

以影像感測車道標線之車道維持系統實現

劉景富 許駱謙 蘇一峰 柯明寬
財團法人車輛研究測試中心(ARTC)

摘要

本研究主要從事影像感知式之車道維持系統(Lane Keeping System, LKS)研發，以系統與駕駛者協調控制之駕駛觀點，來研究探討車道偏移偵測以及車道維持控制方法。車道偏移偵測主要使用影像辨識的方式，由前方道路影像解析出車道標線，求得車輛相對於車道中心線之偏離程度，並由車道維持控制器依據車道偏移之程度，藉由轉向系統之控制，修改車輛的行徑軌跡，使車輛維持於車道中心區域行駛。為了提升影像辨識的準確性與可靠性，在辨識車道與判斷過程中，本文以二次曲線作為道路模型，並採用車道辨識與偏移偵測方法，求得道路的參數，供車道維持控制系統之輸入使用。而車道維持之控制上，本文以二維自由度車輛運動模型，配合具電動輔助轉向系統以及影像辨識道路模型之動態關係式，經由狀態空間之反饋控制器設計，達成車道維持系統之車道辨識與自動轉向控制功能實現。

關鍵詞：主動安全技術、車道偏移偵測、車道維持

1. 前言

隨著車輛科技日新月異，社會大眾對行車安全之期待與需求亦日益增加，許多先進國家與國際車廠皆積極將先進安全科技應用於汽車上，以降低交通事故之傷亡率。然而，根據 WHO 調查指出，每十萬次之車禍死亡率統計，台灣即高達 20.8 人，相對比美國 14.6 人與日本的 7 人，都高出很多，而交通事故的發生平均每年約導致超過 2700 人死亡，受傷超過 180,000 人，估計每年損失金額高達 300 億元，明顯高出汽車工業先進國家許多。有鑑於此，國內應開發搭載高科技含量的先進安全系統來降低居高不下的交通事故發生率。

目前車輛之先進安全技術主要整合電子、通訊及感測等先進技術，協助駕駛者對於路況環境的變化作即時感知、判斷與控制上的反應，以提高行車安全。許多先進國家都將先進安全車輛的開發列入政府政策，日本運輸省自從 1991 年開始在境內全面推動先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)計畫之後，每年降低近 40% 事故死傷率，而美國運輸部於 1992 年推行的智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)亦減少了交通事故死亡率達 15%。這些先進主動安全技術之開發中，車用影像安全技術為 ASV 之主要技術重點項目，而圖 1 所示之使用攝影機實現車道偏移偵測/警示技術(Lane Departure Warning, LDW)，搭配可偵測前方車距的前方碰撞警示技術(Forward Collision Warning, FCW)是目前車用影像安全系統的重要應用之一[1]-[5]。

而本文所研究之車道維持系統，主要可分成具有駕駛輔助功能之車道偏移偵測，以及能主動控制方向盤轉向，將車輛控制於車道中心區域內行駛的車道維持控制功能，主要防止駕駛者因不小心或者無意識的情形下，發生不當的車道偏離行為，並且藉由系統的被動提示以及主動轉向控制來輔助駕駛者，達到降低車禍發生機率之目的。

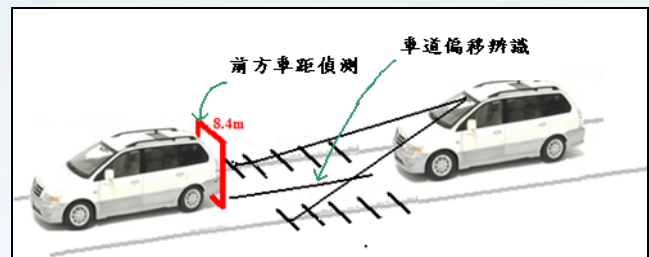


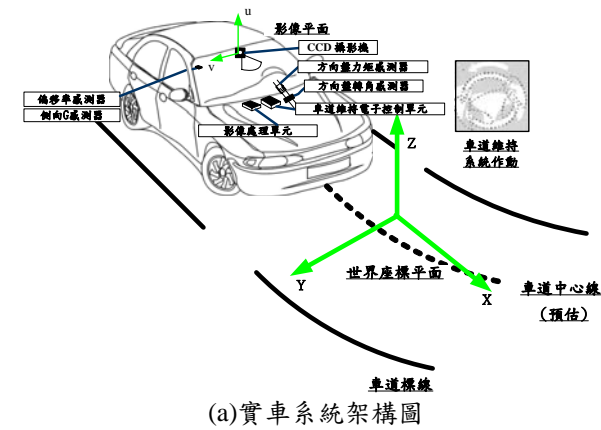
圖 1 車用影像安全應用(車道偏移與前方車距偵測)

