

## 家用服務型機器人之同步定位與環境地圖建構

蔡政霖<sup>1</sup>、余志成<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 國立高雄第一科技大學系統資訊與控制研究所

<sup>2</sup> 國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系

### 摘要

家用服務型機器人為了能在複雜的居家環境自主移動，須進行障礙偵測、避障、路徑規劃與行進控制，環境的辨識與座標方位的掌控變得非常重要，本論文以家用清掃機器人為載具，提出一簡易同步定位與環境地圖建構 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 的方法。結合全方位影像器、路標後方交會法與局部驅動器的編碼裝置，估算機器人的方位。局部的相對定位方法具有快速的優點，但易受到機構餘隙與輪子滑動的誤差累積。因此在一段距離後，以影像路標辨識與三點交會法定位來校正誤差。實驗結果顯示以影像路標定位在以 180 公分格點路標的條件下，可達到 3.1 公分的定位精度。而後藉由機器人所設置的觸碰開關和紅外線感測器，以循邊方式取得障礙資訊，並利用線性迴歸，將點擬合成牆面線段，建構出單一空間的環境地圖。文中並比較在具有有限數目凸角的直角多邊形環境中，以局部定位、全域定位與混合定位方式所得到的環境辨識結果，顯示隨著機器人反覆學習辨識，可將單一空間的辨識均方根誤差降低至 4 公分，驗證本系統的可行性。

關鍵字：家用服務型機器人、同步定位與地圖建構、全方位影像器、後方交會法。

### 1. 前言

家用清潔機器人近年來已經成為市場的這成功的機器人產品，但這類機器人通常只具有清潔的單一功能，本身無定位與建構地圖之功能，容易導致清潔路徑重覆。為了因應複雜的居家環境，清潔機器人必須透過自身的感測器和具有室內定位之功能，用於障礙物偵測、取得機器人目前的位置資訊、建構週遭環境地圖，並搭配路徑規劃，以提高清潔機器人的清潔效率。因此本論文提出具備同步定位與地圖建構 (Simultaneous localization and mapping, SLAM) 的架構來改善此問題。

對於一個多功能的智慧型機器人來說，自我定位是其必備的功能之一。因此，位置估測成為機器人研究的核心，為了估測出機器人的位置，相關技術如定位、建構地圖等研究，都變得相當重要。為了提供移動機器人可靠的環境資訊，因此必須有好的環境感測器，作為移機器人行為判斷的準則。這些感測器通常分為超音波 (ultrasonic)、紅外線 (infrared)、視覺 (vision)、光流影像 (Optical Flow)、雷射 (laser)、無線射頻辨識系統 (Radio Frequency Identification,

RFID)、馬達編碼器 (encoder)、碰撞 (bumper) 感測器這幾類。以上這些感測器應用於機器人定位已有相當多的研究成果 [1][2][3]。

國內有學者利用全方位碰撞感測器和紅外線感測器偵測牆面以及障礙物，配合左右兩顆驅動馬達的光編碼器來計算機器人座標及角度變換，並且繪製出機器人之移動軌跡與障礙物之環境地圖 [4]。Jang 等人 [5] 採用影像處理的方式，在環境中設置特定顏色圖案的路標，讓機器人上的影像感測器能在環境中辨認出此路標，並對路標做量測來得到機器人的定位。另有文獻利用後方交會法 (Resection method) 和全景視覺的影像器取像，推算出機器人現在所處的位置 [6][7]，從影像中找出三個地標與固定於機器人上的環場影像器中央間的夾角，利用三角推算法，便可估計出機器人的座標，有效地實現了移動機器人的定位。韓國 Samsung 公司發佈的吸塵機器人 “VC-RP30W” [8]，也通過安裝在房間天花板上的視覺系統，採用最新的 3D 地圖映射技術來確定機器人的位置，讓機器人能知道那些部分需要打掃，提升一般清潔機器人的清掃效率。

