

# 國立交通大學

電機與控制工程研究所

碩士論文

Multi-Agent 駕駛輔助系統



The Multi-Agent Driving Assistance System

研究生：吳政衍

指導教授：徐保羅 博士

中華民國九十三年十月

Multi-Agent 駕駛輔助系統

The Multi-Agent Driving Assistance System

研究生：吳政衍

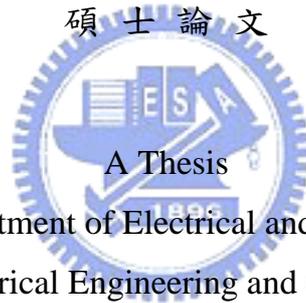
Student: Cheng-Yen Wu

指導教授：徐保羅 博士

Advisor: Prof. Pau-Lo Hsu

國立交通大學  
電機與控制工程學系

碩士論文



A Thesis

Submitted to Department of Electrical and Control Engineering

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao-Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Electrical and Control Engineering

October 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年十月

# 國立交通大學

## 論文口試委員會審定書

本校 電機與控制工程 學系碩士班 吳政衍 君

所提論文 Multi-Agent 駕駛輔助系統

The Multi-Agent Driving Assistance System

合於碩士資格標準、業經本委員會評審認可。

口試委員：

徐保羅

李祖添

胡竹生

指導教授：

徐保羅

教授

系主任：

楊谷澤

教授

中華民國九十三年十月一日

# Multi-Agent 駕駛輔助系統

研究生：吳政衍

指導教授：徐保羅 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

## 摘要

本論文分為影像、雷射掃瞄器與系統整合三方面，在車道線影像方面，我們提出整合型車道線偵測方法，先利用 IPM based 之車道線偵測方法，找出車道線偵測視窗之定位，再由動態視窗進行車道線追蹤，可精確定位視窗而減少影像處理的計算量，達到即時防偏偵測的需求。而在偵測前方車輛影像方面，我們則利用影像的對稱特性，能快速找出前方可能的位置，再進一步簡易的搜尋車輛下緣形狀特徵，以確認是否為前方車輛，達成快速的定位出前方車輛，達到防撞之功能。

在雷射掃瞄器方面，本文以一維的 Kalman filter 針對相對速度做估測，並利用相對距離與相對速度之間的關係，提出一  $D/V$  曲線碰撞預先警告時間。但此方法只針對物體以正向角度接近時才適用，因此，我們提出利用原點變換，建立六個虛擬的雷射掃瞄器，安排在雷射掃瞄器左右，利用此方法拓展監控範圍，使前方障礙物的偵測方法更加完備。

在駕駛輔助系統整合方面，依本論文應用來說，提出單獨使用影像可能會面臨的六個問題(Case 1 ~ Case 6)，及單獨使用雷射掃瞄器可能會面臨的兩個問題 (Case 7 ~ Case 8)，因此，本文最後引入多代理人溝通合作的觀念，透過自行開發的溝通管理伺服程式，來整合影像與雷射掃瞄器，並利用相互間資料交換，獲取所需的資訊，減少運算處理時間、降低不必要的錯誤或無法解決的問題，互補兩者間不足的地方，並由於溝通管理平台的建立，更容易增加其它感測代理程式，使得系統更具有彈性。最後，一

個穩健的防偏與車前防撞駕駛輔助系統，在高爾夫球車上實現之。



# The Multi-Agent Driving Assistance System

Student : Cheng-Yen Wu

Advisor : Dr. Pau-Lo Hsu

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao-Tung University

## ABSTRACT

The proposed system including three subsystems, the image, the laser scanner, and the multi-agent systems. In the image system, the lane detection is carried out by applying the inverse perspective mapping (IPM) to locate suitable windows for image processing to obtain the road lanes. Then, the on-line detection algorithms are processed to track the lanes efficiently. Also, the driving angle from the lanes are calculated. For detection of the front vehicles, the symmetrical characteristics of the vehicle image can be applied to locate the possible vehicle positions in the image. Furthermore, a simple searching approach can be applied to confirm the detection results. Thus, the lane keeping and collision avoidance can be achieved.

In the laser scanner subsystem, the estimation of relative speed between two cars is achieved by applying the 1-dimensional Kalman filter to obtain a reliable D/V curve. Thus, it provides the collision pre-warning time for the driver. However, it is not suitable for two cars not in the same line. A transformation of all measured signals by constructing six virtual lasers scanners is proposed in this thesis so that the present laser scanning system can be applied to a wide range.

To integrate both the image and the laser scanner as a driving assistance system, a multi-agent system is proposed to efficiently exchange information from two agents corresponding to the image and the laser scanner, separately. Six conditions are concluded that the image agent is not suitable for car detection alone; moreover, two cases indicate that the laser scanner may face difficulties in detecting the front car alone. Therefore, the multi-agent system is proposed in this thesis to integrate the image agent and the laser scanner agent. With mutual data and information exchange, the processing time is significantly reduced and the false detection is also suppressed. Furthermore, it provides the flexibility for future expansion with

more sensors in this system. Finally, a multi-agent driving assistance system for the lane departure detection and the collision avoidance has been realized on a golf car tested successfully in the campus of National Chiao Tung University as well as the North Second High Way.



## 誌謝

碩士論文的完成，首先要感謝的是指導教授徐保羅博士在兩年研究生生活上對我的熱心指導以及照顧，讓我有充分的發展空間，使我能順利的完成碩士學位，在此表達我最深誠的敬意與感謝。另外感謝口試委員李祖添博士與胡竹生博士給予本論文的批評與指正，以及寶貴的建議，使得本論文更加完整。

並感謝博士班謝鎮洲學長、幸琮政學長、王安平學長和已畢業的李俊賢學長，平時給我的意見、指導與幫助，與實驗室同學政宏、伊婷、學弟景文、議寬、學妹尚玲，在學業上的相互切磋與指教，並讓枯燥的研究生生活上，增添了不少的歡樂與笑聲，以及新進實驗室來的學弟們，在最後口試的這段時間的幫忙。除此之外，特別對鎮洲學長、琮政學長和尚玲學妹在實驗上與生活上的幫助，獻上感謝之意。

將此論文獻給我最敬愛的父母與家人，因為有你們在身旁的支持與關懷，我才能夠不停地成長與前進，並且順利地克服我人生中的每一個重大考驗。

感謝所有曾經幫助過我與默默祝福我的朋友，謝謝你們。

## 目錄：

中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	ix
圖目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究背景與發展概況	3
1.3 問題界定	5
1.4 研究方法與步驟	6
1.5 論文貢獻	7
1.6 論文架構	9
第二章 車道線與前方車輛之影像偵測	10
2.1 IPM based 之車道線偵測方法	10
2.1.1 Inverse Perspective Mapping	10
2.1.2 車道線擷取	13
2.1.3 定義車道線及偵測結果	16
2.2 動態視窗之車道線偵測方法	21
2.3 整合型車道線偵測方法	25
2.4 以對稱特性偵測前方車輛之方法	27

第三章	雷射掃瞄器於前方車輛之實驗分析	33
3.1	車輛前方之雷射掃瞄器於接近前車時的實驗	33
3.2	Kalman Filter	36
3.3	Kalman Filter 於車輛行駛時的速度估測	43
第四章	影像與雷射掃瞄器代理人	48
4.1	代理人的介紹	48
4.1.1	代理人的發展歷史和定義	48
4.1.2	代理人的應用	50
4.1.3	代理人的分類和特點	50
4.1.4	代理人系統	53
4.2	利用代理人整合影像及雷射掃瞄器	56
4.2.1	雷射掃瞄器代理人提供訊息	58
4.2.2	影像代理人提供訊息	62
第五章	整合代理人駕駛輔助系統	64
5.1	警告訊息的產生	64
5.1.1	影像代理人警告訊息	64
5.1.2	雷射掃瞄器代理人警告訊息	66
5.2	影像處理結果	71
5.2.1	日間的情況	72
5.2.2	夜晚的情況	73
5.2.3	曲線路段的情況	74
5.2.4	陰影的情況	75
5.3	以代理人整合影像與雷射掃瞄器	76
5.4	系統架構與軟體處理流程	78

5.4.1 系統架構	78
5.4.2 軟體處理流程	79
第六章 結論與未來發展	86
6.1 結論	86
6.2 未來發展	87
參考文獻	88



# 表目錄

表 5.1 代理人溝通合作後，其改善結果

84



# 圖目錄

圖 2.1	兩個座標系( $W$ and $I$ )的關係	11
圖 2.2	xy plan in the $W$	11
圖 2.3	$z\eta$ plane in the $W$	12
圖 2.4	(a)原始圖	12
圖 2.4	(b) IPM 後的結果	12
圖 2.5	利用灰階特徵所擷取出的車道線	13
圖 2.6	利用 geodesic morphological dilation 加強車道線影像	13
圖 2.7	geodesic morphological dilation 處理過程	14
圖 2.8	二值化後的影像	15
圖 2.9	細化處理後的影像	15
圖 2.10	圖像經 IPM 轉換後的示意圖	16
圖 2.11	所找出的 sample lane	17
圖 2.12	所找出的車道線	17
圖 2.13	將車道線對應回原始圖上	18
圖 2.14	所找出的偵測視窗	18
圖 2.15	IPM based 之車道線偵測方法其程式流程	19
圖 2.16	IPM based 之車道線偵測方法其車道線偵測結果	20
圖 2.17	在影像上取兩個小視窗	21
圖 2.18	利用灰階特徵所擷取出的車道線	21
圖 2.19	二值化後的影像	22
圖 2.20	形態擴張後的影像	22
圖 2.21	細化處理後的影像	23
圖 2.22	定義車道線資料取樣的方法	23

圖 2.23	動態視窗之車道線偵測方法其程式流程	24
圖 2.24	動態視窗之車道線偵測方法所定義出的車道線影像	24
圖 2.25	整合型車道線偵測方法其程式流程	26
圖 2.26	整合型車道線偵測方法其偵測結果	27
圖 2.27	特定點的分布	29
圖 2.28	二值化後的影像	29
圖 2.29	水平邊抓取後的影像	30
圖 2.30	垂直邊抓取後的影像	30
圖 2.31	車輛輪廓抓取	30
圖 2.32	選取對稱值最高其對稱軸	30
圖 2.33	偵測前方影像的車輛位置座標	31
圖 2.34	以對稱特性偵測前方車輛之方法其程式流程	31
圖 2.35	以對稱特性偵測前方車輛之方法其偵測結果	32
圖 3.1	(a) LMS 外型	33
圖 3.1	(b)雷射光點直徑與相對距離	33
圖 3.2	實驗用高爾夫電動車	34
圖 3.3	裝置在車輛前方的雷射掃瞄器	34
圖 3.4	狀況 1 透過雷射掃瞄器所得到的相對距離與相對速度	35
圖 3.5	狀況 2 透過雷射掃瞄器所得到的相對距離與相對速度	35
圖 3.6	Optimum recursive estimator filter block	39
圖 3.7	透過雷射掃瞄器得到相對速度統一單位(m/s)	44
圖 3.8	Kalman filter 對圖 3.7 (a) 的速度估測 (速度變化較劇烈)	45
	$(p(1) = 1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1)$	

圖 3.9	Kalman filter 對圖 3.7 (b) 的速度估測(速度變化較劇烈)	46
	( $p(1) = 1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1$ )	
圖 3.10	(a) 透過雷射掃瞄器得到相對速度	46
圖 3.10	(b) Kalman filter 對圖 3.7(b)的速度估測	
	(速度變化較緩和， $p(1) = 1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1$ )	46
圖 4.1	Gilbert 對 Agent 的分類	51
圖 4.2	單代理人系統的架構	54
圖 4.3	多代理人系統的架構	55
圖 4.4	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 1 之示意圖	58
圖 4.5	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 2 之示意圖	59
圖 4.6	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 3 之示意圖	59
圖 4.7	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 4 之示意圖	60
圖 4.8	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 5 之示意圖	60
圖 4.9	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 6 之示意圖	61
圖 4.10	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 7 之示意圖	62
圖 4.11	影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 8 之示意圖	62
圖 4.12	本論文所提出之多代理人其溝通、管理平台及架構	63
圖 5.1	車道線方向角	65
圖 5.2	位置左右對稱性	65
圖 5.3	車道線角度差及距離差的計算結果範例	66
圖 5.4	相對距離與相對速度	67
圖 5.5	相對距離除以相對速度(D/V)	
	(原始結果，未經過 Kalman filter 處理)	67
圖 5.6	圖 5.5 相對距離除以相對速度(D/V)放大刻度	68
圖 5.7	相對距離除以經過 Kalman filter 估測的速度	69

圖 5.8	相對距離與相對速度	69
圖 5.9	相對距離除以相對速度	69
圖 5.10	(a)相對距離除以相對速度放大刻度	70
圖 5.10	(b) 相對距離除以估測的相對速度	70
圖 5.11	真實與虛擬的雷射瞄器配置	70
圖 5.12	日間車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果	72
圖 5.13	夜晚車道線，及角度與距離的計算結果	73
圖 5.14	曲線路段車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果	74
圖 5.15	陰影路段車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果	75
圖 5.16	集中式程式設計	77
圖 5.17	分散式的程式設計	77
圖 5.18	USB 埠 CCD	78
圖 5.19	UPS 和 HUB	78
圖 5.20	系統設備的配置圖	79
圖 5.21	影像代理人程式畫面	80
圖 5.22	與雷射掃瞄器的溝通與警告訊息的設定之程式畫面	81
圖 5.23	雷射掃瞄器與溝通管理伺服程式連線設定，及所獲得其它代理人所發出的訊息顯示之程式畫面	81
圖 5.24	Laser scanner agent 文字模式畫面	82
圖 5.25	Laser scanner agent 前方物體模式畫面	82
圖 5.26	Laser scanner agent 繪圖模式畫面	82
圖 5.27	影像及雷射掃瞄器代理人溝通管理伺服程式	83
圖 5.28	程式流程	85



# 第一章 緒論

本章主要在說明本論文研究的動機與目的、研究的背景與發展概況、界定出要研究的問題、研究方法與步驟、論文貢獻以及本論文之架構。

## 1.1 研究動機與目的

智慧型運輸系統 (intelligent transportation system; ITS) 係藉由先進之電腦、資訊、電子、通訊與感測等科技的應用，透過所提供即時資訊的溝通與連結，以改善人、車、路等運輸次系統間的互動關係，進而增進運輸系統之安全、效率與舒適，同時減少交通環境衝擊之有效整合型運輸系統。其包含的範圍相當廣泛，且早在 1930 年代之後就已陸續被提出來了 [1-2]，但一直到 1980 年代末期、1990 年代初才漸漸受到重視，尤其自 90 年代以後，汽車已成為陸地上最重要的交通工具，也由於車子的普及率越來越高，使得交通日漸壅塞，隨之而來的就是交通意外事件頻繁，汽車的安全性受到了嚴苛的考驗。因此，各先進國家都投注了相當大的心力，積極發展先進車輛控制及安全系統 (advanced vehicle control and safety system, AVCSS)，結合感測器、電腦、通訊、電機及控制技術應用於車輛及道路設施上，協助駕駛人駕駛，以提高行車安全，增加道路容量，減少交通擁擠，以改善行車安全。根據內政部警政署統計，歷年來台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆維持在三千人左右[3]，分析其肇事原因，有百分之 70-90% 的交通事故都是起因於駕駛人操作不當所致，這些交通事故不僅造成個人及家庭的負擔，更是社會醫療資源與國家生產力的一重大損失。如果駕駛人在意外發生前可以事先察覺到危險狀況加以處理判斷，例如當車輛有偏離車道的趨勢或有物體以異常情況接近時發出警告訊號，那麼對於交通事故的發生將能有效降低。有鑑於此，在本論文中發展 ITS 的

首要目標就是利用資訊及控制等技術來輔助駕駛人行車，增進交通安全。

在目前針對駕駛人輔助系統上，大約可分為防偏與防撞警告兩方面。在防偏系統上(lane keeping system or departure warning system)，有學者提出以紅外線或雷達為感測器，但其容易受到距離的限制或必須有路旁欄杆來作為反射訊號用，故一般還是以影像為基礎來實現這類系統較為普遍，因影像畢竟是比較接近人類視覺感官，比較容易為大部分人所接受。而在防撞系統上(collision avoidance system，CAS)，大概可以粗分為前、側(左、右)、後方防撞系統等，目前主要使用的感測器有毫米波(millimeter wave，也就是微波)雷達式防撞系統與光學式雷射掃瞄器防撞系統等兩大類。毫米波防撞雷達主要以 77GHz 連續波頻率調變系統，光學式雷射雷達主要為波長 900nm 的紅外線短脈衝調變系統。



因此，在本論文中將結合影像與雷射掃瞄器，建構一穩健的防偏與車前防撞駕駛系統，主要是處理由 CCD 所獲得的影像及由雷射掃瞄器所獲得距離資訊，在影像方面，從獲得的影像減少除了車道線與車輛外的雜訊，並將車道線與車輛之影像突顯出來，再快速、確實的將車道線與車輛定義出來，並以所得的車道線與車輛資訊為依據，作為防偏與車前防撞警告訊息的產生。在雷射掃瞄器方面，由安裝在實驗車輛前方的雷射掃瞄器，發展出利用所測量與前方車輛的距離，得到雷射掃瞄器與前車間的距離資訊，經過進一步資料處理分析後可以得知兩車間相對速度，作為前方防撞的判斷條件之一。最後，將影像與雷射掃瞄器所得的結果，相互溝通配合，以期獲得最佳之系統效能。

## 1.2 研究背景與發展概況

防偏與防撞輔助系統在汽車安全上一直是一被積極研究與發展的領域。90 年代以後，世界各國投入了大量的人力和物力在此系統的研究與實驗，為保障汽車行駛安全、降低肇事率作出貢獻。在美國、日本甚至其它歐美先進國家，都已經在防偏與防撞輔助系統上，有一些研究成果出來了，例如：配合道路設施（如路邊的欄杆或在其上加裝能反射紅外線的裝置），使用紅外線、雷達等感測器，做橫向距離的測量[4-6]、使用 CCD 攝影機配合電腦作影像的處理，做車道偏離警報系統(lane departure warning system)、車道保持系統(lane keeping system) [7-13]、車輛追蹤系統(car following system)[14]，以及使用雷射掃瞄器或 infrared ray 感測器(IR scanner)作相對距離資訊的處理，做車輛防撞系統(collision avoidance system)等[15]。



就使用紅外線或雷達感測器做橫向距離測量的方法來看，必須要配合適當的道路設施，而我們不可能在每條道路，甚至每個車道的兩旁都架設欄杆或其它能感測到的東西，因為這樣做不僅工程浩大且不合乎經濟效益，故我們將採取影像做為我們研究進行的方法，由影像中獲取車道線與前方車輛，為防偏依據與車前防撞的輔助資訊。但由於利用影像來算計相對距離，其精確度並不是很好，因此，我們在防撞方面主要採用精確度高、範圍廣及使用率高的雷射掃瞄器，來獲得相對距離資訊。最後，我們將利用多代理人的觀念，來整合影像與雷射掃瞄器。

車道線偵測方面，Chen et al. [7] 提出一套以影像為基礎的偏離警告系統 AURORA，在這個系統中其將一台彩色攝影機架設在車子的旁邊，鏡頭向下，用以擷取車子側邊的車道線，算出車子和車道線的距離，並求出

其橫向速度，根據 TLC (time to lane crossing) 原理[16]，決定是否發出警報。Broggi [17] 提出一個利用 IPM (inverse perspective mapping) [18] 法則，能有效的偵測在不同環境情況下的車道線。Kluge and Lakshmanan [19] 提出一個偵測車道線的方法，對付因陰影、坑洞、油污等情況導致車道線不易辨識的情況，其利用 LOIS (likelihood of image shape) 偵測演算法，使用一個可變形的模版來解決上述的種種問題。Gangyi et al. [20] 提出一個新的道路偵測方法，其將車道線影像分為 LLM (lower lane markings)和 ULM (upper lane markings)兩部分，討論他們的性質並發展新的防偏偵測演算法，分析橫向偏移量並計算其他車道結構參數，來做車輛橫向控制。Risack [21] 提出一個車道保持輔助系統，在駕駛員不注意而偏離車道時提出警告，其比較了一些偵測偏離的方法，並結合了不同的警告演算法，以達到一個更穩健的輔助效果。



車輛偵測方面，Zielke et al. [22] 提出以車輛灰階的對稱性，與所發展的 SEED (symmetry-enhancing edge detector)，能快速來作車輛的偵測。Leuven et al. [23] 則使用車輛外型作擷取的特徵，作特徵上的對比，達到車輛追蹤的目的。Kato et al. [24] 提出一個偵測車輛的方法，主要是先由許多樣本影像中，得到一統計的參數特性，再利用此特性，來判斷車輛、機車的位置，能適應各種不同種類的車輛或機車。

雷射掃瞄器方面，Kunsoo et al. [25] 提出以車輛模擬器，雷達感測器，個人電腦，控制面板(油門、剎車控制)和警告顯示裝置(蜂鳴器、警示燈)這套系統，來模擬出前後車間的相對距離與相對速率，將雷達得到距離資訊加以發展 CW/CA 演算法，CW/CA 演算法包含了決定距離警告以及對車子加速/減速控制，並且使用 Kalman filter 來對相對距離、相對速度作處理以確保能夠降低雜訊干擾且得到更好速度估測，最後決定警告程度及是否

要對剎車動作。

就代理人而言，代理人這一個概念的呈現並非是最近才興起的，是由 MIT (Massachusetts institute of technology) 所發展出來的，目前發展已經有一段時間了，其應用非常廣泛，如商業應用中的資訊管理、電子商務和商業流程管理；醫療應用方面的病人監視、健康監控；娛樂方面的遊戲和互動式電影，而在工業應用中的製造與控制系統[26-29]、核電廠控制[30]，都有將代理人系統引入案例。而在本論文中將利用代理人的溝通合作的觀念，整合影像與雷射掃瞄器，建立一個穩健的防偏與車前防撞警告系統。

### 1.3 問題界定

- 1、在防偏與防撞系統上，一般以影像及雷射掃瞄器為基礎來實現這類系統較為普遍，因此，在我們研究中，將使用 CCD 與雷射掃瞄器在 PC based 上來建構防偏與車前防撞系統。
- 2、在我們的系統是以道路上的車道線與車輛做為判斷的資訊，故除了車道線與車輛之外，其它所有的影像皆可視為雜訊，由於我們會遭遇的狀況可能會有許多變化，故我們必須經過一些適當處理的過程來減少雜訊，以提升影像的品質，確實的偵測出車道線與車輛，並以此為依據建立防偏與車前防撞警告。
- 3、在此論文中，利用雷射雷達量測與前車之間的相對距離，得到相對速度，用 Kalman filter 來估算兩車間的相對速度，根據實驗得到數據來看車輛前方防撞的問題點，提出發生碰撞前事先警告駕駛人剎車的方式，發展一個可靠的車輛前方防撞警告。

- 4、由於我們最終的目的是建立一穩健的防偏與車前防撞警告系統，因此，如何有效整合影像與雷射掃瞄器是必須的，在此將引入多代理人溝通合作的觀念。

## 1.4 研究方法與步驟

本論文研究的方法與步驟如下所述：

- 1、針對影像方面，我們將 CCD 架在實驗用車輛(在此為高爾夫球電動車)上，透過 USB 與 PC 端連接，首先我們將實際在車道上行駛的況狀先錄成影片，或照成圖片，在利用其資料作影像上的分析，進一步發展出車道線與前方車輛擷取的方法，最後，再實際驗證其法則的正確，作細部的調整，或法則的修改，達到能在實際狀況下，正確的抓取車道線與前方車輛，再由所抓取的車道線與前方車輛資訊，發展防偏與前方防撞準則。
- 2、在前方防撞的實驗中，我們安裝雷射雷達在實驗用車輛(在此為高爾夫球電動車)的前方，透過 PC 端串列埠對雷射雷達取得每一筆距離及兩段資料間的時間差，將得到相對距離與時間數據抓取下來後，在 PC 端上來做相對速度的分析處理，以便作為進一步發展防撞準則的判斷條件。
- 3、經由實際實驗中，可得知由於各別獨立的感測器，各有其優點但仍有其不足的地方，因此，在此引入多代理人溝通合作的觀念，並在 CCD 與雷射掃瞄器間建立了區域，再自行開發的溝通管理平台，透過此平台相互交換資訊互補彼此間的不足，建立一個更佳穩健的防偏與車前防撞警告系統。

## 1.5 論文貢獻

本論文之貢獻如下所述：

### 1、在影像處理方面：

我們整合 IPM based 之車道線偵測方法與動態視窗之車道線偵測方法，提出了整合型車道線偵測方法，與利用車輛外形的對稱性與其輪廓特徵，提出了以對稱特性偵測前方車輛之方法。而這兩種方法在 PC based 架構下，能具有即時性與較高的辨識率或較能適應適應各種環境的變化。

#### (1)在車道線偵測方面：

主要因 IPM based 之車道線偵測方法，由於經由 IPM 處理可將透視效果移除，使車道線相互平行，並能剔除部份非車道的影像減少雜訊，因而能獲得較高的辨識率，並較能適應各種環境的變化，但其處理時間長，而動態視窗之車道線偵測方法，由於方法簡單，處理範圍小，因此，處理時間短，但其辨識率及適應性較差，由上述可知，這兩種方法各有其優缺點，所以我們提出以 IPM based 之車道線偵測方法，作偵測視窗的定位，再由動態視窗之車道線偵測方法，作車道線作追蹤動作，所形成的整合型車道線偵測方法，以獲得高辨識率與即時性兼具，並能適應多種環境狀況的車道線偵測法則，並以車道線的角度差與其位置差為防偏警告的依據。

#### (2)在前方車輛偵測方面：

主要是利用外形的對稱性與輪廓特徵來偵測車輛，通常以外形特性為偵測的依據其處理方法、步驟會較簡單，所以處理速度較快，較可以達到 PC based 下即時的要求，且在環境較單純下，如、直線或小幅度轉彎道路的跟車等，能擁有相當的辨識率，提供一在 PC based 架構下，即時偵測前方車輛其相對應的解決方案，並依所得的車輛

位置，再與雷射掃瞄器的資料相互配合，作為前方防撞警告的依據。

## 2、在雷射掃瞄器的應用方面：

主要是以由雷射掃瞄器所獲得的距離資訊，計算其相對速度，並利用 Kalman Filter 作速度估測，再以 D/V 曲線作防撞警告的依據，但此方法只針對其物體以一定角度向雷射掃瞄器此點接近時才適用，而若物體以垂直方向向我們所駕駛的車輛接近，但是並不與雷射掃瞄器成垂直時，此警告法則將會失敗，因而我們提出利用所得的距離資訊，建立數個虛擬的雷射掃瞄器，安排在雷射掃瞄器左右，再作警告訊息的監控，利用此方法拓展監控範圍，解決上述問題。

## 3、系統整合方面



在此方面我們引進多代理人溝通合作觀念，主要因為由於單一個別獨立的感測器，其能力有限，所以，我們利用多代理人溝通合作觀念，利用相互間的資訊傳遞，互補各感測器的不足，如此可以減少一些不必要的錯誤，及處理流程，提升系統的穩定與效能，並在程式設計方面，由於包含了分散式的概念，在程式撰寫上會相對的比較簡單，因只需考慮單一感測器，再考慮溝通與配合的撰寫即可，且利用網路作溝通合作，其擴充性及修改性也較好，因為只需了解其相互間的傳輸模式，就可加入此系統，即可擷取或提供所需的資訊，即使需要修改相互間的程式，也只需作部份的修改，即可完成，讓系統有更大的彈性。

