國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩 士 論 文

基於重疊時間切片影像之車道線追蹤與分類

Lane Tracking and Lane Mark Classification

by Overlaying Multiple Time-Sliced Images

研 究 生：陳冠瑋

指導教授：李素瑛　教授、陳華總　教授

中 華 民 國 一 百 零 二 年 十 二 月

基於重疊時間切片影像之車道線追蹤與分類
Lane Tracking and Lane Mark Classification by Overlaying Multiple Time-Sliced Images

研 究 生：陳冠瑋　　Student：Kuan-Wei Chen

指導教授：李素瑛、陳華總　　Advisor：Suh-Yin Lee, Hua-Tsung Chen

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Computer Science and Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

December 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 102 年 12 月

基於重疊時間切片影像之車道線追蹤與分類

研究生：陳冠瑋　　指導老師：李素瑛 教授

陳華總 教授

國立交通大學資訊科學與工程研究所

摘　要

近年來行車紀錄器的使用越來越廣泛，而車輛輔助安全駕駛的系統也跟著逐漸發展起來。其中，車道線偵測在車輛輔助安全系統中是一項必需的元件。而在測試車道線偵測的系統好壞的真實數據(ground truth)，在標示的過程中經常需要花大量人力與時間。在這篇論文中，我們提出一個利用重疊的時間切片影像(time-sliced images)進行偵測、追蹤車道線與車道線種類分類來自動產生真實數據的系統。另一方面，同時會產生一個高效能的即時車道線偵測系統。首先，在前置處理中從影像裡取得數張灰階的切片影像。在找尋候選點步驟中，對切片影像做頂-帽轉換、平滑影像、尋找峰值，找出每張切片影像中的車道線候選點，並記錄在切片影像中。接著在串連與刪除候選點步驟中，將切片影像加入相對應的時間切片影像中，在時間切片影像裡候選點會與前段時間切片的候選點連結，並刪除可能是雜訊的候選點，最後得出連結好的候選點。接著將各時間切片影像中連結好的候選點以彼此等距的方式將點互相配對找出車道線，當前張影像中已經找到車道線時，將會利用時間切片影像上預測這些車道線在新畫面的可能位置，以進行進一步的追蹤。最後，在找到車道線後系統會將車道線做種類分類。

實驗中採用行車紀錄器所拍下的影片當作測試資料，對於四種車道線路況、三種行車狀況與三種天氣狀況做車道線偵測。四種車道線路況如下：一是車道線為兩邊都是虛線時，二是車道線為兩邊都是實線時，三是車道線為一邊是虛線一邊是實線時，四是車道線其中一邊是雙線時。三種行車狀況為，直線、彎道和換車道。三種天氣狀況為，晴天、陰天和雨天。我們對執行出來的結果及產生的問題進行討論。實驗結果顯示，我們提出的真實數據產生方法能將絕大部分的車道線找出，並區分其車道線種類。除此之外，我們提出的即時車道線偵測系統也能準確的找出車道線。

關鍵字：時間切片影像、真實數據產生、車道線分類、車道線偵測、車道線追蹤

Lane Tracking and Lane Mark Classification by Overlaying Multiple Time-Sliced Images

Student: Kuan-Wei Chen Advisor: Prof. Suh-Yin Lee

Prof. Hua-Tsung Chen

Institute of Computer Science and Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

In recent years, with the widely spread of the car video recorder, more and more Driver Assistance Systems for safety are developed. Lane detection is an essential component of Driver Assistance System. In this thesis, we propose a lane tracking and lane mark classification system utilizing the overlaying time-sliced images for ground truth generation and real-time driver assistance application. First, we generate time-sliced images from a video by accumulating the sliced data of the selection rows in a frame. From the time-sliced images processed by top-hat transform and smoothing, we obtain the lane line candidate points by finding the peaks in each row. Then we remove the noises and connect the candidate points in the time-sliced images, and the lane mark type of each candidate point is determined by the characteristic of the point. Through overlaying the time-sliced images, the lane can be detected by tracking the connected candidate points in different time-sliced images. For lane mark classification, we collect the information of all the candidate points in the lane and apply the major voting algorithm.

The experiments are conducted with the video sequences of four lane line conditions, three road scenarios, and three kind of weather. The lane line conditions are categorized into (1) two dash lines, (2) two solid lines, (3) one solid line and one dash line, and (4) one double line and another line. The three road scenarios are (1) straight lanes, (2) curve lanes, and (3) lane changes. The three kind of weather are (1) sunny, (2) cloudy, and (3) rainy. The experimental results show that our proposed ground truth generation method can detect over 99% of the lanes in all the video sequences. In addition, the proposed real-time lane detection system can also achieve high accuracy for lane tracking and lane mark classification.

Keyword: time-sliced image, ground truth generation, lane mark classification, lane detection, lane tracking

誌謝

我非常感謝我的指導教授李素瑛教授與陳華總教授。在研究過程中，因為個人的因素，使得研究進度落後，同時也遇到了研究的瓶頸。不過他們並沒有放棄我，仍然不斷的提供他們寶貴的建議與經驗，使得研究能夠突破瓶頸。沒有他們的幫助，我就沒有辦法完成這篇論文研究。

我非常感謝周建利學長，在研究的後半段經常與我討論如何解決研究中遇到問題的方法並指導我如何撰寫論文。此外我還要感謝多媒體資訊系統實驗室的各位、交通大學各個工作人員以及幫助我與鼓勵我的人們。

最後我要感謝從以前到現在不斷的支持我的父母、姐姐和弟弟，沒有你們就沒有現在的我，謝謝大家，我愛你們。

目錄

摘　要 i

Abstract ii

誌謝 iv

目錄 v

圖目錄 vii

表目錄 xii

一、 序論 1

1.1 研究背景與動機 1

1.2 研究方法與貢獻 4

1.3 論文組織與架構 4

二、 文獻探討 5

2.1 車道線偵測與追蹤的相關文獻 5

2.2 真實數據製作的文獻 6

三、 系統架構與研究方法 7

3.1 系統方法概述 7

3.2 前置處理 8

3.2.1 灰階轉換 9

3.2.2 設定感興趣的區域 10

3.3 找尋車道線候選中心點 13

3.3.1 頂-帽轉換 14

3.3.2 平滑影像 16

3.3.3 找峰值 17

3.3.4 選取候選中心點 18

3.4 連結與移除候選中心點 19

3.4.1 產生候選點追蹤器 20

3.4.2 搜尋候選中心點 21

3.4.3 串連候選中心點 24
3.4.4 移除追蹤器與雜訊線段 28
3.4.5 重組線的種類 30
3.5 提取車道線 31
3.5.1 填補空白區塊 32
3.5.2 設定搜尋範圍 34
3.5.3 點的配對 35
3.5.4 車道線追蹤 37
3.6 車道線種類分類 38
四、 實驗結果與討論 39
4.1 實驗環境設置與測試資料概述 39
4.2 實驗的評估方法 41
4.3 系統參數設定 42
4.3.1 頂-帽轉換元素大小 43
4.3.2 平滑化的低頻保留率 48
4.3.3 追蹤車道線時間點 51
4.4 實驗結果 52
五、 結論與未來研究方向 56
參考文獻 57

圖目錄

圖 1-1　簡化的車道線偵測流程。.....1
圖 1-2　(a)和(b)分別為利用不同行車紀錄器所拍攝的結果，其影片介面格式、解析度與拍攝角度各有所不同。.....2
圖 1-3　各種不同天氣的影片。(a)晴天的影片。(b)陰天的影片。(c)雨天的影片。.....3
圖 1-4　各種光影的影片。(a)強光且有物體反射在擋風玻璃上的影片。(b)有影子遮住道路的影片。(c)太暗的影片。.....3
圖 1-5　車道上各種路況的影片。(a)有路面標示的影片。(b)有其他來車的影片。(c)有路旁景色干擾的影片。.....3
圖 1-6　換車道的特殊狀況影片。.....3
圖 3-1　即時車道線偵測與種類分類系統架構圖。.....8
圖 3-2　前置處理的流程圖。時間切片影像上的紅線為目前處理的影像切出的切片。.....9
圖 3-3　(a)和(b)上圖是原圖灰階影像，下圖是在影像第 310 行(藍線)的亮度值曲線圖。(a)是黃線亮度的範例曲線圖。(b)是紅線和白線的亮度範例曲線圖。.....10
圖 3-4　移除已知的干擾雜訊(計時器)區塊的影像。.....11
圖 3-5　將時間切片影像從影像集合中切出的範例圖。.....12
圖 3-6　紅線為時間切片影像所切的影像位置，由上至下分別在影像位置的第 300、310、320、330、340 以及 350 行。.....12
圖 3-7　找尋車道候選中心的處理流程圖。.....13
圖 3-8　利用白頂-帽轉換，去除光影的影響的範例圖。.....14
圖 3-9　上圖為假定元素大小為 1×19 時，其元素的設定數值與座標設定。下圖為當白頂-帽轉換在運算時，元素的移動方向。紅線為白頂-帽轉換要處理的影像。.....15
圖 3-10　上圖為頂-帽轉換前的灰階影像；下圖為經由頂-帽轉換後的影像。兩影像中的紅色曲線代表 6 張時間切片影像的切片在此影像中的亮度值曲線。.....16
圖 3-11　將圖 3-10 經由頂-帽轉換後的影像，再經由平滑影像後所產生的影像以及亮度值曲線，其紅色曲線為 6 張時間切片影像的切片在此影像中的的亮度值曲線。.....17
圖 3-12　從圖 3-11 的 6 張時間切片影像的切片亮度值曲線中找出的所有峰值。紅線為各張時間切片影像的切片亮度值曲線。綠點為峰值在影像中的位置。.....17
圖 3-13　找峰值的範例圖。.....18

圖 3-14　將圖 3-13 找到得峰值以自適應的門檻值進行篩選，分出可能是車道線中心點的候選點範例。.....19
圖 3-15　將圖 3-12 找到的峰值經由自適應的門檻值過濾後留下來的峰值結果。紅線為 6 張時間切片影像的切片經平滑化後的亮度值曲線。綠點為經過濾後的車道線候選中心點的峰值在影像中的位置。.....19
圖 3-16　連結與移除候選中心點的流程圖。.....20
圖 3-17　(a)~(f)為各種車道線的種類在時間切片影像中的狀況。(a)實線。(b)虛線。(c)短虛線。(d)雙線(雙實線)。(e)雙線(一實線、一虛線)。(f)分支線。(g)合併線。.....21
圖 3-18　設定搜尋窗口邊界的範例圖。黃色區塊為搜尋窗口的範圍。.....22
圖 3-19　當時間切片影像中第一次搜尋點未能搜尋到新的候選點時，改用前一點做第二次搜尋的狀況。綠點為候選中心點。紅框為第一次搜尋時，設定的搜尋窗口範圍。黃色虛框為第二次搜尋時，設定的搜尋窗口範圍。.....23
圖 3-20　當車輛左右大量移動時，在時間切片影像中串連虛線需要往移動方向再加寬搜尋窗口範圍的狀況。綠點為候選中心點。紅黃虛線框為沒有加上未搜尋到點次數的搜尋窗口範圍。黃色虛線框加上未搜尋到點次數的搜尋窗口範圍。.....23
圖 3-21　當候選點追蹤器只找到一點的狀況。(a)為無任何候選點追蹤器連接到過候選點新的追蹤器找到的候選點的狀況。(b)為有一候選點追蹤器連接到新的候選點追蹤器找到的候選點，且兩追蹤器所代表的線的種類分別為左右合併線。(c)為有一候選點追蹤器連接到新候選點追蹤器找到的候選點，不過兩追蹤器所代表的線的種類不是左右合併線。紅虛線下方的斜線點為被新的追蹤器找到的候選點。白色點為舊的候選點追蹤器所串連的候選點。黑色點為新的候選點追蹤器所串連的點。虛線箭頭代表候選點追蹤器與候選點的串連失敗的關係。實線箭頭代表候選點追蹤器串連點的結果。D_1 代表舊的候選點追蹤器和被找到的點的直線距離。D_2 代表新候選點追蹤器和被找到的點的直線距離。.....25
圖 3-22　當兩追蹤器重覆找到同一點時的兩種狀況。(a)當候選點追蹤器為左右合併線($D_{10}>>D_1$)時，將兩線合併。(b)當候選點追蹤器不是左右合併線($D_{10}\fallingdotseq D_1$)時，將會以最近的追蹤器連接此點。D_1 和 D_{10} 為候選點追蹤器目前彼此距離與候選點追蹤器前 N_{frame} 幀影像中彼此的距離。.....25
圖 3-23　當時間切片影像中產生分支線的狀況。藍色點為追蹤器串連的點。白框為分支點。紅色箭頭為追蹤器串連的方向。.....26
圖 3-24　當正要串連點時，候選點追蹤器左邊點重覆的狀況。(a)為左邊點與前一候選點追蹤器形成單線關係。(b)為左邊點與前一候選點追蹤器形成分支線關係。(c)為左邊點與前一候選點追蹤器形成雙線關係。(d)為左邊點與前一候選點追蹤器形成合併線關係。紅虛線上方為候選點追蹤器

的點。以黑點為新的候選點追蹤器。白點為已連完點的舊的候選點追蹤器。紅虛線下方的斜線點為被新的候選點追蹤器找到的兩點。白色點為舊的候選點追蹤器所串連的另一候選點。虛線箭頭代表舊的候選點追蹤器與候選點的連線關係。.....27
圖 3-25 當正要串連點時，候選點追蹤器右邊或兩邊點重覆的狀況。(a)為右邊的點被其他候選點追蹤器重覆找到。(b)、(c)和(d)是兩邊點都被其他候選點追蹤器找到，且兩點分別被評判為左分支線和右分支線的狀況。(b)和(c)是在重覆的兩點的前一候選點追蹤器是同一候選點追蹤器，並且候選點追蹤器是分支點。(b)是相差的時間為 3 幀以內的狀況。(c)是左右候選點追蹤器的車道線種類分別為左雙線和右雙線，相差的時間超過 3 幀的狀況。(b)和(c)兩者最後都會以雙線串連作為連接方式。(d)相差的時間超過 3 幀，且追蹤器不是左右雙線時，將會以正要串連點的候選點追蹤器搶走兩點形成分支線。紅虛線上方為候選點追蹤器的點。紅虛線下方為被新的候選點追蹤器找到的兩點。黑點為新的候選點追蹤器。白點為舊的候選點追蹤器。虛線箭頭代表舊的候選點追蹤器與候選點的連線關係。.....27
圖 3-26 在時間切片影像中兩點重覆被找到時，實際串連點的範例。(a)為被判定為以雙線串連的狀況。(b)為判定被搶走點形成分支的狀況。.....28
圖 3-27 模擬被判斷為雜訊的兩種狀況。(a)被判斷為雜訊的單線。(b)被判斷為雜訊的分支線。.....29
圖 3-28 當道路標示出現在時間切片影像時，被判定為單線逾時的狀況。此時影像上四條線段都會被刪除。.....29
圖 3-29 當車道線旁邊的雜訊(紅圈內的點)在時間切片影像上被判定為分支線，而後來其中一條線因為逾時正要被刪除。.....29
圖 3-30 (a)為雙線在時間切片影像中的影像，由此可以看出雙線線之間的距離與車道線寬度相同，即 $W_1=W_2=W_3$。(b)為合併線在時間切片影像中的影像，可以看出合併線在與前 N_{frame} 幀線之間的距離是有極大的變化量，即 $D_{10} > D_1$。.....30
圖 3-31 單線車道線種類狀態轉換圖。.....31
圖 3-32 提取車道線的流程圖。.....31
圖 3-33 (a)在即時系統時，用預測的方式填補缺漏點的區塊。(b)在非即時系統時，用內插法的方式填補缺漏點的區塊。黑點為候選點追蹤器已串連好的車道線候選中心點。白點為以內插法或預測的方式填補的點。.....32
圖 3-34 (a)將 6 張時間切片影像找到的車道線候選中心點畫在同一張圖的結果。依顏色順序黃色、紫色、淡藍色、紅色、綠色以及藍色，各別代表在影像第 300、310、320、330、340 以及 350 行所切出的時間切片影像中找到的車道線候選中心點。(b)為用預測的方式將(a)空白區塊填滿的結果。(c)為用內插法的方式將(a)空白區塊填滿的結果。.....33

圖 3-35　換車道評判時機的中間區塊(黃色斜線區塊)。.....34
圖 3-36　一般模式與換車道模式的切換時機，與兩種模式的搜尋區域圖。.....34
圖 3-37　當時間切片影像中的候選中心點投影在同一張影像的圖。不同顏色的線代表不同時間切片影像所找出來的車道線中心點，依顏色順序黃色、紫色、淡藍色、紅色、綠色以及藍色，各別代表在第 300、310、320、330、340 以及 350 行的影像中所切出的時間切片影像車道線中心點。.....35
圖 3-38　點配對方法的範例圖。.....36
圖 3-39　當在時間切片影像車道線中心點對應回原影像的位置後，找線的各種狀況。(a)為第一次找線做點配對時，剛好 6 張時間切片影像的點都可以找到的狀況。(b)當第二個時間切片影像的切片上找不到點配對的狀況。(c)當設定完點之間的水平距離 d，有部分時間切片影像無法找到點的狀況。(d)當(a)狀況找完第一條線後，要找第二條線的狀況。 36
圖 3-40　經由取車道線步驟後，產生出來的車道線。.....37
圖 3-41　當車輛在彎道轉彎時，右邊車道線的時間切片影像車道線候選中心點重疊的影像。從距離鏡頭近到遠的點的顏色依序為藍色、綠色、紅色、淡藍色、紫色以及黃色。.....38
圖 3-42　將圖 3-40 的車道線種類分類後結果。綠線為虛線。藍線為實線。 38
圖 4-1　各種車道種類的影片(a)其中一邊為雙線。(b)兩邊皆為實線。(c)兩邊皆為虛線。(d)(e)一邊實線一邊虛線。(f)轉彎。(g)換車道。.....40
圖 4-2　車道線邊界標示程式畫面。.....40
圖 4-3　其中一邊車道線為短虛線的影片。.....43
圖 4-4　各個時間切片影像中所找出來的車道線候選中心點的投影在同張影像中，各個顏色代表不同的時間切片影像找出來的點其中藍色點代表 350 行的時間切片影像找出來的點。(a)為元素大小 N_{E1} 為 11 的結果。(b)為元素大小 N_{E1} 為 13 的結果。 44
圖 4-5　N_{E1} 為 11，在 350 行切片的亮度資訊。藍色代表超過門檻值的區塊。.....44
圖 4-6　N_{E1} 為 13，在 350 行切片的亮度資訊。藍色代表超過門檻值的區塊。.....44
圖 4-7　經過各個處理步驟後，在用內插法連接各個時間切片影像中的點的重疊影像，各個顏色代表不同的時間切片影像找出來的點其中藍色點代表 350 行的時間切片影像的點。(a)為元素大小 N_{E1} 為 11 的結果。(b)為元素大小 N_{E1} 為 13 的結果。 45
圖 4-8　因虛線之間的空白處而追蹤錯車道線的影片。.....45
圖 4-9　在非即時車道偵測系統的頂-帽轉換元素大小的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{E1}\rightarrow N_{E2}\rightarrow N_{E3}\rightarrow N_{E4}\rightarrow N_{E5}\rightarrow N_{E6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的元素大小 N_{E1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的元素大小 N_{E2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的元素

大小 N_{E3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的元素大小 N_{E4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的元素大小 N_{E5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的元素大小 N_{E6} 的實驗結果。 46
圖 4-10 在即時車道偵測系統的頂-帽轉換元素大小的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{E1}\rightarrow N_{E2}\rightarrow N_{E3}\rightarrow N_{E4}\rightarrow N_{E5}\rightarrow N_{E6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的元素大小 N_{E1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的元素大小 N_{E2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的元素大小 N_{E3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的元素大小 N_{E4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的元素大小 N_{E5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的元素大小 N_{E6} 的實驗結果。 47
圖 4-11 在非即時車道偵測系統的平滑化各低頻保留率的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{S1}\rightarrow N_{S2}\rightarrow N_{S3}\rightarrow N_{S4}\rightarrow N_{S5}\rightarrow N_{S6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S6} 的實驗結果。 49
圖 4-12 在即時車道偵測系統的平滑化各低頻保留率的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{S1}\rightarrow N_{S2}\rightarrow N_{S3}\rightarrow N_{S4}\rightarrow N_{S5}\rightarrow N_{S6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S6} 的實驗結果。 50
圖 4-13 在非即時系統上，不同的開始追蹤車道線的時間點實驗。 51
圖 4-14 在即時系統上，不同的開始追蹤車道線的時間點實驗。 52
圖 4-15 各種路況的結果影像。綠線為虛線。藍線為實線。紅線為雙線。(a)兩邊皆為虛線。(b)兩邊皆為實線。(c)轉彎。(d)左邊實線右邊虛線。(e)左邊虛線右邊實線。(f)其中一邊為雙線。(g)往右邊換車道。(h)往左邊換車道。 53
圖 4-16 將換車道影片中，各個時間切片影像中的車道線中心點畫在同一張影像上的結果，根據不同顏色代表不同時間切片影像中的車道線候選中心點。 53
圖 4-17 (a)為圖 4-16 用即時系統預測出的結果。(b)為圖 4-16 用非即時系統內插出來的結果。 54
圖 4-18 各種不同天氣的影像。(a)晴天。(b)陰天。(c)雨天。 55

表目錄

表 1　左邊點重覆時，候選點追蹤器串連點的方式。 26
表 2　各種道路種類測試資料影片總幀數。.....39
表 3　各行車狀況測試資料影片總幀數。.....39
表 4　系統固定參數一覽表。.....42
表 5　在不同車道種類狀況下，即時系統與非即時系統的車道線平均誤差、平均檢出率以及平均精準度的實驗結果。.....52
表 6　在不同天氣狀況下，即時系統與非即時系統的車道線平均誤差、平均檢出率以及平均精準度的實驗結果。.....54
表 7　非即時車道線偵測系統分類車道線種類結果。.....55
表 8　即時車道線偵測系統分類車道線種類結果。.....55

一、 序論

1.1 研究背景與動機

近年來,隨著行車紀錄器由機械式轉為數位式以後,行車紀錄器的使用率逐年增加。機械式行車紀錄器雖然操作上十分簡易，不過由於是以紙卡的方式做記錄，資料的可讀性低，且儲存的資訊十分有限，使得行車紀錄器的應用面十分狹隘。自數位式行車紀錄器出現後，資料的儲存方式從紙卡轉為儲存於記憶體設備中的數位資料，除了資料容易儲存外，將資料以影像的方式儲存，提高了資料的可讀性。而且數位資料容易與外部設備如全球衛星定位系統(Global Positioning System)、數位電子羅盤等資訊做整合，使得行車記錄器可以取得的資訊也更加多樣化，應用範圍也因此變得更加廣泛。

由於數位式行車紀錄器是以影片的方式將行車路況記錄下來，從影片的聲音及影像極為容易分辨道路肇事事故的事發經過與責任歸屬，因此許多駕駛人看準這點，而在車上加裝了行車紀錄器，使得行車紀錄器更加的普及化。由於行車紀錄器的普及與資料廣泛的應用層面，使得許多學者與企業對於研發行車紀錄器相關的應用系統十分的感興趣。現今利用行車紀錄器影片去做出輔助駕駛人防範事故發生的系統相當地多，其系統總稱為高級輔助駕駛系統(Advanced Driver Assistance Systems)。高級輔助駕駛系統是用來輔助駕駛人進行汽車駕駛的系統,以人機互動的方式輔助駕駛人,增加車輛駕駛的安全性，而常見的輔助駕駛系統有車道偏離警示系統、換車道輔助系統、防撞警示系統...等。

基於視覺的駕駛輔助系統，車道線偵測占有相當重要的地位，經由車道線的偵測，可以了解車子在道路上的位置，使系統能夠確認駕駛人的狀況與周遭的環境。因此近二十年以來，車道線偵測已成為相當重要的領域。以電腦視覺方式去偵測車道線位置的流程大致上可化簡成輸入一部未知車道線位置的行車紀錄器影片，經車道線偵測系統處理過後，會輸出一部已標示車道線位置的影片，如圖 1-1。依據使用者的要求，輸出的結果也會有所不同，有些系統會標示目前行駛車道的左右車道線、而有的則會標示影像中所有車道的車道線。另外有些系統則是會在偵測的過程中將線的種類做分類，以此來增加偵測車道線的準確度，同時也會在輸出時提供線的種類資訊。

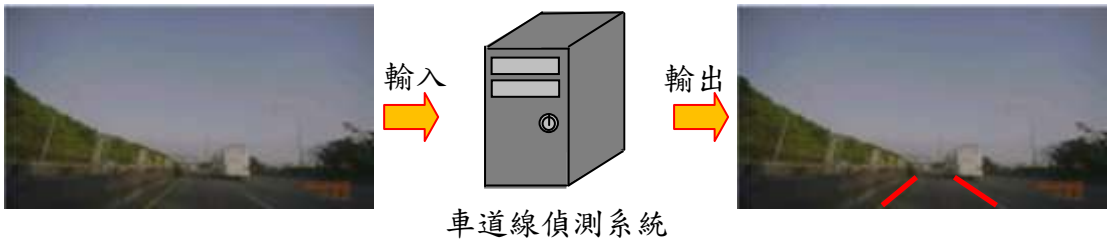


圖 1-1　簡化的車道線偵測流程。

在車道線偵測系統中的困難點在於不同行車紀錄器產出品質不一的影片以及影片內容的天氣與路況對影片的畫質影響，使得在偵測車道線的過程困難重重。在不同的行車記錄器上，所得到的影片介面格式、畫面的解析度與拍攝角度也會有所不同。在圖 1-2(a)中，介面格式中除了影片外，在畫面上左上角附加了全球衛星定位系統導航的地圖，以及在畫面下方附加了目前所在的街道位置等資訊；而在圖 1-2(b)中，介面除了影片外，右下角有影片的拍攝日期與時間。在不同天氣下，影片的視野、道路的顏色與道路的亮度也會有所不同。從圖 1-3 可以看出在不同天氣下的影片，光線的明暗度與視野會都會有所不同，在圖 1-3(a)中，光線略微過亮，路面與車道線彼此亮度看起來略微相近。在圖 1-3(b)中，雖然光線稍微暗了點，不過路面標線在此狀態下屬於剛好，線與路面的亮度與顏色區分十分明顯。在圖 1-3(c)中，雨天的天氣路面潮濕的反光增加偵測上的困難，而且擋風玻璃上不時的會有雨水與雨刷遮擋視野，此影片對於偵測車道線是相當困難的影片。圖 1-4 為不同光線條件下的影片，影片在太暗、太亮或是部分影子遮住的情況，也都是在車道線偵測時需要解決的問題。而在不同的道路上行駛，也會遇到許多必須排除的問題，像是在路面的各種標示(如圖 1-5(a))、周遭的來車(如圖 1-5(b))與路邊的景物(如圖 1-5 (c))都是需要排除的對象。在行車紀錄器影片中，最常見的路況上是直線與轉彎，而其中偶而會出現換車道的特殊狀況，如圖 1-6 所示。在這些路況下，常會需要面對取多少條線、線的種類到底是直線還是曲線等問題。在輔助系統上，並不只需要解決上述的影像問題，在處理影像時，仍需要注意系統的執行速度，如果能解決大部分的問題，可是系統速度卻很差，這樣就無法在第一時間輔助駕駛。因此系統必須能夠在短時間內取得精準的車道線位置是車道線偵測要達到的首要目標。

(a) (b)

圖 1-2 (a)和(b)分別為利用不同行車紀錄器所拍攝的結果，其影片介面格式、解析度與拍攝角度各有所不同。

當車道線偵測系統完成後，需要測試系統的正確性時，必須要有真實數據(ground truth)做為測試資料。產生真實數據需要花費大量的人力與時間，以人工的方式將影片的每張影像中的車道線一一標示出來。Borkar, A.等人[2]提出只用人工標示時間切片影像(time-sliced images)中車道線中心線的轉折點，而其他部分再由半自動的真實數據產生系統利用三次板條線內插法(cubic spline interpolation)串連轉折點，再將時間切片影像中車道線的點對應回影片中用三次板條線內插法將影片的車道線位置標示出來。Borkar, A.