2. 系統架構

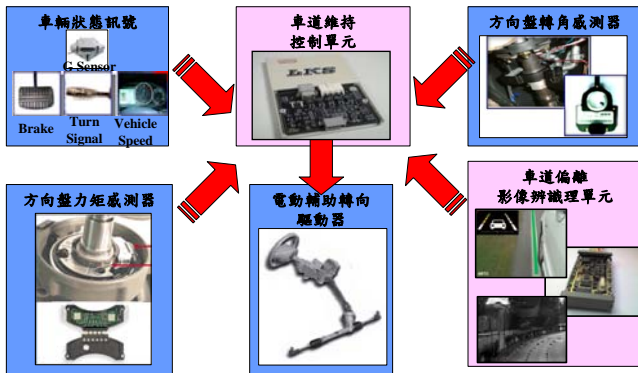
本研究之車道維持系統架構如圖 2 所示，可分為車道偏移偵測與車道維持控制兩個部分。圖 2(a)為實車系統架構之部分，其前端主要利用位於車內後視鏡與擋風玻璃後方的 CCD 攝影機擷取前方道路影像，經由車道影像辨識與攝影機影像平面座標與世界座標轉換，以及車道線影像處理演算法，對車輛於車道中心線之偏離程度以及道路之曲率特性進行估算，進而獲得車輛與車道之相對位置關係，並且將相關估算結果傳送到車道維持控制器(Lane Keeping ECU)。

由圖 2(b)可獲知，本中心所研製的車道維持控制器將參考上述之車道偏離程度、駕駛者輸入力矩以及車輛狀態等參數，對電動輔助轉向(Electric Power Steering, EPS)單元進行轉向輔助力矩控制，以修正車輛行進軌跡達到車道維持控制之效果。為了判斷駕駛者是否為有意圖或者無意間偏離出原本行駛車道之行為，本文亦以車輛現有之架構為基礎，加入方向燈撥桿、煞車、轉角感測器與轉矩感測器等訊號，做為車道維持輔助系統作動與除能時機之依據，使駕駛者必須採取閃避危險行為或者由偵測到駕駛者強制轉向力矩時，必須優先將轉向系統之操控權交還駕駛者[6]-[8]，這種情況可由煞車訊號與方向盤轉矩感測器的偵測結果進行判斷；若駕駛者原本就有意識的在操控車輛或意圖變換車道時，在此安全無虞之情況之下，車道維持系統可以不必作動，控制器可以根據方向盤力矩與轉角頻率之分佈情形，以及方向燈撥桿訊號來偵測判斷相對應之駕駛行為。此外，車道維持系統為了可靠性、安全性與舒適性之考量，在設計上需要將車速訊號與側向 G 訊號等車輛狀態訊號都納入考慮，

成為系統作動之保護機制[9][10]。



(a)實車系統架構圖



(b)硬體系統架構圖

圖 2 車道維持系統架構圖

3. 影像辨識與控制演算法設計

3.1 車道偏離偵測單元設計

為了使車道維持系統獲知目前本車偏離車道之情況，以做為抑制車道偏移之控制依據，本系統之車道偏離偵測架構如圖 3 所示，影像擷取單元使用 CCD 攝影機進行車道偏移程度之辨識判斷，車道偏離警示單元系統乃利用攝像元件偵測車道標線之方式，判斷車輛是否偏離車道線，當車輛有偏離出車道邊緣的情況時，系統就會以聲音(蜂鳴器)、影像燈光(警示 LED 燈號)或者振動(方向盤)等方式向駕駛者提出警告，提醒駕駛者即時將車體修正於原來行駛的車道內，並將量化後的車體偏移程度，經類比/數位轉換後，傳送至微處理器以進行車道維持之控制。

車輛前擋風玻璃所裝置之攝影機，其影像座標與空間座標之關係如圖 4 所示，式(1)為根據相機之像素參數，對應到世界座標轉換的數學模型，藉由圖 2 中輸入之影像上每個 Row 所獲得之 u 與 v 座標點疊代入式(1)，以求得可以描述任意道路特徵的二次曲線 k , m 與 b 值，進而獲得本車的橫向偏移量、道路的曲率以及行進路線斜率等參數。式(2)表示將影像座標，經由疊代擬合方法，轉換成世界座標之道路二次曲線方程式。

$$u = \frac{ke_u e_v H}{e_v m_\theta - v} + me_u + \frac{be_u}{He_v} (e_v m_\theta - v) \quad (1)$$

$$y_d = k \cdot x^2 + m \cdot x + b \quad (2)$$

$$\varepsilon_d = 2 \cdot k \cdot x + m \quad (3)$$

$$\rho = \frac{2 \cdot k}{(1 + (2 \cdot k \cdot x + m)^2)^{3/2}} \quad (4)$$

以下為各參數所代表之意義：

m_θ ：為相機視角參數

H ：攝影像安裝高度

e_u 與 e_v ：相機之每像素長度以及寬度尺寸

y_d ：車道偏移量(車輛中心點與車道中心點)