## 1.6 論文架構

本論文共分六章，首先第一章中旨在說明研究的動機與目的、研究的背景與發展、界定出所要研究的問題、研究方法與步驟以及本論文之貢獻。第二章為車道線與前方車輛影像之處理，旨在說明如何去擷取所需之車道線與前方車輛影像資訊，利用那些偵測法則以獲得一個車道線與前方車輛，包括了 IPM based 之車道線偵測方法、動態視窗之車道線偵測方法、整合型車道線偵測方法及以對稱特性偵測前方車輛之方法，都將做一個詳細的介紹。第三章為雷射掃瞄器於前方車輛之實驗分析，主要在分析駕駛人行駛接近前車時的實驗，以及如何利用 Kalman filter 作其速度估測。第四章為以多代理人之觀念整合影像與雷射掃瞄器，在本章介紹如何利用多代理人溝通合作的觀念，整合影像與雷射掃瞄器代理人及其例子。第五章為駕駛人輔助整合系統之實現，在本章提出了一套簡單且有效的防偏與車前防撞警告訊息的產生，並就一些實驗的結果加以分析比較，最後並對系統架構及軟體流程做一個簡單的介紹。第六章對本論文做一個結論，並提出未來可再改進發展之方向。

## 第二章 車道線與前方車輛之影像偵測

本章針對影像代理人所負責車道線抓取，前方車輛偵測，所使用的方法做一詳細的介紹。

### 2.1 IPM based 之車道線偵測方法

本論文在車道線擷取方面，主要是以經過 inverse perspective mapping ( IPM ) 後的影像為基礎，經過適當的特徵抽取、影像處理及定義，所發展出的車道線偵測處理。

#### 2.1.1 Inverse Perspective Mapping

由於透視效果( perspective effect )關係，一般從攝影機所獲取的道路影像，其車道線寬度會隨著與攝影機的距離而有所改變，而每個像素所代表的實際大小也不同，因此造成原本平行的車道線，在圖像上會形成非平行而相交在遠處兩直線，造成不容易從圖片中找出車道線，所以本篇論文使用 inverse perspective mapping 方法，將透視效果的影響從圖片中移除，形成等比例的俯視圖( top view )，讓之後車道線偵測更容易，其方法介紹如下。inverse perspective mapping 方法需要定義一些物理參數，其定義如下：

$W = \{(x, y, z)\} \in E^3$ ，表示 3-D world space。

$I = \{(u, v)\} \in E^2$ ，表示 2-D image space。 [如圖 2.1 所示]

(1) Viewpoint：攝影機的位置  $C = (l, d, h) \in W$ 。

(2) Viewing direction：optical axis  $\hat{o}$  由下述兩個角度來決定

$\bar{\gamma}$ ：為 optical axis  $\hat{o}$  投影到  $z=0$  平面(定義為向量  $\hat{\eta}$ )，與  $x$  軸之夾角。

[如圖 2.2 所示]

$\bar{\theta}$  : 為 optical axis  $\hat{o}$  與向量  $\hat{\eta}$  之夾角。[如圖 2.3 所示]

(3) Aperture : camera angular aperture is  $2\alpha$  。

(4) Resolution : camera resolution is  $n \times n$  。

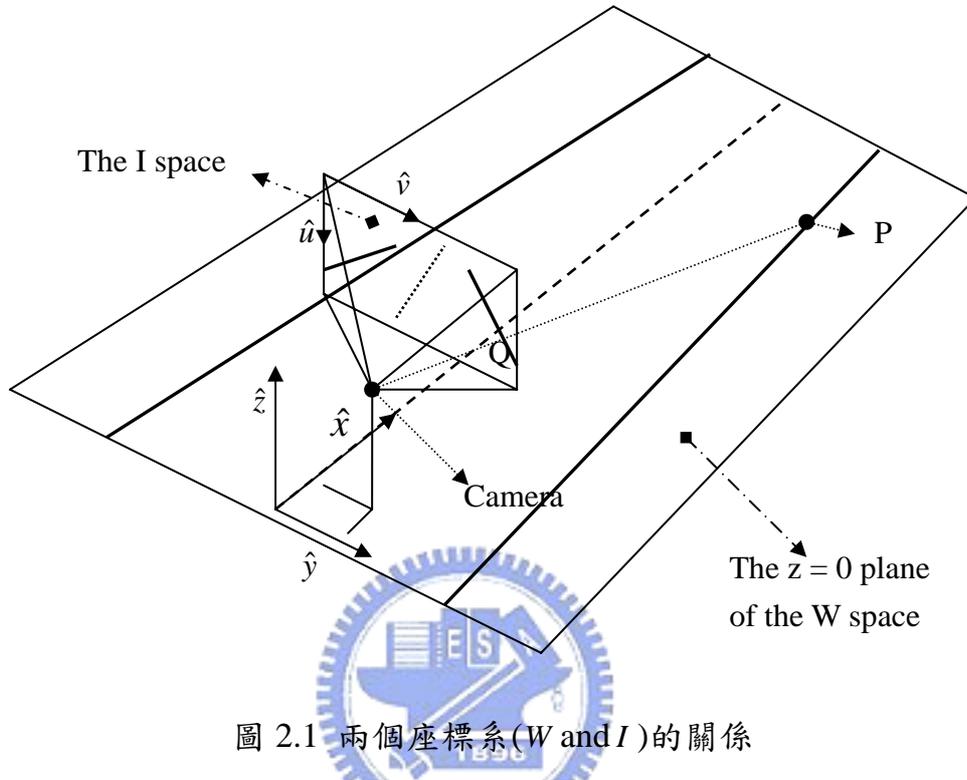


圖 2.1 兩個座標系(W and I)的關係

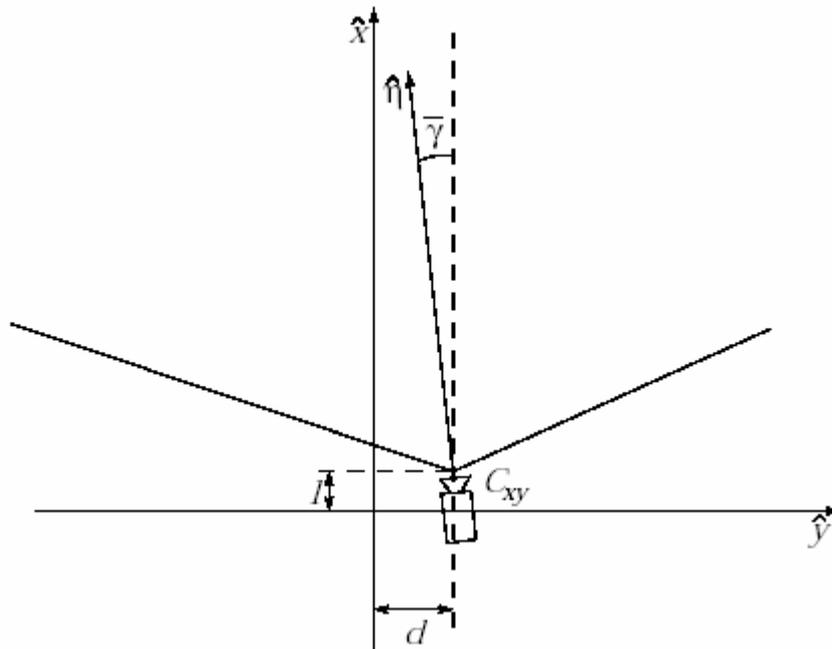


圖 2.2 xy plan in the W

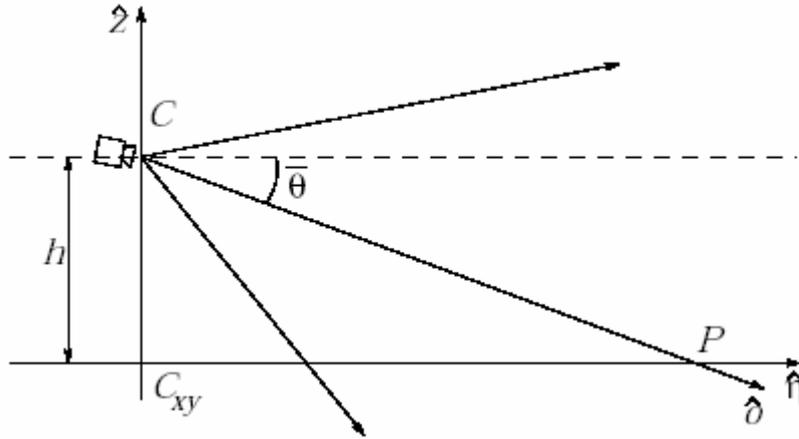


圖 2.3  $z\eta$  plane in the W

Inverse perspective mapping 方法，其主要的概念是先將圖像座標利用(2-1)式及(2-2)式( $z=0$ )對應到世界座標(原公式是以車道中線為原點，如圖 2.1，而本實驗將原點定在雷射掃瞄器的位置)上實際的位置，再依世界座標上實際的位置，由俯視方向等比例重新應對回圖像座標，重新分配其對應的灰階值，將透視影響移除，其結果如圖 2.4 所示。

$$x(u, v) = h \times \cot[(\bar{\theta} - \alpha) + u \frac{2\alpha}{n-1}] \times \cos[(\bar{r} - \alpha) + v \frac{2\alpha}{n-1}] + l \quad (2-1)$$

$$y(u, v) = h \times \cot[(\bar{\theta} - \alpha) + u \frac{2\alpha}{n-1}] \times \sin[(\bar{r} - \alpha) + v \frac{2\alpha}{n-1}] + d \quad (2-2)$$



圖 2.4 (a)原始圖

(b) IPM 後的結果

此方法除了可以將透視影響移除，形成俯視圖，並可以將部份不屬於車道的影像移除，讓影像集中在車道上，減少在車道線擷取時受到其周圍影像影響。

## 2.1.2 車道線擷取

由於經過 inverse perspective mapping 的轉換後，車道線形成相互平行且其寬度較為一致，並且在一定  $m$  pixel 寬度下，車道線的水平灰階值形成『低灰階值—高灰階值—低灰階值』如此分布，因此，我們就利用此特徵，依(2-3)式，將車道線從圖像中擷取出來，其結果如圖 2.5 所示。

$$r(x, y) = \begin{cases} d_{+m}(x, y) + d_{-m}(x, y), & \text{if } (d_{+m}(x, y) > 0) \wedge (d_{-m}(x, y) > 0) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-3)$$

且

$$d_{+m}(x, y) = b(x, y) - b(x, y + m)$$

$$d_{-m}(x, y) = b(x, y) - b(x, y - m) \quad \text{而 } b(x, y) \text{ 為圖像上 } (x, y) \text{ 位置的灰階值}$$



圖 2.5 利用灰階特徵所擷取出的車道線



圖 2.6 利用 geodesic morphological dilation 加強車道線影像

從圖 2.5 我們可以看出取抓出的車道線並不是很清楚，這是由於其灰階值是由車道線與車道線  $\pm m$  pixel 的灰階值差值的和決定，所以當原始圖像的車道線不是得清楚時，其所得的灰階值也較小，造成部份車道線較為模糊，因此，我們採用 geodesic morphological dilation 的方法來[31]加強車道線的影像。

geodesic morphological dilation 方法，主要是能將有相互連通的區塊，依其原有的灰階值為基礎，來提升整區域灰階值，方法敘述如下：

- (1) 首先由上而下，由左而右掃描所輸入的影像，遇到灰階值不為零的位置，以其為九公格的中心。
- (2) 比較九公格的中心與四連通方向的灰階值，找出最大的灰階值為所得的灰階值，代替原灰階值。
- (3) 繼續掃描圖像，直到掃完圖像所有的位置，為完成一次動作。
- (4) 重複上述動作，直到所有灰階值不再改變。

對圖 2.5 作 geodesic morphological dilation 其結果如圖 2.6 所示，而其詳細過程如圖 2.7 所示。

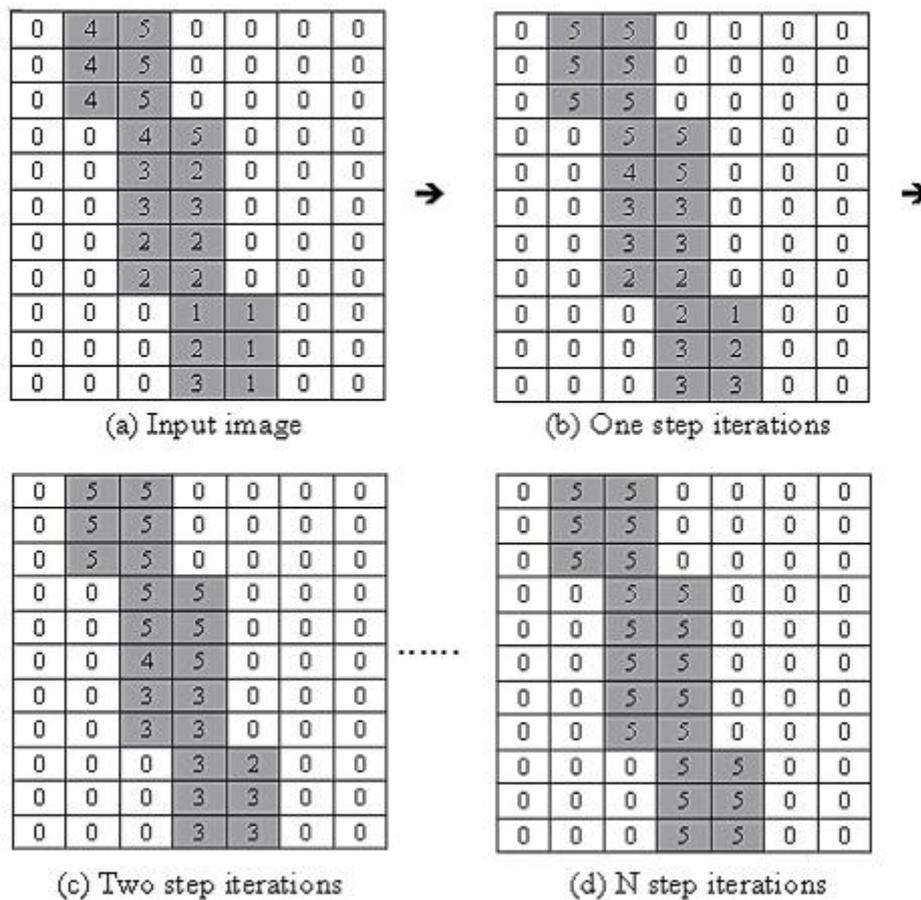


圖 2.7 geodesic morphological dilation 處理過程

由圖 2.5 來看一般車道線區域其灰階值偏高，而其它雜訊區域灰階值都偏低，因此，利用此方法除了提升車道線區域的灰階值，其雜訊區域的灰階值也會有增加但不影響之後的處理。但由於此方法執行到最後需要較長的時間，所以我們並不執行到最後，只需執行數次動作，將部份車道線影像加強，達到我們所需求即可，以縮短處理時間。

我們將對圖像作進一步二值化的處理，將車道線與其它雜訊分離，而最簡單的二值化方法是選取一固定閾值，作為二分法的標準，但由於所要分離出來的車道線其灰階值在整張圖上並不一致，若只使用一固定閾值，可能造成部份車道線被捨去或可能得到大量的雜訊點，因此，我們在此採用局部區域二值化方法，利用局部區域的灰階值，定出局部區域的二值化閾值，如(2-4)式所示，來避免或減少上述情形的發生，其結果如圖 2.8 所示。

$$t(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } e(x, y) \geq \frac{m(x, y)}{k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-4)$$

$e(x, y)$ :圖上的灰階值， $m(x, y)$ :在 $c \times c$ 區域上最大灰階值， $k$ :常數。 $[c=5, k=2]$



圖 2.8 二值化後的影像



圖 2.9 細化處理後的影像

最後，為了以後定義車道線處理上的方便、及減少處理量和錯誤的發生，我們將所得的車道線影像，計算從水平方向其灰階值連續為 1(255)的個數，來獲得

線段寬度，再取其寬度的中心點，做細化處理，如圖 2.9 所示。而若所在的車道上，前方有車輛在行駛，在抓取車道線時，會產生其相對應的雜訊，影響之後定義車道線的正確性，所以我們可以從所獲得的前方車輛的資訊(2.4 節將會介紹)，清除前方車輛的影像，減少錯誤的發生。在清除前方車輛影像方面，由於一般物體在圖像上經過 IPM 轉換後，其形像會形成由某特定點所發出的放射狀，如圖 2.10 及 2.4(b)圖所示，因此，我們可以由圖像的邊緣找出其特定點 S(為攝影機所在的位置，如圖 2.10)，如圖 2.4(b)圖左右下角的黑色區域與影像區域的邊界找出兩直線的交點，即可得到其特定點 S，再由已知在原始圖形上前方車輛的位置，經 IPM 轉換(如圖 2.10 A、B 兩點)並與特定點 S，形成兩點直線，利用其可將經由 IPM 轉換後圖像上的前方車輛影像清除，減少相對應的雜訊。

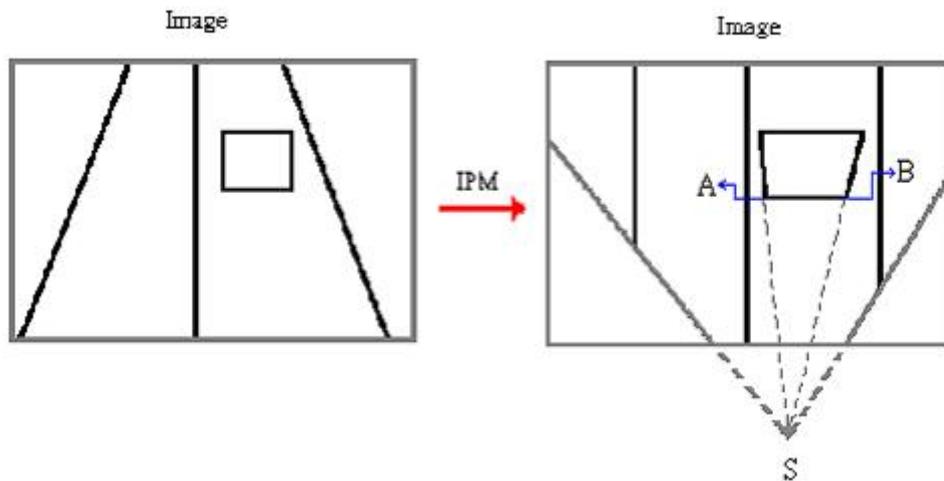


圖 2.10 圖像經 IPM 轉換後的示意圖

### 2.1.3 定義車道線及偵測結果

在定義車道線方面，首先由影像上定義出最可能的車道寬度，由於一般來說車道內的雜訊是最少的，所以我們定義特定點 S 為軸，統計軸的左、右兩邊，在影像上其灰階值不為零到軸的最短距離，其和為車道寬度，利用其找出最有可能的車道寬度。但仍有可能找出不正確的車道寬度，所以我們統計圖像上各點與各點間的距離，設定其車道寬度的條件，如(2-5)式所示，找出另一可能的車道寬度，

利用其所獲得的兩個可能的車道寬度，相互的輔助、驗證，來提升其正確性。

$$\frac{N}{8} < w_i < \frac{3}{4}N \quad \frac{N}{16} < c_i < \frac{15}{16}N \quad c_i - w_i > \frac{3}{4}N \quad c_i + w_i > \frac{N}{4} \quad (2-5)$$

$w_i$ ：車道寬度， $c_i$ ：車道中線位置

由於一般來說在影像底部雜訊較少，且車道線在小區域中大約為垂直的直線，所以我們將由圖片的底部依車道線的垂直關係，先定幾個小區域算計其灰階值總和，找出其值最大者取其中央位置為一車道線的代表點，再由代表點依此向上再定出幾個小區域找出其它代表點，一直向上尋找直到圖像邊緣或所定的區域其灰階值皆為零為止，利用此方法定出車道線，並找出所有可能的車道線，從所有可能的車道線中，將其代表點上下相連，取左右 5 個 pixel 為寬度，計算其所占的灰階值總和，利用其所占灰階值最高者，我們定義為 sample lane，如圖 2.11 所示，再利用 sample lane 及所找出的車道線寬度，由 sample lane 以車道線寬度為單位向左、右位移，重建出所有的車道線，如圖 2.12 所示，利用此方法，可以彌補部份車道線殘缺的部份，獲較佳的車道線。

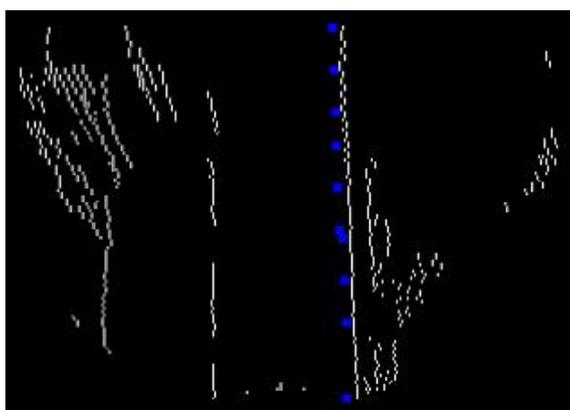


圖 2.11 所找出的 sample lane

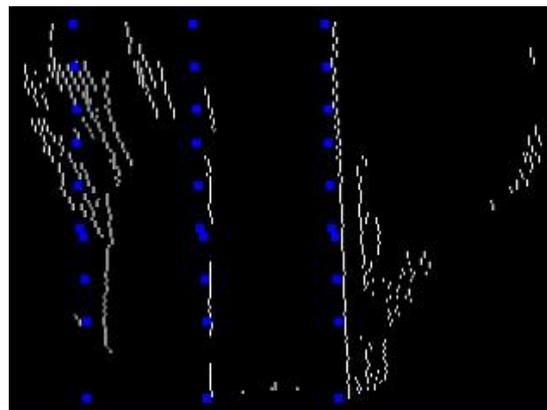


圖 2.12 所找出的車道線

之後，要將所找出的車道線重新對應回原始圖上，所以先由影像座標等比例應對到將世界座標，再將世界座標依(2-6)式對應回影像座標，如圖 2.13 所示。最後，我們以特定點 S 為軸，找出最靠近左、右兩條車道線，並以所得的車道線為基礎定義出偵測視窗，並對視窗內的影像做灰階、特徵抽取(同上述抽取車道線的方法)，局部區域二值化(同上述二值化之方法)，利用所得的影像，找出灰階值分布最集中的區域，將其設在視窗的中間區域，來微調偵測視窗，如圖 2.14 所示，其程式流程如圖 2.15 所示，最後所得的偵測視窗，將提供動態視窗之車道線偵測方法其偵測視窗。

$$\begin{aligned}
 u(x, y, 0) &= \frac{\arctan\left[\frac{h \sin \gamma(x, y, 0)}{y - d}\right] - (\bar{\theta} - \alpha)}{\frac{2\alpha}{n - 1}} \\
 v(x, y, 0) &= \frac{\arctan\left[\frac{y - d}{x - l}\right] - (\bar{\gamma} - \alpha)}{\frac{2\alpha}{n - 1}} \\
 \gamma(x, y, 0) &= \arctan\left(\frac{y - d}{x - l}\right)
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

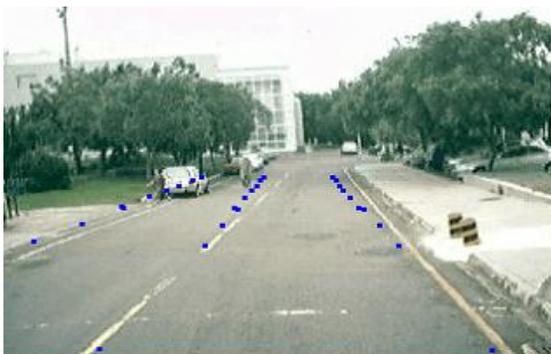


圖 2.13 將車道線對應回原始圖上

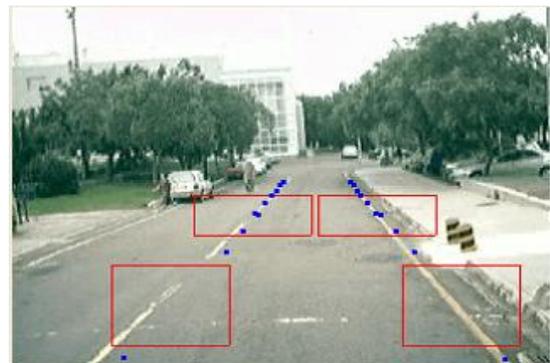


圖 2.14 所找出的偵測視窗

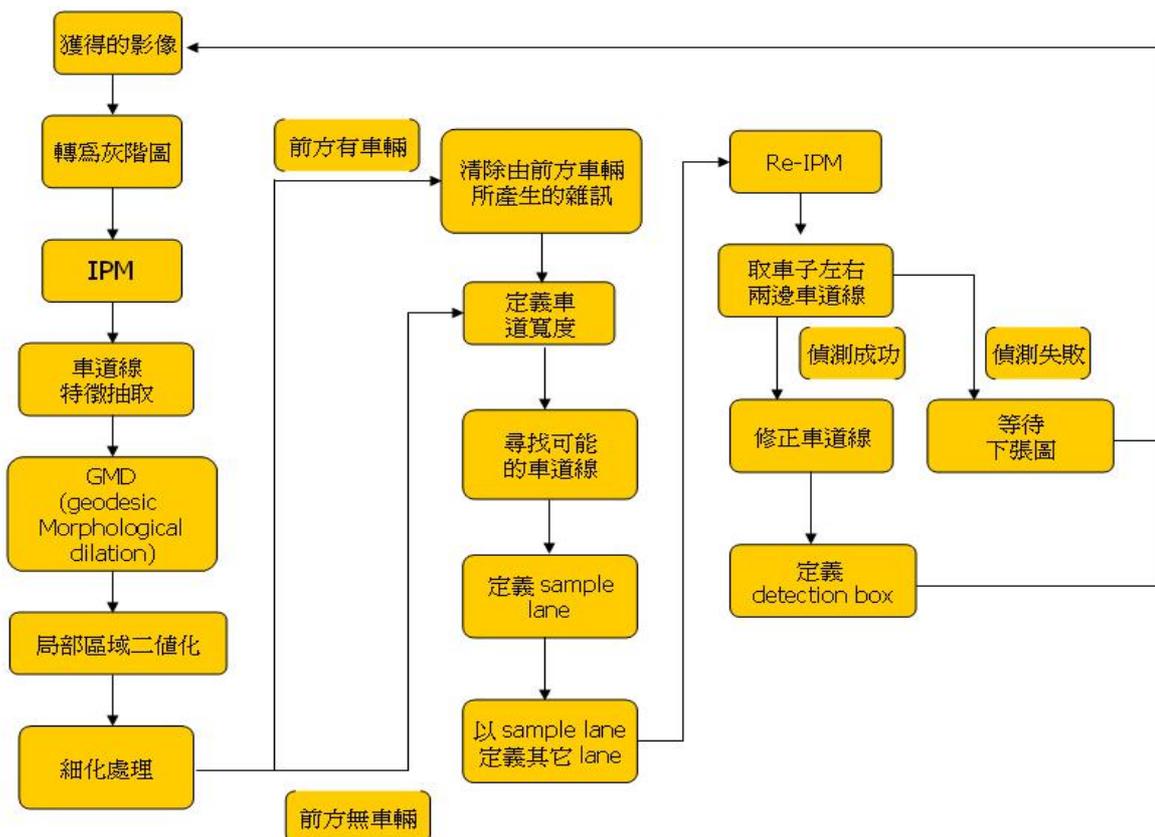
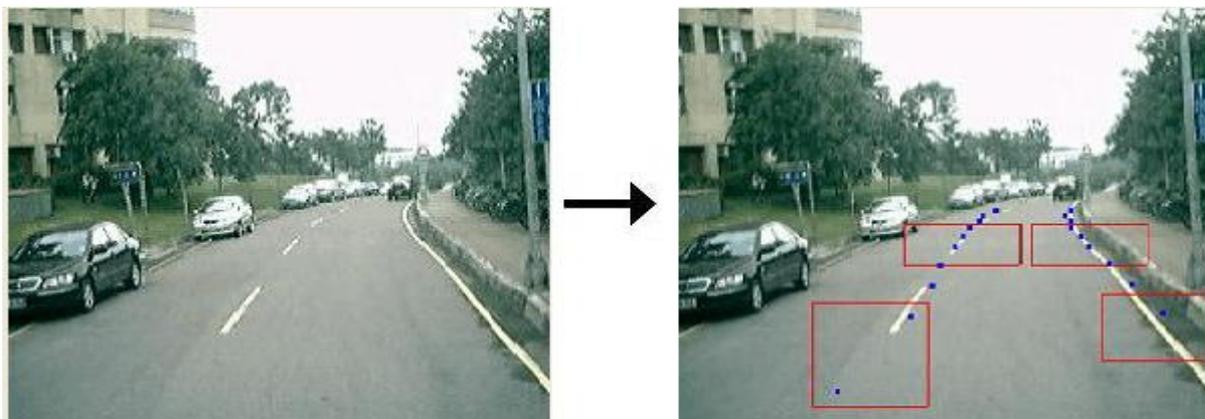


