

# 全向性移動平台之精密運動控制設計

莊孝麟 徐保羅

國立交通大學 電機與控制工程學系 網路化監控系統實驗室

## 摘要

本論文將藉由推導其運動模型(kinematics model)，發展所需之控制方法，實現多軸同動的運動控制技術，並探討不同運動路徑之下追蹤能力，以及加減速對於改善打滑之影響。利用感測融合概念，分析輪式編碼器(簡稱編碼器)與電子羅盤(簡稱羅盤)之優缺點，建立動態調整回授機制，在兼顧穩定性與準確性之下，有效改善平台運動方位誤差約46%。在機器人導航領域中，無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)技術被拿來作為絕對定位之參考，本論文提出以平台分段式移動策略並結合RFID功率調變，建立全向輪平台之絕對定位技術，並改善絕對定位誤差從11 cm降到約3 cm。

## 1. 前言

機器人導航(navigation)的研究領域是從1950年代開始，發展至今，一種全向輪的移動平台概念因此被提出[1]，它提供更好的移動性，使得平台更具機動性。這種輪子同時擁有橫向及縱向相互垂直的輪子[2]，可以透過輪子間合力分力的關係，決定任何移動方向。

目前常見的全向性移動平台[3-4]，大多以三軸到五軸的平台為主，在不同的考量下，這三類平台各有本身的優缺點[5]，本論文中是採用四軸全向平台，對於直線路徑，移動速率與節省消耗功率都有所幫助。

在全向性移動平台上，由於運動慣性的關係，平台在加減速時，因靜摩擦與動摩擦的不同，造成打滑現象，使得編碼器錯誤的方位推算(dead-reckoning)，本論文將藉由感測融合(sensor fusion)方式，建立動態調整機制，輔助修正方位推算的結果。

近幾年，RFID被引進作為定位的一種方法。D. Hahnel et al.[6]使用雷射(laser)與兩組RFID天線，配合RFID結合Monte Carlo演算法估測機器人的位置，實驗結果定位誤差約1m內。Weiguo Lin et al.使用兩種方式定位，首先利用四個ID tag為一組定位裝置[7]，利用機器人偵測到四個ID tag時間先後作為定位校正依據，實驗結果定位誤差約在5cm內。另外，利用WEB camera與ID tag[8]，將tag與供影像辨識的card平行貼於天花板，機器人朝上偵測做定位校正，實驗結果定位誤差約為3cm，但會受到光源變化而影響其準確性。

本論文將建立全向平台運動模型，發展所需之控制技術，並探討多種運動路徑之下控制的追蹤能力，以及加減速對於改善打滑之影響。另外，利用多個感測元件截長補短，提升相對定位之精確度。將RFID定位之精確性提升的機制與修正法則，使平台能在長時間使用下，均維持一定準確性。

## 2. 平台運動模型

### 2.1 平台座標系統與符號定義

如圖2-1，平台建模定義符號如下：

$X_W, Y_W, O_W$ ：世界座標(world coordinate)。  
 $X_M, Y_M, O_M$ ：平台座標(mobile coordinate)。  
 $W_1 \sim W_4$ ：平台座標第一~四象限的全向輪。  
 $+D_1 \sim +D_4$ ：定義 $W_1 \sim W_4$ 之正轉方向。  
 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ ： $X_M$ 與 $W_1 \sim W_4$ 之間的角度。  
 $F$ ：平台移動方向。  
 $\theta$ ：平台移動方向與平台 $X$ 軸的夾角。  
 $\phi$ ： $X_M$ 與 $X_W$ 的夾角，平台逆時針旋轉為正。  
 $L$ ：輪子與平台中心距離。  
 $r$ ：全向輪半徑。  
 $\omega_1 \sim \omega_4$ ：全向輪 $W_1 \sim W_4$ 的旋轉角速度。

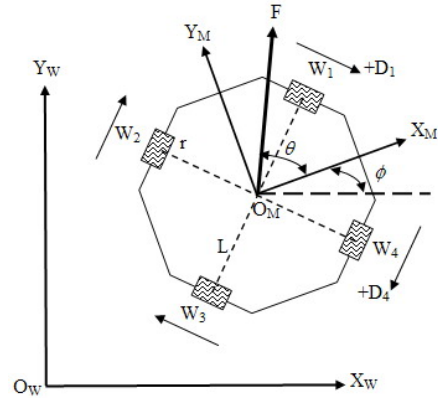


圖2-1 定義四輪全向性平台座標與符號

### 2.2 建立平台運動模型

平台的運動模型定義如圖2-1，各輪軸與平台座標固定差 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ 的角度關係，可表示成(2-1)通式：

$$r\omega_i = [\sin \alpha_i \quad -\cos \alpha_i] \begin{bmatrix} \dot{X}_M \\ \dot{Y}_M \end{bmatrix} - L\dot{\phi} \quad i=1,2,3,4 \quad (2-1)$$

