

可適用不同天候環境下之高速公路車道檢測技術

劉家驊

明志科技大學電機所控制組

e-mail :

M971F8005@mail2.mcut.edu.tw

吳長洲

明志科技大學電機系講師

e-mail :

cjwu@mail.mcut.edu.tw

林錫昭

明志科技大學電機所副教授

e-mail :

sjlin@mail.mcut.edu.tw

摘要

本研究係使用 CCD 拍攝道路影像，同時配合影像處理技術找出發生在各種天候環境下車輛行駛於高速公路時的車道標線。而實驗環境分別為：陰天、白天及隧道內三種。影像處理架構係運用 ROI 影像分割技術將欲處理的道路區域取出，並進行影像分析，再以局部臨界值法(Local Thresholding)求出環境閾值(Threshold)後加以判斷。行車的影像資訊是透過車內擋風玻璃下方的 CCD 所取得。若將捕捉到的連續影像透過影像轉換與邊緣偵測(Edge Detection)及霍夫轉換(Hough Transform)即可準確的找出在高速公路上不同天候環境下的車道標線，並且透過影像比對進行修正運算，以提高偵測車道的準確性。本研究並結合了車道變換時能提供警示訊號的裝置系統，可以確切的找出變換後的車道標線。

關鍵詞：ROI、局部臨界值法、閾值、邊緣偵測、霍夫轉換。

Abstract

This study used CCD to take the road image. We can find highway lane making in various environments by the technique of image processing. The experimental environments of this study are during the cloudy, day and in the tunnel. Image processing framework is the use of ROI image segmentation technology. It can catch the road area and then by use of Local Thresholding method to find environment threshold. Finally, threshold will be judged. The driving images are obtained from the camera installed under the car windshield. CCD is an available image sensor device, which can capture continuous images and then indentifies the highway lane marking accurately by the image transformation of Edge Detection and Hough Transform, and adjusts the calculation by image

comparison to improve the accuracy of driving lane detection. This study combines the warning signal when changing the driving lane, and then finds out the exact lane markings after the change of driving lane.

Keywords: Region of Interest、Local Thresholding、threshold、edge detection、Hough Transform

1. 前言

近年來智慧型車輛的應用與發展相當的快速，其研究方向不外乎自動駕駛、路徑追蹤、自主停車、目標搜索、閃避障礙物...等等。其中最受到廣泛討論及研究的則是自動駕駛。許多汽車產業也積極投入相關的研發工作。至於在學術上，智慧型車輛的議題也一直受到廣泛的討論及研究，其中以影像視覺技術做為自動駕駛輔助系統的應用最為熱門[1,2]。在影像視覺的學術研究方面主要是偏重於影像處理的層面，對於自動駕駛而言，安全至上是必備的先決條件之一。在高速行駛的環境中，除了要克服環境及氣候的影響[3-4]，還必須能準確的使車輛行駛於正確的道路上，這些都是相當不容易的事情。而外在不穩定因素包含：雨刷、隧道燈光、氣候狀態、車道標線破損、對向車道燈光...等等，這些都是容易使自動導航系統造成誤判而有安全上的顧慮。因此，如何增進系統的強健性就顯得格外重要。

除此之外，外在環境的考量也是自動駕駛系統中，相當重要的一部分。要如何使以上的不穩定因素轉變成穩定的因素，強健性的神經網路及模糊邏輯的函數資料庫就顯得相當重要。文獻[5,6,7]提出當車道線破損時，使用內部所儲存的硬體資料將可使車輛能行駛在正確的方向，當車輛實施保持穩定系統駕駛時，即可利用車道辨識系統所建議的方法找出左右邊界，並使車輛導正於車道中央。對於外在環境太過於不穩定的問題，文獻[8,9]提出行駛於高速公路上的車輛可以利用自動駕駛輔助