本研究將以全方位影像器作為同步定位與環境地圖建構，應用在家用服務型機器人。定位系統由全域與局部定位兩部分所組成，全域定位是由全方位影像器與固定於天花板的地標所組成的全域座標定位系統，透過影像處理與三角定位的方法，估算出機器人的座標以及方向角；局部定位是由驅動馬達上的編碼器作為機器人移動之局部座標定位系統所組成，透過這兩種定位的配合，讓機器人在清掃過程中可記錄清掃路徑與繪製出室內空間的地圖，可應用在清掃機器人上，使機器人避免重複打掃，來提高清掃效率。

### 2. 機器人的定位

本研究採用局部與全域兩種定位相互搭配，全域定位以影像辨識路標以後方交會法定位，局部採用驅動裝置上的編碼器差分累計。局部定位運算速度較快，但是局部馬達編碼器定位會因為輪子打滑所產生累積誤差，隨著時間的增長，誤差將會愈來愈大，因此配合全域定位方法來校正局部定位的累積誤差。

#### 2.1. 局部編碼器定位

機器人在平常移動時，並不需要很精密的世界座標定位，可透過本身感測器計算出相對座標。如機器人在清掃的過程中，便可以利用馬達上的編碼器即時計算出機器人位置與方向角，透過左、右輪馬達的編

\*聯絡作者：jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

碼器可計算出輪子的移動距離，經由藍芽的傳輸，以  $\Delta t$  的取樣時間，將兩顆馬達的脈波數傳送到電腦端，經由運算後便可以由現在的方位  $x_c(k), y_c(k), \theta_c(k)$  估計取樣時間後的方位  $x_c(k+1), y_c(k+1), \theta_c(k+1)$ 。

機器人的動作可分為前進，後退和原地轉彎。假設在取樣時間內，機器人左右輪以瞬時曲率中心  $O$  點為圓心，曲率半徑為  $r$  走一圓弧路徑 ( $\hat{S}$ )，如圖一所示。機器人左右輪所走的路徑長可透過馬達編碼器求出

$$\begin{cases} \hat{S}_L = E_L \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_w}{E_r} \\ \hat{S}_R = E_R \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_w}{E_r} \end{cases} \quad (1)$$

$r_w$ ：驅動輪的半徑

$E_L$ ：左輪馬達編碼器的數值

$E_R$ ：右輪馬達編碼器的數值

$E_r$ ：馬達編碼器的解析度 (2470 步/轉)

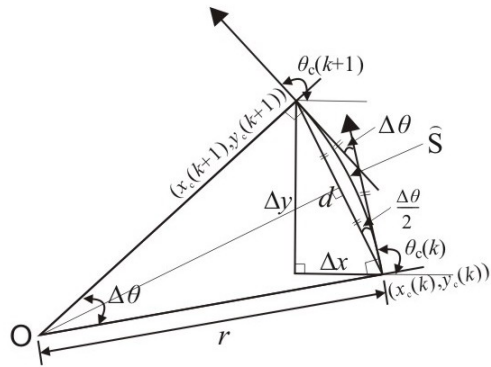
其中機器人左右輪所走的路徑長可由下式求出

$$\hat{S}_L = \left(r - \frac{l}{2}\right) \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

$$\hat{S}_R = \left(r + \frac{l}{2}\right) \cdot \Delta\theta = \hat{S}_L + l \cdot \Delta\theta \quad (3)$$

