

# 自動化影像處理技術應用 於車輛分類之研究



交通部運輸研究所

中華民國八十二年九月

## 交通部運輸研究所研究報告書摘要表

出版品名稱 中文：自動化影像處理技術應用於車輛分類之研究 外文：The Application of Automatic Image Processing Technology to Vehicle Classification			
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號 009104820383	運輸研究所出版品編號 82-44-618	
本所主辦單位：綜合技術組 主 管：楊淑貞 計畫主持人：楊淑貞 研究人員：莊凱勳	合作研究單位：台灣大學慶齡工業發展基金會合設工業研究中心 計畫主持人：許添本 研究人員：龍天立、張學孔、黃壬信、鍾隆文、張程皓、許哲瑋 地址：台北市羅斯福路四段一號 聯絡電話：(02) 3625920		研究期間 自82年2月 至82年6月
關鍵詞：影像處理技術、交通影像偵測、車種分類、車輛辨識、電腦視覺、類神經網路。			
摘要： 本研究主要探討影像處理技術應用於即時性自動車種分類系統之相關問題，並由影像實驗與實質特徵發展自動化車種影像分類技術之邏輯及判斷演算法。本研究成果對於日後連接AVI及WIM等系統進行自動化公路監測管理是一項極重要的環節，而且對於未來組成自動化交通偵測系統，取得相關交通參數，取締違規甚或打擊犯罪等有相當大的助益。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
82年9月	118	261	凡屬機密或限閱性出版品均不對外公開。一般性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
管制等級： <input type="checkbox"/> 機關 ( <input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解密 ) <input type="checkbox"/> 限閱 ( <input type="checkbox"/> 解限日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解限 ) <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

# 目 錄

第一章	緒論 .....	1
1.1	研究緣起與目的 .....	1
1.2	研究內容 .....	2
1.3	研究範圍 .....	2
1.4	研究方法與流程 .....	3
第二章	現有技術分析 .....	5
2.1	交通偵測理論與架構 .....	5
2.1.1	數位影像處理程序 .....	5
2.1.2	交通影像偵測理論 .....	7
2.1.3	交通影像偵測架構 .....	10
2.2	交通影像偵測系統硬體設備 .....	10
2.2.1	交通影像偵測系統基本配備單元 .....	10
2.2.2	台大土木所硬體配備 .....	13
2.3	國外相關技術發展與系統評估 .....	14
2.3.1	國外相關技術發展 .....	16
2.3.2	國外相關系統評估 .....	17
2.4	我國研究現況 .....	24
第三章	影像處理技術應用於交通工程領域專題分析 .....	25
3.1	影像處理技術之優勢 .....	25
3.2	影像處理技術之實例應用 .....	29
3.3	小結 .....	36
第四章	自動化車輛分類系統構想研擬 .....	38
4.1	車輛整體影像為分類基礎 .....	38
4.2	車牌顏色為分類基礎 .....	40
4.3	車牌號碼為分類基礎 .....	41
4.4	車輪軸距為分類基礎 .....	43
4.5	車前燈距為分類基礎 .....	43
4.6	硬體設施構想與綜合評述 .....	45

第五章	車種影像實驗及結果分析 .....	47
5.1	實驗計畫 .....	47
5.2	影像實驗結果分析與檢討 .....	51
5.2.1	拍攝角度效果 .....	51
5.2.2	天候效果 .....	69
5.2.3	其他效果 .....	69
5.2.4	結果檢討 .....	71
5.3	我國汽車實質特徵 .....	72
5.4	車種影像分類判斷邏輯之方向 .....	72
第六章	車輛分類影像偵測系統之建立與執行 .....	75
6.1	P360系統簡介 .....	75
6.2	偵測演算法 .....	77
6.3	系統測試 .....	81
6.4	偵測結果分析 .....	99
6.5	類神經網路偵測邏輯 .....	99
第七章	結論與建議 .....	102
7.1	結論 .....	102
7.2	建議 .....	103
參考文獻	.....	105

## 表 目 錄

表 3.1	車輛偵測器之特性比較表 .....	28
表 5.1	實驗帶拍攝之條件與限制 .....	48
表 5.2	影像實驗帶拍攝條件與限制分析表 .....	52
表 5.3	設計車型尺寸表 .....	73
表 6.1	偵測結果表 .....	100

# 圖 目 錄

圖 1-1	研究流程圖 .....	4
圖 2-1	交通偵測架構圖 .....	11
圖 2-2	交通影像處理運作圖 .....	12
圖 2-3	硬體環境組合圖 .....	13
圖 2-4	台大土木研究所影像偵測配備聯結架構圖 .....	15
圖 3-1	影像處理技術應用於交通領域示意圖 .....	36
圖 4-1	整體車輛影像為分類基礎之偵測系統概念圖 .....	39
圖 4-2	文字影像二值化切割範例 .....	42
圖 4-3	車輪軸距為分類基礎之偵測概念流程圖 .....	44
圖 4-4	車種分類偵測系統硬體概念圖 .....	46
圖 5-1	拍攝角度示意圖 .....	49
圖 5-2	影像實驗系統架構圖 .....	50
圖 5-3	新生南路北向大轎車影像實驗結果 .....	53
圖 5-4	和平東路西向廂形小貨車影像實驗結果 .....	54
圖 5-5	和平東路西向白色小轎車影像實驗結果 .....	55
圖 5-6	新生南路北向大客車影像實驗結果 .....	56
圖 5-7	台大校園小轎車影像實驗結果 .....	57
圖 5-8	台大校園小轎車影像實驗結果 .....	58
圖 5-9	台大校園廂形小貨車影像實驗結果 .....	59
圖 5-10	台大校園大客車影像實驗結果 .....	60
圖 5-11	台大校園小貨車影像實驗結果 .....	61
圖 5-12	台大校園中型客車影像實驗結果 .....	62
圖 5-13	台大校園大客車影像實驗結果 .....	63
圖 5-14	台大校園小轎車影像實驗結果 .....	64
圖 5-15	台大校園中型客車影像實驗結果 .....	65
圖 5-16	台大校園大客車影像實驗結果 .....	66
圖 5-17	台大校園小貨車影像實驗結果 .....	67
圖 5-18	台大校園小貨車影像實驗結果 .....	68
圖 5-19	實驗樣本最佳門檻值統計圖 .....	70
圖 5-20	車輛分類實質尺寸圖 .....	73
圖 6-1	P360 影像處理系統硬體架構圖 .....	76
圖 6-2	不同的影像處理系統之CPU 運作方式 .....	76

圖 6-3	破碎區塊掃描圖	79
圖 6-4	扭曲區塊掃描圖	79
圖 6-5	辨識流程圖	80
圖 6-6	車輛影像分類邏輯時間序列示意圖	82
圖 6-7	偵測演算法流程圖	83
圖 6-8	進入自動偵測辨認系統	85
圖 6-9	偵測功能表訊息視窗，並作影像偵測	85
圖 6-10	影像灰度值統計分析	87
圖 6-11	顯示老鼠游標系統	87
圖 6-12	開影像視窗	88
圖 6-13	開機車影像視窗	88
圖 6-14	將機車視窗放大	89
圖 6-15	作機車影像相減	89
圖 6-16	作機車影像相加	90
圖 6-17	作機車影像膨脹	90
圖 6-18	作機車影像收縮	91
圖 6-19	作機車邊緣偵測	91
圖 6-20	開小汽車影像視窗	93
圖 6-21	作小汽車水平邊緣偵測	93
圖 6-22	作小汽車垂直邊緣偵測	94
圖 6-23	作小汽車高頻偵測	94
圖 6-24	作小汽車影像X 軸及Y 軸方向之profile 偵測	95
圖 6-25	作小汽車Sobel tersion + dilation 偵測	95
圖 6-26	劃取影像線（水平線型）	96
圖 6-27	劃取影像線（工字型）	96
圖 6-28	辨認無車情況	97
圖 6-29	辨認小車情況	97
圖 6-30	辨認大車情況	98

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起與目的

處在講求自動化的時代潮流中，運輸產業亦無法置身事外，在原本必須使用大量人力的調查、取締等工作上，必須逐漸開發新技術，以便利用自動化系統取代人工作業，節省人力與時間。

近年來，我國國民生活水準快速提升，年平均國民所得也達一萬美元以上，民眾對運輸系統的服務品質要求日益升高，同時隨著台灣地區的經濟成長而持續增加的私人運具，使得原有運輸系統必須承受龐大的運輸需求，因此提昇運輸系統效率與服務品質成爲一個必然趨勢，運用高科技發展先進的運輸技術，亦成爲運輸系統研究發展的新課題。

目前國內已提出利用自動車輛辨識 (Automatic Vehicle Identification, AVI) 技術建立電子式自動收費系統的擬議，以及運用動態地磅 (Weigh-In-Motion, WIM) 系統取締超載車輛方案之研擬；由此來看，若高速公路日後採用電子式自動收費系統，車種分類工作便不宜再採人工作業，因此如何發展自動化車種分類技術成爲目前極重要的研究課題。

本研究旨在探討將影像處理技術應用於即時性自動車種分類系統之相關問題，所謂自動車種分類係指藉非人工方式對於行駛於公路上的車輛進行分類，另外，釐清影像處理技術在車種分類的偵測作業上，比起傳統式作業方式有何優勢，其適用程度又如何，亦爲本研究之目的。

本研究爲國內第一個利用影像處理技術進行車種分類的研究，其研究成果對於日後連接AVI及WIM等系統進行自動化公路管理、監測是一項極重要的環節研究，而且對未來交通影像偵測器進行車種統計時也有非常大的助益，此類高科技經過適當的組織與連接，可以組成自動化交通偵測系統，對於取得相關交通參數、取締違法（超載、違規）甚或打擊犯罪都有相當大的助益。



## 1.2 研究內容

本研究係以影像處理技術為礎石，以車種自動分類為目標，包含以下研究項目：

1. 分析現有影像處理方法的研究情形，並整理出影像處理技術應用於交通偵測領域的研究，進一步分析其使用之影像處理技術。
2. 分析自動化車輛影像處理技術分類技術之硬體系統。
3. 進行車輛在各種條件下之影像處理實驗。
4. 歸納我國甲種車輛車型之實質特徵。
5. 由影像實驗與實質特徵發展自動化車種影像分類技術的邏輯，及判斷演算法(Algorithm)。
6. 分析自動化車種分類技術適用條件與限制。
7. 針對影像處理技術應用於自動化車種分類工作，根據研究結果提出本研究之結論與建議。

## 1.3 研究範圍

本研究所採之影像處理方法以及車種分類的範圍和實驗影像取像的界限、時間與天候條件界定於下：

1. 影像處理方法：邊緣偵測、二值化切割等。
2. 車種分類：大型車（包含大客車、聯結車）、小型車（包含小汽車、小貨車），並分析辨認機車的可行性。
3. 影像範圍：攝影範圍為單一行車方向之車道，車道數不限，但處理之影像範圍為單一車道之單一車輛影像。
4. 攝影時間：以白天為主。
5. 攝影天候：以陰天或晴天為主。

## 1.4 研究方法與流程

雖然影像處理在電機領域發展已有相當長的時間，但是影像處理技術應用於交通偵測上的研究並不多見，本研究利用文獻回顧的方式，將有關影像處理技術應用於交通偵測的研究做一系統性的整理。

在本研究的偵測系統研發過程中，爲了達成自動化車種分類的功能，必須從影像處理技術與影像辨認演算法等兩方面的因素來考量。就影像處理應用於交通工程偵測的發展歷程而言，線式偵測法因速度較快，一直朝向實用且商業化的方向發展，面式偵測法雖然收集的辨認資料較線式爲多，但因偵測範圍擴大而使辨認速度變慢。因此如何在有限的成本下，兼顧系統的速度與精確度，作出權衡的決定，一直是研究的重點。

本研究引用面式偵測法的概念，並以視窗法提昇速度。在影像處理技術方面，利用P360電腦影像處理板的功能，探討影像最佳門檻值二值化法、邊緣偵測法等影像處理技術，針對處理視窗中車輛影像進行車種辨認。

在辨認演算法方面，本研究針對影像處理技術的結果所提出的演算法，使用Turbo C 電腦語言進行辨認演算法的程式寫作，並輸出車種分類結果。

本研究的研究流程如圖1.1 所示。

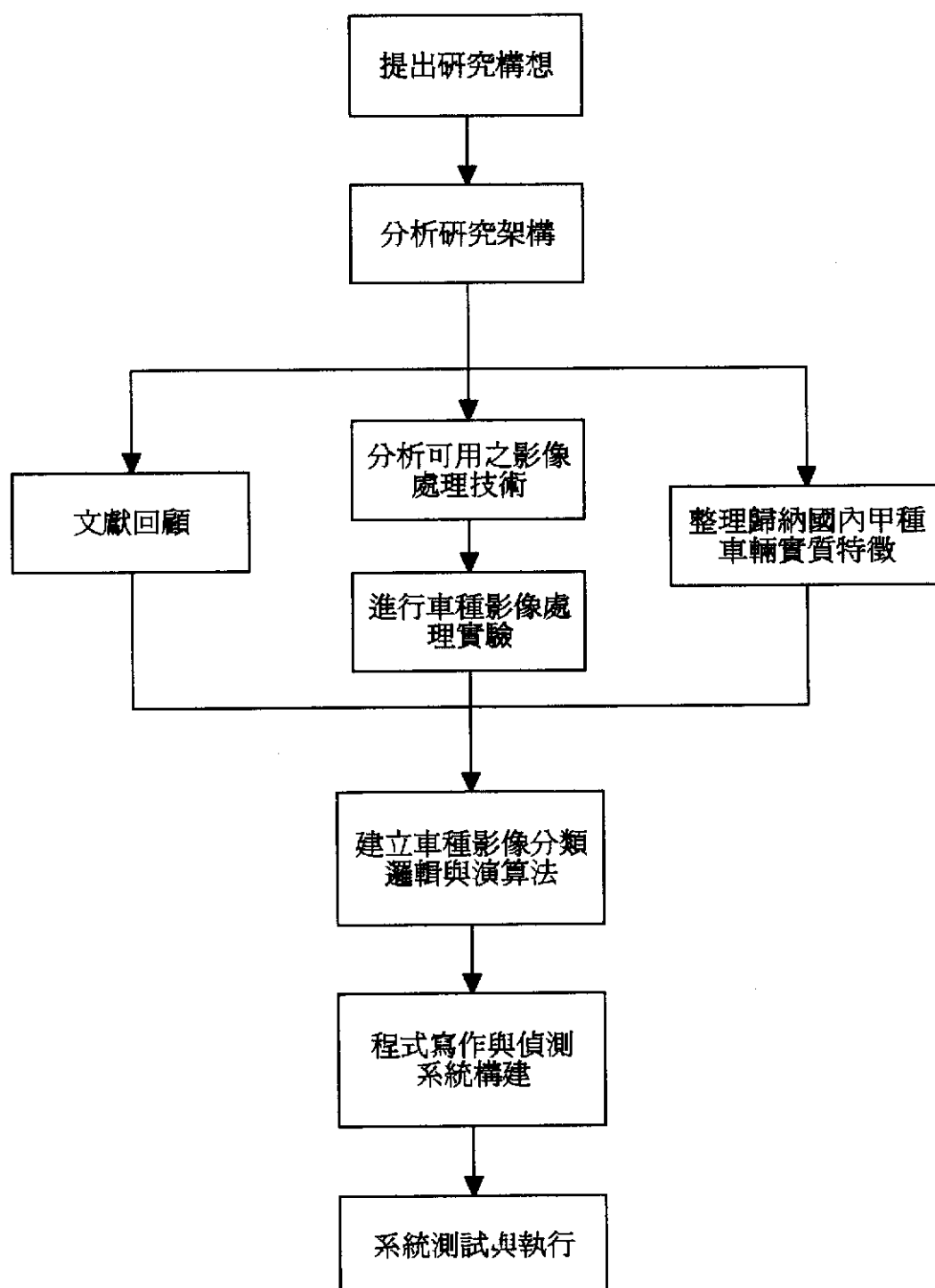


圖1.1 研究流程圖

## 第二章 現有技術分析

約自1960年代起，電腦視覺 (Computer Vision) 及影像處理技術便被廣泛地應用於軍事、醫學、太空科技、工廠之生產線監測、機器人導引等。至1970年代即有以影像處理技術應用於交通偵測之構想。1980年代開始，則陸陸續續有關於交通影像偵測的研究成果發表，其中有許多是關於車輛的計數，即交通量的估測。一直到了1985年以後，美國、日本、歐洲等國（例如英國、法國、西班牙、德國等）對交通影像偵測系統的研究態度更趨積極，皆各有大公司或研究單位從事系統開發[8,9,18,20,32,33,55,56,57,58]，並已有實際成品上市。事實上，如美國貝爾實驗室 (ATT-BELL LABS)、休斯飛機公司 (HUGHES AIRCRAFT) 和日本日立 (HITACHI) 等大單位皆已在交通影像偵測器方面的研究投入多年。其中尚有利用類神經網路 (Neural Network) 方法來改進電腦視覺上自我學習功能的研究趨勢。1991年6月，美國Cal.Poly (California Polytechnic) 大學曾針對當今世界各國所發展完成或尚在發展的交通影像偵測系統作了長達22個月的評估工作並發表評估結果，對於影像偵測系統的功能和成本效益給予極高的肯定[46]。

對於交通影像偵測系統之技術，以下共分四部份來說明其技術緣起和現今應用現況。

1. 交通影像偵測理論與架構。
2. 交通影像偵測系統硬體配備。
3. 國外相關技術發展。
4. 我國研究現況。

### 2.1 交通影像偵測理論與架構

在進入交通影像偵測之理論和架構兩個子題之前，必須先簡介數位影像處理及電腦視覺。

#### 2.1.1 數位影像處理程序

"影像" (Image) 泛指一切形式的畫面而言，數位影像則

是將傳統的照片或錄影帶類比訊號經取樣 (Sampling) 及數位化 (Quantization) 後達成。數位化的原因在於方便電腦運算及儲存。所儲存的亮點為影像的基本單位，稱為像元 (Pixel)。一般影像具  $256 \times 256$  或  $512 \times 512$  個像元，像元的亮度則以灰度值 (Gray level) 表示，灰度值可分為 256 階，最暗為 0，最亮為 255。所謂影像處理即電腦將影像視為一連串整數值的集合 (可視為一個  $256 \times 256$  或  $512 \times 512$  的矩陣) 並加以運算的過程。

影像處理的程序包括了影像轉換 (A/D Image Transform)、影像加強增顯 (Image Enhancement)、影像切割 (Image Segmentation)、影像還原 (Image Restoration)、影像編碼 (Image Encoding)、影像表示及描述 (Image Representation & Description)、影像特徵匹配 (Image Feature Matching) 影像壓縮 (Image Compression) 等等。

其中，以影像切割，影像增顯，影像特徵匹配對本研究最為重要。茲分述如下：

### 1. 影像切割

一張 (frame) 影像之所以能讓電腦來識別而加以分析，因其已在數位化後由數字代表其不同的灰度值，不同灰度值則代表了不同目標物在影像上的光度反應，亦即目標物在影像的亮度矩陣中會出現整個區塊來表示，而區塊乃由類似的灰度值聚集組成。為使目標物 (例如車輛) 可以從影像和其它背景亮度值分開以讓電腦能夠自動辨認，便必須選擇一個以上的門檻值 (threshold) 作為影像切割基準。因此，這樣的門檻值選擇過程即稱為影像切割。

### 2. 影像增顯

影像增顯乃利用濾波器 (filter) 等運算以去除雜訊或亮塊區合併而更易於為人判讀或被電腦處理的步驟。此法的目的即在將目標物和背景的對比增加，尤其是在求影像輪廓，邊界偵測時，經過此一步驟，可以使影像更易於識別與分析。

### 3. 影像特徵匹配

每一張影像於處理之後，各目標物可具有如下之特徵：

- (1). 拓樸學上的特徵。
- (2). 空間上的特徵。
- (3). 轉換下的光譜或向量特徵。
- (4). 轉角及邊界特徵。
- (5). 形狀特徵。
- (6). 力矩 (Moment) 特徵。
- (7). 質地 (Texture) 特徵。

經由這些特徵的選取可以和物體預存於電腦中之原型 (Prototype) 或樣版 (Template) 之特徵加以比對和匹配，只要在一定的接受誤差範圍內，即可稱兩者匹配成功，而由電腦辨識出影像中目標物究屬何物 (例如，偵測到的車輛究屬何種車型)。本法屬電腦視覺之圖形辨認 (Pattern Recognition) 範疇。

由於影像處理程序中有許多牽涉到辨認的演算原則和技術，究竟影像處理和電腦視覺有何不同呢？依 Blard & Brown 之「電腦視覺」一書所下之定義，電腦視覺是從影像 (由各種探測器 (sensor)，包括眼睛，照像機，攝影機…等所取得) 中對實體作明確解釋而有意義的描述，影像的認知 (Image Understanding) 非常不同於影像處理的一點是後者只管作一張張影像的轉換而非構建明白的現象描述過程。因此電腦視覺很明顯是利用影像處理之結果作為基礎，並進一步加以認知、操縱、思考。這三項特性即是兩者最明顯的區別 [54]。

#### 2.1.2 交通影像偵測理論

交通影像偵測是指以影像作為交通偵測的根據，而影像在偵測操作過程中有兩大程序：一為處理，一為認知，前者即影像處理，後者乃電腦視覺。

電腦視覺是人工智慧的一門學問，它乃是以電腦來詮釋視

覺影像，進而求得模擬人眼之功能。物體圖形辨認和物體追蹤是電腦視覺的重要研究目標。而本研究所指之影像處理則是爲了達到電腦視覺的目標所對影像本身進行的數學操作和實驗。目前的交通影像偵測除了以不同方式求取現有偵測器所能得到的參數以外，尚希望由影像上能再獲得更多的交通訊息。由於以影像收集到的資料是屬面式偵測 (Blob Detection) 的二維資料，因此對於新交通參數的推估極具潛力，而影像認知的程度愈高，就此潛力的發掘便愈深。

以影像作交通偵測是一個很好的應用領域，因爲畫面上移動的車子皆往同一方向奔跑，而且運動範圍皆在標線區域中，這樣的限制性條件吸引了許多研究者和廠商，希望完成一可行的偵測系統。但是交通世界中的複雜性，使得尚須考慮的問題一一出現；而針對這些問題，已有許多應用技術被發展出來。這些技術的原理分述如下：

### 1. 影像相減法

剛開始是以整格 (frame) 的影像互相相減 (frame differencing) 來偵測車輛的移動。但是這個簡單的想法產生了兩個問題，一是容量問題，一是雜訊 (Noise) 問題。解決的方法，可以用影像處理卡，經由匯流排的影像流傳送動作來加快處理這些問題。不過如此一來便須考慮成本的增加，而且在目標物和背景的亮度特徵不明顯時，此法之誤判率便大增。

### 2. 線式偵測法 (Tripwire dection method)

後來，針對上述問題又產生了另一個解決的方式，乃提出線式偵測法，即由影像畫面劃取一條影像線的資料來偵測車子流量，利用這條線的亮度變化（只要有車子經過這條線，線的亮度便作某程度的改變），一一記錄所經過的車子數目，而取二條線則可順利計算車輛行進速度。

由於取線的方式可大幅改進影像相減新產生的容量問題，加快速度，減少不必要的雜訊干擾，目前爲上市之交通影像偵測系統較穩定者所採的演算法。

但這項已提出的方法（20年以前），本身有以下技術問題難以克服：

- (1) 當車子速度很快時，則這二條線有可能漏失這輛車子而求不到計數。例如車子以65MPH 行進，平均1/30秒跑3英尺，若這兩條線的偵測距離小於3英尺，則可能發現不到這輛車。
- (2) 目前美規的攝影機為1/30 秒取一張（格；frame）影像，若用線式偵測法來偵測車輛，當一秒內取的影像愈少（如 1/10 秒取一張），漏失的問題更形嚴重。
- (3) 若想一秒抓30張以上影像來解決漏失的問題，則必須使用專業用高速攝影機，成本十分昂貴，同時影像佔用緩衝區空間開始增大而形成另一個問題。
- (4) 另一個解決方式則是把兩條影像偵測線拉遠，但是當偵測車道數大於2 條或有車輛變換車道，甚或超車，則便產生速度誤判。
- (5) 車輛多時（如尖峰時刻），或出現停等時，易產生誤判。例如兩車車距太近時，易被誤判成一輛大型車。又如一輛車停在偵測線上不動，易造成連續重複計數。
- (6) 線式偵測無法辨認車種，因為車輛在影像線上停留的時間受各車行車速度直接影響，所據此換算的車長、車寬皆有問題。

### 3. 面式偵測法

爲了改進線式偵測之不足，又重新走向以整張影像作運算的方向，此時把偵測之影像線擴展成影像段（Image Band）同時以區塊（Blob）的概念來進行辨認。這個概念是把影像上的 的車輛視爲影像區塊，並利用圖形辨認、匹配的方式來辨認車輛，包括車種。這可稱爲區塊之面式偵測法（Blob Identification Method）。

基於這個方法所衍生出來的運算式（Algorithm），隨著辨認範圍的增大，影像資訊的增加而更加複雜，牽涉到電腦視覺更深入的認知演算。晚近由於電腦硬體的速度



多所突破，而且成本一路下跌，使此法具有應用潛力。  
但是本法目前仍有下列問題尚待克服：

1. 光線的變化，使影像的亮度受影響，造成誤判，尤其是黃昏時刻。
2. 下雨，霧和雪都會產生雜訊，影響遠端車輛辨認。
3. 建築物和大車的陰影以及遮蔽，將誤判或漏失較小的車輛。
4. 景深的問題，使速度誤判。例如由近往遠端駛去和由遠往近駛來的車輛速度計算，可能因景深和車輛在影像上的幾何扭曲而造成誤判。
5. 車輛高度也影響車輛速度的求算和車種之辨認。

因此，可知交通影像偵測理論的發展，一直是倚恃著交通世界複雜的問題不斷推演，不斷解決而又不斷產生。但隨著電腦科技的突破和成本的滑落，使其理論發展頗具潛力。

### 2.1.3 交通影像偵測架構

依前述交通影像偵測理論可歸納成圖2-1之架構，作為日後系統發展參考：

## 2.2 交通影像偵測系統硬體配備

本節共分兩部份一為交通影像偵測系統基本配備單元，其次為台大土木研究所擁有之硬體設備。

### 2.2.1 交通影像偵測系統基本配備單元

一個實型的交通影像處理系統統合之流程如下：

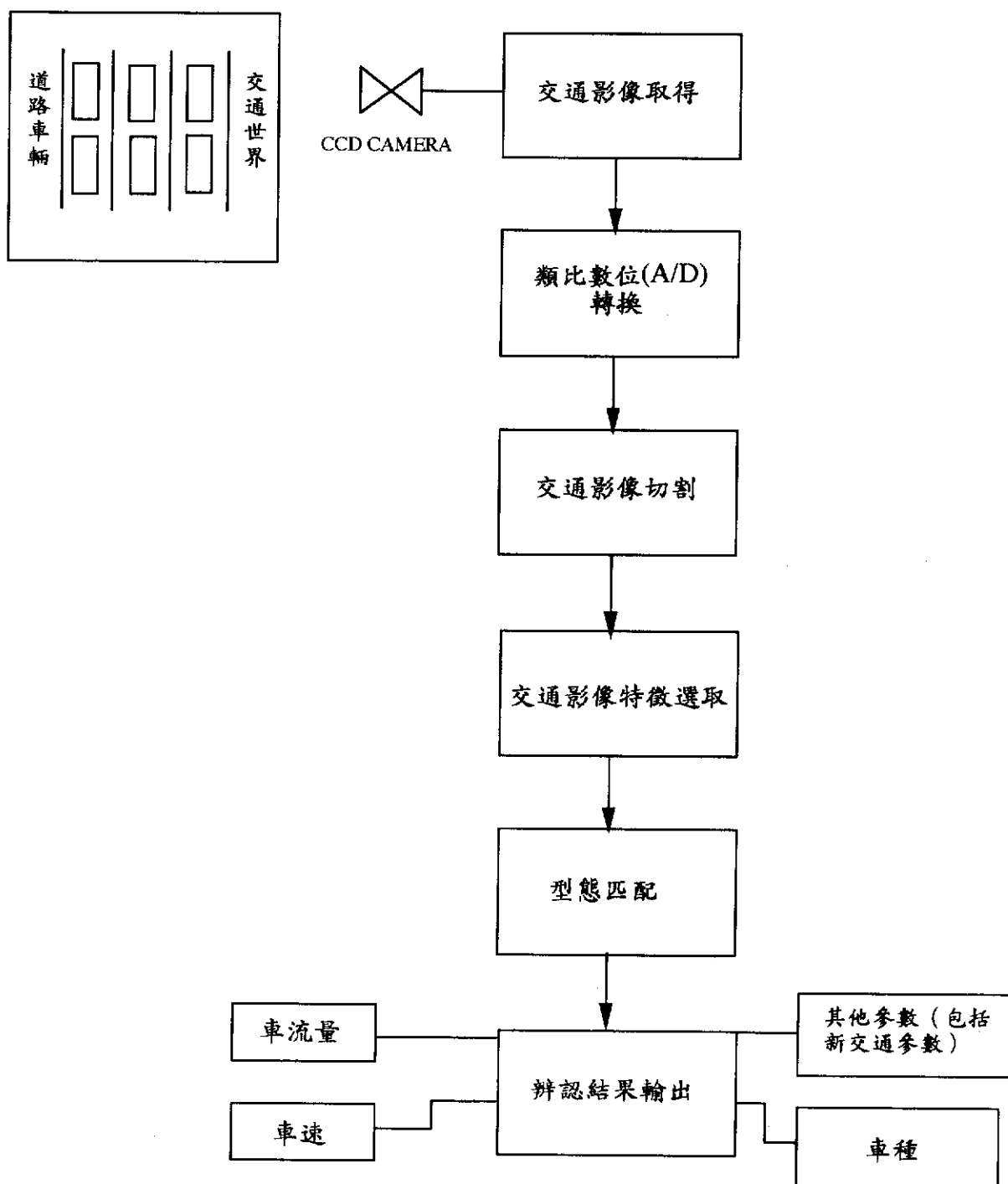
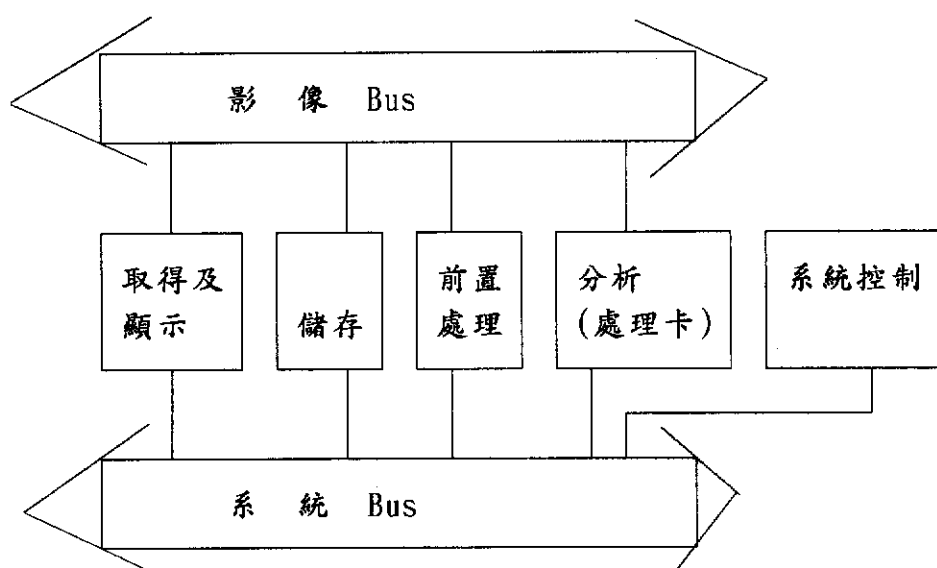


