

國立交通大學

電機學院 電機與控制學程

碩士論文

以單眼視覺演算實現倒車障礙物偵測與距離估測

Monocular Vision-based Obstacle Detection and
Distance Estimation for Reverse Parking

研究生：李維民

指導教授：蕭得聖 教授

中華民國 九十八 年 九 月

以單眼視覺演算實現倒車障礙物偵測與距離估測

Monocular Vision-based Obstacle Detection and
Distance Estimation for Backward parking

研究生: 李維民

Student: Wei-Min Lee

指導教授: 蕭得聖 博士

Advisor: Dr. Te-Sheng Hsiao

國立交通大學

電機學院 電機與控制學程



A Thesis

Submitted to College of Electrical and Computer Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Electrical and Control Engineering

Sept. 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十八 年 九 月

以單眼視覺演算實現倒車障礙物偵測與距離估測

研究生：李維民

指導教授：蕭得聖 博士

國立交通大學 電機學院 電機與控制學程碩士班

摘 要

依據 Strategy Analytics 的估算，2006 年全球停車安全輔助系統市場規模約為 6.19 億美元，估計至 2013 年時市場規模可望達到 10.22 億美元。目前市售車針對停車輔助系統，均利用單顆 CCD/CMOS 廣角相機，在考量不改變原有車上裝配，我們即以單顆 CCD/CMOS 廣角相機發展障礙物偵測與距離估測演算法。

障礙物之定義為：當駕駛者所駕駛之車輛，發生碰撞時，會造成車體損傷與生命威脅之物體皆定義為障礙物。但障礙物種類繁多，倒車環境背景複雜，所以必須要有適當特徵來描述障礙物，因此利用大部份障礙物皆有的底部陰影，與物體邊緣特性，作為是否有障礙物存在依據。依據此方法實現之障礙物偵測，可偵測至少達到 4 種以上障礙物。

距離估測是利用透視投影、座標平移與旋轉技巧，建立二維地面座標與二維影像座標間之關係，並利用魚眼數學模型，建立二維影像座標與二維失真影像(整數)座標關係。關係建立正確後，即可利用二維的失真影像座標求得二維地面座標的距離值。依據實驗結果，距離估測精確度可達公分等級，且誤差小於十公分。

Monocular Vision-based Obstacle Detection and Distance Estimation for Reverse Parking

Student: Wei-Min Lee

Advisor: Dr. Te-Sheng Hsiao

Degree Program of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

According to the report of Strategy Analytics in 2006, there is an amount of US\$619-million market for worldwide parking safety assistance systems. It is estimated that the amount will rise to US\$1.022 billion in 2013. The cars currently available in the market are equipped with a monocular CCD/CMOS wide angle camera for their parking assistance system. To comply with current vehicular specifications, this configuration is also adapted in this study.

Obstacles are defined as items that could cause car damage and/or human injuries in collisions. However, there are many types of complex obstacles and settings where reverse parking occurs, so a sufficiently large number of categories are required when describing these obstacles. Thus, the shadow below the obstacles and their edges could be used to detect the presence of obstacles. Using this method, one could detect more than 4 types of obstacles at a time.

Distance estimation uses perspective projection, coordinate shifting

and rotating techniques to establish the relationship between the 2D ground coordinates and the 2D image coordinates, and uses a fish-eye mathematical mode to establish the relationship between the 2D image coordinates and the 2D lossy images (whole numbers) coordinates. After confirming their relationship, the distance value of the 2D lossy image coordinates and the 2D ground coordinates could be used. According to the results of the study, the accuracy rate of the distance estimation could be as close as a few centimeters, and the deviation range could be as small as 10 centimeter.



誌 謝

非常感謝指導教授-蕭得聖博士，兩年多的細心指導，使我得以進入影像處理的專業領域。影像處理是一門豐富、生動且專業的學問，透過與蕭老師每周的討論，使我一步一步的建立與修正自己的研究方向，並利用 Matlab M-File 撰寫程式，實現障礙物偵測與距離估測演算法。也感謝國立交通大學提供豐富的教學環境與圖書資源，使我兩年多的學習生涯獲益匪淺。

研究論文能夠完成，特別要感謝中央大學-曾定章教授與中華大學-黃雅軒教授，在百忙之中抽空擔任口試委員，經由兩位教授的指導與修正，使本論文能夠更為完整。

兩年多的學習日子，更要感謝幫助過我的所有人，感謝我的老婆-姍儒，對我的鼓勵與包容，以及工研院的部門經理-黃立恭與同事-隆泰、國祥、協泰、晏樹、山川、信良、永易和志哲，在生活上的鼓勵與工作上的幫助，使我得以順利完成學業。另外很高興，在求學的過程中，認識了實驗室的學長-永洲、暉鈞、宗明、毅泓和昭明與同學-東欣、茂樵、志誠和念冀，非常感謝學長與同學們寶貴的意見與鼓勵。最後僅以此文獻給所有關心我的人。

李維民 謹識

中華民國九十八年九月

新竹 交大

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	viii
表目錄	xi
符號說明	xii

第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究方法	3
1.4 論文貢獻	5
1.4.1 障礙物偵測演算法	5
1.4.2 影像距離估測演算法	6
1.5 論文架構	7

第二章 文獻回顧與基礎理論	8
2.1 文獻回顧	8
2.1.1 障礙物偵測	8
2.1.2 資料分群	11
2.1.3 Hough Transform	11
2.1.4 影像距離估測	12
2.2 數位影像處理技術理論	12
2.2.1 平滑空間濾波器	13
2.2.2 邊緣檢測濾波器	14
2.2.3 膨脹與侵蝕	16
2.2.4 DBSCAN	17

2.2.5	Hough Transform 之直線偵測	20
第三章	系統功能與架構	23
3.1	倒車環境與狀況分析	23
3.2	系統功能描述	25
3.2.1	多目標障礙物偵測	25
3.2.2	影像距離估測	26
3.3	系統硬體架構	26
3.4	嵌入式系統硬體設計	27
第四章	多目標障礙物偵測	28
4.1	前言	28
4.2	障礙物偵測演算法架構	30
4.3	影像前處理	32
4.3.1	影像色彩轉換	32
4.3.2	影像資訊與 ROI 設定	33
4.3.3	Peak and Valley Filter	34
4.4	動態閾值設定	37
4.4.1	閾值設定演算法	37
4.4.2	Sobel Edge Detection	38
4.4.3	原始影像灰階統計	40
4.5	特徵點擷取	42
4.5.1	影像二值化	42
4.5.2	孤立點濾除	43
4.5.3	形態學-膨脹	44
4.5.4	雜訊清除	45
4.6	障礙物分割	46
4.7	障礙物描述	48

第五章	影像距離估測	49
5.1	前言	49
5.2	影像距離估測演算法架構	50
5.3	魚眼失真	52
5.4	透視投影轉換	53
5.4.1	相關參數與座標定義	53
5.4.2	幾何光學模型	53
5.4.3	魚眼相機數學模型	55
5.4.4	魚眼相機數學公式推導	56
5.5	座標轉換	58
5.5.1	座標系統定義	59
5.5.2	相機座標平移	61
5.5.3	相機座標旋轉	62
5.5.4	二維失真影像座標與三維車輛座標關係建立	63
5.5.5	反透視投影	64
第六章	實驗結果與分析	65
6.1	影像距離估測實驗結果與分析	65
6.1.1	影像距離計算方程式	65
6.1.2	實驗參數設定	66
6.1.3	影像距離估測實驗結果	66
6.1.4	影像距離估測實驗結果分析	68
6.2	障礙物偵測實驗結果與分析	71
6.2.1	障礙物偵測實測影像	71
6.2.2	障礙物偵測實驗結果	75
6.2.3	障礙物偵測實驗結果分析	78

第七章	結論與未來展望	79
7.1	結論	79
7.2	未來展望	80
參考文獻		81
附錄	影像處理硬體電路設計	86
簡歷		93



圖目錄

圖 1.1	實驗流程圖	3
圖 2.1	影像中局部像素放大示意圖	12
圖 2.2	平均濾波器遮罩係數	13
圖 2.3	圖 2.1 所示影像中像素值	14
圖 2.4	Sobel 的邊緣檢測遮罩	14
圖 2.5	Prewitt 的邊緣檢測遮罩	15
圖 2.6	拉普拉斯的邊緣檢測遮罩	15
圖 2.7	邊緣檢測濾波器運算結果	15
圖 2.8	密度式分群的密度可達與密度相連	18
圖 2.9	DBSCAN 演算法流程圖	19
圖 2.10	斜截式直線方程式之參數空間	20
圖 2.11	XY 平面與 (r, θ) 關係示意圖	21
圖 2.12	(r, θ) 參數平面與線段關係示意圖	21
圖 2.13	將 (r, θ) 參數平面分割成累計方格	22
圖 3.1	硬體環境示意圖	27
圖 4.1	日間倒車環境(柏油路)	28
圖 4.2	夜間倒車環境	28
圖 4.3	日間倒車環境(方形磚)	29
圖 4.4	日間倒車環境(路面陰影)	29
圖 4.5	日間倒車環境(路面積水)	29
圖 4.6	地下室倒車環境(地面反光)	29
圖 4.7	障礙物偵測演算法架構示意圖	31
圖 4.8	彩色影像	32
圖 4.9	灰階影像	33
圖 4.10	影像資訊與 ROI 設定區域示意圖	33

圖 4.11	One-dimensional peak-and-valley filter performance ---	35
圖 4.12	實驗結果-加入 5%的胡椒鹽雜訊-----	36
圖 4.13	實驗結果-加入 15%的胡椒鹽雜訊-----	36
圖 4.14	閾值設定演算法流程圖-----	37
圖 4.15	Sobel 的邊緣檢測遮罩(a)水平(b)垂直-----	38
圖 4.16	利用 Sobel 偵測水平邊緣結果(日間)-----	38
圖 4.17	利用 Sobel 偵測水平邊緣結果(夜間)-----	38
圖 4.18	Sobel 水平遮罩運算結果的灰階統計圖(日間)-----	39
圖 4.19	Sobel 水平遮罩運算結果的灰階統計圖(夜間)-----	39
圖 4.20	Sobel 運算後大於 50 的像素位置示意圖(日間)-----	40
圖 4.21	圖 4.19 白點位置對應至原始影像位置的灰階統計圖(日間)-----	40
圖 4.22	Sobel 運算後大於 35 的像素位置示意圖(夜間)-----	41
圖 4.23	圖 4.21 白點位置對應至原始影像位置的灰階統計圖(夜間)-----	41
圖 4.24	特徵擷取結果(日間)-----	42
圖 4.25	特徵擷取結果(夜間)-----	43
圖 4.26	孤立點濾除結果(日間)-----	43
圖 4.27	孤立點濾除結果(夜間)-----	43
圖 4.28	經過膨脹運算處理之影像(日間)-----	44
圖 4.29	經過膨脹運算處理之影像(夜間)-----	44
圖 4.30	雜訊清除結果(日間)-----	45
圖 4.31	雜訊清除結果(夜間)-----	46
圖 4.32	改良式 DBSCAN 之密度可達與密度相連示意圖-----	46
圖 4.33	障礙物偵測結果(日間)-----	47
圖 4.34	障礙物偵測結果(夜間)-----	48
圖 5.1	影像距離估測數學模型示意圖-----	51
圖 5.2	魚眼鏡頭成像示意圖-----	52
圖 5.3	魚眼影像示意圖(a)原始影像(b)筒狀變形影像-----	52

圖 5.4	相機成像示意圖-----	53
圖 5.5	相機座標與影像平面座標關係-----	54
圖 5.6	影像座標系統示意圖-----	54
圖 5.7	魚眼相機數學模型示意圖-----	55
圖 5.8	右手座標系統示意圖-----	59
圖 5.9	相機座標系統示意圖-----	59
圖 5.10	車輛座標系統(側視圖)-----	60
圖 5.11	車輛座標系統(正視圖)-----	60
圖 5.12	相機座標平移示意圖-----	61
圖 5.13	相機座標旋轉示意圖-----	62
圖 6.1	方程式一之距離估測實驗結果-----	67
圖 6.2	方程式二之距離估測實驗結果-----	67
圖 6.3	影像距離估測誤差比較圖(左;紅色框)-----	69
圖 6.4	影像距離估測誤差比較圖(中;綠色框)-----	70
圖 6.5	影像距離估測誤差比較圖(右;藍色框)-----	70
圖 6.6	車輛移動時室外環境實測(日間-路面陰影)-----	71
圖 6.7	車輛移動時室外環境實測(日間-柏油路面)-----	71
圖 6.8	車輛移動時室外環境實測(日間-路面積水)-----	72
圖 6.9	車輛移動時地下停車場環境實測(地下室-路面反光)--	72
圖 6.10	車輛移動時室外環境實測(日間-方形磚-陰影)-----	72
圖 6.11	車輛移動時室外環境實測(日間-車底陰影凸出)-----	73
圖 6.12	車輛靜止時室外環境實測(日間-行人-陰影)-----	73
圖 6.13	車輛靜止時室外環境實測(日間-車尾靜止車輛)-----	73
圖 6.14	車輛靜止時室外環境實測(夜間-有路燈-行人)-----	74
圖 6.15	車輛移動時停車場環境實測(夜間-日光燈-地面反光)-	74
圖 6.16	車輛移動時室外環境實測(夜間-無路燈)-----	74
圖 6.17	車輛移動時室外環境實測(夜間-無路燈)-----	75
圖 6.18	車輛移動時室外環境實測(日間-機車-陰影)-----	75

表目錄

表 1.1	96 年道路交通事故受傷致死率-肇事原因別-----	1
表 1.2	實驗設備整理表-----	4
表 2.1	障礙物偵測技術分析表-----	9
表 3.3	倒車環境與狀況分析表-----	24
表 5.1	影像距離估測數學模型功用說明表-----	50
表 6.1	實驗參數表-----	66
表 6.2	影像距離估測分析比較表(左;紅色框)-----	68
表 6.3	影像距離估測分析比較表(中;綠色框)-----	68
表 6.4	影像距離估測分析比較表(右;藍色框)-----	69
表 6.5	障礙物偵測狀況整理表-----	75
表 6.6	障礙物偵測結果統計表-----	76



符號說明

$f(x,y)$	定義影像為一個二維函數
x 和 y	為空間座標， f 為影像在 (x,y) 的灰階強度值
R	遮罩係數和遮罩係數中所對應之影像像素乘積和
Z_i	影像中對應到遮罩係數的灰階值
$A \oplus B$	A 被 B 膨漲
$A \ominus B$	A 被 B 侵蝕
Eps	圓的半徑
MinPts	最低個體數目
Y	亮度值
R	RGB 格式中紅色的主要頻譜成分
G	RGB 格式中綠色的主要頻譜成分
B	RGB 格式中藍色的主要頻譜成分
$P_i(X_i, Y_i)$	影像上理想無失真之影像座標系統
$P_d(X_d, Y_d)$	影像上失真(實數)之影像座標系統
$P_f(X_f, Y_f)$	影像上整數(儲存於記憶體中)之影像座標系統
$P_c(X_c, Y_c, Z_c)$	相機座標系統
$P_v(X_v, Y_v, Z_v)$	車輛座標系統
f	焦距
dx	影像感測器中感測器水平方向之距離
dy	影像感測器中感測器垂直方向之距離
C_x	影像上水平像素的中心位置
C_y	影像上垂直像素的中心位置
S_x	Image Scale Factor
N_{xc}	X 方向上共有 N_{xc} 個感測器

N_{fx}	電腦上 X 方向的解析度
p	物距
q	相距
$R_{x,\theta}$	旋轉距陣，對 x 軸旋轉 θ 角
$T_{y,H}$	平移距陣，對 y 軸平移 H
θ	Camera 光軸與地面夾角
H	Camera 安裝之高度(距離地面)



第一章 緒論

1.1 研究動機

近年來，國內外各大車廠，皆積極加強車輛安全性的操控，希望藉由電子化技術，減少交通事故發生，據警政署統計，台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆高達三千人左右，而受傷的人數則約略為二十萬人，以民國九十六年為例，參考表一，台灣地區因交通事故導致死、傷的人數各為 2,573 及 219,500 人，其中因倒車或停車操作時，未注意其他車(人)安全，所導致死亡人數為 24 人、受傷人數為 2224 人。分析國內交通事故肇事原因，百分之九十七以上皆為駕駛者注意力不集中或分心導致事故的發生。

據戴姆勒-賓士(Daimiel-Benz)汽車之研究，如果駕駛者能在事故發生前 0.5 秒先接受到警示，百分之六十的追撞類事故是可以避免，如果能提早 1 秒鐘警示駕駛者，更可以避免百分之九十的後方追撞。根據戴姆勒-賓士(Daimiel-Benz)汽車之研究結果，發生追撞事故通常車速較快，而通常倒車及停車時，車速較慢，若能提早警示駕駛者有移動物體接近，或是提早警示駕駛者即將接近靜態之障礙物，因可大幅降低倒車或停車操作時，未注意其他車(人)安全，所導致之事故發生率。

表 1.1 96 年道路交通事故受傷致死率-肇事原因別

單位：人；%

肇事原因	事故類別		死 + 傷			$\frac{\text{死}}{\text{死} + \text{傷}} \times 100$
	死	構成比	死	傷	構成比	
總計	2,573	100.00	219,500	216,927	100.00	1.17
未依規定讓車	295	11.47	49,444	49,149	22.53	0.60
轉彎(向)不當(含左、右、迴轉)	98	3.81	22,801	22,703	10.39	0.43
未注意車前狀態	469	18.23	31,469	31,000	14.34	1.49
違反號誌、標誌管制	211	8.20	25,721	25,510	11.72	0.82
未保持安全距離、間隔	103	4.00	17,579	17,476	8.01	0.59
酒醉(後)駕駛失控	576	22.39	12,775	12,199	5.82	4.51
未依規定減速	48	1.87	2,206	2,158	1.01	2.18
逆向行駛	70	2.72	5,056	4,986	2.30	1.38
超速失控	92	3.58	2,407	2,315	1.10	3.82
起步未注意其他車(人)安全	25	0.97	4,564	4,539	2.08	0.55
違規超車	28	1.09	2,512	2,484	1.14	1.11
倒車未依規定	23	0.89	1,880	1,857	0.86	1.22
疲勞(患病)駕駛失控	14	0.54	859	845	0.39	1.63
爭(搶)道行駛	2	0.08	588	586	0.27	0.34
停車操作時，未注意其他車(人)安全	1	0.04	368	367	0.17	0.27

1.2 研究目的

停車輔助系統由最初的超音波雷達警示系統，發展至目前的影像式停車輔助系統，影像式停車輔助系統雖可即時觀看車後影像畫面，但影像式停車輔助系統僅有車後方畫面顯示，較先進之影像式停車輔助系統也僅有動態倒車軌跡線，並無障礙物警示功能，目前障礙物警示功能依然需依賴超音波雷達警示系統，但車用超音波雷達警示系統可偵測範圍最遠僅 1.5m~2m 的範圍，在此範圍內，一般分為三段的聲音警示，但駕駛者很難判斷障礙物的方位及距離。

根據 IMS Research 公司汽車研究部總監 Jon Cropley 表示：「攝影機駕駛輔助系統的新興車用市場規模，預計將從 2010 的 9.41 億美元成長至 2014 年的 25.87 億美元。而推動汽車產業革新的重要動力將來自於，從只提供駕駛影像的簡單型攝影機系統，到能及時告知駕駛可能發生車禍的精密碰撞警告系統之需求成長。」

若能利用車後即時影像，得知障礙物位置，並加以警示，將是最直觀之方式，車後即時影像不僅可以讓駕駛者判斷障礙物方位，且可偵測範圍將更廣且更遠。

本篇論文目的，即是提出一種可利用一般倒車 CCD/CMOS 廣角相機，偵測車輛後方障礙物位置，將其標示突顯出來，進一步估測障礙物與駕駛者所駕駛車輛間相對距離。

1.3 研究方法

圖 1.1 為研究方法流程，其中連續影像是利用三菱-Zinger 車款所錄製之車後連續影像，取像設備為市售倒車 CCD/CMOS 相機。研究所需實驗設備請參考表 1.2。 .AVI 影像檔案格式須先轉換為 .BMP 連續圖檔，再利用 MATLAB 合成 .mat 檔案格式，進行影像處理程序演算法，最後輸出障礙物偵測與距離估測結果。

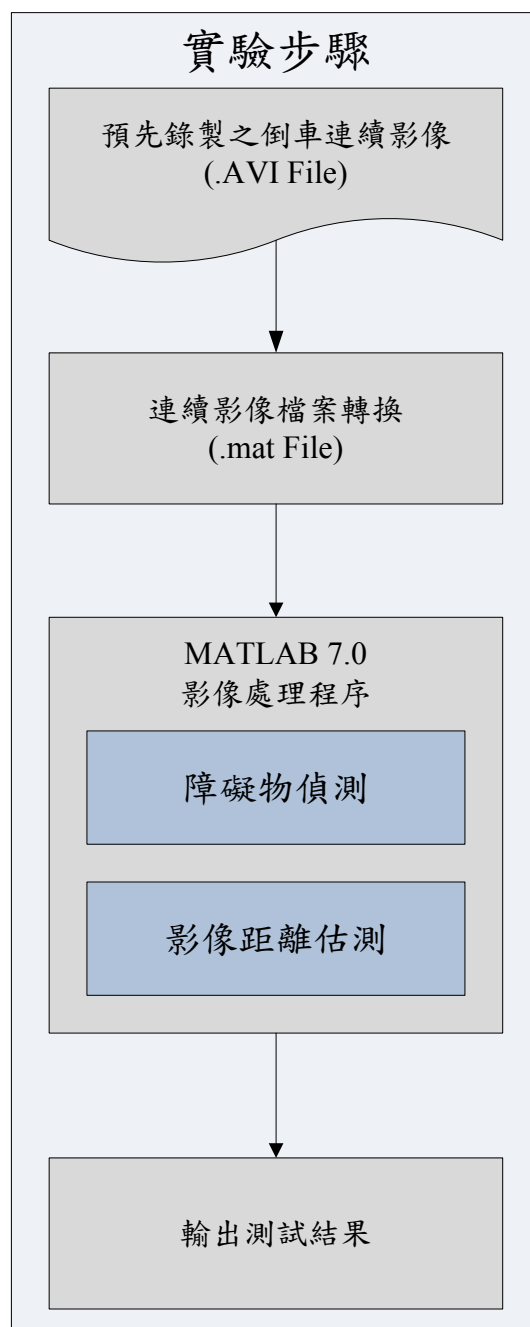


圖 1.1 實驗流程圖

表 1.2 實驗設備整理表

Item	設備名稱	數量	型號	說明
1	休旅車	1	三菱汽車 - Zinger	所有實驗影片，皆使用 Zinger，實際錄製。
2	車用倒車 CCD	1	合盈 - VN2105	取像設備
3	車用 7"LCD 螢幕	1	NECVOX FD-7569	錄製影片時，顯示畫面使用。
4	錄影設備	1	TV-LaBaie V120-NTSC	錄製影像用設備。
5	筆記型電腦	1	Acer TravelMate 250-EXV 出廠年份：2003	應用 MATLAB7.0，設計影像處理程序演算法。

1.4 論文貢獻

本論文貢獻在於建立障礙物偵測與影像距離估測演算法，該演算法可應用於倒車環境。以下將詳細介紹演算法中各步驟，相對於標準之影像處理技術的比較，我們所提出之方法有何優點：

1.4.1 障礙物偵測演算法

➤ 動態閾值設定：

一般影像處理常會使用 Sobel 的邊緣偵測技術，找出影像中屬於邊緣的特徵位置。與 Sobel 邊緣偵測技術比較，本論文所提出之動態閾值設定，具有以下優點：

- 可有效偵測出障礙物之邊緣，且該邊緣於影像中的灰階強度。
- 相較於 Sobel 邊緣偵測技術，本論文所提出之動態閾值設定具有較快速的處理速度。
- 動態閾值設定之方法，可將單純的地面陰影濾除。

➤ 改良式之 DBSCAN：

DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise)，是一種以密度為基礎的空間分群演算法。DBSCAN 在計算密度時，必須設定兩個參數，分別為半徑(Eps)，和以 EPS 為半徑之圓內，最少的特徵點數(MinPts)。所以 DBSCAN 運算時，必須一直重複計算兩個特徵點間距離，若障礙物多時，則有相當多的運算時間花在計算距離上，所以本論文重新定義 DBSCAN 對於密度的計算方法，改良後之 DBSCAN 可有效加快分群演算法之處理速度，可參考 4.6 節。

