

嵌入式無線射頻識別室內定位系統實現

Embedded Indoor Location System Using RFID

侯安桑^{1*} 楊昇儒²

¹ 南台科技大學電子工程所 教授

¹ ashou@mail.stut.edu.tw

² 南台科技大學電子工程所 碩士生

² m9630109@webmail.stut.edu.tw

摘要

隨時代的進步科技的蓬勃發展，光電、通訊與資訊等方面應用技術獲得卓越進步。在生活中全球定位系統（Global Positioning System, GPS）可用於位置定位與回報，卻無法用於室內環境定位。有鑑於此，本研究計畫提出以無線射頻識別（Radio Frequency Identification, RFID）系統，作室內人員或物品的定位。此有定位系統具有無線網際網路連線功能，使用者可透過網際網路查看定位的結果。

本研究使用的 RFID 裝置主要包含二部份：(1)主動式電子標籤 (Tag)：具有內部電源，提供內部 IC 發射對外訊號，擁有 RSSI 與讀取距離長的特點。(2)讀取器 (Reader)：主機透過通訊埠下達命令給讀取器，讀取器發射無線電波至電子標籤，接收電子標籤回傳的訊息。藉由回傳的訊息及訊號強度作室內人員或物品的定位。

關鍵詞：RFID、無線射頻辨識、定位、Location 嵌入式系統。

1. 導論

RFID 已融入每個人生活中，例如貨物流通管理、門禁管理、電子收費系統、動物識別，所以 RFID 應用已經是現今生活中重要的一個課題。目前 RFID 定位主要採用 LANDARC (Location Identification based on DynamicActive RFID Calibration) 及其衍生的方法[1]-[6]，如圖 1 所示。此種方法在一個二維平面上，每隔 1-2 公尺擺一個參考標籤(Reference Tag)，而且需要四個以上的遠距 RFID 讀卡機。因此在實際應用上有困難，

而且相當浪費硬體成本。

此計畫提出另一種二維定位方法，在二維平面上祇需使用四個參考標籤及兩個遠距 RFID 讀卡機。在此架構下，使用者可用任何一台電腦，輸入伺服端 IP 位址，便能查看伺服端資料庫所記錄的 RFID 相關定位資料及影像檔。此計畫結合了 RFID 辨識、嵌入式系統、無線網際網路以及網頁程式設計。此計畫構想應用於人員進入公司或工廠後，進出某地點的管制。

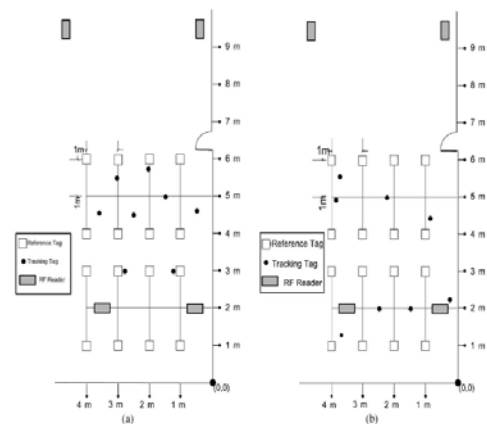


圖 1. LANDARC 定位構想 [1]

GPS 也可作位置定位與回報，然而卻無法用於室內。此計畫構想克服了 GPS 定位的盲點，具有實用的價值。此計畫原先擬使用 MANTIS 遠距 RFID 讀卡機。它所佔用的頻段為 433.92 MHz。加裝不同天線，有不同的有效通訊距離，最遠可達 300 公尺。但是受限於此計畫所核准的經費，祇能改買 WAVETREND 遠距讀卡機及天線。此種讀卡機有效通訊距離，最遠可達 50 公尺，外觀如圖 2 所示。