而座標之間關係則透過座標轉換矩陣(coordinate transformation matrix) $C_T$ ：

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_M \\ \dot{Y}_M \end{bmatrix} = C_T \begin{bmatrix} \dot{X}_W \\ \dot{Y}_W \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

其中

$$C_T = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (2-3)$$

由(2-1 ~ 2-3)式可整合成：

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} r\omega_1 \\ r\omega_2 \\ r\omega_3 \\ r\omega_4 \end{bmatrix} = De(\phi) \begin{bmatrix} \dot{X}_w \\ \dot{Y}_w \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

其中  $De(\phi)$  稱為解耦合(decoupled)矩陣

$$De(\phi) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin\phi + \cos\phi) & \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin\phi - \cos\phi) & -L \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(-\sin\phi + \cos\phi) & \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin\phi + \cos\phi) & -L \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(-\sin\phi - \cos\phi) & \frac{1}{\sqrt{2}}(-\sin\phi + \cos\phi) & -L \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin\phi - \cos\phi) & \frac{1}{\sqrt{2}}(-\sin\phi - \cos\phi) & -L \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

從各軸反推世界座標可寫成：

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_w \\ \dot{Y}_w \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = De^{-1}(\phi) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

其中  $De^{-1}(\phi)$  稱為逆運動(inverse kinematics)矩陣

$$De^{-1}(\phi) = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{4}(\sin\phi + \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(-\sin\phi + \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(-\sin\phi - \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(\sin\phi - \cos\phi) \\ \frac{\sqrt{2}}{4}(\sin\phi - \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(\sin\phi + \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(-\sin\phi + \cos\phi) & \frac{\sqrt{2}}{4}(-\sin\phi - \cos\phi) \\ \frac{1}{4L} & \frac{1}{4L} & \frac{1}{4L} & \frac{1}{4L} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

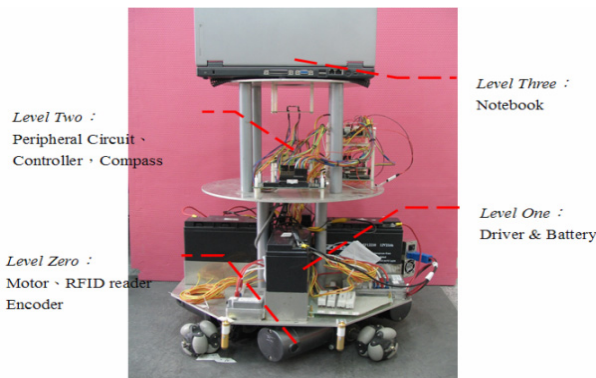


圖2-2 平台實體圖

### 3. 控制器設計與路徑實驗結果

#### 3.1 各軸速度PID控制器設計

當有載時(平台放於地面時)，各軸之間將會相互干擾，為求減少影響，命令大小應相等，且由於正反轉之間特性有所差異，故本研究將以平台直線(沿著平台座標+X軸方向)運動作為設計PID參數時的路徑，此路徑將造成A、B軸正轉，C、D軸反轉，可同時觀察PID參數對於正反轉之間差異性，且此時四軸命令大小均相等。以速度IAE作為評效標準，最後選出各軸控制

參數( $K_P, K_I, K_D$ ) = (1.1, 0.2, 2)。

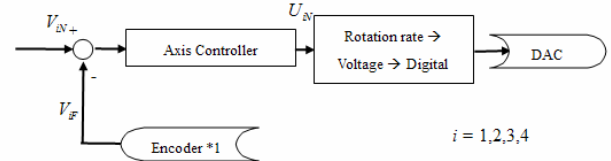


圖3-1 各軸控制迴路

#### 3.2 整體平台控制器設計

如圖3-2，平台控制器係指運動命令在分於四軸前，對於 $X_w$ 、 $Y_w$ 、 $\phi$ 的運算調整。本研究藉由表3-1中S曲線路徑作為設計平台的P、PD位置控制器時之參考依據，並利用所列四種路徑做為相對定位之運動控制成效評比，其平台運動速度之上限取決於各軸所能承受之最大速度。平台初始位置皆設為 $(X_w, Y_w, \phi) = (0, 0, 0)$ ，各軸控制器的PID值定於1.1、0.2、2，並於步階式平台命令之下實驗。

