

國立交通大學

資訊管理研究所

碩士論文

一個以 RFID 為基礎的定位機制

A RFID-Based Location Sensing Mechanism

研究生：楊智超

指導教授：羅濟群博士

中華民國九十五年六月

一個以 RFID 為基礎的定位機制  
A RFID-Based Location Sensing Mechanism

研究生：楊智超  
指導教授：羅濟群

Student: Chih-Chao-Yang  
Advisor: Chi-Chun Lo



A Thesis

Submitted to Institute of Information Management  
College of Management  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science in Information Management  
June 2006  
Hsinchu, Taiwan, the Republic of China

中華民國 九十五年 六月

研究生：楊智超

指導教授：羅濟群 老師

國立交通大學資訊管理研究所

## 摘要

無線射頻辨識技術 (RFID, Radio Frequency Identification) 的應用日漸廣泛，我國政府及業界皆希望透過運用RFID技術來大幅提升日常生活作業的效率，其可說是目前討論最為熱烈、同時被視為下一波的明星產業，而 RFID 定位服務 (RFID based Location Sensing Service) 就是在這個潮流之下應運而生的一個熱門主題，相對於目前已經非常熱門的 GPS 定位服務，RFID 定位主要是應用在室內，如大型建築物的內部，以彌補傳統 GPS 在室內定位會有死角的狀況發生；因此本論文提出一個能有效完成以 RFID 為基礎的新式定位機制，利用二階段分群演算法的引入，幫助解決在實際定位過程中，指引點數目辨識不明的情形；而本論文所提出之機制，經由實驗與實作證明，確實可以增加定位的效能與準確性，並且有明確的指引點數目確認。

**關鍵字：**無線射頻辨識技術，定位，感測網路，集群分析

Student : Chih-Chao Yang

Advisor : DR. Chi-Chun Lo

Institute of Information Management  
Nation Chiao Tung University

## Abstract

The application of RFID (Radio Frequency Identification) is well know in recent years. It's a hottest topic and a star industry we imagine in the next generation. Our government and industries both hope that the efficiency of daily working can be enhanced significantly by the application of RFID technology. Moreover, RFID based location sensing service is the hottest topic under this upcoming trend. Compared to another popular location sensing based service GPS, RFID based location sensing technique is used under indoor environment, such as the inside room of a big building. It can recover the weakness of indoor dead spaces in original GPS scanning. As a result, we propose a new and useful RFID based location sensing mechanism in this research. By the application of the 2-steps clustering method, we can solve the puzzle of no exact number of reference points in the process of location sensing. And, in the new proposed mechanism, the experiment and implementation results prove that the efficacy and correctness are improved with the exact number of reference point recognition.

**Key Words:** RFID, location sensing, sensor network, clustering analysis

## 誌謝

光陰荏苒，很快的碩士兩年求學生涯就過去了，這兩年內學到很多，要感激的也很多：

首先感謝指導教授 - 羅繼群 老師的諄諄教誨與對論文的不吝指導，讓敝人在研究遭遇瓶頸之時，總能夠獲得協助與突破，得以完成；另外也感謝口試委員劉敦仁 老師、陳彥良 老師、楊建民 老師，在口試時給予敝人論文寶貴的指點與評論。

另外要感謝的是實驗室內一起奮鬥、一起成長的碩二同學、其他的學長與學弟們的鼓勵與打氣，讓敝人時常感受到無限的溫暖與歡笑，在這裡僅祝大家將來都能夠鵬程萬里，有好的發展。

最後感謝父母親，二十幾年來生我、養我、教我，尤其是母親，感激您一路走來始終對我的瞭解與支持，另外要感謝的還有女友宛宛，很感激妳給予的包容與打氣；因為有妳們，讓我有勇氣去接受每一次的挫折與挑戰，謝謝！

楊智超

交大資管

95年6月24日

# 目次

摘要	.....	III
Abstract	.....	IV
誌謝	.....	V
目次	.....	VI
圖目錄	.....	VIII
表目錄	.....	IX
第一章 緒論	.....	1
1.1 研究背景與動機	.....	1
1.2 研究目的	.....	2
1.3 章節規劃	.....	2
第二章 文獻探討	.....	3
2.1 感測網路與定位技術	.....	3
2.2 RFID 介紹	.....	6
2.2.1. RFID 技術緣起	.....	6
2.2.2. RFID 技術原理	.....	7
2.2.3. RFID 技術特色	.....	10
2.2.4. RFID 的應用範圍	.....	11
2.3 RFID 於定位方法的研究	.....	12
2.3.1 SpotON 系統	.....	13
2.3.2 LANDMARC 系統	.....	14
2.3.3 LANDMARC 系統效能評估	.....	19
2.4 問題定義	.....	21
2.5 集群分析與分群法的概念	.....	27
2.5.1 概念	.....	28
2.5.2 比較與分析	.....	29
2.5.3 華德法 (Ward' s method)	.....	30
2.5.4 灰關聯聚類法	.....	31
2.5.5 K-Means 演算法	.....	34
2.5.6 二階段分群法應用	.....	36
2.6 小結	.....	37
第三章 一個以RFID為基礎的定位機制	.....	40
3.1 演算法	.....	40
3.2 實例說明	.....	43
3.2.1 第一階段分群處理	.....	43
3.2.2 第二階段分群處理	.....	46

第四章	模擬結果與分析.....	49
4.1	測試平台與環境.....	49
4.2	模擬假設與限制.....	50
4.3	系統設計.....	51
4.4	Test Case.....	52
4.5	模擬結果與數據.....	57
4.5.1	不同擺設密度的追蹤標籤放置 vs. 定位.....	59
4.5.2	不同擺設密度的指引標籤放置 vs. 定位.....	61
4.5.3	不同位置的讀取器擺設 vs. 定位.....	63
4.5.4	綜合分析.....	65
第五章	總結與未來發展.....	67
5.1	總結.....	67
5.2	未來發展.....	67
參考文獻	.....	68



## 圖目錄

圖 2-1 RFID 的可應用範圍 .....	12
圖 2-2 RFID無線感測環境示意圖 .....	13
圖 2-3 LANDMARC系統之實驗環境 .....	16
圖 2-4 LANDMARC系統之實驗數據圖 .....	20
圖 2-5 模擬LANDMARC定位系統之實驗圖 .....	22
圖 2-6 模擬LANDMARC定位系統之實驗圖(2) .....	25
圖 2-7 階層式分群法示意圖 .....	31
圖 3-1 運用二階段分群法的新定位機制流程圖 .....	42
圖 3-2 運用華德法做數據初步分群之結果圖 .....	44
圖 3-3 運用K-Means做數據第二步分群之結果圖 .....	46
圖 4-1 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.1 .....	59
圖 4-2 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.2 .....	59
圖 4-3 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.3 .....	60
圖 4-4 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.1 .....	61
圖 4-5 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.2 .....	61
圖 4-6 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.3 .....	62
圖 4-7 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.1 .....	63
圖 4-8 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.2 .....	63
圖 4-9 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.3 .....	64

## 表目錄

表 2-1 RFID 感應器類型比較.....	8
表 2-2 RFID 使用頻帶優缺點比較.....	9
表 2-3 LANDMARC方法之流程表.....	18
表 2-4 LANDMARC系統之模擬實驗數據.....	21
表 2-5 模擬實作之指引標籤權重值.....	23
表 2-6 模擬實作之各不同參考點的定位解.....	24
表 2-7 模擬實作之各不同參考點狀況下平均表現.....	26
表 2-8 修正灰關聯聚類方法之流程.....	33
表 2-9 K-Means方法之流程.....	35
表 3-1 新定位機制之步驟.....	40
表 3-2 華德法中群集數字決定之結果.....	43
表 3-3 運用華德法做數據初步分群之結果.....	45
表 3-4 運用K-Means做數據第二步分群之結果.....	47
表 3-5 運用二階段分群法之數據比較.....	48
表 4-1 不同情境下的模擬定位實驗 (1).....	53
表 4-2 不同情境下的模擬定位實驗 (2).....	55
表 4-3 不同情境下的模擬定位實驗 (3).....	56
表 4-4 不同情境下兩方法的效能比較表(計算單位：公尺) (1).....	60
表 4-5 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (1).....	60
表 4-6 不同情境下兩方法的效能比較表 (計算單位：公尺) (2).....	62
表 4-7 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (2).....	62
表 4-8 不同情境下兩方法的效能比較表 (計算單位：公尺) (3).....	64
表 4-9 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (3).....	64

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

定位服務已是現代人生活中不可或缺的一部份，舉凡個人性的消費電子產品（如：GSM、PHS 手機、PDA）、GPS 行動車用導航系統、或者是對某些特定標的物所設計的企業級追蹤系統，都是定位服務概念的延伸與應用。

近年來，隨著 RFID 技術逐漸成熟，其底下各式各樣可行的應用也開始蓬勃的發展，而利用 RFID 的設備與特性來建構起一個室內定位環境的想法，也開始為大家所重視；尤其當以往大家所熟知的 GPS 定位技術，針對室內環境未知物的定位，可能會因為環境本身的屏障或周遭干擾而有盲點的時候，適合用在室內定位的 RFID 定位技術就是一個需要密切注意的議題。

要達到所預期的室內定位目標，在該室內環境底下必須要有一定數量的 RFID 讀取器 (Reader) 與許多 RFID 標籤當成能提供有效資訊的指引點，藉由適當的網路拓樸配置，建構一個室內定位環境，完成有效範圍內針對某個未知物件的追蹤；一般說來，如果 RFID 讀取器的數量能夠越多，對未知物的追蹤也能越準確，因為其能夠有效偵測的涵蓋範圍 (coverage) 能夠越廣，自然從指引點收集到的回報資訊會比較精確；然而，RFID 讀取器的單價向來都是非常高的，如果僅是為了做室內定位而購買了大量的讀取器，所要花費的成本相當可觀，因此我們改採用在環境內配置大量的指引標籤當成指引點的替代方案，延伸我們的定位有效涵蓋範圍。

而本論文研究的動機，在於希望能夠藉由有效演算法的提出，讓目前利用 RFID 設備做定位的既有技術效能提升、準確度增加，在效能以及成本兼具的考量之下，研究出室內環境底下有幫助的定位機制，幫助我們完成更多日常生活中

所需完成的定位工作。

## 1.2 研究目的

利用 RFID 做室內追蹤物的定位，目前已有一些可以應用的方向，例如：

1. 醫院內的醫療物品追蹤。
2. 大型室內環境中對於失蹤老人及孩童的搜尋。
3. 商店及製造商內部的物流管理。

這些應用，多半是硬體的實作結合了軟體工程的開發，使得其有實用的價值，但是不論其設計如何，系統運作背後的定位演算法，都是可以反覆再三拿出來檢視其效能與可行性，藉由對其不斷的改良，達成更符合期望值的目標。

因此，本論文把持著精益求精的原則，希望能透過對既有以 RFID 為基礎的定位演算法改良，使得室內定位系統的準確性與可信度都相對的提高，讓其不論在市場上或者是日常生活中都有更大的應用價值。

## 1.3 章節規劃

本論文在章節規劃上，分別如下：第一章是介紹本論文研究之動機與目的；第二章將會對室內定位發展的歷史、與 RFID 之後的崛起等相關文獻做介紹；第三章會針對室內定位的演算法部分做比較，並以本論文的觀點提出改良式的演算法；第四章將會以改良式的演算法為根據，介紹系統實作的模型與實驗數據，並做到效能分析；第五章則是總結與對未來可研究方向探討。

## 第二章 文獻探討

本章將會先探討一些近來較熱門的感測網路技術，並且在定位技術上的運用，接著會介紹 RFID 設備的特性，最後是它運用在定位技術上所可以擁有的優點，以及本論文欲研究及改進的對象 ~ LANDMARC 系統；以下將分別在各個章節中一一描述。

### 2.1 感測網路與定位技術

下列是近年來，一些曾經運用在室內定位，以感測網路為基礎的技術探討：

#### ■ 紅外線 (Infrared)

在 Olivetti 實驗室 (現為 AT & T Cambridge Lab)，曾經以漫射紅外線 (diffuse infrared) 技術發展出一套稱為 Active Badge [16] 的定位系統；然而，紅外線僅能作直線行進、短距離傳輸的限制、易受干擾、及高昂的建構成本，使得這項設計實用價值不大，並沒有受到太多的重視。

#### ■ IEEE 802.11

RADAR [2] 是一套以無線射頻 (Radio Frequency) 為基礎的室內定位系統；該系統建置是以符合 IEEE 802.11 規格的網通設備為主，以這些設備作為測量系統環境底下之定位涵蓋範圍的工具。

該系統最重要的地方，是將實際測量的過程與訊號增殖模型 (signal propagation model) 的觀念結合在一起，利用此觀念所計算出來的訊號強度去推算出未知物件的實際位置。

RADAR 在運用的優點上，要建構一個合適的 RADAR 系統，僅需要在適合無線網路運作的室內環境中，架設幾個無線基地台就可以了，非常方便。

而其主要的缺點，在於被追蹤的未知物本身也要支援相關的設備 (例如：802.11 規格的網路卡)，這在一些比較小型或者是可用電量有限的被追蹤物上面

是比較難達成的。

但是到目前為止，類似 RADAR 這樣運用 802.11 無線技術的系統，在實際運用的效能上與期望值是有一點差距的，以實際上的數據來說：RADAR 在其宣稱有效的 3 公尺涵蓋範圍內，誤差值在信心水平內的有 50%，然而在相同信心水平下使用其他非 IEEE 802.11 標準的設備，最大的有效涵蓋範圍卻能達到 4.3 公尺 [7]。

#### ■ 超音波 (Ultrasonic)

Cricket Location 定位系統[14]與 Active Bat 定位系統[5]是兩個運用超音波去做定位的系統，這些系統運用了所謂的 time-of-flight[18]測量技術去計算未知物的位置。

在效能上，這兩個系統都有不錯的準確度，Cricket 可以在一個 4\*4 (單位：英尺)的室內空間有很高的準確率，而 Active Bat 可以在 9 公分的涵蓋範圍內，有 95% 的準確率；然而，這兩個系統的共同點在於如果要維持高水平的定位準確率，所需要的設備成本是相當可觀的，這一點對於某些經費有限的使用者來說，是比較不切實際的。

#### ■ 超寬頻 (Ultra-wideband)

UWB(Ultra-wideband) 是屬於這個標準規格下的產品；2002 年 2 月 14 日，美國聯邦通信委員會(FCC) 核准超寬頻產品可以合法在商業市場上銷售，正式為這項短距離無線技術開啟商用化的大門，而號稱能進行高速傳輸，且具有低成本與低耗電力優點。

有別於傳統無線通訊技術，UWB 並不使用連續的正弦波(sine waves)來傳送資料，而是以快速發出脈衝(impulse)的方式來進行資料傳輸，並採取時間調變方式。

在定位系統的發展上，因為 UWB 系統具備良好的時間解析能力，使其能發展出精確的測距能力與定位功能，過去美國軍方即將其用在雷達的偵測系統上。

[21]

相較於其他以存的無線通訊技術，超寬頻系列產品也有其開發上的優勢與劣勢：[22]

在優勢上，由於超寬頻是夾在 WiFi 與藍芽世代之間的無線技術，因此在應用市場上會有互相重疊的部分，例如未來超寬頻想進入行動電話以及家庭鬧道器市場，這與 WiFi 甚至藍芽都互有重疊。在初期成本上超寬頻比 WiFi 與藍芽晶片來得高，但是在高傳輸速率上(100Mbps 以上)，卻比起 802.11g (54Mbps)與高速藍芽(10Mbps)高上許多，這是其優點。

但在其發展的劣勢上，第一，截至目前為止，UWB 在規格上仍未有最終統一的標準，這對於負責產品化量產的廠商必定有所遲疑，不敢貿然進入市場；第二，一些技術上的瓶頸，如可能與其他的通訊技術(例如：手機通訊)互相干擾、資料傳輸距離不夠；第三，初期開發成本可能十分龐大，這些都是尚待克服的課題。

#### ■ RFID

SpotON [8]是第一個運用 RFID 技術做室內定位的系統，在這個三度空間底下的定位系統當中，SpotON 以聚集演算法 (aggregation algorithm)計算收集到的訊號強度；在此同時，這個系統的作者 Jeffery HighTower 也量身打造了一套符合實作需求的硬體，做為實際定位時所需要用到的設備。

在 SpotON 的方法中，未知物件的定位並沒有經過系統中央控管的過程，而是由其他硬體規格相同的感測點，以分散式計算的方式來完成；這些分散在感測環境之中的感測點會將其訊號強度資料集合起來並回報，最後以定位演算法計算出未知物件的預測位置。

LANDMARC(Location Identification based on Dynamic Active RFID Calibration)[13]則是近期用 RFID 技術做定位有不錯成果的一個系統，相較於 SpotON，在硬體環境上，LANDMARC 系統運用了有較大讀取範圍與回應能力的主動式感應標籤 (Active Tags)[23]，作為實作過程中標籤硬體規格的選擇；另外，在演算法的採用上，系統的作者也提出了所謂的 LANDMARC 方法，既修正了傳統定位上的一些盲點，並實際針對各種定位系統下的情境有不同的研究，使得

運用該 LANDMARC 方法所計算出來的定位數據，可信度更增加。

## 2.2 RFID 介紹

接下來，本論文會花一點篇幅，介紹 RFID 技術的緣起、技術原理及其可能的發展方向。

### 2.2.1. RFID 技術緣起

RFID的技術最早使用在第二次世界大戰時，分辨戰機的用途上，戰後RFID的應用亦被擴展至保安系統，出入口控制及自動閘口等多方面；1948年，Harry Stockman首先於無線電工程師協會( Institute of Radio Engineers, IRE) 研討會發表一篇透過反射電波信號來辨識遠端物體的文章，開啟了反射無線電波的應用，接著在1950年代，包括F. L. Vernon與D.B. Harris皆個別發表了“Application of the microwave homodyne” [10]與” Radio transmission systems with modulatable passive responder” [1]，正式開啟了RFID的發展。

