大的障礙，例如牆壁、地球表面與建築物等，遠比電磁波的波長要巨大，則電磁波會被反射，形成多重路徑。

這些效應可以看成是一種非直射(N-LOS, non-line-of-sight)的情況，如圖 4-1 所示。

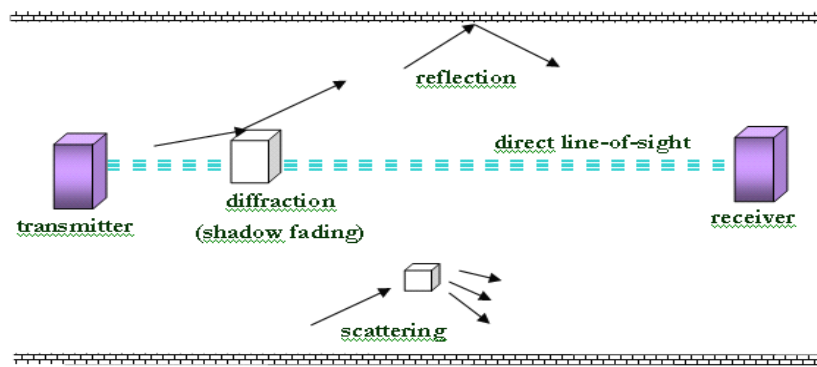


圖 4-1、非直射效應

## 4.2 影響接受信號強度（Received Signal Strength Index）之因素

影響接收信號強度也就是無線訊號強度，簡稱 RSSI 的因素大致上分為外在因素與內在因素：

外在因素：

1. 隨著距離增加，傳送能量會慢慢損耗，導致接收端所收到的信號強度變弱。
2. 因為散射、繞射導致傳送能量耗損，讓接收端所收到的信號強度變弱。
3. 因為散射、繞射與反射所產生的多重路徑效應，讓接收端的信號強度改變。

內在因素：

發射端與接收端之天線特性，對接收端信號強度所產生的影響。

必須要特別提出來的是多重路徑效應與天線特性對信號強度所產生的影響，因為這兩種現象對信號強度的影響最為嚴重。

### 4.2.1 多重路徑效應

直射(LOS, line-of-sight)的情況下接收端只會接收到直射的電磁波，該無線訊號是正確沒有錯誤的。但是複雜的環境之下，非直射(N-LOS, non-line-of-sight)狀況，即散射、繞射與反射情形會相對於空曠環境下更嚴重，如圖 4-2 所示。

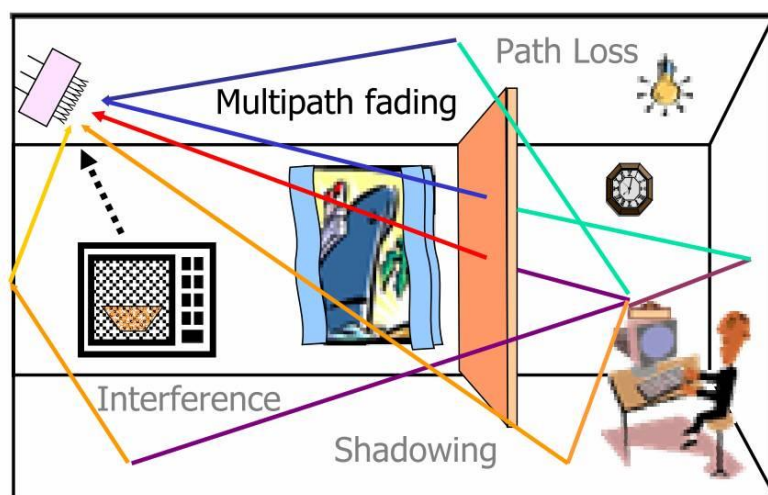


圖 4-2、多重路徑效應

此時接收端不只接收到直射(LOS, line-of-sight)的電磁波，也會接收到散射、繞射與反射所產生的電磁波，雖然接受到這些電磁波的時間會有差異，但是因為電磁波是以光速行進，時間差異可以小到忽略，造成接收端所收到的電磁波振幅與相位為直射與非直射之所有電磁波的振幅與相位之總和，這就是所謂的多重路徑效應，有可能造成的結果有三種：

1. 直射電磁波與非直射電磁波相加，導致訊號強度變強
2. 直線電磁波與非直線電磁波相減，導致訊號抵消
3. 直線電磁波與非直線電磁波相位有落差，導致訊號強度變大或變小

在絕大多數狀況下，都是屬於相位有落差的狀況，導致在複雜環境之下無線訊號強度容易受影響，而且很難去預測。

#### 4.2.2 發射端與接收端之靈敏度差異

1. 天線發射端之能量變化：

當 ZigBee 以一固定的功率發送封包時，從天線端所發射的功率並不一定是該功率，因為電波傳遞方式以類比的方式傳送必須透過 DAC 轉換，所以事實上所發射的功率是以非常接近所設定的值傳送封包，因此當接受到信號強度時，有可能會產生些微的誤差。



## 2. 天線接收端之能量變化：

同樣在天線接收端，每一個 ZigBee 雖然都是用一種天線，但是每一個 ZigBee 上的天線靈敏度不盡然相同，這也會對所接受到的信號強度造成影響。

為了更清楚說明發射端與接收端之靈敏度差異，在室內空曠場地下，架設 SmartRF40 與 CC2430DB 固定高度與天線角度為 0 度，以相距一公尺的距離互相傳送封包，記錄 1000 筆資料，並且盡量排除其他可能影響到訊號強度的因素，如圖 4-3 所示，白色圈為與 CC2430DB，天線方向定義如圖 4-4、圖 4-5 所示。

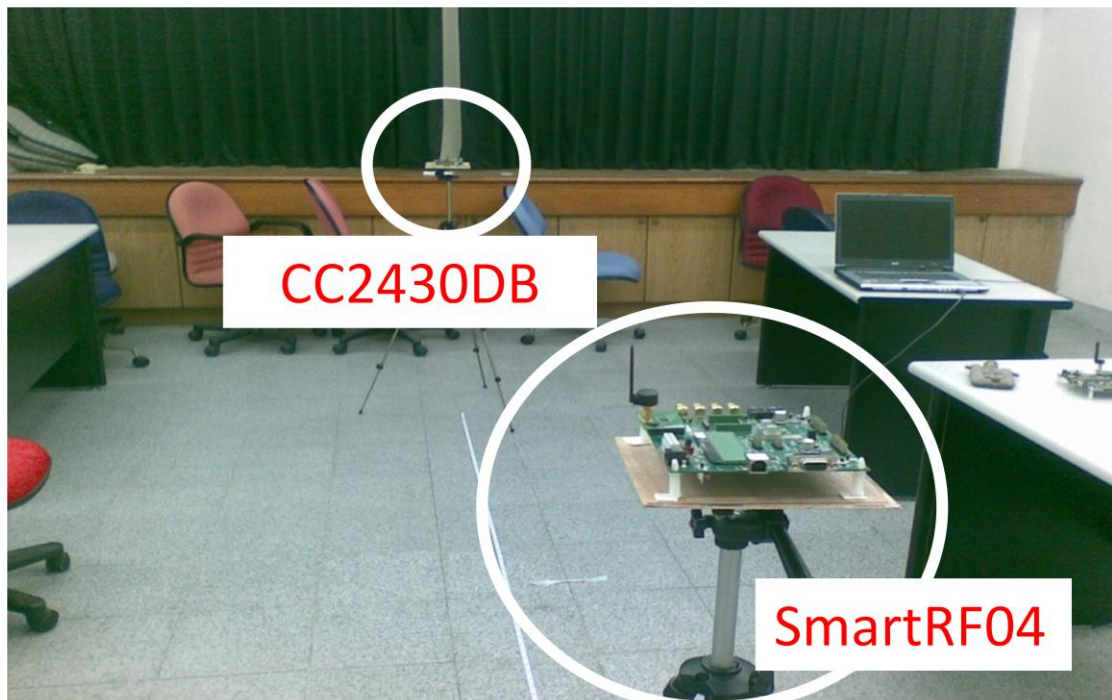


圖 4-3、實驗環境

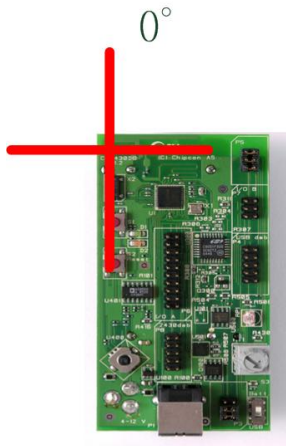


圖 4-4、CC2430 天線方向角度定義

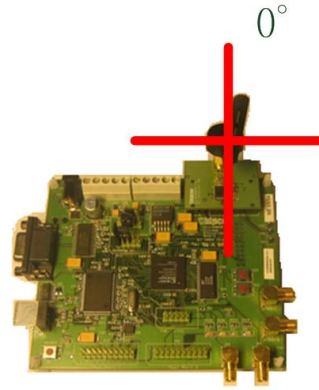


圖 4-5、SmartRF04 天線方向角度定義

得到累積分布長條圖的結果如圖 4-6、圖 4-7 所示。

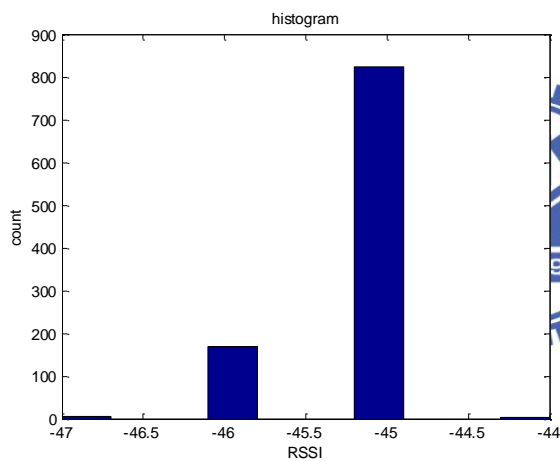


圖 4-6、SmartRF40 接收之訊號強度

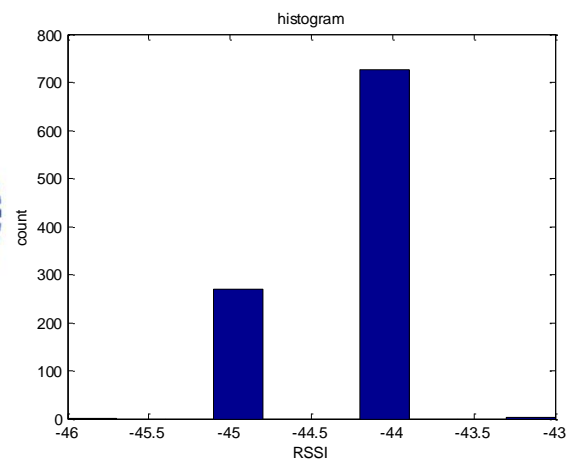


圖 4-7、CC2430DB 接收之訊號強度

從累積長條分布圖 4-6、圖 4-7 可以觀察到兩點：

1. 接收端所接收到的訊號會 1 到 2dbm 之差異，這是因為發射端能量變化之關係。
2. 理論上在 1 公尺時，所接收到的訊號強度應該為 45dbm，而兩組結果會有 1dbm 之差異，這是因為接收端的天線靈敏度會有些許的不同所導致。

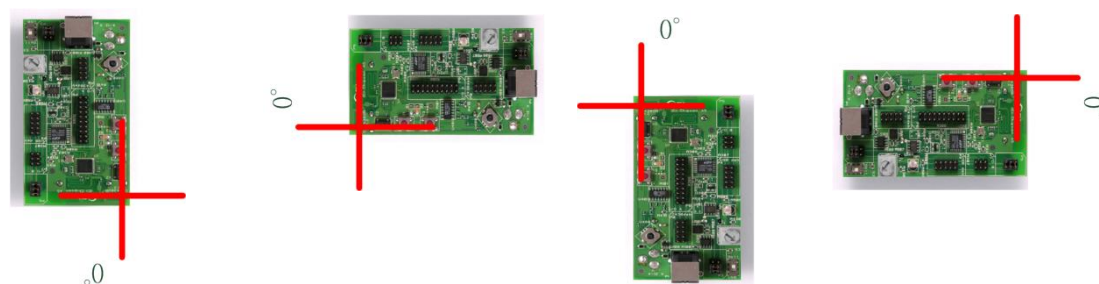
### 4.2.3 天線方向對信號強度之影響

除了發射端與接收端會有些微差異之外，天線方向對信號強度是影響信號強度的最大因素，這之前必須先了解天線的原理：

天線就像是連結管道，能把電路板等各種電路的射頻訊號轉換為電磁波，以便在無線網路發射機與接收機之間的傳輸介質上傳送，或是將電磁波轉換為射頻訊號給電路使用。發射機天線會激勵其週圍（近場）的電場或磁場，將電氣訊號轉換為電磁波。激勵電場的天線稱為電場天線，激勵磁場的天線稱為磁場天線。電場或磁場振盪會產生電磁波，並以光速向外傳播。

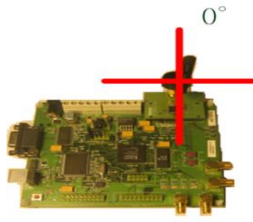
理論上，天線的能量傳播方式，是一個以天線為中心向外以球體的方式傳播，在這球體上相同半徑上的點能量都是相同的，但是在實際上天線與理論不同，或多或少會有不可避免之方向性，這些方向性就會對接收端所接收到的信號強度產生影響。

為了了解天線方向對信號強度的影響程度，在室內空曠場地，以 SmartRF40 為接收端，在相距一公尺處以 CC2430DB 為發送端，改變 CC2430DB 的天線為 0 度、90 度、180 度與 270 度，如圖 4-8 所示。每一個角度分別記錄 1000 筆，觀察改變天線角度對信號強度的影響。所得到的累積分布長條圖，如圖 4-9 所示。



(a) CC2430DB 天線 0 度、90 度、180 度、270 度





(b) SmartRF04 天線 0 度

圖 4-8、CC2430 改變天線方向

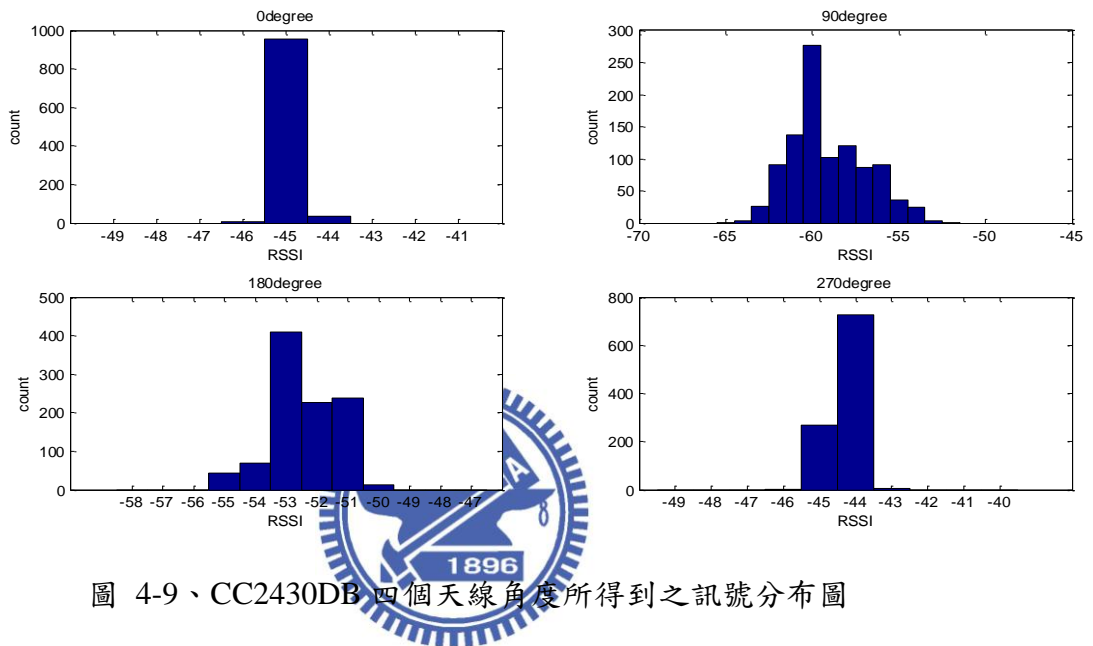
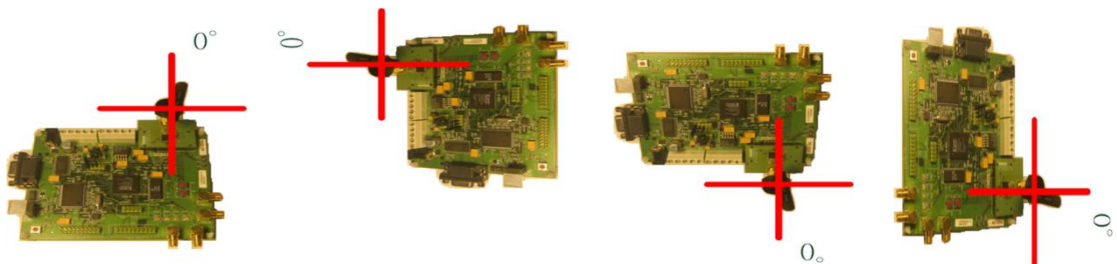