- 利用本方法所實現之障礙物偵測演算法優點整理如下：
 - 單一影像即可偵測，無需利用兩張以上影像。
 - 單一影像感測器即可實現，且可搭配廣角鏡頭。
 - 使用廣角鏡頭偵測障礙物，無需經過魚眼校正演算法處理。
 - 根據實驗結果，可偵測之障礙物類型多種，不設限目標及形體，根據實驗結果可偵測汽車、機車、行人、駁坎、矮樹。
 - 根據實驗結果，若地面單純，偵測準確率可達到 90% 以上。

1.4.2 影像距離估測演算法

影像距離估測是利用透視投影建立三維相機座標與二維影像座標間之關係，但因為系統發展所使用相機為 150 度的廣角鏡頭，所以利用魚眼數學模型，建立二維影像座標與二維失真影像(整數)座標關係。得到二維失真影像座標與三維相機座標間關係後，利用座標平移與旋轉技巧，建立三維相機座標與三維真實車輛座標關係，關係建立正確後，即可利用二維的失真影像座標求得二維真實車輛座標的地平面距離值。

- 利用本方法所實現之影像距離估測演算法優點整理如下：
 - 影像中任意位置皆可計算距離。
 - 可使用任意鏡頭，可為廣角或非廣角鏡頭，更換鏡頭需重新設定參數。
 - 根據實驗結果，估測距離與實際距離之絕對值誤差小於 10cm。

1.5 論文架構

本篇論文共分為七個章節：

第一章為緒論，主要說明研究動機、目的與方法。

第二章為文獻回顧與基礎理論，對近期發表的相關論文進行整理，並詳細描述本論文所使用的影像處理技術。

第三章為系統功能與架構，主要探討倒車環境的狀況，並說明系統主要功能。

第四章為多目標障礙物偵測，主要說明如何應用影像處理技巧與圖形識別之流程，探討當駕駛者倒車時偵測後方障礙物的方法，其中包含了影像前處理、特徵擷取、以密度為基礎的分群演算法與障礙物描述。

第五章為影像距離估測，主要說明如何利用魚眼校正與透視投影技術，探討影像平面中二維座標與實際車輛座標中的關係。

第六章為實驗結果與分析，利用實際倒車環境影像，探討演算法的準確度。

第七章為結論及未來展望，針對本篇論文結果做一結論並展望未來可以進行的研究方向與建議。

附錄為影像處理硬體電路設計，針對本篇論文所提出演算法，設計一套可實現該演算法之硬體雛型平台，該硬體雛型平台以 DSP-Based 為基礎，可實現各類型影像處理技術。

第二章 文獻回顧與基礎理論

2.1 文獻回顧

由於政府對行車安全的重視，及國內外各市場分析機構，皆看好汽車電子未來發展，所以國內外皆有電子研發廠商及各大車廠，相繼研發車輛安全相關技術，尤其以利用影像處理技術發展出之產品，很多都已量產上市，也有許多相關文獻，例如：側方車輛超車警示[1]、車道偏移及前車追蹤警示系統[2][3]、交通號誌識別[4][5]、道路上移動車輛偵測[6]...等。相信未來，開車在路上將是非常輕鬆且愉快的事，車輛自動駕駛也許將不會是遙不可及的夢想。以下將針對相關之技術論文分類。

2.1.1 障礙物偵測

有關於障礙物偵測的論文非常多，在車輛視覺安全的領域中，人和車的偵測與識別非常多，但針對單一障礙物的偵測與識別，在車輛安全應用上並不實用，我們可以想像，當我們開一輛車在道路上或倒車時候，我們所碰到的障礙物，種類非常多，針對人或車的偵測與識別已無法滿足目前駕車環境的狀況，所以目前有愈來愈多針對障礙物偵測的論文發表，有的論文使用的是單眼視覺演算法[7][8][9][10][11]、也有利用雙眼視覺演算法[12][13][14][15]和使用多感測器做資料融合的研究[16][17][18][19]，表 2.1 整理部分的障礙物偵測技術。單眼視覺目前已有多種產品應用於車上，但雙眼視覺的技術，目前並沒有已量產的產品應用於車上，主要在於雙眼視覺需要兩顆 CCD/CMOS Camera，在安裝上較不方便，且成本較單眼視覺高，而多感測器的資料融合已可看到，利用影像感測器與 77GHz 毫米波雷達在車輛安全上，應用於車輛的適應性巡航系統，但因為 77GHz 毫米波雷達，單價相當的高，所以此系統通常安裝於高價位的車款上。

表 2.1 障礙物偵測技術分析表

作者	發表時間 (年)	主要技術	實線平台	重要結論
S. Wybo, R. Bendahan, S. Bougnoux, C. Vestri, F. Abad and T. Kakinami	2007	1. 單眼視覺 2. 透視投影轉換	3.0GHz PC	平均偵測準確率可達 88%。
M. Bertozzi, L. Bombini, P. Cerri, P. Medici, P. C. Antonello, M. Miglietta	2008	StereoCamera、Radar and Inertial Sensor 資料融合	1. Pentium 4 at 3.0GHz 2. Image : 640 X 300	Pitch detector : 4 ms Motion Stereo : 43 ms Vehicle detection : 1 ms Pedestrian Detection : 83 ms
Linhui Li, Rongben Wang, Mingheng Zhang	2007	1. 雙眼視覺 2. Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE) algorithm	1. Visual C++ 2. Image : 320 X 240	以實際影像偵測結果作為結論， 未提出辨識率與程式執行時間。
D. Fern´andez, I. Parra, M. A. Sotelo, P. Revenga, S.A´lvarez and M. Gavila´n	2007	1. 雙眼視覺 2. Pitch angle estimation	1. Pentium 4 at 2.4GHz 2. Image : 320 X 240、 20 frames/s	以實際影像偵測結果作為結論， 並比較 Kalman filter estimation and Pitch measurement 的結果。

<p>Wannes van der Mark, Johan C. van den Heuvel, Frans C.A. Groen</p>	<p>2007</p>	<p>1. 雙眼視覺 2. Stereo disparity estimation 3. Ground plane orientation estimation</p>	<p>1. Intel Core 2 computer with a clock speed of 2.66 GHz and 2.0 GB of RAM. 2. Image : 320 X 240 、 20 frames/s</p>	<p>Disparity estimation : 38 ms Stereo reconstruction : 2 ms Positive obstacle detection : 60 ms Positive obstacle clustering : 1 ms Ground orientation estimation : 21 ms Total processing time : 122 ms</p>
---	-------------	--	--	---



2.1.2 資料分群演算法

一般來說，“分群”與“分類”經常被混淆，兩者最大的不同是，分群並不預先設定各群所代表意義，而是藉由每筆資料屬性，將輸入資料分成數個類別，或群集 (Cluster)；而分類則必須先定義各群所代表意義與屬性，並依據資料與各群的相關性進行分類。

資料分群是屬於資料探勘(data mining)之學科，主要分類有分割法 (Partitioning Method)、階層法 (Hierarchical method)、以密度為基礎分群演算法 (Density-base method)、以網格為基礎分群演算法 (Grid-based method) 與以模式為基礎分群演算法 (Model-based method) [20]。

依據以上分類，目前已有許多種分群演算法發展出來，但有許多分群演算法需要先設定分群數目，最為一般人所熟悉之方法像是 K-Mean、C-Mean、KNN... 等。但在倒車環境中，無法預期會有多少障礙物，所以應用於倒車環境中的分群演算法必須要能自動分群，因此利用以密度為基礎的分群演算法，DBSCAN (Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise)[21][22][23][30]。

2.1.3 Hough Transform

Hough Transform 於 1962 年由 P.Hough 提出，並於 1972 年以論文形式發表 [24]。Hough Transform 一般用於直線偵測，有兩種主要形式，一種用斜率表示，另一種使用角度(θ)與半徑(r)來表示，第一種表示方式，最主要的缺點是當直線接近垂直方向時，直線斜率接近無窮大，有無法實作的問題，雖然有學者用斜率與斜率倒數(m 、 $1/m$) 並行的方式來解決此一問題，但大部分的的文獻還是使用第二種方法。Hough Transform 優點就是不必擔心線段的斷裂或雜訊干擾問題。直到後來 Duda 和 Hart 將 Hough 想法應用到圓形偵測上，進一步擴展了 Hough Transform 的應用[25]。

Hough Transform 在車輛影像安全中的應用，主要在於車道線偵測，用於判斷車輛行駛中，是否有偏移車道的狀況，也可利用統計偏移車道的次數，判斷駕駛者精神狀況[31][32][33]。

2.1.4 影像距離估測

目前影像距離估測的方法，大多採用光學幾何法的數學模型，也有利用透視投影[26]技巧推導出的距離估測公式，但不管是何種方式，皆假設透鏡為理想，但實際上透鏡會有輻射效應的影響，一般通稱為魚眼失真。而一般車後 CCD/CMOS Camera 皆為廣角鏡頭，其對角線可視角度可能為 120 度~160 度或更寬，使用廣角鏡頭在距離估測前需先利用魚眼校正[27][28]得到無失真影像，再利用透視投影技術，建立 2D 影像平面與 3D 真實車輛座標之關係，利用此關係可求得與障礙物之間相對距離。

2.2 數位影像處理技術理論

什麼是數位影像?參考圖 2.1，一個影像被定義為一個二維函數 $f(x,y)$ ，其中 x 和 y 是空間座標， f 的大小稱為這幅影像在該點的強度值或灰階值。當 x 、 y 與 f 的大小值都是有限的離散量時，稱這幅影像為數位影像。數位影像是由有限個元素組成，而每個元素有特定位置與數值，這些元素一般稱為像素(Pixel)，而數位影像處理是利用數位電腦或特定用途的嵌入式系統(例如:ARM、DSP 或 FPGA 等...)處理數位影像。以下所介紹數位影像處理技術理論，是針對論文後續所使用的技巧做一描述，想一窺數位影像處理技術全貌，可參考市面上數位影像處理書籍。



圖 2.1 影像中局部像素放大示意圖

2.2.1 平滑空間濾波器

平滑濾波器是用於模糊化和減少雜訊。模糊化用於影像前處理階段，例如：在抽取(大的)物體之前，將影像中小的細節消去；把直線或曲線上的小間隙連接起來等。減少雜訊可以用一個線性濾波器使影像模糊來完成，也可以用非線性濾波來完成。以下列出常用的線性與非線性濾波器：

- 平滑線性濾波器：平均濾波器(averaging filters)或低通濾波器(lowpass filters)

以濾波器遮罩所定義的鄰域中灰階平均值取代影像中的每個像素值。這樣的程序通常會造成影像的模糊化，會將銳利的變化降低。因為隨機雜訊通常在灰階上含有銳利的變化，所以平滑最明顯應用是在減少雜訊。但是，一般邊緣資訊也在灰階上有銳利的變化特性，且幾乎都是影像處理中所想要的特徵，所以平均濾波器有模糊邊緣這個不好的副作用。圖 2.2 為平均濾波器的遮罩，並且可以下式來表示：

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 Z_i$$

其中

R：遮罩係數和遮罩係數下所對應像素乘積的和

Z：影像中對應到遮罩係數的灰階值



$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

圖 2.2 平均濾波器遮罩係數

- 平滑非線性濾波器：排序統計(中間值，最大值與最小值)濾波器

排序濾波器響應建立在濾波器所包圍的影像區域中，其所含像素的排序上，然而由排序結果決定的數值來取代中心像素的值。排序濾波器最有名的例子為中值濾波器，(Median Filter)。中值濾波器相當受歡迎，因為對於某種隨機雜訊，提供絕佳的雜訊降低效能，比起同樣大小的線性平滑濾波器，其模糊化的影響程度較小。中值濾波器在脈衝雜訊(impulse noise)出現時，特別有用，因為脈衝雜訊看起來像是疊加在影像上的白點和黑點，所以又稱為胡椒鹽式雜訊(salt-and-pepper noise)。另外的排序統計濾波器尚有最大值

與最小值濾波器，顧名思義，最大值濾波器即是取遮罩內最大值；最小值濾波器即是取遮罩內最小值。利用圖 2.3 為例，將紅色區域 3x3 的像素排列結果如下：81、82、82、111、113、116、130、133、136。

若以中值濾波器運算結果，則像素中心位置之灰階值為 113

若以最小值濾波器運算結果，則像素中心位置之灰階值改為 81

若以最大值濾波器運算結果，則像素中心位置之灰階值改為 136

若以平均濾波器運算結果，則像素中心位置之灰階值改為 109

255	255	255	255	255
255	136	133	130	255
255	111	113	116	255
255	82	82	81	255
255	255	255	255	255

圖 2.3 圖 2.1 所示影像中像素值

2.2.2 邊緣檢測濾波器

平滑線性濾波器相當於對信號取積分，但相反如果對信號取微分，就可以強化訊號高頻成分，微分強化常用於影像邊緣檢測，做為邊緣特徵的擷取，利用邊緣特性來表示一張影像，因為只保留一張影像的邊緣特性，所以最大的優點就是可以降低影像處理的運算量，常見的邊緣檢測濾波器有：Sobel、Prewitt 與拉普拉斯，其相對應的遮罩如圖 2.4、圖 2.5 和圖 2.6，其中圖 2.6(a)為拉普拉斯的標準遮罩，而圖 2.6(b)(c)為拉普拉斯的推廣遮罩。Sobel 和 Prewitt 與拉普拉斯最大的不同處在於，Sobel 和 Prewitt 使用的是一階導數(梯度)，而拉普拉斯是定義於一個二階導數的離散公式。另外 Canny 邊緣檢測濾波器也相當常見，邊緣檢測效果也最好，但因運算量較大，所以不常使用。

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(a)} & \text{(b)} \end{matrix}$$

圖 2.4 Sobel 的邊緣檢測遮罩(a)水平(b)垂直

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(a)

(b)

圖 2.5 Prewitt 的邊緣檢測遮罩(a)水平(b)垂直

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

(a)遮罩一

(b)遮罩二

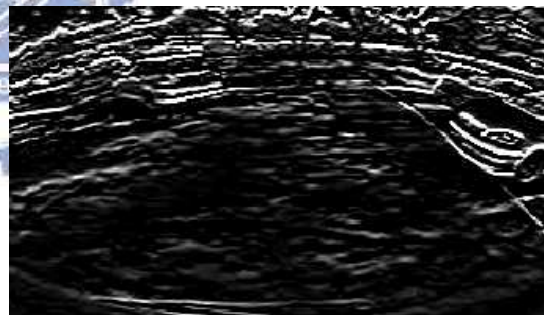
(c)遮罩三

圖 2.6 拉普拉斯的邊緣檢測遮罩

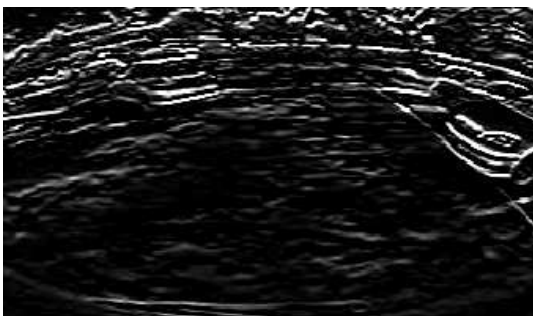
圖 2.7 分別為利用 Sobel、Prewitt 與拉普拉斯邊緣檢測的結果，其中圖 2.7(a)為原始影像；2.7(b)為利用 Sobel 水平與垂直遮罩運算後相加之邊緣檢測結果；2.7(c)為利用 Prewitt 水平與垂直遮罩運算後相加之邊緣檢測結果；圖 2.7(d)為利用圖 2.6(a)拉普拉斯遮罩運算後之邊緣檢測結果。



(a)原始影像



(b)Sobel



(C)Prewitt



(D)拉普拉斯

圖 2.7 邊緣檢測濾波器運算結果

2.2.3 膨脹與侵蝕

膨脹(dilation)和侵蝕(erosion)是影像處理中形態學的重要基礎，膨脹會使二值影像中的物件變大或變厚，而侵蝕會使二值影像中的物件收縮或變薄。膨脹和侵蝕皆由一種稱為結構元素的形狀所控制。

數學上，膨脹是以集合的運算方式來定義，A 藉由 B 的膨脹表示為 $A \oplus B$ ，膨脹的定義如下：

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

數學上，侵蝕的定義與膨脹類似，A 被 B 侵蝕表示為 $A \ominus B$ ，侵蝕的定義如下：

$$A \ominus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A^c \neq \emptyset\}$$

其中 \emptyset 為空集合，B 為結構元素，集合 B 的反射記為 \hat{B} ，定義如下：

$$\hat{B} = \{w \mid w = -b, \text{ 當 } b \in B \text{ 時}\}。$$

集合 A 平移點 $Z=(Z_1, Z_2)$ 的定義如下：

$$(A)_z = \{c \mid c = a + z, \text{ 當 } a \in A \text{ 時}\}$$

以 A 藉由 B 的膨脹為例：A 藉由 B 膨脹是由所有結構元素的原點位置所構成的集合，其中反射和平移的 B 至少與 A 的一部分重疊。

2.2.4 DBSCAN

DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise)，是一種以密度為基礎的空間分群演算法，主要是依據資料點間的密度關係來分群，DBSCAN 一般認定群組為高密度區域，而且群組是由低密度區域所分隔，所以 DBSCAN 具有發掘任意形狀群組與濾除雜訊的功能。

運用密度關係來分群主要的優點如下：

- 可自動分群，不需設定分群數。
- 將密度低的資料點視為雜訊，具有濾除雜訊的功能。
- 可對任意形狀的資料點分群。

DBSCAN 相關定義(參考圖 2.8)：

- 對某個特定個體，在半徑(Eps)內的鄰近區域稱為個體的 Eps-鄰近區域(Eps-neighborhood)。
- 當某個特定個體的 Eps-鄰近區域包含不少於預設最低個體數目(MinPts)的個體數目時，稱為核心個體(core object)。
- D 包含一組個體。當個體 P 在個體 Q 的 Eps-鄰近區域內且個體 Q 為核心個體時，我們稱個體 P 為個體 Q 的直接密度可到達(directly density-reachable)。
- D 包含一組個體。在半徑(Eps)與最低個體數目(MinPts)條件下，我們說個體 P 為個體 Q 的密度可到達(density-reachable)。當存在一串個體 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_n ，其中 $P_1=Q$ ， $P_n=P$ ，而且個體 P_{i+1} 為個體 P_i 的直接密度可到達， $1 \leq i \leq n$ ， $P_i \in D$ 。
- D 包含一組個體。且在半徑(Eps)與最低個體數目(MinPts)條件下，我們說個體 P 與個體 Q 的密度相連(density-connected)。當存在一個體 $O \in D$ ，且在半徑(Eps)與最低個體數目(MinPts)條件下，個體 P 與個體 Q 為個體 O 的直接密度可到達。
- 直接密度可到達可推論至密度可到達，但是反過來推論就不行。只有核心個體是相互密度可到達，密度相連是互相可以推論的關係。

DBSCAN 的密度可到達與密度相連，圖 2.8 中假設最低個體數目為 3($\text{MinPts}=3$)，且 Eps 為圖中圓的半徑，根據上述定義：

- 資料點 P 、 O 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、為核心個體，因為它們的 Eps -鄰近區域包含最少 3 個點。
- 資料點 Q 為資料點 O 的直接密度可到達，資料點 O 為資料點 P 的直接密度可到達。
- 資料點 Q 為資料點 P 的密度可到達，因為資料點 Q 為資料點 O 的直接密度可到達，且資料點 O 為資料點 P 的直接密度可到達。但是資料點 P 不是資料點 Q 的密度可到達，因為資料點 Q 不是核心個體。
- P 、 P_3 與 Q 為密度相連。

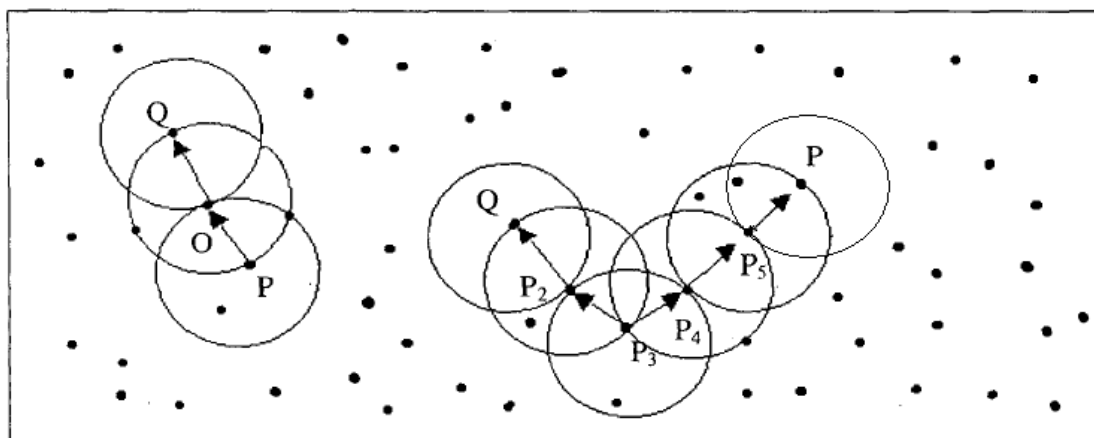


圖 2.8 密度式分群的密度可到達與密度相連[30]

DBSCAN 藉由檢查每個資料點的 Eps -鄰近區域來產生群組，如果資料點 P 的 Eps -鄰近區域包含的資料點超過 MinPts ，則產生一個以資料點 P 為核心個體的新群組。然後 DBSCAN 會從這些核心個體重複收集直接密度可到達的個體，而它會合併一些密度可到達群組，當沒有任何資料點可被加入新的群組時，則 DBSCAN 會停止分群。

DBSCAN 計算以 Eps 為半徑的圓內，判斷資料點 P 的 Eps-鄰近區域內，其資料點是否超過所設定的密度(MinPts)，必須計算資料點 P 與其他所有資料點間的距離，距離計算公式可利用尤拉距離(Euclidean Distance)或曼哈頓距離(Manhattan Distance)，其中以利用曼哈頓距離公式之計算速度較尤拉距離公式快，距離計算公式如下：

資料點 P(X_p 、 Y_p)與資料點 q(X_q 、 Y_q)