然而接下來的許多年，因為缺乏一套共用的規格標準，所以 RFID 技術一直未能被廣泛採用於供應鏈管理或其他的重要問題上。

但近年來，RFID 技術已有大幅的進步；隨著 1980 至 1990 年間 RFID 系統逐漸成熟，相關的應用與市場也因此逐漸成形，包括美國鐵路運輸協會 (Association of American Railroads) 與容器管理合作計畫 (Container Handling Cooperative Program) 專注於 RFID 技術標準與應用的發展，簡化了商品運送過程的辨識與追蹤程序，使得 RFID 的應用獲得大幅的成長。

RFID 近期流行的用途是在物流的管理上；透過 RFID 標籤貼在物品上，企業只要藉由一台讀取機即可管理清點在倉庫或賣場上貨品，可管理庫存、檢查是否過期；貼在錢幣與金融卡上，可防偽。其他包括行李、郵件、包裹、醫藥、有價票卷等各種物品，只要貼上 RFID 標籤，就可以掌握流向。

在 2004 年全球零售業龍頭 Wal-Mart 百貨開始要求前 100 大供應商，在運貨用的棧板和出貨產品中導入 RFID 系統，引爆了物流業的大革命。在此之後，一些科技大廠如 IBM、惠普等，都積極了解投入 RFID 的研究、發展上。

### 2.2.2. RFID 技術原理

RFID 是一種無線射頻物件辨識技術，由讀取器 (Reader)、感應器 (Transponder) 與中介軟體系統整合 (Middleware & System Integration) 三者串聯而成的架構；其動作原理是由 RFID 讀取器發射特定頻率之無線電波給感應器，用以驅動感應器之電路將晶片內部之資料傳回，RFID 讀取器便可以接收到資料。

關於讀取器、感應器、中介軟體系統的詳細說明，分別如下：[34]

(1) 讀取器：利用高頻電磁波傳遞能量與訊號，電子標籤的辨識速率每秒可達 50 個以上。可以利用有線或無線通訊方式，與應用系統結合使用。

一個讀寫器包含無線通訊模組 (RF module，提供傳送與接收訊號的處理)、一個控制模組 (control module)、以及一組耦合元件 (coupling element，提供天線的功能)，透過輸出入介面 (如 RS232 或 RS285 等) 與應用系統設備 (如 PC) 連接。

(2) 感應器：一般也可以稱為電子標籤 (tag)，是由一組耦合元件與一個電子晶片組合而成。

通常以電池的有無可區分為被動式 (passive) 和主動式 (active) 兩種類型。被動式標籤是接收讀取器所傳送的能量，轉換成電子標籤內部電路操作電能，不需外加電池；可達到體積小、價格便宜、壽命長以及數位資料可攜性等優點。

將其特點以表格顯示如下：

表 2-1 RFID 感應器類型比較

	被動式標籤 (passive)	主動式標籤 (active)
能量來源	透過電磁感應獲取	本身配載電池
有效範圍	3 ~ 5 公尺	可達 100 公尺
儲存容量	通常小於 128 bits	可達 16K bits
訊號強度要求	較高	較低
平均重量	約 0.5 ~ 5 克	約 50 ~ 200 克
平均價格	較低，約 0.5~10 美元	較高，約 20~70 美元
平均壽命	較長	2-4 年

(3) 中介軟體系統：這是一個介於使用者與 RFID 設備之間的軟體系統設計，其可以讓 RFID 設備端所得到的訊息，透過系統的運作，能夠有效的收集、整理、並回報，系統使用者能夠藉此系統了解整個環境狀況，是一種使用者與 RFID 設備端溝通的橋樑。

依據使用電波頻率頻帶範圍的不同，RFID設備大致可分為下列三類：[3]

- (1) 30-300kHz低頻 (low frequency, LF)
- (2) 3-30MHz高頻 (high frequency, HF) /RF radio frequency
- (3) 300MHz-3GHz 的超高頻 (ultra high frequency, UHF) 或高於3GHz的微波。

整個無線電頻譜 (spectrum) 有許多頻率範圍是屬於公用頻帶，依用途而有不同的限制，每一個國家所開放的公用頻帶範圍也不盡相同，但由國際電訊聯盟無線電小組(International Telecommunication Union Radio Communication Sector, ITU-R)所規範給工業、科學與醫療的ISM(Industrial, Scientific, and Medical)頻帶，免申請即可使用[19]；因此，RFID使用的頻帶範圍主要是涵蓋工

業與科學的頻帶範圍。

使用各頻帶的優缺點如下表所示，其中，135KHz 以下的頻帶是RFID發展最久以及產品數量最多；13.56MHz則運用在許多不同的領域，此一頻帶的產品主要是以管理物品為主；2.45GHz與UHF頻帶的產品特性大致相同，但UHF具有通信距離較長的優點。[35]

表 2-2 RFID 使用頻帶優缺點比較

頻率	優點	缺點
低頻 (low frequency 125~ 134 KHz)	可廣泛佈署、 金屬干擾低	可讀取範圍小 (約 1.5 m以內)
高頻 (high frequency, 13.56 MHz)	可廣泛佈署、 濕氣影響低	可讀取範圍小 (約 1.5 m以內)， 易受金屬干擾
超高頻 (ultra high frequency, UHF)	部署廣泛、 通訊範圍高於其他標準	易受溼氣影響、 標籤之間太靠近 時，容易產生頻差 (detuning)
微波 (Microwave 2.45GHz)	高讀取範圍	普及化速度緩慢、缺 乏統一規格標準、實 作有難度

### 2.2.3. RFID 技術特色

RFID的技術應用可以非常廣泛，目前典型應用有動物晶片、汽車晶片防盜器、門禁管制、停車場管制、生產線自動化、物料管理、醫療用品管理、物件追蹤，而其在使用上，有下列幾點「應用特色」：

#### ■ 非接觸式自動感應

由於RFID是一種非接觸式技術，不需要像傳統的磁條或電腦條碼(Bar Code)，必須直接與讀取機接觸，可排除因為接觸感應不良而產生的辨識不明，因此當處理的物件數量很多時，可同時一次讀取多個，減少人力的花費；此外，可將RFID的讀取融入作業的流程中，使得資料的讀取是在不知不覺中進行，可降低作業流程複雜度，因而提高生產力；當RFID的資料被自動感應後，後端處理的系統上可自行設計後續處理的流程，如自動識別的機制、規則的驗證、錯誤的防止、警示的提醒等，使得RFID應用的功能更加地有彈性、範圍更廣泛。

#### ■ 物件計錄狀態

RFID標籤可貼於各式物品、人員、車輛上，應用系統中可即時自動更新物件狀態之歷程，提供追蹤管理的功能。此外配合定位的需求，RFID也可根據被讀取到的位置紀錄，提供即時追蹤之使用。

#### ■ 數據資訊之儲存

某些形式的RFID可重複讀寫並重複使用，其記憶體中可儲存該物件之關鍵數據資訊，並隨著物件的移動，數據資料也跟著移動，提供資料的可攜性。

從「記憶模式與結構」來看，RFID可區分為下列四種主要類型：

- (1) 讀取專用：只能讀取資料，通常記錄特定物品的識別編號。
- (2) 可讀寫入資料：與IC記憶卡功能相同，內建EEPROM或FeRAM等記憶體，

可提供資料讀寫功能。

(3) 內建微型處理器：與IC智慧卡功能相同，使用內建於ROM裡的作業系統和程式動作，用於提供高安全性的用途。

(4) 內建感應器：以內建溫度感應器為市場主流，此外也有內建壓力感應器等產品。

而 RFID 在「實作技術」上，特色有：

(1) 體積小：如 Hitachi 已發展出之被動式 RFID 晶片僅 0.4mm X 0.4mm 大小，與一顆沙粒相仿，可貼附在任何大小的商品上。

(2) 成本低廉：估計 RFID 晶片被大量應用時單顆成本降至 5 分美金以下。

(3) 不易被仿製：RFID 可隱藏於物品內，除非是大型 IC 製造廠，否則無法被仿製。

(4) 可儲存大量資料：晶片內有 96 bits 容量，可辨識 1600 萬種產品，680 億個不同序號。可以避免條碼方式常遭遇到的序號重複問題。

(5) 快速非接觸式資料讀取：接受器和晶片的間隔在 4 公尺內即可感應，每秒可讀取 250 個標籤，比條碼辨識快數十倍，也無須人工手持條碼機逐個掃描。

(6) 其他特色：可以減少人工手動操作的錯誤，確保品質並降低成本，提供即時資料等。

#### 2.2.4. RFID 的應用範圍

RFID之應用相當廣泛，最常見的包含：[12]

- 門禁管制：人員出入門禁監控、管制及上下班人事管理。
- 回收資產：棧板、貨櫃、台車、籠車等可回收容器管理。
- 貨物管理：航空運輸的行李識別，存貨、物流運輸管理。
- 物料處理：工廠的物料清點、物料控制系統。
- 廢物處理：垃圾回收處理、廢棄物管控系統。

- 醫療應用：醫院的病歷系統、危險或管制之生物品管理。
- 交通運輸：高速公路的收費系統。
- 防盜應用：超市的防盜、圖書館或書店的防盜管理。
- 動物監控：畜牧動物管理、寵物識別、野生動物生態的追蹤
- 自動控制：汽車、家電、電子業之組裝生產
- 聯合票證：聯合多種用途的智能型儲值卡、紅利積點卡

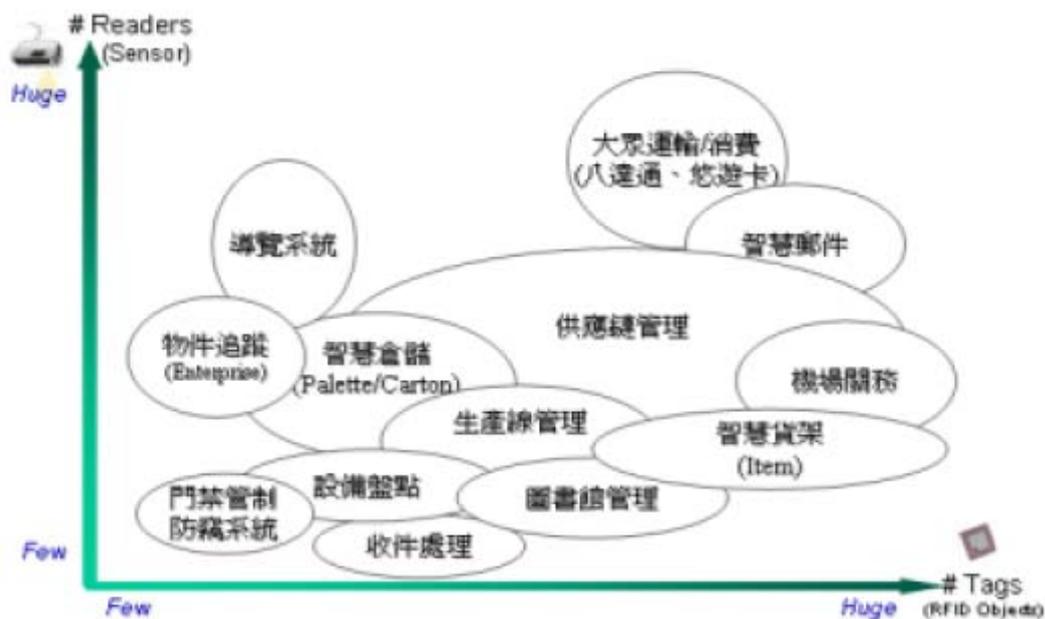


圖 2-1 RFID 的可應用範圍

## 2.3 RFID 於定位方法的研究

前面提到，其實 RFID 近年來開始流行的初衷是因為物流管理，一開始並沒有人就把它運用於定位的研究；不過當原本一些既有的定位技術，因為設備成本或技術限制的考量，而遭遇瓶頸的同時，主張成本低廉、可儲存大量資料的 RFID

設備，就開始被認為也許是可行的替代解。

### 2.3.1 SpotON 系統

首先將這個想法融入實際應用的，是在 2000 年以 Jeffery Hightower [8][6] 為首的一群學者，他們認為，利用自製且符合需求的 RFID 設備，一樣可以完成未知物件定位的工作，並且在準確度和效能上面，期望能比以往的定位技術提升許多，前面所提到的 SpotON 系統，就是因此而生。

那麼，他們是如何用 RFID 設備去完成定位？

簡單的說，在 SpotON 系統中的定位方法，就是利用 RFID 讀取器、許多感應器(感應標籤)，建構一個有一定涵蓋範圍的室內無線感測網路環境；對於環境底下的眾多感應標籤而言，分別針對環境內某一個未知座標的追蹤物件，做相對訊號強度計算的動作，這個計算動作是由 RFID 讀取器端收到未知座標物與感應標籤之間相對的訊號強度資料，透過中介軟體系統加以分析，最後，以該分析資料推算出該未知追蹤目標的位置，這就是整個定位的流程。



圖 2-2 RFID 無線感測環境示意圖

Jeffery Hightower 等SpotON系統的作者，就是以上述的方式來完成未知物定位的目標，同時，在收集訊號強度的過程中，他們也引入了所謂的訊號衰退模型 (signal strength regression model) 估算訊號強度，期待所收集到的訊號強度數據能夠更加精確；但在研究中，實際上作者對於硬體上的設計比在演算法上的研究來的深入，通篇研究的討論也比較傾向硬體面的改善，但總的而言，整個 SpotON 的概念還是引起了不小的震撼與迴響。

一直到了三年後，也就是 2003 年，另一批的作者 Lionel M. Ni 等人提出了 LANDMARC 系統的理念，裡面對於利用 RFID 設備做室內定位，所計算出來的定位精確度，有較明確的數值與情境分析。

LANDMARC 系統在實作上，還有整體的定位演算法提出，除了使利用 RFID 設備用於定位上的準確率更高之外，在產業技術的進步與生產成本的降低的同時，使該系統有更大的價值與商機在室內定位的應用上面。



### 2.3.2 LANDMARC 系統

由於 LANDMARC 系統內的理論，是本篇論文所欲深入研究的主题，因此本節將會對 LANDMARC 系統的實驗環境，及其演算法流程做詳盡的說明與解釋。

在說明 LANDMARC 的應用理論之前，首先要先了解，LANDMARC 主要是沿襲 SpotON 系統方法中，運用相對訊號強度估算距離的方式來預測未知物件的位置，這是目前行動定位的技術當中發展的最純熟的一種測量方式，目前行動定位的技術可以區分為下列四種：[24][25]

#### (1) Signal strength ( SS ) :

利用基地站的訊號強度與距離的關係進行測距來達到定位的目的，如：SpotON、LANDMARC。

#### (2) Time of arrival ( TOA ) :

類似GNSS [25](Global Navigation Satellite System, 全球衛星導航系統)的定位原理, 以量測訊號自基地台傳播至使用者的時間進行測距並定位。

**(3) Time difference of arrival ( TDOA ):**

量測訊號從基地站傳播至使用者的時間差以雙曲線定位的原理進行定位。

**(4) Angle of arrival ( AOA ):**

量測使用者與基地站之方向並以類似角度法前方交會的方式定位。

有了如上的認知, 接著我們開始簡介在 LANDMARC 系統中, 所採用的實驗方法:

一般LANDMARC系統中的實驗環境, 是由  $n$  個 RFID 讀取器、 $m$  個所謂的指引標籤 (reference tags) 和  $u$  個要追蹤的標籤 (tracking tags) 所組成。

下頁的圖 2-3, 就是以這樣的思維建構而成的環境, 其中:  $n=4$ 、 $m=16$ 、 $u=8$ , 表示這個實驗環境是由 4 個 RFID 讀取器、16 個指引標籤組成, 而其底下的 8 個的追蹤標籤是我們欲實際定位的目標。



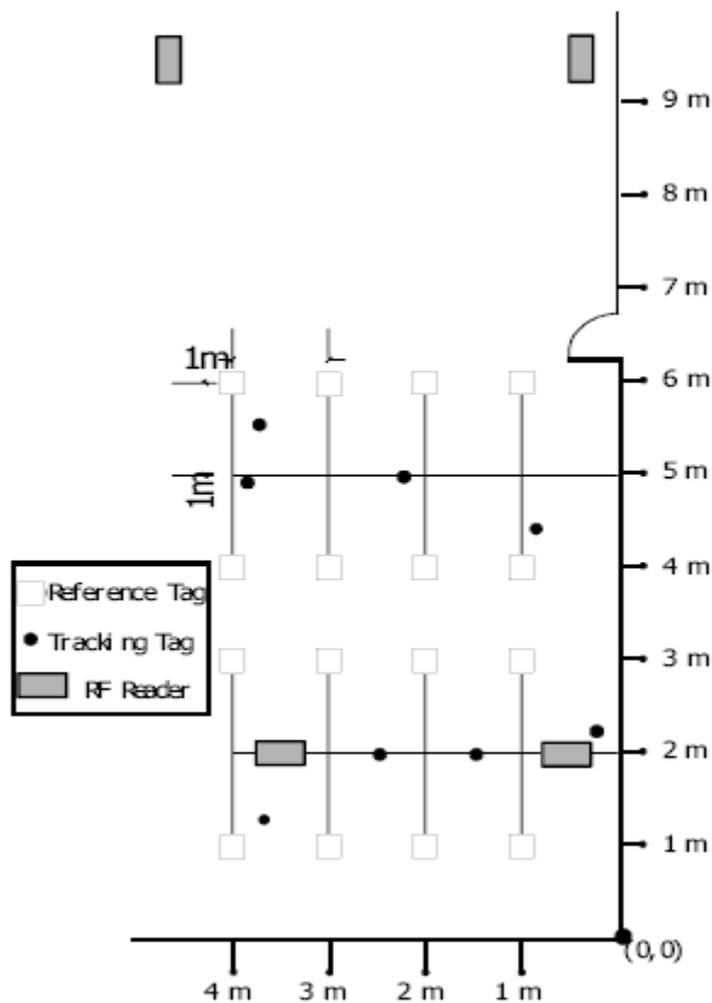


圖 2-3 LANDMARC 系統之實驗環境

一般說來，要做未知物件的定位，讀取器的數量越多越好，因為其可以互相包含以形成廣大的有效定位涵蓋範圍 (coverage)；然而，由於 RFID 的讀取器數量有限，且又單價太高，所以我們改以利用大量且成本較低廉的設備，如：配置大量主動式標籤的方式，將標籤均勻的散佈在實驗環境之中，當成是可以輔助 RFID 讀取器增加有效定位涵蓋範圍的指引點，以這個方法變相的讓系統內的有效定位涵蓋範圍增大，而這個指引標籤的概念，也為 LANDMARC 系統方法中，非常有特色的一個地方。