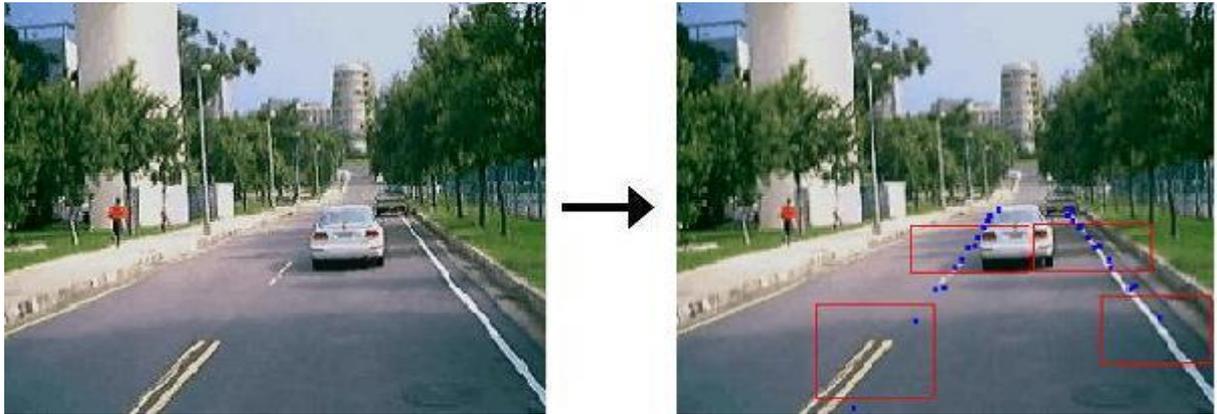
圖 2.15 IPM based 之車道線偵測方法其程式流程

IPM based 之車道線偵測方法，定義偵測視窗可以達到不錯的效果，但所花的時間較長約需 500 ~ 600 ms(以 320\*240 pixel 在 AMD CPU 1.1GHZ 為例)，若以 PC base 來說是無法達到即的要求，需與其它方法配合改善之，因此提出動態視窗之車道線偵測方法與之配合，以下圖 2.16 為其偵測結果。

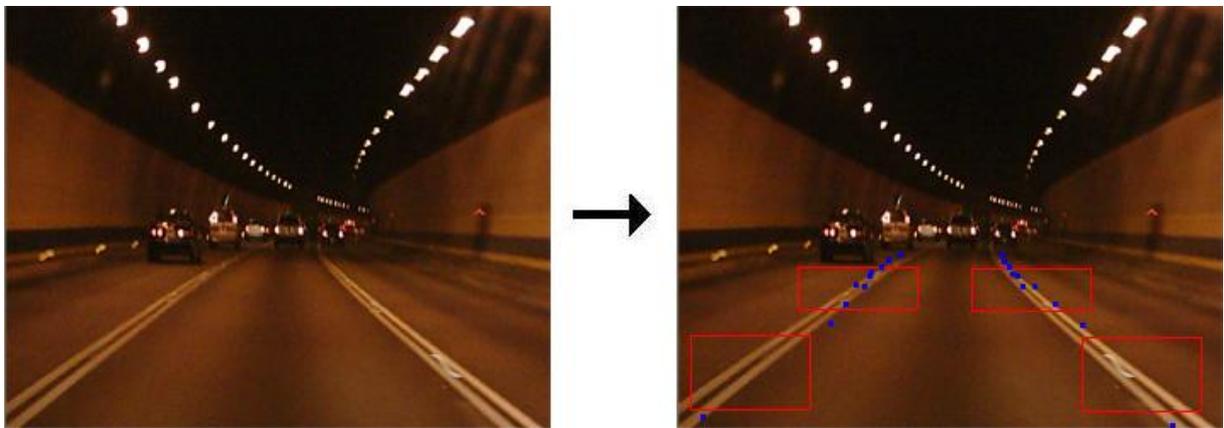
一般道路沒車的情形：



一般道路有車的情形：



隧道中的情形：



高速公路上的情形：

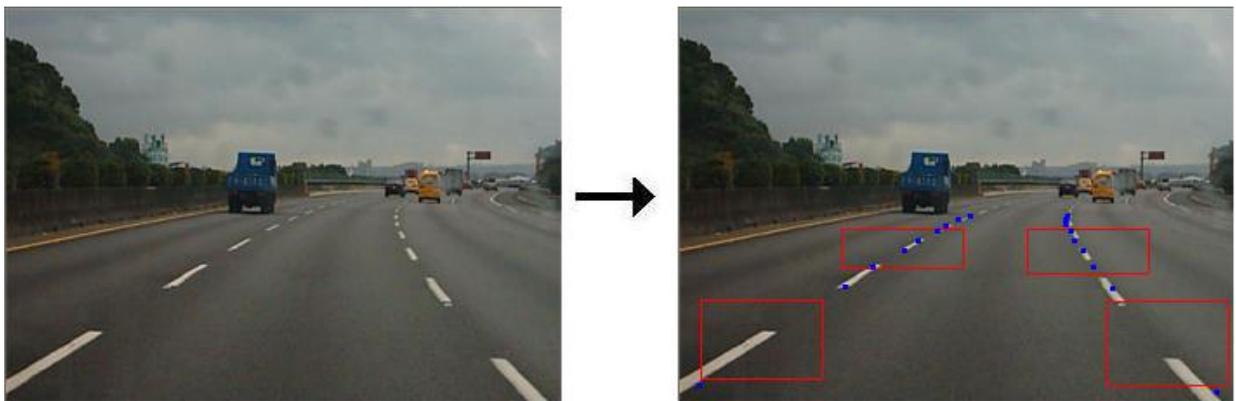


圖 2.16 IPM based 之車道線偵測方法其車道線偵測結果

## 2.2 動態視窗之車道線偵測方法

本方法我們所關注的影像只有車道線的部分，而其餘部分的影像皆可視為是雜訊，故我們應盡可能地濾除將其濾除掉，以我們所要處理的影像能單純化，如此不僅能夠提昇判斷的正確性，且能增加處理的速度。在此我們採用的方法是在影像上取左右四個小視窗，如圖 2.17 所示，而我們只對進入這四個小視窗內的影像作處理，這種作法不僅去除了絕大多數我們不需要的影像，且減少了處理的資料量，但其大小及位置並不是任意地選取皆可，必須能夠讓車道線能夠進入視窗內才行，在此我們採取動態視窗方法，是由前一張影像所得的車道線，來定義視窗的位置及大小。

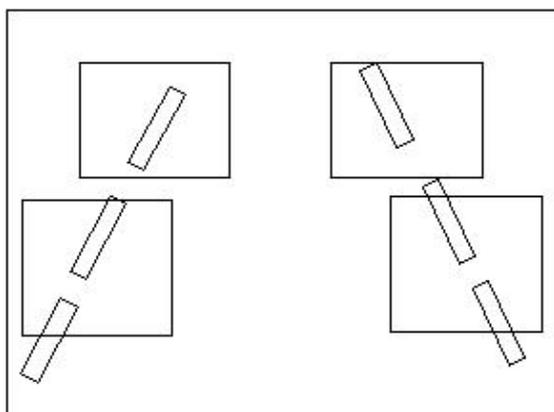


圖 2.17 在影像上取兩個小視窗

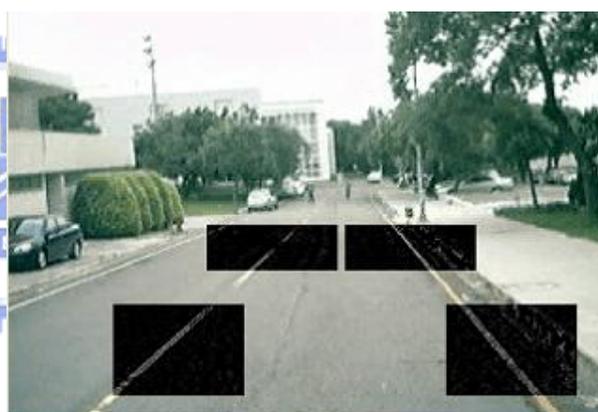


圖 2.18 利用灰階特徵所擷取出的車道線

首先，先將車道線抽取出來，由於車道線在所選取的視窗中，其寬度大小大約一致，所以仍然會存在，在一定寬度( $m$  pixel)下，車道線的水平灰階值形成『低灰階值—高灰階值—低灰階值』如此分布，因此，我們仍利用此特徵，依(2-3)式，將車道線從圖像中擷取出來，其結果如圖 2.18 所示。

由於所抓出的車道線，在視窗中其所得的灰階值大約一致，因此，我們將選取一固定的閾值，作二值化的處理，但因天氣條件的不同，其灰階值也有所不同，在天氣暗時，灰階值偏低，在天氣亮時，灰階值偏高，所以單取一固定閾值，可

能無法適應各種狀況，因此，我們在作二值化前，要先作一些前置處理。一般而言，在視窗中所抓取到的車道線其灰階值，比一般雜訊點高得多，所以我們採取將其灰階值作線性分配，對應到灰階值 0 ~ 255 區間，使得車道線的灰階值落在較高的區段，雜訊點的灰階值落在較低的區段，經過如此處理後，可以減少固定閾值之二值化無法分離出車道線的狀況，圖 2.19 最後二值化後的影像。

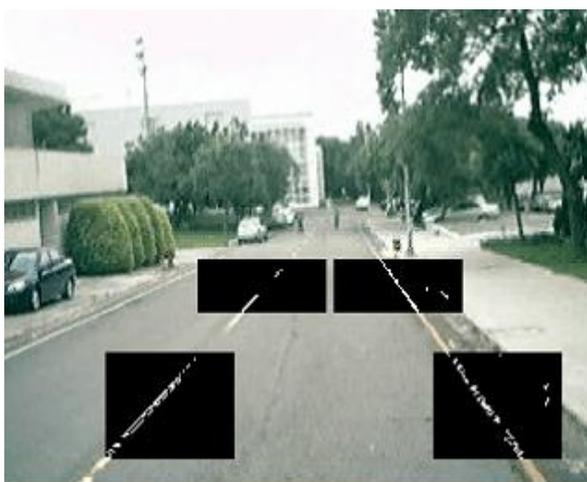


圖 2.19 二值化後的影像

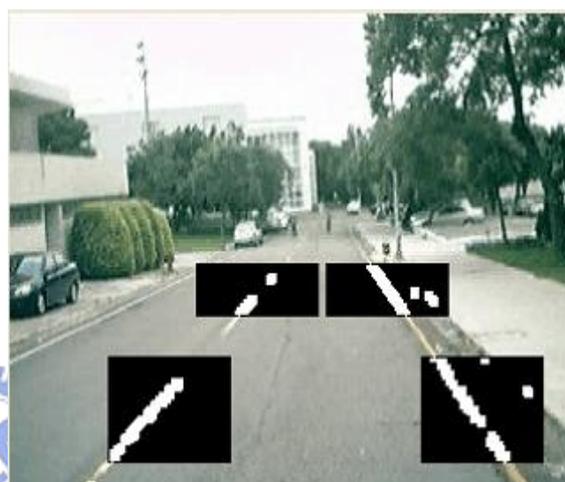


圖 2.20 形態擴張後的影像

接著，我們使用(2-7)式形態擴張的方式，將破碎區塊的車道線接合在一起，如圖 2.20 所示，而為了以後定義車道線處理上的方便、及減少處理量和錯誤的發生，我們將所得的車道線影像做細化處理，如圖 2.21 所示。

$$t(u, v) = x \cup (x_0 \cup x_1 \cup x_2 \cup x_3 \cup x_4 \cup x_5 \cup x_6 \cup x_7) \quad (2-7)$$

where

$x_0$	$x_1$	$x_2$
$x_3$	$x$	$x_4$
$x_5$	$x_6$	$x_7$

說明：形態擴張處理是藉由 3x3 的罩遮，比對  $x$  周圍的點，只要其中有一點是 1 (255) 則輸出為 1 (255)。

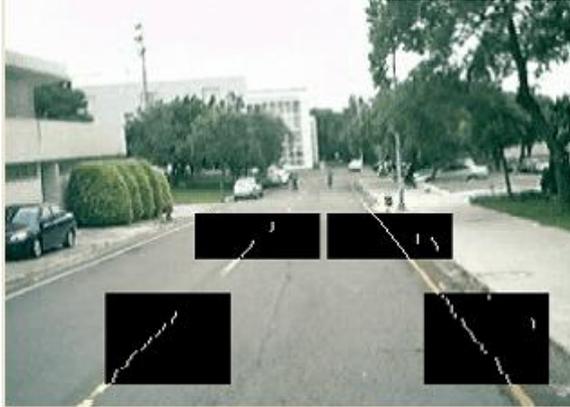


圖 2.21 細化處理後的影像

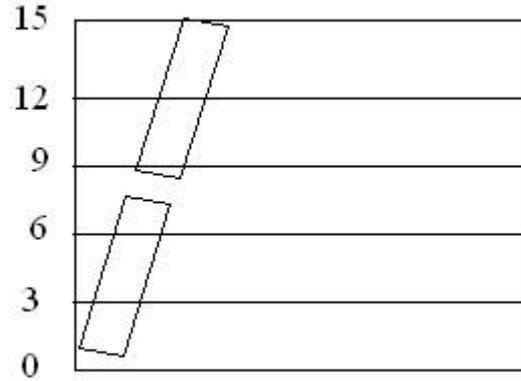


圖 2.22 定義車道線資料取樣的方法

最後，我們將定義出車道線，一般而言，若想獲得一直線線段時，只需取出線段上的任兩點，計算其斜率、截距即可得知，但若我們取到的不是車道線，而是雜訊點的位置時，將會造成錯誤的結果，故在此我們希望不只取一個數據就依此決定車道線，因此，我們在計算車道線的斜率時，所採用的量測方法為在所取的兩個影像視窗中，每隔 3 行取 1 行的值，如圖 2.22 所示。

我們車道線定義方式是，先計算相鄰的兩個取值間的斜率，再由我們所得的這些斜率值去求平均，然後再把跟平均值差異過大的值剔除掉，再把剩餘的值做平均，再把跟平均值差異過大的值剔除。我們經由這種平均、去除差異過大的值、再平均的步驟重複數次，並把每一次與平均的差異範圍逐步地縮小，如此將可以減少雜訊對斜率計算的影響。最後我們利用所得到的斜率，和車道線上的一點，計算出其截距，即獲車道線直線方程式，再由所得的車道線，調整視窗的位置及大小，讓車道線位於視窗的中央，提供下張影像視窗的位置，其程式流程，如圖 2.23 所示，上圖所偵測之車道線及其它偵測車道線的結果，如圖 2.24 所示。

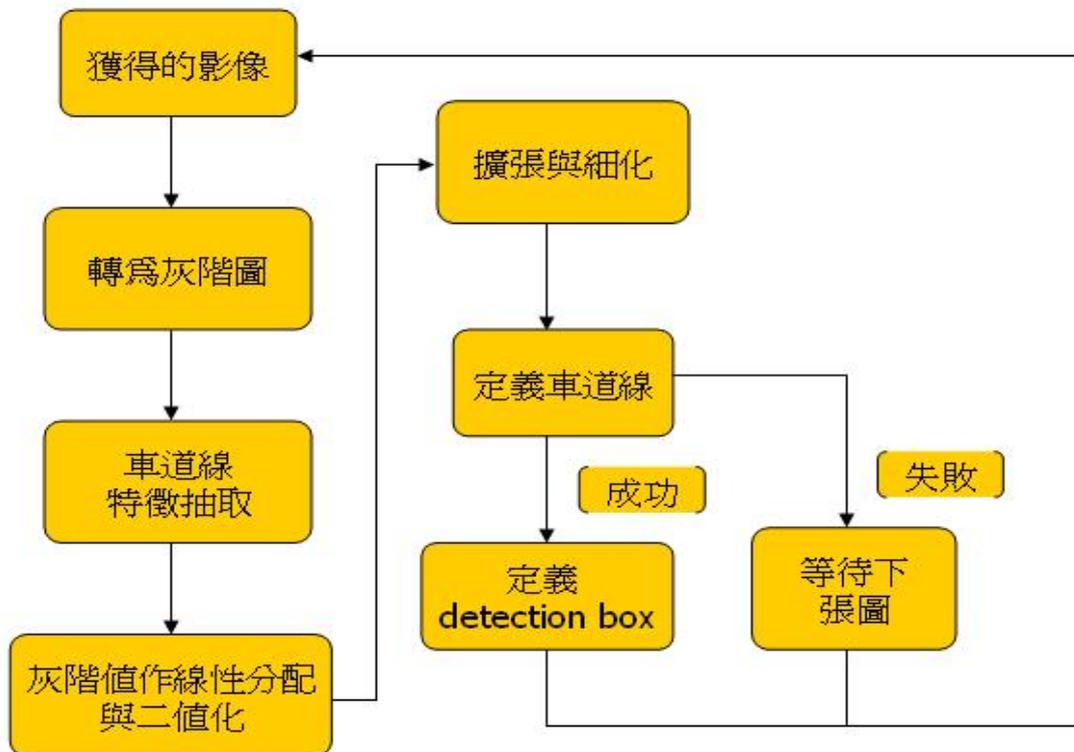


圖 2.23 動態視窗之車道線偵測方法其程式流程



圖 2.24 動態視窗之車道線偵測方法所定義出的車道線影像

在這裡我們所取樣的這些行當中，我們選擇最靠車道內側值為 1(255) 的點，視為車道線所在的位置。我們所使用這個計算車道線的方法，有幾個值得注意的特點：

1. 當我們每隔 3 行取 1 行時，可確保當車道線進入視窗內時，不會因為路上的車道線為不連續的線段，而有偵測不到的現象。
2. 重複平均、剔除誤差較大的值再平均這樣的步驟，將可降地雜訊的影響，並提高計算的準確率。
3. 另外，我們取每行中最靠車道內側的點，亦可減少雜訊的影響，因我們可從道路影像中察覺到，車道內側的雜訊明顯比車道外側少很多，故最靠車道內側有值的像素，剛好即是車道線位置的可能性明顯較高，故這種取法可降低錯誤的發生。

此方法由於處理量較少，因此處理速度較快大約 60 ms 以下 (以 AMD CPU 1.1GHZ 為例)，可達到即時的要求，而其辨識率在略差的影像下還有不錯的效果，但若太過模糊時仍無法辨識，且其動態的偵測視窗在車子變動太大時，會無法跟上，造成無法辨識的結果，因此也要配合其它方法改善之。由於 IPM based 之車道線偵測方法和動態視窗之車道線偵測方法，各有其優缺點，所以我們提出整合型車道線偵測方式。

## 2.3 整合型車道線偵測方法

因 IPM based 之車道線偵測方法辨識率高，並較能適應多種狀況，但由於處理範圍大、步驟多，造成計算速度緩慢，無法達到即時的要求，而動態視窗之車道線偵測方法，由於處理範圍小、步驟少，因此計算速度快，能達到即時的要求，但由於車子橫向的偏移或車道線的變化，容易造成車道線偏移到偵測視窗外，產生無法辨識的狀況。由上述可知，這兩種方法各有其優缺點，但都並不完全符合我們所需，因此我們將結合這兩種方法，以互補不足，達到較高的辨識率及有不錯的處理速度，我們稱整合型車道線偵測方法。

整合型車道線偵測方法，主是先利用 IPM based 之車道線偵測方法，找出車

道線偵測視窗，再由動態視窗之車道線偵測方法，從所獲得偵測視窗對車道線作追跡動作，但若一直無法抓取到車道線，再切換回 IPM based 之車道線偵測方法。此作法是在取 IPM based 之車道線偵測方法其辨識率高，並較能適應多種狀況之優點，與動態視窗之車道線偵測方法其處理速度快的優點，來相互配合，達到我們的需求。

在動態視窗之車道線偵測切換到 IPM based 之車道線偵測方面，由於大部份道路中央的車道線為一連續線段，因此可能造成動態視窗之車道線偵測方法，在偵測時可能出現一會偵測的到，一會偵測不到的情形，但若在偵測不到車道線，或發生錯誤時，就馬上切換到 IPM based 之車道線偵測方法，重新作偵測視窗定位，似乎不太需要，並將會降低整體的處理速度，較適當的方法是我們可定義一閾值，在有連續數次偵測不到車道線，或發生偵測錯誤時，再作切換較為合適。其程式流程如圖 2.25 所示。

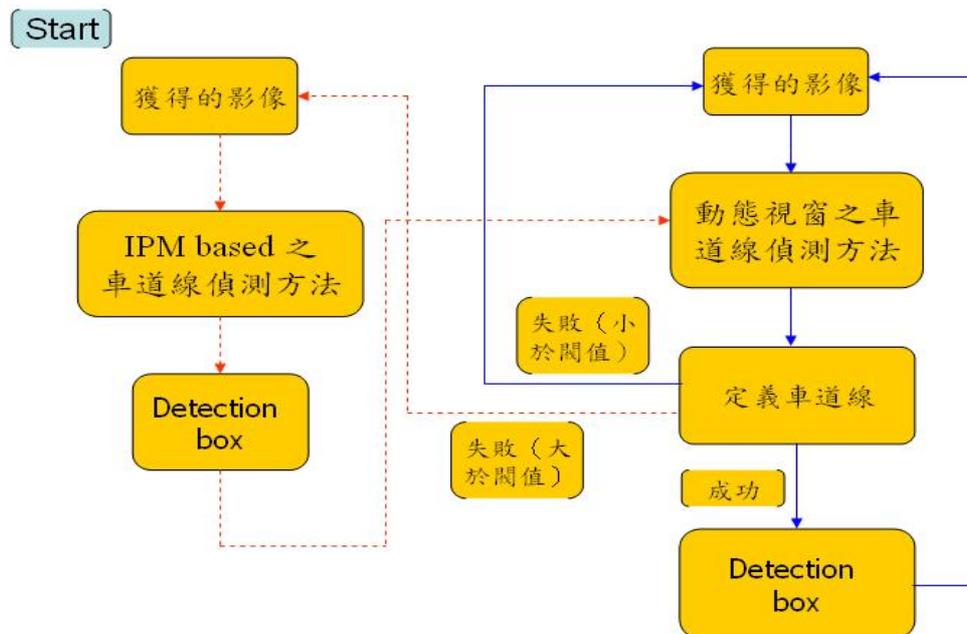


圖 2.25 整合型車道線偵測方法其程式流程

整合型車道線偵測方法，從我們所使用的 case 來看，已有不錯的辨識率及即時性(平均處理速度約 80 ms -- 以 AMD CPU 1.1GHZ 為例)，可達到我們的需求，其偵測結果如圖 2.26 所示。一般在 PC based 架構下，在影像辨識方面要有較高的辨識率，通常就需要較長的處理時間，而要有較快的處理速度，一般而言其辨識率會大幅下降，因此整合型車道線偵測方法在這方面提供了一相對應的解決方案，讓在 PC based 下也可以擁有較高的辨識率與即時性。

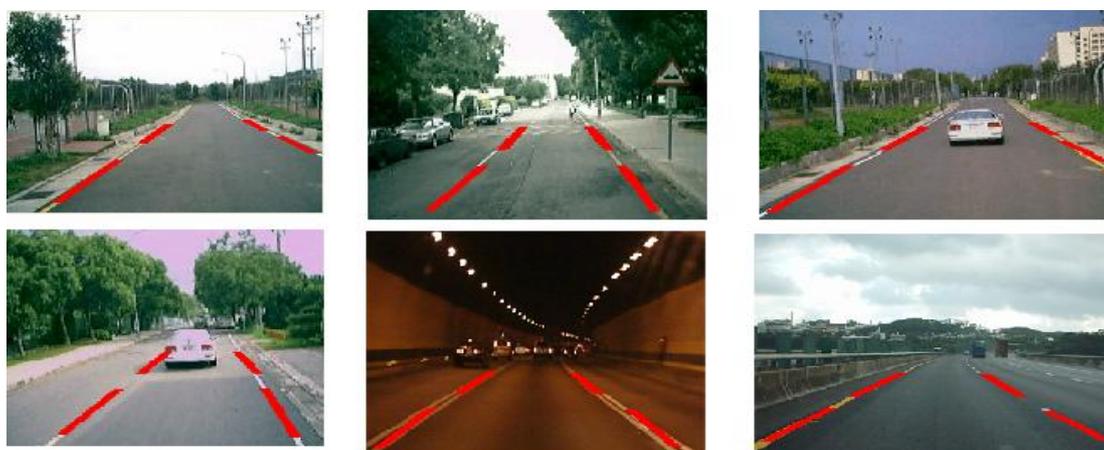


圖 2.26 整合型車道線偵測方法其偵測結果

## 2.4 以對稱特性偵測前方車輛之方法

在偵測前方車輛方面我們主要利用車輛外形的特徵，來作偵測前方車輛的依據，主要是因為利用外形特徵來偵測車輛，通常其處理方法、步驟較簡單，所以處理速度較快，較可以達到 PC based 下即時的要求，但辨識率不會非常好，因此，我們引入 Agent 的觀念來改善其辨識率(第四章將會討論)。

一般而言，前方車輛其外形都成左右對稱，因此我們利用此對稱特性來找出前方車輛，在對稱方面除了一般常提到的灰階對稱外，我們還考慮邊的對稱、水平邊的對稱和垂直邊的對稱，來增加偵測上的準確性，並再利用車輛輪廓特徵作進一步確認。