系統加以改善，因為高速公路上的車道及環境的變化並沒有平面道路來的複雜，所以要考量的環境及不穩定因素也相對的減少。

文獻[10]提出前車追撞及車道偏離警示系統可以防止意外的發生。由於行駛於高速公路上的駕駛者常因為長途駕駛而產生疲倦感，容易造成車禍及意外的發生。文獻[11,12]提出在高速公路夜間的車道辨識及車輛偵測以及對於高速公路上的彎道之影像偵測與自動駕駛之實現。文獻[13,14]介紹臨界值演算法可以用來選取適當的臨界閾值演算法。本研究基於道路環境的不同而訂定各種環境下的適應性閾值，同時將局部臨界值演算法應用於環境上的解析並且加快影像之處理速度，最後則以平均值法訂定三種環境的閾值，再利用霍夫轉換法有效的找出車道標線，並且加入車道變換的警示系統並順利定出變換後的車道標線。

系統流程圖可分成：鏡頭校正、擷取影像以及利用局部臨界值法訂定閾值再將影像二值化，同時將影像切割成環境 ROI 及道路 ROI 兩部分，並利用車道標線技術找出車道標線後，再與原影像進行影像結合。系統流程，如圖一所示。

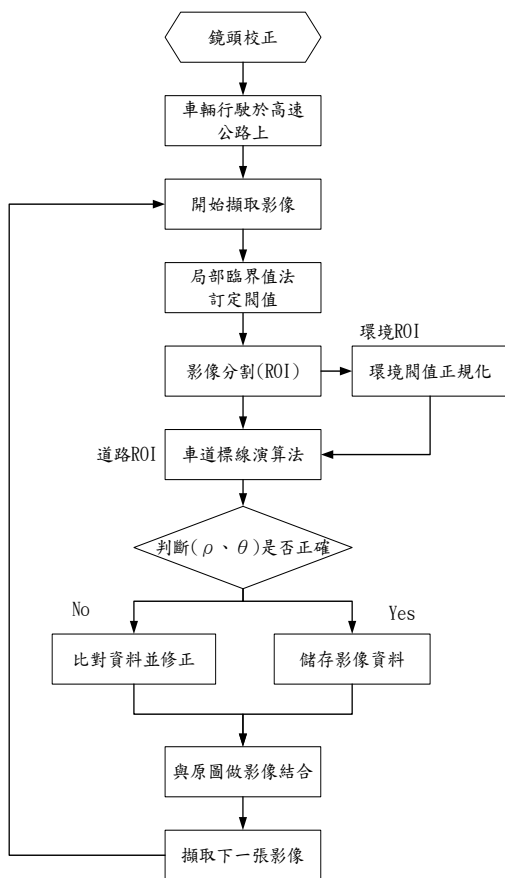


圖 1 車道檢測系統之流程圖

2. 設定拍攝環境及參數初始化

本研究是藉由 CCD 取得影像資訊，在實驗前必須先建立拍攝環境及對鏡頭進行校正設定。CCD 是與路面呈水平方式拍攝(夾角為 0° ，不考慮震動幅度情況)，CCD 的拍攝示意圖如圖 2 所示。2-1 節介紹影像資訊及實驗環境限制。2-2 節介紹影像分割 ROI 區域。2-3 節介紹 CCD 鏡頭光圈角校正。2-4 節介紹局部臨界值法，同時利用環境中值法訂定閾值將影像轉成二值化。

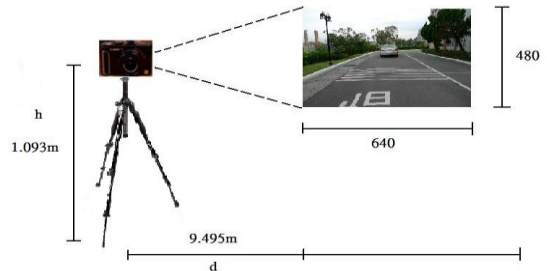


圖 2 CCD 拍攝示意圖

2.1 環境及影像資訊

本研究影像的大小訂定為 640×480 pixel，擷取速度為 30fps，CCD 在車內離地面的高度為 1.093m，可拍攝的最遠距離為 9.495m。本研究以 CCD 為視覺導向拍攝影片後進行影像擷取。拍攝環境以台灣的高速公路，實驗的環境為白天、陰天及隧道內三種，並且排除環境急遽變化及對向車燈干擾等因素。

2.2 影像分割 ROI(Region of Interest)

影像切割 ROI 區域分別是道路 ROI(下方框架)、環境 ROI(上方框架)，由此分割來分別判斷環境 ROI 的閾值訂定及道路 ROI 的標線偵測。影像切割也可以省略多餘的計算量來提升系統的效能及速度。影像分割 ROI 如圖 3 所示。