圖 2. 此計劃採用的遠距 RFID 讀卡機與電子標籤

2. 研究方法

此計劃所提出的方法不僅適用於一維定位，也適用於二維定位，而一維定位是二維定位的理論基礎。

2.1 一維定位

如圖 3 所示，假設參考標籤(#1-#4)與讀卡機的距離分別為 $(r_{x1}, r_{x2}, r_{x3}, r_{x4})$ ；讀卡機接收到電子標籤(#1-#4)的訊號強度指標(Receiver Signal Strength Index, RSSI)分別為 $(S_{x1}, S_{x2}, S_{x3}, S_{x4})$ 。由於在室內，RFID 讀卡機除了接收電子標籤直線傳輸功率外，也接收了反射功率 P_{ref} 以及誤差功率 P_{err} 。因此 RFID 讀卡機所接收到源自某一電子標籤的總功率 P_{total} 可表示為[1]

$$P_{total} \approx P_{ref} + P_{err} + \frac{P_{tr} G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r_x^2} \quad (1)$$

P_{err} 代表除了反射因素以外所造成的誤差； P_{tr} 代表電子標籤所發射的瞬間功率； (G_t, G_r) 分別代表電子標籤及讀卡機的天線增益； λ 代表射頻訊號波長。由於訊號強度指標 RSSI 隨著功率遞增而遞增，由(1)式我們可假設

$$r_x \approx f(s_x) \approx (\lambda/4\pi) \sqrt{G_t G_r P_{tr} / (P_{total} - P_{ref} - P_{err})} \quad (2)$$

在實際量測上，很難知道 $(P_{tr}, P_{total}, P_{ref}, P_{err})$ 這些參數值。如圖 3 所示，四個電子標籤(#1-#4) 擺放位置固定，而且 RSSI 可即時量測得知。

為了即時量測 r_x 值，我們可由預先得知的 $(r_{x1}, S_{x1})、(r_{x2}, S_{x2})、(r_{x3}, S_{x3})$ 及 (r_{x4}, S_{x4}) 四組數據，以多項式(polynomial)來近似(2)式中的

$f(s_x)$ 函數。假設

$$r_x \approx f(s_x) = a_0 + a_1 s_{xN}^1 + a_2 \cdot s_{xN}^2 + a_3 s_{xN}^3 + err \quad (3)$$

$$s_{xN} = (s_x / S_{max}) \quad (4)$$

其中 (a_0, a_1, a_2, a_3) 是未定係數； err 近差。了達到最小平方差的要求，也就是

$$\begin{aligned} \min(err^2) = \\ \min\{[r_x - (a_0 + a_1 s_{xN}^1 + a_2 s_{xN}^2 + a_3 s_{xN}^3)]^2\} \end{aligned} \quad (5)$$

未定係數 (a_0, a_1, a_2, a_3) 的選擇必須滿足

$$\partial[err^2] / \partial a_0 = \partial[err^2] / \partial a_1 = \quad (6)$$

$$\partial[err^2] / \partial a_2 = \partial[err^2] / \partial a_3 = 0$$

由公式(5)、(6)利用多項式求得係數 (a_0, a_1, a_2, a_3) 。

實際定位可分下列步驟：

1. 由於圖 3 電子標籤(#1-#4)擺放位置固定，可預先得知的 $(r_{x1}, S_{x1})、(r_{x2}, S_{x2})、(r_{x3}, S_{x3})$ 及 (r_{x4}, S_{x4}) 四組數據。
2. 由公式(5)、(6)與四組數據算出多項式的係數 (a_0, a_1, a_2, a_3) 。

遠距讀卡機所讀取的(最佳)RSSI 值介於 0-256 的整數值。我們可用 s_x 值 $(0 < s_x < 256)$ ，根據(3)-(4)式先算出所估測的距離 r_x ；然後將已算出的 (s_x, r_x) 關係參數儲存。待實際量測時，將此關係參數代入即時得知估測的距離 r_x 。

