

全自動停車系統之設計與實現

陳俊雄、姚啟駿、許展維
財團法人車輛研究測試中心

E-mail: Stanley_chen@artc.org.tw

摘要

本文之目的主要在探討全自動停車系統控制研究，藉由所提出之障礙物定位演算法及多迴轉路徑規劃，並採用控制車輛煞車的方式，使車輛可以維持在一個極低的速度下行駛。研究之架構包含有使用真空式拉力器之車輛煞車致動器改裝，煞車控制器之設計，車輛怠速下之速度追蹤實驗結果。在煞車控制器的實現上，採用了 Fuzzy-PI 控制器進行系統實驗。另外亦設計一馬達機構，使其達到自動排檔的功能。在速度軌跡的規劃方面，本文考慮停車過程中的乘員舒適性，因此加以控制適當的定速曲線，以避免煞車系統有急煞的情況產生。根據本文之實車測試結果，障礙物定位演算法可準確估算出障礙物 2 維座標，平均誤差皆在 17cm 以內，使用多迴轉路徑規劃縮小停車空間，比傳統的二迴轉路徑規劃節省之停車空間約 1 公尺左右，可使停車格僅需車長 1.28 倍。此外，針對本文所提出之控制演算法，均採用嵌入式系統於實車上驗證。

關鍵詞：障礙物定位演算法 (Obstacle Orientation Algorithm)、多迴轉路徑規劃 (Path planning of multi-turn mode)、煞車控制 (Brake Control)

1. 前言

隨著智慧化車輛技術的進步，車輛的各項主動安全系統也逐漸廣泛應用在駕駛安全輔助系統上，因此如何提升車輛的安全性以及便利性，即是各個車輛生產與研發單位所努力的目標；而且拜各種感測器及致動器性能的提高下，藉由其協助駕駛者，便可以彌補車輛駕駛人因判斷錯誤或者技術不足所造成的疏失，進而達到各種碰撞之意外事件的減少。自從 2003 年日本 Toyota 推出先進停車系統後，各大車廠與車電供應商紛紛投入大量的人力研發停車輔助系統相關商品。

停車輔助的概念最早為停車輔助系統 (Parking Assistance System, PAS)，依據駕駛者轉動方向盤的角度即時計算出車輛的倒車軌跡、車幅延伸與參考距離三種輔助線，疊合於倒車攝影機所擷取的後方影像並顯示在車內螢幕上，駕駛者可預先獲知車輛倒車時的行走路徑，以及相對於障礙物的角度方位與距離，有效解決倒車時前後左右探視的困擾。PAS 經過進化後演進成先進停車引導系統 (Advanced Parking Guidance System, APGS)，乃運用超音波與影像辨識之智慧型感測技術，可偵測車輛周遭鄰近的障礙物，引導駕駛者尋找適合該

車之停車空間，確定後電腦便會計算停車路徑，配合電子輔助轉向控制技術，幫助駕駛者能更安全、輕鬆而有效率地完成停車動作。不過，此系統仍需要駕駛者介入操作控制車速與排檔，為半自動功能 [1]。

以 APGS 為基礎再升級，系統已將煞車、排檔、無線遙控等功能與電動轉向方向盤結合，也就是全自動停車系統 (Automatic Parking System, APS)，全自動停車系統所應用之技術組成主要包含環境地圖建立技術、路徑規劃技術、路徑追蹤控制技術、自動排檔與煞車控制技術、嵌入式硬體實現以及實車測試驗證技術，這些技術項目之概念敘述如下：

- (1) 環境地圖建立技術 (Environmental Mapping)
主要藉由感測器偵測或者使用者確認停車空間位置，並且經換算獲知車輛與停車空間相對位置關係。本技術主要包含項目如下：
 - (a) 圖形化使用者介面 (Graphic User Interface)
使用者介面主要呈現後方停車空間實際影像，或者呈現停車空間偵測結果，讓駕駛者能先期判斷系統是否能夠控制車輛倒入目標停車空間。
 - (b) 停車空間感測器與感測技術 (Parking Space Detection)
藉由停車空間感測解析出停車長寬大小以及與車輛之相對位置，主要使用攝影機、長距離超音波感測器。
- (2) 路徑規劃 (Path Planning) 技術
路徑規劃主要藉由車輛的運動特性，在車輛目前位置與目標停車區域中規劃車輛預期行駛路徑，使車輛能經由控制沿此路徑行駛。目前知道的論文常用的路徑規劃方法有 SCC (Simple Continuous Curve)、RRT (Rapidly-Exploring Random Tree)、nonholonomic 和模糊控制等方法 [2-4]，上述方法雖然具可行性，但都僅針對路徑規劃之最佳化理論分析，而對於實務上較重要的停車空間大小較少著墨。本文採用的方法為多迴轉路徑規劃 (Path planning of multi-turn mode) [5]，經實車測試驗證，可有效縮短停車空間，停車格僅需車長 1.28 倍。
- (3) 路徑追蹤控制技術 (Trajectory Tracking Control)
本技術主要為比對預期路徑與目前行駛路徑之誤差，並對實車進行轉向追蹤控制，以讓車輛達到追蹤控制預期行駛路徑之效果。本技術主要包含項目如下：
 - (a) 車輛同步定位技術 (Localization)