在對稱性量度方面，我們主要利用 contrast function ( intensity function ) 來度量對稱程度的大小，一般而言，任何方程式都可以化為奇函數與偶函數的和，如(2-8)式所示，而在量度對稱性方面，也是利用將灰階值函數化為奇函數與偶函數，再考慮對稱寬度參數，形成 symmetry function(偶函數)和 anti-symmetric function(奇函數)如(2-9)式與(2-10)式所示。

$$\begin{aligned}
 G(u) &= G_e(u) + G_o(u) \\
 G_e(u) &= \frac{G(u) + G(-u)}{2} \quad \text{偶函數} \\
 G_o(u) &= \frac{G(u) - G(-u)}{2} \quad \text{奇函數}
 \end{aligned} \tag{2-8}$$

$$E(u, x_s, w) := \begin{cases} \frac{1}{2}(G(x_s+u)+G(x_s-u)), & \text{if } -\frac{w}{2} \leq u \leq \frac{w}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2-9}$$

$$O(u, x_s, w) := \begin{cases} \frac{1}{2}(G(x_s+u)-G(x_s-u)), & \text{if } -\frac{w}{2} \leq u \leq \frac{w}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2-10}$$

$W$ ：所設定之對稱寬度     $u$ ：寬度變數     $x_s$ ：對稱中心

再利用 symmetry function(偶函數)和 anti-symmetric function(奇函數)，計算其相對應的能量值 (Energy[f(x)]=  $\int f(x)^2 dx$ )，並由所得的能量值獲得 contrast function ( intensity function ) ( $= \frac{E[even] - E[odd]}{E[even] + E[odd]}$ )，但由於(2-10)式其 mean value 為零，而(2-9)式其 mean value 為某一正數，其基準值不同，所以要將(2-9)的 mean value 調整為零，以求一致性，如(2-11)式所示，而最後所獲得的 contrast function ( intensity function )如(2-12)式所示。

$$E_n(u, x_s, w) := E(u, x_s, w) - \frac{1}{w} \int_{-w/2}^{w/2} E(v, x_s, w) dv \tag{2-11}$$

$$S(x_s, w) = \frac{\int E_n(u, x_s, w)^2 du - \int O(u, x_s, w)^2 du}{\int E_n(u, x_s, w)^2 du + \int O(u, x_s, w)^2 du} \quad (2-12)$$

所獲得的 contrast function ( intensity function ) 其值在 -1 與 +1 之間 ( $-1 \leq S(x_s, w) \leq 1$ )，而當  $S=1$  是理想的 symmetry， $S=0$  是完全沒有對稱性， $S=-1$  是理想的 anti-symmetry。

在前方車輛偵測方面，但若將圖上所有的圖點都作對稱值的運算，其處理時間會相當的長，不符實際需求，所以我們只設定在特定的偵測區域內，特定點作對稱值的運算，如圖 2.27 所示其特定點分布。

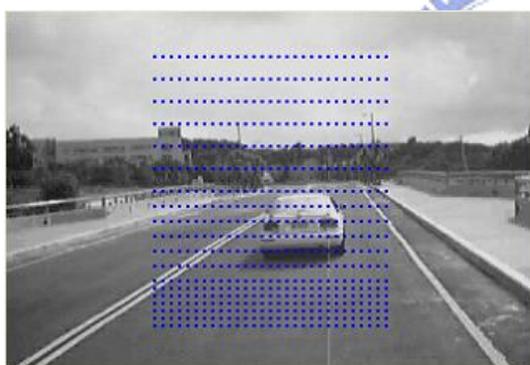


圖 2.27 特定點的分布

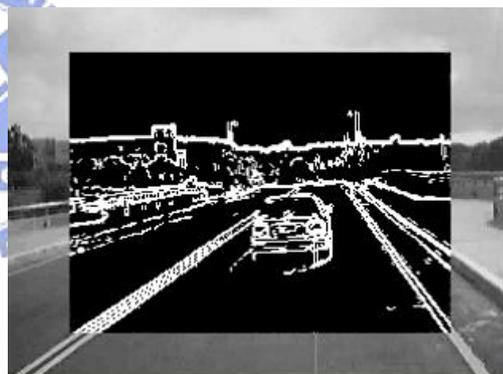


圖 2.28 二值化後的影像

而偵測處理步驟方面，首先原始圖作灰階處理後，再使用微分法抓取邊界 (Sobel 遮罩)、再作二值化其影像如圖 2.28 所示，並由於一般車輛的外形在水平邊有『|\_\_|』形狀的特徵，垂直邊有『|\_ or \_|』形狀的特徵，利用此特徵將水平邊及垂直邊抽取出來如圖 2.29 與圖 2.30 所示，最後，將圖 2.29 與圖 2.30 合併，可得到車輛大約的輪廓，如圖 2.31 所示。

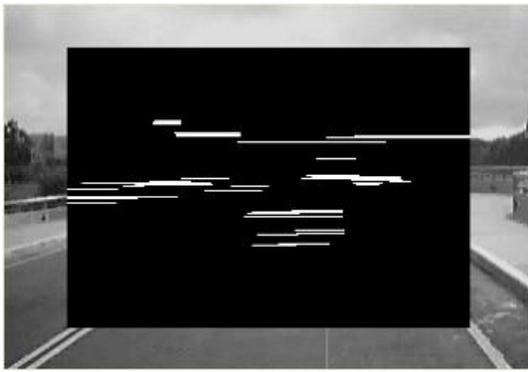


圖 2.29 水平邊抓取後的影像

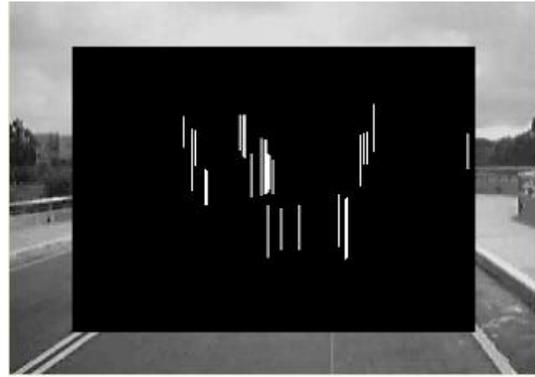


圖 2.30 垂直邊抓取後的影像

將所得的灰階影像、邊的影像、水平邊的影像及垂直邊的影像，由 contrast function ( intensity function ) 找出各特定點灰階、邊、水平邊及垂直邊其對稱值總和，選取對稱值最高其對稱軸，及其對稱寬度，如圖 2.32 所示。

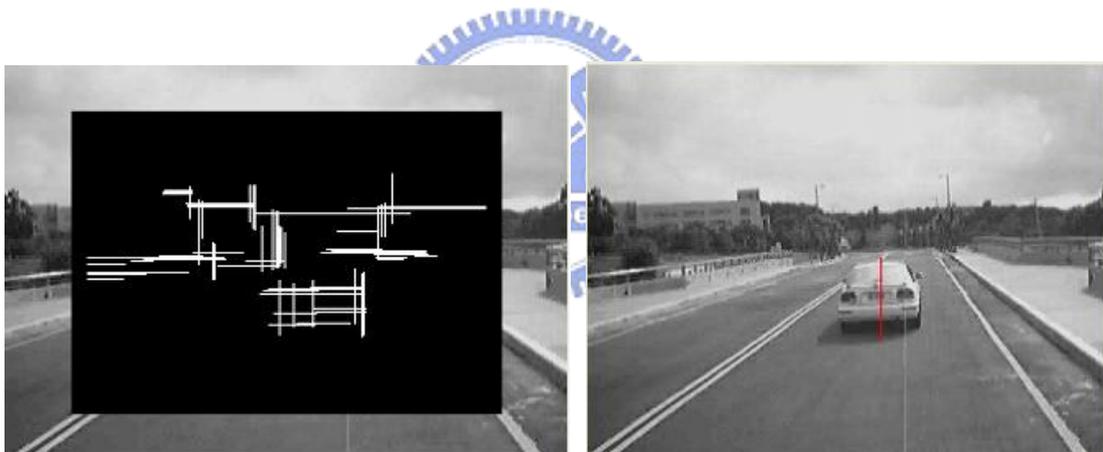


圖 2.31 車輛輪廓抓取

圖 2.32 選取對稱值最高其對稱軸

由所得的對稱軸、對稱寬度及車輛輪廓，從對稱軸所在位置的周圍，左右搜尋車輛輪廓，是否符合此『 |\_\_| 』形狀特徵，若符合即為前方車輛，如圖 2.33 所示，若不符合再選取次高對稱值其對稱軸，再作另一次比對。但一般為了保險起見，在對稱軸的選取時，會由上節所獲得的車道線資訊，提供選取對稱軸依據，並會找出數個可能的前方車輛，再由車道線資訊，來選取最有可能的前方車輛。



圖 2.33 偵測前方影像的車輛位置座標

在獲得前方車輛後，以此位置向外小幅擴張，定義一偵測範圍，為下張影像偵測區域，可大幅減少處理速度，而當無法偵測或偵測錯誤時，再將偵測範圍放大，作較廣域的偵測。其程式流程如圖 2.34 所示，其各偵測結果如圖 2.35 所示。



圖 2.34 以對稱特性偵測前方車輛之方法其程式流程

以對稱特性偵測前方車輛之方法，其處理速度約  $70ms \sim 500ms$  (以  $320*240$  pixel 在 AMD CPU 1.1GHZ 為例) 依 detection box 大小而定，其辨識率仍可接受，但仍有改善的空間，因此引入代理人的觀念，利用透過雷射掃瞄作輔助提高其辨識率，降低處理速度。而此方法也提供在 PC based 架構下，即時偵測前方車輛其相對應的解決方案。



圖 2.35 以對稱特性偵測前方車輛之方法其偵測結果

### 第三章 雷射掃瞄器於前方車輛之實驗分析

本章透過安裝在實驗車輛前方雷射掃瞄器對模擬接近前車時的相對距離與相對速度做一實驗與觀察，分析並解決遇到的問題。

#### 3.1 車輛前方之雷射掃瞄器於接近前車時的實驗

首先對雷射掃瞄器做一介紹，本實驗室購買雷射掃瞄器為施克光公司製作，其型號為 LMS 221，光學式雷射掃瞄器，為紅外線雷射光，安全等級為 Class 1 經過 ANSI (American national standards institute，美國國家標準協會) 認證。這裡安全等級 Class 1 是指所發射的雷射光束對人眼、身體不會造成危險，雷射掃瞄器外型與特性如圖 3.1(a) (b) 所示，LMS 為 laser measurement system 的縮寫。

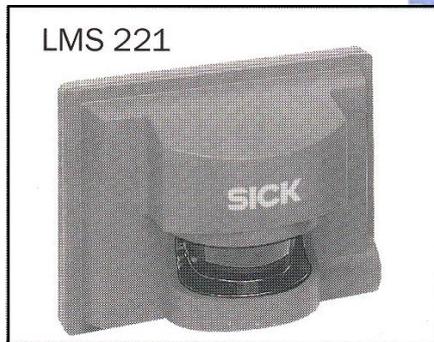
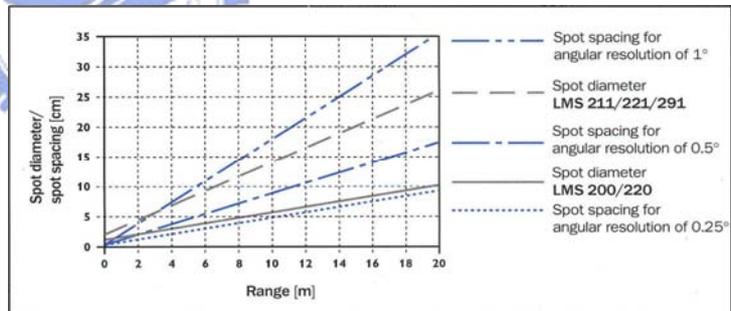


圖 3.1 (a) LMS 外型



(b)雷射光點直徑與相對距離

利用發射一脈衝為 3ns 的紅外線雷射光，發射與接收的雷射光以接近光速 ( $3 \cdot 10^8 m/s$ ) 在空間中傳輸，因此不會造成都普勒效應(Doppler effect)，或許移動中光的頻率、波長會發生變化，但是光速卻是不變的，利用 time - of - flight measurement 測得與障礙物間的距離，且其距離的精確度在 2cm 內。發射的光點與相對應距離由圖 3.1 (b)所示，可以看出相對距離越遠光點直徑越大，因此在反射接收上較不容易造成漏接。

此雷射掃瞄器有其自訂的通訊介面，而透過 PC 串列介面與雷射掃瞄器做溝通，連續下 request for measured values telegram 命令，來得到雷射掃瞄器所得的距離資料，並且也紀錄每兩筆資料時間間隔，利用此值作為下一步量測到相對距離後相對速度的分析。

有關車前雷射掃瞄器的防撞實驗，安裝雷射掃瞄器在實驗用車輛前方，將車子向一面牆壁行駛，作為模擬兩車間的相對距離與相對速度實驗，雷射掃瞄器安裝在車輛前方如圖 3.2 所示，實驗用高爾夫電動車如圖 3.3 所示：



圖 3.2 實驗用高爾夫電動車



圖 3.3 裝置在車輛前方的雷射掃瞄器

在實驗方面，首先在 PC 端利用串列埠對雷射掃瞄器做資料存取，將相對距離與每兩筆資料的時間差紀錄下來，利用 Matlab 分析車輛行進時與前車的相對距離與相對速度變化，分別在兩種不同加速前進的情況下紀錄下來，如圖 3.4 的狀況 1 與圖 3.5 狀況 2。

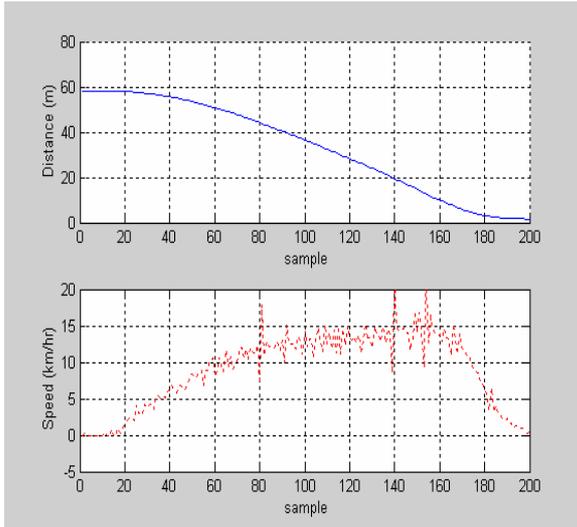


圖 3.4 狀況 1 透過雷射掃瞄器所得  
到的相對距離與相對速度

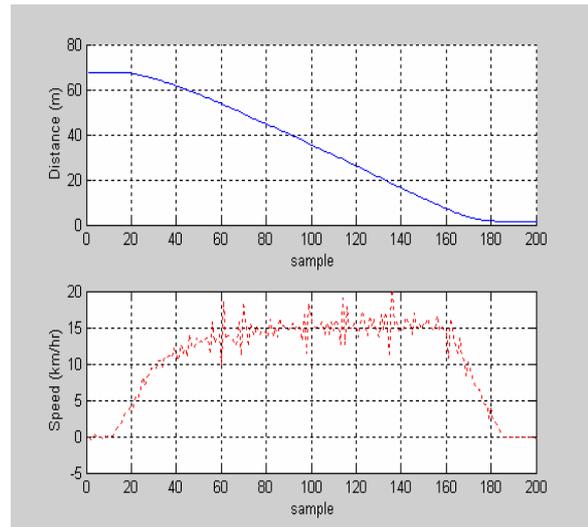


圖 3.5 狀況 2 透過雷射掃瞄器所得  
到的相對距離與相對速度

圖 3.4 為一開始距離牆壁 58m 處，緩慢往前開進到一定速度後，當距離牆壁太近時為了避免碰撞，開始對剎車動作減速；圖 3.5 一開始距離牆壁 67m 處，很快地加速到一固定速度後，直到覺得速度太快而距離牆壁太近，剎車做減速。相對距離的數值是透過雷射掃瞄器直接輸出(因為誤差不大，所以在相對距離上不作處理)，相對速度的取得是透過兩筆距離資料的差分( $\Delta v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ )。不過由圖 3.4 與 3.5 相對速度曲線，可以看出片段且不連續的速度有可能造成在防撞系統中，因為瞬間速度突然加大(例如圖 3.4 與圖 3.5 中尖峰值)，造成系統認為可能發生碰撞因而誤判，對防撞系統中兩車相對速度的條件判斷是相當不利的。

仔細的分析這個問題，可以看出相對速度突然變大在特定的時間點，但是整體相對速度的曲線卻應該是平緩的，因此在相對速度的處理上，由於平均速度變化不大，所以最理想的曲線就是平滑曲線，提出以一維的 Kalman filter 來對得到相對速度資料做處理。

常見曲線平滑法(curve smooth)，有平均、加權平均法與最小平方誤差等。而

不論是平均法或加權平均法，都是直覺式並未特別考慮曲線本身趨勢，最小平方誤差則是假設曲線本身具有某種數學特性，而 Kalman filter 的理論根據可以讓此曲線的速度估測達到一平緩且平方誤差較小的基礎，下節對 Kalman filter 做一介紹。

### 3.2 Kalman Filter [32-33]

在處理一維 (one-dimensional 或 scalar) 訊號  $x(k)$  使用最小平方方法的準則 (least mean-square criterion)，也就是讓訊號成為一可自動修正的序列 (autocorrelation sequence)。在此必須先假設此一階遞迴的 Kalman filter 是由 zero-mean white noise  $w(k)$  組成。也就是訊號隨著時間點不同會有不同的雜訊干擾，但是雜訊的平均值為 0，且雜訊在不同時刻並不互相作用，以數學式子可表示如下：

$$x(k) = ax(k-1) + w(k-1) \quad (3-1)$$

$$E[w(k)w(j)] = \begin{cases} \sigma_w^2, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases} \quad (3-2)$$

同樣地在輸出觀測  $y(k)$  上，假設其  $r(k)$  也是一平均值為 0 的 white noise 並且其 variance 為  $\sigma_r^2$  為：

$$y(k) = cx(k) + r(k) \quad (3-3)$$

$$E[r(k)r(j)] = \begin{cases} \sigma_r^2, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases} \quad (3-4)$$

採用 optimum recursive estimator，此遞迴的估測狀態 (recursive estimator state) 可以假設如下所示：

$$\hat{x}(k) = a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) \quad (3-5)$$

$a(k)$  是對前一個時刻估測狀態加權， $b(k)$  是對目前資料輸出狀態的加權，在這裡有兩個未知數  $a(k)$ 、 $b(k)$ 。其估測狀態與原始訊號狀態間均方誤差  $p(k)$  的表示法如下：

$$p(k) = E[e^2(k)] = E\{[(\hat{x}(k) - x(k))][(\hat{x}(k) - x(k))]\} \quad (3-6)$$

$e(k) = \hat{x}(k) - x(k)$  是觀測狀態與實際狀態的誤差，將(3-5)式代入(3-6)式中，可得：

$$p(k) = E\{[(a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k))]^2\} \quad (3-7)$$

為了讓均方誤差達到最小，對(3-7)式中的  $a(k)$ 、 $b(k)$  偏微分，並令其方程式為 0，可得：

$$\frac{\partial p(k)}{\partial a(k)} = 2E\{[a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k)]\hat{x}(k-1)\} = 0 \quad (3-8)$$

$$\frac{\partial p(k)}{\partial b(k)} = 2E\{[a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k)]y(k)\} = 0 \quad (3-9)$$

將(3-5)式代入(3-8)式與(3-9)，經過整理後，可以得到兩個等式：

$$E[e(k)\hat{x}(k-1)] = 0 \quad (3-10)$$

$$E[e(k)y(k)] = 0 \quad (3-11)$$

希望在狀態估測時未知參數可以越少越好，所以來看看  $a(k)$ 、 $b(k)$  間是否有關係存在，可以從(3-10)式來代入  $e(k) = \hat{x}(k) - x(k)$  而推導得出  $a(k)$ 、 $b(k)$  間的關係，如下所述：

$$\begin{aligned}
& E\{\hat{x}(k) - x(k)\hat{x}(k-1)\} = 0 \\
\Rightarrow & E\{[a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k)]\hat{x}(k-1)\} = 0 \\
\Rightarrow & E[a(k)\hat{x}(k-1)\hat{x}(k-1)] = E\{[x(k) - b(k)y(k)]\hat{x}(k-1)\} \\
\Rightarrow & E\{a(k)[\hat{x}(k-1) - x(k-1) + x(k-1)]\hat{x}(k-1)\} = E\{[x(k) - b(k)y(k)]\hat{x}(k-1)\} \\
\Rightarrow & E\{a(k)[e(k-1) + x(k-1)]\hat{x}(k-1)\} = E\{[x(k) - b(k)(cx(k) + r(k))]\hat{x}(k-1)\} \\
\Rightarrow & a(k)E\{[e(k-1) + x(k-1)]\hat{x}(k-1)\} = E\{[(1 - cb(k))x(k) - b(k)r(k)]\hat{x}(k-1)\}
\end{aligned}$$

上式左手邊的  $E[e(k-1)\hat{x}(k-1)] = 0$ ，因為可以將  $\hat{x}(k-1)$  寫成

$\hat{x}(k-1) = a(k-1)\hat{x}(k-2) + b(k-1)y(k-1)$ ，再利用(3-10)式、(3-11)式代入就可以知道其結果為 0；另外，在上式右邊中  $E[r(k)\hat{x}(k-1)] = 0$ ，因為在時間  $k-1$  的輸入估測狀態與在時間  $k$  的輸出觀測誤差是無關的。因此上式等式改寫為：

$$a(k)E[x(k-1)\hat{x}(k-1)] = [1 - cb(k)]E[x(k)\hat{x}(k-1)] \quad (3-12)$$

$a(k)E[x(k-1)\hat{x}(k-1)] = [1 - cb(k)]E\{[ax(k-1) + w(k-1)]\hat{x}(k-1)\}$ ，因為

$$\begin{aligned}
\hat{x}(k-1) &= a(k-1)\hat{x}(k-2) + b(k-1)y(k-1) \\
&= a(k-1)\hat{x}(k-2) + b(k-1)[cx(k-1) + r(k-1)] \\
&= a(k-1)\hat{x}(k-2) + b(k-1)\{c[ax(k-2) + w(k-2)] + r(k-1)\} \\
&= a(k-1)\hat{x}(k-2) + acb(k-1)x(k-2) + cb(k-1)w(k-2) + b(k-1)r(k-1)
\end{aligned}$$

因此， $\hat{x}(k-1)$  的展開與  $w(k-1)$  無關，同樣地有  $E[w(k-1)\hat{x}(k-1)] = 0$  ( $w(k)$  為輸入狀態的 zero-mean white noise)，代入(3-12)式，(3-12)式變為

$$\begin{aligned}
a(k)E[x(k-1)\hat{x}(k-1)] &= [1 - cb(k)]E[ax(k-1)\hat{x}(k-1)] \\
a(k)E[x(k-1)\hat{x}(k-1)] &= a[1 - cb(k)]E[x(k-1)\hat{x}(k-1)]
\end{aligned}$$

所以在  $a(k)$ 、 $b(k)$  間可以巧妙地透過  $a$ 、 $c$  得到如下的關係：

$$a(k) = a[1 - cb(k)] \quad (3-13)$$

因此遞迴的狀態估測(3-5)式  $\hat{x}(k) = a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k)$  可以改寫為：

$$\begin{aligned} \hat{x}(k) &= a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) = a[1 - cb(k)]\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) \\ &= a\hat{x}(k-1) + b(k)[y(k) - ac\hat{x}(k-1)] \end{aligned} \quad (3-14)$$

從(3-14)式的狀態估測表示，可以清楚的看出  $a\hat{x}(k-1)$  因為不需任何額外的參數，所以是  $\hat{x}(k)$  的最佳估測表示方法，是基於前一個估測時刻屬於預測項 (prediction)。另外，第二項  $b(k)[y(k) - ac\hat{x}(k-1)]$  是一個基於新的輸出狀態與前一個輸入估測狀態之間的修正量 (correction)。圖 3.6 用來說明 optimum recursive estimator filter 方塊圖：

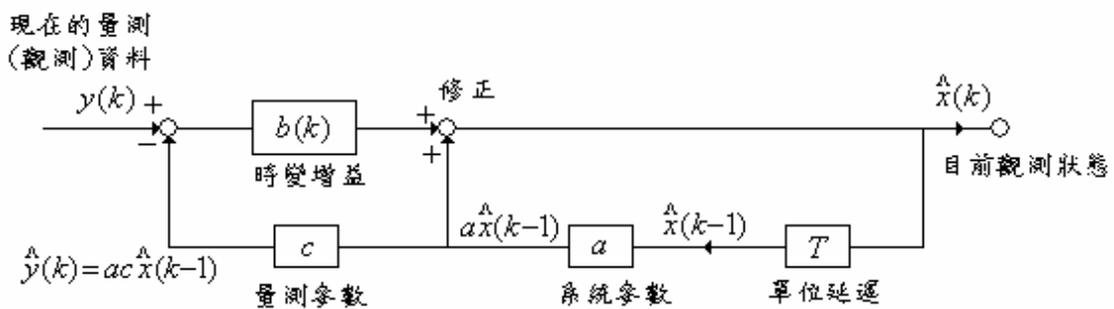


圖 3.6 Optimum recursive estimator filter block

$b(k)$  是一個在輸出狀態  $y(k)$  與輸出估測狀態  $y(k) - ac\hat{x}(k-1)$  差之間的時變增益，現在在系統參數上均方誤差  $p(k)$ ，時變增益  $b(k)$  的計算方法尚未決定，可以

從均方誤差  $p(k)$  的定義上來決定兩者間的關係，將(3-5)式

$\hat{x}(k) = a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k)$  代入  $p(k) = E[e^2(k)] = E\{e(k)[\hat{x}(k) - x(k)]\}$  (3-6) 式中，

$p(k) = E\{e(k)[a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k)]\}$ ，同樣地由(3-10)式、(3-11)式的關係可以得到(3-15)式：

$$p(k) = -E[e(k)x(k)] \quad (3-15)$$

將(3-3)式  $y(k) = cx(k) + r(k)$  代入(3-11)式  $E[e(k)y(k)] = 0$  中，可以得到  $E\{e(k)[cx(k) + r(k)]\} = 0$ ：

$$cE[e(k)x(k)] = -E[e(k)r(k)] \quad (3-16)$$

比較(3-15)、(3-16)式可以得到

$$p(k) = \frac{1}{c} E[e(k)r(k)] \quad (3-17)$$

將  $e(k) = \hat{x}(k) - x(k)$  中  $\hat{x}(k)$  以(3-5)式  $\hat{x}(k) = a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k)$  表示，再代回(3-17)式可以得到

$$\begin{aligned} p(k) &= \frac{1}{c} E[e(k)r(k)] = \frac{1}{c} E\{[\hat{x}(k) - x(k)]r(k)\} \\ &= \frac{1}{c} E\{[a(k)\hat{x}(k-1) + b(k)y(k) - x(k)]r(k)\} \end{aligned} \quad (3-18)$$

