

利用 RFID 之室內機器人定位導航及避障系統

黃榮堂

國立台北科技大學教授
jthuang@ntut.edu.tw

施岱青

國立台北科技大學研究生
leomisz@hotmail.com

摘要

本篇論文主要目的在於利用 RFID 提供一個有效率的方式來進行機器人的導航以及避障系統。我們假設機器人能夠判讀標籤的編碼和測量每個 TAG 的 RSSI 以及讀取地面上的標籤。然而，因為現今的天線和標籤之間存在不可避免得誤差，換句話說，錯誤必然存在於天線和環境之間。許多研究人員會加上一些其他的感應器來減少導航中產生的誤差。但如何只利用 RFID 完成導航才是最好的方法。我提出一個不同於現今的方法能夠只利用 RFID 以及用正三角形方式鋪在地上的標籤就可以進行機器人的導航。最後的實驗也證實我所提出的方法確實可以準確的利用在定位和導航中。

關鍵詞：RFID、定位系統、避障系統、導航系統。

Abstract

This paper proposes an efficient method for localization and pose estimation for mobile robot navigation using passive radio-frequency identification (RFID). We assume that the robot is able to identify IC tags and measure the robot's pose based on Received Signal Strength Indication (RSSI) and IC tags on the ground. However, there arises the problem of uncertainty of location due to the nature of the antenna and IC tags. In other words, an error is always present which is relative to the sensing area of the antenna. Many researches have used external sensors in order to reduce the location errors, with few researches presented involving purely RFID driven systems. Our proposed algorithm that uses only passive RFID is able to estimate the robot's location and orientation more precisely by using function that RSSI into the distance and The IC tag affixed to Triangle manner on the ground. The experimental results show that the proposed method effectively estimates both the location and the pose of a mobile robot during navigation.

Keywords: RFID、navigation system、location system、Avoid obstacles system.

1. 前言

以現今的(機器人)於室內定位系統來說，並沒有任何一個技術能夠廣泛且有效的被應用，例如：攝相機不能於煙霧環境下工作；GPS容易受到鋼筋混泥土阻擋；三維激光測量技術也相當昂貴。所以目前以定位系統而言，當今的技術受到環境、資金、空間等...因素的考驗，所以RFID技術開始備受矚目。

RFID具備壽命長、受環境影響小(能在雪、霧環境下持續工作)、所用體積小，標籤更是能夠耐高溫、防磁、防水，所需資金也是比光學識別技術來得低，技術難度也是較為簡單，所以隨著近期RFID技術的成長，使得RFID逐漸成為定位系統的主角之一。

在導航和避障系統方面，目前也是以紅外線雷達等感應器的技術來進行障礙物的辨識後再進行路徑規畫，除了技術難度高之外，價格也是比RFID來得昂貴。但RFID只需使用簡單的標籤辨識，即可達到障礙物辨識的效果，並且與定位系統的配合，可讓整個系統使用的技術較為單一，且簡化。本篇論文主要目的在於提供一個有效率的方式來進行機器人的定位導航工作，而主要的技術是利用RFID來進行實驗。我們假設機器人能夠判斷每一個標籤的編碼以及測量每個標籤的RSSI(Received Signal Strength Indication)。RSSI是指節點接收到的無線信號強度大小。在基於RSSI的定位中，已知發射節點的發射信號強度，接收節點根據接收到信號的強度計算出信號的傳播損耗。利用理論和經驗模型將傳輸損耗轉化來轉化成我要的定位點。該技術硬件要求較低、算法相對簡單，並且一些通信協議中已攜帶有RSSI的信息，這樣使得基於RSSI定位方法具有廣泛的應用前景。該技術在實驗室環境中表現出良好特性，但由於環境因素變化等原因，實際應用中還需進一步改進。也因此我們便可以