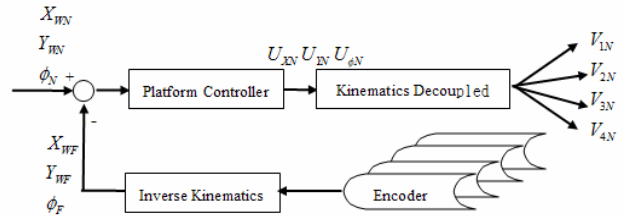


圖3-2 平台控制迴路

使用位置IAE作為調整參數的評量標準，並假設 $X_w$ 、 $Y_w$ 、 $\phi$ 的控制參數相同。最後控制參數決定：

P控制器時：

$$K_P(X_w, Y_w, \phi) = \{0.5, 0.5, 0.5\}。$$

PD控制器時：

$$K_P(X_w, Y_w, \phi) = \{0.5, 0.5, 0.5\}、$$

$$K_D(X_w, Y_w, \phi) = \{0.3, 0.3, 0.3\}。$$

表3-1 四種路徑之實驗規格

Path	Behavior description	
Straight Line	straight distance	200 cm
	The robot's velocity	15 cm/sec
Straight Line & Self-rolling	straight distance	100 cm
	The robot's velocity	10 cm/sec
	Self-rolling angle	225 degree
S-curvilinear	Angular velocity	22.5 degree/sec
	radius of curvature	20 cm
S-curvilinear & Self-rolling	The robot's velocity	54 degree/sec
	Self-rolling angle	0 degree
S-curvilinear & Self-rolling	radius of curvature	20 cm
	The robot's velocity	54 degree/sec
	Self-rolling angle	60 degree
S-curvilinear & Self-rolling	Angular velocity	9 degree/sec

#### 3.3 各種路徑運動控制之實驗結果

表3-2是直線路徑時控制器的位置IAE比較，PD雖在 $X_w$ 、 $Y_w$ 較佳，但 $\phi$ 的誤差卻比P大一些。表3-3是直線加自旋路徑位置IAE的比較，已經可以看出PD小幅

優於P控制器。表3-4是S曲線加自旋的位置IAE比較，由於平台控制器是以此路徑作為設計之參考，故此時PD追蹤誤差優於P控制器。

表3-2直線路徑時平台控制器位置IAE比較

Straight Line		Xw (cm)		Yw (cm)		$\phi$ (deg.)	
		P	PD	P	PD	P	PD
Position IAE	Mean	3.958	3.619	2.923	2.429	1.919	2.128
	Max	4.601	3.939	3.311	2.727	1.978	2.261

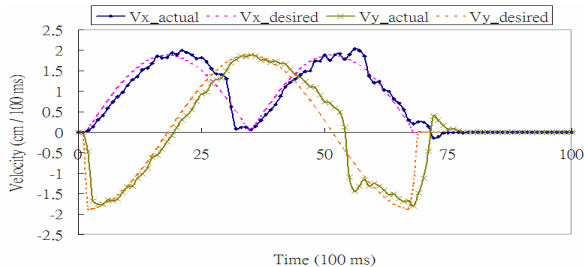
表3-3直線加自旋路徑時平台控制器位置IAE比較

Straight & Rolling		Xw (cm)		Yw (cm)		$\phi$ (deg.)	
		P	PD	P	PD	P	PD
Position IAE	Mean	17.942	15.199	10.543	8.707	28.123	22.584
	Max	19.589	15.810	11.574	10.470	30.495	24.633

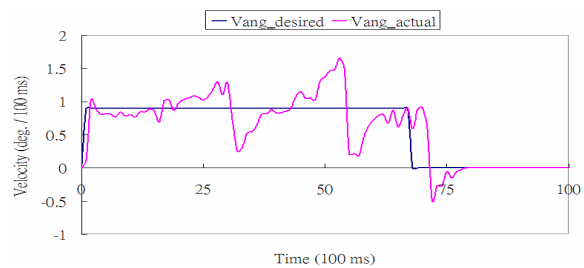
表3-4 S曲線路徑時平台控制器位置IAE比較

S-curvilinear		Xw (cm)		Yw (cm)		$\phi$ (deg.)	
		P	PD	P	PD	P	PD
Position IAE	Mean	14.309	7.842	18.288	8.855	4.949	3.549
	Max	15.423	8.583	21.768	9.364	5.639	4.000

S曲線加自旋路徑之PD控制器追蹤情形如圖3-3。表3-5是位置IAE的比較，可明顯觀察到在較為複雜的運動路徑時，不論P、PD控制器，追蹤誤差皆大幅增加，主要因為三維( $X_w$ 、 $Y_w$ 、 $\phi$ )控制器之間並無協調之機制，而增加平台運動時控制上的相互干擾，在此路徑下PD追蹤誤差仍優於P控制器。



