

具強健性之車道線偵測系統

廖琬洲	蔡易彰	羅裕翔	張家豪	李柏融	高健皓
朝陽科技大 學資訊工程 系副教授	朝陽科技大 學資訊工程 系學生	朝陽科技大 學資訊工程 系學生	朝陽科技大 學資訊工程 系學生	朝陽科技大 學資訊工程 系學生	朝陽科技大 學資訊工程 系學生
e-mail : hcliao@cyut.edu.tw	e-mail : s9627077@cyut.edu.tw	e-mail : s9627038@cyut.edu.tw	e-mail : s9627143@cyut.edu.tw	e-mail : s9627152@cyut.edu.tw	e-mail : s9627065@cyut.edu.tw

摘要

目前為了提升車輛的行车安全，大多是在車上安裝感測元件來擷取車輛四周資訊，經過分析來產生重要資訊後，進而可以警示駕駛人，以避免意外事故的發生。這些資訊中，車道線是許多警示功能的重要資訊。因此，本研究著重於發展一個具強健性的車道線偵測系統，將車輛前方影像進行 channel Filtering、最佳二值化等處理步驟來解析並建立出由一組轉折點所組成的車道線模型，接著結合動態興趣區間(Dynamic Region of Interesting, R.O.I.)降低運算量，並克服車道線亮度劇烈變化的狀況。

另外，不同路況的行车影像也用來驗證系統的效能，實驗結果中直線道路偵測準確率為 95.1%，彎曲道路準確率為 95%，雨天道路準確率為 80.7%，陰天道路準確率為 94.7%，劇烈亮度變化道路準確率為 66.2%，顯示實作系統具有相當的強健性。

關鍵詞：車道線偵測、車道線追蹤、智慧型運輸系統、電腦視覺

Abstract

Currently, sensors are installed around the vehicle for safety, such as ultrasonic sensor, infrared sensor, camera, and so on. The area around the vehicle is detected and analyzed to issue a warning and thus prevent possible accidents. Lane is important information for many warning functions, such as lane departure warning, vehicle distance warning and so on. Therefore, a robust lane detection system is implemented in this project. The front view of a vehicle is processed by channel filtering and optimal thresholding to establish a lane model formed by a set of turning points. Then, the

dynamic region of interesting (ROI) technique is used for every turning points to reduce the computing time. A shadow suppression technique is also to overcome the condition of frequently significant illumination change.

In advance, five types of lane images are used to evaluate the performance of the implemented system, including, straight-ahead lane, crooked lane, lane under rainy or cloudy conditions, and lane under significant illumination change. The lane detection success rates of the above five types of lanes are 95.1, 95, 80.7, 94.7 and 66.2 percents, respectively. The results show that the implemented system is robust enough.

Keywords: road lane detection, lane tracking, intelligent transportation system, computer vision.

1. 簡介

伴隨著高科技時代的來臨，汽車這項交通工具的使用率也逐年增高，由於經濟的提升以及汽車的大眾化，導致現在汽車駕駛者的年齡層範圍也越來越為廣泛，隨之而來是因為汽車普及率上升所造成的交通事故數量不斷增加，根據內政部統計，98 年 1-10 月造成人員傷亡之道路交通事故計 14 萬 7,640 件，其中酒醉（後）駕駛失控占 18.6% 最多，駕駛人未注意車前狀態占 18.1% 次之，駕駛人未依規定讓車占 12.3% 居第三，可以發現「駕駛人未注意車前狀態」位居第二名，因此目前國內外車道線偵測也進行了許多類似的研究，都有各自的優缺點及基本假設，某些系統在偵測準確度以及彎道處理上準確度都相當高，但卻因為運算複雜而無法實現於嵌入式系統上，或是某些系統可以準確偵測直線的車道線，但在彎道上辨識有待加強。本研究希望能在前人研究之基