ε_d ：行進路線斜率

ρ ：道路曲率

以影像處理估算出道路模型，進而獲得本車相對於道路的橫向偏移量、道路的曲率以及行進路線斜率等參數，這些參數之定義說明如下：

(a)車體偏移量(Host Vehicle Deviation from the Lane Center)利用影像處理獲得車道中心線與車體中心線的偏移距離，並經由道路寬度(Lane Width)與車體寬度(Car Width)推算出前車輪與車道邊緣的距離，道路趨近直線時預估的準確度會愈高。

(b)車道曲率 (Lane Curvature)

藉由二次曲線近似法計算出道路曲率，車道曲率即為轉彎半徑之倒數，車道曲率可以作為 LDWS 與 LKS 的轉向參數。

(c)行進路線斜率(Heading Slope)

行進路線斜率為車頭行進方向與道路切線的夾角，以斜率的方式表示，當行駛在彎道或者車身不與車道線平行時，可以配合車道曲率與車體偏移量推算出車體與彎道的相對位置，有利於實際車道偏移量之推算。

整體影像辨識演算法主要程序可分為車道線辨識、座標轉換、道路參數估測與即時校正等部分，因為車道線辨識結果呈現於影像平面上，本研究利用式(1)~式(3)座標轉換處理，將影像平面之車道影像辨識結果，轉換成世界座標之道路曲線特徵參數。

由於車道辨識與偏移偵測的結果，會直接影響到車道維持輔助系統的控制性能，因此車道線的辨識結果必須有良好的穩定性與可靠性，才能做為主動安全系統的控制輸入，而式(4)乃是由上述之公式所獲得的道路曲率 ρ ，可做为車道維持系統主要控制依據。

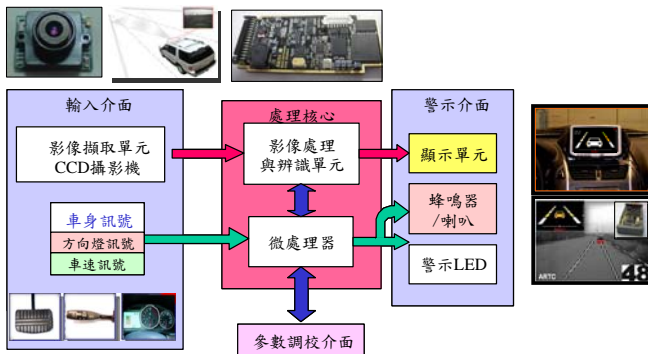


圖 3 車道偏離偵測單元架構

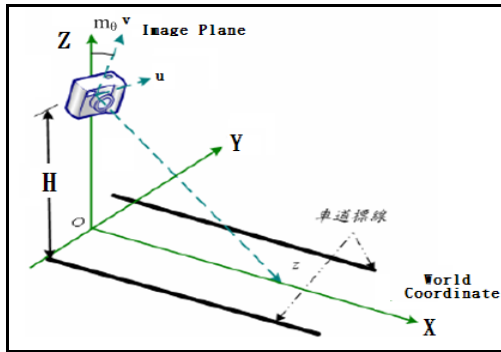


圖 4 座標系統關係圖



圖 5 各種天候與路況之車道偏移偵測結果

車道偏離偵測系統於市區、彎道、一般道路與惡劣天候之作動情形如圖 5 所示，根據總體的統計結果顯示，車道偏離警示系統在正常道路與天候環境之下都能夠有 98% 以上之辨識率，提供給車道維持系統一個穩定可靠的前端輸入訊號。

3.2 車道維持控制單元設計

車道維持控制器的設計首先必須考慮車輛運動之響應特性，而與車道維持系統控制相關之模型主要有：車輛運動模型、轉向系統模型以及道路模型，因此，必須先推導出三者之關聯性，並且以實車量測獲得之具代表性之響應特性，決定控制系統之控制參數。

車道維持系統在控制上與車輛的 Pitch Motion 以及 Roll Motion 關聯性較低，而為了簡化車輛運動方程式推導之複雜度，以分析車輛之二維平面運動特性，

本研究採用圖 6 所示之自行車模型(2 DOF Bicycle Model)，此模型的建立能夠描述車輛的偏擺運動、側向運動和轉向運動的關係。主要以前輪轉向角(δ)作為輸入，並對車輛之偏擺運動(Yaw Motion)與側向偏擺運動(Lateral Motion)關係進行觀察分析。根據車輛運動力學的推導，車輛偏擺運動與側向偏移運動方程式如(5)式以及(6)式所示，式(5)中由前輪所產生的旋轉向心力的反作用力為等號右邊之第 1 項，此作用力方向恰與前輪的轉向方向相反，因此會減少前輪實際的轉向轉度。

$$I\ddot{\psi} = I_f C_f (\delta - \frac{l_f}{V} \dot{\psi} - \beta) - I_r C_r (\frac{l_r}{V} \dot{\psi} - \beta) \quad (5)$$

$$m\ddot{y}_c = mV(\dot{\psi} + \dot{\beta}) - C_r (\frac{l_r}{V} \dot{\psi} - \beta) - C_f (\frac{l_f}{V} \dot{\psi} - \beta) \quad (6)$$