等人提出只畫 3 張時間切片影像中的車道線中心線的轉折點，再用三次板條線內插法將時間切片影像中車道線畫出來的方式，以減少真實數據畫車道線點的數量，來提高標示真實數據的效率。因此在本篇論文中，將以能自動標示並追蹤出時間切片影像上的車道線，以此來快速的標示大量真實數據的車道線位置為目標。

(a) (b) (c)

圖 1-3　各種不同天氣的影片。(a)晴天的影片。(b)陰天的影片。(c)雨天的影片。

(a) (b) (c)

圖 1-4　各種光影的影片。(a)強光且有物體反射在擋風玻璃上的影片。(b)有影子遮住道路的影片。(c)太暗的影片。

(a) (b) (c)

圖 1-5　車道上各種路況的影片。(a)有路面標示的影片。(b)有其他來車的影片。(c)有路旁景色干擾的影片。

圖 1-6　換車道的特殊狀況影片。

1.2 研究方法與貢獻

為了將車道線從行車紀錄器影片中取出，常用的作法是先用影像處理技術將所需的資訊取出，再根據該資訊找出車道線的位置。而車道線偵測系統較常用的流程如下：(1)設定感興趣的區域(region of interest)、(2)車道線偵測的前置處理、(3)車道線偵測、(4)車道線追蹤。

在本篇論文中，我們會描述如何利用時間切片影像與車道線的追蹤，快速自動地產生真實數據，其真實數據將會包含車道線種類與車道線位置的資訊。同時會描述如何將系統從非即時(non-real-time)系統改為即時(real-time)系統的方法。而我們的行車紀錄器是設置於汽車擋風玻璃中間上方的位置。當拍攝的影像輸入到系統以後，系統將會針對感興趣區域切出切片影像加到時間切片影像中，並做去除光影的處理，再將可能是車道線中心點的候選點取出。接著將時間切片影像中的同條車道線的點以我們提出的串連點的規則，將前後時間的候選點串連起來，並刪除可能是雜訊的候選點。當得到每張時間切片影像中經候選點追蹤器(tracker)串連好的候選點以後，將所有的時間切片影像的候選點投影在同一張影像中，以不同時間切片影像的候選點之間水平距離相等的空間相關性將車道線找出來，再將找到的車道線點對應回影片的影像中的位置畫出車道線。最後再根據車道線點對應回時間切片影像中的候選點，根據對應的候選點當時在候選點追蹤器串連前後時間候選點時，所判定的車道線種類以一點一票的方式投票決定車道線種類。在找到車道線後的下一張影像要找車道線時，會先依據各別時間切片影像中候選點追蹤器所串連的候選點做車道線追蹤找出車道線。在實驗中我們會測試各種不同的車道、天氣與車道線種類的判斷結果，並討論實驗的結果與產生的問題。而本篇論文的貢獻如下：

- 提出了一個利用時間切片影像自動產生車道線位置的真實數據的系統。
- 提出了一個可以利用時間切片影像去追蹤車道線，並判斷車道線種類的方法。
- 提出了一個可以同時參考時間與空間的資訊快速找到車道線的即時偵測車道線系統。

1.3 論文組織與架構

在接下來的章節安排如下：在第二章中，我們會探討近年來車道線偵測系統相關的研究論文與實作方法。第三章將會詳細說明本篇論文提出的利用時間切片影像的車道線追蹤與車道線種類分類方法。車道線追蹤與車道線種類分類的實驗結果，我們會在第四章中呈現與討論。最後，我們在第五章對本篇論文做總結並論述本論文未來繼續研究的方向。

二、 文獻探討

在這個章節中，將會探討近年來在車道線偵測與追蹤、車道線種類分類與真實數據製作方式的論文研究的方法。車道線偵測通常是指利用單一影像資訊去標示車道線位置的方法，不過仍有部分的方法會使用前幾張影像當作參考或是強化影像的依據來標示車道線位置。車道線追蹤是以根據前面的影像偵測結果，去預測目前偵測車道線的範圍來做加速搜尋與減少週遭雜訊的干擾。車道線種類分類通常是在車道線偵測的過程中，依據線區塊之間的關係或是點的數量去做分類，常用在換車道警示系統上。真實數據是在每個車道線偵測系統在完成後，需要比較效能時的比較資料，通常是以人工方式依不同系統的要求標示出車道線位置。車道線偵測系統大致流程如下：當輸入影片後，在一開始的第一張影像會經由車道線偵測演算法找出車道線位置，接著將車道線位置的資訊提供給車道線追蹤去預測接下來的車道線位置，使系統更容易找出正確的車道線位置。而在部分的系統上，會在車道線偵測的演算法中再附加車道線種類分類或是道路標示偵測等其他功能。當車道線偵測系統跑完後，將會與真實數據做比對來確認系統的效能。

2.1 車道線偵測與追蹤的相關文獻

在行車輔助系統上車道線偵測與追蹤屬於十分重要的參考資訊，而現今已有許多相關的車道線偵測技術，且技術上已成熟到可以實際運用在商業販售的車輛警示系統上。車道線偵測的目的是偵測車輛在道路上的相對位置，並獲得車道線的訊息，如偏移，彎道的曲率和道路類型。有了車道線的資訊，我們可以提供一個良好的道路環境資訊，提供給輔助系統做運用，從而提高駕駛安全性。目前較常使用的車道線偵測技術為利用影像處理技術，將各種特徵取出後，再利用霍夫變換(Hough Transform) [1][3][4][5][6][9][12]、三次板條線內插法[1][2][8]去將車道線找出。而也常有很多方法會在找到車道線以後利用卡爾曼濾波器(Kalman filter) [1][3][4][5]或是微粒濾波器(Particle filter) [10][11]去預測接下來的車道位置，使車道線能夠更精確的找到。

在車道線偵測系統上，我們尋找的特徵通常像是顏色[1][3][4][5][6][8][9]、邊界[1][3][4][5][12]以及區塊[7][8]的資訊。顏色特徵最常使用得就是將彩色影像轉為亮度的灰階影像[1][3][4][5][9]或是其他色彩空間(YCbCr、HIS 或 CIELab [6]等不同色彩空間)，之後再用門檻值找出車道線顏色區塊，或是利用形態學(morphological) [6]運算將車道線邊界找出來做特徵。

當找出特徵值後，有些方法會利用逆透視映射(Inverse Perspective Mapping) [1][2][3][4][5][6]的方式將影像從二維空間轉為三維空間，而影片的影像將轉成鳥瞰圖(bird's-eyes view)，使車道線變成平行線讓後續系統在找線時，可以更加容易找到車道線。而有些方法是直接用數學模組去將車道線取出，像是利用霍夫變換(Hough Transform)找出直線車道線或用三次板條線內插法或卡特墨爾-羅曲線(Catmull-Rom spline) [12]去找出彎道的曲線。相對的也有些方法是以機率模組[10][11]或是基於已知資訊制訂的規則[10][11]來運用車道線的特徵將車道線取出，而在這類的方法中，有部份的研究者利用

這些特徵資訊去辨識車道線種類來輔助系統找到車道線[11]，與此同時也會提出車道線種類分類的方法。

最後，在取出車道線後，大部分的方法會再加入追蹤車道線的演算法，去預測下一次偵測車道線的位置，去制訂搜尋的區塊，以此達到減少雜訊的干擾，使系統處理的速度更加快速等目的。而常見的追蹤演算法有卡爾曼濾波器(Kalman filter)或是微粒濾波器(Particle filter)，他們都是利用已知資料用機率模組去計算，來預測出下一筆資料的狀況。

Borkar, A.等人在[1]中，利用自適應的門檻值將影像二值化(binary)，再用逆透視映射將影像轉成鳥瞰圖，再經由霍夫曼轉換找出可能的車道線。以等距取樣將霍夫曼轉換找出的車道線做取樣，將取樣出來的點對應回灰階影像的位置，再以一維的高斯形狀(Gaussian-like shape)搜尋視窗找尋更精準的車道線點位置。將點在連回線以後，利用RANSAC 演算法去除掉方向異常的候選車道線，而最後用線性最小平方估計(linear least-squares estimation)從留下的車道線中選出車道線。之後再用卡爾曼濾波器(Kalman filter)預測接下來找線的位置。此方法雖然另外有提出更有效率的真實數據製作方法，不過仍要人工製作花費很多時間，而他偵測車道線的方法雖然可得到不錯的效能，不過在過程中需要環境資訊來轉換出鳥瞰圖，並非每部影片都會提供攝影機架設的環境資訊，因此我們認為應該是以無攝影機架設資訊為前提來找出車道線。

2.2 真實數據製作的文獻

真實數據對於驗證車道線偵測系統正確性與可靠性十分重要，是屬於不可或缺的重要比較資料。而這部分的資料的製作方式，為了使其擁有可信度，通常是用人工方式去標示的車道線位置，不過製作過程十分耗時。而目前對於提高製作真實數據速度的相關研究十分稀少。Borkar, A.等人在[2]中提出一個可加速製作真實數據的新方法。在一開始會先由程式將影片切成三張時間切片影像，接著用專門點選時間切片影像車道線的點選程式將車道線的彎曲點標示出來，而點在標示時，會盡量標示在車道線中心位置。當標示完後，程式會利用三次板條線內插法將點自動的串連起來。最後將三張時間切片影像中的車道線點對應回原影像中的位置，再利用三次板條線內插法將三點串連起來。由於中間過程中利用程式將大部分的車道線用三次板條線內插法的方式將車道線找出，人工部分只要點上少數幾個點去做標示的工作，因此相較於人工每張影像去標示的方法還快。然而這方法雖然可以提升標示真實數據的速度，不過人工標示的方式並不一定會標示在車道線中心點，仍然會有所偏差。而且雖然加快標示的速度，不過在面臨大量的測試影片時，仍不免需要大量的時間去做人工標示的部分。因此我們根據此問題提出自動偵測車道線系統來製作真實數據，以此來節省人工標示所花費的時間。

三、 系統架構與研究方法

在本章節中會將我們的系統方法詳細說明。在 3.1 節中，將系統整個架構與流程大略描述。在偵測車道線之前會利用 3.2 節中描述的前置處理(pre-processing)將時間切片影像產生出來。在 3.3 節中，系統將會從各個時間切片影像切片中找出車道線的候選中心點。接著以串連鄰近時間點的候選中心點的規則加上車道線的基本知識，將候選中心點依時間相關性串連起來，規則與車道線的基本知識會在 3.4 節中詳加敘述與說明。在 3.5 節中，會將時間切片影像中找出來串連起來的候選中心點對應回原影像的位置，再以點之間的水平距離相等的方式將車道線取出，並依時間切片影像中候選中心點的串連結果作為追蹤線的依據。最後在 3.6 節中將車道線的種類做分類。

3.1 系統方法概述

如圖 3-1 所示，即時(real-time)車道線偵測系統在一開始會輸入一部未知車道線位置的影片，經由前置處理過後將得到可切到路面的數張從影片開始到目前處理的影像中所切出的切片形成的灰階時間切片影像。在找尋車道線候選中心點步驟中，會分別從時間切片影像的切片中取得車道線候選中心點。在連結與移除候選中心點的步驟中，會將候選中心點以已知的車道線知識和候選中心點的連接規則將在時間切片影像中各個切片中的車道線候選中心點與前後切片的候選中心點做串連與刪除點的動作，最後在各個時間切片影像中取得車道線中心點、中心點所屬的車道線編號以及該中心點是屬於哪種車道線種類。在提取車道線步驟中，會先用預測(prediction)點來將時間切片影像虛線或缺漏的空白區塊填滿，再將不同時間切片影像找到的車道線中心點重疊在同張影像中，以彼此水平距離相等的方式將點彼此做配對，配出不同大小的點集合，其點將會形成一條近乎直線的折線。接著再選出線的點數最多且長度最長的線作為左右車道線。最後依選出的車道線的點以投票的方式將車道線種類做分類。當步驟全做完後，將會再讀取下一張影像再回到前置處理步驟對下一張影像切出系統所需的切片，將切片加入相對應的時間切片影像中。

非即時(non-real-time)車道線偵測與種類分類系統與即時車道線偵測與種類分類系統的不同點在於提取車道線與車道線種類分類兩步驟是在影片全跑完後，以完整移除雜訊的時間切片影像來做為後續提取車道線步驟的依據。在取線過程中虛線間的空白區塊與缺漏的區塊補點方法，將會從預測法改用內插法(interpolation)將此區塊的點補齊。

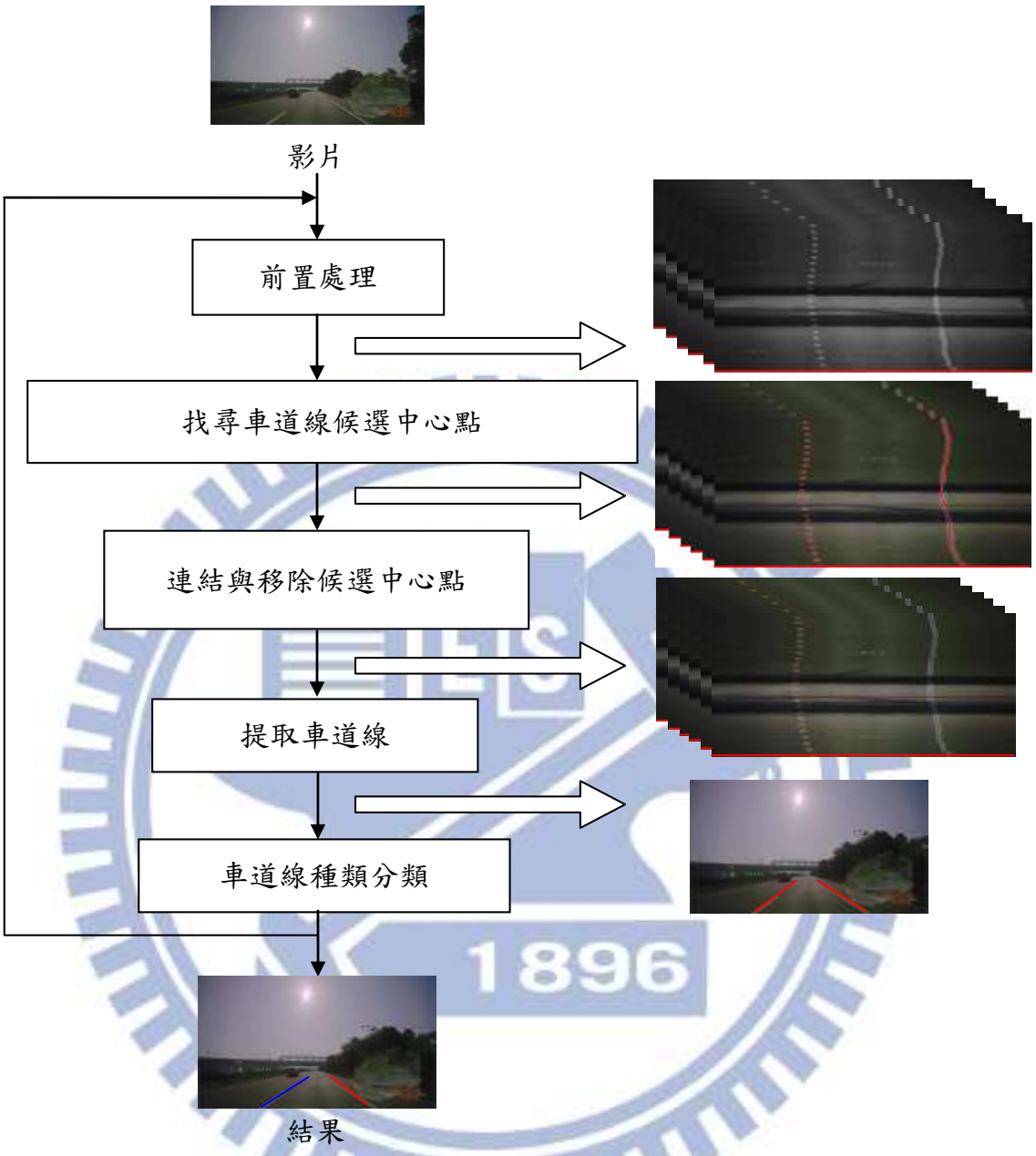


圖 3-1　即時車道線偵測與種類分類系統架構圖。

3.2 前置處理

在前置處理中，會將要處理的資訊簡化到系統需要的部分，來加快計算速度以及使系統能夠參考大量過去的資訊。如圖 3-2 所示，首先會將彩色的影像轉換成亮度(intensity)的灰階影像。接著設定感興趣的區域(region of interest)選取系統需要的資訊，減少干擾的雜訊。最後，將會取得可切到路面的數張(6 張)灰階時間切片影像。

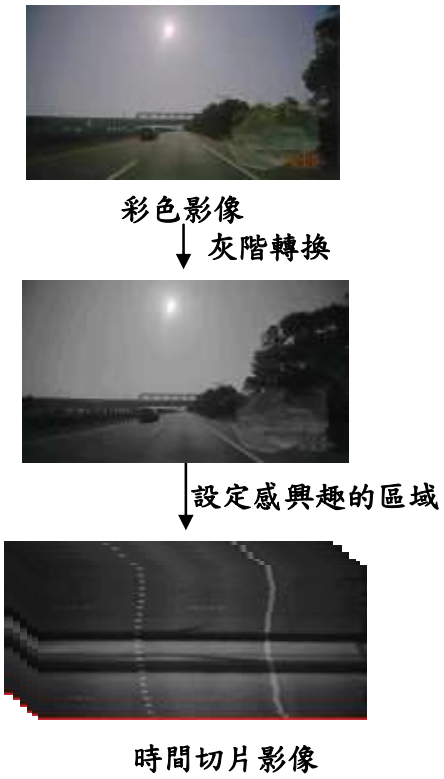


圖 3-2　前置處理的流程圖。時間切片影像上的紅線為目前處理的影像切出的切片。

3.2.1 灰階轉換

為了容易區分路面與車道線的顏色，而利用車道線亮度在影像中較為明亮的特性來減少辨識紅色、白色以及黃色車道線的困難步驟。假如只是利用彩色圖片中所獲得的紅藍綠三原色(RGB color)去分辨車道線顏色，會遇到因不同的光線條件，而讓車道線顏色的紅藍綠三原色數值產生不同幅度的變化。如果只是單純以紅藍綠三原色數值的門檻值(threshold)去區分其顏色，門檻值的設定仍有相當的困難度。而且車道線不管是紅色、白色或是黃色亮度的數值相較於路面亮度，都是屬於較高的一群，如圖 3-3(a)與(b)所示。即使在太亮或太暗的光線影響下，都是路面亮度較車道線暗，而且灰階影像中需要處理的數值只一個，在處理上也相較於彩色影像容易許多。所以將影像從紅藍綠三原色的彩色影像轉為亮度的灰階影像。轉成灰階影像的公式如公式(1)所示，首先將每個位置的顏色的紅藍綠三原色數值取出，依照公式(1)將圖的每個點轉為亮度的灰階影像。$R(i,j)$、$G(i,j)$、$B(i,j)$分別代表在圖中位置(i,j)的紅藍綠三原色值。$Y(i,j)$為在位置(i,j)的亮度值。

$$Y(i,j) = 0.299 \times R(i,j) + 0.587 \times G(i,j) + 0.114 \times B(i,j) \quad (1)$$

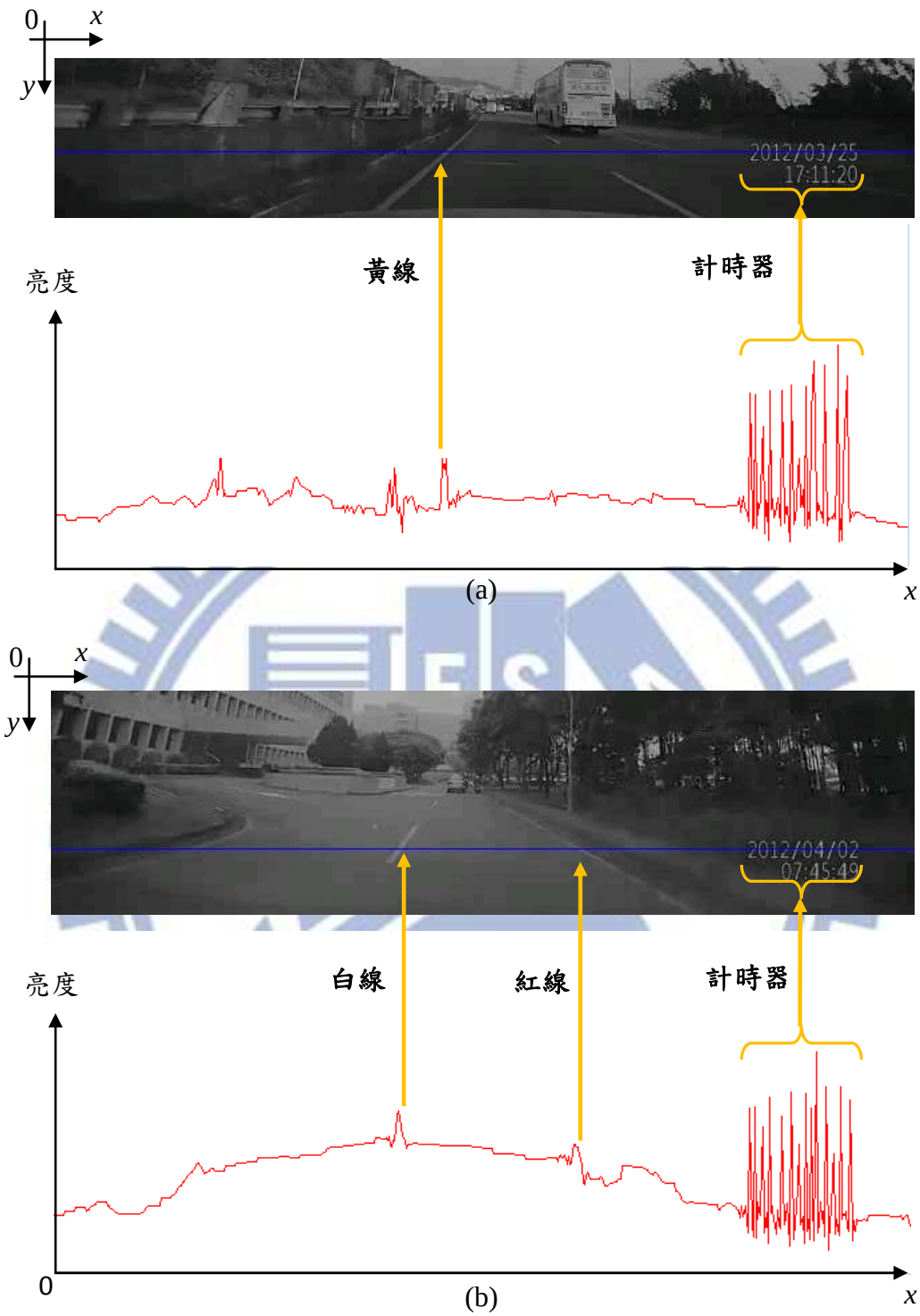


圖 3-3　(a)和(b)上圖是原圖灰階影像，下圖是在影像第 310 行(藍線)的亮度值曲線圖。(a)是黃線亮度的範例曲線圖。(b)是紅線和白線的亮度範例曲線圖。

3.2.2 設定感興趣的區域

為了能夠減少雜訊以及加快計算速度，在選取感興趣的區域前，將一些已知會對偵測結果產生干擾的東西去除。接著從影像中切出可切到車路面的數張(6 張)時間切片影像，以此來減少處理的資料量，並當作感興趣的區域。已知會對辨識結果產生干擾的雜

訊像是行車記錄器畫面上常見的計時器或是全球衛星定位系統資料等，從圖 3-3(a)和(b)中可以看到右下角的計時器，其顏色剛好在亮度上屬於較亮的顏色，在辨識上也會被誤判成車道線的顏色，因此在切時間切片影像切片之前會先將這類的資訊刪除，如圖 3-4 所示。

圖 3-4　移除已知的干擾雜訊(計時器)區塊的影像。.