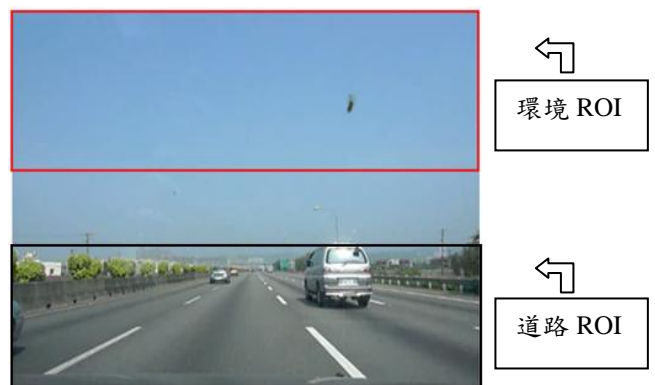


圖 3 影像分割 ROI

2.3 CCD 鏡頭光圈角校正

在 CCD 拍攝之前，必須先量測 CCD 的拍攝死角及最大可視角範圍，在進行鏡頭校正後即可以計算出 CCD 的垂直光圈及角水平光圈分別為 α_v 、 α_h 。

$$\alpha_v = \tan^{-1}\left(\frac{1.106}{9.495}\right) * 2 = 13.288^\circ$$

CCD 的垂直光圈角(Vertical Aperture, α_v)

$$\alpha_h = \tan^{-1}\left(\frac{0.921}{4.916}\right) * 2 = 21.222^\circ$$

CCD 的水平光圈角(Horizontal Aperture, α_h)

水平光圈角及垂直光圈角示意圖如圖 4 所示。



(a)垂直光圈角拍攝示意圖

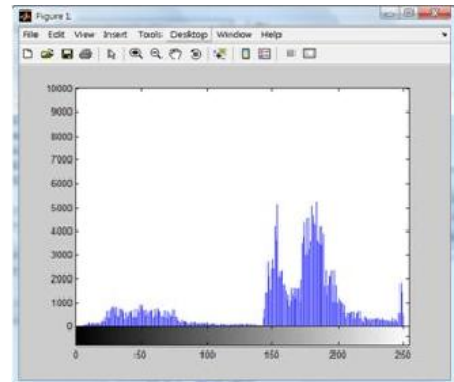


(b)水平光圈角拍攝示意圖

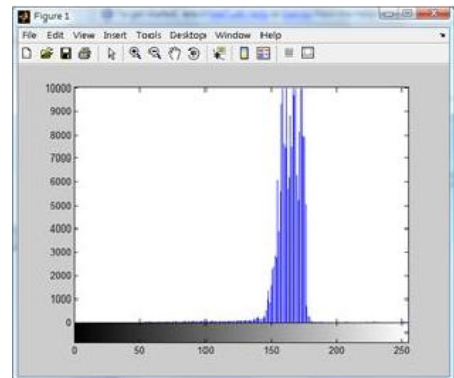
圖 4 (a)垂直(b)水平光圈拍攝示意圖

2.4 局部臨界值法及中值法訂定閾值

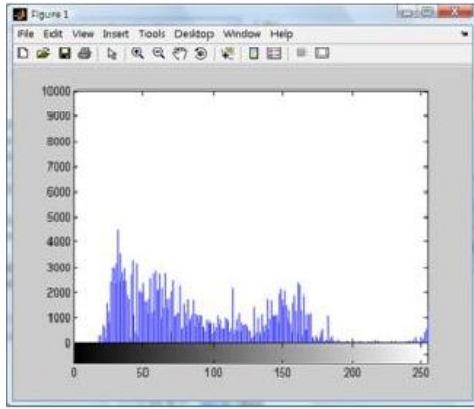
區域臨界值法(Local Thresholding)是影像分割應用上非常重要的技術之一。通常實驗的閾值都是由使用者自行定義，多數人皆以實驗累積及經驗值進行閾值設定。本研究引用參考文獻中的[14]局部臨界值法來當做訂定閾值的依據準則。分別計算出以下三種環境臨界閾值分別為：(1)白天:135；(2)陰天:116；(3)隧道內:65。經過實驗後得知每個閾值皆可在所適合的環境當中使影像由灰階影像轉成二值化影像，並能有效的過濾雜訊及提升處理速度。三種環境的閾值取得是具有差異性的，也使得運用臨界值法訂定閾值更具有說服力。此外，本研究以中值法訂定三種環境閾值，所計算出的結果分別為：(1)白天：214；(2)陰天：181；(3)隧道內：78。以上三種環境所求出的閾值範圍則是很明顯的變化，並且數據皆與局部臨界值法相對應。所以在環境判斷上並不會互相影響。排除劇烈變化情況後，以上敘述之三種環境下的直方圖像素分布如圖 5 所示。