礎上更進一步，達到更加完善的車道線偵測系統。

近代的交通輔助警示系統大多都是利用一些感測元件（如紅外線、攝影機...等）去擷取周遭環境的資訊，經過運算處理之後，來產生重要的資訊或者警示訊號給駕駛人，以避免意外事故的發生。本系統主要架構是利用行車紀錄器來擷取前方道路影像，並結合影像處理單元來解析出影像中的車道線。而在先前相關的研究中，許多方法被提出來用於不同情況下的車道線偵測，例如：S. Zhou 等學者以幾何模型來定義車道線[1]，透過攝影機校正、車道線模型建立以及模型比對的三階段流程來達成車道線追蹤。M. Meuter 等學者則是提出運用 ROI 來縮短運算時間的方法[2]。K. H. Lim 等學者則是直接使用線性機率的車道線模型並實作在嵌入式系統上[3]。S. Sivaraman 與 M. M. Trivedi 有別於一般車輛較少容易進行車道線偵測的情況，針對車輛擁擠狀況提出一個以車輛位置來進行車道線追蹤的系統[4]。Z. W. Kim 提出一個具有強健性之車道線偵測系統[5]，雖然可以針對轉彎或者彎曲道路等情況來進行偵測，不過系統在車道線不明顯或者有劇烈亮度變化的情況下還是會因為無法偵測出車道線而停止動作。H. Y. Cheng 等學者提出一個不管有沒有車道線都可以進行偵測的方法[6]，在沒有車道線的情況下會偵測道路的邊緣，雖然涵蓋不同的車道線狀況，只是並沒有針對不同的天候因素下，或者彎曲道路等進行較多的驗證，在強健性以及即時性方面還有加強的空間。A. Borkar 等學者則是提出方法來針對夜間情況進行車道線偵測[7]，其中也是運用了 ROI 以及適應性臨界值 (adaptive threshold) 的技術。B. F. Wu 等學者則是針對車道線遭到陰影或車輛遮蔽的情況，提出一個動態追蹤演算法[8]。M. Aly 則是提出一個具有即時車道線偵測的方法[9]，其主要針對一般都會道路來進行偵測，但是實驗的情境較為單純，方法的強健性較為不足。P. Y. Hsiao 等學者則是針對高速公路的環境，在可攜式嵌入式系統上開發車道偏離警示的系統，可以達到 99.57% 的正確性[10]。也有學者使用立體視覺攝影機來進行車道線的追蹤[11-12]。

因此，為了要提高系統的順暢度及穩定性，我們首先會針對本系統的基本假設進行審慎的推測及規劃，包括了使用最佳二值化、影像切割、Channel Filtering 等影像處理方法，來加以提升順暢度及穩定度，更利用了動態興趣

區間技術 (Dynamic Region of Interesting, R.O.I) 來降低運算複雜度，以求達到在精確度和執行速度之間取得平衡，讓本研究之系統更為完善，因此本研究的目標主要為下列幾項：