(a)  $X_w$  &  $Y_w$ 速度變化



(b) 角速度變化

圖3-3 平台位置PD控制器之S曲線加自旋路徑追蹤

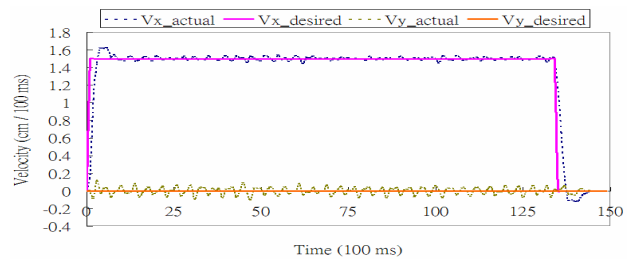
表3-5 S曲線加自旋路徑時平台控制器位置IAE比較

S-curvilinear & Rolling		Xw (cm)		Yw (cm)		$\phi$ (deg.)	
		P	PD	P	PD	P	PD
Position IAE	Mean	37.628	19.571	57.592	39.220	69.440	52.400
	Max	41.479	20.741	64.671	41.926	77.437	55.263

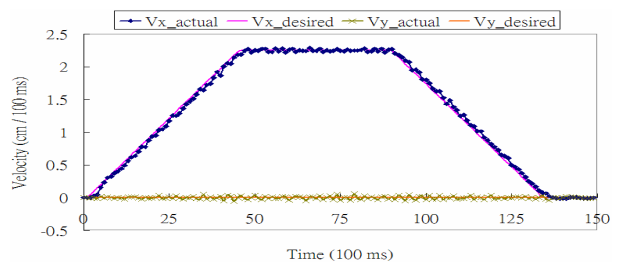
綜合上述四種路徑的實驗結果，將PD與P控制器相比，加入 $K_D$ 值能即時的修正誤差，縮短安定時間，並且在一維到三維運動均有較好的表現，故選擇PD做為接下來實驗之平台控制器。

### 3.4 加入速度規劃對於運動慣性的影響

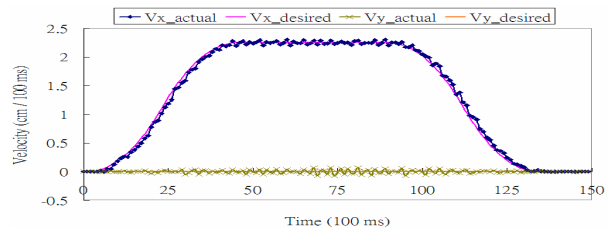
藉由平台PD控制器、200 cm的直線路徑，以固定時間到達，及加減等速各佔三分之一的速度規劃方式，觀察其改善效果，如圖3-4為步階、梯形、S形的 $X_w$ 、 $Y_w$ 響應，表3-6為每種速規五次之實驗結果，首先在最終位置方面，因輪式編碼器與馬達同動，且為平台控制器之回授，故在打滑時，其數據無法明顯看出差異性，但實際量測上，梯形與S形均優於步階式，改善了因脈衝式加速度產生的位置偏差約15%~20%。



(a) 步階速度規劃時 $X_w$ 、 $Y_w$ 響應



(b) 梯形速度規劃時 $X_w$ 、 $Y_w$ 響應



(c) S形速度規劃時 $X_w$ 、 $Y_w$ 響應

圖3-4 三種速度規劃時的 $X_w$ 、 $Y_w$ 響應

表3-6 速度規劃對於位置與方位之影響

Straight Line		Unit-step		Trapezoid		S-curve	
		Encoder	Measured	Encoder	Measured	Encoder	Measured
Final Position error (cm)	Mean	0.012	-9.940	0.004	-7.860	0.010	-8.400
	Max	0.030	10.500	0.020	8.500	0.010	8.900
	$\sigma$	0.010	0.589	0.012	0.441	0.000	0.529
Final Heading error (deg.)	Mean	0.001	-1.423	-0.004	1.401	0.012	1.269
	Max	0.043	2.699	0.029	1.521	0.046	1.905
	$\sigma$	0.035	0.828	0.015	0.110	0.032	0.502

## 4 感測融合與實驗結果

### 4.1 動態感測融合機制

將編碼器與羅盤偵測到的角度值，利用其各自優勢截長補短：編碼器有較好的穩定性，但隨著時間的累積或打滑的產生而準確度下降；羅盤有較好的準確性，但不時出現高頻雜訊而影響穩定性。