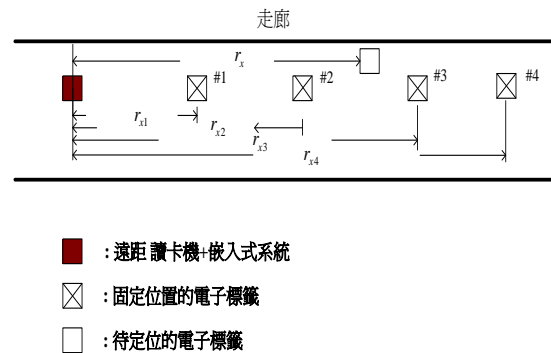


圖 3. 室內一維定位的遠距 RFID 讀卡機與電子標籤擺放圖

2.2 二維定位

總結一維定位的成果後，我們可繼續推演出二維定位的情況。就圖 4 擺放示意圖而言，使用二個遠距 RFID 讀卡機(X , Y , Z)及電子標籤(#1-#4)。假設待定位電子標籤與遠距讀卡機(X , Y)的距離(r_X , r_Y)與 RSSI 值(s_X , s_Y)關係由(7)-(10)式描述。其中係數(a_{X0} , a_{X1} , a_{X2} , a_{X3})及(a_{Y0} , a_{Y1} , a_{Y2} , a_{Y3})可由前述一維定位的方法推導出來。

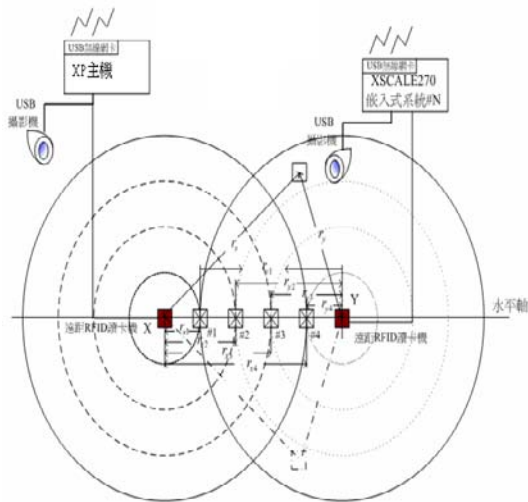


圖 4. 二維定位的示意圖

$$r_X \approx a_{X0} + a_{X1}s_{XM}^1 + a_{X2} \cdot s_{XM}^2 + a_{X3}s_{XM}^3 + err \quad (7)$$

$$s_{XM} = (s_X / S_{max}) \quad (8)$$

$$r_Y \approx a_{Y0} + a_{Y1}s_{YM}^1 + a_{Y2} \cdot s_{YM}^2 + a_{Y3}s_{YM}^3 + err \quad (9)$$

$$s_{YM} = (s_Y / S_{max}) \quad (10)$$

由於圖 4 中遠距讀卡機(X , Y)之間的距離固定而且已知，根據(7)-(10)式我們可知二維平面上待定位電子標籤的位置。根據此中位方法，待定位電子標籤的位置也可能是圖 4 中水平軸以下的位置，如虛線所示。為了分辨出圖 4 中待定位電子標籤的水平軸上下兩個不同位置，可擺設令一讀卡機 Z 。由於讀卡機 Z 所讀到水平軸上電子標籤的 RSSI 值可區分出來，因此可分辨出水平軸以上及水平軸以下電子標籤的位置。

3. 系統設計

本計劃在於嵌入式系統上，結合 RFID 開發一個具有自動化定位之無線射頻識別系統，藉此系統的建構，讓在室內工作環境裡可以有效掌握工作人員的行動狀況。

整體系統架構如圖 5 所示，伺服端執行 RFID 定位程序，同時開啟 Socket 通訊埠，等待接收來自客戶端的一維定位數據。當伺服端本身得到一維定位數據，也接收到客戶端的一維定位數據後，再將最後定結果顯示在螢幕上。

Client 端使用嵌入式系統(XSCALE 270)周邊介面連接裝置如隨身碟、觸控面板、RFID 讀取器、IP 分享器；當嵌入式系統啟動時，掛載隨身碟將指定的資料夾載入記憶體，並執行設定的 Shell 檔，RFID 定位程序執行後，開啟通訊埠並啟動 RFID 模組，當 RFID 定位程序得到一維定位數據後，透過區域網路傳送至 Server 端。