為了能夠在參考大量的過去資訊，且使系統速度不因此變慢，而切出數張從影片開始到目前處理的影像同行(row)切片所形成的時間切片影像來將感興趣的區域取出。時間切片影像是由影片中每幀(frame)的同一行切片資訊依時間順序累積出來的影像。其時間切片影像範例如圖 3-5 所示，在時間切片影像中水平方向的軸為每一幀影像中的水平方向軸的位置座標；而垂直方向軸代表著每一幀的順序。比如在圖 3-5 中，將影像集合中第 12 幀的影像第 350 行(y = 350)的資料整行取出來放在時間切片上，資料就會出現時間切片影像中的第 12 行(f = 12)的位置。而依序將所有幀的第 350 行(y = 350)的整行資料取出後，並依順序往下堆疊，將會形成時間切片影像。

為了能夠以直線的點斜率相同的特性來簡化辨識出車道線方法，並達到減少處理的資料量的目的。選取時間切片影像的切片位置時，會從影像下方或是車子的引擎蓋上方由下往上以 10 像素(pixels)為單位的方式切出可切到路面影像的數張切片影像，共取出 6 張整行的切片影像。最後 6 張的切片影像分別會堆疊在相對應的 6 張時間切片影像下方，6 張切片影像的位置如圖 3-6 所示。由於圖 3-6 影像中沒拍到引擎蓋，所以是從影片最下方 360 行開始算起，對 300、310、320、330、340 以及 350 行各別切出一張切片影像。

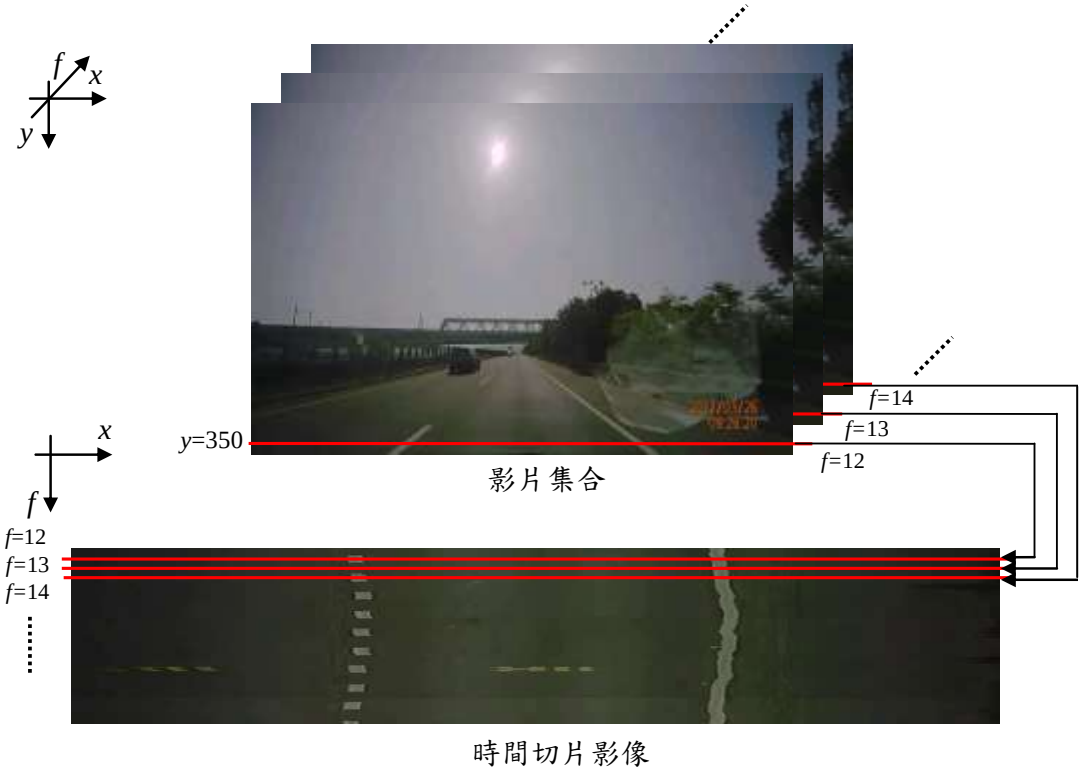


圖 3-5　將時間切片影像從影像集合中切出的範例圖。

圖 3-6　紅線為時間切片影像所切的影像位置，由上至下分別在影像位置的第 300、310、320、330、340 以及 350 行。

3.3 找尋車道線候選中心點

當時間切片影像進入找車道線候選中心點時，會對時間切片影像所產生的每行的資料各別做影像處理，再找出可能是車道線的中心點當候選中心點，如圖 3-7 所示。首先利用頂-帽轉換(top-hat transform)取出亮點，將亮度相較背景高的點取出來。接著用低通濾波器(low-pass filter)做平滑影像(smooth)以去除雜訊，如此一來切片影像中的亮度曲線會變平滑，並減少雜訊對找車道線中心點的影響。為了找到車道線的中心點，而利用尋找切片的亮度曲線中相較於周圍最亮的峰值(peak)來當車道線中心點。最後將所有的峰值利用自適應的門檻值(adaptive threshold)將所有的峰值做分類，選取出候選中心點。

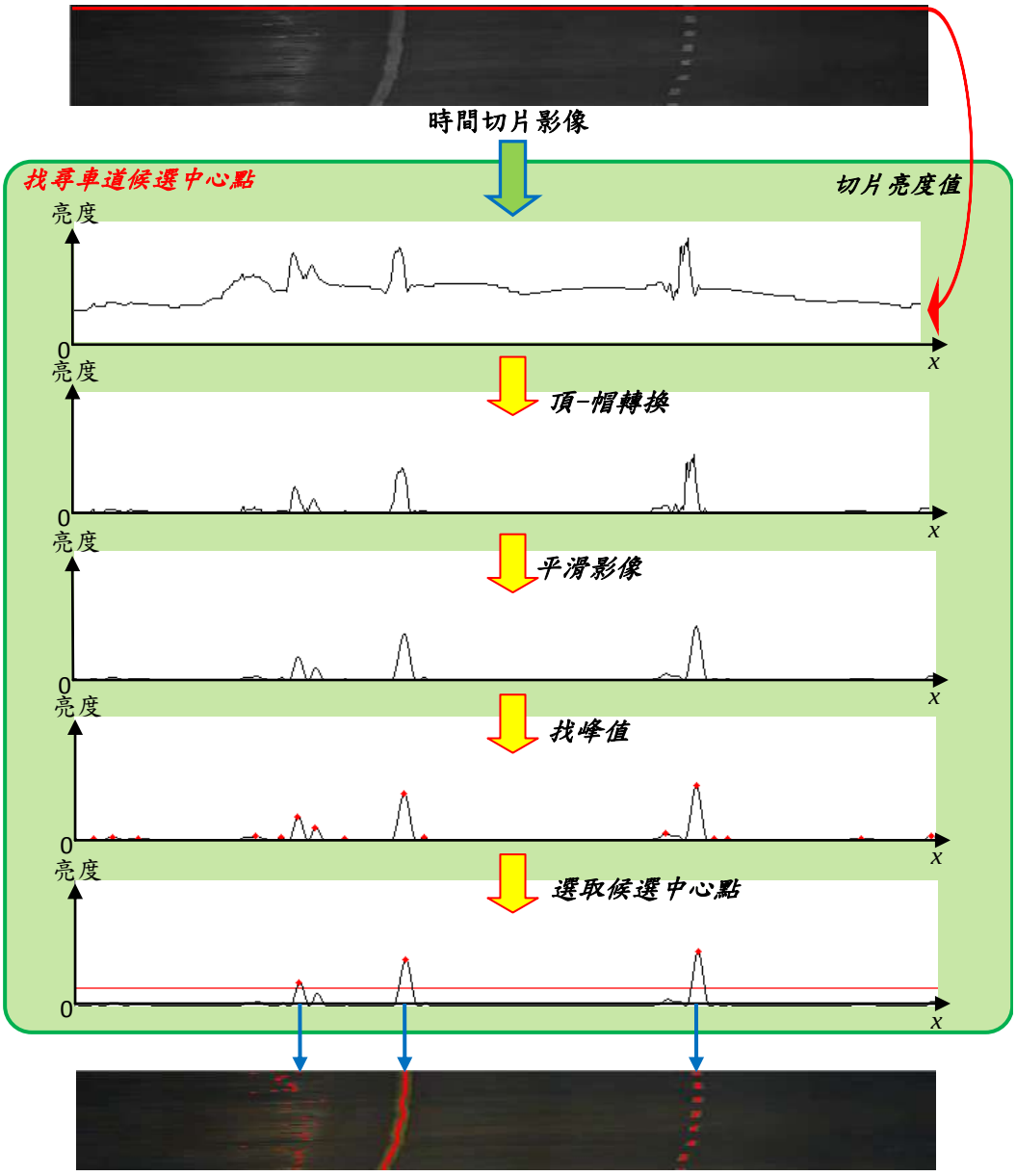


圖 3-7　找尋車道候選中心的處理流程圖。

3.3.1 頂-帽轉換

頂-帽轉換是影像處理中形態學(morphological)運算的其中一種方法。頂-帽轉換是一種從影像中提取出小元素(element)和細節的運算(operation)。頂-帽轉換根據從影像中提取出不同的資訊，而分為黑頂-帽轉換(black top-hat transform)和白頂-帽轉換(White top-hat transform)。黑頂-帽轉換是可以將暗的物件(object)從亮的背景中取出來；白頂-帽轉換則是可以將亮的物件從暗的背景中取出來。公式(2)為黑頂-帽轉換的公式，是利用閉合運算(closing operation)去除小區塊的暗點物件的功能。以閉合運算結果減去原圖的方式，取得相對於背景來說為暗點的物件的區塊。f 為原圖。b 為元素，依元素的大小，將會設定點與背景顏色的比較的範圍大小。“$\bullet$”為閉合運算。公式(3)為白頂-帽轉換的公式，是利用斷開運算(opening operation)去除小區塊的亮點物件的功能。再將原圖減去斷開運算的結果，來取得相對於背景來說為亮點物件的區塊。f 為原圖。b 為元素，依元素的大小，將會設定點與背景顏色的比較的範圍大小。“$\circ$”為斷開運算。在影片中車道線是相對於路面較亮的區塊，因此以白頂-帽轉換來將車道線的區塊取出來。由於白頂-帽轉換的是取出相對週遭背景較亮的區塊，因此還能有減少影片中光影的影響，如圖 3-8 所示。

$$T_B(f) = f \cdot b - f \tag{2}$$

$$T_W(f) = f - f \circ b \tag{3}$$

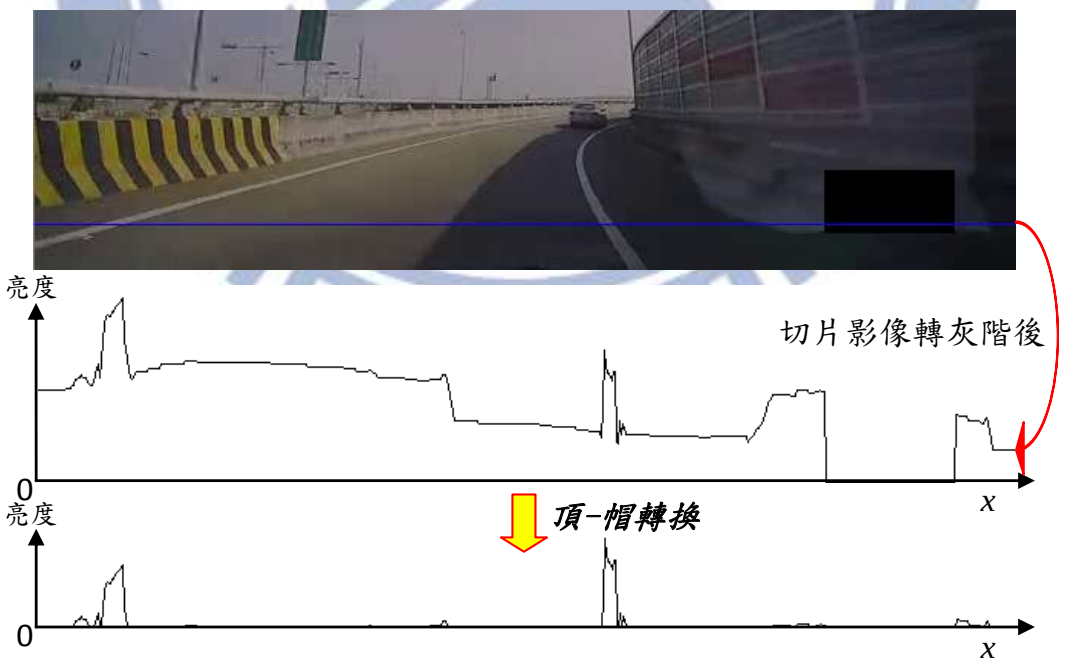


圖 3-8　利用白頂-帽轉換，去除光影的影響的範例圖。.

在系統的方法中，首先會對時間切片影像的每行資料各別做一維元素的白頂-帽轉換。依距離鏡頭的遠近不同時間切片影像，設定不同的元素大小，依距離鏡頭由近至遠設定的大小分別為 $1\times N_{E1}$、$1\times N_{E2}$、$1\times N_{E3}$、$1\times N_{E4}$、$1\times N_{E5}$ 以及 $1\times N_{E6}$。元素裡的值全設為 1，元素的座標原點設在元素(element)的中心，假如元素大小為 1×19 則如圖 3-9 所示。接著將每張時間切片影像經由各自的元素去做白頂-帽轉換，以此做法取得不受大區塊光影影響的影像，如圖 3-10 所示。公式(7)為灰階白頂-帽轉換(grayscale white top-hat transform)的運算公式。公式(4)、(5)和(6)則是灰階白頂-帽轉換中會運用到的公式。公式(4)的 $E_G(x,y)$為灰階侵蝕運算(grayscale erosion operation)在時間切片影像中位置(x,y)的運算結果；公式(5)的 $D_G(x,y)$為灰階擴張運算(grayscale dilation operation)在時間切片影像中位置(x,y)的運算結果；公式(5)的 $O_G(x,y)$為灰階斷開運算(grayscale opening operation)在時間切片影像中位置(x,y)的運算結果。下列公式中 $f(x,y)$代表在時間切片影像中位置(x,y)的亮度值。公式(4)和(5)中的(x', y')代表元素的座標，假如元素大小為 1×19 時，座標如圖 3-9 所示，x'由-9 到 9，y'則是 0。

$$E_G(x,y) = \min_{(x',y'):\,\text{element}(x',y')\neq 0} f(x+x', y+y') \tag{4}$$

$$D_G(x,y) = \max_{(x',y'):\,\text{element}(x',y')\neq 0} f(x+x', y+y') \tag{5}$$

$$O_G(x,y) = D_G(E_G(f(x,y))) \tag{6}$$

$$T_W(x,y) = f(x,y) - O_G(x,y) \tag{7}$$

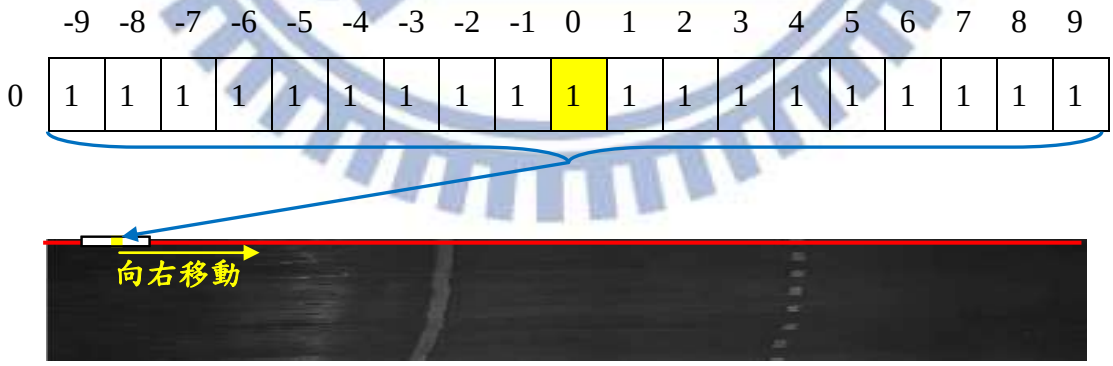


圖 3-9　上圖為假定元素大小為 1x19 時，其元素的設定數值與座標設定。下圖為當白頂-帽轉換在運算時，元素的移動方向。紅線為白頂-帽轉換要處理的影像。

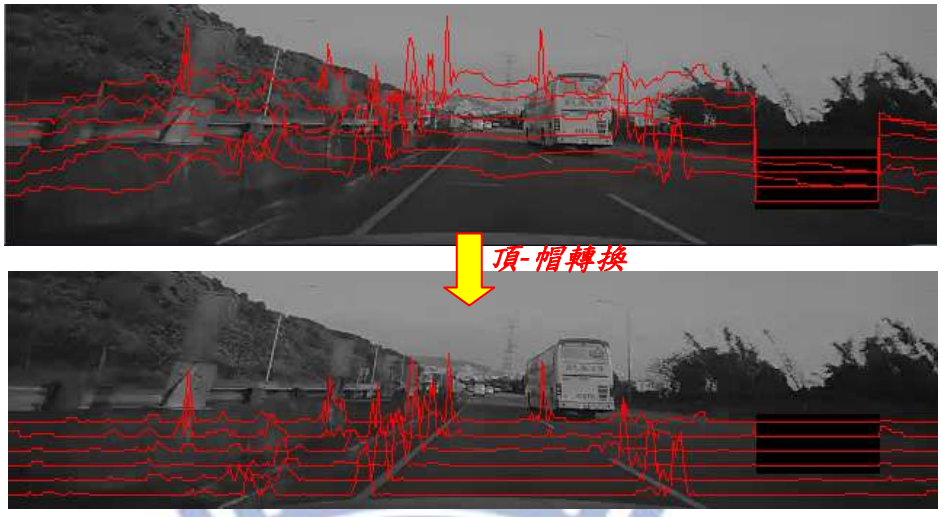


圖 3-10　上圖為頂-帽轉換前的灰階影像；下圖為經由頂-帽轉換後的影像。兩影像中的紅色曲線代表 6 張時間切片影像的切片在此影像中的亮度值曲線。

3.3.2 平滑影像

從圖 3-10 可以看出影像中車道線區塊的亮度值曲線因雜訊的關係，在一個亮度區塊中同時會存在 2 個以上的峰值。由於這問題造成車道線中心點的偏移，當在找車道線時，會難以找到等距的點構成車道線，因此利用平滑化將此問題去除掉。系統的平滑化是利用離散傅利葉轉換(discrete Fourier transform)將時間切片影像中單一切片的亮度值轉換成頻域(frequency domain)的傅利葉係數，再依時間切片影像的切片位置設定移除高頻的傅利葉係數的數量，以移除高頻係數的方式來當作低通過濾器去除雜訊。最後，將剩餘的傅利葉係數經由反離散傅利葉轉換(invert discrete Fourier transform)轉回時域(time domain)的亮度值。其中移除高頻的傅利葉係數的數量經由實驗測得其低頻的保留量百分比依影像最下面的時間切片影像到最上面的時間切片影像的順序分別為 N_{S1}、N_{S2}、N_{S3}、N_{S4}、N_{S5} 以及 N_{S6}。

離散傅利葉轉換是可以將時域的數值序列經由離散傅利葉轉換的公式轉換為頻域的傅利葉係數；相反的，也可以將頻域的傅利葉係數經由反離散傅利葉轉換轉回時域的數值序列。離散傅利葉轉換是利用不同的頻率的波疊加起來可以組成任何曲線的特性，將時域的數值轉為波的振幅係數，此係數即為傅利葉係數。高頻的波將代表影像中較細微的資訊，因此平滑化就是利用移除高頻係數，只保留低頻係數的資訊來去除雜訊。圖 3-11 為將圖 3-10 經由頂-帽轉換後的影像，再經由平滑化的結果，其曲線經平滑化後曲線較為平滑，且在亮度區塊也比較沒有出現 2 個以上峰值的狀況。公式(8)為離散傅利葉轉換的公式；公式(9)為反離散傅利葉轉換的公式。$x[n]$代表在時域的數值序列中第 n 個數值。 $\hat{x}[k]$代表在頻域的傅利葉係數中第 k 個的傅利葉係數。N 代表數值序列的總數。i 代表虛數單位。

$$\hat{x}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} e^{-i\frac{2\pi}{N}nk}\, x[n] \qquad k = 1,2,3 \ldots, N-1. \tag{8}$$

$$x[n] = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} e^{-i\frac{2\pi}{N}nk}\, \hat{x}[k] \qquad n = 1,2,3 \ldots, N-1. \tag{9}$$

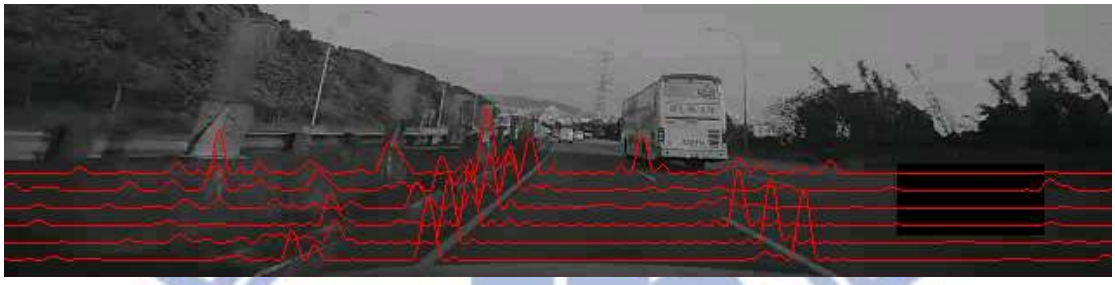


圖 3-11　將圖 3-10 經由頂-帽轉換後的影像，再經由平滑影像後所產生的影像以及亮度值曲線，其紅色曲線為 6 張時間切片影像的切片在此影像中的的亮度值曲線。

3.3.3 找峰值

為了將可能是車道線中心點的亮度區塊中心點找出來，系統以貪婪法局部搜尋演算法(greedy local search algorithm)的方法，將相較周圍較亮的中心頂點作為峰值取出，如圖 3-12 所示。其搜尋峰值的方法為分別在每張時間切片影像的切片中，由左至右將比左右兩點高的點或是比左右兩邊高的等值的區塊中心點取出來當峰值。在圖 3-13 範例中可以找到 4 個峰值，其中 P_1 和 P_3 是使屬於相較於左右兩邊點的數值較高的區塊的中心點。P_2 和 P_4 則是相較於左右點較高的點。

圖 3-12　從圖 3-11 的 6 張時間切片影像的切片亮度值曲線中找出的所有峰值。紅線為各張時間切片影像的切片亮度值曲線。綠點為峰值在影像中的位置。

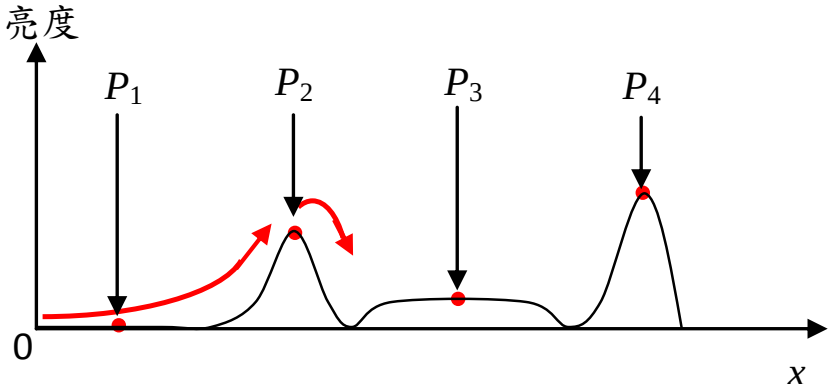


圖 3-13　找峰值的範例圖。

3.3.4 選取候選中心點

為了排除掉非車道線中心點的峰值，因此對各張時間切片影像設定自適應的門檻值來區分非車道線中心點的峰值。對各張時間切片影像設定自適應的門檻值是為了能夠適應隨時間與環境變化的影像，而門檻值的決定方式，將會以時間切片影像的切片影像的亮度值平均(mean)加兩倍標準差(standard deviation)來決定。自適應的門檻值的決定方式如公式(12)，$p_{cp}(i,j)$代表在影像位置(i,j)的地方峰值是否為車道線的候選中心點，如果是候選中心點，則值設為 1；如果不是候選中心點，則值設為 0。$f(i,j)$代表經過平滑化處理過後的影像，在位置(i,j)的亮度值。μ_i為在影像中第 i 行的切片亮度平均值。σ_i為在影像中第 i 行的切片亮度標準差。公式(10)和公式(11)分別為公式(12)所使用的平均和標準差公式。$f(i,n)$代表經過平滑化處理過後的影像，在位置(i,n)的亮度值。N 代表影像的寬度。

$$\mu_i = \frac{\sum_{n=1}^{N} f(i,n)}{N} \tag{10}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} \frac{f(i,n)^2}{N} - {\mu_i}^2} \tag{11}$$

$$p_{cp}(i,j) = \begin{cases} 0, & f(i,j) < \mu_i + 2\sigma_i \\ 1, & f(i,j) \geq \mu_i + 2\sigma_i \end{cases} \tag{12}$$

選取候選中心點的範例如圖 3-14 所示，雖然在圖 3-13 中找到了 4 個高低不同的峰值，不過 P_1 和 P_3 的亮度值低於門檻值，所以此兩點將會被排除是車道線中心點的可能性；相反的，P_2 和 P_4 的亮度值超過門檻值，將保留他們可能是車道線中心點的可能性。而圖 3-15 則是將圖 3-12 中找到得峰值再經門檻值篩選後的結果，由此結果可看出經此方法後，去除了大量非車道線的峰值。

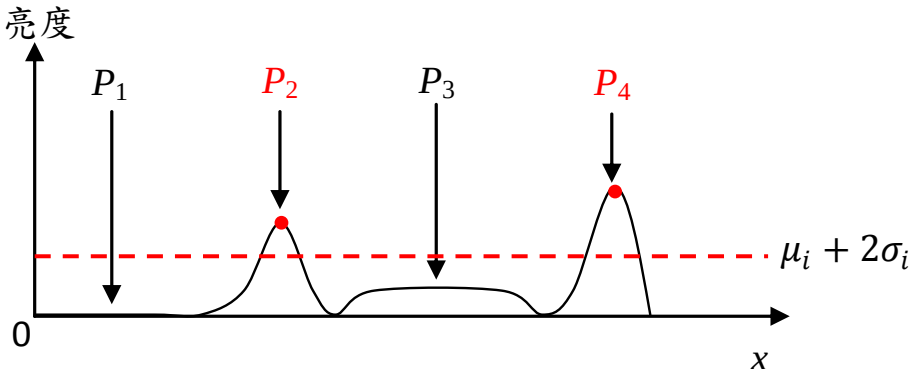


圖 3-14　將圖 3-13 找到得峰值以自適應的門檻值進行篩選，分出可能是車道線中心點的候選點範例。

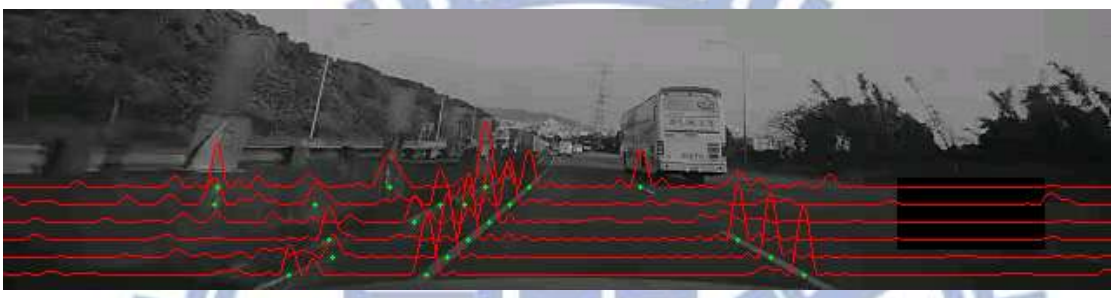


圖 3-15　將圖 3-12 找到的峰值經由自適應的門檻值過濾後留下來的峰值結果。紅線為 6 張時間切片影像的切片經平滑化後的亮度值曲線。綠點為經過濾後的車道線候選中心點的峰值在影像中的位置。

3.4　連結與移除候選中心點

在此步驟中，會從時間切片影像中以車道線點的時間前後相關性與車道線的基礎知識來刪除與連結候選中心點，以此來提高候選中心點為車道線中心點的可信度。如圖 3-16 所示，當含有已標示候選中心點的時間切片影像來到此步驟時，會先確認目前是否已有追蹤點的候選點追蹤器，假如沒有候選點追蹤器的話會進入產生候選點追蹤器步驟中，將目前所有的候選點當作車道線的起始點，各自產生一個候選點追蹤器；假如已經有串連點的候選點追蹤器，會先利用候選點追蹤器去搜尋下一時間點的候選中心點，並依點的串連規則串連下一時間點的候選中心點，最後再將未被串連的候選中心點傳到產生候選點追蹤器步驟中，將這些點當作車道線的起始點。進入移除追蹤器與雜訊線段步驟時，系統將找出長時間未找到新的候選中心點的候選點追蹤器並做刪除，當候選點追蹤器被刪除時，如果候選點追蹤器所追蹤得線段長度不足時，將會判定此線段為雜訊並做刪除此線段。刪除完後，系統會將剩下的線段做重組線的種類，依據線之間的距離變化量與候選點追蹤器所串聯的候選點之間的關係線重組為單線、雙線或是合併線，而單線會再分為實線、虛線以及短虛線三種。最後會得到留下來的候選中心點線的種類和所屬車道線的資訊。