如下圖4-1為感測融合的信任權重比， $\mu$ 代表角度的相信程度，是依據前一取樣週期之角度命令與羅盤的差距而決定，定義成：

$$\phi_{error} = |\phi_{pre-command} - \phi_{compass}| \quad (3-4)$$

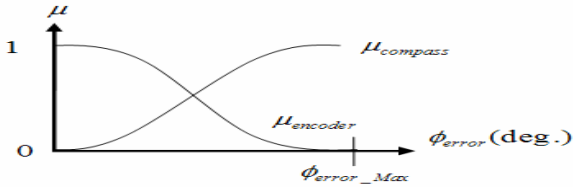


圖4-1 角度的信任權重比

並令兩信任程度函數： $\mu_{encoder}$ 、 $\mu_{compass}$ 。在  $\phi_{error}$  較小時，由於編碼器穩定性較佳，故  $\mu_{encoder}$  值較高；當  $\phi_{error}$  較大時，準確的重要性大於穩定性，故  $\mu_{compass}$  值較高。 $\mu_{encoder}$ 、 $\mu_{compass}$  與  $\phi_{error}$  的關係使用 S-function。

$\phi_{error\_Max}$  決定了穩定性與準確性之間的拿捏取捨，藉由羅盤動態旋轉實驗的結果，角度的標準差約為  $1.61^\circ$ ，表示若羅盤偵測到誤差在此範圍內時，較為不穩定，應較信任編碼器，故本論文將假設  $\phi_{error}$  等於  $1.61^\circ$  時對應之  $\mu_{compass}=0.01$ ，則  $\phi_{error\_Max}=22.8^\circ$ 。

### 4.2 實驗結果

為探討感測融合對於路徑追跡的影響，在相同的控制器之下、選擇一足以產生打滑的 S 曲線加自旋路徑，做為實驗條件。表4-1說明三種類型(type)回授之下的最終位置與方位，mean 值為五次實驗之平均值。

表4-1 感測融合對於位置與方位的影響

S-curve & rolling		Type of estimate					
		Type 1		Type 2		Type 3	
Final Position error (cm)	Mean	0.0024	-13.56	0.5319	-15.02	-0.0128	-14.04
	[Max]	0.013	14.26	3.002	16.8	0.022	15.5
	$\sigma$	0.0059	0.4336	1.806	1.2335	0.0058	0.9851
		Feedback	Measured	Feedback	Measured	Feedback	Measured
Final Heading error (deg.)	Mean	-0.0016	19.222	-4.2281	3.379*	0.4895	10.278
	[Max]	0.0152	22.088	8.6297	11.898	1.2252	12.368
	$\sigma$	0.0105	2.805	3.123	4.915	0.5475	1.3427
		Feedback	Measured	Feedback	Measured	Feedback	Measured

\* Oscillation

#### (1) Type 1：無感測融合

Type 1 僅使用編碼器當作位置、角度的回授。在最終誤差方面，不論位置與角度的控制性能均最佳，且實際量測的位置誤差也最少，但其缺點是在角度上的實際誤差，如圖4-2，平台運動過程中出現了打滑，而編碼器並無法察覺，藉由實際的最後角度誤差得知，在此之下多轉了近  $20^\circ$  左右。

#### (2) Type 2：半感測融合

Type 2 則使用經 LPF 的羅盤做為角度依據，位置則因為需編碼器得知平台座標 ( $X_M$ 、 $Y_M$ )，經座標轉換才可求得世界座標 ( $X_W$ 、 $Y_W$ )，而座標轉換需角度資訊，故位置的資訊屬於編碼器與羅盤感測融合的方式得知。如圖4-3，在最終誤差方面，因角度的不穩定性而導致運動過程中容易晃動，影響位置的誤差，但其優點則是在於運動過程中打滑時，角度能適時反應並修正其誤差。另外，因為羅盤的回授具有動態誤差，在所設計的控制器之下，會於一定角度內來回震盪 (oscillation)，影響最終角度與位置的穩定性。

#### (3) Type 3：全感測融合

Type 3 藉由動態感測融合機制取得角度值 (圖4-4)，位置的資訊則利用此角度值，經座標轉換取得。最終誤差方面，不論在位置與角度上均能有效的將編碼器的穩定性與羅盤的準確性結合，與 Type 1 比較，降低了 50% 的角度誤差。如圖4-5 說明最後角度仍有誤差的原因， $\mu_{compass}$  是利用縱軸座標表示成百分比 (%) 顯示 (約 0~10% 變化)，最後到達定位點時，羅盤約在 67 度，編碼器約小於 60 度， $\mu_{compass}$  會因為 7 度的誤差而增加，但由於  $\phi_{error\_Max}$  的影響，使得最後  $\mu_{encoder}$  與  $\mu_{compass}$  達到 9:1 左右的穩態關係，故會產生融合的角度穩態誤差。