用此對機器人進行定位和判斷機器人所面對的方向，以及最終目標達到導航與避障的功能。然而，因為現今的天線和標籤之間的RSSI並不能非常穩定，所以要利用RSSI來直接判斷距離是有很大的誤差。換句話說，誤差對於此系統而言是必然存在的因素。所以如何降低誤差將是現今RFID機器人導航中一個重要的課題。有一些研究人員會加上一些其他的感應器來減少導航中產生的誤差。但如何只利用RFID完成導航功能，才是最好的方法。我提出一個不同於現今的方法能夠只利用RFID就可以進行機器人的導航。同時可以減少RFID 標籤鋪在地面上的數目，這不但可以減少成本也同時可以達到所要求的定位導航及避障功能。一般來說，對於機器人而言會有幾個問題”我在哪裡?”，”我所要前往的地方?”。也因此機器人在被要求移動或是執行某動作的時候，首先需要知道所在的位置以及所面對的方向。所以位置和所面對的方向將是本系統不可缺少重要因素。許多演算法會直接利用 RSSI 的強度，來判斷所代表的距離，例如：當 RSSI=5000 時，代表距離 20cm。RSSI=10000 時代表距離 10cm。但是，這個方法有很大的問題，因為 RSSI 並不穩定所以其所定出來的距離會有相當大的誤差，也因此許多的技術人員會加入其他的感應器來減少所以計算出來的誤差，例如 cameras, laser range finders, sonar, GPS, 等等。Hahnel[1]等人利用雷射感應裝置來建立 3D Model，主要用於機器人的水平 2D 之定位系統。Moravec[2]則利用 3D 立體視覺方式來估計格子的位置。還有其他的方式來降低誤差，例如：觀察環境中其他的 landmark，來幫助判斷機器人所在的位置。但是，環境中的 landmark 可能會因為許多的因素而改變位置，也因此增加了判斷位置的困難[3][4][5]。現今用在室外最著名的定位系統為 Global Position System(GPS)，而 GPS 主要是利用衛星跟著地球自轉因而可以幫助地面上進行的導航的工作。同時 GPS 也廣泛運用在追蹤戶外移動的物體。此外也有利用超音波系統來進行位置的判定。同時為了增加位置的判斷，也會增加一些裝置，例如 cameras 來提供 2D 或是 3D 的環境訊息。

在我的論文中，我提出了一個不同的方式來估計機器人所在的位置，以及機器人所面對的方向。但是我卻只用到 RFID 系統，而不需使用其他的裝置來輔助判斷，這不但省事也節省許多成本。我們的主要利用到兩支天線去確定機

器人的位置和所面對的方向。同時我們也須利用到 TAG 的編碼和 TAG 所在位置的 RSSI 以及系統所進行定位的演算法。這使我們可以得到機器人所在位置的環境資訊。

雖然 RFID 系統可以提供機器人所想要得到的資訊，但是想要非常精確地得到機器人得座標卻非常困難，主要是因為天線存在一定的缺陷，所以無法百分之百得到我想要的結果。也因此需要其他的感應器來幫助判斷非常精確的位置。然而，我改善了 TAG 的布置方式以及修改了許多演算法，最後得到了現在的系統。換句話說，大大地減少了定位和方向的判斷誤差。最後，因為 TAG 既小又便宜，所以非常容易安裝。在加上 TAG 是利用無線的方式傳送，所以並不容易因為環境的因素造成影響。也因此非常有可能成為未來機器人的導航系統。

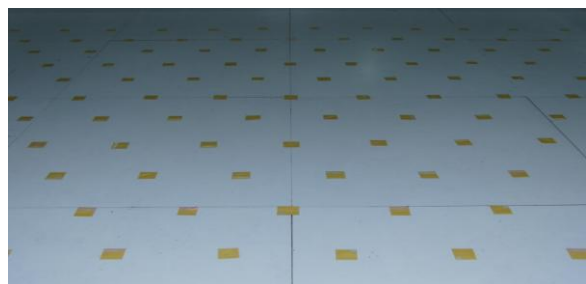
2. 主要內容

本作品架構分為定位系統和導航避障系統兩大類，定位系統包含了標籤佈局、標籤資料庫系統、及時定位點程式運算以及機器人所面對方向之判斷。而導航避障系統包含物品資料庫系統辨識及查詢、以及障礙物閃避之路徑規劃。以下是個別說明

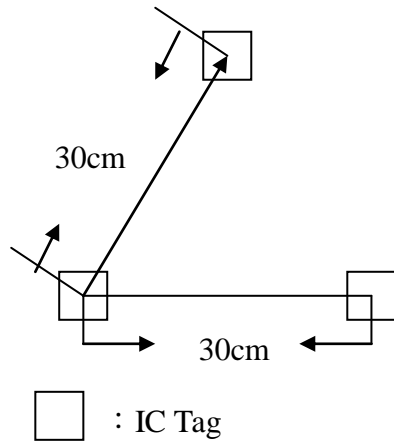
2.1 定位系統：

2.1.1 標籤佈局

標籤佈局方法是利用讀取器於任何位置至少可以讀取到三個標籤為佈局基準，並有效佈局在機器人的工作環境內，才得以使定位程式有效進行運算，確定機器人所在的位置範圍。而標籤佈置的方式是正三角型的方式布置在地板上(如圖一所示)，且每個標籤的間距為 30 公分(如圖二所示)。