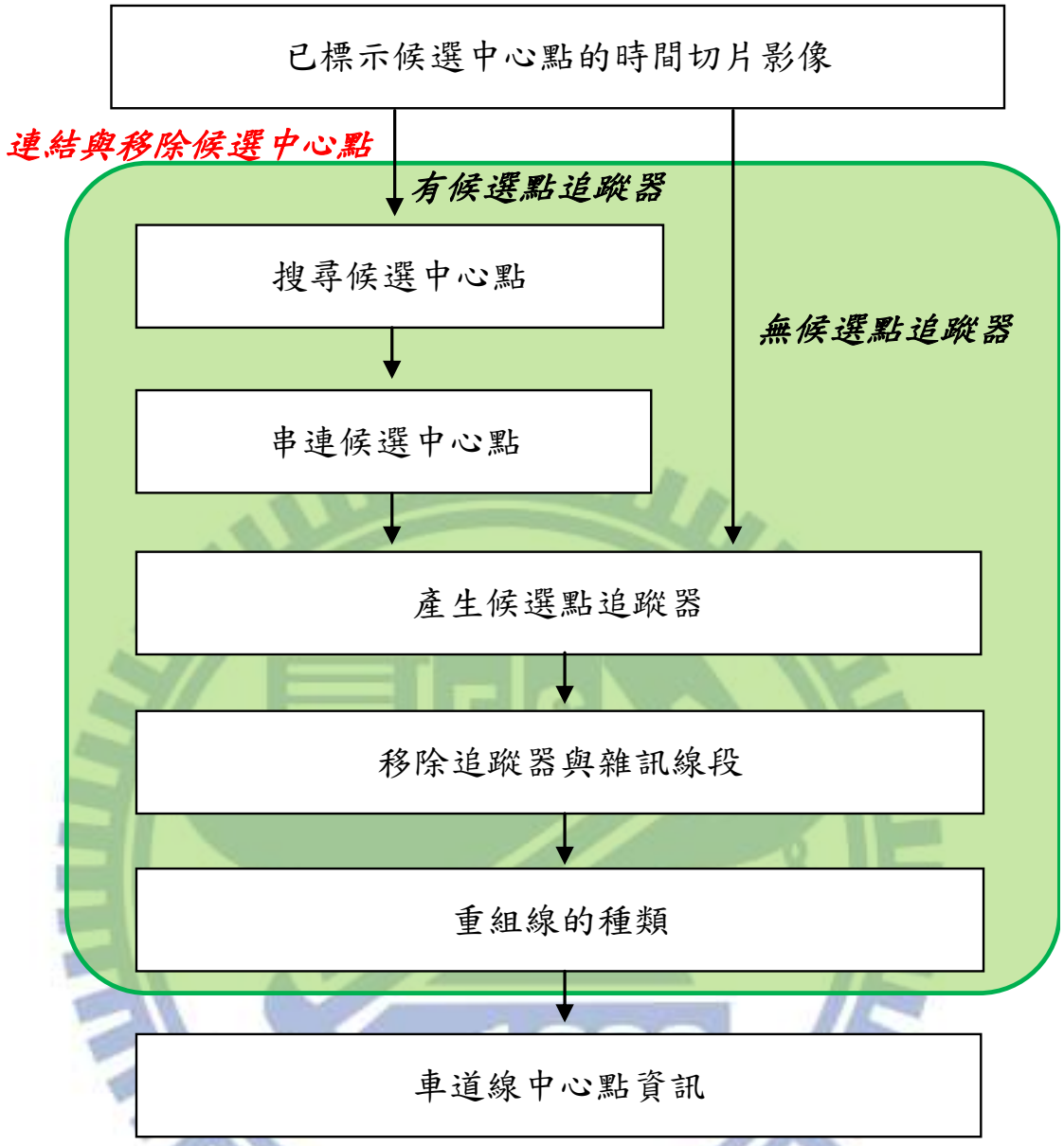


圖 3-16　連結與移除候選中心點的流程圖。

3.4.1 產生候選點追蹤器

當候選中心點未被候選點追蹤器找到並串連起來者，將會視此點為一個新的車道線的起始點，將各自產生候選點追蹤器自行串連車道線。在候選點追蹤器中會記錄每個被串連的候選點位置、候選點出現的時間點、候選點之間串連成的車道線種類、候選點是屬於結點還是線段的一部份、候選點之間的連接關係以及候選點追蹤器有多久沒串連到候選點等資訊。候選點之間串連的線的種類有實線、虛線、短虛線、雙線、合併線以及分支線等，上述各種車道線種類在時間切片影像中的狀況如圖 3-17 所示。

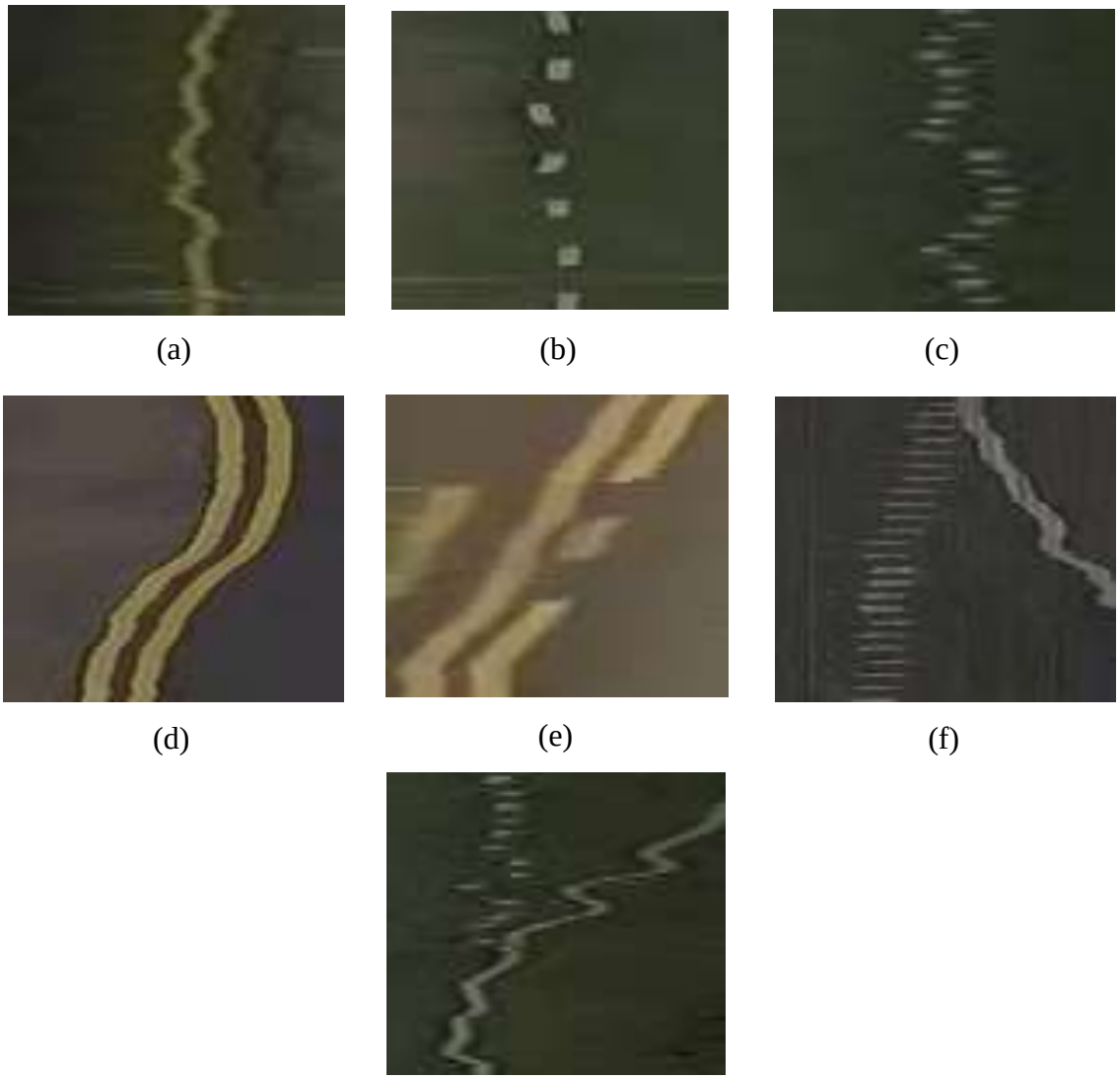


圖 3-17　(a)~(f)為各種車道線的種類在時間切片影像中的狀況。(a)實線。(b)虛線。(c)短虛線。(d)雙線(雙實線)。(e)雙線(一實線、一虛線)。(f)分支線。(g)合併線。

3.4.2 搜尋候選中心點

當候選點追蹤器在找候選點時，會先根據候選點追蹤器之前串連的候選點的水平移動、水平移動方向、位置與未搜尋到點的次數去設定搜尋窗口(search window)的位置與大小。首先會從切片中由左至右找尋候選點追蹤器，接著再由候選點追蹤器去找候選點。在候選點追蹤器第一次搜尋點時，首先會將前一點的位置加上前一點的水平位移來設定搜尋窗口的中心位置。接著以觀察到在所有測試資料不同時間切片上的車道線寬度當作搜尋窗口左右邊界到中心點的距離。其邊界會再根據候選點追蹤器未串連到點的次數，依點的移動方向往該方向加寬搜尋窗口的左右邊界。當第一次搜尋點未能搜尋到新的點時，則會假設前一點有可能是雜訊，再以更前面的點資訊重新設定搜尋窗口做第二次搜

尋點的動作，如圖 3-19 所示。當往前倒回 N_{back} 個點仍未找到點時，才會判定候選點追蹤器完全無法找到新的點。為了防止車輛的左右水平位移太大造成找不到點的狀況，會根據移動方向設定搜尋窗口的位置以及找不到串連點的次數去增長位移方向的搜尋窗口邊界，如圖 3-20 所示。搜尋窗口的邊界設置(如圖 3-18)公式如公式(15)和(16)所示，x_i 和 x_{i-1} 為候選點追蹤器的所串連的候選點 x 座標。f_i 和 f_{i-1} 為候選點追蹤器所串連的候選點出現時間點。f_{i+1} 為候選點追蹤器設置搜尋窗口的時間點。$shift_{wini}$ 為搜尋窗口的水平位移量。x_{win} 為搜尋窗口的中心位置。W_{rown} 為在由影像下方往上屬來第 n 張時間切片影像中的車道線寬度。$times_{no_found}$ 為連續沒找到點的次數。x_{winLE} 和 x_{winRE} 分別是搜尋窗口的左邊界和右邊界的 x 座標。

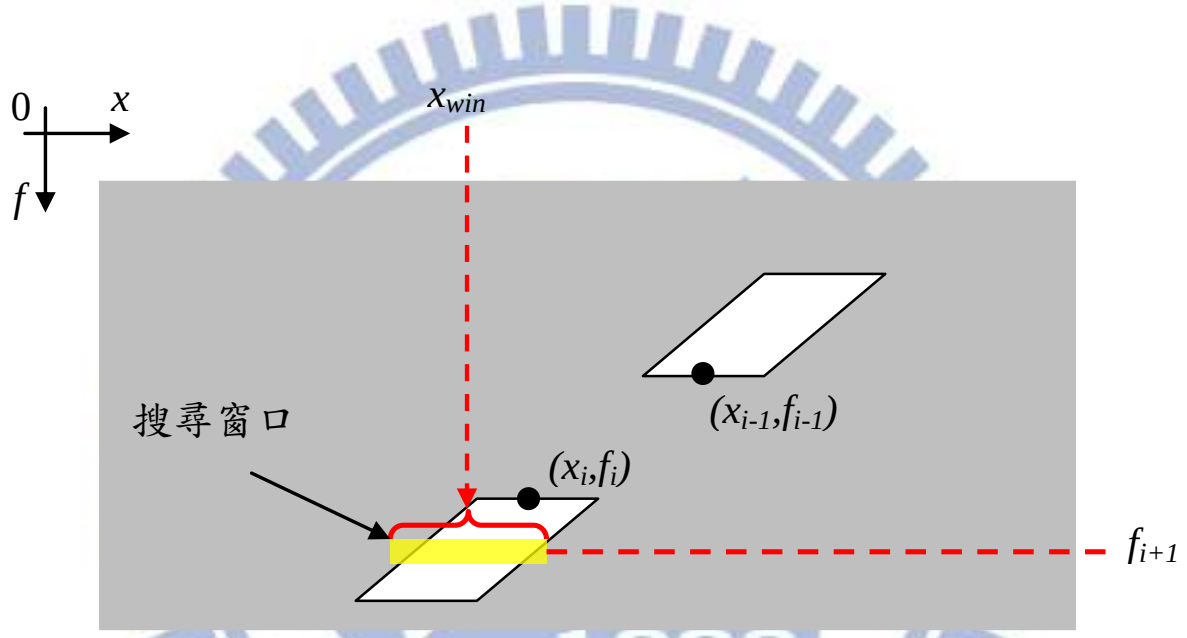


圖 3-18　設定搜尋窗口邊界的範例圖。黃色區塊為搜尋窗口的範圍。

$$shift_{win_i} = \frac{x_i - x_{i-1}}{f_i - f_{i-1}} \tag{13}$$

$$x_{win} = x_i + shift_{win_i} \tag{14}$$

$$x_{winLE} = \begin{cases} x_{win} - W_{rown}, & shift_{win_i} \geq 0 \\ x_{win} - W_{row} - times_{no_found}, & shift_{win_i} < 0 \end{cases} \tag{15}$$

$$x_{winRE} = \begin{cases} x_{win} + W_{rown}, & shift_{win_i} \leq 0 \\ x_{win} + W_{row} + times_{no_found}, & shift_{win_i} > 0 \end{cases} \tag{16}$$

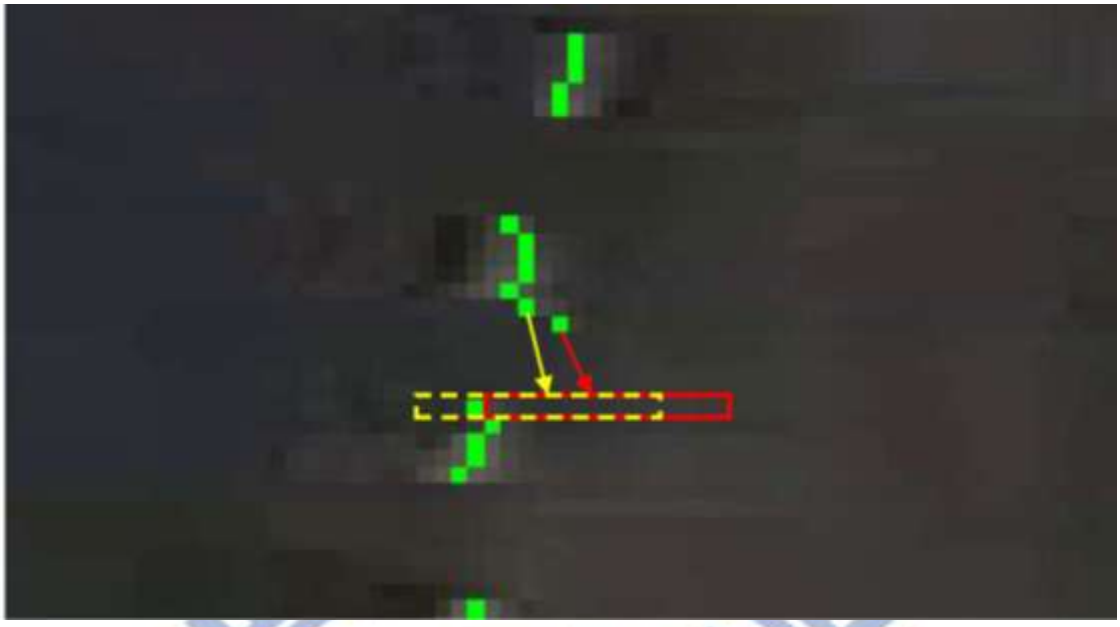


圖 3-19　當時間切片影像中第一次搜尋點未能搜尋到新的候選點時，改用前一點做第二次搜尋的狀況。綠點為候選中心點。紅框為第一次搜尋時，設定的搜尋窗口範圍。黃色虛框為第二次搜尋時，設定的搜尋窗口範圍。

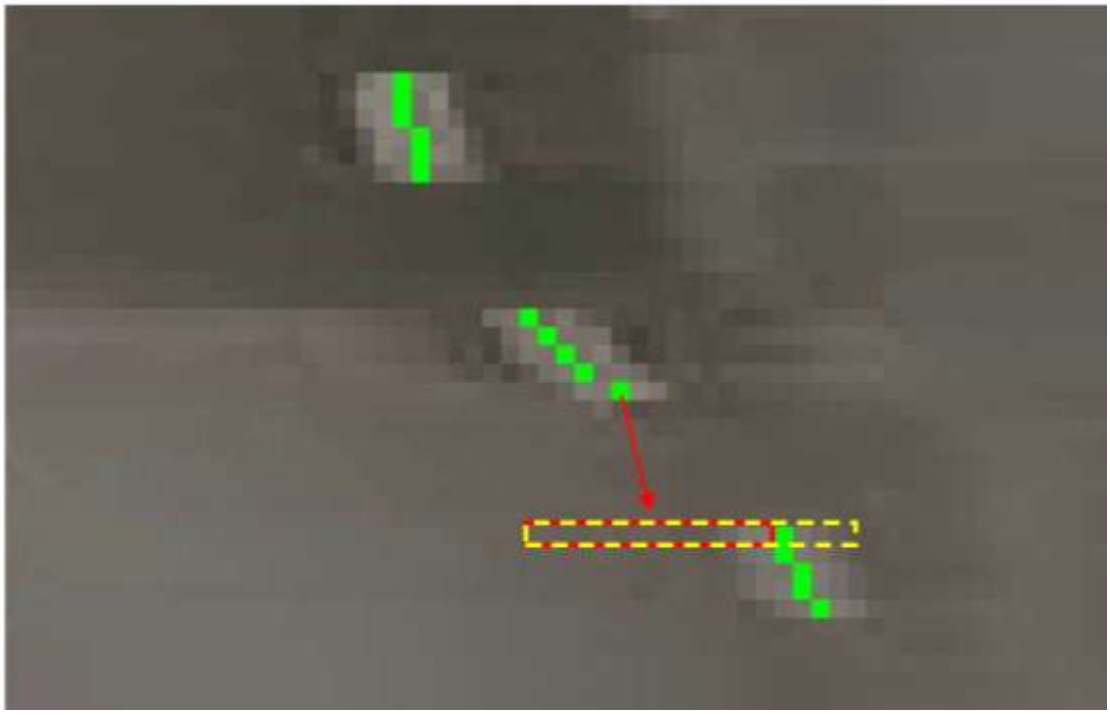


圖 3-20　當車輛左右大量移動時，在時間切片影像中串連虛線需要往移動方向再加寬搜尋窗口範圍的狀況。綠點為候選中心點。紅黃虛線框為沒有加上未搜尋到點次數的搜尋窗口範圍。黃色虛線框加上未搜尋到點次數的搜尋窗口範圍。

3.4.3 串連候選中心點

在串連候選中心點步驟中，會先根據候選點追蹤器找到點的數量來決定串連的方法，其方法將分成未找到點、找到一點、找到兩點以及找到超過兩個點四部分來做處理。當未找到點時，會將候選點追蹤器記錄下來，留到影片的下一張影像(時間切片影像的下一行切片資料)找候選點；當找到一個點和兩個點時，會依據候選點追蹤器線的種類、線的分布狀況以及串連的候選點與前一後選點的距離去串連點；當找到超過兩個點時，會將此狀況視為雜訊不做任何處理，僅將候選點追蹤器留到下張影像再做搜尋。由於搜尋點的候選點追蹤器順序是由左至右，所以在接下來的討論中，新的候選點追蹤器都是指最右邊的追蹤器，舊的候選點追蹤器都是指左邊的追蹤器。

在候選點追蹤器沒有找到點的狀況下，會根據該線連續出現點的持續時間長度來設定逾時(timeout)長度的門檻值。根據台灣交通部規定虛線長度與虛線間隔長度分別為 4 公尺與 6 公尺，依此可推測要找到虛線的下一個區塊，候選點追蹤器搜尋的時間長度必須是虛線線段長的 1.5 倍到 2.5 倍。因此我們逾時的門檻值將會設定為候選點追蹤器目前的線段的長度的 2 倍長。公式(17)為逾時的門檻值設定的方式，$timeout_i$ 代表逾時的門檻值。n_i 代表候選點追蹤器目前的線段連續找到點的長度。$timeout_i$ 的起始值設定為 $timeout_{lower}$。當線的兩倍長度超過 $timeout_{upper}$ 時，將線視為實線不再依據線段長度增加逾時的門檻值。公式(18)為線段連續找到點的長度計算方式。當目前的候選點與上一個候選點是連續或是相差 3 幀(frame)以內，且上一點的連續線長度有超過 3 時，將當作此線是連續的，將線段長度再加 1。而其他狀況則視為線段不連續，將長度設為 1。由於短虛線在時間切片影像中連續長度與短虛線間隔都是不超過 3 幀，因此以數字 3 來做門檻值。

$$timeout_i = \begin{cases} timeout_{lower}, & 2 \times n_i < timeout_{lower} \\ 2 \times n_i, & timeout_{lower} \le 2 \times n_i < timeout_{upper} \end{cases} \tag{17}$$

$$n_i = \begin{cases} n_{i-1} + 1, & f_{i-1} + 1 = f_i \; or \; (f_i - f_{i-1} < 3 \; and \; n_{i-1} > 3) \\ 1, & other \end{cases} \tag{18}$$

當只找到一個點的情況下，可能會遇到點被複數候選點追蹤器找到同一候選點的狀況，如圖 3-21 所示。當候選點追蹤器在串連點時，會考慮到點是否有重覆被候選點追蹤器找到的可能性。在有重覆的情況下，會先看兩個候選點追蹤器的車道線種類是否為合併線的左右線。假如是的話，就會將此點視為合併點，將兩個追蹤器合併，如圖 3-22(a)所示；假如不是合併線時，將會比較候選點追蹤器與候選點的距離，較近的候選點追蹤器將會串連此點，如圖 3-22(b)所示。假如點沒有重覆被找到，則會將找出來的點直接加入追蹤器的線裡。

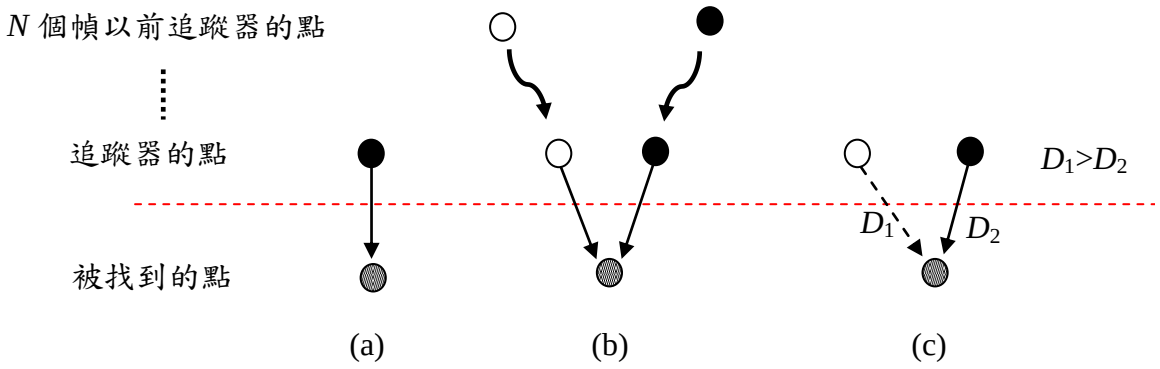


圖 3-21　當候選點追蹤器只找到一點的狀況。(a)為無任何候選點追蹤器連接到過候選點新的追蹤器找到的候選點的狀況。(b)為有一候選點追蹤器連接到新的候選點追蹤器找到的候選點，且兩追蹤器所代表的線的種類分別為左右合併線。(c)為有一候選點追蹤器連接到新候選點追蹤器找到的候選點，不過兩追蹤器所代表的線的種類不是左右合併線。紅虛線下方的斜線點為被新的追蹤器找到的候選點。白色點為舊的候選點追蹤器所串連的候選點。黑色點為新的候選點追蹤器所串連的點。虛線箭頭代表候選點追蹤器與候選點的串連失敗的關係。實線箭頭代表候選點追蹤器串連點的結果。D_1 代表舊的候選點追蹤器和被找到的點的直線距離。D_2 代表新候選點追蹤器和被找到的點的直線距離。

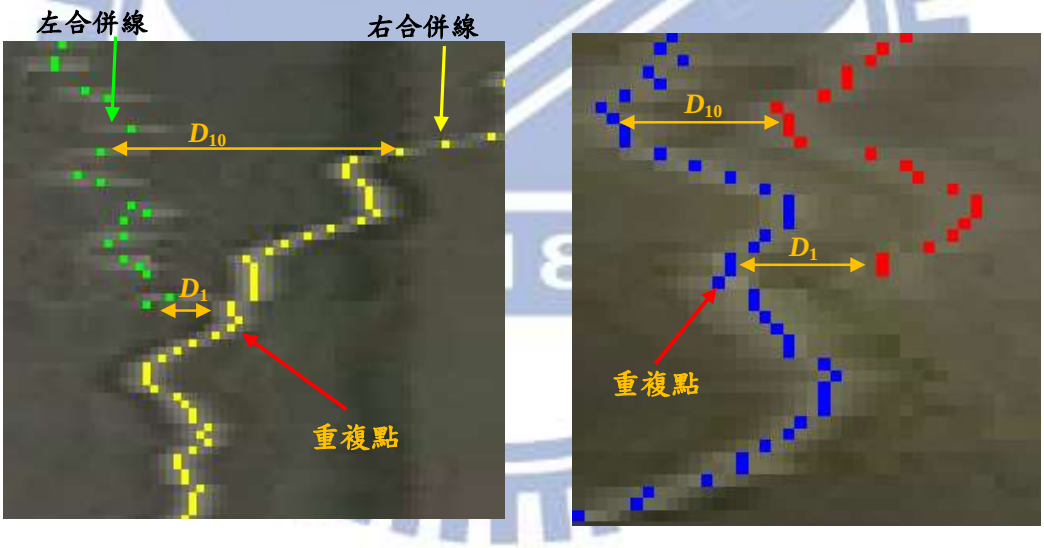


圖 3-22　當兩追蹤器重覆找到同一點時的兩種狀況。(a)當候選點追蹤器為左右合併線(D_{10}>>D_1)時，將兩線合併。(b)當候選點追蹤器不是左右合併線(D_{10}≒D_1)時，將會以最近的追蹤器連接此點。D_1 和 D_{10} 為候選點追蹤器目前彼此距離與候選點追蹤器前 N_{frame} 幀影像中彼此的距離。