因此，機器人的旋轉角度為

$$\Delta\theta = \frac{\hat{S}_R - \hat{S}_L}{l} \quad (4)$$



圖一 機器人走一圓弧路徑幾何關係示意圖

機器人座標則可透過圖一的幾何關係求得，因此，機器人在下一個取樣時間的 X, Y 座標和方向角分別為

$$x_c(k+1) = x_c(k) + \left(\frac{\hat{S}_R + \hat{S}_L}{2}\right) \cdot \frac{2 \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2}}{\Delta\theta} \cdot \cos\left(\theta_c(k) + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad (5)$$

$$y_c(k+1) = y_c(k) + \left(\frac{\hat{S}_R + \hat{S}_L}{2}\right) \cdot \frac{2 \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2}}{\Delta\theta} \cdot \sin\left(\theta_c(k) + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad (6)$$

$$\theta_c(k+1) = \theta_c(k) + \Delta\theta \quad (7)$$

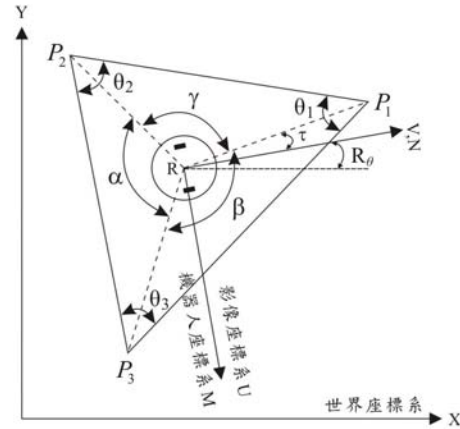
## 2.2. 全域影像器定位

由於局部馬達編碼器定位會因為輪子打滑所產生累積誤差，隨著時間的增長，誤差將會愈來愈大，因此必須配合全域定位方法來校正局部定位的累積誤差。而全域影像定位主要是藉由天花板之路標以及後方交會法得知機器人之座標方位。

### 2.2.1. 後方交會法

利用天花板設置的參考點，找出其中三點，利用後方交會法 (Resection method) 中的 Tienstra's formula [9][10]，便可以定位出機器人世界座標。

在全域定位下，必須透過世界座標、機器人座標、影像座標這三個座標系的轉換，才能得到機器人在世界座標系底下的絕對座標以及方向角。如圖二所示，透過路標的識別，可以計算出三個路標  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  所圍成三角形的三個頂角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ )，以及兩路標與機器人之間的夾角 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )。而路標的世界座標 ( $x_i, y_j$ ) 為已知，而路標在影像座標系統則分別為 ( $u_i, v_j$ )。



圖二 後方交會法示意圖

由擷取到的影像，透過影像辨識找尋路標，我們可以計算出路標  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  在影像內所圍成的  $\Delta P_1 P_2 P_3$  之各頂角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ )。而在理想情況下，機器人中心點  $R$  即為影像中心點  $I(u, v)$ ，因此也可以計算出  $\Delta P_1 P_2 P_3$  其中兩頂角與  $I$  之間的夾角 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )。則機器人中心點  $R$  的位置 ( $x_c, y_c$ ) 和方向角  $\theta_c$  如下：

$$x_c = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (8)$$

$$y_c = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (9)$$

$$\theta_c = a \tan \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} - \tau \quad (10)$$

$$\text{其中 } \tau = a \tan \frac{v_1 - v}{u_1 - u} \quad (11)$$

$$w_1 = \frac{1}{\cot \theta_1 - \cot \alpha} \quad (12)$$

$$w_2 = \frac{1}{\cot \theta_2 - \cot \beta} \quad (13)$$

$$w_3 = \frac{1}{\cot \theta_3 - \cot \gamma} \quad (14)$$

### 2.2.2. 正規化相關匹配法

本研究使用正規化相關匹配法(Normalized Cross Correlation, NCC)[11]來做為路標辨識的演算法,使用式(15)可得出  $c$  值。隨著  $x$  和  $y$  的改變,  $w$  在影像內移動, 得出函數  $c(x,y)$ 。 $c$  的最大值表示與  $f$  最匹配之  $w$  的位置。

$$c(x,y) = \frac{\sum_s \sum_t [w(s,t) - \bar{w}] [f(x+s,y+t) - \bar{f}]}{\left\{ \sum_s \sum_t [w(s,t) - \bar{w}]^2 \sum_s \sum_t [f(x+s,y+t) - \bar{f}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (15)$$