圖一. 標籤佈局



圖二. 標籤之間的間距

2.1.2 標籤資料庫系統

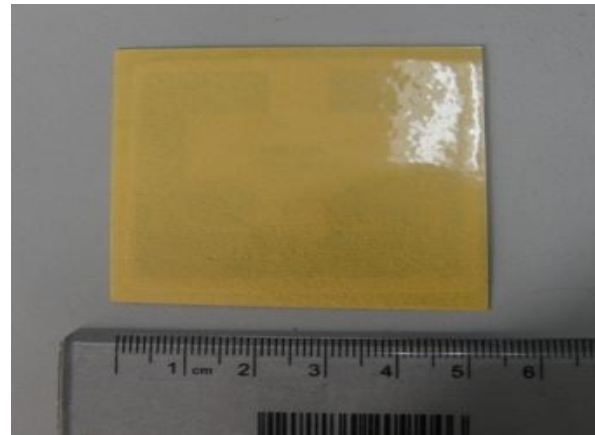
此系統包含一個標籤資料庫、紀錄以及查詢標籤座標的程式，標籤資料庫內含有每個標籤的性質(標籤ID、擺置座標、地點)。即可使RFID讀取器上面的天線讀到地板上的標籤之後，利用資料庫的查詢比對，便可得到標籤座標等性質。同時藉由資料庫的建立能使天線在進行讀取標籤的同時，就知道所在的位置座標。也因此可以用來進行定位點的運算。標籤的特性(如 TABLE 1)。被動式IC 標籤實體(如圖三)

TABLE I
被動式IC 標籤特色

全球通用
小尺寸, 無方向性
頻率範圍: 860 to 960 MHz
非常適合服飾、行李箱使用
大小尺寸: 47mm x 42mm

2.1.3 及時定位點程式運算

本篇論文所提出的計算方式主要是利用3點定位的概念。首先，將地面上的標籤布置成正三角形的方式(如圖一所示)。另外，我也會調整TAG的間距，使得標籤的間距維持在30公分。其主要目的是讓天線能夠在每次的讀取中，都能讀到3個標籤。這三個標籤也剛好形成一個正三角形。當然，在天線的讀取過程中，也有可能因為TAG的間距不夠大或是天線場型的因素，以及其他環境因素，產生不同的



圖三. 被動式 IC 標籤

兩種情況。第一是讀到3個以上的標籤。第二是讀到3個以下的標籤。第一個情形，當我的天線讀到三個以上的標籤時，我的程式將利用RSSI的強度來協助進行判讀。主要是利用天線所讀到的TAG中，RSSI越強的，代表離天線越近。也因此利用RSSI的強度來排除掉形成正三角型以外的標籤。同時確保我的3點定位方式能夠正常運作。第二種情況是讀到三個以下的標籤。這裡沒辦法用程式進行問題的解決，必須利用天線的強度和標籤佈置的間距來進行處理。所以經過我的標籤佈置實驗分析，和天線的選擇。得到標籤間距30公分加上，加上我所選擇的天線(規格和實體見TABLE II和圖四)，可以確保系統在讀取的過程中都可以讀到3個以上的標籤。

確定天線每次都能讀到3個以上的標籤後，在加上TAG特殊的排列方式(見圖一)，所以機器人的中心位置將會被限定在TAG所形成的正三角形之內。

接下來就要進行機器人定位點的計算。在程式進行之前我們會先將地面上的標籤座標作資料庫的建立，也就是2.1.2所說明的內容。

而我計算定位點的方式是利用維維亞尼(Viviani)定理。此定理的定義是：在等邊三角形內任意一點P跟三邊的垂直距離之和，等於三角形的高。(說明見TABLE III)

接下來，便是利用此定理加上RSSI就可以算出我所要的定位點。當天線讀取到三個標籤的同時，READER可以同時偵測三個標籤的RSSI。

接下來我以TABLE III的圖來說明，

1. P 為機器人所在的位置
2. A.B.C 為三個標籤的位置

TAGBLE II
Flat Panel Reader Antenna

FREQUENCY RANGE	902 - 928 MHz
GAIN	9 dBic (min)
DIMENSIONS	536x360x26 mm
WEIGHT	2.0 kg (max)
DC RESISTOR	10k Ω
INPUT IMPEDANCE	50 (Ohm)
INPUT POWER	6 W (max)