尤拉距離公式 $\overline{pq} = \sqrt{(X_p - X_q)^2 + (Y_p - Y_q)^2}$

曼哈頓距離公式 $\overline{pq} = |(X_p - X_q)| + |(Y_p - Y_q)|$

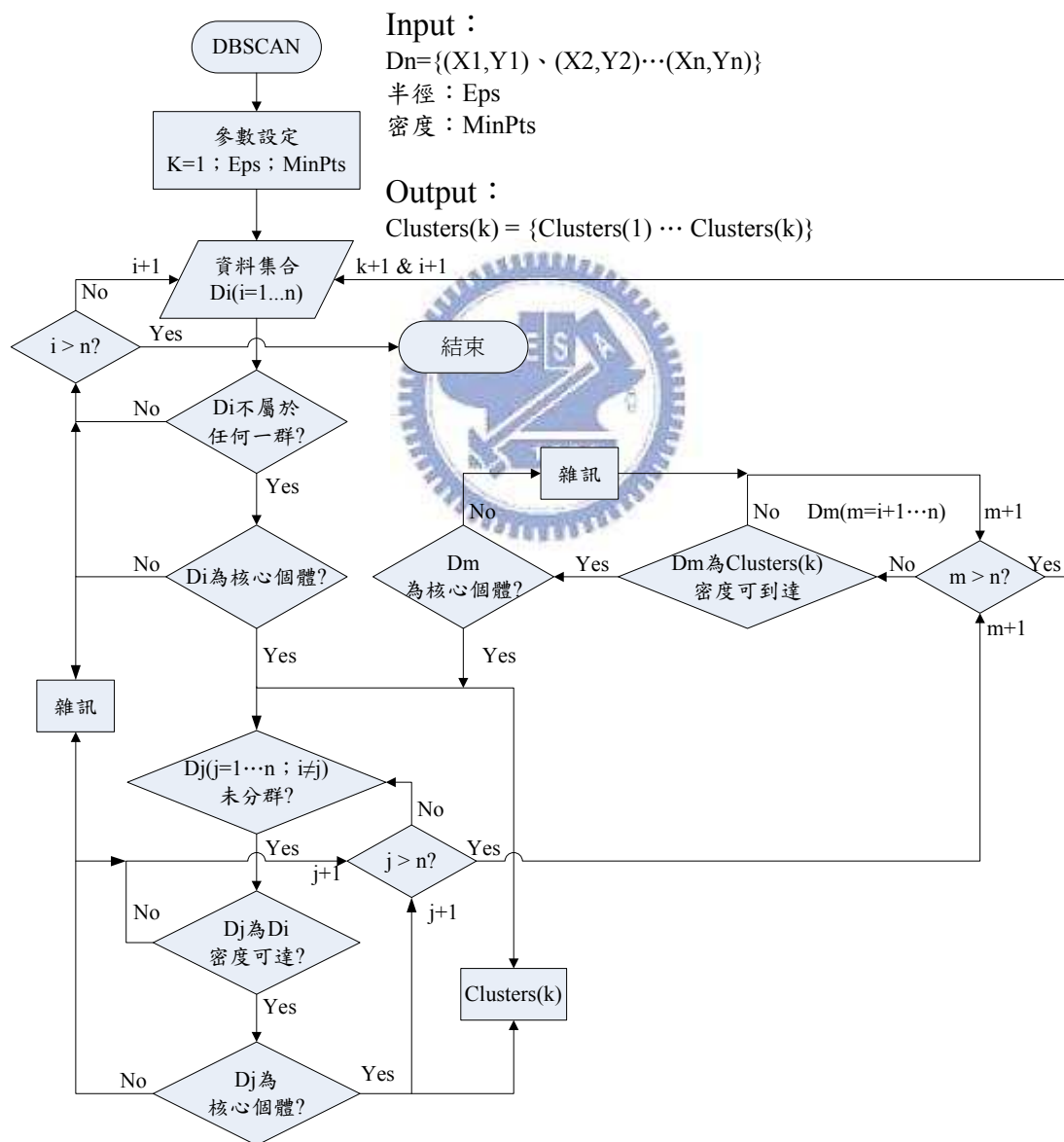


圖 2.9 DBSCAN 演算法流程圖

2.2.5 Hough Transform 之直線偵測

就理想情況而言，邊緣檢測濾波器只會擷取出邊緣上的像素，此檢測出的像素以特徵點來描述。實際上，利用邊緣檢測濾波器所得的特徵點，很少能完整表示一個邊緣，這是因為雜訊與不均勻照明所造成的邊緣斷點，以及引進假強度不連續性的其他效應。因此，邊緣檢測演算法通常伴隨著連結程序，以便將邊緣像素組合成有意義的邊緣。常見的一個可求得並且連結影像中一個線段的方法就是 Hough Transform[24]。

Hough Transform 考慮一個特徵點 (x_i, y_i) 以及所有通過此點的線，且所有的線都滿足某些 a 和 b 數值下的斜截式直線方程式 $y_i = a \cdot x_i + b$ ，並將此方程式改為 $b = -(a \cdot x_i) + y_i$ ，並考慮 ab 平面，也稱為參數空間，因此可利用固定座標 (x_i, y_i) 產生單條的直線方程式。另外，第二個特徵點 (x_j, y_j) 在參數空間中也有一條伴隨它的直線，而此直線與伴隨 (x_i, y_i) 的直線相交於 (a', b') ，請參考圖 2.9，原則上，對應所有影像點 (x_i, y_i) 的參數空間線可以被畫出，但實際困難點是當直線接近垂直方向時，直線的斜率 (a) 接近無窮大，解決此一問題的方法是採用直線的法線表示法： $x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = r$ 。

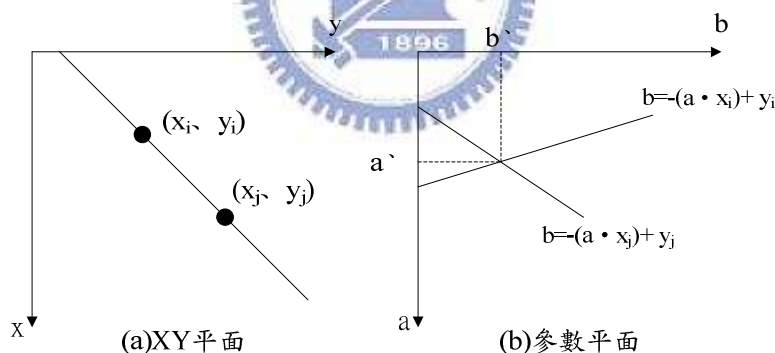


圖 2.10 斜截式直線方程式之參數空間

圖 2.10 表示了 XY 平面和參數 (r, θ) 間之幾何關係，一個水平線 $\theta = 0^\circ$ ，則 r 為正的 x 截距；一個垂直線 $\theta = 90^\circ$ ，則 r 為正的 y 截距。圖 2.11 中，每一條正弦曲線都表是經過一個特定點 (x_i, y_i) 的一組線段，而交點 (r', θ') 則對應於通過 (x_i, y_i) 與 (x_j, y_j) 的線段。

Hough Transform 在計算上會將 (r, θ) 參數平面細分為累計方格，如圖 2.12，其中 (r_{\min}, r_{\max}) 和 $(\theta_{\min}, \theta_{\max})$ 表式參數值的預期範圍。 $A(i, j)$ 定義為在 (i, j) 座標中的

累計值，累計方格的初始值全部會被設為零，針對 xy 平面中之特徵點 (x_k, y_k) 與 θ 的細分值，依據 $x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = r$ 方程式，求解 r 。所得的 r 值依四捨五入對應至 r 軸上最接近的方格，並累加至方格中的累計值。最後，在 $A(i, j)$ 中的累計值假設為 Q ，表示在 XY 平面上有 Q 個點落在直線 $x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = r$ 上。在 (r, θ) 平面上方格的個數決定了這些點共線的準確度。

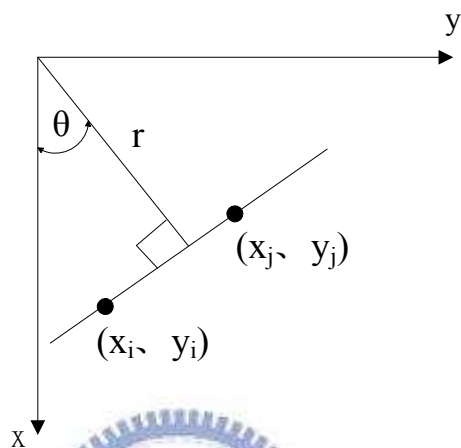


圖 2.11 XY 平面與 (r, θ) 關係示意圖

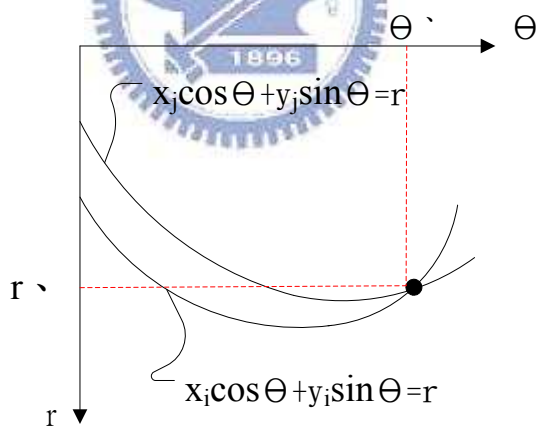


圖 2.12 (r, θ) 參數平面與線段關係示意圖

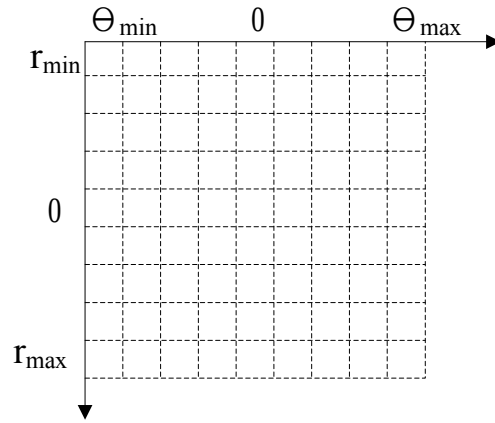


圖 2.13 將 (r, θ) 參數平面分割成累積方格示意圖



第三章 系統功能與架構

在倒車的環境中，駕駛者常常會因為注意力不集中或分心，而導致悲劇的發生，本篇論文提出之方法即是希望能在駕駛者因為注意力不集中或分心的狀況下，能夠發揮提醒駕駛者之功能，以避免悲劇的發生。為了要達到提醒駕駛者之功能，所以至少必須要知道兩件事，一是要知道障礙物在那？二是距離障礙物還有多遠？以下將詳細描述此系統之功能與演算法架構。

3.1 倒車環境與狀況分析

在倒車的環境中，由於駕駛者駕駛之車輛狀態(簡稱本車)與車後方障礙物(簡稱障礙物)之狀態關係，可分為以下四種：1、本車靜止；障礙物移動。2、本車移動；障礙物移動。3、本車靜止；障礙物靜止。4、本車移動；障礙物靜止。此四種狀況利用表二說明。在此先對障礙物做一定義，因倒車背景環境複雜，且無固定背景，所以障礙物之定義為，當駕駛者所駕駛之車輛，發生碰撞時，會造成車體損傷或生命體之傷害皆定義為障礙物，所以凡是會造成車體損傷或生命體之傷害皆是障礙物偵測之重點。

表 3.3 倒車環境與狀況分析表

本車 狀態	障礙物 (物件)狀態	說明
靜止	移動	<p>此狀態類似一般常見的監視器模式，即攝影設備固定，偵測畫面中之移動物體。但不同於監視器模式的是，倒車背景並非每次系統啟動時皆相同，一般常見做法有利用移動向量或光流法實現此技術。</p>
移動	移動	<p>此狀態乍看之下與本車靜止；障礙物移動的狀態似乎一樣。但其實不然，因為當本車移動時，背景也會跟著移動，若要偵測移動物體，必須要移除背景移動所產生之雜訊，但一般常見之做法也是利用移動向量或光流法實現此技術。</p>
靜止	靜止	<p>在倒車的情況中，大部分皆遇到靜止的障礙物，但靜止的障礙物並無移動向量可判斷，所以必須要在移動的畫面中，找出靜止的障礙物。但障礙物之種類繁多，倒車環境背景複雜，無固定背景，且障礙物形狀、紋理皆有差異，所以要利用障礙物之共同特徵。在此部分使用大部份障礙物皆有的陰影，與物體邊緣特性，作為是否有障礙物存在之依據。</p>
移動		

3.2 系統功能描述

系統之主要功能為：提醒駕駛者於倒車時，障礙物之位置與障礙物的相對距離，以避免碰撞的發生，造成生命財產的損失。依據以上功能之描述，要達成此目的，系統必須要能得知兩件事，進而發出警示，提醒駕駛者，此兩件事為：一是要知道障礙物在那？二是距離障礙物還有多遠？以下將介紹障礙物偵測與障礙物距離估測之功能。

3.2.1 多目標之障礙物偵測

一般倒車環境的情況中，想要估測障礙物距離之前，必須先知道障礙物在那？障礙物有幾個？所以估測距離前，必須先偵測出障礙物的位置，但由於我們無法得知倒車情況下有多少障礙物，所以系統必須有多目標偵測的能力。

在一幅影像中，當偵測到有物體存在之後，事實上，電腦並不知道有幾個障礙物，因為電腦只知道一幅影像，而這些物體同時存在一張影像中，以像素來表示，所以系統必須把相同屬性的像素合在一起，而不同屬性的像素分開，此做法即為分群。假設分群的非常理想，系統便可知道有多少障礙物。知道有多少障礙物後，必須將其標示並凸顯出來，但障礙物可能有任一角度，而不是水平線或垂直線，無法直接在影像中標線，或改變像素值標示出來，因此將分群所得結果利用 Hough Transform 畫線，可以將每筆資料中密度最高的點數(代表像素為 1 的點)標示出來，代表障礙物之位置。並利用 Hough Transform 所畫出直線之中點，做為障礙物的代表點，估測障礙物距離。

3.2.2 影像距離估測

因為一般車後 CCD/CMOS 相機皆為廣角鏡頭，其角度可能為 120 度~160 度或更寬，一般廣角鏡頭都會有筒狀變形或透鏡輻射效應之影響，我們通稱為魚眼失真，所以距離估測前需先利用魚眼校正得到無失真之影像，再利用反透視投影之技術，建立 2D 影像平面與 3D 真實車輛座標之關係，利用此關係可求得與障礙物之間相對距離。

3.3 系統硬體架構

系統硬體架構示意圖，請參考圖 3.1，系統包三個主要單元：相機(Camera)、處理器(Processor)和車載資訊主機(Telematics)，其中處理器可為嵌入式系統、筆記型電腦或錄影設備，錄影設備為實驗使用，錄製後視訊影像可帶回實驗室使用，發展演算法。相機和地面有一夾角，示意圖可參考圖 5.7，圖 5.7 為實際 camera 安裝示意圖。

Camera 安裝於車尾，主要擷取倒車時即時動態影像，並將即時動態影像傳送至處理器(Processor)，本篇論文利用筆記型電腦，發展影像處理程序的演算法，參考圖 1.1，經過影像處理程序的計算過後，可得到即時動態影像中障礙物位置與障礙物距離資訊，並將計算結果顯示於車載資訊主機。實驗的方法利用影像錄影設備，將倒車時的即時動態影像記錄下來，利用所記錄的動態影像發展演算法。演算法發展所使用之軟體環境為 Matlab 7.0，程式發展為 Matlab 的 M-File



圖 3.1 硬體環境示意圖

3.4 嵌入式系統硬體設計

本篇論文所發展之演算法，最終目的是要實現於嵌入式系統，因此除了演算法發展外，亦依據演算法所需周邊設備與介面，設計一套符合具有影像處理功能之硬體雛型平台，此硬體雛形平台規格如下所示：

- 支援 1 組 NTSC/PAL 之即時同步影像輸入介面。
- 支援 1 組 NTSC 之即時同步影像輸出介面。
- 中央處理器需具有可即時處理 D1(720X480)解析度影像之能力，並可實現倒車障礙物偵測與距離估測演算法。
- 此硬體雛型平台需符合車用電裝品之電性測試規範，且具有抗ESD之能力。
- 此硬體雛型平台具有車體訊號輸入介面，例如：車速訊號、R檔訊號與倒車超音波模組之Buzzer訊號。
- 此硬體雛型平台具有Buzzer警示功能。

此硬體雛形平台之詳細說明請參考附錄。

第四章 多目標障礙物偵測

4.1 前言

本章介紹障礙物偵測演算法，說明如何應用影像處理技巧與圖形識別之流程，探討當駕駛者倒車時偵測後方障礙物之方法，其中包含了影像前處理、特徵擷取、型態學、障礙物分割與障礙物描述。

倒車環境依時間不同可分為日間與夜間，由圖 4.1 與圖 4.2 可看出日間與夜間環境差異。而倒車時地面狀況：大致可分為一般柏油路、方形磚、有無陰影、有無路面積水與地面反光等..，由圖 4.1、圖 4.3、圖 4.4、圖 4.5 與圖 4.6 可看出倒車時地面狀況的差異。圖 4.1 至圖 4.6 為實際測試用之影像檔，演算法發展也期望能盡量滿足以上狀況。



圖 4.1 日間倒車環境(柏油路)



圖 4.2 夜間倒車環境



圖 4.3 日間倒車環境(方形磚)



圖 4.4 日間倒車環境(路面陰影)



圖 4.5 日間倒車環境(路面積水)



圖 4.6 地下室倒車環境(地面反光)

4.2 障礙物偵測演算法架構

圖 4.1 為障礙物偵測演算法架構示意圖，依據實驗結果，障礙物偵測可偵測多種障礙物，且不限形體，偵測至少五種以上障礙物，且可滿足 4.1 節所描述之倒車環境。以下為演算法流程說明，詳細內容於 4.3 節描述。

Step 1：利用 CCD/CMOS 影像感測器取得彩色影像，並將彩色影像轉換為灰階影像。

Step 2：利用 Peak-and-Valley Filter 對灰階影像做平滑化，以避免應光影變化與樹葉間晃動所造成的雜訊，影響特徵擷取的結果不穩定。

Step 3：影像二值化的閾值設定，閾值初始值為零，若閾值為零(代表閾值尚未設定)時，進入動態閾值設定流程。

Step 4：當閾值設定好之後，會進入特徵點擷取流程，若有特徵點存在則繼續後續影像處理程序，若無特徵點存在則清除閾值，回到動態閾值設定流程。

Step 5：當閾值設定完成，且特徵點存在，則先將二值影像中的孤立點清除。

Step 6：孤立點清除之後，利用型態學中的膨脹將連續特徵點間的斷點連接起來，此步驟是為了避免將同一個障礙物，被視為兩個或多個物件。

Step 7：對特徵點做膨脹之後，會產生多餘不必要的特徵點，將其視為雜訊，因此必須先對這些雜訊清除，以避免增加分群的運算量。

Step 8：障礙物分割流程，是因障礙物可能不只一個，可能有兩個、三個或更多，所以必須把類似的特徵點合在一起，而不相關的點分開，在此障礙物分割使用的是以密度為基礎的分群演算法(DBSCAN)。

Step 9：因為障礙物可能有任一角度，而不是水平線，利用障礙物分割所得到的結果，可以將每筆資料中密度最高的點數(代表像素為 1 的點)，利用 Hough

Transform 描述，並取 Hough Transform 所畫出之直線中點，計算障礙物距離。

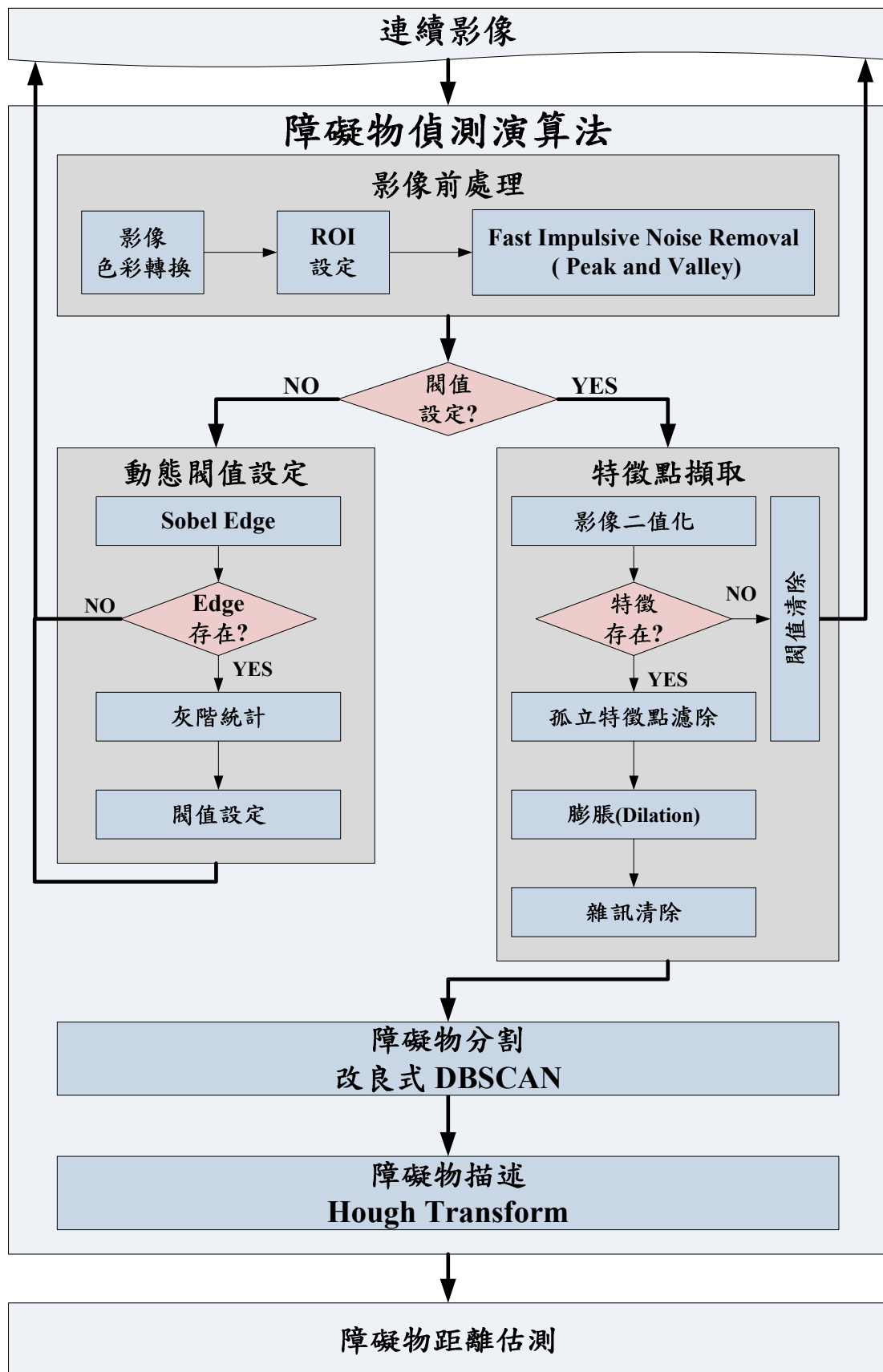


圖 4.7 障礙物偵測演算法架構示意圖

4.3 影像前處理

4.3.1 影像色彩轉換

一般利用倒車 CCD/CMOS Camera 所得到的影像均為彩色，但為了計算速度的提升，與系統嵌入式化的考量，所以我們採用灰階影像做計算。在 PC 上儲存的影像格式為 RGB，可以利用以下的轉換公式，求得每個像素的灰階亮度值：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1145 \\ -0.16874 & -0.33126 & 0.5 \\ 0.5 & -0.41869 & -0.08131 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

上式中 Y 代表亮度值：

$$Y = 0.229 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

其中

R：RGB 格式中紅色的主要頻譜成分

G：RGB 格式中綠色的主要頻譜成分

B：RGB 格式中藍色的主要頻譜成分



圖 4.8 彩色影像



圖 4.9 灰階影像

4.3.2 影像資訊與 ROI 設定

圖 4.10 為影像靜態資訊，影像為 320 X 240 的範圍，紅色區域內部為 ROI(Region of Interest)範圍。

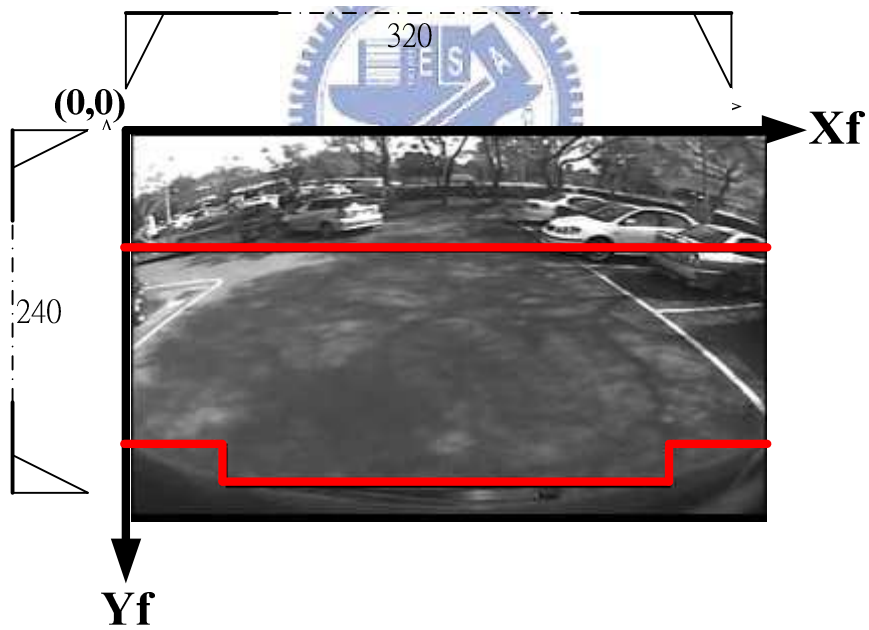


圖 4.10 影像資訊與 ROI 設定區域示意圖

4.3.3 Peak-and-Valley Filter

一般在室外場景所錄製的影像，常會受到光源的變動，而產生雜訊，常見的雜訊主要為突波或衝擊波，也可稱為胡椒鹽雜訊，而濾除此種雜訊常見的方法是利用平滑法，平滑法有均值濾波器與中值濾波器，而 Peak-and-Valley Filter 為中值濾波器的加速改良法，以下為 Peak-and-Valley Filter 的演算法[29]：

Peak Filter：

$$\begin{aligned} \text{if } I(i; j) >= \max(I(i+r, j+s)) \\ I'(i, j) = \max(I(i+r, j+s)) \end{aligned}$$