其中  $\bar{w}$  為樣板  $w$  的像素平均值,  $\bar{f}$  是  $w$  在目前位置下重合的區域  $f$  中的平均值。

### 2.2.3. 樣板比對尋找路標

基本的樣板比對是從影像的左上方, 由左而右、由上而下, 取樣板大小出來一個個的作圖形比對, 然後計算出每個圖框的比對值, 最後找到最大的比對值之圖框即為路標。為了獲得較佳的影像辨識率, 本研究採用 YCbCr 色彩模型, YCbCr 較 RGB 色彩模型不易受外界環境光線強弱影響。而過正規化相關匹配法雖然可以正確的找到路標, 但是由於運算量相當龐大, 導致耗費過多時間。本研究提出以粗略掃描配合細部比對來縮短辨識路標的時間。以路標影像的平均值為一標準, 加減某個數值設為一個範圍, 然後去掃描影像, 將找到符合路標影像平均值的圖框, 再去做細部比對, 速度與辨識率均有不錯的表現, 如圖三所示。由天花板佈置之路標辨識三個路標便能計算出機器人之座標方位。代入三點定位的公式, 便可得到機器人世界座標位置與方向角。

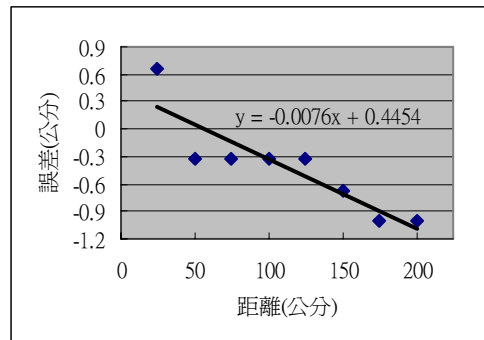


圖三 路標辨識介面

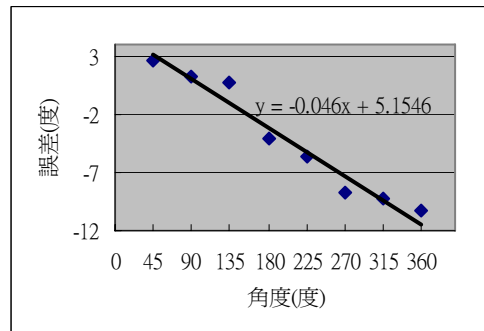
### 2.3. 局部與全域定位之誤差估計

在機器人局部定位的實驗中, 首先分析移動誤

差, 以前進實驗 25 公分為單位, 從 25 公分到 200 公分作 8 組的實驗, 每組分別量測 3 次的前進平均與理論值作比較, 可得知機器人的前進誤差如圖四所示。轉向實驗以右轉 45 度為單位, 從 45 度到 360 度作 8 組的實驗, 每組分別量測 3 次的角度平均與理論值作比較, 可得知機器人的轉向誤差, 如圖五所示。誤差的來源存在靜態與動態誤差, 動態誤差可由圖四與圖五的方程式估算求得, 靜態誤差是由於渦桿渦輪的齒隙關係, 前進誤差約為正負 0.2 公分, 轉向誤差約為正負 1 度。另外, 機器人的製作與組裝誤差, 也會造成輪子與地面不夠平貼, 會有打滑的現象發生, 這些都會產生機器人行走的誤差。