主要利用車輛原有的方向盤轉角、輪速訊號與偏移率(Yaw Rate Sensor)感測器進行車輛姿態角(Orientation)與行駛路徑(Trajectory)估測，做為與預期路徑座標之誤差比對使用。

(b) 實車轉向控制(Steering Control)

經由車輛同步定位技術獲知車輛實際位置，並與預期路徑座標進行誤差比對，以純追蹤控制方法所獲得之方向盤轉向角度進行控制。

(4) 自動排檔與煞車控制技術(Gear and Brake Control)

(a) 排檔控制(Gear Control)

為了達到無人駕駛全自動停車目的，需加裝一直流有刷馬達做自動排檔切換，並安裝電磁閥至駕駛座旁之排檔座內，以提供原先排檔座按鈕功能，其中包括停車檔(P)、倒車檔(R)、空檔(N)、前進檔(D)的切換。

(b) 煞車控制(Brake Control)

針對在於主動式煞車系統之控制上，由於原車廠可以利用控制器進行煞車液壓迴路之控制，進而精細到控制各個輪胎之煞車力，然而對於非車廠之研究而言，相關系統迴路以及系統參數等訊號資訊，幾乎無法完整得知，因此，本研究在探討於怠速下之速度控制時，參考陳建次[7]所提出之煞車機構改裝方式，利用加裝於引擎室內的真空拉力器，以拉動煞車踏板的方式達到煞車控制之目的。藉由著本研究所提出之方法，讓車輛可以依循著適當的速度軌跡，並結合自動停車裝置，可以使車輛在進行自動停車時能有更穩定及精確的路徑軌跡追蹤能力。

(5) 嵌入式硬體實現(Embedded Hardware Implementation)

主要分為圖形式人機介面與路徑規劃運算 ECU 以及路徑追蹤控制與實車轉向驅動 ECU 兩個部分，前者使用 DSP 進行實現高階運算，後者可使用 dsPIC 進行低階馬達位置控制。實車轉向控制包含控制器與驅動電路之設計製作，以及煞車演算法、排檔控制程式硬體植入。

(6) 實車測試驗證技術(System Validation)

實車驗證主要使用微處理器進行實車參數調校與功能性測試驗證，比對分析追蹤控制結果與預期路徑的誤差情形，做為控制演算法修正以及系統功能規格訂定之依據。

2. 研究方法

在本節中，將介紹 APS 之主要控制流程，包含排檔控制、煞車控制和轉向控制，其中利用超音波感測器作停車空間掃描及障礙物定位。本實驗將控制演算法寫入至微控制器中，微控制器採用 Microchip dsPIC6010A，由於本中心非車輛原廠，並不易直接介入整車排檔及煞車系統，因此本研究之方法是利用機構的方式牽引自動排檔和煞車踏板。透過 CAN 傳輸協定傳輸影像處理平台的座標資訊至控制處理單元，再依據 multi-turn 路徑規

劃演算法透過 dsPIC6010A 控制器驅動方向盤、煞車踏板及排檔，並藉著安裝於車輛前後保險桿的超音波感測器偵測停車格前後之障礙物，配合自動排檔與煞車控制，避免車輛與障礙物碰撞，APS 系統架構如圖 1 所示。