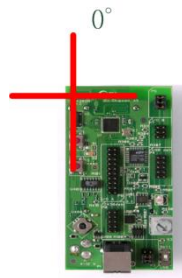
圖 4-9、CC2430DB 四個天線角度所得到之訊號分布圖

由累積分布長條圖 4-9 可以觀察到，不同的天線方向對信號強度造成的影響，在相距一公尺之距離之下，訊號強度是-45dbm，當天線方向 0 度與 270 度時，與理論值差異最小，天線 180 度與 90 度時訊號強度產生偏移變大的狀況。

同樣以 CC2430DB 為接收端，在相距一公尺處以 SmartRF40 為發送端，改變 SmartRF40 的天線為 0 度、90 度、180 度與 270 度，如圖 4-10 所示。每一個角度分別記錄 1000 筆，觀察改變天線角度對信號強度的影響。所得到的累積分布長條圖如圖 4-11 所示。



(a) SmartRF04 天線 0 度、90 度、180 度、270 度



(b) CC2430DB 天線 0 度

圖 4-10、SmartRF04 改變天線方向

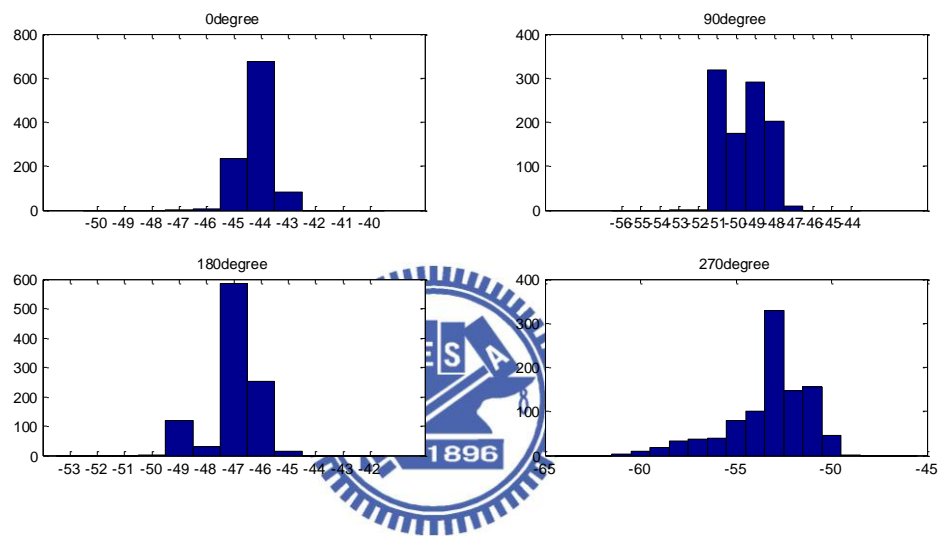


圖 4-11、SmartRF40 四個天線角度所得到之訊號分布圖

由圖 4-11 同樣可以觀察到改變 SmartRF40 天線角度，也會對信號強度產生影響  
因此可以了解到天線方向對信號的影響是很重要的一個因素。

## 第五章 以接收信號強度為基礎之機器人定位實現

本論文所使用的救援機器人搭載以樹狀拓模結構的 ZigBee 網路無線介面通訊，除了通訊功能之外，附帶有接受訊號強度指標(Receiver Signal Strength Index)，可以將訊號強度換算成距離，只要有三個參考點，就可以利用 Trilateration 達到絕對定位的目標，又因為機器人之位置不會出現在參考點後面，所以只要兩個參考點就可以估測機器人的位置，出現在參考點後面之位置用邏輯判斷過濾即可，如圖 5-1 所示。所使用的 ZigBee 平台為 SmartRF04、CC2430DB，SmartRF04 作為參考點固定不動，CC2430DB 作為移動節點放置在機器人上。

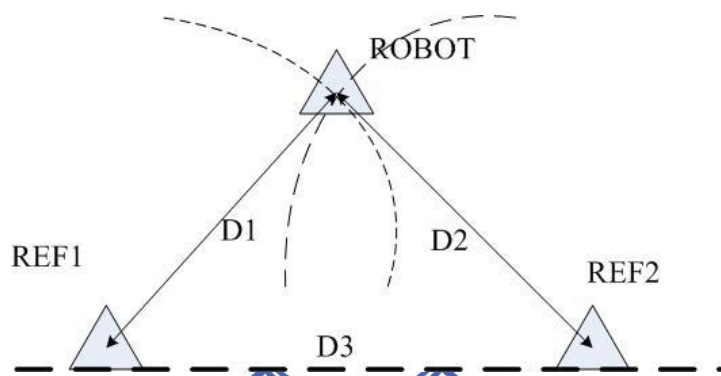


圖 5-1、定位示意圖

### 5.1 以無線信號強度為基礎之 Trilateration

由於無線訊號強度會隨著距離衰減，藉由接受端所收到的無線訊號強度，根據訊號衰減模型推算出發送端到接收端之間的距離[15]，如圖 5-2 所示。再根據所得到的距離透過 Trilateration，估測機器人位置，轉換公式如(5-1)所示。

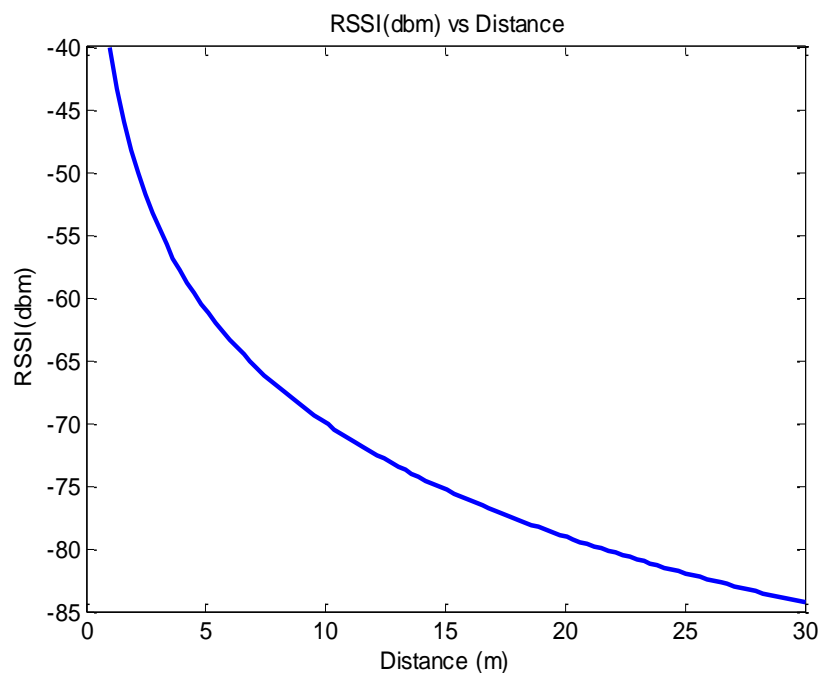


圖 5-2、訊號衰減模型[15]

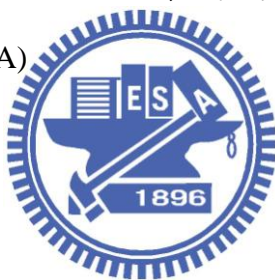
$$RSSI = -(10 * n * \log_{10} d + A) \quad (5-1)$$

其中

n: 電磁波衰減係數

d: 為電磁波傳遞距離

A: 當距離等於一公尺時的訊號強度。



為了要準確的得到根據訊號強度衰減模型所得到的距離，有兩個參數必須要先決定，分別是當距離等於一公尺時的訊號強度值 A，與電磁波衰減係數 n。

當距離等於一公尺時的訊號強度值 A 之決定方法：

理論上，CC2430 晶片在距離一公尺所收到的訊號強度為-45dbm，為了了解實際值是否與理論值有差異，如果有差異則必須做校正，因此在室內空曠場地、固定天線方向，SmartRF40 與 CC2430DB 相距一公尺，互相傳送封包並且記錄信號強度，同時為了了解是否有重現性，此記錄訊號強度的流程，總共記錄了三次，每次記錄 10000 筆訊號強度，每次記錄時間間隔 15 分鐘，結果如圖 5-3、圖 5-4

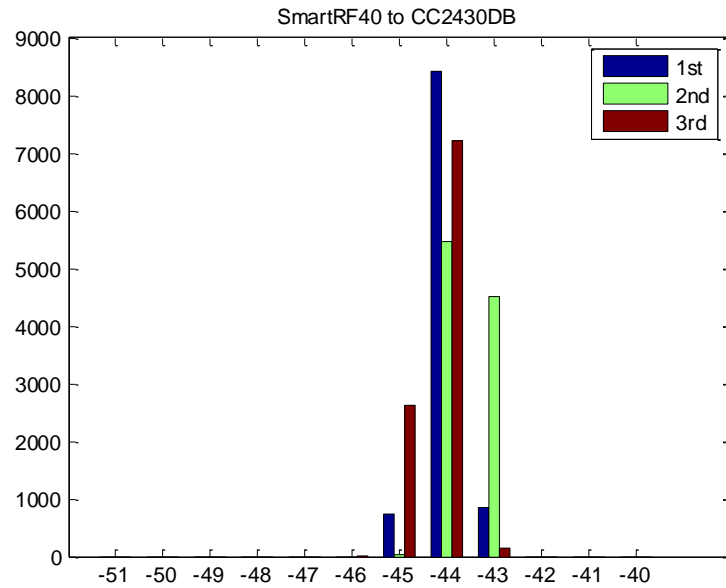


圖 5-3、SmartRF40 接收之訊號累積分布圖

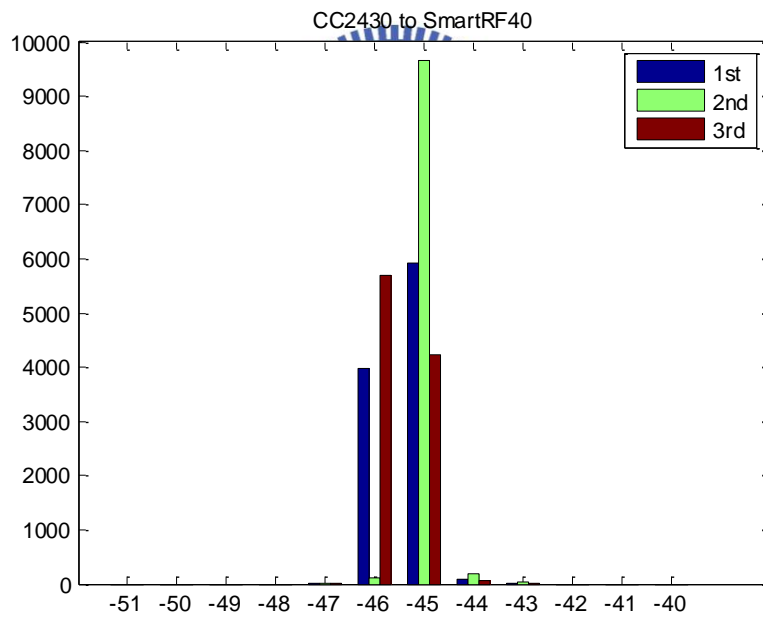


圖 5-4、CC2430DB 接收之訊號累積分布圖

由透過累積分布長條圖可以觀察到，兩者在一公尺時之訊號強度，與理論值幾乎一樣，重現性也非常高，至於會有 1dbm 差距，是因為發射端與接收端之差異所導致，因此參數 A 選定為-45dbm。

電磁波衰減係數  $n$  之決定方法：

電磁波衰減係數是影響距離估測其中一個重要因素，不同的  $n$  值所對應到的距離會不一樣，如圖 5-5 所示。

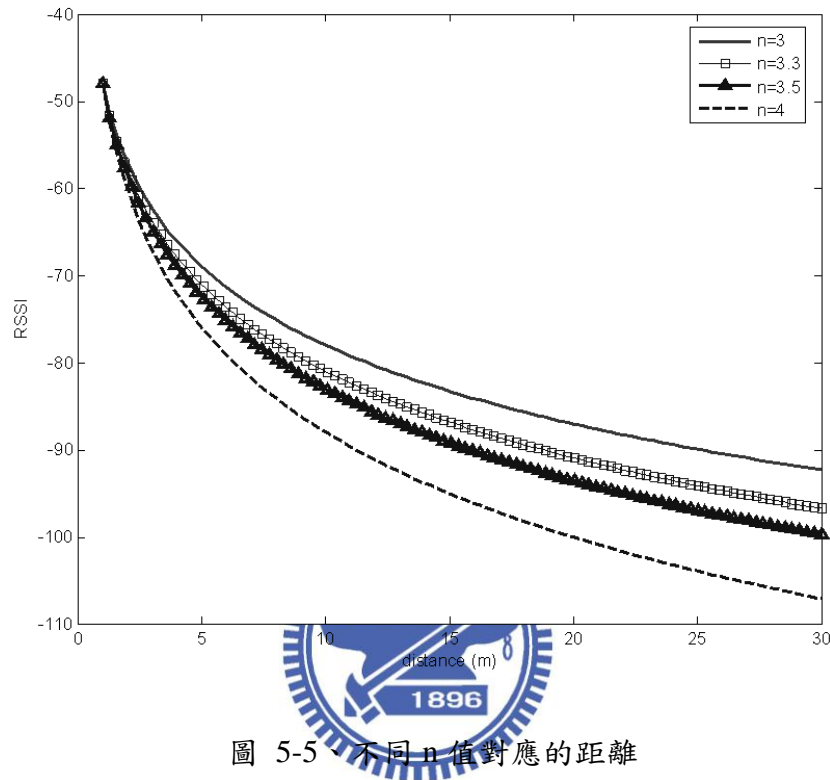


圖 5-5、不同  $n$  值對應的距離

為了決定  $n$  的值，在空曠處分別從 1 公尺、3 公尺、6 公尺、9 公尺、12 公尺、15 公尺、18 公尺與 21 公尺處分別記錄信號強度 500 筆，所得到的結果如圖 5-6 所示。藍色曲線有圈圈線為實際測量的平均值與量測標準差，黑色虛線為  $n=3.5$  的曲線，由圖可以觀察到選擇  $n=3.5$  與實際測量的平均值最接近，故選擇  $n=3.5$ 。