圖2-1交通偵測架構圖



註：箭頭代表影像流 (Image Flow) 流動方向

圖2-2 交通影像處理系統運作圖

要達成上面運作圖之功能必須有如下的基本硬體配備單元

:

1. 影像取得單元

包括CCD-Camera，攝影機輔助架、平台、輔助光源、紅外線感應攝影機，專業用錄放影機等等。

2. 影像處理單元

包括影像之儲存、記憶、數位化等處理程序硬體，可以是迷你級之影像處理電腦或是影像處理卡等。

3. 電腦運算單元

專司影像演算時之CPU工作，以及作為控制傳輸數位資料之單元。包括PC或工作站等。

4. 影像輸出單元

專司影像運算結果之輸出，包括 RGB 螢幕，Super VGA，熱感式硬拷機(Hard Copy Machine)、繪圖機等。

5. 支援週邊單元

如外接之點矩陣印表機、雷射印表機等。

茲將各單元配備之組合情況繪圖如下 (圖2-3)。

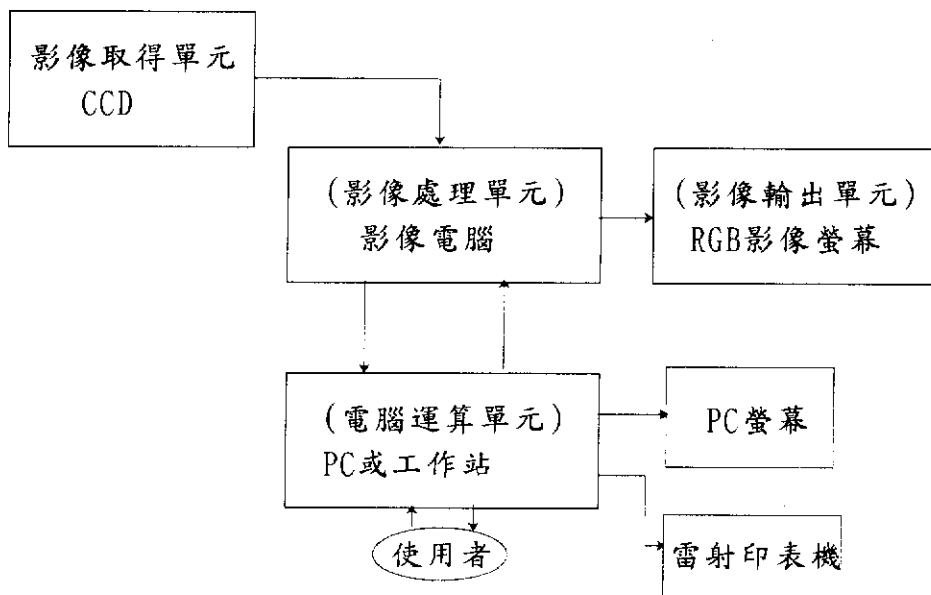


圖2-3 硬體環境組合圖 (支援週邊單元)

#### 2.2.2 台大土木所硬體配備

台大土木所交通工程組在交通影像偵測上之研究目前已邁入第四年，硬體配備較之電機所毫不遜色，亦是現今國內從事交通影像偵測之唯一研究單位。所有之影像配備依前述之設備單元分述如下：

1. 影像取得單元配備—
  - (1). 影像動態擷取系統。
  - (2). CCD CAMERA (national Ag-410) 2部。
  - (3). AP專業用錄放影機 (VTR-Panasonic Ag-7510)
  - (4). 時基校正器 (TBC-Panasonic-TB700)。
  - (5). 數位訊號處理卡。
2. 影像處理單元配備—
  - (1). Force即時影像處理電腦。
  - (2). PC-360i平行處理影像即時處理卡。
  - (3). APA512 MX-1 影像處理卡。
  - (4). FEATUREMAX-10 影像處理卡。
  - (5). SNAP-10 影像處理卡。

- (6).DIGIMAX           影像處理卡。
  - (7).FRAMESTORE       影像處理卡。
  - (8).MAXGRAPH        影像處理卡。
  - (9).TARGA+           影像處理系統。
  - (10).MAX-Video 20    即時影像處理系統。
  - 3. 電腦運算單元配備—
    - (1).CRAY超級電腦（連線）
    - (2).HP 98730 工作站（自有）。
    - (3).PC-486 兩部（專用）
    - (4).PC-386 一部（專用）
  - 4. 影像輸出單元配備—
    - (1).熱感式硬式拷貝機。
    - (2).RGB影像螢幕。
    - (3).Super VGA螢幕。
    - (4).影像專用顯示螢幕。
  - 5. 支援週邊單元配備—
    - (1).雷射印表機。
    - (2).列表機。
    - (3).蒙恬手寫自動辨認中文輸入系統。
    - (4).RICOH光碟機。
- 本所現有的研究設備聯結如圖2-4。

由於本所本年度逢重大儀器設備費用專款補助，除現有儀器設備外，將另再添購交通工程及更先進的器材。為建立一套辨認車種適用的硬體環境，本研究將編列相關設備預算，包括影像處理板、輸出入界面等，供日後示範及技術移轉使用。

## 2.3 國外相關技術發展與系統評估

交通影像面式偵測的技術在1980年代末期以後作了許多研究及測試，目標多在偵測公路上之流量、速度、車種（其中多以單純車種為主，而且在理想條件下作辨認）。直接應用在收費站辨認車種之研究文獻尚未發現，但是其相關之交通偵測技術仍有值得借鏡之處。另外，1991年6月，美國於Cal.poly，史無前例地進行一項大規模車輛影像處理系統（VIPS. Video Image Processing System）的評估工作，評估狀況達28個項

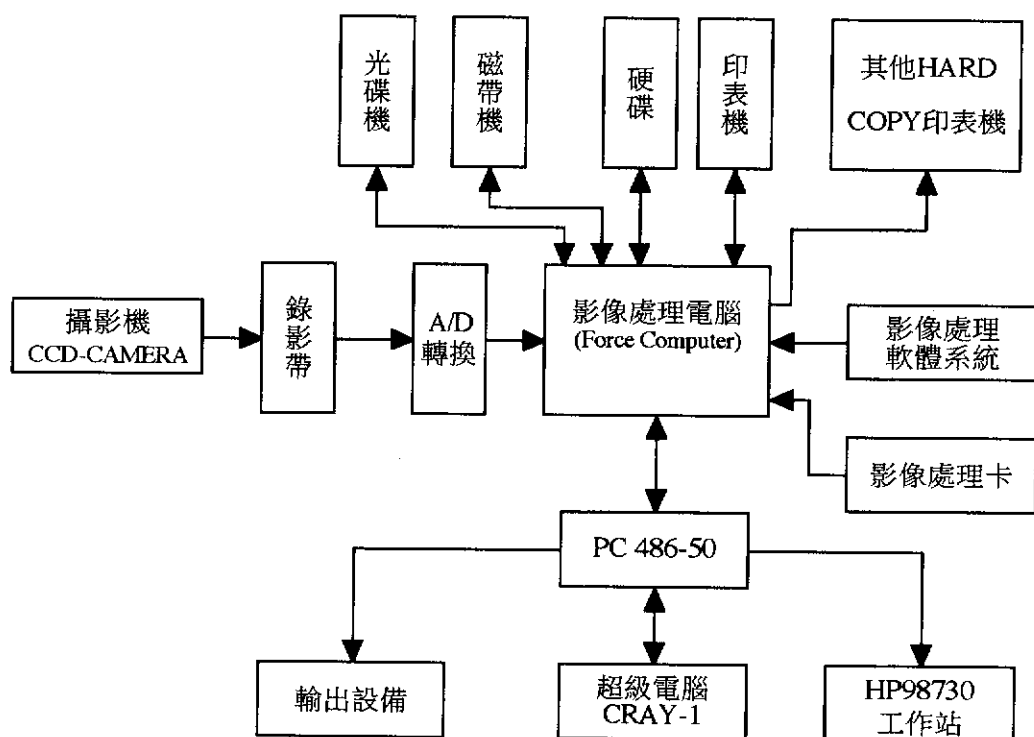


圖2-4 台大土木研究所影像偵測配備聯結架構圖

目，研究時間長達22個月，這份評估報告對於國內日後的交通影像偵測系統發展具有重要參考價值。茲將上述兩個重點分述於後。

### 2.3.1 國外相關技術發展

1975年時日本已有自動車輛偵測系統之研究。1978年起美國FHWA委託E.E.Hilbert等進行WADS (Wide Area Detection System) 系統之研究，1982年完成期末報告，該研究以車輛偵測、速度偵測及車輛追蹤為主[49]。其間於1980年IEEE上已有其硬體處理板的配合研究發表[47]。1985年時英國與瑞典分別被歐洲共同體指派進行有關影像技術在交通偵測之研究[48]。重點在利用影像相減法求車輛計數(count)，精確度在89%以上，此時，日本陸續有研究報告出現，由於日本是工業界和學術各研究單位通力合作，因此有實際應用的系統誕生並具不錯之成果[55,56,57,58]。1987年英國 Houfhton等以影像相減法配合像元強度變化門檻值之應用，可將準確度提高到 90-95%。同時 Hoose等亦以平行影像處理器進行類似研究[28][29]。日本與美國此時皆積極研究，未有停頓。到了1990-1992年之間，以影像偵測應用於交通工程上之研究報告如雨後春筍，其中尤以在鋪面上之應用最多，也有實驗系統應用。在90年代初期這段時間，有日本 Yoshizawa等以模式匹配修正車輛偵測效果，並可追蹤車輛軌跡[60]。K.Sakai等則發展ITV系統研究隧道內車流的計數[63]。Naito等用類神經網路方法來發展公路上小汽車偵測方法，著重於車型辨認[59]。

而英國方面，此時由三個學校共同發展 Trans Vision (Traffic Representation by Artificial Neural System & Vision) 系統，分別由Univ. of Newcastle負責交通監測及行人動線分析系統。Napier Polytechnic負責開發先進之智慧型系統。Univ. College London (UCL) 則負責以面式偵測 (Macroscopic-View) 來評估交通狀況[29]。

法國的Briquet 則進行都市交通監測之研究，而西班牙也不落人後，由S. Guillen等人以專家系統結合了電腦視覺技術對意外事件及擁塞偵測作應用[46]。

另外，加拿大於1992年時，也提出利用紅外線影像之紅外線追縱熱源原理，抓車輛之引擎、排氣管、輪胎等熱源並配合邊緣偵測來分辨車種。本法可免除光源，顏色，車型之干擾，但成本可觀[59]。

以上這些研究與相關交通工程之應用項目，將於第三章進行更詳細之分類說明。

### 2.3.2 國外相關系統評估

對於國外交通影像偵測系統（其代稱為VIPS）曾由Cal. Poly進行評估。整個評估程序，Cal. Poly分成三個階段：

第一階段先透過電腦網路連線，文獻回顧，個人接洽等方式初步評選出可行或正在發展的VIPS系統，並以dBase IV建立廠商及系統之資料庫。

第二階段起則由Cal Poly先提供有可能參加實地測試（在校園內）的廠商（共十三家，由第一階段選出）樣本測試帶，並由廠商自行以自己系統處理這些樣本帶，最後將影像處理後的錄影帶及辨識後的結果寄回Cal Poly，此階段屬於室內測試階段。

這十三家廠商名單如下：

1. Allen Bradley公司→(PS.) 曾完成License plate reader，同時在1990年上市。
2. ASPEK公司—ATAS VIPS系統。
3. Computer Recognition System (CRS) 公司—TAS VIPS系統。
4. Devlonics公司—CCATS VIP系統。
5. ELIOP公司—SIGRU VIPS系統。PS. 西班牙公司。
6. Hitachi公司。PS. 日本公司，基於商業顧慮，未參加。
7. Sumitomo公司。PS. 日本公司，基於商業顧慮，未參加。
8. Image Sensing System(ISS) 公司—Antoscope VIPS系統。
9. Institute National de Recherche Sur less Transports et lenr Securite (INRBTS ) 公司。
10. Perceptions公司IP921 VIPS系統。



11. Sense & Vision Systems (英國) 公司—Traffic Tracker VIPS系統。
12. University of Newcastle-Upon-Tyne 公司 —Tulip VIPS系統。
13. Vision System International(VSI)公司 —Force 系統 (台大土木研究所交通組已有)。

第三階段共有 ATAS, TAS, CCATS, Sigru, Autoscope, Titan, Traffic Tracker, Tulip 八套系統在系統可行性及廠商意願考量下，在 Cal Poly 校園進行實地戶外測試。

評估指標則依下列四類測試變數所建立之二十八項試驗來衡量。

四類變數分別包括：

1. 環境變數—
  - (1). 白天或晚上的光線變化。
  2. 天氣 (晴雨雲霧)。
  3. 陰影。
2. 交通變數—
  - (1). 車流流向。
  - (2). 車流狀況 (流速、擁擠、停等)。
  - (3). 相鄰車輛遮蔽效果。
3. 位置變數—
  - (1). 攝影機垂直角度。
  - (2). 攝影機水平角度。
  - (3). 攝入車道數。
  - (4). 設置穩定性 (搖晃容忍度)。
  - (5). 畫質。
4. 各系統運作時之自我修正 (調節) 變數。

而二十八個測試項目如下：

- 測試1 白天時，抵達車流，陡式偵測，5個車道範圍  
測試2 白天時，抵達車流，陡式偵測，3個車道範圍

- 測試3 黃昏時（由白天入夜，光線持續變弱）。
- 測試4 白天時，抵達車流，水平式偵測。
- 測試5 白天時，離開車流，陡式偵測。
- 測試6 白天時，離開車流，水平式偵測。
- 測試7 夜晚時，抵達車流，陡式偵測。
- 測試8 夜晚時，抵達車流，水平式偵測。
- 測試9 夜晚時，離開車流，陡式偵測。
- 測試10 夜晚時，離開車流，水平式偵測。
- 測試1-測試10之攝影機鏡頭為對準車流流向及反方向（如架在高架橋上）。
- 測試11 白天時，抵達車流，陡式側向偵測。
- 測試12 白天時，抵達車流，水平式側向偵測。
- 測試13 白天時，離開車流，陡式側向偵測。
- 測試14 白天時，離開車流，水平式側向偵測。
- 測試15 夜晚時，抵達車流，陡式側向偵測。
- 測試16 夜晚時，抵達車流，水平式側向偵測。
- 測試17 夜晚時，離開車流，陡式側向偵測。
- 測試18 夜晚時，離開車流，水平式側向偵測。
- 測試11-測試18之攝影機鏡頭為對準車流側向（如架在幹道旁之建築物上）。
- 測試19 有霧的環境下。
- 測試20 白天下雨情況下。
- 測試21 夜晚下雨情況下。
- 測試22 攝影機架設不穩情況下。
- 測試23 白天擁塞車流情況下。
- 測試24 白天車流之停等情況下。
- 測試25 嚴重的車輛陰影。
- 測試26 嚴動的建築物陰影。
- 測試27 車輛著火偵測及60HZ雜訊情況下。
- 測試28 中度下雪時之雜訊情況下。

Cal Poly爲了評審第三階段測試中的8個系統，另一方面也用BASIC和C語言各寫了一個流量記錄程式和速度記錄程式。配合人員用肉眼觀測錄影帶，計算真正的交通偵測值以評鑑各系統之誤差比率。但這個做去也有自身誤差；在流量方面爲±1%和速度方面爲5%。

而這八個系統中，屬於線式偵測 (Tripwire) 法的有Autoscope, CCATS, TAS, ATAS和Tulip, 屬於面式車輛追蹤法 (用整張影像資訊下去做) 則有SIGRU, TITAN, Traffic Tracker 三種。而已上市的則有Autoscope, CCATS, TAS三套系統。

本次評鑑中主要以流量 (Traffic Count) 和速度 (Speed) 為主要指標。而評估試驗的錄影帶時間長度皆在半小時到一小時之間不等，此乃因為要配合各系統的特性及規格所致 (如美規或歐規等)。各系統在試驗中所偵測的車輛樣本數平均在500輛~1500輛之間。

以上所列是由本研究重新整理原報告中的評鑑結果，並將各系統的準確度排名後，取前三名，括號內為準確百分比。並將所進行的28項評鑑，歸類成以下八個大類：

1. 白天時偵測評鑑平均準確度。
2. 夜晚時偵測評鑑平均準確度。
3. 順向車流 (抵達) 偵測評鑑平均準確度。
4. 反向車流 (離開) 偵測評鑑平均準確度。
5. 攝影機正向偵測評鑑平均準確度。
6. 攝影機側向偵測評鑑平均準確度。
7. 陡式偵測評鑑平均準確度。
8. 水平式偵測評鑑平均準確度。

(PS.: TUKIP系統和Traffic Tracker系統為仍在發展的系統，故表現較不穩定。值得一提的是，Traffic Tracker系統為應用面式偵測技術。在28個項目中有若干項的流量偵測可達99%以上，實為不易。)

1. 白天時偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	97%
2nd	Titan	95%
3rd	ATAS	94%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	Titan	95%
2nd	SIGRU, AutoScope	88%
3rd	ATAS	87%

2. 夜晚時偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	TAS	95%
2nd	ATAS	89%
3rd	AutoScope	86%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	SIGRU	95%
2nd	TAS	94%
3rd	CCATS	90%

3. 順向車流（抵達）偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	95%
2nd	Titan	93%
3rd	ATAS	90%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	CCATS	95%
2nd	SIGRU	91%
3rd	TAS	89%

4. 反向車流（離開）偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	89%
2nd	SIGRU	82%
3rd	TAS	68%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	90%
2nd	SIGRU	88%
3rd	CCATS	80%

5. 攝影機正向偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	94%
2nd	ATAS	91%
3rd	Titan	75%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	92%
2nd	CCCATS	88%
3rd	SIGRU	87%

6. 攝影機側向偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	ATAS	88%
2nd	AutoScope	87%
3rd	ATAS;SIGUR	83%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	SIGRU	91%
2nd	CCATS	88%
3rd	ATAS	80%

7. 陡式偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	TAS	91%
2nd	ATAS	89%
3rd	AutoScope	87%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	CCATS, SIGRU	88%
2nd	AutoScope	81%
3rd	TAS, ATAS	72%

8. 水平式偵測評鑑平均準確度：

A. 流量

名次	系 統	準確度
1st	AutoScope	98%
2nd	ATAS	91%
3rd	SIGRU	83%

B. 速度

名次	系 統	準確度
1st	ATAS	91%
2nd	SIGRU	90%
3rd	CCATS, AutoScope	88%

由上述各表可以看到影像式交通偵測系統在攝影位置、角度皆正常的情況下，不論白天或夜晚皆有系統能達到平均95%以上的準確度，即使在攝影位置、角度較特殊的情況下，這類系統也具有平均90%準確度以上的能力。

另外，就28項中特定項目（較特殊交通環境）來看這些系統在高難度影像偵測條件的表現：

1. 黃昏時：在流量上，Traffic Tracker可達98%；  
在速度上，AutoScope可達99%準確度之偵測。
2. 有霧時：在流量上，AntoScope可達99%；  
在速度上，AntoScope可達99.5%準確度之偵測。
3. 白天下雨時：在流量上，TAS可達95%；  
在速度上，CCATS可達95%準確度之偵測。
4. 晚上下雨時：在流量上，TAS可達95%；  
在速度上，SIGRU可達85%準確度之偵測。
5. 擁塞時：在流量上，AutoScope可達99.8%；  
在車速上，CCATS可達99%準確度之偵測。
6. 停等時：在流量上，AutoScope可達95%；  
在車速上，CCATS可達96%準確度之偵測。
7. 車輛陰影之遮蔽：在流量上，AutoScope可達96%；  
在車速上，ATAS可達94%準確度之偵測。
8. 建築物陰影遮蔽時：在流量上，ATAS可達100%；  
在速度上，SIGRU可達98%準確度之偵測。
9. 車輛著火及其它雜訊時：在流量上，AutoScope可達100%；  
在速度上，SIGRU可達97%準確度之偵測。
10. 下雪時：在流量上，CCATS可達99%；  
在速度上，SIGRU可達98%準確度之偵測。

就各別的系統來看，若依其表現排名給分，約略可發現以來自明尼蘇達大學所發展的AutoScope 技冠群雄，其次為西班牙的SIGRU系統，第三為紐約 Asper公司的 ATAS系統。其中，SIGRU是屬面式影像處理技術發展的，和ATAS系統皆未上市。

## 2.4 我國研究現況

我國關於交通影像偵測之研究始於民國78年，迄今已有5年之歷史，相關之研究主要是以台大土木研究所交通工程組為重心，多數有關之文獻也見諸於此，茲簡述如下：

民國78年，台大土研所交通組龍天立等著手進行“影像處理技術建構獨立路口資料收集系統及號誌控制智慧系統之研究”，為國內將影像處理技術應用在交通領域之開始。

民國79年，台大土研所范俊海等延續將影像處理技術應用於交通參數之蒐集，陸續完成一篇博士論文[52]，以及兩篇碩士論文[53][54]，並發表於運輸學會第五屆年會中的影像處理及電腦視覺於交通應用的範疇之上。

民國80年，台大土研所又再進行“應用影像處理分析動態交通特性及推估起迄矩陣”之研究，而民國81年起又繼續進行以影像處理構建道路車輛偵測及追蹤系統之初步研究。而國內淡江、成大等校亦陸續投入影像處理應用於交通工程領域之研究。

民國82年，台大土木研究所整合歷年來發展之基礎開發出一多功能交通影像處理工作站，同時並投入本研究計劃，未來將以此交通影像處理工作站為基礎，持續開發不同功能之模組，將影像處理技術應用在交通工程諸領域（例如：交通偵測與資料蒐集、車輛分類與車種辨認、鋪面管理、事件偵測．．．等方面）。而國外在此方面之現況介紹，將見諸於第三章之討論。

# 第三章 影像處理技術應用於交通工程領域 專題分析

影像處理技術應用在交通工程領域已有十餘年之歷史了，先進國家諸如歐、美、加、日等國莫不積極投入此一領域之發展，近幾年來，由於電腦軟硬體設備的改善及價格的普及，使得影像處理技術應用在交通工程各領域之研究蓬勃發展，也吸引了眾多產官學界之研究者積極投入，本章將介紹影像處理技術相較於傳統交通工程技術之優點與效益以及世界各國以影像處理技術應用在交通工程諸領域之近況、成果和未來展望，以確立本研究之未來發展的取向與在整體影像處理技術應用於交通工程領域中的角色。

## 3.1 影像處理技術之優勢

目前用在交通分析的影像處理系統大致可區分為四個領域，第一類是應用在交通偵測與交通資料蒐集方面；第二類是意外事件偵測與防治方面；第三類是車輛分類與車種辨認方面；第四類是鋪面管理技術方面。茲將影像處理技術相較於傳統技術應用在上述四類交通領域相較之下，所能達到之優點、以及傳統工具之限制作一探討。

### 1. 交通偵測與交通資料蒐集

爲了進行各項交通控制與管理，需收集道路交通相關資料。同時隨著交通控制與管理策略的不斷進步，交通資料的需要量及其重要性隨之增加。所蒐集的資料包括：

- 簡單之車輛計數— 可用人工計數器或自動化之傳統偵測器（如：迴圈偵測器、超音波偵測器...）。
- 複雜之參數推導— 如車速、車間距、轉向流量、違規行爲、O-D Pattern。

而傳統車輛偵測工具多屬迴圈式偵測器或以人工配合攝影調查法而獲得交叉口或路段之交通資訊，其與影像式偵測器之比較起來，差異如下：



(1)無論任何一種傳統式的偵測器，所偵測的位置均是固定的。換言之，它們大多只能偵測到某特定點或線的附近，為一 " 點 " 偵測器 (Point Sensor)。而影像式偵測器為一 " 面 " 偵測器 (Area Sensor)，可偵測之廣度遠大過傳統工具。

(2)人工調查之過程有許多不易控制之變因，耗費時日且其誤差與錯誤層出不窮。若調查結果有誤，也不易重新調查，因此常造成研究進度不易掌握之困擾。若以影像處理技術取代傳統交通偵測工具，除了可以減少人為誤差，降低調查所需之風險與資料處理時間外，更可節省調查人力、經費。相對的，資料成本即可藉由資料調查蒐集之自動化而大幅降低，且其調查時間也不似人力調查在調查時間長度、時刻早晚有較大之限制，為一全天候之調查工具。

影像式偵測器除了具有上述優點外，相對於傳統調查工具，尚有以下幾點之特性差異：

(1)初期成本高：目前攝影機與影像處理設備之價格一般較高。但是影像處理式偵測器為一完整之系統設備，而其他傳統偵測器為單一設備。且影像式偵測器可同時取得數個傳統偵測器所能取得之資料，故成本之考量若考慮其整體性、耐久性、節省之人力及提供之功能多寡的話，乃具備相當之競爭力。

(2)更動富彈性：傳統偵測器要改變佈置時，常需大興土木；迴圈式偵測器更需要挖掘路面，影響交通甚鉅且須耗費額外成本，但影像式則無此缺點。

(3)偵測新的面式交通參數：影像式偵測器除可求得傳統交通參數外，一些傳統不易求得之交通參數，如車輛空間位置、車輛追蹤、空間平均速度 (S.M.S.)、駕駛行為 (如：變換車道、加減速、路肩超車、違規左右轉、轉向交通量等等)等亦可用影像技術求得。

- (4)受環境變化影響大：影像式偵測器易受天候、光線變化之影響，黑夜亦會影響其偵測效果，但隨著影像處理技術之突破，諸如紅外線攝影機、熱追蹤攝影機、類神經網路技術及演算法之改良，已逐漸可克服外在環境之干擾。

茲將傳統之迴圈車輛偵測器與超音波式、CCTV影像處理式車輛偵測器之特性比較表列於表3-1。

## 2. 意外偵測與防治方面

傳統偵測方式無法辨認車流延滯是因為壅塞或是車禍所引起。在長隧道或道路險要處或交叉路口若使用傳統偵測器亦無法監測意外事件，以達成防治二次車禍的發生或警告違規駕駛行為的目標。然而，若使用影像偵測器則具有達成上列目標的潛力。再者，傳統偵測方式僅能被動地反應訊息，而影像式尚可以錄影存證方式作為提供意外鑑定之依據。

## 3. 車輛分類與車種辨認方面

幾乎所有傳統之偵測器都無法有效地辨認車種，經常必須輔以人工判別，而且已無太多改進之空間。而利用影像處理技術做車輛分類、辨識、追蹤，由於其全畫面功能可對物體千變萬化的特性作較佳之描述，在軟、硬體上尚極具發展潛力，例如英國之 UMIST 以二值化後之車輛影像做特徵匹配，日本以車尾燈寬度或車頭燈做為辨認依據，甚至在英、日等國，亦有利用車牌號碼辨認車種及追蹤車輛等應用。

此一研究領域的未來發展方面，影像處理技術結合類神經網路之學習系統以增強其圖形辨認及分類功能，或結合專家系統做為決策輔助之工具，均是國內外研究單位積極投入之新課題，也可證明影像處理技術未來持續發展之潛力。

