

# 應用 RFID 技術於三度空間定位

陳榮靜  
朝陽科技大學  
資訊管理系  
e-mail :  
crching@cyut.edu.tw

林裕証  
朝陽科技大學  
資訊管理系研究生  
e-mail :  
s9814609@cyut.edu.tw

## 摘要

近幾年來基於位置感知所產生的服務越來越多，最常拿來應用的技術就是全球定位系統(Global Positioning System, GPS)。由於環境的限制，使得 GPS 並不適合應用在室內環境上，因此我們將以無線射頻辨別技術(Radio Frequency Identification, RFID)為基礎，使用主動式標籤結合參考點概念和接收訊號強度，建立一個三度空間的定位方法。

**關鍵詞：**無線射頻辨別技術、室內定位、位置感知。

## Abstract

In recent years, there has been many application which based on location-aware. Many researchers have used varied technologies to perform the object of indoor position location tracking. In our research, we will purpose a new method using RFID tags to perform indoor position location tracking. This method uses Received Signal Strength and reference tags to position a three dimensions location.

**Keywords:**RFID, Indoor location system, Location-aware.

## 1. 前言

隨著無線技術與行動設備快速的發展，產生許多的應用與服務，其中以定位功能為基礎所產生的服務最為重要，像是近幾年熱門的位置感知服務(Location-aware)就是透過具有定位功能的行動裝置計算出目前的所在地，根據目前位置提供所需要的服務，應用層面廣泛可用於各種領域上。例：包含尋找鄰近資訊、導航、車輛管理等相關應用[13]。

位置感知服務是一種以所在位置為基礎所提供的行動服務，因此如何取得所在位置是一

大重點。目前為止有多種技術應用在定位服務上，其中最知名的就是全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，透過太空中的衛星結合三角測量原理進行定位，所以 GPS 需要與衛星保持直視性(Light of Sight, LOS)才能進行定位，當環境有過多遮蔽物時，則會影響 GPS 定位，由於此限制所以 GPS 也不適合應用在室內[11][15]。

由於 GPS 無法用於室內環境中，因此有學者、企業利用其他技術應用於室內定位，像是紅外線、超音波、無線網路等，但會有成本、準確度等缺點。相較於這些技術，RFID 有非直視性(Non Line-of-Sight, NLOS)、成本、可用於惡劣環境等特性[1]，使得 RFID 更適合用於室內定位。本研究將以 RFID 技術基礎，使用事前部屬好的主動式標籤作為參考點，將 RFID Reader 從參考點與部屬於追蹤物上標籤所接收到的訊號強度進行計算，挑選出 4 個參考點進行定位計算。

在第二章會介紹相關室內定位技術與定位演算法；第三章為本研究之定位方法；第四章為初步實驗與結果；最後為結論。

## 2. 文獻探討

目前為止已經有多種技術被拿來應用於室內位置感測上，如紅外線、無線區域網路、超音波等技術都有其各自相關室內位置感測系統已被發表，每項技術都有其優缺點，我們將會介紹相關定位技術。

### 2.1 定位技術

#### 2.1.1 紅外線(Infrared)

在 1992 年時，由當時 Olivetti 實驗室(現今的 AT&T 實驗室)R. Want 等人所提出的 Active Badge[8]室內定位系統，使用紅外線技術來實現室內定位。

將紅外線訊號發射器配置於物體身上，將訊號接收器佈署於感測環境中。在固定時間內，物體上的紅外線訊號發射器不斷的發送紅

外線訊號，藉由感測環境中的訊號接收器進行訊號接收，以此判斷物體的所在地。

紅外線技術應用於室內定位上，則會受到兩個主要限制，一個為直視性，另一個為訊號傳輸距離。紅外線訊號發設端與接收端之間不能有障礙物阻擋，否則將會影響訊號傳輸的品質，甚至有可能會接收不到訊號。由於紅外線技術本身的傳輸距離短，在加上只能使用點對點的傳輸，基於以上因素，紅外線技術較不適合應用於室內定位上。