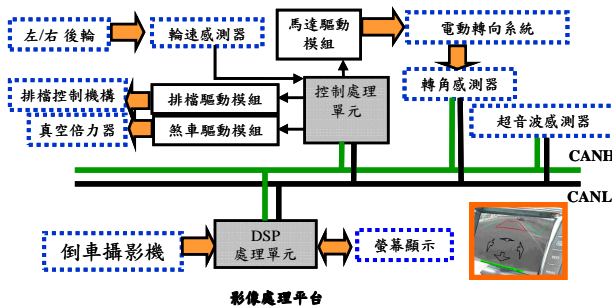


圖 1. APS 系統架構

2.1 煞車系統

本研究之煞車致動器是以 Honda 定速系統之真空拉力器(Vacuum Booster)作為煞車踏板牽引力量的來源。真空拉力器內部有兩大氣室，如圖 2 所示，分別為真空室以及大氣室，兩氣室之間隔著一具有彈性之膜，膜片上並具有一鋼索連結於上，真空室的出口端有三個電磁閥，這些電磁閥可以控制真空室出口之開啟與關閉，此三個電磁閥，其中一個連接到引擎的進氣歧管以抽取真空室內的氣體，另兩個電磁閥則連接到大氣，因此，當電磁閥作動時會使得真空室中的氣壓產生改變，由於真空拉力器內另一個氣室始終保持著 1 大氣壓力，所以藉由著真空室的壓力改變所造成的壓力差，彈性膜片就會往壓力較低的氣室移動，使得連結於膜片上的鋼索跟著移動，進而產生煞車踏板的牽引力。

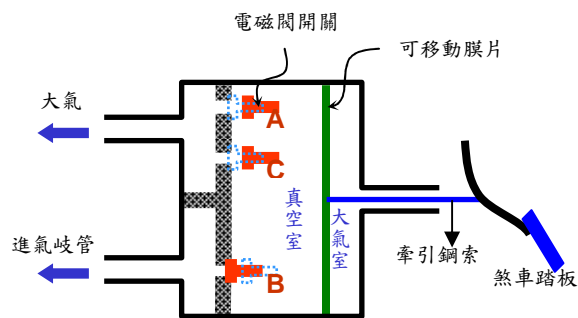


圖 2. 真空定速器內部構造

在車速回授的處理上，由於本研究之目的在控制車輛速度於怠速之下，意味著此時的車速約小於 10km/hr，而車輛本身之感測器並不適用於量測如此低速的速度，因此若直接採用車輛儀表板上之速度感測結果，其事實上之誤差是過大的；本研究是利用車輛的 ABS 輪速感測器，此感測器是利用霍爾效應感測輪圈內的齒距，其輸出波形為方波訊號，很適合後端微控制器的處理；本研究藉由著感測到之方波訊號脈寬的長

度，經運算後，進而得知此刻車輛之速度，在與以 GPS 定位系統所得到之車輛速度做為基準之比較下，採用此方法之速度誤差在±0.1 km/hr 之內。

而在探討車輛的怠速以下速度控制問題裡，本研究是藉由真空拉力器拉動煞車踏板的方式，以達到追蹤預定之低速度軌跡曲線，由於系統並沒有介入到油門的控制，所以整體速度軌跡曲線是規劃在車輛怠速以下。因此，根據牛頓第二運動定律，車輛縱向系統之速度動態，可以表示成一階系統動態模型，如(1)式所示：

$$M_c \dot{v} = -f_{ar} - F_b(\sigma, N) + d(t) \quad (1)$$

其中， M_c 為車體質量， x 為車輛速度， f_{ar} 為空氣阻力， $F_b(\sigma, N)$ 為車輪之煞車力， $d(t)$ 為外界干擾。

在車輛速度軌跡的規劃上，有很多適當方法可以達到，但是對於如何使駕駛者在加減速時感覺到較舒適，則是一個重要的課題。因此，所規劃出來的曲線必須盡可能的平順以及沒有急動的情形出現，根據 P. Kyongsu Yi[6]的論文指出，駕駛者感覺到較為舒適的加減速是在 $2.5m/s^2$ 之內，所以整個速度軌跡的規劃是分成三個狀態，包含著適當的加速、等速以及減速。由於系統的煞車機構是藉由真空拉力器驅動煞車踏板，而達到煞車力的輸出，我們將煞車踏板的踩放界定成 0%~100% 之定量表示，由於系統一開始再追蹤一固定的速度值時，系統從靜止的狀態到追到所預設的速度，需要有一段暫態時間，而且一開始的誤差極大，容易造成系統輸出飽和，因此，根據此一缺點，我們採用梁鵬旭[8]所提出之多項式暫態曲線，以避免誤差過大所造成的飽和現象，此速度暫態曲線方程式表示如下