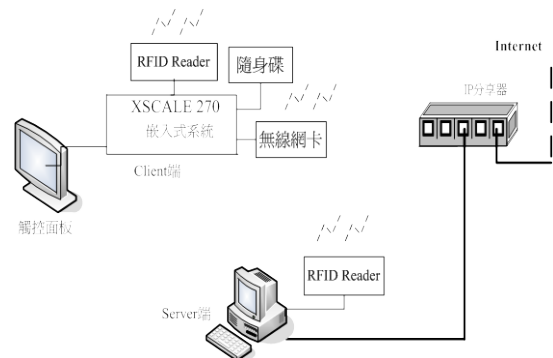


圖 5. RFID 系統架構圖

RFID 定位功能設計構想如圖 6 所示，其中包含五個子系統，名稱及其主要功能分別為：

此子系統在嵌入式系統環境上實現，主要用途為下達命令至 RFID 模組、讀取 RFID 模組資料、分析客戶端 RFID 定位子系統(CRS)RFID 模組資料、數學運算之功能。

1. 圖形介面顯示子系統(GIS)

此子系統主要用途為顯示參考標籤 (Tag ID)、定位標籤、RSSI、一維位置顯示的功能。

2. 伺服端 RFID 定位子系統(SBRS)

此系統在 Windows XP 環境利用 Visual Basic 實現，主要用途為下達命令至 RFID 模組、讀取 RFID 模組資料、分析 RFID 模組資料、

數學運算、並顯示結果之功能。

3. 雙平台網路傳輸子系統(DPSS)

此子系統主要用途於 Windows XP 系統與嵌入式系統，不同平台的網路傳輸之功能。

4. 即時的二維定位子系統(ITLS)

此子系統主要用途利用從伺服器端與客戶端所收到的資料做二維定位，並估算出二維位座標之功能。

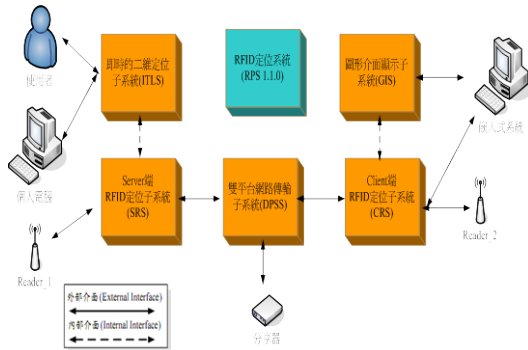


圖 6. RFID 系統設計架構圖

進行 RFID 定位系統前，讀取器與參考標籤必須擺放在固定位置 3。伺服器端程式流程如圖 7 所示。伺服器主程式啟動先讀取 Set.txt 文件，以便預先得知參考標籤的卡號，以及伺服器與參考標籤的對應距離。初始，嵌入式系統發送命令至讀取器，以便讀取參考電子標籤的 RSSI 值，將所收到的 RSSI 值儲存至各個參考標籤專用的陣列裡。當到多次讀取到參考標籤的 RSSI 值以後，根據變異數剔除不合理的 RSSI，並且保留合理的 RSSI 做平均，再將參考標籤 RSSI 值根據(7)-(10)使用查表法(Table look-up)求得參考標籤與讀卡機的距離。上述的程序只需做一次即可，以達到誤差校正的目的。而後在執行緒持續執行發送命令給讀卡器，並接收待定位標籤的卡號及 RSSI 值。當待定位標籤讀取 Num 次後作變異數處理。Num 值可視情況調整。伺服器接收客戶端的一維定位數據後，以一維距離為依據，換算出二維定位座標。

客戶端執行動作與伺服器雷同，差別在於，執行續動作同時，主程式判斷旗標是否為 1，條件成立，將一維定位距離顯示在 XSCALE-270 的觸控螢幕上，藉由 socket 介面將客戶端一維距離數據傳送至伺服器。客戶端敘述如圖 8 流程圖所示。