本研究之轉向系統模型如圖 7 所示，此模型是假設轉向系統有足夠的勁度(Stiffness)，方向盤轉向角與前輪轉向角一直保持著 N 的轉向比值關係。在式(7)的數學模型中 T_d 代表駕駛者輸入力矩以及方向盤的非線性擾動， θ 為方向盤轉角， ψ 為車頭相對於車道中心線之偏擺角度， I_s 為轉向系統慣性力矩， C_s 為轉向系統之阻尼因素， K_T 定義為馬達的力矩常數， N_a 是實車轉向系統之齒輪比，因此正比於馬達驅動電流的轉向力矩($N_a K_T I_i$)能被施加至轉向軸，輔助駕駛者將車輛控制於應當行駛之車道內。方向盤施力與前輪轉角之運動方程式如式(7)所示。

$$I_s \ddot{\theta} + C_s \dot{\theta} = N_a K_T i - \xi K_p C_f (\frac{1}{N} \theta - \frac{l_f}{V} \dot{\psi} - \beta) + T_d \quad (7)$$

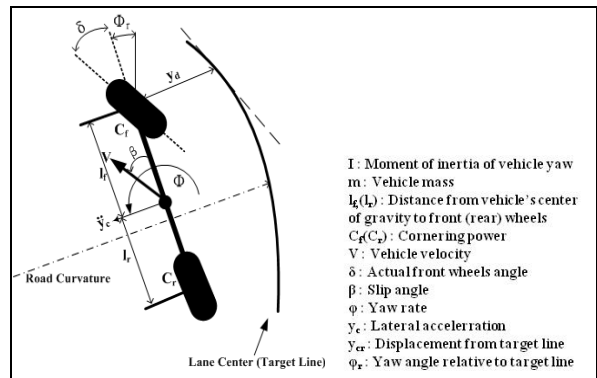


圖 6 車身二維 Bicycle 動態模型

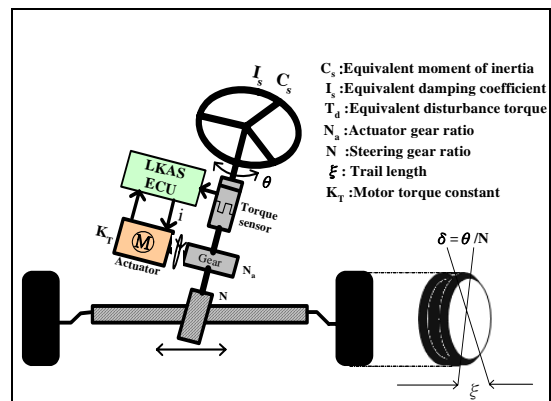


圖 7 車輛轉向系統模型

經由上述完成轉向系統、車輛偏擺運動以及側向偏移運動之模型建立後，我們可以歸納出如圖 8 所示，以目標路徑追蹤(車道中心線)控制為導向之車輛運動模型，此模型主要描述車輛轉向系統、二維平面運動與道路之關聯性，圖中的 $a_1 \sim a_8$ 即代表車輛的阻尼、慣性、重心、前後輪轉向力以及質量等等參數與係數組合，這些參數必須要由實車量測以獲得相關之動態響應。

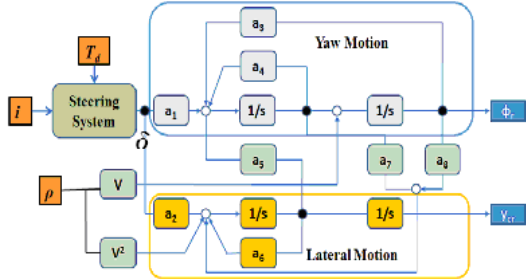


圖 8 以目標路徑追蹤所建構之車輛運動模型

當車輛以固定的縱向速度 V 於迴轉半徑為 R 的道路上行駛，於 R 很大的情況下，目標的車輛方位角 (ψ_{des}) 之變化率可定義為 $\dot{\psi}_{des} = \rho V$ 。整合上述之轉向系統、車輛運動與道路特性之模型關係，並且由式(5)~式(7)進行車輛運動狀態方程式之推導，車輛運動之狀態空間模型可以寫成：

$$\dot{x}_v = Ax_v + B_1 u + P[T_d \ \rho] \quad (8)$$

$$x_v = [y \ \dot{y} \ \psi \ \dot{\psi} \ \theta \ \dot{\theta}]^T, \quad u = [i]$$