$$v(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 + c_5 t^5 \quad (2)$$

其中，

$$c_0 = v_0$$

$$c_1 = \dot{v}_0$$

$$c_2 = \frac{1}{2} \ddot{v}_0$$

$$c_3 = \frac{1}{2t_f^3} [20v_f - 20v_0 - (8\dot{v}_f + 12\dot{v}_0)t_f - 3(\ddot{v}_0 - \ddot{v}_f)t_f^2]$$

$$c_4 = \frac{1}{2t_f^4} [30v_0 - 30v_f + (14\dot{v}_f + 16\dot{v}_0)t_f + 3(\ddot{v}_0 - 2\ddot{v}_f)t_f^2]$$

$$c_5 = \frac{1}{2t_f^5} [12v_f - 12v_0 - (6\dot{v}_f + 6\dot{v}_0)t_f - (\ddot{v}_0 - \ddot{v}_f)t_f^2]$$

而 v_0 、 \dot{v}_0 及 \ddot{v}_0 分別代表著初始時間的速度、加速度及加速度的二次微分。 v_f 、 \dot{v}_f 及 \ddot{v}_f 分別代表著時間為 t_f 時的速度、加速度及加速度的二次微分。

根據(2)式的軌跡曲線，為了配合車輛的加速度不宜過大，而導致車輛乘員的不舒適感，本研究所追蹤的速度軌跡曲線如圖3所示，速度之初始軌跡從 $t=0s$ 到 $t=7.5s$ 為一變加速度， $t=7.5s$ 到 $t=24s$ 為等速，

$t=24s$ 到 $t=29s$ 為等加速度，實際加速度曲線如圖4所示，整體之加速度介於 $+0.35m/s^2$ 到 $-0.3m/s^2$ 之間。

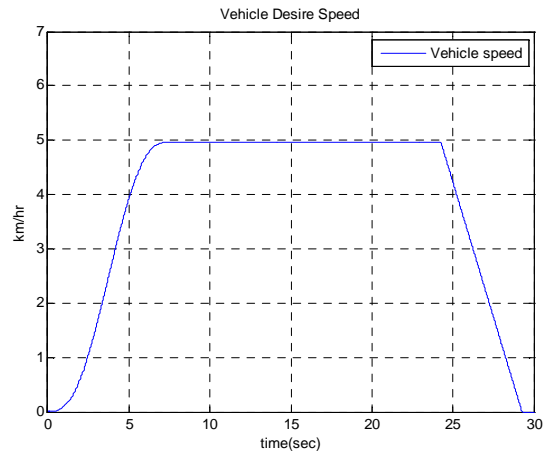


圖3. 預設之車輛速度軌跡曲線

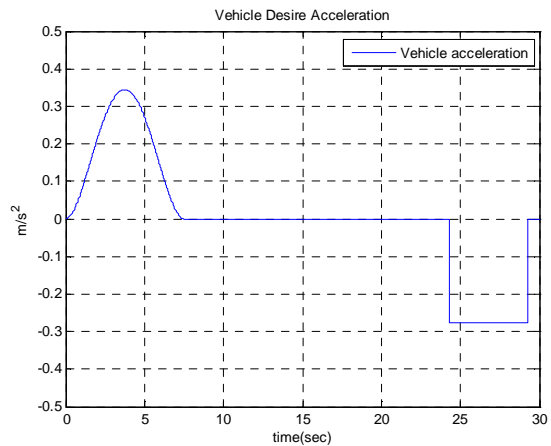


圖4. 預設之車輛加速度軌跡曲線

2-2. 超音波定位技術

當車子平行停車時，若空間中有放置一障礙物，往往後退時會造成車子損壞，且車子也無法停入停車位置。然而目前幾乎所有的車子，在後保桿幾乎都有裝設超音波感測器，當經過超音波掃瞄可得出相距障礙物的距離。有時會是一顆超音波回傳，或者多顆超音波同時回傳，而為了達到停車障礙物的迴避，本文所發展的演算法即是針對障礙物定位所做的推導，以下將針對兩情境進行討論，兩情境分別為多顆超音波感測器定位與單顆超音波感測器定位，示意圖如圖5。