(a)陰天臨界閾值:116



(b)白天臨界閾值:135



(c)隧道內臨界閾值:65

圖 5 (a)陰天(b)白天(c)隧道區域臨界值演算法

3. 車道標線檢測技術

本章節是結合前面的參數化及環境閾值訂定以完成車道標線技術的完整架構。3-1 節的說明是利用 Sobel 演算法進行影像邊緣濾波，並且過濾雜訊以提升運算速度之效能。3-2 節的敘述是使用知名的霍夫轉換演算法，將破碎的圖連結成有意義的邊緣。3-3 節的解說訂定車道變換流程圖以提供車道偏移警訊號，並且將車道標線技術應用在車道變換上的實驗結果。流程如圖 6 所示。

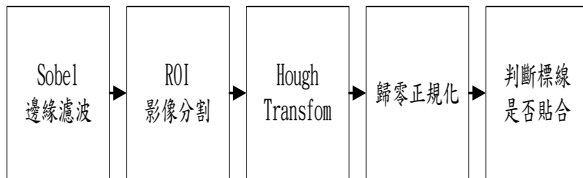


圖 6 車道標線檢測流程圖

3.1 邊緣濾波

在灰階影像上的影像分割演算法通常係以強度的基本特性為基礎，即不連續性及相似性兩種。不連續性的特性就是根據強度的突然變化，採用一階跟二階導數來檢測，本研究使用的是 Sobel 濾波器。二維函數 $f(x,y)$ 的梯度定義成向量大小及梯度角為(1)(2)：

$$\nabla f = [G_x \ G_y]^t = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \ \frac{\partial f}{\partial y} \right]^t \quad (1)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (2)$$

$\nabla f(x,y)$ 代表梯度的強度

$\alpha(x,y)$ 代表梯度的角度

Sobel 邊緣濾波遮罩 G_x 和 G_y 示意圖如圖 7 所示。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

$$G_x = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)$$

(a)水平sobel邊緣遮罩

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$$G_y = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7)$$

(b)垂直sobel邊緣遮罩

圖 7 (a)水平(b)垂直 Sobel 影像邊緣遮罩

梯度強度計算公式如(3)所示。

$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \\ = \{ [(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)]^2 + [(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

3.2 霍夫轉換

Hough[1962]提出一種轉換方法可用來辨識影像並且能以特定數學模式描述圖形。通常利用邊緣偵測的方法所偵測出來的像素非常稀疏，這是因為雜訊來自不均勻的照明所產生的邊緣斷點。因此所求得之邊緣影像可能是幾個獨立的單點，無法建構成直線或完整圖形。邊緣檢測演算法通常會伴隨著連結程序，以便將影像連結成有意義的邊緣，所以在此使用霍夫轉換(Hough Transform)來連結影像。霍夫轉換的法線表示法如公式(4)所示，霍夫轉換平面示意圖如圖 8 所示。

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (4)$$

$\theta = -180^\circ \sim +180^\circ$ (累積矩陣以每 1° 為一格)

$$\rho = (\sqrt{(\text{Image_length})^2 + (\text{Image_width})^2} * \sqrt{2}) * 2$$