在(3-18)式中， $E[\hat{x}(k-1)r(k)] = 0$ ， $E[x(k)r(k)] = 0$ ，因此(3-18)變為

$$\begin{aligned}
p(k) &= \frac{1}{c} E[b(k)y(k)r(k)] = \frac{1}{c} b(k) E[y(k)r(k)] = \frac{1}{c} b(k) E[y(k)r(k)] \\
&= \frac{1}{c} b(k) E\{[cx(k) + r(k)]r(k)\} = \frac{1}{c} b(k) \sigma_r^2
\end{aligned}$$

因此可以得到均方誤差  $p(k)$ 、時變增益  $b(k)$  間與  $\sigma_r^2$  的關係，也就是

$$b(k) = cp(k) / \sigma_r^2 \quad (3-19)$$

為了完整的解決此一問題，回到均方誤差  $p(k)$  的定義來看，(3-6)式

$p(k) = E\{[\hat{x}(k) - x(k)]^2\}$ ，將新的估測狀態表示(3-14)代入，如下：

$$p(k) = E\{[\hat{x}(k) - x(k)]^2\} = E\{[a\hat{x}(k-1) + b(k)[y(k) - ac\hat{x}(k-1)] - x(k)]^2\}$$

這裡平方項的展開有些複雜，先對平方項內的式子做處理將(3-3)及(3-1)式分別代入：

$$\begin{aligned}
&a\hat{x}(k-1) + b(k)[y(k) - ac\hat{x}(k-1)] - x(k) \\
&= a\hat{x}(k-1) + b(k)[cx(k) + r(k) - ac\hat{x}(k-1)] - [ax(k-1) + w(k-1)] \\
&= a\hat{x}(k-1) + b(k)\{c[ax(k-1) + w(k-1)] + r(k) - ac\hat{x}(k-1)\} - [ax(k-1) + w(k-1)] \\
&= a\hat{x}(k-1) - acb(k)\hat{x}(k-1) + acb(k)x(k-1) - ax(k-1) + cb(k)w(k-1) - w(k-1) + b(k)r(k) \\
&= a[1 - cb(k)]\hat{x}(k-1) - a[1 - cb(k)]x(k-1) + [cb(k) - 1]w(k-1) + b(k)r(k) \\
&= a[1 - cb(k)]e(k-1) - [1 - cb(k)]w(k-1) + b(k)r(k)
\end{aligned}$$

於是：

$$p(k) = E\{ [ a(1 - cb(k))e(k-1) - (1 - cb(k))w(k-1) + b(k)r(k) ]^2 \} \quad (3-20)$$

在(3-20)式的平方項乘積中，因為  $e(k-1)$ 、 $w(k-1)$ 、 $r(k)$  是彼此獨立的，所以可以得到：

$$p(k) = a^2[1 - cb(k)]^2 p(k-1) + [1 - cb(k)]^2 \sigma_w^2 + b^2(k)\sigma_r^2 \quad (3-21)$$

其中  $p(k-1) = E[e(k-1)^2]$ ,  $\sigma_w^2 = E[w^2(k-1)]$ ,  $\sigma_r^2 = E[r^2(k-1)]$ , 將均方誤差  $p(k)$ 、時變增益  $b(k)$  與  $\sigma_r^2$  的關係式(3-19)代入(3-21)中，就可以得到最後的關係式：

$$\begin{aligned} \frac{b(k)\sigma_r^2}{c} &= a^2[1 - cb(k)]^2 p(k-1) + [1 - cb(k)]^2 \sigma_w^2 + b^2(k)\sigma_r^2 \\ \Rightarrow b(k)\sigma_r^2 \left[ \frac{1}{c} - b(k) \right] &= [1 - cb(k)]^2 [a^2 p(k-1) + \sigma_w^2] \end{aligned}$$

$$\text{在 } 1 - cb(k) \neq 0 \text{ 情況下， } cb(k) \neq 1 \quad (3-22)$$

$$\begin{aligned} b(k)\sigma_r^2 &= c[1 - cb(k)][a^2 p(k-1) + \sigma_w^2] = c[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2] - c^2 b(k)[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2] \\ \Rightarrow b(k)\{\sigma_r^2 + c^2[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2]\} &= c[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2] \end{aligned}$$

最後，在考慮所有條件後，時變增益  $b(k)$  (也就是 Kalman filter optimum gain) 與其他參數間的關係如下所示：

$$b(k) = \frac{c[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2]}{\sigma_r^2 + c^2[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2]} \quad (3-23)$$

$$p(k) = \frac{1}{c} \sigma_r^2 b(k) \quad (3-24)$$

當然對於非一維的訊號處理，Kalman filter 的均方誤差  $p(k)$ 、時變增益  $b(k)$  也可延伸作為 vector signals 的處理，不過在此並不討論，僅就在實驗上得到相對速度所遇到的問題，提出一維的 Kalman filter 做相對速度估測的處理，接下來看看在 Matlab 上分析的結果如何。

### 3.3 Kalman Filter 於車輛行駛時的速度估測

對於兩車行進間的相對速度，兩車在同一車道上跟車情況，通常會以相近的速度來保持一固定安全車距。因此對此實驗而言，雖然安裝雷射掃瞄器在車輛前方，往前開進來模擬相對速度與相對距離間的關係，但是在很短的時間間隔內仍然可以視為等速前進，而因為雷射掃瞄器的距離量測其誤差很小，所以距離測量狀態在速度估測上並不做為要估測的狀態之一，相較其他速度估測不同處是以一維的想法來看此問題，假設量測系統狀態如下所示：

$$v(k) = v(k-1) + w(k-1) \quad (3-25)$$

$$y(k) = v(k) + \gamma(k) \quad (3-26)$$

其中  $v(k-1)$  為前一個時刻車子的速度狀態。

$v(k)$  為現在這個時刻車子的速度狀態。

$y(k)$  為目前車子所觀測到的速度狀態，也就是兩筆距離資料的差分值。

$w(k)$  視為在輸入時的 white noise。

$\gamma(k)$  視為在輸出觀測時的 white noise。

在對於在輸入、輸出系統狀態所存在的 white noise 可能造成的原因，在輸入狀態方面其 white noise 是由於在車輛動態行駛時，對輸入的速度狀態有一隨機改變，駕駛人根據跟車狀況判斷踩下油門，踩下剎車。而在輸出狀態方面其 white noise 則可能是因為車子在行進間本身就有震動的問題，或速度的量測計算上直接採用差分，造成相對距離與相對速度的量測受到一干擾，使得相對速度曲線偶有尖峰值的狀態。

而在這裡要處理相對速度雜訊干擾的問題，焦點集中在相對速度曲線的估測，所以將圖 3.4 與圖 3.5 的速度曲線取出，並且在單位上統一以 m/s 來做計算。

因此要透過 Kalman filter 來處理的速度曲線，分別有兩種不同的情況，為圖 3.7 (a)，(b)：

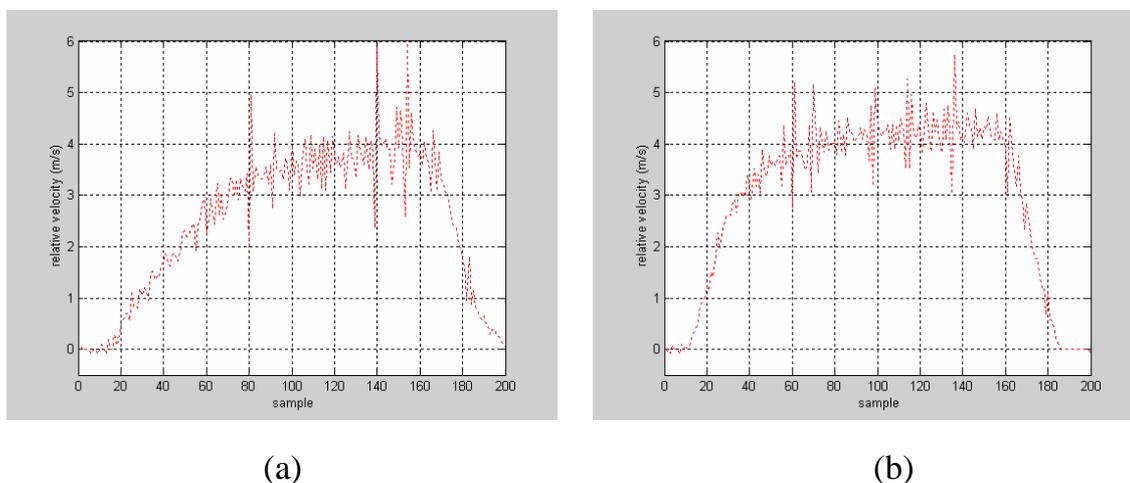


圖 3.7 透過雷射掃瞄器得到相對速度統一單位(m/s)

運用 Kalman Filter 對圖 3.7 (a)做速度的估測，估測狀態如下所示：

$$\hat{v}(k) = a \hat{v}(k-1) + b(k)[y(k) - ac \hat{v}(k-1)] \quad (3-27)$$

其中  $\hat{v}(k-1)$  為前一個時刻車子的速度估測狀態。

$\hat{v}(k)$  為現在這個時刻車子的速度估測狀態。

第一點的速度估測用直接量測到的值，也就是  $\hat{v}(1) = y(1)$ 。

此速度估測的系統狀態空間參數中， $a = c = 1$ ，要小心  $cb(k) \neq 1$ ，相對均方誤差  $p(k)$ 、時變增益  $b(k)$  也如(3-23)式、(3-24)式所示：

$$b(k) = \frac{c[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2]}{\sigma_\gamma^2 + c^2[a^2 p(k-1) + \sigma_w^2]} = \frac{p(k-1) + \sigma_w^2}{p(k-1) + \sigma_\gamma^2 + \sigma_w^2} \quad (3-28)$$

$$p(k) = \frac{1}{c} b(k) \sigma_\gamma^2 = b(k) \sigma_\gamma^2 \quad (3-29)$$

輸入狀態的 white noise 為  $w(k)$ ， $\sigma_w^2 = E[w^2(k-1)]$ ，輸出狀態的 white noise 為  $\gamma(k)$ ，其變異數  $\sigma_\gamma^2 = E[r^2(k-1)]$ 。

在 Kalman filter 中，有幾個參數是未知的，包跨  $w(k)$ 、 $\gamma(k)$  與第一個均方誤差  $p(k)$ 。因此在考慮實際況狀及經過實驗調整後，得  $p(1)=1, \sigma_w^2=0.03, \sigma_\gamma^2=0.1$  這一組參數，利用其來處理圖 3.7 (a)，其結果如圖 3.8 所示：

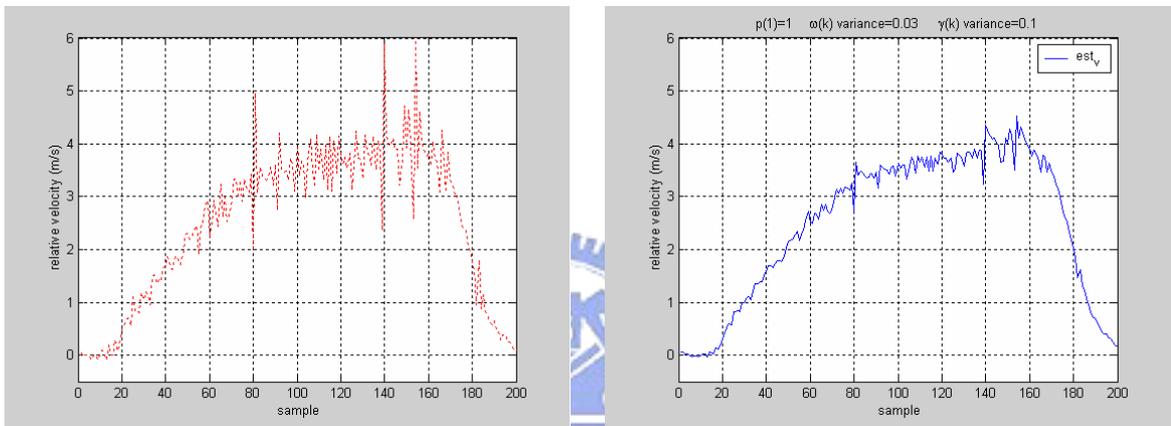


圖 3.8 Kalman filter 對圖 3.7 (a) 的速度估測 (速度變化較劇烈)

$$(p(1)=1, \sigma_w^2=0.03, \sigma_\gamma^2=0.1)$$

可以看出在 noise 干擾之下，最大的振幅干擾可以降低達到其 1/4 左右，達到想要估測的速度狀態，且估測狀態變化量也不大，在均方誤差上也是很小。

用同樣的參數  $p(1)=1, \sigma_w^2=0.03, \sigma_\gamma^2=0.1$  來看另一組圖 3.7 (b) 變化，如下圖 3.9 所示：

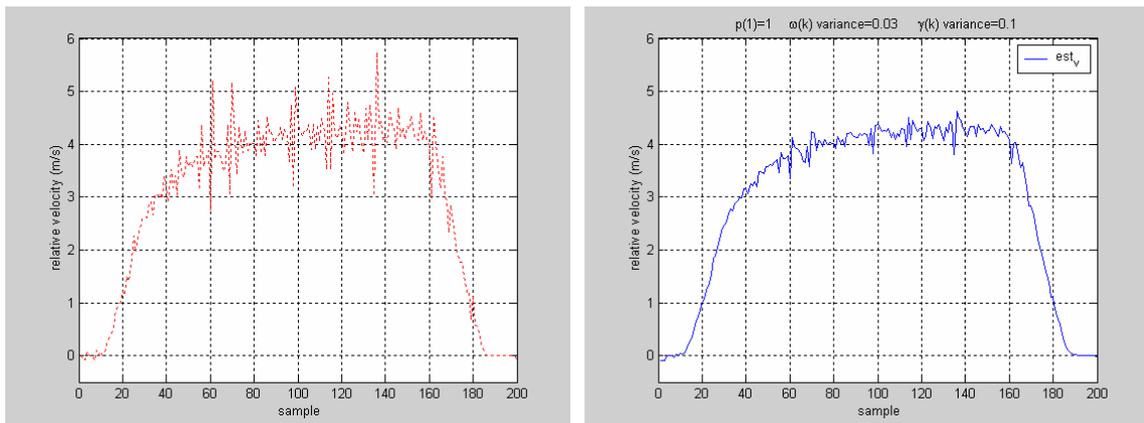
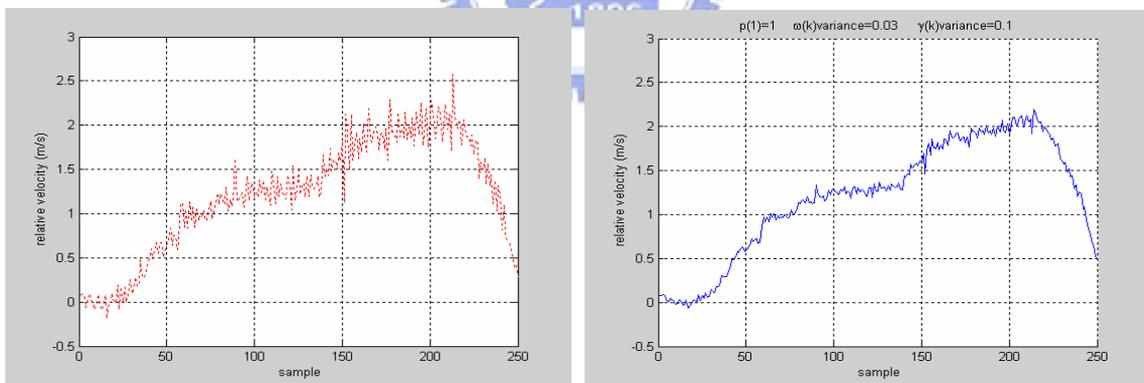


圖 3.9 Kalman filter 對圖 3.7 (b) 的速度估測(速度變化較劇烈)

$$(p(1)=1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1)$$

另外也以同樣的參數  $p(1)=1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1$ ，用 Kalman filter 來處理對於誤差變化不這麼劇烈的相對速度曲線，均方誤差值在自動修正效果上也很不錯，如圖 3.10：



(a) 透過雷射掃瞄器得到相對速度

(b) Kalman filter 對圖 3.7(b)的速度估測(速度變化較緩和,  $p(1)=1, \sigma_w^2 = 0.03, \sigma_\gamma^2 = 0.1$ )

圖 3.10

在此提出以一維的 Kalman filter 經過實驗數據調整輸入、輸出系統狀態的 white noise variance，在速度估測運算上很方便且容易實現。並且對於在不同情況下的車輛駕駛都有很好的速度估測曲線，將所得到的速度估測值做為車輛前方

防撞判斷的條件之一，可以大大降低系統誤判動作，使得駕駛人的行車安全更有保障。

但上述方法只針對其物體以一定角度向雷射掃瞄器此點接近時才適用，而若物體以垂直方向向我們所駕駛的車輛接近，但是並不與雷射掃瞄器成垂直時，會造成無法持續對其相對速度作監控，而可能使後續的碰撞警告法則失敗，因而我們提出利用所得的距離資訊，作簡單的原點變換，建立數個虛擬的雷射掃瞄器，安排在雷射掃瞄器左右，再作警告訊息的監控，利用此方法拓展監控範圍，解決上述問題 (將於 5.1.2 再作介紹)。



## 第四章 影像與雷射掃瞄器代理人

本章將針對代理人，以及應用代理人的觀念來整合影像與雷射掃瞄器，以提升整個系統性能作一介紹。

### 4.1 代理人(Agent)的介紹

雖然代理人的研究已經進行許久，技術方面的應用領域也很廣，但到目前為止，對於代理人的定義仍然眾說紛紜，不同領域切入的角度也有不同的看法，下面我們就看看什麼是代理人。

#### 4.1.1 代理人的發展歷史和定義

代理人這一個概念的呈現並非是最近才興起的，它可以推回到早期人工智慧的發展。代理人的概念於 1950 年中期由 John McCarthy 所提出，而『Agent』這一個字眼由同一家大學 MIT( Massachusetts institute of technology)的 Oliver G. Selfridge 所創造。而 Nwana (A.D. 1996 年)把有關代理人技術的研究時間分為兩個主要的階段：第一階段起自 1977 年，主要是應用在分散式人工智慧。第二階段則起自 1990 年，與傳統的人工智慧領域不同的是，在這個階段比較不注重思慮和推理等能力，所專注的方向是 doing 和遠端行動。而帶動這一波風潮的主要有兩個力量在拉扯，第一個是因應網路時代的來臨，資訊的大量成長已經不是光靠人就可以解決了，因此需要代理人幫忙我們進行一些工作，像搜尋資訊、過濾資訊等等。另外一點就是針對個人化需求的來臨，讓使用者或者軟體應用發展者能夠快速的發展個人化、多樣化的應用。

由於代理人到目前為止並沒有一個統一的定義，因此我們就先看看在

這個領域中比較重要的代理人之定義與解釋。

- **【Wooldridge, 2000】** 代理人能自性的進行運作，主動察覺環境的變化並採取相對應的動作，本身並擁有特定的技能，來執行使用者所賦予他的任務，而所謂的智慧可以是簡單固定的程序或物件邏輯，也可以複雜到具有合作、推理和學習能力。
- **【B. Lange and Oshima, 1998】** 從使用者觀點來看：代理人是一種透過他們自主行為來協助人們的程式，代理人的功能允許人們指派工作給他們。從系統觀點來看：代理人是一個軟體物件，位於一個可執行的環境之中，一定具有反應性、主動性、目標導向和持續性，而且也有可能具有溝通、移動性、學習、信任等屬性。
- **【Russell and Norvig, 1995】** 代理人就是能透過偵測、感應器(sensors)來察覺所在環境的變化，並透過反應器(effectors)在環境上執行動作。
- **【Hayes-Roth, 1995】** 智慧型代理人應該能持續執行三種功能：(1)擁有偵測和感應週遭環境的動態條件之能力；(2)執行動作以影響環境之能力；(3)根據偵測到的情況進行推論、推理，找出解答並且採取適當行動解決問題的能力。
- **【Smith, Cypher and Spohrer, 1994】** 代理人是為了達到特定目的而持續運作的軟體，並且知道該如何去完成他們的任務，通常都是比較小型的。「持續運作」是為了區別代理人和副程式之間的不同；而「特定目的」是為了區別代理人和多功能應用程式的不同。

## 4.1.2 代理人的應用

Janca 在 1995 年時說過：“代理人將會是下一代的電腦應用設計方法，而將會在 2000 年的時候在各個領域普遍應用”。我們的確實看到了代理人在各個領域中的應用越來越成熟，也深具潛力。代理人應用的範圍很廣，例如日本就熱衷將代理人應用在機器人的研究，其他如網際網路代理程式(資訊過濾代理程式、資訊擷取代理程式)、桌上型代理程式(作業系統代理程式、應用程式代理程式)、企業內部代理程式(程序自動化代理程式、群組合作代理程式)等方面都和代理人的研究有相關。Jennings 和 Wooldridge 也將代理人應用領域做了整理和介紹：如工業應用中的作業控制、製造系統、空中交通控制；商業應用中的資訊管理、電子商務和商業流程管理；醫療應用方面的病人監視、健康監控；娛樂方面的遊戲和互動式電影都有將代理人系統引入案例。



## 4.1.3 代理人的分類和特點

Gilbert 等人(1995, IBM)以代理行為(agency)，智慧(intelligent)和移動性(mobility)為三個維度，透過這三個維度形成一個描述和分類代理人的概念。



圖 4.1 Gilbert 對 Agent 的分類

- 智慧性(intelligence)：所表示的是推理和學習的能力，屬於傳統人工智慧的範疇，可以分為喜好(preferences)、推理(reasoning)、計畫(planning)和學習(learning)。
- 代理行為(agency)：表示代理人是一個什麼樣的機制在運作，可能只是代理人和代理人之間簡單的非同步協調運作，更深一點的是代表一個使用者的某些行為，甚至是一個完整的服務。可以劃分為幾個程度：非同步運作(asynchrony)、使用者的再現(representation of user)、資料互動性(data interactivity)、應互動性(application interactivity)、服務互動性(service interactivity)。

- 移動性(mobility)：是表示代理人在網路上不同節點的移動能力，其想法來源比較偏屬於分散式計算。可以劃分為靜態(static)的代理人、mobile scripts 和 mobile objects。

由 Gilbert 等人所劃分的技術維度來看，我們可以看到傳統的應用，如專家系統、智慧型代理人等等，多主要是在代理行為和智慧性兩個維度的設計，而移動性這個維度的提出主要因應現在的系統越來越複雜，已經不是單一平台所能夠處理，因此移動性這個功能將能夠分擔計算上的負擔、以及一些其他的優點。而從 Gilbert 等人對代理人的劃分仍然無法讓我們具體的了解到一個代理人該具有那些動要特質，接下來的討論將根據目前一些文獻對代理人的看法，整理出一個對代理人內含特質的分析。

雖然截至目前為止，並沒有對代理人應包含哪些特質有一個一致的看法，但大致上我們仍然可以看出應具備那些特性：

- 自主性(autonomous)：在由使用者委任代理人工作後，代理人能夠在自己的控制之下進行動作，有自主的能力，不需要外界的介入操作便可以自行運作，而這個運作能夠達到某種程度上對內部狀態的控制。
- 互動性(communication)：  
代理人能和其他代理人溝通，或是與人類進行互動溝通，在代理人系統中，能透過溝通產生合作、協調、協商等智慧。
- 目標導向(goal-driven)：  
代理人會有一個所設定的目標，當他知道自己的目標，就能回應環境的變動，知道該取什麼資訊？該做什麼？

- 偵測環境(monitring)：

代理人應該要能主動的偵測他身邊的環境情況，蒐集需要的相情報和資訊。

- 反應行為(actuation)：

代理人在必須要有主動行為能力對環境或使用者的作出反應。

- 智慧(intelligence)：

代理人在偵測到環境變化或交換資訊後，應該要有足夠的智慧來做代理人間的合作(Cooperation)、溝通協調(Coordination)、協商(Negotiation)或是學習(Learning)等等的功能來反應協助達到目標。

當然，除了上述的這些屬性之外，代理人還可以擁有像移動性(mobility)、安全性(security)等等的屬性，也有很多人從事這些方面的研究。雖然上面這些屬性都是代理人很重要的特徵，但定義代理人並不需要完全符合所有的屬性，而要視代理人的應用和目標而論，來增加或減少他的功能和屬性。

#### 4.1.4 代理人系統

代理人系統，特別是多代理人系統，是分散式人工智慧(distributed artificial intelligence, DAI)研究當中的一個子領域，已經在人工智慧領域中被提起二十多年。分散式人工智慧又成分散式問題解決(distributed problem solving, DPS)和多代理人系統 multi-agent systems)兩個部分被廣泛討論，下面將就代理人系統分成單代理人系統和多代理人系統兩種來為大家介紹。

單代理人系統比較簡單，也比較傾向解決自己內部的問題，在整個外界環境中，自主性的透過偵測器(sensors)蒐集外部環境資訊，並在內部使用自己的領域知識(domain knowledge)做出符合自己目標的處理、決策並直接反應(effectors)到外界環境上，期許結果能夠達到符合自己的目標。圖 4.2 表示了一個單代理人系統的架構圖。

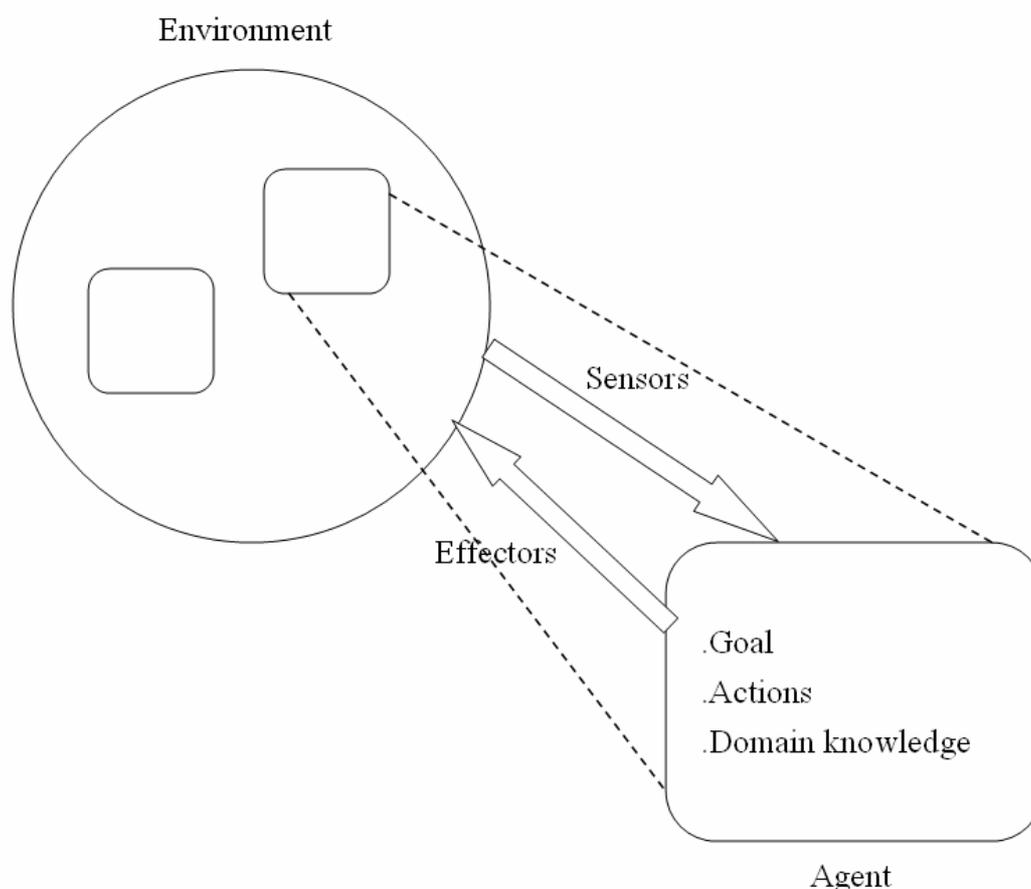


圖 4.2 單代理人系統的架構

多代理人系統是近年來在人工智慧的研究中，引起相當多討論的一種概念，其概念為使用電腦模擬人類社會互相合作、競爭資源以達成某一目的之社會行為。多代理人之研究著重於一群分散於網路中的問題解決者，如何透過之間的行為互動、本身的能力以及對於周遭環境的認知來解決問