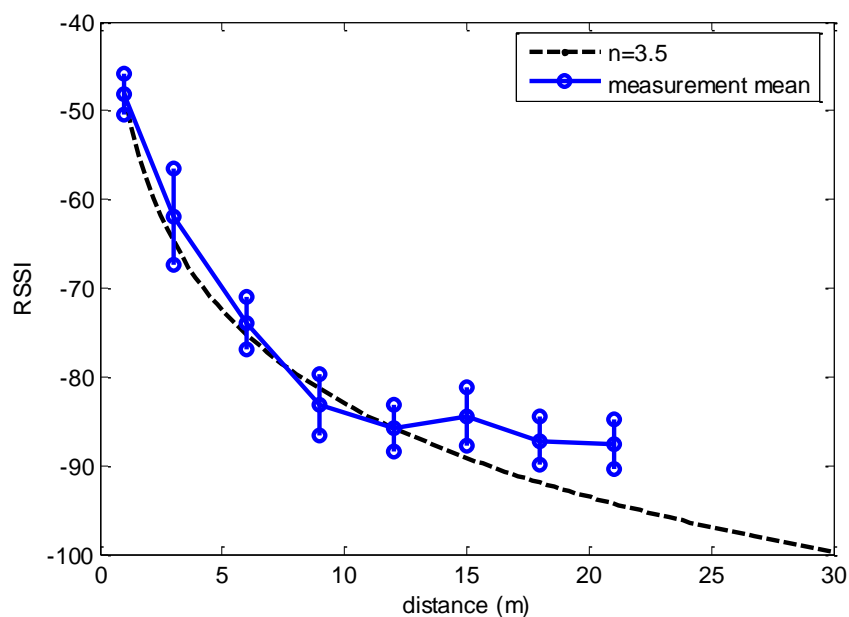


圖 5-6、量測平均值與最符合曲線  $n=3.5$

## 5.2 Kalman Filter 應用於定位位置估測

在實際狀況下，訊號強度會受到很多因素干擾，除了前一章所分析過之原因外，尚有一些平常就存在的自然界雜訊，例如熱雜訊、量測雜訊等等，在此透過 Kalman filter[16]來對訊號強度做處理，達到一穩定的感測資料並且透過 Trilateration 估測位置，在此設定 Kalman filter 參數  $Q$  為 0.01、 $R$  為 3。

$$p(k)=p(k-1)+w(t) \quad (5-2)$$

$$y(k)=y(k-1)+v(t) \quad (5-3)$$

其中

$p(k)$ ：為機器人目前位置

$y(k)$ ：為量測到的位置

$w(t)$ 、 $v(t)$ ：雜訊。

### 5.2.1 Kalman Filter 應用之定位實驗結果

實驗環境說明：

在室內空曠場地，兩個參考點相距 2 公尺，並且以左邊參考點為原點，與  $x$

軸夾角為 0 度，記錄機器人在(1,1)的定位結果，分別記錄四個方向分別為 0 度、90 度、180 度與 270 度，如圖 5-7 所示，以圈起處標示為兩個參考點。

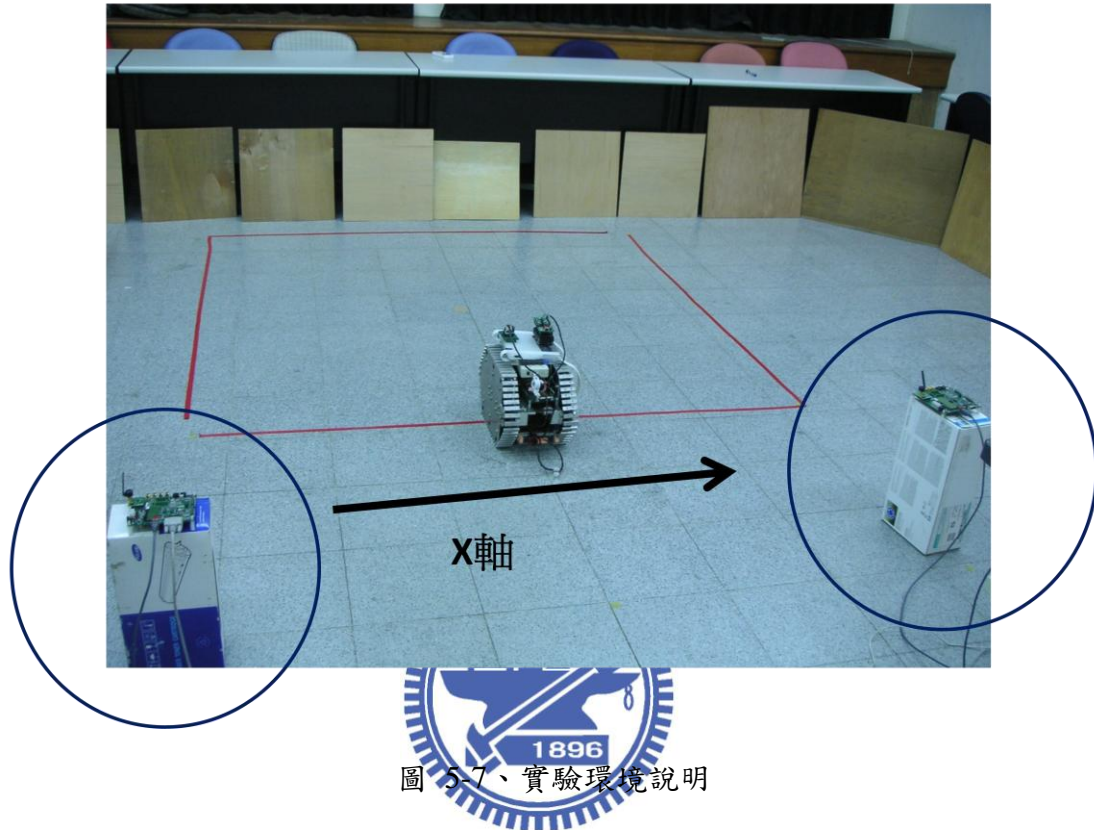
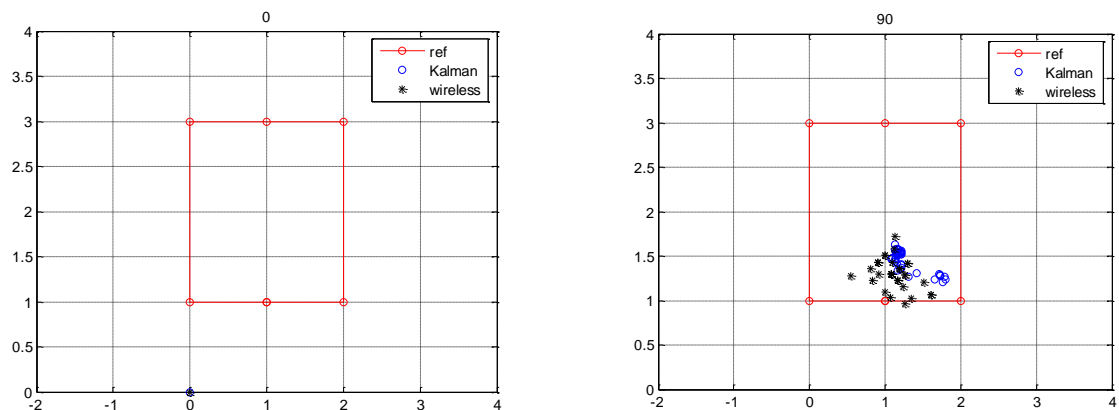


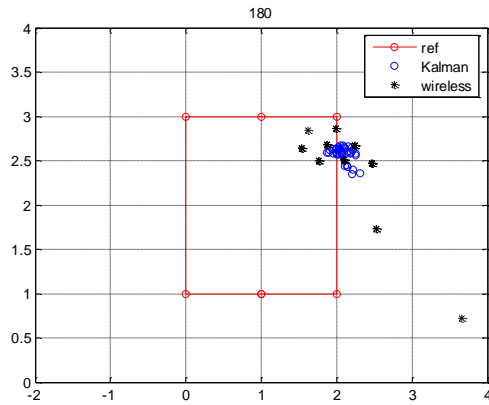
圖 5-7、實驗環境說明

由圖 5-8 可以觀察到，在四個不同方向下 Kalman filter 能處理一般雜訊讓定位資訊穩定、降低變異量，如果訊號強度有一個存在的偏移誤差量時並沒有辦法解決，此誤差量就會對位置估測造成影響，此誤差量，往往就是多重路徑效應、或天線方向所造成的影響。不同的方向對位置估測造成的誤差，如圖 5-9 所示。

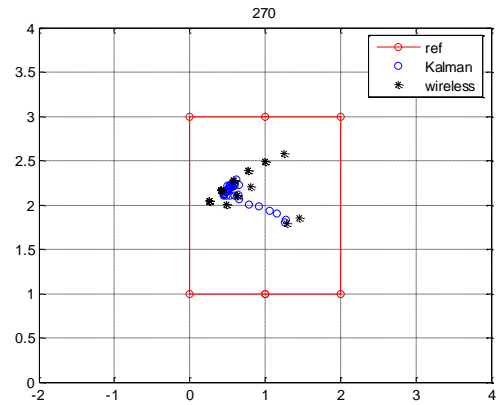




(a) 機器人方向 0 度



(b) 機器人方向 90 度



(c) 機器人方向 180 度

(d) 機器人方向 270 度

圖 5-8、機器人位於(1,1)四個不同方向定位結果

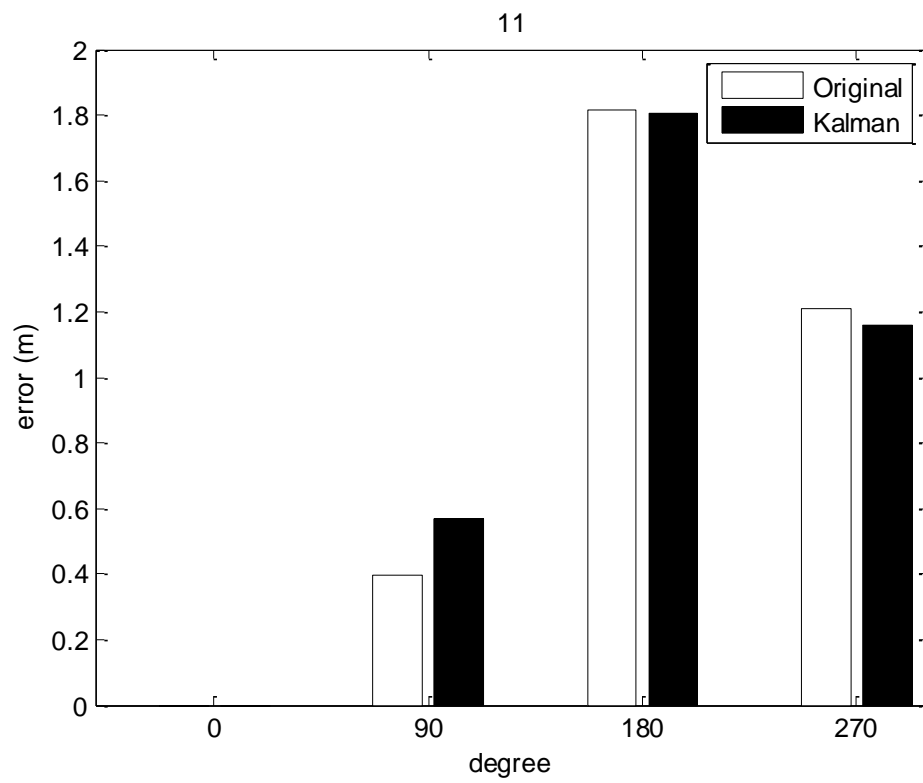


圖 5-9、四個方向誤差比較圖

### 5.2.2 幾何相對位置對定位估測的影響

待測目標位置與參考點之間的幾何相對位置也會影響定位估測精準度，為了了解幾何相對位置對定位估測的影響，以 Matlab 建立 5 公尺\*4 公尺之模擬環境，每一格為 1 公尺\*1 公尺，將參考點放於(0,0)與(2,0)，將訊號強度加入偏移誤差量，每次偏移誤差量增加 1dbm，直到偏移誤差量增加到 10dbm 為止，因為參考點有兩個，因此在每一點模擬 100 次，每次模擬 500 筆，如圖 5-10 所示。

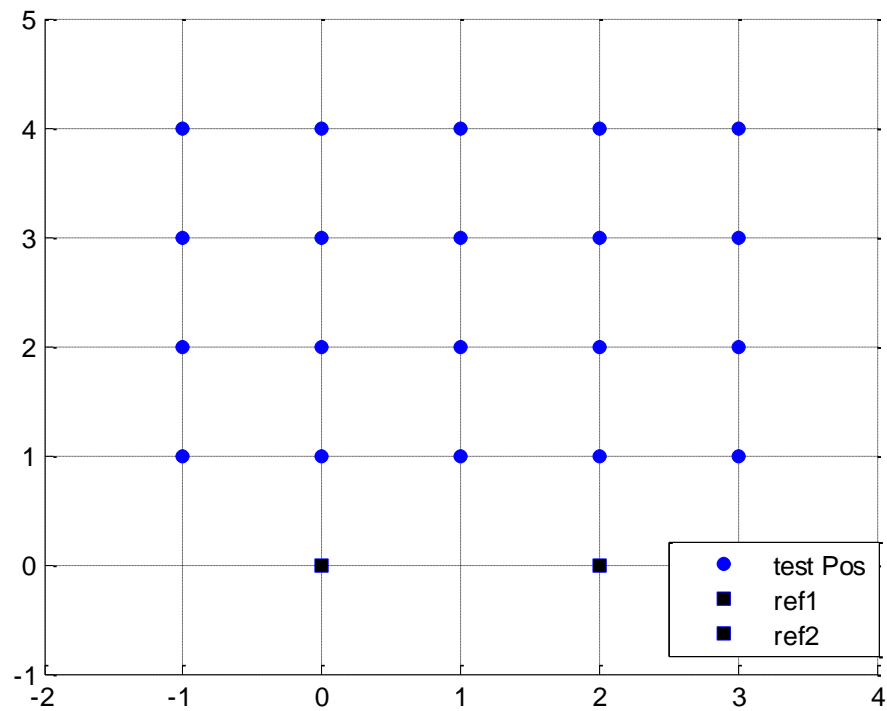


圖 5-10、模擬環境

經過模擬得到位置誤差分布結果如下：

圖形說明：

2D 定位誤差圖中，原點代表無誤差訊號，X 軸代表訊號強度從零誤差一直增加到誤差為 10dbm 為止，Y 軸代表訊號強度從零誤差一直增加到誤差為 10dbm 為止，Z 軸代表定位誤差，如圖 5-11 所示。

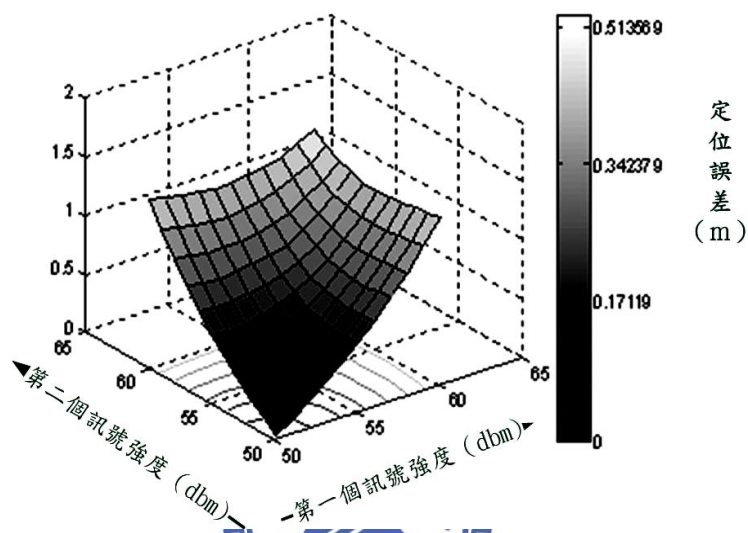
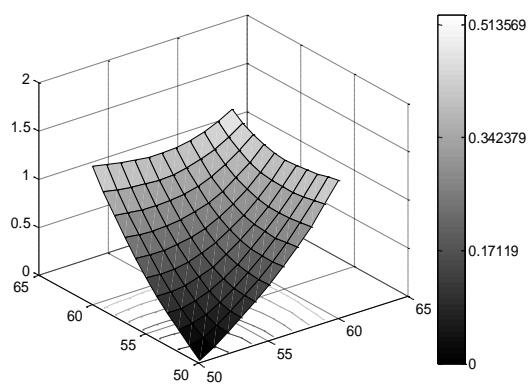
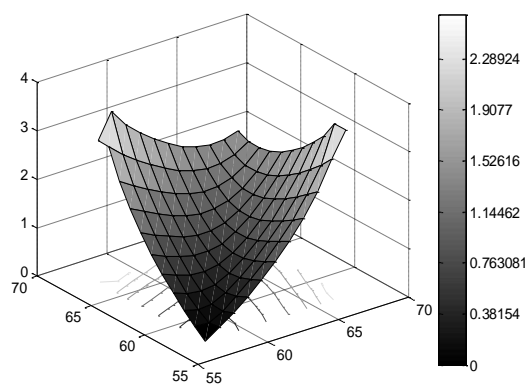