圖四. Flat Panel Reader Antenna

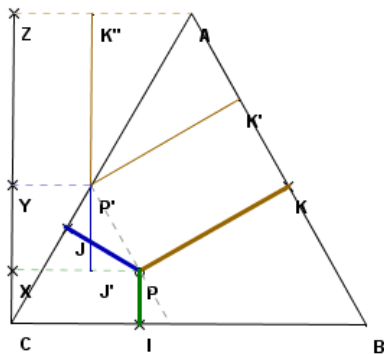
TABLE III

設 ABC 為等邊三角形，P 為其內部一點。設 s 為其邊長，h 為高，l、m、n 為 P 到各邊的距離。那麼：

$$S(ABC) = S(ABP) + S(ACP) + S(BCP),$$

$$\frac{sh}{2} = \frac{sl}{2} + \frac{sm}{2} + \frac{sn}{2},$$

$$h = l + m + n$$



3. A 點的 RSSI : RSSI(A)
- B 點的 RSSI : RSSI(B)
- C 點的 RSSI : RSSI(C)

再來是利用此圖來當例子說明定位點的計算。以此圖來說，C 點的 RSSI(C) 會最強，因為標籤 C 最靠近機器人 P (標籤 C 離天線最近，所以 RSSI 最強)，接下來是 B 點 RSSI(B)，最後是 A 點 RSSI(A)。相對而言，P 點到正三角形三邊的垂直距離大小為

$$\overline{PK} > \overline{PJ} > \overline{PI}$$

接下來我利用 A、B、C 三個標籤的 RSSI 來轉換成三個垂直距離(1)(2)(3)

$$\overline{PI} = \frac{RSSI(A)}{RSSI(A) + RSSI(B) + RSSI(C)} \cdot h \quad (1)$$

$$\overline{PJ} = \frac{RSSI(B)}{RSSI(A) + RSSI(B) + RSSI(C)} \cdot h \quad (2)$$

$$\overline{PK} = \frac{RSSI(C)}{RSSI(A) + RSSI(B) + RSSI(C)} \cdot h \quad (3)$$

再利用直線公式(4)和 A、B、C 三點算出 \overline{AB} 和 \overline{AC} 線段的方程式，

$$ax + by + c = 0 \quad (4)$$

之後再結合點到直線距離公式(5)

$$d = \left| \frac{ax_0 + by_0 + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right| \quad (5)$$

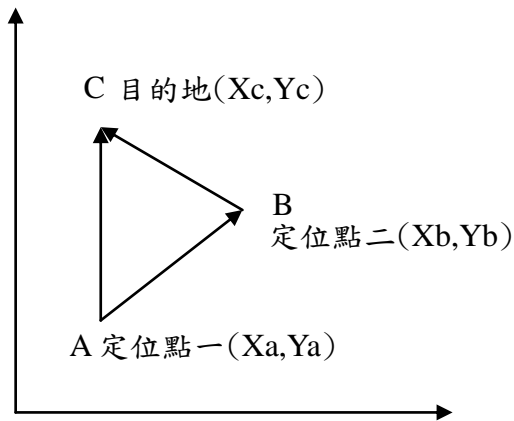
以及 \overline{PK} 、 \overline{PJ} 兩個線段距離便可以反推出 P 點的座標位置，也就是我所要算出的定位點。

2.1.4 機器人所面對方向之判斷

找出機器人的位置座標後，接下來就是判斷機器人所面對的方向。我所運用的方式是方向向量(6)的概念。

$$\overrightarrow{AB} = (Xb, Yb) - (Xa, Ya) \quad (6)$$

這裡的 (Xa, Ya) 為之前找出的定位點一座標 (機器人較後方的位置)，接下來我要找出 (Xb, Yb) (此為機器人較前方的位置)，來讓機器人的前後形成一個方向向量 (如圖五所示)。也因此我運用到第二個天線 (這個天線不



圖五. 機器人之方向圖

同於第一個找出定位點的天線)。利用第二個天線，以及運用如同 2.1.3 及時定位點程式運算的方式，幫助我找到 (Xb, Yb) 點，以建立機器人的方向向量。也因此機器人所面對的方向和所在的位置座標都可以利用地上的標籤分辨出來。

