

# 以 DSP 晶片實現視覺辨識之車道偏移警示系統

蘇一峰、劉景富

財團法人車輛研究測試中心

## 摘要

本研究之目標為發展具有車道偏離偵測之先進駕駛輔助系統。系統主要架構為使用 CCD/CMOS 攝影機擷取前方道路影像，並結合影像處理單元內之解析出前方車道標線，使用影像偵測、物件追蹤及動態興趣區間 (Dynamic Range of Interesting) 搜尋等方法，由 Camera 輸入影像辨識出車道位置以及本車在車道中所在位置，當駕駛者不經意偏離出車道，能即時將警示聲光等輸出，即時向駕駛者提出警示，以避免危險發生。實驗結果顯示，本文所使用的 TI-DM6437 DSP 晶片搭配本文所提演算法，處理速度可達到 20fps，能夠即時辨識出車道標線並適時提出警示，整體辨識率平均為 94% 以上，符合先進駕駛輔助系統即時性、可靠性與準確性的要求。

**關鍵詞：**標線偵測、車道偏離、動態興趣區間。

## Abstract

The objective of this research is to develop an advanced driver assistance system with lane departure warning functions. The main input of this system is a CMOS camera, which is used to acquire roadway image in front of vehicle. In order to extract lane markings from roadway image, the image processing methods such as coordinate systems transformation, object detection and object tracking are applied to recognize the lane boundaries. In lane marking recognition, gray scale statistics, dynamic range of interesting (ROI) and featured-based approaches are used to detect lane boundaries successfully. Besides, by means of the roadway physical estimation models, the circumstances of lane departure can be detected. The experimental results indicate that the hardware (TI-DM6437 DSP) and the implemented algorithm used in this research are able

to recognize the lane markings, and meet the requirements of real-time computing and high reliability.

**Keywords—**Marking Detection, Lane Departure, Dynamic Range of Interesting.

## 1 前言

近幾年來，隨著車輛安全意識的提升與科技的發展，許多先進國家均積極投入車輛安全直接相關的先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)領域，其中，影像安全科技應用的車輛安全系統整合方案，以提高車輛行駛安全性與降低交通事故的發生率。由於影像安全系統可以搭配影像演算法做不同的應用、且所擷取資料多元化、成本較低等優勢，提供車輛安全系統一個全新的技術發展方向，因此吸引許多的車廠及相關研究使用 CCD/CMOS 攝影機搭配各種的演算法來實現車用安全駕駛輔助系統。除了攝影機之外，車用影像安全系統最重要的是影像處理演算法，它是影像駕駛輔助系統的核心，決定了整各系統功能的靈敏性與強健度。

車道線辨識之技術在文獻上有各種不同的方式，並各自存有優缺點與其基本的假設[1]，有研究利用電腦視覺的方式將影像轉換到鳥瞰圖以移除透視效應，利用道路與標線寬度固定的特徵，在鳥瞰圖中偵測道路的標線[2][3]，缺點運算複雜無法及時運算。近期的研究將 Hough Transformation 與道路模型整合在一起[4]，可以偵測出直線的車道線，在有彎道的車道上辨識不佳；目前的研究，不是所使用的轉換公式極為複雜，導至運算費時，無法達到即時影像辨識之效果，就是辨識率不高；除此之外，基於道路平坦的假設也並非完全適用，以致在非平坦道路中偵測失敗的情形。

本研究提出的影像式駕駛輔助系統(Vision-Based Driver Assist System)，主要使用一個成本低、效能高

及體積小的 DSP 晶片，並藉由攝影機及本文所提的影像處理演算法，偵測車輛前方的道路標線，並計算本車在車道中的相對位置等資訊，以及時達到車道偏移警示(Lane Departure Warning, LDW)之功能，在駕駛者不經意偏離出車道，能適時給予警訊，使其得以即時修正車輛行駛方向或者提早進行煞車減速，以降低車禍發生的機率。