在各 RFID 讀取器端會收到兩組來源不同的訊號，表示如下；

定義在不同的 RFID 讀取器 ( $i \in (1, n)$ ) 中，會分別收到兩組訊號強度，以向量集合的觀念表示，分別為  $\vec{S} = (S_1, S_2, \dots, S_n)$  和  $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 。

其中： $\vec{S}$  是表示追蹤標籤，相對於讀取器所擁有的訊號強度向量。

$\vec{\theta}$  是表示指引標籤，相對於讀取器所擁有的訊號強度向量。

針對每個要特定追蹤的標籤  $p$  ( $p \in (1, u)$ )，會得到  $j$  個 ( $j \in (1, m)$ ) 相對強度值  $E_j$ ，

$$\text{這裡的 } E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2} \quad \dots (2.1)$$

也就是說，以這個看起來類似求尤拉距離公式 (Eular Distance formula) 的方法，對於每個要追蹤的標籤  $p$ ，都求出一組其相對於環境中所有  $m$  個 (假設  $j = m$ ) 指引標籤的相對強度集合  $\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ 。

這個相對強度的集合  $\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$  有著其物理意義在：當集合內的某個  $E_j$  值越小的時候，表示該欲追蹤的標籤  $p$ ，可能距離某個指引標籤 (編號  $j$ )，實際距離是比較近的；那麼，如果能夠找出某幾個  $E_j$  值較小的指引標籤，根據這些標籤所提供的位置來對此欲追蹤的標籤位置做定位，準確率將會大大提升，這也是 LANDMARC 方法中，最關鍵的觀念所在。

要推估追蹤標籤的位置，可以依照離追蹤物由近到遠的指引標籤的順序 ( $E_j$  值由小到大)，來計算在每次不同的階段，也就是依序選取 1~  $k$  個較小的指引標籤，當作是實際定位時所會使用到的指引點，以此計算。

而在每一次不同的階段，所欲使用到的指引點，都會有其參考權重的計算，公式如下：

$$w_j = \frac{\frac{1}{E_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{E_i^2}} \quad \dots\dots (2.2)$$

這個公式裡面的  $W_i$  是個很重要的值，代表的是一個「權重」(weight) 的概念；簡言之，當某個  $E_j$  值越小的指引標籤存在時，表示該標籤的座標位置要有越大的參考性(因為距離該追蹤物越近)，那麼其就應該擁有更高的參考權重；最後，在整體的位置估算時，參考權重越大的指引標籤所提供的位置資訊，可以確保對追蹤物的位置預測有較大的定位精確性。

因此，如果今天依照由  $E_j$  值小到大的順序選了  $k$  個較小的指引標籤，根據其座標位置，可以定位出該未知座標的追蹤標籤位置  $(X, Y)$ ，公式如下：

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i) \quad \dots\dots (2.3)$$

整個 LANDMARC 定位方法，我們以下表 2-3 的步驟說明，簡單的表達其流程：

表 2-3 LANDMARC 方法之流程表

步驟一： 將事先決定好數量的 RFID 讀取器、指引感應標籤 (reference tags,  $m$  個)，依照所欲擺設的感測網路拓樸 (topology) 環境放置妥當，在這個預設是零干擾、零屏障的網路環境中，準備進行環境底下對追蹤物定位的動作。

步驟二： 將一個或數個欲追蹤的物件（通常有配帶 RFID 感應標籤、或者本身就是一張感應標籤），置於網路環境中。

步驟三： 從各個讀取器端，去接收來自追蹤標籤與指引標籤的訊號強度集合， $\vec{S}$  與  $\vec{\theta}$ 。

步驟四： 以這些讀取器收集到的訊號強度，透過公式 (2.1) 算出未知物件與各指引標籤的相對訊號強度值，得到一組其與指引標籤間的相對強度向量集合  $\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ 。

從這個向量集合，可以找出離追蹤物件最近的指引點，並以公式 (2.2) 依序算出相對的參考權重。

步驟五： 以離追蹤物件最近的指引點開始，以公式(2.3)，由近到遠依照順序，計算各階段引用不同數目指引標籤的狀況下，未知物件的座標  $(X, Y)$ 。



### 2.3.3 LANDMARC 系統效能評估

在 LANDMARC 研究中，提供了一個計算未知物件座標的演算法，依照參考點數目的不同，分別計算總平均狀況之下，誤差率有多大。

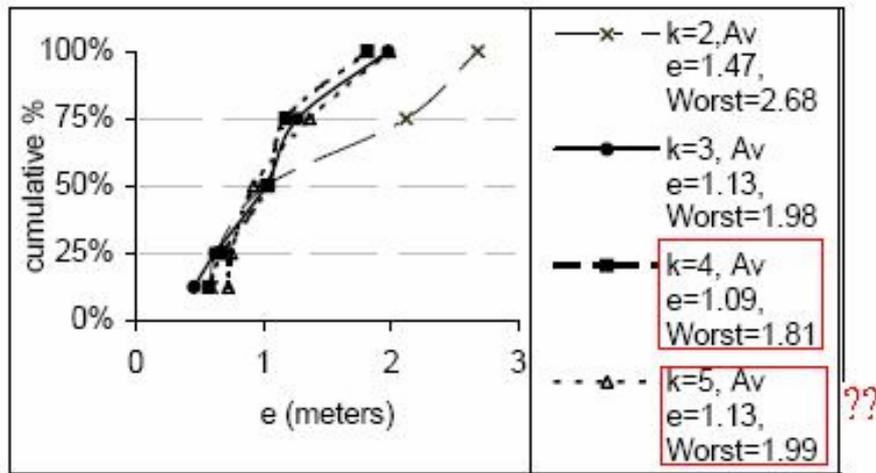


圖 2-4 LANDMARC 系統之實驗數據圖

這是一張由原來 LANDMARC 方法所算出的實驗結果圖， $k$  代表的是參考點的數目、 $Ave$  是所有追蹤點的平均的誤差距離 (Average error)、 $Worst$  是所有追蹤點的最大誤差距離 (Worst error)，而個別追蹤點的誤差距離  $e$  的計算方式，定義如下：

$$e = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad \dots\dots (2.4)$$

在公式(2.4)中， $(X, Y)$  是以 LANDMARC 方法所定位出來的追蹤物預估座標，而  $(X_0, Y_0)$  則是該追蹤物的實際座標，而此兩點間誤差的距離由尤拉距離 (Euclidean distance) 公式所求出。

回到討論，由圖 2-4 可以得知，當這些欲追蹤的物件都放在有效的涵蓋範圍內，所計算出來的誤差值大部分是可以在一定的水平內 ( $< 2$  公尺)，且誤差的平均值會隨著指引點的數量增多，而有微幅的下降。

但是由這張圖可以得知，當指引點的數目，由四個增加到五個的時候，卻發現平均誤差距離、最大誤差距離反而有些微上升的情況，雖然這些值的變動都還在一定的範圍內，不過這也讓使用者有所得到啟示，即在原本的 LANDMARC 方法中，針對每個追蹤物的定位，並沒有很精確的算出指引指引點的數目，所有的追

蹤物件樣本，都是以總平均面的表現列入定位效能的考量。

我們用另外一個例子來解釋這其中的弔詭之處，假設今天有兩個未知座標物件 A 與 B，A 物件也許只要用到三個指引點就能找到定位最佳解，B 物件用到四個指引點才会有最佳解，誤差的數據如下表 2-4 所示：

表 2-4 LANDMARC 系統之模擬實驗數據

Case 指引點數目	A	B	平均誤差 (單位：公尺)
3	1.23 m	1.40 m	1.315 m
4	1.26 m	1.39 m	1.325 m

這個例子，如果僅從平均面來看，會發現如果只用三個最近的指引點，會得到整體的最佳解，當 A 採用三個最近的指引點時，會得到屬於它的最佳解，所以只用三個對 A 而言是正確的；然而對 B 而言，就不是那麼一回事。

因此，修正過後的總平均誤差表現，應該是 A 的最佳平均誤差 1.23 公尺加上 B 的最佳平均誤差 1.39 公尺後再平均，所求出來 1.31 公尺這個數據。

所以，前面所提到的問題會在這個例子中很清楚的被呈現，LANDMARC 系統中雖然有符合實務需求的定位演算法運用，但是在細節部份，如指引點數目的不明，以及因為指引點不明所造成的數值偏差，都還是可以再改善的部份。

在下面的 2.4 節，本論文將以模擬 LANDMARC 系統運作的方式，以實際的數據解析，在定位過程中，有關不明數目的指引點所可能帶來的影響。

## 2.4 問題定義

本論文將以下面的範例來突顯模擬 LANDMARC 系統實際定位時所會遭遇的問題。

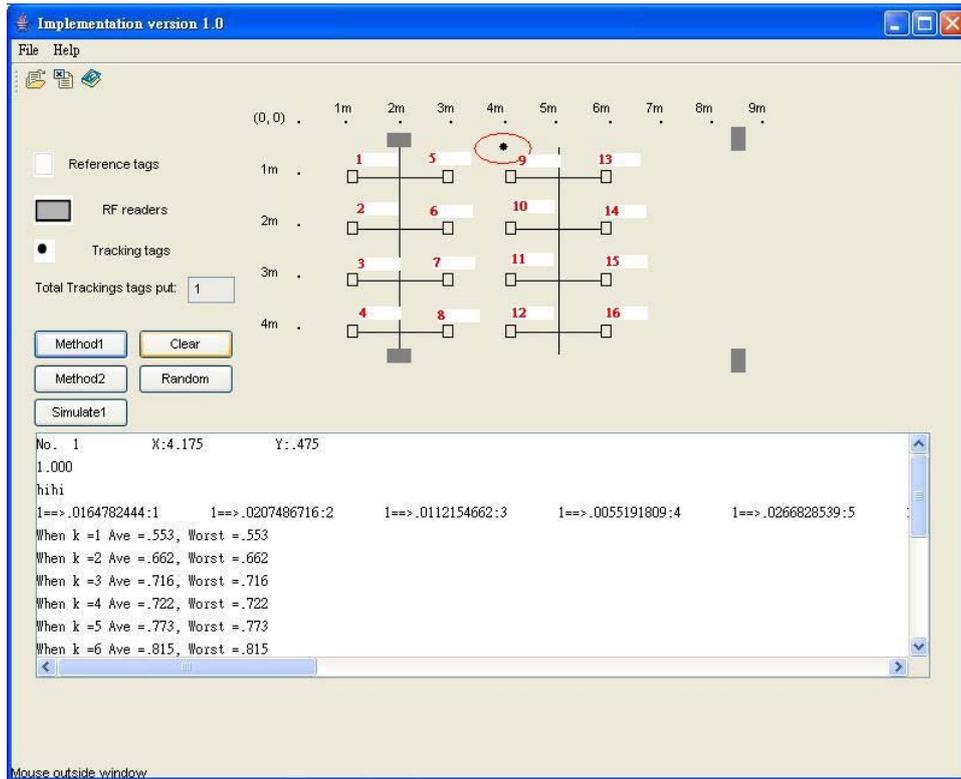


圖 2-5 模擬 LANDMARC 定位系統之實驗圖

這張圖代表的是一個模擬的室內 2D 定位環境，由本論文背後發展的模擬實作 LANDMARC 系統的平台中得來，從此圖可以得知，我們正針對於一個環境內未知座標的追蹤標籤（打圈處，實際座標  $X:4.175$   $Y:0.475$ ）做定位的動作。

RFID 的設備則依照預定的拓撲方式，架設在這個  $4m \times 9m$  的環境裡面，至於這些讀取器與標籤的擺設數量，則是比照前一章圖 2-3 內的標準，而訊號強度與衰退模型等物理條件則是維持不變。

另外，圖 2-5 中 1~16 的數字代表的是指引標籤的編號。

透過前面所提的 LANDMARC 方法，先在讀取器端接收追蹤標籤與指引標籤的訊號，緊接著用這些訊號計算追蹤物與指引標籤間相對的訊號強度，進而求得較可靠的指引點參考數目與相對權重等資訊。

在以公式 (2.1) 計算出相對訊號強度集合以後，我們將所有的指引標籤都列入考量，以權重求值公式 (2.2) 算出各個指引標籤所應得到的參考權重。

下表的數據，為利用 LANDMARC 方法中的權重公式所計算出來，指引標籤相對於追蹤物的參考權重。

表 2-5 模擬實作之指引標籤權重值

指引標籤 編號	參考權重	參考順位
<i>1</i>	0.0164782444	9
<i>2</i>	0.0207486716	6
<i>3</i>	0.0112154662	13
<i>4</i>	0.0055191809	15
<i>5</i>	0.0266828539	4
<i>6</i>	0.0383289996	3
<i>7</i>	0.0146863626	10
<i>8</i>	0.0055191809	15
<i>9</i>	0.6765186006	1
<i>10</i>	0.0864285248	2
<i>11</i>	0.0253986803	5
<i>12</i>	0.0129520208	12
<i>13</i>	0.0192356465	7
<i>14</i>	0.0172034792	8
<i>15</i>	0.0131765290	11
<i>16</i>	0.0099075587	14

除了可以看到各指引標籤在全部的標籤內所應有的參考權重以外，另外加上了對各指引標籤的參考順位排名，參考權重越大、代表越有參考價值，身為指引

點的參考順位就會越高。

接著在 LANDMARC 方法中，會在每一階段，逐一的將排名前 k 大的指引點依順序列入考量，以公式 (2.3) 中，各指引點的座標乘以相對參考權重的數字加總起來，就是對追蹤物件的座標推估。

下表 2-6 即為我們利用這個公式，所得出的結果，誤差距離則是以尤拉距離公式 (2.4) 所計算出。

表 2-6 模擬實作之各不同參考點的定位解

指引點參考數目	推估座標	誤差距離 (單位：公尺)
1	(4.000, 1.000)	0.553
2	(4.000, 1.133)	0.662
3	(3.952, 1.156)	0.716
4	(3.921, 1.151)	0.722
5	(3.924, 1.206)	0.773
6	(3.854, 1.225)	0.815
7	(3.901, 1.220)	0.794
8	(3.940, 1.234)	0.795
9	(3.888, 1.230)	0.808
10	(3.874, 1.258)	0.839
11	(3.903, 1.282)	0.851
12	(3.905, 1.318)	0.886
13	(3.872, 1.338)	0.914
14	(3.893, 1.364)	0.933
15	(3.877, 1.379)	0.952

16	(3.861, 1.393)	0.971
實際	(4.175, 0.475)	-

由表 2-6 可以得知，在僅採用一個指引點，也就是只信賴參考值最大的指引點的情形下，所定位下來的點會有最小的誤差值，0.553 公尺。

在這個範例下，指引點的個數只要兩個就能夠得到最佳解，但是否每個不同的狀況下，都是僅需要一個指引點的情形？接下來本論文由整體的角度考量，也就是控制其他的變因，只讓同個環境下的追蹤標籤樣本增加，從平均面看其中的變化。

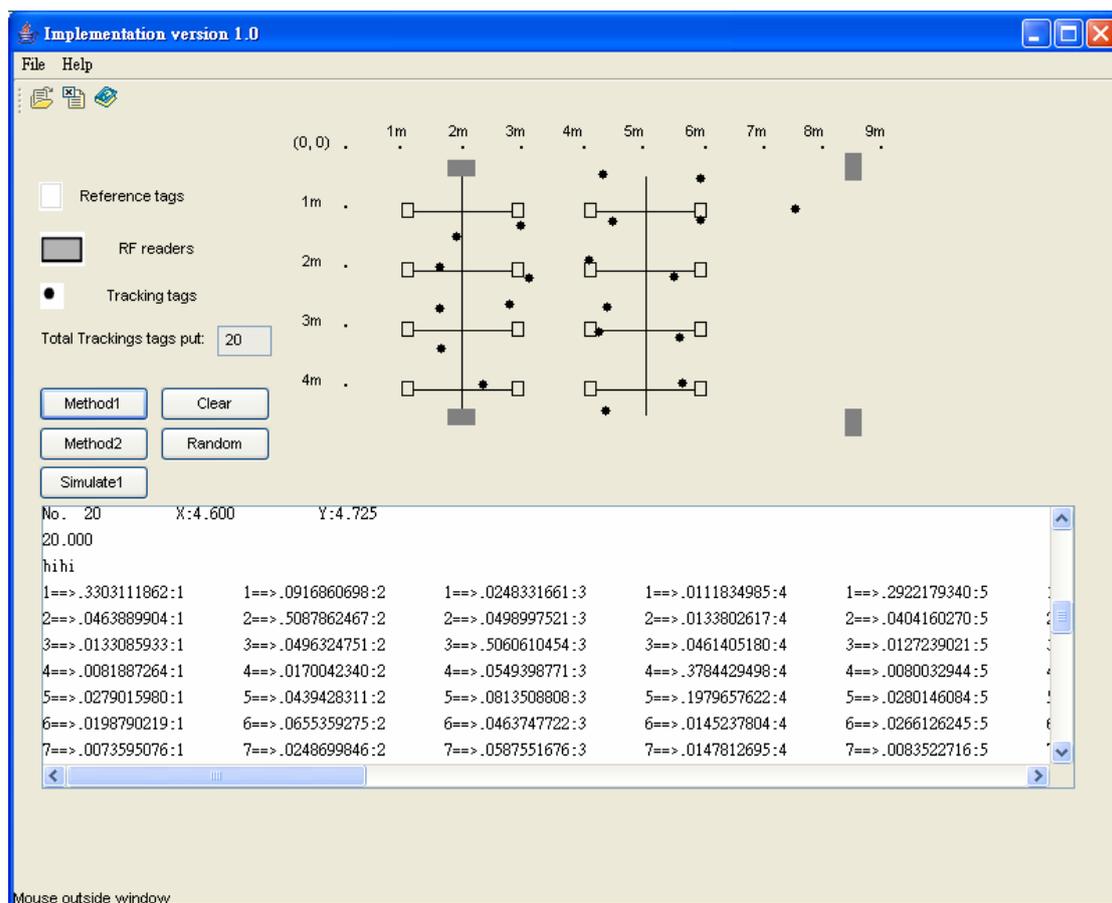


圖 2-6 模擬 LANDMARC 定位系統之實驗圖(2)