2.2 導航及避障系統

2.2.1 導航系統

接下來就是該如何走，以及該轉哪個方向，機器人才能走到我們要求它該到達的位置 (Xc, Yc)，也就是目的地 C。(如圖五所示) 第一步我要先判斷機器人面對的方向以及和目的地的方向差異。主要是讓機器人能夠先轉到面向目的地的方向，以減少路徑規劃的難度。要讓機器人轉幾度才可以轉向面對目的地的方向。主要是利用向量內積角度公式(7)來求出所需轉向的角度。

但是，再求出角度之前必須先找出兩個不同的方向向量(6)(8)。

方向向量(6)在之前已經說明過了，接下來是解決方向向量(8)。因為我們已經有了機器人面像方向之方向向量(6)，也因此可以利用機器人的位置座標(也就是機器人的定位點一)和目的地的位置座標也形成一個方向向量(8)。

$$\cos\theta = \frac{\overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{AB}}{|\overrightarrow{AC}| \cdot |\overrightarrow{AB}|} \quad (7)$$

$$\overrightarrow{AC} = (Xc, Yc) - (Xa, Ya) \quad (8)$$

另外，機器人該轉哪個的方向，也可以利用下面的方向向量(9)判斷出來，

$$\overrightarrow{BC} = (Xc, Yc) - (Xb, Yb) \quad (9)$$

也因此總結一下上述條件，角度(7)是告訴機器人該轉幾度。而向量(9)是告訴機器人該轉哪個方向。

利用這三個方向向量(6)(8)(9)以及夾角(7)，可以隨時讓機器人之在導航過程中所需得到的資訊。也幫助我們能進一步得到控制機器人的法則。

綜合上述的方式，當我指定機器人前往目的地後。我的程式便開始下指令給 RFID 且開始進行導航的工作。包括：機器人現在在哪裡，機器人所面對的方向，以及機器人和目的地的距離，還有機器人該轉幾度才可以面向目的地。這些資訊都是程式隨時可以提供機器人做路徑規劃以及可以反覆驗證位置和方位的資料。接下來便是進行避障系統的判讀。

2.2.2 避障系統

接下來便是進入機器人避障系統的幾個步驟。第一步是先判斷機器人面對的方向是否是面向目的地。如果是，則進入下一個步驟。如果不是，則先利用 2.2.1 導航系統的計算角度方式算出夾角後，接著下來將機器人轉面向目的地的方位(如圖六所示)。

完成第一步後，接下來就是要進行第二步，判斷機器人的前方是否有障礙物。我的做法是將障礙物以四方形包覆起來，再將四方形的四個頂點座標放入系統中(如圖七所示)。也因為我在佈置標籤是以第一象限座標的擺設方式(如圖六所示)，所以可以利用定位點一和包覆障礙物四邊形四個頂點座標的連線，利用公式(10)找出四個相對的角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 (如圖七所示)。

$$\arctan(X) = Y \quad (10)$$

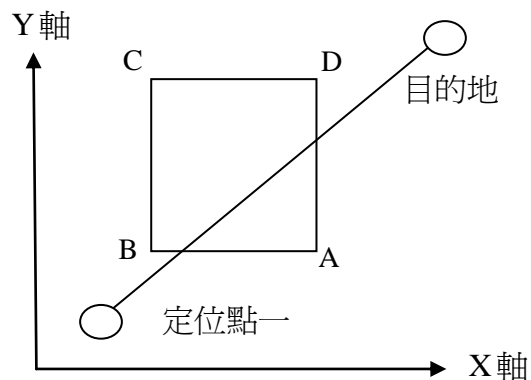
當定位點一與目的地也利用公式(10)算出 θ_5 後，接下來就是判斷是否在機器人面對的方向中有障礙物，主要是用

$$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 < \theta_5 < \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$$

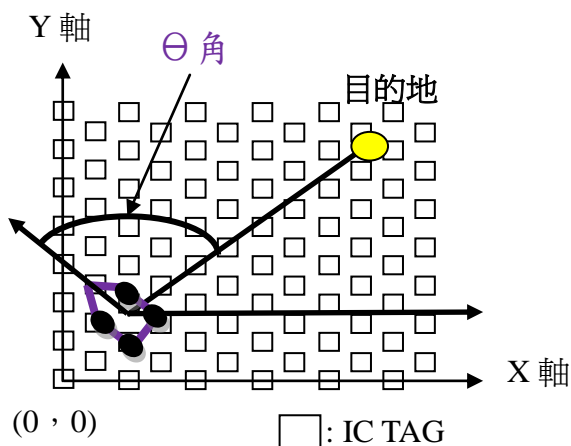
將 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 做角度大小排列並取出最大