表3-1 車輛偵測器之特性比較表

型式 項目	迴 圈 式	超 音 波 式	CCTV 影像處理式
可量測之 車流參數	流量、占量、速度 及車種	流量、占量、速度 及車種	流量、占量、速度 及車種
參數量測 原理	利用磁場感應原理	利用超音波之脈波 反射原理	利用影像處理、分 析技術
裝設位置	設於路面下約10公 分位置	裝設於每一車道正 上方5~6公尺處	設置於路肩邊坡， 高度約8 公尺以上
可量測之 車種	各型汽車	各型汽車	各型汽車 (未來可包括機車)
速度限制	1~160公里／小時	1~120公里／小時	1~130公里／小時
解析度(1)	2.3公尺	3公尺或0.5秒	5公尺
量測精確 度(2)	大於 98 %	大於 97 %	大於 98 %
易影響量 測精確度 之因素	金屬物質、車輛 斜行	強風、霧氣及多重 散射波的環境	夜間無法量測占量 小車被大車擋住鏡 頭
施工及保 養	維修時需封閉車道 並切開路面，埋設 或更換線圈較為困 難	維修時亦需封閉車 道，但安裝及保養 較為容易	維修時無需封閉車 道，安裝及保養較 為容易且不影響車 流
美 觀	埋設於地面下，不 影響景觀	需架設門架，會影 響景觀	裝設於路肩外，不 影響景觀

附註：1.解析度係指兩輛車之間距(Space) 需大於表列值或時間，偵測器較容易感測。

2.聯結車之偵測精確度小於表列值。

#### 4. 鋪面管理方面

公路建設是一項成本龐大的投資，爲了希望能長期延續道路的壽命，並減少新建公路的成本壓力，因此鋪面養護工作日趨重要，爲了有效擬定及執行養護策略，有不少國家進行鋪面養護管理系統之發展工作，如此可將繁瑣的決策問題交由電腦處理。在鋪面養護管理系統中最重要的一環是資料庫的建立，資料的完整才能擬出正確而有效的養護策略。資料庫中對養護策略影響最大的項目是鋪面破壞的資訊，如鋪面結構強度、糙度、抗滑值不足、鋪面裂縫等破壞項目，傳統的破壞調查除了鋪面裂縫、表面破壞等項目外都可以利用儀器調查。而對於鋪面裂縫、表面破壞等項目，傳統上是使用人力進行調查，多因養護單位派員定期巡視及輔以民眾的反應回報到養護單位的管理系統以便擬定養護策略。但是如此的作業方式有耗費人力及無法對破壞型式、現象及位置作明確的界定與記錄的問題存在，因此爲推動鋪面資料調查之自動化，始有利用影像處理技術偵測並辨認鋪面表面破壞裂縫之倡議。

### 3.2 影像處理技術之實例應用

#### 1. 交通偵測與交通資料收集方面

關於利用影像處理技術用在偵測、計算交通參數之概念，在先進國家起源相當早。例如美國自 1970 年代起，即在運輸部推動下，由 E.E. Hilbert 主持廣域偵測系統 WADS(Wide Area Detection System, WADS) 計畫[48]，以及後續之 SCAN 計劃 [47]，對於車輛偵測、攝影機之架設位置、高度、角度變化，系統軟、硬體之發展，都做了相當廣泛和深入之探討。歐洲方面，在發展電子式交通輔助系統的國際合作計劃下，英國及瑞典等國分別從事利用影像處理方法偵測車輛數、車輛位置、車輛追蹤等相關研

究[46]、[30]，由 UMIST(The University of Manchester Institute of Science and Technology) R.C. Waterfall 及 Dickinson 進行一系列之研究。而日本則由政府贊助，於東京大學工業科學機構(IIS)，由Takaba主持利用影像技術即時追蹤運動軌跡之研究[46]，迄今在日本各研究單位相互支援及產業界傾力研發之下，研究成果及經驗均十分豐富[25, 54, 55, 56, 57]。而國內自1990年起由台灣大學土木研究所進行影像處理技術於交通工程領域應用之相關研究[49, 50, 51, 52]，應用影像處理技術來作為交通參數蒐集之工具，茲將國內外目前在此方面最新之研究說明如下：

- (1)1993 年，台灣大學土木研究所提出以影像處理應用於交叉口車流偵測之初步研究[53]。主要利用影像處理之觀念發展新式的交通調查工具，並以交叉路口內交通資料之蒐集為例，除了計算路口轉向流量外，同時也得到車輛之轉向軌跡，可供未來對車輛於交叉口轉向行為、路口幾何設計之研究參考。本影像偵測系統相較於傳統偵測器之優點在於不需挖掘路面、施工方便、可錄影存證，可偵測路口不規則車流、可偵測新的交通參數....等。並且以一個交叉路口而言，用一個影像偵測器作面式偵測，可同時取代數個傳統式偵測器。同時，利用此影像偵測器可得到傳統偵測器無法得到之交叉路口即時轉向流量，對於動態交控系統之發展會有更理想之效果；此外，此蒐集資料對於旅次起迄矩陣推估將會提高其推估之正確性，並取代人工調查所需耗費的人力物力。
- (2)1992 年，日本高速公路局與Sumitomo 公司合作發展一長隧道車流量測與監視系統[63]。此一系統以 ITV 攝影機監測隧道中之緊急事件，利用車燈辨識法(Light Recognition Method)對隧道中車輛之車頭、車尾燈偵測而得其車速與車間距。由於此法之精確度完全取決於隧道內車輛開燈之比例，故同時引入車體辨認演算法(Vehicle Body Recognition Algorithm)，利用車輛陰

影進行各種交通資料之收集。本系統未來可應用在隧道流量控制、交通量量測系統、車禍偵測系統等多項功能之效果，且因本系統為以即時作業為發展基礎，故尚有很大之發展空間。

- (3)就車輛偵測而言，日本 OMRON 公司 Naito、Kanayama 等人為了改善影像處理之效果，克服光線變化、物體反光、不完整圖形、車輛重疊...等之影響，提出以類神經網路方法來發展新的車輛偵測系統改善對於車型辨認之績效，對於影像處理技術應用於交通偵測方面，有了更為理想之發展。

## 2. 意外事件偵測與防治方面

隨著影像處理技術之發展，應用在意外事件偵測方面可藉其區域偵測能力 (Area Sensing Ability) 而有更多功能之效果，茲將國外最新之研究介紹如下：

- (1)1992年，由英國倫敦大學運輸研究小組提出有關以影像處理技術應用在都市道路意外偵測之研究 [18]，該研究發展 IMPACTS 影像分析方法，將道路空間分為非交通部分、移動交通部分、靜止交通部分。在此分析下，可提供整體車群是靜止或是車流快、慢等情況。可對交叉路口或路段做一整體之「面式交通偵測」。而其數位化之影像資料可以磁片檔案、電腦螢幕顯示、原像重建或傳給交控系統，資料區域大小亦可視其需要進行切割處理，對於交通現況資訊之掌握，有很好的效果。依此方法，Neil House 將之實際應用在高速公路之測試，同時對現場拍攝及錄影帶之影像資料之處理做評估，其偵測績效大約都有 90 % ~ 98 % 之正確性 [20]。
- (2)1992 年，日本三菱公司 Furusawa 等人發展一意外車輛偵測系統 [60]，有別於傳統之車輛影像處理系統採用車體或車燈進行影像特徵抽取，本系統採用一新的辨識方

法 DTT 法 (Directional-Temporal Plane Transform Method)，可免除因光度、氣候及其它車輛之影響。本法以時間為橫軸，位置為縱軸，以車尾燈為偵測目標造成一2-D 影像，據此得出車輛之平均速度和瞬時速度，並且可迅速偵測出車道上屬正常狀況、車禍狀況或是壅塞狀況。藉此，可做到車禍的即時偵測，若能偵測出意外事故之發生且警告後方車輛，則可能預防二次車禍或更大之災難，其效益遠超過設備之成本花費。

- (3)在澳大利亞地區所進行之研究，發現在號誌化路口裝上自動監測攝影機以在駕駛人不當之駕駛行為時發出警告，可有效降低車禍之發生。在英國，每年有5000次車禍由於闖紅燈而造成，故對其車禍特徵、常發生地點進行研究，於29個地點裝設自動監測攝影機，即減少1/5之車禍發生，一年內可補回所花費之成本，在闖紅燈車禍越多之地方裝設，其效益將越高。而在西班牙，S.Guillen等以專家系統結合了電腦視覺技術，應用在意外事件及壅塞狀況作偵測[21]。

### 3. 車輛分類與車種辨認方面

關於影像處理技術應用在車輛分類、車種辨認方面為國外近幾年來的研究重點項目之一，介紹如下：

- (1)1992年，加拿大 Lu, Hsu與 Maldague等人，利用紅外線影像系統(Infrared Image Device System)記錄公路上之車輛影像，並對每個影像之單一車輛加以分類[22]。其架構乃是利用紅外線攝影機之“熱梯度”原理，以紅外線追蹤車輛熱源，抓其引擎、排氣管、輪胎等熱源發生處而取得影像，經過資料處理後，以修正Sobel的Edge-Shapening Method同時除去數化影像之白色雜訊與分離亮體，最後以Modified KNN Method(K Nearest Neighbor)對未知Pattern之engin cluster高度、大小、輪子數目、位置及軸數、軸距，依其特徵層層區分，而達到車輛分類之效果。

#### A. 系統成果

本系統經公路實驗測試，以 400 個紅外線影像與 400 個一般真實影像之比較結果如下：

- 計算卡車與拖車軸數，有 95 % 之準確度。
- 計算兩輪軸距，有 90 % 之準確度。
- 以其中 100 個樣本進行 KNN 法分類，在分為 4 群之情況下，有超過 95 % 之樣本可成功分類。
- 誤差來源：80 % 由於部分影像之扭曲 (distortion) 產生，僅 20 % 由本身演算法產生。
- 處理時間：抓影像 0.03 秒，影像處理與特徵萃取 0.8 秒，分類 1.5 秒，共約 2.33 秒。

#### B. 系統優點

- 目前多數之自動車輛分類系統均會引起一定程度之交通干擾，而紅外線系統並非在公路本身安裝與維護，故可降低對車流之干擾。
- 以熱源追蹤方式抓取影像可免除天候、車色、光線、車型之影響。

#### C. 未來改善方向

##### • 機車問題—

本系統對於機車之分類為一選用功能，因無足夠實驗樣本得明確成果，但因機車引擎小，故在影像技術上分類應屬可行。

##### • 即時分析—

目前系統處理速度主要限制在硬體，可朝平行處理技術發展，如 Martrox 之 MVP-AT / NP 板，及使用較佳之 C compiler、濃縮 KNN 決策法則 (Condensed decision rules) 等方向改善以達即時分析之功能。

(2) 1992 年，英國 Newcastle-upon-Tyne 大學之研究小組發展出一個自動車輛分類系統，其基本架構如下 [62]：

- #### A. 利用電腦視覺資料處理之 CAD 系統建構之 3-D 模式，利用透視投影法轉換為 2-D 之螢幕座標；結合以 CSG 法 (Constructive Solid Geometry) 建構之車輛特徵模型，以進行車輛分類及識別。



- B. 利用一個影像切割器，可以找出影像中車輛特徵並加以切割。其使用兩種演算法架構而成，首先以邊緣強化法 ( Edge-Enhancement Algorithm) 降低雜訊干擾，切割出車體與陰影，而得車輛位置與速度；或者，以多重門檻值法 ( Multi-value Thresh-olding Method ) 對影像做二次處理，以不同之門檻值依序切割出車體、車輛位置及車內情形。
- C. 建構一匹配系統 ( Matching System )，對切割後之影像做匹配之動作，且因配合 CAD 資料庫方法，故可從部份資料中辨識車輛。

由本研究實驗中顯示，雖然此車輛分類過程約需數分鐘，但在軟硬體上尚有大幅改善空間，尤其是其利用 CAD 資料庫匹配圖形特徵，可由不同之模式來建構，對於影像重建、現場偵測與電腦繪圖資料庫之結合，有相當廣的應用範圍。

(3)另外，在日本方面，若松久仁男、羽鳥公二提出在隧道中利用車輛尾燈寬度辨認車種 [54]，山也拓平亦曾提出在夜間利用車頭燈辨認之方法。

(4)在車輛辨認方面，亦有許多國家著手發展車牌自動辨識設備：

- A. 1986年由英國 Dickinson 與 Waterfall 發展之電腦辨認系統 [14]，利用特殊之類神經網路硬體結合失竊車輛資料庫，以紅外線攝影機辨認車牌號碼，依此設備找回之失竊車輛高達 50 %，未來在圖形辨認、視覺處理技術上是研究重點，可望成為一有效之車輛辨認利器，代替人力上無法達到之功能。
- B. 1992 年，日本 OMRON 公司 Kanayama 等人<sup>\*</sup>，以即時影像處理技術發展車牌號碼辨識系統 [59]，可在不需外接感應器之情況下，利用車牌板與數字深淺對比區別大車與小車。再者，利用影像交錯掃描

抓取車牌號碼進行字元辨認，其辨識成功率夜間達 75%，白天達 90 % 以上，其效果亦可達即時之要求。另外，本系統亦可應用在兩個 AVI (Automatic Vehicle Identification) 系統之間，求得車輛之旅行時間，較諸傳統旅行時間調查方法會有更精確之結果，在經濟效益上並且可同時處理車牌辨認及量度旅行時間。

#### 4. 鋪面管理方面

影像處理技術在 1990 年起，有大量之研究應用在鋪面管理系統上，包括實務上之應用與實務系統之測試，敘述如下：

目前已發展出來的系統有 KLD Associate 的 "Short-exposure video ACM"，MHM Associate 的 "MHM"，Idaho Department of Transportation 的 "Video camp"，Waterloo 大學的 "Video (ADDA)" (加拿大)，PCES / Earth Technology 的 "Continuous line scan"，EKTRON Slit Intergration 的 "Directed light meter and integrated line scan" 及 Komatsu Ltd. 的 "Lateral laser line scans" [64] 等，各種系統都有其適用環境、使用技術、硬體、使用限制等，而各系統的誤差則有 McNeil 與 Humplick [64] 進行比較分析；在影像處理技術應用的學理研究上，則有 Kirschke 與 Velinsky 研究 Histogram-based 的方法偵測鋪面裂縫 [34]；Guralnick、Suen 與 Smith 以 shadow moire 方法作鋪面裂縫的性質調查 [65]；Fukuhara 等人利用雷射、錄影及影像處理技術發展出一套自動破壞調查系統，包括一部調查用車輛及資料處理系統，可以偵測裂縫、車轍、縱剖面的情形等破壞現象 [25]；Ritchie 則針對在鋪面管理上可用的影像處理概念及應用做了廣泛地介紹，並舉出一些美、日、法已有的系統為例說明 [23]。由上述可知將影像處理技術引進鋪面養護管理系統中已是國外有關鋪面

資料收集系統極欲達成的目標，而且有許多人投進此一領域中進行研究。台灣地區之鋪面養護系統正開始建立中，如果能夠將影像處理技術引進此一系統，則在資料收集自動化以及資料精確性等攸關養護決策的關鍵工作上將能對系統有莫大助益。

### 3.3 小結

由前述對影像處理技術的優點之闡述，並介紹了目前世界各國將影像處理技術應用於交通工程各領域之系統內容與成果，我們可以圖3-1 來了解影像處理技術應用在交通領域之概況。

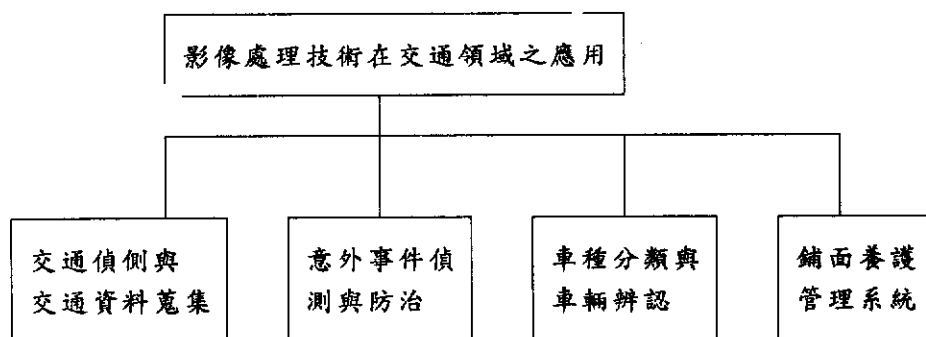


圖3-1 影像處理技術應用於交通領域示意圖

由前述之介紹可知交通影像偵測技術目前正興起一片研究熱潮。無論是做為一種取代傳統人工調查之新技術，或是做為未來智慧型車路系統（IVHS）之基本偵測工具，影像處理技術均極有其發展潛力，將予交通工程之發展帶來革命性的突破。

未來研究方面，除了現有技術之改善外，對於駕駛行為、車輛違規、超載、車輛軌跡追蹤、機車問題……等課題，均可利用影像偵測特有之“面”與“時間”三維資訊之特性加以探討，例如：

- 車輛在綠燈時段的擴散車流行爲研究。
- 車輛在紅燈時段的到達車流行爲研究。
- 路段中車輛變換車道行爲之研究。
- 交叉路口內車輛衝突。
- 機車車流行爲之研究。
- 交叉路口車輛轉彎半徑及軌跡之研究。

其它，諸如結合類神經網路、模糊理論、電腦繪圖、專家系統、資料庫．．．等技術，亦屬可能之發展，尤其是近年來電腦軟硬體設備不斷進步，成本也不斷降低之情形下，我們認爲影像處理技術可以做爲解決台灣地區交通問題極爲有力的工具，現在，便是我們必須掌握的時機了。

## 第四章 自動化車輛分類系統構想研擬

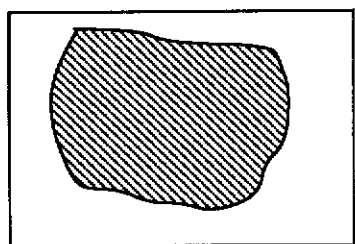
本研究的影像處理範圍限定為單一車輛的影像，因此與傳統的交通影像偵測系統所用的方式有所不同，必須針對單一車輛影像辨認提出新的架構，方能進行車輛影像的分類。本研究進行期間中，曾針對單一車輛影像研擬的分類基礎並提出其中的原理，希望藉以建立自動化車輛影像分類系統。

### 4.1 車輛整體影像為分類基礎

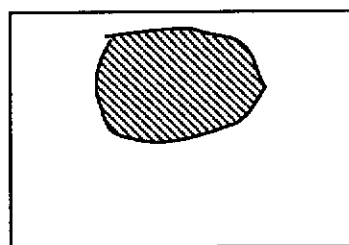
本研究之主要目的係將道路上之車輛分辨出為大車或小車，由實體特徵為出發點，其尺寸就有所不同，因此，在相同的拍攝角度、方向、距離、範圍(Zoom)之下，所攝得之影像，在尺寸、形狀上應有不同。

基於上述的緣由，本研究在研提以車輛整體影像為分類基礎的偵測系統時，將演算法的方向設定於面式偵測的方式，亦即是利用待分類車輛之影向像元(Image Pixels)佔整張被處理影像像元比例為判斷基準，相當於車輛影像佔處理範圍的面積，並依此為基礎建立偵測系統，其概念如圖4-1所示。當有影像資料輸入偵測系統時，先計算其所佔之面積後，進行是否為有車狀態的判斷，若屬無車則輸出無車狀態，若為有車狀態，再進一步判斷是否超過小車面積比例，若未超過，可能是機車、腳踏車或行人，否則進一步檢視是否超過大車之面積比例，未超過則輸出結果為小車，超過則最後輸出結果為大車。

大、小車的面積比例之門檻值訂定對本構想成功與否相當重要，這也牽涉到拍攝角度、距離及攝入範圍的決定，因此本研究將在後續工作中針對此項構想進行影像實驗，並從實驗結果中尋求建立演算法則的基準，以便建立完整的車輛影像分類系統。

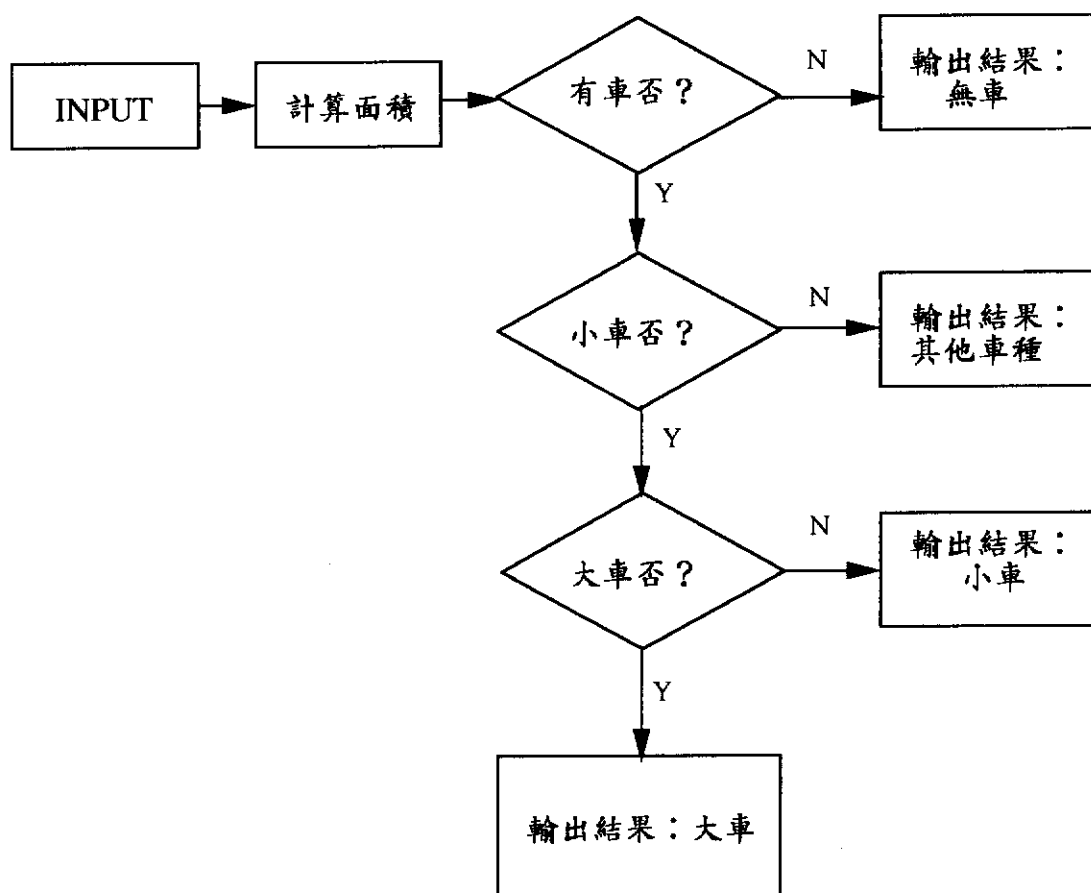


大車影像  
約佔整張影像之3/4



小車影像  
約佔整張影像之2/5

(1)面積比例示意圖



(2)偵測概念流程圖

圖4-1 整體車輛影像為分基礎之偵測系統概念圖

## 4.2 車牌顏色為分類基礎

國內汽車的車牌除了因車種不同（大客車、機車、小客車．．等）而字母與數字排列有所不同之外，各車種的顏色也有所不同，例如小汽車係白色、大客車係綠色等。因此在本研究進行過程之中，亦有以分辨出車牌顏色將車種加以分類的構想提出。

在彩色影像的範圍內，人類所可以認知的所有影像均由紅(Red)、藍(Blue)、綠(Green)為三原色所組合而成，而且除了彩度仍須有明度的配合才能完成彩色影像的組合。由於車牌顏色不同的特徵十分明顯，若能運用得當，成功的機率不小。然而在研擬細部構想時，遭遇到兩個問題：

### 1. 處理彩色影像的硬體設備：

大多數的影像處理設備所處理的內容為像元的灰度值，每個像元的灰度值分佈在0～255之間，電腦影像處理板的功能就在對這些影像的灰度值進行運算，以達成所需的效果，當然也可以用軟體程式自行計算彩色影像的像元彩度及明度，但此以軟體計算之方式比起利用彩色影像處理板在運算時間上必須花費更多，並不符合本研究的要求，因此彩色影像處理板係欲利用車牌顏色進行車種分類的必備硬體。

### 2. 影像資料來源：

即使在彩色影像處理的硬體設備上沒有問題，如何提供清楚的影像以供系統辨識分類，也是一大重點，因為靜物是完全靜止的，可以利用調整攝影機之方向、角度、攝入範圍等因素，以配合攝得作業所需的影像，然而車輛卻是動態的，雖然可以將攝入範圍固定為單一車道，但是因為車輛從何處進入拍攝範圍卻無法控制，有時偏左，有時偏右，又有時因底盤較高而造成車牌裝置位置較高，種種變因造成車牌影像的取得不易。

在我國現行的規定中，根據不同車種配置不同車牌顏色的政策下，利用車牌顏色為分類基礎原本是不錯的構想，但由於技術上的問題在現階段無法馬上克服，加上本研究的研究時間

有限，僅能對此方向提出構想，待將來在影像處理的技術有所突破時，可供未來進行車輛影像分類相關的研究作為研究方向的參考。

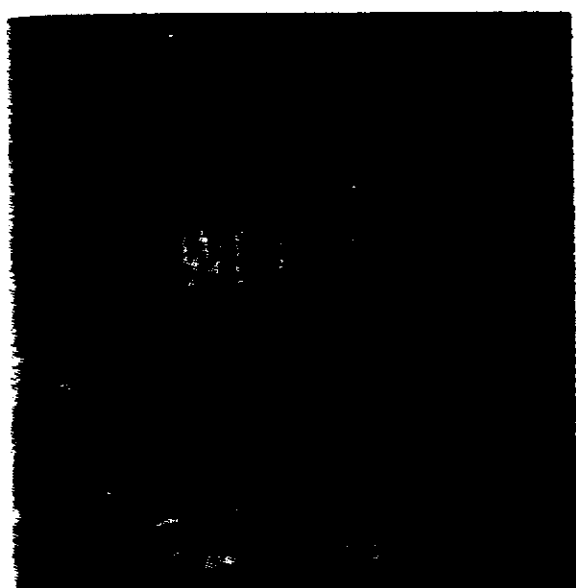
#### 4.3 車牌號碼為分類基礎

與4.2節所述的車牌顏色為分類基礎之焦點相同，另一個有關車牌的構想是以車牌號碼為分類基礎。由於電腦的快速發展，影像處理的技術也隨之突飛猛進，除此之外，因為其他資料結構處理方法的出現，電腦已經可以自動進行文字或圖形的辨識工作了。

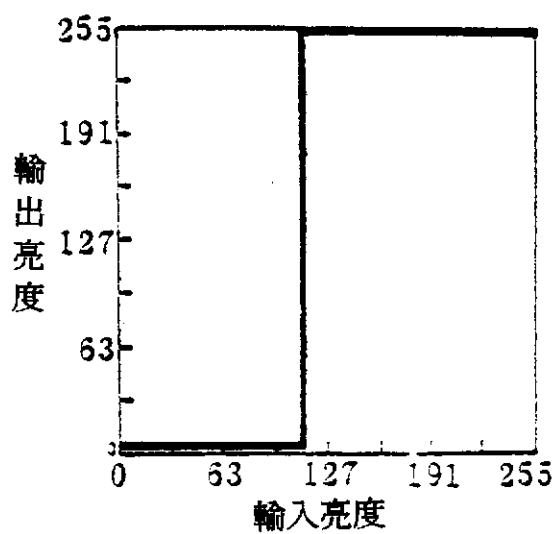
將影像進行二值化切割，是電腦自動辨識文字、圖形的前置作業，如圖4-2，圖中文字經過二值化切割處理後，可以讓人更清楚的看出其中的內容，只要能使電腦對這些圖形或文字進行辨識，自動化的辨識系統便可建立。

車牌號碼的底色通常與文字顏色差別很大，為了使執法者或民眾能輕易的看到車牌號碼，於是在影像切割上應該沒有問題，而且可以切割出相當清楚而完整的結果，當然這一部份必須進行影像實驗才能確定。但是對於本研究的範圍所訂定之單一車道的單一車輛而言，此構想有些與4.2節中所述類似的困難，由於車輛進入拍攝範圍的位置並非固定不變，因此在處理時必須先切取車牌影像，進而針對文字進行切割與辨認，所以在車牌影像切取上將是此構想的最大瓶頸。雖然國內已有少數影像偵測系統裝設在高速公路收費站上，對大型客車進行車牌辨識，但是因其範圍已限定在收費站的車道上，車速緩慢，車輛行進的位置固定，使得該系統在車牌切取上並無太大的困難，與本研究的情形並不相同，基於本研究的研究目的與研究時間而言，此分類基礎僅提出構想，供進一步研究作為參考，俟將來有機會再對此構想實際進行更深入的研究。

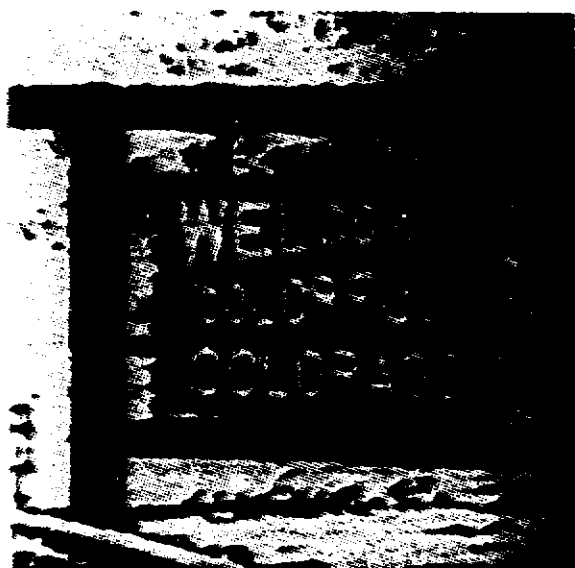




(a) 原始影像



(b) 切割影像



(c)