A 與 B_1 為車輛動態以及轉向系統之特性係數。

車道維持系統的控制器設計必須參考車輛相對於車道中心線上位置與角度的相對誤差，以建立起的車輛與道路關聯之動態模型。因此所建立的橫向模型必須稍作修正，使模型的狀態變數成為如下所示之誤差變數：

e_1 : 車輛重心與車道中心線的距離誤差

e_2 : 車輛與車道中心線的方位誤差(orientation error)

車輛於迴轉半徑為 R 的路徑上所需的橫向加速度為

$$\rho V^2 = V \dot{\psi}_{des} \quad (9)$$

因此我們可以將 \dot{e}_1, e_2 定義如下：

$$\dot{e}_1 = (\ddot{y} + V_x \dot{\psi}) - \frac{V_x^2}{R} = \ddot{y} + V_x (\dot{\psi} - \dot{\psi}_{des}) \quad (10)$$

$$e_2 = \psi - \psi_{des} \quad (11)$$

若車速處於變動之條件下，此模型會是非線性且時變性的系統，使得控制器的設計變成困難且難以設

計。因此本研究之車道維持系統將先建立於車速為固定不變(Constant Speed)、平順的駕駛者輸入力矩以及馬達電流與實轉向角接近線性的動態模型上，設計出線性化的控制器。由上面的假設以及前述的狀態空間表示式，我們可得知車輛與道路誤差之橫向動態模型可表示為：

$$\dot{x}_e = Ax_e + B_1 u + B_2 \dot{\psi}_{des} \quad (12)$$

其中 $x_e = [e_1 \ \dot{e}_1 \ e_2 \ \dot{e}_2]^T$ ，

$u = \delta$ (δ 為實轉向角角度)

e_1 : 重心位置橫向位移的誤差

e_2 : 方位角的誤差

$\dot{\psi}_{des}$: 車道曲率與車行速度關係所求得的

方位角變化率

而式(12)中的 B_1 與 B_2 為車輛相關參數矩陣，因為各車輛設計之差異會有不同，必須經由儀器的量測以得到實際參數。一旦獲得系統的數學模型以及狀態方程式後，就可以應用控制理論的各種分析方法，去分析控制系統的性能，並依此設計所需的控制器，期望系統達到所需的各種規格。若 (A, B_1) 為可控制性的，則狀態空間控制器可以利用極點放置的方法，將系統的特徵值(根)放置於設計者所需要的地方。本研究採用如圖 9 所示之狀態回授控制器設計方法，將系統輸入設定為：

$$\delta = -Kx_e = -k_1 e_1 - k_2 \dot{e}_1 - k_3 e_2 - k_4 \dot{e}_2 \quad (13)$$

其中 $e_3 = \dot{e}_1$; $e_4 = \dot{e}_2$

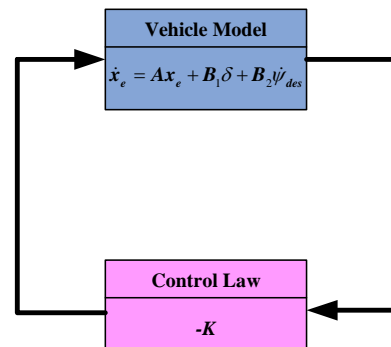


圖 9 狀態回授設計

利用阿克曼公式(Ackerman Formula)，閉迴路系統 $A-B_1K$ 的極點(特徵點)可置於任何位置，且狀態空間之閉迴路控制系統的表示式為：

$$\dot{x} = (A - B_1K)x + B_2\dot{\psi}_{des} \quad (14)$$

對一個單輸入單輸出的系統，阿克曼公式可幫助我們求得回饋處的矩陣 K 值，其值可由 MATLAB 指令幫我們安置閉迴路系統的極點(特徵值)，設置一個回授矩陣 K ，使得矩陣 $A - B_1K$ 的極點安置於向量 P 所設定的地方。將極點放置於 $[-5 - 3j \quad -5 + 3j \quad -7 \quad -10]^T$ ，則此時的矩陣 $K = [0.1568 \quad 0.0339 \quad 1.262 \quad 0.1615]$ 。如此一來，閉迴路系統為一穩定系統，不論一開始的誤差值(位置和方位角)為多少，系統誤差值均可收斂為 0，亦即系統可控制車輛的方向角與橫向位置於車道中心線上行駛。

4. 系統模擬驗證

本文使用 MATLAB/SIMULINK 程式針對上述所設計之車道維持閉迴路系統進行模擬驗證。當車輛行駛於直線車道，且車速固定為 30m/s(108Km/Hr)時，若車輛初始之橫向誤差為 30cm 且方位角誤差為 0 度，則其使用 SIMULINK 之模擬結果如圖 10 所示，車輛的橫向誤差與方向角誤差經過 1.5 秒之後，兩誤差值均逐漸收斂為 0，代表系統可經由控制器的轉向控制讓車輛沿著車道中心線來行駛。