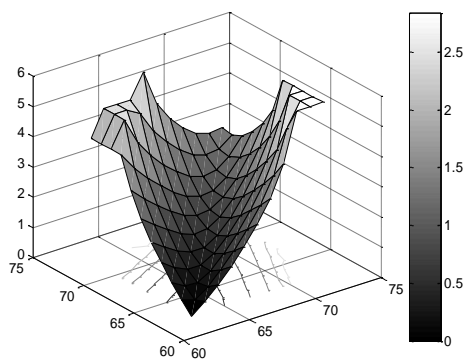
圖 5-11、2D 定位誤差圖說明



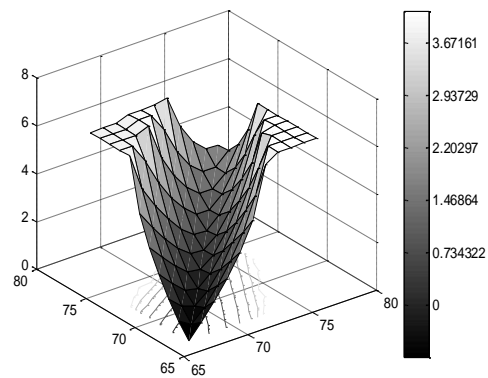
(a) 位置(1,1)



(b) 位置(1,2)

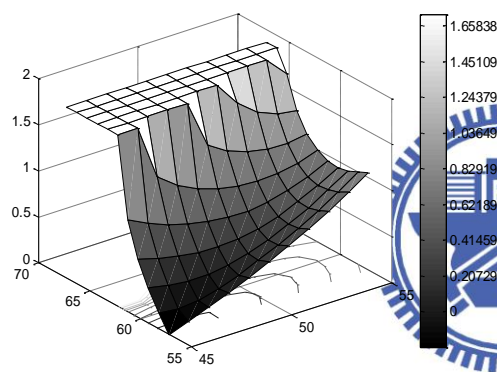


(c) 位置(1,3)

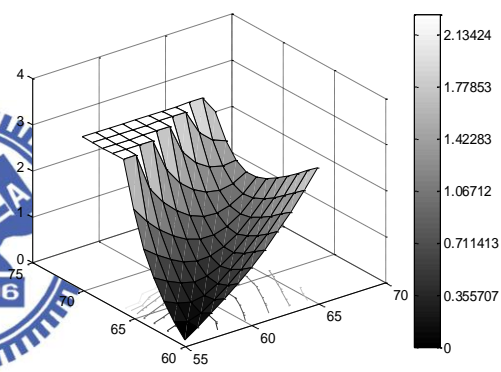


(d)位置(1,4)

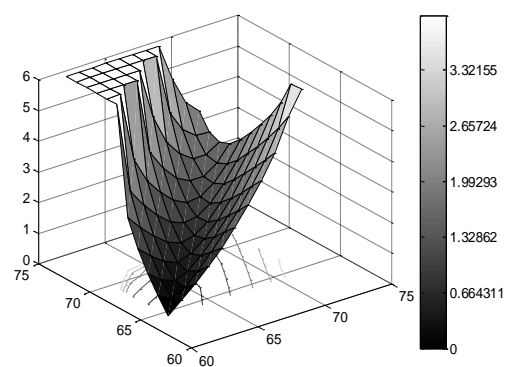
圖 5-12、位置(1,1)到位置(1,4)之定位誤差



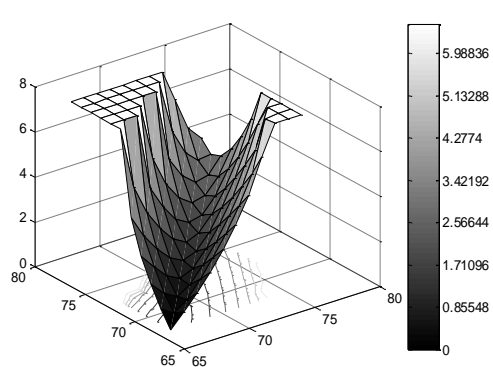
(a) 位置(0,1)



(b) 位置(0,2)

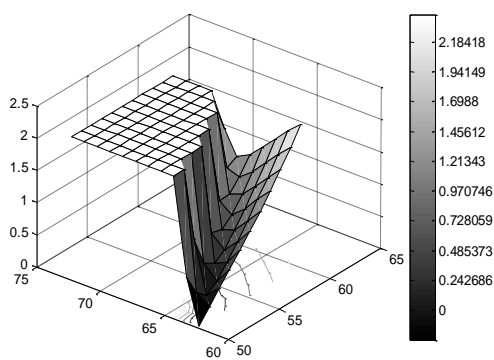


(c) 位置(0,3)

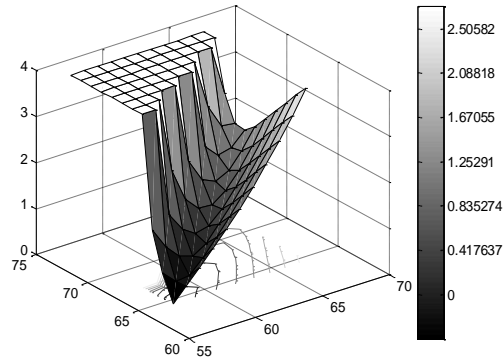


(d) 位置(0,4)

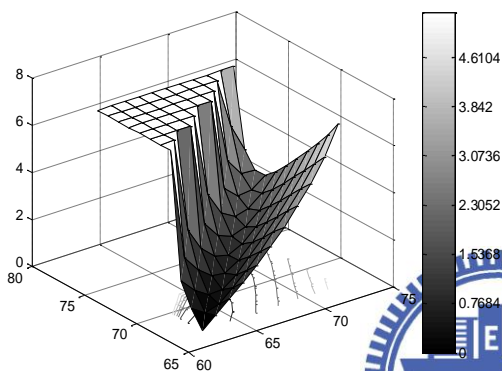
圖 5-13、位置(0,1)到位置(0,4)之定位誤差



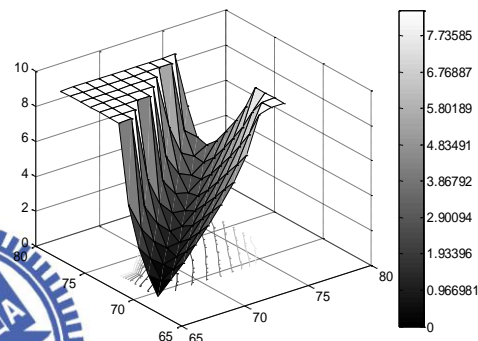
(a) 位置(-1,1)



(b) 位置(-1,2)



(c) 位置(-1,3)



(b) 位置(-1,4)

圖 5-14、位置(-1,1)到位置(-1,4)之定位誤差

根據模擬的結果，先從同一個位置來看，在中心區域誤差偏移量同時增加時所產生的位置誤差，會比兩側誤差偏移量增加量不一致所產生的位置誤差小，從不同位置來看，隨著距離的增加與位置往左右兩側移動，位置誤差都會越來越大，如圖 5-12、圖 5-13、圖 5-14 所示。這其中的差別在於，訊號強度模型所對應的距離關係是一個指數趨勢，而不是線性關係，所以每 1dbm 所對應的距離，會隨著訊號強度的減弱間隔越來越大。除了訊號強度模型所對應的距離關係是一個指數趨勢外，考慮 Trilateration 本身的幾何關係，在兩個參考點之間所得到的目標物位置誤差小於目標物位置在其中一個參考點的一側的位置誤差，因為位於信號較弱區間，只要有 1、2dbm 之偏移，所對應的距離誤差會非常大，導致位置估測的誤差增大，如圖 5-15、圖 5-16 所示。

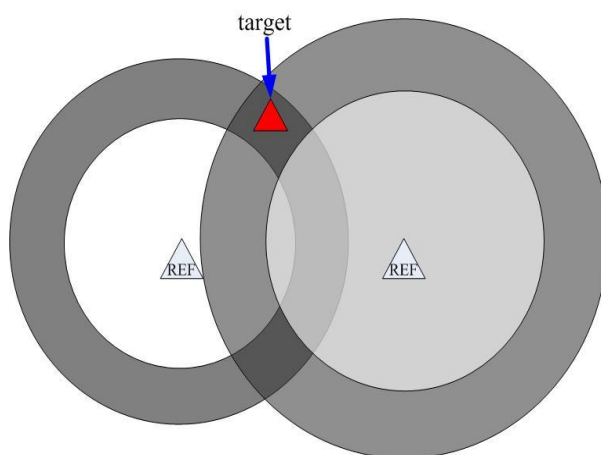


圖 5-15、目標物位於兩個參考點中間

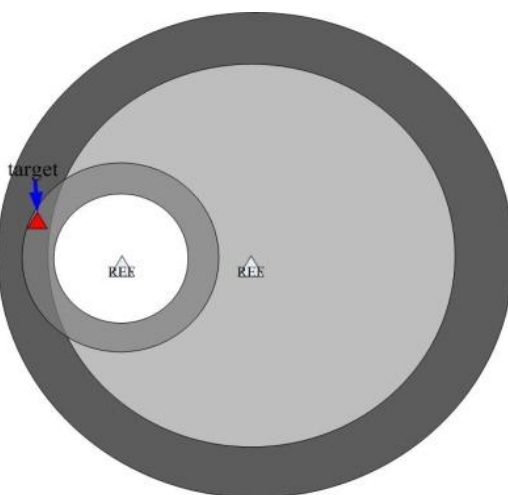


圖 5-16、目標物位於其中一個參考點一側

### 5.3 融合機器人感測資訊之定位

從前面的探討，可以了解若是只單一依靠無線訊號強度定位的方式，精準度有限，本節將利用機器人所搭載的電子羅盤與機器人本身的狀態估測[17]，融合機器人所感測到的資訊與無線 Trilateration 位置。

#### 5.3.1 Particle Filter

給定一系統狀態方程式，如( 5-4)與( 5-5)所示。

$$x_k = f(x_{k-1}, V_{k-1}) \quad (5-4)$$

$$z_k = h_k(x_k, U_k) \quad (5-5)$$

其中

$x_k$  : 表示系統在  $k$  時刻所處的狀態

$z_k$  : 表示  $k$  時刻的量測向量

$f_x: \mathbb{R}^{n_x} \times \mathbb{R}^{n_v} \rightarrow \mathbb{R}^{n_x}$  : 系統的狀態轉移函數

$h_k: \mathbb{R}^{n_x} \times \mathbb{R}^{n_u} \rightarrow \mathbb{R}^{n_z}$  : 測量函數

$V_k, U_k$  : 分別表示系統雜訊與測量雜訊。

Particle filter (粒子濾波) [18, 19], 是一種以機率集合表示表示系統狀態的方法。每一個粒子都代表是該系統可能的狀態, 粒子的大小表示對該可能狀態的信任程度, 也就是權重如 (5-6)、(5-7) 所示。

$$x_k^i = f_x(x_{k-1}^i, V_{k-1}) \quad (5-6)$$

$$\{x_{0:k}^i, w_k^i\}_{i=1}^N \quad (5-7)$$

其中

$\{x_{0:k}^i, i=1, \dots, N\}$  : 表示粒子的數目

$x_{0:k} = \{x_j, j=0, \dots, 0, k\}$  : 表示該粒子到  $k$  時刻所有狀態的集合

所以在  $k$  時刻的後驗機率密度就可以近似表示為：

$$p(x_{0:k}|z_{1:k}) \cong \sum_{i=1}^N w_k^i \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (5-8)$$

原本的期望值計算方法為

$$E(g(x_{0:k})) = \int g(x_{0:k}) p(x_{0:k}|z_{1:k}) dx_{0:k} \quad (5-9)$$

離散時間下則可以近似為

$$E(g(x_{0:k})) \cong \sum_{i=1}^N w_k^i g(x_{0:k}^i) \quad (5-10)$$

重要取樣是決定粒子可能性大小的方式, 每一個粒子的權重大小是根據重要取樣的結果決定權重的大小, 粒子權值設計方法非常多種, 一般的表示方法為

$$w_k^i \propto \frac{p(x_{0:k}^i | z_{1:k})}{q(x_{0:k}^i | z_{1:k})} \quad (5-11)$$

其中

$q$ ：重要密度函數，表示權重評估的機率

為了要得到一個遞迴的權重評估函式，將重要函式分解(5-12)

$$q(x_{0:k}^i | z_{1:k}) = q(x_k | x_{0:k}, z_{1:k}) q(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \quad (5-12)$$

$$\begin{aligned} p(x_{0:k} | z_{1:k}) &= \frac{p(z_k | x_{0:k}, z_{1:k}) p(x_{0:k} | z_{1:k-1})}{p(z_k | z_{1:k-1})} \\ &= \frac{p(z_k | x_{0:k}, z_{1:k-1}) p(x_k | x_{0:k-1}, z_{1:k-1}) p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1})}{p(z_k | z_{1:k-1})} \\ &= p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \frac{p(z_k | x_k) p(x_k | x_{k-1})}{p(z_k | z_{1:k-1})} \\ &\propto p(z_k | x_k) p(x_k | x_{k-1}) p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \end{aligned} \quad (5-13)$$

並且(5-12)、(5-13)將帶入(5-11)，權重評估函式則可以簡化為(5-14)：

$$\begin{aligned} w_k^i &\propto \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^{i-1}) p(x_{0:k-1}^i | z_{1:k-1})}{q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_{1:k}) q(x_{0:k-1}^i | z_{1:k-1})} \\ w_k^i &\propto w_{k-1}^i \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^{i-1})}{q(x_k^i | x_{0:k-1}^i, z_{1:k})} \end{aligned} \quad (5-14)$$

假設系統為一階馬可夫模型，即系統狀態只與前一個狀態有關，重要取樣的表示法可簡化為(5-15)：

$$w_k^i \propto w_{k-1}^i \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i)}{q(x_k^i | x_{k-1}^i, z_k)} \quad (5-15)$$

其中

$p(z_k | x_k^i)$ ：表示第第 $x_k^i$ 個粒子得到該量測值的機率

不斷遞迴的過程中，某些權重比較小的粒子權重值會因為不斷的遞迴，導致權重值幾乎趨近於零，造成只有幾個粒子權重值較大，甚至只有一個粒子留下，其餘粒子皆收斂到零，為了防止這種狀況發生，運用了重新取樣保持粒子的多樣



性，重新取樣的方式有非常多種，這裡舉出一種為輪盤法的重新取樣方式，每一個粒子根據自己本身權重的大小複製自己，因為權重大小表示機率高低，所以權重大會複製比較多粒子，權重小會複製比較小，經過粒子複製之階段之後，對每一個粒子加入雜訊，將相同的粒子擴散開，藉此讓粒子盡量保持不同的可能性，防止收斂到單一粒子，如同在輪盤上，區域較大的區塊機率比較高，區域較小的區塊機率較低。