### 2.1.2 無線網路(IEEE 802.11)

在 2000 年由微軟所屬的研究部門所發表的 RADAR[9] 定位系統，RADAR 是一種基於無線技術的室內定位系統，使用 802.11 網路設備結合訊號傳播模型(Signal propagation model) 和進行定位。此系統運用多個 AP(Access Points) 在欲定位區域上，使 AP 的接收範圍能重疊覆蓋整個區域。主要分為離線階段與連線階段，在離線階段中，針對區域中所設定的訓練點進行訊號量測，收集所測得的訊號強度資訊並利用定位資訊建立資料庫。在連線階段，將追蹤物的訊號強度與資料庫中的訊號強度進行比對，以推算物體的位置。

此系統有些限制如在追蹤的物體上需要配有符合 802.11 之相關設備、設備電力消耗問題、在通訊技術也容易受到其他通訊設備的干擾，且無法提供高準確度，平均定位誤差在 3-4 公尺。

### 2.1.3 超音波(Ultrasonic)

Cricket Location 定位系統和 Active Bat 定位系統都是使用超音波技術實現定位[12]。

透過超聲波的時差測距(Time-of-flight)技術，提供位置資訊，在 4 x 4 平方公尺的環境下有 95% 機率定位誤差在 9 公分。但是這種定位方式需要大量的基礎設施，才能有精準定位。由於成本昂貴所以並不適合應用在實際生活中。

### 2.1.4 無線射頻辨識(RFID)

近年來由於成本的降低與性能的提升，紛紛有學者將 RFID 應用於室內位置感測上。在 2000 年時，由 Jeffery Hightower 等學者所共同開發的定位系統 SpotON 定位系統。

SpotON[11] 系統是第一個將 RFID 技術應用於室內定位系統中，利用取集演算法(Aggregation algorithm) 計算收到的訊號強度。未知物件的定位計算並沒有經過系統中央控

管的過程，而是透過其他相同性質的感測節點，以分散式計算方式進行定位演算法的計算。

在 2003 年由密西根州州立大學與香港科技大學的研究團隊也提出了以 RFID 技術為基礎的定位系統 LANDMARC[12](Location identification based on dynamic active rfid calibration)。LANDMARC 在定位準確度與可信度都比 SpotON 來的更好。目前有許多學術研究都以此系統所提出的概念當為一個參考範本，本研究也是以此概念為基礎。在後續章節將會詳細介紹 LANDMARC 定位方法。

## 2.2 定位演算法

無線技術常見的定位演算法有：訊號抵達角度法、訊號抵達時間法、訊號抵達時間差、接收訊號強度等四種，以下將各別做介紹。

### 2.2.1 訊號抵達角度法(Angle Of Arrival, AOA)

AOA 是利用具方向性的天線(Directional Antenna)所量測到訊號的方向，如圖 1。

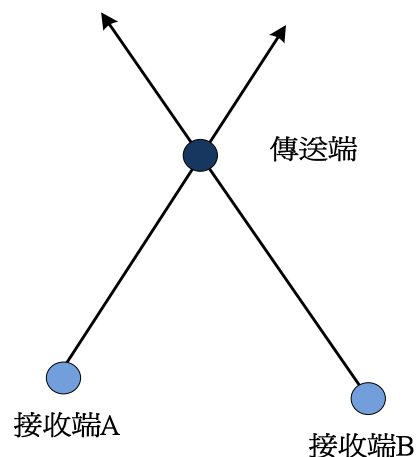


圖 1、AOA 測量示意圖

利用兩個以上的接收端對傳送端進行方向的測量，接收端之間的方向線之交點為傳送端的所在地。傳送端和接收端之間不需要準確的時間同步，但在較多障礙物的環境下，會發生多重路徑(Multi-path)而造成誤差。