Image_length = ROI 切割影像長

Image_width = ROI 切割影像寬

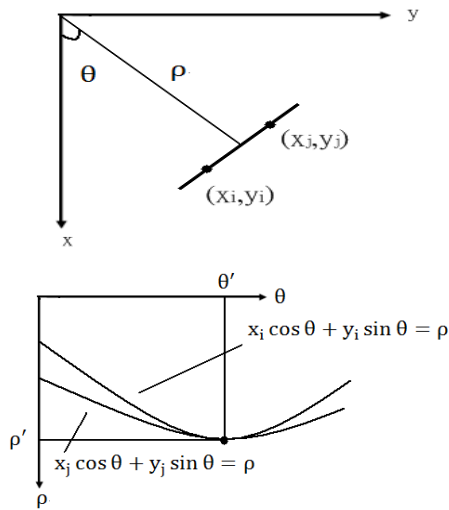


圖 8 xy 轉 $\rho\theta$ 參數座標平面示意圖

經過先前的 Sobel 濾波處理後的影像為非二值化影像，所以無法直接進行 Hough 轉換，在本實驗中是取的 ROI 分割後再將影像轉成二值化，並計算出要計數的 cell_matrix 矩陣，接著，利用每個像素的座標與所定義的 θ 角度範圍計算求得 ρ ，以完成 Hough 轉換之運算。搜索車道線的環境是相當繁瑣複雜的，以至於不考慮計算量過大的問題，確保辨識準確度。霍夫轉換 (Hough Transform) 計算量過大的原因，是將 $\rho\theta$ 參數座標分割成為累積方格，意義就是將通過交點的每一條線做計數並進行累加。本實驗是找出 Hough 轉換方格中的最大值，將位置進行標記並定義為 first line。再取得 second line 前必須先將之前標記的位置進行歸零正規化。Hough Space 及 Hough peaks 示意圖如下圖 9、圖 10 所示。

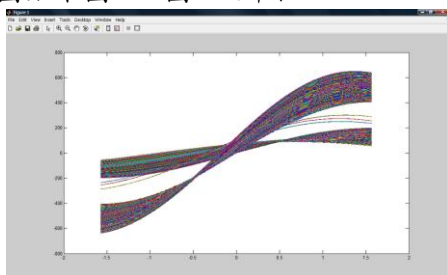


圖 9 Hough space 示意圖

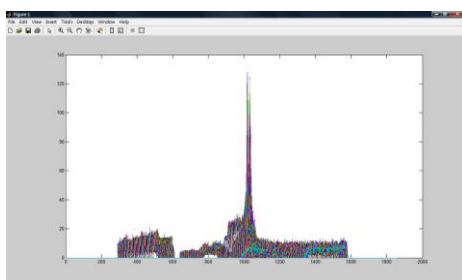


圖 10 Hough peaks 示意圖

3.3 訂定車道變換演算法

當車輛實際行駛時必定會遇到車道變換的問題，本研究係應用車道標線技術找出先前的車道標線後再鎖定車輛中心點位置，以及標示出左右兩條車道線的端點並進行距離計算。影像隨著車子而變化時距離也會跟著改變，定義正常行駛的標線顏色為紅色，當距離小於 100 時則會將標線顏色變換成藍色線，以此當作車道偏離及車道變換之應用。車道變換流程圖如圖 11 所示。

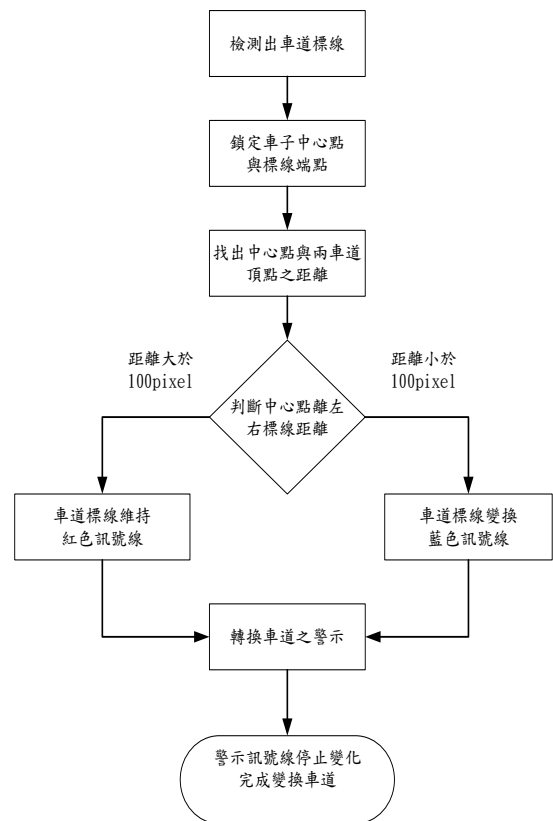


圖 11 車道變換流程圖



(a)