綜合以上，粒子濾波器（Particle filter）主要分為四個步驟：

1. 粒子產生：初始狀態，隨機產生粒子
2. 預測：每個粒子根據狀態轉移函式，預測預測粒子的下一個狀態。
3. 重要取樣：根據所設計的權重評估函式，評估每一個粒子的權重，換句話說，也就是根據環境資訊與內部本身的狀態，評估該粒子的狀態為真之可能性。
4. 重新取樣：權重較大之粒子複製較多次，權重較小之粒子複製較少次，並且加入雜訊，將粒子擴散開來，保持多樣性，防止收斂。

最後估測的系統狀態輸出為所有粒子乘上權重，即期望值。

### 5.3.2 Particle Filter 實現於單一機器人定位

主要分為四個階段：

粒子產生階段：

在機器人初始位置附近，以隨機亂數方式任意產生新的粒子，每一個粒子都是機器人可能的位置，粒子的大小表示對這個機器人位置的權重，即機器人在這個位置的機率，如圖 5-17 所示。

預測階段：

每一個粒子會根據機器人運動模型(5-16)預測下一刻的位置，如圖 5-18 所

示。Vmax為機器人最快速度，經過量測最快速度為 0.0425m/s，由於地板的打滑等外力因素，機器人並不一定是以最大速度行走，加入  $w(t)$  為速度雜訊，表示機器人受到外力因素所導致的速度變化，同樣在角度方面，也會受到外在影響使角度產生變化，在此機器人的角度由電子羅盤提供，並且加入  $v(t)$  為角度量測雜訊。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + V' \begin{bmatrix} \cos\theta' \\ \sin\theta' \end{bmatrix} \quad (5-16)$$

$$V' = V_{\max} - w(t) \quad (5-17)$$

$$\theta' = \theta + v(t) \quad (5-18)$$

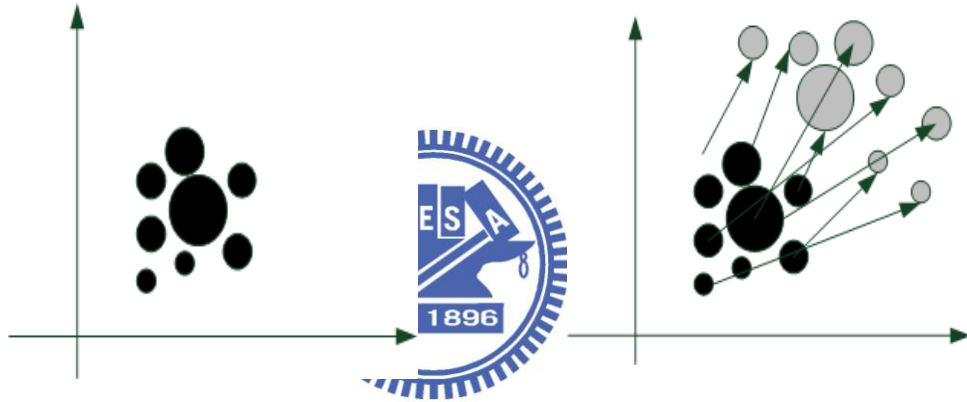


圖 5-17、粒子產生階段

圖 5-18、預測階段

其中雜訊的散布將影響每一個粒子的分佈狀況，以 Matlab 建立一模擬環境，以 50 個粒子散佈於(1,1)，機器人最快速度為 0.0425 公尺，從(1,1)出發逆時鐘繞行一個 2 公尺\*2 公尺的方形，並且以兩組不同雜訊參數做模擬如表 5-1 所示，說明雜訊的散布的影響，如表 5-1 所示。

表 5-1、雜訊參數

第一組	$w(t)$ 為一平均分佈於 0 到最快速度之 0.01 倍的雜訊	$v(t)$ 為一平均分布於正負 10 度雜訊
第二組	$w(t)$ 為一平均分佈於 0 到最快速度之 0.1 倍的雜訊	$v(t)$ 為一平均分布於正負 20 度雜訊

圖 5-19 與圖 5-20 代表不同時刻下粒子散布的狀況，由圖可以觀察到雜訊的散佈範圍越大，導致粒子散佈範圍也隨之變大，較大的雜訊也代表原本的系統容易受干擾，使估測不準確。

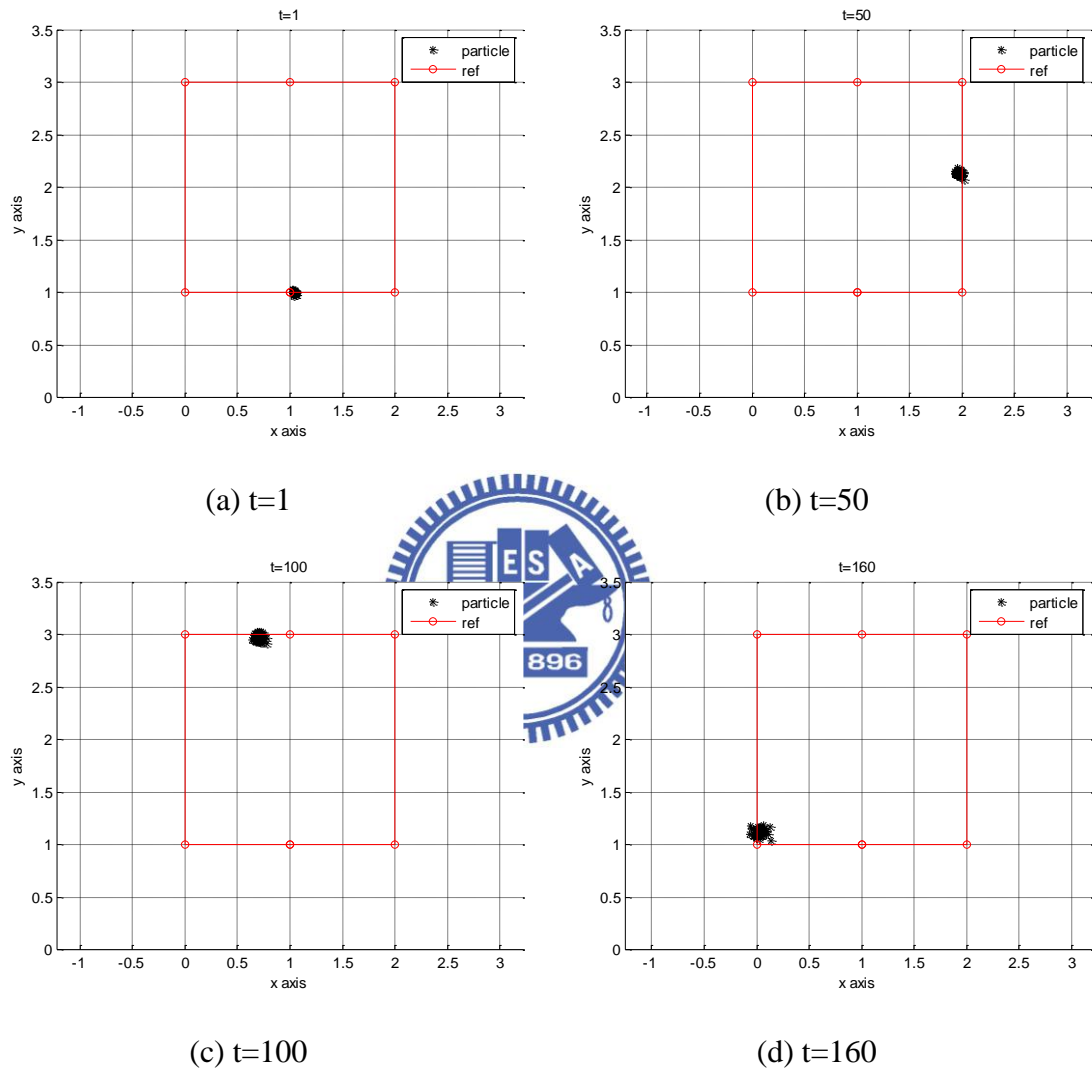


圖 5-19、第一組雜訊參數對粒子散佈的影響

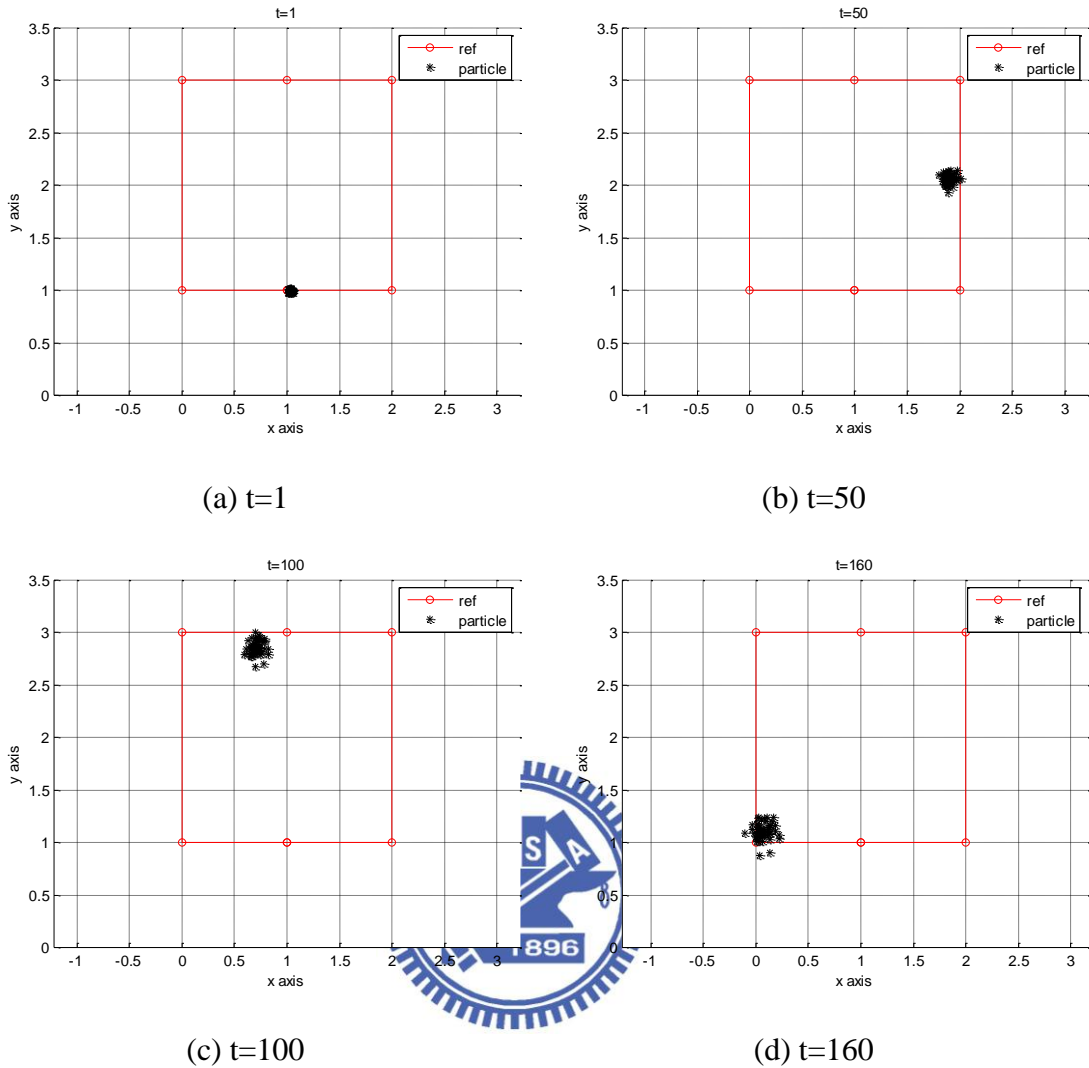


圖 5-20、第二組雜訊參數對粒子散佈的影響

對環境資訊的感測：

當每一個粒子即機器人透過運動模型預測下一刻位置之後，下一時刻同時也會接收到新的感測資訊，感測資訊為透過無線訊號強度為基礎之 Trilateration 計算出來之位置。在假設透過無線訊號強度為基礎之 Trilateration 所得到位置沒有誤差的狀況下，機器人位置之預測位置與 Trilateration 越接近者，表示機器人在該點的可能性就越高，如圖 5-21 所示，因此以機器人位置與 Trilateration 之距離誤差表示該粒子的權重，權重計算方式如(5-19)所示，曲線如圖 5-22 所示。

$$\frac{1}{\text{distance}} \quad (5-19)$$

其中

distance 表示機器人位置與 Trilateration 之距離。

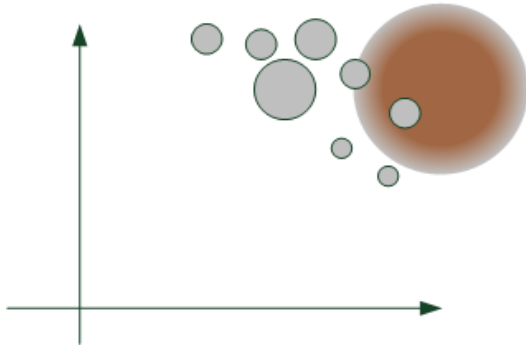


圖 5-21、對環境資訊感測

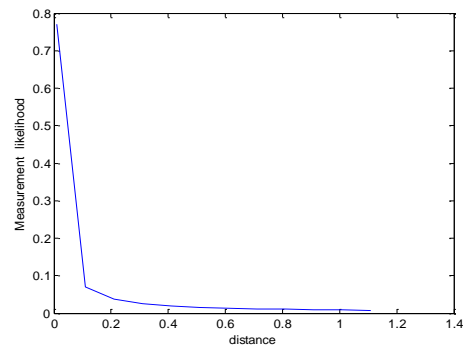


圖 5-22、對環境資訊權重

重要取樣：

由於實際無線 Trilateration 所得到的位置資訊會有誤差，必須加入物理限制作為內部判斷的依據：

1. 機器人移動的最快速度：

因為定位具有連續性，考量到機器人最快移動速度之情況，可以將距離誤差過大之無線 Trilateration 資訊捨棄，因為機器人不可能瞬間移動距離誤差過大的地方，另外考量到會有打滑、或是外力干擾因素，機器人不一定是以最快速率前進，但是以最快速率前進的機會還是最高的，因此設計速度權重函式為速度快該粒子的機率越高，權重表示方式如(5-20)所示，曲線如圖 5-23 所示。

$$\frac{1}{V_{\max} - V'} \quad (5-20)$$

其中

$V_{\max}$ ：表示機器人最大的速度

$V'$ ：表示機器人受到外力干擾的速度

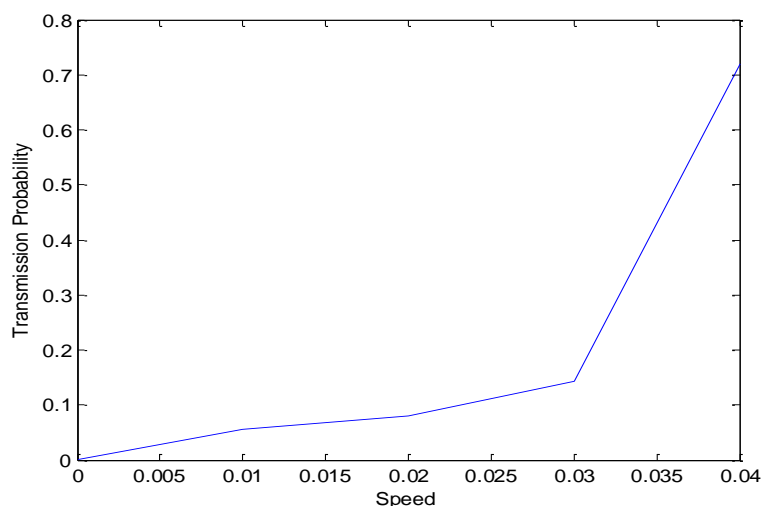


圖 5-23、速度權重

2. 機器人旋轉時的變化角度率：

因為機器人本身有電子羅盤可以得知目前角度資訊，也可以知道上一刻與這一刻的角度差距，如果無線 Trilateration 所得到的位置與電子羅盤的位置角度誤差太大，也會將無線 Trilateration 資訊濾除，因此可以得到對角度誤差權重表示，權重表示方式如(5-23)所示，曲線如圖 5-24 所示。