Valley Filter：

$$\begin{aligned} \text{if } I(i; j) <= \min(I(i+r, j+s)) \\ I'(i, j) = \min(I(i+r, j+s)) \\ \text{else} \\ I'(i, j) = I(i, j) \end{aligned}$$

以上公式為二階版本，且可發展至 n 階，其中 $r, s = -1, 0$ or 1 and $r \neq s$ when $r = 0$ or $s = 0$ 。圖 4.11 利用一階的方法做為說明，其中圖 4.11(a) 為一維的原始相鄰訊號；圖 4.11(b) 針對圖 4.11 (a) 利用 Peak filter 運算後，可發現原本 $I(i+2)$ 的訊號被壓縮至 6；圖 4.11(c) 針對圖 4.11 (a) 利用 Valley filter 運算後，可發現原本 $I(i+1)$ 的訊號被提升至 5；圖 4.11(d) 針對圖 4.11 (a) 先執行 Peak filter 然後做 Valley filter 運算後，可發現原本 $I(i+1)$ 的訊號被提升至 5，而可發現原本 $I(i+2)$ 的訊號被壓縮至 6；圖 4.11(e) 針對圖 4.11 (a) 先執行 Valley filter 然後做 Peak filter 運算後，其結果與圖 4.11(d) 相同。

根據圖 4.11 所得結果，我們可以知道 Peak-and-Valley Filter 演算法，其意義為將最高的訊號壓縮，而將最低的訊號提升，換句話說，是讓訊號高的不要太高，而低的不要太低。

$I(i)=5$	$I(i+1)=2$	$I(i+2)=8$	$I(i+3)=6$
----------	------------	------------	------------

(a) 原始的相鄰訊號

$I(i)=5$	$I(i+1)=2$	$I'(i+2)=6$	$I(i+3)=6$
----------	------------	-------------	------------

(b) 執行完 Peak filter 後的結果

$I(i)=5$	$I'(i+1)=5$	$I(i+2)=8$	$I(i+3)=6$
----------	-------------	------------	------------

(c) 執行完 Valley filter 後的結果

$I(i)=5$	$I'(i+1)=5$	$I'(i+2)=6$	$I(i+3)=6$
----------	-------------	-------------	------------

(d) 先執行 Peak filter 然後做 Valley filter 後的結果

$I(i)=5$	$I'(i+1)=5$	$I'(i+2)=6$	$I(i+3)=6$
----------	-------------	-------------	------------

(e) 先執行 Valley filter 然後做 Peak filter 後的結果

圖 4.11 One-dimensional peak-and-valley filter performance



圖 4.12 和圖 4.13 為 peak-and-valley filter 與中值濾波器比較的實驗結果，其中圖 4.12(b) 為將原始影像加入 5% 胡椒鹽雜訊的結果，而圖 4.13(b) 為將原始影像加入 15% 胡椒鹽雜訊的結果，圖 4.12(c) 和 (d) 與圖 4.13(c) 和 (d) 分別利用中值濾波器和 peak-and-valley filter 對加入胡椒鹽雜訊的圖 4.12(b) 和圖 4.13(b) 運算，去除圖 4.12(b) 和圖 4.13(b) 的胡椒鹽雜訊。我們分別比較圖 4.12(c) 和 (d) 與圖 4.13(c) 和 (d)，我們可知道 peak-and-valley filter 和中值濾波器一樣，皆能有效的去除胡椒鹽雜訊。但為何要使用 peak-and-valley filter 而不是用中值濾波器，主要原因在於 peak-and-valley filter 運算速度相當的快，而中值濾波器依據 Mask 的大小，必需先做排序的動作，然後在取出中值，主要的運算時間會花在排序的動作上。



(a)原始影像



(b)加入5%的胡椒鹽雜訊



(C)利用中值濾波器濾除雜訊效果



(D)利用 Peak-and-Valley Filter濾除雜訊效果

圖 4.12 實驗結果-加入 5%的胡椒鹽雜訊



(a)原始影像



(b)加入15%的胡椒鹽雜訊



(C)利用中值濾波器濾除雜訊效果

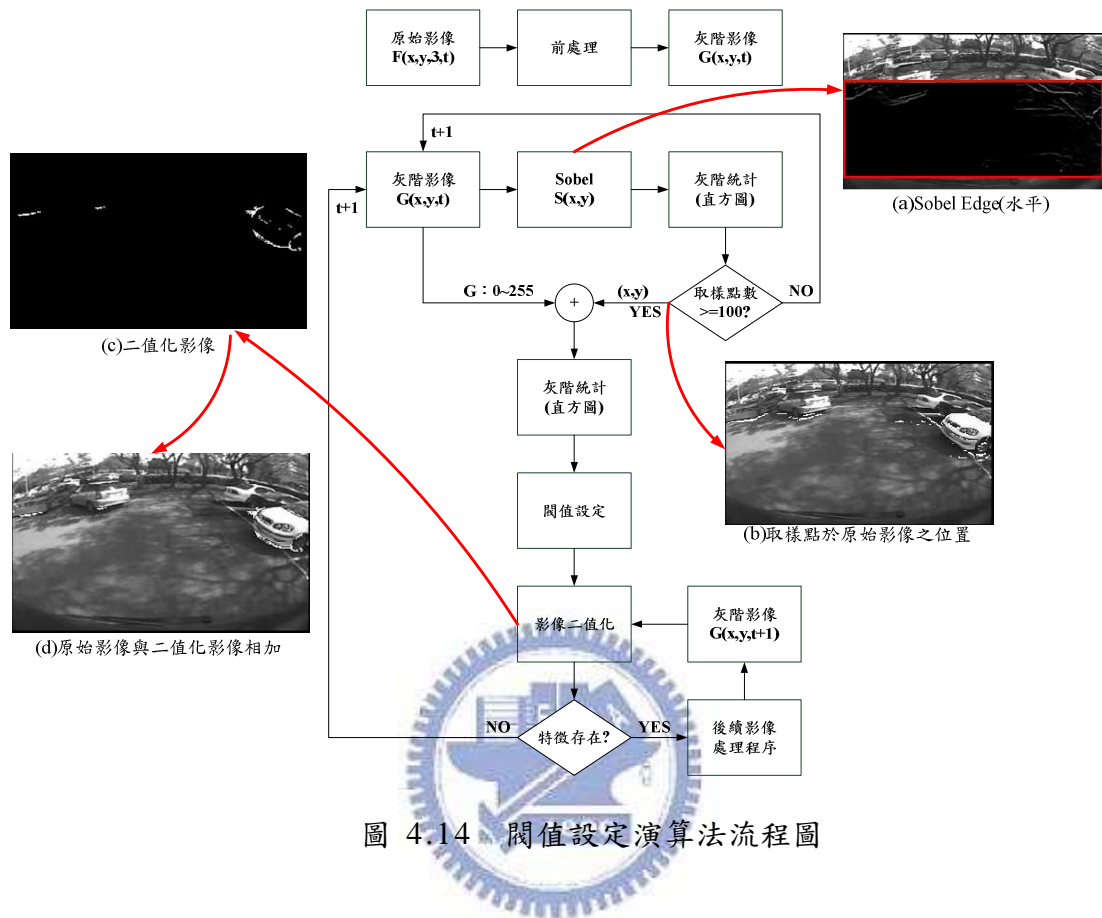


(D)利用 Peak-and-Valley Filter濾除雜訊效果

圖 4.13 實驗結果-加入 15%的胡椒鹽雜訊

4.4 動態閾值設定

4.4.1 閾值設定演算法



4.4.2 Sobel Edge Detection

利用 Sobel 水平遮罩(圖 4.15(a))，對原始影像做運算，其運算結果顯示於圖 4.16 與圖 4.17 紅色框內。針對 Sobel 的水平運算結果統計灰階值，並取灰階值較亮的部分，參考圖 4.18 與圖 4.19，日間模式設定為 50(灰階值)以上，夜間模式設定為 35(灰階值)以上。利用 Sobel 水平邊緣偵測大於上述灰階值以上的灰階值位置，比對原始影像相同位置的像素值，並統計其灰階值，取密度最高的點，設定為閾值。若 Sobel 水平邊緣偵測找不到符合以上條件的灰階值，則進入下一張影像作運算。

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(a)} & \text{(b)} \end{matrix}$$

圖 4.15 Sobel 的邊緣檢測遮罩(a)水平(b)垂直

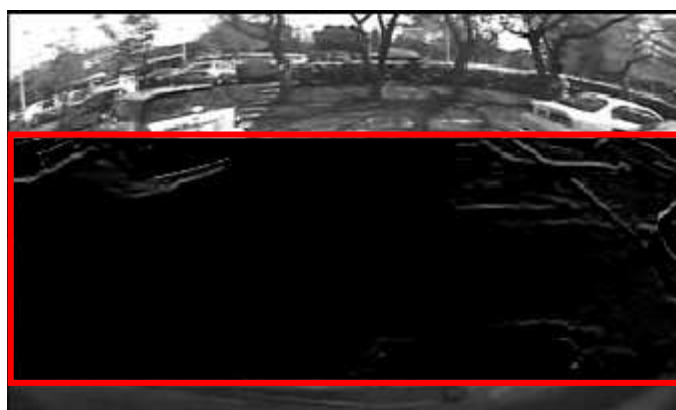


圖 4.16 利用 Sobel 偵測水平邊緣結果(日間)

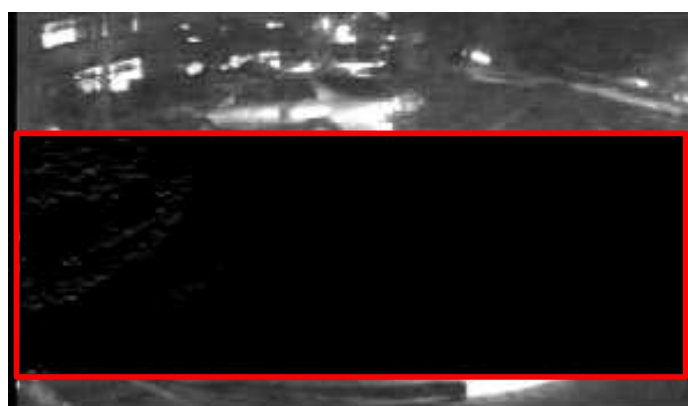


圖 4.17 利用 Sobel 偵測水平邊緣結果(夜間)

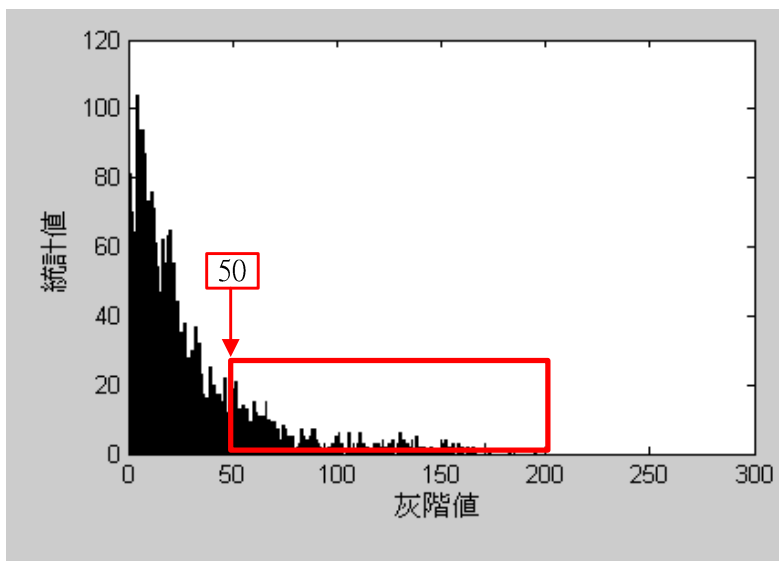


圖 4.18 Sobel 水平遮罩運算結果的灰階統計圖(日間)

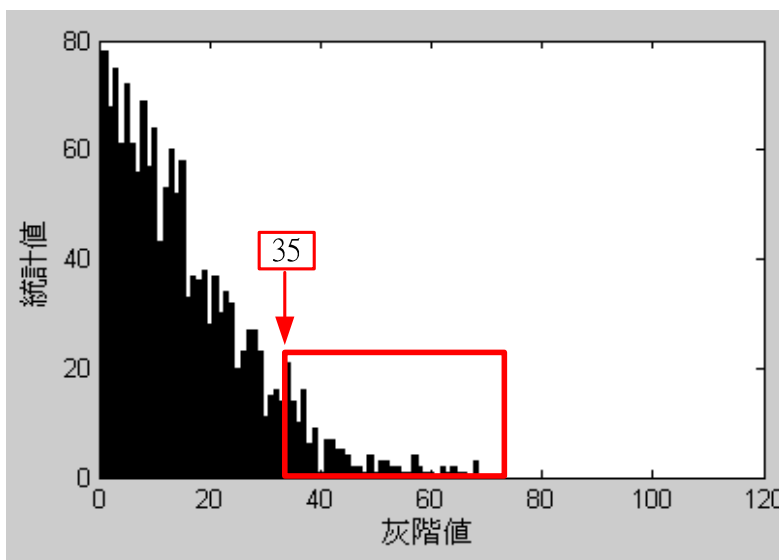


圖 4.19 Sobel 水平遮罩運算結果的灰階統計圖(夜間)

4.4.3 原始影像灰階統計

圖 4.20 和圖 4.22 為灰階統計的位置示意圖，針對原始影像的該位置統計其灰階值，灰階統計圖為圖 4.21 和圖 4.23，紅色區域為搜尋範圍，在該範圍內尋找灰階統計的最大值，並設定為閾值，以圖 4.21 和圖 4.23 為範例，閾值分別設定為 31 和 59。



圖 4.20 Sobel 運算後大於 50 的像素位置示意圖(日間)

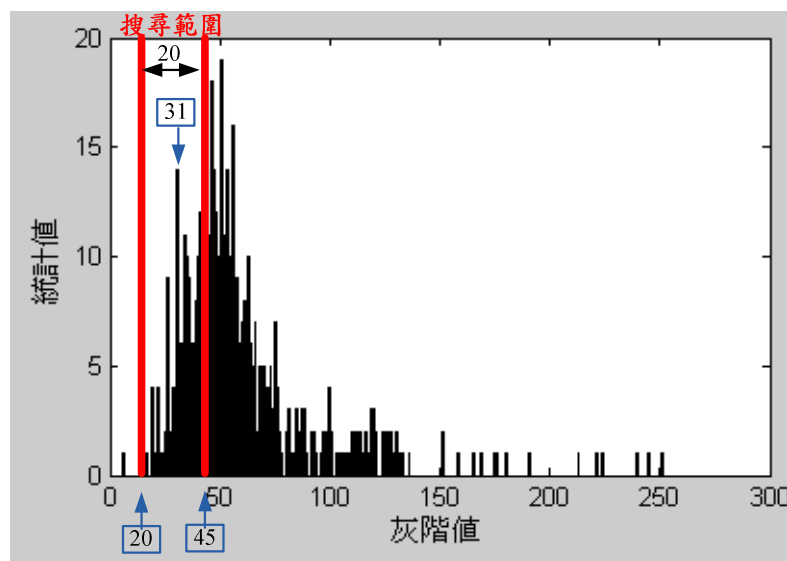


圖 4.21 圖 4.20 白點位置對應至原始影像位置灰階統計圖(日間)



圖 4.22 Sobel 運算後大於 35 的像素位置示意圖(夜間)

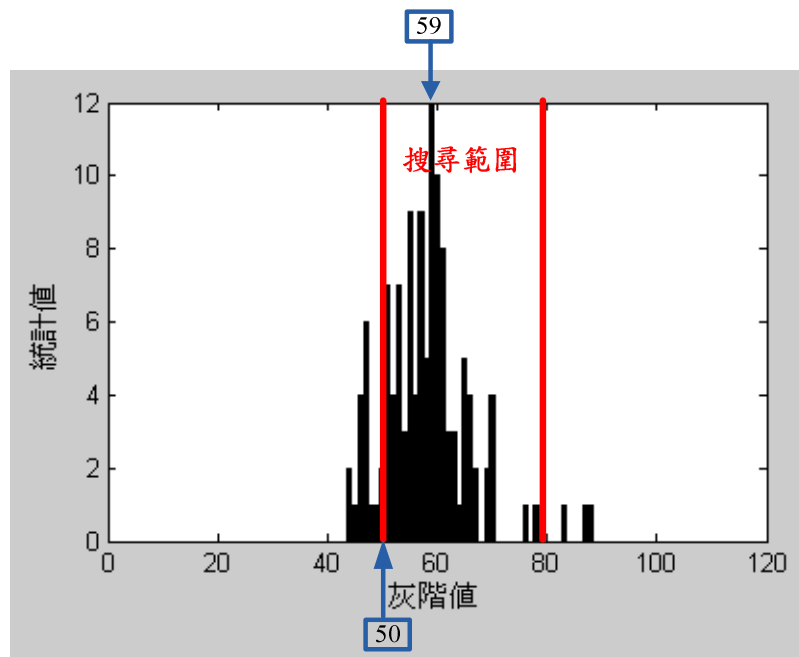


圖 4.23 圖 4.22 白點位置對應至原始影像位置灰階統計圖(夜間)

4.5 特徵點擷取

4.5.1 影像二值化

特徵點擷取是一個二值化的動作，利用動態搜尋所設定的閾值，取一個範圍內的灰階值做為特徵點，若閾值設定為 TH ，而特徵點設定的範圍最小的閾值假設為 TH_{min} ，而特徵點設定的範圍最大的閾值假設為 TH_{max} ，則公式設定如下：

```
IF  $TH \geq 50$  %夜間模式
```

```
     $TH_{min} = TH - 6$ 
```

```
     $TH_{max} = TH$ 
```

```
IF  $TH \leq 45$  %日間模式
```

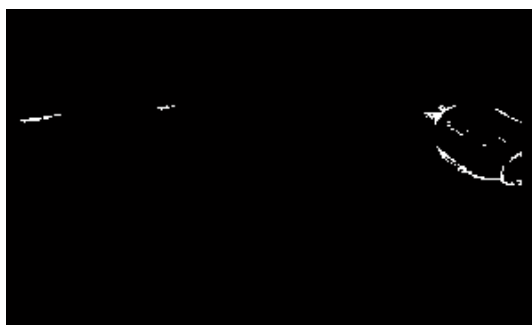
```
     $TH_{min} = TH - 10$ 
```

```
     $TH_{max} = TH$ 
```

```
ELSE
```

```
     $TH = 0$ 
```

經由以上設定，對原始影像運算所得結果如圖 4.24 與圖 4.25



(a)二值化影像



(a)原始影像與二值化影像相加

圖 4.24 特徵擷取結果(日間)



(a)二值化影像



(a)原始影像與二值化影像相加

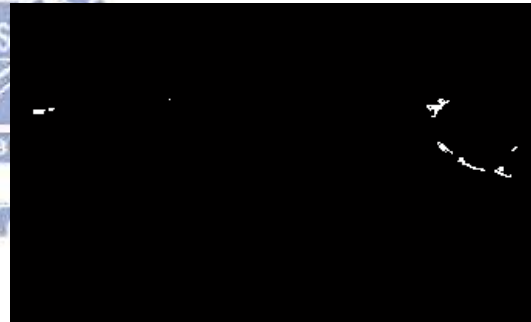
圖 4.25 特徵擷取結果(夜間)

4.5.2 孤立點濾除

孤立點如圖 4.27(a)紅色框內所示的白點，因孤立點在後續的分群中常會被單獨分為一群，造成錯誤，所以必須將其濾除，孤立點的濾除方法是，在畫面的搜尋範圍內設一個 3×3 的遮罩，在畫面中由上而下且由左而右的搜尋，若遮罩內的白點數低於 3 個 pixel，則將遮罩內中心點的白點清除。



(a)孤立點濾除前



(a)孤立點濾除後

圖 4.26 孤立點濾除結果(日間)



(a)孤立點濾除前



(a)孤立點濾除後

圖 4.27 孤立點濾除結果(夜間)

4.5.3 形態學-膨脹

膨脹的做法可參考 2.2.3 節，膨脹所造成的結果，會使二值影像中的物件變大或變厚，可以改善因不均勻照明影響，導致同一物件因特徵點斷開，而被分為兩個物件的結果，利用膨脹能將中斷的特徵點連接起來。

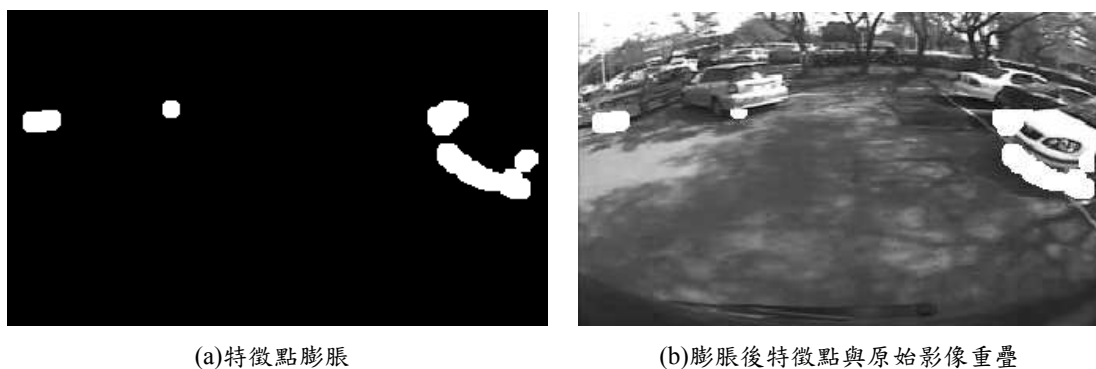


圖 4.28 經過膨脹運算處理之影像(日間)

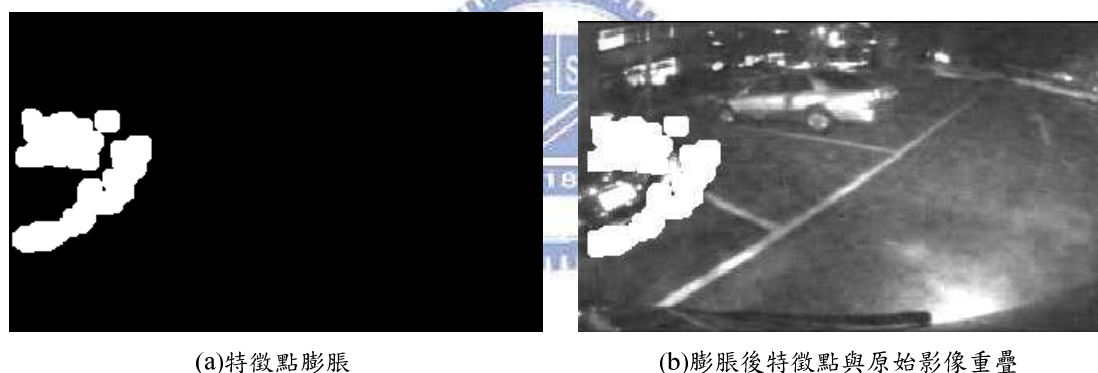


圖 4.29 經過膨脹與侵蝕運算處之影像(夜間)

4.5.4 雜訊清除

雜訊是指多餘的特徵點，以圖 4.31(a)所示，特徵點的分佈太過於散亂，而我們所要的特徵點是分佈於車底的部分，所以要盡量將車底以上的特徵點清除，清除的方法是利用搜尋的方式由下而上，由左而右，保留每一行中較高的列位置。

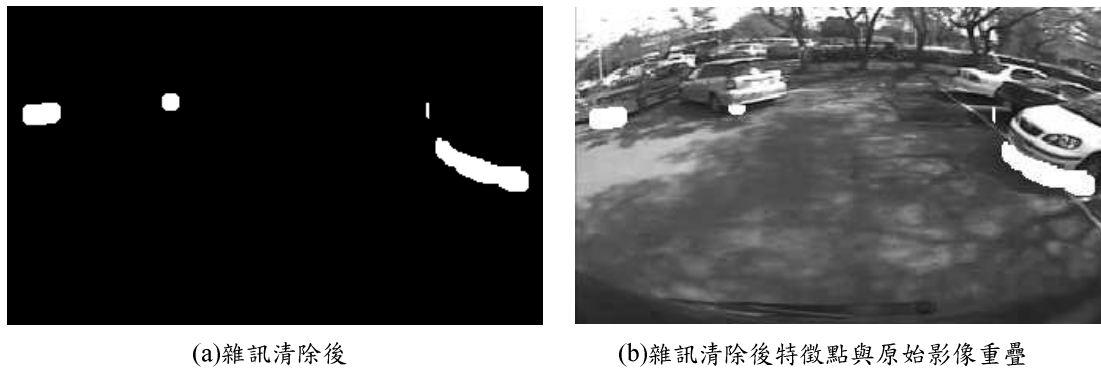


圖 4.30 雜訊清除結果(日間)