### 2.2.2 訊號抵達時間法(Time Of Arrival, TOA)

TOA[7] 測量方式為利用三個接收端方式，計算接收端與傳送端之間訊號傳遞時間再乘上訊號傳輸速度，即可算出兩者之間的大概距離，如圖 2。

TOA 需要傳送端與接收端的時間有精確

的同步，如此測量出來的結果才會準確。

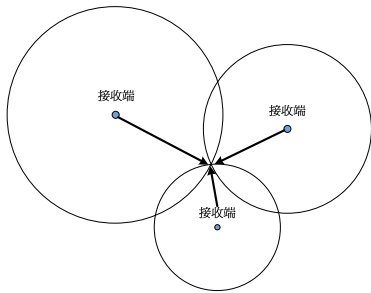


圖 2、TOA 測量示意圖

### 2.2.3 訊號抵達時間差(Time Difference Of Arrival, TDOA)

TDOA 與 TOA 最大的不同點在於 TOA 是利用單一訊號傳遞時間來計算，而 TDOA 是利用無線電波與超音波兩種不同訊號傳遞速度有所以不同而所造成的到達時間差概念，如圖 3。

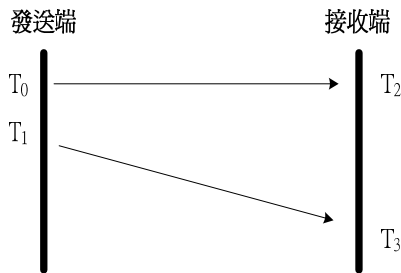


圖 3、TDOA 示意圖

先將傳遞速度較快的無線電波發送出去，接著在發送一個較慢的超音波訊號，利用兩個訊號到達時間差在乘上其相對速度來估計相對距離。

### 2.2.4 接收訊號強度(Received Signal Strength, RSS)

利用接收端從發送端所收到之訊號強度以訊號衰弱模型[2]公式推算出相對距離，如公式 (1)。

$$PL(d) = PL(d_0) - 10N \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - WAF \quad (1)$$

$P(d)$ 代表測量點之訊號值， $d_0$ 為測量基準點與傳送端之距離， $p(d)$ 代表基準點訊號強度， $d$ 代表是測量點的距離， $N$ 代表衰減係數， $W$ 為測量點與基準點之間牆壁數量， $NW$ 為測量點與基準點的衰減係數， $WEF$ (Wall Effect Factor)是牆壁勵因子， $C$ 為最大數量衰減因子。

RSS 在進行距離估算時並不需要另外增加硬體設備，也不需要精確的時間同步。

## 3. 定位方法

一般來說，為了提升定位有效範圍和提高精準度，通常都會使用大量的感測器。當感測器的覆蓋範圍越大越密時，定位有效範圍越大且定位準確度也會隨著感測器的數量提升。但是以 RFID 為基礎的定位系統卻受到 RFID Reader 成本的限制，使得無法使用大量的 RFID Reader 進行定位。因此在 LANDMARC 系統便使用大量且成本低廉的主動式標籤作為輔助參考點，幫助定位系統進行定位。

LANDMARC 系統主要原理是藉由讀取器所接收到的追蹤標籤(Tracking Tag)和參考標籤(Reference Tag)的訊號強度，在以定位演算法計算追蹤標籤的位置。在 LANDMARC 系統的環境中，是由  $n$  個 RFID 讀取器、 $m$  個參考標籤、 $t$  個追蹤標籤所組成。每個 RFID 讀取器都會收到來自追蹤標籤與參考標籤的訊號強度，當追蹤標籤和參考標籤位置越接近時，其相對訊號強度會越小，對於相對訊號越小之參考標籤給於越高的權重，如果能找出  $n$  個權重較高之參考標籤的位置資訊來當作參考點進行定位，將能有效的把追蹤標籤位置定位出來，此為 LANDMARC 系統所提出的核心概念，本研究以此概念為基礎，運用於三度空間之定位系統。

本研究架構可分為兩部份，第一部份為訓練階段，第二部份為定位階段。在訓練階段著重在參考點模型的建立，將使用 RFID Reader 接收主動式標籤的訊號強度，建立參考點模型。在定位階段將著重在參考點的挑選，以 RFID Reader 所接收到的追蹤標籤訊號強度與參考點模型進行相關訊號強度計算，挑選出適合參考點進行定位計算。