圖四 前進誤差趨勢圖



圖五 轉向誤差趨勢圖

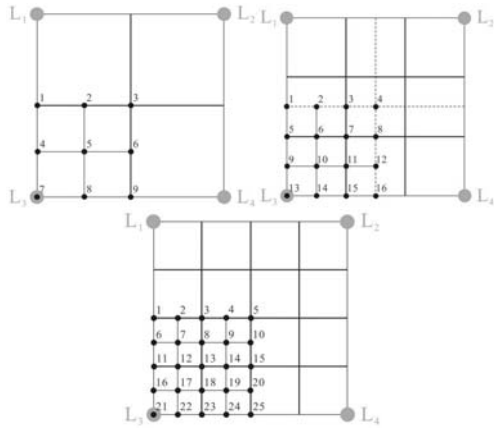
為了找出路標配置與機器人定位的誤差關係, 本文做了幾組路標佈置的實驗。以本校實驗室天花板為例, 每個石膏天花板尺寸為 61x61(cm), 圖六表示 2\*2、3\*3 和 4\*4 格石膏天花板的路標配置,  $L_1 \sim L_4$  表示路標, 數字點表示機器人位置, 透過後方交會法可估測出機器人之世界座標位置和方向角。用以估計機器人位於內部點和外部點的誤差如表 1 和表 2 所示。內部點的座標誤差最大為 6.2 公分, 角度誤差最大為 1.04 度, 遠比外部點小許多。因此, 機器人在全域影像定位下, 以內部點三點交會定位取平均所得均可獲得相當準確的座標和方向角。

表 1 不同範圍之下的內部點誤差

	2*2	3*3	4*4
$\Delta r$	1.44	3.13	6.2
$\Delta \theta$	0.56	0.31	1.04

表 2 不同範圍之下的外部點誤差

	2*2	3*3	4*4
$\Delta r$	6.5	12.67	25.96
$\Delta \theta$	0.5	0.6	1.75



圖六 路標配置示意圖

### 2.4. 局部與全域定位之策略

機器人在已知地圖中行走時，給定終點，由全域影像定位估算出機器人起始點座標後，便可朝終點方向行進，為了節省影像定位運算時間，首先採用局部馬達編碼器定位來記錄機器人行走的軌跡，而當定位誤差超過門檻值時，本文設定為 10 公分，便再以全域影像定位校正，藉以補償局部定位之累積誤差。

由先前局部編碼器定位準確度分析可得知，此機器人行走的誤差量來自於轉動誤差 $\Delta\theta$ 與行進誤差，而轉向加直行為機器人在循邊的之一組基本動作，因此機器人多次轉向後直行的誤差量可估計成下式：

$$e = \sum l_i \cdot \Delta\theta_i + \sum \Delta l_i \quad (16)$$

$l_i$ :  $\theta_i$  轉向後的前進距離

$$\Delta\theta_i = 0.046\theta_i + 1$$

$$\Delta l_i = 0.0076l_i + 0.2$$

## 3. 建構環境地圖

### 3.1. 碰撞循邊取得牆面資訊

機器人經由全域與局部定位可得知自身的座標，透過人機介面可描繪出機器人的行走軌跡。在機器人循邊的模式中，當碰撞感測器觸發時，紀錄碰撞到牆面時機器人的中心座標，推算出牆面的座標。

本研究所使用的碰撞感測模組，除了可以偵測到障礙物之外，還可以估算出障礙物的所在位置。在循邊的行進模式下，藉由機器人本身的定位，當碰撞感測器觸發時，記錄多個機器人中心座標，並且給定牆面向機器人的法向量，一般情況之下，矩形環境的各個牆面的法向量差為 90 度，所以將法向量相似的歸為同一組牆面，最後利用簡單線性迴歸的分析，將所

有機器人中心點座標擬合成一線段，可作為牆面線段的依據，如圖七所示。



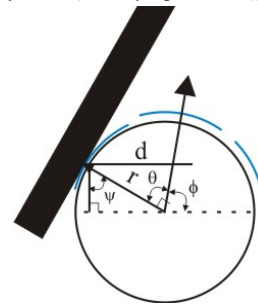
圖七 機器人中心點座標之擬合線段

### 3.2. 牆面線段方程式

將牆壁點座標代入機器人中心點擬合的線段  $f(x,y)=ax+by+c=0$ ，擬合的方程式彼此相依，任一皆可，但為便於判別牆面，在擬合出直線方程式後，選擇 a、b、c、d 的符號使得機器人行走的區域定義如下：