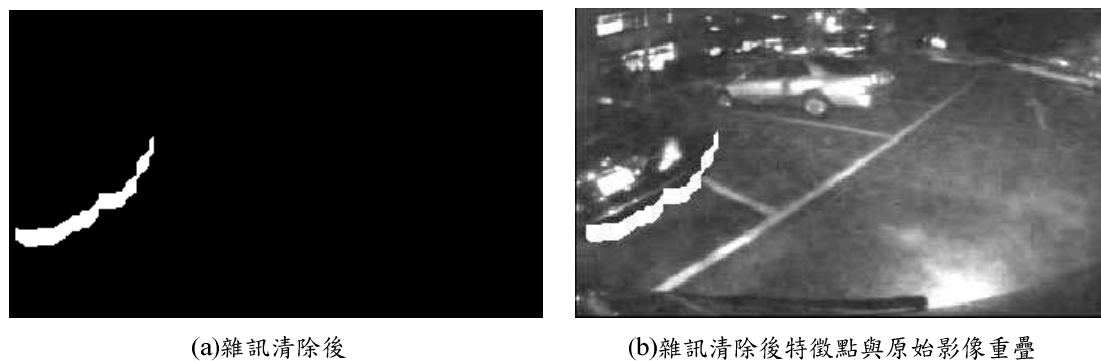


圖 4.31 雜訊清除結果(夜間)

4.6 障礙物分割

在找到障礙物的特徵點後，因障礙物可能不只一個，可能有兩個、三個或更多，所以必須把類似的特徵點合在一起，而不相關的特徵點分開。但障礙物有幾個？無法預先知道，所以分群演算法不能夠設定要分幾群，而是要能夠自動分群，因此分群演算法選擇以密度為基礎的方法(DBSCAN)。有關 DBSCAN 的學理技術，可參考 2.2.4 節。

DBSCAN 在計算密度時，必須設定兩個參數，分別為半徑(Eps)，和以 EPS 為半徑之圓內，最少的特徵點數(MinPts)。所以 DBSCAN 運算時，必須一直重複計算兩個特徵點間距離，若障礙物多時，則有相當多的運算時間花在計算距離上，所以修改 DBSCAN 對於密度的計算方法。

傳統 DBSCAN 是以 Eps 為半徑的圓為單位，改良後的 DBSCAN 是以 Eps 為邊長的正方形為單位，所以對密度的判斷只要計算正方形內的特徵點數即可，也就是將圖 2.8 修改為圖 4.32。如此可省去重覆計算距離所花費的時間，而分群演算法的判斷準則，則依據傳統 DBSCAN 的方法，可參考 2.2.4 節。分群演算法的結果，可參考圖 4.33 與 4.34。

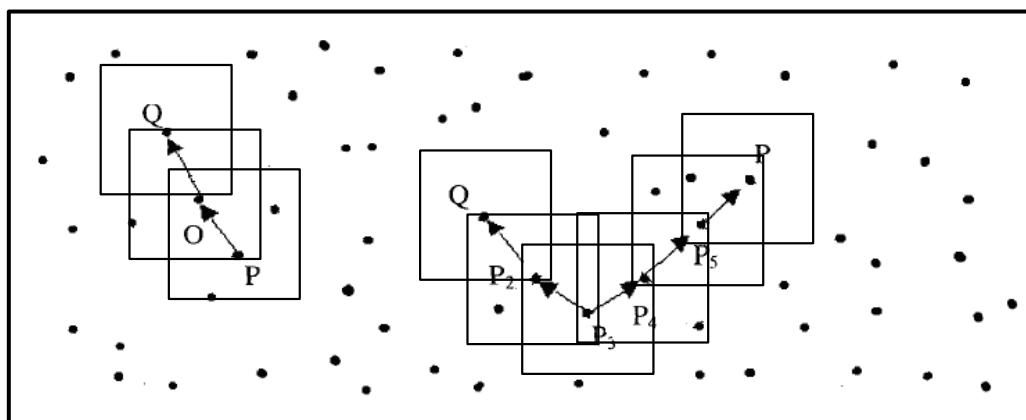


圖 4.32 改良式 DBSCAN 之密度可到達與密度相連示意圖

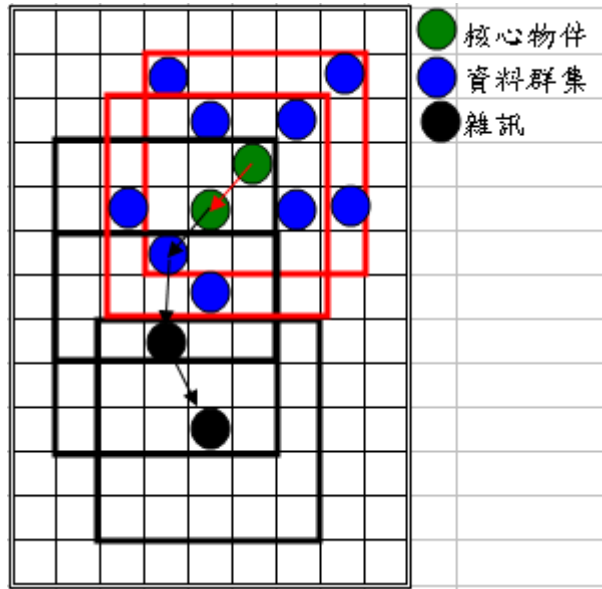


圖 4.33 改良式 DBSCAN 之分群示意圖(Eps=5 ; Minpts=8)



4.7 障礙物描述

Hough Transform 一般為直線偵測之熟知技術，利用於障礙物的最後階段，主要是為了要描述所偵測出之障礙物，因為障礙物可能有任一角度，而不是水平線，利用分群演算法所得到的結果，可以將每筆資料中密度最高的點數(代表像素為 1 的點)，利用 Hough Transform 描述，並取 Hough Transform 所畫出之直線中點，計算障礙物距離。圖 4.33 與圖 4.34 為分群演算法運算後之結果，並且以 Hough Transform 運算之結果顯示，有關 Hough Transform 的學理技術可參考 2.2.5 節。

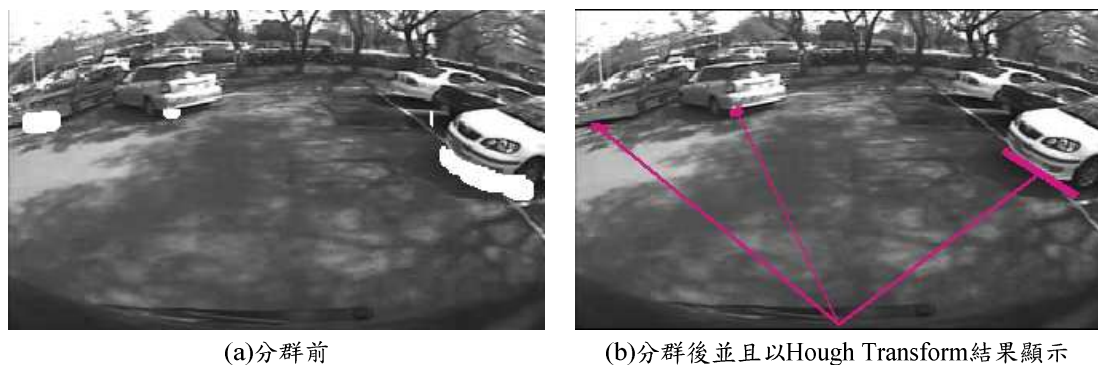


圖 4.34 障礙物偵測結果(日間)

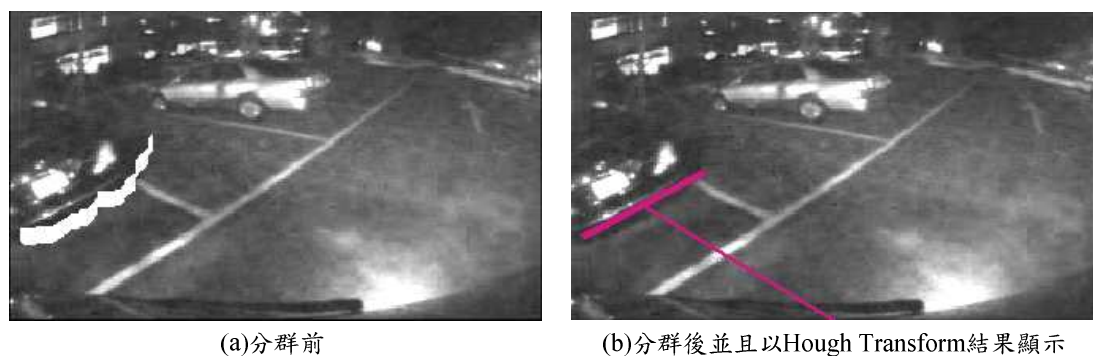


圖 4.35 障礙物偵測結果(夜間)

第五章 影像距離估測

5.1 前言

本章介紹影像距離估測的方法，距離估測是利用透視投影建立三維相機座標與二維影像座標間之關係，但因為演算法發展所使用的相機為 150 度的廣角鏡頭，必須考慮透鏡的輻射效應，所以利用魚眼數學模型，將二維無失真影像座標轉換至二維失真影像(整數)座標，並建立二維失真影像(整數)座標與三維相機座標間關係。得到二維失真影像座標與三維相機座標間關係後，利用座標平移與旋轉技巧，建立三維相機座標與三維真實車輛座標的關係，關係建立正確後，即可利用二維的失真影像座標求得真實車輛地平面的距離值。



5.2 影像距離估測演算法架構

圖 5.1 為影像距離估測演算法架構示意圖，利用表 5.1 說明數學模型各程序功用。依據實驗結果影像距離估測結果，精確度可達公分等級，且誤差小於十公分。

表 5.1 影像距離估測數學模型功用說明表

數學模型 處理程序	數學模型 名稱	功能說明
透視投影 轉換	幾何光學 模型	建立三維相機座標系統與二維(未失真)影像座標系統間之數學公式。
	魚眼相機 模型	將二維(未失真)影像座標系統轉換至二維(失真整數)影像座標系統。
相機座標 轉換	相機座標 平移	利用旋轉矩陣與平移矩陣將三維相機座標系統對應至三維車輛座標系統。
	相機座標 旋轉	
座標關係建立		透視投影轉換後得到之二維(失真整數)影像座標系統，與相機座標轉換後之三維車輛座標系統，其關係式可以利用以下公式表示： $P_c = R_{x,\theta} \cdot T_{y,H} \cdot P_v$
反透視投影		將實際三維車輛座標轉換到二維影像上整數座標之過程，稱為透視投影 (perspective projection)。相反的，利用反透視投影 (inverse perspective projection) 則可將二維影像上整數座標轉換到二維實際車輛地平面座標

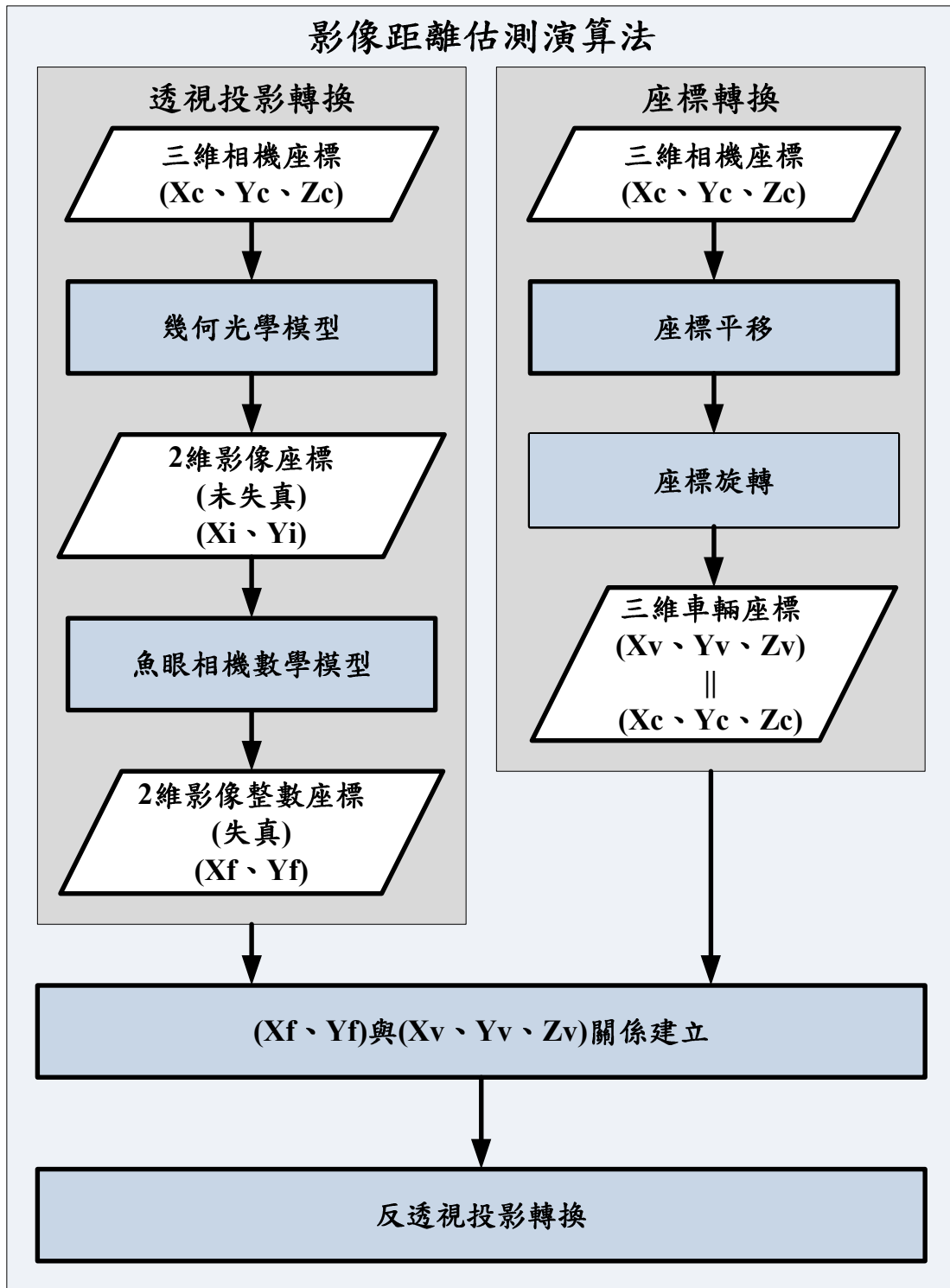


圖 5.1 影像距離估測數學模型示意圖

5.3 魚眼失真

魚眼鏡頭是具有廣大視野範圍的鏡頭，一般常見的規格定義為，成像畫面中對角線的角度，當作魚眼鏡頭的可視角度，常見的規格有 90、120、150 和 170 度，但由於底片或是 CCD/CMOS 感測器尺寸大小多為固定，因此，當光線要由相機外部經過魚眼鏡頭中心，到達底片或是 CCD/CMOS 感測器時，如圖 5.2 所示，光線必須經過向影像中心折射的程序而進行成像。因為光線折射的過程，常常使得所得到的程像有扭曲的現象，其中沿著鏡像產生的變形如筒狀變形(Barrel Distortion)如圖 5.3，便是因為透過魚眼鏡頭成像所造成的變形。

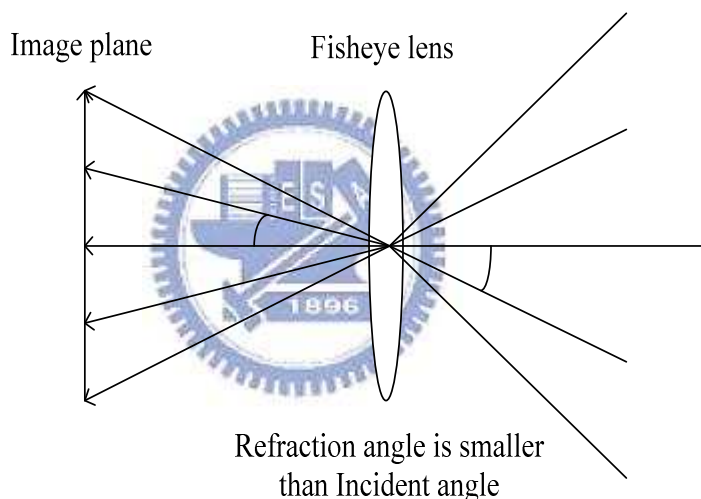


圖 5.2 魚眼鏡頭成像示意圖 [37]

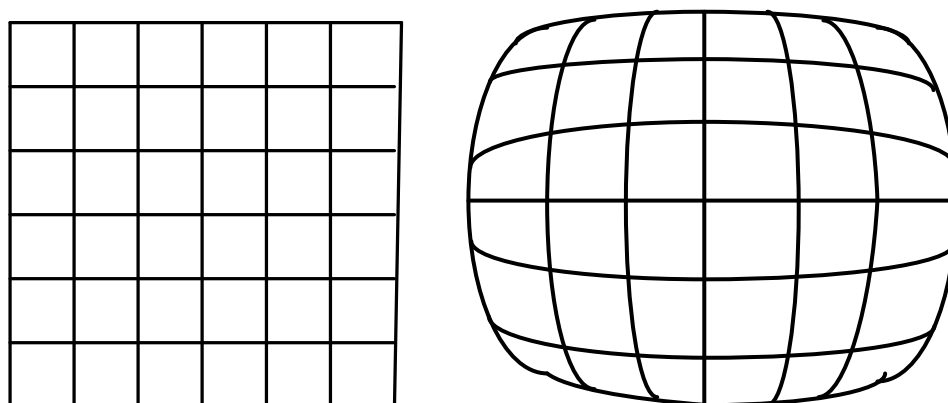


圖 5.3 魚眼影像示意圖(左)原始影像(右)筒狀變形影像 [37]

5.4 透視投影轉換

5.4.1 相關參數及座標定義

$P_i(X_i, Y_i)$ ：影像上理想無失真之影像座標系統

$P_d(X_d, Y_d)$ ：影像上失真(實數)之影像座標系統

$P_f(X_f, Y_f)$ ：影像上整數(儲存於記憶體中)之影像座標系統

$P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ ：相機座標系統

$P_v(X_v, Y_v, Z_v)$ ：車輛座標系統

f ：焦距

dx ：影像感測器中感測器水平方向之距離

dy ：影像感測器中感測器垂直方向之距離

C_x ：影像上水平像素的中心位置

C_y ：影像上垂直像素的中心位置

S_x ：Image Scale Factor

N_{xc} ：X 方向上共有 N_{xc} 個感測器

N_{fx} ：電腦上 X 方向的解析度



5.4.2 幾何光學模型

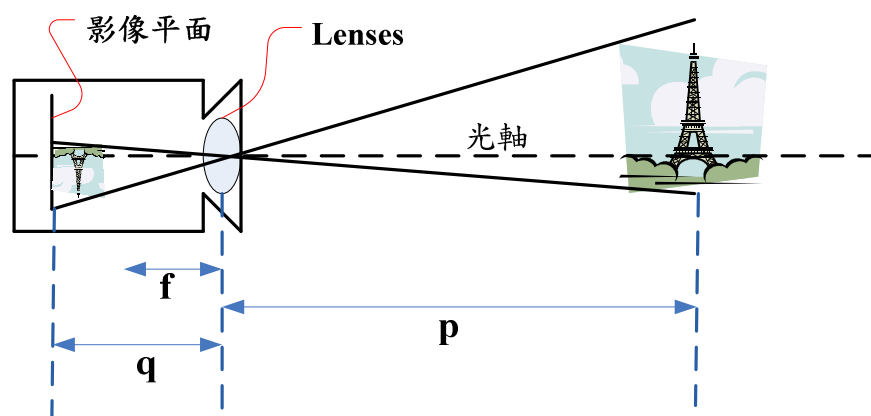


圖 5.4 相機成像示意圖

圖 5.4 為相機成像的示意圖，其中 f (焦距)、 P (物距)和 q (相距)關係如下：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{q} \quad \text{方程式(1)}$$

方程式(1)中的 q 為影像成像的距離，實際上無法得知，但由方程式可知，如果 $P > 30 * q$ ，則 $f \cong q$ ，所以在以下的推導公式中，以 f 取代 q 。

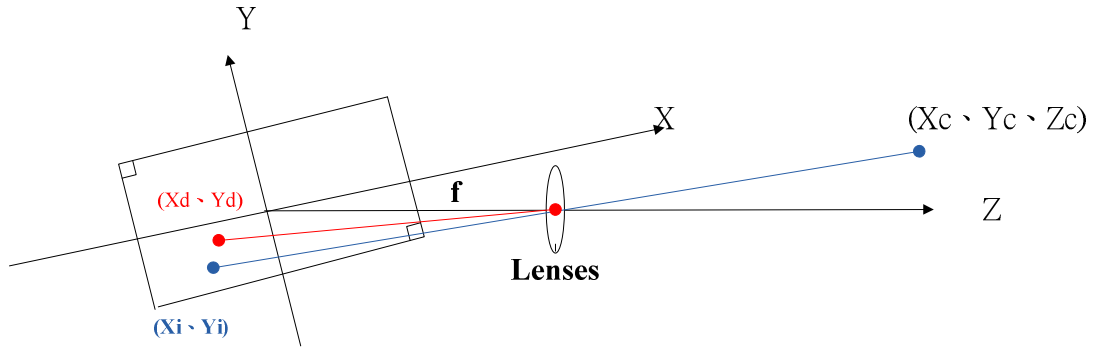


圖 5.5 相機座標與影像平面座標關係

根據圖 5.5，利用三角比例關係，可得方程式(2)，而 (X_i, Y_i) 為 (X_c, Y_c, Z_c) 投射到影像座標系統的理想座標位置。

$$X_i = f \frac{X_c}{Z_c} \quad ; \quad Y_i = f \frac{Y_c}{Z_c} \quad \text{方程式(2)}$$

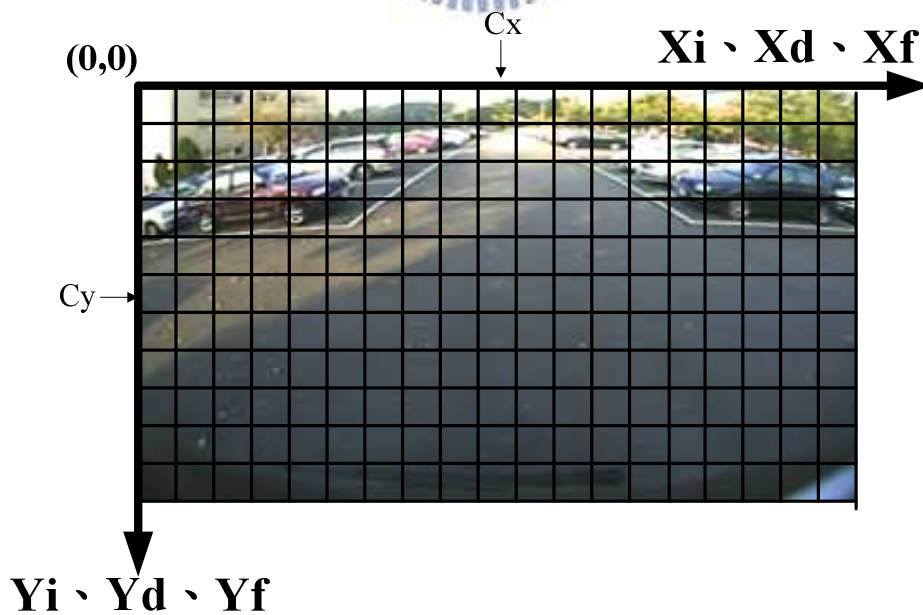


圖 5.6 影像座標系統示意圖

5.4.3 魚眼相機數學模型

圖 5.7 為魚眼相機數學模型示意圖，利用圖中的 Step-1 至 Step-3，即可將相機座標系統 $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ 轉換至記憶體中之整數影像座標 $P_f(X_f, Y_f)$ 。