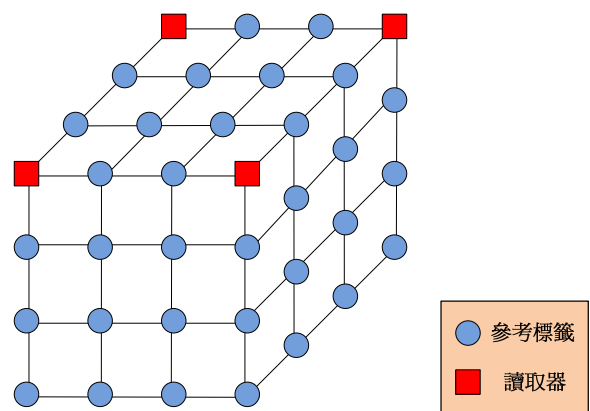


圖 4、在三度空間 RFID 讀取器和參考標籤之部屬圖

### 3.1 訓練階段

設備的部屬將會如圖 4 的方式屬部。在一個三度空間內，將讀取器佈署於四個角落，假設每個讀取器的功能且讀取距離階相同。標籤不只有部屬在天花板，而是等距離部屬於整個空間，當作參考點使用。接下來利用讀取器對標籤進行資料收集，收集每個標籤的 ID、位置、訊號強度，利用這些資料整合出一個三度空間的參考點模型，此模型擁有標籤的位置、ID 以及每個讀取器對參考點所接收到的訊號強度，模型建立完畢後，將標籤回收，保留讀取器，以降低系統部屬成本，也可以減少不必要的干擾。

Step 1：參考標籤和 RFID Reader 的放置。首先將 RFID Reader 部屬於天花板四個角落，接著部屬參考標籤，每個標籤跟周遭其他標籤距離間隔皆為一公尺，部屬完畢後，將 RFID Reader 及參考標籤等座標記錄於資料庫。

Step 2：RFID Reader 對參考標籤資料的收集。依序使用 RFID Reader 對參考標籤進行讀取並將標籤之 ID、訊號強度等資訊儲存於資料庫內。

Step 3：參考點模型之建立。將 Step 1 紀錄之參考標籤座標與 Step 2 收集的標籤相關資訊進行整合，並建立一個參考點模型。

### 3.2 定位階段

根據 Hui Lin 等學者所提到的，一個定位系統的好壞不能只依照其定位準確度 (Accuracy)，必需還要參考其他因素，例如：準確率 (Precision)、成本 (Cost)、強健性 (Robustness) 等 [15]。因此本研究所設計之定位演算法將著重在準確率上，以降低最大誤差、以確保準確率能維持一定水準。

當有一個物體進入此空間且身上配帶追蹤標籤 (Tracking Tag) 時，就可利用讀取器所接收到的資料與該模型進行比對，找出該物體周遭的參考點，利用這些參考點的位置將可估算出該物體之大概位置。

Step 1：物體配戴有標籤 T。

Step 2：依序判斷讀取器是否有接收到 T 之訊號，並記錄讀取器所接收到的訊號強度。定義追蹤標籤的訊號強度集合以  $S=(s_1, s_2, \dots, s_n)$  表示，當中  $s_i$  表示追蹤標籤被 Reader  $i$  所讀取到的訊號強度。

Step 3：找出讀取器之間讀取範圍重疊區域。

Step 4：抓出重疊區域的所有參考點，做為

候選參考點。每個 Reader 都會讀到參考標籤的訊號強度集合，以  $\theta=(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$  表示。 $\theta_i$  代表追蹤標籤被 Reader  $i$  所讀取到的訊號強度。

Step 5：計算參考標籤與追蹤標籤之相對訊號強度，並找出相對訊號強度最小之參考標籤。根據 Step 2 和 Step 4，每個 RFID Reader 都會收集到追蹤標籤和參考標籤兩組訊號強度集合。定義追蹤標籤 T 和某參考標籤  $R_j$  相對訊號強度值為  $E_j$ ，計算公式如公式 (2)。

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2} \quad (2)$$

$E_j$  可代表為追蹤標籤 T 與參考標籤  $R_j$  之相對距離關係，因此可以利用幾何距離公式將可對參考標籤和追蹤標籤 T 之間距離集合表示為  $E=(E_1, E_2, \dots, E_m)$ ，當追蹤標籤與某個參考標籤越接近時，其  $E_j$  值將會越小。藉此我們可以從相對訊號強度集合中找出一個 E 值最小的參考標籤為基準標籤。