## 2 系統介紹 (System Overview)

本研究使用數位訊號處理器(Digital Image Processor)為運算核心，實現即時車道辨識影像處理模組，達到影像式駕駛輔助系統之功能。所採用的演算法可以避免道路影像的背景雜訊干擾，準確辨識出車道標線，同時利用動態興趣區間 (Dynamic Region Of Interest, ROI)的設定，增加影像處理速度，以及減少影像處理演算法之誤判率，使系統無論任何車道線型式皆能正常辨識以及任何種車輛的種類都能夠正常的作動。

### 2.1 系統架構 (System Structure)

本系統之硬體架構如圖 1 所示，主要的感測裝置為一部裝設在車內攝影機，其裝設位置位於車輛前擋風玻璃與車內後視鏡之間，並藉由此攝影機擷取到前方之路況影像，將影像傳送到裝設在車內之 TI-DM6437 數位訊號處理器(處理速度為 600MHz)進行影像處理，辨識出影像上的車道線，進一步計算目前車輛在車道上所處的位置並適時給予偏移的警告，以達到即時的車道偏移警示系統。當系統開機時需要對 TI-DM6437 晶片作 VPFE、VPBE、Resize 等硬體參數設定以及分配所需資源，然後使用 VPFE 控制 Video Decoder 擷取輸入影像，此時影像為 YUV 的混合信號，本文所提之演算法只需灰階影像即可，因此為了增加硬體的效能，使用 EDMA3 將 Y 信號從暫存 YUV 信號的記憶體搬移到存灰階影像的記憶體中。當執行完影像處理演算法(包含車道線辨識、車輛偏移位置及警示判斷)時，再由 VPBE(DSP IO)將影像處理後的影像輸出，或控制 DSP IO 輸出警示訊號。圖 2 為車道偏移警示系統的示意圖，利用攝影機拍到的道路影像即可利用本文所提的演算法辨識出道路上的車道線，並判斷車輛是否有壓到車道線，適時給予偏移的警告。