圖 5.7 魚眼相機數學模型示意圖

5.4.4 魚眼相機數學公式推導

程式(2)中(X_i 、 Y_i)為在影像上無失真的理想座標，但(X_c 、 Y_c 、 Z_c)投射到影像座標系統的實際座標位置為(X_d 、 Y_d)，會因為透鏡的效應(Ex: Radial and tangential)，而發生偏移，造成實際影像扭曲，一般稱為魚眼失真。在此只考慮因透鏡輻射效應(Radial Distortion)所產生的影響。根據 R.Tsai[27]的魚眼數學模型，(X_i 、 Y_i)與(X_d 、 Y_d)的關係如下：

$$X_d + D_x = X_i \quad \text{方程式(3)}$$

$$Y_d + D_y = Y_i \quad \text{方程式(4)}$$

其中 D_x 為 X_i 和 X_d 之間的誤差，同理 D_y 為 Y_i 和 Y_d 之間的誤差， D_x 和 D_y 可以下式表示：

$$D_x = X_d(k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots)$$

$$D_y = Y_d(k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots)$$

$$r = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2}$$



其中 k_1, k_2, \dots 為相機的內部未知參數，且 $k_1 \gg k_2, k_3, \dots$ 。在以下推導中，只取第一項 $k_1 r^2$ 近似，忽略 r 的更高次項(令 $k_2, k_3, \dots = 0$)。

因為影像在電腦或嵌入式系統中，是以框(frame)的形式，一張一張的儲存於記憶體中，所以在記憶體中，影像是以像素為單位且為整數，定義為(X_f 、 Y_f)，而(X_d 、 Y_d)為實數，所以根據 R.Tsai[27]的魚眼數學模型需修正如下：

$$X_f = C_x + X_d \cdot \frac{S_x}{dx'} \Rightarrow X_d = \frac{(X_f - C_x) dx'}{S_x}$$

$$\text{其中 } dx' = dx \cdot \frac{N_{xc}}{N_{fx}}$$

C_x ：影像上水平像素的中心位置

S_x ：Image Scale Factor

dx ：影像感測器中感測器水平方向之距離

N_{xc} ：X 方向上共有 N_{xc} 個感測器

N_{fx} ：電腦上 X 方向的解析度

$$Yf = Cy - \frac{Yd}{dy} \Rightarrow Yd = -(Yf - Cy)dy$$

其中 dy ：影像感測器中感測器垂直方向之距離

Cy ：影像上垂直像素的中心位置

根據方程式(3)可得

$$\begin{aligned} X_i &= f \cdot \frac{X_c}{Z_c} = Xd + Dx = \frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} + Xd(k_1 \cdot r^2) \\ &= \frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} + \frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} (k_1 \cdot r^2) = \frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} (1 + k_1 \cdot r^2) \\ \Rightarrow Xf - Cx &= f \cdot \frac{X_c}{Z_c} \cdot \frac{S_x}{dx'} \cdot \frac{1}{(1 + k_1 r^2)} \\ \Rightarrow Xf &= Cx + \frac{f \cdot S_x}{dx'} \cdot \frac{1}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \frac{X_c}{Z_c} \end{aligned} \quad \text{方程式(5)}$$

根據方程式(4)可得

$$\begin{aligned} Y_i &= f \cdot \frac{Y_c}{Z_c} = Yd + Dy = -(Yf - Cy)dy - (Yf - Cy)dy(k_1 r^2) \\ &= -(Yf - Cy)dy(1 + k_1 \cdot r^2) \\ \Rightarrow (Yf - Cy) &= \frac{-f}{dy(1 + k_1 r^2)} \cdot \frac{Y_c}{Z_c} \\ \Rightarrow Yf &= Cy - \frac{f}{dy(1 + k_1 r^2)} \cdot \frac{Y_c}{Z_c} \end{aligned} \quad \text{方程式(6)}$$

根據方程式(5)和(6)

$$(5) \Rightarrow Xf = Cx + Kx \cdot \frac{1}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \frac{X_c}{Z_c} \quad \text{方程式(7)}$$

$$(6) \Rightarrow Yf = Cy - Ky \cdot \frac{1}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \frac{Y_c}{Z_c} \quad \text{方程式(8)}$$

假設 $\frac{f \cdot S_x}{dx'} = Kx$ 和 $\frac{f}{dy} = Ky$

$$\frac{Kx}{Ky} = \frac{S_x \cdot \frac{f}{dx'}}{\frac{f}{dy}} = \frac{S_x \cdot dy}{dx'} = u \quad (Kx \text{ 和 } Ky \text{ 具有一個固定比例})$$

$$r = \sqrt{Xd^2 + Yd^2} = \sqrt{\left[\frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x}\right]^2 + [-(Yf - Cy)dy]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x}\right]^2 + [(Yf - Cy)dy]^2} \quad \text{方程式(9)}$$

5.5 座標轉換

經由 5.4 節的推導過程，求得方程式(7)、(8)和(9)，已將失真影像上之座標與相機座標關係建立起來，接下來利用旋轉矩陣與平移矩陣將相機座標與車輛座標之關係建立起來。

旋轉矩陣與平移矩陣建立相機座標系統與車輛座標系統關係，其關係式可以利用方程式(10)表示：

$$\Rightarrow Pc = R_{x,\theta} \cdot T_{y,H} \cdot Pv \quad \text{方程式(10)}$$

$R_{x,\theta}$ ：旋轉矩陣，對 x 軸旋轉 θ 角

$T_{y,H}$ ：平移矩陣，對 y 軸平移 H

θ 角：Camera 之光軸與地面夾角，光軸假設位於影像之中心座標

H：Camera 安裝之高度(距離地面)

5.5.1 座標系統定義

在建立相機座標系統與車輛座標系統之前，先定義座標系統，參考圖 5.8、5.9、5.10 和 5.11，座標系統定義分為右手和左手座標系統，本篇論文採用與 OpenGL 相同座標系統(右手座標系統)。

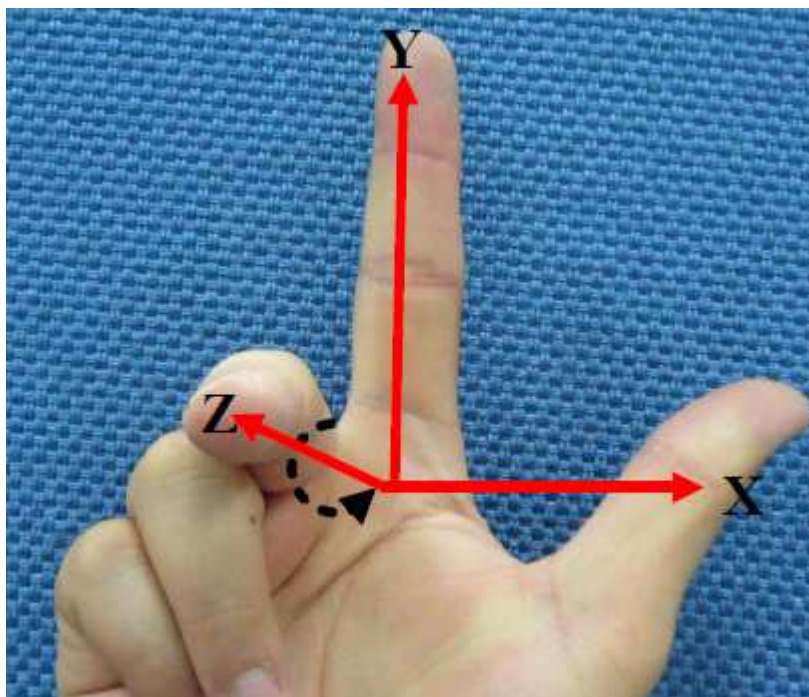


圖 5.8 右手座標系統示意圖

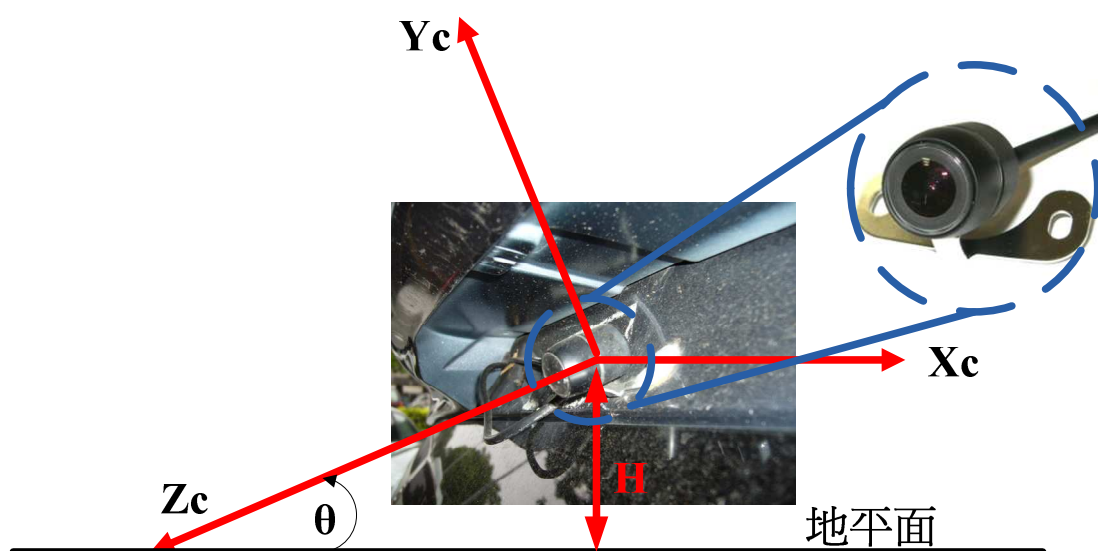


圖 5.9 相機座標系統示意圖

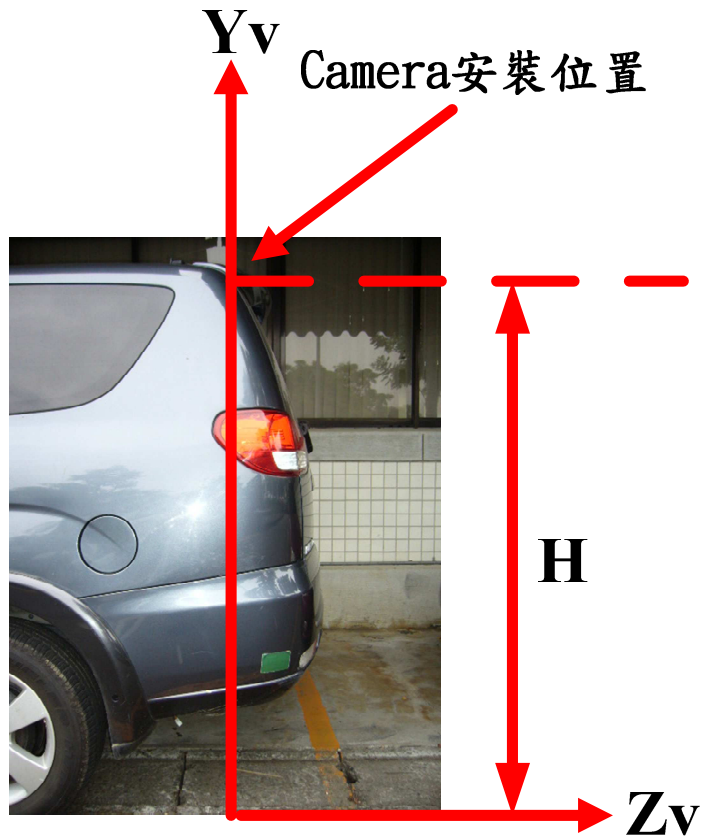


圖 5.10 車輛座標系統(側視圖)

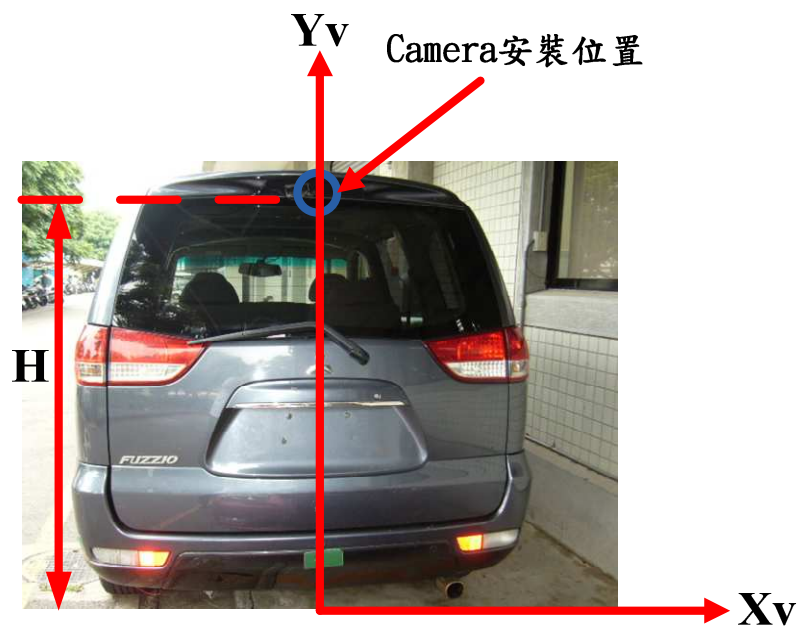


圖 5.11 車輛座標系統(正視圖)

5.5.2 相機座標平移

利用平移矩陣移動 Y 軸相機座標位置，參考圖 5.12。

$$T_{y, H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -H \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

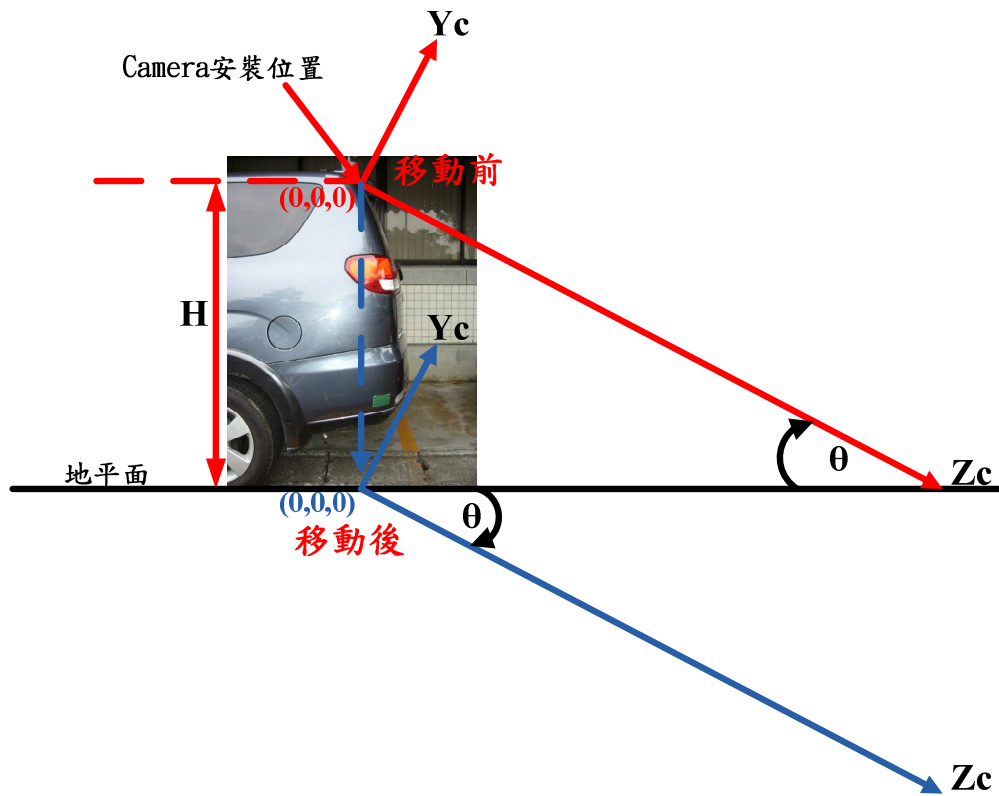


圖 5.12 相機座標平移示意圖

5.5.3 相機座標旋轉

利用旋轉矩陣，對 x 軸旋轉 θ 角，參考圖 5.13。

$$R_{x,\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



圖 5.13 相機座標旋轉示意圖

5.5.4 二維失真影像座標與三維車輛座標關係建立

將平移矩陣與旋轉矩陣帶入方程式(10)：

$$\Rightarrow Pc = R_{x,\theta} \cdot T_{y,H} \cdot Pv$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} Xc \\ Yc \\ Zc \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -H \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Xv \\ Yv \\ Zv \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & -H \cdot \cos \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & H \cdot \sin \theta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Xv \\ Yv \\ Zv \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xv \\ Zv \cdot \sin \theta - H \cos \theta \\ Zv \cdot \cos \theta + H \sin \theta \\ 1 \end{bmatrix}$$

根據方程式(7)

$$\begin{aligned} Xf &= Cx + Kx \cdot \frac{1}{(1+k_1 r^2)} \cdot \frac{Xc}{Zc} \\ &= Cx + Kx \cdot \frac{1}{(1+k_1 r^2)} \cdot \frac{Xv}{Zv \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta} \end{aligned} \quad \text{方程式(11)}$$

根據方程式(8)

$$\begin{aligned} Yf &= Cy - Ky \cdot \frac{1}{(1+k_1 r^2)} \cdot \frac{Yc}{Zc} \\ &= Cy - Ky \cdot \frac{1}{(1+k_1 r^2)} \cdot \frac{Zv \cdot \sin \theta - H \cdot \cos \theta}{Zv \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta} \end{aligned} \quad \text{方程式(12)}$$

5.5.5 反透視投影

以上將實際車後座標 Pv 轉換到影像上之整數座標 Pf 之過程，稱為透視投影 (perspective projection)。相反的，利用反透視投影 (inverse perspective projection) 則可將影像上之整數座標 Pf 轉換到實際車後座標 Pv，公式如下：

根據方程式(11)

$$X_v = \frac{(Xf - Cx) \cdot (Zv \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta) \cdot (1 + k_1 r^2)}{Kx} \quad \text{方程式(13)}$$

根據方程式(12)

$$Z_v = \frac{H \cdot \left[\frac{Ky}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \cos \theta - (Yf - Cy) \cdot \sin \theta \right]}{\frac{Ky}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \sin \theta + (Yf - Cy) \cdot \cos \theta} \quad \text{方程式(14)}$$

$$Distance = \sqrt{X_v^2 + Z_v^2}$$



其中

$$Kx = S_x \cdot \frac{f}{dx'}$$

$$Ky = \frac{f}{dy}$$

$$r = \sqrt{Xd^2 + Yd^2} = \sqrt{\left[\frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} \right]^2 + [-(Yf - Cy)dy]^2}$$

$$= \sqrt{\left[\frac{(Xf - Cx)dx'}{S_x} \right]^2 + [(Yf - Cy)dy]^2}$$

第六章 實驗結果與分析

6.1 影像距離估測實驗結果與分析

6.1.1 影像距離計算方程式

方程式一為常見之影像距離計算方程式，但因方程式一未考量魚眼鏡頭所造成的輻射效應，所以在考量魚眼相機的數學模型後，可得到方程式二的影像距離計算方程式。

方程式一：

$$X_v = \frac{(Xf - Cx) \cdot (Zv \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta)}{Kx}$$

$$Z_v = \frac{H \cdot [Ky \cdot \cos \theta - (Yf - Cy) \cdot \sin \theta]}{Ky \cdot \sin \theta + (Yf - Cy) \cdot \cos \theta}$$

$$Distance = \sqrt{X_v^2 + Z_v^2}$$

方程式二：

$$X_v = \frac{(Xf - Cx) \cdot (Zv \cdot \cos \theta + H \cdot \sin \theta) \cdot (1 + k_1 r^2)}{Kx}$$

$$Z_v = \frac{H \cdot \left[\frac{Ky}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \cos \theta - (Yf - Cy) \cdot \sin \theta \right]}{\frac{Ky}{(1 + k_1 r^2)} \cdot \sin \theta + (Yf - Cy) \cdot \cos \theta}$$

$$Distance = \sqrt{X_v^2 + Z_v^2}$$

其中

$$Kx = S_x \cdot \frac{f}{dx'}$$

$$Ky = \frac{f}{dy}$$

$$r = \sqrt{\left[\frac{(Xf - Cx) dx'}{S_x} \right]^2 + [(Yf - Cy) dy]^2}$$



6.1.2 實驗參數設定

距離計算方程式之參數請參考表 6.1，影像解析度為 720 X 480。

距離測試結果參考圖 6.1 與圖 6.2。

表 6.1 實驗參數表

Item	參數	設定	單位
1	H	170	cm
2	θ	0.5199	徑度
3	Cx	360	Pixel
4	Cy	240	Pixel
5	Ky	314	
6	Kx	369	
7	dy	0.00285	cm
8	dx'	0.0017	cm
9	k1	1.2	

6.1.3 影像距離估測實驗結果

圖 6.1 為利用方程式一所得之距離估測結果，圖 6.2 為利用方程式二所得之距離估測結果，圖 6.1 與圖 6.2 皆分為四個矩形框，分別為紅色、綠色、藍色和白色，其中紅色、綠色和藍色的矩形框分別代表不同方向的距離估測值，白色矩形框為相對應的參考位置，由下至上所代表的 100cm 至 800cm 的實際距離值。

每個矩形框中，最下方的點實際距離為 100cm，各點實際距離間格為 100cm，最上方的點所代表之實際距離為 800cm，中間各點實際距離依此類推，可參考白色框內之相對應的參考位置，白色框內參考位置所顯示之距離值為實際距離。



圖 6.1 方程式一之距離估測實驗結果

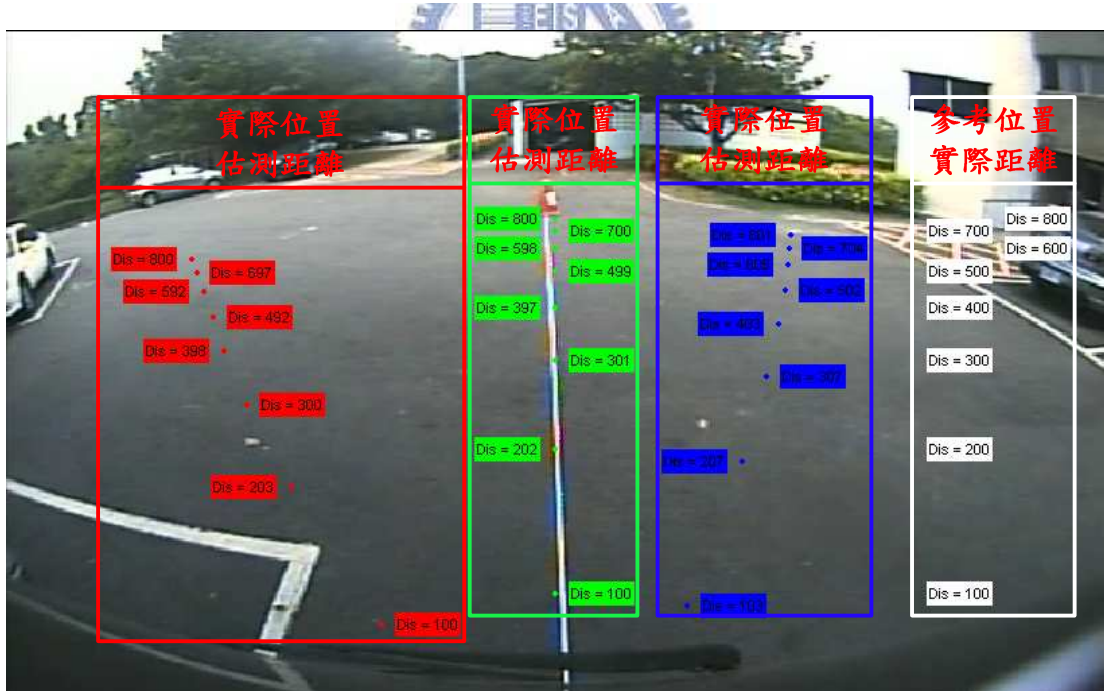


圖 6.2 方程式二之距離估測實驗結果

6.1.4 影像距離估測實驗結果分析

表 6.2、表 6.3 和表 6.4 分別代表紅色、綠色和藍色的矩形框內，利用方程式一和方程式二計算所得結果的分析比較表。其中絕對值誤差定義如下：

絕對值誤差 = | 實際距離值 — 估測距離值 |

表 6.2 影像距離估測分析比較表(左；紅色框)

影像距離估測分析比較表(左；紅色框)				
實際距離值	方程式一		方程式二	
	估測距離值	絕對值誤差	估測距離值	絕對值誤差
100	127	27	100	0
200	237	37	203	3
300	348	48	300	0
400	453	53	398	2
500	546	46	492	8
600	637	37	592	8
700	723	23	697	3
800	800	0	800	0