當候選點追蹤器找到兩個點的情況時，主要會讓點和候選點追蹤器形成一個點配一個追蹤器的雙線關係。在串連點時，候選點追蹤器會先將找到得點依是否有與其他追蹤器重覆找到此兩點來決定如何串連點。依重覆狀況可區分成四種狀況，分別為無重覆、

左邊的點重覆、右邊的點重覆以及兩點都有重覆被找到等狀況。在無重覆點的情況下，會將上一點判斷為分支點，而此兩點就會當成分支線的起始點，各自去追蹤分支線的點，如圖 3-23 所示。當左邊的點重覆被找到的情況下，會根據重覆點與所連接的另一個候選點追蹤器所形成的線的種類不同，而有不同處理狀況，如圖 3-24 所示，其處理方式如表 1 所示。當右邊的點重覆時，以車道線不會交叉的原則，在此狀況發生時，只會與另一個候選點追蹤器形成追蹤器找到一點且有複數追蹤器準備串連此點的狀況，如圖 3-25(a)所示，處理的方式則是依照找到一點且有複數追蹤器準備串連此點的方式處理。當兩點都有重覆被找到的狀況，且兩點皆已被判斷為分支線時，如果兩點的前一點為分支點，且該點與目前的兩點時間差不超過 3 幀 (如圖 3-25(b)所示)或是左邊追蹤器的點原本是雙線的其中一條(如圖 3-25(c)和圖 3-26(a)所示)時，則這兩個追蹤器與兩個點將會形成一組雙線；如果目前的兩點與左邊追蹤器的點之間有超過 3 幀的時間差距，且追蹤器的車道線種類不是左右雙線時，就會判定由右邊的追蹤器串連此兩點形成分支(如圖 3-25(d)與圖 3-26(b)所示)。由於雙線除了兩條線距離相同外，線的種類中並不存在短虛線，因此利用短虛線與虛線之間的差別當作區分標準。

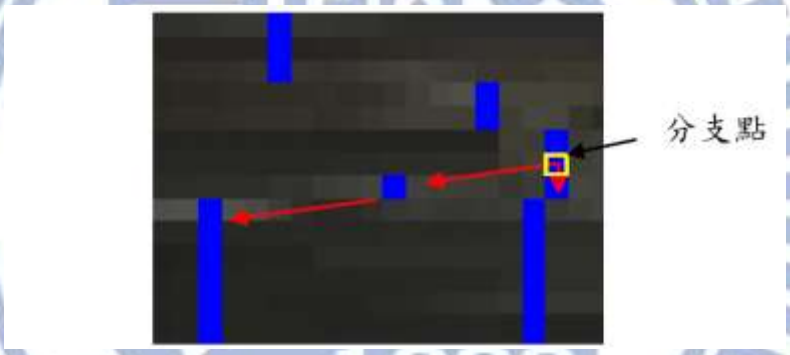


圖 3-23　當時間切片影像中產生分支線的狀況。藍色點為追蹤器串連的點。白框為分支點。紅色箭頭為追蹤器串連的方向。

表 1　　左邊點重覆時，候選點追蹤器串連點的方式。

左追蹤器線的種類	右追蹤器線的種類	串連點的方式
單線	短虛線	右追蹤器直接與右邊點串連形成單線。
單線(短虛線)	非短虛線	重覆點脫離左追蹤器的串連，由右追蹤器串連兩點形成分支線。
單線(非短虛線)	非短虛線	兩個追蹤器各串連最近的一點形成雙線。
雙線	任意車道線種類	追蹤器不去搶左邊重覆的點，直接與右邊點相連形成單線。
合併線	任意車道線種類	
分支線	任意車道線種類	左右兩追蹤器從三個點中取出較近的兩點彼此形成雙線。

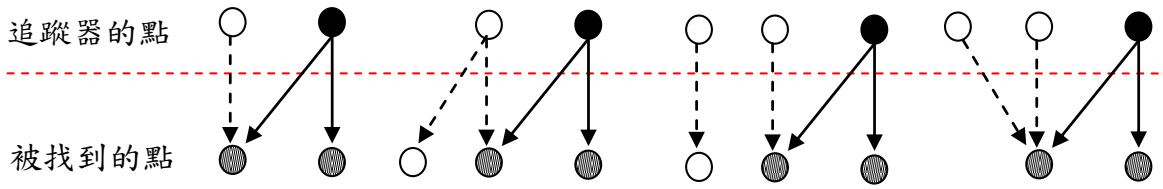


圖 3-24　當正要串連點時，候選點追蹤器左邊點重覆的狀況。(a)為左邊點與前一候選點追蹤器形成單線關係。(b)為左邊點與前一候選點追蹤器形成分支線關係。(c)為左邊點與前一候選點追蹤器形成雙線關係。(d)為左邊點與前一候選點追蹤器形成合併線關係。紅虛線上方為候選點追蹤器的點。以黑點為新的候選點追蹤器。白點為已連完點的舊的候選點追蹤器。紅虛線下方的斜線點為被新的候選點追蹤器找到的兩點。白色點為舊的候選點追蹤器所串連的另一候選點。虛線箭頭代表舊的候選點追蹤器與候選點的連線關係。

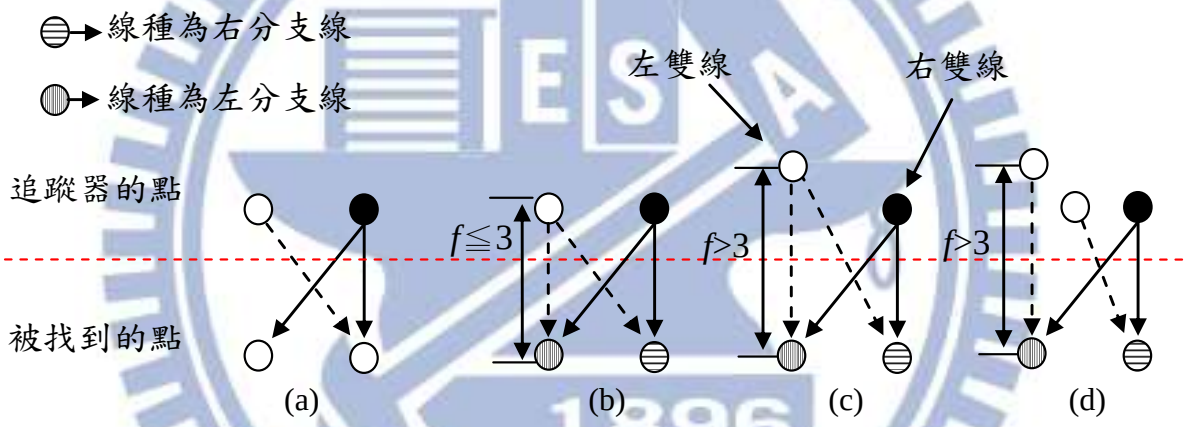
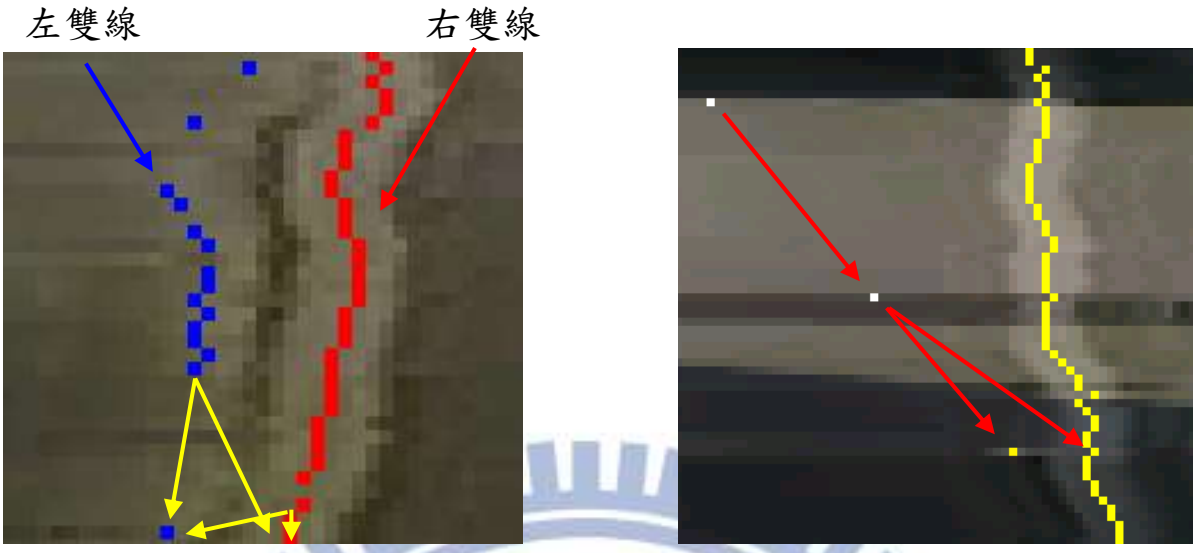


圖 3-25　當正要串連點時，候選點追蹤器右邊或兩邊點重覆的狀況。(a)為右邊的點被其他候選點追蹤器重覆找到。(b)、(c)和(d)是兩邊點都被其他候選點追蹤器找到，且兩點分別被評判為左分支線和右分支線的狀況。(b)和(c)是在重覆的兩點的前一候選點追蹤器是同一候選點追蹤器，並且候選點追蹤器是分支點。(b)是相差的時間為3幀以內的狀況。(c)是左右候選點追蹤器的車道線種類分別為左雙線和右雙線，相差的時間超過 3 幀的狀況。(b)和(c)兩者最後都會以雙線串連作為連接方式。(d)相差的時間超過 3 幀，且追蹤器不是左右雙線時，將會以正要串連點的候選點追蹤器搶走兩點形成分支線。紅虛線上方為候選點追蹤器的點。紅虛線下方為被新的候選點追蹤器找到的兩點。黑點為新的候選點追蹤器。白點為舊的候選點追蹤器。虛線箭頭代表舊的候選點追蹤器與候選點的連線關係。



(a) (b)

圖 3-26　在時間切片影像中兩點重覆被找到時，實際串連點的範例。(a)為被判定為以雙線串連的狀況。(b)為判定被搶走點形成分支的狀況。

3.4.4 移除追蹤器與雜訊線段

在候選點追蹤器的各種動作完成後，將會把長時間未找到候選中心點的候選點追蹤器刪除，當作此候選點追蹤器追蹤的線已消失。假如候選點追蹤器刪除後，線的點數量不超過 N_{point} 個點時，會判斷此線段為雜訊，並刪除該線段。當候選點追蹤器找不到點的時間超過逾時的門檻值(如公式(17))時，就會判定候選點追蹤器追蹤的線已消失。當候選點追蹤器被刪除時，該追蹤器的線從線的末端到線的開頭或線的末端到線的分支點或是線的末端到合併點之間的點數量不超過 N_{point} 時，該線段會被判斷成雜訊，並將此線段的點刪除。當刪除的線是分支線的一邊時，必須將另一邊線的種類改成單線(短虛線、虛線或實線)。

在範例圖的圖 3-27(a)中，為單線長時間沒找到新的點的狀況，而超出逾時的門檻值，且線的點數只有 4 個點，且沒要超出 N_{point} 點門檻值，因此線整條會被刪除。在範例圖的圖 3-27(b)中，為分支中其中一條線長時間沒找到新的點的狀況，超出逾時的門檻值，且線的長度從分支點的下點開始算點數只有 2，並沒有超過 N_{point} 點門檻值。因此刪除此線段到分支點的下一點，並將分支的另一條線段的線的種類從分支線改為單線。

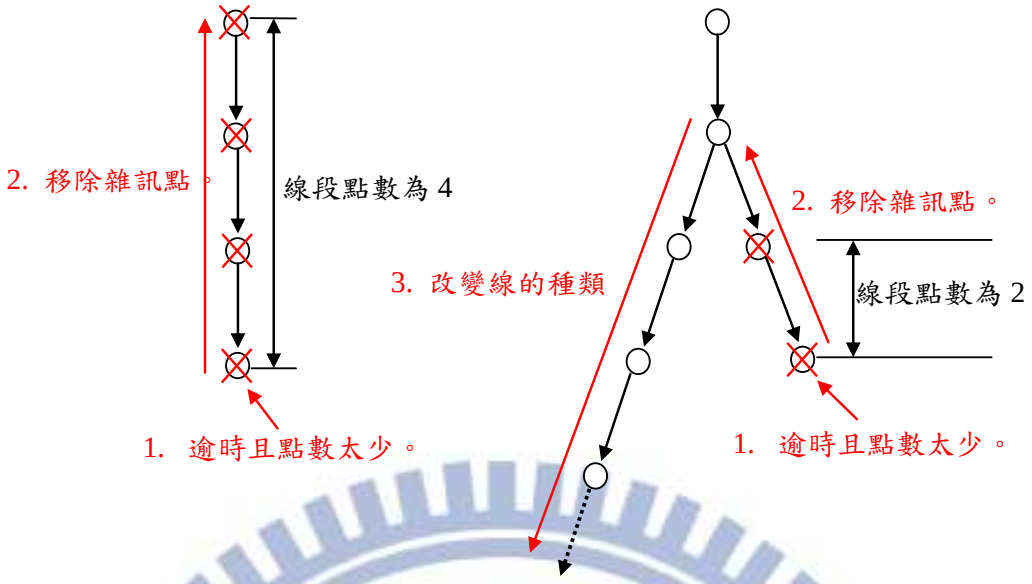


圖 3-27　模擬被判斷為雜訊的兩種狀況。(a)被判斷為雜訊的單線。(b)被判斷為雜訊的分支線。

圖 3-28　當道路標示出現在時間切片影像時，被判定為單線逾時的狀況。此時影像上四條線段都會被刪除。

圖 3-29　當車道線旁邊的雜訊(紅圈內的點)在時間切片影像上被判定為分支線，而後來其中一條線因為逾時正要被刪除。

3.4.5 重組線的種類

當系統來到此步驟後，系統會將線的種類做重新做分類。首先會利用雙線的兩線彼此的等距，且距離為一個車道線寬(如圖 3-30(a)所示)的規則與合併的車道線之間的距離彼此會逐漸接近(如圖 3-30(b)所示)的規則，將線分為雙線、合併線與單線。在單線的部分則會再細分為短虛線、虛線和實線三種。依雙線的規則來看，在未確定雙線的中心點是在雙線的區塊中的哪部分時，兩線間的中心點距離最近應為一個車道線寬，最遠應為三個車道線寬。因此當線之間的距離在目前點與前 N_{frame} 幀的點的距離變化不大(一個車道線寬以下)，且線之間的距離在 3 倍車道線寬以下時，將此對線判斷為雙線。依合併線的規則兩線的距離會逐漸接近，兩線的距離變化要大，且彼此距離又不能太遠。因此當目前點與前 N_{frame} 幀的點之間的距離差很大(一個車道線寬以上)，且線之間的距離小於 5 倍車道線寬時，判斷此對車道線為合併車道線。當車道線為單線時，會根據單線的車道線種類、連續沒找到點的次數(公式(16)中的 $times_{no_found}$)、連續串連點的點數(公式(18)中的 n_i)、逾時的門檻值以及前四個點中互不為前後幀的關係的數量(如公式(19)的 R_i)來作為轉換車道線種類的依據，如圖 3-31 狀態轉換圖所示。在點剛開始串連成為線，且未有明確的根據可確認為雙線、合併線或分支線時，線將會設定為單線的短虛線。當狀態為短虛線時，出現連續 3 幀以上都有找到點時，將狀態轉為實線，車道線種類也將改為實線。當狀態為實線時，只要有 3 幀以上未找到點，就將狀態轉為虛線，並將車道線種類轉為虛線。當狀態為虛線時，連續找到點的數量超過逾時門檻值時，將狀態轉為實線，並將車道線種類改為實線。當狀態為不是短虛線時，沒找到點的次數小於 3，且之前串連的四個點中有 2 組以上的點互不為前後幀的關係，將會再將狀態轉回短虛線，並將車道線種類改為短虛線。公式(19)是用來計算候選點追蹤器之前串連的 i 個點有幾組點兩兩互不為前後幀的關係。f_i 為前 i 點幀的編號。

(a) (b)

圖 3-30 (a)為雙線在時間切片影像中的影像，由此可以看出雙線線之間的距離與車道線寬度相同，即 $W_1=W_2=W_3$。(b)為合併線在時間切片影像中的影像，可以看出合併線在與前 N_{frame} 幀線之間的距離是有極大的變化量，即 $D_{10} > D_1$。

$$R_1 = 0$$
$$R_i = \begin{cases} R_{i-1} + 1, & f_i + 1 = f_{i-1} \\ R_{i-1}, & f_i + 1 \neq f_{i-1} \end{cases} \quad (19)$$

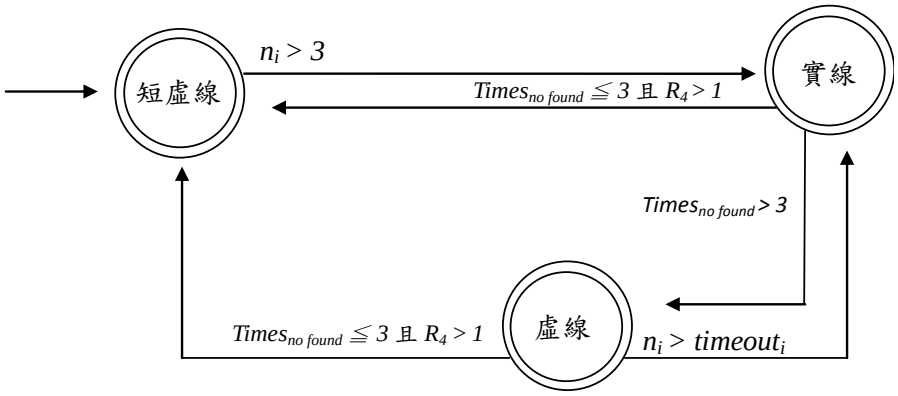


圖 3-31　單線車道線種類狀態轉換圖。

3.5 提取車道線

本章節將會描述提取車道線的流程，其流程如圖 3-32 所示。在提取車道線步驟中，系統會根據前一步驟中找到的車道線中心點，以空間相關性去取出車道線，再以時間資訊當作車道線追蹤的參考資料。當車道線中心點的資訊進入此步驟時，首先會先將時間切片影像中，串連起來的點之間缺漏的區塊以內插法(interpolation)或是預測(prediction)的方式填滿。之後在設定完車道線搜尋範圍後，假如該車道線在上一張影像沒有被找出來，則會將時間切片影像彼此的車道線中心點互相以水平距離等距的方式做點的配對；相反的，如果前一張影像有找到車道線，會以上一張影像中找到的車道線的點去參考時間資訊，產生下一時間點的車道線，假如產生的線點數不夠就算追蹤失敗，要再重新做點配對。最後，將找到的車道線記錄下來。

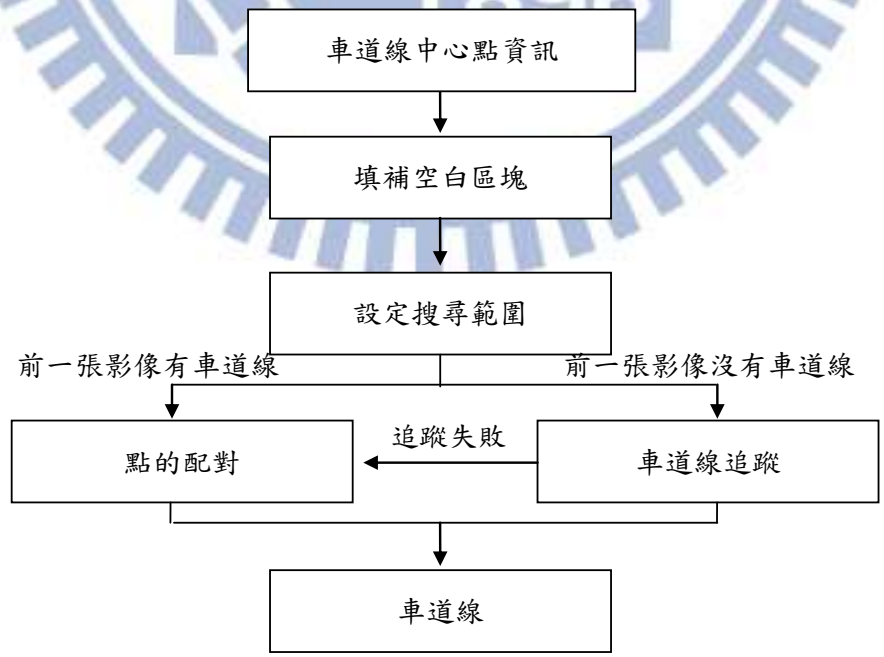


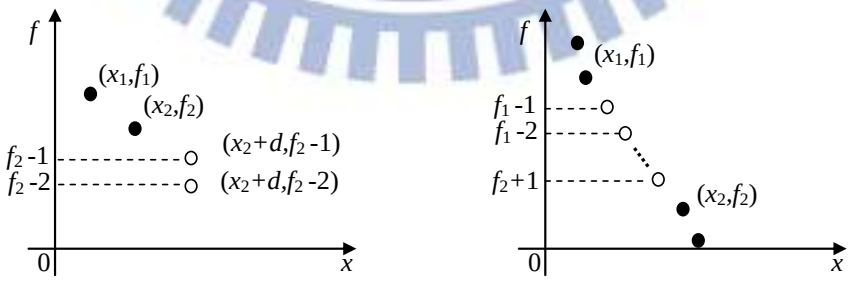
圖 3-32　提取車道線的流程圖。

3.5.1 填補空白區塊

在時間切片影像中車道線中心點資訊進來以後，為了補足時間切片影像中候選點追蹤器串連起來的車道線候選中心點之間缺漏點的區塊，而利用內插法(在非即時系統)或預測(在即時系統)的方式填補此區塊。缺漏點的區塊為虛線之間的空缺或是在候選點追蹤器找候選中心點時，未被找到的車道線的候選中心點。我們所使用的內插法是以直線內插法來填補缺漏點的區塊，如公式(20)所示；我們所使用的預測的方法是以候選點追蹤器的前兩點之間的水平位移量來預測下一點位置，來填補缺漏點的區塊，如公式(21)所示。缺漏點的區塊補點則是以每一條線在每一幀只會補一點的方式將點補齊。公式(20)中的 d 為平均水平位移量。x_1 和 x_2 為候選點追蹤器串連的前兩點水平位置。f_1 和 f_2 為候選點追蹤器串連的前兩點出現時間點。x 為預測點的水平位置結果。預測點公式的範例圖如圖 3-33(a)所示。公式(21)為直線內插法的公式，x_1 和 x_2 為要補點區域的前後點的水平位置。f_1 和 f_2 為要補點區域的前後點的出現時間點。x 和 f 則是內插點的水平位置和時間點。內插法公式的範例圖如圖 3-33(b)所示。圖 3-34(a)為將 6 張時間切片影像找到的車道線候選中心點畫在同一張圖的結果。當車子在虛線之間的空缺左右移動時，預測出的結果會因為是即時的預測使補完後的線有鋸齒狀的部分，如圖 3-34(b)紅圈圈選地方所示。而在同種狀況下，由於內插法可以獲得前後點資訊，使得填補出來的線會比較平滑，如圖 3-34(c)紅圈圈選地方所示。不過在候選點追蹤器串連出來的點中，如果有雜訊點的話，線的形狀將產生像示斷線的影像，如圖 3-34(c)橘圈圈選地方所示。

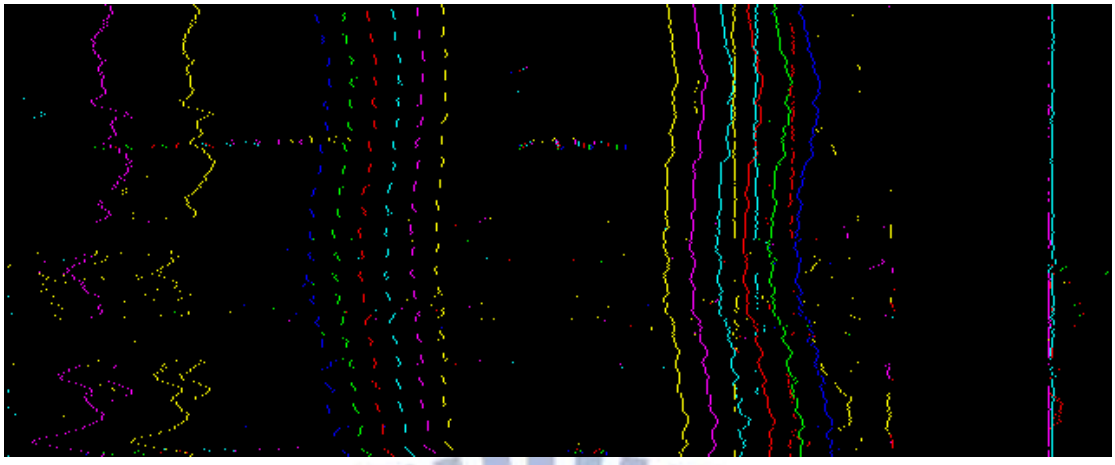
$$\begin{cases} d = \dfrac{x_2 - x_1}{f_2 - f_1} \\ x = x_2 + d \end{cases} \tag{20}$$

$$x = \frac{x_2 - x_1}{f_2 - f_1}(f - f_1) + x_1 \tag{21}$$

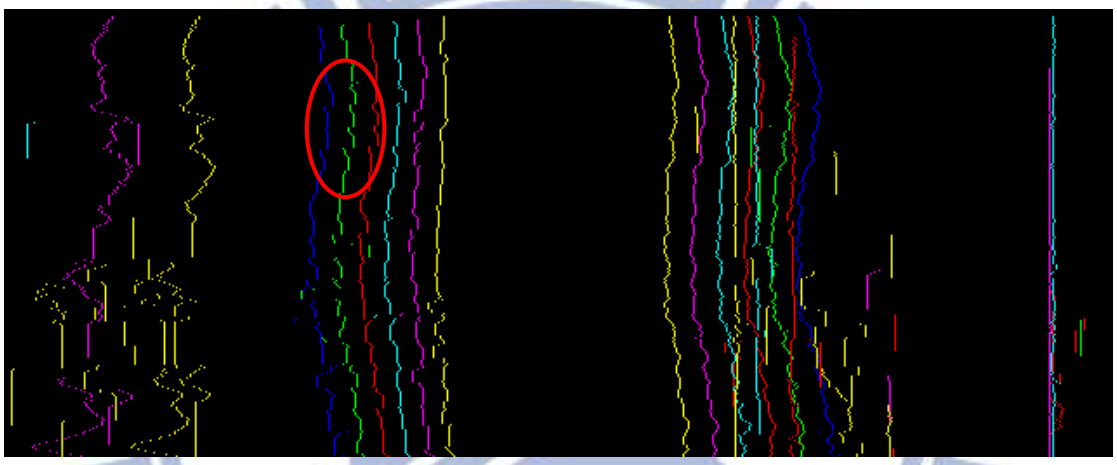


(a) (b)