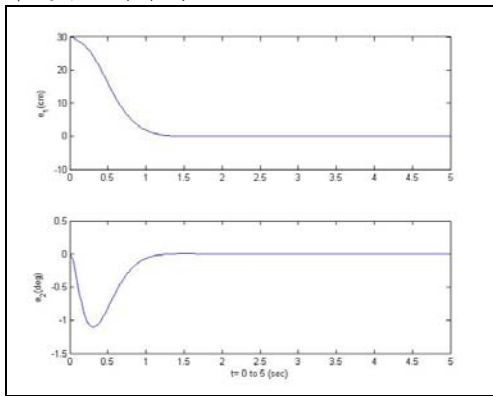


圖 10 車道維持控制下的誤差曲線
(誤差 30cm，方位角誤差 0 度)

在同樣的條件下，若車輛初始的橫向誤差為 30cm 且方位角誤差為 -20 度，則其模擬結果如圖 11 所示：

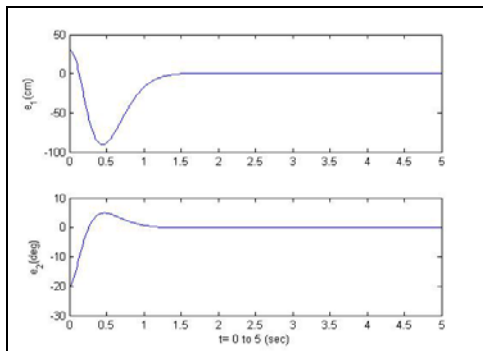


圖 11 車道維持控制下的誤差曲線
(誤差 30cm，方位角誤差 -20 度)

在同時具有橫向誤差以及方向角誤差的情況下，系統仍然能夠藉由穩定的回授控制器，在 1.5 秒之內經

由自動轉向的控制，使車輛保持於車道中心線上行駛。

圖 12 為建構於車輛與道路模型上的車道維持控制模擬，在駕駛者不干涉轉向系統的條件下，讓車道維持系統作動並進行主動轉向控制，由圖 13 中車輛的行進軌跡可以清楚的看見，車輛將穩定地被控制於車道線內行駛；但相對地，若同樣的偏移條件下讓車道維持系統除能，則其結果會如同圖 14 所示，車輛在行駛不久之後就會偏離車道邊緣，不過，根據模擬結果可知在偏離車道邊緣之前，系統會即時提出即將偏離車道之警示聲響，以提醒駕駛者應當掌控方向盤，以避免危險發生。

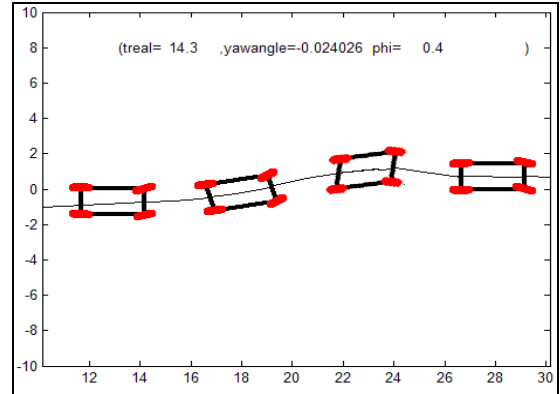


圖 12 車道維持系統車道中線追蹤控制
(V=100Km/Hr)

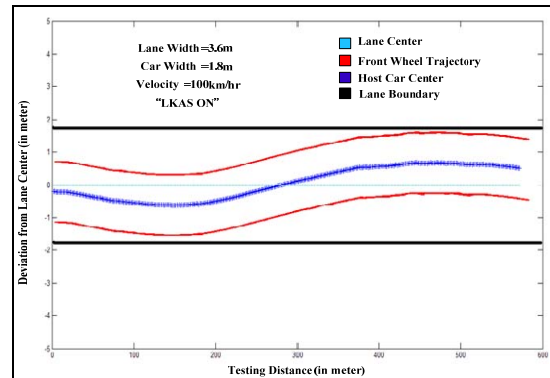


圖 13 車道偏離與車道維持系統之修正模擬結果
(車速 V=100Km/Hr)

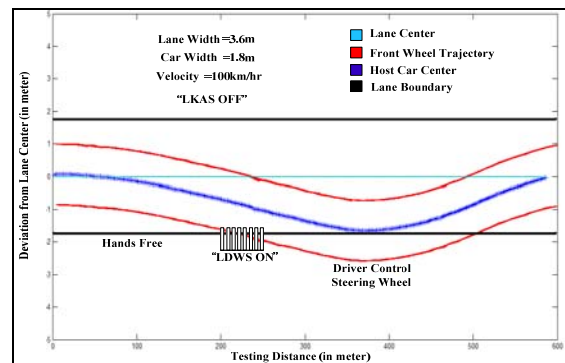


圖 14 車道偏離於無車道維持系統之模擬結果
(車速 V=100Km/Hr)