表 6.3 影像距離估測分析比較表(中；綠色框)

影像距離估測分析比較表(中；綠色框)				
實際距離值	方程式一		方程式二	
	估測距離值	絕對值誤差	估測距離值	絕對值誤差
100	111	11	100	0
200	198	2	202	2
300	301	1	301	1
400	406	6	397	3
500	514	14	499	1
600	614	14	598	2
700	711	11	700	0
800	800	0	800	0

表 6.4 影像距離估測分析比較表(右；藍色框)

影像距離估測分析比較表(右；藍色框)				
	方程式一		方程式二	
實際距離值	估測距離值	絕對值誤差	估測距離值	絕對值誤差
100	124	24	103	3
200	226	26	207	7
300	336	36	307	7
400	441	41	403	3
500	543	43	502	2
600	641	41	605	5
700	730	30	704	4
800	809	9	801	1

圖 6.3、圖 6.4 和圖 6.5 分別為表 6.2、表 6.3 和表 6.4 內，絕對值誤差的比較圖，由圖 6.3、圖 6.4 和圖 6.5 可得知，利用方程式二所求得的估測距離值，其絕對值誤差較低。

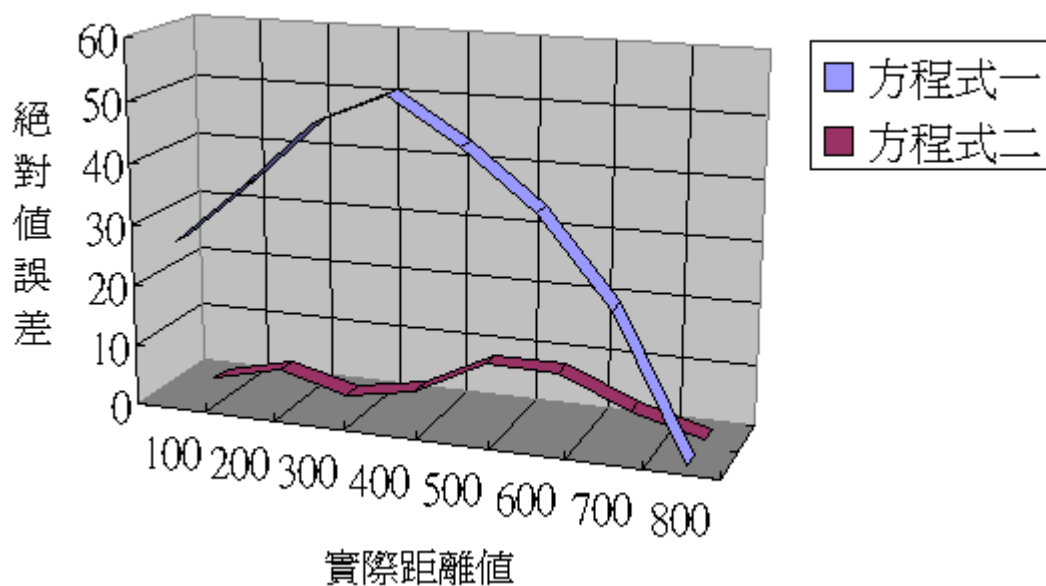


圖 6.3 影像距離估測誤差比較圖(左；紅色框)

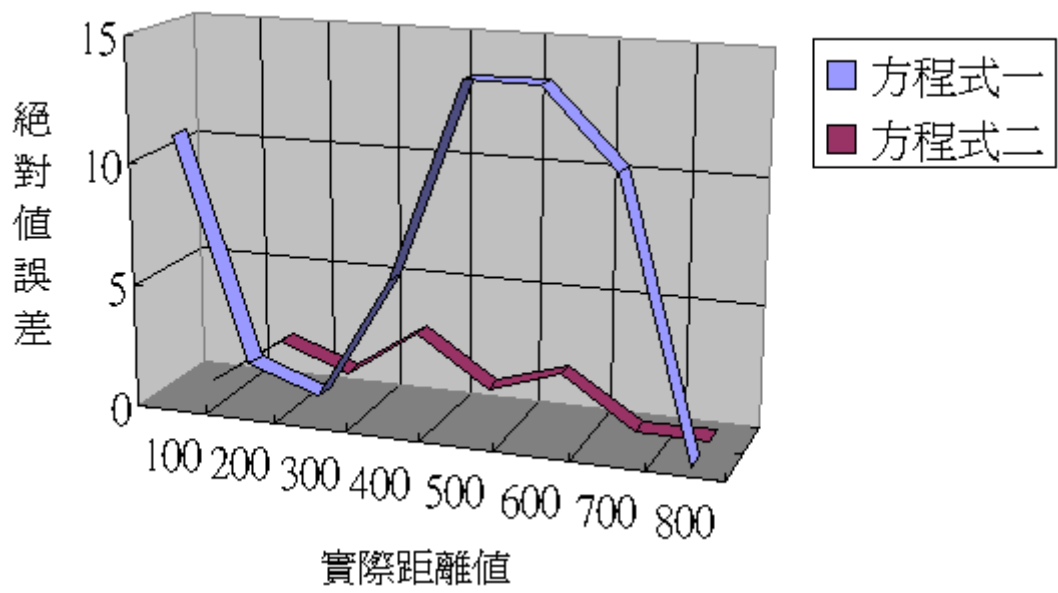


圖 6.4 影像距離估測誤差比較圖(中；綠色框)

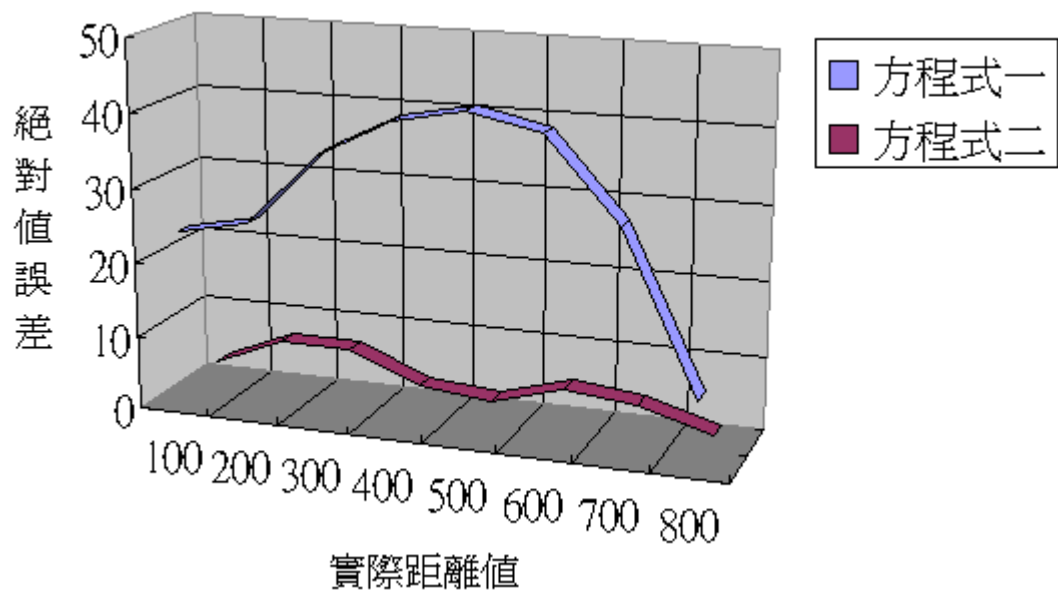


圖 6.5 影像距離估測誤差比較圖(右；藍色框)

6.2 障礙物偵測實驗結果與分析

6.2.1 障礙物偵測實測影像

圖 6.6 至圖 6.18 為障礙物偵測演算法實際測試的影像，(a)以 Hough Transform 結果顯示，(b)為利用距離估測結果顯示。距離估測點為 Hough Transform 所求得之直線中點。

以距離估測結果方式顯示分為三段：

- 距離值 800cm 以上利用 Hough Transform 結果顯示。
- 距離值 250cm 至 800cm 以綠色框框顯示距離值。
- 距離值 250cm 以內利用紅色框框顯示距離值。

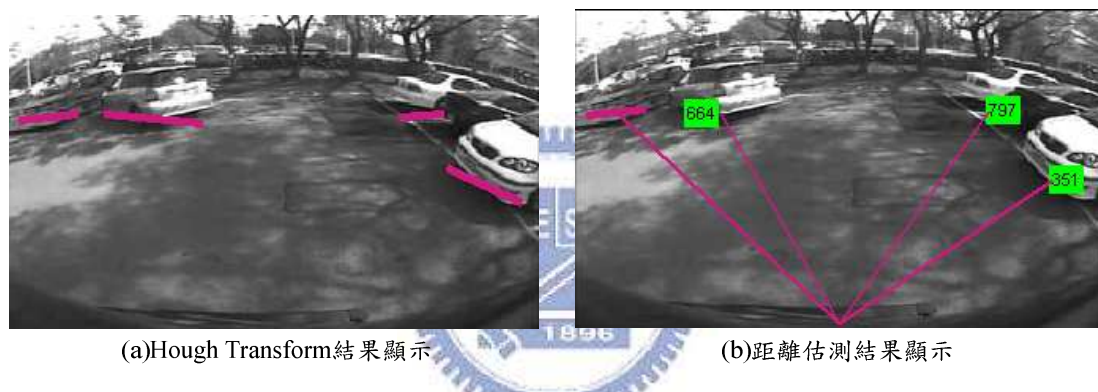


圖 6.6 車輛移動時室外環境實測(日間-路面陰影)

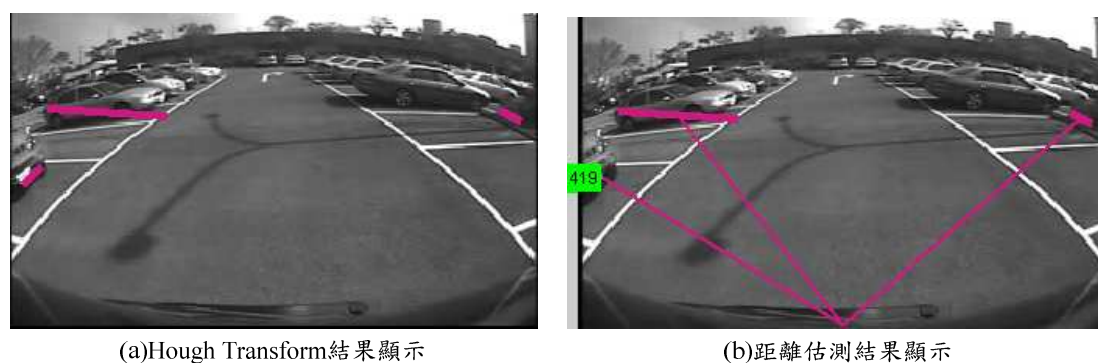


圖 6.7 車輛移動時室外環境實測(日間-柏油路面)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.8 車輛移動時室外環境實測(日間-路面積水)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.9 車輛移動時地下停車場環境實測(地下室-路面反光)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.10 車輛移動時室外環境實測(日間-方形磚-陰影)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.11 車輛移動時室外環境實測(日間-車底陰影凸出)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.12 車輛靜止時室外環境實測(日間-行人-陰影)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.13 車輛靜止時室外環境實測(日間-車尾靜止車輛)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.14 車輛靜止時室外環境實測(夜間-有路燈-行人)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.15 車輛移動時停車場環境實測(夜間-日光燈-地面反光)



(a)Hough Transform結果顯示



(b)距離估測結果顯示

圖 6.16 車輛移動時室外環境實測(夜間-無路燈)

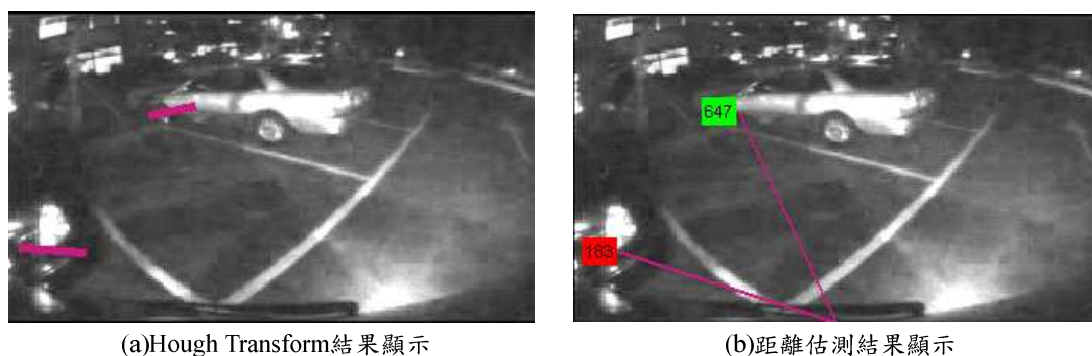


圖 6.17 車輛移動時室外環境實測(夜間-無路燈)



圖 6.18 車輛移動時室外環境實測(日間-機車-陰影)

6.2.2 障礙物偵測實驗結果分析

表 6.5 為障礙物偵測裝況之定義，表 6.6 為偵測結果。

表 6.5 障礙物偵測狀況整理表

障礙物偵測狀況整理表		
	偵測範圍內有障礙物	偵測範圍內無障礙物
偵測到障礙物 位置標示正確	偵測正確	
偵測到障礙物 位置標示錯誤	標示錯誤	偵測錯誤(1)
沒有偵測到障礙物	偵測錯誤(2)	偵測正確
備註	1. 障礙物偵測正確率之計算以 frame 為單位，以影像中心點之 Y 座標為基準，檢視 Y 座標以下之偵測結果。影像中心點 Y 座標為 120。約為圖 6.2 中間綠色框內所顯示 301cm 之位置。 2. 若單張影像中偵測錯誤(1)與偵測錯誤(2)同時存在，則記錄於偵測錯誤(1)中。	

表 6.6 障礙物偵測結果統計表

障礙物偵測結果統計表																
參考	時間	本車狀態	環境狀態	天候	地點	陽光方位	路面材質	障礙物	特殊情況	測試畫格	偵測正確	偵測錯誤(1)	偵測錯誤(2)	標示錯誤	準確率	備註
圖 6.6	下午	移動	靜止	晴	室外	陽光下	柏油路面	1.汽車 2.駁坎	1.路面有樹影 2.有停車格線	740	671	53	0	29	90.7%	地面樹影造成部分偵測錯誤
圖 6.7	下午	移動	靜止	晴	室外	車後	柏油路面	1.汽車 2.矮樹	1.路燈陰影 2.有停車格線	740	665	46	0	29	89.9%	矮樹與旁邊的汽車靠太近，導致障礙物偵測結果合併
圖 6.8	下午	移動	靜止	晴	室外	車前	柏油路面	汽車	1.車尾陰影 2.有停車格線 3.路面積水	740	530	203	0	7	71.6%	路面積水與車尾陰影重疊造成偵測錯誤
圖 6.9	下午	移動	靜止	晴	地下室	無	水泥路面	汽車	1.路面反光 2.有停車格線	740	692	33	15	0	93.5%	車底陰影單純，所以沒有標示錯誤

圖 6.10	下午	移動	靜止	晴	室外	車後	草皮 和 方形 磚	1.汽車 2.矮樹	1.路面有陰影 2.路面有樹影 3.有停車格線	740	576	102	0	62	77.8%	矮樹與旁邊的汽車連接在一起，還有樹影與車底陰影重疊，造成準確率降低
圖 6.11	下午	移動	靜止	晴	室外	車後	柏油 路面	汽車	1.路面有陰影 2.有停車格線	740	689	31	7	13	93.1%	
圖 6.12	下午	靜止	汽車靜止 行人移動	晴	室外	車後	柏油 路面	1.汽車 2.行人	1.行人陰影 2.有停車格線	740	682	47	0	11	92.2%	
圖 6.13	黃昏	靜止	靜止	晴	室外	車後	柏油 路面	1.汽車 2.駁坎		289	289	0	0	0	100%	
圖 6.14	夜間	靜止	機車靜止 行人移動	晚上	室外	路燈	柏油 路面	1.機車 2.行人	1.路面行人陰影 2.路面車尾陰影	112	92	4	16	0	82.5%	
圖 6.15	夜間	移動	靜止	晚上	路橋下	路燈	柏油 路面	汽車	1.車底陰影凸出 2.停車格線 3.路面反光	347	249	33	0	65	71.8%	車底陰影太凸出，造成標示錯誤
圖 6.16	夜間	移動	靜止	晚上	室外	無光 源	柏油 路面	汽車	車尾燈造成後 方車身反光	740	328	238	0	0	53.7%	

6.2.3 障礙物偵測實驗結果分析

根據表 6.6 的偵測結果，可得以下結論：

- 根據實驗結果，可偵測之障礙物類型多種，不設限目標及形體。可偵測之障礙物有：汽車、機車、行人、駁坎、矮樹。
- 根據實驗結果，若地面單純，偵測準確率可達到 90% 以上。

造成障礙物偵測準確率降低的問題主要在於以下狀況：

- 天候狀況：對於障礙物偵測而言，天候是最大的影響要素，例如：晴天、雨天(小雨、大雨和暴風雨)、夜間、霧氣(薄霧或濃霧)等…，以上的許多情況，需要以不同的演算法來達成，而且在不同的天候，皆會影響障礙物偵測的準確率。
- 地面陰影的複雜程度：若單純只是某一種特定物體所造成的地面陰影，根據實驗結果，此一種特定物體所造成的地面陰影不會影響到偵測的準確度。但若地面陰影的形成是由兩種以上特定物體的地面陰影重疊所造成，會因為地面陰影重疊，而導致陰影的灰階強度更暗，造成偵測錯誤(1)的結果增加。
- 陽光方位：陽光的方位主要會影響到陰影形成的方向，分為以下兩點討論：
 - 對於本車：若陽光方位是位於車頭，則會於車尾形成本車的車尾陰影，若地面也有陰影，像是樹影之類的陰影，則車尾陰影會與樹影重疊，導致陰影的灰階強度更暗，造成偵測錯誤(1)的結果增加。
 - 對於障礙物：陽光方位會造成障礙物所形成的陰影有不同的方向，影響最大的為，障礙物所形成的陰影凸出於障礙物本體，若凸出過大，則會造成表 6.5 中標示錯誤的問題。
- 路面材質：一般常見的為柏油路面，但倒車時常常會遇到許多種環境與狀況，例如常見的方形磚，且方形磚的路面也常會有草皮，可參考圖 6.10，若在此種路面，又有陰影時，也會造成偵測錯誤(1)結果增加。

第七章 結論與未來展望

7.1 結論

由於車輛的移動速度快及其方便性，現在平均每個家庭大約有一部以上的車輛，人的生活與車輛脫離不了關係，且關係愈來愈緊密，例如上班、接送小孩、外出旅遊等...。但也由於車輛的增加，造成交通事故意外頻傳，根據警政署統計，台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆高達三千人左右，而受傷的人數則約略為二十萬人，分析其原因，大多為駕駛者分心及精神不集中所致。

車輛的電子化，主要是為了能讓車輛安裝更多的感測器，透過感測器的運作與感測器之間的資料融合，使車輛達到智慧化的目的，藉此輔助駕駛者駕駛車輛。停車輔助系統的領域中，過去主要是利用超音波警示系統輔助駕駛者停車，現在亦有利用影像感測器搭配超音波之停車輔助系統，而在較高階產品上，會利用方向盤轉角感測器的資訊，提供倒車輔助線，亦有利用純影像的技術，偵測車輛動態，達到倒車輔助線的功能，讓駕駛者可以更容易完成停車動作。但以上所描述的產品，能夠主動偵測障礙物位置的只有超音波警示系統，但超音波警示系統只提供車後方 1.5m 的周邊範圍警示，警示的方式大多分為三段，即 1.5m、1m 和 0.5m 以單音的聲音快慢輔助駕駛者，駕駛者很難判斷障礙物的方位及距離。

本論文所提之方法，系利用單一影像感測器，以單眼視覺演算技術，實現障礙物偵測與影像距離估測之功能，利用偵測到的障礙物位於影像中之位置，計算障礙物與駕駛者所駕駛車輛間之相對距離，並將偵測結果顯示於畫面中，駕駛者依據畫面呈現的結果，可清楚知道障礙物方位及相對距離。

利用本方法所實現之障礙物偵測演算法優點整理如下：

- 單一影像即可偵測，無需利用兩張以上影像。
- 單一影像感測器即可實現，且可搭配廣角鏡頭。
- 使用廣角鏡頭偵測障礙物，無需經過魚眼校正演算法處理。

➤ 根據實驗結果，可偵測之障礙物類型多種，不設限目標及形體，根據實驗結果可偵測汽車、機車、行人、駁坎、矮樹。

➤ 根據實驗結果，若地面單純，偵測準確率可達到 90% 以上。

利用本方法所實現之影像距離估測演算法優點整理如下：

➤ 影像中任意位置皆可計算距離。

➤ 可使用任意鏡頭，可為廣角或非廣角鏡頭，更換鏡頭需重新設定參數。

➤ 根據實驗結果，估測距離與實際距離之絕對值誤差小於 10cm。

7.2 未來展望

本論文所提之方法，於部分實驗結果，雖可避面路面陰影造成的影響，但若路面陰影的灰階強度過低亦會造成偵測錯誤的結果，例如：車尾陰影與路面積水重疊，以下列出未來可改進之方向，期望能達到商品化之目的。

➤ 地面陰影的位置判斷：若能知道陰影位置，則可大幅降低偵測錯誤的結果。

➤ 多種模式的自動切換：例如日間、夜間、雨天等...多種環境，若能先做判斷，則可依據不同模式切換不同的演算法或設定不同參數。

➤ 障礙物追蹤模式：例如原本已經偵測到的障礙物，但可能到下一張影像時，沒有偵測到該障礙物，如果有加入障礙物追蹤模式，則可繼續更新障礙物位置，但前提是必須要能清除因地面陰影造成的錯誤障礙物位置，否則將因追蹤模式而持續保留該障礙物。

➤ 若要達到商品化的目的，演算法處理的速度將是一大挑戰，因程式發展使用 Matlab 7.0 的 M-File 撰寫，處理速度因開發環境而有所限制，未來可先轉為 C 語言撰寫，並進一步提升演算法處理速度。

➤ 目前演算法發展為 PC-Based，若要能夠商品化，則需轉為嵌入式系統平台，影像處理硬體電路的設計結果，可參考附錄。

參考文獻

- [1] Alonso.J.D., Vidal.E.R, Rotter.A, Muhlenberg.M., “Lane-Change Decision Aid System Based on Motion-Driven Vehicle Tracking.” Volume 57, Issue 5, Sept. 2008 Page(s):2736 - 2746
- [2] Che-Chung Lin, Chi-Wei Lin, Dau-Chen Huang, Yung-Hsin Chen, “Design a Support Vector Machine-based Intelligent System for Vehicle Driving Safety Warning.” , Intelligent Transportation Systems, 2008. ITSC 2008. 11th International IEEE Conference on 12-15 Oct. 2008 Page(s):938 - 943
- [3] Zehang Sun, Bebis. G, Miller. R, “On-road vehicle detection: a review.” , Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Volume 28, Issue 5, May 2006 Page(s):694 - 711
- [4] Kantawong. S, “Road traffic signs detection and classification for blind man navigation system.” , Control, Automation and Systems, 2007. ICCAS '07. International Conference on 17-20 Oct. 2007 Page(s):847 - 852
- [5] de la Escalera. A, Moreno. L.E, Salichs. M.A, Armingol. J.M, “Road traffic sign detection and classification.” , Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 44, Issue 6, Dec. 1997 Page(s):848 - 859
- [6] Zhou.J, Gao.D, Zhang.D, “Moving Vehicle Detection for Automatic Traffic Monitoring.”, Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume 56, Issue 1, Jan. 2007 Page(s):51 - 59
- [7] Leibe.B, Schindler.K, Cornelis.N, Van Gool.L, “Coupled Object Detection and Tracking from Static Cameras and Moving Vehicles.”, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Volume 30, Issue 10, Oct. 2008 Page(s):1683 – 1698