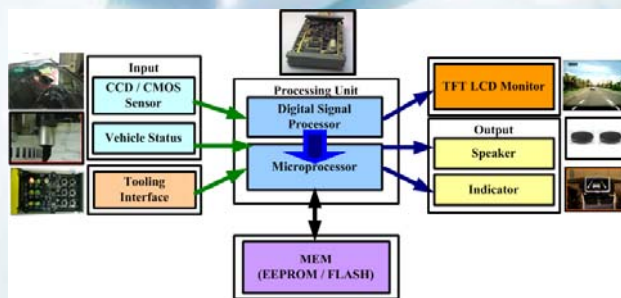


圖 1. 系統架構

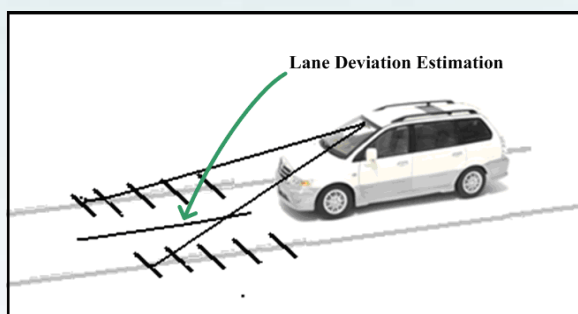


圖 2. 車道辨識示意圖

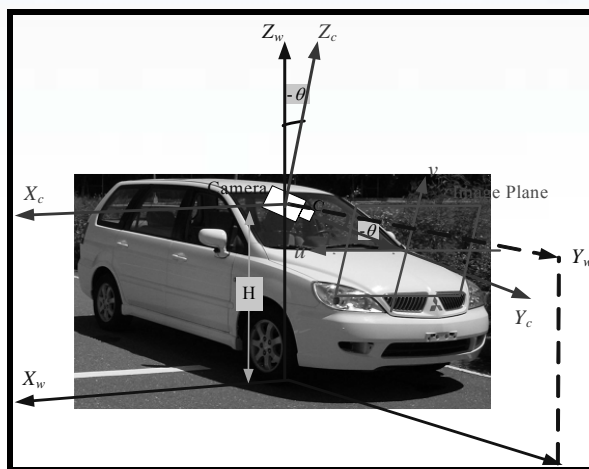


圖 3. 世界座標與影像平面座標關係圖

表 1. Parameters Definition

Name	Definition
u	影像平面之橫座標
v	影像平面之縱座標
H	攝影機架設高度
k, m, b	道路模型之參數
$m_0$	攝影機傾斜斜率
W	實際道路寬度
X, Y, Z	世界座標軸

## 2.2 座標轉換系統 (Coordinates Conversion System)

世界座標與影像平面座標之關係如圖 3 所示，由於車道線偵測必須在影像座標上進行，車道標線的影像處理結果之 2-D 資訊經由逆透視轉換，還原成 3-D 空間資訊，以獲得車道線在真實空間 (世界座標) 的位置，演算法中所需之參數定義如表 1 所示，由於車道偵測之影像辨識是於影像平面上進行，因此，我們可以將影像平面上的物體轉換成為式 (1)、式 (2) 與式 (3) 之實際物體之世界座標值，然後將這兩個座標轉換式代入道路幾何模型 (Road Geometry Model) 中，如式(8)所示，即可計算出系統模型之幾何特性，也是後續車道偏移估測之演算法主要依據。

$$X = \frac{uH}{e_v m_\theta - v} \cdot \frac{e_v}{e_u} \quad (1)$$

$$Y = \frac{e_v H}{e_v m_\theta - v} \quad (2)$$

$$Z = \frac{e_v m_\theta H}{e_v m_\theta - v} \quad (3)$$

## 2.3 車道線偵測 (Lane Detection)

車道線偵測之影像演算法流程，如圖 4 所示。首先擷取一張影像，並判斷前一張是否有車道線的存在，否則進入車道線偵測；有則作車道線追蹤。在車道線偵測部分，先從影像最底下的一列開始往上搜尋，找有同時偵測到左右車道線的列當作起始列。接著設定左右標線的偵測區域(ROI)，在 ROI 偵測範圍內找標線點並儲存其位置，重複上面步驟直到執行到最後一列，才進行車道模型的更新。由於在影像中的兩條車道線延伸會在遠端交於一點，稱之為消失點。因此可利用消失點的位置來判定車道辨識模組所偵測出來的車道線是否為實際的車道線，藉此增加判定的準確度；而車道線追蹤跟車道線偵測的處理步驟，最大差異在於 ROI 的設定條件，其餘步驟大同小異。相關演算法詳述如下：

### (1) 車道標線辨識 (Lane Mark Recognition)

要經由影像處理偵測出車輛是否已偏離出行駛之車道，首先必須在影像平面上辨識出車道標線之位置。標線偵測是利用道路本身的一些特徵來做影像辨識的依據，主要包括以下 4 種線索做為車道辨識方法。

#### (a) 高灰階值 (High-Grey Value)

在影像中不論是白線或是黃線相較於路面皆具有較大灰階值，因此可利用如圖 5 之灰階統計辨別出車道標門檻值來區別出車道線與路面之差別。

#### (b) 道路標線邊緣特性 (Edge Characteristic)

利用車道線與路面交接處有明顯的邊緣特性，計算並標記出可能之車道標線範圍。本文利用 Sobel 水平邊緣偵測，來偵測影像中每一列的標線邊緣，公式如下：

$$E(u, v) = \begin{cases} S * [I(u, v)] & \text{if } I(u, v) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