Step 6：使用最鄰近方法 (k-th nearest neighbor, K-NN)，以基準標籤為中心，挑選上、下、左、右、前、後之 6 個參考點作為候選參考點，依 E 值的大小來排序，如圖 5。

Step 7：從已排序完成之候選參考點中，選擇三個 E 值最小之參考標籤結合基準標籤 (如圖 6) 進行定位演算法計算，將四個參考標籤之座標以公式 (3) 進行計算，其結果為預測座標。

$$(x, y, z) = \left( \frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{4}, \frac{y_1+y_2+y_3+y_4}{4}, \frac{z_1+z_2+z_3+z_4}{4} \right) \quad (3)$$

$(x_1, y_1, z_1)$  為基準標籤之座標， $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$ 、 $(x_4, y_4, z_4)$  為挑選出來的候選參考標籤之座標， $(x, y, z)$  為追蹤標籤之預測座標。

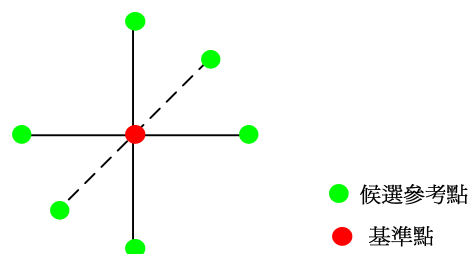


圖 5、基準點與候選參考點



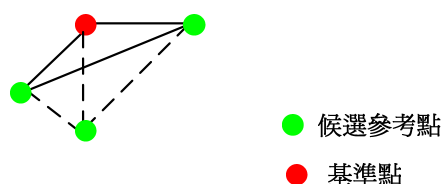


圖 6、基準點與三個候選參考點形成之錐形三角形

#### 4. 初步實驗

在這個章節會先介紹一些基本假設，然後在介紹實驗環境、實驗設備，最後實驗部分將以數值模擬的方式進行實驗。

##### 4.1 基本假設

本研究之初步實驗中，有做一些基本假設，實驗結果也是基於這些假設為基礎，以下為基本假設：

###### ◆ 假設無任何環境干擾

由於 RFID 是基於無線射頻技術為基礎，所以會因為環境中的電波、溫度、金屬物體而對 RFID Reader 和 Tag 之間訊號傳輸造成干擾，因此我們希望以無任何干擾的條件進行實驗，以傳播路徑損耗模型[25]來模擬訊號強度在環境中衰弱情形，如公式(4)。

$$PL(d) [dB] = \overline{PL}_{(d_0)} + 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (4)$$

$d_0$  代表參考距離， $n$  為路徑損耗指數， $X_{\sigma}$  代表平均值為 0 的高斯隨機變數，其標準差  $\sigma$  是來代表環境干擾的程度，越小代表干擾越少，當  $\sigma=0$  代表是在一個理想無干擾的環境下， $\sigma=10$  代表是在一個高度干擾的環境。

###### ◆ 假設實驗設備能力皆為一致

使用之 RFID 設備規格標準雖然是相同的，可是會因為設備內部元件的關係發生雖然相同規格可是表現卻有差異，因此避免這種情形在實驗中發生，所以我們假設所有設備表現皆會相同。

###### ◆ 假設實驗設備並無電力消耗問題

在我們的定位方法中會使用到標籤之訊號強度，但是標籤的電力多寡會影響到訊號強度的表現，避免這種情形對實驗結果造成影響，所以假設所有的標籤並不會有電力消耗的問題。

##### 4.2 實驗環境

實驗環境為長寬高為 2 x 3 x 2 平方公尺 (如圖 7)，在天花板部屬 4 個 RFID Reader、32 個參考標籤、5 個追蹤標籤，每個 Reader 和參考標籤間距皆為 1 公尺，如所圖 x 所視。在訓練階段結束後，移除所有參考標籤，將追蹤標籤以隨機的方式放入環境中。