這是一個有 20 個欲追蹤物的環境（置入 20 個追蹤標籤於環境內），在其他

的變因保持不變的前提下，其在不同指引點數目下的平均表現，下表為統計後的結果。

表 2-7 模擬實作之各不同參考點狀況下平均表現

指引點參考數目	平均誤差 (單位：公尺)	最大誤差 (單位：公尺)
<i>1</i>	0.687	2.001
<i>2</i>	0.590	2.036
<i>3</i>	0.577	2.148
<i>4</i>	0.569	2.306
<i>5</i>	0.556	2.436
<i>6</i>	0.556	2.589
<i>7</i>	0.563	2.742
<i>8</i>	0.582	2.888
<i>9</i>	0.602	3.003
<i>10</i>	0.627	3.123
<i>11</i>	0.641	3.190
<i>12</i>	0.654	3.334
<i>13</i>	0.677	3.478
<i>14</i>	0.696	3.580
<i>15</i>	0.715	3.700
<i>16</i>	0.737	3.813

模擬實驗的結果顯示，在採用 5 個與 6 個指引點的這兩種情形下，20 個樣

本中的平均定位誤差是最佳值的 0.556 公尺，當指引點的數目大於或小於這個數字，平均的效能都是下降的。

然而以最壞狀況，也就是 worst case 的角度來解讀，將所有的樣本中定位誤差最大的點也納入考量的情形，會發現最理想的最大誤差值 (2.001 公尺) 會出現在只有 1 個定位點的情形，而非伴隨著能得到平均最佳解的定位點數目 (5 或 6 個)。

這僅為一個有 20 個追蹤標籤的範例，如果環境底下的追蹤標籤位置改變的話，又會得到不同的平均值，但可以想見的是，最佳解下的指引點數目勢必又有所變動。

因此，從這個範例分析，可以清楚了解到整個 LANDMARC 方法在指引點數目的取決上、及整體的平均誤差表現上，依然有許多可探討的空間，所以對於整體的定位效能是無法保障優劣的。

但，如果可以針對所有指引點的參考權重做數值分析，直接將眾多數據中有較佳參考權重的指引標籤數據群歸類出來，根據實驗的觀察，最後在位置估算時，如果能大量採用這些已經歸類過後、且參考值較高的數據，在定位資料的來源可信度就會比較有依據。

本論文提出新式定位機制的思維也就著眼於此，希望透過集群分析的概念引入，將先前計算得來的參考權重數值加以分群，最後以參考性最大的集群中的資料，作為實際定位的指引點，相信可以對整體的定位效能有很大的助益，所需指引點的參考數目也能很清楚的被呈現。

因此，從 2.5 節開始，本論文將探討幾個目前較常運用在集群分析上的分群法，探討其原理與特性，最後並針對其對於本論文的適用性做討論。

## 2.5 集群分析與分群法的概念

分群法的概念將會是本節所討論的重點，介紹這些分群法的動機，是為了將

其中的概念加以解析，並選出適合的分群法引入之後的改良式演算法。

## 2.5.1 概念

本論文將先簡單談一下群集分析的概念。

所謂的群集分析，就是一種傳統的多變量統計分類方法，其主要是探討如何將資料與物件予以分群(clustering)或是分類(classify)，依照收集的樣本，將資料分成數個族群，使得群內個體間高度的同質性，以及不同群體間高度的異質性，而該資料或物件最常用的是以一組特徵向量來表現。

多變量的群集分析是所有群集分析主題下的一個領域，目前的應用十分廣泛，其可區分為階層式、非階層式與兩階段這三種主要的方法，分別解釋如下：

### ■ 階層式分群法 (hierarchical clustering)：

主要是利用聚合 (agglomerative) 與分裂 (divisive) 的方式，將樣本的個體視為一群，然後將相近的個體聚合成同一群，依次的結合使得群組越來越少，最後所有個體結成一群；或者，經由相反的程序，將所有個體從同一群，逐漸分裂出為個別的群數。

華德法 [4](Ward's method) 是屬於這個方式的分群法。

### ■ 非階層式分群法 (non-hierarchical clustering)：

首先是決定特定數字當成群集中心，用來當作起始的分群中心，之後，依各個體到各中心點距離遠近，重新移動個體到最近的群體，直到群集結果不再改變或滿足某種限制為止，例如：群集中心值的改變量小於預設值、重複的次數超過預設值等。

簡言之，非階層式分群法的目的是希望盡量減小每個群集中，每一點與分群中心 (cluster center) 的距離平方差 (square error)。

K-Means [9]是屬於非階層式的分群法。

### ■ 兩階段方法分群法：

Sharma 這位學者在 1996 年曾提出一個建議[15]，如果希望得到更精確的分群結果，可以同時使用階層分群法與非階層分群法。第一階段的階層分群法過程中，可以事先決定群組的個數，第二階段再以非階層分群的方法進行群集。

兩階段方法的目的是由於第一階段的階層式群集分析中，當兩個個體一旦被分為一群，之後就會永遠在同一群，而在第二階段所使用的非階層式方法就是彌補此種缺點，以達到組內同質、組間異質的群數。

此種方法，既修正了以往階層式群集法中，對於群集分析一旦形成，就無法併入不適當集群觀察值進行重新分群的缺點；同時，也克服了非層級式群集法中需要事先決定集群數目與集群中心點的問題。

## 2.5.2 比較與分析



前面有提到，多變量分析的概念已經廣受許多學者所接受，而在最近的研究當中，有關於多變量分析中分群法類型的使用與選擇上，都有許多熱烈討論的主題。

Millgan 證明出，利用階層式的華德法[4]找出的群數當作初始值，再以非階層式的 K-means[9]方法去搜尋，可以找到滿意的群數。

陳惠良[33]在 2001 年的研究中，提出了可以利用以灰色理論 (gray theory) 為基礎的灰關聯聚類法(gray relation clustering method, 簡稱：GRC)，來找尋初始群數中心點的想法，並且整合 K-Means 分群法以增加分群的穩健性。

洪良逸曾經以實際運算的方式，比較不同的群集工具在效能上的差異[30]，證實了以灰關聯聚類法加上 K-Means 的組合，在分群的誤判率上面，是這幾種分群工具內最突出的。

由於欲簡化討論的過程，所以下列小節本論文並不會對每個分群法都有十分

詳細的篇幅介紹，僅會針對幾個在研究方法的過程中有實際列入考慮，且期望能增益本論文主題的分群法進行解析，因此下列要討論的分群法包括了華德法、以灰色系統理論為基礎的灰關聯聚類法、及 K-Means 方法。

### 2.5.3 華德法 (Ward' s method)

又稱為最小變異數法，是階層式分群法中的一種，因為在 1963 年由華德提出，所以才有華德法的別稱；其合併事物的規則是使組內變異數 (Total Within-groups Variance) 增量最小的，優先合併。

我們可以由下列公式計算總組內變異數：

$$D_{Ward} (C_i, C_j) = \sum_{j=1}^d \sigma_j^2 = \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_j)^2 \quad \dots\dots (2.5)$$

其中，群集的決定依據是所有群集的組內變異數總合最小：

d = 所欲分群的集群數目

m = 數值資料在該群集中的指標

若  $\Delta \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_j)^2$  事物點歸於某一群時的增量，則選擇事物點歸於哪

一集群的依據，就是以  $\Delta \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_j)^2$  最小為原則。

下列為階層式分群法的示意圖，由圖可以得知，透過一種階層架構的方式，將資料層層反覆地進行分裂或聚合；如果採用聚合的方式，階層式分群法可由樹狀結構的底部開始，將資料或群集逐次合併；如果採用分裂的方式，則由樹狀結構的頂端開始，將群集逐次分裂，而在華德法的應用中，兩種不同的動作都是可以選擇的方式。

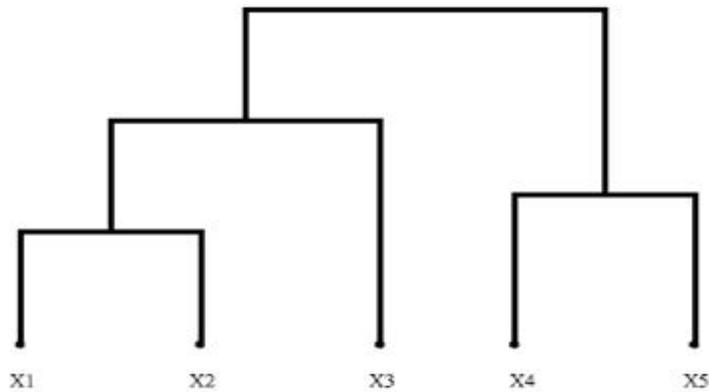


圖 2-7 階層式分群法示意圖

#### 2.5.4 灰關聯聚類法

在談到灰關聯聚類法之前，首先對一些灰色理論的概念及有關灰關聯聚類的專有名詞作解釋。



##### ■ 灰色理論 (gray theory)

灰關聯聚類法主要是以灰色理論 (gray theory) 與灰關聯分析為基礎，具有整體性測度的一門應用方法，主要是期望應用於複雜度較高的資料分群的處理上。

灰色理論系統是由中國鄧聚龍教授於 1982 年提出，近年來相關的文獻如與後春筍般的產生；該理論主要是針對系統模型之不明確性、資訊之不完整性之下，進行關於系統的關聯分析、模型建構、藉預測及決策之方法來探討及瞭解系統；灰色理論本身應用的範圍極廣，主要能對事物的不確定性、多變量輸入、離散的數據及數據的不完整性，做有效的處理。

##### ■ 灰關聯分析

灰關聯分析則為灰色理論的重要支柱，是一種分析離散序列資料間關係程度

的測度法，它所要做的就是從少量資訊（數據少且不確定）出發，透過多個角度來分析、量化與序化這種關係。[27]

因此，為達到灰關聯分析的目的，必須做數據的處理，此一處理稱為灰關聯生成，意即在一些雜亂無章的數據中，設法將其掩蓋的規律及特徵浮現出來，利用灰生成的方法降低數據中的隨機性，並提升其規律性。

一般用於灰色理論中的生成有兩種，一是整體生成，又可分為累加生成 (Accumulated Generating Operation; AGO) 及累減生成 (Inverse Accumulated Generating Operation; IAGO)，另一種是局部生成，又可以分為插值生成 (Interpolating Generating Operation) 及均值生成 (Mean Value Generating Operation)；透過生成，完成對數據的處理。

灰關聯分析中的另外一個重點是取得所謂的灰關聯空間，當灰關聯空間形成之後，必須再做量化的處理，而此一量化的方法就是定義出一個測度公式，稱之為灰關聯度 (Gray Relation Grade)，又可表示成兩個序列間的關聯程度。



## ■ 灰關聯聚類分析

運用灰關聯分析理論為基礎的微關聯聚類演算法，所使用的概念，就是「希望具有相同特性的資料，能經由測量與疊代之後，收斂到相同的一點，對於這些能夠收斂到相同位置的資料，我們歸納為同一群聚，而其特性是以資料間的灰關聯度量測來代表資料間相關程度的特性。

而在過往的灰關聯聚類演算法中，針對如果給定不同的閾值 $\omega$ ，可能產生不同的群聚類和聚類結果之缺失，陳惠良 [23] 以加入效能指標 (PI: Performance Index) 的方式，來幫助灰關聯聚類演算法中閾值的決定，這個聚類指標，簡單的說，就是各個群聚資料與群聚中心平均距離的和；再來，針對灰關聯測度時， $\Delta_{ij}$  值與灰關聯度的關係為非均勻分布於 0 與 1 之間的情形作調整，希望使  $\Delta_{ij}$  值大小與灰關聯度的關係能均勻分布於 0 與 1 之間，這將有助於演算法中閾值增量  $\Delta\omega$  的決定。

依據這個修正過後的灰關聯係數測度公式，並加上聚類效能指標(PI)的設定，來協助找到可以將資料正確聚類的閾值 $\omega$ ，步驟如下：

表 2-8 修正灰關聯聚類方法之流程

步驟一 已一可移動的向量集合  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  代表原始的資料向量，即令  $v_i = x_i, i = 1, 2, \dots, n$ ；設計初始的閾值及閾值增量

$\Delta\omega$ ，其中  $0 < \omega < 1$ 。

步驟二 採取等權方式，並以一修正的灰關聯係數的測度方法取代傳統的灰關聯係數測度方法，分別計算參考序列  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 和其它比較序列  $v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 間的灰關聯度，作為兩序列間的相似程度的代表值。

該修正的灰關聯係數如下：

$$\Gamma_{ij} = \Gamma(x_i(k), x_j(k)) = \frac{\Delta \min + \Delta \max}{\Delta_{ij} + \Delta \max}$$

其中

$$\bar{\Delta}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m [\Delta_{ij}(k)]$$

步驟三 更新參考向量  $v_i = (v_i^*(1), v_i^*(2), \dots, v_i^*(m))$ ，其中

$$v_i^*(k) = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij} v_j(k)}{\sum_{j=1}^n n_{ij}}, \quad k=1, 2, \dots, m.$$

$$n_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } r_{ij} < \omega \\ 1 & \text{if } r_{ij} \geq \omega \end{cases} \quad i=1,2,\dots,n., j=1,2,\dots,n. \quad \circ$$

步驟四 若  $v_i, i = 1, 2, \dots, n$  的值不再變動，則繼續下一步驟；否則跳至步驟二繼續執行。

步驟五 計算效能指標(PI)

$$PI = \sum_{i=1}^c \bar{d}_i = \sum_{i=1}^c \left( \frac{1}{\#(G_i)} \sum_{x_j \in G_i} \|x_j - cc_i\| \right)$$

其中  $c$  為聚類完成後的群集數目， $G_i, i = 1, 2, \dots, c$  為歸屬於第  $i$  個群聚的資料所構成的集合， $\#(G_i)$  為集合的元素個數， $cc_i$  為第  $i$  個群集中心位置，即：

$$cc_i = \frac{1}{\#(G_i)} \sum_{x_j \in G_i} x_j$$

步驟六 若閾值  $\omega < 1$ ，令  $\omega = \omega + \Delta\omega$ ，以及  $V=X$  並回到步驟二。

步驟七 選擇能使得 PI 值為最小的最大閾值所得之分群結果為最終結果，並令最終收斂點個數為集群數目，且視收斂於相同收斂位置的資料歸屬於相同群集。

### 2.5.5 K-Means 演算法

K-Means 演算法[21]可以當成是非階層式分群法 (non-hierarchical) 的一種，在這個方法內，必須先指定群集的數目，然後藉著反覆疊代運算，逐次降低一個誤差目標函數的值，直到目標函數不再變化，就達到分群的最後結果。

K-Means 演算法又稱為 Forgy's 演算法，概念就是使用一個反覆疊代的方式，讓目標函數越來越小。

首先，所謂的目標函數是由下列兩組參數所決定：

- (1) 群集的分法。 (2) 群集的中心點。

如果要同時找到這兩組參數，使目標函數為最小，是一件不容易的事情，但是我們可以觀察到下列現象：

(1) 當第一組參數（群集的分法）固定時，可以很快地找到第二組參數，使得目標函數為最小；此時的群中心，就是每一群的平均值。

(2) 當第二組參數（群中心）固定時，可以很快地找到第一組參數，使得目標函數為最小；此時第  $K$  個群集，就是距離第  $K$  個群中心最近的資料點所成的集合。

在本演算法開始進行前，必須事先決定好預期分群的群集數目；假設預期的分群群集數目為  $c$ ，則根據上述觀察，可以經由下列流程來進行 K-Means 分群法：



表 2-9 K-Means 方法之流程

- |     |   |
|-----|---|
| 步驟一 | 隨機選取 $c$ 個起始點，將之分別視為 $c$ 個群集的群中心。       |
| 步驟二 | 對每一個資料點 $x$ ，尋找與之最接近的群中心，並將 $x$ 加入該群集。  |
| 步驟三 | 計算目標函數，如果保持不變，代表分群結果已經穩定不變，所以可以結束此疊代方法。 |
| 步驟四 | 計算新的群集中心，等於該群集中所有資料點的平均向量。並跳回步驟二。       |

在上述方法中，是進行先找群中心，再開始反覆疊代的過程，事實上，K-Means 也可以先進行任意分群，然後再進行反覆疊代的過程，得到的結果會很類似；而在上述疊代過程中，目標函數應該是隨疊代次數而遞減，直到小於某一個特定

值，就不會再變化。

雖然 K-Means 可以證明此方法一定收斂，但是此方法只能找到目標函數的局部最小值 (local minimum)，並無法證明此方法所找到的群集及群中心會使目標函數到達全域最小值(global minimum)；而事實上到目前為止，也沒有出現任何一種方法，能保證所找到的分群結果可使目標函數達到全域最小值。

由於K-Means只能找到局部最小值，所以如何選一組好的起始點，就變得很重要，以上述方法來說，若要選取  $c$  個起始中心點，常用的選取方法有下列幾種：

- (1) 從資料裡面隨意選出  $c$  點資料。
- (2) 找出離所有資料平均值最遠的  $c$  個資料點。
- (3) 找出離所有資料平均值最近的  $c$  個資料點。
- (4) 找出距離平方和最小的  $c$  個資料點。

但是這些找出起始群中心點的方法也都無法保證達到更好的目標函數值；如果計算時間不是太久，建議在選取起始群中心時，多試用不同的方法，找出多組起始群中心，同時進行 K-Means，最後再以目標函數最小的結果來作為最後分群的最佳解。

## 2.5.6 二階段分群法應用

前面在 2.5.1 小節提過，二階段分群法有助於集群分析的工作，求得更正確的分群結果，因此在本論文，也將嘗試遵循著這個思維，探討二階段分類法於研究主題的可行性。

華德法加上 K-Means 法是傳統上二階段分類法的運用，至目前為止，已有許多實際的領域用到二階段分群法這樣的概念，例如：

- 時間循序資料處理 [36]
- 交通意外事件分析 [26]
- 音訊處理與辨識 [31]