式中  $I(u, v)$  為原始影像； $E(u, v)$  為邊緣影像。 $S * [$

為 Sobel 運算，其水平遮罩為  $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ 。

#### (c) 道路標線寬度 (Range of Lane Mark Width)

實際道路標線的寬度，會經過一個固定比例的轉換，呈現在影像平面上，公式如式(5)所示，就算是標線品質非常不穩定的道路，仍然可以用一個判定間距來描述，以做為是否為車道線的判斷依據。

$$\Delta u = \Delta X_w \cdot \frac{e_v m_\theta - v}{H} \cdot \frac{e_u}{e_v} \quad (5)$$

式中  $\Delta u$  為影像中標線的寬度； $\Delta X_w$  為實際道路標線寬度。

#### (d) 連續性 (Continuity)

車道標線通常均是以線段對線 (Segment by Segment) 段接續的方式，出現於畫面的特定範圍，近而形成車道邊界 (Lane Boundary)，成為辨識是否為車道線之重要線索。

### (2) 道路幾何模型估測 (Road Geometry Estimation)

為了加快車道線的搜尋速度，本文利用車道模型，將基本偵測區域限定在如圖 6 所示之偵測範圍內。在這個基本偵測區域中，我們由下而上，將該偵測區域劃分為許多等分，以橫線段的方式進行車道線之搜尋，逐列以式 (6) 與式 (7) 定義興趣區間 (ROI):

$$ROI_n = [u_{i-1} - \lambda_n \cdot \text{Mark}_l, u_{i-1} + \lambda_n \cdot \text{Mark}_l] \quad (6)$$

$$ROI_d = [u_{i-1} - \lambda_d \cdot \text{Mark}_l, u_{i-1} + \lambda_d \cdot \text{Mark}_l] \quad (7)$$

然後在 ROI 偵測範圍內偵測車道標線，直到最

後一個區塊的最後一列，ROI 的搜尋結果如圖 7 所示，在利用影像處理辨識車道標線的情況下，良好的 ROI 設定可以減少雜訊正確找出標線外，亦可以減少影像處理器 (Image Processor) 運算時間，進而達到即時處理之效果。圖 8 為車道辨識之影像處理後結果，左線以及右線是所要偵測的結果，中線是我們依照左右兩線所預估出的車道中心線，可進行後續的車道偏移量與道路曲率的估算。