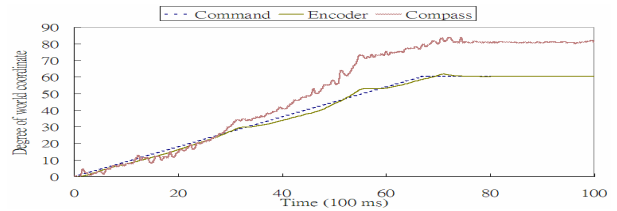


圖4-2 Type 1之角度追跡( $\mu_{encoder}=100\%$ )

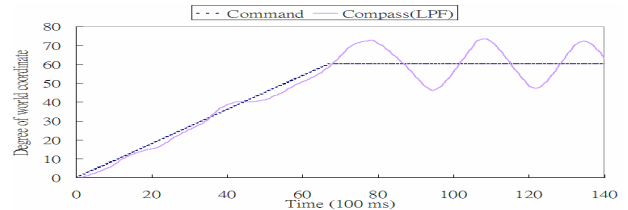


圖4-3 Type 2之角度追跡( $\mu_{compass}=100\%$ )

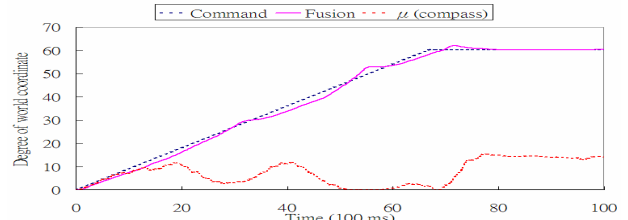


圖4-4 Type 3之角度追跡(Fusion)

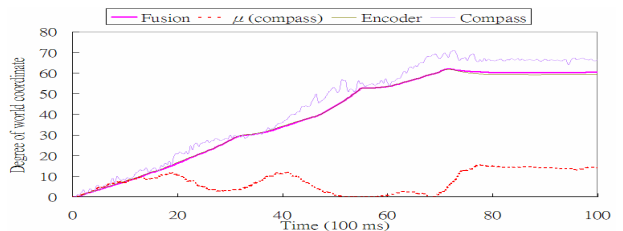


圖4-5 說明Type 3感測融合之穩態時誤差

## 4. RFID絕對定位

### 4.1 RFID定位策略

#### 4.1.1 分段式移動策略

如圖4-1為分段定位之示意圖，實線圓圈部分為理想的tag反射訊號範圍(簡稱有效區)，利用平台分段直線移動方式，求出tag理想有效區之重心。首先，當經過tag有效區時，會產生兩點訊號：N1、N3，藉此可算出此線段中央點位置，並將平台移至此，再以垂直方向移動產生另兩點：N6、N8，以相同方式算出此線段中央點即為理想有效區之重心。

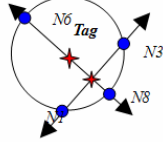
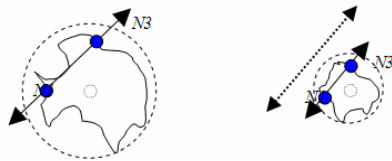


圖4-1 分段定位示意圖

#### 4.1.2 RFID功率調變策略

但tag的有效區並非理想，通常如下圖4-2所示，虛線為理想有效區，實線則是實際有效區，此區並非每一角度的有效距離皆相同，若以上述方式尋找重心時，中央點將產生偏差。如圖4-2(b)，降低感測功率則每一角度之有效距離將縮短，但同時也提高了中央點的真實性。然而，降低感測功率並非無缺點，其做法有可能使原路徑(虛線雙箭頭)無法偵測到。



(a)功率較大時 (b)功率較小時

圖4-2 RFID tag實際有效區示意圖

綜合以上分析，本論文將整合調整功率之優點：先於第一次分段定位時，使用最大功率找出重心，以找到有效區為目的；第二次多段定位時，使用較小功率找出重心，以逼近理想有效區之重心為目的。此方法特點在於不增加定位點的設置之下，使用載具本身建立出多個虛擬定位點，並增強此虛擬定位點之準確性，進而提升絕對定位之精確度。在此所做之實驗，必須假設以最大功率搜尋時，一定可接觸到實際有效區之任一點。