- 網路流量分析 [28]
- 商業模式建構 [32]
- 人格特質與品牌個性關係研究 [29]

灰關聯聚類法加上K-Means (GRC + K-Means)的兩階段分類法是洪良逸曾在其研究中[30]引用的方法學，與傳統的華德法加上K-Means的二階段分群法相比較，前者在集群分析上來有十分接近且更優秀的分群結果，而該作者也將這個二階段分群法應用在市場區隔的研究之中，有不錯的研究成果。

整體而言，兩種方法都有相當不錯的可信度，值得我們採用。

因此在 2.6 小節，本論文將會以各種可行的分群法，套入對改良演算法中的考量，以決定何者是合適於定位研究。

## 2.6 小結



前面提到，本論文希望在對追蹤物的定位過程中，藉由數值分析，找出具有參考性的位置資訊，最後並以這些參考價值較大的資訊作為追蹤物位置預測的主要依歸。

為什麼要針對每個指引標籤的參考權重集合做分群呢？在前面小節有略微提到，雖然在 LANDMARC 方法中，對於指引點的數目不能明確指示，但是由之前的實驗數據可以觀察到，相對於其他標籤，參考權重較高的指引標籤在定位估算時的確可以有較大的可信度。

所以，本論文採用分群演算法，將這些已經計算出來的指引點參考數值做分群，所有的數值，勢必將依參考性的大小分成不同的集群，接著，採用參考數值較大的這群內的所有資料做定位的計算，如此絕對會比原來的 LANDMARC 方法中，把所有的參考數值都列入考量，但卻不知道何者為較佳解的情形，來的可靠。

因此，在分群效果上可信度更高的二階段分群法，會是本論文所欲引入的作法，希望更精確的達到「組內同質、組間異質」、更優良分群結果的目標。

而本節會探討兩種組成不同的二階段分群法，(1) 第一階段：華德法 + 第二階段：K-Means 方法，(2) 第一階段：灰關聯聚類法 + 第二階段：K-Means 方法，分別討論其適用性，如下：

#### (1) 華德法 + K-Means 方法：

在華德法的流程中，有個關鍵的地方，是資料分群的初始群數會在此流程中確定。

初始群數確定取決的考量，有兩種思維：

一個是人為主觀的認定，例如將一群數值集合固定分成三個群集。

而另外一個思維，可以採用 Kelley 在 1996 年[11] 的研究中所提出的自動群集階級選擇 (Automatic Cluster Level Selection)，以經過最佳化的計算流程，決定將資料分群時最佳的群集數目。

因此，如果能夠在華德法過程中，預先計算出最佳的集群數字，將有助於之後用 K-Means 法做第二階段資料分群的工作，將所有的數據及最佳群集個數帶入，以算出最終的分群結果。

而在 K-Means 的過程中，決定好 K 所代表的集群數字後，直接引入最原始要規劃分群的數據去計算，而第一階段華德法分群後資料的所屬群集，此資訊將不納入考量，原因在於當該資料所屬群集也列入考慮時，容易因為群集編號 (1, 2, 3, ...) 此並非有參考性的欄位，而造成整體分群效能有所偏差，故而僅採用最原始的資料去做集群分析。

#### (2) 灰關聯聚類法 + K-Means 方法：

在灰關聯聚類法中，有個相當重要的觀念，是關於參考序列與比較序列間的灰關聯度測量，有了灰關聯度測量的計算結果，才能引申之後的效能指標計算，以求得符合理想值的分群結果。

思維回到 2.5.4 小節中，參考權重數據引入後的考量，有可能在決定何者

為參考序列的時候出現問題；對於每個欲追蹤的標籤來說，最後一定會產生一組由指引點的資訊計算出來的參考權重集合，但是在該集合內，何者可以當成唯一的參考序列？. 在關聯度計算中，位於多少信賴區間內的其他比較序列是值得信賴的？這些都是需要深入思考的。

或許可以很主觀的認定，用參考權重集合內最大的數值作為唯一的參考序列，以此數值作為比較關聯度的做法是可行的，但是如果同時有幾個參考數值十分接近的參考點，這個思維是否仍一定成立，就仍需要評估了。

另外，在灰關聯聚類法中，分群初始閾值（threshold）的設定也是一個需要經過人為主觀認定的過程，設定閾值過程最直接的影響，就是在稍後的運算過程中，其他的比較序列有多少會因為不同閾值被歸於不同的群集，造成可能的偏差？如果為了讓整體狀態下定位誤差平均值為最佳解，閾值應該設定多少？種種考量，都可能讓這個議題的複雜度變的更大。

因此，在本論文研究中，基於複雜度考量，將暫時不以灰關聯聚類法做為二階段分群法中第一階段的方法選擇，而單純以華德法的初始分群結果，繼續往下引入第二階段非階層式的 K-Means 分群法，求得最後的分群數據，而本論文也將在第三章提出新式的定位機制，融入二階段分群法的過程來解決問題。

## 第三章 一個以 RFID 為基礎的定位機制

本論文將會針對第二章後半部，針對 LANDMARC 系統提出的一些問題，尋求改進之道，並提出以 RFID 為主的新定位機制作為解決方案。

同時，本論文將先介紹新機制的演算法部份，接著以先前 2.5 節的第一個範例，以圖 2-5 來表示模擬系統實際定位時所會遭遇的狀況，直接以新定位機制來計算該追蹤物的位置，最後比較其與原先 LANDMARC 方法之間的效能。

### 3.1 演算法

所謂的以 RFID 為主的新式定位機制，就是在取得各指引點(指引標籤)相對於追蹤物的參考值數據之後，以二階段資料分群的概念帶入，將數據依參考性的高低，分為不同的集群，最後，再以參考值最高的集群內的數據，作為最終抉擇定位指引點的依據。

相較於原本的 LANDMARC 方法，新定位機制前半段對於指引點參考數據收集的處理，與 LANDMARC 方法是一致的；接著，才採取先華德法分群法，再來 K-Means 分群法的二階段資料分群處理模式，取得最終的分群結果後，以參考值較大的數據，用同於 LANDMARC 後半段座標推估的方式，計算出最終的定位點。

所以新定位機制相較於原本的 LANDMARC 法最大的不同，就是二階段資料分群法的使用，藉以提昇定位的效能，本論文將整個新定位機制的演算法步驟與運作流程，列出如下：

表 3-1 新定位機制之步驟

步驟一： 將事先決定好數量的 RFID 讀取器、指引感應標籤 (reference tags,  $m$  個)，依照所欲擺設的感測網路拓樸

(topology) 環境放置妥當，在這個預設是零干擾、零屏障的網路環境中，準備進行環境底下對追蹤物定位的動作。

步驟二： 將一個或數個欲追蹤的物件（通常有配帶 RFID 感應標籤、或者本身就是一張感應標籤），置於網路環境中。

步驟三： 從各個讀取器端，去接收來自追蹤標籤與指引標籤的訊號強度集合， $\vec{s}$  與  $\vec{\theta}$ 。

步驟四： 以這些讀取器收集到的訊號強度，透過公式 (2.1) 算出未知物件與各指引標籤的相對訊號強度平均值，得到一組與指引標籤間的相對強度向量集合  $\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ 。

步驟五： 從這組向量集合中取出「所有」指引標籤的向量數值，以公式 (2.2) 求出集合內，每個指引標籤所應分配到的參考權重數值  $W_j$  ( $j = 1 \sim m$ )

步驟六： 求出這組針對環境底下所有指引標籤的參考權重值集合後，將其引入二階段分群法中第一階段華德法的計算，求出針對這個集合所最適合的集群數字，及初始的分群結果。

步驟七： 接著，以這個預先決定的集群數字與初始分群的結果，投入二階段分群法中的第二階段 K-Means 法的計算，求得最終的分群結果。

步驟八： 最終分群結果求出後，以所有群集中，參考值最大的集群內的所有數值，作為實際定位時所需用到的指引點數目與數據來源，緊接著，以公式 (2.3) 計算出最終的定位點  $(X, Y)$ 。

步驟九： 最後，以公式 (2.4) 評估定位點  $(X, Y)$  與實際點  $(X_0, Y_0)$

的誤差率，完成對單一追蹤點的定位動作與誤差計算。

而整體新式定位機制的流程圖，如下：

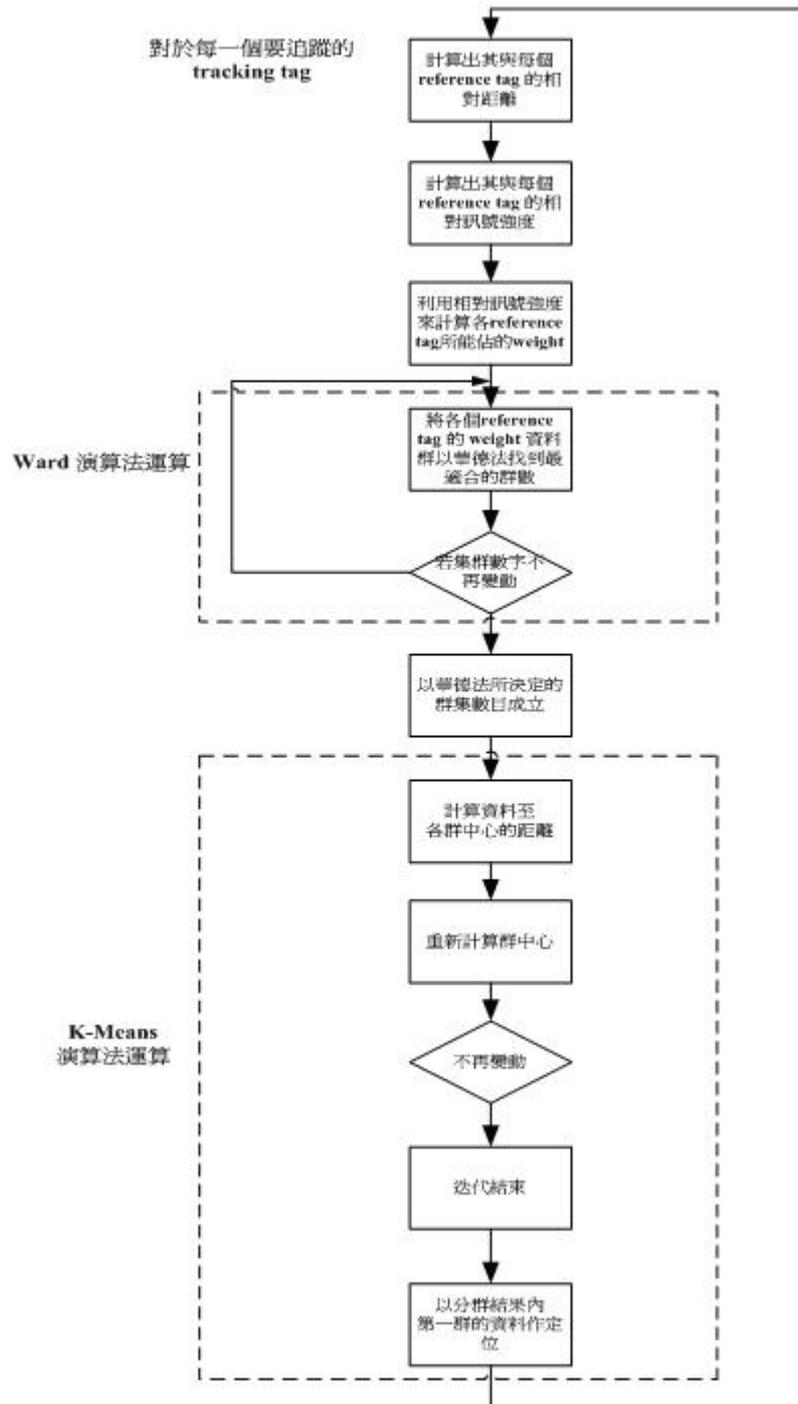


圖 3-1 運用二階段分群法的新定位機制流程圖

## 3.2 實例說明

接下來的小節，本論文將以實例，從二階段分群法的帶入開始，詳細解釋新式定位機制對單一追蹤點的定位計算過程。

### 3.2.1 第一階段分群處理

在二階段分群處理的第一階段 - 華德法的過程，會有初始的資料分群數決定，以先前提過的 Kelley 自動群集階級選擇[36]方式，可以決定最佳化的資料分群數目。

下表 3-2 內的數據，為將表 2-5 內的參考權重數據引入，透過 JChem [17] 軟體所計算出的初始群集數字。

表 3-2 華德法中群集數字決定之結果



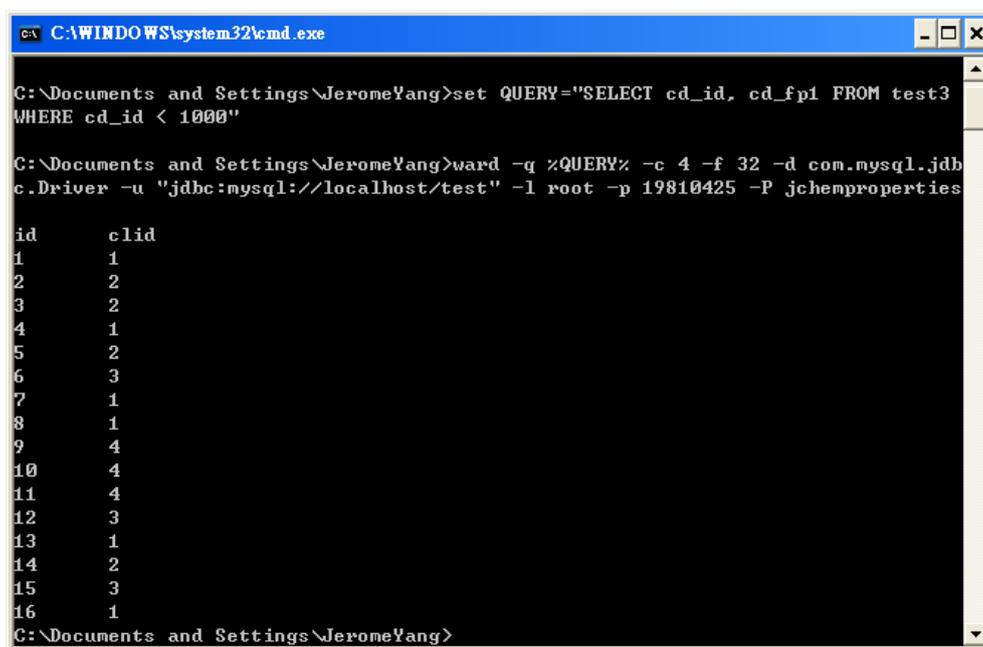
Kelley Indexes for All Cluster Levels	
level index	
1	16.0000
2	8.2655
3	7.0392
4	6.9873
5	7.3207
6	7.9075
7	8.6737
8	9.5967
9	10.5723
10	11.5382
11	12.4444
12	13.3836
13	14.3242
14	15.2432

15 16.0000

Optimal number of clusters: 4

在表 3-2 中，level 是經過華德法分群的群集數字，而 index 值越小，代表的是越適合的分群結果，因此可以明確的得知，在 level 值為 4 時，index 值最小，所以分群數目為 4 時會有最好分群的結果。

接著，本論文首先嘗試將表 2-5 中的各個參考權重，以華德法計算其應該屬於哪一個群集，群集的數字為 4，一樣投入 JChem 軟體中計算，下圖為計算的結果：



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\JeromeYang>set QUERY="SELECT cd_id, cd_fp1 FROM test3
WHERE cd_id < 1000"
C:\Documents and Settings\JeromeYang>ward -q %QUERY% -c 4 -f 32 -d com.mysql.jdbc
c.Driver -u "jdbc:mysql://localhost/test" -l root -p 19810425 -P jchemproperties