題。而些問題之解決者通常稱之為代理人。因此，代理人與代理人之間的互動就會是多代理人系統研究領域中的研究重點，如：合作(cooperation)、交涉協商(negotiation)、溝通(communication)與協調整合(coordination)。

代理人系統的設計和一般應用程式的設計之不同，在於代理人系統的設計裡，要特別注意的就是分散式的觀念，將一個單位的代理人先設計好，接著就是複雜的問題，如何讓多代理人間互相配合發揮最大的功用。舉例來說：代理人間如何溝通、如何協調？代理人所獲得的資訊與自身所判斷的結果相衝突時，要如何解決？等……，這些是代理人間互相配合須考量的議題中的幾項，而當我們在代理人系統中設計好了這些問題和方法，系統的彈性就相對提高。圖 4.3 表示了一個多重代理人系統的架構圖。

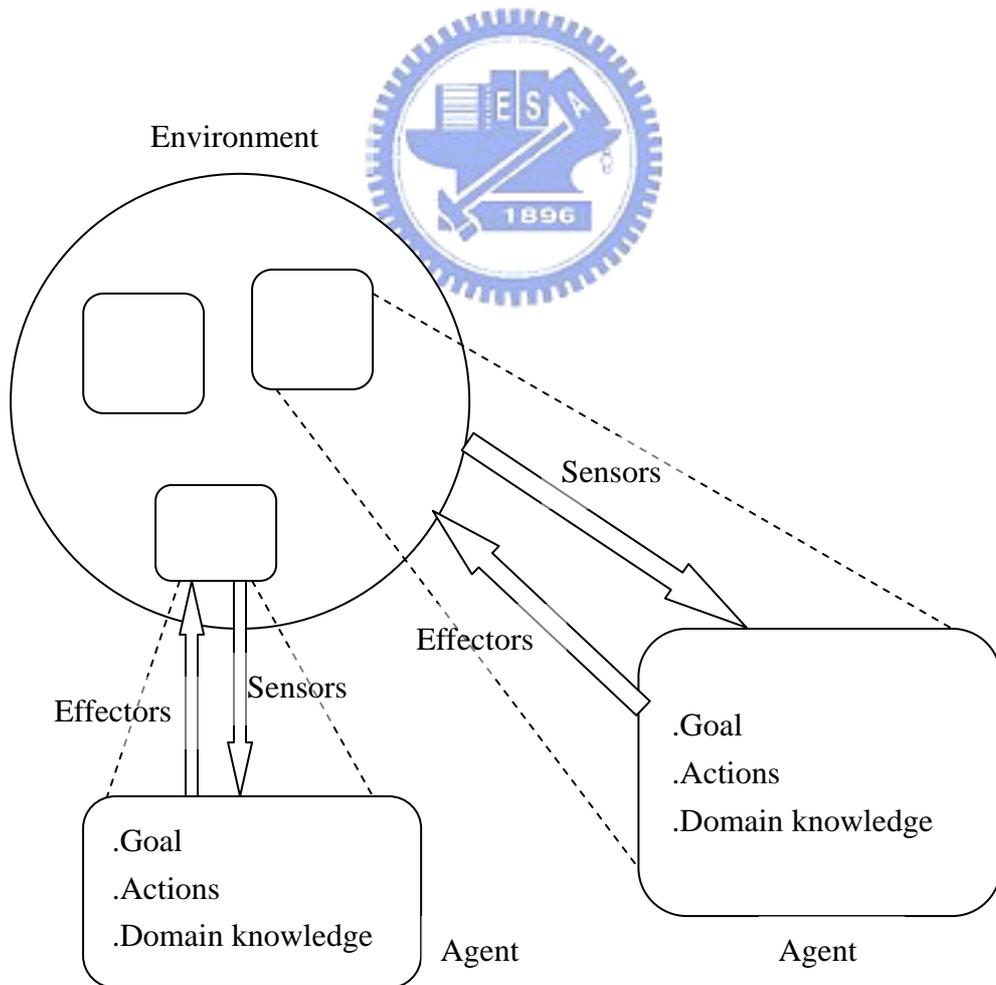


圖 4.3 多代理人系統的架構

## 4.2 利用代理人整合影像及雷射掃瞄器

一般在使用感應器時，大多都是每個感應器擁有各自的運算邏輯，只會針對各自所負責的任務，進行其任務，但每個感應器能力有限，其運算邏輯也並不完美，若所針對的環境較為單純時，其仍足以應付，但若所針對的環境較為複雜時，會造成各感應器其正確性、穩定性的降低，或者產生其無法應付的問題。

例如：我們所使用的雷射掃瞄器及 CCD，在雷射掃瞄器方面，主要負責監控前方 180 度範圍中，是否有物體快速往我們所在的車輛，異常接近的趨勢，而發出警告，提醒駕駛者注意，但是在正常行駛時，時常會有對方來車會車的行情，有時當我們的車輛行駛較靠近車道中線時，很容易將其誤判，或是在轉彎時，也很容易誤判另一車道上的來車。而在 CCD 感測器方面，我們由所接收的影像，來判斷車道線及前方車輛，但偵測前方車輛時，如何確定前方是否有車輛，是否要啟動前方車輛偵測，並不容易，因其所處的環境有太多的況狀，很容易造成誤判，以致系統的處理速度降低等，這些問題由各別感測器自行來解決其問題，並不容易，或是要花上大量的處理時間。因此，我們引進了代理人的觀念，來解決上述的問題。

由於代理人的定義眾說紛紜，依切入點的不同，而有不同的定義，到目前為止，並沒有一統一的說法，而我們所採取的定義為 Wooldridge 在 2000 年所提出的：『代理人能自主性的進行運作，主動察覺環境的變化並採取相對應的動作，本身並擁有特定的技能來，執行使用者所賦予他的任務，而所謂的智慧可以是簡單固定的程序或物件邏輯，也可以複雜到具有合作、推理和學習能力』。

以我們實驗為例，我們在 CCD 與雷射掃瞄器各安排一個代理人，為影像代理人和雷射掃瞄器代理人，其特色為：

- 1、「其能主動察覺環境的變化並採取相對應的動作」，例如：影像代理人由 CCD 擷取車道影像，從影像中獲得車道線與前方車輛，監控車道線與前方車輛資訊，當有其偏離或過近時提出相對應的警告。而雷射掃瞄器代理人由掃瞄器獲得距離資訊，並由其資訊獲得相對速度，監控各方物體是否有快速異常接近趨勢，而提出相對應的警告。
- 2、「本身並擁有特定的技能，來執行使用者所賦予他的任務」，例如：影像代理人擁有車道線與前方車輛偵測及防偏、防撞警告的技能，而雷射掃瞄器代理人，則擁有相對速度計算及修正與防撞警告的技能，來執行使用者所要求的危險警告之任務。
- 3、「簡單固定的程序或物件邏輯，或具有合作、推理和學習能力之智慧」，例如：影像代理人和雷射掃瞄器代理人，各擁有其偵測法則、程序及警告判斷外，我們更將其間建立區域網路，能彼此相互溝通，合作，訊息的交換。

由上述可知，我們所設計之影像代理人和雷射掃瞄器代理人，符合 Wooldridge 在 2000 年所提出的定義，可稱之為代理人。在本論文中，我們主要是引用代理人其溝通與合作的觀念，來整合 CCD 與雷射掃瞄器，並改善上述在複雜環境中，單一個別獨立的感測器可能產生的問題。在我們實驗中，影像代理人從影像中可獲得較多形態上的資訊，如車道線、前方車輛等，而雷射掃瞄器代理人擁有正確的距離資訊，可以說兩者互有優點，但仍有不足，因此，以溝通與合作觀念來整合此系統，主要使影像代

理人與雷射掃瞄器代理人互補不足的地方，可提升系統可靠度，並增加系統的正確性、處理速度及穩定性。

#### 4.2.1 雷射掃瞄器代理人提供訊息

我們應用相互溝通，讓影像代理人和雷射掃瞄器代理人相互合作的情形，如下所述：

雷射掃瞄器代理人 To 影像代理人

Case 1：問題：前方若無車輛時，而仍讓影像代理人去偵測前方車輛，可能造成誤判的情形發生。

輔助：由雷射掃瞄器代理人適時提供前方是否有物體的資訊，依此決定是否啟動車輛偵測，這可以適時的減少偵測系統的運算量，並減少誤判的發生，提升系統的穩健性。

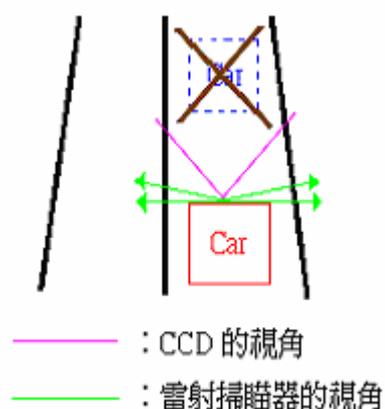


圖 4.4 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 1 之示意圖

Case 2：問題：因前方車輛太過接近時，物體容易布滿 CCD 的視角，並遮蔽車道線，易造成車道線及車輛偵測上判斷的錯誤。

輔助：由雷射掃瞄器代理人適時提供前方物體是否太過接近的訊息，進而停止影像代理人的動作，減少系統誤判的發生。

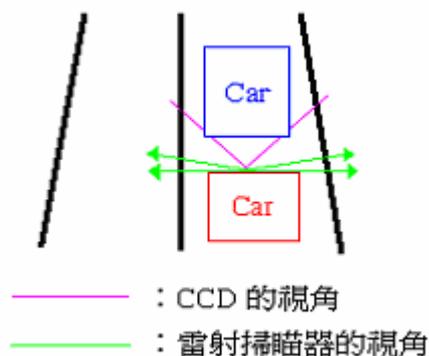


圖 4.5 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 2 之示意圖

Case 3：問題：影像代理人在前方車輛偵測時，是採取動態的偵測視窗，但並不能很正確又持續抓住車輛，有時必須將偵測視窗大幅放大，再去抓取可能的車輛，這樣將大量增加運算量，且容易產生錯誤。

輔助：由雷射掃瞄器代理人適時提供前方距離資訊，利用此資訊調整偵測視窗的大小，減少運算時間並預防錯誤的發生。

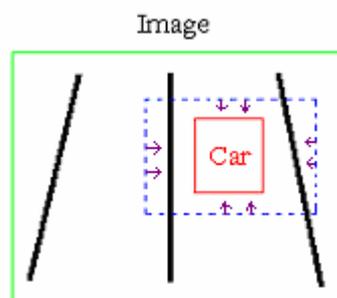
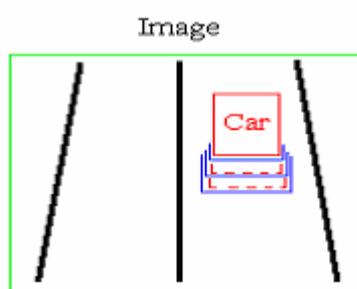


圖 4.6 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 3 之示意圖

Case 4：問題：影像代理人是依所得的車輛位置之變化，來提出車輛過於接近時的警告訊息，但由於車輛偵測的方法，並不是  
很穩定抓取前方車輛，有時會有劇烈的變化，所以會有  
誤判的可能。

輔助：由雷射掃瞄器代理人適時提供前方的距離變化資訊，驗證  
防撞警告的正確性，減少錯誤警告的發生，以提升系統的  
穩健性。



：偵測視窗

圖 4.7 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 4 之示意圖

Case 5：問題：影像代理人在偵測車道線時，若有車輛遮蔽住車道線，會  
造成部份車道線判斷錯誤，影響之後的防偏警告及運算速  
度。

輔助：由雷射掃瞄器代理人提供車道線上是否有遮蔽物之資訊，  
利用此資訊減少車道線偵測錯誤的發生。

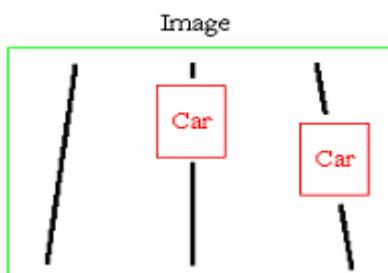


圖 4.8 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 5 之示意圖

Case 6：問題：影像代理人在前方車輛在切換車道時，無法直接的變換偵測視窗到另一車輛，須放大偵測視窗作抓取車輛的動作，因而增加運算量及錯誤的發生。

輔助：由雷射掃瞄器代理人適時提供前方車道線上車輛大小與距離的資訊，此資訊可以輔助影像代理人在前車變換車道時，能順利的變換所抓取的前方車輛之偵測視窗，可以減少相關的運算量及抓取減少錯誤。

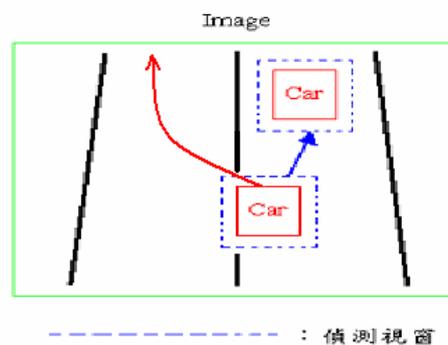


圖 4.9 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 6 之示意圖

### 4.2.1 影像代理人提供訊息

影像代理人 To 雷射掃瞄器代理人

Case 7：問題：雷射代理人在有快速物體異常接近時，會發出警告，但有時在與另一車道上的車輛會車時或在轉彎處的物體，有可能造成錯誤的警告訊息。

輔助：由影像代理人提供車道線的資訊，利用此資訊輔助判斷是否要提出警告訊，減少錯誤的發生。

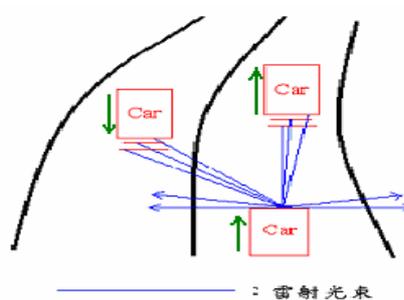


圖 4.10 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 7 之示意圖

Case 8：問題：雷射掃瞄器代理人利用 D/V 曲線圖，來提出碰撞警告，但由於雷射掃瞄器到水平的要求要較嚴苛，當有稍大幅度的振動，容易極大或極小的相對速度值，而導致碰撞警告錯誤。

輔助：由影像代理人適時提供前方車輛在影像判斷上是否有接近的趨勢，來輔助雷射掃瞄器代理人，作出正確的判斷。

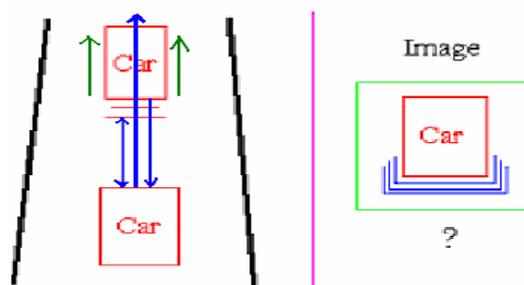


圖 4.11 影像與雷射掃瞄器代理人合作 Case 8 之示意圖

由上述幾個應用例子來看，利用代理人間的相互溝通可避免一些不必要的錯誤的發生、減少部份不須要的程式流程，因而增加其穩健性及運算速度，使系統具有更好的可靠性及效率。

在代理人溝通及管理平台方面，JADE 為一般普遍常使用的平台，其應用多為在網際網路上，但在我們應用上似乎不太適合，因此，我們自行以 Visual C++ (MFC) 撰寫簡單伺服平台，此平台只負責簡單的管理與溝通，其類似聊天室一般，只需輸入 IP、port 和 ID 就能連上平台，並獲得相關資訊，利用此資訊則可以與其他的代理人溝通。其架構如圖 4.4 所示。

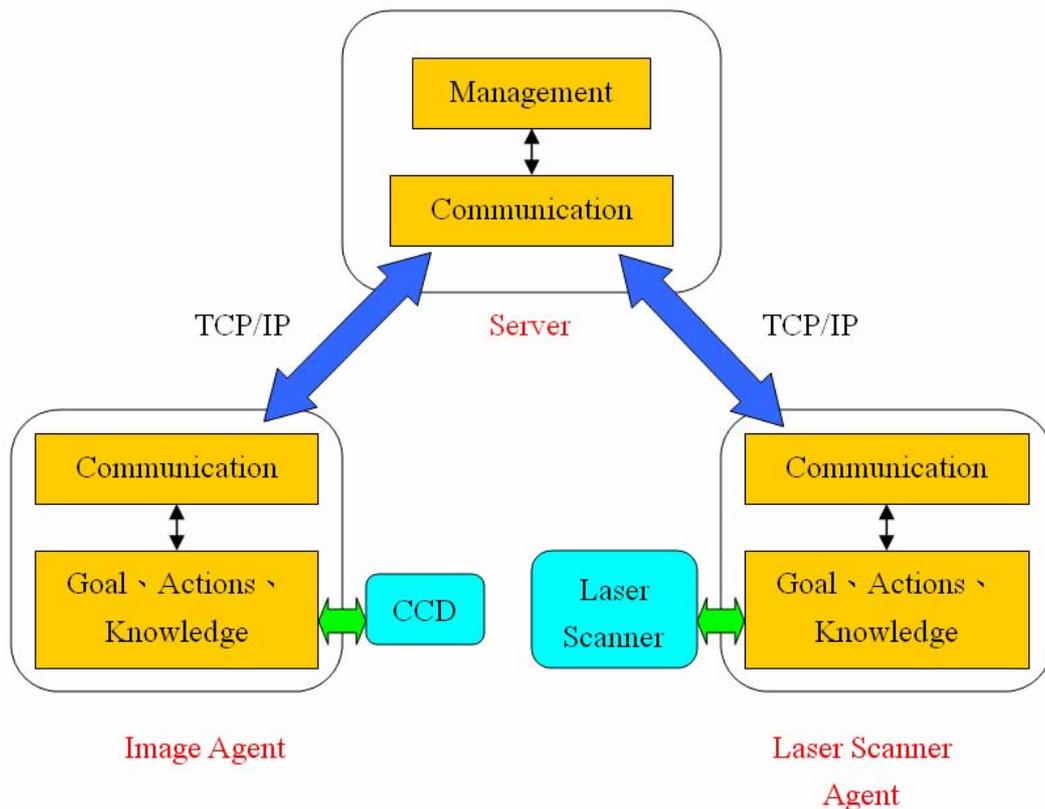


圖 4.12 本論文所提出之多代理人其溝通、管理平台及架構

## 第五章 整合代理人駕駛輔助系統

本章敘述有關以代理人為基礎之防偏與車前防撞警告系統其架構與實現，及代理人、影像和雷射掃瞄器其相關的結果與討論。

### 5.1 警告訊息的產生

本節將分別介紹有關影像與雷射掃瞄器代理人，防偏與車前防撞之警告訊息的判斷產生。

#### 5.1.1 影像代理人警告訊息

假設，我們一開始車輛是在車道中央，且 CCD 是架在車輛的大約中心線上，若車輛行駛在直線路段，且沒有偏離的情況時，車道影像在螢幕上應該是左右對稱的。在這樣的前提假設下，若車道線在影像上不對稱時，依實際車輛行駛的情況來說，有兩種可能的情況：其一為車輛行駛的方向與車道方向有較大的差異，這種情形大多會發生在彎曲的路段或變換車道時；另一種情況是車輛與車道方向沒有太大的差別，而車輛是慢慢地偏向某一邊，最後偏離車道，這可能是駕駛員在打瞌睡或其他情況，使得駕駛員沒有自覺地使車輛逐漸偏離了車道。

根據這兩種情況，我們決定同時採用兩車道線的角度差及車道線與特定點(為攝影機所在的位置，如圖 2.10 S 點)的位置差，來判定車輛是否會偏離車道。在角度的判斷上我們分別求取兩邊視窗內車道線的方向角，並計算其兩邊的角度差，如圖 5.1 所示，來判斷車輛是否有偏離車道，其角度計算如(5-1)所示。以位置對稱特性測量車輛是否偏移車道上，我們取視窗內車道線中心位置，與特定點 S 為軸的距離差(a-b)，如圖 5.2 所示，檢

查是否在我們設定的範圍內，來判斷車輛是否會偏離車道。其計算結果如圖 5.3 所示。

$$\theta = \tan^{-1}(\text{直線斜率}) \times 180 \div \pi \quad (5-1)$$

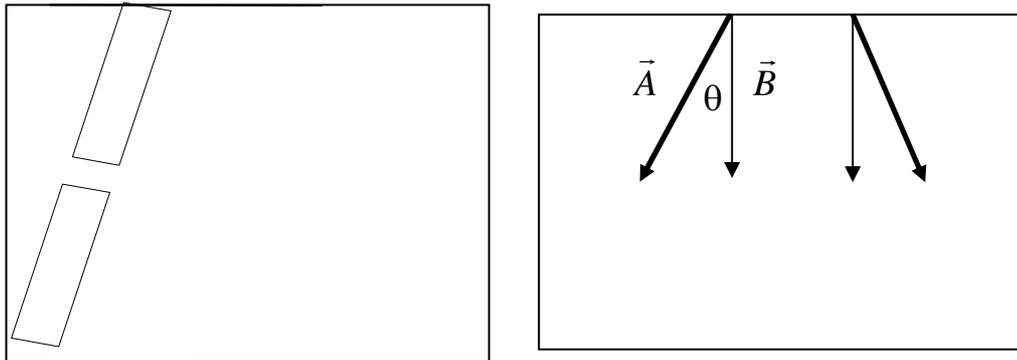


圖 5.1 車道線方向角

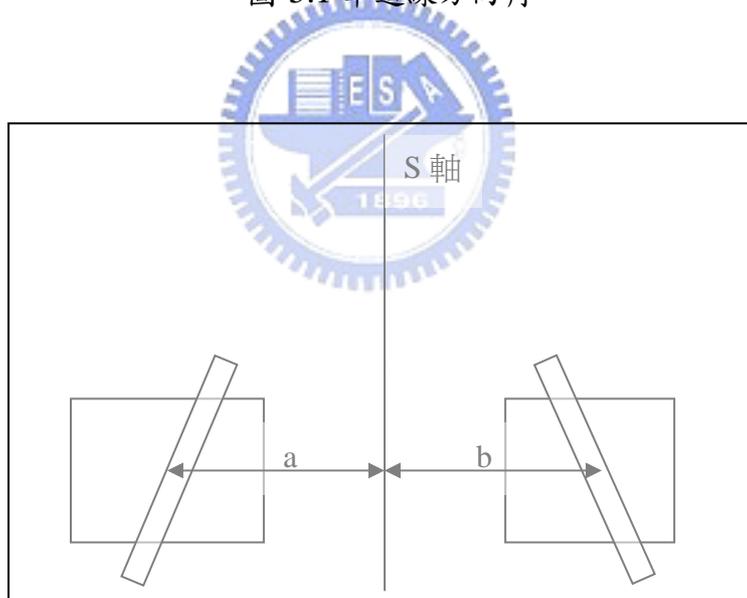


圖 5.2 位置左右對稱性



(a)  $a=100, b=120$  (pixel)

左邊車道線角度=45.376 度

右邊車道線角度=49.514 度

角度差=4.138 度、距離差=20 (pixel)

(b)  $a=40, b=130$  (pixel)

左邊車道線角度=31.943 度

右邊車道線角度=60.461 度

角度差=28.518 度、距離差=90 (pixel)

圖 5.3 車道線角度差及距離差的計算結果範例

故在此我們的判斷法則有兩個部分：

1. 角度差：即兩邊車道線方向角的差值，在車子沒有偏離的情況下，兩邊的車道線方向角應該是差不多的。
2. 位置差：主要是根據車子在路中央行駛且沒有任何偏掉的情況時，其車道線在影像上應該是對稱的前提下，若車子沒有偏掉的話，車道線和特定點 S 的距離應該是差不多的，故若兩邊車道線到影像中心距離的差不大則表車子沒有偏掉。

而在車前防撞方面，我們將依所偵測的前方車輛位置來判斷，當其位置接近到一定距離時，是否有愈來愈接近並有可能產生碰撞的趨勢，則將再與雷射掃瞄器的資料相互配合比對，來確定警告產生。

## 5.1.2 雷射掃瞄器代理人警告訊息

在車輛前方安裝雷射掃瞄器，可以直接量測得到正前方兩車間的相對距離，在 3.3 節中也針對從雷射雷達處理得到具有雜訊干擾的相對速度，透過 Kalman filter 做估測，得到一較平滑且均方誤差值小的速度估測值，

這節中就是要透過相對距離及相對速度的估測來討論車輛前方的防撞。

從兩車在同一車道跟車，正常情況下當駕駛人覺得與前車距離太近，或是是相對速度太大，都會採取放開油門、踩剎車等動作來拉大距離或是降低兩車間的相對速度，避免發生碰撞。簡單來說，追撞事故的造成原因就是兩車相對距離與相對速度間的關係，相對速度太大或是相對距離太小都可能發生碰撞。從圖 5.4 可以看出，相對速度的變化在 sample 140~160 開始有下降趨勢，這說明了一個訊息，當駕駛人覺得與前車間相對速度太大以致相對距離可能發生危險時，駕駛人開始踩剎車減速，來降低兩車間的相對速度，也就是如果在 sample 140~160 沒有開始對剎車動作，那就會發生碰撞。

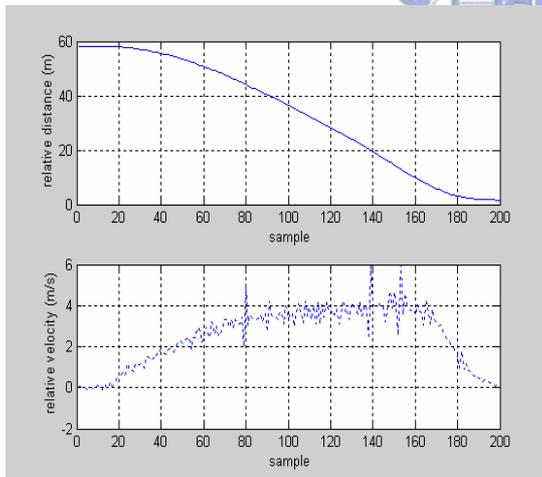


圖 5.4 相對距離與相對速度

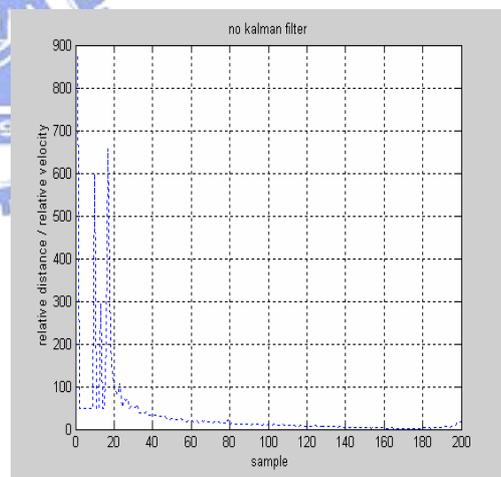


圖 5.5 相對距離除以相對速度(D/V)