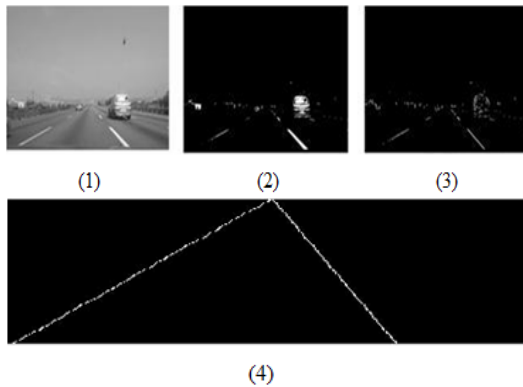
(b)



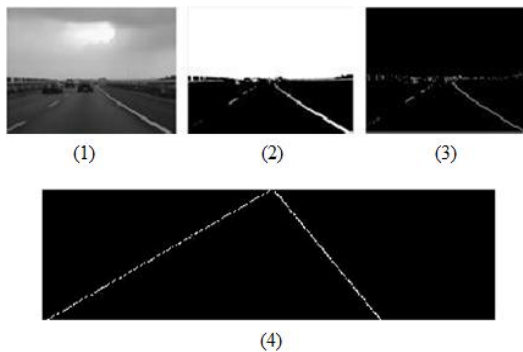
圖 12 (a)(b)(c)(d)車道變換警示發布截圖

4. 實驗結果與分析

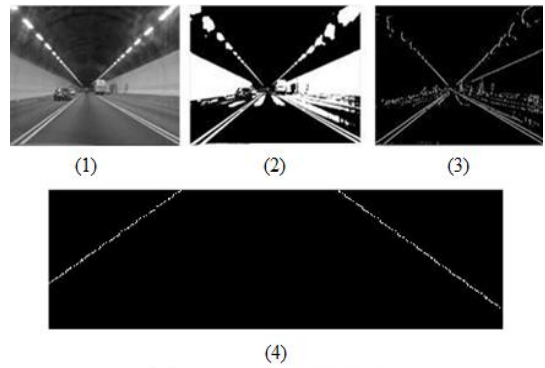
本實驗是以 Matlab 編寫進程式運算，將以下三種環境都各取 800 個框架(frame)做影像實驗分析，影像處理的步驟分別是先經過影像灰階化、閾值訂定的二值化取樣，再透過邊緣濾波去除過多的干擾雜訊，接著運用霍夫轉換法將所感興趣的區域點相連接形成本研究所要找出的車道標線。經由以上的車道標線檢測技術，所偵測出的車道標線辨識度是非常準確的。三種環境之影像轉換流程如圖 13 所示。



(a) 白天影像轉換流程



(b) 陰天影像轉換流程



(c) 隧道內影像轉換流程

圖 13(a)白天(b)陰天(c)隧道內影像轉換流程

(1)灰階化(2)二值化(3)邊緣濾波(4)霍夫轉換

最後，從圖 14 的三種天候環境實驗結果得知，經過本研究所提出的車道標線檢測技術可以有效的找出正確的車道標線並且與原始圖像相吻合。



圖 14 (a)白天(b)陰天(c)隧道內車道線偵測結果

5. 結論

本研究係提出以影像視覺為基礎的車道標線偵測技術，在三種不同的天候環境下可以有效的辨識出高速公路上的車道標線，並且跳脫出以往使用經驗訂定閾值的方法，在面對環境的不同下，能以區域臨界值演算法及中值法做為閾值的訂定及依據。另外，本實驗利用 Hough 轉換進行線檢測，雖然會使系統的計算量變大，但是可以有效的使系統辨識率提高，以增進行車的安全性。車道標線檢測技術同時也可以判別車道是否偏離及當變換車道後也可以確切的找出新的車道標線使駕駛者有效的行駛在正確的道路上。故此方法應用在車道變換上也是相當準確的。未來將應用於各種更複雜及受到強烈外在干擾的環境下，以提升此系統的強健性及穩定度，並希望能將車道標線辨識技術與實際硬體及感測器相互結合，實驗一套完整的自主車道導航系統。