圖4-2 文字影像二值化切割範例

#### 4.4 車輪軸距爲分類基礎

在車輛實體特性上，小車與大車的車長經常差距很大，大車約10公尺長，小車約5公尺左右，因此影響到其車輪軸距也因車種不同而有所差異，平均大車輪距約多出小車2~3公尺，且車輪尺寸、高度也都不盡相同，作爲車種分類的基礎應也有相當好的效果。

由於距離乃一維空間的觀念，在演算法的研擬方向可設爲線性偵測法，亦即以偵測線對待分類影像進行掃描，偵測出輪軸的水平位置，並據以計算前後輪的水平距離，偵測概念圖如圖4-3所示。

雖然以車輪軸距爲分類基礎有其優勢存在，但是必須先釐清的幾個問題是：

1. 車輪如何從影像被認知。
2. 車輪配置（前單後單、前單後雙）是否影響判斷結果。
3. 如何拍攝車輪影像。

爲探討上述問題，本研究在後續的影像實驗中將附帶進行車輛側向影像的檢討。

#### 4.5 車前燈距爲分類基礎

大、小車型除了實際車長、寬、高有所差異之外，有些配備亦隨車型而有所不同，如輪胎尺寸、輪軸距離、車前燈距等，因此以車前燈距爲分類基礎，不失爲可行方案之一。

所謂車前燈距係指車輛左右前車燈的距離，在大車、小車之間的車燈可能因爲車種的不同而有高度的不同、左右距離的不同，尤其在夜間，以車前燈距作爲分類基礎，可能減低偵測系統因爲需要打光而對光源的要求。

由於本研究的道路範圍並未限定何種道路，因此夜間光源是否充足令人懷疑，每一條道路的變動也相當大，所需研究的項目與時間可能不少，因而本研究暫不考慮進行夜間車輛影像實驗，留待未來若有機會，可以對夜間車輛影像處理進行深

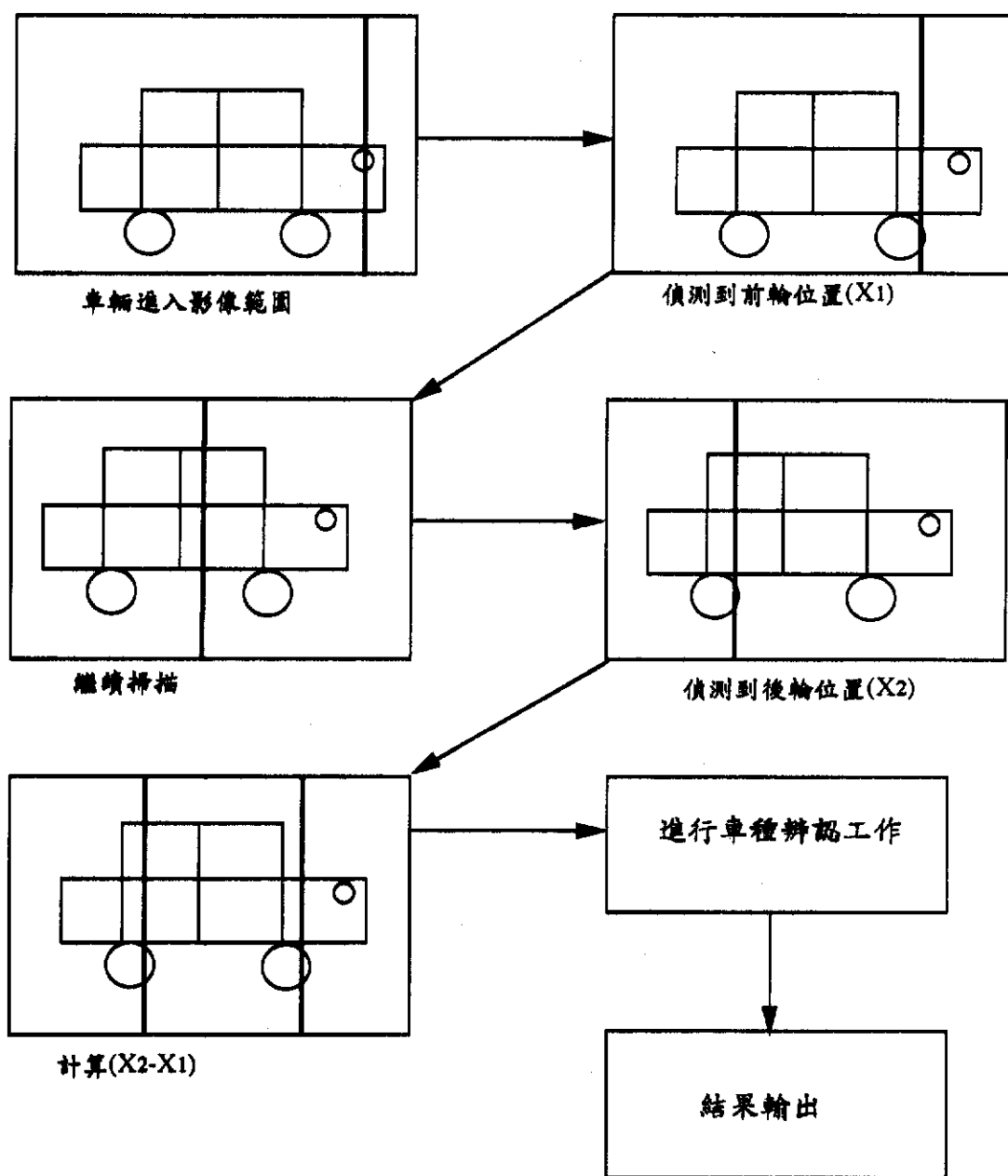


圖4-3車輪軸距為分類基礎之偵測概念流程圖

入的研究，以彌補本研究提出的車輛影像分類系統在夜間影像偵測的不足。

#### 4.6 硬體設施構想與綜合評述

綜合前面幾節所研提的分類系統的構想，針對本研究的範圍與目的，以整體車輛影像為處理、辨認及分類的基礎為最佳，而車輪軸距的構想也有研究必要，其他有關車牌部份的構想雖然立意甚佳，但考量時間與技術的不足，本研究僅提出作為未來研究的參考重點，對於夜間車輛影像的分類，因為牽涉廣泛，所需研究項目較複雜，在本研究中暫時不予列入。

整個交通偵測系統的硬體架構，約略如圖4-4 所示，其中影像取得部份，為了達到即時處理的效果，未來將以直接裝設攝影機於道路上攝取影像，再行連接至偵測系統電腦進行處理的方式加以安排。

因此在後續的研究工作中，本研究將進行整體車輛影像為主的影像實驗，同時進行車輛側向影像的實驗，以便分別檢討以這些構想為基礎研擬車輛分類的偵測演算法的可行性。

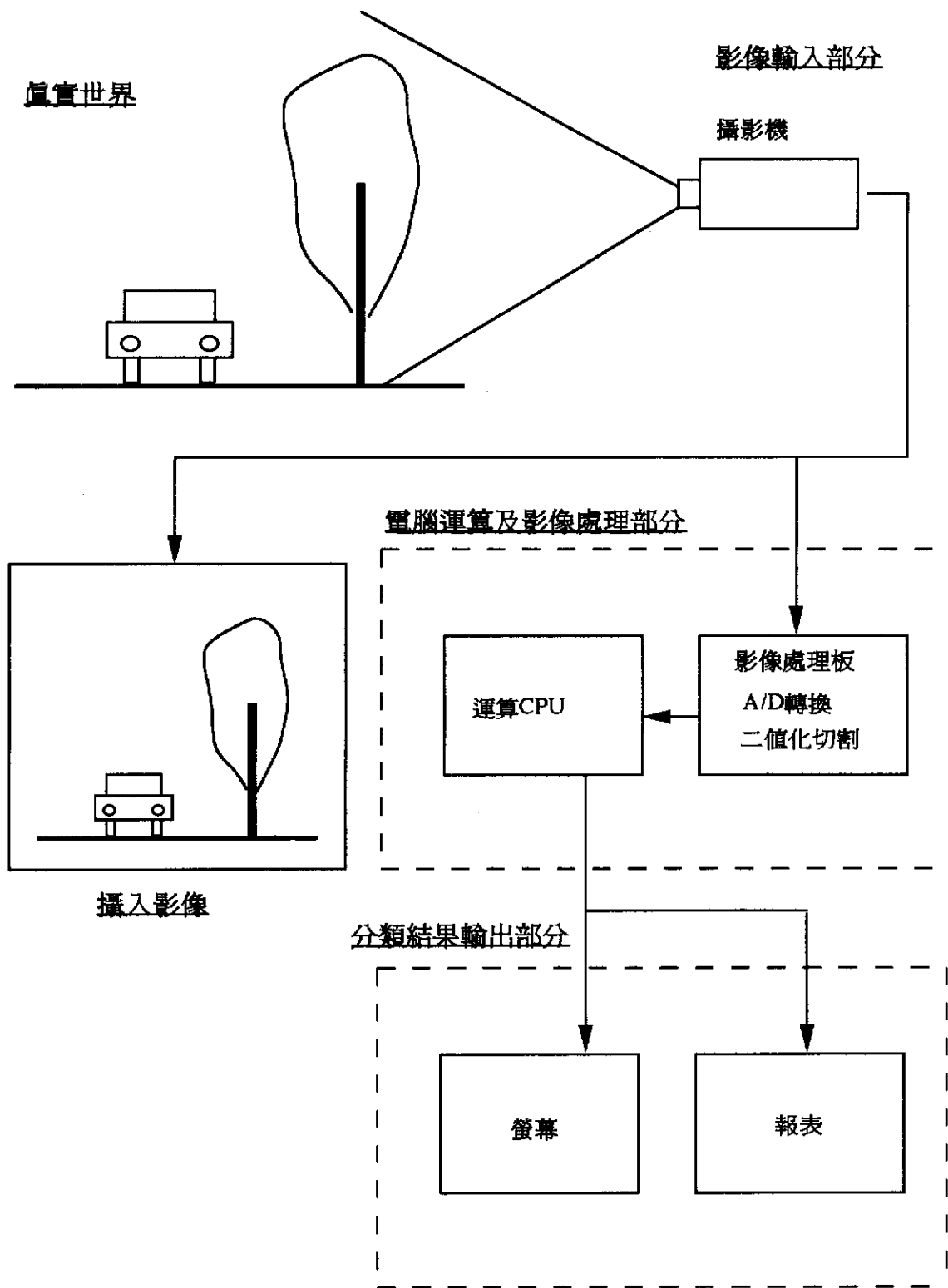


圖4-4 車種分類偵測系統硬體概念圖

## 第五章 車種影像實驗及結果分析

車種影像實驗之目的在於分出國內大小車種之影像切割條件、限制等，進而歸納出車種特點。由於目前有關車種影像分類技術的文獻並不多見在發展我國車種分類之辨認邏輯時，必須從影像實驗中獲取建立演算邏輯的基礎，再加上各車種之實質特徵，以便建立完整的車種分類偵測系統。

### 5.1 實驗計畫

本研究擬以實驗錄影帶作為車種影像切割的影像來源，以便從其中擷取車種影像的特點，實驗帶之拍攝條件與限制如表 5.1 所示。因為拍攝現場位於臺大校園內，以及新生南路與和平東路交叉口之人行天橋上，實驗拍攝車種將以大客車、大貨車以及小客車、小貨車為主，拍攝天候與時間為晴天或陰天的下午，範圍限定為單一車道之單一車輛，方向則以正向、側向、傾斜角向下等三個方向，關於強烈日照的問題，也拍攝了向光、背光兩種情形，利用這些實驗影像進行車輛的影像切割處理，拍攝示意圖如圖 5.1 所示。

當調查人員將實驗帶拍攝完成後，將其中的影像輸入影像切割實驗系統，本研究中的影像實驗系統係由 Force 影像處理電腦為主體，並提供影像處理功能，其中，對於每一張影像所作影像切割之最佳門檻值乃是採用 OSTU[51] 的自動切割演算法以程式求出。該演算法是由各種光源、角度等條件下的影像亮度值中，依區內同質變極小，區間異質變異極大之原理，自動搜尋出最佳值，並據此值對影像作切割（二值化），由於門檻值隨各條件下的亮度變化而改變，因此自動化最佳門檻值技術便顯得十分重要。最後由電視螢幕與熱感式拷貝機輸出結果，整個影像實驗系統架構如圖 5.2 所示。

本次影像切割實驗除了瞭解甲種車輛的影像特性，如車體、車窗之目的外，也可同時探討幾個變數，如光源位置、天候

表5.1 實驗帶拍攝之條件與限制

項目	內容
車種	大型車（大客車、大貨車、聯結車）、 小型車（小客車、小貨車）
車速	動態以車輛通過號誌化路口停止線的速度為主， 約30~40 kph，校園內為靜態。
方向	正向、側向、傾斜角向下等三種
範圍	同一方向的車道範圍
天候	晴天、陰天兩種
地點	新生南路與和平東路交叉口人行天橋上、 台大校園內
時間	約下午4:00~5:30
光源位置	向光（迎光）與背光（逆光）兩種

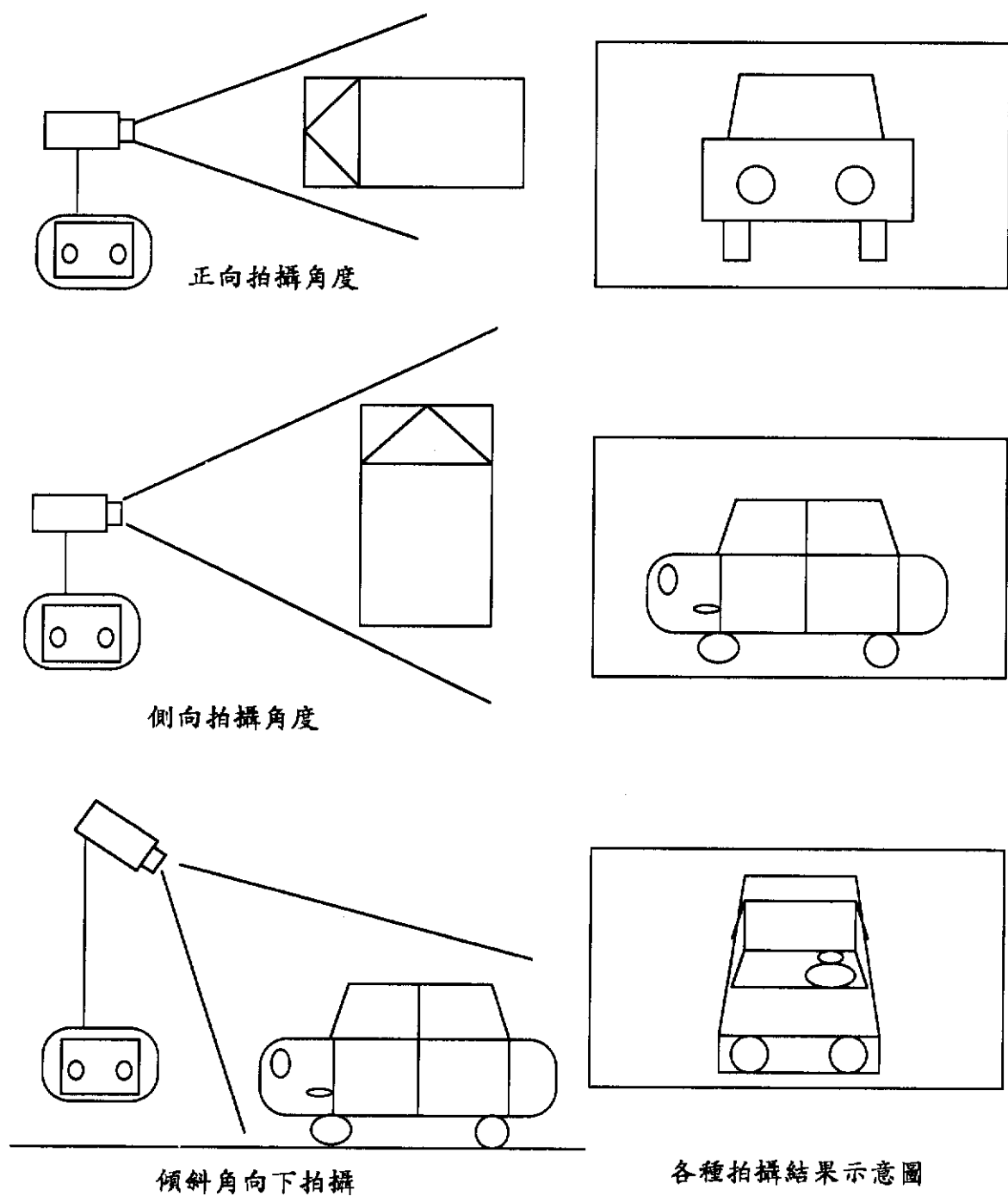


圖5-1 拍攝角度示意圖



INPUT

實驗錄影帶

FORCE  
影像電腦

A/D轉換

計算最佳門檻值

二值化影像切割

OUTPUT

電視螢幕

熱感式拷貝機

實驗結果判述  
(車輛辨識特徵做判述)

圖5-2 影像實驗系統架構圖

等環境因素的影響，及不同拍攝角度所造成的影響程度，以便對拍攝角度、天候等影響影像的變數提出較好的建議，並研擬完整的車種影像分類系統軟硬體之整體架構。

## 5.2 影像實驗結果分析與檢討

依據實驗計畫所拍攝而得的實驗影帶經過Force 影像電腦進行影像數位化後，進一步利用其影像處理板的功能進行最佳門檻值尋優，並使用二值法，依最佳門檻值進行影像二值化切割，然後利用熱感式影像拷貝機將原始影像與影像切割結果分別輸出，而亮度分配圖則以Statgraphics統計軟體製作成線形圖。其實驗結果如圖5.3 --圖5.18所示。圖中第一部份為影像數位化結果，第二部份為影像二值化切割結果，第三部份為影像數位化後亮度值分配圖。各圖之拍攝角度、天候、切割門檻值、內容特性等結果，整理分析如表5.2 所示。

### 5.2.1 拍攝角度效果

本研究所進行的影像實驗中，拍攝角度為正面的車輛影像實驗結果為圖5.7 ~圖5.10及圖5.15~圖5.18等，直接從其切割結果來分析，可以發現背景與車體灰度的對比，會對切割結果造成極大的影響；當車體與背景灰度對比愈強烈，其切割效果愈好，相對的，車體中與背景灰度相仿的部份（如車窗、車體烤漆反光部位）愈多，進行切割時，則愈容易與車體分離，造成車輛影像切割的不完全。另外有關最佳門檻值的部份，從灰度值分佈圖的結果中，無法發現車種對灰度值有何重大影響，倒是進行實驗時所取之視窗包含的內容，對於亮度值及最佳門檻值的影響程度較大。

側向拍攝的實驗影像中，其實驗結果如圖5.11~5.14所示，直接檢討車體與其拍攝時之背景的關係，同樣有灰度值的對比問題，即若背景與車體灰度相近，或者車體反光部份（車窗

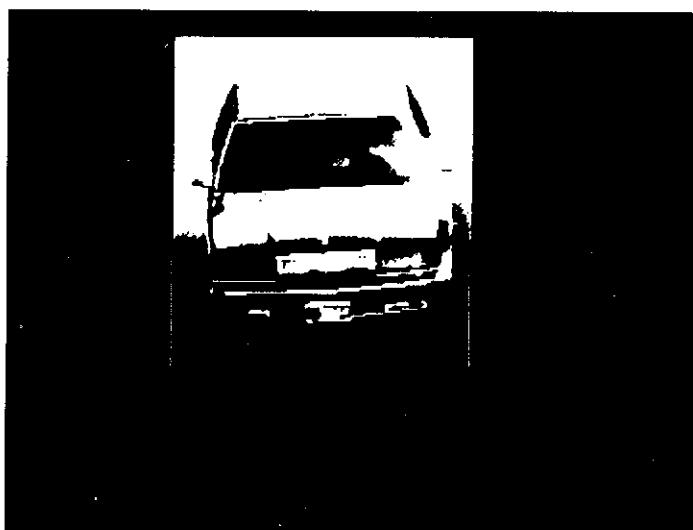
表5.2 影像實驗帶拍攝條件與限制分析表

樣本號數	拍攝內容與地點	拍攝角度	拍攝天候	門檻值	切割程度
圖5-3	大轎車，新生南路北向	傾斜角向下	晴天	101	劣
圖5-4	廂型小貨車，和平東路西向	傾斜角向下	晴天	165	優
圖5-5	白色小轎車，和平東路西向	傾斜角向下	晴天	143	佳
圖5-6	大客車，新生南路北向	傾斜角向下	晴天	96	佳
圖5-7	小轎車，台大校園	正向	晴天	119	佳
圖5-8	小轎車，台大校園	正向	晴天	116	佳
圖5-9	廂型小貨車，台大校園	正向，逆光	晴天	132	劣
圖5-10	大客車，台大校園	正向	晴天	123	劣
圖5-11	小貨車，台大校園	側向	陰天	128	佳
圖5-12	中型客車，台大校園	側向	陰天	118	劣
圖5-13	大客車，台大校園	側向	陰天	124	劣
圖5-14	小轎車，台大校園	側向	陰天	98	劣
圖5-15	中型客車，台大校園	正向	陰天	134	劣
圖5-16	大客車，台大校園	正向	陰天	107	劣
圖5-17	小貨車，台大校園	正向	陰天	128	佳
圖5-18	小貨車，台大校園	正向	陰天	129	劣

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

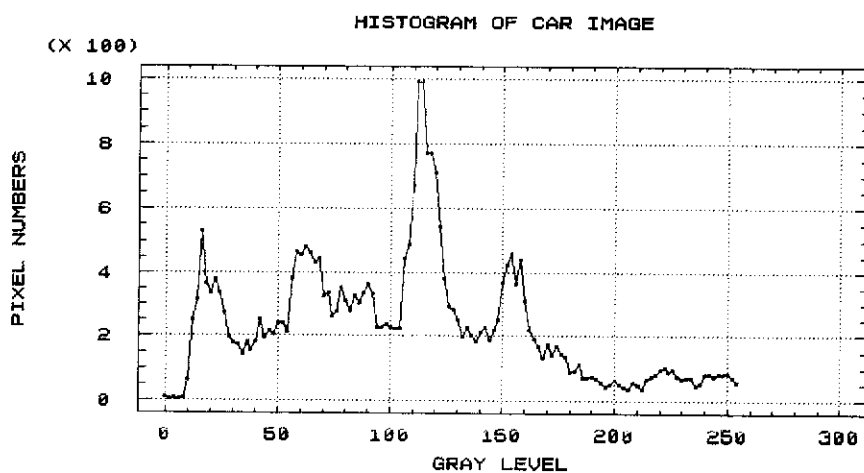
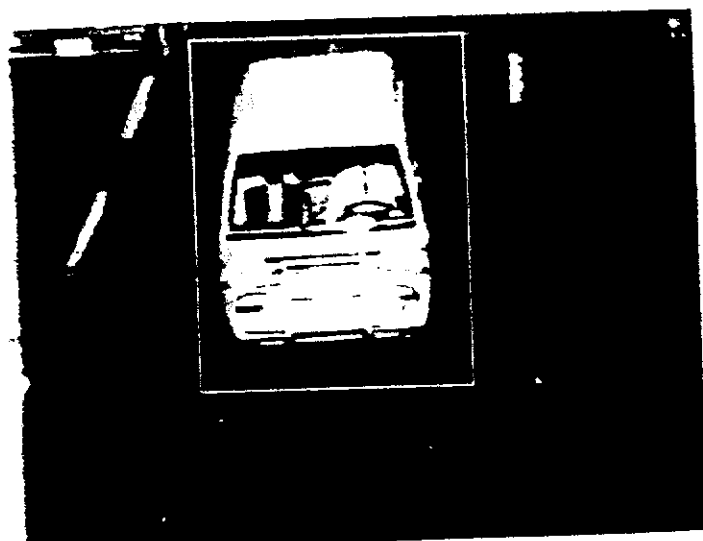
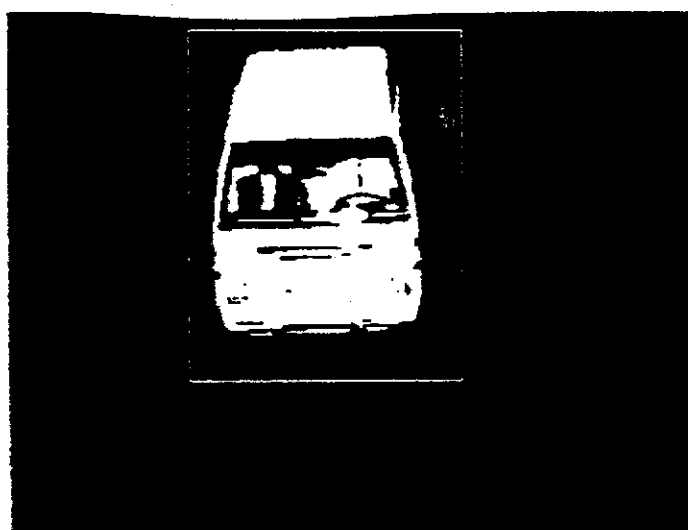


圖5-3 新生南路北向大轎車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

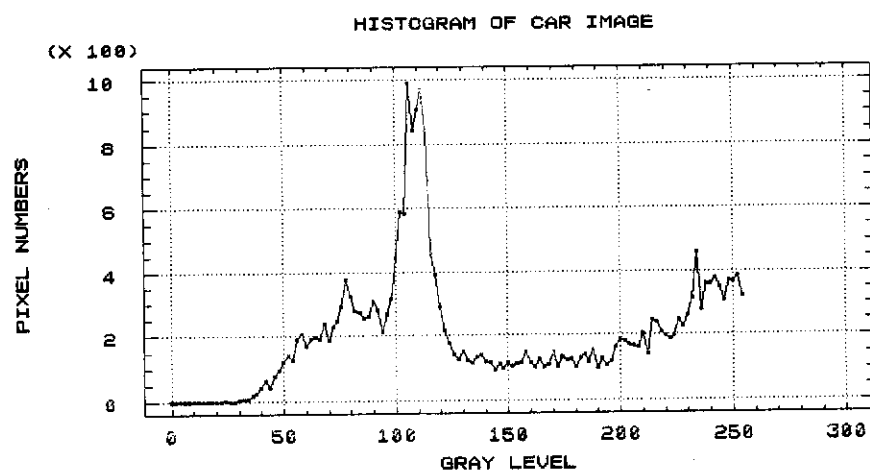
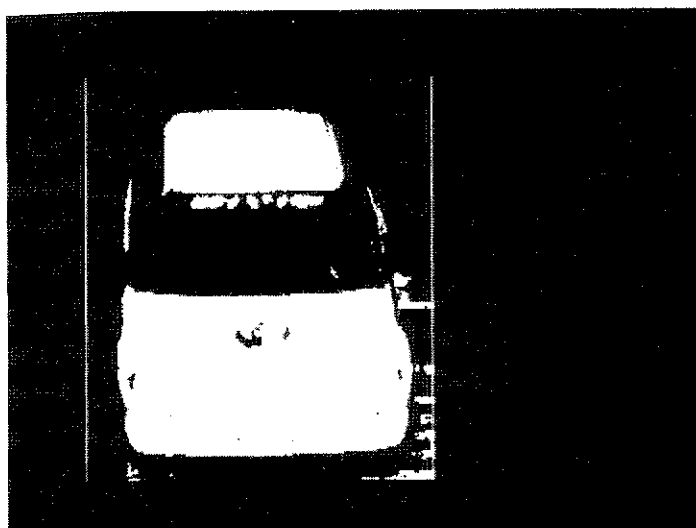