id      clid
1       1
2       2
3       2
4       1
5       2
6       3
7       1
8       1
9       4
10      4
11      4
12      3
13      1
14      2
15      3
16      1
C:\Documents and Settings\JeromeYang>
```

圖 3-2 運用華德法做數據初步分群之結果圖

其中 id 為參考權重數值的編號，而 clid 則是該參考權重所屬群集的數字。

把這個計算結果，以下表整理呈現：

表 3-3 運用華德法做數據初步分群之結果

群集編號	指引標籤編號	參考權重	原參考順位
1	13	0.0192356465	7
	1	0.0164782444	9
	7	0.0146863626	10
	16	0.0099075587	14
	8	0.0055191809	15
	4	0.0055191809	15
2	5	0.0266828539	4
	2	0.0207486716	6
	14	0.0172034792	8
	3	0.0112154662	13
3	6	0.0383289996	3
	12	0.0129520208	12
	15	0.0131765290	15
4	<i>9</i>	<i>0.6765186006</i>	<i>1</i>
	<i>10</i>	<i>0.0864285248</i>	<i>2</i>
	<i>11</i>	<i>0.0253986803</i>	<i>5</i>

在經過了華德法的計算之後，性質類似、也就是參考權重的參考值較接近的，已有部份會歸於相同的群集，雖然這只是初步的分群結果，尚不具最大的可信度，不過從此步驟可以得知，在之後的定位計算時，如果能採用內部數據參考值較大的群集（如：表 3-3 的群集四內的數據），進行位置的估算，定位的準確度將會更加可靠。

而經過華德分群法所產生的最佳群數(在本範例是 4)，也將會投入第二階段的 K-Means 方法中，以符合採用二階段分群法的初衷求得最終分群結果。

### 3.2.2 第二階段分群處理

在這階段，將 3.2.1 小節中經過華德法初步分群後，所計算出的最佳分群數字，以 K-Means 分群法完成第二階段的分群動作，結果如下圖 3-3：

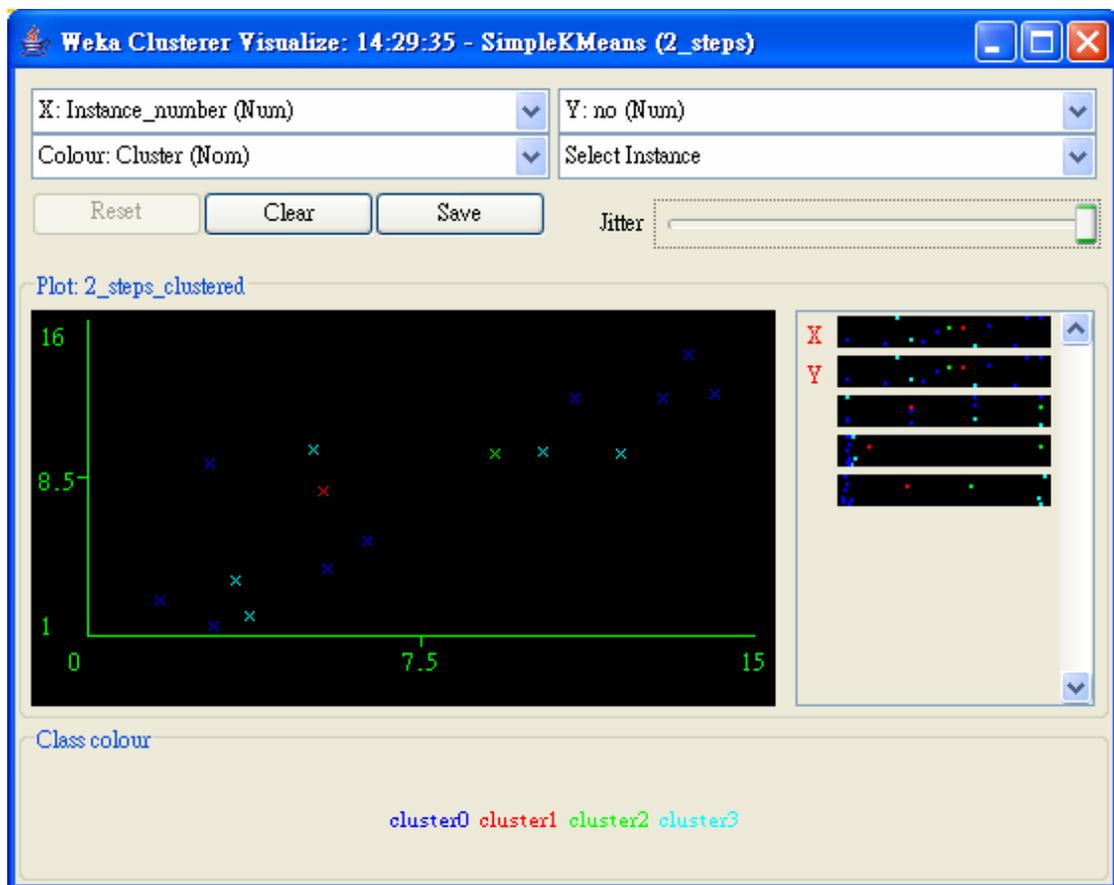


圖 3-3 運用 K-Means 做數據第二步分群之結果圖

上圖 3-3 是經過 Weka 軟體[20]計算以 K-Means 法分群後的結果，將圖上的點所應歸類的群集整理出來，整理結果如下表 3-3：

表 3-4 運用 K-Means 做數據第二步分群之結果

群集編號	指引標籤編號	參考權重	原參考順位
1	6	0.0383289996	3
	5	0.0266828539	4
	2	0.0253986803	5
	11	0.0207486716	6
	13	0.0192356465	7
2	10	0.0864285248	2
3	14	0.0172034792	8
	1	0.0164782444	9
	7	0.0146863626	10
	15	0.0131765290	11
	12	0.0129520208	12
	3	0.0112154662	13
	16	0.0099075587	14
	4	0.0055191809	15
	8	0.0055191809	15
4	<b>9</b>	<b>0.6765186006</b>	<b>1</b>

由表 3-4 可以明確得知，經過二階段分群法的參考權重數據，最終的分群數據會依其相似的屬性，分別座落於不同的群集之中；而依照本論文的新定位機制，若僅以參考性最高的集群內的所有資料為指引點來源的依據，在這個範例中，此指引點來源為第四個群集中的第一順位指引標籤（編號.9）。

有了此計算的結果，原本對於追蹤物定位的問題，將會被縮小至最原始，也

就是僅需考慮採用多少個指引點的問題，而在本範例中，透過新式定位機制計算的結果告訴我們，只需要照參考權重的順位選一個指引點就可以了。

範例中僅採用一個指引點的情形，在表 2-6 中已有數據，定位的誤差值為 0.553 公尺，擷取後並分別與求解空間中的最佳解、LANDMARC 求解空間中的所有解平均值，比較如下：

表 3-5 運用二階段分群法之數據比較

指引點 參考數目	推估座標	誤差距離 (單位：公尺)	
1	(4.000, 1.000)	0.553	新式定位機制 最佳解
		0.812	LANDMARC 方法 平均值解
實際座標	(4.175, 0.475)	-	

此分析顯示，以二階段分群法引入後的新式定位機制，可以求到所有求解空間中，更近似於最佳解的結果 (0.553 公尺)，比起原先 LANDMARC 方法內，因為指引點參考數目不明，所以只能以平均表現求解 (0.812 公尺)，效能上是有很大的進步的，在這個範例中，誤差值減少了  $(0.812 - 0.553) / 0.812 * 100\% = 31.90\%$ 。

因此，從單一樣本來看，此範例的最終解顯示，透過新式定位機制，可以產生比原本 LANDMARC 方法更優秀的定位座標，且更趨近於原本求解空間中的最佳解。

在下個章節，本論文將以模擬系統的實作，以大量的樣本作為基準，比較新式定位機制與原本的 LANDMARC 系統，在準確率及有效定位涵蓋範圍的差距。

## 第四章 模擬結果與分析

本章節將會先介紹在本論文模擬定位的過程中，所架構的硬體設備及軟體環境、及所會用到的程式語言；接著會將新定位機制中最終的實驗結果，與原先 LANDMARC 方法中的實驗結果做比較，最後則是實驗結果的分析。

### 4.1 測試平台與環境

本論文之實驗環境架構於實驗室的軟硬體環境，並且由三台不同軟硬體環境的電腦分別測試之，以降低實驗環境所造成的誤差，其硬體設備與軟體環境列出如下：

硬體設備：

CPU： Intel Centrino 1.5GHz、Intel(R) Pentium(R) 2.4GHz

Celeron 1.7 GHz

記憶體： 512MB、768MB、768MB

硬碟容量： 40G Bytes、320G Bytes、40G Bytes

網路介面卡： Intel(R) PRO/100 VE Network Connection

Intel 21140-Based PCI Fast Ethernet  
Adapter(Generic)

11b/g Wireless LAN Mini PCI Adapter

作業系統：

Windows XP Professional Edition、Windows 2003 Server  
Edition、Windows XP Server Edition

網路環境：

交通大學校園網路： 乙太網路 100Mbps

無線網路： 802.11g

開發平台：

Windows XP

JDK 1.4.1

J-Builder 2005

JChem 3.1.6

Weka Version 3.4.7

程式語言：

Java

資料庫：

MySQL 4.0.14-nt

## 4.2 模擬假設與限制



在本章節所做的模擬實驗中，有做一些基本的假設條件，而模擬的結果也是以這些假設條件為基礎，這些基本假設如下：

### 1. 假設實驗的環境是無干擾的 (interference free)：

RFID 設備的特性之一，是其遇到金屬物屏障、或者在許多人走動的室內環境中，會使讀取器端所接收到的標籤感應度及訊號強度呈現下滑的狀況，此因障礙而訊號衰退的現象，將有可能影響之後對於定位的準確性；因此，本研究基於使變動因素最少、問題複雜度最低的考量，將預設是在完全沒有干擾的前提下，進行所有的模擬實驗，而所有的訊號傳送，都將遵循著預期中的物理特性而表現。

### 2. 假設所有的 RFID 設備都是相同規格標準：

所有的 RFID 設備，相同的規格標準是實驗最基本的假設，因此在實驗過程中，所有的 RFID 讀取器及 RFID 感應標籤，其物理表現與行為皆會預設為一致，不會有相同規格卻表現有差異、這種在實際應用上可能發生的誤差。

### 3. 讀取器和標籤均處於靜止狀態：

本模擬實驗也假設 RFID 讀取器和所有的標籤都是處於靜止的狀態下，因為讀取器和標籤的溝通是透過無線電波，是屬於無線傳輸方式的一種，所以如果讀取器或標籤其中之一是處於移動狀態的話，就會產生移動前和移動後兩種波形的干擾，造成辨識上的困難，而移動中的標籤辨識並不在本論文的討論範圍內。

本次所做模擬實驗的基本假設如上述三點所列，如果模擬實驗的結果和真實運作的狀況有誤差的話，其發生誤差的主因，應該就不外乎是違反上述的三點模擬假設。

## 4.3 系統設計

### 系統各功能模組



在此所做的模擬系統是採用 Java 程式語言實作出來的，而整個模擬系統主要分成五大功能模組，茲分述如下：

#### 1. 介面模組：

系統的介面模組包括了使用者介面的部份，讓使用者可以自由設定想要模擬的環境，包括追蹤標籤的擺設位置、RFID 設備所建構的測試環境。

#### 2. 隨機標籤產生模組：

隨機產生標籤的模組，是指在模擬的過程中，系統需要產生一定數量的標籤，使得環境下的標籤樣本，能夠透過隨機的過程，大量、均勻的散佈整個模擬環境當中，且值得信賴。

### 3. LANDMARC 法處理模組：

在 LANDMARC 法處理模組中，首先要有欲追蹤物在環境中的放置，才能有之後的追蹤動作，當這個預先處理完成以後，LANDMARC 法處理模組中會直接讀取追蹤物的資訊，以 LANDMARC 方法估算出各追蹤物的位置後，再計算誤差的距離。

### 4. 新式定位機制處理模組：

新式定位機制處理模組處理的方式與上面 LANDMARC 處理模組十分的類似，都是需要預先有追蹤物的放置，才能夠進行稍後定位的動作，唯一不同的是，新式定位機制處理模組，是以二階段分群法的引入為主的運作，所收集的資訊會先經過華德法，再 K-Means 分群法的處理，最後以最大參考值群集內的數字，作為定位的主要依據。

### 5. 數據比較模組：

這個模組所要負責的是，在對同一群追蹤物的處理的前提下，經過 LANDMARC 方法與新式定位機制求出的定位數據，之間的效能比較，讓使用者能夠了解兩個不同方法的表現差異。



## 4.4 Test Case

本節所做的一連串模擬實驗一共有三個主要的變因，包含了：追蹤標籤的擺設密度、指引標籤放置的擺設密度及 RFID 讀取器的擺設。

本論文會藉用測試情境下不同的變因，將新式定位機制與原先的 LANDMARC 方法做效能上的比較。

### 1. 追蹤標籤的擺設密度：

下表 4-1 內的三張圖，為三種不同擺設密度的追蹤標籤示意圖，分為 case 1.1、case 1.2、case 1.3 三個情境，並以擺設密度由小到大排列。

這個實驗的設計，主因是欲觀察出新式定位機制對照於原先的 LANDMARC 方法，在環境內追蹤標籤擺設密度不同的前提下，效能上的差異。

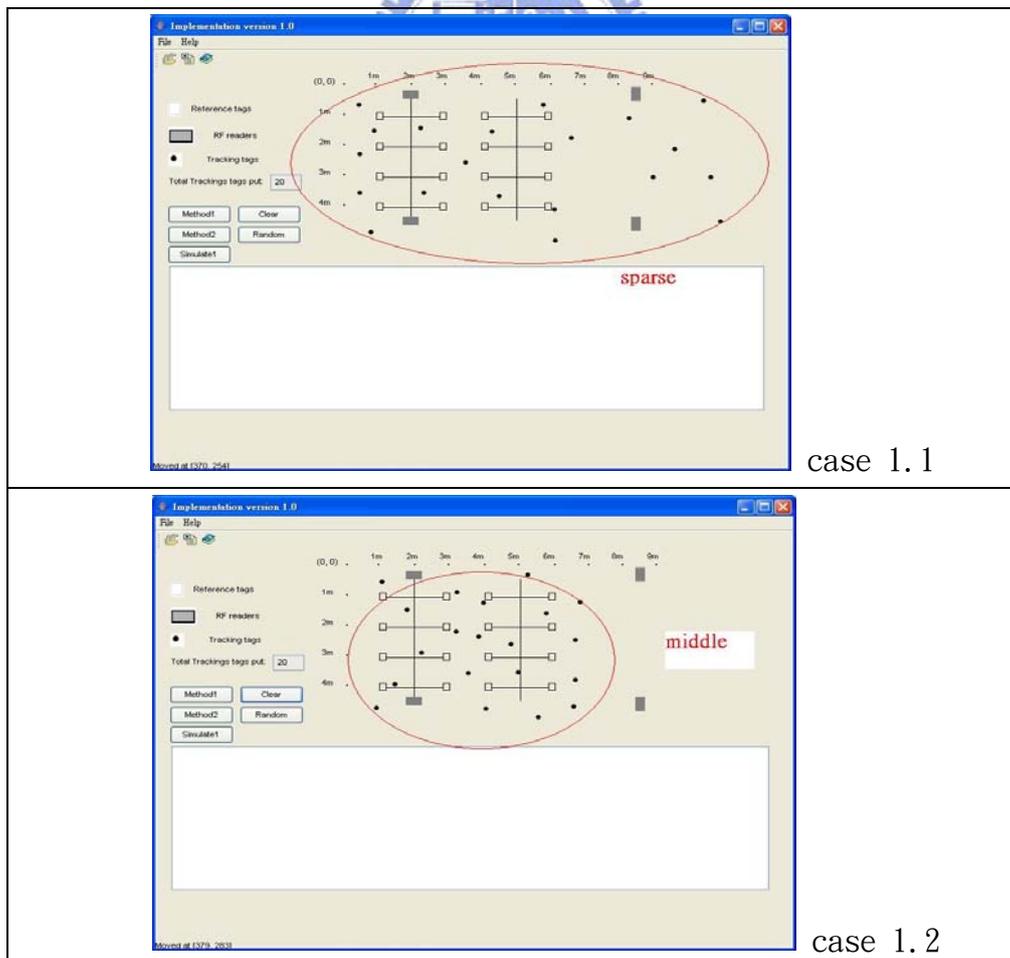
所有的隨機追蹤標籤擺設密度，在這個實驗內是以標籤分布的範圍為基準，因此，本實驗對 Case 1.1 ~ Case 1.3 的追蹤標籤擺設密度，定義如下：

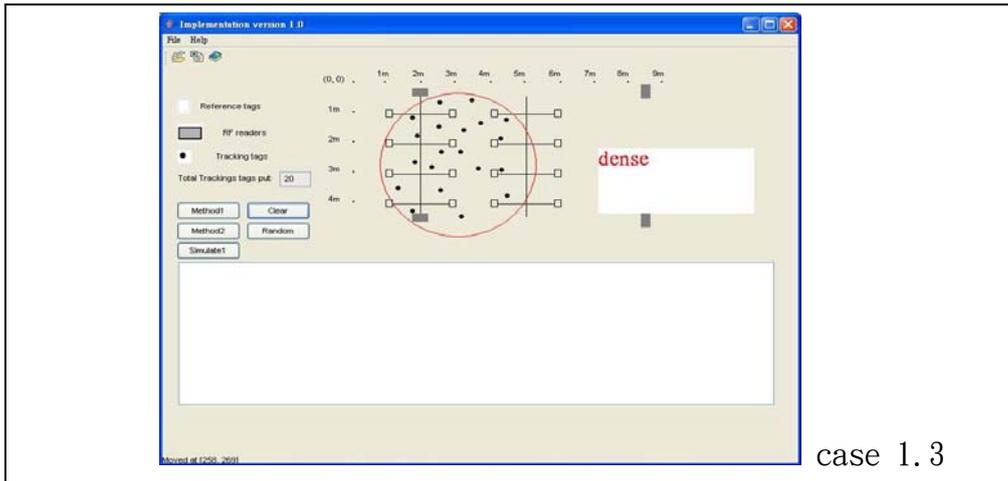
Case 1.1：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，其標籤的擺設密度為 1000 個追蹤標籤 / 75.725 m<sup>2</sup>。

Case 1.2：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 8.675m x 3.9m (m:公尺)的環境內，其標籤的擺設密度為 1000 個追蹤標籤 / 33.8325 m<sup>2</sup>。

Case 1.3：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 4.35m x 2m (m:公尺)的環境內，其標籤的擺設密度為 1000 個追蹤標籤 / 8.7 m<sup>2</sup>。

表 4-1 不同情境下的模擬定位實驗 (1)





case 1.3

## 2. 指引標籤的擺設密度：

同上的實驗流程，不一樣的是指引標籤的擺設方式改變了，而追蹤標籤的擺設在兩個方法中維持相同，讓操作的變因都固定只有一項變動。

下表 4-2 內的三張圖，為三種不同擺設的指引標籤示意圖，分為 Case 2.1、Case 2.2、Case 2.3 三個情境。