$f(x)>0$ ，機器人可行走之區域

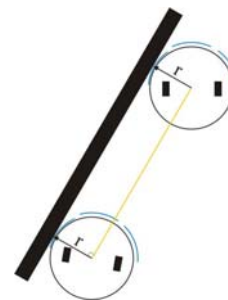
$f(x)<0$ ，機器人不可行走之區域(牆壁區域)



圖八 機器人與牆面碰撞幾何關係示意圖

經由線性迴歸分析所得到的方程式，為機器人中心之可行邊界，而牆面可將  $f(x)$  平移  $r$  的距離(如圖九所示)，得到牆面方程式：

$$w(x) = ax + by + c - r\sqrt{a^2 + b^2} = 0 \quad (17)$$

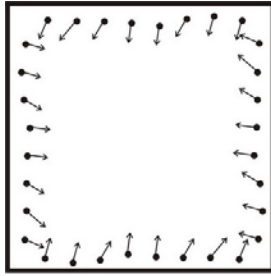


圖九 機器人與牆面關係示意圖

### 3.3. 機器人行走軌跡與環境地圖建構

藉由全域定位可以得知機器人的起始座標位置，配合局部定位可以推算出機器人下一刻的位置，利用 BCB 的繪圖功能可以描繪出機器人行走軌跡。當機器人進行循邊模式行走時，機器人沿著牆壁循

邊，遇到轉角時，透過自身的感測器判斷原地左轉或右轉，藉由左側紅外線與牆面保持一定距離，或利用碰撞感測牆面，並用陣列來紀錄機器人中心點座標，等到機器人經過牆角之後，感測到牆面法向量與前一個差異過大時，如差異超過 60 度時，機器人的座標資訊便記錄到下一組陣列，最後根據這些陣列的資訊，建構出環境地圖(如圖十)。



圖十 環境地圖建構示意圖

#### 4. 實驗結果

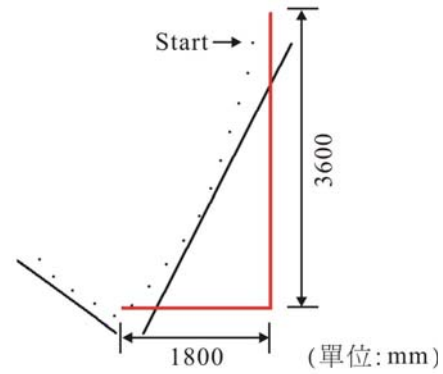
##### 4.1. 單一牆面與牆角測試

首先以單純的(concave)轉角，只採用局部定位所得到的環境地圖如圖十一，可得知機器人實際行走測試時，單靠局部馬達編碼器定位會存在行走誤差，時間一久便會累積相當大的誤差，其均方根誤差為 65.4 公分，因此只靠局部定位方式所辨識的環境地圖將不具可行性。因此本研究透過式(16)估算，當誤差超過 10 公分時，便透過全域影像定位來校正誤差，藉此辨識相同的牆角環境，以這兩種定位方式搭配，透過碰撞循邊取得牆面資訊，雖只經過一次掃瞄，仍可建構出相當準確的環境地圖如圖十二(a)，其辨識之均方根誤差為 3.9 公分。

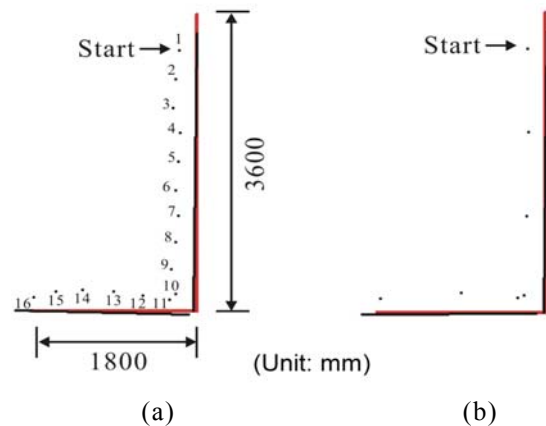
隨著機器人反覆掃瞄辨識，經全域校正之前面點數將增加，因此也可只用全域定位點來做地圖建構的話，此時其誤差將降為 3.0 公分，結果如圖十二(b)所示。