$$\theta_p = \angle(P_k, P_{k-1}) \quad (5-21)$$

$$\Delta\theta = \|\theta'_k - \theta'_{k-1}\| \quad (5-22)$$

$$\frac{1}{\|\Delta\theta - \theta_p\|} \quad (5-23)$$

其中

$P_k$ ：表示無線 Trilateration 所計算之位置

$\theta_p$ ：表示無線 Trilateration 所計算之目前位置與上一刻位置之角度差

$\Delta\theta$ ：表示電子羅盤目前角度與上一刻角度位置角度差

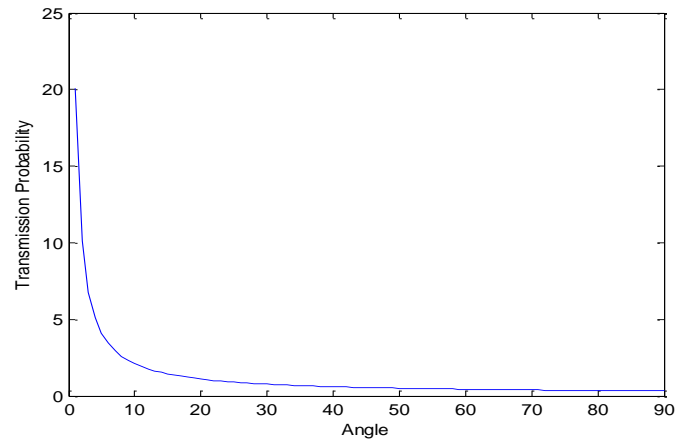


圖 5-24、角度權重

3. 機器人目前的狀態：從機器人目前狀態是其中一項重要的參考指標。這邊要特別提出來的是天線對無線訊號強度造成的影響，由於機器人的移動與旋轉會造成天線方向的改變，天線方向的改變會影響到訊號強度的變化，導致無線 Trilateration 產生誤差，但是藉由機器人本身目前的控制命令狀態(前進、後退、旋轉)可以對天線所造成的影響做補償，減低天線對無線 Trilateration 所產生的誤差影響，補償的量為將機器人目前的座標反算為訊號強度，並且與 ZigBee 所得到的訊號強度相減，即為所需要補償的量，如(5-24)所示。

$$\overline{RSSI}' = RSSI - bias \quad (5-24)$$

其中

RSSI：表示未經過補償之無線訊號強度

Bias：表示需要補償的量

$\overline{RSSI}'$ ：表示經過補償之無線訊號強度

主要分為停止、前進或後退與旋轉，以下分別說明之：

1. 若是機器人目前是處於停止的狀態，無線 Trilateration 資訊應該是會保持在一定的誤差範圍，如果無線定位的誤差變大，或是位置突然改變，則表示可能有遮蔽物或干擾產生，可以將錯誤資訊濾除，



並且對信號誤差做補償。

2. 當知道機器人前進是處於前進或是後退狀態時，由於距離的改變會導致無線訊號強度產生變化，因為如果機器人本身的狀態是前進或後退時，無線訊號有變化，表示機器人位置是確實有改變，如果機器人本身狀態是前進或是後退，但是無線訊號沒有變化，就表示機無線訊號有受到干擾。
3. 當機器人目前狀態是在旋轉時，機器人本身位置應該不變的，但是因為天線特性的關係，在旋轉時天線方向會改變使無線訊號強度產生變化，導致無線 Trilateration 所得到的位置誤差有可能變大，可以將錯誤資訊濾除，並且對天線誤差做補償

最後將這些因素綜合起來，假設系統為一階馬可夫模型，即系統狀態只與前一個狀態有關，可以得到最後的權重表示方式。


$$w_k^m = w_{k-1}^m P(z_k | x_k^m) P(x_k^m | x_{k-1}^m) \quad (5-25)$$

其中

$P(x_k | x_{k-1})$ ：目前狀態轉移到下一個狀態的機率，由速度權重與角度權重相乘

$P(z_k | x_k^m)$ ：在目前狀態下得到該量測值的機率

$w_{k-1}^m$ ：上一刻的權重

並且將權重正規化

$$w_k^m = \frac{w_k^m}{\sum_{m=1}^M w_k^m} \quad (5-26)$$

估測的位置為所有可能狀態之權重總和，也就是期望值

$$E(x_k | z_{1:k}) = \sum_{m=1}^M x_k^m * w_k^m \quad (5-27)$$

其中

$E(x_k|z_{1:k})$ ：系統狀態的期望值

重新取樣階段：

為了防止所有粒子收斂在同一點，在重新取樣階段，會根據權重的大小重新產生新的粒子並且加入雜訊，以保持其他的可能性，如圖 5-25 所示。

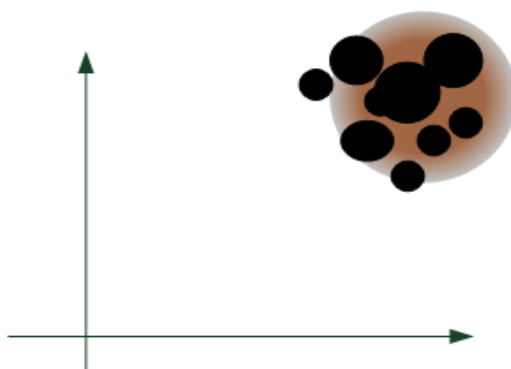


圖 5-25、重新取樣階段

## 5.4 定位實驗結果



### 5.4.1 Particle Filter 靜態定位實驗結果

實驗環境說明：

在室內空曠場地，兩個參考點相距 2 公尺，並且以左邊參考點為原點，機器人從(1,1)出發，以 1 公尺為單位，Particle filter 使用 50 個粒子，記錄機器人在每一點的定位誤差，以與 x 軸夾角為 0，每一個點記錄四個方向分別為 0 度、90 度、180 度與 270 度，如圖 5-26 所示，圈起處為兩個參考點，紅色點為待測目標位置，記錄未補償、經過 Kalman filter 之補償結果與 Particle filter 之補償結果。

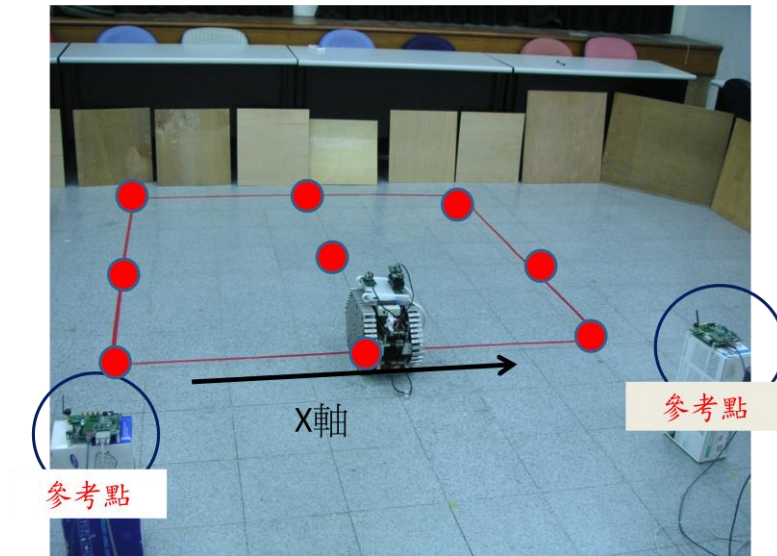
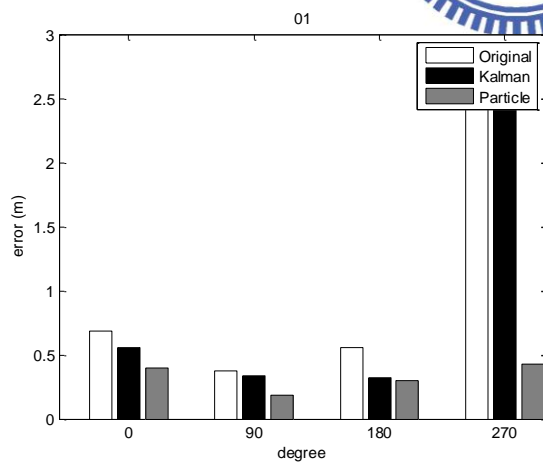


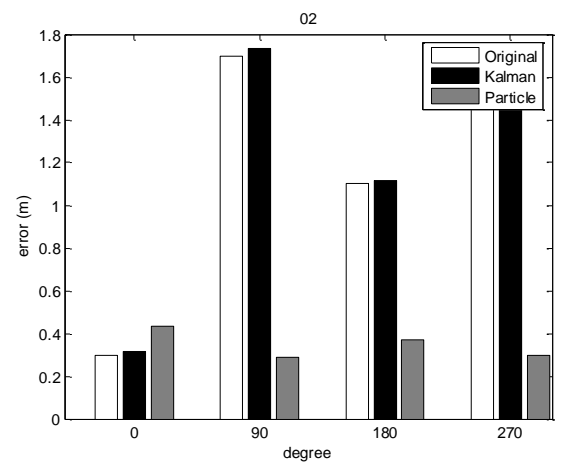
圖 5-26、實驗環境說明

實驗結果：

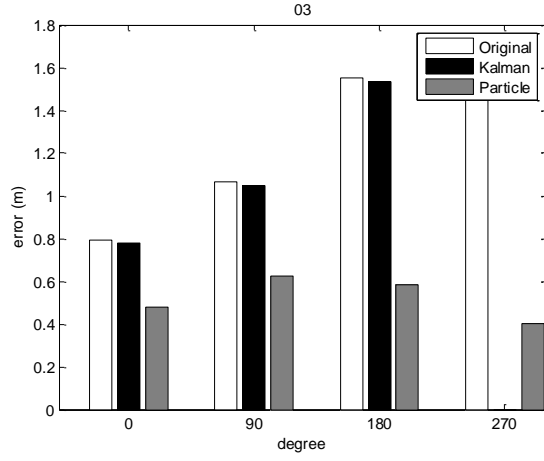
由圖 5-27 可以觀察到，以 Particle filter 補償之結果，在四個方向下皆比未補償與以 Kalman filter 補償之結果較好，能夠有效降低天線方向對定位估測的影響。從表 5-2 可以觀察到，平均最大誤差從 2.3982m 下降到 0.5227m，整體定位精準度改善率為 73.9443%。



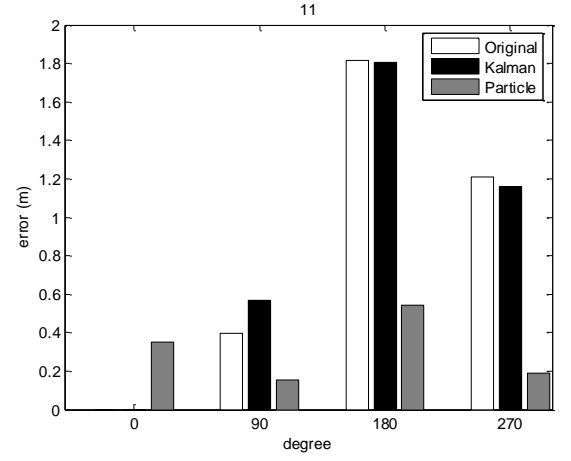
(a) 位置(0,1)



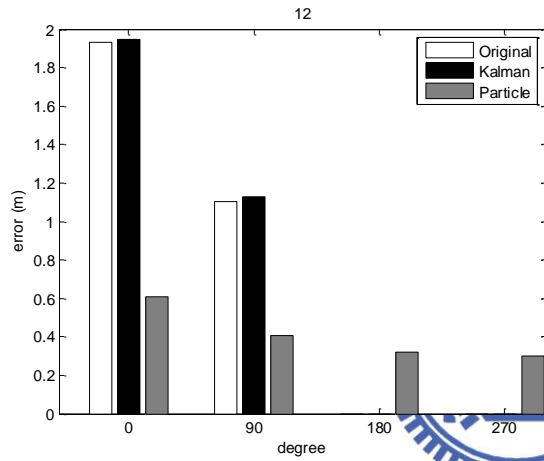
(b) 位置(0,2)



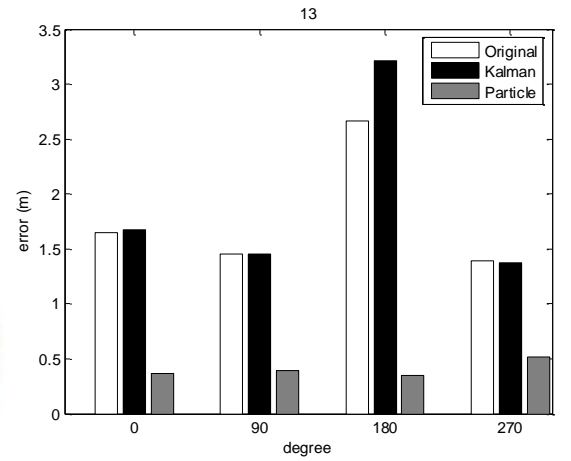
(c) 位置(0,3)



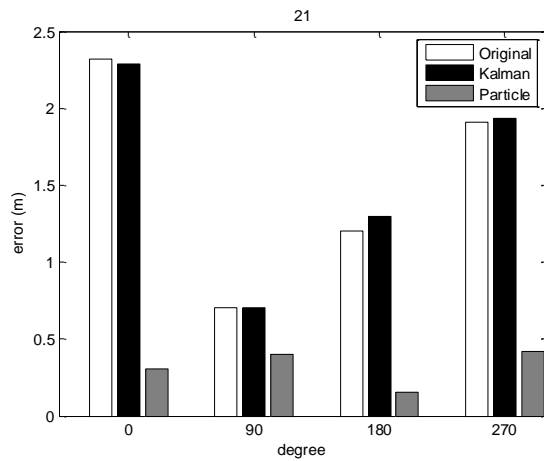
(d) 位置(1,1)



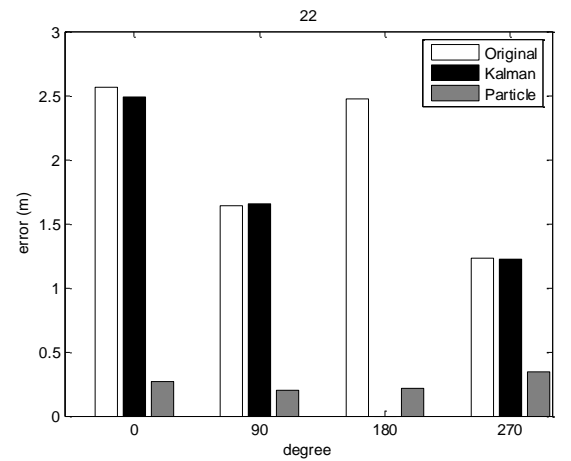
(e) 位置(1,2)



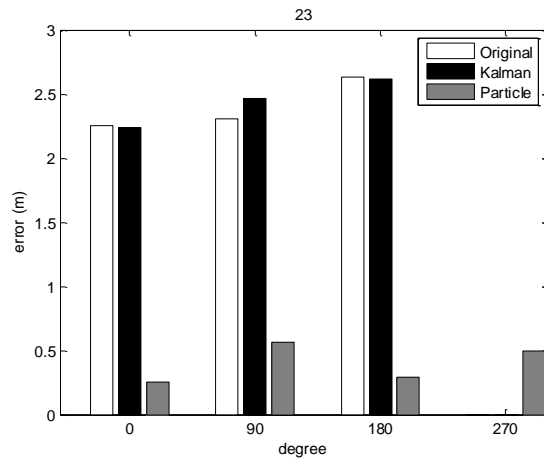
(f) 位置(1,3)