1. 偵測行車紀錄器所擷取畫面中的車道線

透過架設於車輛前方的行車紀錄器，將即時擷取前方道路影像之影片傳送至本系統中進行偵測，可於螢幕上顯示出前方道路之車道線，進而使駕駛者更清楚無誤的判斷前方道路。

2. 針對高速公路、快速道路或者一般平面道路等進行具強健性的車道線偵測

本系統透過利用「動態興趣區間」技術，達到在多種道路都能準確並順暢地顯示出車道線之目的。

3. 針對雨天、陰天、明暗變化等各種天氣因素進行具強健性的車道線偵測

本系統期盼在利用「動態興趣區間」技術的基礎下，加入「陰影抑制」、「最佳二值化」等方法使本系統能在更多不同的天氣狀況下準確執行。

本系統目前所使用有六種不同路段，分別有平面道路上直線範例、平面道路上彎道範例、快速道路上直線範例、雨天範例、空白路段範例最後則為高度明暗變化範例。

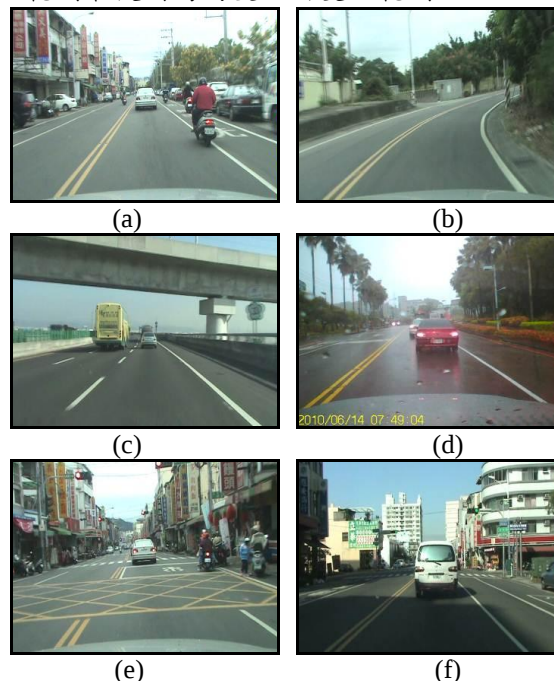


圖 1：各種車道線範例(a)直行道路(b)彎道(c)快速道路(d)雨天(e)特殊情況(f)亮度劇烈變化

本系統主要針對上述六種範例進行偵測，分別有最常見的平面道路直線範例及彎道範例跟快速道路直線範例，也包含了天氣因素

所造成的雨天範例、陰天範例、亮度劇烈變化範例，以及各種不同特殊道路型態範例。

2. 系統概述與流程

本系統最主要的目標是擷取車輛前方影像來進行偵測，發展一個準確、穩定的具強健性之車道線偵測系統，首先將透過行車紀錄器錄製下來的影片判斷是否已經建立車道線模型，如果尚未建立，則會透過一連串의影像處理過程（目前包含影像切割、Channel Filtering、最佳二值化閾值偵測等方法）做初步的處理，接著便進行轉折點運算法，如果已經建立車道線模型，則會進入車道線追蹤。透過這種轉折點運算法及動態興趣區間演算法等技術將車道線做出正確的偵測及判斷。下圖為直線預期轉折點範例及彎道預期轉折點範例：



圖 2：(a)直行預期轉折點(b)彎道預期轉折點

本系統架構主要分為兩個部分，分別為「有偵測到車道線模型」及「無偵測到車道線模型」，如無偵測到車道線模型則會先進行影像處理，並判斷第一個轉折點是否存在，存在則建構出所有轉折點及車道線模型，不存在則載入下一張圖。如有車道線模型存在，則會針對每個轉折點進行 ROI 處理，並檢查轉折點位置是否在車道線模型中，存在則將轉折點更新至車道線模型中，不存在則不更新。系統流程圖如圖 3 所示，每個部分的內容與功能說明如下：

1. 影像處理：

影像處理區塊內共有數種不同之處理程序，分別為「影像切割」、「Channel Filtering」、「最佳二值化」三種，本系統使用的是事先錄好的影像，將影像經過 Channel Filtering 凸顯出黃色之車道線，再透過最佳二值化處理偵測出所需的車道線，並進行下一步轉折點運算。

2. 轉折點運算法：

影像經過上方影像處理區塊後，便會進入轉折點運算步驟，利用上方已經處理好的影像，偵測出車道線的白點，並按照所設定之間隔距離標示出轉折點。也可透

過車道線顏色、亮度劇烈變化、強烈邊緣特性等特徵來擷取車道線位置。

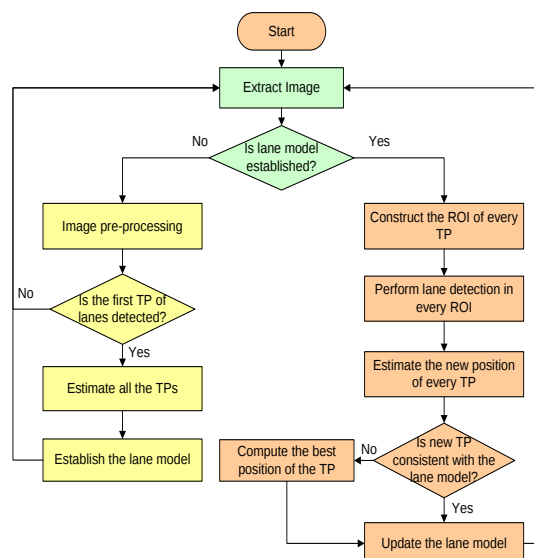


圖 3：系統運作流程圖

3. 動態興趣區間運算法：

依據轉折點的位置執行動態興趣區間運算，將轉折點周圍圖片切割出來並進行比對，如經比對後車道線模型驗證正確則進入車道線追蹤，若車道線模型驗證錯誤，則重新進行車道線偵測，動態興趣區間設定除了可以有效減少雜訊正確找出標線外，亦可減少整張影像的處理運算時間，進而達到即時處理之效果。