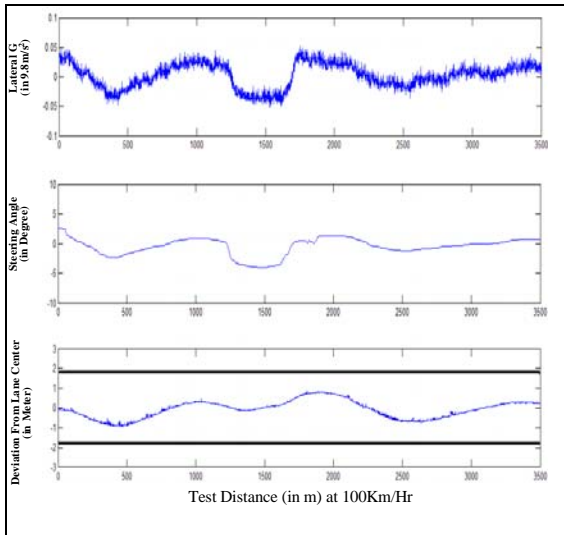


圖 15 LKS 車身動態控制(於直線車道)

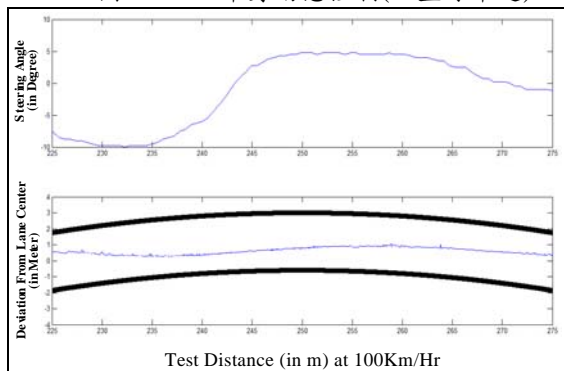


圖 16 LKS 車身動態控制(於彎道)

5. 實驗結果

本系統已於高速公路、快速道路與市區等道路情境進行實車搭載測試(On-Vehicle Testing)，測試條件包含快速道路、高速公路測試以及 ARTC 所屬之試車場(Proving Ground Testing)測試，圖 15 為在總長度 3.5 公里之直線測試道上，以 100Km/Hr 之時速行駛下之系統模擬結果，如同前述之模擬結果，車輛能夠經由設計的轉向輔助控制，將車輛控制於車道線內行駛，而車輛在車道內的低擺盪頻率以及側向加速度均低於 0.05G，代表車道維持控制有良好之穩定性。

圖 16 為車道維持系統在曲率半徑為 1/250(m)之高速周回路測試，並且以時速 100Km/Hr 行駛之測試結果，圖中可以獲知，系統仍可將車輛控制於車道線內行駛，但是 5 秒後的車輛擺盪與車輛側向加速度會呈現明顯的增加。因此，為了要避免車輛的側向 G 力過大，導致車內乘員有不適感，若車輛側向 G 力如圖 17 所示，超過 0.2G 時，系統就會緩慢的被解除，以維持車輛之穩定性。

本研究所建立之車道維持系統如圖 18 所示，同時亦具備有車道偏移警示之功能，系統功能驗證在中心之滑行測試道與高速週回路進行測試，以驗證系統在直線車道以及彎道之車道辨識與車道維持控制之效能。