和最小的角度和 θ_5 做比較。如果 θ_5 的質有在最大和最小角度形成的範圍之內則有障礙物(如圖七所示)，如果沒有則一路暢通。接下來，如果在機器人面對目的地的方向有超過一個以上的障礙物，則要利用距離公式找出距離最近的障礙物。之後就是要進行避開障礙物的功能，我是利用中繼點的方式。也就是機器人先走到中繼點後，再接著走到目的地。而找中繼點的方法是先將定位點一和目的地兩個座標求出其直線方程式。之後再將障礙物的四個頂點A、B、C、D點帶入方程式中，可以區分出兩類(如圖八、圖十所示)。

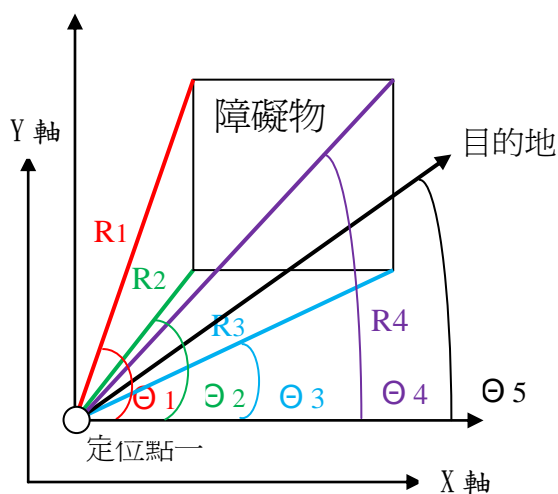
也因此會當遇到障礙物時會有兩種情況。第一是圖八所示，直線將四個頂點區分成兩區，各有兩個頂點。第二是圖十所示，直線也將四個頂點分成兩區，但是分成三個頂點和一個頂點的兩區。接下來便是找出中繼點的避障功能。當定位點一和目的地形成的直線形成圖八的



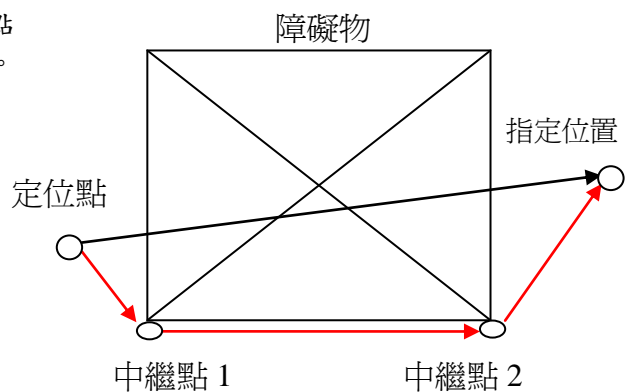
圖八. 中繼點判斷(A)



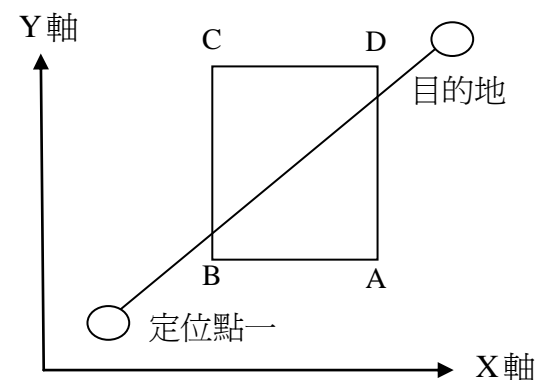
圖六. 機器人先轉 θ 角轉向目的地



圖七. 障礙物辨識示意圖



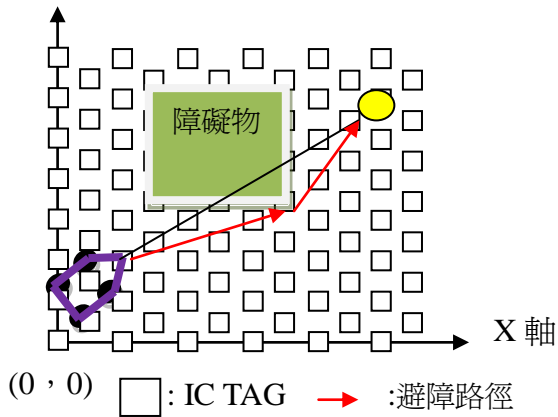
圖九. 避障系統路徑示意圖



圖十. 中繼點判斷(B)