4. 回傳至螢幕：

所有運算都完成之後，會將偵測出的車道線顯示在螢幕上，接著重複上述流程。

本系統特性其一在於透過架設在車上的行車紀錄器進行前方影像錄製，將錄製下來的影像透過車道線的偵測後，將所偵測後得到的車道線顯示出來，可以提供行駛中的車輛針對車道偏離、車距警示等一項重要的資訊。其二在於本系統嘗試加入了動態興趣區間運算法，希望透過加入此運算法提升系統的執行速度及穩定度，此外，本系統的操作介面較為簡易，方便進行各種車道線的測試。

3. 系統實作與方法

在此章節中，我們將會詳細介紹本系統使用到的「影像切割」、「Channel Filtering」、「最佳二值化閾值偵測」、「轉折點運算法」、「動態興趣區間運算法」等五種方法，詳細說明如下。

3.1. 車道線偵測方法

本系統所設計的車道線偵測方法的流程，首先將利用行車紀錄器所錄製下來的影像貼為一張一張的圖片（目前每秒 30 張），接著判斷每一張是否有車道線的存在，如果沒有車道線存在，則持續執行偵測；如果有車道線存在，則執行車道線追蹤。在車道線偵測部分，是從影像最底下的一列開始往上搜尋，尋找到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區域（ROI），在 ROI 偵測範圍內尋找轉折點並儲存其位置，重複上面步驟到執行最後一列，才進行車道模型的更新。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。以下為實作方法：

本系統的進行步驟如下：

1. 動態興趣區間演算法（Region of Interest）

本系統嘗試引入了動態興趣區間演算法，動態興趣區間演算法主要就是設定一個固定範圍當作感興趣之區域，並針對感興趣之區域進行判斷。而為了加快車道線的搜尋速度，本系統利用車道線模型，將基本偵測區域限定在一個範圍內。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。接著在 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。

如果偵測出兩張影像的轉折點差異過大，在一般狀況下，車道線上的轉折點不太可能會忽然有相距過大或忽然消失的情形發生，因此我們可判斷此偵測出的轉折點是錯誤的，因此在情況下不更改目前轉折點的座標

2. 影像切割（Crop Image）

影像切割是將具感興趣區域切割下來加以分析的步驟，此步驟是車道線偵測中相當重要的步驟之一，透過影像切割的動作，便可讓電腦能分辨出影像中的車道線位置。

本系統也運用了影像切割分析結果，當系統讀入影像後，為進行下一步動態興趣區間演算以及提升速率，我們將偵測到的轉折做為影像分割的基準點，以 60×30 大小切割出轉折點周圍的影像，切割成固定的大小後再進行接下來的動態興趣區間演算。

3. 顏色過濾（Channel Filtering）

主要就是透過 AForge.Net 類別庫中的 Channel Filtering 類別，將雙黃線或是單黃線的黃色過濾出來，在下一個的二值化處理時能取得更好的臨界值，因此本系統在取得行車紀錄

器錄製之影像後就會先進行顏色過濾的運算。

我們可發現有經過 Channel Filtering 和沒經過 Channel Filtering 的車道線，有著明顯的不同，而我們是將影像處理程式 AForge 以 C# 去開啟並使用，利用其中的 Channel Filtering 功能，因此在本系統中是利用呼叫的方式使用此功能。

4. 最佳二值化閾值偵測（Threshold）

二值化處理的動作是利用 pixel by pixel operation，把一張彩色的圖片先轉化為灰階圖（gray image）後再變成一張黑白的圖。如果假定我們原來的灰階圖為 F ，其中任何一個像素 $f(i, j)$ 的亮度值都是介於 $[0, 255]$ 。此外我們再假定二值化處理的過程用的 threshold 為 T ，且二值化以後的影像為 $b(i, j)$ 。則實際的二值化處理為

$$b(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(i, j) \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