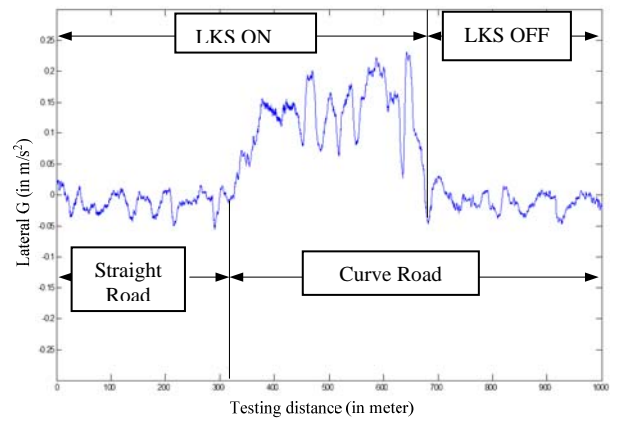


圖 17 側向 G 力與車道維持系統作動關係



圖 18 ARTC 車道維持系統於 ASV 實驗車

為了判斷駕駛者是否為有意圖或者無意間偏離出原本行駛車道之行為，本文亦以車輛現有之架構為基礎，歸納出表 1 所列之數項判斷方式，做為車道維持系統除能時機之依據。在行車的過程中，車道維持控制器若感受到駕駛者必須採取閃避危險行為或者由偵測到駕駛者強制轉向力矩時，必須優先將轉向系統之操控權交還駕駛者，這種情況可由煞車訊號與方向盤轉矩感測器的偵測結果進行判斷；若駕駛者原本就有意識的在操控車輛或意圖變換車道時，在此安全無虞之情況之下，車道維持系統可以不必作動，控制器可以根據方向盤力矩與轉角頻率之分佈情形，以及方向燈撥桿訊號來偵測判斷相對應之駕駛行為。此外，車道維持系統為了可靠性、安全性與舒適性之考量，在設計上需要將車速訊號與側向 G 訊號等車輛狀態訊號都納入考慮，以免車道維持系統在路況複雜的市區內作動，或者因為系統作動時的側向力過大而造成翻車的危險。

表1 車道維持輔助系統除能條件

LKS 除能條件	偵測訊號
非快速公路	車速訊號
緊急煞車	煞車踏板訊號
車道變換	左/右方向燈
強制轉向	駕駛力矩(方向盤力矩感測器)
駕駛者介入駕駛	力矩/轉向頻率分佈
過度轉向	側向G感測器

6. 結論

車道維持系統因為要兼顧到系統安全性以及與駕駛者之協調性，要達到商品化的困難度較高，尤其要將影像處理辨識技術應用於車道維持這類的主動安全系統，對於影像演算法的設計開發人員是個困難的挑戰，因為其必須解決道路複雜的環境干擾並且考慮到系統之可靠度設計。然而，ARTC 車道偏移偵測之辨識率於正常的道路與天候環境下，辨識率已可達 98% 以上，足以提供車道維持控制單元一個可靠及穩定的前端輸入。

而在後端車道維持控制之應用上，從軟體模擬以及實車測試驗證結果可得知，本研究所提出之車道維持控制策略具有良好的車道維持效果，並且於正常的車速範圍內(<120Km/Hr)，可作用於曲率半徑為 250m 以上之高速道路。本系統也可以在動作的過程中，參考駕駛者以及車輛的狀態，自動判斷駕駛者是否為有意圖進行車道變換，以做為車道維持系統啟動或者除能的依據。在失效安全模式的設計上，本文已使用側向 G 力的偵測，來決定車道維持系統是否對於車身產生過度控制，若超過預設的側向 G 力值(<0.2G)時，系統即會逐漸除能，將方向盤之控制權歸還給駕駛者。在未來的研究方向中，本單位也會再增進系統之失效安全保護設計，例如：感測電動輔助轉向馬達之電流及溫度、以提供輔助力取代主動方向盤控制之邏輯，以及利用本中心之試車場與實驗室群進行完整的實車測試驗證，讓車道維持系統將來能被應用於國內之市售車。

7. 致謝

本研究承蒙經濟部予於補助(計畫編號：97-EC-17-A-16-R7-0789)，得以完成此研究，在此獻上最誠摯的謝意。

8. 參考文獻

- [1] M. Bertozzi, A. Broggi, M. Cellario, A. Fascioli, P. Lombardi, and M. Porta, "Artificial Vision in Road Vehicles", in Proc. IEEE, vol. 90, July 2002.
- [2] A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, C. Guarino Lo Bianco, and A. Piazzini, "Visual Perception of Obstacles and Vehicles for Platooning," IEEE Trans. on Intelligent Transportation systems, vol. 1, pp. 164-176, Sept. 2000.
- [3] Suzuki A., Yasui N., Kaneko M., "Lane Recognition System for Guiding of Autonomous Vehicle", Intelligent Vehicle '92, pp. 196-201, Sept. 2000.
- [4] Sun Zehang and Bebis George, "On-road Vehicle Detection Using Gabor Filters and Support Vector Machines", International Conference Digital Signal Processing, July 2002.
- [5] Consumer Products, Mobileye's Advance Warning System (AWS), <http://mobileye-vision.com/default.asp?PageID=6>.
- [6] J. pohl and J. Ekmark, "Development of a Haptic Intervention 2003-01-0282, Society of Automotive Engineers.
- [7] H. Mouri and H. Furusho, "Automatic Path Tracking Control Using Quadratic Control Theory," IEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 1997.
- [8] H. Furusho and H. Mouri, "Research on Automated Lane Tracking Using Linear Quadratic Control: Control Procedure for a Curved Path," JSAE Review, Vol. 20, pp. 325-329, 1999.
- [9] K. Naab and G. Reichart, "Driver Assistance Systems for Lateral and Longitudinal Vehicle Guidance - Heading Control and Active Cruise Support", Paper No 78, AVEC 94, 1994.
- [10] D. Balzer, "Safety Enhancement by Lane Observation of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), VDA, Technical Congress 2002, Germany, 2002.