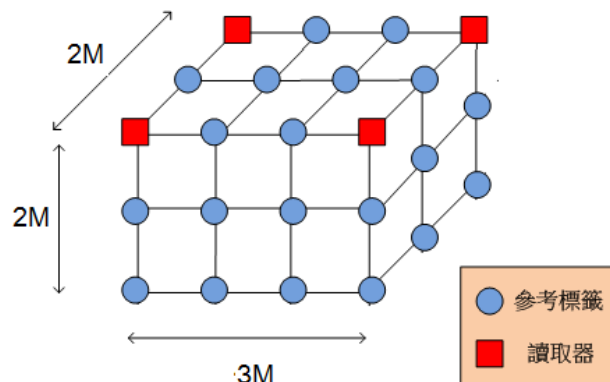




圖 7、實驗環境

##### 4.3 實驗設備

以 RF code 公司所生產 Mantis II 系列的 RFID 讀取器與主動式 RFID 標籤作為模擬實驗之環境設備(表 1)。工作頻率是 433.92MHz，讀取距離是 45 公尺，讀取訊號強度範圍為 -58dB 到 -108dB。

表 1、為實驗設備與規格

	
Operating Frequency	433.92 MHz
Receiver Sensitivity	>50 dB dynamic range (-58 dB to -108 dB)
Antenna	Omni
Tag Density	Up to 140 tag reports per second (TRPS)

##### 4.4 實驗結果

表 2 為隨機產生的追蹤標籤之座標，以標籤編號 1 之座標(2.01, 1.03, 0.96)為例進行計算，根據參考點模型所提供之訊號強度與追蹤標籤訊號強度計算相對訊號強度，挑選出參考點(2,1,1)，以參考點為基準，選出(1,1,1)、(2,0,1)、(2,1,0)、(2,1,2)、(2,2,1)、(3,1,1)，在依照相對訊號強度作排序，選出最小 3 個，(2,1,0)、(2,2,1)、(3,1,1)，以這 3 點在加上參考點進行計算，結果為(2.25,1.25,0.75)。

計算預測座標  $(x_e, y_e, z_e)$  與真實座標  $(x_{real}, y_{real}, z_{real})$  之間的距離，其計算結果  $d$  為誤差

距離，如公式(5)[25]：

$$d = \sqrt{(x_{real} - x_e)^2 + (y_{real} - y_e)^2 + (z_{real} - z_e)^2} \quad (5)$$

以(2.01, 1.03, 0.96)和(2.25,1.25,0.75)代入上訴公式，其計算結果為約為 0.39 公尺。其他實驗結果如表 3 所示。

表 2、追蹤標籤之座標

追蹤標籤編號	原始座標
1	(2.010,1.030,0.960)
2	(1.490,0.010,1.070)
3	(0.373,1.899,1.984)
4	(0.054,1.736,1.154)
5	(2.681,1.874,0.321)

表 3、追蹤標籤之誤差值

追蹤標籤編號	估計座標	誤差值(m)
1	(2.25,1.25,0.75)	0.3874
2	(1.5,0,1.5)	0.4302
3	(0.5,1.5,1.75)	0.4793
4	(0.25,1.5,1.25)	0.3209
5	(2.5,1.5,0.25)	0.4215

## 5. 結論

本研究提出了一個以 RFID 為基礎，使用主動式標籤結合訊號強度與參考點概念的三度定位方法，且經由訓練階段將訓練結束之標籤進行回收可以降低系統部屬與維護成本。雖然在訓練階段需要花大量時間進行訓練，但從初步實驗結果顯示，能有效的將誤差降低至 X 公尺左右。但由於目前實驗環境是假設在無環境干擾下，為了讓此方向可以應用在真實環境中，未來將會以其他方法去訓練、產生參考點模型，如支持向量機(SVM)、類神經等方式進行資料的訓練，以增加此方法的實用性。

## 參考文獻

- [1] 謝建新，"RFID 理論與實務"，網弈資訊出版社，2006。
- [2] 顏椿煌，"行動與無線通訊"，金禾資訊股份有限公司，2006。
- [3] 洪斌釗(2006)，"RFID 室內位置感知系統之研究"，朝陽科技大學網路與通訊研究所碩士論文。
- [4] 黃盛麟(2008)，"以 RFID 為基礎結合電能位階、訊號強度及模糊方法進行室內定位辨識