圖5-4 和平東路西向廂形小貨車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

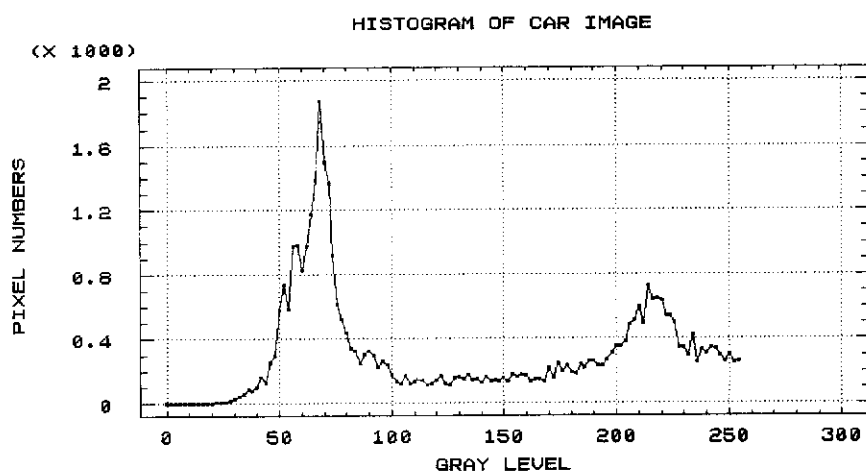
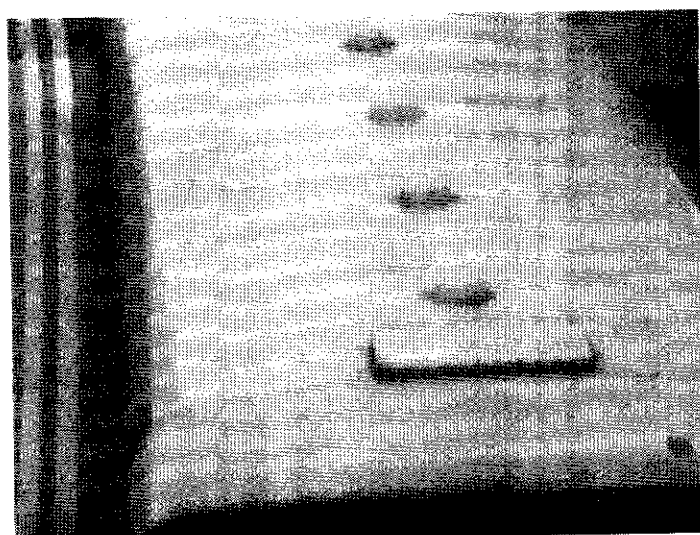
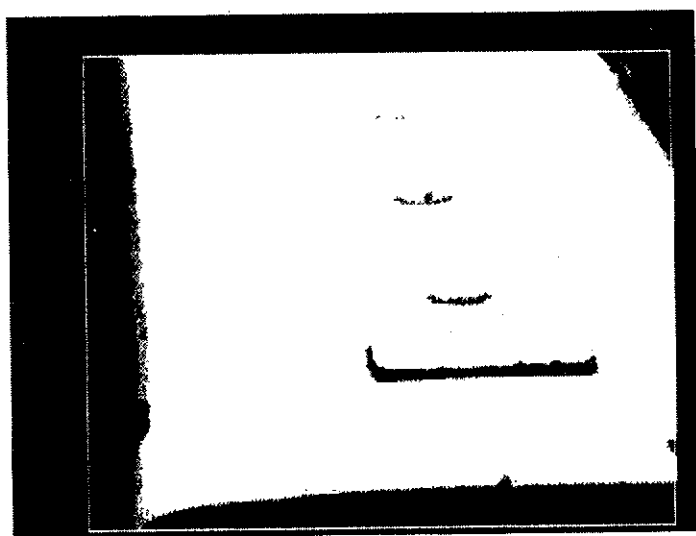


圖5-5 和平東路西向白色小轎車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

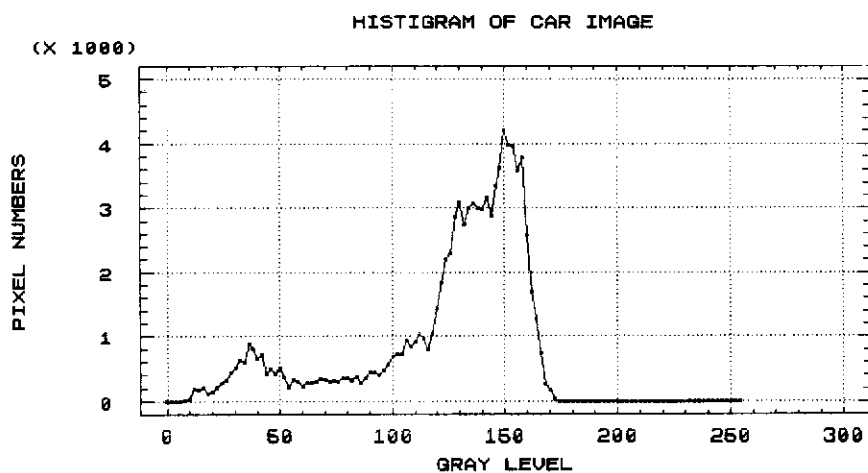
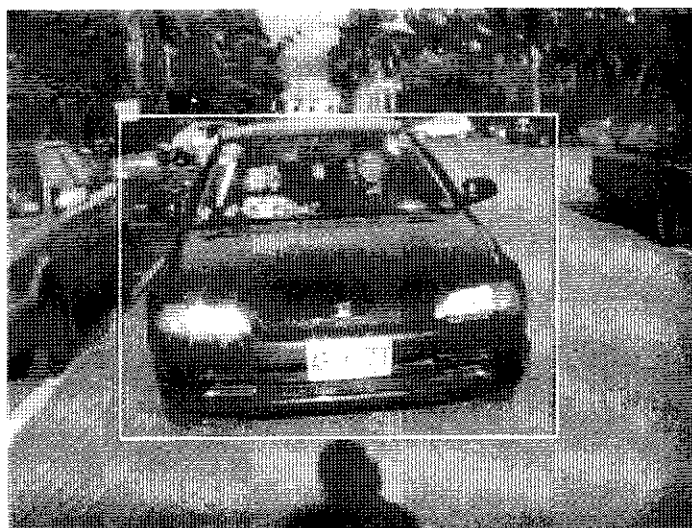
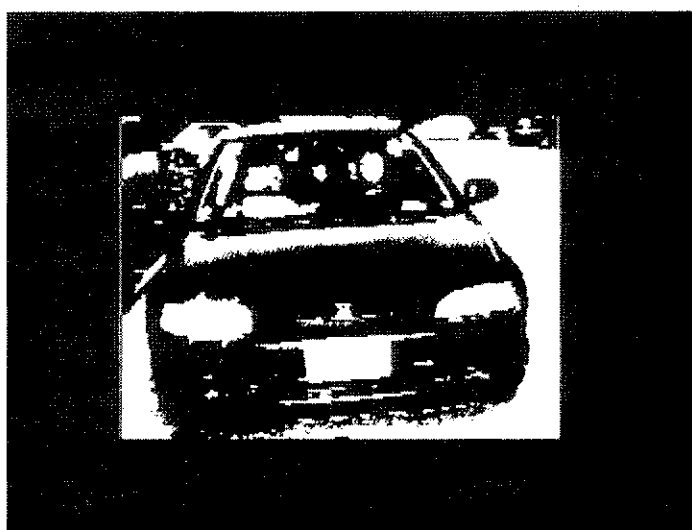


圖5-6 新生南路北向大客車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

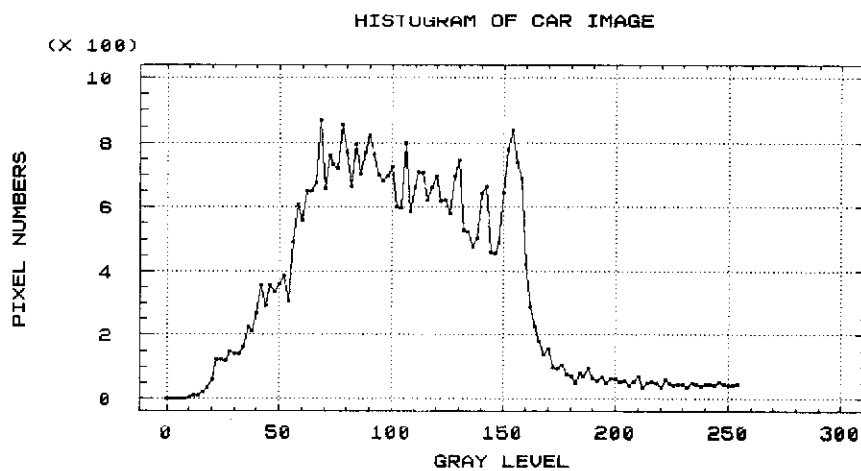
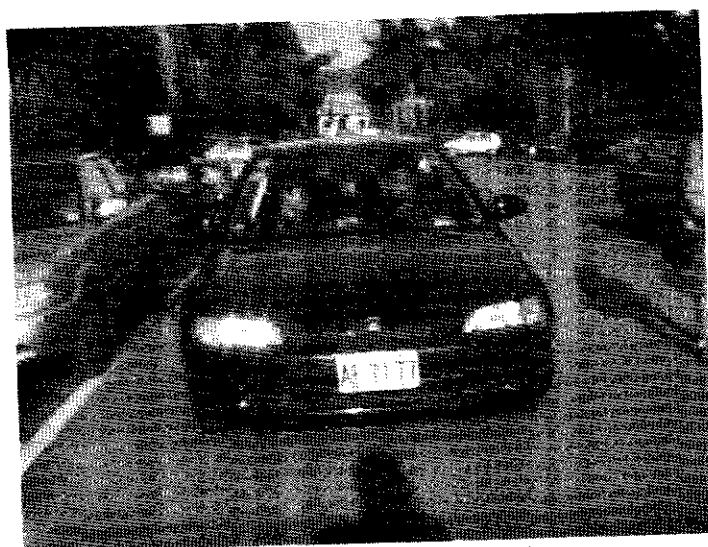


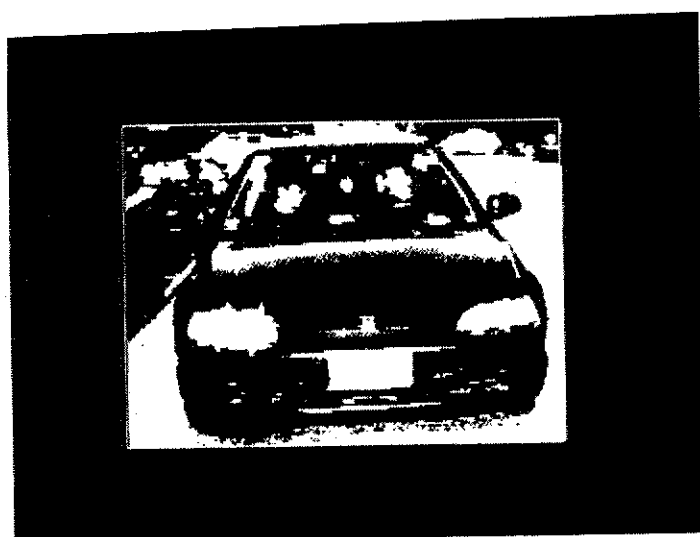
圖5-7 台大校園小轎車影像實驗結果



原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

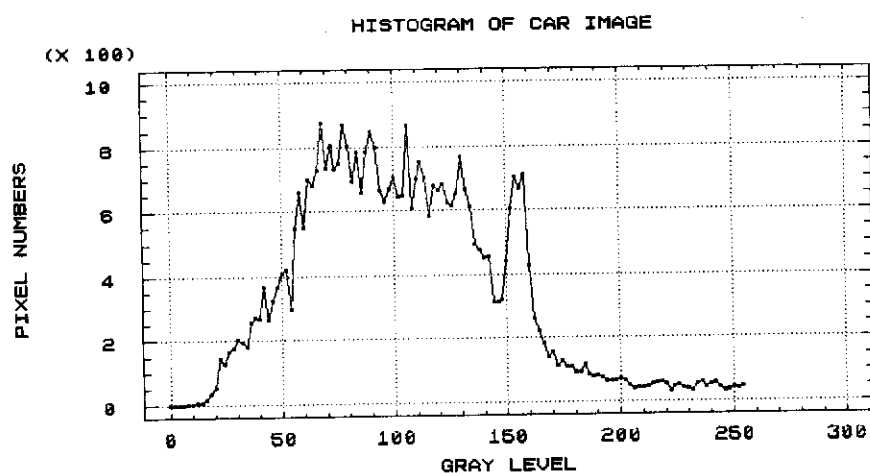


圖5-8 台大校園小轎車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

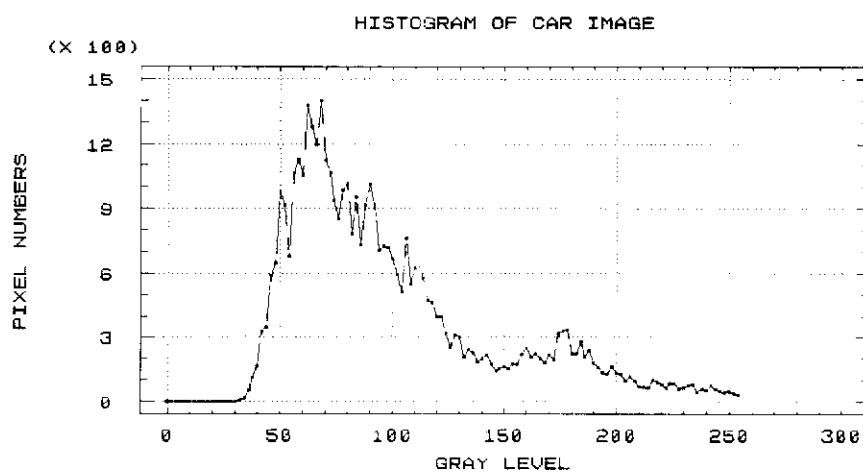
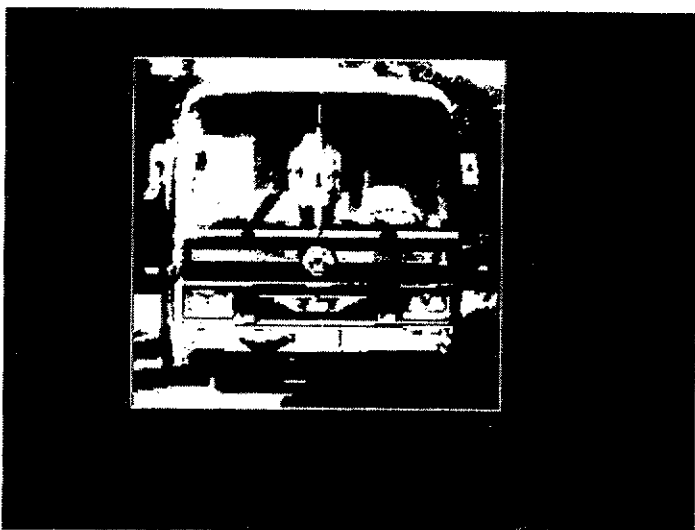


圖5-9 台大校園廂形小貨車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



HISTOGRAM OF CAR IMAGE

亮度值分配圖

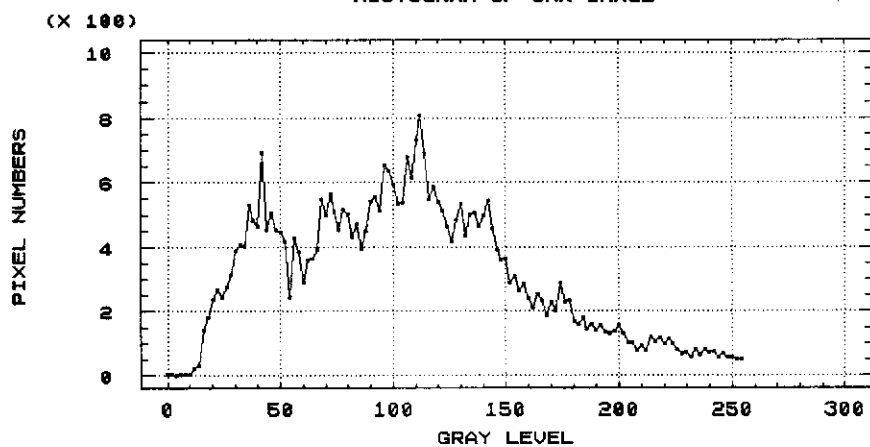
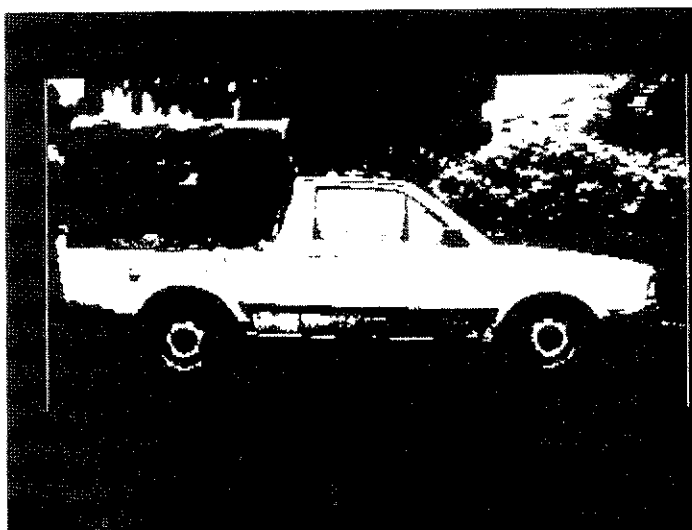


圖5-10 台大校園大客車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

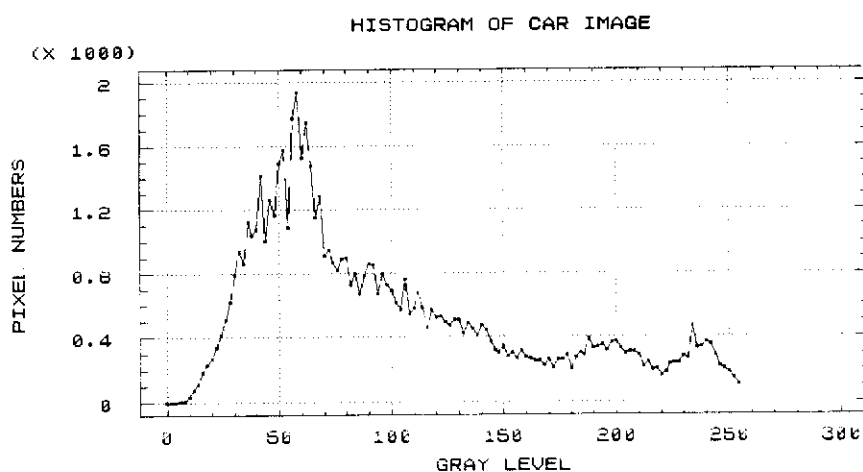


圖5-11 台大校園小貨車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

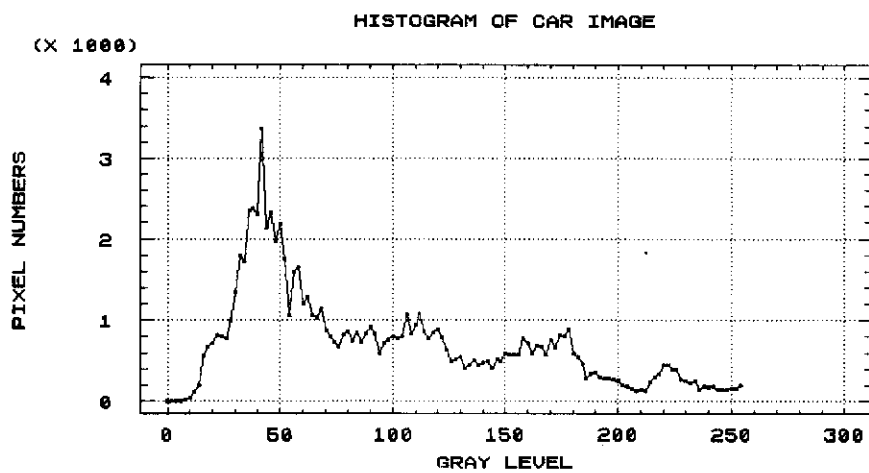


圖5-12 台大校園中型客車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

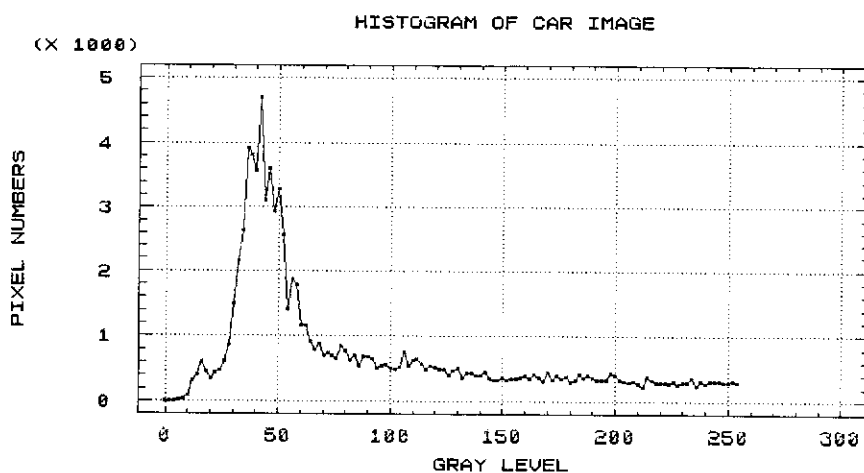
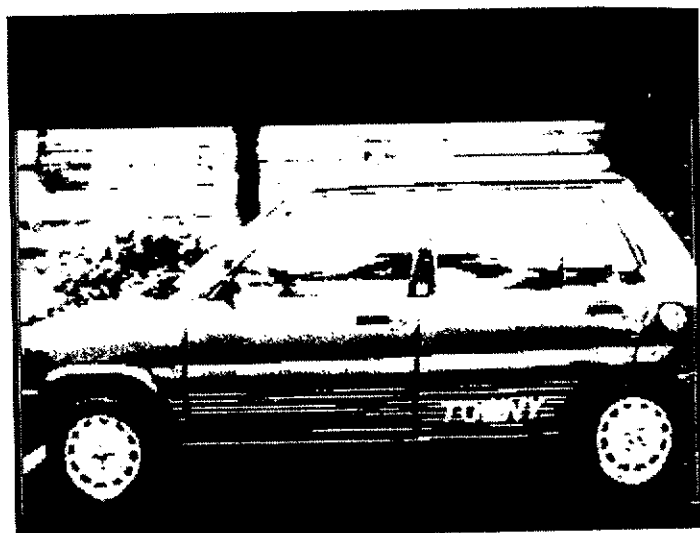


圖5-13 台大校園大客車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

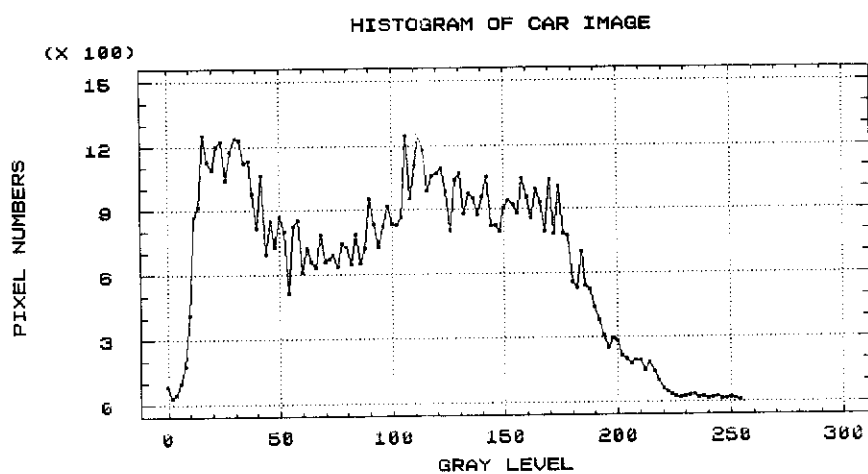


圖5-14 台大校園小轎車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

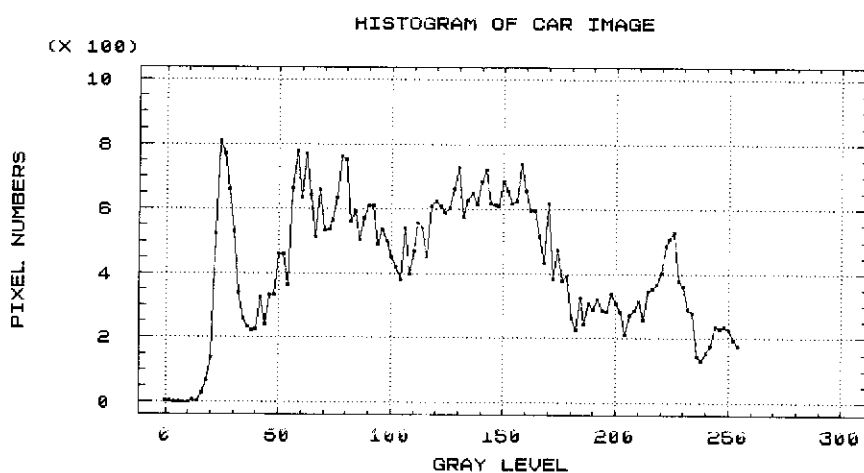


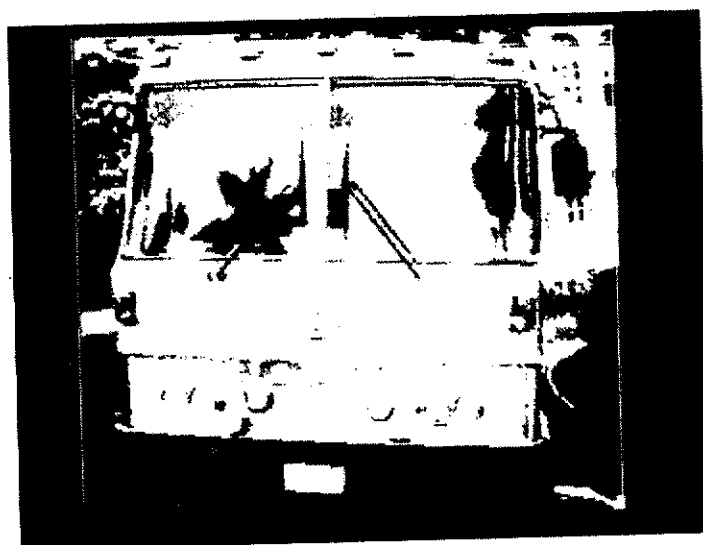
圖5-15 台大校園中型客車影像實驗結果



原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

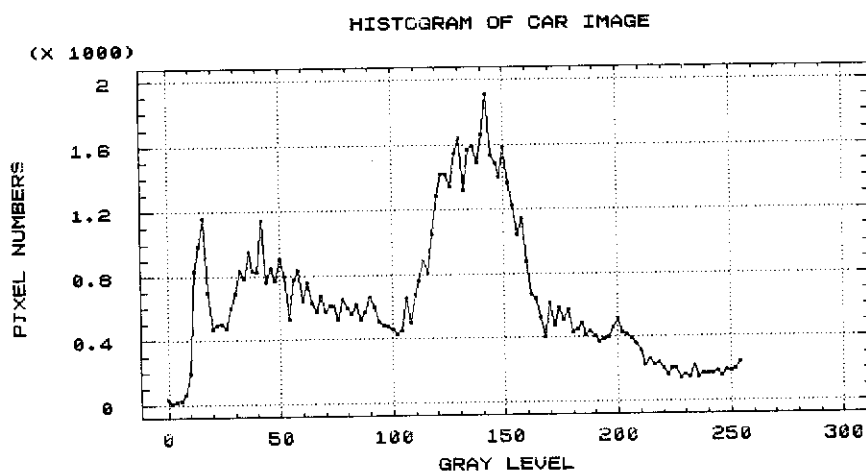
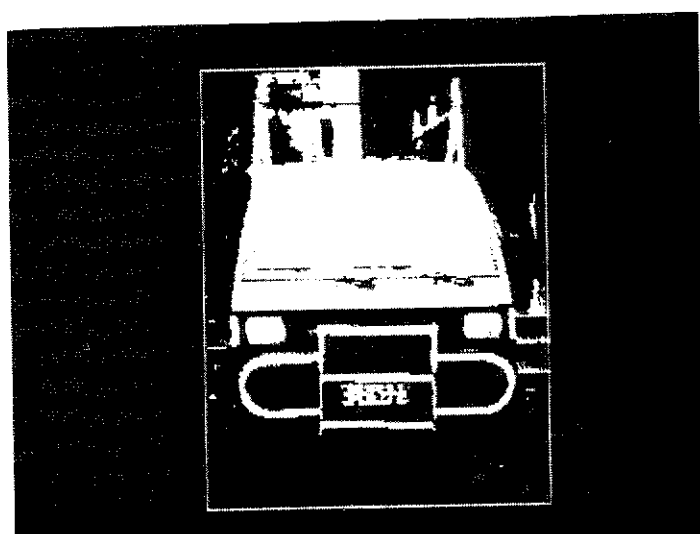


圖5-16 台大校園大客車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



HISTOGRAM OF CAR IMAGE

亮度值分配圖

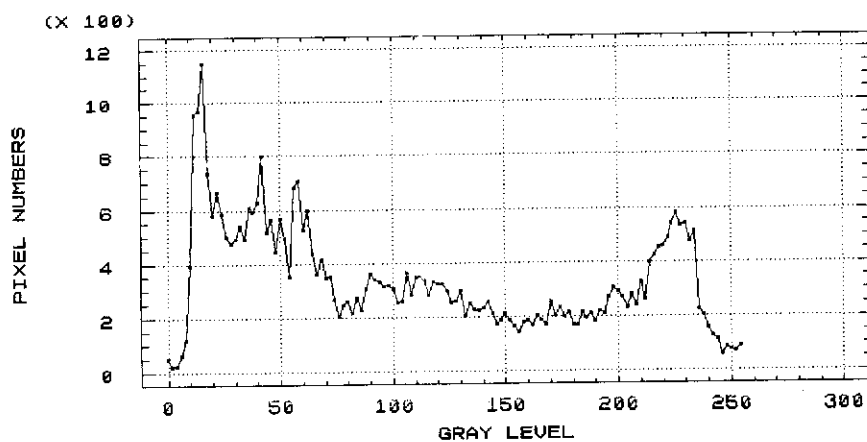
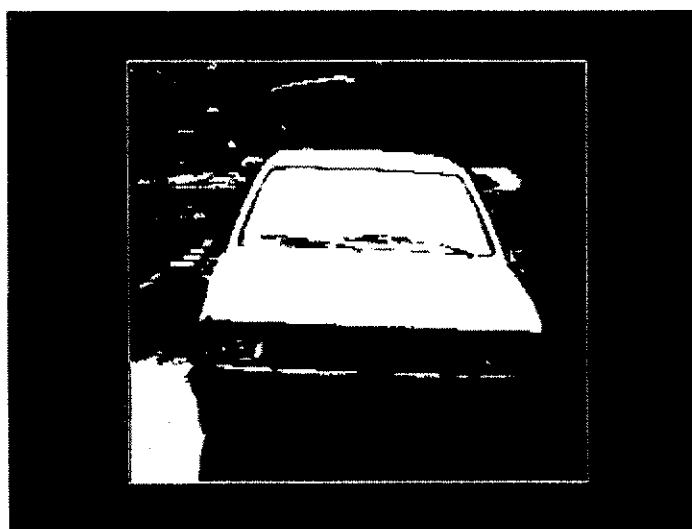