本系統中使用二值化處理分別有兩種不同的功效，首先是將讀取進來的影像設定固定的 y 值，並取得整張道路影像之下半部進行二值化處理，目的是為了要抓取掃描出的車道線之白點，方便接下來的轉折點運算處理。此外在經過轉折點運算處理後，會針對轉折點周圍進行影像切割，而在這部份主要就是透過將二值化用來作為 segmentation（分離物件）的工具，讓我們所感興趣的部分（也就是切割下來的方框）能和背景作一定程度的區隔，以方便本系統偵測車道線是否存在。

此演算法能自動計算最佳二值化之閾值，將切割過的影像中，計算四個角落的平均灰階值（左上，右上，左下，右下），當作初始的二值化閾值，並使用遞迴的方式，來判斷是否為前景車道線或背景路面，透過此方法來比較出最佳二值化閾值。

5. 轉折點演算法（Turning Point）

在前面我們有提到了如何求取最佳二值化的閾值以及 Channel Filtering，接著就是進行轉折點演算法，在本系統所使用的轉折點演算就是將二值化處理後所偵測出來的白點進行一系列的判斷和偵測，以正確求得新的轉折點座標。

經灰階、二值化後影像上只剩黑（路面）與白（車道線），接著從影像中央水平線（ $y = \text{ImageHigh}/2$ ）由左而右開始掃描此水平線上的白點來偵測出此切割影像的車道寬度，當掃描到白點（RGB=255）後便開始計數，若之後

遇到黑點 (RGB=0) 後，則跳出計數迴圈，並判斷此寬度是否正確，以下為判斷條件：

- (1) 計數值建議不等於0：
為0則表示沒有掃描到白點。
- (2) 模型座標須與當前影像的座標差異不大於5：
根據實例觀察，差異值建議不超過5。
若x值通過判斷，就計算出此車道線中間點實際在圖片上正確的位置，計算方式如下：
實際x座標 = 切割寬度 - (計算出的車道寬度 / 2) + 影像切割起始座標。

接著判斷座標是否合理，因為即使寬度沒有錯誤，位置還是有可會有偏移，以下為判斷方式：

- (1) 左右車道線第一點座標須與前一張圖片第一點座標的x值差異值不得超過10：觀察中發現，在相同條件下，差異值如設為8，正確率為66%，差異值如設為9，正確率為74%，差異值如設為10，正確率為86%，因此我們將差異值訂為10。
- (2) 左右車道線第二點之後，由前一個點的x變化量來偵測此點可能範圍，偵測方法如下：

下一點可能範圍：

x最大值: 當前點 + 與前一點x變化量 + 與前一點x變化量/4

x最小值: 隨著變化量減小而x值可能比之前更小

若上述皆通過，則更新轉折點座標內容，然後讀取下一張圖片，重覆上述動作。

4. 系統展示

此章節將為各位介紹本研究所開發的離型系統，並詳細說明本系統的使用介面。

本系統之操作介面目前主要提供測試及說明，因此在介面上放了較多的功能展示，同時也是為了讓我們在調校系統上更為方便快捷。本系統介面主要分為三大區塊，紅色區塊為主要功能集合區，裡面有 10 種以上的功能可使用。綠色區塊為顯示目前載入的即時道路影像，也取用來顯示出偵測出車道線的影像。藍色區塊則為將轉折點附近固定大小之方框以二值化後的圖片顯示，並附有其座標和車道線寬度等資訊，更有「True」「False」兩種資訊，當顯示「True」表示此轉折點是正確的，而當顯示「False」時，則表示此轉折點為不正確，這時便會將此轉折點以上一張正確的資訊代入，以保持車道線之完整性。