## 4.2 實驗結果

### 4.2.1 無策略定位時

將功率調整至極值之下，以每30度的間隔測試RFID reader有效區，以證實本實驗之reader最大有效距離，藉此提供平台策略定位時之行走距離。如圖4-3為此reader之實際有效區，每30度中間未偵測部分使用平滑曲線近似，表4-1為實驗數據，其中功率在最大時，最大有效距離為12.5 cm，故多段策略定位時將選擇大於此值的13 cm作為平台移出感測範圍的距離。另外在最大與最小功率時，平均有效區分別為10.93 cm、7.09 cm，而最大差距(max difference)分別為4.8 cm與2.8

cm，驗證了功率的縮小確實可以增加策略定位時的對稱性。

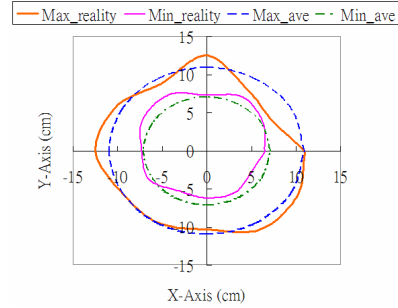


圖4-3 本實驗用之RFID reader讀取有效範圍

表4-1 各角度量測RFID reader 讀取有效距離

Degree		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	Max difference
Distance (cm)	Power Max (10.5V)	11	8.3	9.2	12.5	10.2	11.7	12.5	11	10.9	11.9	11.7	11.9	4.8
	Power Min (4.5V)	6.5	7.3	8.1	7.3	8.5	8.3	7.3	7.5	6.1	6.3	5.7	6.3	2.8

### 4.2.2 分段式移動策略定位時

如前所述之方法，圖4-4說明在策略定位時，偵測點NP6(感測距離12.6 cm)幾乎與NP5(最大有效距離13 cm)重疊，所以在計算NP9時，將重心計算於座標軸約(31,4)之處。而圖4-5(表4-2 實驗4之實驗結果)表示無偵測到NP6時，只好將NP4作為NP6使用，可以得知 $D_{NP6-NP8}$ 為何僅6.42 cm差距。

表4-2為實驗結果，平均最後所計算出的重心(NP9)，與實際的tag中心點距離( $D_{NP9-Real}$ )約5.98 cm。實驗時，平台每次起始位置與tag距離並不固定，故重心實際距離並不是以座標軸上之數值決定，而是以實際量測為主。

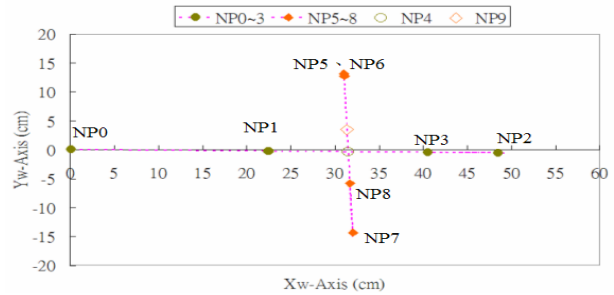


圖4-4 分段式移動策略定位實驗圖-1

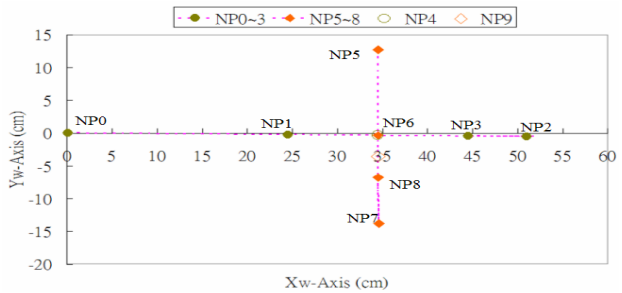


圖4-5 分段式移動策略定位實驗圖-2

表4-2 分段式移動策略定位實驗結果

No. Experiment	1	2	3	4	5
$D_{NP1-NP3}$ (cm)	18.02	18.0	24.48	19.96	26.44
$D_{NP6-NP8}$ (cm)	18.58	15.5	21.06	6.42	17.5
$D_{NP9-Real}$ (cm)	5.1	6.6	3.9	9.0	5.3
Average( $D_{NP9-Real}$ ) (cm)	5.98				
$\sigma(D_{NP9-Real})$ (cm)	1.74				

#### 4.2.3 結合功率調變與分段式策略定位時

將功率調整機制加入分段式策略定位之後的實驗情形如圖4-6，第二次的分段定位將由NP9為起始點，兩次分段定位後之重心(NP19)計算於座標軸約(40,-3)之處，表4-3為實驗結果，平均最後所計算出的重心(NP19)，與實際的tag中心點距離( $D_{NP19-Real}$ )約3.22 cm，與無策略平均定位相比精度提高了7.71 cm，與分段式策略平均定位相比精度提升了2.76 cm。