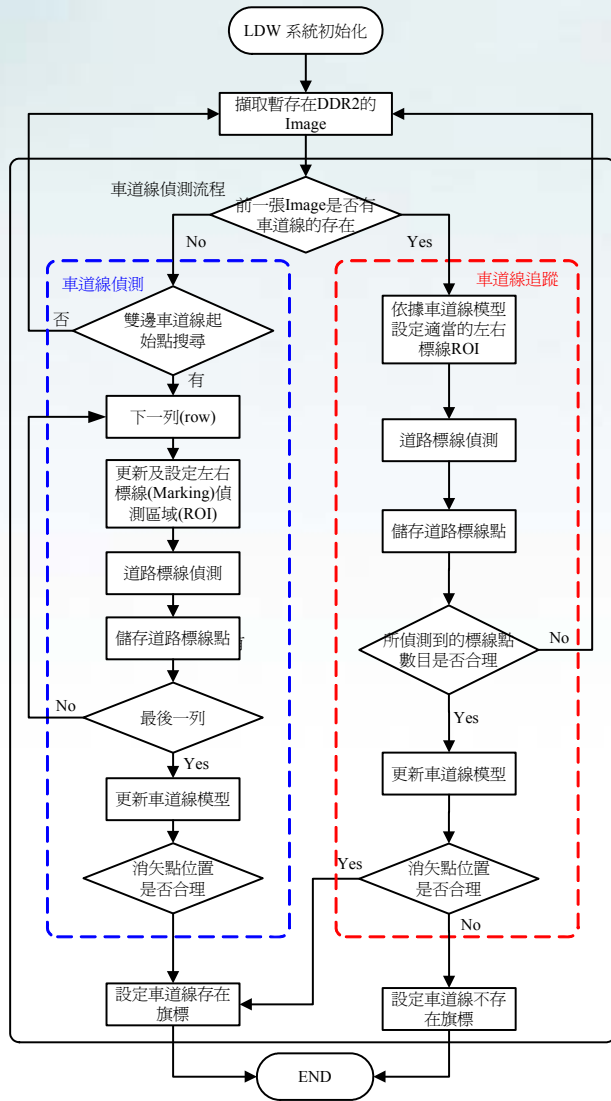


圖 4. 車道線偵測流程圖

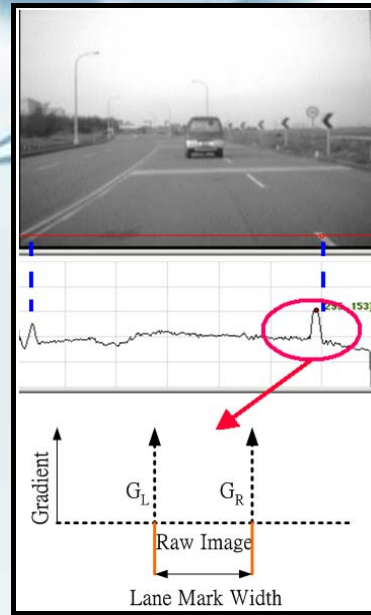


圖 5. 標線偵測

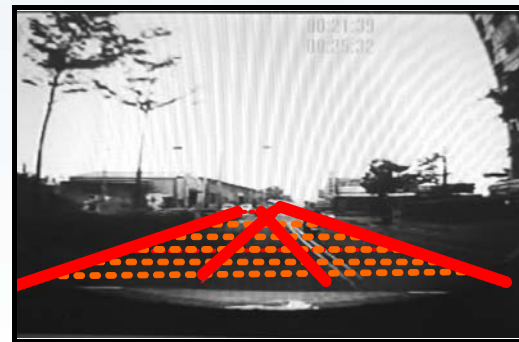


圖 6. 初始偵測區域及區塊

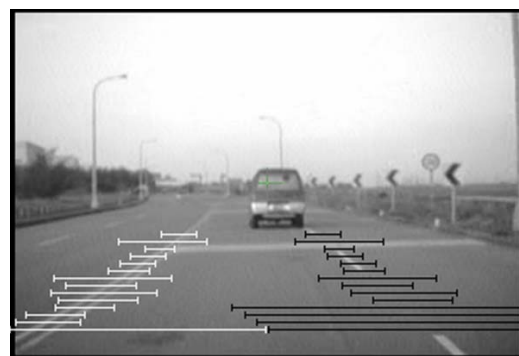


圖 7. ROI 在影像畫面中的設定

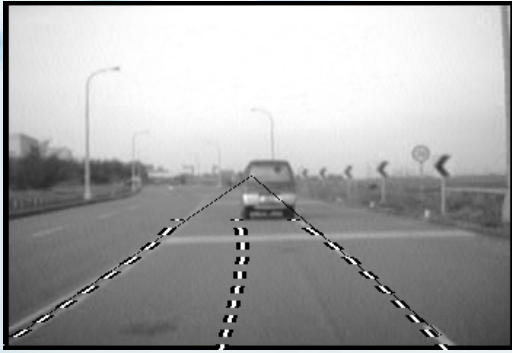


圖 8. 車道線擬合結果

一旦於影像平面中辨識出車道，即可以利用式(1)~式(3)之座標轉換式，並利用疊代之方法，去計算出一個如式(8)所示之車道線擬合方程式，完成車道線之建模(Lane Modeling)。

$$x = k \cdot y^2 + m \cdot y + b \quad (8)$$

### 2.3 車道偏移估測(Lane Departure Estimation)

藉由車道線模型可推算求得車道斜率，如式(9)所示。

$$\varepsilon_L = 2 \cdot k \cdot y + m \quad (9)$$

如圖 9 所示，利用車道斜率，可以進一步推算車輛橫向位移量  $\Delta X$  (即車輛距車道邊線距離)，如下所示：

$$\Delta X = \begin{cases} \frac{b_R}{2} - \left(\frac{b_V}{2} + X_L\right) \\ \frac{b_R}{2} - \left(\frac{b_V}{2} - X_L\right) \end{cases} \quad (10)$$