(原始結果，未經過 Kalman filter 處理)

因此根據實驗，提出碰撞之前必須先警告駕駛人的預警時間，為兩車相對距離相對速度間的關係，可以如下表示：

$$P = D/V \quad (5-2)$$

僅就實驗所得到的相對距離除以相對速度與估測速度看其結果，(在相對速度為 0 或是小於 0 時，將  $P$  設定為 50)，如圖 5.5 所示，特別在 sample 140~160 放大刻度來看，如圖 5.6 所示：

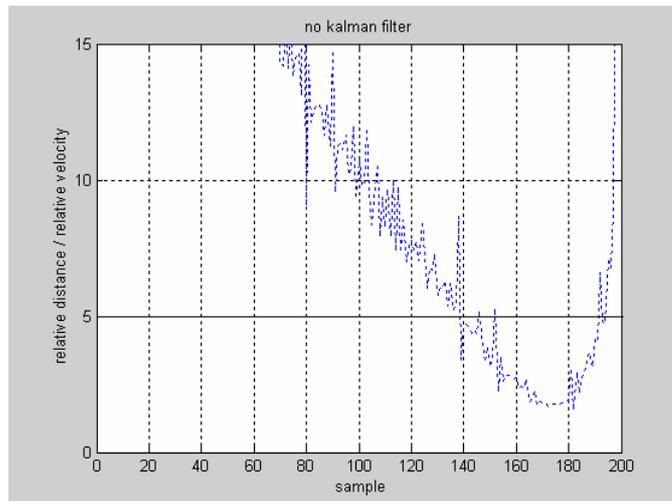


圖 5.6 圖 5.5 相對距離除以相對速度( $D/V$ )放大刻度

在這個例子裡，若是在 sample 140 之前就事先警告駕駛人，讓駕駛人有一個緩衝時間，就是對預警時間  $P = D/V$  設定一個數值，這裡訂定為 5，但從圖 5.6 可以發現在相對速度未經過 Kalman filter 處理前，其結果很有可能會發生誤判的動作，因為相對速度受到干擾，其預警時間也存在很大的擾動。來看看經過 Kalman filter 相對速度估測後的  $P = D/V$  曲線，在 sample 140~160 區段：

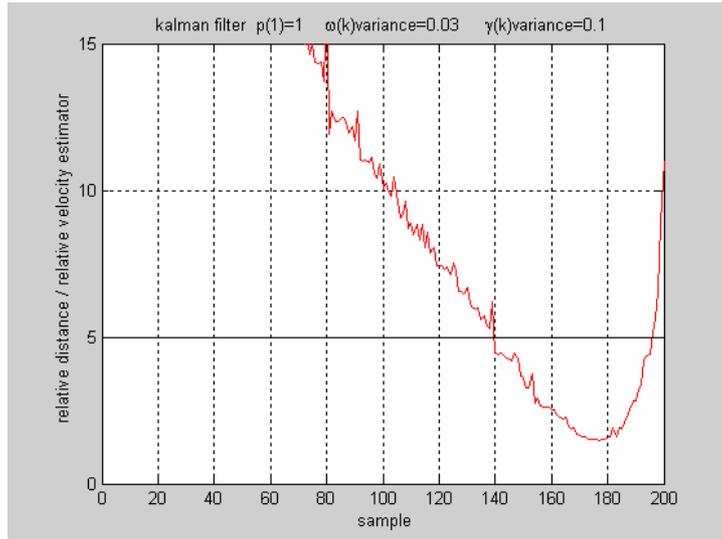


圖 5.7 相對距離除以經過 Kalman filter 估測的速度

可以看出經過 Kalman Filter 處理後的速度估測值，作為防撞的判斷條件可以減少系統的誤判動作。另外，對於相對距離較短且前進速度變化不大情況下也有不錯的效果，如圖 5.8，圖 5.9 所示：

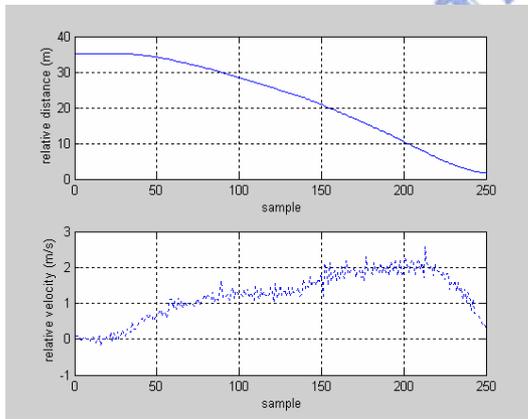


圖 5.8 相對距離與相對速度

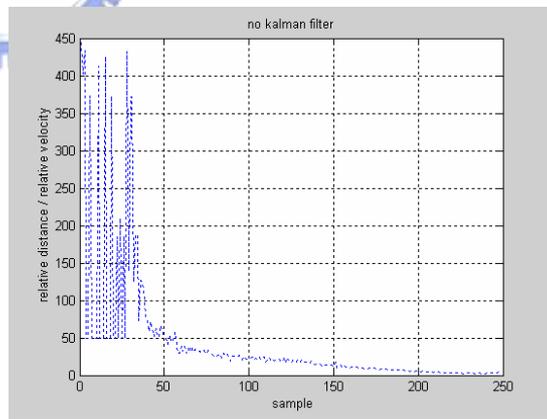
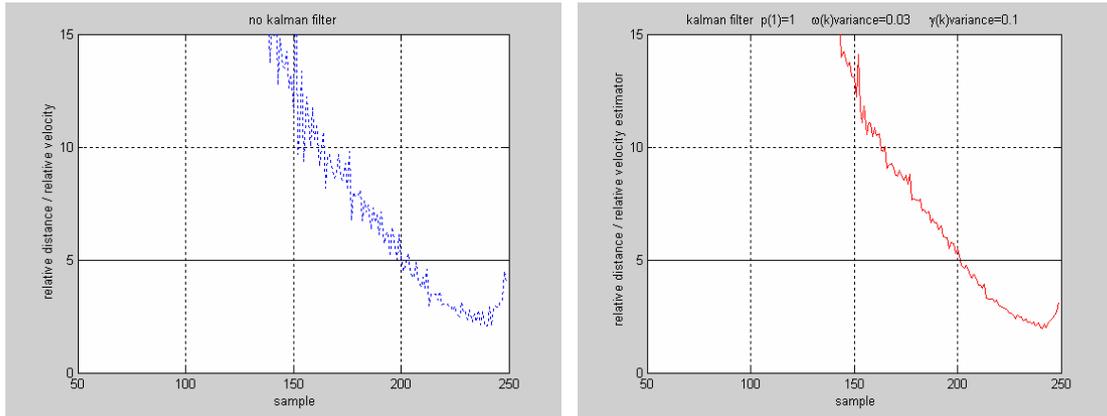


圖 5.9 相對距離除以相對速度

由圖 5.8 可以看出在 sample 200 左右速度開始減慢，雖然駕駛人行駛速度較慢，但相對距離太近可能碰撞，因此減速。將刻度放大，特別在 sample 200 觀察，未經 Kalman filter 處理的預警時間圖 5.10 (a)，經 Kalman filter 處理後的相對速度估測其預警時間圖 5.10(b)：



(a) 相對距離除以相對速度放大刻度 (b) 相對距離除以估測的相對速度

圖 5.10

最後，此方法只針對其物體以一定角度向雷射掃瞄器此點接近時才適用，而由實測結果也指出若不以一定角度向雷射掃瞄器原點接近，其警告偵測將失敗，所以，我們以所獲得的距離資訊，作簡單的原點變換，再右左以每 25cm 的間隔建立 6 個虛擬的雷射掃瞄器，如圖 5.11，可讓警告偵測的範圍更大，更加安全，並由於雷射掃瞄器掃瞄器範圍太大，所獲得的距離資訊變化太多，所以我們設定一特定範圍，超過此範圍時，其距離設為此範圍邊緣值，進入此範圍時，才起動防撞警告偵測，可減少錯誤警告的發生。

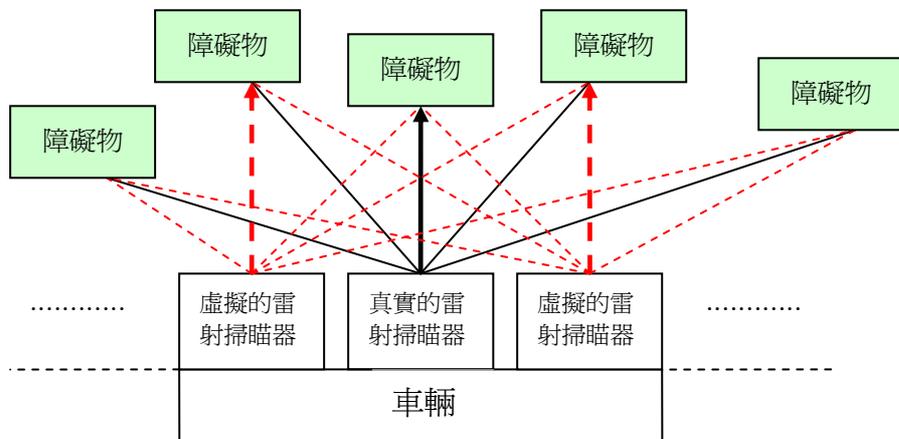


圖 5.11 真實與虛擬的雷射瞄器配置

## 5.2 影像處理結果

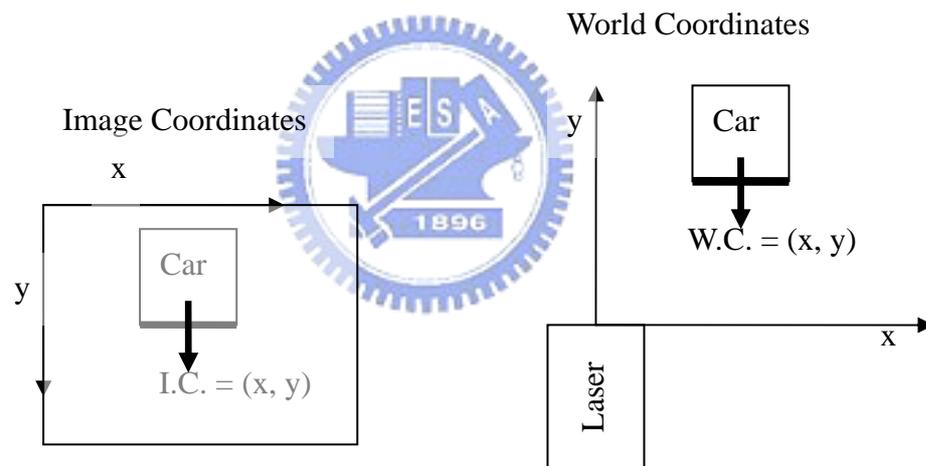
本節介紹影像代理人在不同天候狀況下，其處理結果。

註：(1、a、b 如圖 5.2 所示，LA：左邊車道線角度，RA：右邊車道線角度，如圖 5.1 所示[以垂直軸為起始點，逆時針為正]，角度差

$=||LA|-|RA||$ ，距離差 $=|a-b|$ ，距離單位為 pixel，角度單位為度。

2、I.C.：影像座標上車子的位置，以圖左上角為原點，水平軸為 x，垂直軸為 y，單位為 pixel。

W.C.：車輛在世界座標上的位置，以雷射掃瞄器為原點，水平軸為 x，垂直軸為 y，單位為公分。)



## 5.2.1 日間的情況

圖 5.12 是在日間時，車道線與車輛抓取與角度及位置的計算結果。



a=115、b=116  
LA=-55.395、RA=55.076  
角度差=0.319、距離差=1



a=118、b=104  
LA=-53.499、RA=52.374  
角度差=1.125、距離差=14



a=52、b=126  
LA=-46.425、RA=39.380  
角度差=7.045、距離差=74



I.C.=(191,171)  
W.C.=(16,1381)



I.C.=(165,144)  
W.C.=(-59,2670)



I.C.=(146,159)  
W.C.=(-231,3885)

圖 5.12 日間車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果

在日間時，一般而言，只要在適當光線下，車道線與車輛的抓取擁有相當不錯的辨識率，若車道線與車輛清晰可見且車輛位於正前方，其辨識率將會更高。相反的在光線太亮或太暗，會造成辨識率下降，因光線太亮時，容易造成整圖嚴重反白，而光線太暗且照明不佳時，造成車道線與車輛可見度下降，使得辨識率大幅下降，甚至到達無辨識的情形，但整體來說，車道線與車輛的擷取，在日間擁有相當不錯的結果。

## 5.2.2 夜晚的情況

圖 5.13 是在夜晚時，車道線抓取與角度及位置的計算結果。



圖 5.13 夜晚車道線，及角度與距離的計算結果

在夜晚時，可分為有路燈與沒路燈兩種情形。由夜晚實驗所得，在有充足路燈的狀況下，在車道線辨識率上，雖然沒有像白天一樣好，但仍有相當不錯成功率，仍依路燈明亮度而有所改變，而在沒路燈只靠車前燈的狀況下，其辨識率就要依車前燈所照的位置，是否有清楚的照出車道線來看，若能清楚的照出車道線的話，仍可將車道線擷取出但成功率不高，但若無法清楚照出車道線的話，其方法可能就不適用了。但若擁有充足路燈照明下，我們所使用的方法，仍適用於夜晚。

而在車輛偵測方面，由於一般夜間行車時，車輛都會開啟車尾燈，因在車尾燈的影響下，會造成車輛輪廓非常不清楚，從攝影機所照出的影像，只看的出車尾燈的兩團光圈，而本文車輛偵測方面是依車輛輪廓去作判斷，因此，由於車尾燈及光線昏暗的影響下，本文所研發之車輛偵測的方法在晚間並不適用，其辨識率極差。

### 5.2.3 曲線路段的情況

圖 5.14 是曲線路段時，車道線與車輛抓取與角度及位置的計算結果。

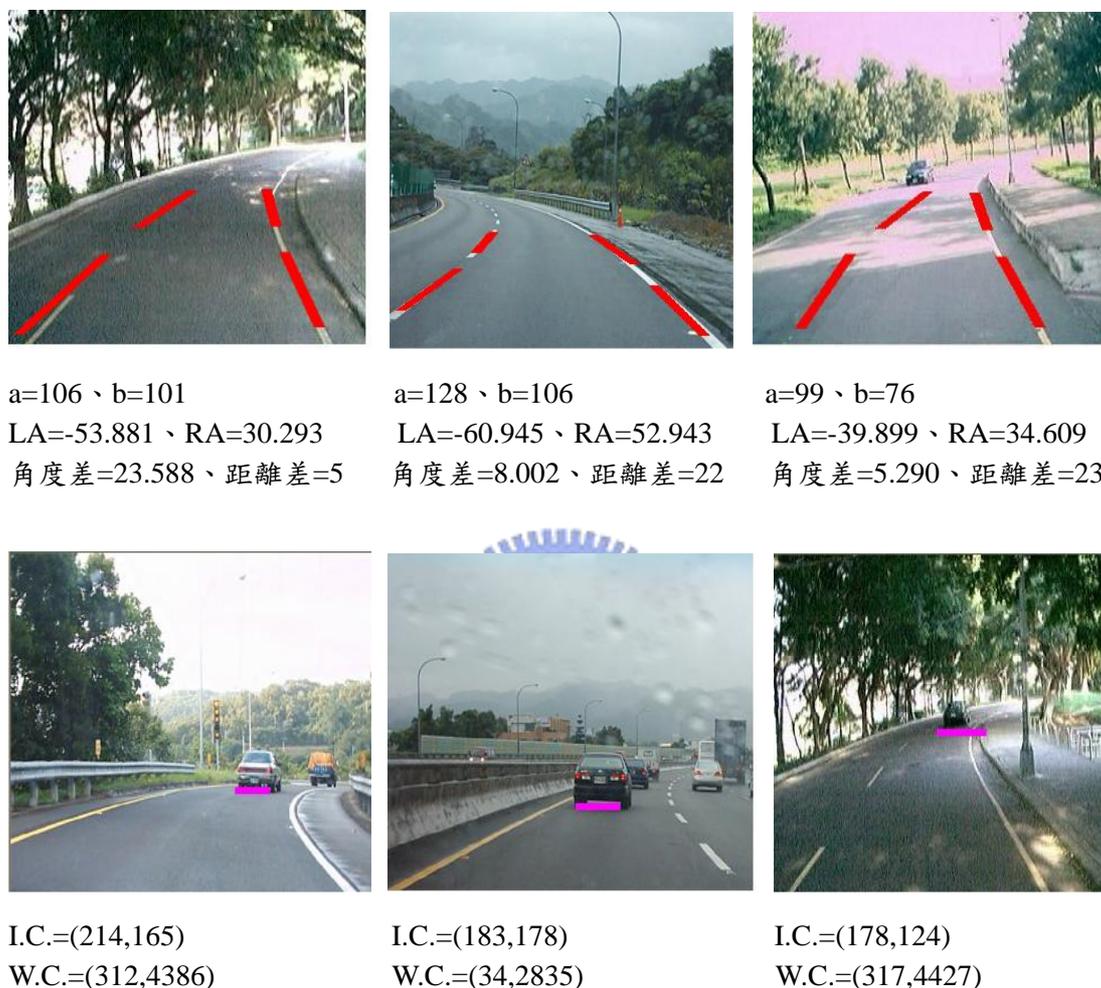


圖 5.14 曲線路段車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果

由實驗來看，車道線擷取方法上，在小幅度轉彎的曲線路段時，由於在車前的車道線其實是相當接近直線的，因而我們是可以用多條直線的組合來近似曲線的狀況，其仍有一定的辨識率，但若是在大幅轉彎的曲線路段，或是駕駛者在轉彎時 CCD 無法照取其兩側的車道線，或是一側的車道線位於圖像的邊緣上時，將無法順利抓取車道線，其辨識率會相當的低。而因在曲線路段上，所以所計算出車道線的方向角，其部份角度差可

能會相當大，造成判斷結果為車輛已偏離了車道線，而提出警告，此情況並不在我們所考慮的範圍中，但若能加入車子方向盤轉角的資訊，應該改善此問題。

而在前方車輛偵測上，由於在曲線路段，其車輛的對稱性會下降，因而導致辨識率降低，但若能得到雷射掃瞄器代理人的輔助，將可提高其正確率。

### 5.2.4 陰影的情況

圖 5.15 是陰影路段時，車道線與車輛抓取與角度及位置的計算結果。



a=114、b=68  
LA=-42.820、RA=36.745  
角度差=6.075、距離差=46



a=60、b=124  
LA=-51.040、RA=25.881  
角度差=25.159、距離差=64



a=98、b=117  
LA=-39.510、RA=54.638  
角度差=15.128、距離差=19



I.C.=(201,134)  
W.C.=(144,3106)



I.C.=(186,146)  
W.C.=(38,2077)



I.C.=(195,179)  
W.C.=(3,1246)

圖 5.15 陰影路段車道線與車輛抓取，及角度與距離的計算結果

實驗所得，陰影路段對於車輛偵測上並沒有太大的影響，但對車道線

偵測上，由於陰影的關係，造成相對應的雜訊變多，會影響車道線的定義，因而造成辨識率的下降，但影響並不會很嚴重，仍有相當的辨識率。

由以上實驗來看，在車道線偵測方面，我們所用整合型偵測法則，能擁有相當不錯的辨識率，及較能適應各種狀況，並由實際上開高速公路，作高速下的偵測測試，由於高速公路車道線清楚，相應的環境雜訊較少，其辨識率更高，且處理速度仍跟的上，但在變換車道線時，就無法正確辨識，這是可以再改進的地方。而在車輛偵測方面，在保持一定距離跟車下，其辨識率也不差，但在前車變換車道，彎曲處及與前車距離太遠時，其辨識率就不理想，仍須改善。

### 5.3 以代理人(Agent)整合影像與雷射掃瞄器

從實驗來看，利用多代理人溝通合作的觀念，確實補足各代理人的不足，減少一些不必要的錯誤，及處理步驟，增加系統的穩定與效能。因此，若再增加相關感應器進來，再補足其它不足的資訊，應該能再提升系統的能力，但若從另一角度來看，當擁有相當多的代理人時，將會產生另一個問題，就是資訊的即時性與與正確性，與在大量接收與傳送資料時，是否影響感測器的即時性，是否真的能提升系統效能，這是另外一個需要討論的問題，但由於我們只有兩個代理人，且其傳送的資料相當精簡，因此，此問題不在我們的考慮內。

此外，利用代理人整合影像與雷射掃瞄器，除了 4.2 節以及上述所指出的可以避免一些問題的發生及增加處理速度的好處外，在程式設計上也有其優點存在，以我們所使用的 CCD 與雷射掃瞄器感測器為例，在程式撰寫上可以採取將 CCD 與雷射掃瞄器的接收處理程式，寫在一起而在單

一電腦上作計算，如圖 5.16 所示，但採取這樣的方法，在程式設計上會較為複雜，因要考慮兩感測器接收處理的即時性，所以並不容易撰寫，執行效能也會降低，但由於使用單一程式與單一電腦，在操作上會較為簡便，成本上也較便宜。

而引進多代理人溝通合作的觀念，也就包含了分散式的概念，也就是在程式撰寫上，分別撰寫各別感應器的接收處理程式，並置於各別的平台，再考慮溝通傳輸的介面，如圖 5.17 所示，採取這樣的方法，在每個代理人的程式撰寫上因只需考慮單一感測器，所以較為簡單，並其程式置於各別的平台(可跨平台)，執行效能相對較高，且利用網路作溝通合作，其擴充性及修改性也較好，例如再加入一感測器時，只需了解其相互間的傳輸模式，就可加入此系統，獲得所需的資訊，即使需要修改相互間的程式，也只需作部份的修改，即可完成，讓系統有更大的彈性。但由於分散式的關係，相對應的其成本上的支出相對提高，整體操作上也會較為複雜。

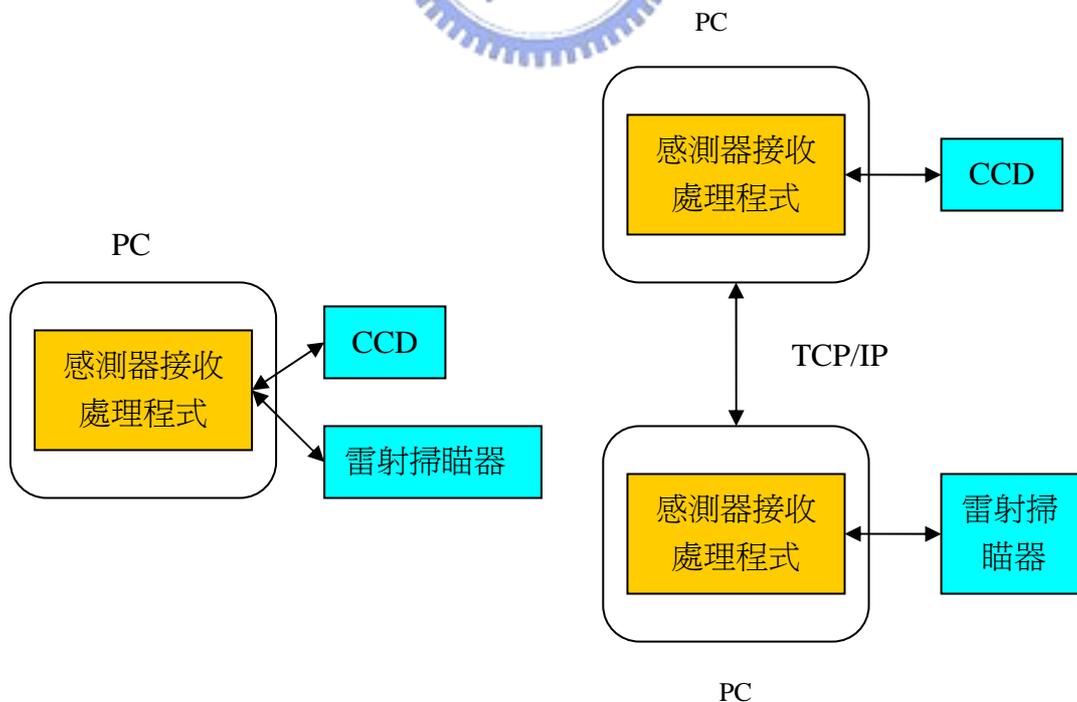


圖 5.16 集中式程式設計

圖 5.17 分散式的程式設計

## 5.4 系統架構與軟體處理流程

就一個防偏、防撞系統而言，因我們必須將其實現在車輛行駛中的狀況下，即時地處理，並在必要時適當地提出警告是必要的，而就即時的處理與判斷，我們並沒有以硬體的方式來實現，而是以軟體來做處理與判斷，在本節中概述我們的系統架構及軟體處理流程。

### 5.4.1 系統架構

我們整個系統所需的硬體，包括 USB 埠之 CCD 一架、二部筆記型電腦、一台雷射掃瞄器、一台 HUB 及一台 UPS。我們所使用的影像擷取設備是一台簡單的視訊會議 USB 埠 CCD，如圖 5.18 所示，將其連接到 PC 上，完成 PC-based 之影像處理系統。我們所使用的這部 CCD，其解析度最高為  $640 \times 480$ ，擷取速度最高可達每秒 30 個 frame。而雷射掃瞄器如圖 3.1(a)所示，為紅外線雷射光，其使用串列埠(RS232、RS422)，與 PC 連接，以 RS232 為傳輸最快為 38400 baud rate，以 RS422 為傳輸最快為 500 kbaud rate。由於兩台 PC 間要建立區域網路，因此需要一台 HUB，利用網路線與兩台 PC 作連接，並因雷射掃瞄器與 HUB 需供應其電源，所以要準備一台 UPS，如圖 5.19 所示。