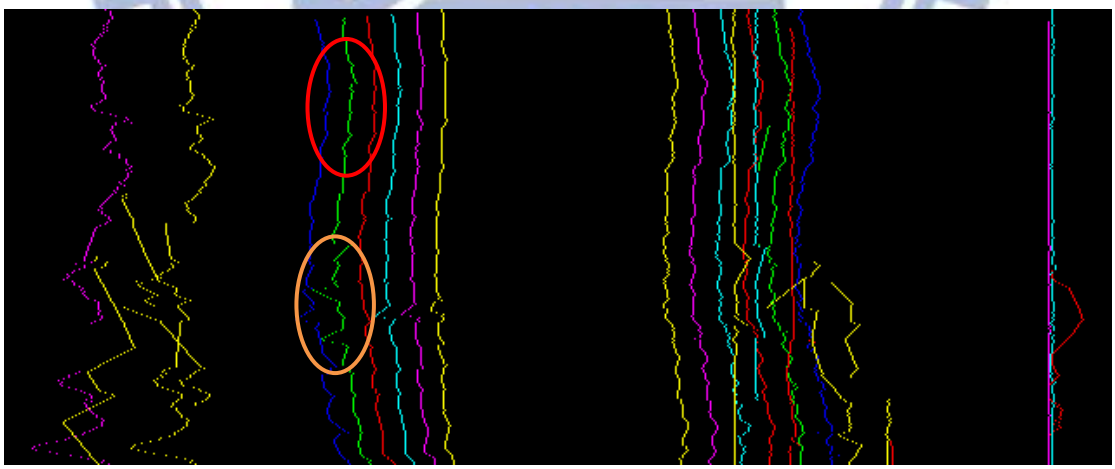
圖 3-33 (a)在即時系統時，用預測的方式填補缺漏點的區塊。(b)在非即時系統時，用內插法的方式填補缺漏點的區塊。黑點為候選點追蹤器已串連好的車道線候選中心點。白點為以內插法或預測的方式填補的點。



(a)



(b)



(c)

圖 3-34　(a)將 6 張時間切片影像找到的車道線候選中心點畫在同一張圖的結果。依顏色順序黃色、紫色、淡藍色、紅色、綠色以及藍色，各別代表在影像第 300、310、320、330、340 以及 350 行所切出的時間切片影像中找到的車道線候選中心點。(b)為用預測的方式將(a)空白區塊填滿的結果。(c)為用內插法的方式將(a)空白區塊填滿的結果。

3.5.2 設定搜尋範圍

為了要找出左右車道線，將影像切成左右兩半去做搜尋車道線，不過在換車道時，因為當自己的左右車道線其中一條在中間時，系統並不知道車輛將往哪邊走，因此需要再增加尋找一條要換的目標車道的車道線，在此時將會依據三條車道線位置由左至右依序稱為左車道線、中間車道線以及右車道線。所以在換車道時，搜尋區域將會在左右車道線的搜尋區域之間再加一個中間車道線的搜尋區域。而加入中間車道線搜尋區域的切換時機為當上次找到的車道線的延長線在第 350 行的位置落在影像中線左右 R_{center} 像素(pixels)的區間(如圖 3-35 黃色區塊所示)內時，在此時會判斷為換車道的時機，將中間車道線搜尋區域加進去。在換車道模式下，只要中間車道線連續消失 5 幀或是中間車道線的延長線在第 350 行的位置離開中間區域時，將會轉回一般模式。一般模式為只找出行車車道的左右兩條車道線，搜尋範圍以中線為分界，分為左半和右半(如圖 3-36 所示)。由於換車道模式要找出左車道線、中間車道線和右車道線三條，所以找尋的區域將為變成左、左中、右中和右四塊區塊，其分界線分別為中間線與中間線左右 $R_{center\ detection}$ 像素，如圖 3-36 換車道模式的圖所示。由於車道線在左半邊的斜率與右半邊的斜率正負值相反，因此中間車道線是要從左中和右中兩區塊分別找出來的車道線中，選出與前一影像中找到的中間車道線斜率最相近的車道線當作中間車道線。

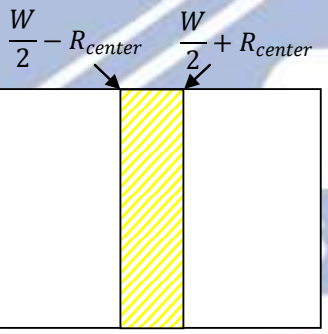


圖 3-35　換車道評判時機的中間區塊(黃色斜線區塊)。

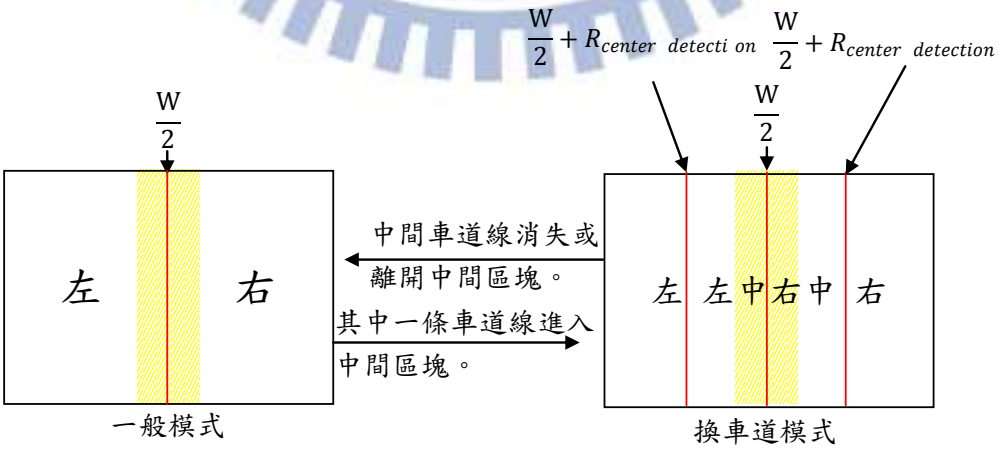


圖 3-36　一般模式與換車道模式的切換時機，與兩種模式的搜尋區域圖。

3.5.3 點的配對

為了從時間切片影像中的車道線候選中心點中找出車道線，我們利用近距離車道線近乎直線的特性來找車道線。在切等距的時間切片影像狀況下，車道線的點水平距離也會近乎等距，而利用等距的方式找出複數點組成的折線來當作車道線就是我們提取車道線的方法核心。如圖 3-37 所示，鄰近的時間切片影像車道線中心點彼此的距離分別為 D_1、D_2、D_3、D_4 以及 D_5，且彼此距離相近。

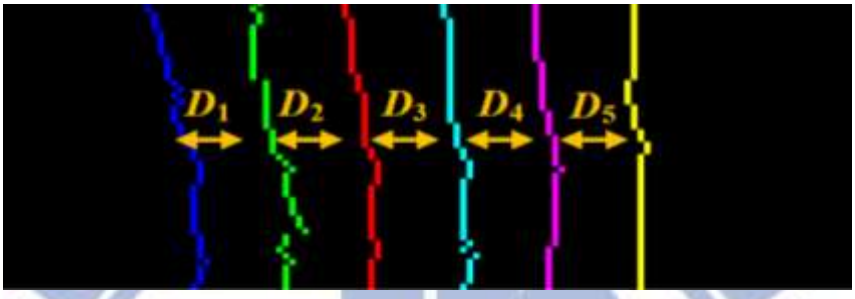


圖 3-37　當時間切片影像中的候選中心點投影在同一張影像的圖。不同顏色的線代表不同時間切片影像所找出來的車道線中心點，依顏色順序黃色、紫色、淡藍色、紅色、綠色以及藍色，各別代表在第 300、310、320、330、340 以及 350 行的影像中所切出的時間切片影像車道線中心點。

在未找到左右車道線或是車道線追蹤失敗時，會先根據當前的車道線中心點資訊去對點做配對。搜尋方式為從離鏡頭最近的時間切片影像(即第 350 行的切片)往最遠的時間切片影像(第 300 行的切片)由靠中間的搜尋範圍邊界往左右兩邊搜尋車道線起始點。當找到一點中心點時，會以此點為起始點以反方向往下一張時間切片影像中找下一點做任意配對，如圖 3-39(a)所示。當下一張時間切片影像中找不到點時，將會在往下一張時間切片影像中找點做配對，如圖 3-39(b)所示。當成功找到兩點時，會根據公式(22)的兩點之間的水平距離在接下來的時間切片影像中設定左右寬度為 2 像素的搜尋窗口(如圖 3-39(c))，以此搜尋窗口找出近似等距的點來構成車道線，如圖 3-38 所示。當找完一條線後，系統將會在以同樣的方式再找出數個點做配對來找出下一條線，如圖 3-39(d)。當系統將所有的點配對完以後，系統將從配對完的折線中，選取點最多且線最長的折線當車道線，並畫在影像中，如圖 3-40。水平距離的算法如公式(22)，$p(n,j)$代表在第 n 張的時間切片影像上的水平位置 j 的點。$p(m,i)$代表在第 m 張的時間切片影像上的水平位置 i 的點。W 為影像寬度。

$$Dist = \frac{p(m,i) - p(n,j)}{m-n}, 1 \le p(m,i), p(n,j) < W, m > n \tag{22}$$

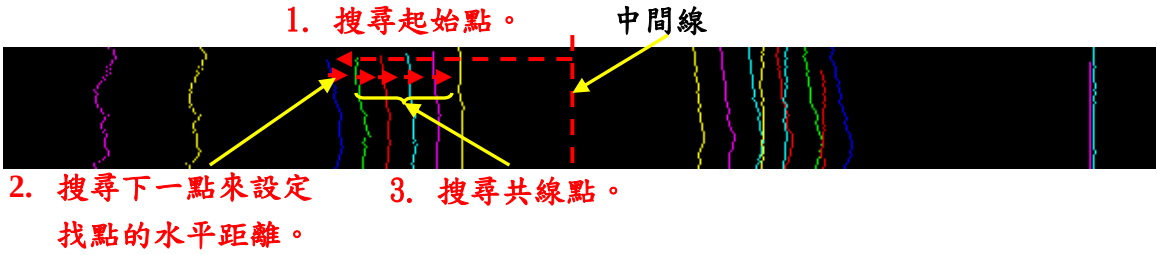


圖 3-38　點配對方法的範例圖。

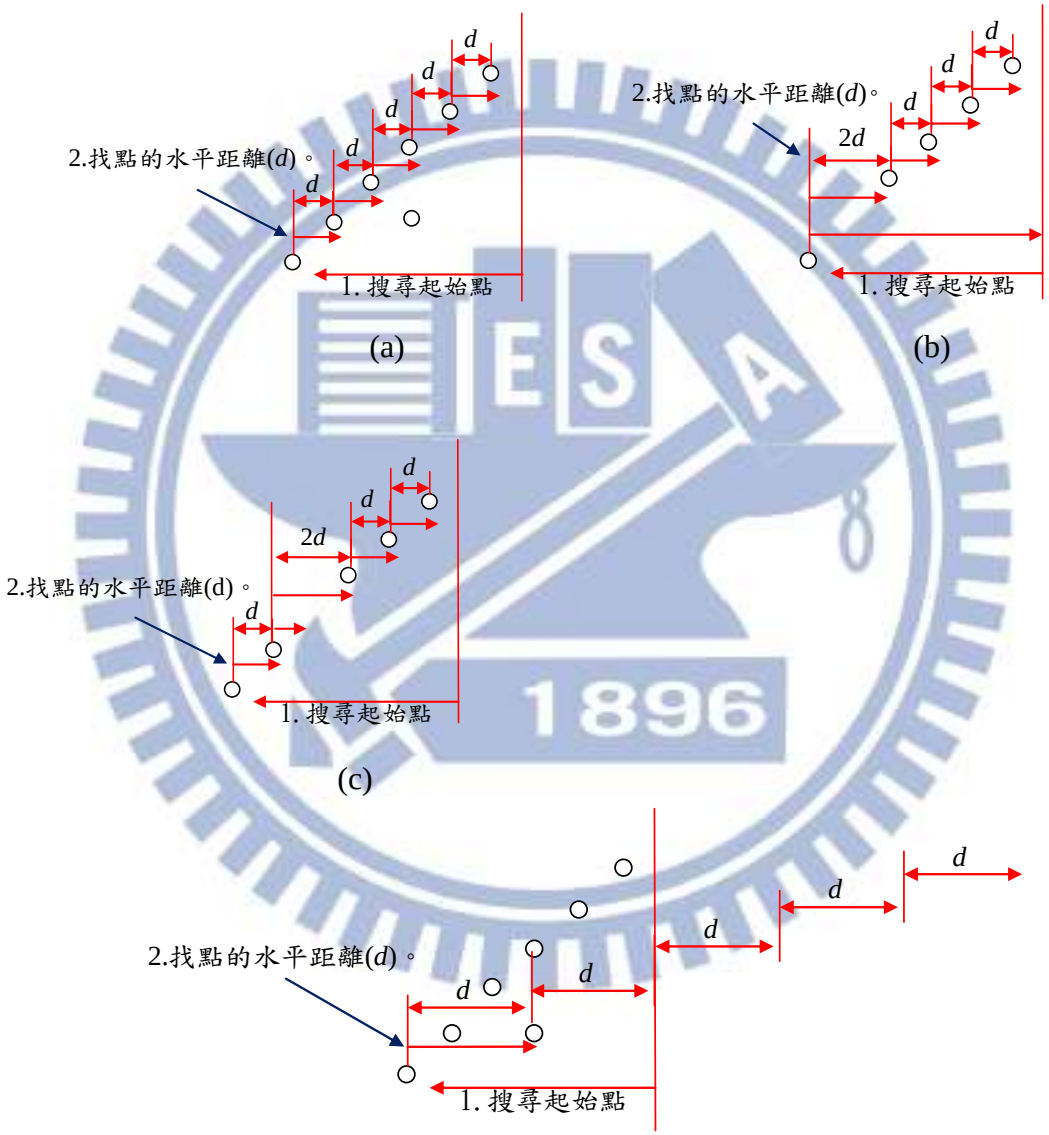


圖 3-39　當在時間切片影像車道線中心點對應回原影像的位置後，找線的各種狀況。(a)為第一次找線做點配對時，剛好 6 張時間切片影像的點都可以找到的狀況。(b)當第二個時間切片影像的切片上找不到點配對的狀況。(c)當設定完點之間的水平距離 d，有部分時間切片影像無法找到點的狀況。(d)當(a)狀況找完第一條線後，要找第二條線的狀況。

在一般模式中，配點是從中間線往左右搜尋起始點後建構出車道線。而在換車道模式中，配點是依不同搜尋區域會有所不同，左線搜尋區域和右線搜尋區域的起始位置是從$\frac{W}{2}-R_{center\ detection}$和$\frac{W}{2}+R_{center\ detection}$的位置開始往左邊和右邊搜尋，搜到左右邊界為止。而左中搜尋區域與右中搜尋區域是從$\frac{W}{2}$的位置開始往左右搜尋，搜到$\frac{W}{2}-R_{center\ detection}$和$\frac{W}{2}+R_{center\ detection}$為止。在換車道模式中左右車道線的選取方式與一般模式相同，皆是以點數最多線最長的當車道線。在換車道模式的中間車道線則是先從左中搜尋區域與右中搜尋區域中各自挑出點數最多線最長的車道線，接著再從兩條車道線中選擇一條與上次中間車道線斜率最為接近的車道線當作中間車道線。

圖 3-40　經由取車道線步驟後，產生出來的車道線。

3.5.4 車道線追蹤

追蹤車道線的功能除了能夠減少點配對所花費的時間，也是用來補足點配對方法在彎道時找不到線的缺點。當車道線是一個曲率較高的彎道時，線的斜率會正負相反，離鏡頭最近的時間切片影像車道線中心點位置到中線的距離將會比離鏡頭最遠的時間切片影像車道線中心點的位置到中線的距離近(如圖 3-41)，在此時點配對方法將無法找到正確的車道線，因此利用串連與移除候選中心點步驟中找出的點的時間資訊去追蹤點的位置，補足點配對的缺點。

追蹤車道線的條件為該車道線至少有 3 點，在對應回時間切片影像中被中追蹤器串連為同一車道線的點有被取來當作車道線點 $T_{tracking}$ 個點以上，不足 $T_{tracking}$ 個點以上的點會先被去除。當符合條件時，會根據車道線點的時間資訊找下一點去產生新的線。在產生完新的線後，會再次確認這些點是否有符合彼此水平距離相近的條件，假如有其中幾點不符合，則會刪除這些不符合的點。如果經刪減點後，點的數量低於 3 時，會被判定追蹤失敗，會再次回到點的配對方法中重新找新的線；如果點的數量仍有 3 個以上時，會再根據點之間的水平距離去設定搜尋窗口，選取新的點將車道線空缺的點補齊。

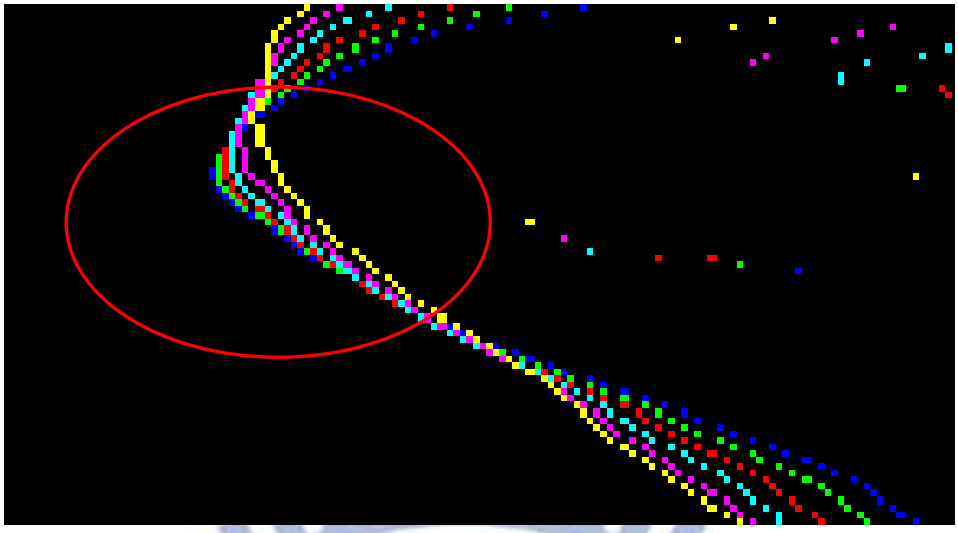


圖 3-41　當車輛在彎道轉彎時，右邊車道線的時間切片影像車道線候選中心點重疊的影像。從距離鏡頭近到遠的點的顏色依序為藍色、綠色、紅色、淡藍色、紫色以及黃色。

3.6　車道線種類分類

在此步驟中會以找到的車道線中共線的點，將分別在所屬的時間切片影像中被 3.4 節方法判斷的車道線種類結果，以一點一票的方式投票決定車道線種類。當有兩種以上的車道線種類同票時，將會先去除雜訊較多且易受雜訊影響的較遠時間切片影像的車道線種類的票，直到剩下一種車道線種類最高票為止。而投票的車道線種類有三種，分別為實線、虛線與雙線三種，其中虛線是包含虛線和短虛線兩種線，而在 3.4 節有些點被判斷為分支線與合併線部分，這些線的車道線種類會再依據圖 3-31 方式將線區分為短虛線、虛線和實線。最後，系統將會依照線的種類，以不同的顏色來畫車道線，如圖 3-42 所示。其顏色與線的種類對應如下：藍色為實線、綠色為虛線、紅色為雙線。

圖 3-42　將圖 3-40 的車道線種類分類後結果。綠線為虛線。藍線為實線。

四、 實驗結果與討論

在本章節中，我們會報告系統的參數設定的實驗結果、車道線偵測與車道線分類的結果與討論。在 4.1 節中，會說明實驗的測試資料的種類與實驗的設備環境語系統執行速度。在 4.2 節中會提出實驗的評估方式。在 4.3 節中，報告系統需要做調整的參數與實驗結果的討論。最後，在 4.4 節中，將車道線偵測與分類的實驗結果與其所產生的問題提出來並做討論。

4.1 實驗環境設置與測試資料概述

在系統上所使用的方法與演算法是用 C 和 C++語言與 OpenCV(Open Source Computer Vision)函式庫所寫成。而系統的實驗與測試的設備的中央處理器(central processing unit)為 Intel(R) Core(TM) i3-2100 CPU@3.1GHz，作業系統為 32 位元 Windows 7 企業版 SP1。即時系統在此設備上，每幀找出車道線平均所花的時間為 4.712 毫秒，在找出車道線後選中心點前的的影像處理時間為 4.203 毫秒，從找出車道線後選中心點到找出車道線所花的時間為 0.509 毫秒。

實驗的測試資料是由裝在車子擋風玻璃中間正上方行車紀錄器所拍下的影片，再以人工方式將影片依車道線種類、轉彎與換車道等特殊狀況來人工篩選與切割影片。每一部影片各代表一種車道線的種類與一種特殊狀況，分別分為左右皆為虛線、左右皆為實線、其中一條車道線為虛線而另一條線為實線、其中一條車道線為雙線、換車道以及轉彎等狀況(如圖 4-1)。影片大小為 360×640，每部影片長度至少 6 秒最多到 90 秒不等，各類影片的總幀數如表 2 所示。在實驗中，系統將會對各種行車狀況做測試，行車狀況分為直線、轉彎和換車道如表 3。

表 2　各種道路種類測試資料影片總幀數。

道路種類	道路種類影片總幀數	全影片總幀數
左右皆為實線	753	32615
左右為皆為虛線	17773	
一條虛線，另一條實線	22713	
其中一條車道線為雙線	1774	
換車道	4421	
轉彎	1181	

表 3　各行車狀況測試資料影片總幀數。

行車狀況	行車狀況影片的總幀數	全影片總幀數
直線	27013	32615
轉彎	1181	
換車道	4421	

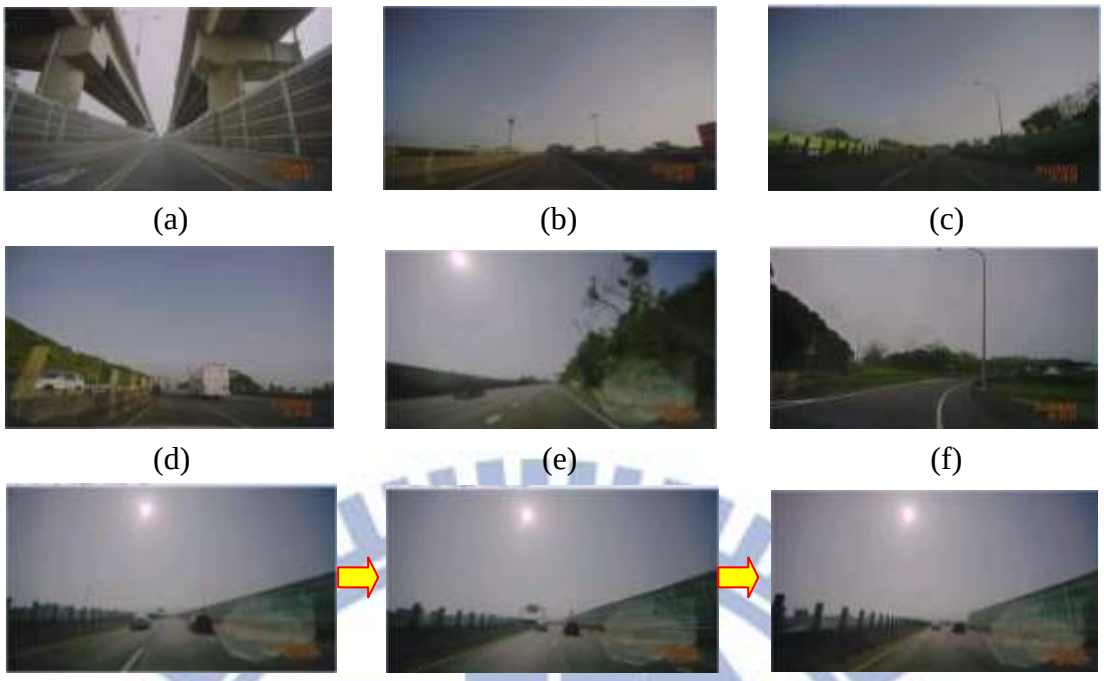


圖 4-1　各種車道種類的影片(a)其中一邊為雙線。(b)兩邊皆為實線。(c)兩邊皆為虛線。(d)(e)一邊實線一邊虛線。(f)轉彎。(g)換車道。

我們的真實數據是利用以C和C++語言與OpenCV函式庫所寫成的車道線邊界標示程式，如圖 4-2 所示，將車輛目前行駛的車道之左右車道線的車道線邊界標示出來。真實數據依取樣標示畫面的張數不同分為細部影片與概略影片兩種。細部影片為將影片每張影像車道線做標示。細部影片的資料總量為 24 部影片，其影像總張數為，主要是用來調整參數的測試資料。概略影片為只標示影片每秒的第一張畫面車道線邊界。概略影片的資料總量為 42 部影片，其影像總張數為。點選概略影片主因是利用標示少量畫面來加快點標示車道線速度，以此來增加測試資料的多樣性。

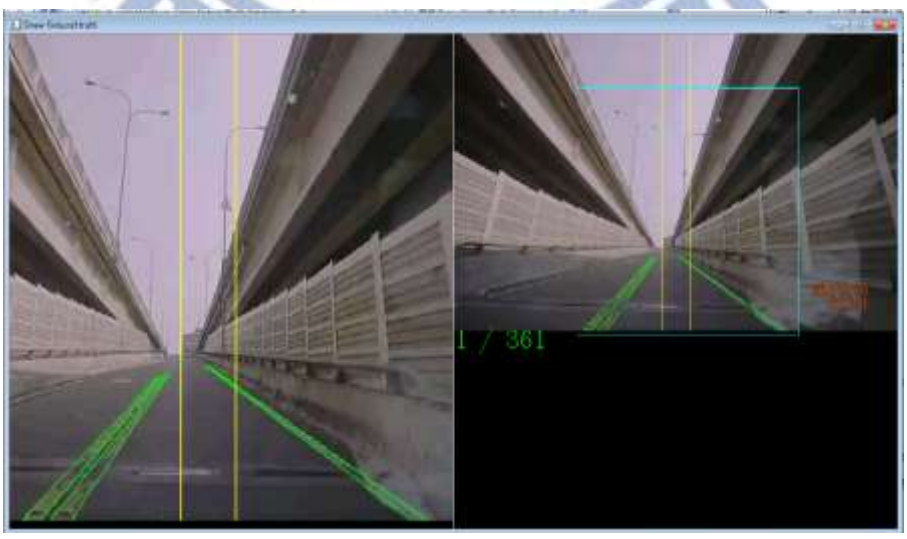


圖 4-2　車道線邊界標示程式畫面。

4.2 實驗的評估方法

本實驗所用的評估方式是利用 Borkar, A.等人在[1]所提出的方法當作系統效能的評估。在[1]所提出的方法為將系統資料與真實數據轉換到三維(3D)空間中的現實車道上，在依據真實資料與系統偵測出的車道線做比對算出真實資料的車道線共有幾條被偵測到以及線的誤差，最後會得出車道線的平均檢出率(recall rate)以及每張影像車道線的平均誤差。由於我們系統的測試資料並沒與 Borkar, A.等人的測試資料一樣擁有環境的參數，比如攝影機的焦距、拍攝的角度等實際資訊。因此在做系統評估時，並不會將資料轉到三維的線時空間中去做比較，而是直接在影像上做比較。