(g) 位置(2,1)



(h) 位置(2,2)



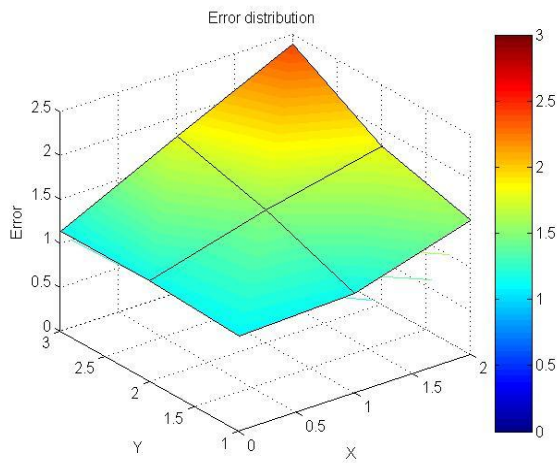
(i) 位置(2,3)

圖 5-27、每一個位置下，四個不同方向的定位誤差

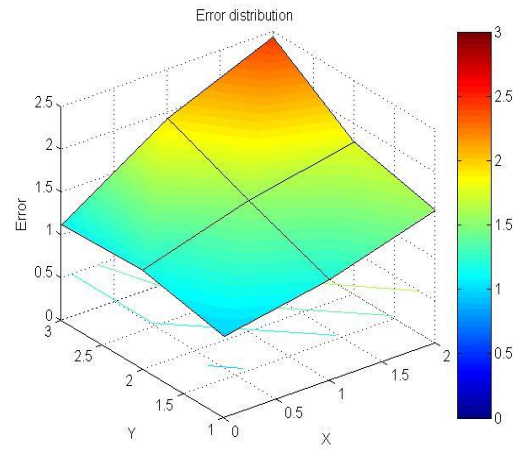
表 5-2、誤差改進率

位置 \ 誤差 (m)	未補償 (m)	Kalman filter (m)	Particle filter (m)	改進率 (與未補償比較)
(0,1)	1.0917	0.9612	<b>0.3262</b>	<b>70.1200%</b>
(0,2)	1.1499	1.1634	<b>0.3478</b>	<b>69.7539%</b>
(0,3)	1.1385	1.1198	<b>0.5227</b>	<b>54.0887%</b>
(1,1)	1.1422	1.1773	<b>0.3093</b>	<b>72.9207%</b>
(1,2)	1.5184	1.5373	<b>0.4077</b>	<b>73.1494%</b>
(1,3)	1.7889	1.9298	<b>0.4056</b>	<b>77.3268%</b>
(2,1)	1.5337	1.5561	<b>0.3202</b>	<b>79.1224%</b>
(2,2)	1.8102	1.7878	<b>0.2575</b>	<b>85.7751%</b>
(2,3)	2.3982	2.4413	<b>0.4019</b>	<b>83.2416%</b>
平均	1.5080	1.5193	<b>0.3665</b>	<b>73.9443%</b>

由圖 5-28、圖 5-29 定位誤差 2D 圖更可以明顯看出差異， Particle filter 之定位結果皆比未補償與經過 Kalman filter 補償之效果好，誤差下降的趨勢也很明顯。

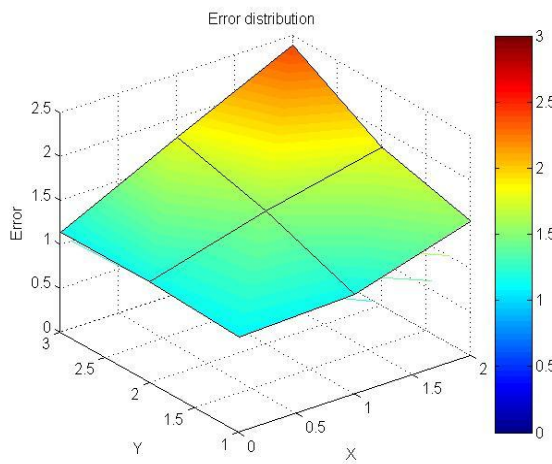


(a) 未補償之定位誤差 2D 圖

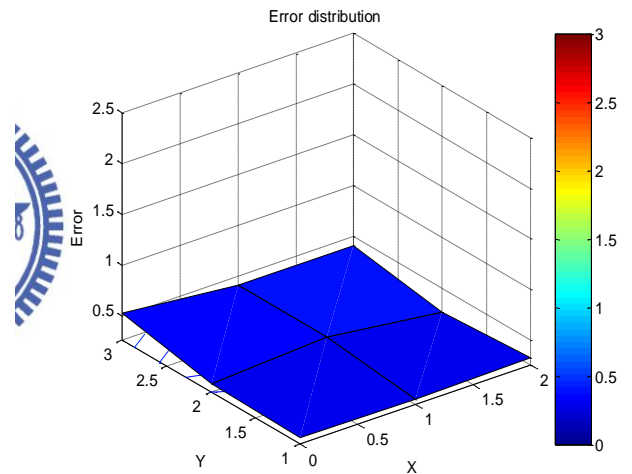


(b) Kalman filter 之定位 2D 圖誤差

圖 5-28、未補償與 Kalman filter 補償過之 2D 定位誤差比較



(a) 未補償之定位誤差 2D 圖



(b) Particle filter 之定位誤差 2D 圖

圖 5-29、未補償與 Particle filter 補償過之 2D 定位誤差比較

從累積機率分布的角度來看，未補償的定位方式誤差在一公尺以內的機率只有 27%，透過 Kalman filter 補償之定位結果誤差在一公尺以內的機率是 35%，透過 Particle filter 之定位方式，誤差在 1 公尺以內的機率是 100%，如圖 5-30 所示。

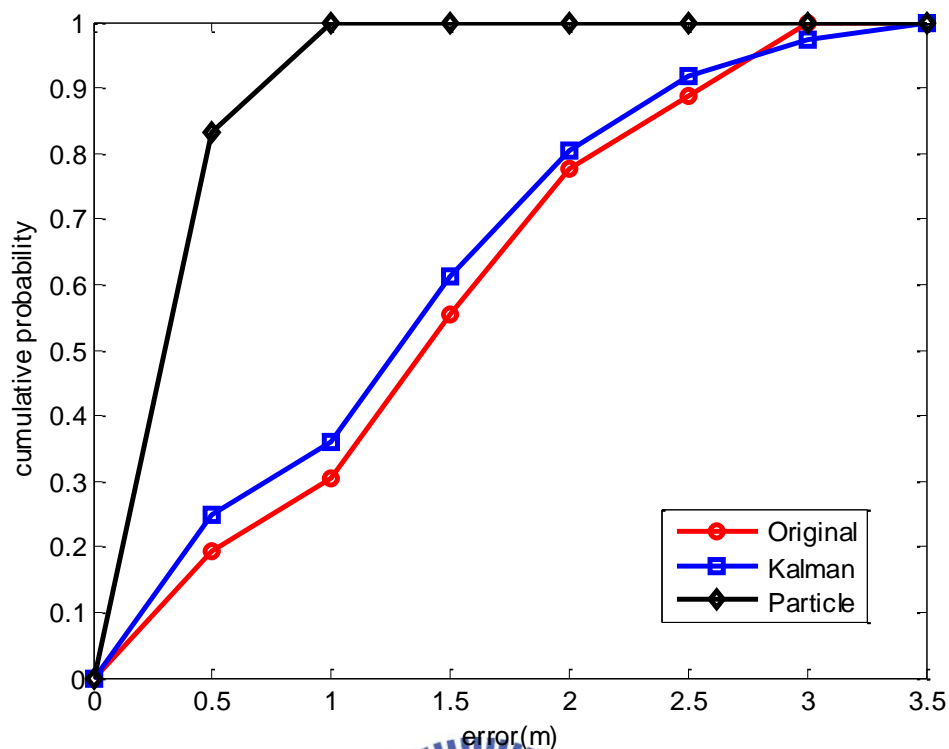


圖 5-30 定位誤差累積機率分布圖

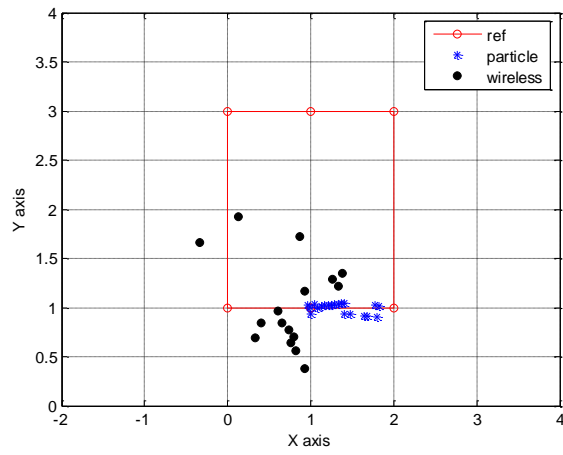
#### 5.4.2 Particle Filter 動態定位實驗結果

同樣的場地，機器人從(1,1)出發，繞一個 2 公尺\*2 公尺的方形。

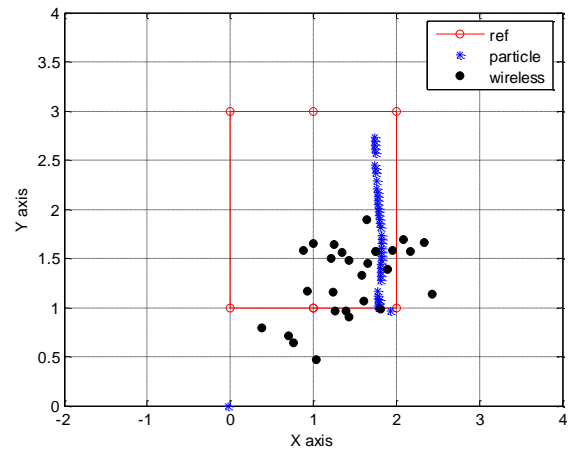
實驗結果：

如圖 5-31 所示，方框表示機器人行進路線，黑色圓點表示使用未補償之無線 Trilateration 結果，藍色星號點表示使用 Particle filter 之結果，從圖可以觀察到使用未補償之無線 Trilateration 結果的結果非常雜亂，無法看出機器人的移動軌跡，因為當機器人轉向或移動時導致天線方向改變，讓訊號強度產生偏移誤差量，造成定位的誤差變大。而使用 Particle filter 之結果，明顯可以看到機器人移動軌跡，位置也沒有產生很大的跳動。

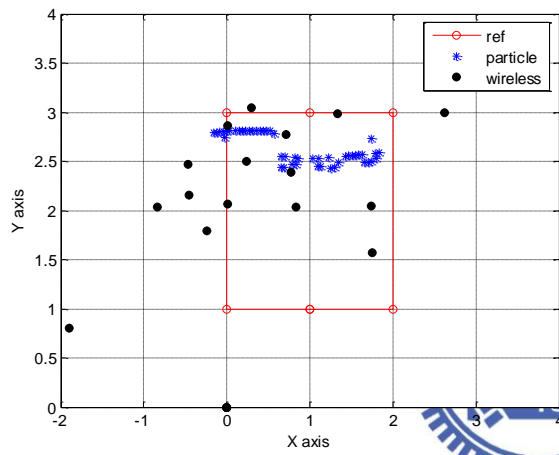




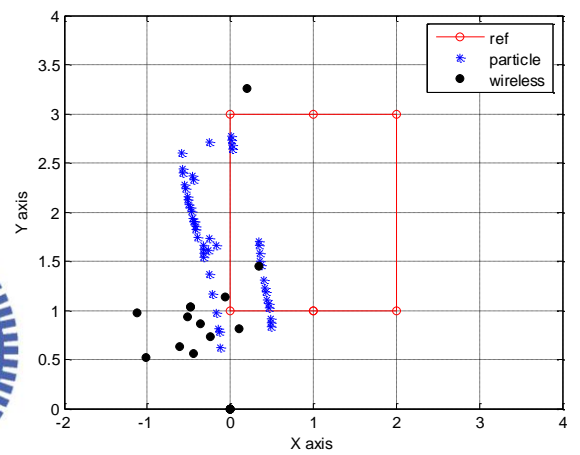
(a) 機器人往(2,1)移動



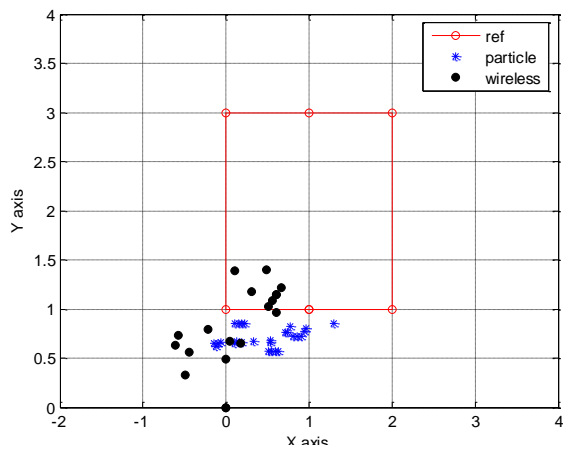
(b) 機器人往(2,3)移動



(c) 機器人往(0,1)移動



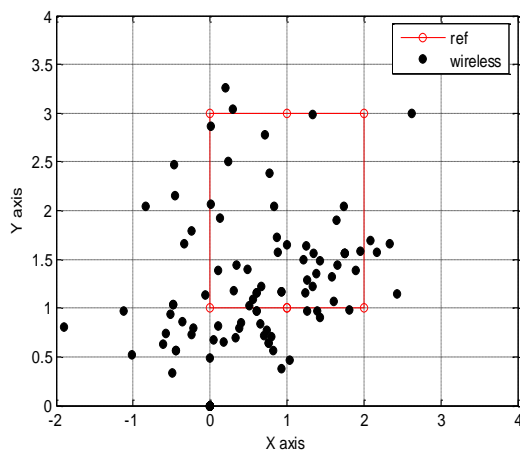
(d) 機器人往(2,3)移動



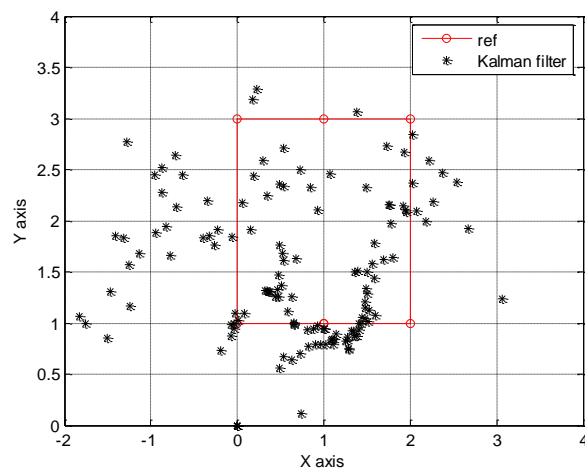
(e) 機器人往(2,1)移動

圖 5-31、機器人移動軌跡分解圖

由圖 5-32、圖 5-33 定位軌跡圖觀察到未補償、經過 Kalman filter 與 Partilce fitler 補償之繞行一圈的整個軌跡，Partilce fitler 都比較好。