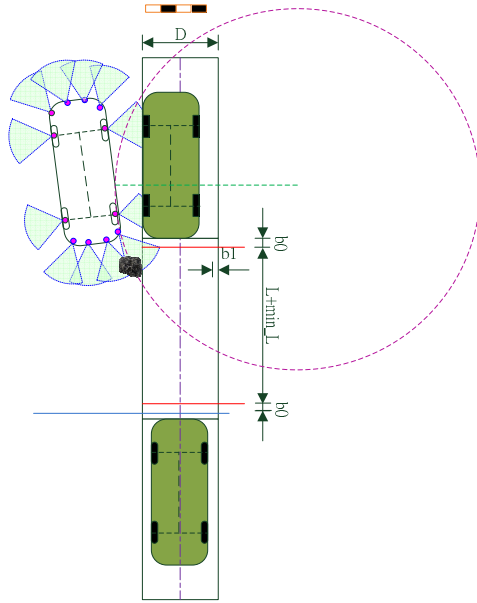


圖 5. 停車障礙物定位系統

假設後保桿超音波位置分別為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) 與 (x_4, y_4, z_4) ，若汽車後面有一障礙物，在後退時第一顆與第二顆超音波有掃到障礙物，偵測到的距離分別為 ρ_1 與 ρ_2 ，根據上述可以列出(3)式。

$$\begin{cases} \rho_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \\ \rho_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} \end{cases} \quad (3)$$

然而，若是同時有三顆掃瞄到障礙物，則為(4)式：

$$\begin{cases} \rho_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \\ \rho_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} \\ \rho_3 = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} \end{cases} \quad (4)$$

將上式歸納為一般型式的方程式為(5)式，其中 ρ_i 為超音波量測到的距離， (x_i, y_i, z_i) 為超音波的位置。

$$\rho_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} \quad (5)$$

利用微擾方式，選擇一平衡點為 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ ，經過微擾變動則障礙物的位置 (x, y, z) 為(6)式：

$$x = \hat{x} + \delta x, \quad y = \hat{y} + \delta y, \quad z = \hat{z} + \delta z \quad (6)$$

根據(5)-(6)式展開與分項，一般感測所得到的距離可改寫為(7)式：

$$\begin{aligned} \rho_i &= \left[\hat{\rho}_i^2 + 2(\hat{x}-x_i)\delta x + 2(\hat{y}-y_i)\delta y + 2(\hat{z}-z_i)\delta z \right]^{1/2} \\ &= \hat{\rho}_i \left[1 + 2 \left[\frac{(\hat{x}-x_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta x + \frac{(\hat{y}-y_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta y + \frac{(\hat{z}-z_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta z \right] \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (7)$$

令 $\alpha = 2 \left[\frac{(\hat{x}-x_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta x + \frac{(\hat{y}-y_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta y + \frac{(\hat{z}-z_i)}{\hat{\rho}_i^2} \delta z \right]$ ，可改寫為 $\rho_i = \hat{\rho}_i (1 + \alpha)^{1/2}$ 。當 $|\alpha| \ll 1$ ，可利用二項式定理 (Binomial Series Expansion)，如(8)式為二項式定理展開式。

$$\begin{aligned} (1 + \alpha)^{1/2} &= 1 + \frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2 \cdot 4}\alpha^2 + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 6}\alpha^3 + \dots \\ &\approx 1 + \frac{1}{2}\alpha \end{aligned} \quad (8)$$

因此多顆超音波量測到的距離，可以表示如(9)式。

$$\begin{bmatrix} \rho_1 - \hat{\rho}_1 \\ \rho_2 - \hat{\rho}_2 \\ \vdots \\ \rho_n - \hat{\rho}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(\hat{x}-x_1)}{\hat{\rho}_1} & \frac{(\hat{y}-y_1)}{\hat{\rho}_1} & \frac{(\hat{z}-z_1)}{\hat{\rho}_1} \\ \frac{(\hat{x}-x_2)}{\hat{\rho}_2} & \frac{(\hat{y}-y_2)}{\hat{\rho}_2} & \frac{(\hat{z}-z_2)}{\hat{\rho}_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{(\hat{x}-x_n)}{\hat{\rho}_n} & \frac{(\hat{y}-y_n)}{\hat{\rho}_n} & \frac{(\hat{z}-z_n)}{\hat{\rho}_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \quad (9)$$