在評估時，我們會先算出系統檢測出的車道線占多少比例的車道線落在真實數據的車道線區域中，當系統檢測出的車道線有一半以上落在真實數據的車道線區域中時，將視為偵測到車道線；相反則代表車道線偵測失敗。其中在判定雙線時，只要系統偵測到的車道線落在雙線中的其中一條，就當作系統有偵測到雙線。當判定為偵測到車道線時，會再算出車道線與真實數據的車道線之間的誤差值，如公式(27)所示。E_v 為影片的車道線平均誤差。N_f 為影片的影像總張數。$E(f)$為在第 f 張影像的車道線平均誤差。公式(26)則是算出影像的車道線的平均誤差值。$E(f)$為在第 f 張影像的車道線平均誤差。$\lambda(i,f)$為在車道線影片中的第 f 張影像的第 i 行的車道線誤差值。$upper_L$ 和 $lower_L$ 為真實數據與偵測出的車道線比較的範圍。在公式(25)中，$GT(i,f)$為在真實數據中第 f 張影像中第 i 行的車道線中心點位置。$X(i,f)$為在系統在第 f 張影像中偵測出來的車道線在第 i 行的車道線中心點位置。(23)和(24)為車道線的比較範圍計算方式。$upper_{GT}$ 和 $lower_{GT}$ 為在真實數據中所標示的車道線邊界的垂直座標最上方與最下方。$upper_D$ 和 $lower_D$ 為系統偵測車道線的垂直範圍(第 300 行到第 350 行)。在比較系統效能時，將會以車道線的平均檢出率與平均精準度來做標準，如公式(28)和(29)所示。N_{GT} 為真實數據中測試影片裡，所有車道線的數量。N_D 為車道線偵測系統中，偵測出的車道線被判定為偵測成功的車道線數量。N_M 為車道線偵測系統中，偵測出的車道線被判定為偵測失敗的車道線數量。

$$upper_L = max\ (upper_{GT}, upper_D) \tag{23}$$

$$lower_L = max\ (lower_{GT}, lower_D) \tag{24}$$

$$\lambda(i,f) = max\ (|GT(i,f) - X(i,f)| - \frac{W}{2}, 0) \tag{25}$$

$$E(f) = \sum_{i=lower_L}^{upper_L} \frac{\lambda(i,f)}{upper_L - lower_L + 1} \tag{26}$$

$$E_v = \sum_{i=0}^{N_f} \frac{E(i)}{N_f} \tag{27}$$

$$recall = \frac{N_D}{N_{GT}} \tag{28}$$

$$precision = \frac{N_D}{N_D + N_M} \tag{29}$$

4.3 系統參數設定

在我們的系統中有些許多參數需要做設定，而且在系統中有許多固定參數仍未能明確做定義，固定參數數值如表 4 所示。在第 4.3.1 節中展示出頂-帽轉換的元素大小實驗結果與選取參數的相關討論。接著再 4.3.2 節中，會展示出系統平滑影像的低頻保留率的實驗結果以及選取參數的討論。最後，會在 4.3.3 節中展示出車道線追蹤時間點的實驗，以及討論。

表 4　系統固定參數一覽表。

參數名稱	數值	出現的章節
$\{N_{E1}, N_{E2}, N_{E3}, N_{E4}, N_{E5}, N_{E6}\}$ (非即時系統)	{25, 29, 15, 17, 15, 23}	3.3.1
$\{N_{E1}, N_{E2}, N_{E3}, N_{E4}, N_{E5}, N_{E6}\}$ (即時系統)	{25, 5, 15, 23, 15, 17}	3.3.1
$\{N_{S1}, N_{S2}, N_{S3}, N_{S4}, N_{S5}, N_{S6}\}$ (非即時系統)	{25%, 20%, 25%, 25%, 20%, 20%}	3.3.1
$\{N_{S1}, N_{S2}, N_{S3}, N_{S4}, N_{S5}, N_{S6}\}$ (即時系統)	{10%, 25%, 20%, 15%, 20%, 25%}	3.3.1
N_{back}	5	3.4.2
$\{W_{row1}, W_{row2}, W_{row3}, W_{row4}, W_{row5}, W_{row6}\}$	{12, 11, 9, 9, 8, 6}	3.4.2
$timeout_{lower}$	20	3.4.3
$timeout_{upper}$	100	3.4.3
N_{point}	20	3.4.4
N_{frame}	10	3.4.5
R_{center}	20	3.5.2
$R_{center\ detection}$	30	3.5.2
$T_{tracking}$	12	3.5.4

4.3.1 頂-帽轉換元素大小

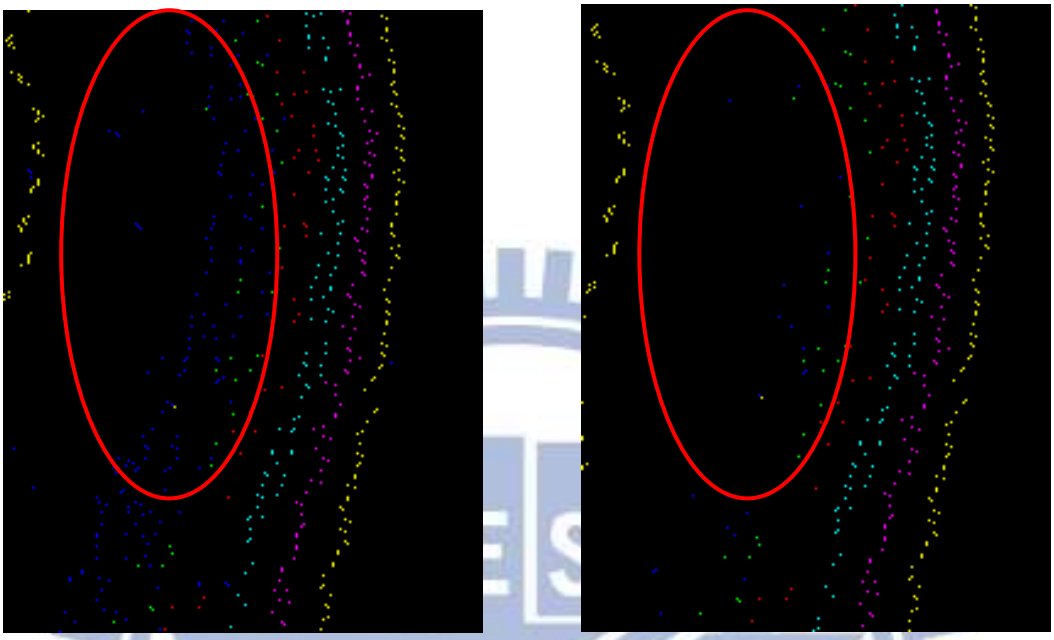
在本章節中，將會對每張時間切片影像中的頂-帽轉換元素大小做實驗，並以車道線的檢出率來找出最佳的參數設定。由於頂-帽轉換會因為元素的大小不同，所找出來的相較周圍亮度較高的區塊大小也會有所不同。因此實驗會以變動其中一個時間切片影像中的元素大小，而其他元素大小固定的方式將每片切片最佳的元素大小找出來。變動的參數大小由 1×5 到 1×29，元素的寬度皆為奇數。而其他時間切片的元素大小則固定在我們變動的參數大小中間數 1×17。實驗從影片最下方的時間切片開始做測試，每當測試完一個時間切片後，會依據所產生實驗的偵測車道線的檢出率最高的參數來做選擇。每當上一輪的實驗結束後，在設定下一輪的固定參數時，會先將之前實驗結果的決定的參數加入這一輪的固定參數中。假設我們的參數實驗已做完兩次，現在要做第三次的實驗參數測試，其中前兩次的實驗中已確定 1×25、1×23 為最佳解時，在第三次的實驗參數設定根據切片的位置由下至上的時間切片參數為 1×25、1×23、1×N_{E3}、1×17、1×17 以及 1×17。

從圖 4-9(a)和圖 4-10(a)中可以看元素大小的中間部分車道線檢出率比較差。這部分的問題是出在其中一部含有一邊車道線是短虛線的影片，如圖 4-3 所示。在非即時系統中，元素大小從 11 變為 13 時，其檢出率突然下降的原因就在於短虛線在元素大小為 13 時，車道線候選中心點變得不容易找到，如圖 4-4(a)和(b)紅圈所圈除來的藍色點。而變得不容易找到的原因在於影片中第 350 行的右邊車道線寬為 12 像素，當元素大小為 11 時，由於元素大小小於車道線寬，元素大小過小無法突顯出系統需要的亮度區塊，造成自適應的門檻值也偏低，因此短虛線的點就容易被找到，如圖 4-5 所示，找到點數就會變得比較多，自然的車道線的點也不會被判斷為雜訊。當元素大小為 13 時，其元素大小大於車道線寬，使得系統能夠突顯出需要的亮度區塊，而自適應的門檻值也因此提高，短虛線的點就變得不容易找到，如圖 4-6 所示。當點數找得少，車道線的點也很容易被當作雜訊刪除，如圖 4-7(b)所示，使得偵測出來的車道線過短而被判斷為偵測失敗。

圖 4-3　其中一邊車道線為短虛線的影片。

在圖 4-10(d)中的實驗會看到在 N_{E4} 為 5 的時候反而比其他的元素大小的檢出率還要高，而造成這問題的原因是在於某部影片(如圖 4-8 所示)中，右邊的車道線為虛線，而再往右邊還有一條實線的車道線，此車道線剛好在 320 行時，被我們塗黑的計時器擋住。在 N_{E4} 為 7 時，由於虛線所形成的車道線點數無法比右邊的實線的點數多，使得右邊實線車道線有經常被抓到，而變成有很長一段時間系統在追蹤這條錯誤的車道線。在 N_{E4}

為 5 時，由於之前找到點所預測出點的位置剛好可以形成比右邊的實線車道線點數多的車道線，因此減少了抓到右邊實線車道線的機會，因此 N_{E4} 為 5 時，成為 N_{E4} 實驗最好的結果主因。



(a) (b)

圖 4-4　各個時間切片影像中所找出來的車道線候選中心點的投影在同張影像中，各個顏色代表不同的時間切片影像找出來的點其中藍色點代表 350 行的時間切片影像找出來的點。(a)為元素大小 N_{E1} 為 11 的結果。(b)為元素大小 N_{E1} 為 13 的結果。

圖 4-5　N_{E1} 為 11，在 350 行切片的亮度資訊。藍色代表超過門檻值的區塊。

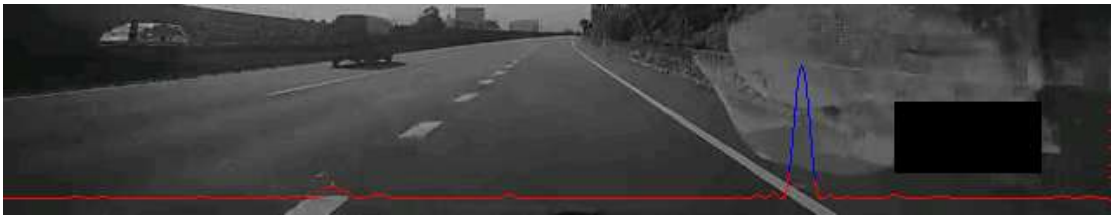
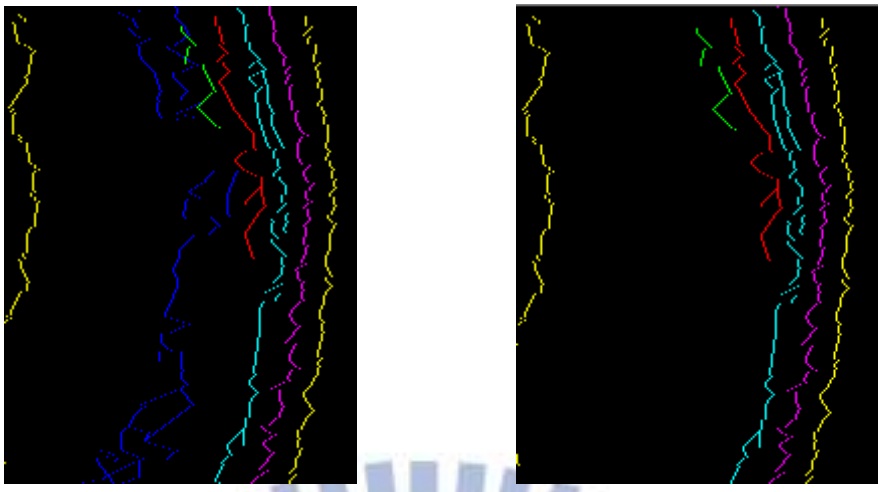


圖 4-6　N_{E1} 為 13，在 350 行切片的亮度資訊。藍色代表超過門檻值的區塊。



(a) (b)

圖 4-7　經過各個處理步驟後，在用內插法連接各個時間切片影像中的點的重疊影像，各個顏色代表不同的時間切片影像找出來的點其中藍色點代表 350 行的時間切片影像的點。(a)為元素大小 N_{E1} 為 11 的結果。(b)為元素大小 N_{E1} 為 13 的結果。

圖 4-8　因虛線之間的空白處而追蹤錯車道線的影片。

經過我們的實驗測得在非即時系統上，由鏡頭最近的時間切片影像的位置到最遠的時間切片中最好的元素大小為 1x25、1x29、1x15、1x17、1x15、1x23；而在即時系統上則是 1x25、1x5、1x15、1x23、1x15、1x17。從實驗結果來看元素的大小與車道線的寬度是有部分的相關性，在圖 4-9(a)的實驗中，最近的時間切片影像中由於某部影片的車道線寬度有為一般車道線寬度 1.5 倍到 2 倍的關係，在元素大小開始接近 25 時，此影片的車道線檢出率也隨之提升。不過從整個實驗結果的參數來看，元素大小並不完全與車道線寬度有關連。

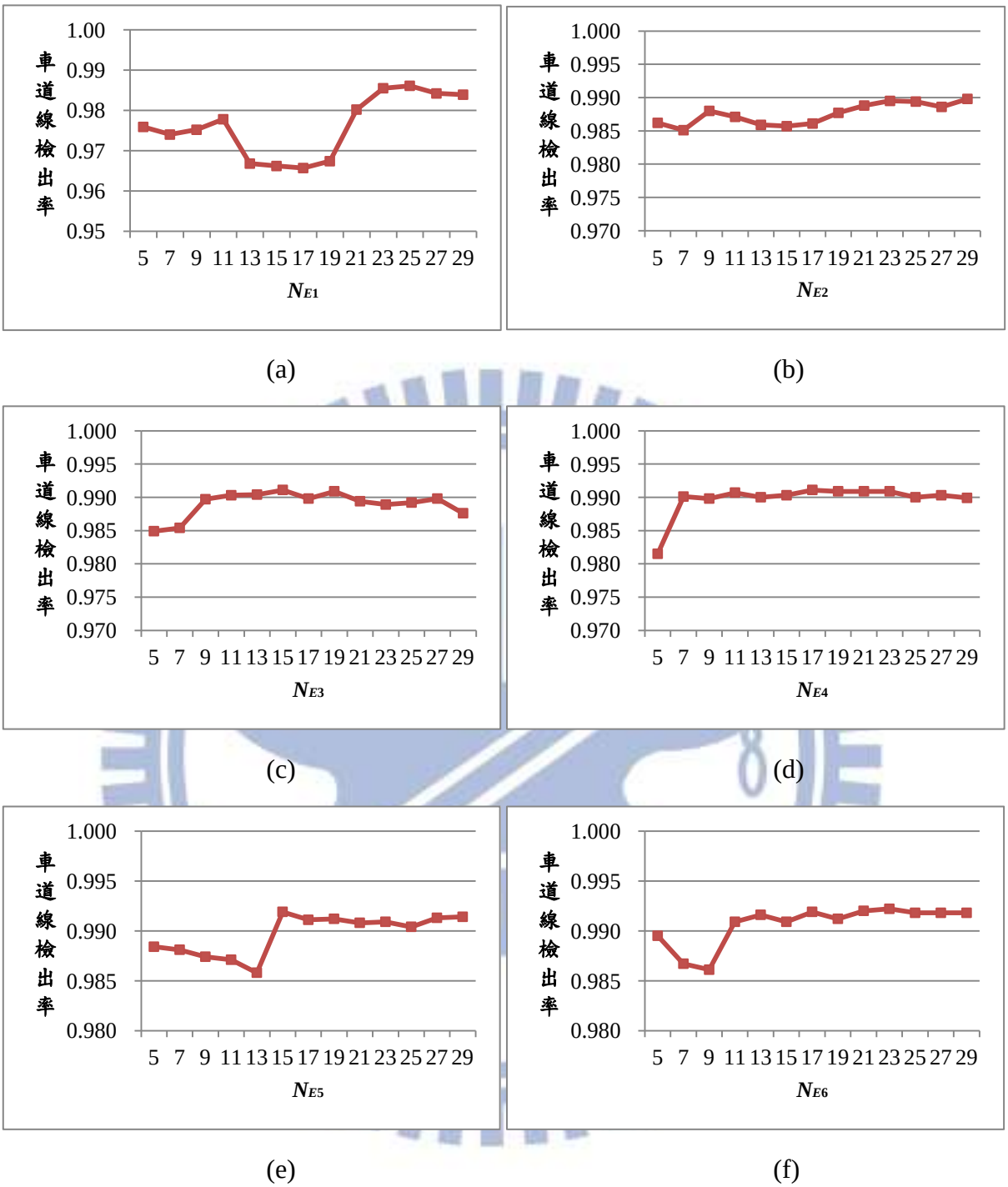


圖 4-9　在非即時車道偵測系統的頂-帽轉換元素大小的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{E1}\rightarrow N_{E2}\rightarrow N_{E3}\rightarrow N_{E4}\rightarrow N_{E5}\rightarrow N_{E6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的元素大小 N_{E1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的元素大小 N_{E2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的元素大小 N_{E3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的元素大小 N_{E4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的元素大小 N_{E5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的元素大小 N_{E6} 的實驗結果。

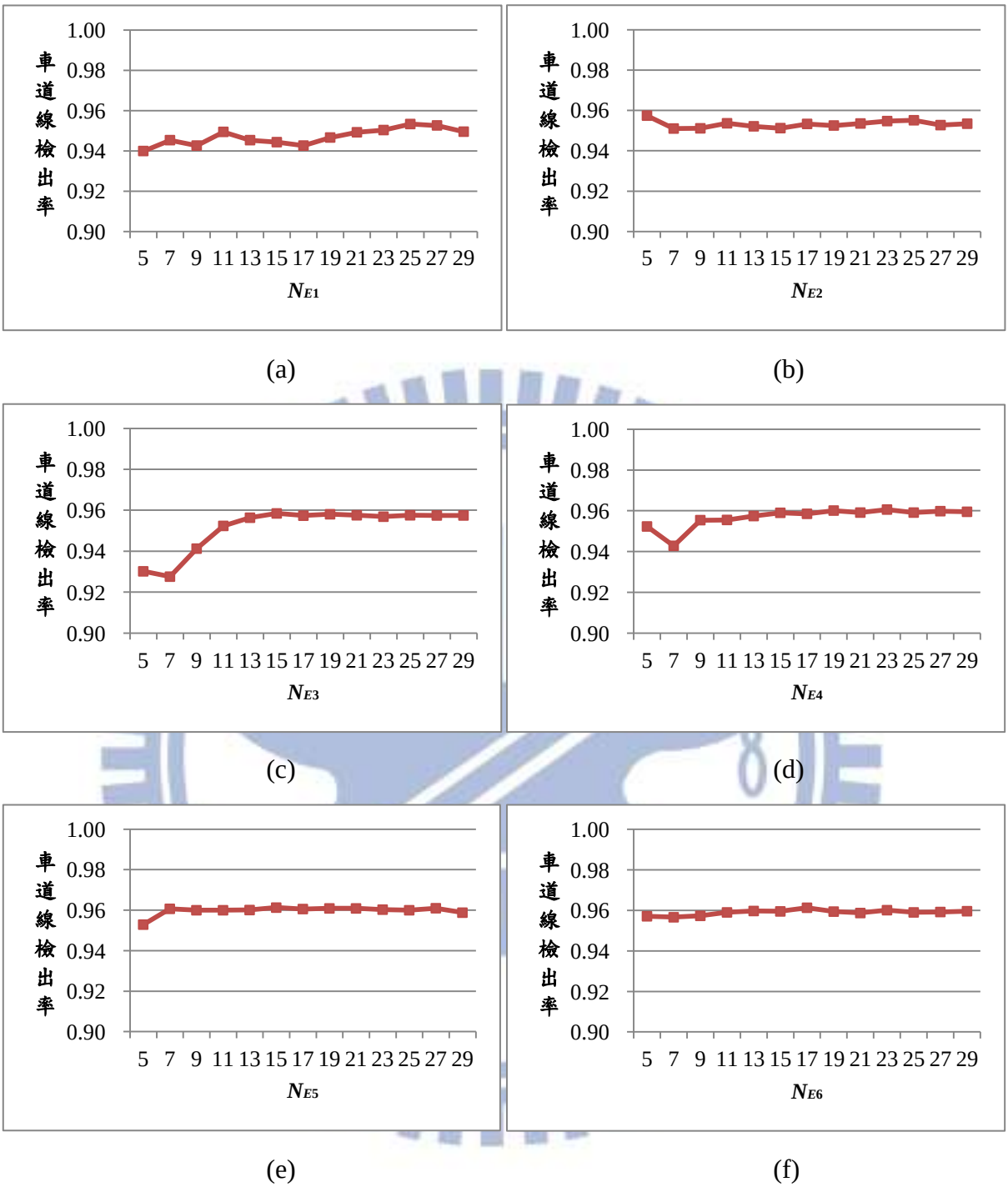


圖 4-10　在即時車道偵測系統的頂-帽轉換元素大小的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{E1}\rightarrow N_{E2}\rightarrow N_{E3}\rightarrow N_{E4}\rightarrow N_{E5}\rightarrow N_{E6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的元素大小 N_{E1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的元素大小 N_{E2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的元素大小 N_{E3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的元素大小 N_{E4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的元素大小 N_{E5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的元素大小 N_{E6} 的實驗結果。

4.3.2 平滑化的低頻保留率

在本章節中，將會對於各個時間切片影像中所設定的平滑化低頻保留率做實驗。平滑化主要是為了減少雜訊對於偵測車道線中心點的影響。其雜訊將會在傅利葉轉換後的高頻傅利葉參數，然而要移除多少高頻的傅利葉參數才能使雜訊的影響降到最小。假如保留的頻率參數越多也會越多雜訊，車道線的中心點也會變得不一定在中心點。

在實驗中，我們將從離鏡頭最近的時間切片影像的低頻保留率開始做測試，選擇其中車道線的檢出率最高者做為決定的參數。每當決定好參數時，將會再測下一行時間切片影像的參數，其決定參數的順序為 N_{S1}、N_{S2}、N_{S3}、N_{S4}、N_{S5} 以及 N_{S6}。在設定參數時，在未確認的參數部分，將會設為 20%。由前幾次實驗中以確認的結果將會填入實驗設定的參數。最後是該實驗要測試的參數，我們將會對保留 5%、10%、15%、20%、25%以及 30%做測試。例如之前經先測試並決定 N_{S1} 和 N_{S2} 的數值為 10%和 15%，則在此次的參數設定上就是 10%、15%、N_{S3}、20%、20%以及 20%。

非即時車道線偵測系統的低頻保留率的實驗結果如圖 4-11 所示。首先從圖中可以看到，在變動離鏡頭較近的時間切片影像中的參數，在不同的保留率下的車道線檢出率的參數結果彼此並沒有差太多，並且看不出數據是屬於遞增還是遞減的走勢；相反的，在變動離鏡頭較遠的時間切片影像的參數，就可以明顯的看出差異，並且有一個明顯的頂點。其原因在於較近的車道線較粗，較遠的車道線較細，可容許找車道線中心點因找到雜訊而偏離的範圍也就有所差異。粗的車道線即使保留率再低，其車道線的中心點也不至於會被當作雜訊完全被移除掉；相反的，假如保留率過高，雖然雜訊多，不過粗的車道線即使車道線中心點偏離中心位置一點，其找出來的車道線也不至於偏離太多超出車道線範圍，因此在離鏡頭較近的時間切片影像中的參數實驗結果看不出其數據的走向。在較細的車道線如果在保留率偏低的情況下，車道線的中心點很容易被當作雜訊移除掉；相反的假如保留率偏高會因未雜訊太多選線時很容易選到雜訊的點，使車道線有所偏離而使車道線被判定為偵測失敗。因此在離鏡頭較遠的車道線可以明顯的看出結果的形狀是個二次曲線的形狀。最後，從各個實驗所決定的參數依 N_{S1}、N_{S2}、N_{S3}、N_{S4}、N_{S5} 以及 N_{S6} 的順序分別為 25%、20%、25%、25%、20%以及 20%。從這結果可看出在非即時系統上，結果並不受車道線寬影響，由於非即時系統在 3.4 節中的步驟，可以將大量雜訊刪除掉，因此低頻保留率並不會因為車道線的粗細而有所不同的。

在圖 4-12 的即時車道線偵測系統低頻保留率實驗結果來看，系統上時間切片影像的串連點與刪除雜訊的步驟，並沒有起到明顯的作用。在保留率偏高的地方其檢出率會因雜訊多而降低；相反的，在保留率偏低的狀況下，減少了雜訊的影響，不過車道線容易被當成雜訊刪掉，因此檢出率也稍微偏低。最後，從各個實驗所決定的參數依 N_{S1}、N_{S2}、N_{S3}、N_{S4}、N_{S5} 以及 N_{S6} 的順序分別為 10%、25%、20%、15%、20%以及 25%。從這結果可看出在即時系統上，由於即時系統可刪除的雜訊有限，因此容易受到低頻保留率的結果影響。明顯的離鏡頭較近的車道線較粗，容易因為雜訊而產生複數中心點，因此低頻保留得係數要少一點；而在鏡頭較遠的車道線較細，線的波形容易與雜訊搞混，因此低頻保留得係數要多一點，使車道線的點不容易被刪除。