- [8] Takayuki Naito, Toshio Ito, and Yukio Kaneda, "The Obstacle Detection Method using Optical Flow Estimation at the Edge Image," Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, pp.817-822, June 2007
- [9] Qiang Zhan, Shouren Huang, Jia Wu, "Automatic Navigation for A Mobile Robot with Monocular Vision," Robotics, Automation and Mechatronics, 2008 IEEE Conference on 21-24 Sept. 2008 Page(s):1005 - 1010
- [10] Demonceaux and D. Kachi-Akkouche, "Robust Obstacle Detection with Monocular Vision Based on Motion Analysis," Proc. IEEE Symp. Intelligent Vehicle, pp. 527-532, June 2004.
- [11] Campbell.J, Sukthankar.R, Nourbakhsh.I, Pahwa.A, "A Robust Visual Odometry and Precipice Detection System Using Consumer-grade Monocular Vision," Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on 18-22 April 2005 Page(s):3421 - 3427
- [12] van der Mark W, van den Heuvel J.C, Groen F.C.A, "Stereo based Obstacle Detection with Uncertainty in Rough Terrain," Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE 13-15 June 2007 Page(s):1005 – 1012
- [13] C.Caraffi, S.Cattani and P.Grisleri, "Off-Road Path and Obstacle Detection Using Decision Networks and Stereo Vision," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, pp. 607-618, Dec. 2007.
- [14] Braillon.C, Usher.K, Pradalier.C, Crowley.J.L, Laugier.C, "Real-time stereo and optical flow data fusion," Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on 9-15 Oct. 2006 Page(s):531 - 536.
- [15] Byrn.J, Cosgrove.M, Mehra.R, "Stereo based obstacle detection for an unmanned air vehicle," Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on 15-19 May 2006 Page(s):2830 - 2835

- [16] P. Vadakkepat and L. Jing, "Improved Particle Filter in Sensor Fusion for Tracking Randomly Moving Object," IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 55, no. 5, pp. 1823-1832, Oct. 2006.
- [17] Fang Fang, Xudong Ma, Xianzhong Dai, "A multi-sensor fusion SLAM approach for mobile robots," Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference Volume 4, 29 July-1 Aug. 2005 Page(s):1837 - 1841 Vol. 4
- [18] K.C. Cheok, G.E. Smid, D.J. McCune, "A multisensor-based collision avoidance system with application to a military HMMWV," Proceeding of the IEEE Intelligent Transportation Systems, pp.288-292, Oct. 2000.
- [19] Bertozzi.M, Bombini.L, Cerri.P, Medici.P, Antonello.P.C, Miglietta.M, "Obstacle detection and classification fusing radar and vision," Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE 4-6 June 2008 Page(s):608 – 613.
- [20] Han.J, and Kamber.M, "Data mining: Concepts and Techniques." San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2001.
- [21] Zhiwei SUN, Zheng ZHAO, Hongmei WANG, Maode MA*, Lianfang ZHANG, Yantai SHU, "A FAST CLUSTERING ALGORITHM BASED ON GRID AND DENSITY," Electrical and Computer Engineering, 2005. Canadian Conference on 1-4 May 2005 Page(s):2276 - 2279
- [22] Lian-Duan, Deyi-Xiong, Jun-Lee, Feng-Guo, "A Local Density Based Spatial Clustering Algorithm with Noise," Systems, Man and Cybernetics, 2006.SMC '06. IEEE International Conference on Volume 5, 8-11 Oct. 2006 Page(s):4061 – 4066
- [23] Mahran.S, Mahar.K, "Using grid for accelerating density-based clustering," Computer and Information Technology, 2008. CIT 2008. 8th IEEE International Conference on 8-11 July 2008 Page(s):35 – 40

- [24] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to detect lines and curves in pictures," *Communications of the ACM*, Vol. 15, No.1, pp.11-15, 1972.
- [25] H.K.Yuen, J.Illingworth and J.Kittler, "Detecting Partially Occluded Ellipses Using the Hough Transform," *Image and Vision Computing*, Vol. 7, No. 1, pp. 31-37, 1989.
- [26] 石博宇, 「駕駛助理視覺系統之日間高速公路前車及鄰接車輛偵測」, 碩士論文, 國立中正大學工學院電機工程研究所
- [27] R.Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," *Robotics and Automation, IEEE Journal of [legacy, pre - 1988]*, vol. 3, pp. 323-344, 1987.
- [28] C.H.Q.Forster, and C.Tozzi, "Towards 3D Reconstruction of Endoscope Images Using Shape from Shading," *In Proceedings of the XIII Brizilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, 2000.
- [29] Windyga, P.S, "Fast impulsive noise removal," *Image Processing, IEEE Transactions on Volume 10, Issue 1, Jan. 2001* Page(s):173 - 179 Digital Object Identifier 10.1109/83.892455.
- [30] Borah, B., Bhattacharyya, D.K., "An Improved Sampling-Based DBSCAN for Large Spatial Databases, " *Intelligent Sensing and Information Processing*, pp. 92-96, 2004.
- [31] T.-D.Duan and D.-A. Duc, "Combining Hough transform and contour algorithm for detecting vehicles' license-plates," *Proceedings of the International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, pp.747-750, Oct. 2004.

- [32] Y. Yanamura, M. Goto, D. Nishiyama, M. Soga, H. Nakatani and H. Saji, “Extracting and tracking of the license plate using Hough transform and voted block matching,” Proceedings of the IEEE International Vehicles Symposium, pp.243-246, June 2003.
- [33] T.T.Nguyen, X.D.Pham, D.Kim and J.W.Jeon, “An Improvement of the Standard Hough Transform to Detect Line Segments,” IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1-6, April 2008.
- [34] 繆紹剛，數位影像處理-運用MATLAB，台北市，台灣東華，民國九十四年。
- [35] 鍾國亮，影像處理與電腦視覺-第四版，台北市，台灣東華，民國九十八年。
- [36] 曾定章，影像處理-第八版，國立中央大學，民國九十八年。
- [37] 林進燈，魚眼攝影機之影像校正技術，“創新前瞻計畫”期末成果報告，工業技術研究院-機械所，民國九十七年。
- [38] 施雅月、賴錦慧，資料探勘，台灣培生教育，民國九十七年。



附錄 影像處理硬體電路設計

1. 設計目標

依據論文題目，設計符合具有影像處理功能之硬體雛型平台，此硬體雛形平台規格如下所示：

- 支援 1 組 NTSC/PAL 之即時同步影像輸入介面。
- 支援 1 組 NTSC 之即時同步影像輸出介面。
- 中央處理器需具有可即時處理 D1(720X480)解析度影像之能力，並可實現倒車障礙物偵測與距離估測演算法。
- 此硬體雛型平台需符合車用電裝品之電性測試規範，且具有抗ESD之能力。
- 此硬體雛型平台具有車體訊號輸入介面，例如：車速訊號、R檔訊號與倒車超音波模組之Buzzer訊號。
- 此硬體雛型平台具有Buzzer警示功能。



2. 設計構想

硬體雛形平台以DSP-Based為基礎，達成1組NTSC/PAL影像輸入、1組NTSC影像輸出介面、類比訊號輸入介面、數位訊號輸入介面與Buzzer訊號輸出介面。DSP具有可即時處理D1(720X480)解析度之基礎功能，並將影像處理結果顯示於車載資訊主機。硬體雛型平台之發展需具備有量產前之雛形式樣與低成本之特性。

3. 系統需求分析

圖 1 為系統架構示意圖，系統至少需具有連結 CCD/CMOS Camera，與連結車載資訊主機之介面，圖一中之 DSP-Board 系指硬體雛形平台，並以 DSP-Based 為設計基礎。圖一中之 Telematics 系指車載資訊主機。因硬體雛形平台為倒車狀態使用，且需有聲音警示功能，所以需連結車上之 R 檔訊號與 Buzzer 訊號輸出介面。為達到近距離可更精確偵測障礙物之功能，可連接倒車超音波模組訊號，達成影像與超音波資料融合目的。硬體雛形平台更可連結車速訊號，計算倒車車速，若車速過快可提醒駕駛者減速。

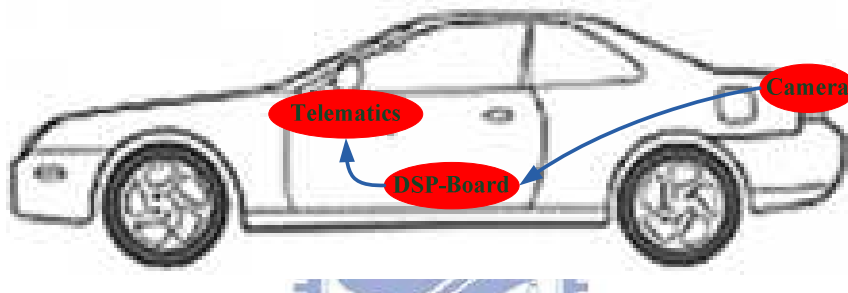


圖 1 系統架構示意圖

4. 硬體雛型平台需求分析

圖 2 為依據系統需求所設計之硬體雛形平台架構示意圖，圖 2 中之藍色方框，為硬體主板所需之基本構成單元，另外需設計 DC-DC 直流轉換與穩壓電源電路，與電源保護電路。依據訊號輸入介面，需設計任意波形轉換為脈波之數位訊號，且任意訊號輸入介面，皆需將電壓準位轉換為符合 DSP-I/O 介面之電壓準為。

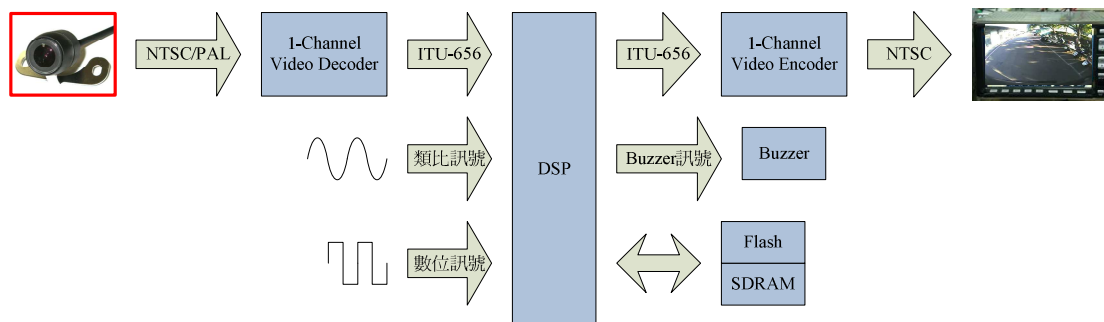


圖 2 硬體雛形平台架構示意圖

5. 硬體電路架構圖

圖 3 為依據圖 2 所設計之硬體電路架構圖。圖中包含主要訊號之方向與主要單元所需之電壓。

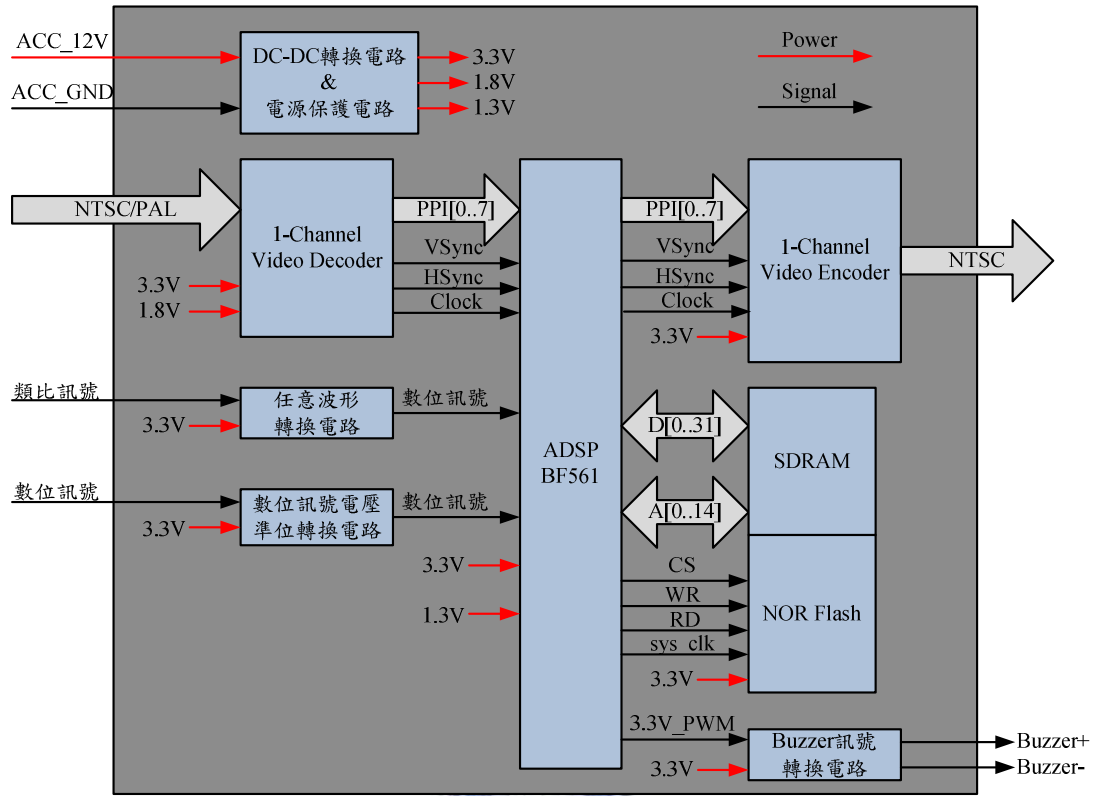


圖 3 硬體電路架構圖

表 1 標的硬體平台規格描述

Item	功能	說明
DSP-Board	數位訊號處理器(DSP)	影像處理與運算單元
	SDRAM	DSP 之影像處理暫存區
	NOR Flash	系統程式儲存空間
	Video Encoder	提供顯示單元之訊號 NTSC 輸出(8 bit Video DACs x 1)
	Video Decoder	提供影像輸入之訊號 NTSC/PAL 輸入(8 bit Video ADCs x 4)
	Buzzer	提供系統警示功能
	GPIO	接取車體訊號、車速(ABS)、R 檔訊號、 倒車超音波模組訊號。
	DC-DC	將車上 ACC_12V 轉為 3.3V、1.8V 與 1.3V

6. 流程圖

圖 4 為系統設計流程圖，其中(a)為設計流程圖，(b)為發現問題的改善流程。

圖 5 為系統動作流程圖，其中影像處理程序包含：障礙物偵測演算法與影像距離估測演算法。若系統偵測到障礙物，且障礙物進入警示範圍，則系統發出警示音，提醒駕駛者。

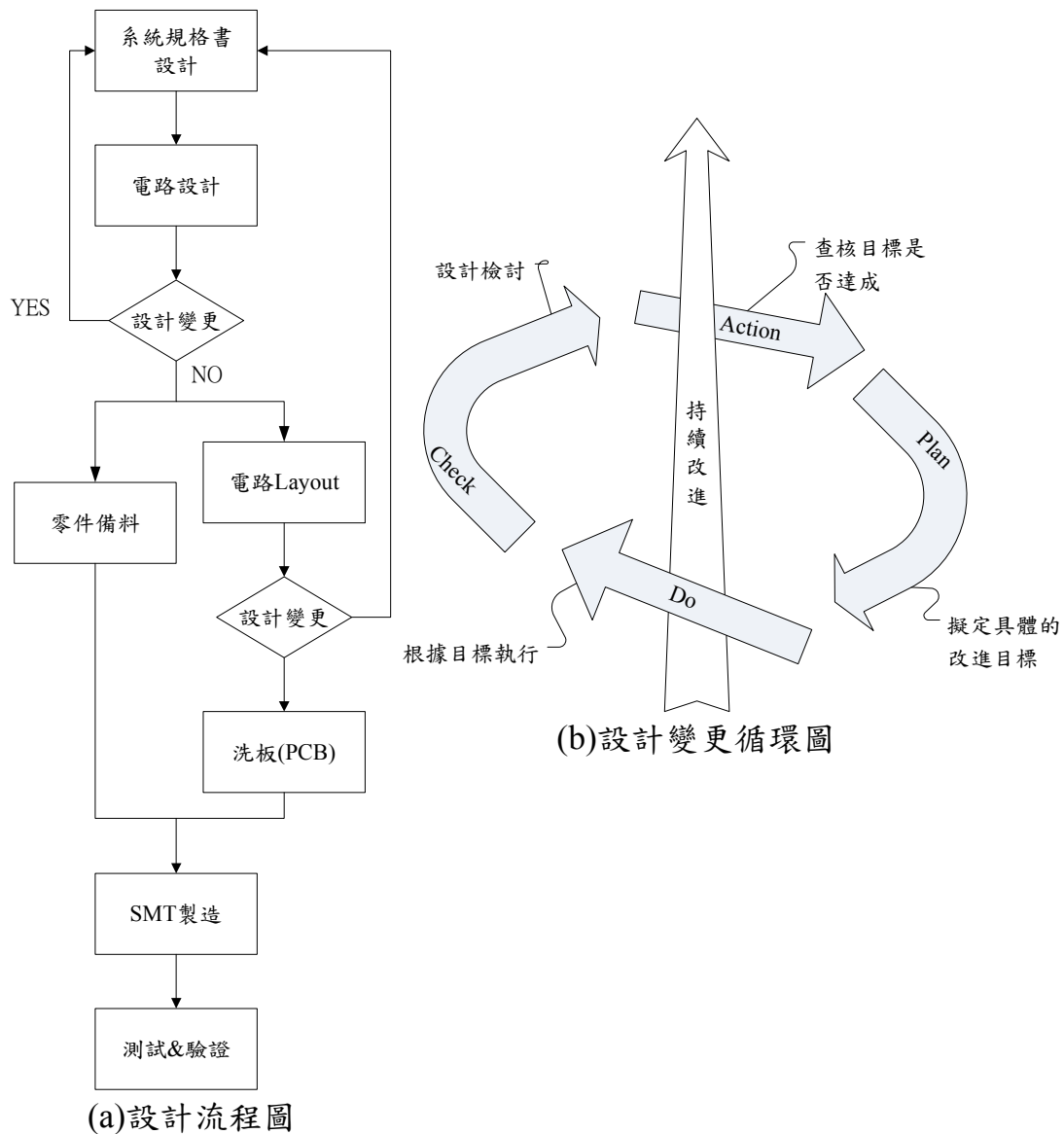


圖 4 系統設計流程圖

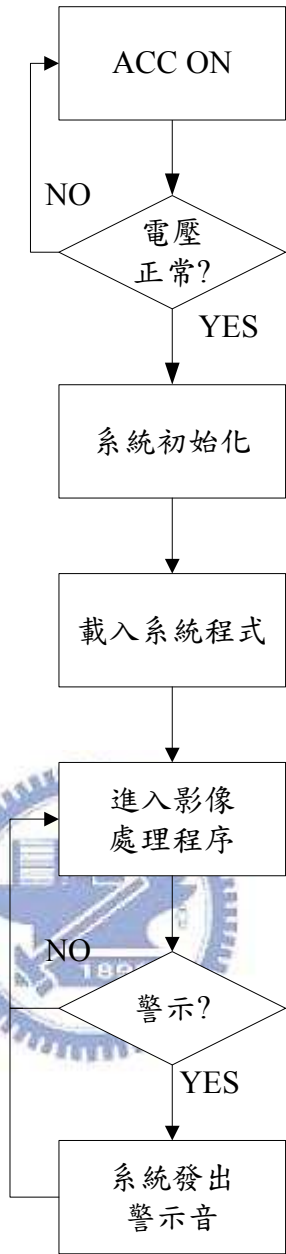


圖 5 系統動作流程圖

7. 電路佈線與實體大小

圖 6 為電路 Layout 圖正面，圖 7 為電路 Layout 圖背面。Layout 共分為四層，第一層為訊號層；第二層為 GND 層：分為 Power、Digital 和 Analog GND；第三層為 Power 層；第四層為訊號層。圖 8 為電路板實體圖正面。

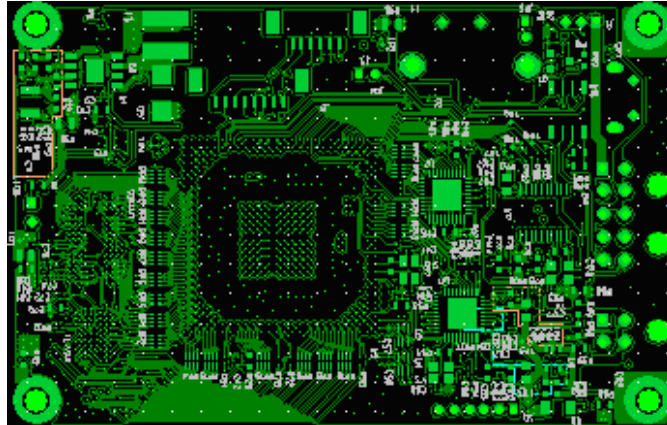


圖 6 Layout 圖正面

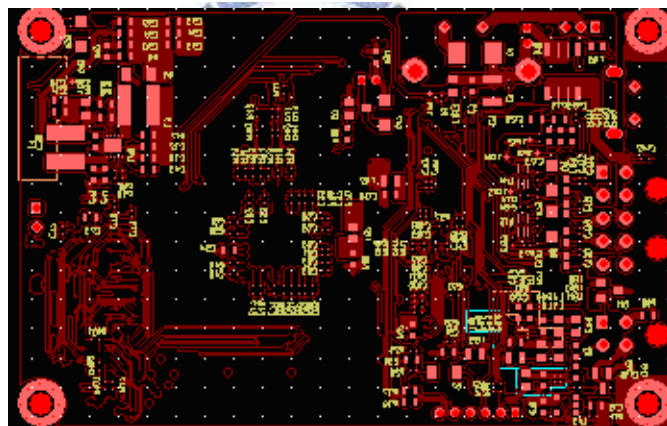


圖 7 Layout 圖背面

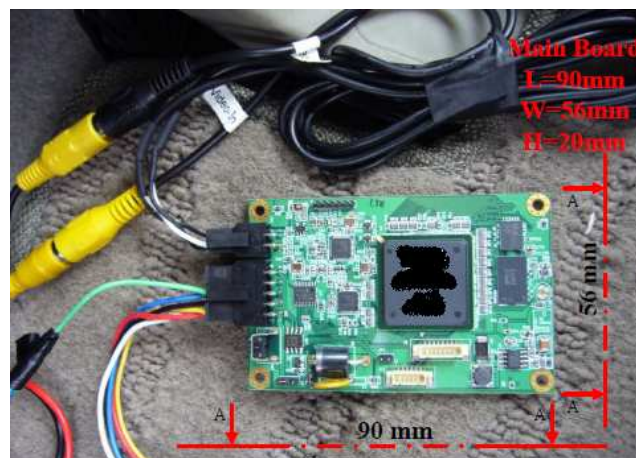


圖 8 電路板實體圖

8. 硬體電路板實測

測試過程為利用ICE(JTAC Interface)，將Video-In-Out測試程式燒錄到NOR Flash，並安裝於測試車(三菱-Zinger)上，進行實車測試，圖9為DSP-Board實車測試結果。



圖 9 硬體(DSP-Board)實車測試結果圖

簡歷

作者：李維民

出生地：台灣省高雄縣

E-mail：weimin.eic96g@g2.nctu.edu.tw

學歷：高職：高雄市立高雄高工控制科 畢業
 二專：國立勤益技術學院電機系 畢業
 二技：南台科技大學電機系-光電半導體組 畢業
 研究所：國立交通大學-電機與控制學程碩士班 畢業
 經歷：神達電腦股份有限公司-失效分析研發處 助理工程師
 誠致科技股份有限公司-品質與驗證部 高級工程師
 工業技術研究院-機械所-安全感測與控制技術部 助理研究員

專利：

Item	中文專利名稱	申請國家	申請日	申請案號	專利種類
1	具訊號處理與學習 功能之車輛即時資 訊裝置	中國大陸			發明
		中華民國			發明
2	駕駛輔助裝置 與方法	美國			發明
		中國大陸			發明
		中華民國			發明
3	載具移動影像輔助 導引方法與系統	美國	20090220	12/353,435	發明
		韓國	20090220	10-2009-0005961	發明
		中華民國	20081007	97138499	發明
4	停車導引裝置及其 方法	美國	20081117	12/265,866	發明
		中國大陸	20080118	200810001067.1	發明

		中華民國	20071227	96150486	發明
5	複合式感測裝置及其方法	中國大陸	20080118	200810001063.3	發明
		中華民國	20071227	96150487	發明
6	交通工具移動圖像輔助導引方法與系統	中國大陸	20081106	200810167930.0	發明
7	具有可攜式資訊裝置之車用導航系統	美國	20060629	11/485,280	發明
		中國大陸	20051228	200510137696.3	發明
		中華民國	20051223	94145784	發明