圖 5.18 USB 埠 CCD



圖 5.19 UPS 和 HUB



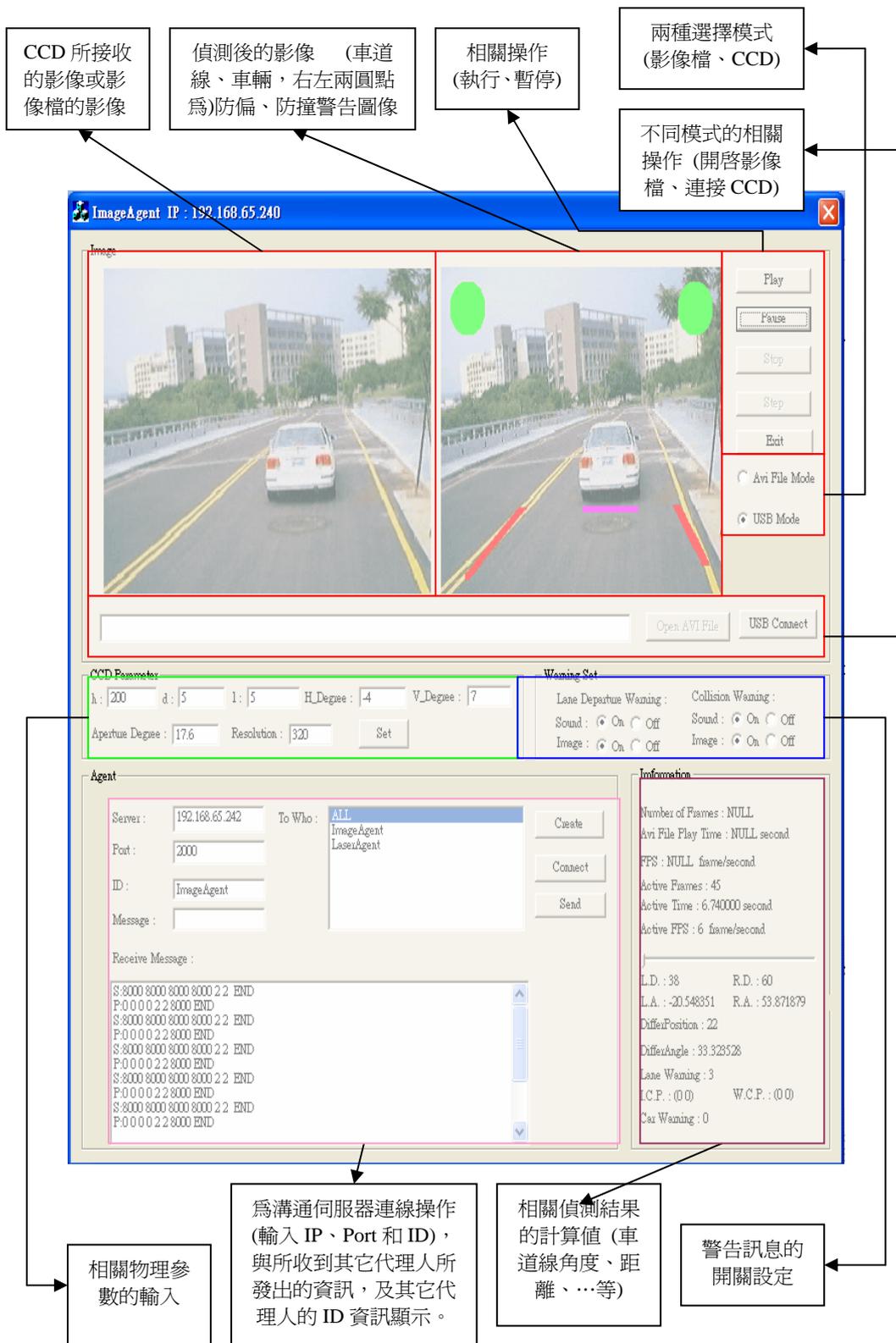


圖 5.21 影像代理人程式畫面

雷射掃瞄器代理人程式，包含與雷射掃瞄器的溝通與警告訊息的設定，如圖 5.22 所示，與溝通管理伺服程式連線設定，及所獲得其它代理人所發出的訊息顯示，如圖 5.23 所示，及程式的主畫面，並分為文字模式其含有所接收的距離、前方物體位置及防撞警告資訊，前方物體模式其為繪製前方物位置及寬度，繪圖模式其為依距離資訊所繪製的圖像，依序如圖 5.24、圖 5.25、圖 5.26 所示，其主要任務為緊急的防撞警告。

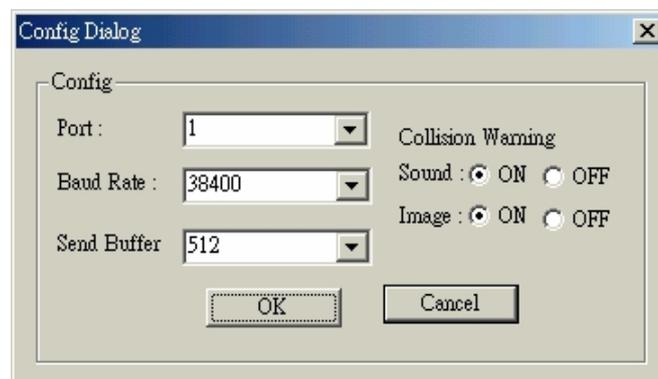


圖 5.22 與雷射掃瞄器的溝通與警告訊息的設定之程式畫面

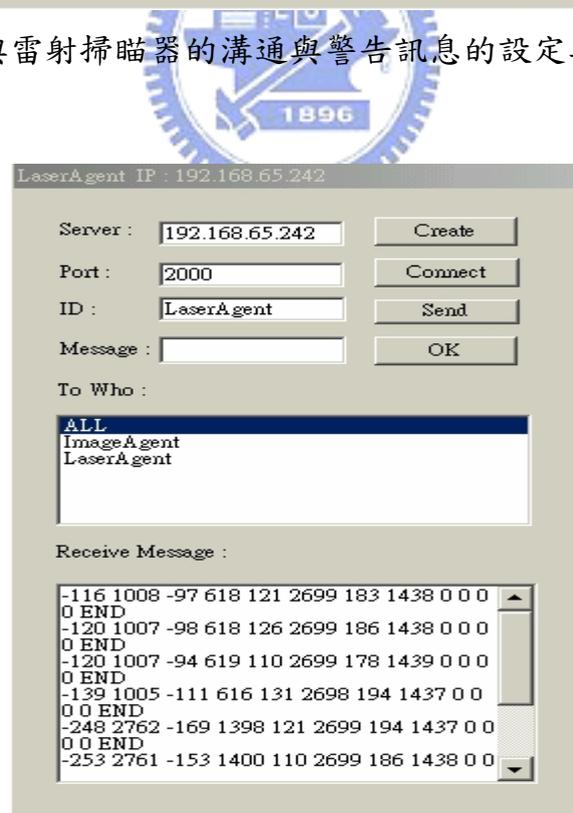


圖 5.23 雷射掃瞄器與溝通管理伺服程式連線設定，及所獲得其它代理人所發出的訊息顯示之程式畫面

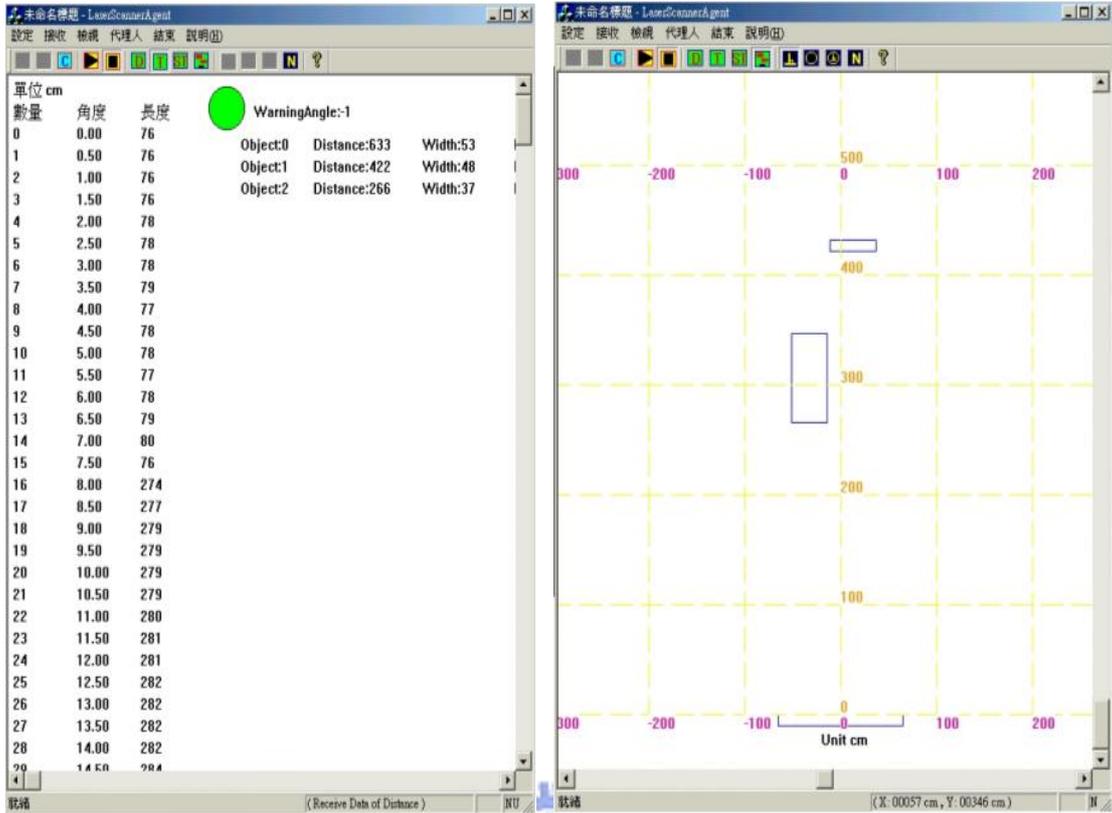


圖 5.24

圖 5.25

Laser scanner agent 文字模式畫面

Laser scanner agent 前方物體模式畫面

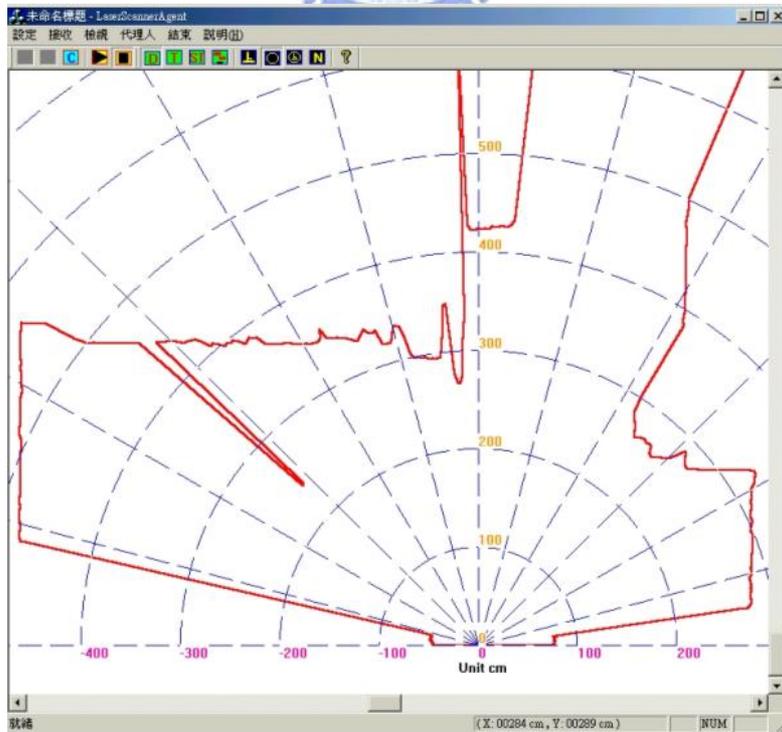


圖 5.26 Laser scanner agent 繪圖模式畫面

簡單的溝通管理伺服程式，其程式目前只負責傳遞代理人所發出的訊息，及簡單的註冊管理，其資料傳遞格式為自定格式，程式畫面如圖 5.27 所示，其主要任務在溝通各代理人的訊息，此程式仍有許多可以加強的地方，如代理人管理、溝通架構與格式、……等，可讓增加系統的擴充性，使系統更加完備。

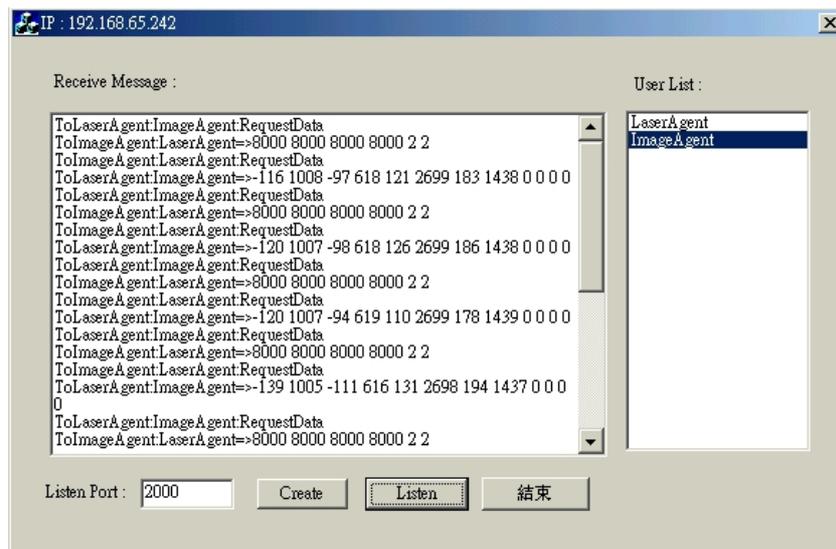


圖 5.27 影像及雷射掃瞄器代理人溝通管理伺服程式

在整系統的處理速度方面，以 P4 1.3 GHz 的筆記型電腦以軟體方式處理，其處理速度在 CCD 方面，每秒約可以處理 7~12 張圖，而雷射掃瞄器方面，在一次距離資訊的處理約為 100 ms ~ 200 ms 間，若以整體處理速度大約 0.15 秒來看，應足適時的提出警告，但仍需視車速與希望預防多少意外的發生。一般來說，若預先在 0.5 秒前發警報則可預防 30%~60% 的意外，若在 1.0 秒前發警報則可預防 60%~90% 意外[34]。若車輛有危險的情況時，且以等速度前進時將在行駛 20 公尺後會有意外發生，若要降低至少 30%~60% 的意外，則其車子的速限為時速 120 公里，若要降低至少 60%~90% 的意外，則其車子的速限為時速 65 公里，當然若要預防更短距離的意外時，其速限自然更低。若將來我們以更高等級的電腦來作處理，

或以硬體的方式實現將可更快且處理速度更穩定。最後，利用多代理人溝通合作觀念，來改善系統穩健性及處理效能的一些簡單的結果，如表 5.1 所示及整系統的程式流程之示意圖，如圖 5.28 所示。

表 5.1 代理人溝通合作後，其改善結果

	利用多代理人溝通 合作之效果	說明
適時停止不必要的偵測 (如、在沒有前車時 停止前方車輛偵測)	處理一張影像的時間： 由平均大約 150 ms 降低 到 90 ms	Case 1、2 和 5
利用雷射掃瞄器代理人所 提供的資料輔助車輛偵測	減少運算時間及錯誤的 發生	Case 3 和 6
警告訊息方面	發生錯誤警告的情形減 少	Case 4、7 和 8
車道線偵測方面	車道線偵測錯誤的情形 降低	Case 2 和 5
前方車輛偵測方面	車輛偵測錯誤的情形降 低	Case 1、2、3 和 6

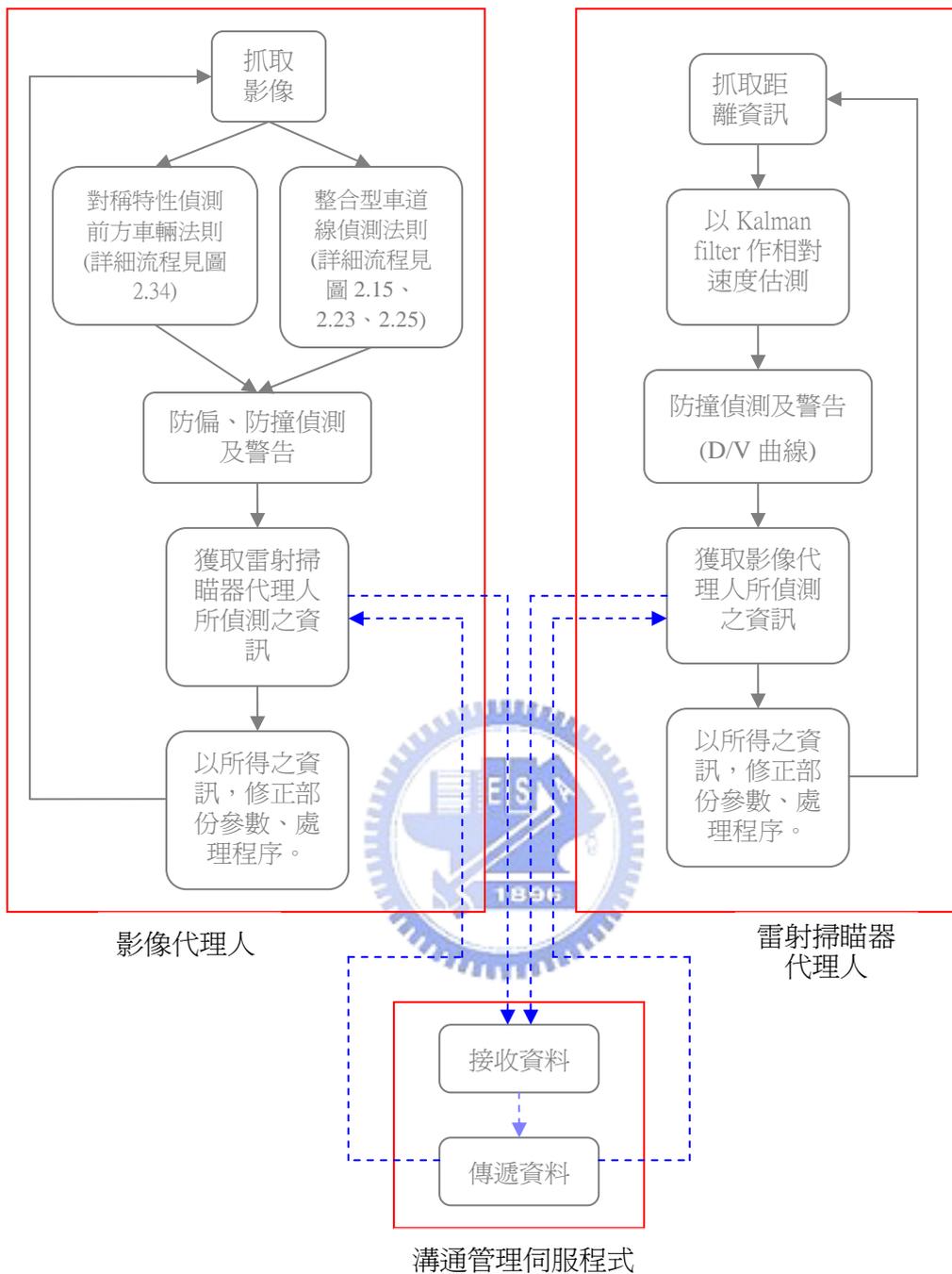


圖 5.28 系統程式流程

## 第六章 結論與未來發展

### 6.1 結論

本論文利用多代理人(MAS)溝通合作之觀念，整合了影像與雷射掃瞄器，實現車道線與車輛偵測和防偏以及前方防撞警報系統上，對駕駛者提供一個輔助功能，以減少車輛偏離車道與碰撞的發生。本論文中，在影像處理、雷射掃瞄器的應用與系統整合三方面之貢獻如下：

一、影像處理方面提出了：

1、整合型車道線偵測方法，具有較高的辨識率、即時性與較能適應各種外界情況，其包含：

(1)以 IPM 之車道線偵測方法，作為動態視窗的定位：

主要應用 IPM 法則來移除透視效果與減少部份雜訊，如此能使得車道線的偵測更加容易，且獲得較高的辨識率及能適應各種情況。

(2)利用動態視窗偵測方法，作為車道線的追蹤動作：

此方法由於處理範圍小，並利用一系列(I)車道線灰階值水平分布特徵，(II)二值化，(III)形態擴張與細化，可以減少不必要的雜訊，如此能迅速、確實的定義出車道線。

2、前方車輛偵測方法，主要找出灰階影像、邊的影像、水平邊的影像及垂直邊的影像，再利用影像的對稱特性，計算灰階、邊、水平邊與垂直邊，其對稱值總和較高數個，利用此能快速找出前方可能為車輛的位置，之後，再進一步搜尋車輛下緣形狀特徵，作進一步的確認是否為前方車輛，如此能快速，簡易的定位出前方車輛。

## 二、雷射掃瞄器的應用方面：

- 1、利用簡單的原點變換，建立六個虛擬的雷射掃瞄器，來擴展原本利用 Kalman filter 與 D/V 曲線之警告法則的範圍，提升偵測車前防撞之正確性。

## 三、系統整合方面：

- 1、引入多代理人溝通合作的觀念，將整合影像與雷射掃瞄器代理人，於自行開發之簡單的溝通管理平台，能確實減少如本論文 4.2 節所提到的，單一的影像或雷射雷射掃瞄器，無法解決單獨的問題 (Case 1 ~ Case 8)，互補各兩者間不足的地方，並由於溝通管理平台的建立，更容易增加其它代理程式，使得系統更具有彈性。

## 6.2 未來發展

- 1、目前在影像與雷射掃瞄器的處理方面，我們是以 PC based 來實現，但在未來發展可以將其移植到其微電腦處理器上，如、DSP 等，這更能更確保其即時性，也較節省成本且較實用，另外亦能解決在 Windows 下，因系統有時使用部份資源去執行其它程式，造成處理速度並不是都維持一定。
- 2、在車道線偵測可以針對夜間辨識率較差再作改善，使其成為具有高辨識率、即時性與全天候的偵測法則。
- 3、在代理人溝通合作方面，目前只是使用相當簡單的伺服程式，在其管理與延展性上並不完備，因此，建立一個良好溝通管理的伺服平台，可以使得系統更加完善。
- 4、由所得的車道線與前方車輛的資訊，再加入相關車輛控制，以達到自動駕駛的目的。

## 參考文獻

- [1] M. Tomizuka, “Advanced Vehicle Control Systems (AVCS) Research for Automated Highway Systems in California Path”, *Proceedings of the IEEE Vehicle Navigation and Information Systems*, pp. 41-45, 1994.
- [2] S. E. Shladover, “Research and Development Needs for Advanced Vehicle Control Systems”, *IEEE Micro*, Vol. 13, pp. 11-19, Feb., 1993.
- [3] 電子公共安全，交通運輸管理，全年交通事故肇事原因統計表  
[http://www.motc.gov.tw/business\\_5\\_1a3.htm](http://www.motc.gov.tw/business_5_1a3.htm)
- [4] M. Heller, “Vehicle Lateral Guidance Using Vision, Passive Wire and Radar Sensors”, *Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation and Information Systems*, pp. 505-508, 1993.
- [5] T. Fukae, N. Tamiya and H. Mandai, “Lateral Distance Measurement Using Optical Spread Spectrum Radar”, *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1-6, 1996.
- [6] R. Larsen, “AVCS: An Overview of Current Applications and Technology”, *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 152-157, 1995.
- [7] M. Chen, T. Jochem and D. Pomerleau, “AURORA: A Vision-Based Roadway Departure Warning System”, *Proceedings of the IEEE Intelligent Robots Systems*, Vol. 1, pp. 243-248, 1995.
- [8] W. Kwon, J. W. Lee, D. Shin, K. Rod, D. Y. Kim, S. Lee, “Experiments on Decision Making Strategies for a Lane Departure Warning System”, *Proceedings of the IEEE Robotics and Automation*, Vol. 4, pp. 2596-2601, 1999.

- [9] T. Pilutti and A. G. Ulsoy, "Decision Making for Road Departure Warning Systems", *Proceedings of the IEEE American Control Conference*, Vol. 3, pp. 1838-1842, 1998.
- [10] K. A. Redmill, "A Simple Vision System for Lane Keeping", *IEEE Intelligent Transportation System*, pp. 212-217, 1997.
- [11] S. Tsugawa, "Vision-Based Vehicles in Japan: Machine Vision Systems and Driving Control Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 41, pp. 398-405, Aug., 1994.
- [12] R. Chapuis, R. Aufrere and F. Chausse, "Accurate Road Following and Reconstruction by Computer Vision", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 3, pp. 261-270, Dec. 2002.
- [13] 鄭旭原, 適應天候亮度之車輛防偏即時影像系統, 國立交通大學 電機與控制工程學系 碩士論文, 2001.
- [14] S. Kyo, T. Koga, K. Sakurai and S. Okazaki, "A Robust Vehicle Detecting and Tracking System for Wet Weather Conditions using the IMAP-VISION Image Processing Board", *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems*, pp. 423-428, 1999.
- [15] 陳致成, 智慧型 CAN-based 汽車雷達防撞警告系統, 國立交通大學 電機與控制工程學系 碩士論文, 2003.
- [16] H. Godthelp et al., "The development of a time-related measure to describe diving strategy", *Human Factors*, Vol. 26, pp. 257-268, 1984.
- [17] A. Broggi, "Robust Real-time Lane and Road Detection in Critical Shadow Conditions," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer Vision*, pp. 353-358, 21-23 Nov. 1995.
- [18] M. Bertozzi, A. Broggi, and A. Fascioli, "Stereo Inverse Perspective Mapping: Theory and Applications," *Image and Vision Computing*

- Journal*, 1998.
- [19] K. Kluge and S. Lakshmanan, "A Deformable-Template Approach to Lane Detection", *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 54-59, 1996.
- [20] J. Gangyi, C. Yanhua, Y. Mei and Z. Yi, "Approach to Lane Departure Detection", *International Conference on Signal Processing*, Vol. 2, pp. 971-974, 2000.
- [21] Web Site: [nhtsa.org](http://nhtsa.org)
- [22] T. Zielke, M. Brauckmann, and W. Seelen, "Intensity and Edge-Based Symmetry Detection with an Application to Car-Following", *CVGIP : Image Understanding*, Vol. 58, pp. 177-190, 1993.
- [23] J. Leuven, M. B. van Leeuwen and F. C. A. Groen, "Real-Time Vehicle Tracking in Image Sequences", *Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Vol. 3, pp. 2049-2054, May 2001.
- [24] T. Kato, Y. Ninomiya and I. Masaki, "Preceding Vehicle Recognition Based on Learning From Sample Images", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 3, pp. 252-260, Dec. 2002.
- [25] H. Kunsoo, S. Chanwon, K. Joonyoung and H. Daegun, "An Experimental Investigation of a CW/CA System for Automobiles Using Hardware-in-the-Loop Simulations," *Proceedings of the IEEE American Control Conference*, Vol.1, pp. 724-728, June 1999.
- [26] W. Shen, "Distributed Manufacturing Scheduling using Intelligent Agents", *IEEE Intelligent Systems*, Vol 17, pp. 88-94, Jan.-Feb. 2002.

- [27] L. Wang, S. Balasubramanian, D. H. Norrie and R. W. Brennan, “Agent-Based Control System for Next Generation Manufacturing”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 78-83, 14-17 Sept. 1998.
- [28] J. C. Fraile, C. J. J. Paredis, C. H. Wang and P. K. Khosla, “Agent-Based Planning and Control of a Multi-Manipulator”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1219-1225, 10-15 May 1999.
- [29] N. R. Jennings and S. Bussmann, “Agent-Based Control Systems”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23, pp. 61-73, June 2003.
- [30] H. Wang and C. Wang, “Intelligent Agents in the Nuclear Industry”, *Computer*, Vol. 30, pp. 28-31, Nov. 1997.
- [31] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*. New York: Academic, 1982.
- [32] S. M. Bozic, *Digital and Kalman Filtering*, Second Edition, Edward Arnold, 1994.
- [33] K. V. Ramachandra, *Kalman Filtering Techniques for Radar Tracking*, Marcel Dekker, Inc, 2000.
- [34] 歐文雄、歐家駿, “工業電子學”, 全華圖書, 四月, 1992.