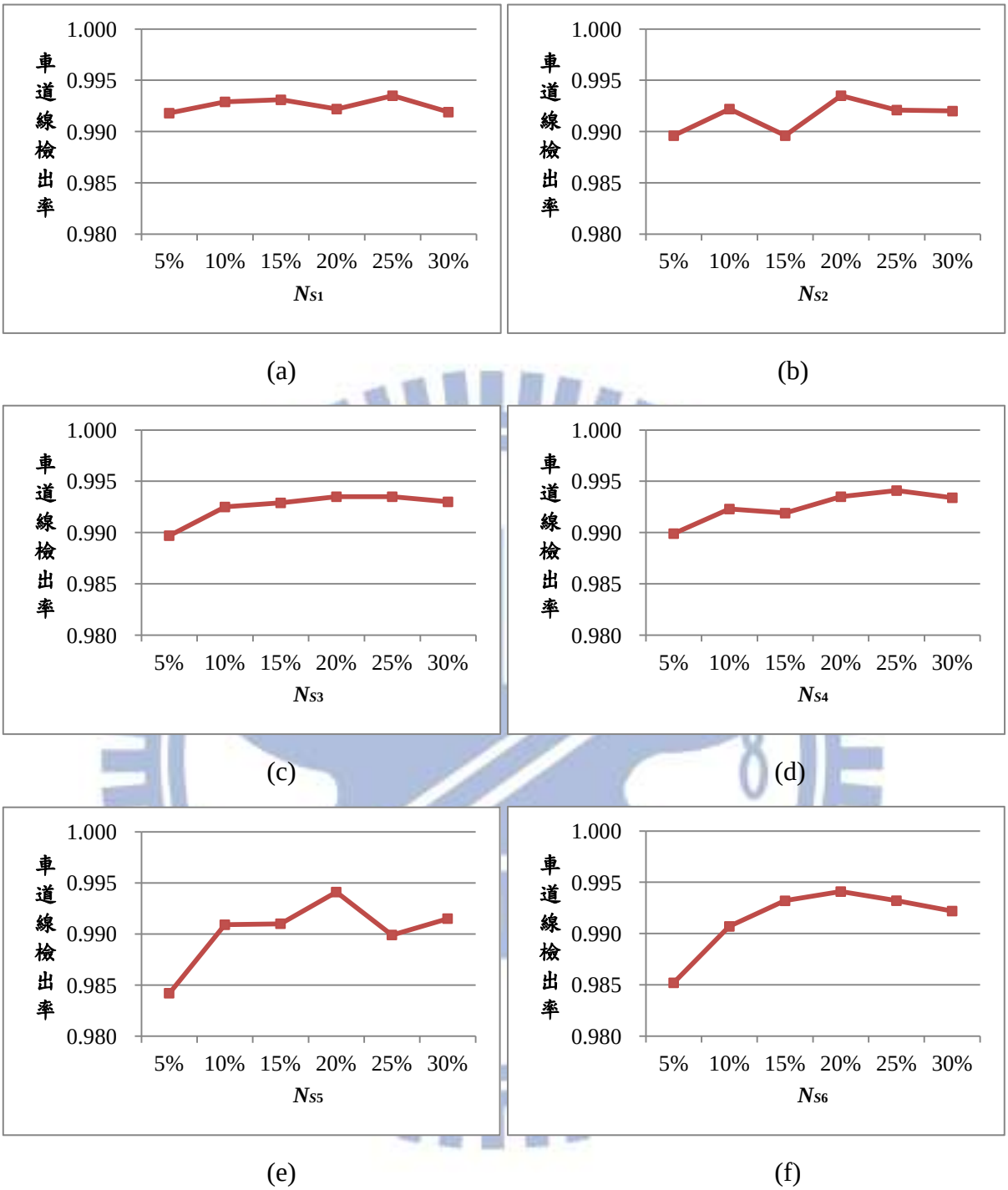


圖 4-11　在非即時車道偵測系統的平滑化各低頻保留率的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{S1}\rightarrow N_{S2}\rightarrow N_{S3}\rightarrow N_{S4}\rightarrow N_{S5}\rightarrow N_{S6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S6} 的實驗結果。

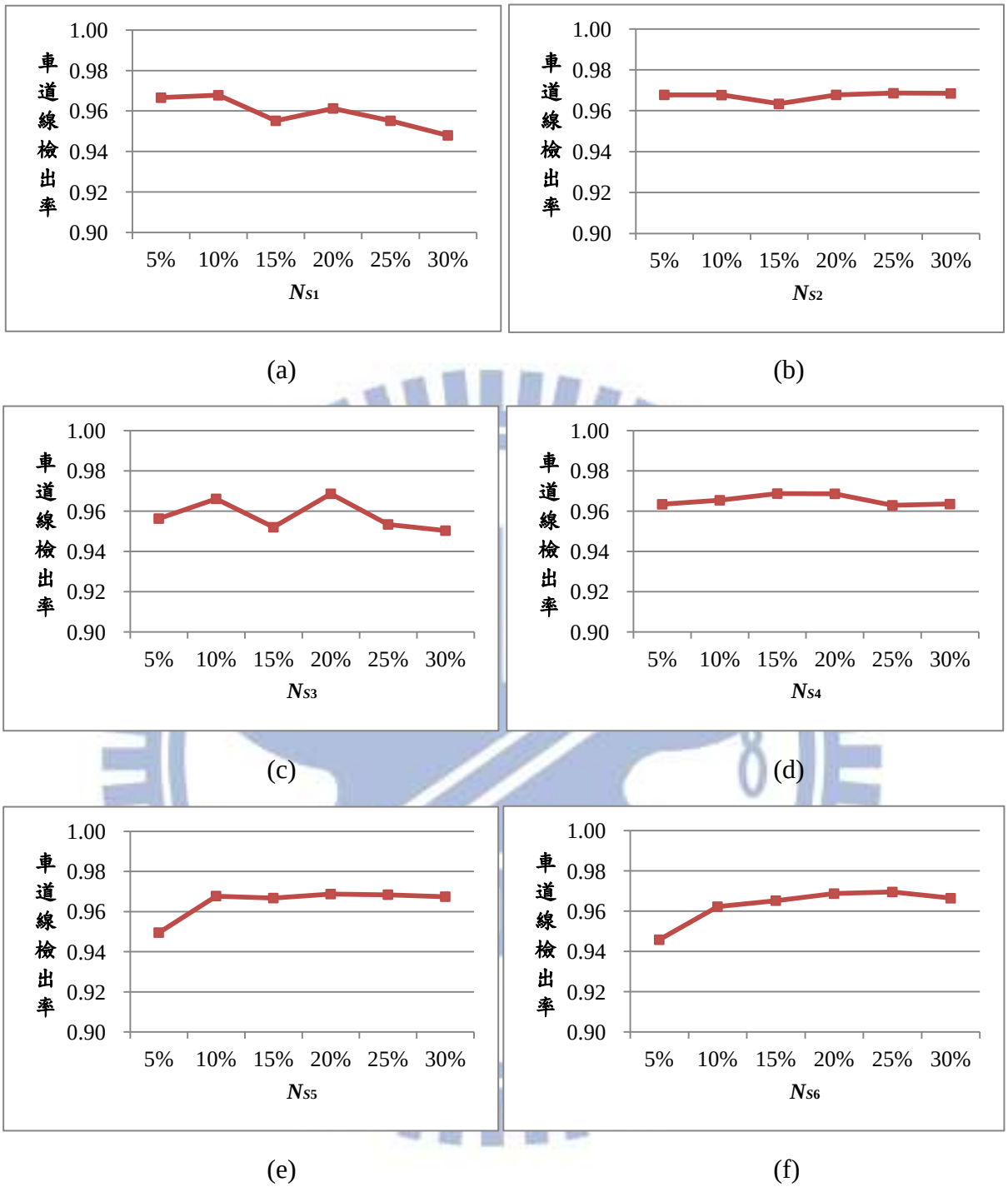


圖 4-12　在即時車道偵測系統的平滑化各低頻保留率的實驗，依實驗順序逐步確認各個參數的結果，順序為 $N_{S1}\rightarrow N_{S2}\rightarrow N_{S3}\rightarrow N_{S4}\rightarrow N_{S5}\rightarrow N_{S6}$。(a)決定 350 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S1} 的實驗結果。(b)決定 340 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S2} 的實驗結果。(c)決定 330 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S3} 的實驗結果。(d)決定 320 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S4} 的實驗結果。(e)決定 310 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S5} 的實驗結果。(f)決定 300 行的時間切片上的低頻保留率參數 N_{S6} 的實驗結果。

4.3.3 追蹤車道線時間點

在本章節中，將對於追蹤車道線的時間點做實驗，找到最佳的追蹤車道線的時間點。車道線追蹤的時間點有助於防止系統追蹤到錯誤的車道線的可能性，假如門檻太低，系統就很容易追蹤到錯誤的車道線；假如門檻太高，追蹤車道線的功能將失去意義。車道線進入追蹤的時間點為上次找出的車道線的點至少有 3 點，在對應回時間切片影像中被中追蹤器串連為同一車道線的點被取來當作車道線點 $T_{tracking}$ 個點以上時，系統將開始追蹤車道線。在實驗的設置上系統的演算法與設定的參數都將固定，只改變追蹤車道線的時間點參數 $T_{trakcing}$。$T_{trakcing}$ 將測試的數值為 1 到 25，$T_{trakcing}$ 為 1 代表只要找到車道線就立刻追蹤車道線。

在圖 4-13 的非即時車道線車偵測系統上對追蹤時間點做調整的實驗中可以看出在 $T_{trakcing}$ 超過 6 以前，車道線的檢出率比沒有做追蹤車道線還要差，其原因在於當車道線找錯時，系統把錯誤的車道線當正確的車道線去做追蹤，使得系統長時間一直找錯車道線，系統的效能也因此變差。當 $T_{trakcing}$ 超過 6 以後，系統偵測出的車道線的檢出率就相差不多，當 $T_{trakcing}$ 到 12 時，其車道線的檢出率就達到最好，之後隨著 $T_{trakcing}$ 值越大其檢出率也跟著逐步下降逐漸的趨近於沒有追蹤車道線的方法。因此在最後決定以 $T_{trakcing}$ 為 12 作為非即時車道線車偵測系統的追蹤車道線的時間點參數。

在圖 4-14 的即時車道線偵測系統上對追蹤時間點做調整的實驗。在實驗中可以看出在 $T_{trakcing}$ 超過 7 以前其檢出率比沒有做追蹤車道線還要差，而原因就和非即時車道線偵測系統的實驗相同。不過即時車道線偵測系統相對於非即時車道線偵測系統要花更大的 $T_{trakcing}$ 的值，才可以取得比無追蹤車道線的系統好的檢出率，其主要原因是在即時系統上有太多非即時系統上沒有的雜訊，以致於經常找錯線，使系統誤以為錯誤的車道線是正確的，而開始追蹤。而這些雜訊只能根據後來在時間切片影像中長時間串連不到線的狀況才能做刪除，而經過刪除這些雜訊的結果將會被非即時系統所利用。而當 $T_{trakcing}$ 值到達 17 之後，車道線檢出率也開始下降，追蹤車道線的功能便漸漸失去作用。因此在最後決定以 $T_{trakcing}$ 為 17 作為即時車道線車偵測系統的追蹤車道線的時間點參數。

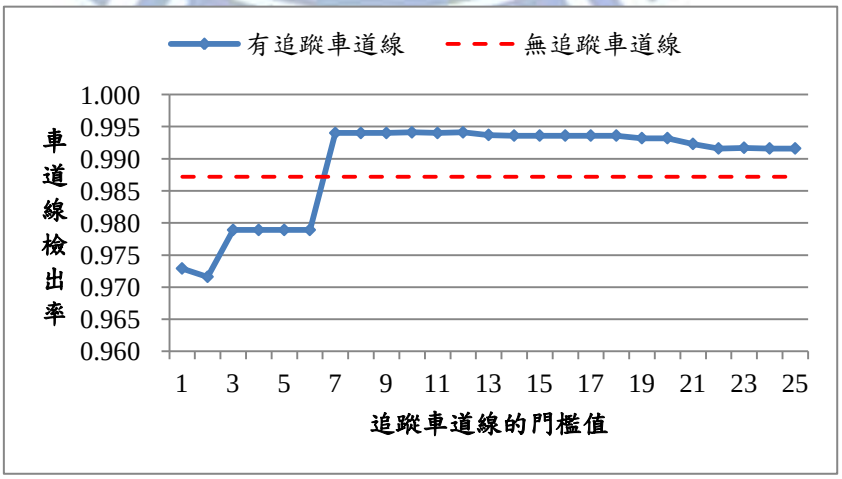


圖 4-13　在非即時系統上，不同的開始追蹤車道線的時間點實驗。

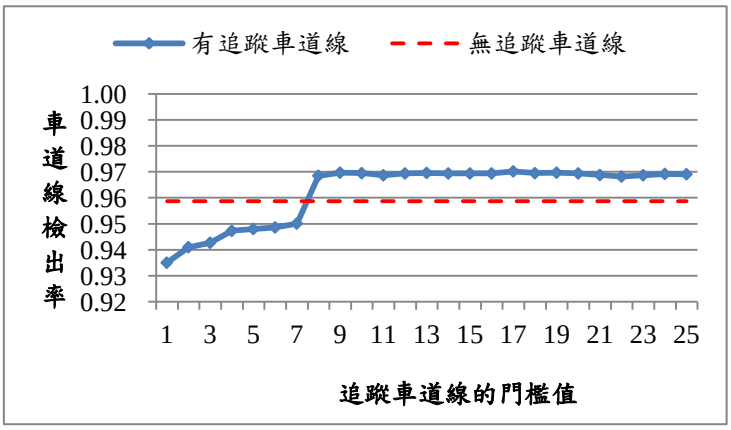


圖 4-14　在即時系統上，不同的開始追蹤車道線的時間點實驗。

4.4　實驗結果

在本章節中，會對將不同道路偵測車道線的結果、各種天氣狀況偵測結果與車道線種類分類的結果提出來並做討論。圖 4-15 為系統在各種路況的偵測結果影像，可以看出系統可以將車道線偵測出來，並區分車道線種類。在表 5 的實驗中，我們以所有的資料下去做測試，包含 24 部每張影像都標示真實數據的影片以及 42 部每秒標示一張影像的真實數據的影片。從實驗中可以看出我們的系統雖然無法將所有車道線完全標示出來，但是仍有 99%的車道線檢出率。而將系統改為即時系統後，也可以得到 96%的車道線檢出率。不過即時系統在換車道的影片中，所獲得的檢出率只有 85%，相較於其他結果的檢出率來看就差很多。而造成的原因是在於車輛在換車道影片中會有大量的水平位移，使得候選點追蹤器在追蹤虛線時會十分困難，假如在這虛線之間空缺的區塊又有雜訊干擾，候選點追蹤器將會很容易追蹤失敗，因此在填補虛線之間空缺時，很容易填補錯誤。而在即時系統是利用上一點移動的水平距離來當作預測下一點的位置依據，而且在即時系統影像中仍有許多無法立即刪除的雜訊干擾，在此狀況下，車道線的偵測率也就大大的下降，如圖 4-17(a)。而在非即時的偵測系統中，是採用已知兩點去做內插的方式，將虛線之間的空缺補起來，並且刪除了大量即時系統無法刪除的雜訊，如圖 4-17(b)，使得系統能夠獲得較正確的資訊，因此非即時系統的結果相較於即時系統的結果還要好。

表 5　在不同車道種類狀況下，即時系統與非即時系統的車道線平均誤差、平均檢出率以及平均精準度的實驗結果。

車道種類	即時車道線偵測系統			非即時車道線偵測系統		
	平均誤差(像素)	平均檢出率(%)	平均精準度(%)	平均誤差(像素)	平均檢出率(%)	平均精準度(%)
直線	0.007	97.34	97.81	0.003	99.34	99.35
轉彎	0.002	97.47	95.59	0.001	99.09	99.09
換車道	0.116	85.21	82.74	0.017	96.33	97.00
全影片	0.013	96.56	96.55	0.004	99.12	99.17

(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

(g)

(h)

圖 4-15　各種路況的結果影像。綠線為虛線。藍線為實線。紅線為雙線。(a)兩邊皆為虛線。(b)兩邊皆為實線。(c)轉彎。(d)左邊實線右邊虛線。(e)左邊虛線右邊實線。(f)其中一邊為雙線。(g)往右邊換車道。(h)往左邊換車道。

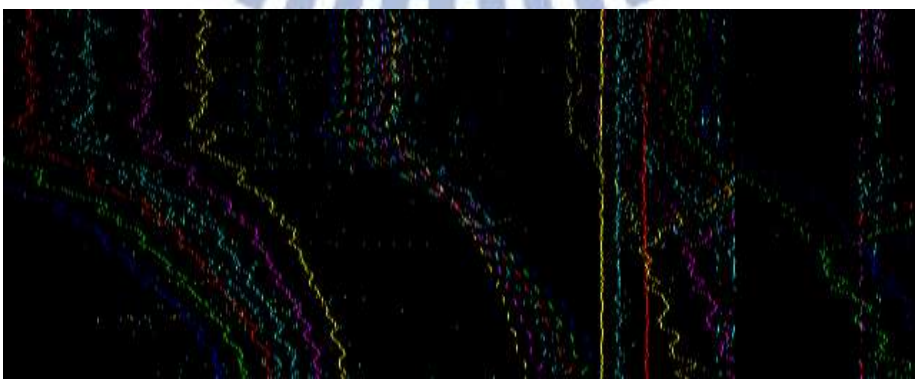
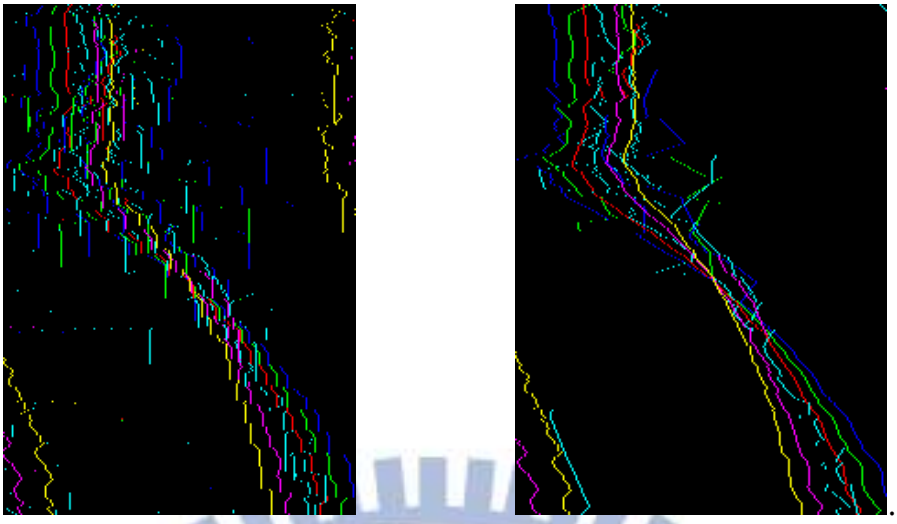


圖 4-16　將換車道影片中，各個時間切片影像中的車道線中心點畫在同一張影像上的結果，根據不同顏色代表不同時間切片影像中的車道線候選中心點。



(a) (b)

圖 4-17 (a)為圖 4-16 用即時系統預測出的結果。(b)為圖 4-16 用非即時系統內插出來的結果。

從表 6 的實驗中可以看出，在不同天氣下的影響下，車道線偵測結果也會有所差異。其中車道線檢出率最高的是在晴天的狀況下，在此種天氣條件下，路面較為明亮清晰，且不會像雨天一樣會有雨水在擋風玻璃上影響偵測結果，如圖 4-18(a)。而最差的天氣狀況則是雜訊最多的雨天，畫面不僅會有雨水在擋風玻璃上被系統誤判為車道線的點的狀況外，其影像較暗也不容易做辨識，因此雨天狀況的車道線偵測結果較差，如圖 4-18(c)。而陰天雖然影像較暗，不過沒有雨水的干擾，所以偵測的結果介於晴天和雨天兩者之間，如圖 4-18(b)。在我們的雨天影片中，雖然有雨水雜訊以及影像較暗的畫面，不過我們的影片還沒有包含出現雨刷以及道路潮濕產生路面有反光的情況，而這部分在接下來的研究，系統將會再加入此兩種狀況來做研究。

表 6 在不同天氣狀況下，即時系統與非即時系統的車道線平均誤差、平均檢出率以及平均精準度的實驗結果。

天氣種類	即時車道線偵測系統			非即時車道線偵測系統		
	平均誤差(像素)	平均檢出率(%)	平均精準度(%)	平均誤差(像素)	平均檢出率(%)	平均精準度(%)
晴天	0.014	97.05	97.14	0.004	99.51	99.55
陰天	0.009	94.05	92.85	0.002	96.29	96.46
雨天	0.005	89.81	90.67	0.006	95.97	95.97

(a) (b) (c)

圖 4-18　各種不同天氣的影像。(a)晴天。(b)陰天。(c)雨天。

分類車道線種類的結果如表 7 和表 8 的結果，其表的數據是根據系統偵測出的車道線再將其分類的結果與真實數據的車道線種類對應的結果。從結果來看，雖然我們的系統能夠區分出大部份的車道線的種類，不過在將車道線誤判為雙線的狀況非常的多。造成大量誤判為雙線的原因除了雜訊的影響外，其問題在系統車道線分類的規則有缺陷。當系統將車道線分為雙線後，系統其實是沒有將雙線直接轉換回實線的機制，只有利用線在候選點追蹤器串連不到點或是線轉為分支線或是合併線的方式，才有機會間接的將車道線種類轉回實線，因此實線會有大量誤判為雙線的問題。相較於即時系統，非即時系統在誤判為雙線的狀況較多，其原因在於即時系統系統在利用平滑化移除雜訊時，所使用的低頻保留率較低，可以刪除較多的雜訊，因此在判斷雙線的狀況會比較少；而非即時系統雖然可以利用候選點追蹤器刪除大量雜訊，不過當系統在此時刪除雜訊時，只有對分支做刪除有將線的種類做重新設定，所以當雙線其中一條線為雜訊時，並不會將剩下的另一條線改為單線。

表 7　非即時車道線偵測系統分類車道線種類結果。

真實數據車道線種類	非即時偵測車道線系統分類結果		
	實線	虛線	雙線
實線	6263	63	1152
虛線	48	4871	324
雙線	4	0	381

表 8　即時車道線偵測系統分類車道線種類結果。

真實數據車道線種類	即時偵測車道線系統分類結果		
	實線	虛線	雙線
實線	6852	48	533
虛線	99	4829	24
雙線	4	0	382

五、 結論與未來研究方向

在此篇論文中，我們提出了一個可以利用時間切片影像自動產生車道線真實數據的系統。我們的系統架構包含了(1)前置處理。(2)找尋車道線候選中心點。(3)連結與移除候選中心點。(4)提取車道線。(5)車道線種類分類。在前置處理中將影像從彩色影像轉為灰階影像，再切出系統需要的切片影像，取出灰階的切片影像，並加入之前所累積下來的時間切片影像中。在找尋車道線候選中心點中利用頂-帽轉換、平滑化、找峰值，最後利用自適應門檻值將車道線中心點找出來。在我們的連結與移除候選中心點步驟中，將以我們設定的串連前後時間的候選點的規則將候選點串連，並移除可能是雜訊的候選點，最後會取得在每的時間切片影像中各個候選點與前後候選點的串連結果。在提取車道線中，將以各個時間切片影像的點等距的方式來提取車道線，當上一張影像已找到車道線時，系統將會參考時間切片影像候選點所串連的結果，確認此線是否可以做追蹤車道線，如果可以追蹤車道線，系統將會依時間切片影像中候選點串連的結果直接預測車道線。在車道線種類分類中，會根據車道線的點對應回時間切片影像中的點，依在時間切片影像中所決定的車道線種類，以一點一票的投票的方式，最多票的車道線種類來代表該車道線種類。因為我們認為利用時間切片影像可以參考之前的時間切片的資訊，比去參考之前影像整張畫面還要節省時間，使得我們能花較少的時間去處理龐大的時間資訊，在即時系統上每張影像平均偵測出車道線時間為 4.203 毫秒。而我們的測試影片是由裝設在車輛擋風玻璃中間上方的行車紀錄器所拍下來的影片，此影片所拍出來的影像與駕駛人所看的道路狀況是相同的，因此我們以此方式作拍攝測試影片的方法。雖然系統能以快速的方式將車道線偵測出，並區分種類，不過仍有許多值得進一步研究的地方：

(1) 連結與移除候選中心點的步驟中，在候選點追蹤器在找點時，用來設定搜尋窗口的點位移的距離可以試著改用各種追蹤演算法來設置更好的搜尋窗口位置，如卡爾曼濾波器。
(2) 連結與移除候選中心點的步驟中，當候選點追蹤器找到超過兩個點時並沒有做處理，而這部分在未來可以對此再加入條件將使系統能保留更多資訊。
(3) 在提取車道線的步驟中，在即時系統裡我們用的前一時間點的位移距離以預測的方式將缺漏的區塊填滿，在此部分也可以試著使用各種追蹤演算法來提高預測的精準度。
(4) 在決定車道線種類時，可以加入參考找到的車道線在目前影像中的狀況，去修正車道線種類因為雜訊而產生錯誤的判斷結果。
(5) 目前我們車道線種類只有簡單的分成實線、虛線和雙線三種，在未來可以在依線的顏色再去加以區分線的種類。
(6) 解決因道路潮濕而路面產生反光的問題以及雨刷出現的問題。

參考文獻

[1] Borkar, A., Hayes M., and Smith, M.T., "A Novel Lane Detection System with Efficient Ground Truth Generation," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.13, no. 1, pp. 365-374, March 2012.

[2] Borkar, A., Hayes M., and Smith, M.T., "An Efficient Method to Generate Ground Truth for Evaluating Lane Detection Systems," *in Proceedings IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing*, pp. 1090-1093, March 2010.

[3] Borkar, A., Hayes M., and Smith, M.T., "Robust Lane Detection and Tracking with RANSAC and Kalman Filter," *in Proceedings IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 3261-3264, November 2009.

[4] Borkar, A., Hayes M., and Smith, M.T., "Detecting Lane Markers in Complex Urban Environments," *in Proceedings IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, pp.727-732, November 2010.

[5] Borkar, A., Hayes M., and Smith, M.T., "A Non Overlapping Camera Network: Calibration and Application Towards Lane Departure Warning," *International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition*, July 2011.

[6] Ghazali, K., Xiao, R., and Ma, J., "Road Lane Detection Using H-Maxima and Improved Hough Transform," *in Proceedings IEEE International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation*, pp. 205-208, September 2012.

[7] Jung, H., Min, J., and Kim, J., "An Efficient Lane Detection Algorithm for Lane Departure Detection," *in Proceedings IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 976-981, June 2013.

[8] Ma, C. and Xie, M., "A Method for Lane Detection Based on Color Clustering," *in WKDD'10. Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 200-203, January 2010.

[9] Tong, C., Lu, X., Zemg, W., Xu, Q., and Shen, S., "A Video Based Vehicle Lane-change Detection," *Journal of Computational Information Systems* ,vol.9, no. 1,pp. 105-112, January 2013.

[10] Vacek, S., Bergmann, S., Mohr, U., and Dillmann, R., "Rule-based Tracking of Multiple Lanes Using Particle Filters," *in Proceedings IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 203-208, September 2006.

[11] Vacek, S., Schimmel, C., and Dillmann, R., "Road-marking Analysis for Autonomous Vehicle Guidance," in *Proceedings* of *European Conference on Mobile Robots*, 2007.

[12] Yang, X., Gao, D., Duan, J., and Yang, L., "Research on Lane Detection Based on Machine Vision," *in Proceedings of the International Conference on Informatics, Cybernetics, and Computer Engineering*, pp. 539-547, November 2011.