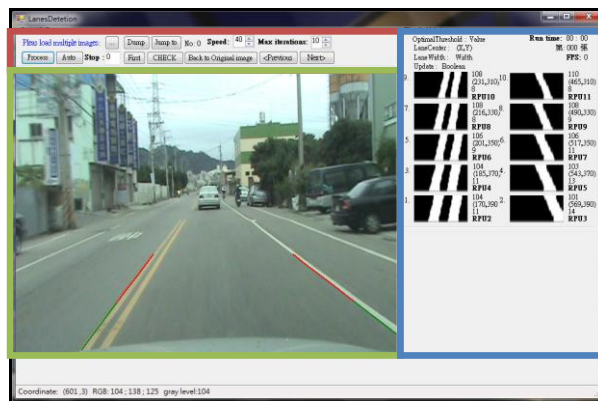


圖 4：系統操作介面

4.1. 實例展示

在此章節中，將會介紹本系統目前可實際執行之車道線種類，目前本系統可執行之車道線種類分別有五種，並透過實際程式之執行畫面讓使用者更加明瞭。

1. 直線平面道路情境

第一項範例為直線平面道路情境，在這項範例中，主要針對直線的路況做偵測，此路況中最常遇到的問題為道路不明顯及有遮蔽物擋住車道線，透過下面的幾張圖片可瞭解本系統的執行。



圖 5：平面道路直線示意圖

2. 彎曲平面道路情境

第二項範例為彎曲平面道路情境，在這項範例中，主要針對連續彎道的路況做偵測，此路況最常遇到的問題一樣為車道線不清楚，透過下面連續彎道之實際圖片可瞭解本系統的執行。



圖 6：平面道路彎道示意圖

3. 雨天及陰天情境

第三項範例為雨天及陰天情境，此路況主要是針對雨中車道線偵測以及雨後車道線偵

測，此項路況中容易受到雨滴雜訊或是道路反光的影响，甚至是雨刷的來回移動也都會干擾車道線判斷，透過下面的連續圖片可看出本系統的執行。



圖 7：雨天及陰天示意圖

4. 亮度劇烈變化情境

第四項範例為亮度劇烈變化情境，在大太陽底下的路段容易產生陰影，而在陽光與陰影交界上容易造成車道線偵測困難。



圖 8：亮度劇烈變化示意圖

5. 道路特殊情境

第五項範例為道路特殊標線情境，如：空白路段、網狀路段等各式各樣不同的道路狀況，在這些範例中由於沒有車道線的存在，因此是利用車道線模型的车道線。



圖 9：道路特殊標線示意圖

4.2. 實驗分析

1. 偵測準確率

經過以上各種不同路況的實際展示後，本系統針對各路段進行了測試，透過下表可看出各路段之準確率，並由此驗證本系統之完整度。

2. 執行時間測量

測試電腦硬體資訊為：CPU 雙核時脈 3.0GHz 並且幾乎關閉所有電腦執行的程式，透過在不同的電腦上的實際進行測量，可發覺測試結果在不同規格的電腦上會有頗大差異。

表 1：五種車道線之偵測成功率

	測試張數	正確數	錯誤數	成功率 (%)
直行車道	1160	1104	56	95.1
彎曲車道	642	610	32	95
雨天車道	534	431	103	80.7
陰天車道	615	583	32	94.7
亮度劇烈變化車道	500	331	129	66.2

表 2：系統執行時間統計表

	測試張數	平均時間
建模前所需時間		
直行車道	1	56 ms
彎曲車道	1	62 ms
雨天車道	1	60 ms
陰天車道	1	72 ms
亮度劇烈變化車道	1	70 ms
平均執行時間		64 ms
建模後所需時間		
直行車道	200	9.4 ms
彎曲車道	200	23.9 ms
雨天車道	200	17.8 ms
陰天車道	200	23.7ms
亮度劇烈變化車道	200	23.4 ms
平均執行時間		19.64 ms

5. 成果檢討與結論

5.1. 實作成果檢討

本系統主要使用行車紀錄器擷取前方道路影像，並搭配電腦影像處理單元解析出前方車道線，使用影像偵測、動態興趣區間演算搜尋等方法，成功偵測辨識出左右兩邊之車道線，此系統經過一般道路測試結果得到以下幾點結論與需改進的地方：