樣式，則機器人的第一個中繼點便是在 B 點接下來沿著障礙物走到 A 點。當繞過障礙物後便向著目的地前進到終點(如圖九所示)。當另一個情況(如圖十所示)，此時只有一個中繼點 A，所以只要跨過中繼點 A 就可以看到目的地

Y 軸

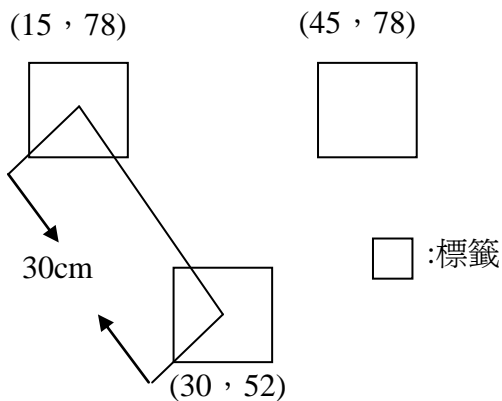


圖十一. 避障系統示意圖

了(如圖十一所示)。程式會隨時判斷路徑上是否有障礙物。如果有,就再執行一次先前找中繼點的方式。直到路徑上沒有障礙物為止。而在移動的同時,也不斷地做程式的判讀,也讓機器人能夠準確地走到目的地。

3. 實驗

在這一部份中,我將把我所提出的定位點演算法做實際的計算。我先取任意三個標籤來做為我實驗的對象。我取(15, 78)、(45, 78)、(30, 52)三個實際的標籤(如圖十二所示)。接下來是進入實際演算法的判斷。在此之前有個地方要做個說明。我的定位點程式運算中有一個比較大的誤差點就是在接近正三角形三頂點的位置,將有比較大的誤差。因為我的方法是取利用天線讀到標籤的強度來進行定位。所以當機器人的定位天線剛好在標籤的上方時其 RSSI 會最大,但另外兩個標籤的 RSSI



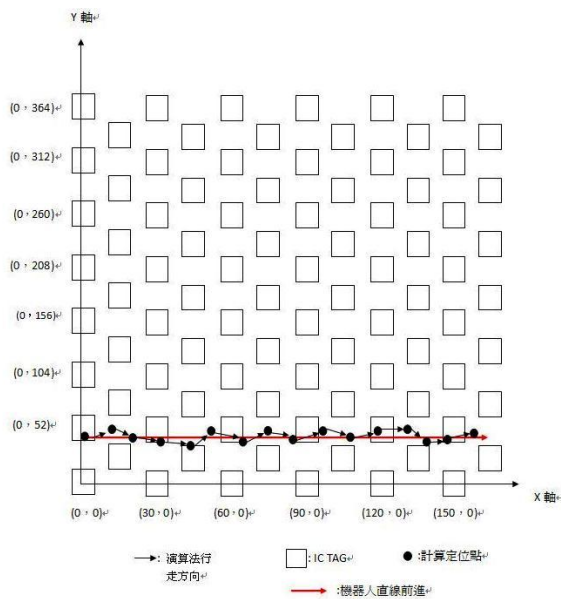
圖十二. 實驗標籤座標

TABLE IV

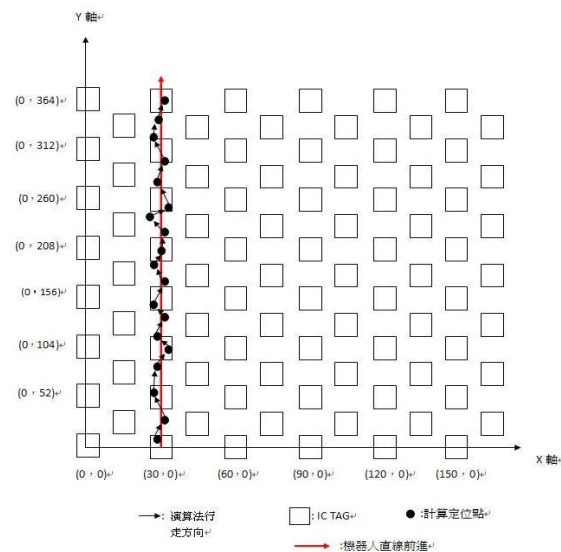
X 座標	Y 座標	計算座標
19	73	(16, 77)
22	73	(18, 72)
26	73	(26, 69)
29	73	(30, 70)
32	73	(37, 71)
35	73	(38, 70)
39	73	(42, 71)
20	70	(16, 71)
23	70	(18, 66)
26	70	(27, 66)
29	70	(29, 66)
33	70	(33, 66)
36	70	(38, 65)
38	70	(39, 66)
22	67	(22, 69)
27	67	(28, 62)
29	67	(31, 61)
33	67	(32, 65)
38	67	(36, 69)
24	64	(26, 64)
27	64	(28, 61)
29	64	(31, 61)
32	64	(32, 58)
36	64	(35, 59)
24	61	(26, 61)
27	61	(31, 60)
29	61	(30, 60)
32	61	(32, 59)
36	61	(34, 57)
26	58	(31, 58)
29	58	(33, 59)
32	58	(34, 58)
29	55	(32, 55)