參考文獻

- [1] A. K. Dawoud, S. G. Foda* and A. S. Tolba** “ A Robust Neural Network

- Multi-Lane Recognition System,' ' This paper appears in: Microelectronics, 1998. ICM '98. Proceedings of the Tenth International Conference on Publication Date: 1998 .
- [2] Jahne,Bernd, "Digital Image Processing," Processing,' ',Berlin,London:Springer,c2002 .
- [3] J. Gong, A. Wang, Y. Zhai, G. Xiong, P. Zhou,and H. Chen "High Speed Lane Recognition under Complex Road Conditions,' ' 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Eindhoven University of Technology Eindhoven, The Netherlands, June 4-6, 2008 .
- [4] J. Y. Yi, S. H. Yang, I. G. Jang , J. G. Chung, and M. S. Lim, "Automobile Advance Alarm System Based on Monocular Vision Processing," presented at the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June 13 - 17, 2007, pp. 428-432. .
- [5] J. W. Lee, C.D. Kee and Un Kun Yi "A New Approach for Lane Departure Identification,' ' Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE Publication Date: 9-11 June 2003 .
- [6] M.Y. Chern and P.C. Hou "The Lane Recognition and Vehicle Detection at Night for A Camera-Assisted Car on Highway, "Department of Electrical Engineering National Chung Cheng University Min-Hsiung, Chia-Yi, Taiwan Proceedings of the 1003 IEEE Intwnational Conference on Robotics & Amtomation Taipei. T ~ i w mS,e ptember 14-19, 2003 .
- [7] N. Otsu "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 9, No. 1. (January 1979), pp. 62-66.
- [8] S. G. Foda* and A. K. Dawoud "Highway Lane Boundary Determination For Autonomous Navigation ,," Communications, Computers and signal Processing, 2001. PACRIM. 2001 IEEE Pacific Rim Conference on Volume 2, 26-28 Aug. 2001 Page(s):698 - 702 vol.2 Digital Object Identifier 10.1109/PACRIM.2001.953728 .
- [9] S. Kim, J. Park, S. I. Cho, S. Park, and K.H.Choi, " A Framework for the Development of Robust Lane Recognition Systems,' ' Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE Publication Date: Sept. 30 2007-Oct. 3 2007 .
- [10] R.C. Gonzalez and R.E. Woods and S. L.Eddins, Digital Image Processing using MATLAB, Upper Saddle River, N.J : Pearson Prentice Hall , c2004 .
- [11] U. Franke, H. Loose, C. Knöppel, "Lane recognition on country roads," presented at the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June 13 - 17, 2007, pp. 99 - 140. .
- [12] 石博宇,駕駛助理視覺系統之日間高速公路前車及鄰接車輛偵測(Daytime Detection of Leading and Neighboring Vehicles on Highway : A Major Capability for the Driver Assistant Vision System), 國立中正大學工學院電機工程研究所, 民國 92 年 .
- [13] 紀文亮, 利用車道和汽車追蹤之智慧型 CCD 影像駕駛輔助系統(A CCD-Based Intelligent Driver Assistance System-Based on Lane and Vehicle Tracking), 國立成功大學資訊工程所, 民國 95 年 .
- [14] 徐曉珮譯(Alasdair McAndrew 著),「數位影像處理技術」臺北市, 湯姆生出版, 民 94 .
- [15] 許瑞原, 彎道之影像偵測與自動駕駛之實現(Image Detection of the Curved Road and Realization of the Autonomous Vehicle), 國立交通大學電機控制工程所, 民國 96 年
- [16] 郭泓棚, 空間域影像景深估測與移動物體偵測規避之研究(Analysis and Design of Spatial-Domain Image Depth Estimation and Moving Object Detection/Avoidance)朝陽科技大學資訊工程所, 民國 92 年 .
- [17] 黃莫凱, 全方位智慧型車輛-前車追撞及車道偏離警示系統(Intelligent Vehicles - A Study On A Vision-based Roadway Departure Warning And Collision Warning System), 國立台灣大學工程科學及海洋工程學研究所, 民國 95 年 .
- [18] 繆紹綱譯,「數位影像處理-運用 MATLAB」, 台北, 台灣東華書局, 民國 94 年 .