因此，本實驗對 Case 2.1 ~ Case 2.3 的指引標籤擺設方式，定義如下：

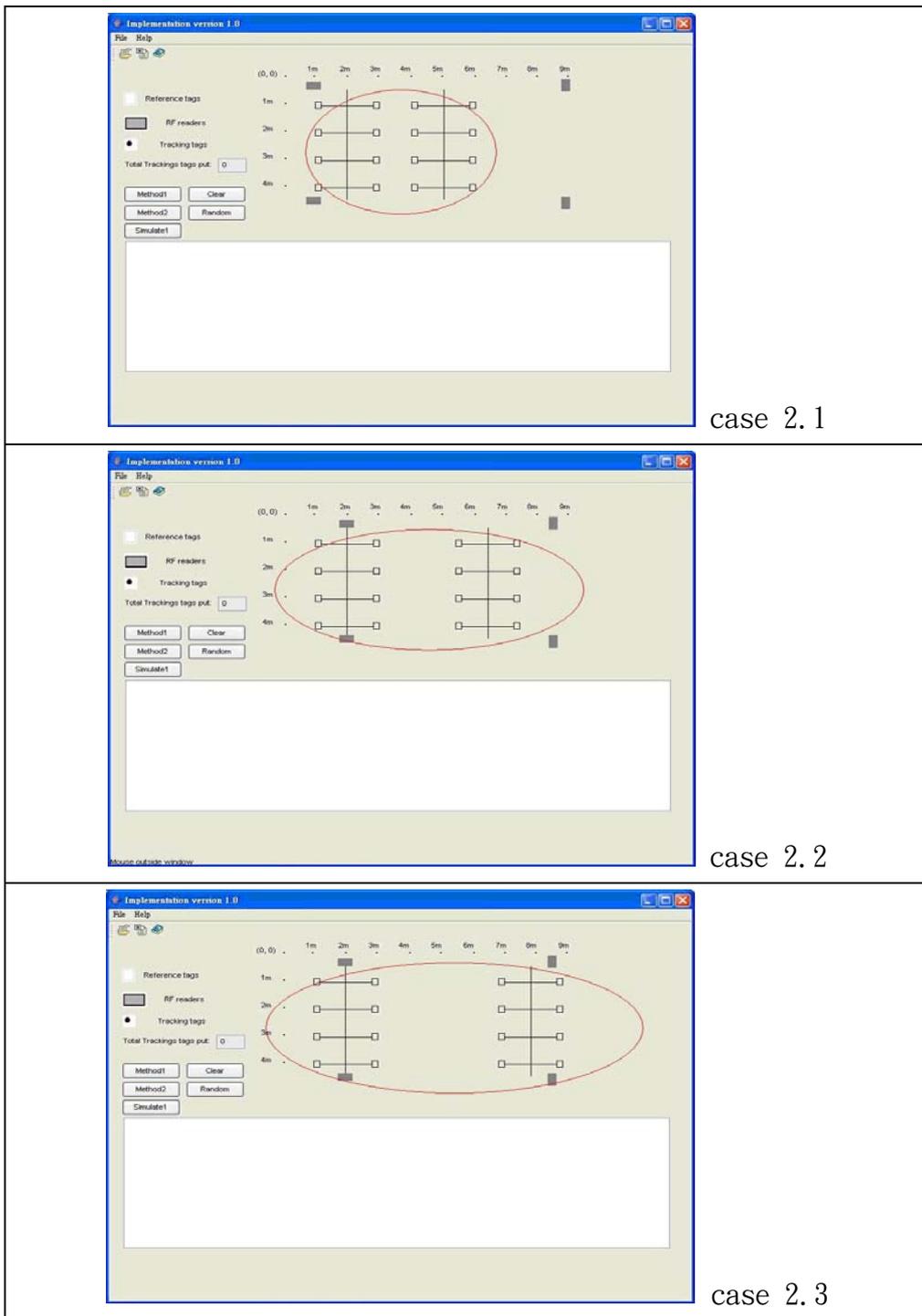
Case 2.1：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，而前面八個指引標籤子集合，與後面八個指引標籤子集合的最短距離為 1m。

Case 2.2：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，而前面八個指引標籤子集合，與後面八個指引標籤子集合的最短距離為 2.5m。

Case 2.3：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，而前面八個指引標籤子集合，與後面八個指引標籤子集合的最短距離為 4m。

因此，以這三個情境來模擬不同指引標籤密度下，LANDMARC 方法與新式定位機制間的效能比較。

表 4-2 不同情境下的模擬定位實驗 (2)



### 3. RFID 讀取器的放置：

同上的實驗過程，不一樣的是讀取器的擺設方式改變了，而追蹤標籤、指引標籤的擺設在兩個方法中維持相同。

下表 4-3 內的三張圖，為三種不同擺設的 RFID 讀取器示意圖，分為 Case 3.1、Case 3.2、Case 3.3 三個情境。

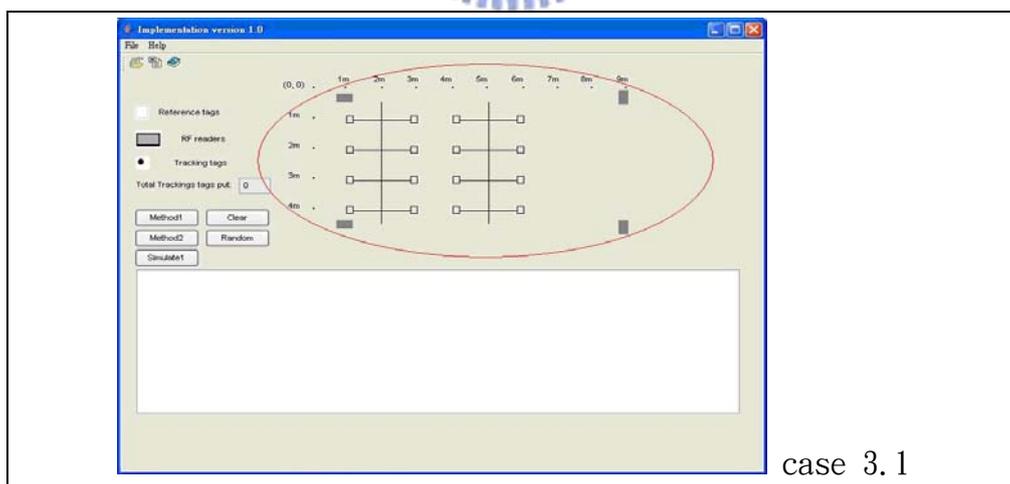
因此，本實驗對 Case 3.1 ~ Case 3.3 的指引標籤擺設方式，定義如下：

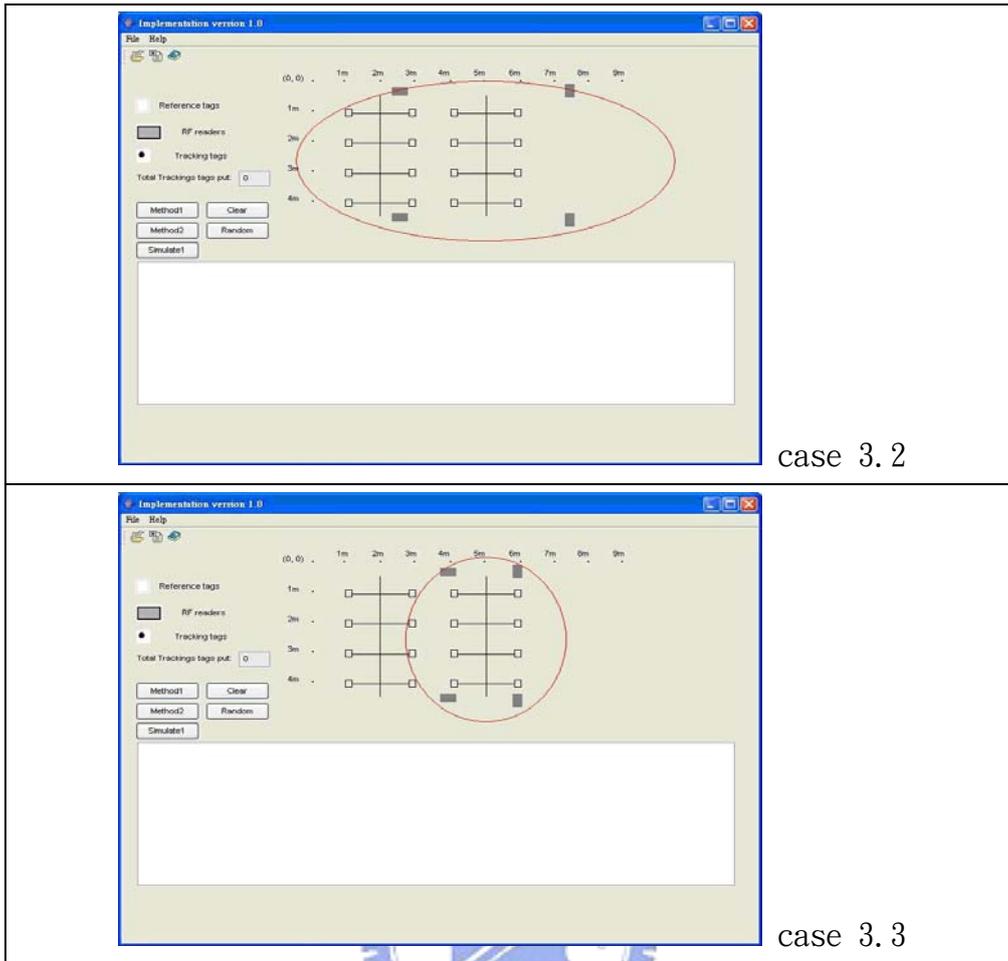
Case 3.1：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，四個 RFID 讀取器的(X,Y)座標為 (1, 0.5), (9, 0.5), (1, 4.5), (9, 4.5)。

Case 3.2：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，四個 RFID 讀取器的(X,Y)座標為 (2.5, 0.5), (7.5, 0.5), (2.5, 4.5), (7.5, 4.5)。

Case 3.3：所有隨機的 1000 個標籤，分佈於 13m x 5.825m (m:公尺)的環境內，四個 RFID 讀取器的(X,Y)座標為 (4, 0.5), (6, 0.5), (4, 4.5), (6, 4.5)。

表 4-3 不同情境下的模擬定位實驗 (3)





因此，以這三個情境來模擬不同 RFID 讀取器放置下，LANDMARC 方法與新式定位機制間的效能比較。

#### 4.5 模擬結果與數據

為了算出值得信賴的結果，本模擬實驗以平均面的表現，來評估兩演算法彼此間效能上的差異，所謂平均面的表現，是以每次在環境內計算 1000 個隨機追蹤物的位置，兩方法都用相同的測試樣本，先各別算出這 1000 個追蹤標籤誤差值的平均，接著，動作會重複執行共 1000 次，最後取這 1000 次迴圈中誤差計算值的總平均，以大量樣本的思維來比較兩個方法中的平均誤差值和最大誤差值。

在本模擬實驗中，將以符號來表示定位平均誤差值與最大誤差值、兩種方法

的效能比較、及距離誤差的累積機率，茲列如下：

**Avg. e**：單位為公尺，表示對 1000 個隨機追蹤標籤進行定位的動作，計算其預估位置與實際位置的誤差距離，取得對這 1000 個隨機標籤的誤差值平均後，再進行相同的動作達 1000 次迴圈，最後再取這 1000 次迴圈的總平均誤差值，做為兩方法比較的基準。

**Max. e**：單位為公尺，一樣從上面的模擬實驗流程中所得來，不同的是，所要記錄的對象是這 1000 個隨機標籤內的最大誤差距離，求出後，再進行相同的動作總共達 1000 次，以算出全部過程中的最大誤差距離，做為兩方法 worst case 比較的基準。

**Comparison**：為新式定位機制相對於原本的 LANDMARC 方法，之間的效能比較，本實驗以兩方法的平均誤差距離與最大誤差距離作為比較的基準。

公式為：

$$\frac{\text{LANDMARC 法平均誤差距離} - \text{新式定位機制平均誤差距離}}{\text{LANDMARC 法平均誤差距離}} * 100\% \quad (4.1)$$

而如果要最大誤差的效能比較，就把公式 (4.1) 的分子與分母內的值，從平均誤差距離改成最大誤差距離即可。

**1m / 2m/ 3m**：單位為百分比(%)，為新式定位機制相對於 LANDMARC 方法，在誤差值分別為 1 公尺、2 公尺、3 公尺以內的狀況下，所有樣本所佔的累積機率值，可以藉由此比較，合理推估準確度何者為優。

### 4.5.1 不同擺設密度的追蹤標籤放置 vs. 定位

下面的三張圖，為三種不同擺設密度的追蹤標籤擺設情況下，LANDMARC 方法與新式定位機制之間的有效涵蓋度比較。

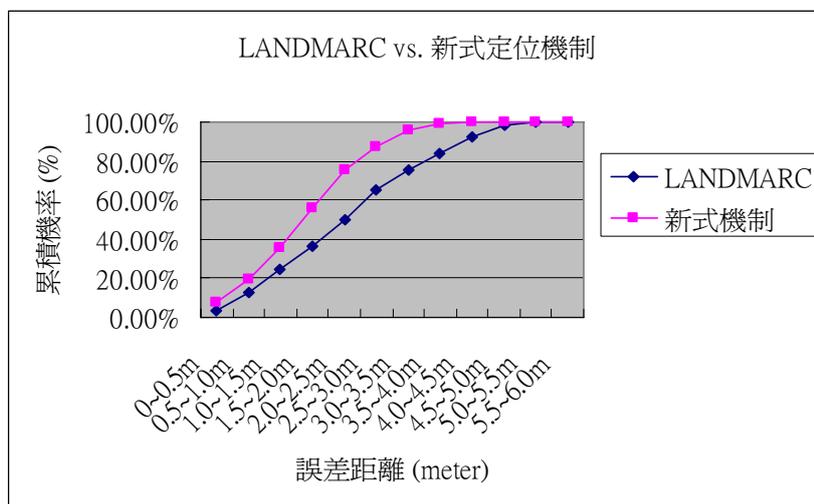


圖 4-1 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.1

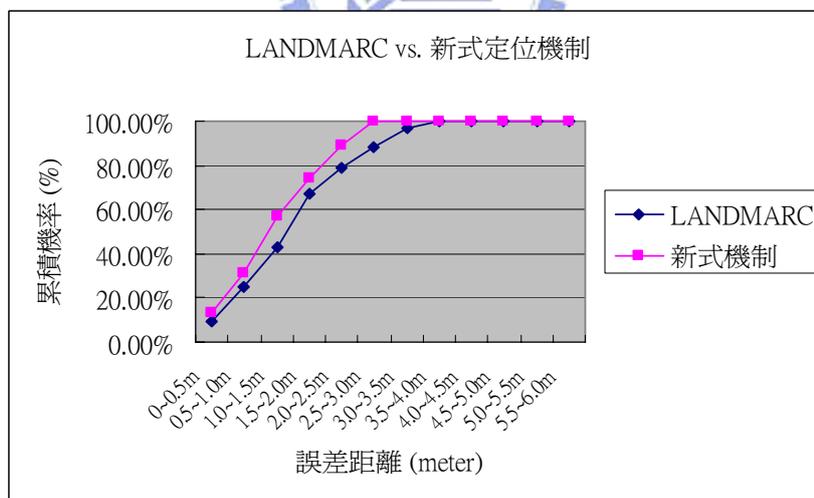


圖 4-2 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.2

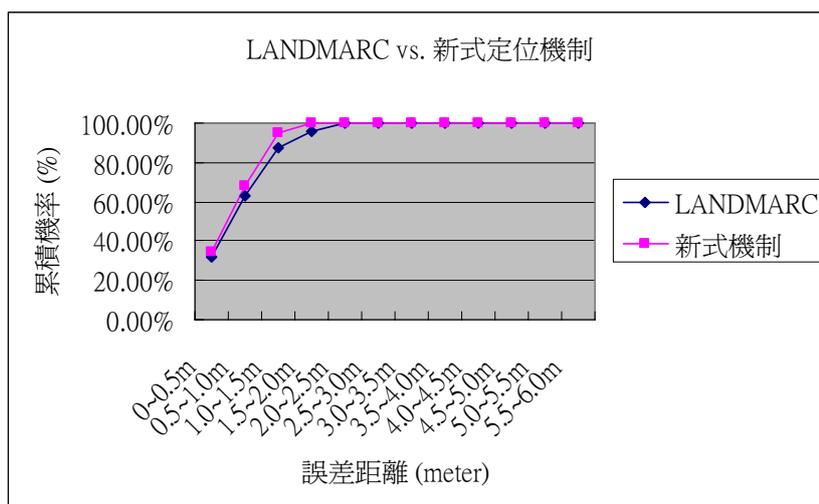


圖 4-3 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 1.3

下表的數據，是從上述的統計圖表，針對其中所蒐集到的數據，計算而得的實驗結果。

表 4-4 不同情境下兩方法的效能比較表(計算單位：公尺) (1)

方法 \ 情境	Case 1.1 Avg. e (Max. e)	Case 1.2 Avg. e (Max. e)	Case 1.3 Avg. e (Max. e)
LANDMARC	2.63 (5.48)	1.83 (3.89)	1.02 (2.26)
新式定位機制	2.07 (4.43)	1.50 (2.95)	0.85 (1.76)
Comparison	21.3% (19.2%)	18.0% (24.2%)	16.7% (22.1%)

表 4-5 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (1)

方法 \ 情境	Case 1.1 1m /2m /3m	Case 1.2 1m /2m /3m	Case 1.3 1m /2m /3m
LANDMARC	13.0 % / 36.1 % / 65.2 %	25.1 % / 67.0 % / 88.6 %	62.8 % / 95.4 % / 100.0 %

新式定位機制	19.6 % / 56.3 % /	31.4 % / 74.1% /	68.0 % / 100.0 %
	87.5 %	100.0 %	/ 100.0 %

#### 4.5.2 不同擺設密度的指引標籤放置 vs. 定位

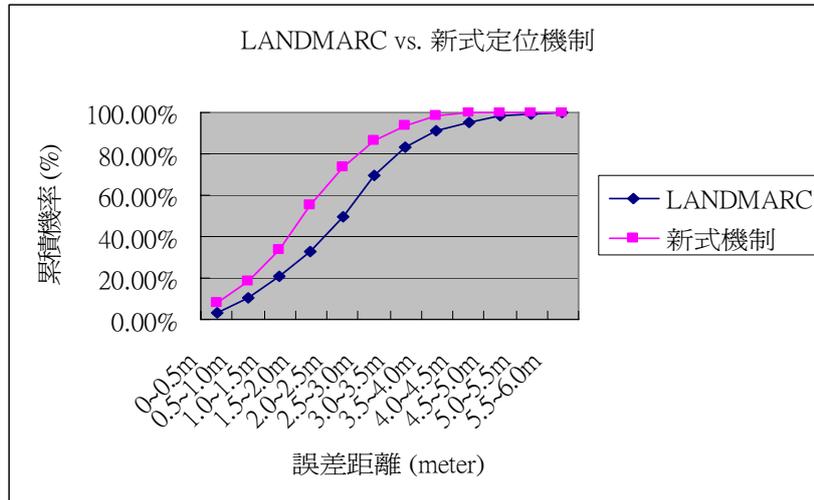


圖 4-4 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.1

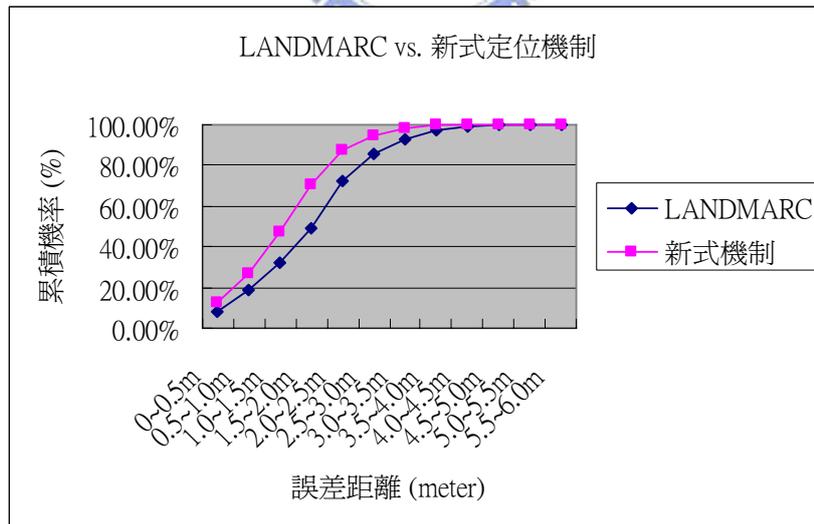


圖 4-5 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.2

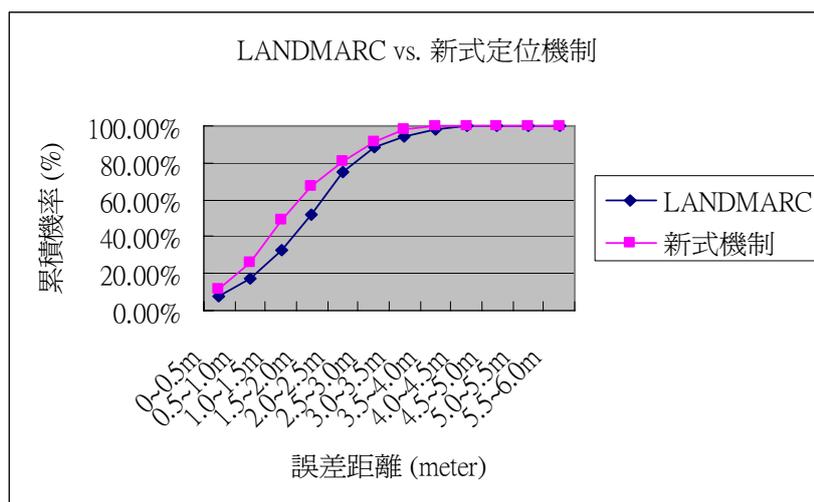


圖 4-6 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 2.3

統計結果如下表：

表 4-6 不同情境下兩方法的效能比較表 (計算單位：公尺) (2)

方法 \ 情境	Case 2.1	Case 2.2	Case 2.3
	Avg. e (Max. e)	Avg. e (Max. e)	Avg. e (Max. e)
LANDMARC	2.57 (5.66)	2.27 (4.77)	2.01 (4.35)
新式定位機制	2.05 (4.37)	1.84 (4.05)	1.73 (3.69)
Comparison	20.2% (22.8%)	18.9% (15.1%)	13.9% (15.2%)

表 4-7 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (2)

方法 \ 情境	Case 2.1	Case 2.2	Case 2.3
	1m /2m /3m	1m /2m /3m	1m /2m /3m
LANDMARC	10.2 % / 32.5 % / 70.0 %	18.9 % / 49.4 % / 85.5 %	17.6 % / 51.6 % / 88.0 %

新式定位機制	18.6 % / 55.2 % /	26.8 % / 70.2% /	25.6 % / 67.0 % /
	86.1 %	94.7 %	91.8 %

### 4.5.3 不同位置的讀取器擺設 vs. 定位

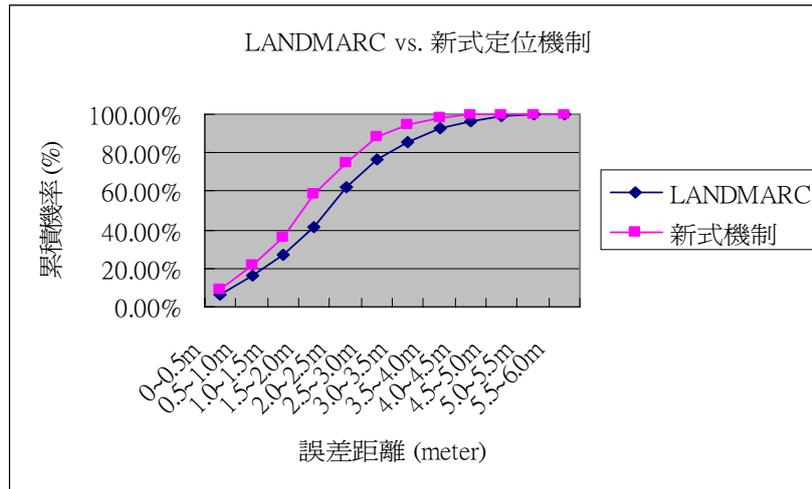


圖 4-7 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.1

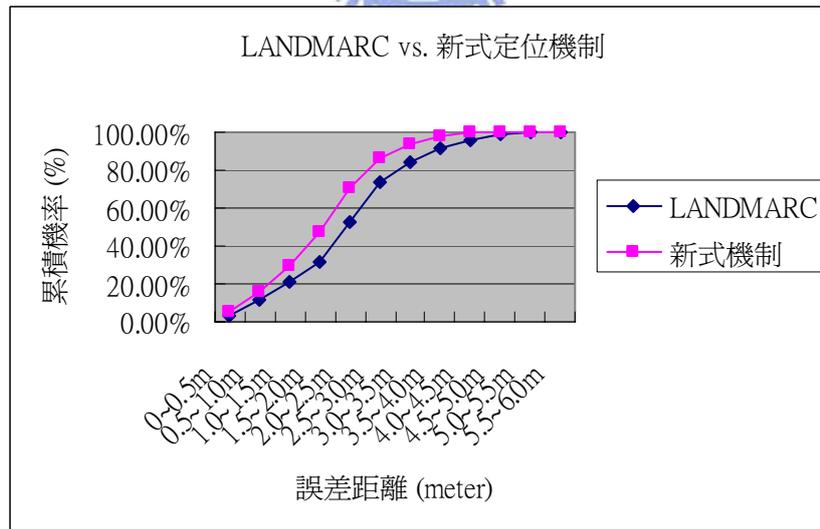


圖 4-8 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.2

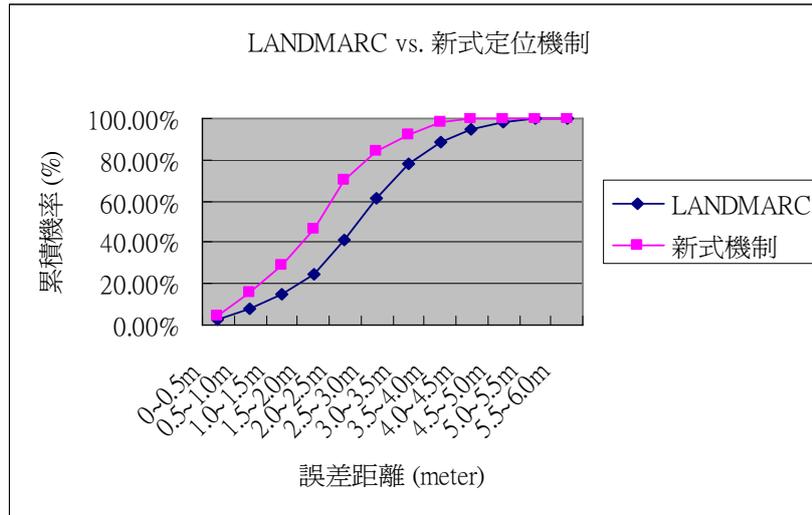


圖 4-9 不同情境下兩方法的效能比較圖 - Case 3.3

統計結果如下表：

表 4-8 不同情境下兩方法的效能比較表 (計算單位：公尺) (3)

方法 \ 情境	Case 3.1	Case 3.2	Case 3.3
	Avg. e (Max. e)	Avg. e (Max. e)	Avg. e (Max. e)
LANDMARC	2.47 (5.30)	2.62 (5.59)	2.76 (5.83)
新式定位機制	1.96 (4.22)	2.06 (4.37)	2.11 (4.57)
Comparison	20.6% (20.4%)	21.4% (21.8%)	23.6% (21.6%)

表 4-9 不同情境下兩方法的距離誤差之累積機率比較表(單位：%) (3)

方法 \ 情境	Case 3.1	Case 3.2	Case 3.3
	1m /2m /3m	1m /2m /3m	1m /2m /3m
LANDMARC	15.9 % / 41.8 % / 76.4 %	11.2 % / 32.1 % / 73.6 %	7.5 % / 24.2 % / 61.7 %

新式定位機制	21.9 % / 58.2 % / 88.6 %	15.8 % / 46.9 % / 86.2 %	15.4 % / 46.1 % / 84.2 %
--------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

#### 4.5.4 綜合分析

從 4.5.1~4.5.3 節，這幾個不同測試情境底下的實驗數據與分析圖表，本實驗結果可以得到如下的結論：

1. 新式定位機制在定位的效能上，的確比原先 LANDMARC 方法來的優秀，增進的效能，也就是定位誤差的修正率，普遍有 13.9 % ~ 23.6 %；另外，原先 LANDMARC 方法中定位指引點不明的問題，透過新式定位機制中的二階段分群法，分離出參考值最大的群集，從中取得精確的定位指引點數目與指引點數據。

2. 新式定位機制可以使得定位環境底下的有效涵蓋範圍 (coverage) 更為加大，相較於傳統的 LANDMARC 方法，透過如圖 4-1 ~ 4-9 的分析，新式定位機制在較小誤差值所佔的比例皆會比原本 LANDMARC 方法來的大，因此可以證實其涵蓋範圍是比較出色的。

3. 承 2，以累積機率的面向來看有效的涵蓋範圍，透過表 4-4 ~ 4-9 的分析可以得知，相較於 LANDMARC 方法，新式定位機制在實際定位的過程中，計算出的定位點造成較小誤差距離的機率總是較大，所以可說是與論點 2 互相輝映的實驗結果。