圖5-17 台大校園小貨車影像實驗結果

原始影像



二值化切割結果



亮度值分配圖

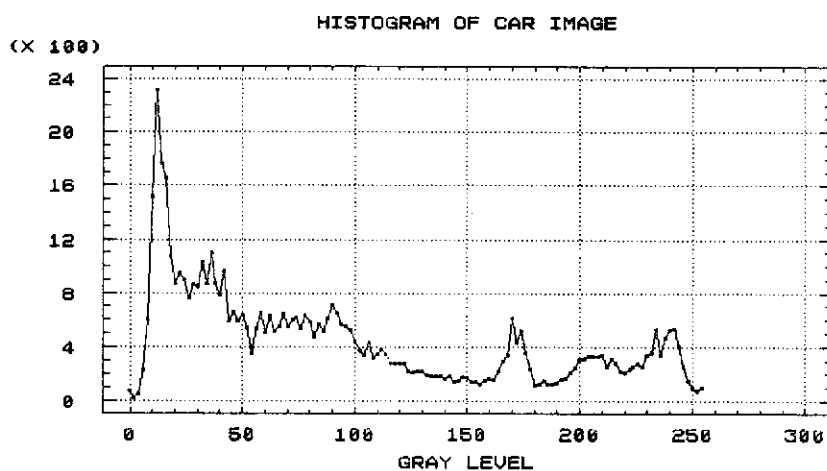


圖5-18 台大校園小貨車影像實驗結果

、車體烤漆反光部位)太多,則使車輛影像切割時會有分離破壞的情形,將嚴重影響車輛影像切割效果。另外,曾有依據車輛前輪軸與後輪軸之距離為判斷車種的標準之擬議,但實驗結果顯示,欲將車輪部份完整切割出來並不容易,而且由於車輪處於車體下方,常為陰影所覆蓋,根本無法將車輪部份切割出來。而側向拍攝時,大小車的亮度分佈幾乎相同,且車種對於最佳門檻值的決定也看不出特殊影響。綜上所述,以側向影像進行影像切割不易成功,而且決定最佳門檻值與車種不同亦無明顯關係,因此側向拍攝的方式並不適合於發展車種分類的判斷邏輯。

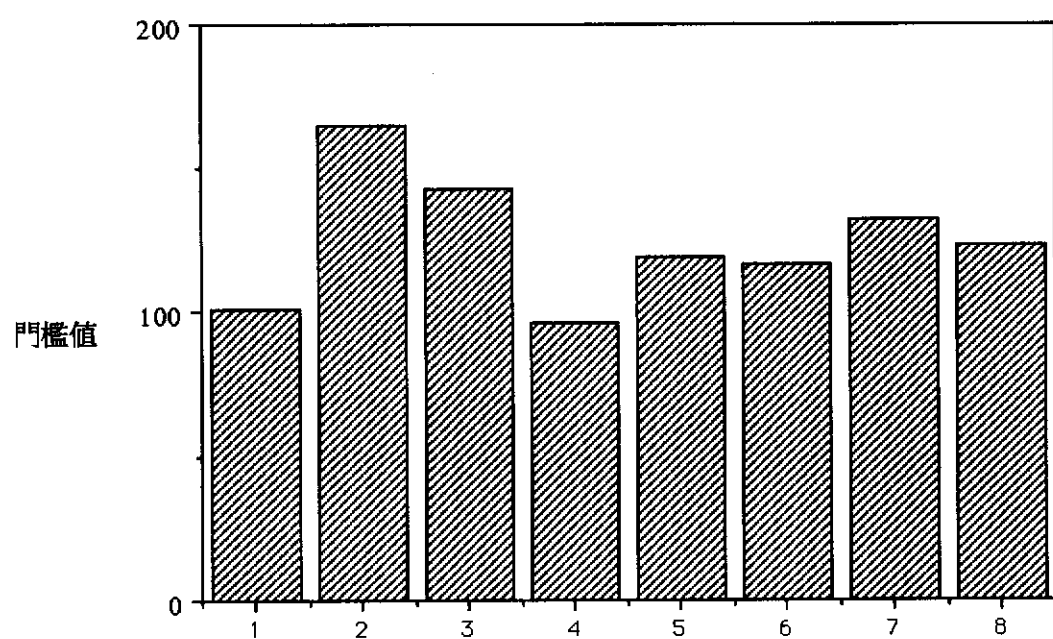
最後則是拍攝角度為傾斜角向下的實驗結果,如圖5.3 ~ 圖5.6 所示。從影像切割的結果可以看出車體都較為完整,除了因為日光照射形成的陰影效果的圖5.3 之外,其餘幾個影像實驗結果,車體均能完整的連接而且切割清楚,其灰度值分配圖亦有明顯之雙峰態,可以容易地看出其最佳門檻值的可能落點,其中小車的門檻值約150 左右,大車則在100 左右,也許可以作為車種分類的基準。

### 5.2.2 天候效果

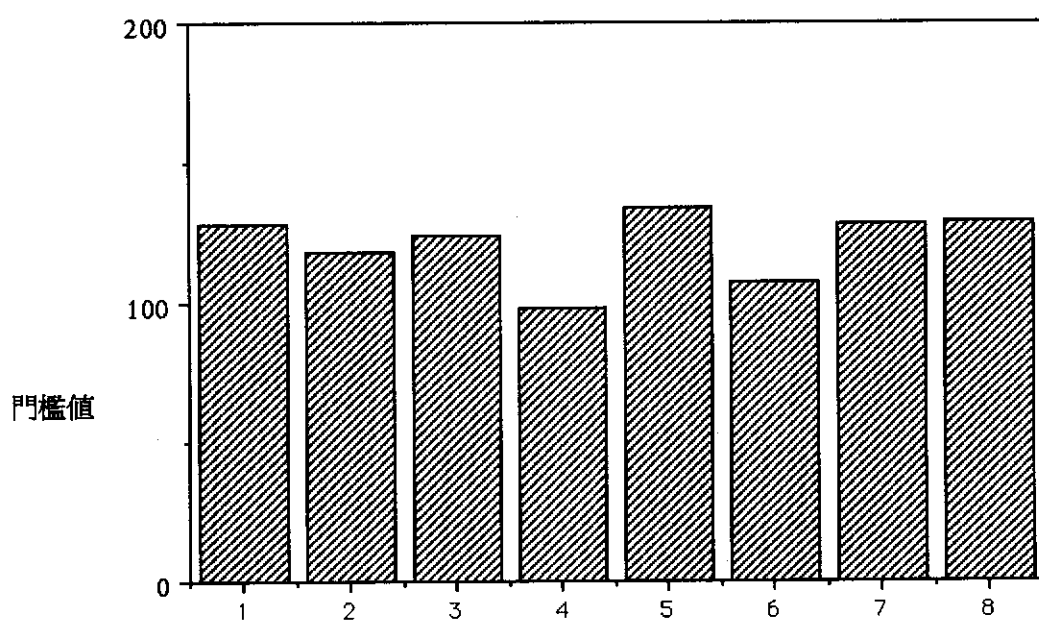
在實驗控制因素中,晴天與陰天對車輛影像的影響效果都反映到車體與背景的對比上,因此天候對車輛影像的處理效果差異性並不大,本研究整理此次實驗所得之最佳門檻值與天候的統計結果如圖5.19所示,其中晴天實驗樣本的最佳門檻值的變動較大,可能是晴天所造成的對比較強烈的緣故,陰天的樣本最佳門檻值的變動則較為穩定,應是陰天時天色較暗,各種車種顏色都受其影響,多以灰暗為主。

### 5.2.3 其他效果

本次實驗中亦針對其他幾個不同的影響因素進行實驗,如車內乘客人數不同、迎光與逆光、車體之特殊配備等,現將實



(1) 晴天實驗樣本之最佳門檻值



(2) 陰天實驗樣本之最佳門檻值

圖5-19 實驗樣本最佳門檻值統計圖

驗結果逐一說明如下：

1. 圖5.7 與圖5.8 分別為車內一人與車內二人之影像實驗，由圖中可發現兩種情形的影像切割結果差異並不大，可能影響的因素為衣服顏色或椅套顏色，雖對影像二值化切割無重大影響，但可能對邊緣偵測法產生干擾，此觀點可由圖5.4 約略看出。
2. 關於光照角度問題則可由圖5.7 ~圖5.9 加以歸納，由圖5.7 與圖5.8 可以看到向光（迎光）的結果，鋪面的灰度由於陽光的照射反而比車體要高，當然在此車體顏色也是一個重要的因素，在一般的情形下，車體灰度值通常要比鋪面來的高。另外由圖5.9 可以看到當拍攝角度正向陽光，也就是逆光的情形下，車體影像的切割結果有破碎嚴重的情形，因此逆光拍攝在本研究中並不適合。
3. 有關車體的特殊配備對於影像實驗的結果是否有影響，從本次實驗中並無法明顯的觀察到，然而車身標字、加裝防撞桿、車窗顏色、椅套顏色等，都可能成為該車之影像特徵，將來也許可以成為車輛影像追蹤的工具。

#### 5.2.4 結果檢討

綜合以上所述本研究所進行之影像實驗結果的分析，其中對拍攝角度的建議為正向或傾斜角拍攝較佳，晴天、陰天則無重大差別，但此次實驗未加入雨天及夜晚的實驗，未來若也有機會應該將這些天候的實驗補齊，另外關於乘客人數、車體配備等都是特殊案例，無法成為一般化的因素，而光照角度的問題則應注意最好勿逆光拍攝。以上為此次實驗結果所歸納出的各因素的影響效果，也是本研究用於建立車種影像分類偵測系統的基礎，雖然本次影像實驗的樣本不多，但相信對建立完整的系統架構應有所幫助，將來若有更充裕的時間與人力，這部份的實驗仍應繼續進行，建立完整的車種影像特徵，以充實單一車輛影像的研究基礎。

### 5.3 我國汽車實質特徵

在進行車種分類之前，應將欲分類之車輛的實體尺寸先行釐清，並從其中歸納出不同車種之特徵，作為車種分類辨認邏輯的基礎。根據道路交通安全規則第三十八條的規定，對大型車長度的限制為大客車最長不得超過12.2公尺，大貨車不得超過11公尺，寬度則是所有車輛不得超過2.5公尺，大型車高度不得超過3.8公尺，小型車不得超過2.5公尺；另外依據交通部所頒行的「公路路線設計規範」所提，用來提供道路設計考量的設計車種共有六種，即小客車、貨車、大客車、中型半聯結車、大型半聯結車、全聯結車等車種，其尺寸如表5.3所示。

本研究所進行的車種分類僅為大型車（大客車、大貨車）與小型車二種，因此歸納上述二項規定之車輛尺寸，綜合成二種影像辨別車型尺寸，即大型車與小型車，以便提供分類標準的基礎。相關尺寸約估為小型車長5.5公尺，寬2.1公尺，高1.5公尺；大型車則為車長9公尺，寬2.5公尺，高3.8公尺，示意圖如圖5.20所示。

這些尺寸均為該車種之較低限度，可用來作為判斷標準，一旦所欲判斷車輛尺寸超過此基準則判斷此車為該車種。從小型車與大型車的尺寸差別來看，車寬並無太大差別，而車高與車長則有較大差距，因此進行車輛影像拍攝時，應以正向（凸顯車高）或傾斜角向下（凸顯車長）為主，以取得較為明顯不同的車輛影像，同時也有利於判斷邏輯的建立。然而實質尺寸涉及拍攝角度與鏡頭遠近的影響，在拍攝成影像後往往有失真的現象，因此這項特徵必須與影像實驗結果互相配合，才能完整地發展車輛影像分類的判斷邏輯。

### 5.4 車種影像分類判斷邏輯之方向

前述分析的影像實驗結果與汽車之實質尺寸特徵，可以對車種分類之辨認邏輯建立提供基礎，對於單一車輛在不同條件

表5.3 設計車型尺寸表

設計車種	車輛尺寸 (公尺)									
	全長 L	全寬 U	全高 H	前懸 La	前軸 L1	中軸 L2	軸結 Lx	結軸 Ly	後軸 L3	後懸 Lb
小客車	5.5	2.1	1.3	0.9	3.3	—	—	—	—	1.3
貨車	9.0	2.5	4.1	1.2	6.0	—	—	—	—	1.8
大客車	12.0	2.5	4.1	2.1	7.5	—	—	—	—	2.4
中型半聯接車	15.0	2.5	4.1	1.2	3.9	7.5	—	—	—	1.8
大型半聯接車	16.5	2.5	4.1	0.9	5.4	9.0	—	—	—	0.6
全聯接車	20.0	2.5	4.1	0.6	3.0	6.1	1.2	1.7	6.4	1.0

資料來源：「公路路線設計規範」

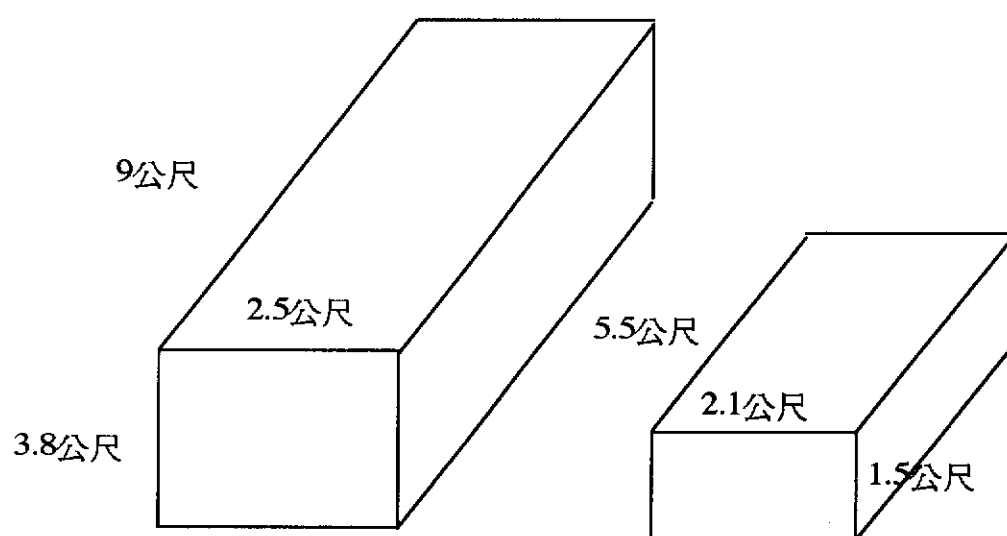


圖5-20 車輛分類實質尺寸圖



下的車輛影像進行處理與分類，本研究提出以下的車輛影像分類判斷邏輯方向：

1. 拍攝方向可考慮正向及傾斜角向下為主，處理時之單一車輛問題則以開啓視窗決定。
2. 為避開背景對比所產生的誤差效果，以及車體灰度與背景相仿的問題，應利用背景相減法進行處理，再進行影像二值化切割。
3. 可以嘗試以邊緣偵測法及建立車輛特徵匹配模式的方式消除車窗或其他車體反光部位所造成的灰度干擾，以解決車體影像切割後破碎不完整的問題。
4. 可利用多條偵測帶對車輛影像分段偵測，解決車體影像破碎而造成偵測誤差的問題。
5. 夜間可利用車燈作為辨認基礎，因大型車與小型車之車前燈距有一定差距。
6. 應避開逆光偵測的情形。
7. 可考慮使背景單純化的作法，如利用特殊顏色的鋪面，或在拍攝區內打光，強化車輛之影像。
8. 小型車與大型車之車長、車高差距可為分類基準指標。

以上所述各點乃本研究需求所提出之邏輯方向，係根據本次實驗所整理歸納，將作為後續車輛分類影像偵測系統建立的基礎。

## 第六章 車輛分類影像偵測系統之建立與執行

本研究之整體偵測系統乃是台大土木所交通工程實驗室之交通工程工作站中的子系統，係利用P360影像處理系統發展出車輛分類影像偵測系統。交通工程工作站下的P360影像處理系統為本影像處理小組近年所使用中頗為重要的一個個人電腦影像偵測系統，其架構連接如圖6-1所示。它的平行處理架構和開放式程式化結構突破傳統影像處理系統在「速度」和「功能彈性」有魚與熊掌不能得兼的窘境〔註〕。

### 6.1 P360系統簡介

本研究所使用的影像處理系統為個人電腦（PC）上的多功能影像處理卡P360，配合輸入及輸出的錄攝影系統及螢幕拷貝（Hard Copy）系統所組合而成。P360影像處理系統為加拿大DIPIX公司發展而成，配合所附之軟體（含原始程式及資料庫）可使程式的發展在最短的時間內完成，其優點包括：

1. 影像處理卡上有獨立的CPU（德州儀器公司的TMS 320 C30 DSP），可與80486 CPU共同運作，增快處理速度。與一般傳統的運作方式比較，其不同點如圖6.1所示。

目前傳統運作方式類比訊號經A/D轉換成數位訊號後，皆交由電腦主機上的CPU進行運算，結果再傳回影像處理板再經D/A轉換，最後才形成螢幕畫面，P360影像處理系統則以獨立的DSP處理單元負責處理有關影像的運算，其餘的資料運算才由主機之CPU進行，相較之下節省了資料傳遞、運算的時間，故處理速度較傳統方式約快數倍至數十倍，對於處理動態的交通影像而言非常適合。

2. 系統進行影像處理時，可單獨擷取整個畫面中的一部份作為處理視窗（Region of Interest, ROI），以降低運作時間，所取視窗愈小，處理速度愈快，並可配合各種不同系統的攝影機，如Area Scan, Line Scan Camera等。
3. 有豐富的Turbo C 語言函式庫支援。P360系統提供程式原

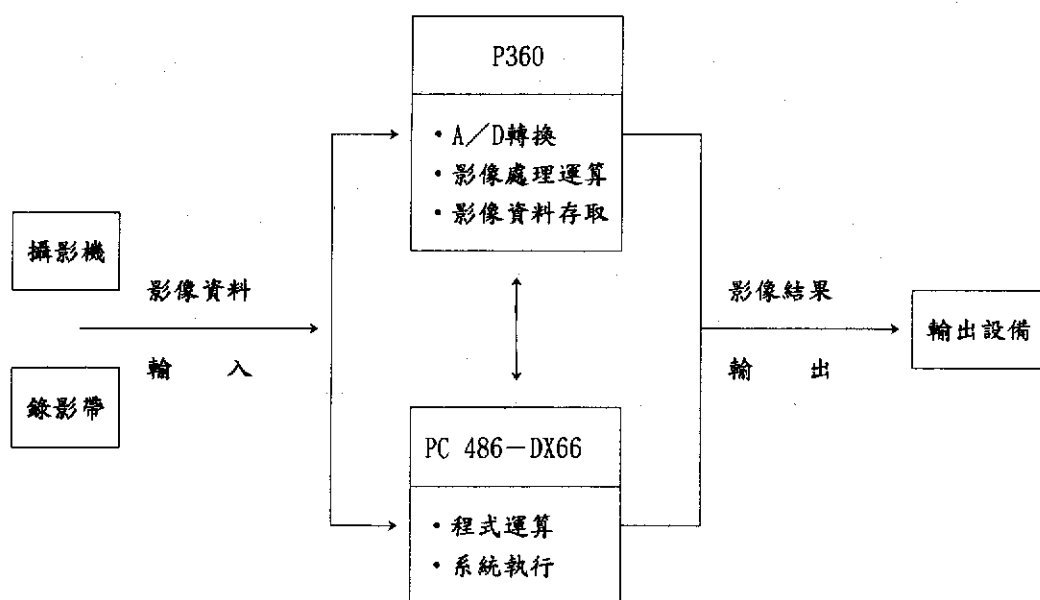
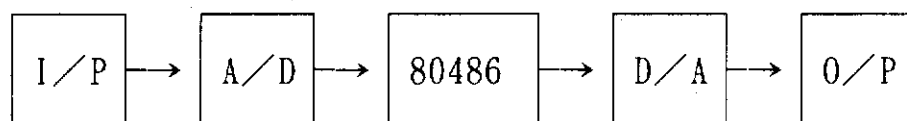
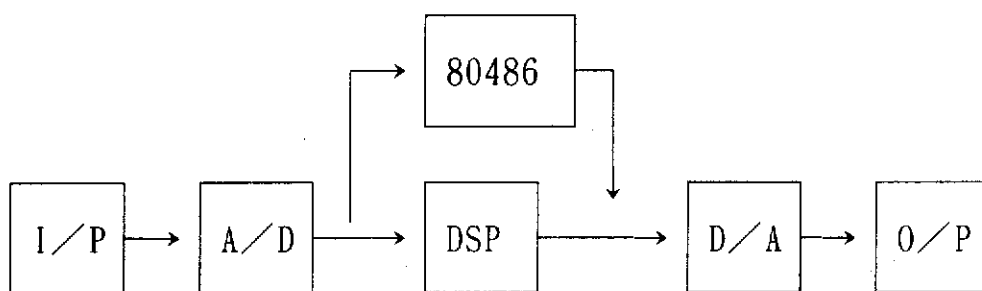


圖 6-1 P360影像處理系統硬體架構圖



傳統影像處理傳輸方式



P360影像處理卡影像處理傳輸方式

圖6-2 不同的影像處理系統之CPU 運作方式

形及函式可供使用者直接呼叫，並使用Turbo C 編譯即可執行，相當簡易。此外，P360系統並提供一種類似DOS 作業系統上的批次 (Batch) 執行功能，可將數行指令寫為一批次檔在DOS 下執行，可減少偵錯及程式寫作的時間，非常方便。

4. 此系統之P/C比 (Performance / Cost) 高，以其提供的功能與其價格 (約台幣十七萬元/套) 之比甚為合理，與其他同型式同功能的影像處理卡相較下，P360系統所需之成本甚低。

目前經本研究實際測試的結果，P360 影像處理系統在處理256x256 個像元的影像時，如所用影像處理技術較為簡單 (如相加、相減、濾波等) 可達即時 (Real Time) 的水準，如所用影像處理技術較為複雜 (如快速傅立葉轉換、扭曲等) 約需時0.4~0.7秒左右，性能仍有待提昇，但以本研究要求之標準而言已可達成。

〔註〕：傳統影像處理系統，為追求即時，往往將特定功能限死在處理板上，以推進其速度，但此舉卻造成功能的僵化或僵性。

## 6.2 偵測演算法

第五章曾提出各種辨認邏輯的方向 (可見5.4 節)，經本系統作一般測試，在研究時間的限制下，發展出動態即時車種影像分類演算法。這個技術也同時包括前述所提及的各種影像處理技術，重要者計有：

1. 開視窗法。
2. 影像相減法。
3. 影像切割法。
4. 劃線取像偵測法。
5. 連續影像即時判斷。

茲將本研究所提之車輛影像分類演算法之步驟及處理流程逐一敘述如下：

- [步驟 1]：於影像上以電腦滑鼠劃取視窗。劃取視窗取影像範圍可以減少影像運算量，有助於達到即時之目標。而視窗大小的決定原須由攝影點高度，拍攝角度及攝影機本身焦距換算並作幾何校正求得，本研究之視窗大小暫由經驗值決定。
- [步驟 2]：就選取視窗內面積作背景相減。將視窗內選取影像和背景影像作背景相減運算，可求得單純的車輛影像區塊。
- [步驟 3]：將背景相減之結果作影像切割。將相減後之影像區塊作影像切割使亮度值成為一致化（有亮度反應者，全部成為“1”）。
- [步驟 4]：由影像切割後求出有亮度反應的像元總數，作為車輛在影像上佔有像元面積。這項數值是辨認車種的指標。
- [步驟 5]：對視窗內影像劃取影像線（本系統為每 10 個像元間隔為一條線），並由影像線上有壓線反應的數目作另一辨認指標。所謂壓線反應，乃定義每一影像線上像元數目有 60% 以上被佔滿，便判定有反應，有反應的線除以所有影像線是為影像線佔有率。這個步驟乃是配合步驟 4 來作交叉判定，因為有可能在切割過程中把破碎的區塊（見圖 6-3）或是扭曲區塊（見圖 6-4）在單一指標描述下誤判為車輛。
- [步驟 6]：由佔有面積大小及佔有影像線多寡來對應各種車種。請見圖 6-5 之流程及程式。
- [步驟 7]：比對該格影像所初步判斷的車種及前後格影像判讀車種的關連。
- [步驟 8]：辨認車種並予輸出（大車為 2；小車為 1）

接下來說明偵測演算法及程式兩部份的流程，其中演算法的主要部份係下列有關影像佔有的邏輯：

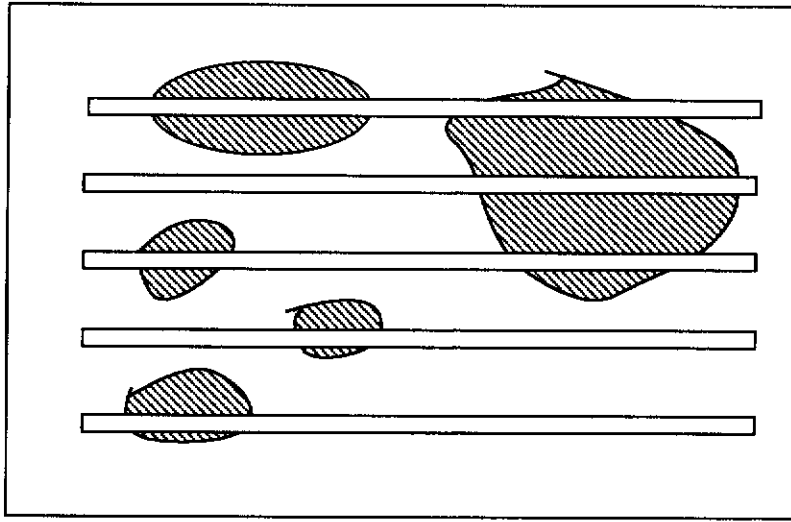


圖6-3 破碎曲塊掃描圖

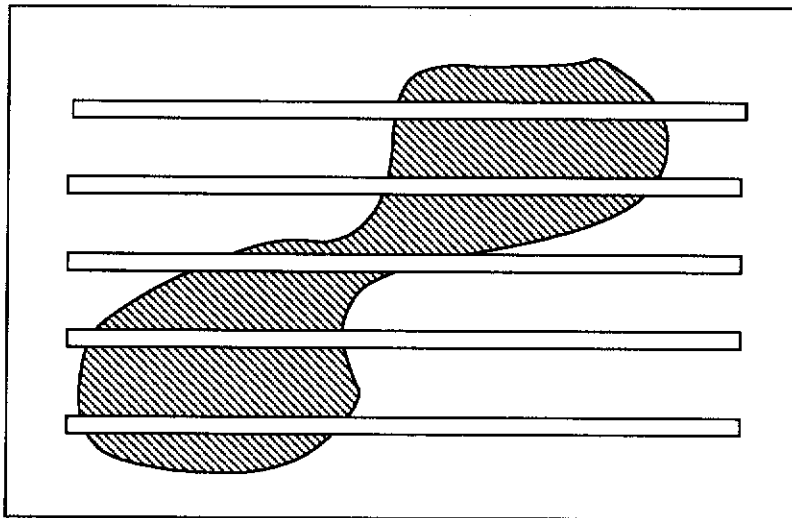


圖6-4 扭曲區塊掃描圖

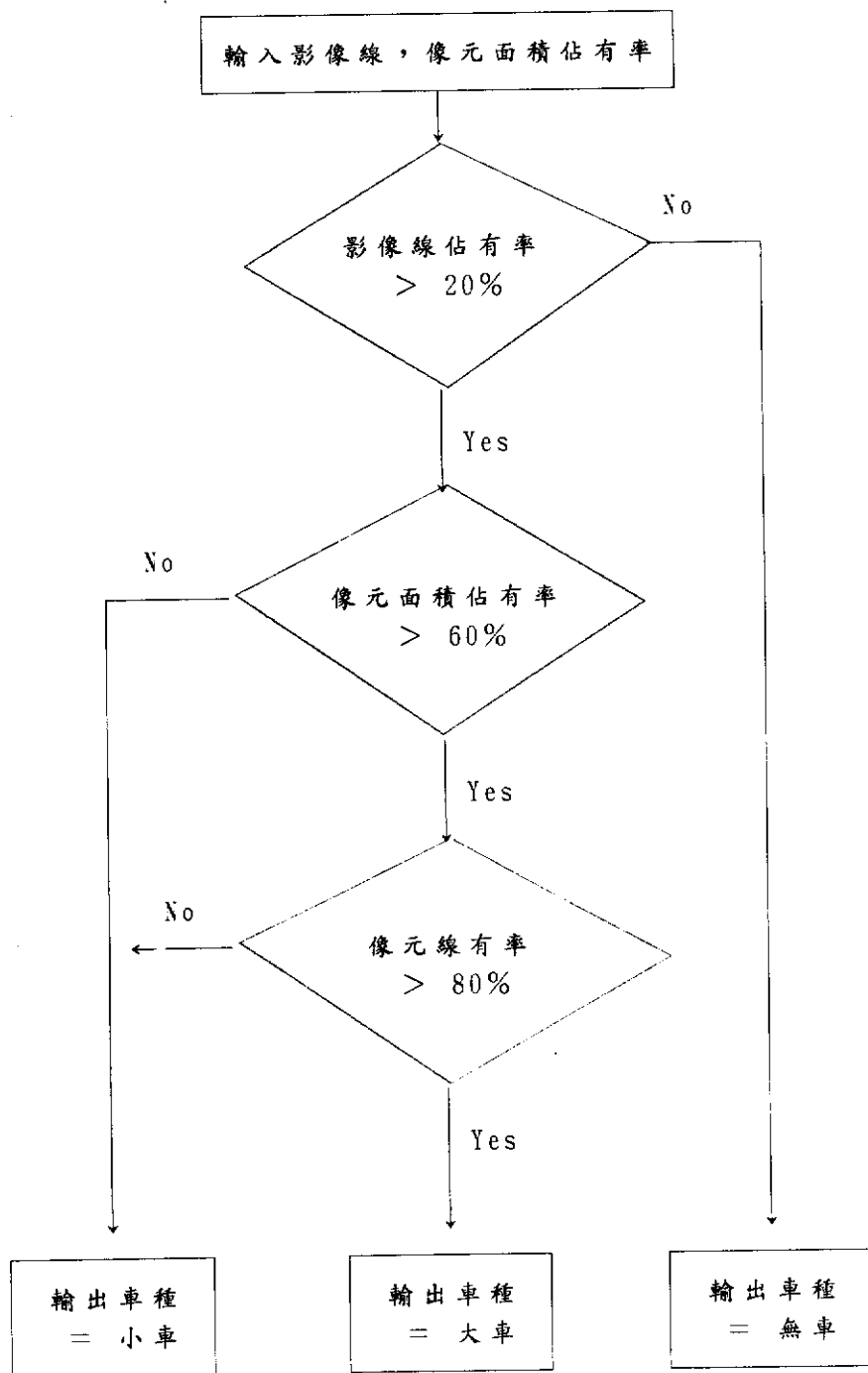


圖 6-5 辨識流程圖

```

IF (影像線佔有率 > 20 %)
{
    IF (像元面積佔有率 > 60 %)
    {
        IF (影像線佔有率 > 80 %)
            車種 = 大車;
    }
    ELSE    車種 = 小車;
}
ELSE    車種 = 無車;