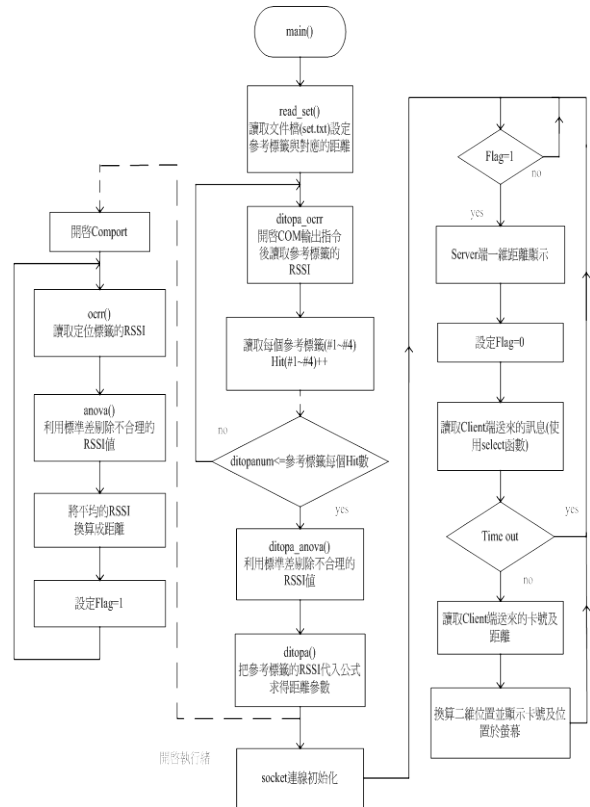


圖 7. 伺服器端程式設計流程圖

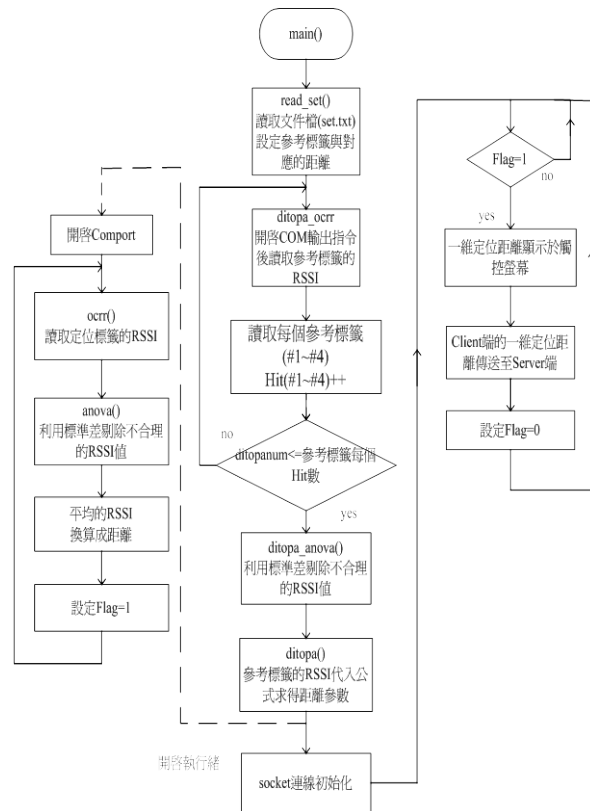


圖 8. 客戶端程式設計流程圖

4. 測試結果

整體系統功能在室內實驗室進行，因空間限制，定位的距離實驗(X,Y)座標為(2 m, 2 m)、(5 m, 2 m)及(6 m, 2 m)三組。伺服端為原點(0, 0)，圖 9 橫軸代表時間，單位秒。縱軸代表定位的(X, Y)座標，每一個參考標籤讀取 10 筆 RSSI 值做變異數在計算距離參數，定位標籤讀取 5 筆 RSSI 值做變異數在代入 RSSI 值求得一維估算距離。將伺服端與客戶端得到的一維距離數據後做換算求得二維距離座標。如圖 9 所示