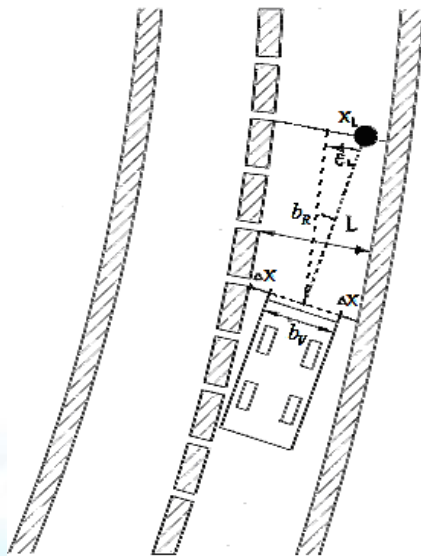


圖 9. 車道偏移估測示意圖

式(10)中  $X_L$  為參考點之車輛偏移量； $b_R$  為車道寬度(由影像平面中某一系列的影像車道寬度透過座標轉換得來，其車道在影像平面的寬度由車道線模型求得)； $b_V$  為車輛寬度。

## 3 系統驗證(System Verification)

### 3.1 實驗方法(Experimental Methods)

本系統已於高速公路、快速道路、市區及 ARTC 所屬之試車場(Proving Ground Testing)等道路進行實車搭載測試(On-Vehicle Testing)，測試環境包含日間、夜間、晴天、雨天，並根據不同型式的車道標線以及具曲率之彎道進行測試。測試之基本要求為攝影機之前方能見度範圍必須能達 100 公尺以上、測試車速介於 50Km/Hr~120Km/Hr 間、測試道路的曲率半徑不超過  $\frac{1}{250m}$ ，而且具有良好的車道標線。

圖 10 為本文針對車道辨識及車道偏移警示時機的測試方法。首先在實驗車的兩旁裝設可以照到車輛輪胎與地面交接處的攝影機，如圖 10 中，左上角與右上角的視窗所示，用來測試當車輛壓線是否可以及時警示。當車輛偏移時，除了聲音警示外還會在螢幕上秀出紅線表示偏移，如圖 10 右下角視窗所示。



圖 10. 車道偏移警示系統測試

### 3.2 實驗結果(Experimental Results)

圖 11 為車道線偵測的結果。圖 11 (a) 為市區道路的辨識結果，此狀況為一般正常的車道線，雖然隔壁車道有機車介入遮蔽住車道線，仍然能利用估算方式正確辨識車道線；圖 11 (b) 為晚上雨天的辨識結果，

雖然地面有反光干擾，本演算法仍然可以正確偵測到車道線。圖 11(c)為市區道路的辨識結果，當車子行經有標誌的路面時，不受到標字干擾，仍可成功偵測出車道線。圖 11 (d)為高速公路的辨識結果，當車子開在雙虛線的道路時，仍可成功偵測出車道線。圖 11 (a)、(b)與圖 11 (c)、(d)為使用不同攝影機鏡頭的結果，由圖可知辨識效果，不會因為攝影機的鏡頭而影響系統辨識率。因此只要在系統開機時修改部分參數，本演算即可適用於各種攝影機與鏡頭。