4. 測試情境中：(1) 追蹤物件的擺設密度不同：定位的平均準確率會受顯著的影響，因為當追蹤物呈現廣範圍的分布時，可能有部分的追蹤物，會落於有效涵蓋範圍之外，造成個別的定位誤差值變大，自然影響實際定位的平均誤差距離。(2) 指引標籤的擺設密度不同：對於整體定位效能，也是有所影響，從本實驗中得知，指引標籤分佈較廣的環境，其底下的定位效能是較為可靠的，也就是整體的誤差距離縮小了，這方面的原因，在於當這些指引標籤還在 RFID 讀取器的有效訊號接收範圍內時，其較廣的分佈範圍，等於是擴大了定位環境下的有效定位涵蓋範圍，相對地，也帶來較可靠的定位效能。(3) 讀取器的擺放位置不

同：對於定位平均準確率的影響並不如想像中的大，數值是微幅呈現波動的狀態，但整體而言，仍在一定的信心水平內，變動不大，如果定位的準確率因為讀取器的擺放不同而有大幅的落差，主要的原因可能在於原本藉由指引標籤所延伸的涵蓋範圍，因為環境內讀取器的位置變動，而縮小了。

5. 承 4，根據實驗結果，新式定位機制對於平均誤差值較大的情境，相較於原來的 LANDMARC 法，有更大的效能增進，所以新式定位機制在預期比較容易出現較大誤差的情境，例如：指引標籤分布範圍較小的環境，RFID 讀取器擺設範圍較小的環境 中，會有更好的表現。



## 第五章 總結與未來發展

### 5.1 總結

本論文的目的，在於提出一個新式定位機制，以修正原本利用 RFID 設備做定位的 LANDMARC 方法中，因為指引點不明所造成定位上的議題。

實驗結果顯示，本論文所提出的新式定位機制，在定位的平均效能上，比原本使用 LANDMARC 方法來的優秀，同時也有確切的指引點數目顯示，因此，整體的定位效能有顯著的進步，相對的有效定位涵蓋範圍也跟著提高。

因此，當環境底下 RFID 讀取器不夠時，因為成本考量，改採用大量且成本較低廉的指引標籤以延伸可定位的有效範圍，本論文希望這個折衷的作法在實務發展上會有更大的應用優勢。



### 5.2 未來發展

近幾年來快速興起的 RFID 射頻辨識技術，大多都把重點放在硬體設計的研發上，包括小型化標籤的尺寸、控制天線的收訊範圍以及標籤的可重用設計等等，而軟體的部分像是演算邏輯的改進也在最近漸漸受到重視，RFID 的應用相信不論是在硬體或軟體上，都需要有相輔相成的發展才能有更廣泛且全面的未來。

本論文藉由二階段分群法引入的探討，將焦點放在定位效能的軟體面改善上，在未來，有關於本論文內其他可行主題的探討，例如：其他啟發式方法的運用、更精確的定位數值分析、RFID 設備發射訊號強度處理模型，以及將更多環境條件納入、複雜度更高的多變量分析，參考價值第二高的分群數據引入與否，都是此類型室內定位應用中，值得再深入的研究主題。

## 參考文獻

- [1] Harris, D. B.; "Radio transmission systems with modulatable passive responder", US Patent 2,927,321, March 1, 1960.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System, Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Tel-Aviv, Israel (March 2000), <http://www.research.microsoft.com/~padmanab/papers/infocom2000.pdf> .
- [3] Klaus Finkenzeller, RFID "Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification" Chichester, England :Wiley, 2003
- [4] Ward, J. H. "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function" J. Am. Statist. Assoc. 1963, 58, 236-244
- [5] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Any Ward, and Paul Webster. The anatomy of a context-aware application. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999), pages 59-68, Seattle, WA, August 1999, ACM Press.
- [6] Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello, "SpotON:An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength" Feb.18, 2000
- [7] Jeffrey HighTower and Gaetano Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Sensing Systems for Ubiquitous Computing," CSE 01-08-03, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, Aug 2001,<http://www.cs.washington.edu/homes/jeffro/pubs/hightower2001survey/hightower2001survey.pdf> .
- [8] Jeffery HighTower, Chris Vakili, Caetano Borriello, and Roy Want, "Design and Calibration of the SpotON AD-Hoc Location Sensing System", UWCSE 00-02-02 University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, <http://www.cs.washington.edu/homes/jeffro/pubs/hightower2001design/hightower2001design.pdf> .

- [9] MacQUEEN, J., 'Some methods for classification and analysis of multivariate observations', In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 1965, University of California Press, 281-297 (1967).
- [10] Vernon, F. L.; "Application of the microwave homodyne", IRE Trans, 1952, AP-4, pp 110-116
- [11] Kelley LA, Gardner SP, Sutcliffe MJ. "An automated approach for clustering an ensemble of NMR-derived protein structures into conformationally-related subfamilies." *Protein Eng.* 1996, 9, 1063-1065
- [12] Jeremy Landt, "Shrouds of Time: The history of RFID, Pittsburgh, AIM-Inc," 2005, [http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds\\_of\\_time.pdf](http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds_of_time.pdf)
- [13] Lionel M.Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau and Abhishek P. Patil, "LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID". 2003
- [14] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and HariBalakrishnan. The cricket location-support system. In proceedings of MOBICOM 2000, pages32-43, Boston, MA, August 2000.ACM, ACM Press.
- [15] Subhash Sharma, "Applied Multivariate Techniques", 1996
- [16] R. Want et al., "The Active Badge Location System," ACM Trans. Information Systems, Jan.1992, pp. 91-102 .
- [17] JChem: A development tool written in Java for manipulating data. <http://www.chemaxon.com/jchem> 2006.03.24
- [18] Term explanation from website, <http://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight>, 2006
- [19] International Telecommunication, "Union, Frequently asked questions," 2005, <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/faq/index.html>
- [20] WEKA: A data mining tool: developed by the University of Waikato, <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/index.html> 2005.
- [21] ITRI- Taiwan, "UltraWideBand 技術分析與機會探索",

<http://ieknet.itri.org.tw/commentary/example/3-1.pdf> , 2005

[22] Denise, “超寬頻 UWB 技術現狀與趨勢分析”,

<http://www.eedesign.com.tw/article/document/dc971.htm> , 2005

[23] 日經 BP RFID 技術編輯部 / 編, “RFID 技術與應用”. 2004

[24] 江凱偉, “國土資訊系統通訊第五十六期 - 空間定位技術發展之現況及未來展望” 第四章第二節. 2005

[25] 江凱偉, “國土資訊系統通訊第五十六期 - 空間定位技術發展之現況及未來展望” 第二章第四節. 2005

[26] 吳冠宏, 吳信宏, 郭廣洋, “應用資料挖掘於交通事故分析.” 2004

[27] 吳漢雄, 鄧聚龍, 溫坤禮, “灰色分析入門.” 1996

[28] 林佳毅, “使用影片切割方式萃取台灣學術網路流量模式.” 2001

[29] 周世玉, 陳麒文, 張為詩, “人格特質與品牌個性關係之研究：以運動鞋產品為例.” 2004

[30] 洪良逸, “應用灰色系統理論於工業市場區隔之研究 - 以冷凍空調業為例.” 2002

[31] 張智星, “Pattern Recognition and Data Clustering” 2002

[32] 陳思圻, “跨地區企業網絡策略應用之比較研究 - 以外商在兩岸之投資事業為例.” 2003

[33] 陳惠良, “顧客關係管理於電子商務應用之互動與相關性研究.” 2001

[34] 無線辨識科技中心, ITRI - Taiwan, “RFID 技術” <http://www.rtc.itri.org.tw/research/rfid.htm> 2004

[35] 經濟部 “電子商務導航, 第六卷 第十三期” 2004.09.01 p.3-4

[36] 賀嘉生, “一種三向度時間序列資料處理模型.” 2003