由上式(9)，假設虛擬量測矩陣 (Measurement Matrix) 為 H ，虛擬量測誤差矩陣 (Measurement Error Matrix) 為 $\delta \rho$ ，虛擬位置誤差矩陣 (Position Error Matrix) 為 δp ，因此各虛擬矩陣分別為(10)式。

$$H = \begin{bmatrix} \frac{(\hat{x}-x_1)}{\hat{\rho}_1} & \frac{(\hat{y}-y_1)}{\hat{\rho}_1} & \frac{(\hat{z}-z_1)}{\hat{\rho}_1} \\ \frac{(\hat{x}-x_2)}{\hat{\rho}_2} & \frac{(\hat{y}-y_2)}{\hat{\rho}_2} & \frac{(\hat{z}-z_2)}{\hat{\rho}_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{(\hat{x}-x_n)}{\hat{\rho}_n} & \frac{(\hat{y}-y_n)}{\hat{\rho}_n} & \frac{(\hat{z}-z_n)}{\hat{\rho}_n} \end{bmatrix}, \quad \delta \rho = \begin{bmatrix} \rho_1 - \hat{\rho}_1 \\ \rho_2 - \hat{\rho}_2 \\ \vdots \\ \rho_n - \hat{\rho}_n \end{bmatrix}, \quad \delta p = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \quad (10)$$

因此利用(10)式，可以改寫並求出變量(11)式。

$$\delta p = (H^T H)^{-1} H^T \delta \rho \quad (11)$$

再利用上式進行疊代，大約三次之後，可以得到障礙物的近似位置。然而，空間中之定位，若忽略時間傳輸的誤差，則至少需要三個感測器才能決定障礙物之位置，若忽略障礙物高度的變量，只需考慮二維空間之位置，則需要兩個感測器才能決定障礙物空間中的位置。其方程式形式如(12)式：

$$\begin{bmatrix} \rho_1 - \hat{\rho}_1 \\ \rho_2 - \hat{\rho}_2 \\ \vdots \\ \rho_n - \hat{\rho}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{x}-x_1) & (\hat{y}-y_1) \\ \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_i \\ (\hat{x}-x_2) & (\hat{y}-y_2) \\ \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_i \\ \vdots & \vdots \\ (\hat{x}-x_n) & (\hat{y}-y_n) \\ \hat{\rho}_n & \hat{\rho}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \quad (12)$$

然而，一般的情形往往只有單一類的超音波掃瞄到障礙物，因此本報告將利用車子的連續移動三點的位置與虛擬量測距離建立障礙物的量測模型，如(13)式所示。

$$\begin{bmatrix} \rho_1 - \hat{\rho}_1 \\ \rho_2 - \hat{\rho}_2 \\ \rho_3 - \hat{\rho}_3 \\ \vdots \\ \rho_p - \hat{\rho}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{x}-x_1) & (\hat{y}-y_1) & (\hat{z}-z_1) \\ \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_i & \hat{\rho}_i \\ (\hat{x}-x_1') & (\hat{y}-y_1') & (\hat{z}-z_1') \\ \hat{\rho}_1' & \hat{\rho}_i' & \hat{\rho}_i' \\ (\hat{x}-x_1'') & (\hat{y}-y_1'') & (\hat{z}-z_1'') \\ \hat{\rho}_1'' & \hat{\rho}_i'' & \hat{\rho}_i'' \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (\hat{x}-x_1^H) & (\hat{y}-y_1^H) & (\hat{z}-z_1^H) \\ \hat{\rho}_1^H & \hat{\rho}_i^H & \hat{\rho}_i^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \quad (13)$$

2-3. 自動排檔控制

為達到自動排檔的功能，本研究利用一直流有刷馬達與引擎室內變速箱做機構上搭配，做排檔切換，其原理為安裝電磁閥至駕駛座旁之排檔座內，以提供原先排檔座按鈕功能，相關共有六條訊號線，包括馬達正轉訊號線 M+、馬達反轉訊號線 M-、離合器訊號線 2 條、電磁閥訊號線 2 條。除此之外，測試平台亦製作一排檔保護機構，避免操作不當，如圖 6 所示。



圖6 直流有刷馬達與變速箱搭配

除了硬體機構保護外，軟體也需加入保護機制，以確保在作動全自動停車系統時，自動排檔功能安全無虞。考慮實驗車之排檔順序，其中 M+代表讓馬達正轉的訊號，M-代表讓馬達反轉的訊號。若檔位在 P，為保證機構作動不會異常，則加入以下條件：

if GP is P and GC is P then MS is Hold
if GP is P and GC is R then MS is M+
if GP is P and GC is N then MS is M+
if GP is P and GC is D then MS is M+