並不會趨近於零,所以就會有比較大的誤差。在這裡我也提供一個修正的方式,就是在計算定位點時,將 RSSI 的質做一個量化的修改。使得天線剛好在標籤的頂端的時候,因為做過量化的修改,能使另外兩個不在天線正下方的標籤,其 RSSI 在進入定位點計算時能趨近於零。也因此可以大大減少定位點計算的誤差。再來就用實際的例子帶入我的驗算法中做實際運算看看(見 TABLE IV)。在 TABLE IV 中我將做分點的計算。我於我取的三個標籤做細

分內部的座標進行演算法的計算。從結果可以看出，我所提出的方法運用在實際的環境中，最多大概只有 5~10 公分的誤差範圍。以一台大約 80~90 公分的機器人來說，大概只有 4~9% 的誤差。所以可以達到不錯的定位效果。再來就是進入實際機器人移動所算出的定位點。圖十三和圖十四所代表的意思是設定機器人走直線運動，在利用我的演算法去算出當時的定點。由我的演算法可以看出其實跟真正得質，還是有一些誤差的地方也因此還可以做一些 RSSI 質的調整來減少誤差。也是未來所需要再繼續研究和改良的地方。看看



圖十三. 機器人水平直線運動



圖十四. 機器人垂直直線運動

是否能有進一步的突破。

4. 結論與未來展望

在本篇論文中，我提出一個有效且簡單的方式利用被動式 RFID 進行機器人的定位以及導航，最後在加上一個避開障礙物的功能。我的目的是希望利用 RFID 被動式標籤準確地獲得的機器人位置和面對的方向。利用此演算法，我們可以準確估計機器人位置。與許多傳統方法相比，我們的做法並不要求任何其他的感應器，便可獲得或修改機器人的位置。我的方法能夠讓機器人自主導航並成功地估計它的位置和方向。在加上安置標籤後，標籤能適應不同的應用，儘管有覆蓋，污垢，磨損，或振動都不會影響到標籤的功能。所以我們得出結論，用 RFID 的標籤的來導航是一個可行的辦法，且可以作為實際應用。

接著下來，我還將繼續開發其他的避障系統。現今我所提出的是固定式的避障系統，也就是障礙物是固定的。而我要進行的是移動式的障礙物。不但可以更符合現況更可以有有效的進入百貨公司或是大賣場以幫助人們的生活。

參考文獻

- [1] D. Hahnel, W. Burgard, and S. Thrun, "Learning compact 3d models of indoor and outdoor environments with a mobile robot," in *Proc. 4th EUROBOT*, 2001, pp. 91-98.
- [2] H. P. Moravec, "Robot spatial perception by stereoscopic vision and 3d evidence grids," Robot. Inst., Carnegie Mellon Univ. Pittsburgh, PA, Tech. Rep. CMU-RI-TR-96-34, 1996.
- [3] C. Drocourt, L. Delahoche, C. Pegard, and A. Clerentin, "Mobile robot localization based on an omni directional stereoscopic vision perception system," in *Proc. Int. Conf. Robot. Autom.*, 1999, pp. 1329-1334.
- [4] A. Motomura, T. Matsuoka, T. Hasegawa, and R. Kurazume, "Real-time self-localization method by using measurements of directions of two landmarks and dead reckoning," *J. Robot. Soc. Jpn.*, vol. 23, no. 3, pp. 39-48, 2005.
- [5] M. Betke and L. Gurvits, "Mobile robot localization using landmarks," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 13, no. 2, pp. 251-263, Apr. 1997.