```

經過上述之每張影像的計算判斷過程後，本系統會自動連續隨格 (frame) 輸出車種之代表值 (無車=0，小車=1，大車=2)，可將此值視為一隨時間變化的數列。見圖6-6。

假若本時間數列為 {01010111111020....}，可判為三輛小車及一輛大車經過，其中連續6個frame輸出1，仍由程式判定為一個1 (小車)，此法可順利解決影像即時判斷之困難。但其優點雖為可解決低車速 (擁塞車流) 誤判情況 (會不斷的累加)，但缺點則為若沒有抓到空間間隔即造成誤判——多輛車保險桿接連著前進，只判斷成1部車而已。

在進行車種分類演算之前，必須先決定視窗大小，並先進行影像相減的前置處理，以處理後的影像資料為判斷資料來源，整個程式主要流程如圖6-7所示。

### 6.3 系統測試

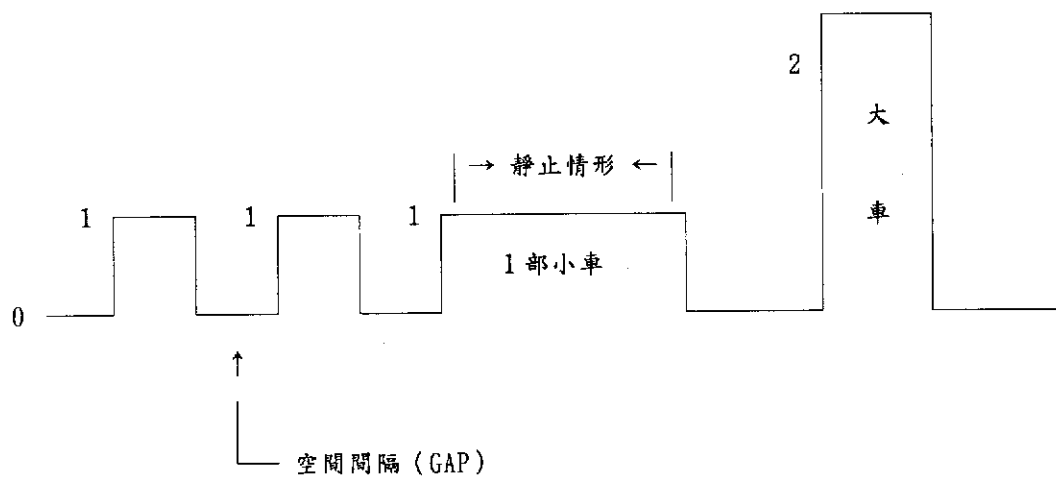
依據前述之辨認邏輯，本研究利用台大土木工程學研究所剛成立之交通工程實驗室中的P360影像處理工作站為主體，建立交通影像偵測系統，進一步發展成自動化車輛影像分類辨認子系統，以下為系統測試情形：

圖6-8 進入自動偵測辨認系統

圖6-9 偵測功能表訊息視窗，並作影像測試

圖6-10 影像灰度值統計分析 (可調整系統訊號分佈)





每格影像輸出之辨認值（單位：1／30秒）

圖6-6 車輛影像分類邏輯時間序列示意圖

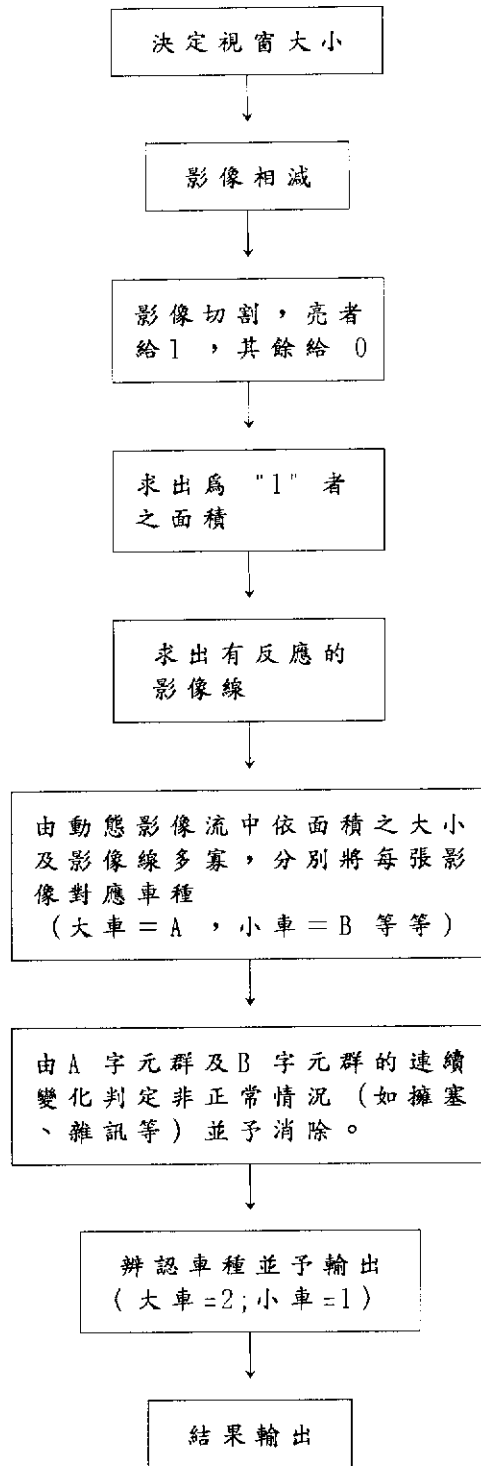


圖6-7 偵測演算法流程圖

- 圖6-11 顯示老鼠游標辨認系統
- 圖6-12 開影像視窗
- 圖6-13 開機車影像視窗
- 圖6-14 將機車視窗影像放大
- 圖6-15 進行機車影像相減
- 圖6-16 進行機車影像相加
- 圖6-17 進行機車影像膨脹 (dilation)
- 圖6-18 進行機車影像收縮 (erosion)
- 圖6-19 進行機車邊緣偵測 (Sobel Detection)
- 圖6-20 開小汽車影像視窗
- 圖6-21 進行小汽車水平邊緣偵測
- 圖6-22 進行小汽車垂直邊緣偵測
- 圖6-23 進行小汽車影像Laplacian 高頻偵測
- 圖6-24 進行小汽車X 軸及Y 軸方向的Profile 描述 (偵測)
- 圖6-25 進行小汽車Sobel 偵測+erosion+dilation
- 圖6-26 劃取影像線 (水平線型)
- 圖6-27 劃取影像線 "工" 字型
- 圖6-28 辨認無車情況
- 圖6-29 辨認小車情況
- 圖6-30 辨認大車情況

按上列各圖順序所擬示之系統操作過程說明如下：

- 圖6-8 為顯示進入本辨認系統的表頭，列示版權及工作人員名單。
- 圖6-9 進入偵測功能表訊息視窗，左上視窗可顯示影像測試狀況，左下為本系統之功能選擇表，它包括有
  - Q：退出 (Quit)。
  - G：抓取整張影像 (Grab)。
  - B：影像相減 (Sub) 功能並進行分類。
  - F：快速傅立葉轉換 (FFT) 功能。
  - D：影像膨脹 (Dilate) 功能。
  - E：影像收縮 (Erode) 功能。
  - H：製作亮度值統計分佈直方圖 (Histogram)。
  - A：影像相加 (Add) 功能。



圖6-8 進入自動偵測辨認系統

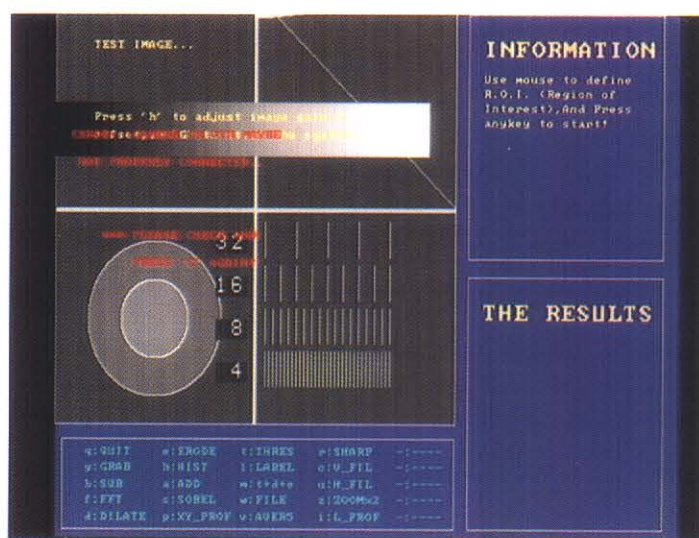


圖6-9 偵測功能表訊息視窗，並作影像測試

S：邊緣偵測 (Sobel) 功能。  
 P：分別作縱方向及橫方向的亮度統計 (XY\_PROF)。  
 T：進行影像二值化切割 (THRES)。  
 L：作標示 (LABEL)。  
 M：先作切割再作影像膨脹、影像收縮 (t+d+e)。  
 W：寫入影像檔 (FILE)。  
 V：取五張影像作平均 (AVERS)。  
 R：影像高頻化 (SHARP)。  
 O：垂直方向邊緣偵測 (V\_FIL)。  
 U：水平方向邊緣偵測 (H\_FIL)。  
 Z：將影像放大兩倍 (Zoom $\times$ 2)。  
 i：對角線方向的亮度變化統計 (L\_PROF)。

- 圖6-10 影像灰度值統計分析 (可調整系統訊號分佈)，對所擷取之影像作全部灰度值之統計分佈，並據此來調整系統的訊號設定。
- 圖6-11 顯示老鼠游標辨認系統，圖上目前老鼠之游標位置為 (88, 115)。
- 圖6-12 在處理的整張影像中開定偵測之目標視窗，視窗內之影像能以每1/30 秒一張影像作快速顯示。
- 圖6-13 在所處理的整張影像中開定視窗，抓取機車影像並予凍結 (freeze) 預作處理。
- 圖6-14 利用前述之 "Z" 功能進行視窗內像元放大之測試，將機車視窗影像放大。
- 圖6-15 在處理的整張影像中選取機車影像，進行視窗內影像之影像相減測試。
- 圖6-16 在處理的整張影像中選取機車影像，進行視窗內影像之影像相加測試。
- 圖6-17 在處理的整張影像中選取機車影像，進行視窗內影像之影像膨脹測試。
- 圖6-18 在處理的整張影像中選取機車影像，進行視窗內影像之影像收縮測試。
- 圖6-19 在處理的整張影像中選取機車影像，進行視窗內影像之影像邊緣偵測測試。



圖6-10 影像灰度值統計分析 (可調整系統訊號分佈)

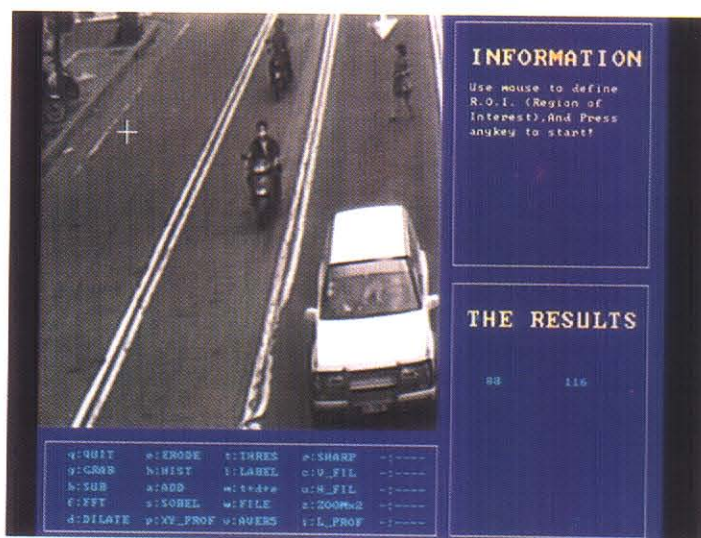


圖6-11 顯示老鼠游標系統



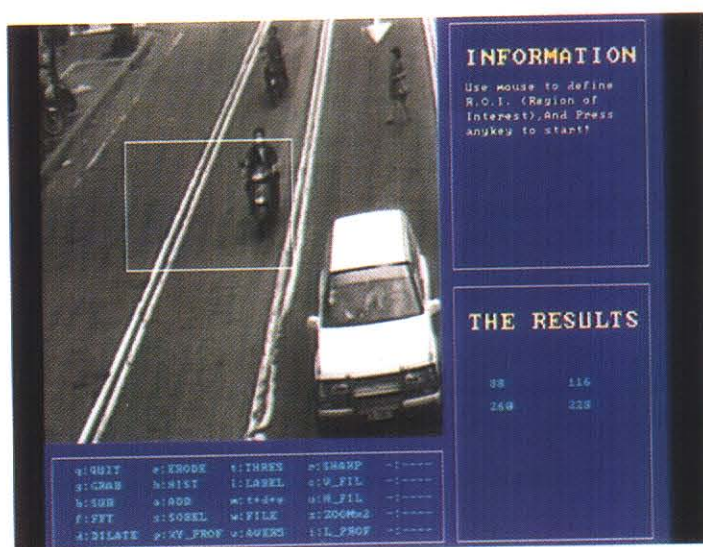


圖6-12 開影像視窗

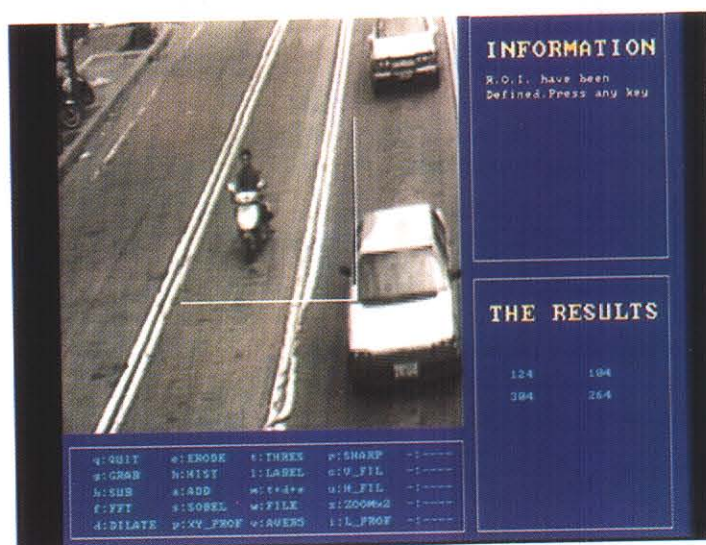


圖6-13 開機車影像視窗

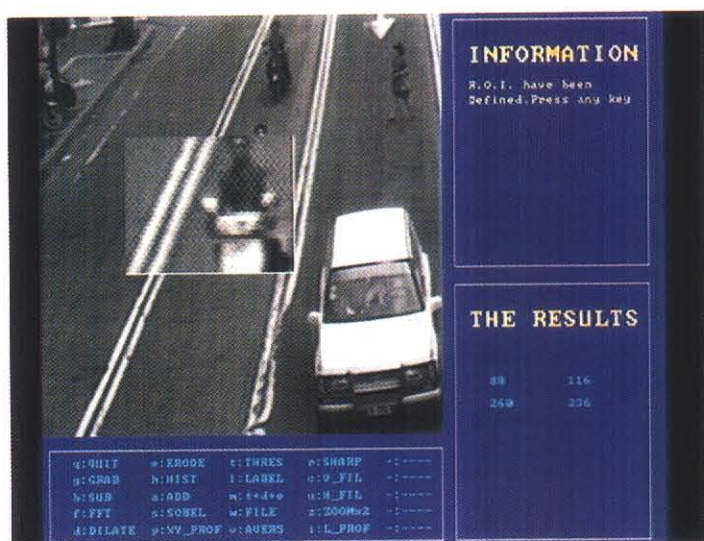


圖6-14 將機車視窗放大

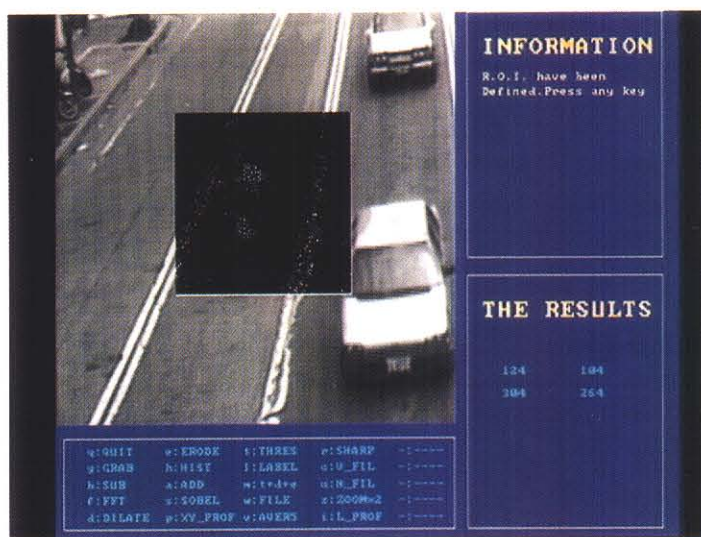


圖6-15 作機車影像相減



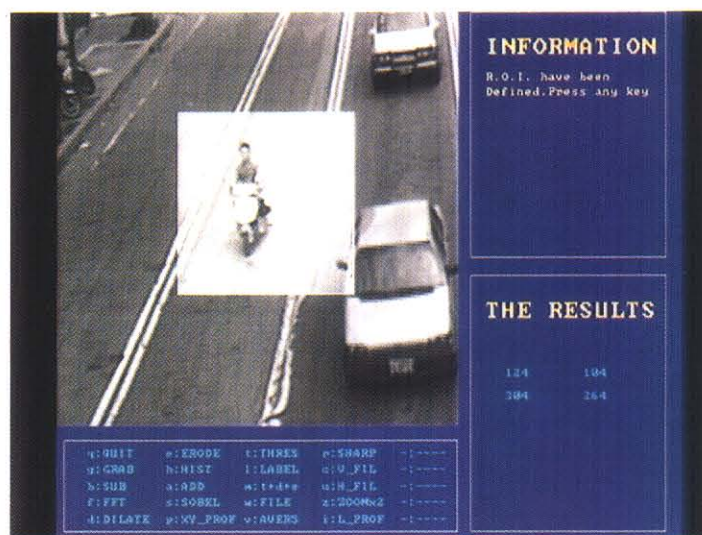


圖6-16 作機車影像相加

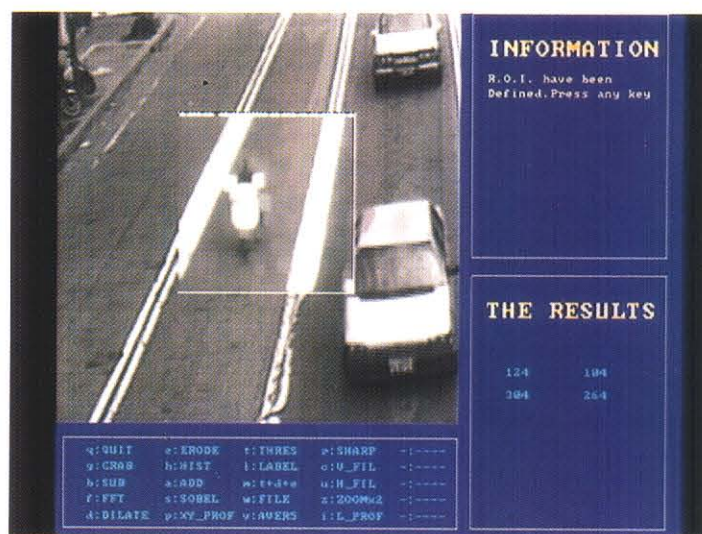


圖6-17 作機車影像膨脹

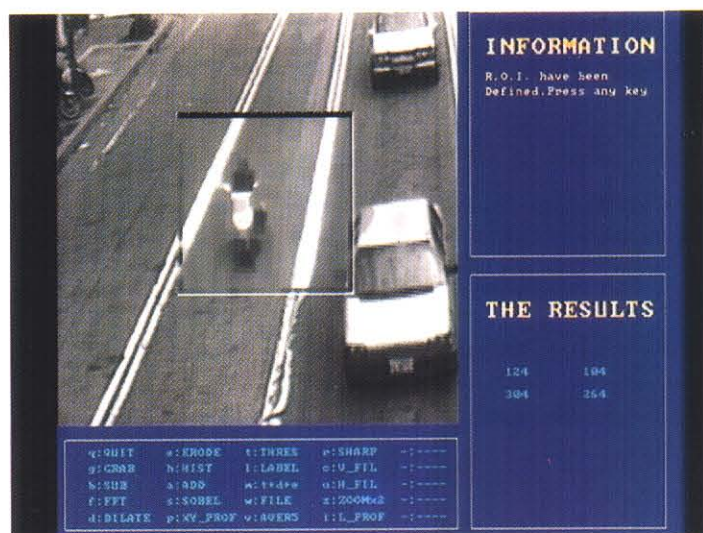


圖6-18 作機車影像收縮

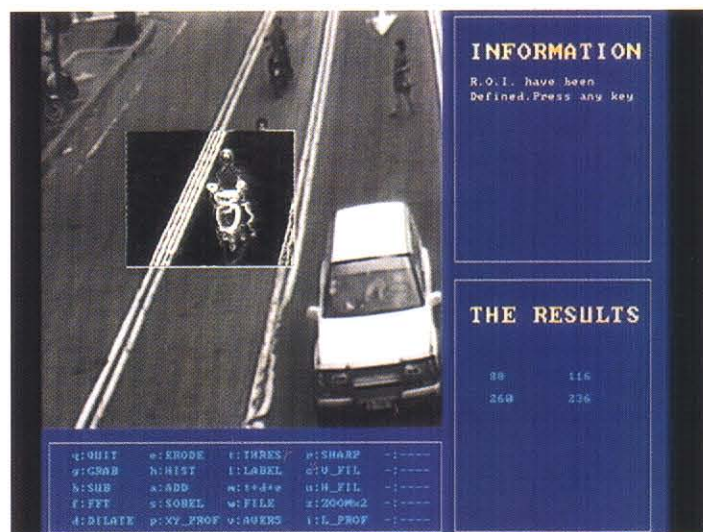


圖6-19 作機車邊緣偵測

- 圖6-20 在處理的整張影像中選取小汽車影像，進行小汽車影像為目標之視窗功能測試。
- 圖6-21 作小汽車水平邊緣偵測  
針對視窗內選取之影像作水平方向之邊緣偵測測試。
- 圖6-22 作小汽車垂直邊緣偵測  
針對視窗內選取影像作垂直方向之邊緣偵測測試。
- 圖6-23 作小汽車影像Laplacian 高頻偵測  
針對視窗內選取影像作拉普拉辛高頻濾波偵測測試。
- 圖6-24 作小汽車X 軸及Y 軸方向的Profile 描述（偵測）  
對視窗內選取影像之X 方向，Y 方向作亮度變化分佈形狀的統計描述測試。
- 圖6-25 作小汽車Sobel 偵測+erosion+dilation  
對視窗內選取影像先作Sobel 邊緣偵測，再作一次影像膨脹和收縮測試。
- 圖6-26 劃取影像線（水平線型）  
針對視窗內選取影像範圍自動每10個像元取一條影像線。藉由車輛經過影像線的壓線反應可作為判定車種的一項指標及依據。
- 圖6-27 劃取影像線“工”字型  
針對視窗內選取影像範圍取二條橫影像線，一條直的影像線。
- 圖6-28 辨認無車情況  
在選取視窗內若無車，則右上的訊自視窗顯示為 0（TYPE=0），影像面積佔有率記錄為 0。
- 圖6-29 辨認小車情況  
同上述，在視窗內偵測到小車時，顯示為 1（代表小車，TYPE=1），佔有率記錄為41%。
- 圖6-30 辨認大車情況  
同上述，偵測到大車時，顯示為 2（代表大車，TYPE=2），佔有率記錄為64%。