其中，GP=gear position(排檔目前位置)，GC=gear command(排檔命令)，MS=motor signal(馬達訊號)。若檔位在 D，則命令條件則變為：

if GP is D and GC is P then MS is M-
if GP is D and GC is R then MS is M-
if GP is D and GC is N then MS is M-
if GP is D and GC is D then MS is Hold

3. 實驗結果

本研究之實驗包含了實車於怠速下之速度定速追蹤與超音波感測器障礙物定位偵測，實驗車輛採用 Mitsubishi Savrin 作為本研究之控制器實驗平台，並且進行真空拉力器的安裝，而對於車輛輪速訊號的擷取，由於實驗車本身之 ABS 系統便會安裝輪速感測器，因此並不需要再額外的加裝。

圖 7 為超音波感測器障礙物定位偵測實車測試規劃，測試方法為平均每 50 公分取兩個測試點，由表 1 結果得知，經過 20 個座標點測試後，皆可準確估算出座標，平均誤差最大為 17cm，符合預期目標。

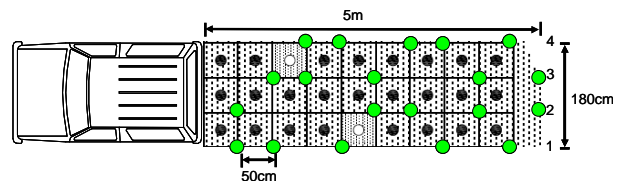


圖 7 障礙物定位演算法實車測試

表 1 障礙物座標定位測試結果

| 座標距離 | 座標理論值 | 座標量測值 | 平均誤差 |
|------|---------------------------|---------------------------|------|
| 50 | 1.(-30,-135) 2.(-90,-135) | 1.(-40,-134) 2.(-85,-146) | 11 |
| 100 | 1.(30,-185) 2.(-90,-185) | 1.(20,-180) 2.(-103,-186) | 12 |
| 150 | 1.(90,-235) 2.(30,-235) | 1.(91,-247) 2.(28,-247) | 12 |
| 200 | 1.(90,-285) 2.(-90,-285) | 1.(90,-303) 2.(-104,-285) | 16 |
| 250 | 1.(-30,-335) 2.(30,-335) | 1.(-26,-334) 2.(22,-341) | 7 |
| 300 | 1.(90,-385) 2.(-30,-385) | 1.(99,-375) 2.(-25,-381) | 10 |
| 350 | 1.(90,-435) 2.(-90,-435) | 1.(101,-428) 2.(-98,-433) | 11 |
| 400 | 1.(-30,-485) 2.(30,-485) | 1.(-10,-481) 2.(40,-477) | 17 |
| 450 | 1.(90,-535) 2.(-90,-535) | 1.(100,-520) 2.(-85,-531) | 12 |
| 500 | 1.(30,-585) 2.(-30,-585) | 1.(28,-575) 2.(-28,-579) | 8 |

圖 8 表示了此 PI-Fuzzy 控制器於 5km/hr 速度下之定速度控制結果，其實驗結果顯示出於此速度下，系統於穩態的狀態下，會有約 +0.2km/hr 到 -0.2km/hr 之震盪情形，造成震盪的因素應是由於真空拉力器無法準確的固定於同一位置上，須靠控制器的作用，讓電磁閥快速的切換，進而造成於穩態時會有震盪的情況。

圖 9 為使用多迴轉路徑規劃與二迴轉路徑規劃在全自動平行停車軌跡之比較圖，本文使用 RTK-GPS 量測多迴轉路徑規劃之軌跡，由圖中軌跡可得知多迴轉路徑規劃(RTK-GPS)比傳統二迴轉路徑規劃(2 Turn Model Trajectory)節省之停車空間約 1 公尺左右，符合當初使用多迴轉路徑規劃縮小停車空間之目的。