系統實車之測試結果根據表 2 顯示，在道路品質良好的快速道路 (Expressway) 或高速公路 (Highway) 車道偏移警示系統之平均辨識率達 96% 以上；而在市區道路 (Urban Road) 的測試結果顯示，車道偏移警示系統之辨識率至少有 90% 以上。另外，系統亦在 ARTC 試車場之高速周迴路 (High Speed Circuit) 與滑行測試道 (Coast-Down Test Track) 進行直線道與彎道之系統性能測試，測試結果顯示，在曲率  $\frac{1}{250m}$  之彎道上進行測試，車道辨識之準確率為 92%，而在滑行測試直線道上進行的測試，車道辨識之辨識率高達 97.6%。

經由前述的方法逐步進行實驗後，可證明本文所提出的車用前方影像安全系統具有很高的可靠度，在影像處理技術上之心得為：

- (1) 車道偏移辨識之影像處理速度可達 20fps 以上。
- (2) 在經市區複雜環境下測試，並以連續影像判斷是否經過路口，以加強本系統於車道線偵測的完善性。
- (3) 車道搜尋區域 ROI 的範圍設定是非常重要的，除了會影響處理時間還會影響辨識的好壞。
- (4) 在天候惡劣、道路品質不良以及曲率過高的道路上，會因為系統無法辨識車道線使準確性降低。

表 2. Availability of Lane recognition and Headway detection

Testing condition	Lane Recognition Availability	Remark
Expressway	96.2%	General Road Curvature < (1/600m)
Highway	96.6%	General Road Curvature < (1/600m)
Urban road1	95.6%	General Road Well marked lane
Urban road2	90.2%	General Road Poorly marked lane
High speed circuit with Curvature=(1/250m)	92%	ARTC Proving Ground
Well marked straight lane	97.6%	ARTC Proving Ground





(a) 車道線被遮蔽



(b) 晚上雨天



(c) 有標誌的車道



(d) 高速公路上的雙虛線

### 3 結論

本文搭配數種影像處理晶片以及特徵搜尋方法，成功辨識出左右兩邊之車道線，並且結合逆透視轉換、車道模型與車道偏移估測等演算法，實現具有車道偏離警示功能之影像式駕駛輔助系統，此系統經由 ARTC 試車場以及一般道路之測試結果得到以下幾點結論：

- (1) 本系統可於白晝、夜晚、晴天與雨天情況下正常使用。
- (2) 車道辨識不受車道線型式之影響，可辨識黃色、白色、實線、雙實線、虛線等不同型式之車道線。
- (3) 本系統目前可適用於國內所有高速公路與快速道路。
- (4) 本系統之處理速度可達到 20fps，符合車用影像安全系統之即時性需求。

此外，目前所開發之駕駛輔助系統，已考慮安裝便利性，讓使用者能夠藉由幾個按鍵的簡單設定，就能夠將系統成功安全於不同的車輛上。將來系統也會朝向自動參數校正的方向精進，自動偵測相機高度或角度等參數，並且加入自我診斷的功能，以符合駕駛輔助系統重視可靠度、即時性與便利安裝等需求。

圖 11. 車道線偵測結果

## 誌謝

感謝經濟部技術處 97 年度科技專案計畫 (97-EC-17-A-16-R7-0789) 支持此系統研究，協助車輛中心完成此計畫。

## 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] Yong Zhou, Rong Xu, Xiaofeng Hu and Qingtai Ye, "A robust lane detection and tracking method based on computer vision," 2006 IOP Publishing Ltd, vol. 7, pp. 62-81, February 2006
- [3] A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, C. Guarino Lo Bianco, and A. Piazzzi, "Visual Perception of Obstacles and Vehicles for Platooning," IEEE Trans. on Intelligent Transportation systems, vol. 1, pp. 164-176, Sept. 2000.
- [4] Suzuki A., Yasui N., Kaneko M., "Lane Recognition System for Guiding of Autonomous Vehicle", Intelligent Vehicle '92, pp. 196-201, Sept. 2000