就上列測試無誤之後，進行即時動態測試，以連續影像為基礎，進行車種分類偵測，偵測結果如下節所述。

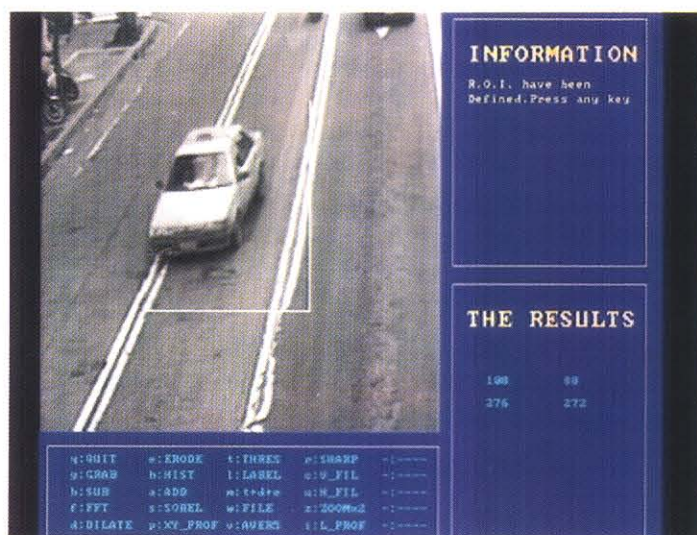


圖6-20 開小汽車影像視窗

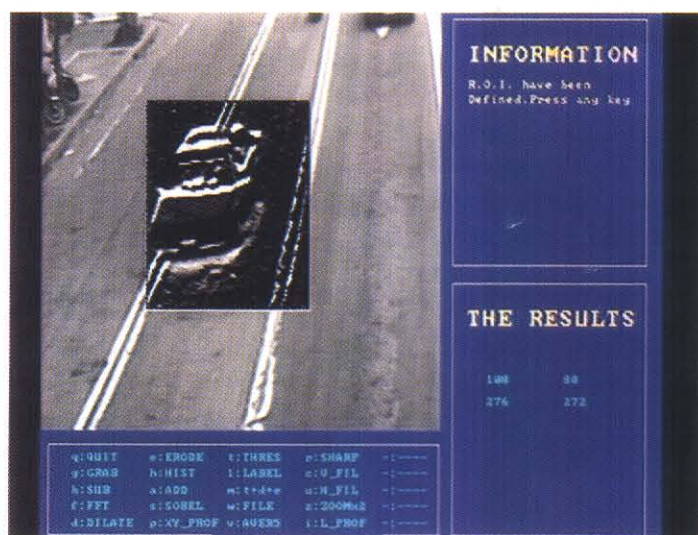


圖6-21 作小汽車水平邊緣偵測



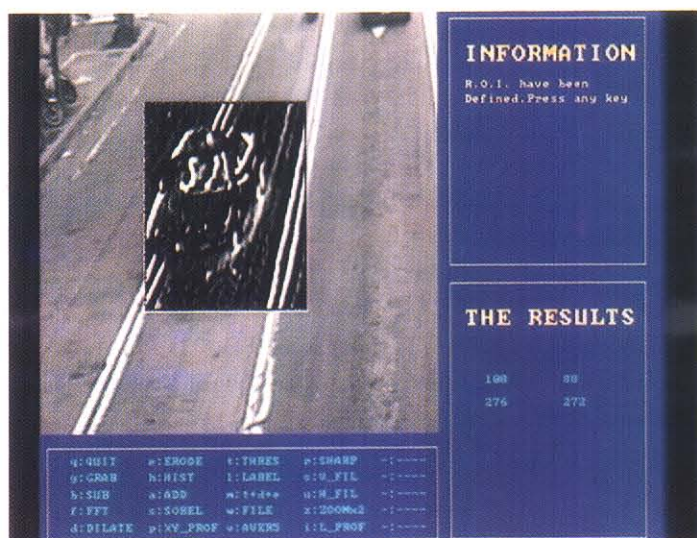


圖6-22 作小汽車垂直邊緣偵測

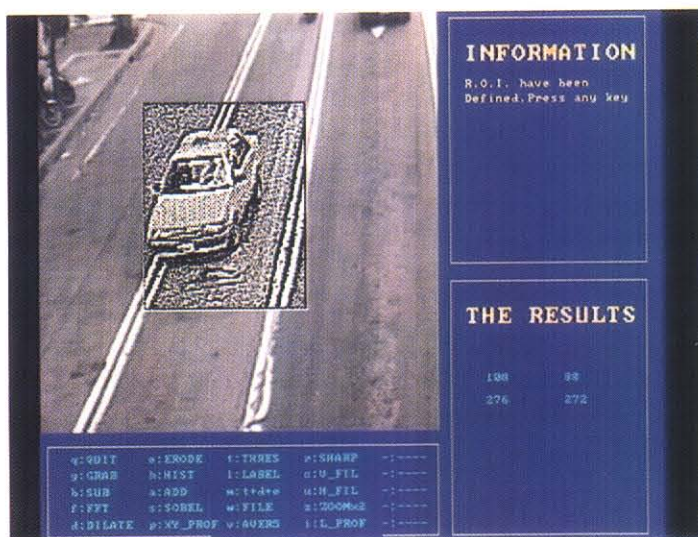


圖6-23 作小汽車影像高頻偵測

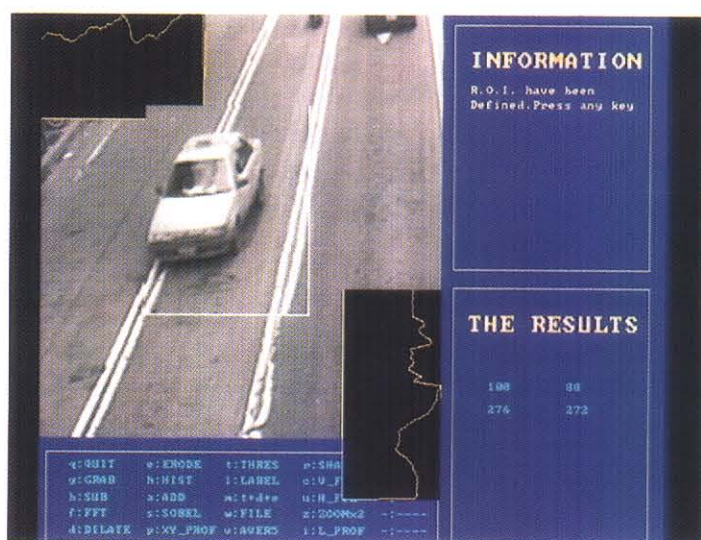


圖6-24 作小汽車影X 軸及Y 軸方向之Profile 偵測

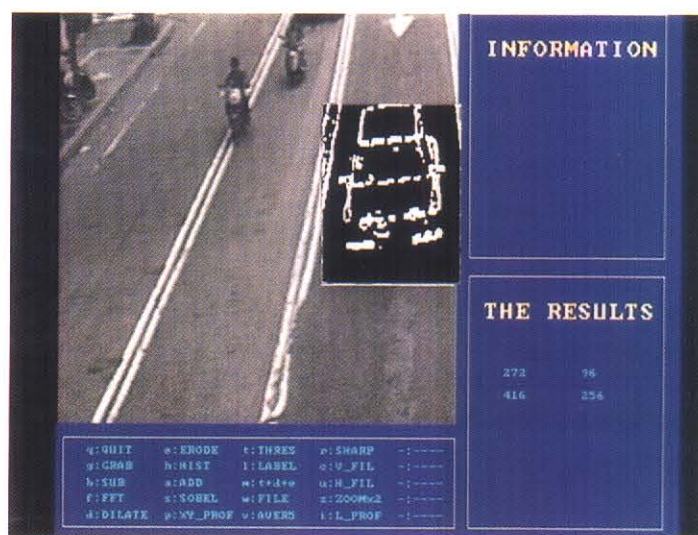


圖6-25 作小汽車Sobel+erosion+dilation 偵測

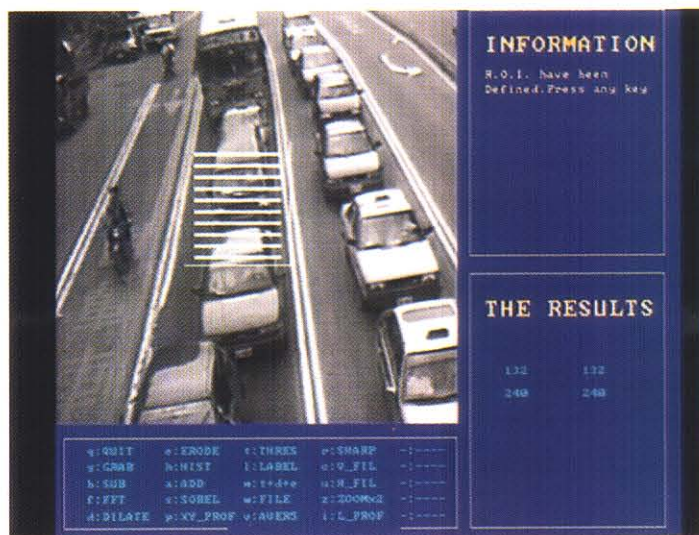


圖6-26 劃取影像線（水平線型）

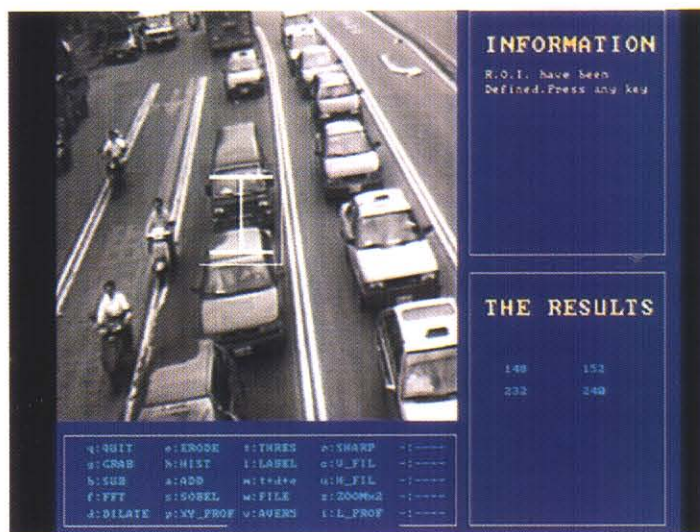


圖6-27 劃取影像線（工字型）



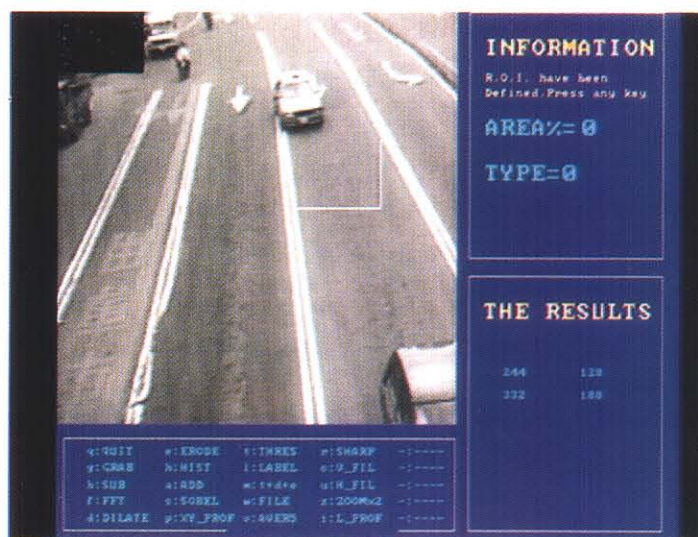


圖6-28 辨認無車情況

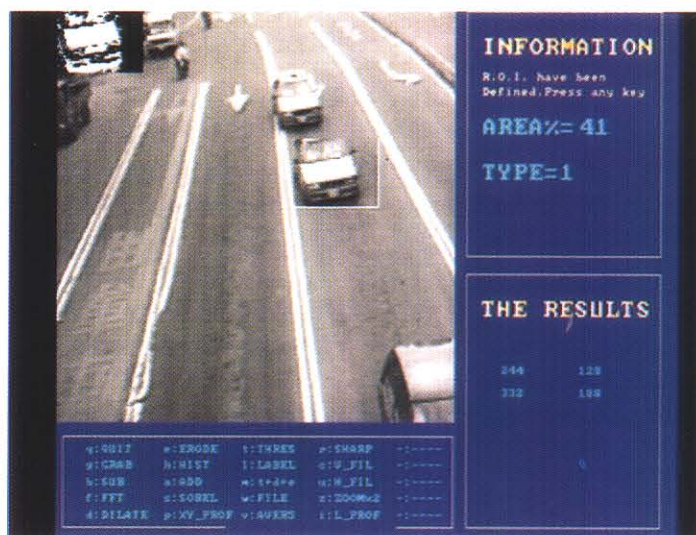


圖6-29 辨認小車情況



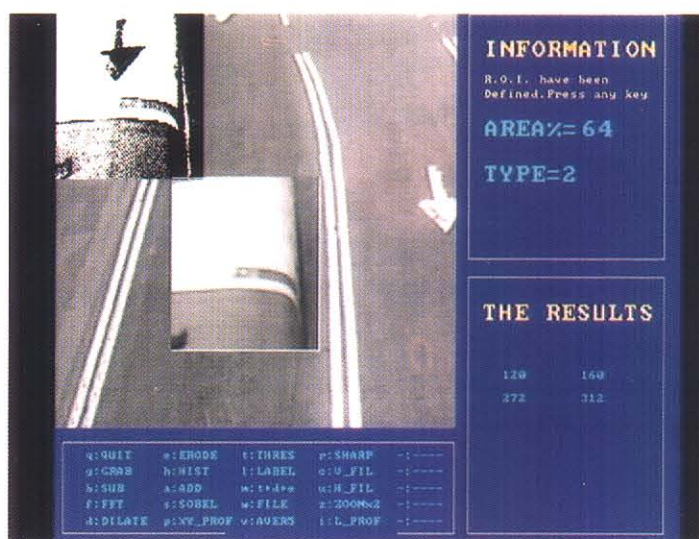


圖6-30 辨認大車情況

## 6.4 偵測結果分析

本系統之連續影像偵測精確率依車種區分，見表6.1。

本次偵測實驗視窗開成左上(112, 84) 右下(152, 108)；像元面積約為 40x24；動態連續偵測時若為一格影像一輛車時，則精確度100 %。若在紅燈停等擁塞時，則有因車輛連續排接一起而誤算成一輛(少算)的情形。視窗大小的開啓，在本演算法下會影響精確度，但視窗大小和精確度非呈線性關係，而是與幾何校正有線性相關，為後續研究之課題。

## 6.5 類神經網路偵測邏輯

經由6.1~6.4所整理分析的是在PC上以P360影像處理板發展自動化車輛分類系統的過程和結果。然而，若能加入生物感測邏輯，如類神經網路來建立車輛影像分類的方法，則可能再提昇其效率。

類神經網路目前應用的範圍通常有分類(Classify)、關聯(Associate)、自我組織(Self-organization)等工作。在現有類神經網路的眾多模式中，運用來進行分類的以Error Back-propagation模式最為普遍，雖然本研究礙於研究時間的限制，無法實際進行該模式的應用，但在此提出該模式運用之方法，以提供後續研究可以此模型為基礎，進行車輛影像的分類。

限於研究範圍，本研究僅介紹Error Back-propagation模式的應用方法，說明如下

1. 首先對準備送入神經網路中訓練(training)的標準 512x512影像進行Down Sampling，使其成為64x64或32x32的影像，因為如果輸入神經元太多會使得整個網路急速膨脹而造成處理速度過慢和計算不易，而且經由評估似乎降低影像的大小不會造成辨識上的困難。
2. 對每張影像做Segmation以找出門檻值(threshold)再以此門檻值對影像做二值化。
3. 為了使神經網路有更強更快的辨識能力，所以我們再做一

表6.1 偵測結果表

	大車	小汽車	擁塞情形(計入車輛連續排接一起情形) 小汽車
人眼目測結果	7	35	46
影像即時辨認結果	7	35	35
精確度(%)	100	100	76
<p>取像地點：新生南路往北路口，新生南路和平東路交叉口 處混合車道。</p> <p>取像時間：下午4:00 ~4:30</p> <p>取像方式：以CCD 攝影機固定腳架拍攝。</p> <p>錄影帶觀測長度：9 分45秒20毫秒。</p> <p>觀測樣本：大車(公車) 7 輛；小汽車46輛；共53輛。</p>			

些預先處理 (Preprocessing)。首先我們以 $64 \times 64$  的影像對垂直軸和水平軸做統計圖 (Histogram)，將由本來的 $4096(64 \times 64)$ 個輸入像元變成 $128(64+64)$ 個像元，如此又可以大大減少了神經元的數目。

4. 我們可以就以上的128 個輸入像元灰度值送入神經網路訓練 (training)，或者再經過 Walsh Transform (WHT) 會使得訓練後的神經網路有較大的錯誤容忍率。
5. 把處理過的像元灰度值送入 Error Back-Propagation 模式的輸入神經元，再經調整學習參數 (learning rate) 和隱藏神經元 (hidden neuron) 的數目使得神經網路能收斂。
6. 收集一些測試影像，經前述預先處理 (Preprocessing)，再送入訓練完成的神經網路辨識，進行測試。

在未來的相關研究中，若能取得良好的單一車輛影像，而且樣本數夠多，可以利用類神經網路減少判斷影像的雜訊，增加判斷速度，提高精確度，如能運用得當，將成為建立分類系統的良好工具。

## 第七章 結論與建議

本研究為交通部運輸研究所第一個利用影像處理偵測及相關技術的專題計劃案。在五個月的研究工作中，本研究經由各種影像偵測實驗設計，藉以找出我國車輛的影像特徵，並且發展自己的偵測辨認模式，同時提出對我國未來應用影像處理技術辨認車種的方向與架構。茲將具體結論與建議歸納如后。

### 7.1 結論

1. 雖然影像處理技術在交通領域的應用係從1980年才開始，然而由於近年來研究單位的積極努力下，已從單純的車輛計數範圍擴展到意外偵測、鋪面管理、車種辨認等領域，並有相當成果發表。
2. 本研究中提出五個分類基礎構想，然而基於研究時間有限，僅以整體車輛影像為分類基礎的構想建立系統，並證實此構想為一個可行方案。
3. 本研究之影像實驗中，晴天、陰天對車輛影像的影響並不大，但晴天的對比較強烈；正向拍攝或側向拍攝容易受背景灰度影響，導致車輛影像切割後發生破裂現象，傾斜角向下因背景較單純（只有鋪面），切割效果明顯較好。
4. 根據影像實驗結果，本研究所建立之偵測系統所需的輸入影像，應以傾斜角向下的正向為角度，最好在晴天，勿以逆光角度拍攝為佳。
5. 在即時、自動化的要求下，本研究所建立的偵測系統利用一顆DSP(Digital Signal Processing) CPU來同步進行影像處理運算之方法，解決動態即時影像偵測的問題，可作為即時車種辨認的良好發展基礎。

6. 本研究所建立的偵測系統在擁塞狀況下，本研究所建立的偵測系統對單一車輛影像的大小車辨認率不到80%，有嚴重的誤判情形，但在非擁塞單一車輛的條件下，本研究所發展的偵測系統可進行車種即時自動化偵測，且系統偵測結果對大、小車的動態連續影像進行分類有很好的精確度，辨認率達100%，此證明影像處理技術在建立車種自動分類系統的應用極為可行。

## 7.2 建議

1. 在本研究過程中，影像實驗尚無法涵蓋所有因素，應進行專題研究，專門針對影像實驗，建議多嘗試攝影機在不同時間（夜晚）、不同天候（陰雨天）及其他影響因素下攝取影像，進行更深入的實驗，探討其影響結果，以便分析出我國完整的車輛影像特徵。
2. 依本系統之演算法及系統特性，有充份的可能落實在機車的偵測上，可作為後續計劃的研究重點。
3. 針對本研究建立的偵測系統而言，對於劃線取像的方式和演算法可再加以改良，以便進行壅塞情形下的車種分類。
4. 本研究僅針對單一車輛進行分類工作，同時偵測兩部車以上的技術仍要依本研究之成果繼續深入研究，來解決國內擁塞車流偵測問題。
5. 由國外發展交通影像處理技術之經驗與成果來看，影像處理應用在交通工程諸多領域均有相當程度之具體成果，並仍有繼續突破之潛力，而且大部份是在政府單位長久而持續性地支持才得以發展，建議國內研究單位與主管機關應加以配合，針對國內車流特性與駕駛行為，全盤規劃交通影像處理技術之研究工作。

6. 由本研究成果，可作為下列各交通工程應用課題之基礎：

- (1) 交通量之影像自動計測。
- (2) 車流運作績效之影像自動評估。
- (3) 交通意外事件之影像自動偵測。
- (4) 交通號誌之影像自動控制。
- (5) 收費站之即時影像判視與自動管理。
- (6) 鋪面破壞狀況之影像自動偵測與辨識。

## 參考文獻

1. Philip Marks, "Low-Level Vision Using an Array Processor," Computer, Vision, Graphics and Image Processing ,Vol. 14,pp281-292,1980.
2. Paul A. Kolars, "Some Features of Visual Form," Computer, Vision, Graphics, and Image Processing Vol. 23,pp15-41,1983.
3. Anne Treisman, "Preattentive Processing in Vision,"C.V.G.I.P Vol.31 ,pp156-177,1985.
4. Michael O.Shneier, Ronald Lumia, and Ernest W.Kent,"Model-Based Strategies for High-Level Robot Vision," C.V.G.I.P. Vol.33,pp293-306 ,1986.
5. Andrew B. Watson, "The Cortex Transform:Rapid Computation of Simulated Neural Image," C.V.G.I.P. Vol.39,pp 311-327,1987.
6. David A. Hensher, "Electronic Toll Collection," Transpn. Res.-A Vol.25 A,No.1,pp9-16,1991.
7. J. Adolfo Acosta, J. Ludwig Figueroa, and Robert L. Mullen, "Low-Cost Video Image Processing System for Evaluating Pavement Surface Distress," Trans.Res.Rec.1348,pp63-72,1992.
8. Takashi Nakatsuhi and Terutoshi Kaku, "Development of a Self-Organizing Traffic Control System Using Neural Network Models," T.R.R.1324, pp137-145,1991.
9. Panos G. Michalopoulos, Robert Fitch, and Blake Wolf, "Development and Evaluation of a Breadboard Video Imaging System for Wide Area Vehicle Detection," T.R.R.1225,pp140-149,1989.
10. Randal C. Nelson, "Qualitative Detection of Motion by a Moving



- Observer", International Journal of Computer Vision, 7:1, pp33-46, 1991.
11. Ian Catling and Gabriel Roth, "Electronic Road Pricing in Hong Kong: An Opportunity for Road Privatization? , " T.R.R. 1107, pp51-55, 1987.
  12. Carl Haas and Sue McNeill, "Criteria for Evaluating Pavement Imaging Systems," T.R.R. 1260, pp64-73, 1990.
  13. John F. Gilmore, "A Neural Network Approach to Special Event Traffic Management , " Computer Science & Information Technology Laboratory, Georgia Tech. Research Institute.
  14. C.L. Wan and K.W. Dickinson, "Computer Vision and Neural Network for Traffic Monitoring," Napier Polytechnic Edinburgh. U.K.
  15. M.S. Rea, "Visibility Criteria and Application Techniques for Roadway Lighting," T.R.R. 1247, pp12-16, 1990.
  16. Loyd Henion and Barbara Koos, "Technology and the Heavy Vehicle Electronic License Plate Program: Potential Uses for Government and Industry," T.R.R. 1107, pp46-50, 1987.
  17. Richard Van der Horst and Hans Godthelp, "Measuring Road User Behavior with on Instrumented Car and on Outside the Vehicle Video Observation Technique," T.R.R. 1213, pp72-81, 1989.
  18. Neil Hoose, M.A. Vicencio and X. Zhang, "Incident Detection in Urban Roads Using Computer Image Processing," Traffic Engineering + Control , April 1992, pp. 236 - 244.
  19. Reinhart K. Kuhne, "Freeway Control Using a Dynamic Traffic Flow Model and

- Vehicle Reidentification Techniques," T.R.R.1320,pp251-259 ,1991.
- 20.Neil Hoose,"IMPACTS:an Image Analysis Toos for Motorway Surveillance ," Traffic Engineering + Control,March 1990, pp140 -147.
  - 21.Syephen D. Lawson, "Automatic Surveillance and Red Light Running: Potential for Camera Use and Accident Reduction at High-risk Light Controlled Junctions," Traffic Engineering +Control, January 1992, pp10 - 12.
  - 22.Yean-Jye Lu,Yuen-Hung Hsu,and Xavier Maldague,"Vehicle Clasification Using Infrared Image Analysis," ASCE Vol.118 No.2, pp223-240, March, April 1992.
  - 23.Stephen G. Ritchie,Associate Member,ASCE, "Digital Imaging Concepts and Application in Pavement Management," ASCE Vol.116 No.3,pp287-298 ,May/June 1990.
  - 24.M.R. Wigan, "Image-Processing Technigues Applied to Road Problems," ASCE Vol.118 No1,pp62-83,January/Fabruary 1992.
  - 25.Toshihiko Fukuhara,keiji Terada, Makoto Nagao, Atsushi Kasahara,and Shigeki Ichihashi, "Automatic Pavement-Distress Survey System," ASCE Vol.116,No.3,pp280-286, May/Jane 1990.
  - 26.A. Rourke and M.G.H. Bell,"Queue Detection and Congestion Monitoring Using Image Processing," Traffic Engineering + Control, pp412-421, Septemper 1991.
  - 27.Panos G. Michalopoulos and Blake Wolf, "Machine-Vision System for Multispot Vehicle Derection," ASCE Vol.116 No.3, pp299-309, May/June 1990.
  - 28.Neil Hoose,M.A.Vicencio and X.Zhang, "Incident Detection in Urban Roads Using Computer Image Processing,"Traffic Engineering+Control pp236-244, April 1992.

- 29.K. W. Dickinson,R. C. waterfall,"Image Processing Applied to Traffic A General Review," Traffic Engineering + Control,pp6-13,January 1984.
- 30.K. W. Dickinson,R. C. Waterfall,"Image Pocessing Applied to Traffic Practical Experience," Traffic Engineering + Control,pp60-67,February 1984.
- 31.Houghton,G. S.Hobson,L. Seed and R.C.Tozer,"Automatic Monitoring of Vehicles at Road Junctions," Traffic Engineering + Control,pp541- 543,October 1987.
- 32.H. J. Wootton and R. J. Potter,"Video Recorders, Micro Computers and New Survey Technigues," Traffic Engineering + Control,pp213-215,April 1981.
- 33.P. A. Lewis and H.T.Tillotson"Microprocessor Vehicle Monitor:Fuel Consumption Measurement," Traffic Engineering + Control, pp556-558, November 1982.
- 34.K. R. Kirschke and S. A. Velinsky, "Histogram- Based Ap prouch for Automated Pavement-Crack Sensing," ASCE Vol.118 No.5 Sep./Oct. 1992, pp 700-710.
- 35.J. Adolfo Acosta,Robert L. Mullen,and J. Ludwig Figueroa, "Digital Imaging Concepts and Applications in Pavement Management," ASCE Vol. 118 No.4 Jul/Aug 1992,pp602-609.
- 36.Kenichi Kanatani, "Hypothesizing and Testing Geometric Properties of Image Data ,",CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING,Vol.54,No.3,November,pp349 -357 1991.
- 37.Gunilla Borgefors,"Another Commention:A Note on Distance Transformations in Digital Images," CVGIP: IMAGE UNDERSTANDING Vol.54 No.2, September,pp301-306,1991.
- 38.Sergel V.Fogel, "The Estimation of Velocity Vector Fields from Time-Varying Image Sequences," CVGIP: IMAGE UNDERSTANDING, Vol.53 No.3, May, pp253-

287,1991.

- 39.T. de Saint Pierre and M. Milgram, "New and Efficient Cellular Algorithms for Image Processing," CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING, Vol.55 No.3 May, pp261-274,1992.
- 40.Kai Hwang, Hussein M. Alnuweiri, V. K. Prasanna, and Dongseung Kim, "Orthogonal Multiprocessor Sharing Memory with an Enhanced Mesh for Integrated Image Understanding," CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING Vol.53, No .1, January, pp31-45 1991.
- 41.Nuarayanan, P.J. and Davis, L.S., "Replicated Data Algorithms in Image Processing," CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING Vol.56 No.3 November, pp 351-365,1992.
- 42.Daphna Weinshall, "Shortcuts in Shape Classification from Two Images," CVGIP: IMAGE UNDERSTANDING ,Vol.56 No.1 July, pp57-68,1992.
- 43.Min Shao, Rama Chellappa, and Tal Simchony, "Reconstructing a 3-D Depth Map from One or More Images ," CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING ,Vol.53 No.2, March, pp219-226,1991.
- 44.Zygmunt Pizlo, "Recognition of Planar Shapes from Perspective Images ," CVGIP:IMAGE UNDERSTANDING ,Vol.56, No.3 November, pp330-350,1992.
- 45.Randall N. Ronning, "Evaluation of Image Processing Technology Applications in Highway Operations ," D.O.T., California.1992.
- 46.Rafael M. Inigo, "Traffic Monitoring and Control Using Machine Vision: A Survey," IEEE I.E., VOL.32, NO.3, PP.177-185.
- 47.E. E. Hilbert, R. E. Carlson, "Sensor for Control of Arterials and Networks

- (SCAN) Breadboard Hardware," FHWA/ RD-80,1980.
- 48.E. E. Hilbert, C. Carl, "Wide Area Detection system conceptual Design Study," FHWA/RD-77-68,1978.
- 49.龍天立, "影像處理技術建構獨立路口資料收集及號誌控制智慧系統之研究", 國科會七十九年成果報告。
- 50.范俊海, "影像處理技術建構交通資料收集系統及分析系統之研究", 台灣大學土木工程研究所博士論文, 民國七十九年六月。
- 51.鍾隆文, "影像處理求交通參數之研究——以特徵匹配法為例", 台灣大學土木工程研究所碩士論文, 民國七十九年六月。
- 52.黃壬信, "一種新的交通控制方向——以電腦視覺邏輯來發展", 台灣大學土木工程研究所碩士論文, 民國七十九年六月。
- 53.許添本、鍾隆文, "影像應用於交叉口車流偵測之研究——以車輛流量的偵測為例", 中華民國計量工程學會第二屆學術研討會論文集, p.79~p.98, 民國八十二年五月。
- 54.若松久仁男, 羽鳥公二, "ITV分野應用之道路管制畫像處理裝置, Toshiba Rebyu, Vol.40,NO.8,PP.677-679.
- 55.高羽楨雄, "自動車交通流の畫像計測", Keisoku to Seigyō, Vol.26, No.8,1987.
- 56.工藤安夫, "畫像處理手法應用於交通計測之研究", Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi, Vol.68, NO.3,1985.
- 57.山平拓也, "6-2道路狀況視監" Terebijon Gakkaishi, Vol.41, NO.10,1987.
58. K. Kanayama, Y. Katoh, T. Naito and K. Tsuji, OMRON Corporation, Japan., "A Car Detection System Using Neural Network for Image Processing," 25th ISATA Silver

Jubilee International Symposium on Automotive Technology and Automation,  
PP.553-560, 1992.

59. K. Kanayama, Y. Fujikawa, K. Fujimoto, M. Horino and Y. Yoshimitsu,  
"Development of Vehicle-Licence Number Recognition Apparatus Using Real-  
Time Image Processing and its Application to Travel-Time Measurement," 25th  
ISATA Silver Jubilee International Symposium on Automotive Technology and  
Automation, OMRON Corporation, Japan., PP.529 - 536, 1992.
60. H. Furusawa, H. Taniguchi, A. Seki and S. Ikebata, Mitsubishi Electric Corporation,  
Japan., "Accident Vehicle Image Detection System Using DTT Method," 25th  
ISATA Silver Jubilee International Symposium on Automotive Technology and  
Automation, PP.537-544, 1992.
62. A. Rourke and M. G. H. Bell, University of Newcastle upon Tyne, UK., "Automatic  
Road Vehicle Classification from Video Images, " 25th ISATA Silver Jubilee  
International Symposium on Automotive Technology and Automation, PP. 567 -  
574, 1992.
63. K. Sakai and M. Ishige, Sumitomo Electric Industries Limited, and Mr. T Izutsu and  
M. Miyahara, "In-Tunnel Traffic Flow Measuring & Monitoring System Using  
ITV Cameras," 25th ISATA Silver Jubilee International Symposium on Automotive  
Technology and Automation, Japan Highway Public Corporation, Japan., PP.581-  
588 , 1992.
64. Sue McNeil, Frannie Humplick, "Evaluation of errors in Automated Pavement  
Distress Data Acquisition.," ASCE I.T.E., Vol.117 No.2, pp224- 241 , March /April

1991.

65. Sidney A. G., Eric S. S., Christian S., "Automating Inspection of Highway Pavement Surfaces.," ASCE I.T.E. ,Vol. No.1, pp 1-14 January/ February 1993.