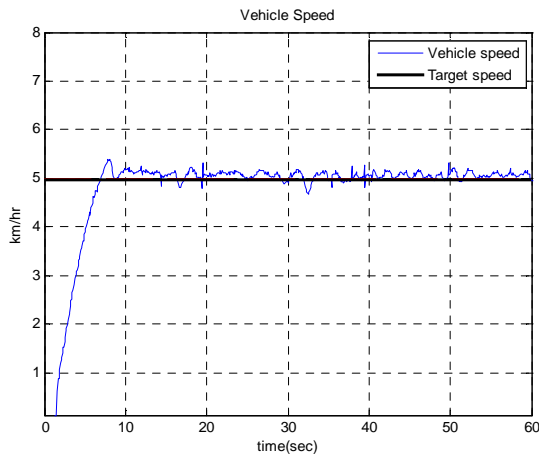


圖 8. 於 5km/hr 之定速度追蹤結果

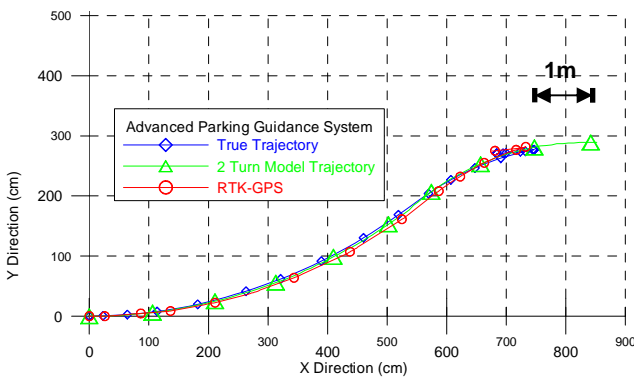


圖 9. 全自動平行停車軌跡

4. 結論

本文中，我們設計了一個可於車輛急速下進行速度控制之控制器，可應用於全自動停車系統上。在系統實現上，採用真空拉力器的機構，並配合原車上的液壓煞車系統，將原系統轉換成主動式的煞車系統。並利用所提出之 PI-Fuzzy 之控制器，順利的將車速定速於低速之下，而且可以追蹤一個低速度的速度軌跡曲線，再藉由著適當的規劃速度軌跡，使車內乘員不會有車輛的急加減速所造成的不舒適感。

而針對障礙物座標定位偵測，經由量測方程式包含多顆超音波定位與單顆超音波定位方法，多顆同時接收到障礙物的距離資訊，或是經由單顆連續快速或緩慢移動所得到的虛擬距離，進行定位計算得到相關的障礙物位置，經測試後，座標定位誤差皆小於 17 公分。配合實車裝載陣列超音波，進行障礙物定位與相關路徑規劃技術，能夠縮小全自動停車系統所需之停車空間大小。

全自動停車系統結合超音波與影像之智慧感測技術，可導引駕駛者尋找停車空間、偵測鄰近的障礙物，並進行多轉向路徑規劃與電動輔助轉向控制，自動的控制方向盤轉向、排檔、煞車直至停妥目標停車空間，多轉向路徑規劃比傳統二迴轉路徑規劃節省之停車空間約 1 公尺左右，對應之停車空間僅需車長 1.28 倍就能

停入，相當適合地狹人稠，都市空間小的道路情況，十足是都會停車的好幫手。

5. 致謝

本研究承蒙經濟部技術處科專計畫 (100-EC-17-A-04-02-0803) 之經費資助，特此致謝。

6. 參考文獻

- [1] Tsung-Hua Hsu, Jing-Fu Liu, Pen-Ning Yu, Wang-Shuan Lee and Jia-Sing Hsu, "Development of an automatic parking system for vehicle", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008.
- [2] J. A. Reeds and L. A. Sheep, "Optimal paths for a car that goes both forwards and backwards", *Pacific Journal of Mathematics*, Vol. 145, pp. 367-393, 1990.
- [3] I. E. Paromtchik and C. Laugier, "Autonomous parallel parking of a nonholonomic vehicle", *Proceedings of 2003 IEEE Conference on Vehicle Symposium*, pp.13-18, 1996.
- [4] S. Yasunobu and Y. Murai, "Parking control based on predictive predictive fuzzy control", *Proceedings of 2003 IEEE Conference on Fuzzy system*, pp.1338-1341, 1994.
- [5] Chia Feng Lin, Chan Wei Hsu, Mink Kuan Ko, Chi Chun Yao, Kuang Jen Chang, "A Multiple Turn Achievement of Advanced Parking Guidance System in Parallel Parking via Sensor Fusion," *International Symposium on Advanced Vehicle Control*, 2010.
- [6] Kyongsu Yi, Jintai Chung, "Nonlinear Brake Control for Vehicle CW_CA System", *ASME/IEEE Transactions on Mechatronic*, Vol. 6, No1, March 2001.
- [7] 陳建次、陳柏睿，「智慧巡航系統邏輯設計與實車驗證報告」，財團法人車輛研究測試中心技術報告，2006年8月。
- [8] 梁鵬旭，「次微米級伺服平台之控制研究」，碩士論文，國立台灣科技大學，2004年7月。