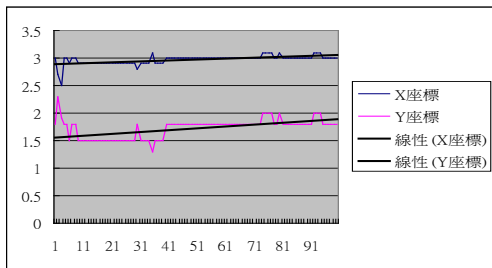


圖 8(a). 座標(2 m, 2 m)

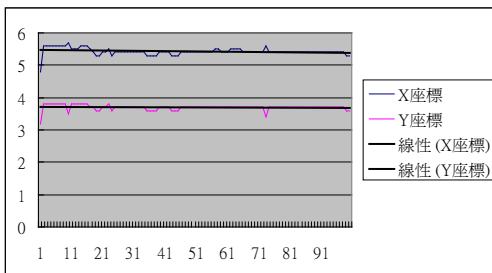


圖 8(b). 座標(3 m, 2 m)

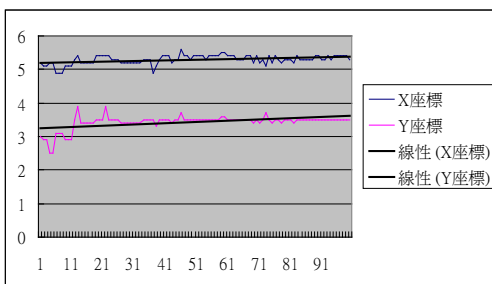


圖 8(c). 座標(6 m, 2 m)

從圖 9 觀察定位座標變化從時間 1 至 30，(X, Y)座標變化浮動大，根據電波本身的特性，知道電子標籤在固定位置不動，但 RSSI 值卻會有飄移的現象產生。因此我們做個測量以圖 3 示意圖；測量電子標籤與 Reader 的距離為 2、4、6、8 公尺做測量如圖 10 所示。

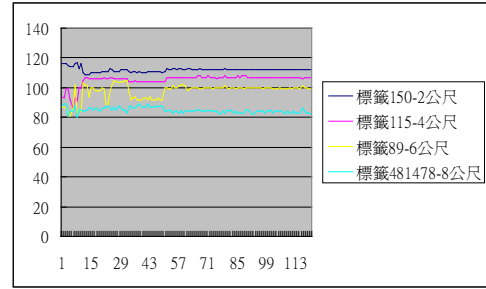


圖 9. RSSI 與漂移現象

由圖 9 觀察 RSSI 值了解，漂移現象會在 1 至 60 時間上有較大的跳動幅度，到 60 以後幅度縮小，根據此實驗結果，我們在求得定位數據時，需增加讀取參考標籤 RSSI 值的次數，以求更精準之定位數據。圖 10 所示為取樣 50 筆資料做距離參數並計算二維座標，定位結果發現準確性與穩定性有明顯的差別，證明此解決方法有效。

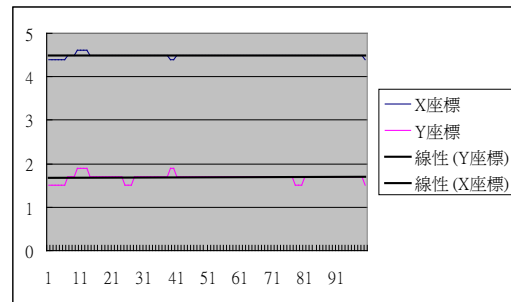


圖 10(a). 座標(4 m, 2 m)