##### 4.2. 矩形場地測試

我們將此 SLAM 系統應用於在簡單的矩形場地中，利用混合全域與局部定位的方式，透過一次碰撞循邊取得牆面資訊，建構出的環境地圖如圖十三(a)，其辨識均方根誤差為 8.9 公分，與三次碰撞循邊取得牆面資訊，建構出的環境地圖如圖十三(b)，其均方根誤差為 5.7 公分，兩者相比較，可看出三組碰撞點所得到的結果會較好，機器人可經過反覆學習，得到更準確的環境地圖。此時因具備較多的全域定位點，若只用全域定位來做地圖建構的話，所得的均方根誤差為 3.7 公分，結果如圖十三(c)所示。



圖十一 場地一以局部定位地圖建構



圖十二 場地一環境辨識 (a) 混合全域與局部定位建構 (b) 只採用全域定位建構

##### 4.3. 多邊形場地測試

在具有凸角的多邊形場地中，利用全域與局部定位的方式，透過三次碰撞循邊取得牆面資訊，所建構出環境地圖如圖十四(a)，其均方根誤差為 7.6 公分。而單純只用全域定位來做地圖建構的話，其均方根誤差為 3.8 公分，結果如圖十四(b)所示。

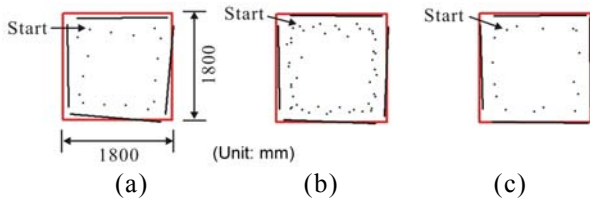
##### 4.4. 誤差討論

量測誤差來自組裝誤差，而車體結構的製作誤差，會造成輪面與地面之平貼不夠，行進中輪子容易打滑，其它如減速齒輪與渦桿渦輪的齒隙、藍芽漏收編碼器所回傳的數值等，都會造成機器人行進間的誤差。從實驗結果可得知，但搭配局部與全域定位系統，雖只做一次碰撞循邊所建構出的環境地圖，仍具有不錯的結果，而透過反覆學習的機制，會有更加的结果。隨著碰撞點的增加，只留下全域定位的碰撞點所建構出的環境地圖，會更為準確。

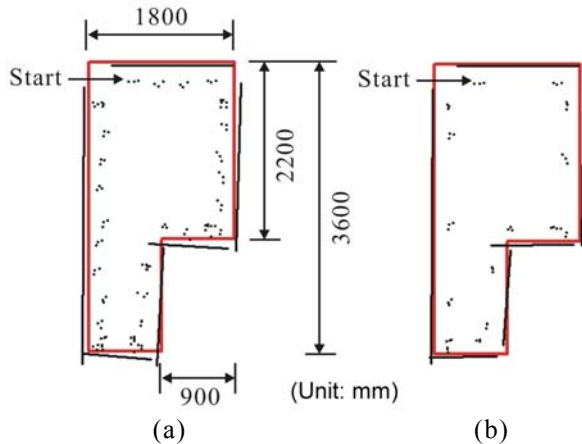
#### 5. 結論

本論文之主要目的為實現一家用服務型機器人的定位與地圖建構，透過全域影像定位與局部馬達編碼器定位的方式，得到機器人的世界座標位置與方向

角，並藉由碰撞感測器找出環境週遭牆面，用以建構未知環境的地圖。本論文針對影像處理找尋路標、定位公式計算、藍芽傳輸控制指令與回傳馬達編碼器數值、描繪機器人行走軌跡與建構地圖等功能，設計出人機介面，並加以實際測試與驗證。從實驗結果可得知，利用混合全域與局部定位的方式，透過三次碰撞循環邊取得牆面資訊，便辨識一般簡單的空間配置至4公分左右的均方根誤差，驗證了本系統應用在家用機器人可行性。