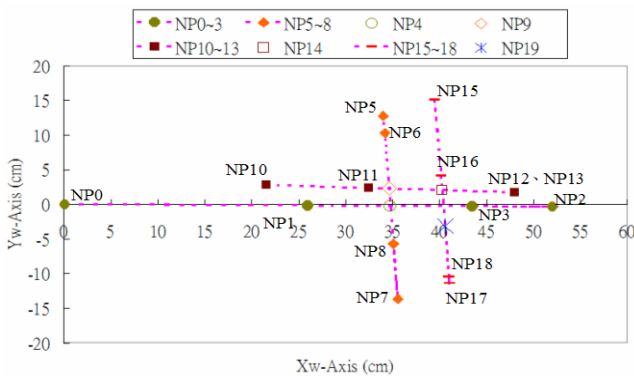


圖4-6 結合功率調變與分段式移動策略定位實驗圖

表4-3 結合功率調變與分段式定位之實驗結果

No. Experiment	1	2	3	4	5
$D_{NP1-NP3}$ (cm)	24.56	23.0	17.5	18.48	25.06
$D_{NP6-NP8}$ (cm)	3.54	19.0	16.02	16.6	18.02
$D_{NP11-NP13}$ (cm)	18.02	15.5	15.52	16.46	14.48
$D_{NP16-NP18}$ (cm)	12.52	15.46	14.58	14.02	8.94
$D_{NP19-Real}$ (cm)	1.50	3.40	3.20	4.50	3.50
Average( $D_{NP19-Real}$ ) (cm)	3.22				
$\sigma(D_{NP19-Real})$ (cm)	0.97				

## 5. 結論

### (1) 全向平台運動控制

首先分析各軸特性，建立一組PID控制器適於全向平台之各軸，並藉由導出四軸的平台運動模型，以 inverse kinematics 技術實現全向性平台之運動控制器，提升了在直線與曲線路徑上的追蹤能力，並探討加減速對於改善打滑之影響，以200 cm直線路徑為例，使用梯形或S形速規，可降低步階速規約15~20%的誤差。

### (2) 感測融合

由於編碼器對於打滑情形並不易得知，羅盤對於角度穩定性不足，以至於回授資訊的可靠度降低，加入了感測融合概念，分析編碼器與羅盤回授之優缺點，以此建立動態感測融合機制，在兼顧穩定性與準確性之下，改善平台運動方位誤差約46%。

### (3) RFID絕對定位

以平台分段式移動策略並結合RFID功率調變，建立全向平台之絕對定位技術，改善定位平均誤差從11 cm降到約3 cm。

## 參考文獻

- [1] B. Carisle, An Omni-Directional Mobile Robot. *Developments in Robotics in 1983*, IFS Publications Ltd., pp. 79-87, 1983.
- [2] F. G. Pin and S. M. Killough, "A New Family of Omnidirectional and Holonomic Wheeled Platforms for Mobile Robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 4, pp. 480-489, 1994.
- [3] C.C. Tsai, Li-Bin Jiang, Tai-Yu Wang, Tung-Sheng Wang, "Kinematics control of an Omnidirectional Mobile Robot," *Proceedings of 2005 CACS Automatic Control Conference Tainan, Taiwan*, d-three pp.13~18, 2005.
- [4] L. Huang, Y. S. Lim, David Li and Christopher E. L. Teoh, "Design and Analysis of a Four-wheel Omnidirectional Mobile Robot," *Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*, Palmerston North, New Zealand, pp.425~428, 2004.
- [5] Mark Ashmore, Nick Barnes, "Omni-drive robot motion on curved paths: The fastest path between two points is not a straight-line," *Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Australia*, pp. 225-236, 2002.
- [6] Dirk Hahnel, Wolfram Burgard, Dieter Fox, Ken Fishkin and Matthai Philipose, "Mapping and Localization with RFID Technology," *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, New Orleans, LA, pp.1015~1020, 2004.
- [7] Weiguo Lin, Songmin Jia, Kaizhong Wang and Kunikatsu Takase, "Localization of Service Mobile Robot Using ID Tag," *Proceedings of the SICE Annual Conference in Fukui*, Fukui University, Japan, pp.1098~1103, 2003.
- [8] Weiguo Lin, Songmin Jia, Takafumi Abe and Kunikatsu Takase, "Localization of Mobile Robot based on ID Tag and WEB Camera," *Proceedings of the 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, Singapore, pp.851~856, 2004.

## 誌謝

本研究承蒙工研院機械所(FY94)之經費補助，特此誌謝。