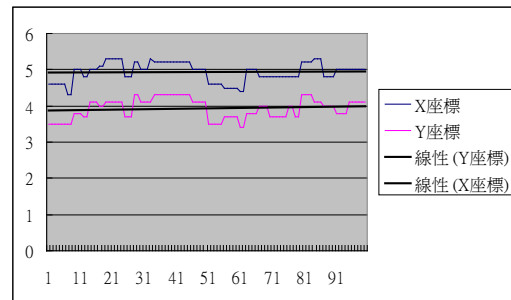


圖 10(b). 座標(6 m, 2 m)

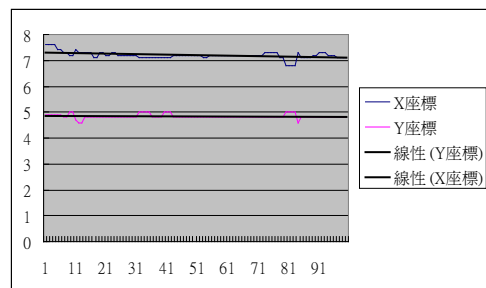


圖 10(c). 座標(7 m, 2 m)

本研究內容提出 RFID 二維定位技術經由理論的推演及實驗的驗證，證實此系統具體可行；並利用圖形介面顯示位置。在實際的測量，利用上課教室之室內環境中來驗證我們 RFID 二維定位技術並且圖形介面顯示，其幾乎達成預期的目標結果

此目的實現室內環境定位，目前的 GPS 在室外環境可以有效的定位但是室內環境無法定位，而此專案構想是克服 GPS 定位的盲點，具有實用的價值如下。

1. 追蹤系統：追蹤人員或物品位置。
2. 物料處理：工廠的物料清點及補貨。
3. 醫療應用：醫院病人的進出管制。
4. 防盜應用：貴重物品的防盜管理。
5. 門禁系統：員工進出地點的管制。

結論

RFID 應用正快速地遍及在我們的日常生活中，這項科技使社會生活更舒適、安全與方便。而商業的層面更是廣泛地應用 RFID 技術，以便增進貿易的效率。而此研究 RFID 定位技術可以在室內場所，只要能隨身攜帶電子標籤即可知道目前持有人的所在位置。本研究所提出的定位技術 RFID 的應用領域有具體的貢獻。

參考文獻

- [1] L. M. Ni; Y. Liu; Y. C. Lau; A. P. Patil, "ANDMARC : Indoor Location Sensing Using Active RFID", Springer Wireless Networks, Volume 10, 2004, Page(s): 701-710.
- [2] HyungSoo Lim; ByoungSuk Choi; angMyung Lee, "An Efficient Localization Algorithm for Mobile Robots based on RFID System", SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference, Oct. 2006 Page(s):5945-5950
- [3] Zhao, Yiyang; Liu, Yunhao; Ni, Lionel M. "VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination", Parallel Processing, 2007. ICCP 2007. International Conference on, 10-14 Sept. 2007 Page(s):56-56.

- [4] Guang-yao Jin; Xiao-yi Lu; Myong-Soon Park, "An Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag", Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing, 2006. IEEE International Conference on, Volume 1, 05-07 June 2006 Page(s):40-43.
- [5] Hahnel, D.; Burgard, W.; Fox, D.; Fishkin, K.; Philipose, M., "Mapping and localization with RFID technology", Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on, Volume 1, 2004 age(s):1015-1020 Vol.1.
- [6] Bao Xu; Wang Gang, "Random sampling Algorithm in RFID indoor location system", Electronic Design, Test and Applications, 2006. DELTA 2006. Third IEEE International Workshop On, 17-19 Jan. 2006 Page(s):6 pp

致謝與聲明

此論文的完成，最感謝是我的指導教授侯安桑老師。老師是我研究所的啟蒙老師，無論在研究方法、學習的態度，程式設計的技巧方面，我都受他的影響很多。最後感謝我的家人和實驗室的同學們陪伴與相互的支持鼓勵，讓我能平順而愉快地完成研究所的學業。

本研究計畫經費來自 96 年度嵌入式軟體關鍵技術開發分項研究計畫(嵌入式軟體關鍵技術開發分項)，NSC 96-2218-E-218-002。