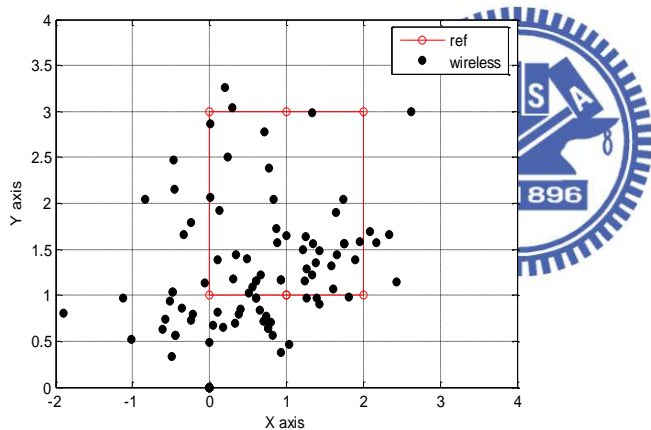


(a) 未經過補償之無線定位軌跡圖

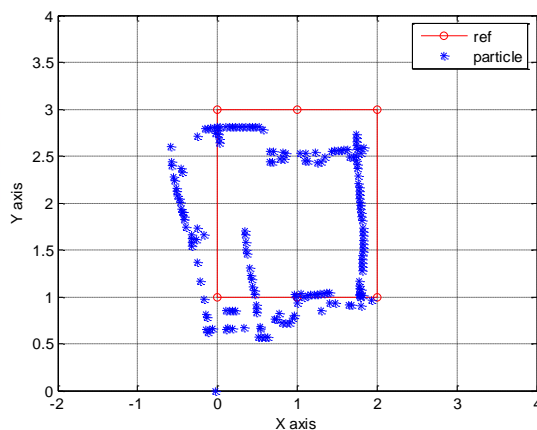


(b) 經過 Kalman filter 補償之定位軌跡圖

圖 5-32、未經過補償與 Kalman filter 補償之定位軌跡圖



(a) 未經過補償之無線定位軌跡圖



(b) 經過 Particle filter 補償之定位軌跡圖

圖 5-33、未經過補償與 Particle filter 補償之定位軌跡圖

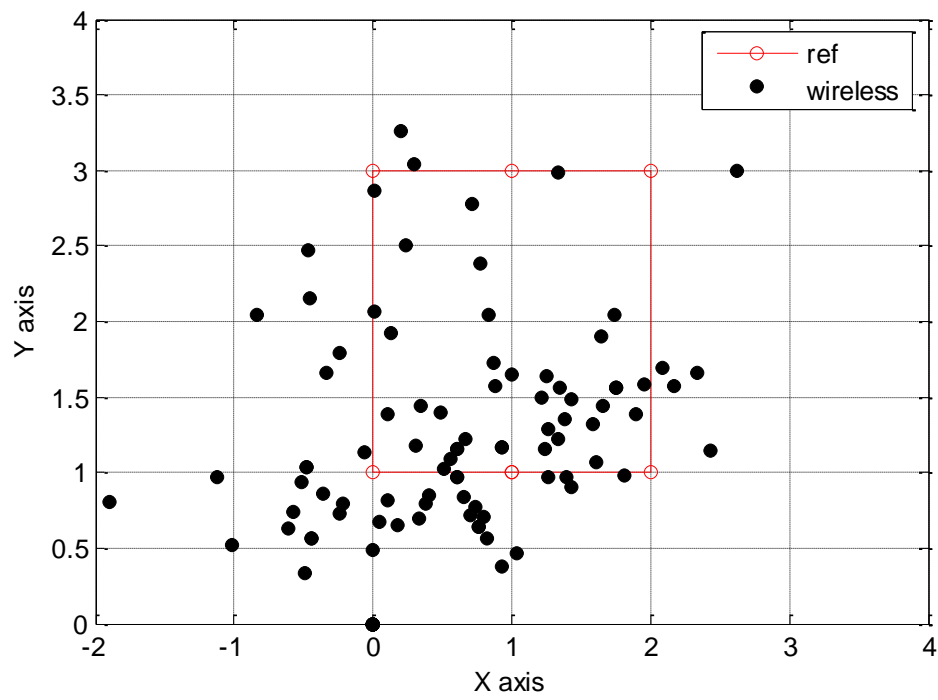


圖 5-34、未經過補償之無線定位軌跡圖

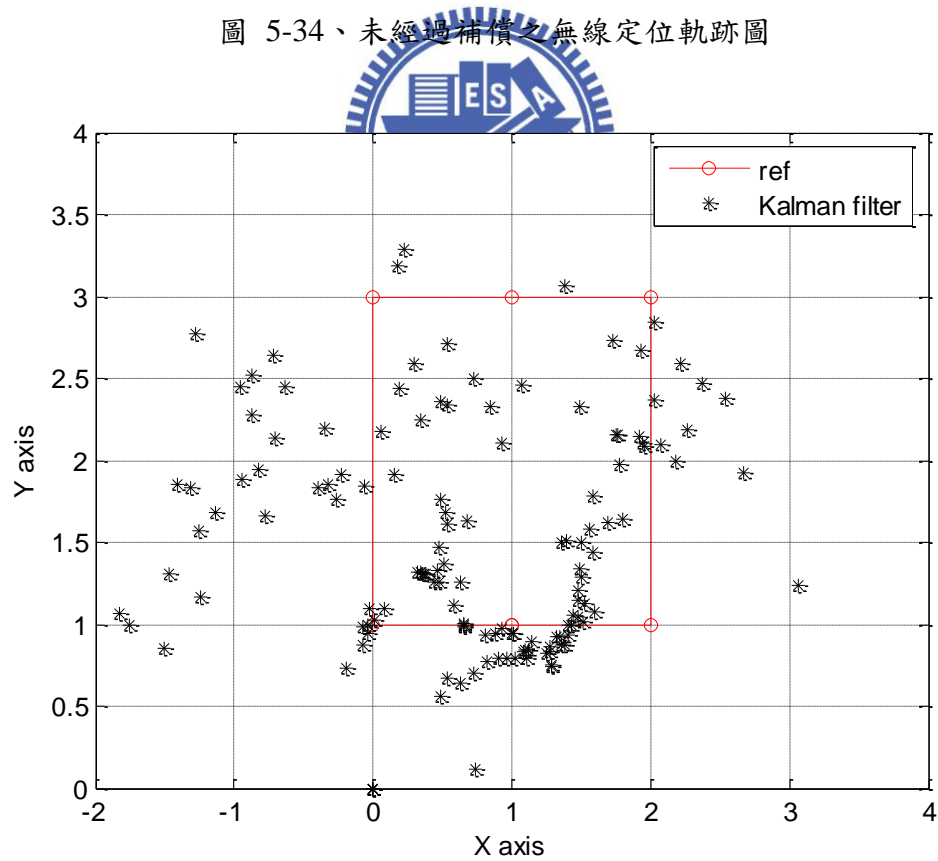


圖 5-35、經過 Kalman filter 補償之定位軌跡圖

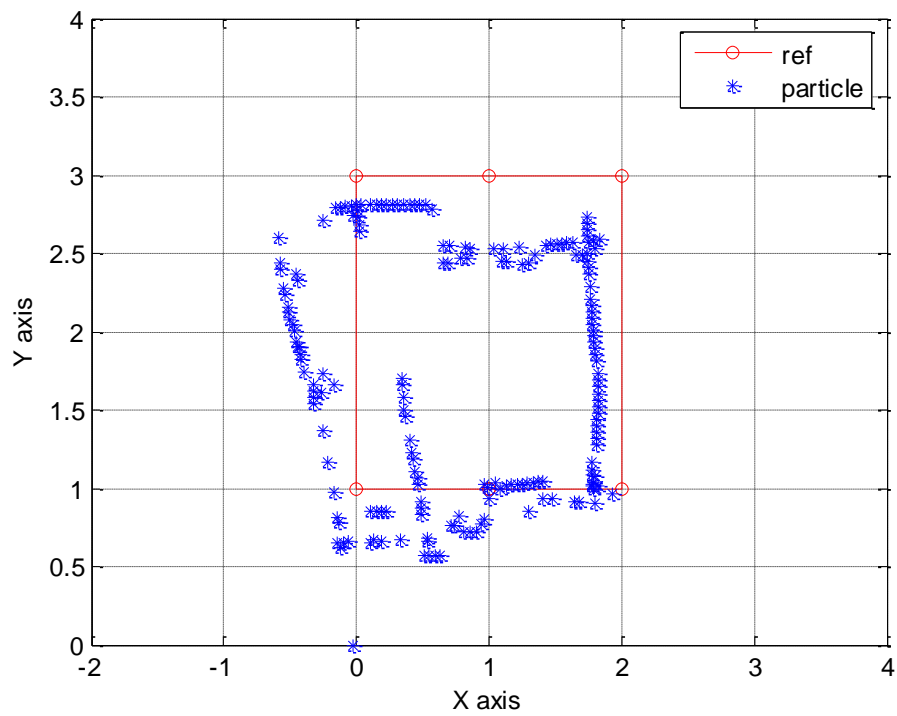


圖 5-36、經過 Particle filter 補償之定位軌跡圖

繞同樣的方形 10 圈，依然可以看出機器人行進軌跡，如圖 5-37 所示。

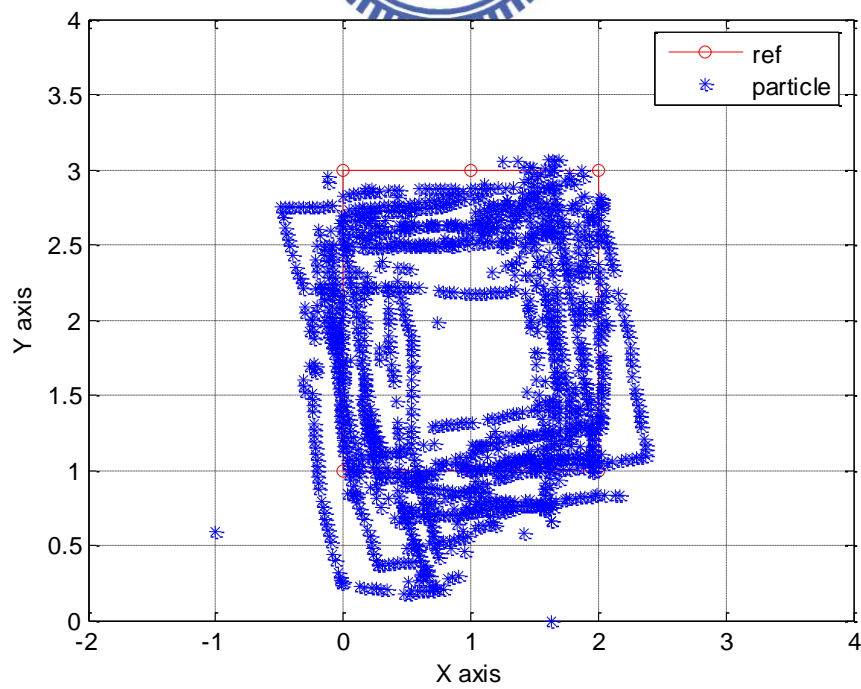


圖 5-37、連續繞方形軌跡圖

## 第六章 結論與未來展望

### 6.1 結論

根據目前的研究成果做出以下幾點結論

硬體控制版的設計與人機介面的實現：

1. 以自行設計的硬體控制電路板，結合 TI DSP2812、Encoder 輸入介面與 DAC 輸出介面提供一個整合介面，能夠透過此塊驅動版為核心，接收周邊感測資料與四軸直流馬達驅動，更能達到電路體積的縮減，以此硬體控制電路板能夠快速架構出機器人的硬體電路，節省開發硬體時間。
2. 軟體端開發了遠端監控人機介面，透過此介面可以監控機器人資訊。
3. 機器人端是以 DSP base 系統開發，不需要電腦，達到體積縮小。
4. 此硬體控制版可以提供初學者一個快速熟悉機器人架構的平台。

以接收信號強度為基礎之機器人定位方面

1. 首先探討了無線信號強度的特性與會對無線訊號造成影響的因素，其中以天線方向與多重路徑效應對無線訊號影響最為嚴重。
2. 透過模擬了解，當無線訊號有偏移誤差量時以及距離的遠近對位置估測的影響，目標物在兩個參考點之間誤差小於目標物在其中一個參考點的一側。
3. 分析無線訊號誤差來源之後，運用 Kalman filter 濾除雜訊，降低定位誤差，但當有無線信號有偏移量時，Kalman filter 並不能處理。運用 Particle filter 與機器人最快移動速率的物理限制，更進一步降低定位誤差，並且透過機器人目前狀態資訊，對天線方向所造成的影響做補償，減低天線方向對定位的影響，定位精準度提昇了 73.9%。

## 6.2 未來展望

1. 本研究所發展的四軸馬達運動控制電路，已經能夠將通訊、運動控制與感測資訊功能整合在一起，未來可以將測試腳位移除，並且可以將電源模組整合
2. 本研究目前定位系統只實現在單隻機器人上，未來將實現在多隻機器人，因為機器人與機器人間的通訊也可以獲得一訊號強度，透過此訊號強度所得到的距離也是另外一個參考指標，利用此參考指標可以對機器人位置做進一步的修正。此外目前的實驗環境比較單純，未來將測試不同的場地，驗證系統的強健性。



## 参考文献

- [1] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support System," in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking* Boston, Massachusetts, United States, 2000.
- [2] D. Niculescu and N. Badri, "Ad Hoc Positioning system (APS) Using AOA," in *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol.3, pp. 1734-1743, 2003.
- [3] C. Morelli, M. Nicoli, V. Rampa, U. Spagnolini, and C. Alippi, "Particle Filters for Rss-Based Localization in Wireless Sensor Networks: An Experimental Study," in *Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 4-4 2006.
- [4] "2.4 GHz Inverted F Antenna (Rev. B)", *Texas Instruments*, 2008.
- [5] Z. Shah, R. A. Malaney, W. Xun, and K. Tai, "Experimental Deployment of Particle Filters in WiFi Networks," in *Communications*, pp. 4692-4697, 2007.
- [6] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning system (APS)," in *Global Telecommunications Conference*, vol.5, pp. 2926-2931, 2001.
- [7] L. Lazos and R. Poovendran, "SeRLoc: Secure Range-independent Localization for Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 3rd ACM workshop on Wireless security*, Philadelphia, PA, USA, 2004.
- [8] A. Ladd, K. Bekris, A. Rudys, L. Kavraki, and D. Wallach, "Robotics-based Location Sensing Using Wireless Ethernet," *Wireless Networks*, vol. 11, pp. 189-204, 2005.
- [9] H. S. Ahn and W. P. Yu, "Indoor Mobile Robot and Pedestrian Localization



- Techniques," in *International Conference on Control, Automation and Systems*, Seoul, South Korea, pp. 1189-1193, 2007.
- [10] A. Baggio and K. Langendoen, "Monte Carlo Localization for Mobile Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 6, pp. 718-733, 2008.
- [11] F. Caballero, L. Merino, I. Maza, and A. Ollero, "A Particle Filtering Method for Wireless Sensor Network Localization with an Aerial Robot Beacon," in *Robotics and Automation*, pp. 596-601, 2008.
- [12] "TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812 DSPs (Rev. O)", *Texas Instruments*, 2007.
- [13] "Running an Application from Internal Flash Memory on the TMS320F28xx DSP (Rev. H)", *Texas Instruments*, 2008.
- [14] "TMS320F281x Boot ROM Serial Flash Programming", *Texas Instruments*, 2007.
- [15] "CC2431 Location Engine", *Texas Instruments*, 2006.
- [16] G. Welch and G. Bishop, An Introduction to the Kalman Filter, *University of North Carolina, Chapel Hill, NC*, 1995.
- [17] L. Klingbeil, T. Wark, and I. C. Soc, "A Wireless Sensor Network for Real-time Indoor Localization and Motion Monitoring," in *7th International Symposium on Information Processing Sensor Networks*, St Louis, MO, pp. 39-50, 2008.
- [18] B. Ristic and S. Arulampalam, *Beyond the Kalman filter: Particle filters for tracking applications*: Artech House, 2004.
- [19] M. Nicoli, C. Morelli, and V. Rampa, "A Jump Markov Particle Filter for Localization of Moving Terminals in Multipath Indoor Scenarios," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 56, pp. 3801-3809, 2008.

- [20] 簡榮宏,無線區域網路,全華有限圖書公司,2007