"，朝陽科技大學資訊管理系碩士論文。

- [5] 張心傑(2008)，RFID 應用於室內定位之研究，中國文化大學資訊管理研究所碩士論文。
- [6] 黃政憲、洪榮華、洪晟恩、黃偉齊、陳棕信、鍾任杰，"應用 PDA 行動裝置之室內定位技術研究"，*銘傳大學國際學術研討會*，第 56-64 頁，2008。
- [7] B. Fang, 1990, "Simple Solution for Hyperbolic and Related Position Fixes," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 26, no. 5, pp. 748-753.
- [8] R. Want, A. Hopper, V. Falcao and J. Gibbons, 1992, "The Active Badge Location System," *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 40, no.1, pp. 91-102.
- [9] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, 2000, "RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM*, vol. 2, pp. 775-784.
- [10] N.B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan., 2000, "The Cricket Location-support System," *MOBICOM*, pp. 32-43.
- [11] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, 2000, "SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength," Technical Report, University of Washington.
- [12] L.M. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, and A.P. Patil, 2003, "LANDMARC - Indoor Location Sensing Using Active RFID," *IEEE Potentials*, vol. 17, no. 4, pp. 407-415.
- [13] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Wardl and Paul Webster, 2004, "The Anatomy of a Context-Aware Application," *Wireless Networks*, vol. 8, no. 2-3, pp. 187-197.
- [14] S.T. Shih, K. Hsieh, and P.Y. Chen, 2006, "An Improvement Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID," *ICICIC '06*, vol. 2, pp. 453-456.
- [15] C. Wang, H. Wu, and N.F. Tzeng, 2007, "RFID-Based 3-D Positioning Schemes," *26th IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 1235-1243.
- [16] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu, 2007, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and*

- Reviews*, vol.37, no.6.
- [17] E.W.T. Ngaia,<sup>1</sup>Karen K.L. Moonb, Frederick J. Rigginsc, and Candace Y. Yib, 2008, "RFID Research: An Academic Literature Review (1995–2005) and Future Research Directions," *International Journal of Production Economics*, vol. 112, no. 2, pp. 510-520.
- [18] T. Sanpechuda and L. Kovavisaruch, 2008, "A Review of RFID Localization: Applications and Techniques," *Proceedings of ECTI-CON 2008*, vol. 2, pp. 769-772.
- [19] M. Bouet and G. Pujolle, 2008,"A Range-free 3-D Localization Method for RFID Tags Based on Virtual Landmarks," *IEEE 19th International Symposium on PIMRC 2008*, pp. 1-5.
- [20] R. Oktem, Elif Uray Aydin, and N. Ercil Cagiltay, 2008, "An RFID Based Location Finding and Tracking with Guidance," *WiCOM '08*, pp. 1-4.
- [21] S. Kim, D. Ko, and S. An, 2008, "Geographical Location Based RFID Tracking System," *WoWMoM 2008*, pp. 1-3.
- [22] R. Tesoriero, J.A. Gallud, M. Lozano, and V.M.R. Penichet, 2008, "Using Active and Passive RFID Technology to Support Indoor Location-aware Systems," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 2, pp. 578-583.
- [23] Chieh-Ling Huang, Pau-Choo Chung, Ming-Hua Tsai, Yen-Kuang Yang, and Yu-Chia Hsu, 2008, "Reliability improvement for an RFID-based psychiatric patient localization system," *Computer Communications*, vol. 31, no. 10, pp. 2039-2048.
- [24] Abhishek Patil, Jonathan Munson, David Wood, and Alan Cole, 2008, "Bluebot: Asset tracking via robotic location crawling," *Computer Communications*, vol. 31, no. 6, pp. 1067-1077.
- [25] S.G. Roh, and H.R. Choi, 2009, "3-D Tag-Based RFID System for Recognition of Object," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 55-65.
- [26] M. Bouet, and G. Pujolle, 2009, "L-VIRT: Range-free 3-D Localization of RFID Tags Based on Topological Constraints," *Computer Communications*, vol. 32, no. 13-14, pp. 1485-1494.
- [27] R. Tesoriero, R. Tebar, J.A. Gallud, M.D. Lozano, and V.M.R. Penichet, 2010, "Improving Location Awareness In Indoor Spaces Using RFID Technology," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 1, pp. 894-898.