1. 車道線偵測影像處理速度在電腦配備為雙核心 CPU、頻率為 2.60GHz 且記憶體 2G 的電腦上，目前可達至 20fps 以上，符合車用影像系統之即時性需求。
2. 在氣候惡劣、車輛蓋過標線與路面品質不良的道路上，會因為系統無法辨識車道線正確位置而使準確性降低。
3. 車道線 ROI 區域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. 在經過十字路口或是處於上下班尖峰時段

之市區所出現的複雜環境下，道路標線變化過大，導致辨識偵測上有所誤差。

5. 系統許多參數非自動計算校正出來，而是以統計的方式來決定，所以有一定機率會出現特例以致發生錯誤。

此外，考慮到行車安全可靠度應該接近100%才具有真正的價值，若是系統出現錯誤，將會危急人身安全，此問題非同小可，於是系統將來持續改善車道線的辨識準確率，以確保車輛安全無虞。

5.2. 結論

本系統目前已可順利執行以下五種路況，分別為直線平面道路、彎曲平面道路、雨天及陰天道路情境、特殊路面標線情境、劇烈亮度變化情境等，在車道線正確辨識的基礎下，期望未來可以提供行駛中的車輛針對車道偏離、車距警示等一項重要的資訊，並且提升行車的安全性。

在不斷快速進步的社會中，為了讓人類更加方便以及更加安全的應用軟體不斷推陳出新，然而還是有許多需求尚未得到有效的滿足，本系統將會持續站在使用者的角度不斷完善系統，未來將嘗試加入更多不同的功能以滿足使用者驗車用系統上的需求。

參考文獻

- [1] S. Zhou, Y. Jiang, J. Xi, J. Gong, G. Xiong, and H. Chen, "A Novel Lane Detection based on Geometrical Model and Gabor Filter," Proceedings of 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of California, San Diego, CA, USA, June 21-24, 2010, pp. 59-64.
- [2] M. Meuter, S. Muller-Schneiders, A. Mika, S. Hold, C. Nunn, and A. Kummert, "A Novel Approach to Lane Detection and Tracking," Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO, USA, Oct. 3-7, 2009, pp. 582-587.
- [3] K. H. Lim, K. P. Seng, L.M. Ang, and S. W. Chin, "Lane Detection and Kalman-based Linear-Parabolic Lane Tracking," Proceedings of 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC'09), Nanjing, China, Aug. 26-28 2010, pp. 351-354.
- [4] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, "Improved Vision-Based Lane Tracker Performance Using Vehicle Localization," Proceedings of 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of California, San Diego, CA, USA, June 21-24, 2010, pp. 676-681.
- [5] Z. W. Kim, "Robust Lane Detection and Tracking in Challenging Scenarios," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 9, No. 1, March 2008, pp.16-26.
- [6] H. Y. Cheng, C. C. Yu, C. C. Tseng, K. C. Fan, J. N. Hwang, and B. S. Jeng, "Environment Classification and Hierarchical Lane Detection for Structured and Unstructured Roads," IET Computer Vision, Vol. 4, Issue 1, 2009, pp. 37-49.
- [7] A. Borkar, M. Hayes, M. T. Smith, and S. Pankanti, "A Layered Approach to Robust Lane Detection at Night," Proceedings of 2009 IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, March30-April 2, 2009, pp. 51-57.
- [8] B. F. Wu, C. T. Lin, and Y. L. Chen, "Dynamic Calibration and Occlusion Handling Algorithms for Lane Tracking," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 5, May 2009, pp. 1757-1773.
- [9] M. Aly, "Real Time Detection of Lane Markers in Urban Streets," 2008 IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 4-6 June 2008, pp. 7-12.
- [10] P. Y. Hsiao, C. W. Yeh, S. S. Huang, and L. C. Fu, "A Portable Vision-based Real-Time Lane Departure Warning System: Day and Night," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, No. 4, May 2009, pp. 2089-2094.
- [11] R. Danescu and S. Nedevschi, "Probabilistic Lane Tracking in Difficult Road Scenarios Using Stereovision," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 10, No. 2, June 2009, pp. 272-282.
- [12] C. Guo, S. Mita, D. McAllester, "Lane Detection and Tracking in Challenging Environments based on a Weighted Graph and Integrated Cues," Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, Oct. 18-22, 2010, pp.5543-5550.