圖十三 場地二環境辨識 (a)全域與局部定位建構(一組碰撞點) (b) 全域與局部定位建構(三組碰撞點) (c) 只以全域定位建構



圖十四 場地三地圖建構 (a) 以三組全域與局部定位碰撞點建構 (b) 只採用全域定位建構

## 6. 致謝

本研究承蒙國科會經費支持，計劃編號 NSC 97-2622-E-327 -005 -CC3，特誌謝意。

## 7. 參考文獻

- [1]. Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., (2004), "Mapping and Localization with RFID Technology", Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, New Orleans, LA, pp. 1015-1020.
- [2]. Choi, J., Lee, K., Ahn, S., Choi, M. and Chung, W. K., (2006), "A Practical Solution to SLAM and Navigation in Home Environment", SICE-ICASE International Joint Conference, pp. 2015-2021.
- [3]. Chang, C. F., Tsai, C. C., Hsu, J. C. and Lin, C. C., (2003), "Laser pose tracking for a mobile robot using fuzzy adaptive extended information filtering", Proceedings of the American Control Conference, Vol. 3, p.p 2471-2476.
- [4]. 蔡建威, 2007, 居家環境清潔機器人, 國立成功大學, 碩士論文。
- [5]. Jang, G., Kim, S., Lee, W. and Kweon, I., (2002), "Color landmark based self-localization for indoor mobile robots",

- Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, DC, pp 1037-1042.
- [6]. He, F., Fang, Y. C., Xiao, X. and Wang, Y. T., (2006), "Design and Implementation of Panoramic Vision-based Localization System for Mobile Robots", Proceedings of the 25th Chinese Control Conference, Harbin, Heilongjiang, pp 1639-1644.
- [7]. 張祥德, 牛紀祥, 董再勵, 2002, 基於測角的自主移動機器人定位算法, 東北大學學報, Vol.23, No.12, pp 1143-1145.
- [8]. <http://www.roboticfan.com/Article/HTML/74.shtml>
- [9]. Hu, W. C. and Kuang, J. S., (1998), "Proof of Tienstra's formula for an external observation point", Journal of Surveying Engineering, Vol. 124, pp 49-55.
- [10]. Hu, W. C. and Kuang, J. S., (1997), "Proof of Tienstra's formula by finite-element method", Journal of Surveying Engineering, Vol. 123, pp 1-10.
- [11]. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., (2002), "Digital Image Processing 2/e", Prentice Hall.

## Simultaneous Localization and Mapping of Domestic Service Robots

Jyh-Cheng Yu<sup>1</sup> and Cheng-Lin Tsai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Automation Engineering

National Kaohsiung First University of Science and Technology

<sup>2</sup>The Institute of System Information and Control National Kaohsiung First University of Science and Technology

### Abstract

To autonomously and efficiently navigate in a complicated environment, domestic service robots have to constantly locate current position and orientation. This paper proposes a low-cost Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) algorithm for domestic robots. Fast local localization is obtained using finite difference information from actuating wheels. However positioning errors accumulate due to mechanism backlash and unavoidable slip. A global localization system using ceiling landmark recognition from the images of an omnidirectional camera and three-point resection method is accompanied to calibrate robot positions at a given distance. The study shows the localization accuracy from the landmark recognition is about 3.1 (cm) for a grid distribution of landmarks at 180 (cm) apart. Environment mapping is accomplished by fitting wall information from contact sensors to line segments via linear regression. Current study assumes a simple right polygonal environment with limited convex corners. The mapping results using local localization, the global landmark localization, and the proposed hybrid method are compared. The experiments show satisfactory results of root mean squared error within 4 (cm) especially when repeated survey data is applied.

**Keywords:** Domestic service robot, SLAM, Omnidirectional camera, Resection method.